



Leibniz Institute
for high
performance
microelectronics

Annual Report 2020



Annual Report

2020

Inhalte Contents

Vorwort Foreword	2
Organe und Gremien der IHP GmbH Governing Body of IHP	4
Highlights 2020 Highlights 2020	5
Forschung des IHP IHP's Research	17
Ausgewählte Projekte Selected Projects	43
Gemeinsame Labore Joint Labs	69
Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland Research Fab Microelectronics Germany	81
Innovationscampus Elektronik und Mikrosensorik Cottbus Innovation Campus Electronics and Microsensor Technology Cottbus	85
Angebote und Leistungen Offers and Services	69
Publikationen Publications	101
Wegbeschreibung zum IHP Directions to IHP	120
Impressum Imprint	121

**Annual Report
2020**

Vorwort Foreword



Gerhard Kahmen
Wiss.-Techn. Geschäftsführer

Manfred Stöcker
Adm. Geschäftsführer

Liebe Leserinnen und Leser, liebe Freunde und Partner des IHP,

zu Beginn des Jahres 2020 hat keiner von uns mit den einschneidenden Ereignissen und Folgen der COVID-19-Pandemie gerechnet, die uns bis heute begleiten. Die Pandemie zeigt uns sehr deutlich, wie sensibel und fragil eine hochtechnisierte Gesellschaft auf eine derartige Situation reagiert und wie sich diese bis ins Privatleben jedes Einzelnen von uns auswirkt.

Dank des großen Einsatzes und der Flexibilität der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des IHP hat die Pandemie die Forschungsleistung und den Betrieb des Reinraums nicht nennenswert beeinflusst und wir können wieder auf ein sehr erfolgreich abgeschlossenes Jahr zurückblicken.

Mit seinen fünf, eng aufeinander abgestimmten Forschungsprogrammen Materialien für die Mikro- und Nanoelektronik, Technologien für Smarte Systeme, Hochfrequenz-Schaltkreise, Kommunikations- und eingebettete Systemarchitekturen und Drahtlose Systeme und Anwendungen gehört das IHP zu den weltweit führenden Forschungseinrichtungen im Bereich der siliziumbasierten Systeme und leistet mit seiner Forschung einen signifikanten Beitrag zur Innovationskraft und technologischen Hoheit auf den Gebieten der Höchstfrequenzelektronik und -systemen in Deutschland und Europa.

Mit insgesamt 104 laufenden Projekten, darunter 23 DFG, 28 EU – 4 als Koordinator – und 18 direkten Projekten mit der Wirtschaft, konnte in 2020 wieder eine hervorragende Drittmittelquote erreicht werden. Die Verteilung der Projekte zeigt die Bandbreite und die Leistungsfähigkeit des IHP und verdeutlicht die Brückenfunktion, welche das IHP von grundlegenden Forschungsthemen bis zu applikationsnahen Lösungen und der Fertigung von Prototypen einnimmt. Die neun Joint Labs und zahlreiche gemeinsame Berufungen mit verschiedenen Universitäten leisteten auch in 2020 wieder einen wichtigen Beitrag zu grundlagenorientierten Forschungsarbeiten des IHP sowie zur Gewinnung des technisch-wissenschaftlichen Nachwuchses.

Dear readers, friends and partners of the IHP,

At the beginning of 2020, none of us expected the dramatic consequences of the COVID 19 pandemic, which are still with us today. The pandemic shows us very clearly how sensitive and fragile a hi-tech society reacts to such a situation and how it affects each of us deeply, job-related and related to our private lives.

Thanks to the great dedication and flexibility of the IHP employees, the pandemic did not significantly affect the research performance and the operation of the clean room, and we can again look back on a very successful year.

With its five well aligned and closely cooperating research programs Materials for Micro- and Nanoelectronics, Technologies for Smart Systems, Radio Frequency (RF) Circuits, Communication- and Embedded System Architectures and Wireless Systems and Applications, IHP is one of the world's leading research institutions in the field of silicon-based systems, and its research makes a significant contribution to the innovative strength and technological leadership in the fields of ultrahigh-frequency electronics and systems of Germany and Europe.

With a total of 104 ongoing projects, including 23 DFG, 28 EU – 4 as coordinator – and 18 direct projects with industry, an excellent third-party funding was achieved again in 2020. The distribution of the projects shows the broad scope of excellence and performance of the IHP and illustrates the bridging function served by the IHP- from basic research topics to application solutions and manufacturing of prototypes. The nine Joint Labs and numerous joint professorships with various universities again made an important contribution to the basic research work of the IHP in 2020, as well as to the recruitment of technical and scientific young talents.

Despite adverse conditions caused by the pandemic, it was possible to successfully continue the construction of the clean room extension in 2020, allowing the utilization start of the building as planned at the end of

Trotz der durch die Pandemie erschwerten Bedingungen konnte der Bau der Reinraumerweiterung auch im Jahr 2020 erfolgreich fortgesetzt werden, so dass eine Nutzungs-aufnahme des Gebäudes zum Ende des Jahres planmäßig erfolgen konnte. Diese Erweiterung bietet dem IHP jetzt die Möglichkeit, im Rahmen erweiterter Prozessmöglichkeiten und einer „Exploratory Pilot-Line“ neue Materialien der Mikroelektronik mit dem Ziel zukünftiger Anwendungen zu erforschen, den Anlagenpark kontinuierlich bei laufendem Betrieb auf dem Stand zu halten und Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft eine stabile Technologieplattform bereitzustellen.

Für die IHP Solutions GmbH, eine 100%ige Tochtergesellschaft und kommerzielle und marktorientierte Schnittstelle des IHP, können wir ebenfalls ein sehr erfolgreiches Jahr 2020 bilanzieren. Im Rahmen von Prototypen-, MPW-Forschungsservices und IP-Transfer konnte die IHP Solutions die Forschungsergebnisse des IHP Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft kompetent verfügbar machen.

Im Rahmen der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) konnten in 2020 weitere wichtige Investitionen getätigt werden, mit denen das IHP für die Zukunft des Mikroelektronik-Standorts Deutschland beiträgt. Ein Beispiel dieser Investitionen sind neue Abscheideanlagen zur Realisierung fortschrittlicher Metallisierungssysteme, die eine Grundlage für die nächste Generation leistungsfähiger BiCMOS-Technologien darstellt. Auch im „Innovationscampus für Elektronik und Mikrosensorik“ konnte das IHP zusammen mit den Partnern im ersten Projektjahr bereits wesentliche Ergebnisse erzielen und leistet damit einen wichtigen Beitrag für den Strukturwandel in der Lausitz.

Insgesamt geht mit 2020 für das IHP trotz erheblicher pandemiebedingter Einschränkungen wieder ein sehr erfolgreiches Jahr zu Ende. Dieser Erfolg ist das Ergebnis des hohen Engagements und der ausgezeichneten Arbeit der ca. 350 Beschäftigten, denen unser großer Dank für die erzielten Ergebnisse des Jahres 2020 gilt.

Wir bedanken uns an dieser Stelle bei unseren Förderern aus Bund und Land für die langjährige und kontinuierliche Unterstützung und das uns entgegengebrachte Vertrauen. Bedanken möchten wir uns ebenfalls bei unseren Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft für die gute Zusammenarbeit. Wir freuen uns auf die Zusammenarbeit mit Ihnen in 2021 und wünschen mit dem Jahresbericht 2020 eine interessante Lektüre.



Prof. Dr. Gerhard Kahmen
Wiss.-Techn. Geschäftsführer

the year. This extension enables IHP to do research on new materials in microelectronics within an "Exploratory Pilot-Line" targeting future applications, to continuously modernize the equipment and to provide partners from science and industry with a stable technology platform.

For IHP Solutions GmbH, a 100% subsidiary and commercial and market-oriented interface of IHP, we can also report a very successful year 2020. In the context of prototyping service, MPW research service and IP transfer, IHP Solutions was again successful in making IHP's research results competently available to partners from science and industry.

Within the cooperation of the Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) further important investments were finalized in 2020 with which IHP contributes to the future of microelectronics in Germany. One example of these investments is new layer deposition system to realize advanced metallization systems, which represents a foundation for the next generation of high-performance BiCMOS technologies. In the "Innovation Campus for Electronics and Microsensors", IHP and its partners have also achieved significant results in the first active year of the project and are thus making an important contribution towards structural change in Lusatia.

Overall, 2020 is another very successful year for IHP, despite significant pandemic-related restrictions. This success is the result of the high level of commitment and the excellent work of the approximately 350 employees, whom we want to thank for the results achieved in 2020.

We would like to take this opportunity to thank our federal and state sponsors for their many years of continuous support and the trust they have placed in us. We would also like to thank our partners from science and industry for the good cooperation. We look forward to continuing our collaboration with you in 2021 and wish you a pleasant time reading the IHP Annual Report 2020.



Manfred Stöcker
Adm. Geschäftsführer

Organe & Gremien der IHP GmbH

Governing Body of IHP

Aufsichtsrat

Supervisory Board

Dr. Inge Schlotzhauer

Vorsitzende | Chair
Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur
Land Brandenburg
Ministry of Science, Research and Culture
State of Brandenburg

MinR Dr. Stefan Mengel

Stellv. Vorsitzender | Deputy Chair
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Federal Ministry of Education and Research

Antje Fischer

Ministerium der Finanzen und für Europa des Landes
Brandenburg, Potsdam
Ministry of Finance and for Europe of the State of
Brandenburg, Potsdam

Dr. Gunter Fischer

IHP GmbH, Frankfurt (Oder)
IHP GmbH, Frankfurt (Oder)

Dr. Roland Sorge

IHP GmbH, Frankfurt (Oder)
IHP GmbH, Frankfurt (Oder)

Dr. Walter Riess

IBM Research Zürich, Schweiz
IBM Research Zurich, Switzerland

Dr. Fiona Williams

Ericsson Eurolab Deutschland GmbH, Herzogenrath
Ericsson Eurolab Deutschland GmbH, Herzogenrath

Prof. Dr. Robert Weigel

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Friedrich-Alexander-University Erlangen-Nuremberg

Geschäftsführer

Managing Directors

Prof. Dr. Gerhard Kahmen

Wiss.-Techn. Geschäftsführer
Scientific Director

Manfred Stöcker

Adm. Geschäftsführer
Administrative Director

Wissenschaftlicher Beirat

Scientific Advisory Board

Prof. Dr. Hans D. Schotten

Vorsitzender | Chair
Technische Universität Kaiserslautern
Technical University of Kaiserslautern

Prof. Dr. Christian Schäffer

Stellv. Vorsitzender | Deputy Chair
Helmut-Schmidt-Universität, Hamburg
Helmut Schmidt University, Hamburg

Prof. Dr. Amelie Hagelauer

Universität Bayreuth
University of Bayreuth

Prof. Dr. Thomas Mikolajick

NaMLab gGmbH, Dresden
NaMLab gGmbH, Dresden

Dr. Kirsten E. Moselund

IBM Research Zürich, Schweiz
IBM Research Zürich, Switzerland

Dr. Klaus Pressel

Infineon Technologies AG, Regensburg
Infineon Technologies AG, Regensburg

Dr. Michael Schlechtweg

Fraunhofer-Institut IAF, Freiburg
Fraunhofer Institute IAF, Freiburg

Prof. Dr. Ulla Wollenberger

Universität Potsdam
University of Potsdam

Prof. Dr. Friedel Gerfers

TU Berlin
TU Berlin

Mission des IHP

Mission of the IHP

Das Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik (IHP) ist eine vom Bund und Land institutionell geförderte außeruniversitäre Forschungseinrichtung und Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft.

The IHP is a non-university research establishment institutionally funded by the German federal and state governments and a member of the Leibniz Association.

Die Arbeit des Instituts konzentriert sich auf siliziumbasierte Systeme, Schaltungen und Hochfrequenztechnologien, einschließlich neuer Materialien. Auf diese Weise realisiert das Institut prototypische Lösungen für bedeutende und anstehende gesellschaftliche Herausforderungen.

Mit hauseigenen SiGe-BiCMOS-Hochleistungstechnologien, die in der IHP-Pilotlinie prototypisch gefertigt werden, ist das Institut in der Lage, komplexe Lösungen in Form von innovativen und industriell relevanten Prototypen zu demonstrieren. Die entwickelten Technologien werden schnell auf ein hohes Niveau gebracht, um sie Dritten als forschungsbasierte Dienstleistungen anzubieten.

Synergien werden durch die koordinierte Zusammenarbeit der Forschungsprogramme Materialien für die Mikro- und Nanoelektronik, Technologien für Smarte Systeme, Hochfrequenz-Schaltkreise, Kommunikations- und eingebettete Systemarchitekturen und Drahtlose Systeme und Anwendungen mit ihren Kernkompetenzen erzielt, was zu vertikal optimierten Lösungen führt. Die Kernkompetenzen ermöglichen es dem IHP, wesentliche Beiträge zu aktuellen und zukünftigen gesellschaftlichen Herausforderungen wie Gesundheit, Sicherheit, Mobilität, Nachhaltigkeit, 5G- und verwandte Technologien sowie Industrie und Landwirtschaft zu leisten.

Durch seine Tätigkeitsfelder: Resiliente Systeme, Sensorische Systeme, Hochfrequenz- & Breitbandkommunikationssysteme, Fortschrittliche Halbleitertechnologien und Bauelement- und Materialinnovationen ist das IHP von zentraler strategischer und forschungspolitischer Bedeutung, um technologische Unabhängigkeit und Souveränität für Europa zu erreichen. Das Institut entwickelt Technologien für Wissenschaft und Industrie, durch deren Anwendung sie Alleinstellungsmerkmale erzielen und im weltweiten Wettbewerb bestehen können. Das Institut leistet auch einen aktiven und wichtigen Beitrag zur Ausbildung des wissenschaftlichen und technischen Nachwuchses.

IHP conducts research and development in the field of microelectronics and information technology. The focus is on high-tech innovations for current and future societal challenges.

The institute's work focuses on silicon-based systems, circuits and high-frequency technologies, including new materials. In this way, the institute realizes prototype solutions for significant and upcoming societal challenges.

With in-house SiGe-BiCMOS high performance technologies prototyped in the IHP pilot line, the institute is able to demonstrate complex solutions in the form of innovative and industrially relevant prototypes. The developed technologies are quickly brought to a high level to offer them to third parties as research-based services.

Synergies are achieved through the coordinated collaboration of the Materials for Micro- and Nanoelectronics, Technologies for Smart Systems, Radio Frequency (RF) Circuits, Communication- and Embedded System Architectures and Wireless Systems and Applications research programs with their core competencies, resulting in vertically optimized solutions. The core competencies enable IHP to make significant contributions to current and future societal challenges such as health, security, mobility, sustainability, 5G and related technologies, and industry and agriculture.

Through its fields of activity: Resilient Systems, Sensing Systems, Radio Frequency & Broadband Communication Systems, Advanced Semiconductor Technologies and Device and Material Innovations, IHP is of key strategic and research policy importance to achieve technological independence and sovereignty for Europe. The institute develops technologies for science and industry, through the application of which they can achieve unique selling propositions and survive in global competition. The institute also makes an active and important contribution to the training of young scientists and engineers.

Fakten und Zahlen

Facts and Figures

Mitarbeitende

Employees

- davon **175** Wissenschaftler
- davon **17** Auszubildende
- davon **23** Studierende
- **175** of them scientists
- **17** of them are trainees
- **23** of them are students



Publikationen

Publications

- davon **101** Journal Artikel
- including **101** journal articles



Patente

Patents



Förderung

Funding

- Institutionelle Förderung: 33,5 Millionen Euro
- Drittmittelerträge (ohne FMD):
 - EU-Förderung: 3,7 Millionen Euro
 - Förderung Bund: 3,4 Millionen Euro
 - Förderung Land Brandenburg: 1,3 Millionen Euro
 - DFG-Förderung: 1,2 Millionen Euro
 - Wirtschaft und Technologietransfer: 7,6 Millionen Euro
- Institutional funding: 33.5 million euros
- Third-party funding (without FMD)
 - EU funding: 3.7 million euros
 - Federal funding: 3.4 million euros
 - Funding from the state of Brandenburg: 1.3 million euros
 - DFG funding: 1.2 million euros
 - Industry and technology transfer: 7.6 million euros



Projekte

Projects

- DFG-Projekte: **23**
- EU-Projekte: **28**
- Bund- & Land-Projekte: **32**
- DFG projects: **23**
- EU projects: **28**
- Federal & State Projects: **32**





**Das Jahr 2020
Update 2020**

Kompetenzzentrum IT-Sicherheit (KITS)

Competence center IT security (KITS)



Der vom Kompetenzzentrum entwickelte Demonstrator zeigt eine Industrieanlage, welche eine Flüssigkeit von einem Tank in einen anderen Tank pumpt. Die Pumpe wird durch eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) geleitet. Zur Überwachung des Füllstands werden kapazitive Näherungssensoren verwendet, die von der SPS ausgewertet werden.

The demonstrator developed by the competence center shows an industrial machine that pumps a liquid from one tank to another. The pump is guided by a programmable logic controller (PLC). Capacitive proximity sensors are used to monitor the fill level, which are evaluated by the PLC.

Am 01.01.2020 erfolgte der Startschuss für das vom IHP geleitete Kompetenzzentrum IT-Sicherheit (KITS) mit dem primären Ziel, Unternehmen im Land Brandenburg mit geeigneten Informationsangeboten dazu zu befähigen, Sicherheitsprobleme im Rahmen ihrer bestehenden und in Richtung Digitalisierung geplanten Geschäftsprozesse zu erkennen und die Kompetenz zu erwerben, Risiken einzuschätzen, Probleme zu beheben und Angebote des Marktes kompetent einschätzen zu können.

On the 1st of January 2020 the starting signal for the IT security competence center (KITS) headed by the IHP was launched with the primary goal of providing companies in the state of Brandenburg to use suitable information to identify security problems in the context of their existing and planned business processes in the direction of digitization and to acquire the competence in order to assess risks, resolve problems and assess the market offers competently.

Informationsaustausch mit Vertretern aus der Politik

Exchange of information with political representatives



Besuch der Forschungsministerin Dr. Manja Schüle am IHP.
Visit of the Minister of Research Dr. Manja Schüle at the IHP.

Ob die brandenburgische Ministerin für Wissenschaft, Forschung und Kultur, Dr. Manja Schüle, der brandenburgische Staatssekretär für Wissenschaft, Forschung und Kultur, Tobias Dünow oder der EU-Parlamentsabgeordnete, Dr. Christian Ehler – sie alle fanden 2020 den Weg zum IHP, um die strategische Bedeutung der Mikroelektronik sowie aktuelle und zukünftige Themenstellungen des IHP zu diskutieren.

Whether the Brandenburg Minister for Research, Science and Culture Dr. Manja Schüle, the Brandenburg State Secretary for Science, Research and Culture, Tobias Dünow or the Member of the European Parliament Dr. Christian Ehler – they all found their way to the IHP in 2020 to discuss the strategic importance of microelectronics as well as the current and future topics of the IHP.

Besuchergruppen am IHP

Visitor groups at the IHP

Schüler*innen des Seelower Gymnasiums zu Besuch im IHP
Pupils of the Seelower Gymnasium visit the IHP



Obwohl das Jahr durch die Corona-Pandemie geprägt war, konnten dennoch Schüler- und Studentengruppen aus Lübeck, Frankfurt, Seelow und dem benachbarten Slubice/Polen in den ersten Monaten des Jahres das IHP kennenlernen. Neben interessanten Vorträgen durch die Forschenden des IHP hatten die jungen Leute die Möglichkeit, den Reinraum, das MBE- und Photoniklabor zu besuchen.

Although the year was marked by the coronavirus pandemic, school and student groups from Lübeck, Frankfurt, Sellow and neighboring Slubice/Poland were able to get to know the IHP in the first few months of the year. In addition to interesting lectures by the IHP researchers, the young people had the opportunity to visit the clean room, the MBE and the photonics laboratory.

Leibniz-Mentoring-Programm Leibniz Mentoring Program



Vorbereitungsworkshop Leibniz-Mentoring-Programm
The Leibniz Mentoring Program preliminary workshop

Für ihre exzellenten Forschungsleistungen wurde die IHP-Wissenschaftlerin Dr. Costanza Lucia Manganelli für das diesjährige Leibniz-Mentoring-Programm ausgewählt. Mit dem Ziel, die Chancengleichheit zu fördern und den Frauenanteil in Führungspositionen in der Forschung zu erhöhen, werden jährlich 30 hochqualifizierte Postdoktorandinnen verschiedener deutscher Leibniz-Institute auf ihrem Karriereweg begleitet und binnen 16 Monaten intensiv mit Hilfe von Seminaren, Vernetzungstreffen und Coachings sowie individuellen Mentoring-Tandems auf die Übernahme von Führungsaufgaben vorbereitet.

The IHP scientist Dr. Costanza Lucia Manganelli was selected for this year's Leibniz Mentoring Program for her excellent research achievements. With the aim of promoting equal opportunities and increasing the proportion of women in leadership positions in research, 30 highly qualified postdocs from different German Leibniz Institutes are supported on their career path each year and prepared intensively within 16 months with the help of seminars, networking meetings and coaching as well as individual mentoring tandems to take on management tasks.

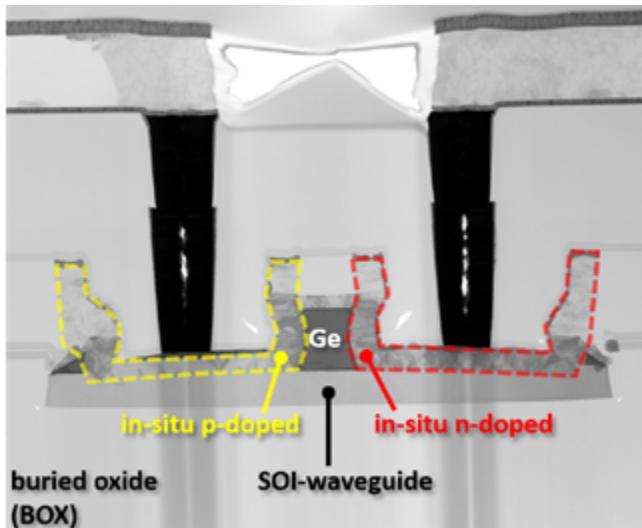
Speed Dating mit der Wissenschaft Speed dating with science

In der 2. Auflage der von der Leibniz-Gemeinschaft organisierten Veranstaltung „Book a Scientist“ standen im 4. Quartal dieses Jahres drei IHP-Forschende mit ihrem Expertenwissen für ein 20-minütiges Einzelgespräch allgemein Interessierten für Fragen, die das alltägliche Leben berühren, zur Verfügung. Gemeinsam wurden gesellschaftlich relevante Themen wie: DSGVO aus Sicht eines Handwerksbetriebs, Bioökonomie, Wasserverschmutzung und drahtlose Kommunikation in der Industrie diskutiert.

In the second edition of the „Book a Scientist“ event organized by the Leibniz Association, three IHP researchers were available in the 4th quarter of this year with their expert knowledge for a 20-minute one-on-one discussion with the general public concerning questions that affect everyday life. Socially relevant topics such as: GDPR from the perspective of a craft enterprise, bioeconomy, water pollution and wireless communication in industry were discussed together.

Ein Weltrekord für die Bandbreite von Ge-basierten Photodetektoren

A world record for the bandwidth of Ge-based photodetectors



Querschnitts-TEM-Bild der neuartigen Fotodiode, bei der die laterale p-i-n-Diode durch in-situ-dotierte Schichten geformt wurde.

Cross-section image by TEM of the novel photodiode where the lateral p-i-n diode is formed by in-situ doped layers.

Im Jahr 2020 konnte das IHP einen signifikanten wissenschaftlichen Durchbruch im Bereich der wellenleitergekoppelten Hochgeschwindigkeits-Germanium-Fotodioden erzielen, indem mithilfe einer neuartigen Bauweise optoelektrische Bandbreiten von mehr als 110 GHz gezeigt werden konnten. Dieser Leistungszuwachs konnte durch die neuartige Konstruktion erreicht werden, bei der das Germanium seitlich von zwei in-situ-dotierten Siliziumschichten umgeben ist, sodass sich eine laterale p-i-n-Diode ergibt. Dieser neuartige Ansatz ermöglichte es, auf Ionenimplantation in das Germanium zu verzichten, wodurch „langsame“ Minoritätsladungsträgerdiffusion drastisch reduziert werden konnte.

In 2020, the IHP was able to achieve a significant breakthrough in the field of waveguide-coupled high-speed germanium photodiodes by using a new type of construction to demonstrate opto-electrical bandwidths of more than 110 GHz. This increase in performance could be achieved through the new design, in which the germanium is laterally surrounded by two in-situ doped silicon layers, resulting in a lateral p-i-n diode. This novel approach made it possible to dispense with ion implantation into the germanium, which means that “slow” minority charge carrier diffusion could be drastically reduced.

Wissenschaftliche Exzellenz Scientific excellence

Das IHP war 2020 auf zahlreichen internationalen Konferenzen und Messen im Bereich der Mikroelektronik mit einem eigenen Online-Stand und wissenschaftlichen Vorträgen vertreten. Wissenschaftler des Instituts waren beispielsweise bei der European Conference on Optical Communication (ECOC) und bei dem International Microwave Symposium (IMS). Die hervorragenden wissenschaftlichen Ergebnisse: "Ge-Photodiode mit -3 dB OE-Bandbreite von 110 GHz für PIC- und ePIC-Plattformen" wurden auf dem renommierten IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM) vorgestellt. Insgesamt präsentierte das IHP seine Forschungsergebnisse in 250 erschienenen Publikationen und bei 10 eingeladenen Vorträgen. Zusätzlich wurden neun Forschungsergebnisse patentreif.

In 2020, IHP was represented at numerous international conferences and trade fairs in the field of microelectronics with its own booth and scientific presentations. Scientists of the institute were for example at the European Conference on Optical Communication (ECOC) or at the International Microwave Symposium (IMS). The outstanding scientific results: "Ge photodiode with -3 dB OE bandwidth of 110 GHz for PIC and ePIC platforms" were presented at the prestigious IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM). Overall, the IHP presented its research results in 250 published papers and at 10 invited lectures. In addition, nine research results were patented.

iCampus - offizielle Übergabe der Partnerschilder

iCampus - official handover of the partner badges



Von links nach rechts: Dr. Uwe Maaß (Gruppenleiter im Fraunhofer-IZM), Prof. Gerhard Kahmen (Geschäftsführer Leibniz-Institut IHP), Prof. Gesine Grande (Präsidentin der BTU Cottbus-Senftenberg), Prof. Harald Schenk (Geschäftsführender Institutsleiter des Fraunhofer IPMS und Gesamtprojektleiter des iCampus), Jonas Pantzer (Projektmanager iCampus - stellvertretende Übernahme für das Leibniz-Institut FBH)

From left to right: Dr. Uwe Maaß (Group Leader at Fraunhofer-IZM), Prof. Gerhard Kahmen (Managing Director Leibniz Institute IHP), Prof. Gesine Grande (President of BTU Cottbus-Senftenberg), Prof. Harald Schenk (Executive Director of Fraunhofer IPMS and overall project manager of iCampus), Jonas Pantzer (Project Manager iCampus - deputy takeover for Leibniz Institute FBH)

Im Rahmen des einjährigen Bestehens des Innovationscampus Elektronik und Mikrosensorik Cottbus fand die offizielle Übergabe der Partnerschilder auf dem iCampus der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg (BTU) statt. Durch die Bündelung der sich ergänzenden Kompetenzen der Projektpartner soll der schnelle Transfer von Forschungsergebnissen in Anwendungen ermöglicht werden, was zur langfristigen Steigerung der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit der Lausitz und zur Ansiedlung von High-Tech-Unternehmen in der Region beitragen wird.

As part of the one-year existence of the Innovation Campus Electronics and Microsensor Technology Cottbus, the official handover of the partner signs took place on the iCampus of the Brandenburg University of Technology Cottbus-Senftenberg (BTU). Bundling the complementary skills of the project partners should allow the rapid transfer of research results into applications, what contributes to the long-term increase of the economic viability of Lusatia and to the establishment of high-tech companies in the region.

Erste virtuelle Summer School

First virtual summer school

Am 26. August und 9. September 2020 fand erstmalig eine vom IHP geplante Summer School zum Thema: „Strahlungseffekte in elektronischen Schaltungen und Systemen“ in virtueller Form statt. Jeweils 33 Studierende, Doktoranden und Projektpartner folgten an beiden Tagen interessiert der Veranstaltung. Während man sich am ersten Tag dem Thema strahlungsharte Entwurfsmethoden widmete, wurde am zweiten Tag das Thema Strahlungsdosimetrie fokussiert.

On the 26th of August 2020 and the 9th of September 2020 a summer school planned by the IHP on the subject: “Radiation Effects in Electronic Circuits and Systems” took place in virtual form for the first time. 33 students, PhD students and project partners followed the event with interest on both days. While the first day focused on the subject of radiation-hard design methods, the second day was devoted to radiation dosimetry.

10. Brandenburger Sensornetztag

10th Brandenburg Sensor Network Day



Von links nach rechts: Prof. Dr. Edgar O. Klose (MITI), Andreas Thom (Breazy Health GmbH), Prof. Dr. Peter Langendörfer (IHP) und Claus Junghanns (Stadt Frankfurt) v.l.n.r. im Gespräch auf dem 10. Brandenburger Sensornetztag
 Prof. Dr. Edgar O. Klose (MITI), Andreas Thom (Breazy Health GmbH), Prof. Dr. Peter Langendörfer (IHP) and Claus Junghanns (City of Frankfurt) from left to right in conversation at the 10th Brandenburg Sensor Network Day

Zum Thema E-Health fand am 26.11.2020 der 10. Brandenburger Sensornetztag am IHP statt. In verschiedenen Vorträgen stellten Experten aktuelle Forschungsarbeiten zu zukunftsorientierten Technologien, Schaltkreisen und Systemen vor und diskutierten die Herausforderungen beim Einsatz medizintechnischer Anwendungen in der Praxis. Zwei brandenburgische Start-up-Unternehmen präsentierten ihre bereits in der Anwendung befindlichen Applikationen, die bei der Überwachung von Asthmaerkrankungen bzw. der Ortung medizinischer Geräte in Krankenhäusern zum Einsatz kommen.

On the 26th of November 2020, the 10th Brandenburg Sensor Network Day took place at the IHP on the subject of E-Health. The experts presented in various lectures current research work on future-oriented technologies, circuits and systems and discussed the challenges in the use of medical technology applications in practice. Two start-up companies from Brandenburg presented their already in use applications that are used for monitoring asthma diseases or locating medical devices in hospitals.

IHP-Technologien für japanische Universitäten verfügbar

IHP technologies available for Japanese universities

Seit diesem Jahr sind die IHP-Technologien SG13G2, SG25H5_EPIC und SG13S Teil des Portfolios des Design and Education Center (VDEC), das an der Universität Tokio angesiedelt ist und von Anwendern in ganz Japan genutzt wird. Als Ausbildungszentrum für VLSI-Technologie (Very Large Scale Integration) hat das VDEC das Ziel, die VLSI-Design-Ausbildung zu verbessern und die VLSI-Chip-Fertigung für nationale Universitäten, öffentliche Universitäten, private Universitäten und Hochschulen in Japan zu unterstützen.

Since this year, the IHP technologies SG13G2, SG25H5_EPIC and SG13S have been part of the portfolio of the Design and Education Center (VDEC), which is located at the University of Tokyo and is used by users all over Japan. As a training center for VLSI (Very Large Scale Integration) technology, the VDEC aims to enhance VLSI design education and support VLSI chip manufacturing for national universities, public universities, private universities and colleges in Japan.

IHP im DFG Sonderforschungsbereich (SFB) 1461 „Neuroelektronik: Biologisch inspirierte Informationsverarbeitung“

IHP in the DFG Collaborative Research Center (SFB) 1461 “Neuroelectronics: Biologically Inspired Information Processing”

Im SFB 1461 „Neuroelektronik: Biologisch inspirierte Informationsverarbeitung“ wollen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus neun beteiligten Partnerinstitutionen künftig neue Hardware für die Informationsverarbeitung entwickeln. Ziel ist, Erkenntnisse über die Informationswege in Nervensystemen auf die technische Informationsverarbeitung zu übertragen, um zum Beispiel die Muster- und Spracherkennung oder die Energieeffizienz bestehender Systeme zu verbessern. Das interdisziplinäre Forschungsfeld erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen den Bereichen Neurowissenschaften, Biologie, Psychologie, Physik, Elektrotechnik, Materialwissenschaften, Netzwerkwissenschaften und nichtlinearer Dynamik.

In the SFB 1461 "Neuroelectronics: Biologically Inspired Information Processing", scientists from nine participating partner institutions want to develop new hardware for information processing in the future. The goal is to transfer findings about the information pathways in nervous systems to technical information processing in order to improve, for example, pattern and speech recognition or the energy efficiency of existing systems. The interdisciplinary research field requires close cooperation between the fields of neuroscience, biology, psychology, physics, electrical engineering, materials science, network science and nonlinear dynamics.

Emmy Noether-Programm Emmy Noether Program



Dr. Lukasz Lopacinski, System Architectures
Abteilung, IHP
Dr. Lukasz Lopacinski, System Architectures
Department, IHP

Für seine herausragenden Forschungsleistungen konnte sich der IHP-Wissenschaftler Dr. Lukasz Lopacinski für das Emmy Noether-Programm der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) qualifizieren. Das im Rahmen des Programms ermöglichte Forschungsprojekt zielt darauf ab, eine modulare Architektur für die ultraschnelle drahtlose Kommunikation für Mobiltelefone und andere 5G- oder 6G-fähige Geräte mit einer Geschwindigkeit von 100 Gbit/s bereitzustellen.

IHP scientist Dr. Lukasz Lopacinski was able to qualify for the Emmy Noether Program of the German Research Foundation (DFG) for his outstanding research achievements. The research project enabled under the program aims to provide a modular architecture for ultra-fast wireless communications for mobile phones and other 5G or 6G capable devices at a speed of 100 Gbit/s.

Erschließung internetbasierter Kommunikationskanäle

Development of internet-based communication channels



IHP-Mitarbeiter betreut vier Teilnehmer des virtuellen PDK-Tutorials.
IHP employee supervises four participants of the virtual PDK tutorial.

Für die Transferaktivitäten des IHP nahm die Bedeutung internetbasierter Kommunikationswege in 2020 deutlich zu. Wissenschaftlich-technische Workshops und Tutorials, wie Design-Kit-Tutorials, wurden erstmalig in virtueller Form realisiert. Ebenso fanden die Messeauftritte des IHP bei der IMS, Electronica, ECOC und MINT-Ausbildungsmesse in digitaler Form statt. Unterstützt wurden diese Aktivitäten durch ein vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur (MWFK) des Landes Brandenburg finanziertes Projekt, das den Transfer durch innovative Kommunikationsmaßnahmen stärken soll. Das Projekt finanzierte unter anderem moderne Technik, um die Veranstaltungen in einem Online-Format zu realisieren. Der Streamingdienst Youtube wurde als neuer Social Media Kanal für das IHP erschlossen, um virtuelle Inhalte Interessierten zur Verfügung zu stellen.

For the transfer activities of the IHP, the importance of internet-based communication channels increased significantly in 2020. Scientific-technical workshops and tutorials such as the design kit tutorials were implemented for the first time in virtual form. The IHP's trade show appearances at the IMS, Electronica, ECOC and MINT training fair were also held in digital form. These activities were supported by a project funded by the Ministry of Science, Research and Culture (MWFK) of the State of Brandenburg, which aims to strengthen transfer through innovative communication measures. Among other things, the project financed modern equipment to realize the events in an online format. The streaming service YouTube has been developed as a new social media channel for the IHP in order to make virtual content available to interested parties.



Forschung des IHP

IHP's Research

Forschung des IHP

Das IHP erforscht und entwickelt siliziumbasierte Systeme, Höchstfrequenz-Schaltkreise und -Technologien einschließlich neuer Materialien. Als Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft arbeitet das IHP an langfristigen, strategisch ausgerichteten und abgestimmten Forschungsaufgaben. Das Tätigkeitsspektrum des IHP reicht dabei von zielgerichteter Forschung zu Grundlagenthemen bis hin zu prototypischen Lösungen mit Schwerpunkt auf wirtschaftsrelevante Themen, die zu Anwendungen für die Telekommunikations-, Halbleiter- und Automobilindustrie, Luft- und Raumfahrt, Telemedizin und Automatisierungstechnologien führen.

Durch seine Pilotlinie mit den eigenen, weltweit führenden SiGe:C-BiCMOS-Technologien ist es in der Lage, komplexe Lösungen durch innovative und industriell relevante Prototypen zu demonstrieren. Erarbeitete Technologien werden schnell auf ein hohes Niveau gebracht, um sie als forschungsbasierten Service Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft anbieten zu können.

Ein wesentliches Merkmal des IHP ist sein vertikales Forschungskonzept. Das Institut verfügt über eng aufeinander abgestimmte Kernkompetenzen, die das Ergebnis langjähriger und kontinuierlicher Arbeit mit hoher internationaler Sichtbarkeit sind. Die Forschungsprogramme Materialien für die Mikro- und Nanoelektronik, Technologien für Smarte Systeme, Hochfrequenz-Schaltkreise, Kommunikations- und eingebettete Systemarchitekturen und Drahtlose Systeme und Anwendungen ermöglichen die Erarbeitung vertikal optimierter Lösungen hoher Synergie. Ein prominentes Beispiel für eine wesentliche Kernkompetenz des IHP stellen die eigenen SiGe-BiCMOS-Technologien einschließlich der Fähigkeit dar, Prototypen und Kleinserien unter industrienahen Bedingungen für Partner verfügbar zu machen. Das IHP ist international für diese Fähigkeit bekannt und sichtbar.

In den strategischen Arbeitsbereichen des IHP Bauelement- und Materialinnovationen, Fortschrittliche Halbleitertechnologien, Sensorische Systeme, Hochfrequenz- und Breitband-Kommunikationssysteme und Resiliente Systeme werden die Kernkompetenzen des IHP gebündelt. In den strategischen Arbeitsbereichen leistet das IHP wesentliche Beiträge mit dem Ziel, Lösungen für gegenwärtige und zukünftige gesellschaftliche Herausforderungen zu erarbeiten. Während die Kernkompetenzen nach Forschungsprogrammen und Abteilungen organisiert sind, erfolgt die Umsetzung innerhalb der strategischen Arbeitsbereiche in enger Kooperationen zwischen den Abteilungen und mit externen Partnern. Am IHP wurden zur weiteren Förderung der engen Zusammenarbeit und Kommunikation interdisziplinäre Arbeitsgruppen zu strategisch relevanten Themen eingerichtet, um damit zusätzliches Synergiepotential zu heben.

IHP's Research

IHP researches and develops silicon-based systems, ultrahigh frequency circuits and technologies including new materials. As a member of the Leibniz Association, IHP works on long-term, strategically oriented and coordinated research tasks. The spectrum of IHP's activities ranges from targeted research on fundamental topics to prototypical solutions with a focus on economically relevant topics leading to applications for the telecommunications, semiconductor and automotive industries, aerospace, telemedicine and automation technologies.

Through its pilot line of proprietary, world-leading SiGe:C BiCMOS technologies, it is able to demonstrate complex solutions through innovative and industrially relevant prototypes. Developed technologies are quickly brought to a high level in order to offer them as a research-based service to partners from science and industry.

A key feature of IHP is its vertical research concept. The institute has closely coordinated core competencies, which are the result of many years of continuous work of high international visibility. The research programs Materials for Micro- and Nanoelectronics, Technologies for Smart Systems, High Frequency Circuits, Communication and Embedded System Architectures and Wireless Systems and Applications enable the development of vertically optimized solutions of high synergy. A prominent example of an essential core competence of IHP is represented by its own SiGe BiCMOS technologies including the capability to make prototypes and small series available to partners under near-industrial conditions. IHP is internationally known and visible for this capability.

IHP's core competencies are bundled in the strategic work areas of Device and Material Innovations, Advanced Semiconductor Technologies, Sensing Systems, High Frequency and Broadband Communication Systems and Resilient Systems. In the strategic work areas, IHP makes significant contributions with the goal of developing solutions to current and future societal challenges. While the core competencies are organized by research programs and departments, the implementation within the strategic work areas takes place in close cooperation between the departments and with external partners. At IHP, interdisciplinary working groups on strategically relevant topics have been established to further promote close cooperation and communication, thereby leveraging additional synergy potential.

Materialien für die Mikro- und Nanoelektronik

Materials for Micro- and Nanoelectronics

In diesem Forschungsprogramm werden neue Materialien für die Mikro- und Nanoelektronik untersucht. In den drei Arbeitsgruppen des Forschungsprogramms werden vielversprechende Ansätze der Materialwissenschaft für zukünftige Bauelemente in der Mikroelektronik identifiziert. Das Forschungsprogramm umfasst ein weites Spektrum - von der Grundlagenforschung in den Materialwissenschaften bis zur angewandten Forschung an modernen Bauelementen. In komplexen Bauelementen wird eine Vielfalt heterogener Materialsysteme zur analogen, digitalen, neuromorphen, quantenmechanischen und optischen Signal- und Datenverarbeitung zusammengeführt. Neben diesen Forschungskonzepten für moderne Bauelemente bietet die „More than Moore“-Strategie der Mikroelektronik eine gute Ausgangsposition für Innovationen im medizintechnischen Bereich. Die drei Arbeitsgruppen der Abteilung Materialforschung: 2D Materialien, Halbleiter-Optoelektronik und Adaptive Materialien haben folgende Forschungsschwerpunkte:

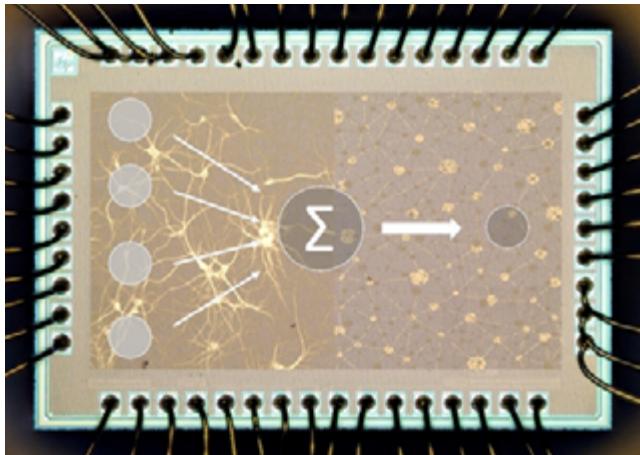
In this research program new materials for Micro- and Nanoelectronics are investigated. In three working groups of the research program, promising approaches in materials science for future components in microelectronics are identified. The research program covers a broad spectrum: from basic research in materials science to applied research on modern construction elements. A variety of heterogeneous material systems for analog, digital, neuromorphic, quantum mechanical and optical signal and data processing are combined in complex components. In addition to these research concepts for modern components, the “More than Moore” strategy of microelectronics offers a good starting position for innovations in the medical technology sector. The three research groups of the Materials Research Department: 2D Materials, Semiconductor Optoelectronics and Adaptive Materials have the following research foci:

2D Materialien

Aufgrund seiner besonderen elektrischen Eigenschaften ist Graphen ein sehr interessantes Material sowohl für optische als auch elektrische Anwendungen. Um Graphen in der multifunktionalen Mikroelektronik zu integrieren, müssen große Flächen von Graphen ohne Falten, Risse oder Verunreinigungen auf Siliziumsubstraten abgeschieden werden. Diese Aktivitäten auf produktionsrelevanten Anlagen werden durch die Grundlagenforschung im Oberflächenlabor begleitet, um die Elementarprozesse des Graphenwachstums auf Germaniumschichten zu verstehen. Die 8"-Graphen-CVD-Anlage im IHP-Reinraum wird in enger Zusammenarbeit mit der Technologie-Abteilung betrieben. Hierbei erwarb das IHP mit Arbeiten zur Graphen-Integration in die Si-Technologie große wissenschaftlich-technologische Aufmerksamkeit, wobei die Arbeiten zur Graphen-Synthese auf 8"-basierten Germanium-Schichten zur Vermeidung von Metallkontaminationen in Silizium-Prozessen im Zentrum standen. Im Rahmen dieser Bemühungen wurde ein weiteres gemeinsames BMBF-Projekt durch die Abteilungen Technologie und Materialforschung mit nationalen Industriepartnern eingeworben, das die Bewertung und Optimierung der Graphenschichtqualität in Bezug auf industrielle Anforderungen zum Ziel hat. Es steht somit die Entwicklung eines 8"-Silizium-Wafer-kompatiblen Technologieansatzes im Vordergrund, um in der Pilotlinie des IHP Graphenbauteile für Anwendungen in der Elektronik, Photonik und Sensorik kontrolliert herstellen zu können. Hierbei müssen für die Herausforderungen der Graphenintegration Lösungen gefunden werden, die mit dem bestehenden IHP-Reinraumanlagenpark in Bezug auf Möglich-

2D Materials

Due to its special electrical properties, graphene is a very interesting material for both optical and electrical applications. To integrate graphene in multifunctional microelectronics, large areas of graphene must be deposited on silicon substrates without wrinkles, cracks or impurities. These activities on production-relevant equipment are accompanied by basic research in the surface laboratory in order to understand the elementary processes of graphene growth on germanium layers. The 8" graphene CVD system in the IHP clean room is operated in close cooperation with IHP's Technology department. In this context, IHP acquired great scientific and technological attention with work on graphene integration into Si technology, with the focus on graphene synthesis on 8" based germanium layers to avoid metal contamination in silicon processes. In the context of these efforts, a further joint BMBF project was acquired by the Technology and Materials Research departments with national industrial partners, which aims to evaluate and optimize the graphene layer quality in relation to industrial requirements. The focus is therefore on the development of an 8" silicon wafer compatible technology approach to be able to manufacture graphene components for applications in electronics, photonics and sensor technology in a controlled manner in the pilot line at IHP. Here, solutions must be found for the challenges of graphene integration that are in line with the existing IHP clean room facilities in terms of processing possibilities and risks of contamination. This includes the development of a reliable metrology system for the determination of graphene material



Schematische Darstellung eines zukünftigen neuromorphen Chips
Schematic representation of a future neuromorphic chip

keiten der Prozessierung und Risiken der Kontaminierung im Einklang stehen. Dies beinhaltet den Aufbau einer zuverlässigen Metrologie zur Bestimmung der Graphen-Materialqualität während der Reinraumprozessierung. Wichtige zu erforschende Prozessschritte beinhalten die Synthese, die Strukturierung, die Passivierung sowie die Kontaktierung in einer Art und Weise, die den 2D-Charakter des Materials Graphen sowohl auf struktureller als auch auf elektronischer Ebene bewahren. Diese Aktivitäten im IHP-Reinraum auf industrierelevanten Anlagen werden durch die Grundlagenforschung im neuen Oberflächenlabor begleitet, um mittels atomarer Auflösung durch Rastertunnelmikroskopie und ab-initio-Rechnungen die Elementarprozesse in der CVD-basierten Reaktionskinetik des Graphenwachstums auf Germanium sowohl in Bezug auf (001) als auch (110) Orientierungen des Germaniumsubstrates zu verstehen.

quality during clean room processing. Important process steps to be researched include synthesis, structuring, passivation and contacting in a way that preserves the 2D character of the material graphene both on a structural and electronic level. These activities in the IHP clean room on industrially relevant equipment are accompanied by basic research in the new surface laboratory in order to understand the elementary processes in the CVD-based reaction kinetics of graphene growth on germanium both in terms of (001) and (110) orientations of the germanium substrate by means of atomic resolution by scanning tunneling microscopy and ab initio calculations.

Halbleiter-Optoelektronik

Diese Arbeitsgruppe beschäftigt sich mit der Integration alternativer Halbleitermaterialien (insbesondere der III-V Halbleiter InP) und der Gruppe IV (Germanium, GeSn und SiGeSn) in die Siliziumtechnologie, deren optoelektronische Eigenschaften denen des Siliziums im Bereich der Photonik- und der THz-Anwendungen überlegen sind. Die Kontrolle und Herstellung der Verspannungseigenschaften von Mikro- und Nano-Heterostrukturen zur weiteren Leistungssteigerung des Materials nehmen hierbei eine zentrale Rolle ein. Eine Möglichkeit der Relaxation von Verspannungen ist neben der plastischen Relaxation durch Segregationseffekte gegeben.

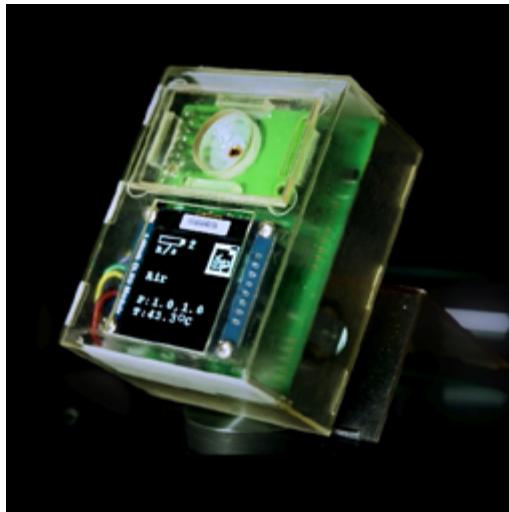
Biosensoren, basierend auf Plasmonenresonanzen, zählen zu den sensibelsten Methoden, um Veränderungen der Ordnung eines einzelnen Biomoleküls nachzuweisen. Diese hohe Sensitivität plasmatischer Nahfeldsensoren beruht auf der extrem hohen lokalen Verstärkung des elektromagnetischen Feldes, das am Ort der zu analysierenden biologischen Substanz wirksam ist. Zukünftige biosensorische Plattformen erfordern die Integration dieser Plasmonen-Sensoren in Halbleiterfertigungsprozesse, um in der Praxis Anwendung zu finden. Vor diesem Hintergrund beruhen die Arbeiten am IHP nicht auf der etablierten Metallplasmonik im optischen Bereich, sondern konzentrieren sich auf die halbleiterbasierte THz-Plasmonik. Die Durchstimmbarkeit der THz-Ge-Antennen in Kombinationen mit „self assembly monolayer“-(SAM) Ansätzen zur Immobilisierung von Biomolekülen wird

Semiconductor Optoelectronics

This research group deals with the integration of alternative semiconductor materials (especially the III-V semiconductor InP) and group IV (Germanium, GeSn and SiGeSn) into silicon technology, whose optoelectronic properties are superior to those of silicon in photonics and THz applications. The control and fabrication of the stress properties of micro- and nano-heterostructures to further increase the performance of the material plays a central role. One possibility for the relaxation of tensions is, besides plastic relaxation, by segregation effects. Biosensors, based on plasmonic resonance, are among the most sensitive methods for detecting changes in the order of a single biomolecule. This high sensitivity of plasmonic near-field sensors is based on the extremely high local amplification of the electromagnetic field, which is effective at the location of the biological substance to be analyzed. Future biosensor platforms require the integration of these plasmonic sensors into semiconductor manufacturing processes in order to find practical applications. Against this background, the work at IHP is not based on the established metal plasmonics in the optical domain, but concentrates on semiconductor-based THz plasmonics. The tunability of THz-Ge antennas in combination with self-assembly monolayer (SAM) approaches for the immobilization of biomolecules is being investigated within the DFG priority program ESSENCE. For applications in the far-infrared range, the focus is on the development of a quantum cascade laser using complex Ge/SiGe heterostructures.

im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogrammes ESSENCE untersucht. Für Anwendungen im Fern-Infrarotbereich liegt der Fokus auf der Entwicklung eines Quantum-Kaskadenlasers mittels komplexen Ge/SiGe-Heterostrukturen. Diese Forschungsarbeiten werden gemeinsam mit Partnern aus England, der Schweiz, Italien und Deutschland im Rahmen eines EU-Projektes durchgeführt. Neben diesen Themen der Grundlagenforschung ist die Gruppe sehr aktiv im Bereich der Industrieforschung.

Aufgrund des spezifischen Funktionsprinzips haben Quantencomputer das Potenzial, Aufgaben zu lösen, für die klassische Computer zu ineffizient arbeiten. Quantencomputer funktionieren prinzipiell anders als herkömmliche digitale Rechner. Im Unterschied zu den Bits von Digitalrechnern sind ihre kleinsten Recheneinheiten, die „Quantum Bits“ (Qubits), in der Lage, sich untereinander nach speziellen Gesetzmäßigkeiten der Quantenmechanik zu verbinden. Aufbauend auf bestehenden Kompetenzen und vorhandener Infrastruktur werden siliziumbasierte Quanten-Bit-Bauelemente entwickelt und damit ein guter Ansatzpunkt für zukünftige Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der Quantentechnologien geschaffen.



Die BiCMOS-Technologie des IHP wurde in den letzten Jahren erfolgreich für die Entwicklung von Permittivitätssensoren eingesetzt. Diese Sensoren sind in der Lage, die Polarisationsfähigkeit eines Materials durch elektrische Felder zu charakterisieren. Messwerte der Permittivität können interpretiert werden, um die dielektrischen und Leitfähigkeitseigenschaften eines Materials darzustellen, die anschließend als eindeutiger Fußabdruck zur Identifizierung dieses Materials verwendet werden können. Diese Technologie hat sich für ein breites Spektrum von industriellen und medizinischen Anwendungen als vorteilhaft erwiesen. Das erfolgreich durchgeführte EXASENS-Projekt veranschaulichte die Anwendung dieser Art von Sensoren für die Charakterisierung von Speichelproben von COPD-Patienten mit unterschiedlichen dielektrischen Eigenschaften im Vergleich zu gesunden Kontrollpersonen als eine Point-of-Care-Gesundheitslösung für die Früherkennung der Krankheit.

IHP's BiCMOS technology has successfully been employed in recent years for the development of permittivity sensors. These sensors are capable of characterizing real and imaginary parts of the permittivity of a material under test. Measurements on real and imaginary parts of permittivity can be interpreted to represent dielectric and conductivity properties of a material, which can subsequently be used as a unique footprint for the identification of that material. This technology has been beneficial for a broad spectrum of industrial and medical applications. The successfully accomplished EXASENS project illustrated the application of this kind of sensors for the characterization of saliva samples of COPD patients, with varying dielectric properties compared to healthy controls, as a point-of-care healthcare solution for the early recognition of the disease.

Adaptive Materialien

Memristive Bauelemente weisen eine variable widerstandsisierte Speicherfunktion auf. Von besonderem Interesse ist diese Art von Bauelementen als schaltbares Element für nichtflüchtige RRAM-Speicher, aber auch für den Bereich der analogen neuronalen Schaltungstechnik. In der neuronalen Schaltungstechnik eröffnen die memristiven Bauelemente die Möglichkeit, die derzeitig bestehenden Hürden digitaler Datenverarbeitung im Bereich kognitiver Aufgabenstellungen, wie z. B. der Mustererkennung, zu überwinden. Im Mittelpunkt der Forschungsstrategie steht die Entwicklung der memristiven Bauelemente für zukünftige elektronische Schaltungen mit starker Orientierung an biologischen Systemen. KI-Lösungen gelten derzeit als vielversprechendster Ansatz zur Beherrschung komplexer Aufgaben wie etwa Bild-, Objekt- und Szenenerkennung oder Regelung dynamischer nichtlinearer Systeme. Sie sind daher von besonderem Interesse hinsichtlich des Einsatzes in autonomen Fahrzeugen sowohl zur Sensor-datenverarbeitung als auch für die Fahrkontrolle. Hinsichtlich der E-Mobilität kommt dieser Aspekt jedoch noch viel stärker zum Tragen:

This research is being carried out together with partners from England, Switzerland, Italy and Germany within the framework of an EU project. Besides these basic research topics, the group is very active in the field of industrial research.

Due to their specific operating principles, quantum computers have the potential to solve tasks for which classical computers operate too inefficiently. Quantum computers have a completely different working principle than conventional digital computers. In contrast to the bits of digital computers, their smallest computing units, the “quantum bits” (qubits), are capable of interconnecting according to special laws of quantum mechanics. Building on existing competencies and infrastructure, silicon-based quantum bit devices are being developed, thus creating a good starting point for future research activities in the field of quantum technologies.

Adaptive Materials

Memristive components have a variable resistance-based memory function. This type of device is of particular interest as a switchable element for non-volatile RRAM memories, but also for the field of analog neural circuitry. In neural circuit technology, memristive components open up the possibility of overcoming the current obstacles of digital data processing in the area of cognitive tasks, such as pattern recognition. The research strategy focuses on the development of memristive components for future electronic circuits with a strong orientation towards biological systems. AI solutions are currently regarded as the most promising approach for mastering complex tasks such as image, object and scene recognition or the control of dynamic, non-linear systems. They are therefore of particular interest with regard to their use in autonomous vehicles both for sensor data processing and for driving control. With regard to e-mobility, however, this aspect is even more important: existing solutions for real-time AI applications have high power consumption and therefore significantly reduce the range of battery-powered vehicles. The BMBF funded



Ein neuartiges, siliziumbasiertes CMOS-integriertes mikrofluidisches Gerät für medizinische Diagnoseanwendungen. Eine Lab-on-a-Chip-Plattform, die einen mikrofluidischen Kanal mit einer leistungsstarken CMOS-Elektronik kombiniert. Die Integration des mikrofluidischen Kanals mit CMOS kann mehrstufige Laborverfahren in einem einzigen Chip skalieren und Mikro- und Nanoliter-Proben in einer vollständig isolierten Weise verarbeiten. Mit Hilfe von kapazitiven Sensoren, die in dieses Gerät eingebettet sind und dielektrophoretische Kraft nutzen, können die biologischen Partikel (wie Zellen und Viren), die durch einen mikrofluidischen Kanal zu den Sensoren transportiert werden, detektiert oder selektiv von den anderen Zellen in der Mischung getrennt werden.

A novel, silicon-based CMOS integrated microfluidic device for medical diagnosis applications. A Lab-on-a-Chip platform that combines a microfluidic channel with high-performance CMOS electronics. The integration of a microfluidic channel with CMOS can scale down multiple-stage laboratory procedures in a single chip and process micro- and nano-liters samples within a fully isolated manner. Using capacitive sensors embedded in this device and employing dielectrophoretic force, the biological particles (such as cells and viruses) transported to the sensors through a microfluidic channel can be detected or selectively separated from the other cells in the mixture.

Existierende Lösungen für Echtzeit-KI-Anwendungen haben eine hohe Leistungsaufnahme und setzen daher die Reichweite batteriegetriebener Fahrzeuge signifikant herab. Das im Jahr 2019 gestartete, durch das BMBF geförderte, Projekt KI-PRO adressiert diese Aspekte auf mehreren Ebenen: Die Kombination der RRAM-Technologie mit um anwendungsspezifische Einheiten erweiterter Prozessorarchitektur, stellt eine leistungsfähige, aber energiesparende Architektur zur Verfügung. Diese Architektur zeigt außerdem spezielle Robustheit gegen auftretende Fehler. Dies wird durch eine umfassende Analyse genutzter KI-Algorithmen ergänzt.

Ziel des Ende 2020 gestarteten Sonderforschungsbereiches (SFB) 1461 ist es, Erkenntnisse über die Informationswege in Nervensystemen auf die technische Informationsverarbeitung zu übertragen, um die Muster- und Spracherkennung oder die Energieeffizienz bestehender Systeme zu verbessern.

Neben der Christian-Albrechts-Universität Kiel als Sprecherhochschule sind als weitere tragende Säulen folgende Partnerinstitutionen im SFB beteiligt: Ruhr-Universität Bochum, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Technische Universität Ilmenau, IHP Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik Kiel, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Technische Hochschule Lübeck sowie das University College Cork, Irland.

Die Forschungspartner sind davon überzeugt, dass das Gehirn ein wertvolles biologisches Vorbild für neue Ansätze der Informationsverarbeitung ist. Einer der Kernbausteine des neuen Technologieansatzes ist das sogenannte memristive Bauelement. Dieses elektronische Speicherbauelement ist in der Lage, sich durch die Änderung seines elektrischen Widerstandes an den Verlauf von elektrischen Signalen zu „erinnern“.

Im Rahmen dieses SFBs ist die Entwicklung umfassender Memristor-Modelle, die das Verhalten von CMOS-integrierten memristiven Bauelementen widerspiegeln, eine der wesentlichen Aufgaben des IHP. Das Projekt soll die funktionale Simulation in der Schaltkreisentwurfsebene realisieren, um die Herstellung von neuromorphen Chips in naher Zukunft zu ermöglichen.

KI-PRO project launched in 2019 addresses these aspects on several levels: The combination of RRAM technology with processor architecture extended by application-specific units provides a powerful but energy-saving architecture. This architecture also shows special robustness against occurring errors. This is supplemented by a comprehensive analysis of used AI algorithms.

The goal of the Collaborative Research Center (SFB) 1461, which started at the end of 2020, is to transfer findings about the information pathways in nervous systems to technical information processing in order to improve pattern and speech recognition or the energy efficiency of existing systems.

In addition to Christian-Albrechts-Universität Kiel as the host university, the following partner institutions are involved in the SFB as further supporting pillars: Ruhr University Bochum, Brandenburg University of Technology Cottbus-Senftenberg, Ilmenau University of Technology, IHP Leibniz Institute for Science and Mathematics Education Kiel, University Medical Center Hamburg-Eppendorf, Lübeck University of Technology, and University College Cork, Ireland. The research partners are convinced that the brain is a valuable biological model for new approaches to information processing. One of the core building blocks of the new technology approach is the so-called memristive device. This electronic memory device is able to “remember” the course of electrical signals by changing its electrical resistance.

Within the scope of this SFB, the development of comprehensive memristor models that reflect the behavior of CMOS-integrated memristive devices is one of the main tasks of the IHP. The project aims to realize functional simulation at the circuit design level to enable the fabrication of neuromorphic chips in the near future.

Technologien für smarte Systeme

Technologies for Smart Systems

Die Entwicklung und Erweiterung hochleistungsfähiger SiGe-BiCMOS-Technologien durch neuartige Bauelemente und Funktionen ist Kernthema der Technologieforschung am IHP. Unter Nutzung verschiedener Integrationstechniken auf Basis einer 200-mm-Si-Technologieplattform wird die Herstellung von smarten Systemen umgesetzt. Das Anwendungsspektrum wird zunehmend breiter, dennoch stehen die Entwicklungen für die drahtlose und Breitbandkommunikation auf Basis von siliziumbasierten elektrischen und optoelektrischen Hochfrequenztechnologien weiter im Fokus. Hinzu kommen Forschungs- und Entwicklungsprojekte für sensorische Anwendungen (z. B. photonischer Sensoren) sowie die Integration memristiver Zellen für Anwendungen im Bereich Künstlicher Intelligenz. Das Forschungsprogramm verfolgt dabei verschiedene Schwerpunkte mit dem Ziel, performante Si-Technologien und deren Überführung in den Forschungsservice, z. B. auf Basis des Multi-Projekt-Wafer (MPW)-Programms des IHP. Die Stabilisierung und Überführung der Technologien in den IHP-Forschungsservice ist somit weiterhin zentrales Ziel und Alleinstellungsmerkmal des IHP. Die Forschungsschwerpunkte sind die Entwicklung von neuartigen Bauelementen und Technologien und deren Integration in Hochfrequenz-SiGe-BiCMOS- und Siliziumphotoniktechnologien. Hierzu werden insbesondere Heterointegrationstechniken genutzt, um zukünftige Technologiegenerationen zu entwickeln. Das vom BMBF geförderte Projekt zum Aufbau der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) war zentraler Schwerpunkt des Forschungsprogramms 2020. Die Forschungsinfrastruktur für neue Prozess- und Technologieentwicklungen wurde wesentlich erweitert und wird zukünftig in zahlreichen Projekten angewendet werden.

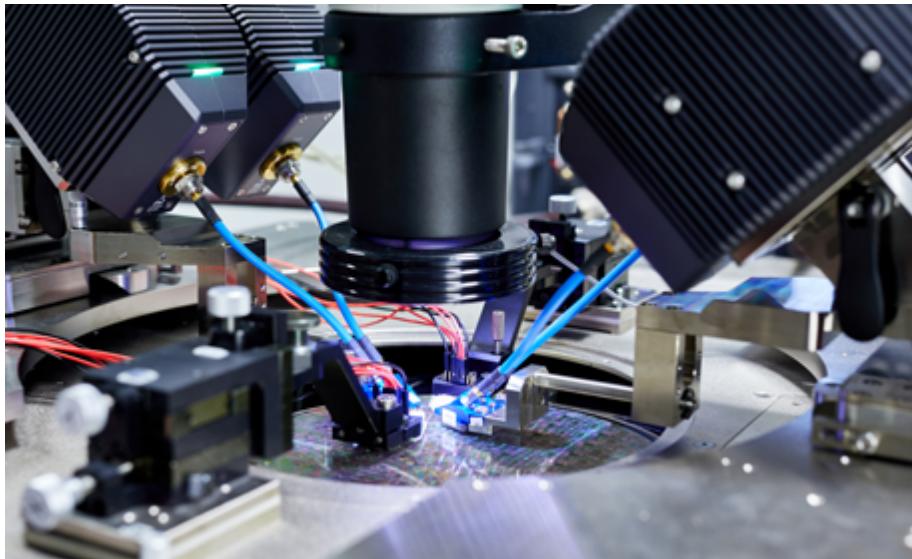
The development and extension of high performance SiGe BiCMOS technologies by novel devices and functions is the core topic of technology research at IHP. Using different integration techniques based on an 8" Si technology platform enables the fabrication of smart systems. The range of applications continuously increases, but the focus remains on developments for wireless and broadband communication based on silicon-based electrical and optoelectrical high-frequency technologies. In addition, research and development projects for sensory applications (e.g. photonic sensors) and the integration of memristive cells for applications in the field of artificial intelligence are also key aspects. The research program pursues various points with the aim of developing high-performance Si technologies and transferring them to the research service, e.g. on the basis of the Multi Project Wafer (MPW) program of the IHP and IHP Solutions. The stabilization and transfer of technologies into the IHP research service thus remains the central goal and unique selling point of the IHP. The main research topics are the development of novel devices and technologies, their integration into high frequency SiGe-BiCMOS and silicon photonics technologies. In particular, heterointegration techniques are used to develop future technology generations. The BMBF-funded project to establish the Research Factory Microelectronics Germany (FMD) was a central focus of the 2020 research program. The research infrastructure for new process and technology developments was significantly expanded and will be applied in numerous projects in the future.

Neuartige Bauelemente und Technologien

Für die Entwicklung von neuartigen Bauelementen und Technologien werden Themen aus verschiedenen Forschungsgruppen genutzt. Alle beschäftigen sich mit der Erforschung neuer Bauelement- und Modulkonzepte für Si-basierte Plattformen sowie Technologieentwicklungen und -erweiterungen auf Basis der SiGe-BiCMOS-Plattformen für spezielle Anwendungsfälle. Im INTENS-Projekt, welches vom Bundesland Brandenburg gefördert wird, werden IHP-SiGe-BiCMOS-Komponenten als integrierbare Elektronik in Naturstoffen, wie z. B. Holz, untersucht. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Evaluierung von Bauelementen und

Emerging Devices and Technologies

For the development of novel devices and technologies, topics from different research groups are used. All of them are engaged in research of new device and module concepts for Si-based platforms as well as technology developments and extensions based on SiGe-BiCMOS platforms for special applications. In the INTENS project, which is funded by the federal state of Brandenburg, IHP-SiGe-BiCMOS components are investigated as integrable electronics in natural materials, such as wood. Another focus is the evaluation of radiation hardness of devices and overall technologies that can be used in harsh environments,



Differenzielle S-Parameter-Messung bis 120 GHz
Differential S-parameter measurements up to 120 GHz

Gesamttechnologien, die in strahlenbelasteten Umgebungen, wie beispielsweise im Bereich der Teilchenphysik, zur Entwicklung spezieller Detektorelektronik genutzt werden können. In Kooperation mit der Europäischen Weltraumorganisation (European Space Agency, ESA) wurde das Projekt zur Evaluierung einer fortschrittlichen 130-nm-SiGe-BiCMOS-Technologie des IHP für Anwendungen im Weltraum fortgeführt. Die entwickelten Technologien können darüber hinaus auch in Bereichen wie Medizintechnik Verwendung finden und kombinieren widerstandsfähige Digital- und HF-Elektronik. Die Erforschung neuer Prozesse, Bauelemente und Technologien, z. B. im Bereich der widerstandsisierten Hafniumdioxidzellen (sogenannte memristive Zellen), wurde auf Basis neuer Prozessmöglichkeiten weitergeführt. Die ALD-Anlage zur Abscheidung der funktionalen Schichten unter hochqualitativen Prozessbedingungen steht nun in verschiedenen Projekten zur Verfügung und unterstützt Anwendungen im Bereich hardwarebasierter Künstlicher Intelligenz (KI) und neuromorphen Computing. Die Projekte laufen in enger Zusammenarbeit mit den Forschungsprogrammen Materialien für die Mikro- und Nanoelektronik und System Architekturen am IHP. Sie sind damit ein gutes Beispiel für die vertikale Zusammenarbeit. Ein weiteres Beispiel dieser guten Zusammenarbeit ist die Integration von 2D-Materialien in 200-mm-Si-Technologien. Der Schwerpunkt liegt hier weiterhin auf der Synthese und Prozessentwicklung von und für zweidimensionale Kohlenstoffschichten (Graphen) auf Germanium in der IHP-Pilotlinie. Im GIMMIK-Projekt werden hier mit nationalen Industriepartnern, wie AIXTRON und Infineon, entsprechende Prozesse entwickelt, um eine Bauelementfertigung auf 200-mm-Waferlevel zu ermöglichen. Ergänzt wurden diese Aktivitäten durch das vom Land geförderte GeTiT-Projekt, welches 2020 gestartet wurde. In Zusammenarbeit mit der TH Wildau forscht das IHP hier an neuen chipletbasierten Transfermethodiken für 2D-Materialien, um diese unter industriellen Bedingungen anzuwenden.

such as in the field of particle physics for the development of special detector electronics. In cooperation with the European Space Agency (ESA), the project for evaluation of an advanced 130 nm SiGe BiCMOS technology from IHP for applications in space was continued. In addition, the developed technologies can also be used in areas such as medical technology, combining digital and RF electronics. Research into new processes, devices and technologies, e.g. in the field of resistance-based hafnium dioxide cells (so-called memristive cells), was continued on the basis of new process options. The ALD system for the deposition of functional layers under high-quality process conditions is now available in various projects and supports applications in the field of hardware-based artificial intelligence (AI) and neuromorphic computing. The projects are running in close collaboration with the research programs Materials for Micro- and Nanoelectronics and System Architectures showing the existing vertical collaboration at IHP. Another example of this good collaboration is the integration of 2D materials into 200 mm Si technologies. The focus here remains on the synthesis and process development of two-dimensional carbon films (graphene) on germanium in the IHP pilot line. In the GIMMIK project, appropriate processes are being developed with national industrial partners, such as AIXTRON and Infineon, to enable device fabrication at the 200 mm wafer level. These activities were complemented by the GeTiT project funded by the local government of Brandenburg, which was launched in 2020. In cooperation with UAS Wildau, IHP investigates new chiplet-based transfer methods for 2D materials in order to apply them under industrial conditions.

Siliziumphotonik

Die Siliziumphotonik erforscht und entwickelt optische und elektrooptische Technologien auf Basis von Gruppe-IV-Elementen, wie Silizium und Germanium. Diese werden für Anwendungen in der Kommunikation und Sensorik genutzt. Das Forschungsgebiet fokussiert sich zunehmend auf die Integration neuer Materialien in bzw. mit einer BiCMOS-Technologie. Dies ist notwendig, da Silizium und Germanium in ihren elektrooptischen Eigenschaften begrenzt sind und so speziell für die Integration von Modulatoren und Lichtquellen auch alternative Wege erforscht werden müssen. Aktuell wird dies in enger Zusammenarbeit mit Partnern umgesetzt. Um zukünftig diese Thematiken innerhalb des IHP stärker zu forcieren, wurde 2020 begonnen, die Prozessbasis sukzessiv zu erweitern. Wie erwähnt, sind speziell für die Modulation und Lichterzeugung die elektrooptischen Eigenschaften von Elementen der Gruppe IV (Si & Ge) beschränkt. Hybride Integrationstechniken für alternative Materialien gewinnen daher zunehmend an Bedeutung. Diese hybriden Integrationstechniken werden in verschiedenen Forschungsprojekten, wie dem vom BMBF geförderten Projekt PEARLS und dem von der EU geförderten Projekt CALADAN, bearbeitet. Weitere alternative Materialintegrationen in eine CMOS-Plattform auf Wafer-ebene wird im Projekt plaCMOS erforscht. Hier wird die CMOS-Integration von Photonik, Plasmonik und Elektronik für die Massenfertigung von 200-Gbit/s-NRZ-Transceivern für eine kostengünstige Terabit-Konnektivität in Rechenzentren angestrebt. Zentrales Ziel bleibt weiterhin die Entwicklung von photonischen Bauelementen sowie die Integration von photonischen Modulen innerhalb bzw. mit den SiGe-BiCMOS-Basistechnologien. Die hohe Komplexität der SOI-Technologien (Silicon On Insulator) ist hierbei immer noch eine besondere Herausforderung. Dennoch konnte 2020 wiederholt ein Weltrekord für die Bandbreite von Ge-basierten Photodioden aufgestellt und auf der renommierten Konferenz IEDM 2020 präsentiert werden.

Die Co-Integration von Silizium-Organik-Hybrid-Bauelementen ist ein weiterer Schwerpunkt der Arbeiten. Hierfür wurden spezielle Integrationstechniken entwickelt, die eine rückseitige Integration von organischen Materialien und damit eine räumliche Trennung zur elektrooptischen Umgebung erlauben. Basierend auf diesem Ansatz wurden neue Projekte für sensorische Anwendungen (EU-BioPIC) initiiert und weitere sind in Vorbereitung.

Heterointegration von Bauelementen und Technologien

Die IHP-Technologien werden zukünftig verstärkt auf Ansätze aus dem großen Bereich der Heterointegration setzen, um die Integration neuer Funktionalitäten mit den vorhandenen SiGe-Basistechnologien zu ermöglichen. Dabei werden die Entwicklungen dieses Forschungsgebietes zunehmend dafür genutzt, die inhaltlichen Aspekte anderer Forschungsthemen mit der Technologie zu verbinden. Sie bilden damit eine wichtige Grundlage für die Entwicklung zukünftiger Basistechnologien. Ein wesentlicher Komplex sind hier die Entwicklungen im Bereich des sogenannten Layer-Transfers. Hierbei werden beispielsweise auf 200 mm prozessierte Si- oder SiGe-Layer mit speziell vorprozessierten Zielwafern verbunden und weiter verarbeitet. Zukünftig sollen diese Techniken in neuartigen Integrationsansätzen Verwendung finden und

Silicon Photonics

Silicon photonics focus on research and development of optical and electro-optical technologies based on Group IV elements such as silicon and germanium. These will be used for applications in communications and sensor technology. The research area is increasingly focused on the integration of new materials in or with a BiCMOS technology. This is necessary because silicon and germanium are limited in their electro-optical properties and alternative ways have to be explored especially for the integration of on-chip modulators and light sources. Currently, this is being implemented in close cooperation with partners. In order to further accelerate these topics within the IHP in the future, the process basis was successively expanded in 2020. As mentioned, especially for modulation and light generation the electro-optical properties of group IV elements (Si & Ge) are limited. Hybrid integration techniques for alternative materials are therefore becoming increasingly important. These hybrid integration techniques are being addressed in various research projects, such as the BMBF-funded PEARLS project and the EU-funded CALADAN project. Other alternative material integrations into a CMOS platform at wafer level are being researched in the plaCMOS projects. Here, CMOS integration of photonics, plasmonics and electronics is targeted for mass production of 200 Gbit/s data center transceivers for low-cost terabit connectivity in data centers. The central goal is the development of photonic devices and the integration of photonic modules with SiGe BiCMOS basic technologies. The high complexity of SOI (Silicon On Insulator) technologies is still a particular challenge here. Nevertheless, a world record for the bandwidth of Ge-based photodetectors was demonstrated again in 2020 and presented at the renowned IEDM 2020 conference.

The co-integration of silicon organic hybrid devices is another focus of the work. For this purpose, special integration techniques have been developed that allow backside integration of organic materials and thus spatial separation from the electro-optical environment. Based on this approach, new projects for sensory applications (EU-BioPIC) have been initiated and others are in preparation.

Heterointegration of Devices and Technologies

IHP technologies will increasingly rely on approaches from the large field of heterointegration to enable the integration of new functionalities with existing SiGe basic technologies. In this context, developments in this research area will be used to link the content aspects of other research topics in the technology, thus forming an important basis for the development of future enabling technologies. An essential complex here is the development in the area of the so-called layer transfer. Here, for example, Si or SiGe layers processed to 200 mm are connected to specially preprocessed target wafers and further processed. In the future, these techniques will be used in novel integration approaches and extended by new process technologies such as a transfer printing process for chiplet layer transfer. In connection



Wafer-Bonding-Pilotlinie für Wafer-Level-Packaging und heterogene Integration
Wafer bonding pilot line for wafer-level packaging and heterogeneous integration

durch neue Prozesstechniken, wie einem Transferdruckverfahren für Chiplet-Layer-Transfer, erweitert werden. Im Zusammenhang mit diesen Fähigkeiten, wird im EU-Projekt Nanopoly an der Herstellung Si-basierter Metamateriallinsen für THz-Strahlung geforscht. Ein weiteres Themengebiet sind Prozessentwicklungen auf Basis von Metal-zu-Metal-Verbindungen und hier insbesondere Aluminium-zu-Aluminium-Ansätze. In 2020 wurde dafür eine neue Hochvakuum-Bonding-Anlage in Betrieb genommen, um zukünftig thermisch und elektrisch leitfähige vertikale Verbindungen zwischen verschiedenen Wafern zu realisieren. Ergänzt werden diese Techniken durch Prozesse für temporäre und permanente Waferverbindungen, die durch die Installation neuer Anlagen zum gezielten Abdünnen und spezieller Kantenbearbeitungen, unter anderem für die Herstellung strukturierter Metalllagen auf der Waferrückseite, genutzt werden können. Das DFG-Projekt BendIT erforscht unter Nutzung dieser Prozesse die Auswirkung der mechanischen Eigenschaften und Grenzen, die sich bei extrem abgedünnten (< 50 µm) SiGe-BiCMOS-Wafern und den darin enthaltenen Bauelementen ergeben. Ein weiterer Schwerpunkt sind kooperative Projekte, die sich der Heterointegration von SiGe-BiCMOS-Komponenten mit anderen Technologien widmen. Das EU-Projekt GaNonCMOS erforscht hierzu die Verbindung der SiGe-Technologie mit GaN-Modulen. Die Entwicklung von anwendbaren Co-Designplattformen ist hierbei zentrales Element und konnte bereits erfolgreich demonstriert werden, um neuartige hybride Technologieplattformen für HF-Anwendungen zu unterstützen. Weitere Prozessfähigkeiten im Bereich Wafer-Bonding sowie dem gezielten Abdünnen werden durch neu geplante Investitionen in 2021 ausgebaut.

with these capabilities, research is being conducted in the EU project Nanopoly on the production of Si-based metamaterial lenses for THz radiation. Another topic area is process developments based on metal-to-metal compounds and here in particular aluminum-to-aluminum approaches. In 2020, a new high-vacuum bonding facility was installed for this purpose in order to realize thermally and electrically conductive vertical connections between different wafers in the future. These techniques are complemented by processes for temporary and permanent wafer interconnections, which can be used by installing new equipment for targeted thinning and special edge processing, among other things, for the production of structured metal layers on the wafer backside. Using these processes, the DFG project BendIT is investigating the impact of mechanical properties and limits that arise with extremely thinned (< 50 µm) SiGe BiCMOS wafers and the devices. Another focus are cooperative projects dedicated to heterointegration of SiGe BiCMOS components with other technologies. For this purpose, the EU project GaNonCMOS explores the interconnection of SiGe technology with GaN modules. The development of applicable co-design platforms is a central element here and has already been successfully demonstrated to support novel hybrid technology platforms for RF applications. Further process capabilities in wafer bonding as well as targeted thinning will be expanded through newly planned investments in 2021.

IHP-Technologien für den Forschungsservice

Alle F&E-Aktivitäten aus den unterschiedlichen Forschergruppen haben weiterhin ein wesentliches gemeinsames Ziel, welches ein Alleinstellungsmerkmal des IHP ist. Dieses Ziel ist es, ausgewählte Ergebnisse des Forschungsprogramms Technologien für smarte Systeme in den IHP-Forschungsservice zu überführen. Diese Technologien werden dann regelmäßig internen und externen Partnern für Schaltkreisentwicklungen im Rahmen von Multi-Projekt-Wafer (MPW)-Abläufen und in Zusammenarbeit mit der IHP Solutions zur Verfügung gestellt. Dieser Ansatz wurde durch ein konkretes Angebot für Einzelprozesse und Modulentwicklungen komplementiert. Aktuelle Schwerpunkte sind derzeit die gezielte Stabilisierung der Elektronisch-Photonischen-IC (EPIC)-Technologien sowie Weiterentwicklungen der 130-nm-SiGe-Bi-CMOS-Basistechnologie. Dabei wird unter anderem die Entwicklung einer neuen Generation von THz-SiGe-BiCMOS-Technologien vorangetrieben, die unter der Bezeichnung SG13G3 durchgeführt wird. Die Vorarbeiten hierzu wurden im EU-Projekt TARANTO untersucht. Erste „Proof-of-concept“-IC-Entwicklungen werden 2021 realisiert. Darüber hinaus werden in begleitenden Projekten, wie beispielsweise in DFG-Projekten mit der TU Dresden, Aspekte der Zuverlässigkeit, Stabilität und die IC-Entwicklungen dieser THz-HBTs untersucht.

IHP Technologies for the Research Service

All R&D activities from the different research groups still have one essential goal in common, which is a unique selling point of the IHP. This goal is to transfer selected results of the research program Technologies for Smart Systems to the IHP research service. These technologies are then regularly made available to internal and external partners for circuit developments in the context of multi-project wafer (MPW) workflows and in collaboration with IHP-Solutions. This approach has been complemented by a specific offer for single processes and module developments. Current focus areas are the targeted stabilization of Electronic Photonic IC (EPIC) technologies and further developments of the 130 nm SiGe BiCMOS basic technology. Among other things, the development of a new generation of THz SiGe BiCMOS technologies is being driven forward under the designation SG13G3. The preliminary work for this was investigated in the EU project TARANTO. First “proof-of-concept” IC developments will be realized in 2021. In addition, aspects of reliability, stability and the IC developments of these THz-HBTs are being investigated in accompanying projects, such as DFG projects with TU Dresden.

Hochfrequenz-Schaltungen

RF Circuits

Im Forschungsprogramm Hochfrequenz-Schaltungen werden integrierte Mikrowellen- und Millimeterwellen-Schaltungen, Breitband-Mischsignal-Schaltungen sowie Schaltungen mit hoher Energieeffizienz für die Kommunikation und die Sensorik entworfen und realisiert.

In the research program RF Circuits integrated microwave- and millimeter-wave circuits, broadband mixed-signal circuits, and circuits with high energy efficiency for communication and sensing applications are designed and realized.

Integrierte Millimeterwellen-Schaltungen

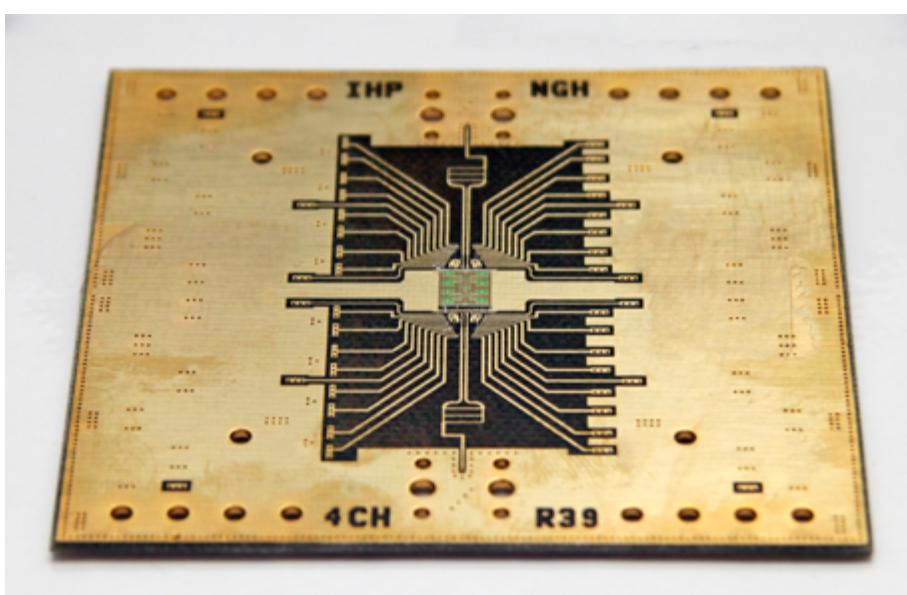
Innerhalb des Forschungsprogramms Hochfrequenz-Schaltungen ist die Realisierung von integrierten Millimeterwellen-Schaltungen ein wichtiger Arbeitsschwerpunkt. Dazu zählen sowohl Sende- und Empfangsschaltungen als auch Frequenz-Synthesizer für Systeme mit Arbeitsfrequenzen bis zu 720 GHz. Die Forschungs- und Entwicklungsaufgaben konzentrieren sich auf den Entwurf von Schaltungen für die IHP-eigenen SiGe-BiCMOS-Prozesse. In der Zukunft sollen Radarsensoren in robusten und hochauflösenden Systemen eingesetzt werden, die neuartige, innovative Anwendungen im Bereich der kontaktlosen Sensorik und mehrdimensionalen Umfelderfassung mit hohem Miniaturisierungsgrad ermöglichen. Um vielfältige Anwendungsfälle vom einfachen Radarsensor bis hin zu Multiple-In-Multiple-Out (MIMO)-Systemen mit den ähnlichen Front-End-ICs bedienen zu können, wurde eine Plattform mit kaskadierbaren Radar-ICs entwickelt. Die Palette der entwickelten Radartransceiver deckt Arbeitsfrequenzen von 60 - 256 GHz ab.

Ab Frequenzen von 120 GHz ist die Integration von On-Chip-Antennen (hier gefaltete Dipol-Antennen) möglich, was bei geeigneter Anordnung sowohl Distanz- als auch Winkelmessungen in sehr

Integrated Millimeter-Wave Circuits

One important key activity within the program RF Circuits is the realization of integrated millimeter-wave circuits. In particular, transmit and receive circuits as well as frequency synthesizers with operating frequencies up to 720 GHz are in the focus of the research and development activities, all based on the IHP in-house SiGe BiCMOS processes. In the future, radar sensors shall enable robust and high-resolution systems as well as novel innovative applications in the area of contactless sensing and multidimensional surround scanning with a high level of miniaturization. In order to provide transceiver frontend circuits for many applications ranging from single radar sensors up to multiple-input multiple-output (MIMO) systems, a platform with cascadable radar-ICs was developed. The portfolio contains transceiver ICs targeting operation frequencies from 60 - 256 GHz.

Starting at frequencies of 120 GHz on-chip antennas (typically folded dipole antennas) can be integrated allowing very compact and cost effective solutions for distance and angle measurements. New antenna concepts with dedicated radiation patterns will be developed for on-chip integration. Special modulation techniques together with the corresponding baseband signal processing allow spatial resolution



Skalierbares 120-GHz-4-Kanal-Radar-System-on-Chip
Scalable 120 GHz 4-Channel Radar System-on-Chip

kompakter und auch kostengünstiger Form möglich macht. Neue Antennenkonzepte mit veränderten Abstrahlcharakteristiken für die On-Chip-Integration werden entwickelt. Spezielle Modulationstechniken und die dazugehörige Basisband-Signalverarbeitung erlauben eine Ortsauflösung im Mikrometerbereich, was neue Anwendungsbereiche in der Medizintechnik und bei der Mensch-Maschine-Interaktion erschließt. Mit der Steigerung der Arbeitsfrequenzen in den THz-Bereich hinein ist es zunehmend möglich, Schaltungen für Anwendungen im Bereich der Spektroskopie und der Sensorik zur Stoffanalyse bereitzustellen. Auch in Zukunft wird das Ziel verfolgt, Mikrofluidik, Nahfeldsensoren und Ausleseelektronik auf einem Chip zu integrieren, um so höchstkomakte und preiswerte Lab-on-Chip-Lösungen zu ermöglichen.

Ein Schwerpunkt ist die Entwicklung von integrierten Schaltungen für die Analyse des menschlichen Atems mittels Gasspektroskopie bei Frequenzen von 220 - 270 GHz. Durch die On-Chip-Integration von Bow-Tie-Antennen in Kombination mit Si-Linsen zur Strahlfokussierung konnte eine signifikante Verbesserung der Sensitivität des Analysesystems erreicht werden. Aktuell wird an der Einführung eines Bandes bei der doppelten Frequenz (440 - 540 GHz) in das System gearbeitet, was die Anwendungsvielfalt der Gasanalyse erneut signifikant erweitern wird. Erste gemessene Sende- und Empfänger-Prototypen zeigen eine sehr gute Ausgangsleistung und Rauschzahlen, die dem heutigen Stand der Technik entsprechen.

Auf dem Gebiet der Nahfeldsensorik für biomedizinische Anwendungen hat der oszillatortbasierte dielektrische Sensor, der mit dem „CATRENE Innovation Award 2019“ ausgezeichnet wurde, das Interesse von Industriepartnern geweckt. Hier wurden weitere Entwicklungen zur Kommerzialisierung der Lösung begonnen.

Breitbandige elektronische Mixed-Signal-Schaltungen

Der Schwerpunkt dieses Teils des Forschungsprogrammes adressiert breitbandige elektronische Mischsignalschaltungen als entscheidende Komponenten für die glasfasergestützte und drahtlose Breitbandkommunikation. Hier werden neue Konzepte und elektronische Schaltkreise für höchste Datenraten und damit extrem große Signalbandbreiten entwickelt. Die innovative Kombination von Silizium-Photonik mit der Treiber- bzw. der Verstärkerlektronik auf einem Chip erlaubt die kostengünstige Vollintegration komplexer Systeme in Silizium-Technologie und führt zu einer signifikanten Reduktion parasitärer Elemente an der elektrooptischen Schnittstelle. Hierdurch können neuartige Anwendungen der optischen Verbindungstechnik, z. B. in Datenzentren, bedient werden. Um den permanenten Bedarf nach der Verarbeitung immer größerer Datenn Mengen erfüllen zu können, werden senderseitig Treiberschaltungen und empfängerseitig Transimpedanz-Verstärker mit immer größerer Signalbandbreite und Linearität entwickelt. Das längerfristige Ziel ist, Datenraten von bis zu 400 Gbit/s pro Faser und Wellenlänge zu ermöglichen, womit dann zukünftig Systemübertragungsraten von 1 Tbit/s und mehr erzielbar sind. Die ultrakomakte Integration mit optischen Komponenten (beispielsweise Laser) ist ein weiteres Forschungsziel. Hier wurde zum Beispiel ein differentieller 120-Gbit/s-Transimpedanz-Verstärker entwickelt.

Die Entwicklung von Funk-Frontend-Lösungen für die drahtlose Datenübertragung mit extrem hohen Datenraten (bis zu 100 Gbit/s)

in the micrometer range, which may cover new application fields in medical technologies or in human-machine-interaction interfaces. The continuing technical exploration of the THz regime in circuit design increasingly enables applications in the area of spectroscopy and sensing for material characterization. The activities are still focused on the on-chip integration of micro-fluidics, nearfield sensors and readout electronics aiming for highly compact and cost effective lab-on-chip solutions.

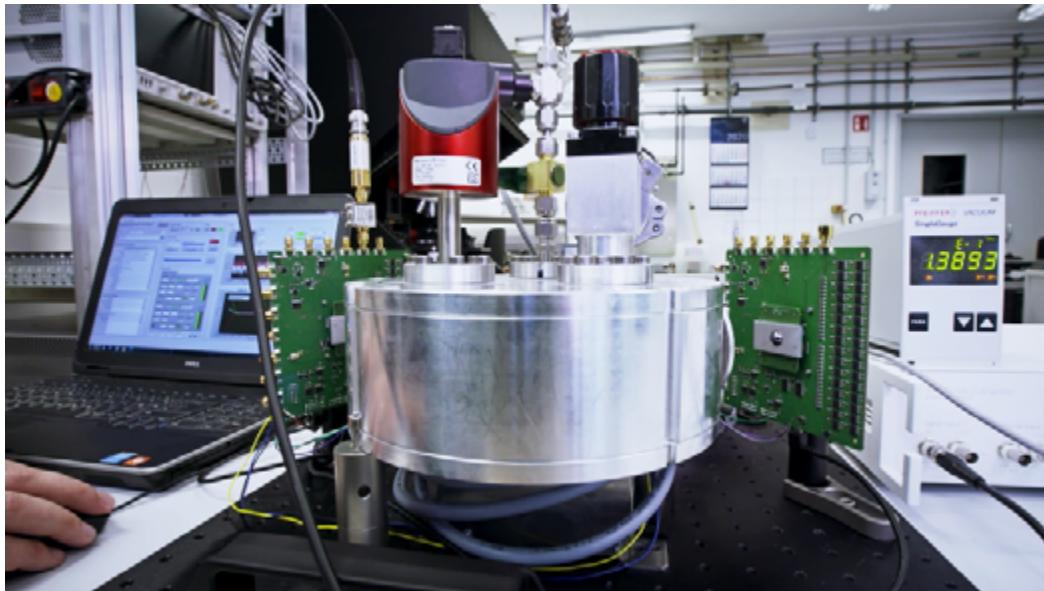
One on-going activity is the development of integrated circuits for analysis of the human breath by gas spectroscopy at frequencies of 220 - 270 GHz. Recently, bow-tie-antennas were integrated on-chip, which provide a considerable improvement of focusing the beam in combination with Si lenses at the backside of the IC. The overall sensitivity of the system was significantly improved. Currently, the introduction of a second band at twice the frequency (440 - 540 GHz) is under development, which will further increase the variety of applications. The first measured prototypes of the 440 - 550 GHz transmitter and receiver circuits showed state-of-the-art output power and noise figures.

In the area of nearfield sensors for biomedical applications, our dielectric oscillator-based sensor, which won the CATRENE Innovation Award in 2019, captured the interest of industrial partners and further developments for its commercialization started.

Broadband Electronic Mixed-Signal Circuits

The key activity within this part of the research program addresses broadband electronic mixed-signal circuits as important components for fiber-optical and wireless broadband communication. Here, novel concepts and electronic circuits for very high data rates will be developed requiring extremely high signal bandwidth. The innovative combination of Si-Photonic with driver and amplifier electronics on one chip allows the cost effective integration of complex systems in Si-technology and leads to a significant reduction of parasitic elements at the optic-electrical interface. Hereby, novel applications of optical connections, for instance in data centers, become feasible. New driver circuits on the transmitter side and transimpedance amplifiers on the receiver side with enhanced signal bandwidth and linearity are developed in order to satisfy the permanent demand on increasing data throughput. The long-term goal is to reach data rates of 400 Gbit/s per fiber and wavelength and an overall system data throughput above 1 Tbit/s. The ultra-compact integration with optical components like laser is another research goal. Here, one example is the development of a differential 120 Gbit/s trans-impedance amplifier.

The development of radio frontends for wireless data transmission providing extremely high data rates (up to 100 Gbit/s) has shown significant progress. Typical applications for such circuits lie in the field of mobile communication (5G and beyond), satellite communication and short range communication. Considerable progress has been



Ein Sensor zur Analyse des menschlichen Atems unter Verwendung von TX/RX in SiGe-BiCMOS, der auf der Molekularabsorptionspektroskopie bei Frequenzen von 220 - 270 GHz basiert.

A sensor for human breath analysis using TX/RX in SiGe BiCMOS, which is based on molecular absorption spectroscopy at frequencies 220 – 270 GHz.

hat signifikante Fortschritte gemacht. Typische Anwendungen liegen im Feld der Mobilfunkkommunikation (aktuelle Generation 5G und zukünftige Generationen), Satellitenkommunikation und Nahbereichsanwendungen. Erhebliche Fortschritte wurden bei Sende- und Empfangsschaltungen für die Frequenzbereiche um 26,5 - 29,5 GHz, 50 - 75 GHz, 110 - 170 GHz und 225 - 255 GHz erzielt. In einer Labor-demonstration wurden drahtlos Daten mit einer Rate von mehr als 25 Gbit/s mittels QPSK-Modulation und mehr als 100 Gbit/s mittels QAM16-Modulation übertragen. Weiterführende Forschungsaktivitäten konzentrieren sich auf die Erhöhung der Trägerfrequenzen auf 300 GHz.

shown for transceivers at operation frequencies of 26.5 - 29.5 GHz, 50 - 75 GHz, 110 - 170 GHz, and 225 - 255 GHz. Recent laboratory demonstrations prove wireless data transmissions with more than 25 Gbit/s using QPSK modulation and more than 100 Gbit/s using QAM16 modulation. Ongoing research activities in frontend design will focus on carrier frequencies around 300 GHz.

Energieeffiziente und robuste Analog- und Mixed-Signal-Schaltungen

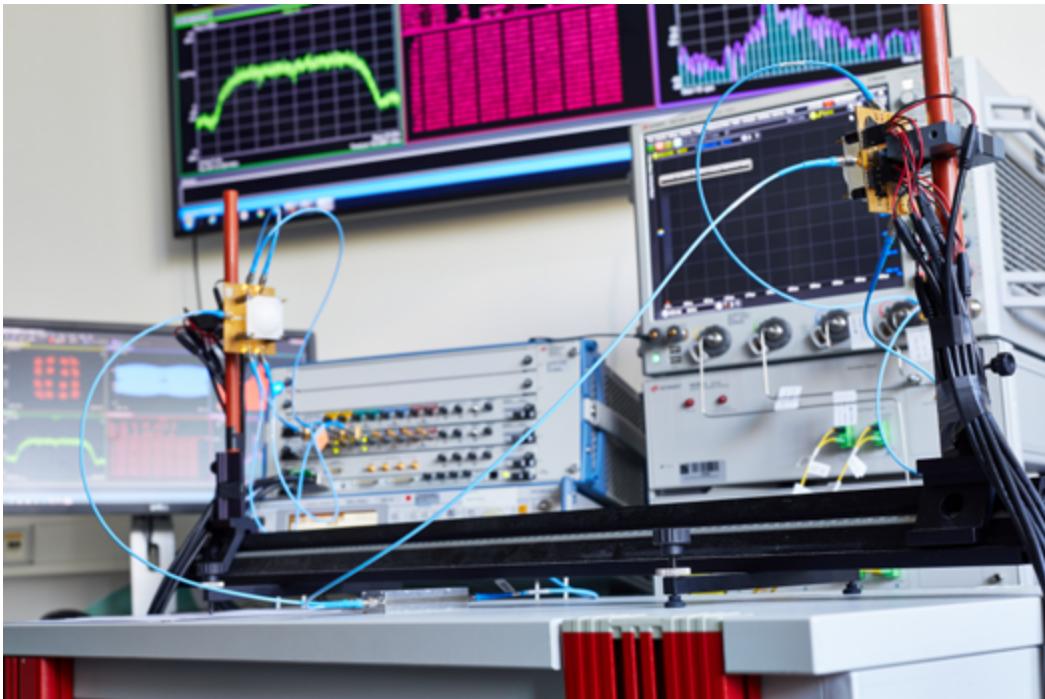
Die Energieeffizienz von HF-Sende- und Empfangsschaltungen bekommt vor allem bei mobilen elektronischen Anwendungen im Batteriebetrieb eine immer höhere Bedeutung. Dies betrifft z. B. zukünftige drahtlose Sensorknoten und -netzwerke im Internet der Dinge, welche Anwendungen in allen Bereichen des Lebens von der Industrie 4.0-Vision bis zur körpernahen Überwachung von Vitalitätsparametern ermöglichen. In diesem Arbeitsschwerpunkt des Forschungsprogramms HF-Schaltkreise werden hierfür energieeffiziente HF-Schaltungskonzepte und deren Anwendung in der Kommunikation, Lokalisierung und Sensorik erforscht. Die Herausforderungen reichen von robusten und strahlungsharten, effizienten Design-Methoden bis hin zu einem intelligenten, systemspezifischen Power-Management.

Neben der Datenübertragung spielt auch die Abstands- oder Positionsbestimmung in vielen Wireless-Netzwerken eine zunehmend wichtigere Rolle. Impulse-Radio-UWB-Schaltungen erlauben in diesem Feld eine besonders gute Ortsauflösung bei hohen Aktualisierungs-raten, wodurch sie hier wieder an Bedeutung gewinnen. Aktuell stehen Funklösungen nach dem zukünftigen Standard IEEE 802.15.4z im Fokus des Interesses. In enger Kooperation von System- und Schaltungsent-wurf wurde eine 3D-Lokalisierungslösung mit Zentimeter-Genauigkeit entwickelt und demonstriert. Aktuell werden Anwendungsprojekte

Energy-Efficient Robust Analog and Mixed-Signal Circuits

Energy efficiency of radio transmit and receive circuits becomes more and more important, especially in mobile electronic applications powered by battery. For instance, this affects future wireless sensor nodes and networks in the Internet of Things, which enables applications in all areas of life from industrial automation (Industry 4.0) all the way to body centric vitality monitoring concepts. In this key activity of the research program radio frequency (RF) circuits, energy-efficient RF circuit techniques, and their application in communication, localization, and sensing are explored. The related challenges range from robust, resilient and radiation-hard energy-efficient design methodologies to intelligent system-specific power management solutions.

Besides data transmission the determination of distances and positions of members in wireless networks become more and more important. In this field, Impulse-Radio UWB circuits allow very good spatial precision while having high update rates, which put them back into consideration again. Today, radio circuits following the standard IEEE 802.15.4z are of interest. In tight collaboration of the system and circuit design a 3D-localization solution with centimeter accuracy was developed and demonstrated. Currently, application projects target the deployment of this technique for the navigation of autonomous



Ein am IHP entwickelter Demonstrator für die drahtlose Datenübertragung mit 240 GHz. Der Demonstrator erreichte einen drahtlosen Datendurchsatz von 100 Gbit/s.
A 240 Gbit/s wireless data transmission demonstrator developed at IHP. The demonstrator achieved 100 Gbps wireless data throughput.

verfolgt, in denen die Technik zur Navigation von autonom fahrenden und fliegenden Vehikeln eingesetzt werden soll. Wesentliche Fortschritte konnten bei der Entwicklung eines speziellen Kommunikationsprotokolls und bei der Ansteuerung der UWB-Funkknoten zur Optimierung der 3D-Lokalisierung erzielt werden.

Die Entwicklung von Wake-Up-Empfängern wird weiter vorangetrieben. Solche Empfänger können bei der Verbesserung der Energieeffizienz in drahtlosen Sensornetzwerken eine wichtige Rolle spielen. Derzeit wird ein Ansatz eines speziellen SAW-Resonators verfolgt.

driving or flying vehicles. Substantial progress was achieved for the development of a special communication protocol and the control of the UWB radio node, which improves the 3D localization procedure.

The development of wake-up receivers continues. Such receivers can play an important role in improving the energy efficiency of wireless sensor networks. Currently, one ongoing project follows an approach of using a special SAW resonator.

Kommunikations- und eingebettete Systemarchitekturen

Communication and Embedded System Architectures

Dieses Forschungsprogramm und die entsprechende Abteilung wurden im April 2020 gegründet. Die zugrundeliegenden Forschungsaktivitäten wurden jedoch bereits seit mehreren Jahren in der Abteilung System Design durchgeführt. Derzeit ist die Abteilung Systemarchitekturen in drei Forschungsteams organisiert, die sich mit drahtlosen Breitbandkommunikationssystemen, Entwurfs- und Testmethoden sowie fehlertolerantem Computing befassen. Zwei der drei Arbeitsgruppen betreiben parallel Joint Labs mit Universitäten aus Brandenburg und Berlin. In 2020 wurde von den Wissenschaftlern der Arbeitsgruppen an insgesamt 33 extern finanzierten Projekten gearbeitet. Die Drittmitfinanzierung lag bei etwa 76 Prozent.

This research program and the corresponding department were established in April 2020. However, the underlying research activities have been carried out in the System Design department for several years. Currently, the System Architectures Department is organized into three research teams dealing with wireless broadband communication systems, design and test methods, and fault-tolerant computing. Two of the three working groups run joint labs with universities from Brandenburg and Berlin. In 2020, the scientists in the working groups worked on a total of 33 externally funded projects. Third-party funding was around 76 percent.

Drahtlose Breitbandkommunikation

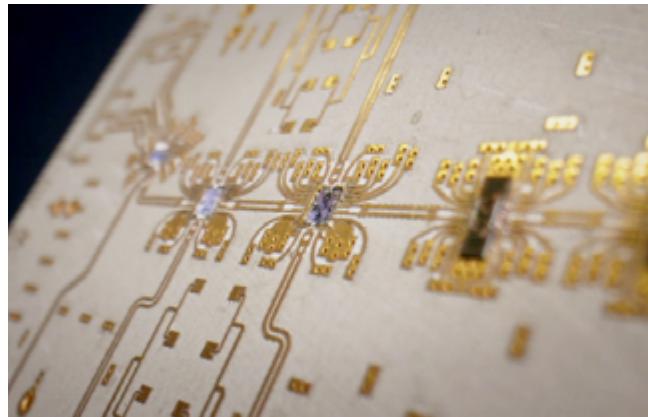
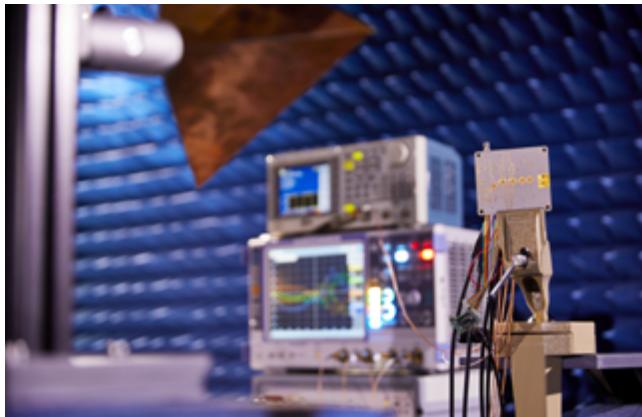
Zur Abdeckung des steigenden Bedarfs an Datenraten sind die Erhöhung der spektralen Übertragungseffizienz und die Nutzung weiterer Spektralbereiche, z. B. im Millimeterwellen-Band und im D-Band (~ 140 GHz), notwendig. Insbesondere sind Strahlformung und MIMO-Techniken im Fokus der Forschung und Entwicklung. Strahlformung (Beamforming) erlaubt größere Reichweiten für drahtlose Kommunikation und die Verringerung von Interferenz- und Abschattungseffekten. Durch die geringe Wellenlänge kann die Größe des benötigten Antennen-Arrays klein gehalten werden. Weiterhin wird die Belastung der Umwelt durch elektromagnetische Wellen verringert und die Energieeffizienz steigt. Diese Techniken werden unter anderem zur Realisierung von 5G-Netzen benötigt und eingesetzt. Als zweites großes Projekt, vom IHP im Rahmen der H2020-5GPPP-Initiative koordiniert, wurde 5G-PICTURE im Mai 2020 erfolgreich abgeschlossen. In diesem Projekt wurden vom IHP mm-Wellen-Links für schnelle und latenzarme Backhaul-Netze entwickelt und eingesetzt. Weiterhin sind Netzwerk-Virtualisierung, die Integration von Rechenressourcen sowie Hardware-Programmierbarkeit von Netzwerkkomponenten wichtige Aspekte. Im März 2020 wurde dazu in Bristol (UK) eine große abschließende Demonstration der entwickelten 5G-Technik für Smart-City-Anwendungen und für den Einsatz in einem Stadion erfolgreich gezeigt. Im abschließenden Projektreview im Oktober 2020 wurde 5G-PICTURE ausgesprochen positiv bewertet.

Anfang 2020 wurde im 5G-PPP-Phase-IIIb-Projekt mit dem Akronym 5G-VICTORI die Spezifikation der geplanten Demonstratoren begonnen. Ein wesentliches Ziel des IHP in diesem Projekt ist die Erweiterung des Berliner 5G-Testbed durch Integration des Berliner Hauptbahnhofes und Versorgung von Reisenden sowie Zügen. Zwei weitere H2020-EU-Projekte, 5G-CLARITY und 5G-COMPLETE, die in der H2020-5G-PPP-Initiative in der Kategorie „beyond 5G“ angesiedelt sind, wurden Ende 2019 begonnen. Vor Kurzem wurde des Weiteren

Wireless Broadband Communication

To cover the increasing demand for data rates, the increase in the spectral transmission efficiency and the use of higher spectral ranges, e.g. in the millimetre wave band and in the D band (~ 140 GHz), is necessary. In particular, beam-forming and MIMO techniques are the focus of our research and development activities. Beamforming allows greater ranges for wireless communication and the reduction of interference and shadowing effects. Due to the short wavelength, the size of the antenna array required can be kept small. Furthermore, the environmental pollution by electromagnetic waves is reduced and the energy efficiency increases. These technologies are required and used, among other things, to implement 5G networks. As the second large project, coordinated by the IHP as part of the H2020-5GPPP initiative, 5G-PICTURE was successfully completed in May 2020. In this project, mm-wave links for fast and low-latency backhaul networks were developed and used by the IHP. Network virtualization, the integration of computing resources and hardware programmability of network components are also important aspects. In March 2020, a large final demonstration of the developed 5G technology for smart city applications and for use in a stadium was successfully shown in Bristol (UK). In the final project review in October 2020, 5G-PICTURE was rated extremely positively.

At the beginning of 2020, the specification of the planned demonstrators began in the 5G-PPP phase IIIb project with the acronym 5G-VICTORI. One of the main goals of the IHP in this project is to expand the 5G test bed in Berlin by integrating Berlin's main train station and supplying passengers and trains. Two further H2020 EU projects, 5G-CLARITY and 5G-COMPLETE, which are part of the H2020-5G-PPP initiative in the “beyond 5G” category, started at the end of 2019. Recently, a BMBF-funded project on communication in the D-band with the acronym 6GKom was started. Here, together with



Skalierbares 80-GHz-Radar: On-Board-Antenne als Corporate-FED Patch Array; Genauigkeit von weniger als 100 µm mit einer Reichweite bis 30 m
Scalable 80 GHz radar: On-board antenna as a corporate FED patch array; Accuracy of less than 100 µm with range up to 30 m

ein BMBF gefördertes Projekt zur Kommunikation im D-Band mit dem Akronym 6GKOM begonnen. Hier werden gemeinsam mit dem Fraunhofer IZM und weiteren Partnern skalierbare D-Band-Module für extrem hohe Datenraten entwickelt und prototypisch realisiert.

Im Rahmen des EU-Projektes WORTECS wurde vom IHP mit einem vollintegrierten SiGe-Chipset bei einer Trägerfrequenz von 240 GHz eine Datenrate von 12 Gbit/s demonstriert. Darauf aufbauend wurde gezeigt, dass unter Verwendung von Spatial-Multiplexing-Techniken und Kanalbündelung Datenraten bis 240 Gbit/s möglich sind. Die entsprechende Veröffentlichung auf der IEEE-MTTW 2020 wurde mit einem Best Paper Award ausgezeichnet.

Das von Dr. Lopacinski beantragte Emmy-Noether-Projekt (DFG) wurde im Sommer 2020 bewilligt. Im Rahmen dieses Projektes werden ultraschnelle MAC-Prozessoren für Datenraten von 100 Gbit/s entwickelt. Diese erfolgreiche Einwerbung ermöglicht es Dr. Lopacinski, eine eigene Forschungsgruppe mit drei Doktoranden aufzubauen und sich so für eine spätere Führungsposition zu qualifizieren. Ein weiteres 2020 begonnenes DFG-Projekt zu closed-loop-radio-Entwicklungen unterstützt diese Arbeiten.

Am Joint Lab der HU Berlin wurde im September 2020 das DFG-Projekt AgileHy-Beams begonnen, welches sich mit der Entwicklung und Optimierung von Hybrid-Beamforming-Verfahren beschäftigt.

Design & Testmethodik

Die Forschungsgruppe Design & Testmethodik bearbeitet Themenfelder in den Bereichen neue Designmethoden für zuverlässige Schaltungen sowie Testmethodik am Chip bzw. Wafer. Neue Anforderungen an Fehlertoleranz und Strahlenhärtigkeit führen zu innovativen Ansätzen im Schaltkreisdesign, um integrierte Schaltungen in Weltraum-Anwendungen einsetzen zu können.

Eine wichtige Aktivität der Gruppe umfasst die Entwicklung neuer, strahlengehärterter (rad-hard) IPs. Diese sind aus Forschungssicht interessant und wichtig, sollen aber auch zu neuen IP-Blöcken im IHP-IP-Portfolio führen. In diesem Zusammenhang waren 2020 vier Projekte aktiv. Das Projekt SECHIS (Eurostars) befasst sich mit dem Entwurf einer rad-hard SERDES-Schaltung, die einen Durchsatz von bis zu 2,5 Gbit/s ermöglicht. Ein weiteres Projekt ist SPAD (ILB), das sich

Fraunhofer IZM and other partners, scalable D-band modules for extremely high data rates are developed and prototyped.

As part of the EU project WORTECS, the IHP demonstrated a data rate of 12 Gbit/s with a fully integrated SiGe chipset at a carrier frequency of 240 GHz. Based on this, it was shown that data rates of up to 240 Gbit/s are possible using spatial multiplexing techniques and channel bundling. The corresponding publication at IEEE-MTTW 2020 received a Best Paper Award.

Dr. Lopacinski's Emmy Noether Project (DFG) was approved in summer 2020. As part of this project, ultra-fast MAC processors for data rates of 100 Gbit/s are being developed. This successful acquisition enables Dr. Lopacinski to set up his own research group with three doctoral researchers and thus qualify for a later leading research position. Another DFG project on closed-loop radio developments started in 2020 supports this work.

At the Joint Lab of the HU Berlin, the DFG project AgileHy-Beams began in September 2020, which deals with the development and optimization of hybrid beamforming processes.

Design & Test Methodology

The research group Design & Test Methodology works on topics in the areas of new design methods for reliable circuits, as well as test methodology on the chip or wafer. New requirements for fault tolerance and radiation hardness lead to innovative approaches at the level of IC design in order to be able to use integrated circuits in space applications.

An important activity of the group includes the development of novel radiation-hardened (rad-hard) IPs. These are interesting and important from a research perspective, but should also lead to new IP blocks in the IHP-IP portfolio. In this context, four projects were active in 2020. The SECHIS (Eurostars) project deals with the design of a rad-hard SERDES circuit that enables a throughput of up to 2.5 Gbit/s. Another project is SPAD (ILB), which is dedicated to the

der Implementierung von rad-hard ADC widmet. Schließlich gibt es zwei Projekte, die eine effektive Vernetzung im Bereich der Weltraum-anwendungen ermöglichen: das EU-Projekt ELICSIR und das Interreg-Projekt SpaceRegion.

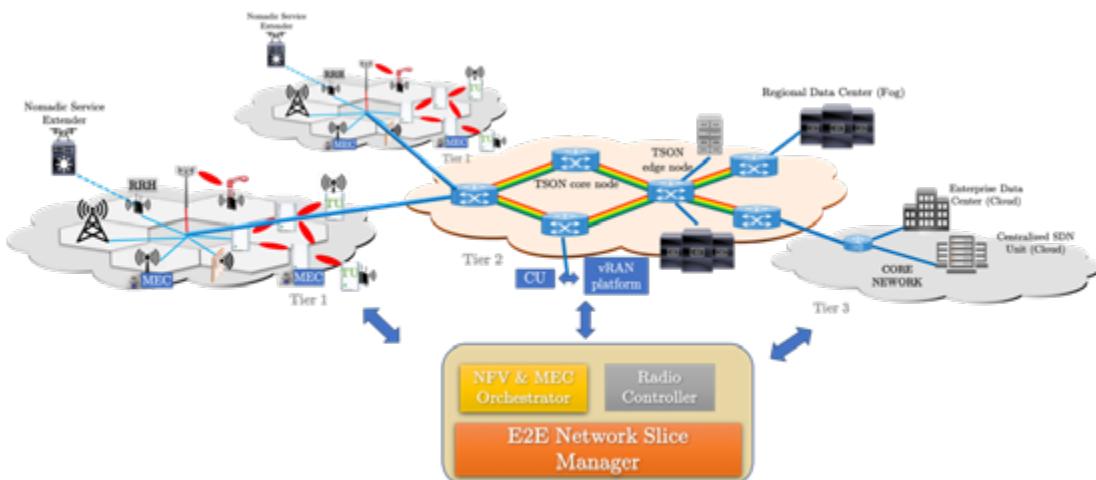
Im DFG-Projekt REDOX lag der Schwerpunkt der Arbeit auf der Modellierung von SET (Single Event Transient)-Metriken sowie kritischen Ladungen und der SET-Pulsbreite. Im Rahmen des Projekts haben die MitarbeiterInnen auf der renommierten Konferenz RADECS ihren Ansatz zur Überwachung des Partikelflusses und der LET-Schwankungen mit Pulsdehnungs-Invertoren veröffentlicht.

Die erfolgreiche Zusammenarbeit im gemeinsamen Labor mit der Universität Potsdam wurde fortgesetzt. Im DFG-Projekt ENROL wurde eine Architektur für rad-hard asynchrone Bundled-Data-Schaltungen vorgeschlagen und veröffentlicht.

implementation of rad-hard ADC. Finally, there are two projects that enable effective networking in the field of space applications: the EU project ELICSIR and the Interreg project SpaceRegion.

In the DFG project REDOX, the focus of the work was on the modeling of SET (Single Event Transient) metrics as well as critical charges and the SET pulse width. As part of the project, we published our approach to monitoring particle flow and LET fluctuations with pulse stretching inverters at the renowned RADECS conference.

The successful collaboration in the joint laboratory with the University of Potsdam was continued. In the DFG project ENROL, an architecture for rad-hard asynchronous bundled data circuits was proposed and published.



5G-COMPLETE konzentriert sich auf die Entwicklung von festverdrahteten THz-Systemen, die eine noch nie dagewesene drahtlose Kapazität am 5G-Netzrand (Tier 1) anstreben. Dabei handelt es sich um THz-Basisbandkomponenten und Transceiver, die gebaut werden, um THz-Kommunikation über Entfernung zu unterstützen, die glasfaserähnliche Datenraten für Innenräume und sogar für THz-Backhaul-Verbindungen im Freien ermöglichen. Beispielhafte Anwendungsfälle können die Kommunikation von Straßenlaterne zu Straßenlaterne oder die Kommunikation von Gebäude zu Gebäude sein.

5G-COMPLETE focuses on the development of fixed-wireless THz systems that target unprecedented wireless capacity at the 5G network edge (Tier 1). These are THz baseband components and transceivers that are being built to support THz communications at distances that will allow fiber-like data rates for indoor environments and even for THz backhaul connectivity outdoors. Example applications can be street-lamp to street-lamp communication or building-to-building communication.

Fault Tolerant Computing

Hochautomatisierte, prozessorbasierte Systeme halten seit einigen Jahren deutlich stärkeren Einzug in viele Bereiche des privaten und professionellen Umfelds. Da sie dabei mit immer wichtigeren Aufgaben betraut werden, die teilweise das Wohlbefinden oder die Gesundheit der Nutzer betreffen, müssen sie steigenden Anforderungen an Zuverlässigkeit und Fehlertoleranz gerecht werden. Die neu gegründete Arbeitsgruppe zum Thema Fault Tolerant Computing hat als Teil der Abteilung für Systemarchitekturen das Ziel, unterschiedliche Methoden zur Minderung von Alterungs- und Fehlereffekten zu untersuchen und diese auf Systemebene zu implementieren. Dadurch bildet sie die Brücke von der reinen Entwicklung von state-of-the-art-Systemen hin zu ihrem Einsatz in sicherheitskritischen Anwendungen mit hohen Anforderungen an deren Zuverlässigkeit.

In den vergangenen Jahren hat das IHP aktiv an der Entwicklung eines Multiprozessor-Frameworks mit mehreren Sensoren gearbeitet,

Fault Tolerant Computing

Already for several years, highly automated, processor-based systems have been finding their way into many areas of the private and professional environment. Since they are performing increasingly important tasks, some of which affect the well-being or health of the users, they have to meet increasing demands on reliability and fault tolerance. The newly established research team focused on Fault Tolerant Computing, as part of the System Architecture department, aims to investigate different methods for mitigating aging and fault effects and to implement them at the system level. It thus forms the bridge from the pure research of fault tolerant systems to their use in safety-critical applications with high demands on their reliability.

In recent years the IHP has been actively working on the development of a multiprocessor framework with multiple sensors to improve the fault tolerance and lifetime of the system. The further development of the adaptive fault-tolerant multiprocessor platform was

um die Fehlertoleranz und Lebensdauer des Systems zu verbessern. Die Weiterentwicklung der adaptiven fehlertoleranten Multiprozessor-Plattform wurde im Projekt RESCUE durchgeführt. Der Forschungsschwerpunkt lag auf der Untersuchung des neuartigen Single Event Upset (SEU)-Sensors, der eine Aktualisierung der Systemfehlertoleranz in Abhängigkeit von den tatsächlichen Umweltveränderungen ermöglichen soll. Die adaptive Multiprozessor-Plattform wurde um den SEU-Sensor erweitert und es konnte gezeigt werden, dass sie mit der Anwendung der KI-Technologie Sonneneruptionen vorhersehen können. Entsprechend danach wurde der KI-Beschleuniger mit geringem Stromverbrauch entwickelt. Die Ergebnisse wurden in Zeitschriften- und Konferenzpublikationen veröffentlicht. Ein weiterer Schwerpunkt diesbezüglich ist die Arbeit mit Open-Source-Hardware. Für das im Mai 2020 gestartete Scale4Edge-Projekt wurden in enger Zusammenarbeit mit den Projektpartnern der Universität Paderborn mögliche RISC-V-basierte Basisarchitekturen zur Implementierung des fehlertoleranten Multicore-Systems auf Basis des IHP-Waterbear-Frameworks und als Nachfolger des PISA-IC evaluiert und die Pulpissimo-Plattform als geeigneter Kandidat gewählt. Derzeit werden mögliche Implementierungen und Erweiterungen des Frameworks analysiert, wobei besonderes Augenmerk der Unterstützung des bereits etablierten RISCY-Cores sowie des von den Projektpartnern erstellten Ökosystem-Cores gilt. Außerdem finden erste Untersuchungen zur KI-basierten, selektiven Härtung des Systems und der Integration der dazu notwendigen Schritte in den Designflow statt.

Vor Kurzem wurden auch neue Forschungsthemen eröffnet. Insbesondere die Zuverlässigkeit von RRAM-basierten AI-Beschleunigern ist Thema des neuen BMBF-Projekts KI-PRO. Hier liegt der Schwerpunkt auf dem Design und der Modellierung eines Matrixmultiplikationsbeschleunigers, basierend auf einem RRAM Crossbar. Dafür wurden verschiedene Architekturvarianten evaluiert und ein kachelbasierter Ansatz als beste Option gewählt. Problem hierbei war die große Anzahl von RRAM-Zellen, die für die Abbildung von einzelnen Layern von Convolutional Neural Networks (CNNs) benötigt wird. Große Arrays mit vielen Zellen können zwar komplette Layer enthalten, sind aber sehr fehleranfällig. Viele kleine Arrays im Verbund mit wenigen Zellen benötigen hingegen viele AD- und DA-Wandler, die einen hohen Stromverbrauch verursachen. Ein skalierbarer Ansatz über Kacheln mittlerer Größe scheint der beste Kompromiss. Weiterhin wurde die Definition der Architektur einer einzelnen Kachel, inklusive Zellarray, AD- und DA-Wandler und digitaler Steuerung, mit der Technologieabteilung sowie den Projektpartnern der TU Bayreuth begonnen und die digitalen Interfaces nach außen definiert. Zusätzlich fand eine extensive Untersuchung zu möglichen Methoden der Fehlertoleranz statt.

Schließlich befasst sich das BMBF-Projekt EMPHASE mit den Fail-Operational-Funktionen der Sensorik für automatisiertes Fahren. Hier wurden in diesem Jahr die in unterschiedlichen Abteilungen des IHP erstellten Komponenten in einem Demonstrator integriert und getestet. Die Integration umfasste ein 80-GHz-Sensorfrontend, eigens erstellte ADC- und Interface-Boards sowie ein FPGA-Board mit dem fehlertoleranten Dreikernsystem. Im finalen Workshop zum Projektabchluss im März 2020 wurde die Funktionalität des Systems erfolgreich unter Beweis gestellt. Über die für den Demonstrator erstellte App konnten die ein- und zweidimensionale FMCW-basierte Abstandsmessung gezeigt und die Adaptivität und Fehlertoleranz des Systems live demonstriert werden. Hierbei war es möglich, grafisch den Wechsel

carried out in the RESCUE project. The focus of research was on the investigation of the new single event upset (SEU) sensor, which is intended to enable the system fault tolerance to be updated depending on the actual environmental changes. The adaptive multiprocessor platform has been enhanced to include the SEU sensor and it has been shown that with the application of AI technology we can predict solar flares. Accordingly, the AI accelerator was developed with low power consumption. The results have been published in journal and conference publications. Another focus in this regard is working with open source hardware. For the Scale4Edge project, which started in May 2020, possible RISC-V-based basic architectures for the implementation of the fault-tolerant multicore system based on the IHP Waterbear framework and as a successor to the PISA-IC were evaluated and in close cooperation with the project partners of the University of Paderborn the Pulpissimo platform was chosen as a suitable candidate. Possible implementations and extensions of the framework are currently being analyzed, with particular attention being paid to supporting the already established RISCY core and the ecosystem core created by the project partners. In addition, the first investigations into the AI-based, selective hardening of the system and the integration of the necessary steps into the design flow are taking place.

Recently, new research topics have also been opened. In particular, the reliability of RRAM-based AI accelerators is the topic of a new BMBF project KI-PRO. In this project the focus is on the design and modeling of a matrix multiplication accelerator based on an RRAM crossbar. For this purpose, different architecture variants were evaluated and a tile-based approach was chosen as the best option. The problem here was the large number of RRAM cells that are required for the mapping of individual layers of Convolutional Neural Networks (CNNs). Large arrays with many cells can contain entire layers, but they are very error-prone. Many small arrays in combination with a few cells, on the other hand, require many AD and DA converters, which cause high power consumption. A scalable approach using medium-sized tiles seems the best compromise. Furthermore, the definition of the architecture of a single tile, including cell array, AD and DA converter and digital control, began with the technology department and the project partners of the TU Bayreuth and the external digital interfaces were defined. In addition, an extensive investigation into possible methods of fault tolerance took place.

Finally, the BMBF project EMPHASE deals with the fail-operational functions of sensors for automated driving. This year, the components created in different IHP departments were integrated and tested in a demonstrator. The integration comprised an 80 GHz sensor front-end, specially created ADC and interface boards, and an FPGA board with the fault-tolerant three-core system. The functionality of the system was successfully demonstrated in the final workshop at the end of the project in March 2020. Using the app created for the demonstrator, the one- and two-dimensional FMCW-based distance measurement was shown and the adaptivity and fault tolerance of the system was demonstrated live. Here it was possible to graphically show the change of the system from a low-power to a fail-safe and even fail-operational state with an increasing degree of active redundancy and, with the help of injected faults, the ability to mask errors and check system reintegration. The



Chip-on-Board-Bestückung:
Direktmontage eines nackten
Halbleiter-Chips auf eine
Leiterplatte
*Chip-on-board assembly:
direct mounting of a bare
semiconductor chip on a
printed circuit board*

des Systems von einem Low-Power- hin zu einem Fail-Safe- und sogar Fail-Operational-Zustand mit jeweils steigendem Grad aktiver Redundanz zu zeigen und dabei mit Hilfe von injizierten Defekten die Fähigkeit zur Fehlermaskierung und Systemreintegration zu überprüfen. Auch die UDP-basierte Kommunikation über das fehlertolerante DENSO-Netzwerk im Fahrzeug, hin zu AFP und LISA als Kontrollinstanzen von AUDI wurden wirksam vorgeführt.

UDP-based communication via the fault-tolerant DENSO network in the vehicle to AFP and LISA as AUDI control bodies was also effectively demonstrated.

Drahtlose Systeme und Anwendungen

Wireless Systems and Applications

Das Programm Drahtlose Systeme und Anwendungen befasst sich mit der Entwicklung komplexer cyber-physischer Systeme von Systemen (CPSoS). Dabei wird ein holistischer Ansatz verfolgt, dem intrinsisch eine extrem hohe Komplexität bei der Untersuchung und Realisierung von Lösungen inne wohnt. Es müssen hier sowohl Hardware- als auch Softwareansätze inklusive ihrer Anhängigkeiten berücksichtigt werden. Die Untersuchungen adressieren alle Anwendungsbereiche, in denen ressourcenbeschränkte Systeme miteinander kommunizieren. Das sind u. a. das Internet der Dinge (IoT), E-Health, Industrie 4.0, Landwirtschaft 4.0 und Umweltmonitoring. Die Kernforschungsthemen sind Energieeffizienz, IT-Sicherheit, Zuverlässigkeit und Resilienz sowie die energieeffiziente Implementierung von Methoden der Künstlichen Intelligenz. Im Rahmen des Programms werden zwei Joint Labs betrieben: eines mit der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus-Senftenberg und eines mit der Universität Zielona Gora, Polen. In 2020 wurde von den Wissenschaftlern der Arbeitsgruppen an insgesamt 16 extern finanzierten Projekten gearbeitet. In allen Projekten konnten die wesentlichen Ergebnisse trotz der pandemiebedingten Einschränkungen entsprechend der ursprünglichen Planung erreicht werden. Ausschlaggebend hierfür war und ist das extrem hohe Engagement aller Mitarbeitenden.

The Wireless Systems and Applications program investigates the development of complex cyber-physical systems of systems (CPSoS). A holistic approach is taken, which intrinsically involves an extremely high level of complexity in the investigation and realization of solutions. Both hardware and software approaches, including their dependencies, must be taken into account. The investigations address all application areas in which resource-constrained systems communicate with each other. These include the Internet of Things (IoT), e-health, Industry 4.0, Agriculture 4.0 and environmental monitoring. The core research topics are energy efficiency, security, reliability and resilience and the energy-efficient implementation of artificial intelligence methods. Two joint labs are part of the program: one with the Brandenburg University of Technology Cottbus-Senftenberg and one with the University of Zielona Gora, Poland. In 2020, scientists from the working groups worked on a total of 16 externally funded projects. In all projects, the main results were achieved according to the original planning despite the pandemic-related restrictions. The decisive factor here was and is the extremely high level of commitment of all employees.

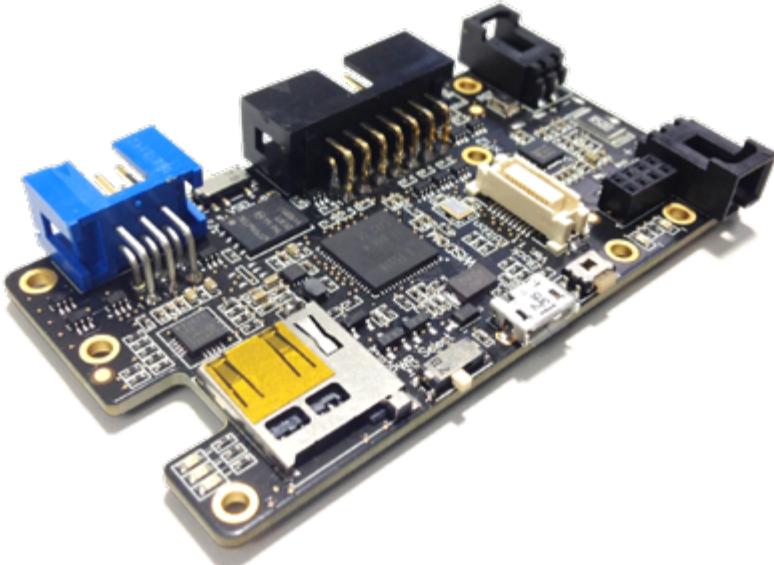
Sensor-Netzwerke und Middleware-Plattformen

Drahtlose Sensornetze (WSN) bestehen aus kostengünstigen Komponenten mit beschränkten Ressourcen. Sie nehmen eine spannende Entwicklung mit dem Potenzial, einen signifikant positiven Einfluss auf jeden Aspekt unseres Lebens zu erlangen. Mit dem Aufkommen des Future Internet oder des Internet of Things (IoT) werden drahtlose Sensornetze zu einem wesentlichen Bestandteil des Internets. Neben den relativ bekannten Anwendungen im Bereich des Umweltmonitorings gewinnen Anwendungsfelder wie Smart City und Fabrikautomatisierung kontinuierlich an Bedeutung. In diesen Anwendungsbereichen werden drahtlose Sensornetze mehr und mehr als Teil der Netzwerke betrachtet. Im Bereich des Heimatschutzes (Homeland Security) werden drahtlose Sensornetze als ein potenzielles Mittel zur Überwachung von kritischen Infrastrukturen wie Stromleitungen, Pipelines etc. angesehen. Ein weiteres wesentliches Anwendungsbereich sind körpernahe Funknetzwerke in den Bereichen Telemedizin und Telerehabilitation. Die Arbeitsgruppe Sensor-Netzwerke und

Sensor Networks and Middleware Platforms

Wireless sensor networks (WSNs) consist of low-cost components with limited resources. They are experiencing an exciting development with the potential to make a significant positive impact on every aspect of our lives. With the advent of the Future Internet or the Internet of Things (IoT), wireless sensor networks are becoming an essential part of the internet. In addition to the relatively well-known applications in the field of environmental monitoring, application fields such as smart city and factory automation are continuously gaining importance. In these application areas, wireless sensor networks are increasingly being considered as part of the networks. In the field of homeland security, wireless sensor networks are seen as a potential means of monitoring critical infrastructures such as power lines, pipelines, etc. Another major application area is body-worn wireless networks in the fields of telemedicine and telerehabilitation.

The Sensor Networks and Middleware Platforms working group has been involved in the Mittelstand 4.0 Competence Center Cottbus



WISDOM wurde für die Analyse und Optimierung des Stromverbrauchs von eingebetteten Systemen, mit dem speziellen Fokus auf Sensornetzen entwickelt, um zuverlässige Low-Power Anwendungen zu implementieren und deren Spezifikation auch im Feld unter realen Bedingungen zu evaluieren.

WISDOM was developed for the analysis and optimization of the power consumption of embedded systems, with a special focus on sensor networks, in order to implement reliable low-power applications and to evaluate their specification also in the field under real conditions.

Middleware-Plattformen arbeitet seit November 2017 im Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Cottbus mit und ist für die Aspekte IT-Sicherheit und Datenschutz verantwortlich. Die hervorragende Arbeit hat dazu geführt, dass die Förderung des Kompetenzzentrums um zwei Jahre verlängert wurde. Das Kompetenzzentrum IT-Sicherheit KITS wird seit Januar 2020 gefördert und bietet ergänzend zum Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Cottbus Trainings- und Informationsveranstaltungen im Bereich IT-Sicherheit, insbesondere in Hinblick auf „Social Engineering“ und Angriffe gegen Automatisierungsanlagen, an. Trotz der Corona-Pandemie konnten einige Präsenz- bzw. Hybridveranstaltungen durchgeführt werden, allerdings in deutlich kleinerer Zahl als geplant, stattdessen wurde die geplante e-learning-Plattform vorangetrieben. Mit diesem umfassenden Angebot zu IT-Sicherheitsthemen hat das IHP die Möglichkeit, zur zentralen Anlaufstelle für IT-Sicherheitsfragen in Brandenburg zu werden. Kryptographie ist ein Mittel, das die Vertraulichkeit der Kommunikation und die Datenintegrität gewährleisten kann. Elliptische-Kurven-Kryptographie (ECC) ermöglicht die sichere Kommunikation auch für eingebettete ressourcenbeschränkte Systeme. Die Fertigung des unifizierten ECC-Beschleunigers, der vier standardisierte Elliptische Kurven (EC) unterstützt und der im Rahmen des Projektes Fast-Sign entwickelt wurde, war leider nicht erfolgreich. Der Fehler wurde jedoch inzwischen bestimmt und behoben, eine erneute Fertigung ist für 2021 geplant. Die Untersuchungen zur Resistenz des unifizierten Beschleunigers hinsichtlich Seitenkanalangriffen waren jedoch sehr erfolgreich. Einerseits konnte nachgewiesen werden, dass die Resistenz der Implementierungen der B-Kurven im unifizierten Design besser ist als in individuellen Designs für einzelne EC, andererseits konnte gezeigt werden, dass aus dem Design der P-Kurven trotz der Verwendung des Atomicity-Prinzips, das Seitenkanalresistenz gegen horizontale Angriffe sicherstellen soll, Schlüssel erfolgreich extrahiert werden können.

Die Arbeitsgruppe Sensor-Netzwerke und Middleware-Plattformen hat bereits damit begonnen zu untersuchen, wie Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) effizient so implementiert bzw. durch geeignete Hardware unterstützt werden können, dass sie in eingebetteten ressourcenbeschränkten Systemen eingesetzt werden können, vgl. auch „Eckpunkte der Bundesregierung für eine Strategie Künstliche Intelligenz“. Betrachtet werden sollen hier unterschiedliche

since November 2017 and is responsible for the aspects of IT security and data protection. The excellent work has led to the extension of funding for the competence center for an additional 2 years. The IT Security Competence Center KITS has been funded since January 2020 and offers training and information events in the area of IT security, particularly with regard to “social engineering” and attacks against automation systems, as a supplement to the Mittelstand 4.0 Competence Center Cottbus. Despite the Corona pandemic, some presence or hybrid events were held, albeit in significantly smaller numbers than planned; instead, the planned e-learning platform was realized ahead of time. With this comprehensive offer on IT security topics, the IHP has the opportunity to become the central contact point for IT security issues in Brandenburg. Cryptography is a means that can guarantee the confidentiality of communication and data integrity. Elliptic curve cryptography (ECC) enables secure communication even for embedded resource-constrained systems. The fabrication of the unified ECC accelerator supporting 4 standardized EC, which was developed as part of the Fast-Sign project, was unfortunately unsuccessful, but the bug has meanwhile been identified and fixed, and a new fabrication is planned for 2021. However, the investigations into the resistance of the unified accelerator with regard to side-channel attacks were very successful. On the one hand, it was proven that the resistance of the implementations of the B-curves in the unified design is better than in individual designs for single EC, and on the other hand, it was shown that keys can be successfully extracted from the design of the P-curves despite the use of the atomicity principle, which is considered to ensure side-channel resistance against horizontal attacks.

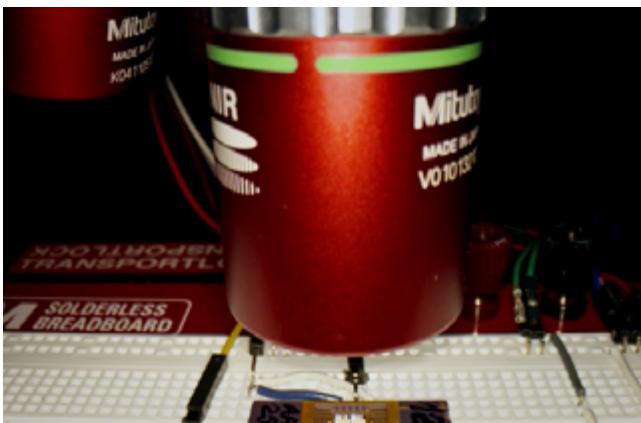
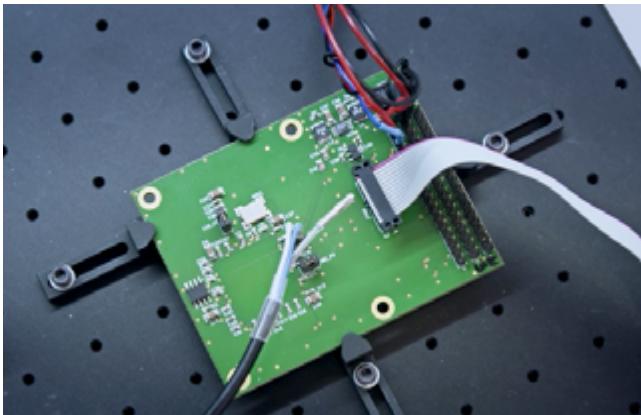
The Sensor Networks and Middleware Platforms working group has already begun to investigate how artificial intelligence (AI) methods can be efficiently implemented or supported by suitable hardware so that they can be used in embedded resource-constrained systems, cf. also “Cornerstones of the Federal Government for an Artificial Intelligence Strategy”. Different areas of application are to be considered here. The obvious application is in the area of IT security. For this purpose, the MORFEUS project, which belongs to the Total Resilience group in terms of content, was acquired in the BMBF call for proposals “Methods and Tools for Aggregation and Disaggregation of Processes in the Internet of Things - Resilience and Failure Safety in Open,

Anwendungsgebiete. Naheliegend ist der Einsatz im Bereich IT-Sicherheit. Hierzu konnte das Projekt MORFEUS, das inhaltlich zur Gruppe Totale Resilienz gehört, in der BMBF-Ausschreibung „Methoden und Werkzeuge für Aggregation und Disaggregation von Prozessen im Internet der Dinge – Resilienz und Ausfallsicherheit in offenen, emergenten IT-Systemen“ eingeworben werden. Im Projekt MORFEUS wurde eine erste Version einer Support Vector Machine in Hardware realisiert, mit der „return oriented programming (RoP)“-Angriffe erkannt werden können. Die Hardware-Version benötigt nur fünf Prozent der Taktzyklen, die die Software-Version benötigt, um die gleichen Daten auszuwerten und den Angriff zu erkennen. Das Projekt KISS_KI, in dem KI-Methoden für die Realisierung von „Intrusion Detection Systemen“ untersucht werden, wurde im August 2020 begonnen. Eine der wissenschaftlichen Fragestellungen ist, ob mit KI-Methoden bei wenig Trainingsdaten eine ausreichend gute Erkennung von bekannten, wie auch bislang unbekannten Angriffen erreicht werden kann. Ein kleiner Demonstrator mit vier Sensoren, zwei Pumpen und zwei speicherprogrammierbaren Steuerungen, an dem Angriffe gezeigt werden können, wurde bereits realisiert. Dieser Demonstrator wird synergetisch gemeinsam mit dem KITS verwendet und weiter entwickelt. Das zweite Anwendungsfeld für Methoden der KI ist der Bereich E-Health. Im Projekt FAST-GAIT soll „freezing of gait“ bei Parkinson-Patienten so frühzeitig erkannt werden, dass ein möglicher Sturz durch Auslösen eines Triggersignals noch verhindert werden kann. Wichtig hierfür ist eine gute Datenbasis, die Episoden mit und ohne freezing enthält und in der die Phasen durch Experten eindeutig markiert sind. Hierfür wurde ein ghostbasiertes Sensorknotenset mit einer IR-Fernbedienung kombiniert. Die Datenaufnahme durch Physiotherapeuten wird hierdurch deutlich erleichtert. Das Set wurde bereits durch eine nicht am Projekt beteiligte Klinik eingesetzt. Das Training eines recurrent neural network wurde individualisiert im Sinne, dass Daten der jeweiligen Testperson zu 50 Prozent in das Trainingsset übernommen wurden. Das ist sinnvoll, da die Ausprägung der Veränderung des Gangbildes vom jeweiligen Patienten abhängt. Mit dieser Anpassung wurde eine korrekte Erkennung des freezing of gait von über 95 Prozent erreicht, was deutlich über den in der Literatur berichteten Werten liegt.

Im Rahmen der INTERREG-Förderung werden aktuell die Projekte SmartRiver und SpaceRegion durchgeführt. Letzteres dient der Vernetzung akademischer und industrieller Partner auf deutscher und polnischer Seite und hat sich zusätzlich zum Ziel gesetzt, robuste, also für Raumfahrtmissionen taugliche, Lösungen zu entwickeln. Im Projekt SmartRiver werden Sensornetze zum Umweltmonitoring für Anwendungen, wie z. B. Hochwasserschutz, Dürre-Monitoring, Luftqualität-Monitoring, untersucht. Es wurden die ersten Spezifikationen für die Messstationen (Soft- und Hardware) festgelegt und erste Komponenten erfolgreich realisiert. In dem BMBF-Projekt AMMOD sollen Messstationen für Biodiversität entwickelt werden. Ihre Aufgaben in dem Projekt sind verbunden mit der Energieversorgung der Messstationen und Energie-Monitoring und -Management. Im Projekt Digital Agricultural Knowledge and Information (DAKIS) konnte ein erster Prototyp eines drahtlosen Sensorknotens zur Erfassung meteorologischer Parameter (Lufttemperatur, -feuchtigkeit und -druck, UV-Index, Sonnenscheindauer) mit entsprechender Software zum Auslesen der Sensoren und Übertragung der Sensordaten realisiert werden. Für den langfristigen Betrieb im Feld wurde ein Energy Harvesting-Modul mit Batterie, Solarpanel und Solarladeschaltung entwickelt.

Emergent IT Systems". In the MORFEUS project, a first version of a support vector machine was realized in hardware, with which “return oriented programming (RoP)” attacks can be detected. The hardware version needs only 5% of the clock cycles that the software version needs to evaluate the same data and detect the attack. The KISS_KI project, in which AI methods for the realization of “Intrusion Detection Systems” are being investigated, was started in August 2020. One of the scientific questions is whether AI methods can achieve sufficiently good detection of known as well as previously unknown attacks with little training data. A small demonstrator with 4 sensors, 2 pumps and 2 programmable logic controllers, on which attacks can be demonstrated, has already been realized. This demonstrator is being used and further developed in synergy with the KITS project. The second field of application for AI methods is the field of e-health. In the FAST-GAIT project, “freezing of gait” of Parkinson’s patients is to be detected so early that a possible fall can still be prevented by triggering a signal. For this, it is important to have a good database that contains episodes with and without freezing, and in which the phases are clearly marked by experts. For this purpose, a ghost-based sensor node set was combined with an IR remote control. This makes data acquisition by physiotherapists much easier and the set has already been used by a clinic not involved in the project. The training of a recurrent neural network was individualized in the sense that 50% of the data of each test person was integrated in the training set. This makes sense because the extent of the change in gait pattern depends on the individual patient. With this adaptation, a correct recognition of the freezing of gait of over 95% was achieved, which is clearly above the values reported in the literature.

The SmartRiver and SpaceRegion projects are currently being carried out within the framework of INTERREG funding. The latter serves to network academic and industrial partners on the German and Polish sides and has the additional goal of developing robust solutions suitable for space missions. In the SmartRiver project, sensor networks for environmental monitoring are being investigated for applications such as flood protection, drought monitoring and air quality monitoring. The first specifications for the measuring stations (software and hardware) have been defined and the first components have been successfully realized. In the BMBF project AMMOD, measuring stations for biodiversity are to be developed. Our tasks in the project are connected with the energy supply of the measuring stations and energy monitoring and management. In the project “Digital Agricultural Knowledge and Information (DAKIS)”, a first prototype of a wireless sensor node for recording meteorological parameters (air temperature, humidity and pressure, UV index, sunshine duration) with corresponding software for reading out the sensors and transmitting the sensor data was realized. For long-term operation in the field, an energy harvesting module with battery, solar panel and solar charging circuit was developed.



Total Resilience

Die Resilienz cyber-physischer Systeme von Systemen (CPSoS) ist die Eigenschaft, widrige Arbeitsbedingungen zu antizipieren und nach Möglichkeit zu vermeiden. Beim Eintreten solcher Bedingungen soll zumindest ein kritischer Teil ihrer Funktionalität aufrecht erhalten werden. Widrige Arbeitsbedingungen sind nicht nur natürliche (starke) Fluktuationen der physikalischen Parameter der Umgebung, sondern auch deren bewusste Manipulationen – z. B. aktive Angriffe – oder auch nicht gewünschte Beobachtungen der Prozesse, d. h. passive Angriffe. Um die Resilienz-Eigenschaft zu erreichen, muss das System seine Umgebung wahrnehmen und seinen eigenen internen Zustand bestimmen und verstehen können. Die gemessenen physikalischen Parameter müssen richtig/sinnvoll interpretiert werden, damit das System im Anschluss geeignete Entscheidungen zu seiner Anpassung an die aktuelle Situation treffen kann. Für die Auswahl der Reaktionen auf Veränderungen der Kontextparameter werden Ansätze aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz untersucht. Die im Rahmen der Arbeitsgruppe Totale Resilienz zu beantwortende Frage ist, wie aus einem zuverlässigen und sicheren System ein resilientes System wird. Der wesentliche Unterschied ist, dass ein resilientes System auf nicht vorhergesehene Situationen, wie z. B. extreme Abweichungen der Arbeitsbedingungen oder neuartige Angriffe, selbstständig reagieren soll und zumindest kritische Teile seiner Funktionalität weiterhin erbringen kann.

Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) können die Basis dafür sein, dass CPSoS resilient werden, weil sie helfen, Daten richtig zu interpretieren und Entscheidungen zu treffen, die zumindest teilweise die Funktionalität der CPSoS erhalten helfen. Die am IHP entwickelten

Total Resilience

The resilience of cyber-physical systems of systems (CPSoS) is the property of anticipating adverse working conditions and avoiding them if possible. When such conditions occur, at least a critical part of their functionality should be maintained. Adverse working conditions are not only natural (strong) fluctuations of the physical parameters of the environment, but also their deliberate manipulations - e.g. active attacks - or even unwanted observations of the processes, i.e. passive attacks. To achieve this system feature, the system must be able to perceive its environment and determine and understand its own internal state. The measured physical parameters must be interpreted correctly/meaningfully so that the system can subsequently make appropriate decisions regarding its adaptation to the current situation. For the selection of reactions to changes in the context parameters, approaches from the field of artificial intelligence are being investigated. The question to be answered in the "Total Resilience" working group is how a reliable and secure system can become a resilient system. The essential difference is that a resilient system should be able to react autonomously to unforeseen situations, such as extreme deviations in working conditions or novel attacks, and continue to provide at least critical parts of its functionality.

Artificial intelligence (AI) methods can be the basis for making CPSoS resilient because they help to interpret data correctly and make decisions that help to maintain at least partial functionality of the CPSoS. The RRAM structures developed at IHP are a basis for an efficient realization of AI methods in hardware. The reliability and security of such implementations is of utmost importance for the resilience

RRAM-Strukturen sind eine Grundlage für eine effiziente Realisierung von KI-Methoden in Hardware. Die Zuverlässigkeit und Sicherheit solcher Implementierungen ist von äußerster Bedeutung für die Resilienz der hierauf basierenden CPSoS. Deshalb wurde damit begonnen, die Resistenz der RRAM-Strukturen im Hinblick auf Fehlerinjektionen zu prüfen. Die Ergebnisse wurden bereits international publiziert. Ähnliche Untersuchungen wurden auch für JICG-Transistoren, TMR (Triple Modular Redundancy)-Register, durchgeführt.

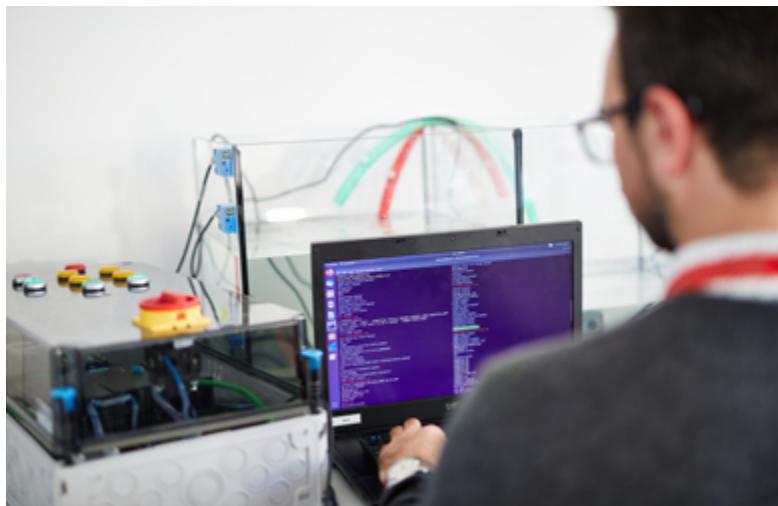
Die Kombination von Fragestellungen aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz und der IT-Sicherheit ist ein höchst innovatives und herausforderndes Forschungsgebiet. Einerseits können KI-Methoden verwendet werden, um z. B. Kryptosysteme anzugreifen, andererseits können KI-Methoden eingesetzt werden, um Angriffe auf unterschiedliche Ebenen zu erkennen. Hierzu werden bereits die Projekte MORFEUS und KISS_KI durchgeführt. Darüber hinaus können auch KI-Methoden angegriffen werden, so dass sie falsche Entscheidungen treffen oder Wissen abfließt.

Als Anwendungsgebiet wurden verteilte CPSoS für den Bereich E-Health gewählt. Hier gab es bereits geeignete Vorarbeiten. In Zusammenarbeit mit den Abteilungen Circuit Design und Materials Research konnte ein Demonstrator realisiert werden, der Speichelproben analysiert und mit Hilfe von KI-Methoden die Wahrscheinlichkeit einer COPD-Erkrankung bestimmen kann. Seit Beginn des Jahres 2020 werden im Rahmen eines DFG-Anbahnungsprojektes gemeinsam mit dem Bogomoletz Institut in Kiew (Ukraine) Untersuchungen durchgeführt, die die Basis zur resilienten Echtzeitvorhersage und Erkennung von epileptischen Anfällen bilden. Erste gemeinsame Veröffentlichungen konnten trotz der coronabedingten Einschränkungen realisiert und publiziert werden.

of the CPSoS based on them. Therefore, we have started to test the resistance of RRAM structures with respect to fault injection. The results have already been published internationally. Similar investigations were also carried out for JICG transistors and TMR (Triple Modular Redundancy) registers.

The combination of issues from the field of artificial intelligence and security is a highly innovative and challenging area of research. On the one hand, AI methods can be used to attack cryptosystems, for example. On the other hand, AI methods can be used to detect attacks at different levels. The MORFEUS and KISS_KI projects are already researching these possibilities. In addition, AI methods can also be attacked so that they make incorrect decisions or know-how is revealed.

Distributed CPSoS in the field of e-health were chosen as an area of application. Suitable preliminary work already existed at IHP. In collaboration with the Circuit Design and Materials Research departments, a demonstrator was realized that can analyze saliva samples and determine the probability of a COPD disease with the help of AI methods. Since the beginning of 2020, investigations have been carried out together with the Bogomoletz Institute in Kiev (Ukraine) as part of a DFG initiation project, which form the basis for resilient real-time prediction and detection of epileptic seizures. The first joint publications have been realized and published despite the Corona-related limitations.



Das Bild zeigt einen Demonstrator, der ein kleines Industrial Control System (ICS) auf Basis von Siemens Speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) darstellt. Das Ziel einer solchen Demo ist es, Cyberangriffe gegen die industriellen Geräte, Netzwerke und Protokolle durchzuführen, um die in ICSs vorhandenen Schwachstellen zu entdecken und herauszufinden, welche Art von Angriffen, basierend auf den bereits gemeldeten oder neu entdeckten Schwachstellen durchgeführt werden könnten. Dies hilft uns, die Methoden, Algorithmen und Tools zu verstehen, die Angreifer verwenden, um ICSs zu kompromittieren. Basierend auf diesem Verständnis versuchen wir, nach potenziellen Lösungen zur Schadensbegrenzung zu suchen, um entweder die Auswirkungen der Cyberangriffe auf solche Systeme zu reduzieren oder sie durch die Implementierung unserer vorgeschlagenen Erkennungsmechanismen, Algorithmen und Methoden vollständig zu verhindern.

The picture shows a demonstrator that represents a small Industrial Control System (ICS) based on Siemens Programmable Logic Controllers (PLCs). The goal of such a demo is to perform cyber-attacks against industrial devices, networks, and protocols in order to discover the vulnerabilities existing in ICSs and to find out which kind of attacks might be conducted based on the already reported vulnerabilities or new discovered ones. This helps us to understand the methodologies, algorithms, and tools that attackers utilize to compromise ICSs, and then based on our understanding we try to look for potential mitigation solutions to either reduce the effects of the cyber-attacks on such systems or to prevent them completely by implementing our suggested detection mechanisms, algorithms, and methods.



Ausgewählte Projekte

Selected Projects

fast-gait

fast-gait

Die Parkinson-Krankheit (PD) ist eine Krankheit mit langfristiger Auswirkung auf selektive neurologische Bedingungen, die meist bei älteren Menschen diagnostiziert wird. Die Krankheit degeneriert die Neuronen, wodurch die Dopaminsubstanz reduziert wird, was zu einer Veränderung motorischer und nicht-motorischer Symptome, wie dem Parkinson-Tremor, führt. Sie führt vor allem zu motorischen Symptomen wie Gangstörung, Gangfixierung, Freezing of Gait (FOG), Verlangsamung der Bewegungen, bis hin zu Stürzen. Im Projekt fast-gait zielen wir darauf ab, FOG schnell genug zu erkennen, um FOG durch Auslösen eines Cueing-Signals zu vermeiden. Die Herausforderungen sind das Echtzeitverhalten, die Erkennung und das Cueing müssen in etwa 150 ms erfolgen und dass das ganze System unauffällig sein muss, um eine soziale Stigmatisierung der Patienten zu vermeiden. Wir verwenden maschinelle Lernansätze, die die Daten eines einzelnen am Körper getragenen Inertialsensorsystems analysieren, um FOG zu klassifizieren und zu erkennen.

Dazu ist grundsätzlich eine einigermaßen gute Datenbasis erforderlich. Also haben wir ein System entwickelt, um solche Daten zu erfassen. Es verwendet den in der Gruppe Sensor Networks and Middleware Platforms entwickelten Ghost-Sensorknoten. Dieser Sensorknoten kann am Knöchel des Patienten befestigt werden. Physiotherapeuten können FOG-Episoden kennzeichnen, indem sie einen Knopf auf einer IR-Fernbedienung drücken, die dann ein Signal an den Ghost-Sensorknoten sendet. Das System ist in Abb. 1 dargestellt. Wir begannen mit dem Training unseres rekurrenten neuronalen Netzwerks mit einer Teilmenge der verfügbaren Daten, während wir seine Leistung mit den Daten testeten, die nicht in der Trainingsphase verwendet wurden.

Um die Erkennungsqualität des verwendeten rekurrenten neuronalen Netzes zu verbessern, haben wir die Trainingsdaten in dem Sinne individualisiert, dass 50 Prozent der Trainingsdaten der Testperson in das Trainingsset aufgenommen wurden. Dies ist sinnvoll, da die Schwere der Veränderung des Gangbildes vom einzelnen Patienten abhängt. Mit dieser Anpassung wurde eine korrekte Erkennung des FOG von über 95 Prozent erreicht, was deutlich höher ist als die in der Literatur berichteten Werte, d. h. wir erreichten eine Sensitivität von 92,57 Prozent und eine Spezifität von 95,62 Prozent im Vergleich zu 82 Prozent und 94 Prozent, die von Masiala et al. berichtet wurden.

Parkinson's disease (PD) is an illness with a long-term effect on selective neurological conditions mostly diagnosed for elderly people. The disease degenerates neurons, reducing the substance dopamine which leads to an alteration of the motor and non-motor symptoms like Parkinson's tremor. It mainly affects motor symptoms such as gait disturbance, gait festinating, Freezing of Gait (FOG), slowness of movements, eventually even leading to falls. In the project fast-gait we aim at detecting FOG fast enough to avoid FOG by triggering a cueing signal. The challenges are the real time behavior, detection and cueing which all need to be accomplished in about 150 ms and that the whole system needs to be inconspicuous to avoid social stigmatization of the patients. We use machine learning approaches analyzing the data of one single body-worn inertial sensor system to classify and detect FOG.

In order to do so a reasonably good data base is essential. So we developed a system to record such data. It uses the ghost sensor node developed in the Sensor Networks and Middleware Platforms group. This sensor node can be fixed at the ankle of the patient and physiotherapists can label FOG episodes by pushing a button on an IR remote control that then sends a signal to the ghost sensor node. The system is shown in Fig. 1. We started training our recurrent neural network with a subset of the available data while testing its performance using data not used in the training phase.

In order to improve the detection quality of the employed recurrent neural network we individualized the training set in the sense that 50 percent of the training data of the test person were included in the training set. This makes sense because the severity of the change in gait pattern depends on the individual patient. With this adjustment, a correct detection of freezing of gait of over 95 percent was achieved, which is significantly higher than the values reported in the literature, i.e. we achieved a sensitivity of 92.57 percent and a specificity of 95.62 percent compared to 82 percent and 94 percent reported by Masiala et al..

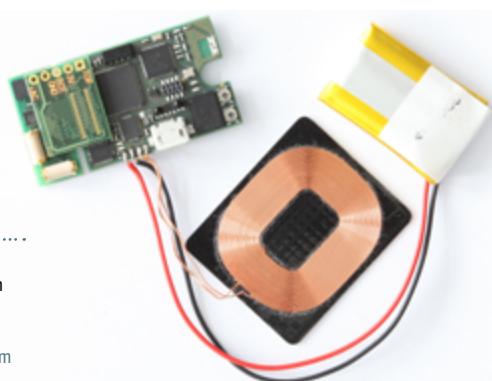


Abb. 1: Sensorsystem auf Basis der Telemedizinplattform GHOST

Fig. 1: Sensor system based on the telemedicine platform GHOST



SmartRiver: Intelligentes Odergebiet

SmartRiver: Intelligent Oder Region

Wir erleben gerade jetzt gewaltige Klimaveränderungen, besonders sichtbar sind die Auswirkungen bei Unwetterereignissen. Starke lokale Niederschläge, die große Mengen an Wasser innerhalb kürzester Zeit in die Stadt-Infrastruktur regelrecht reinpumpen, Flüsse und Zuflüsse erleben einen rasanten Anstieg des Pegelstandes. Eine besonders kritische Situation entsteht bei Hochwasser. Schäden, die dadurch entstehen, sind immens. Eine kontinuierliche Beobachtung und Beurteilung der Wassermengen ist zu jeder Zeit geraten. Andererseits sind auch Dürreperioden eine Auswirkung des Klimawandels, die ebenfalls eine Bedrohung für die Bevölkerung darstellen. Ein direkter Zusammenhang besteht auch in der Bedrohung der Nutzpflanzen, der Vegetation und der Tierwelt, da die Wasserzufuhr in solchen Situationen eingeschränkt zur Verfügung steht. Die daraus resultierende extrem hohe Brandgefahr stellt in dieser Zeit ebenfalls ein sehr hohes Gefährdungspotential für alle Bereiche dar.

Intelligente Monitoring-Systeme wie das System, welches in dem SmartRiver-Projekt entwickelt wird, ermöglichen besseres Handeln und können Schäden minimieren – und das alles bei Minimierung der Eingriffe in die Natur. In der Region, aber auch in Europa, funktioniert kein System, das eine kontinuierliche und nicht-invasive Überwachung von Dämmen und Wassergebieten erlaubt, keinen Einfluss auf das Ökosystem Fluss mit seiner Flora und Fauna hat, den Hochwasserschutz unterstützt und das Flussökosystem, das regulierende Ökosystemdienstleistungen erfüllt, schützt. Das vorgeschlagene System soll auf beiden Seiten der Grenze, in für Testzwecke ausgewählten Gebieten, als Teil einer in Slubice und Frankfurt (Oder) funktionierenden (Smart-City) Plattform für eine Intelligente Doppelstadt, installiert werden. Dieses grenzüberschreitende System soll für entsprechende Dienste aus beiden Ländern verfügbar sein, was eine bedeutende Unterstützung für die Zusammenarbeit von städtischen Verwaltungen und von Rettungskräften im Fördergebiet darstellt.

Das INTERREG-Projekt SmartRiver wird zusammen mit der Universität Zielona Gora im Rahmen des Joint Lab "Verteilte Messsysteme und drahtlose Sensornetzwerke" realisiert. Das Zielsystem ist ein verteiltes Messsystem. Auf seiner Basis lassen sich viele SmartCity- und Umwelt-monitoring-Anwendungen realisieren.

Die SmartRiver-Lösung basiert auf unserem Middleware-Ansatz. In der Middleware können die registrierten Benutzer ihre Daten in Form von Variablen speichern. Variablen sind Zeitreihen-Datensätze, die die aktuellen und historischen Werte eines bestimmten Parameters, z. B. der Lufttemperatur, speichern. Die gespeicherten Daten werden durch Metainformationen beschrieben, die definieren, woher sie kommen und zu welchem Zeitpunkt sie geschrieben wurden. Die Middleware-Schicht abstrahiert die Details des Datenaustausches, wodurch unser Ansatz eine Vereinfachung der Erstellung von Anwendungen für die verteilte Datenerfassung und -verarbeitung ermöglicht.

Die verteilte Art des zugrundeliegenden Messsystems wird in der Middleware unterstützt, indem sie eine präzise Adressierung der gewünschten Daten in allen Domänen erlaubt: Parametername, Ort und Zeit. Zusätzlich unterstützt die Middleware die Dateneigentümerschaft, d. h. die Daten, die von einem bestimmten Benutzer gespeichert

We are experiencing tremendous climate changes right now and the effects are particularly visible during severe weather events. During heavy local rainfall, which literally pumps large amounts of water into the city infrastructure within a very short time, rivers and tributaries experience a rapid rise in water levels. A particularly critical situation arises during floods. Damage caused by this is immense. Continuous monitoring and assessment of water levels is advised at all times. On the other hand, droughts are also an effect of climate change, which also pose a threat to the population. There is also a direct correlation in the threat to crops, vegetation and wildlife due to the limited availability of water supply in such situations. The resulting extremely high risk of fire also poses a very high potential threat to all areas during this time.

Intelligent monitoring systems like the one being developed in the SmartRiver project allow for better action and can minimize damage, and all this while minimizing the impact on nature. In the region, but also in Europe, no system works that allows continuous and non-invasive monitoring of dams and water areas, has no impact on the river ecosystem with its flora and fauna, supports flood control and protects the river ecosystem that provides regulating ecosystem services. The proposed system is to be installed on both sides of the border, in areas selected for testing purposes, as part of a (SmartCity) platform for a Smart Twin City functioning in Slubice and Frankfurt (Oder). This cross-border system will be available for relevant services from both countries, which will provide significant support for the cooperation of municipal administrations and emergency services in the assisted area.

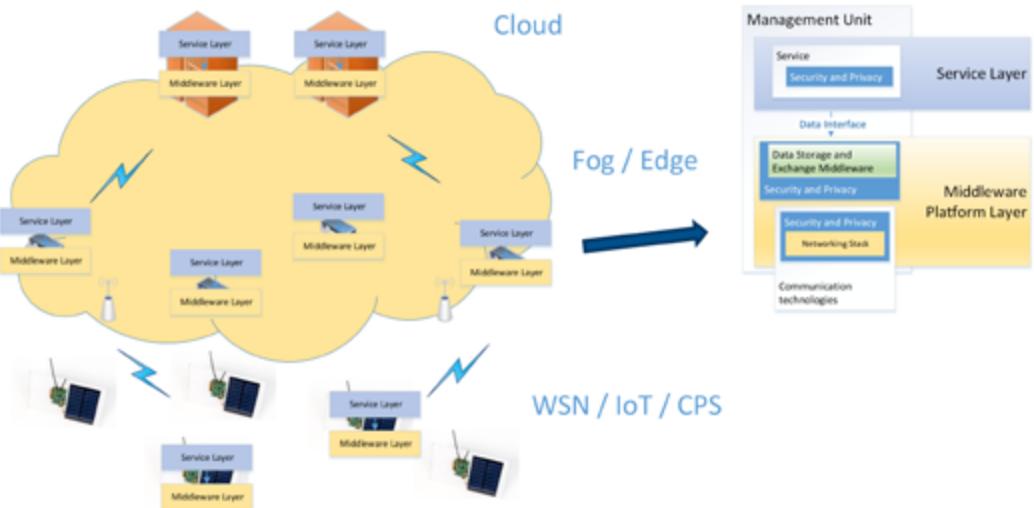
SmartRiver is an INTERREG project and is realized together with the University of Zielona Gora within the Joint Lab "Distributed measurement systems and wireless sensor networks". And the target system is also a distributed measurement system. It is possible to implement many SmartCity and Environmental Monitoring applications on its basis.

The SmartRiver solution is based on our middleware approach. The middleware is a data-centric one, where registered users can store their data in form of variables - time-series data sets storing the current and historic values of a given parameter, e.g. air temperature. The stored data is described by meta information, that defines where it came from and what time it was written. The middleware layer abstracts the data exchange details and by that our approach allows simplifying the process of creating applications for the distributed data acquisition and processing.

The distributed manner of the underlying measurement system is supported in the middleware by allowing precise addressing of the desired data in all domains: parameter name, location, and time. Additionally, the middleware supports data ownership, i.e. data stored by a given user belongs to that user and he is the one to define who else can access this particular data and how. The users access the data in the middleware by executing services - software applications that realize specific tasks. And since there can be several users willing to use some data in the same way, each of them can run the same service software on their own. In order to distinguish between these different

Abb. 2: Die verteilte Middleware für SmartCity-Anwendungen

Fig. 2: The distributed middleware for Smart City applications



werden, gehören diesem Benutzer und er ist derjenige, der definiert, wer sonst noch auf diese bestimmten Daten zugreifen kann und wie. Die Benutzer greifen auf die Daten in der Middleware zu, indem sie Dienste ausführen - Softwareanwendungen, die bestimmte Aufgaben realisieren. Da es mehrere Benutzer geben kann, die bestimmte Daten auf die gleiche Art und Weise nutzen wollen, kann jeder von ihnen die gleiche Service-Software ausführen. Um zwischen diesen verschiedenen Diensten von verschiedenen Benutzern zu unterscheiden, wird jede Dienstinstanz durch den Namen der Dienstanwendung (der die realisierte Funktionalität definiert) und durch die Identität des Benutzers, der diese spezifische Instanz des Dienstes ausführt, identifiziert. Dadurch können die Datenbesitzer feingranulare Richtlinien (Policy) definieren, um festzulegen, wer (Benutzeridentität) auf ihre Daten zugreifen darf und zu welchem Zweck (Dienstanwendung).

Dieser Ansatz ermöglicht die Implementierung heterogener und verteilter Anwendungen, die aufgrund des gemeinsamen Datenbestandes die Synergien zwischen ihnen nutzen. Darüber hinaus können sich diese Anwendungen aufgrund der Vielfalt ihrer Datensätze gegenseitig durch die Nutzung der Datenfusion bereichern.

Im Projekt arbeiten wir derzeit an der Middleware für die Edge-, Fog- und Cloud-Ebene (siehe Abb. 2), aber wir planen auch eine Middleware für die drahtlosen Sensornetzwerke zu implementieren, die die gleiche Datensemantik nutzt und sich nahtlos mit der Edge-, Fog- und Cloud-Middleware verbindet. Es wird auch ermöglicht, den Prozess der Erstellung der Anwendungen auf Sensorknotenebene zu vereinfachen.

Der vorgesehene Umfang der im Rahmen des Projekts realisierten Anwendungen deckt die Umweltaspekte des Wassermanagements (Regenfall, Bodenfeuchtigkeit usw.) ab und bezieht sich auch auf die Luftqualität in unserer Doppelstadt. Die Pilotimplementierung wird es somit ermöglichen, die aktuelle und historische Situation in Bezug auf Überschwemmungen, Trockenheit und Luftverschmutzung zu zeigen.

services by different users, each service instance is identified by the service application name (defining the realized functionality) and by the identity of the user that runs this specific instance of the service. This allows the data owners to define fine-granular policies to specify who (user identity) can access their data and for what purpose (service application).

This approach allows implementing heterogeneous and distributed applications that exploit the synergies between them due to the common data set. Furthermore, these applications can enrich each other by exploiting the data fusion, due to the diversity of their data sets.

In the project we are currently working on the middleware for the Edge, Fog and Cloud level (see Fig. 2), but we also plan to implement a middleware for the wireless sensor networks that follows the same data semantics and seamlessly connects to the Edge, Fog and Cloud middleware. It will also allow to simplify the process of creating the sensor node level applications.

The intended scope of the applications realized within the project covers the environmental aspects of water management (rainfall, soil moisture, etc.) and is also related to the air quality in our Twin City. The pilot implementation will thus allow to show the current and historic situation with respect to flood, drought and air pollution.

6GKOM - Miniaturisierte Hardware-Module für 6G-Mobilkommunikation

6GKOM - Miniaturized Hardware Modules for 6G Mobile Communication

Das Forschungsvorhaben 6GKom will frühzeitig eine Hardware-Basis für 6G entwickeln. Im Gegensatz zu derzeit weltweit laufenden 6G-Vorbereitungsforschungsaktivitäten ist das Hauptziel von 6GKom, die Erforschung und Entwicklung eines effizienten, ultrabreitbandigen und miniaturisierten MIMO-D-Band-Moduls mit integrierter Beamforming-Fähigkeiten, basierend auf einer neuartigen skalierbaren Hardware-Systemarchitektur. Dieses integrierte Modul ermöglicht für künftige 6G-Mobilkommunikation Datenraten von mehreren Terabit pro Sekunde (Tbit/s) sowie sehr präzise Lokalisierungsanwendungen. Ein weiteres Ziel ist die Erforschung neuer Basisbandarchitekturen sowie die Entwicklung neuartiger Testverfahren und Testumgebungen, um das D-Band zu testen und zu analysieren. Die Testergebnisse werden eingesetzt, um das D-Band-Modul zu optimieren.

Mobile Kommunikationssysteme und -netze haben eine hohe wirtschaftliche und gesellschaftliche Bedeutung sowohl in der Wertschöpfung der Zulieferer als auch in der Gestaltung wirtschaftlicher Prozesse und der Anwendungen im privaten Bereich. Der kontinuierlich steigende Bedarf an Datenübertragung führt zur Entwicklung neuer Mobilfunkgenerationen mit verbesserter Leistungsfähigkeit. Aktuell wird das 5G-Netzwerk eingeführt. Da typischerweise etwa 10 Jahre zwischen der Entwicklung und Einführung neuer Mobilfunkgenerationen liegen, wird erwartet, dass weiterentwickelte, leistungsfähigere Netzwerke (6G) ca. im Jahr 2030 eingeführt werden. Seit 2017 laufen 6G-Vorbereitungsforschungen weltweit.

Im Vorhaben 6GKom adressiert das IHP gemeinsam mit der Universität Ulm Grundlagenforschung auf dem Gebiet des integrierten Schaltungsentwurfes für Infrastruktur-Lösungen der nächsten Mobilfunkgeneration (6G). Dazu wird eine zehnmalige Vergrößerung der Bandbreite von 6 GHz auf bis zu 60 GHz unter Zuhilfenahme des bisher schwach regulierten D-Bandes (110 – 170 GHz) avisiert. Dieses Frequenzband erfüllt alle Anforderungen für diese Anwendung und ist darüber hinaus kompatibel zu den Schaltgeschwindigkeiten neuester deutscher BiCMOS-Technologien (z. B. IHP-SG13-BiCMOS). Forschungsziel ist eine komplettete D-Band-Abdeckung mittels einer Hochintegration in

The 6GKom research project aims to develop a hardware basis for 6G at an early stage. In contrast to the 6G preparatory research activities currently ongoing worldwide, the main goal of 6GKom is the research and development of an efficient, ultra-broadband and miniaturized MIMO D-band module with integrated beamforming capabilities based on a novel, scalable hardware system architecture. This integrated module enables data rates of several terabits per second (Tbit/s) as well as very precise localization applications for future 6G mobile communication. Another goal is to research new baseband architectures and to develop novel test procedures and test environments to test and analyze the D-band. The test results are used to optimize the D-band module.

Mobile communication systems and networks are of great economic and social importance, both in the added value of the suppliers and in the design of economic processes and applications in the private sector. The continuously increasing demand for data transmission leads to the development of new generations of mobile communications with improved performance. The 5G network is currently being introduced worldwide. Since there are typically around 10 years between the development and introduction of new generations of mobile communications, it is expected that further developed, more powerful networks (6G) will be introduced around 2030. 6G preparatory research has been ongoing worldwide since 2017.

In the 6GKom project, IHP and its partner the University of Ulm are addressing basic research in the field of integrated circuit design for infrastructure solutions for the next generation of mobile communications (6G). For this purpose, a 10x increase in the bandwidth from 6 GHz to up to 60 GHz with the aid of the previously weakly regulated D-band (110 - 170 GHz) is advised. This frequency band meets all requirements for this application and is also compatible with the switching speeds of the latest German BiCMOS technologies (e.g. IHP SG13 BiCMOS). The research goal is a complete D-band coverage by means of high integration in BiCMOS, with the extended option of complex system integration and corresponding mass market capability with high yield.

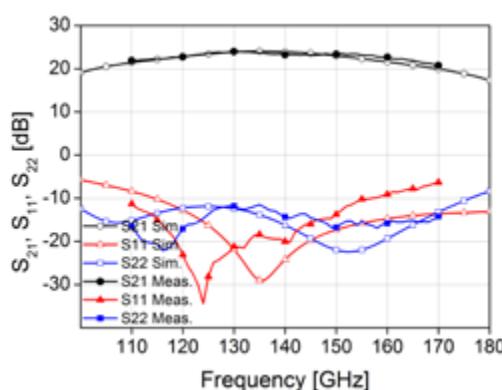
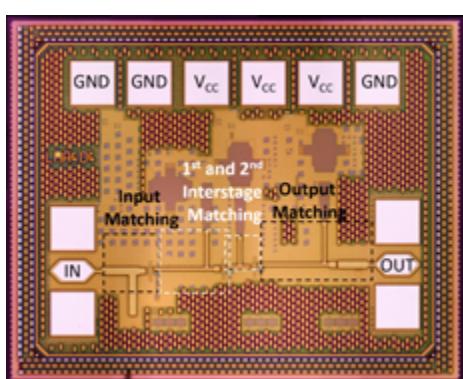


Abb. 3: Chipfoto von LNA und die Ergebnisse von S-Parameter-Messungen

Fig. 3: Chip photo of LNA and the results of s-parameter measurements

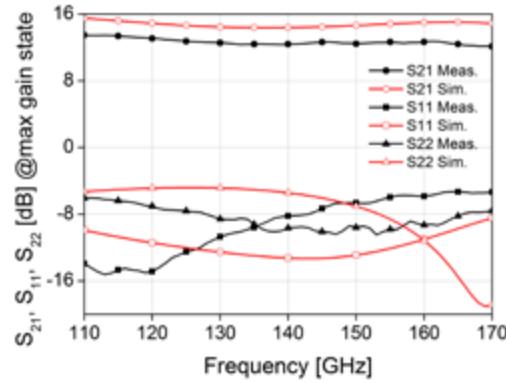
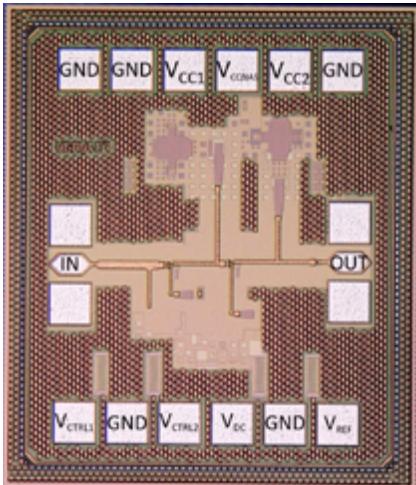


Abb. 4: Chipfoto von VGA und die Ergebnisse von S-Parameter-Messungen

Fig. 4: Chip photo of VGA and the results of s-parameter measurements

BiCMOS, mit der erweiterten Option einer komplexen Systemintegration und entsprechender Massenmarktfähigkeit mit hoher Ausbeute.

Eine Hauptaufgabe bei der Erforschung dieser D-Band-Transmit- und Receive-Schaltungen mit sehr hoher relativer Bandbreite liegt in der Implementierung von Komponenten für eine Strahlschwenkung (Beamforming) mittels integrierter True-Time Delay-Elemente. Im Jahr 2020 entwickelte, entwarf und testete das IHP alle wichtigen Komponenten, einschließlich LNA (Low Noise Amplifier) (Abb. 3), VGA (Variable Gain Amplifier) (Abb. 4) und TTD (True Time Delay) (Abb. 5). Die Komponentenintegration ist im Gange und sollte bis zum Ende des Projekts zu einem vollständigen Breitband-D-Band-Empfängermodul führen.

Im Bereich Basisbandverarbeitung und Lokalisierung beschäftigt sich das IHP mit effizienten Architekturen, welche eine quasi-gleichzeitige Datenübertragung und Lokalisierung ermöglichen. Dabei werden möglichst viele Funktionen aus der Basisbandverarbeitung für die Lokalisierung wiederverwendet. Die hohe angestrebte Bandbreite kann potentiell sowohl äußerst hohe Datenraten ermöglichen als auch eine sehr präzise Lokalisierung.

Die Forschungsergebnisse werden durch Zusammenarbeit mit einem Industriebeirat aus Firmen entlang der Wertschöpfungskette der Mikroelektronik hinsichtlich der wirtschaftlichen Verwertbarkeit kontinuierlich bewertet und gegebenenfalls transferiert.

A main task in researching these D-band transmit and receive circuits with a very high relative bandwidth is the implementation of components for beamforming using integrated true-time delay elements. The main focus of the IHP was the design of receiver circuit components. In 2020, the IHP developed, designed and tested all major components including LNA (Low Noise Amplifier) (Fig. 3), VGA (Variable Gain Amplifier) (Fig. 4) and TTD (True Time Delay) (Fig. 5). The component integration is under way and should result in a complete wide band D-band receiver module by the end of the project.

In the area of baseband processing and localization, the IHP deals with efficient architectures that enable quasi-simultaneous data transmission and localization. As many functions as possible from baseband processing are reused for localization. The pursued high bandwidth can potentially enable extremely high data rates as well as very precise localization. The theoretical studies are ongoing and the major implementation is planned for the second phase of the project.

The research results are continuously evaluated in terms of economic usability through cooperation with an industrial advisory board with companies along the microelectronics value chain and, if necessary, transferred.

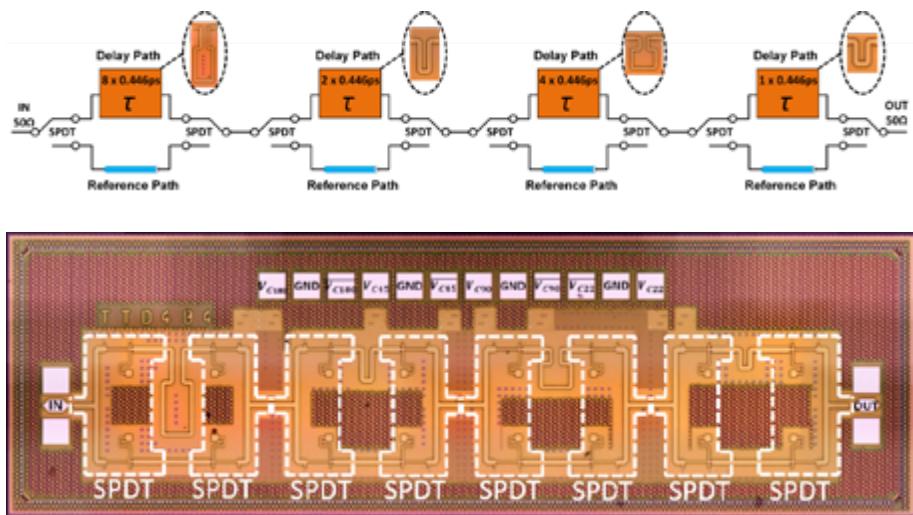


Abb. 5: True-Time Delay-Komponente
Fig. 5: True Time Delay Component

KI-PRO – Erforschung von RRAM-basierten KI-Hardwarebeschleunigern für automatisiertes Fahren

KI-PRO – Research on RRAM-based AI Hardware Accelerators for Automated Driving

Das BMBF-Projekt KI-PRO hat sich die Schaffung einer hierarchisch organisierten, KI-basierten Verarbeitungskette für Sensordaten zum Ziel gesetzt, welche es ermöglicht, die Daten frühzeitig in der Signalkette zu bearbeiten. Dadurch können die Bilder bzw. Datenprodukte ohne weitere Prozessierungsschritte zur direkten Interpretation für die höheren Funktionen eines autonomen Fahrsystems bereitgestellt werden. Wesentlicher Fokus liegt dabei auf hoher Rechenleistung, Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der Verarbeitung in den Teilsystemen, der Verwendung der offenen Befehlssatzarchitektur RISC-V als zentrale Prozessoreinheit sowie der Verifikation und Qualifikation hinsichtlich der Fehlerempfindlichkeit der Hardwarekomponenten auf FPGA und als ASIC.

KI-Lösungen gelten derzeit als vielversprechendster Ansatz zur Beherrschung komplexer Aufgaben wie etwa Bild-, Objekt- und Szenerenerkennung oder Regelung dynamischer, nichtlinearer Systeme. Sie sind daher von besonderem Interesse hinsichtlich des Einsatzes in autonomen Fahrzeugen sowohl zur Sensordatenverarbeitung wie auch für die Fahrkontrolle. Für diesen Einsatz sind jedoch zwei Aspekte wesentlich: 1) Für autonome Fahrzeuge gelten besondere Anforderungen hinsichtlich Zuverlässigkeit. Auch in einem potentiellen Fehlerfall muss das Fahrzeug weiterhin funktionssicher sein. 2) Energieverbrauch ist ein wesentlicher Aspekt bei automobilen Plattformen. Hinsichtlich E-Mobilität kommt dieser Aspekt besonders zum Tragen: Existierende Lösungen für Echtzeit-KI-Anwendungen haben eine Leistungsaufnahme von 500 W und mehr und setzen daher die Reichweite batteriegetriebener Fahrzeuge signifikant herab.

Das Projekt KI-PRO adressiert diese Aspekte auf mehreren Ebenen: Die Kombination der neuartigen RRAM-Technologie mit einer um anwendungsspezifischen Einheiten erweiterter Prozessarchitektur stellt eine leistungsfähige, aber energiesparende Architektur zur Verfügung. Diese Architektur zeigt außerdem spezielle Robustheit gegen auftretende Fehler. Dies wird ergänzt durch eine umfassende Analyse genutzter KI-Algorithmen. Diese Analyse dient einerseits der Härtung der Algorithmen, so dass auch im Fehlerfall eine im Rahmen der Anwendung ausreichende Funktion erbracht wird, andererseits zur Maßschneidung der Beschleunigereinheiten, etwa in Form dedizierter Datenflussarchitekturen. Resultierend hieraus ist ein hierarchisch gegliederter Ansatz, der es erlaubt, Daten bereits „in place“ in den jeweiligen Sensorarbeiten vorzuarbeiten und somit nicht nur ausreichende Rechenleistung, sondern insbesondere die geforderten Eigenschaften hinsichtlich hoher Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Robustheit und Energieverbrauch bereitstellt.

The BMBF project KI-PRO has set itself the goal of creating a hierarchically organized, AI-based processing chain for sensor data, which enables the data to be processed at an early stage in the signal chain. As a result, the images or data products can be provided without further processing steps for direct interpretation for the higher functions of an autonomous driving system. The main focus is on high computing power, reliability and availability of processing in the subsystems, the use of the open instruction set architecture RISC-V as a central processor unit, as well as the verification and qualification of the error sensitivity of the hardware components on FPGA and as ASIC.

AI solutions are currently considered to be the most promising approach to master complex tasks such as image, object and scene recognition or the control of dynamic, non-linear systems. They are therefore of particular interest with regard to use in autonomous vehicles both for sensor data processing and for driving control. However, two aspects are essential for this use: 1) For autonomous vehicles, special requirements apply in terms of reliability. Even in the event of a potential fault, the vehicle must continue to function reliably. 2) Energy consumption is an essential aspect of automotive platforms. With regard to e-mobility, this aspect is particularly important: existing solutions for real-time AI applications have a power consumption of 500 W and more and therefore significantly reduce the range of battery-powered vehicles.

The KI-PRO project addresses these aspects on several levels: The combination of the new RRAM technology with the processor architecture expanded by application-specific units provides a powerful but energy-saving architecture. This architecture also shows special robustness against occurring errors. This is complemented by a comprehensive analysis of the AI algorithms used. This analysis serves, on the one hand, to harden the algorithms so that a sufficient function is provided within the scope of the application even in the event of an error, and, on the other hand, to tailor the accelerator units, for example in the form of dedicated data flow architectures. The result is a hierarchically structured approach that allows data to be preprocessed “in place” in the respective sensor work and thus not only provides sufficient computing power, but in particular the required properties with regard to high reliability, availability, robustness and energy consumption.

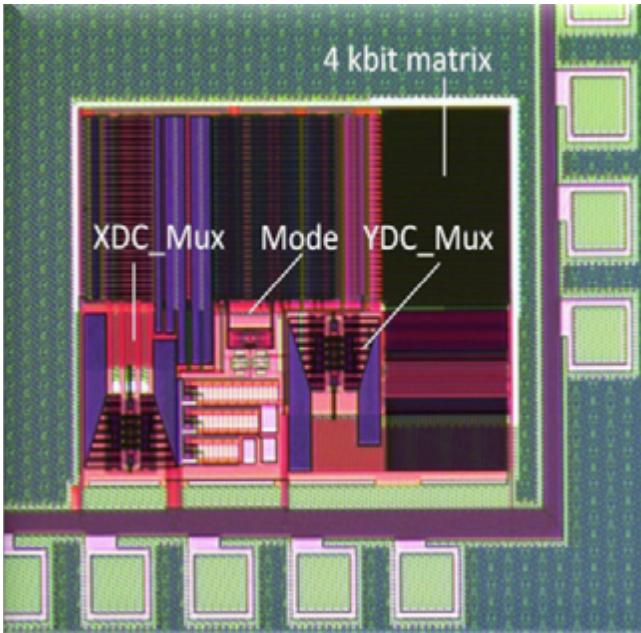


Abb. 6: Integriertes 4-kbit-RRAM-Array des IHP
Fig. 6: Integrated 4-kbit RRAM array of the IHP

Ziel des IHP ist es, die Verwendung von memristiven RRAMs zur Beschleunigung der Berechnung in KI-Systemen für automatisiertes Fahren zu untersuchen. Dabei handelt es sich um ein neuartiges, nicht-flüchtiges und CMOS-kompatibles Speicherelement, nicht unähnlich dem SRAM, dass, zusätzlich zur geringeren Größe und Stromaufnahme, Multi-Bit-fähig ist und somit mehrere Bits in einer Zelle speichern kann. Ferner bieten memristive Bauelemente einen weiteren wichtigen Aspekt: eine in der Speicherzelle selbst stattfindende Datenverarbeitung in einem neuromorphen Netzwerk. Das memristive Bauelement ist somit nicht nur ein datenspeicherndes, sondern gleichzeitig auch ein datenverarbeitendes Element, mit dem Energie gespart werden kann. In diesem Zusammenhang wird die entwickelte RRAM-Technologie am IHP verwendet, um ein Speicherarray zu erzeugen, das in solchen Anwendungen verwendet werden kann (siehe Abb. 6). Das Array ist mit zusätzlicher Elektronik erweitert, die eine Schnittstelle zu herkömmlichen Computerplattformen ermöglicht (siehe Abb. 7). Als nächstes wird ein repräsentativer KI-Algorithmus auf der integrierten Plattform platziert, um die Eigenschaften eines solchen innovativen Systems zu evaluieren. Der Hauptforschungsschwerpunkt liegt auf den fehlertoleranten Mechanismen (einschließlich Trainingsprogrammen für RRAM), die den korrekten Betrieb eines solchen Beschleunigers auch bei Vorhandensein von technologischen Toleranzen ermöglichen.

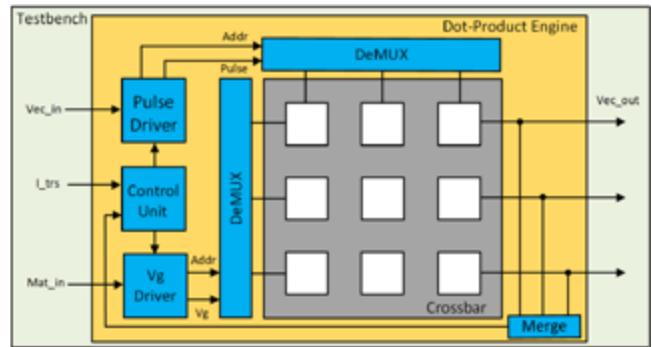


Abb. 7: Entwurf des RRAM-basierten Beschleuniger-IC
Fig. 7: Design of the RRAM-based accelerator ICS

The aim of IHP is to investigate the use of memristive RRAMs to accelerate the computation in AI systems for automated driving. This is a new, non-volatile and CMOS-compatible memory element, not unlike SRAM, which, in addition to its smaller size and power consumption, is multi-bit capable and can therefore store several bits in one cell. Furthermore, memristive components offer another important aspect: data processing that takes place in the memory cell itself in a neuromorphic network. The memristive component is therefore not only a data-storing element, but also a data-processing element, with which energy can be saved. In this context, the developed RRAM technology at IHP is used to create a memory array that can be used in such applications (see Fig. 6). The array is expanded with additional electronics that allow an interface to conventional computer platforms (see Fig. 7). Next, a representative AI algorithm is placed on the integrated platform to evaluate the properties of such an innovative system. The main focus of research is on the fault tolerant mechanisms (including training programs for RRAM) that enable the correct operation of such an accelerator even in the presence of technological tolerances.

ChirpIC – Strahlentolerante ASICs für die ESA-JUICE-Mission ins Jupitersystem

ChirpIC – Radiation Tolerant ASICs for ESA JUICE Mission to Jupiter

Das Projekt ChirpIC (2013 - 2020) ist ein winziger, aber bedeutender Beitrag zur ESA-Weltraummission JUICE, die 2022 gestartet werden soll. Dies ist die erste europäische Mission zum Jupiter, die sich auf die Erforschung seiner eisigen Galileischen Monde fokussiert. Unter zehn wissenschaftlichen Messgeräten am Bord der Raumsonde wird das Submillimeter Wave Instrument (SWI) die Chemie, die Metrologie, die Struktur der Jupiter-Stratosphäre und der Exosphären der Galileischen Monde untersuchen. Das Max-Planck-Institut (MPI) für Sonnensystemforschung (Göttingen, Deutschland) hat das SWI konzipiert und entwickelt. Da Größe, Gewicht und Stromverbrauch in Weltraumanwendungen sehr wichtig sind, entschieden sich die SWI-Entwickler, winzige ICs anstelle sperriger diskreter Komponenten zu verwenden. Dadurch ist es ihnen gelungen, beeindruckende Verbesserungen im Vergleich zum SWI-Vorgänger zu erzielen.

Das ChirpIC-Projekt befasst sich mit der Entwicklung strahlungstoleranter ASICs für ein Chirp-Transform-Spektrometer (CTS), das die Kernfunktion des SWI-Instruments darstellt. Abb. 8 zeigt das Blockdiagramm des Spektrometers und wo sich die ASICs im System befinden. Beide ICs sind komplexe Mixed-Signal-Schaltkreise, bei denen während der IC-Entwicklungsphase eng zwischen den Schaltkreis- und Systemdesignabteilungen des IHP zusammengearbeitet wurde. Darüber hinaus spielte die kontinuierliche Beratung mit Physikern aus der Technologieabteilung eine wichtige Rolle, um einen strahlungstoleranten Betrieb der ASICs zu erreichen.

The ChirpIC project (2013 - 2020) is a tiny but significant contribution to the ESA space mission JUICE (to be launched in 2022). That is the first European mission to Jupiter, focusing on the exploration of its icy moons. Among ten scientific measurement devices on board of the spacecraft, the Submillimeter Wave Instrument (SWI), being developed by Max-Planck Institute (MPI) for Solar System Research (Göttingen, Germany), will investigate the composition, history, structure, and general circulation of Jupiter's stratosphere and exospheres of the Galilean satellites. As the size, weight, and power consumption are very important in space applications, the SWI developers decided to utilize tiny ICs within the system instead of using a bulky discrete component assembly, thus achieving impressive improvements compared to the SWI predecessor.

The ChirpIC project deals with the development of radiation-tolerant ASICs for a real-time Chirp Transform Spectrometer (CTS), which is the core function of the SWI instrument. Fig. 8 shows the block diagram of the spectrometer, showing the ASICs' positions in the system. Both ICs are complex mixed-signal circuits that involved tight collaboration between IHP's circuit and system design departments during the IC development and characterization phases. Moreover, continuous consulting with physicists from the technology department played a substantial role in achieving a radiation-tolerant operation.

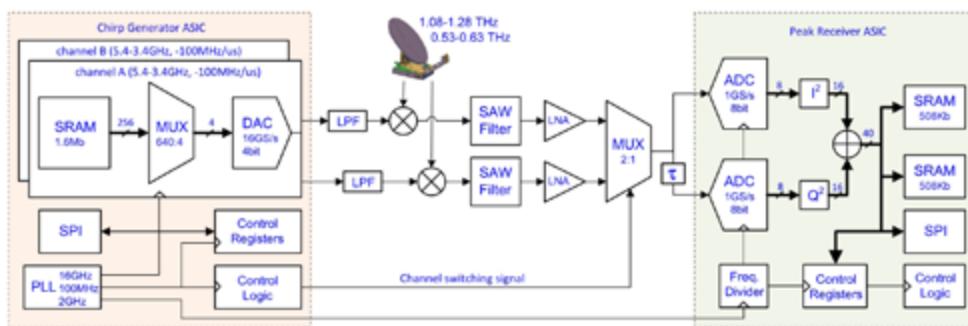


Abb. 8: SWI-Blockschaltbild mit Chirp-Generator und Peak-Receiver ASICs.
Fig. 8: SWI block diagram including AWG for chirp generation and peak receiver.

Die Erzeugung eines Chirp-Signals wird durch ein ASIC mit einem 3,2-Mbit-SRAM, einer Multiplexerkette und einem 2-Kanal-16-GS/s-Digital-Analog-Wandler realisiert. Das ASIC muss aus gespeicherten Daten zwei Chirp-Signale mit einer Startfrequenz von 5,4 GHz und einer Chirp-Rate von -100 MHz/µs erzeugen. Die Dauer des erzeugten Chirpsignals von 20 µs führt zu einer Stopffrequenz von 3,4 GHz. Der 0,13-µm-SiGe-BiCMOS-Prozess vom IHP wurde für die IC-Herstellung ausgewählt, weil er eine gute Energieeffizienz in Bezug auf Hochgeschwindigkeitslogik im GHz-Bereich besitzt. Der finale strahlungstolerante Chip hat eine Siliziumfläche von 37,6 mm² und verbraucht 3 W

The chirp signal generation is realized as an arbitrary waveform generator IC, having a 3.2 Mbit SRAM, a multiplexer chain, and a 2-channel 16 GS/s digital-to-analog converter. The ASIC has to produce two chirp signals with a starting frequency of 5.4 GHz and a chirp rate of -100 MHz/µs from stored data. Duration of the generated chirp signal of 20 µs results in a stop frequency of 3.4 GHz.

For IC manufacturing, an IHP 0.13 µm SiGe BiCMOS semiconductor process has been chosen that demonstrates good power efficiency concerning high-speed logic applications at the GHz range. The final radiation-tolerant ASIC occupies 37.6 mm² of silicon area while

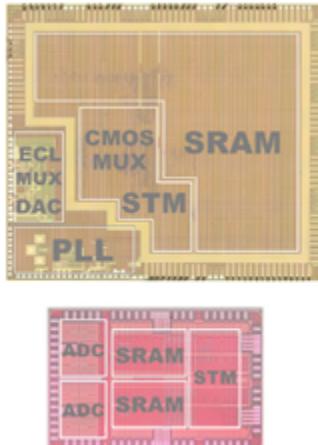
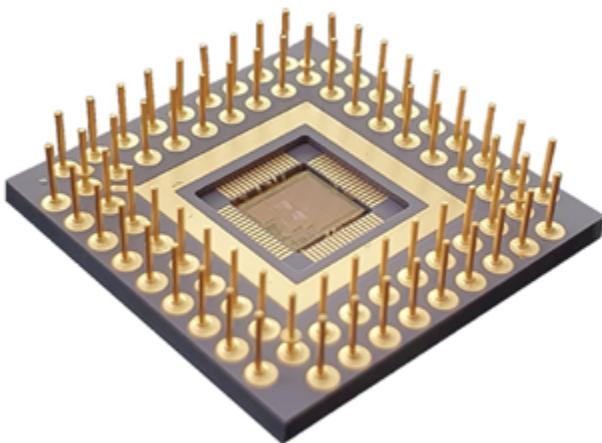


Abb. 9: Chirp Generator ASIC montiert ins Gehäuse für einen Strahlungstest (links); 0,13- μ m-SiGe-BiCMOS-Chirp-Generatoren-ASIC (rechts oben) und 65-nm-CMOS-Peak-Receiver-ASIC (rechts unten)

Fig. 9: Packaged Chirp Generator ASIC for irradiation test (left); 0.13 μ m SiGe BiCMOS Chirp Generator ASIC (top right) and 65 nm CMOS Peak Receiver ASIC (bottom right)

Leistung. Abb. 9 zeigt das Chirp-Generator-ASIC in einem Gehäuse, das für einen Bestrahlungstest vorgesehen ist.

Ein 1,1 bis 2,1 GHz-Ausgangssignal am SAW-Filter repräsentiert die komplexe Fourier-Transformation des erfassten Signals. Das Peak-Receiver ASIC berechnet den resultierenden spektralen Leistungswert und speichert ihn ab. Ein 65-nm-CMOS-Halbleiterprozess von ST-Microelectronics zusammen mit einem C65Space-Prozess-Design-Kit ermöglicht die Entwicklung strahlungstoleranter ICs. Mit dieser CMOS-Technologie entwickelte das IHP in Zusammenarbeit mit dem Institut für Elektrotechnik und Optische Kommunikationstechnik (Universität Stuttgart, Deutschland) das Peak-Receiver ASIC. Abb. 9 stellt das gefertigte ASIC dar. Der Peak-Receiver hat eine Siliziumfläche von 7 mm² und verbraucht während des Betriebs 1 W Leistung.

Das Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung führte die gesamte Charakterisierung von SWI durch, einschließlich beider ASICs, und ist bereit, das SWI-Flugmodell für die Weltraummission zu liefern. Abb. 10 zeigt den Back-End-Teil des SWI-Moduls, in dem die montierten ASICs zusätzlich abgeschirmt wurden, um den Strahlungseinfluss zu verringern.

dissipating 3 W of power. Fig. 9 shows the chirp generator ASIC in the package dedicated for an irradiation test.

A 1.1-2.1 GHz SAW filter output signal represents the complex Fourier transformation of the sensed signal. A peak receiver ASIC calculates the resulting spectral power value and stores it in the memory. A 65 nm CMOS semiconductor process from ST Microelectronics along with a C65Space process design kit enables the development of radiation-tolerant ICs. Using this CMOS technology, IHP, in cooperation with the Institute of Electrical and Optical Communications Engineering (University of Stuttgart, Germany), developed the peak receiver ASIC. Fig. 9 shows the die microphotograph of the ASIC. The peak receiver occupies 7 mm² of silicon area and dissipates 1 W of power during operation.

MPI for Solar System Research performed all the characterization of SWI, including both ASICs and is ready to deliver the SWI flight model for the space mission. Fig. 10 shows the back-end part of the SWI module, where the packaged ASICs have been additionally shielded to reduce radiation influence.

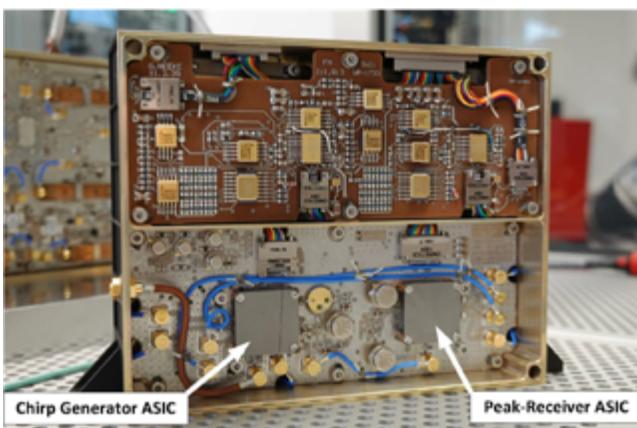


Abb. 10: SWI mit den vom IHP entwickelten strahlentoleranten ASICs (zusammengebaut vom MPI für Sonnensystemforschung)

Fig. 10: SWI developed by MPI for Solar System Research including the radiation-tolerant ASICs designed at IHP.

GaNOnCMOS – Hochintegration von GaN mit Si-CMOS für zuverlässige, kosteneffektive und hochfrequente Stromversorgungssysteme

GaN Densely Integrated with Si-CMOS for Reliable, Cost Effective High Frequency Power Delivery Systems

Das europäische H2020-GaNOnCMOS-Projekt ist ein multidisziplinäres Projekt, das darauf abzielt, neuartige kostengünstige und zuverlässige GaN-basierte Prozesse, Komponenten, Module und Integrationsschemata zu entwickeln und deren Leistung und wirtschaftliches Potenzial auf Systemebene zu einer signifikanten Energieeinsparung in einem breiten Anwendungsbereich energieintensiver Anwendungen zu demonstrieren.

Die Entwicklung von Materialien, Modulen und Systemen in GaNOnCMOS, die über den Stand der Technik hinausgehen, wird eine neue Generation hochintegrierter Leistungselektronik mit hohem Wirkungsgrad und geringer Größe vorantreiben und den Weg zu kostengünstigen, hochzuverlässigen Systemen für energieintensive Anwendungen ebnen. Jüngste Fortschritte bei Halbleitern mit großer Bandlücke haben GaN zu einem attraktiven Anwärter zur Realisierung von Schaltern für Gleichspannungswandler (DC/DC-Konverter) mit hohem Übersetzungsverhältnis im zuvor unerforschten Anwendungsbereich für Niederspannung (< 100 V) gemacht, wie sie z. B. CPU-Netzteile in Servern und in Automobilsystemen benötigt werden.

Der Beitrag des IHP im Rahmen des GaNOnCMOS-Projekts besteht darin, GaN-Leistungsschalter mit vom IHP selbst entworfenen und hergestellten CMOS-Reglern und -Treibern eng zu vereinen, wobei drei verschiedene Integrationsschemata von der Board-Ebene bis zur Chip-ebene realisiert werden (Abb. 11). Der letztgenannte Ansatz arbeitet unter Verwendung des direkten Waferbondens (DWB) zwischen GaN auf Si (111)-Scheiben und CMOS auf Si (100)-Scheiben. Zusätzlich führt das IHP thermische Simulationen von Demonstrator-Leiterplatten durch, die von einem Projektpartner entwickelt wurden.

The European H2020 GaNOnCMOS project is a multidisciplinary effort that aims to develop novel low cost and reliable GaN-based processes, components, modules and integration schemes, and to demonstrate their system-level performance and economic potential to deliver significant energy savings in a wide range of energy-intensive applications.

The development of materials, modules, and systems in GaNOnCMOS that go beyond the state-of-the-art will drive a new generation of densely integrated power electronics with high efficiency and small size, paving the way to low-cost, high-reliability systems for energy-intensive applications. Recent advances in wide bandgap semiconductors has made GaN an attractive contender for realizing switches for high-ratio point-of-load DC-DC converters in the previously unexplored low-voltage (< 100 V) scope of application, such as CPU power supplies in servers and in automotive systems.

IHP's contribution within the GaNOnCMOS project is to integrate GaN power switches with IHP own designed and produced CMOS drivers densely together using 3 different integration schemes from the package level up to the chip level using direct wafer-bonding (DWB) between GaN on Si (111) and CMOS on Si (100) wafers (Fig. 11). Additionally IHP performs thermal simulations of demonstrator PCBs developed by a project partner.

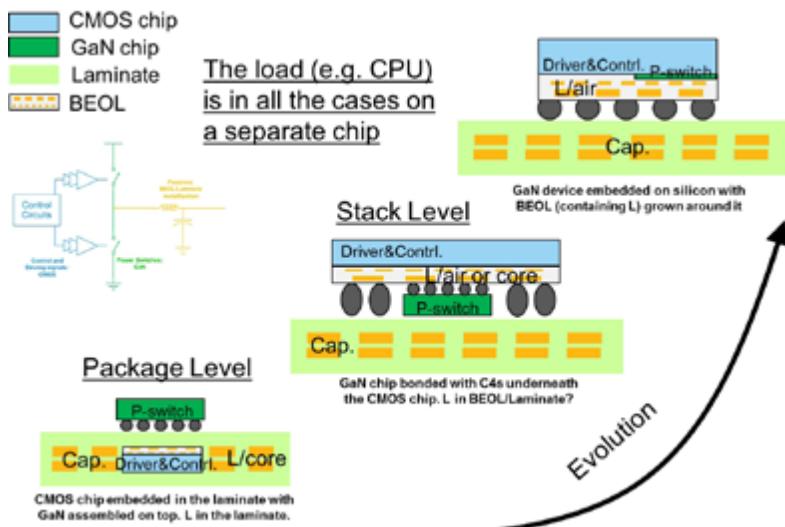


Abb. 11: Integrations- und Komplexitätsstufen der Komponenten der Projektpartner innerhalb des Projekts

Fig. 11: Evolution of increasing integration and complexity level from the package level to the stack level and the way up to the chip level

CMOS-Treiber- und Regler-ICs

Zu Beginn wurden die Treiber- und Regleraufgaben des Spannungsreglermoduls in zwei getrennten integrierten Schaltkreisen (IC) implementiert. Diese Chips wurden in einem Abwärtskonverter mit geschlossenem Regelkreis als PCB-Level-Demonstrator zusammen mit von Projektpartnern entwickelten GaN-Schaltern und eingebetteten Induktivitäten eingesetzt (Abb. 14). Messungen zeigen einen Wirkungsgrad von besser als 90 % für den Konverter.

Nachdem die volle Leistungsfähigkeit der getrennten Treiber- und Regler-ICs gezeigt wurde, wurde ein kombinierter Chip entwickelt und hergestellt. Dieser IC belegt 40 % weniger Fläche als der frühere Treiber-IC allein. Dabei wurden die volle Funktionalität des Reglers und ein um einige Funktionen erweiterter Treiber implementiert. Dieser Chip enthält einen Treiber für GaN-Schalter in Halbbrückenformation in Kombination mit einem einfachen PWM-Regler für 12-V-DC/DC-Wandler. Abb. 12 zeigt das Blockschaltbild dieses IC und Abb. 13 zeigt den 1,5 x 1,8 mm² großen Chip. Die vielversprechenden Ergebnisse des kombinierten IC sind Grundlage eines angepassten Designs für den Chip-Level-Demonstrator, um das Potenzial der Direktwafer-Bonding-Technologie zu demonstrieren.

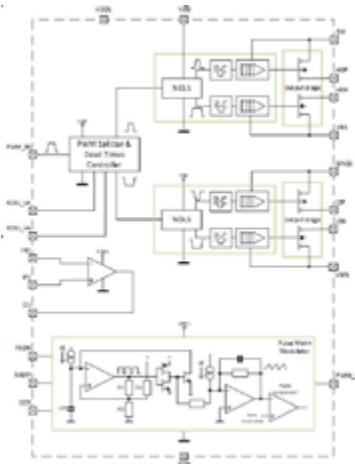


Abb. 12: Blockschaltbild des kombinierten Treiber-/Regler-ICs
Fig. 12: Block diagram of the combined driver/controller IC

CMOS driver and controller ICs

Initially, the driver and controller functionalities of the voltage regulator module were implemented in two separate integrated circuits. These chips were employed in a closed-loop buck converter as PCB level demonstrator together with GaN switches and embedded inductors developed by project partners (Fig. 14). Measurements show an efficiency of better than 90 % for the converter.

After demonstrating the total performance of the separate driver and regulator ICs, a combined chip was designed and fabricated. This IC occupies 40 % less area than the previous driver IC alone. The full functionality of the controller and a driver extended by some functions were implemented. This chip contains a driver for GaN switches in half-bridge formation in combination with a simple PWM regulator for 12-V DC/DC converters. Fig. 12 shows the block diagram of this IC and Fig. 13 illustrates the 1.5 x 1.8 mm² chip. The promising results of the combined IC are the basis for a design adapted to the chip level demonstrator in order to demonstrate the potential of the direct wafer bonding technology.

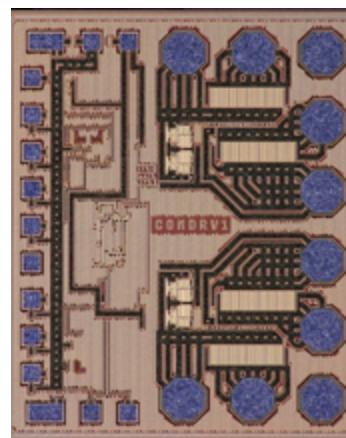


Abb. 13: Chipfoto des kombinierten Treiber-/Controller-ICs
Fig. 13: Photo of the combined driver/controller IC

Planarisierung der Passivierung für den Integrationsansatz auf Chipebene

Für das direkte Waferbonden (DWB), das eine wesentliche Technik für den Integrationsansatz auf Chipebene darstellt, muss die Oberfläche des Si-Wafers vorbereitet werden. Normalerweise ist die Passivierung auf Top Metal 2 (TM2) nicht planarisiert, sondern weist eine Topographie mit einer Stufenhöhe von etwa 3 µm auf und ist so nicht für einen Oxid-Oxid-Wafer-Verbindungsprozess verwendbar. Ein Planarisierungsprozess ist unerlässlich. Zu diesem Zweck wird eine zusätzliche Oxidabscheidung in einer Abscheidungstechnik mit Lückenfüllfähigkeiten benötigt, die bei Temperaturen von ca. 400 °C funktioniert. Für diese Anwendung ist das Plasmaabscheideverfahren HDP-CVD die Methode der Wahl. Um genügend Oxidmaterial für das anschließende chemisch-mechanische Polieren (CMP) zu haben, wurde ein zusätzliches Plasma-Oxid verwendet. Ziel ist eine Planarisierung von TM2 mit einer bestimmten Restoxiddicke auf der Metallocberfläche. Die Oxiddicke wurde auf 1500 nm festgelegt. Für den anschließenden, speziellen Wafer-Bonding-Pro-

Planarization of the passivation for the chip level integration approach

For direct wafer bonding, which is an essential technique for the chip-level integration approach, the surface of the Si wafer must be prepared. Normally, the passivation on top metal 2 (TM2) is not planarized, but has a topography with a step height of about 3 µm and thus cannot be used for an oxide-to-wafer bonding process. A planarization process is essential. For this purpose, additional oxide deposition is needed in a deposition technique with gap-filling capabilities that operates at temperatures of about 400°C. For this application, the plasma deposition process HDP-CVD is the method of choice. To have enough oxide material for the subsequent chemical mechanical polishing (CMP) an additional plasma TEOS (tetra-ethoxysilane) oxide was used. The oxide thickness was defined to be 1500 nm on top of the metal surface. For this particular wafer bonding process performed at IBM Zurich we need rms roughness (r_q) smaller than 0.5 nm and step heights smaller than 8 nm in an AFM scan area of at least 5x5

zess, der bei IBM Zürich durchgeführt wird, benötigen wir eine Effektivrauheit von weniger als 0,5 nm und Stufenhöhen von weniger als 8 nm in einem Bereich von mindestens $5 \times 5 \mu\text{m}^2$. Die Querschnitte des TM2 nach Abscheidung der beiden Oxidschichten und des planarisierten TM2 nach CMP sind in Abb. 15 dargestellt. A1 stellt eine Fläche ohne Metallstrukturen dar, A2 die eine Fläche mit Metallstrukturen (z. B. Filler-Strukturen) und S1 repräsentiert die Stufenhöhe.



Abb. 14: DC/DC-Abwärtswandlermodul mit Komponenten der Projektpartner inkl. IHP-Treiber- und Regler-ICs

Fig. 14: Buck converter module with components delivered by the project partners including IHP's driver and controller ICs

Thermische Simulationen

Das Ziel dieses Arbeitspakets ist die Simulation ganzer DC/DC-Wandlerplatinen sowie von Komponenten wie eingebetteten Spulen. Begonnen wurde mit den thermischen Simulationen von Leiterplatten des sogenannten PCB-Demo 5 gemäß Abb. 11 unten links. Die Platine ist auch in Abb. 14 dargestellt. Das Besondere an der Demo 5 ist, dass alle Komponenten für den Aufbau im Projekt entwickelt und hergestellt wurden. Dies bedeutet, dass die CMOS-Regler und Treiberchips vom IHP neben dem GaN-HEMT-Chip von IAF verwendet werden. Mit diesem Konvertermodul wird eine Ausgangsleistung von 5 W bei einem Wirkungsgrad von mehr als 90 % erzeugt. Es stellt sich heraus, dass die Hauptwärmequellen der GaN-Chip und die eingebettete Spule sind. Nach Korrektur der Eingangswärmeleistung (je 200 mW) liegt die maximale Temperatur auf der Platine unter 40 °C (Abb. 16), was keine zu erwartenden thermische Probleme impliziert. Die in diesen beiden Bauelementen erzeugte Wärme fließt hauptsächlich über zwei Pfade ab: die Durchkontakteierungen unterhalb des GaN-Chips und die große Metallfläche in der oberen rechten Ecke der Platine.

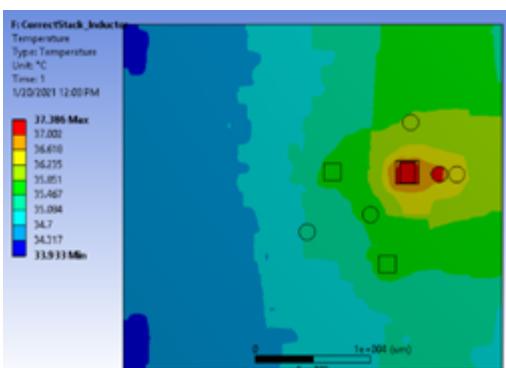


Abb. 16: Thermische Simulation des Demonstrator-Boards 5, das am Tyndall Institut gefertigt wurde und die IHP-Komponenten CMOS-Regler und CMOS-Treiber enthält.

Fig. 16: Thermal simulation of a PCB demonstrator 5 that was built at the Tyndall Institute and was assembled with IHP's CMOS controller and driver ICs.

μm^2 . Cross section schemes of TM2 after deposition and after CMP are shown in the Fig. 15. A1 (from Fig. 15) represents the area without metal structures, A2 the area with metal structures (metal filler) and S1 represents the step height.

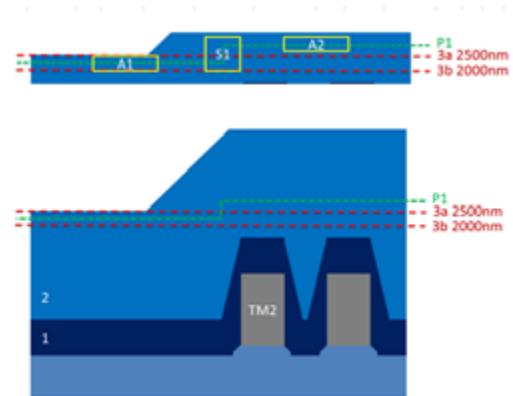


Abb. 15: Schema des Querschnitts Top Metall 2 (TM2) nach der Abscheidung und nach dem chemisch-mechanischen Polieren (CMP)

Fig. 15: Scheme of the top metal 2 (TM2) cross section after deposition and chemical mechanical polishing (CMP)

Thermal simulations

The goal of this work package is the simulation of whole DC/DC converter boards as well as components like in-board embedded inductors. We started with the thermal simulations of printed circuit boards of the so-called PCB-Demo 5 as shown in Fig. 11 bottom left. The board is also shown in Fig. 14. The special feature of Demo 5 is that all components for the assembly were developed and manufactured in the project. This means that the CMOS regulators and driver chips from IHP are used alongside the GaN HEMT chip from IAF. This converter module is used to produce an output power of 5 W with an efficiency of more than 90 %. It turns out that main heat sources are the GaN chip and the Inductor. After correcting the input power, the maximum temperature is below 40 °C (Fig. 16), implying no anticipated thermal issues. The heat generated in these two devices mainly dissipates through two paths: one is down through plated vias and the other is spreading through the large metal on the top right corner of the board.

TARANTO – Fortgeschrittene BiCMOS-Technologieplattform für RF- und THz-Anwendungen

TARANTO – Towards Advanced BiCMOS Nano Technology Platforms for RF and THz Applications

Das Projekt TARANTO zielt auf die Entwicklung zukünftiger BiCMOS-Technologieplattformen mit signifikant verbesserten Hochfrequenzeigenschaften von SiGe-HBTs (Heterojunction Bipolar Transistoren) in Kombination mit fortschrittlichen CMOS-Prozessen mit hohem Integrationsgrad. Die neue Generation von Transistoren ermöglicht eine weitere, deutliche Leistungssteigerung heutiger Kommunikations- und Radarsysteme, die für die Integration heterogener intelligenter Systeme und zukünftige automatisierte Transportsysteme erforderlich ist. Das Projekt mit 33 Partnern aus sechs europäischen Ländern wird im Rahmen des ECSEL-Programms durch die EU und das BMBF von April 2017 bis Februar 2021 gefördert.

Schwerpunkt der technologischen Arbeiten am IHP war die Weiterentwicklung von zwei alternativen Bauelementkonzepten für Hochgeschwindigkeits-SiGe-HBTs, die sich durch partiell einkristalline Basisanschlussgebiete auszeichnen. Diese HBT-Konzepte ermöglichen die Realisierung besonders geringer Anschlusswiderstände der Basis des Transistors und damit besonders hohe Grenzfrequenzen f_{MAX} . Neben der Untersuchung des Potenzials für höchste Frequenzanforderungen stand die Anwendbarkeit dieser Bauelementkonzepte in industriellen BiCMOS-Prozessen im Mittelpunkt der Forschungen.

Das erste HBT-Konzept nutzt ein nichtselektives Epitaxieverfahren zur Herstellung der SiGe-Basisschicht und stellt eine Weiterentwicklung der in den 130-nm-BiCMOS-Technologien des IHP genutzten Transistorkonstruktion dar. Mit diesem Konzept wurden 2020 HBTs mit Grenzfrequenzen f_{MAX} von 700 GHz und f_T von 470 GHz in der 130-nm-BiCMOS-Technologie demonstriert (Abb. 17). Damit konnte das angestrebte Projektziel von TARANTO erfüllt werden. Basierend auf diesen Ergebnissen wurde die Entwicklung einer neuen BiCMOS-Plattform SG13G3 für den Chipfertigungsservice des IHP begonnen, die die hier erreichte HBT-Performanz erstmals für die Entwicklung integrierter Schaltungen erschließt.

The TARANTO project aims to break the technological barriers for the development of future BiCMOS technology platforms, allowing the improvement of the performance of the HBT (Heterojunction Bipolar Transistors) with a much higher level of integration. This new generation of transistors will be a key factor to meet the needs of high-speed communication systems and high data rates required for the integration of heterogeneous intelligent systems as well as for intelligent mobility systems that will be used in future fully automated transport systems. The project with 33 partners from 6 European countries is supported under the ECSEL program by the European Commission and the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) from April 2017 to February 2021.

The technological work at IHP focused on further development of two alternative device concepts for high-speed SiGe HBTs, which are characterized by partially monocrystalline base link regions. These HBT concepts allow the realization of particularly low external base resistances and thus high cutoff frequencies f_{MAX} . The research addressed the applicability of these device concepts in industrial BiCMOS processes as well as their potential for highest HBT performance.

The first HBT concept uses a non-selective epitaxial process to fabricate the SiGe base layer and represents a further development of the transistor concept used in IHP's 130 nm BiCMOS technologies. With this approach, HBTs with cutoff frequencies f_{MAX} of 700 GHz and f_T of 470 GHz were demonstrated in 130 nm BiC-MOS technology in 2020 (Fig. 17). Thus, the pursued project goal of TARANTO was fulfilled. Based on these results, IHP started the development of a new BiCMOS platform SG13G3 for its chip fabrication service, which will offer for the first time the HBT performance achieved here for the development of integrated circuits.

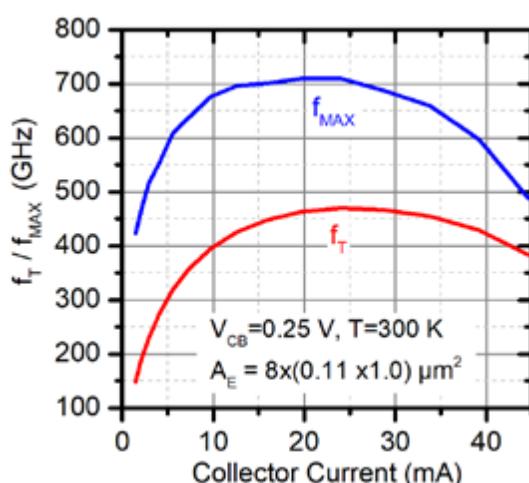


Abb. 17: Grenzfrequenzen f_T und f_{MAX} eines SiGe-HBTs als Funktion des Kollektorstromes.

Fig. 17: Transit frequency f_T and maximum oscillation frequency f_{MAX} of a SiGe HBT as a function of collector current.

Das zweite HBT-Konzept mit epitaxiellen Basisanschlussgebieten (EBL) und selektiver Epitaxie zur Herstellung der SiGe-Basisschicht wurde in dem Vorgängerprojekt DOTSEVEN am IHP entwickelt. In TARANTO wurde die industrielle Anwendbarkeit dieser Transistorkonstruktion und ihr Potenzial für höchste Grenzfrequenzen in gemeinsamen Prozessabläufen der Projektpartner IHP und Infineon untersucht, in denen das EBL-HBT-Modul am IHP gefertigt wurde und die restliche BiCMOS-Prozessierung bei Infineon erfolgte. Es konnte gezeigt werden, dass die für die nächste Generation industrieller BiCMOS-Technologien avisierten Grenzfrequenzen f_{MAX} von ca. 600 GHz mit diesem Konzept realisierbar sind. Infineon hat das EBL-HBT-Konzept des IHP für die Entwicklung seiner 90-nm-BiCMOS-Technologie lizenziert.

Das Potenzial von Hochgeschwindigkeits-SiGe-HBTs für drahtlose Datenkommunikationssysteme der nächsten Generation wurde durch integrierte Schaltungen in zwei verschiedenen Frequenzbändern erforscht, die in den SG13S- und SG13G2-Technologien des IHP entwickelt wurden.

Das erste System, eine Doppelchip-Lösung für modulare Phased-Arrays mit Doppelpolarisation, arbeitet bei den 5G-Frequenzen um 28 GHz. Ein Low-IF-Up/Down-Converter-Chip, ausgestattet mit Single-Side-Band-Mixern in der Übertragung und Image-Rejection-Mixern im Empfang, konvertiert die Daten zwischen 3 GHz und 28 GHz unter Verwendung eines externen 12-GHz-Lokaloszillatorsignals. Der entwickelte bidirektionale Strahlformungschip mit doppelter Polarisation ist in der Lage, zwei 28-GHz-Signale in der Phase zu verschieben (in der Übertragung) und wieder in Phase zu bringen (im Empfang) und ein 2x2-Antennen-Array zu speisen. Zu diesem Zweck werden Vektor-Modulator-Phasenschieber verwendet.

The second HBT concept with epitaxial base link (EBL) regions and selective epitaxy for the fabrication of the SiGe base layer was developed in the predecessor project DOTSEVEN at IHP. In TARANTO, the industrial applicability of this transistor concept and its potential for highest cutoff frequencies was investigated in joint process flows of the project partners IHP and Infineon, in which the EBL-HBT module was fabricated at IHP and the remaining BiCMOS processing was performed at Infineon. It was shown that the f_{MAX} -values of about 600 GHz targeted for the next generation of industrial BiCMOS technologies can be realized with this HBT concept. Infineon has licensed the EBL-HBT concept of IHP for the development of its own 90 nm BiCMOS technology.

The potential of high-speed SiGe HBTs for next generation wireless data communication systems has been explored by integrated circuits at two different frequency bands developed in IHP's SG13S and SG13G2 technologies.

The first system, a double chip solution for modular double-polarization phased arrays, operates at the 5G frequencies centered at around 28 GHz. A low-IF up/down converter chip, equipped with single side band mixers in transmission and image rejection mixers in reception, converts the data between 3 GHz and 28 GHz making use of a doubled 12 GHz external local oscillator signal. A bidirectional double polarization beamforming chip is capable of phase-shift (in transmission) and re-phase (in reception) of two 28 GHz signals and to feed a 2x2 double polarization antenna array. For this purpose vector modulator phase shifters are used.

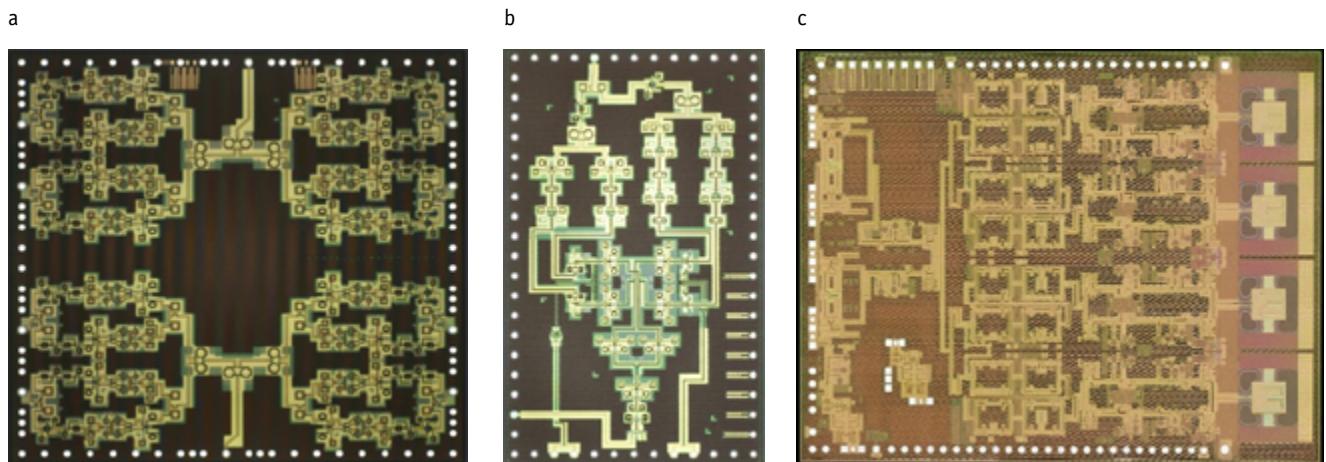


Abb. 18: Fotos der entwickelten integrierten Schaltungen (a) 5G-Beamformer, (b) 5G-Up/Down-Konverter und (c) D-Band phasengesteuertes Array
Fig. 18: Chip photos of the developed (a) 5G beamformer, (b) 5G up/down converter and (c) D-band phased array.

Das zweite System deckt das gesamte D-Band ab, das für künftige 6G-Kommunikationssysteme favorisiert wird. Es besteht aus einem vollintegrierten Sende- und Empfangssystem mit On-Chip-Antennen. Um die große Bandbreite zu bewältigen, wird hier die Phasenverschiebung durch geschaltete Verzögerungsleitungen realisiert, die ein lineares Phasenverhalten über das gesamte D-Band ermöglichen. Ein externes 35-GHz-Lokaloszillatorsignal wird vervierfacht und speist integrierte IQ-Mischer, die Modulationsverfahren hoher Ordnung ermöglichen. Die vier integrierten bidirektionalen Sende-/Empfangsmodulen mit phasenlinearen Variable-Gain-Verstärkern speisen integrierte Patch-Antennen. Chipfotos der entwickelten integrierten Schaltungen sind in Abb. 18 dargestellt. Eine integrierte CMOS-SPI-Schnittstelle erlaubt die digitale Ansteuerung aller Chips, wodurch die Möglichkeit besteht, die Betriebsart sowie Verstärkungs- und Phasenzustände digital zu ändern.

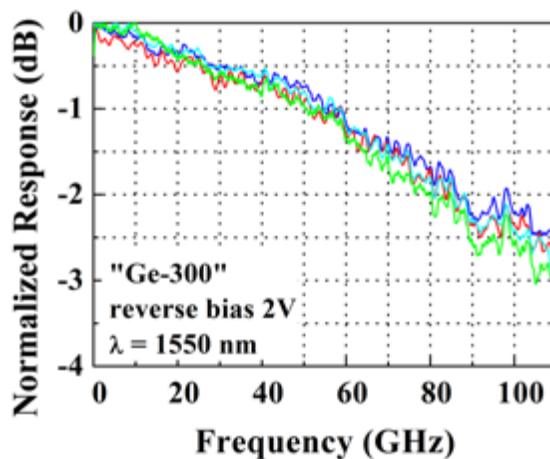
The second system covers the entire D-band, which is favored for future 6G communication systems, and consists of a fully integrated direct conversion phased array transceiver with on-chip antennas. Here, to cope with the large bandwidth, the phase shift is obtained by means of true time delay switched lines, which guarantee a linear phase behavior along the entire D-band. A 35 GHz external local oscillator signal is multiplied by four on-chip and feeds the integrated IQ mixers, which allow for high order modulation schemes. The four integrated bidirectional transmit/receive modules, containing phase linear variable gain amplifiers for beam tapering, feed the integrated patch antennas. The chip micrographs of the developed integrated circuits are shown in Fig. 18. An integrated CMOS SPI interface allows for the full digital control of all chips, giving the possibility of digitally changing the operation mode as well as the gain and phase states.

Neuartige Fotodetektor-Bauweise ermöglicht optoelektrische Bandbreiten von > 110 GHz

Novel Photo Detector Construction Boosts Optoelectrical Bandwidth to > 110 GHz

Der Fortschritt der Silizium-Photonik-Technologie war in den letzten Jahren ein wichtiger Wegbereiter für Anwendungen im Bereich von Datenzentren und Metronetzen. Ein ausschlaggebender Faktor war hierbei die Entwicklung von Komponenten mit einer optoelektrischen (OE) Bandbreite von mehr als 50 GHz, wodurch die Erzeugung und Detektion von Signalen im Bereich von 100 Gbaud ermöglicht wurde. In Anbetracht von antizipierten Symbolraten von 140 - 200 Gbaud ist eine weitere Erhöhung der OE-Bandbreite jedoch erstrebenswert.

Unser Fokus liegt hierbei auf silizium-photonischen Detektoren, also auf wellenleitergekoppelten Germanium-Fotodiode. Bereits 2015 konnte das IHP Ge-Fotodiode mit einer OE-Bandbreite von > 67 GHz und einer Responsivität von 0.9 A/W demonstrieren. Bis dato wurde eine OE-Bandbreite von 67 GHz bei Ge-Fotodiode nicht übertroffen. Im Jahr 2020 hat das IHP einen signifikanten wissenschaftlichen Durchbruch im Bereich der wellenleitergekoppelten Hochgeschwindigkeits-Germanium-Fotodiode erzielt, indem mithilfe einer neuartigen Bauweise OE-Bandbreiten von mehr als 110 GHz gezeigt werden konnten. Optoelektrische S-Parameter-Messergebnisse zu den neuartigen Fotodiode sind in Abb. 19 dargestellt.



Mit einer externen Responsivität von etwa 0.3 bis 0.4 A/W nähern sich die Germanium-Fotodiode, wie in Abb. 20 dargestellt, der Leistung von State-of-the-Art III-V-Fotodiode an.

Progress in silicon photonics technology has been an important enabler for datacenter interconnections or metro applications in recent years. A decisive factor has been the development of devices with optoelectrical (OE) bandwidths exceeding 50 GHz, allowing for generation and detection of signals approaching 100 Gbaud. Nevertheless, further enhancement of OE bandwidth is highly desirable in view of anticipated symbol rates of 140 - 200 Gbaud. In our work we focus on silicon photonic detectors, i.e. waveguide (WG) coupled germanium photodiodes (PDs). Already in 2015, IHP demonstrated Ge PDs with > 67 GHz OE bandwidth and responsivity of 0.9 A/W. However, further Ge PD improvement has been impeded since 67 GHz OE bandwidth remained the benchmark until now. In 2020, IHP achieved a significant scientific breakthrough in the field of high-speed waveguide coupled germanium photodiodes by demonstrating a novel construction which eventually enabled very high bandwidths in excess of 110 GHz. Optoelectronic s-parameter measurement results of these novel photodetectors are shown in Fig. 19.

Abb. 19: Normierter Frequenzgang der neuartigen Ge-Fotodiode von vier Chips bei einem Arbeitspunkt von -2 V. Die Messungen wurden mit dem Keysight 110 GHz lightwave component analyzer (LCA) auf Chip-level durchgeführt.

Fig. 19: Normalized frequency response of the novel Ge PDs from four chips at reverse bias of 2 V. Measurements were performed at chip level with a Keysight 110 GHz lightwave component analyzer (LCA).

With external responsivity of about 0.3 to 0.4 A/W, these germanium photodiodes are approaching the performance of state-of-the-art III-V photodiodes, demonstrated in Fig. 20.

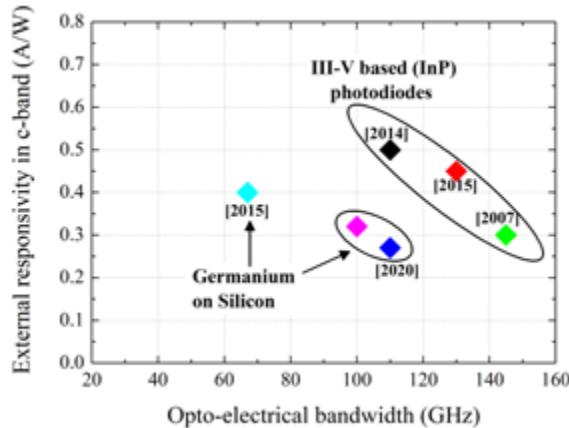


Abb. 20: Fortschritt der optoelektrischen Bandbreite von Germanium- und InP-basierten Fotodioden
Fig. 20: Progress of optoelectrical bandwidth of germanium- and InP-based photodiodes

Dieser Leistungszuwachs konnte durch die neuartige Konstruktion erreicht werden, bei der der Germanium-Bereich von zwei in-situ dotierten Silizium-Bereichen umgeben ist, sodass sich eine laterale p-i-n-Diode ergibt. Mit diesem Ansatz wurde eine Ionen-Implantation umgangen und die damit verbundenen Nachteile, wie eine „langsame“ Minoritätsladungsträgerdiffusion, drastisch reduziert. Querschnitts-Transmissionselektronenmikroskop (TEM)-Bilder beider Komponenten, der vorherigen sowie der neuen Photodioden, sind in Abb. 21 zu sehen.

This performance gain was achieved by the bespoke novel construction in which the germanium region is sandwiched in between two in-situ doped silicon regions, forming a lateral p-i-n diode. By this approach ion-implantation was circumvented and thereto related disadvantages such as “slow” minority carrier diffusion effects were drastically reduced. Cross-sectional transmission electron microscopy (TEM) images of both devices, the prior and the novel photodiodes, are shown in Fig. 21.

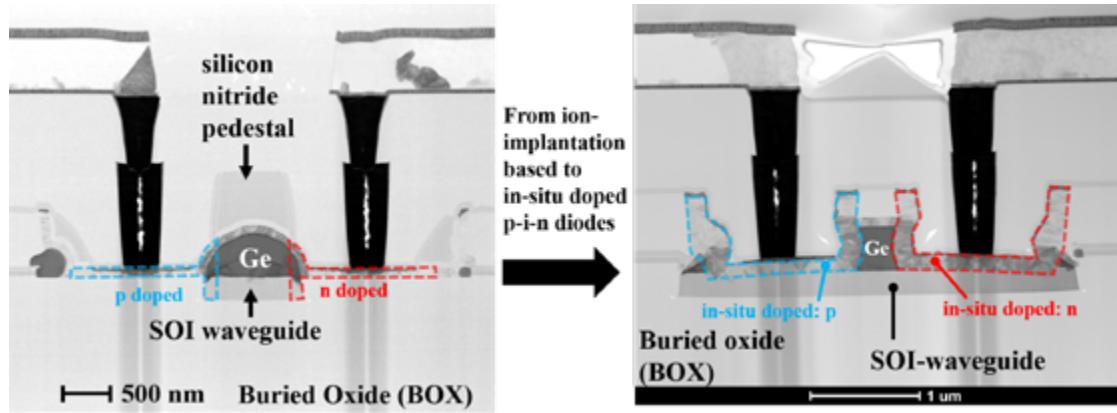


Abb. 21: Querschnitts-TEM-Bilder der vorherigen Germanium Fotodiode, die auf Ionenimplantation basiert (links) und der neuartigen Fotodiode, bei der die laterale p-i-n-Diode durch in-situ dotierte Schichten geformt wurde (rechts).
Fig. 21: Cross-section images by TEM of the prior germanium photodiode which is based on ion-implantation (left) and the novel photodiode where the lateral p-i-n diode is formed by in-situ doped layers (right).

Nach unserem Kenntnisstand ist dies zum jetzigen Zeitpunkt die fortschrittlichste Photodiode, die gleichzeitig eine sehr hohe Bandbreite mit einer State-of-the-Art-Responsivität und moderaten Dunkelströmen vereint.

Die Arbeit wurde im Dezember 2020 auf der renommierten Konferenz IEEE Electron Device Society IEDM, die in diesem Jahr virtuell stattfand, präsentiert.

To the present day and the best of our knowledge, this is the most advanced germanium photo detector in terms of very high bandwidth combined with state-of-the-art responsivity as well as moderate dark currents.

The work was presented at the prestigious meeting of the IEEE Electron Device Society IEDM in December 2020, being held virtually.

Ge/SiGe-Heterostrukturen für kostengünstige und integrierbare THz-Quantenkaskadenlaser

Ge/SiGe Heterostructures for Cost-Effective and Integrable THz Quantum Cascade Lasers

Der THz-Bereich des elektromagnetischen Spektrums rückt zunehmend in den Fokus mit dem Ziel, die sogenannte „THz-Lücke“ zu schließen und für diesen Spektralbereich ausgelegte Lichtquellen und Detektoren zu entwickeln. THz-Strahlen zeichnen sich durch ihr weitreichendes Anwendungspotenzial aus, da sie nicht ionisierend sind, viele Materialien durchdringen (welche sonst im sichtbaren/IR-Bereich opak sind, wie z. B. Papier und Gewebe) und sich mit der spektralen Markierungsenergie (Fingerabdrücke) vieler molekularer Verbindungen überschneiden, welche in Sprengstoffen, Drogen-, DNA- und RNA-Nukleinbasen vorkommen. Darüber hinaus ist der THz-Bereich für die Telekommunikation mit hohen Bandbreiten vielversprechend.

Die größte Hürde bei der Herstellung und breiten Anwendung liegt in der Marktverfügbarkeit geeigneter kohärenter Lichtquellen. Moderne THz-Quellen zeichnen sich durch hohe Kosten (1 - 10 k€), sperrige Größen und/oder kryogene Betriebstemperaturen aus.

In diesem Kontext ist es das Ziel des EU-Projekts FLASH, die siliziumbasierte Mikroelektronik-Infrastruktur zu nutzen, um einen kostengünstigen und CMOS-Technologie kompatiblen THz-Quantenkaskadenlaser (QKL) zu entwickeln, der auf n-Typ-Ge/SiGe-Heterostrukturen basiert.

Im Gegensatz zu "konventionellen" Halbleiterlasern sind QCLs unipolare Bauelemente. Das heißt, dass entweder Elektronen oder Löcher an der Photonenerzeugung beteiligt sind und der Prozess der stimulierten Lichtemission durch Elektronen- (Löcher-) Übergänge zwischen quantisierten elektronischen Zuständen, den sogenannten Subbändern, im Leitungs- (Valenz-) Band erfolgt.

Das optisch aktive Material eines Ge/SiGe-QKL besteht aus einer Vielzahl stapelförmig angeordneter Halbleiter-Vielschichtstrukturen identischer Perioden. Jede Schichtstruktur besteht aus verschiedenen Quantentöpfen, die durch Tunnelbarrieren gekoppelt sind, die durch eine kontrollierte Variation (auf der Nanometerskala) der Zusammensetzung der Ge/SiGe-Mehrschichtstruktur erreicht werden. Bei Anlegen eines externen elektrischen Feldes wird ein Energieanstieg im Bandkantenprofil induziert und die eingeschlossenen Teilbänder jeder einzelnen Periode richten sich so aus, dass durch nachfolgende resonante Tunnelprozesse ein elektrischer Strom durch die Struktur fließen kann. Nach der Injektion in eine Periode besiedelt ein Teil der Ladungsträger das obere Laserniveau des aktiven Bereichs, es findet ein Strahlungsübergang statt, der ein Photon erzeugt. Der Ladungsträger wird dann in die nächste Periode injiziert und der Prozess wiederholt sich, wodurch das sogenannte Quantenkaskadenphänomen realisiert wird, bei dem viele Photonen aus einem einzigen Elektron erzeugt werden können.

Während QKL auf Basis von III-V-Verbindungshalbleitern bereits demonstriert wurden und kommerziell erhältlich sind, wurden elektrisch gepumpte QKL auf Si-Basis noch nicht demonstriert.

Innerhalb der ersten drei Jahre des FLASH-Projekts haben sich die Abteilungen Materials Research und Technology des IHP gemeinsam

The THz radiation part of the electromagnetic spectrum (T-rays) is currently attracting increasing attention in the effort to fill the so-called "THz gap", i.e. to develop efficient sources and detectors operating in this spectral range. Indeed, T-rays have great applicative potential, since they are non-ionizing, penetrate through many materials that are opaque in the visible/IR range (such as e.g. paper and fabrics), and they overlap with the spectral marker energy (fingerprints) of many molecular compounds at the base of explosives and drugs, as well as that of DNA and RNA nucleobases. Furthermore, the THz region is interesting for high-bandwidth telecoms. The major hurdle in the path of widespread adoption of this technology resides in the market-availability of suitable coherent light sources. In fact, state-of-the-art THz sources are characterized by high cost (1-10 k€), bulky size, and/or cryogenic operating temperatures.

In this context, the European project FLASH aims at leveraging the Si-based microelectronics infrastructure to develop a cost-effective and compact THz Quantum Cascade Laser (QCL) based on n-type Ge/SiGe heterostructures integrated on Si using manufacturing processes and materials compatible with CMOS technology.

Unlike "conventional" semiconductor lasers, QCLs are unipolar devices, which means that either electrons or holes are involved in the photon generation process. The stimulated light emission process occurs through electron (hole) transitions between quantized electronic states, known as subbands, in the conduction (valence) band. The optically active material of a Ge/SiGe QCL comprises a stack of identical periods. Each consists of different quantum wells (QW) coupled by tunnel barriers, obtained by a controlled variation, at the nanometer scale, of the Ge/SiGe multi-layer structure composition. When a suitable external electric field is applied, an energy slope is induced in the band edge profile and the confined subbands of each individual period align, in a way that an electric current can flow through the structure by means of subsequent resonant tunneling processes. After being injected in a period, a fraction of the charge carriers populates the upper laser level of the active region, and a radiative transition takes place, generating a photon. The charge carrier is then injected into the next period and the process is repeated, realizing the so-called **quantum cascade phenomenon**, where many photons can be generated from a single electron.

While QCLs based on III-V compound semiconductors have been demonstrated and are commercially available, electrically-pumped Si-based QCLs have not been demonstrated yet.

Within the first three years of the FLASH project, IHP and its partners from Italy, Germany, Switzerland, and the UK have addressed fundamental material science issues, which have so far hampered the realization of a GeSi QCL. Indeed, as detailed in Fig. 22, the FLASH consortium managed to achieve an unmatched degree of control over the material growth process, a mandatory prerequisite to realize the

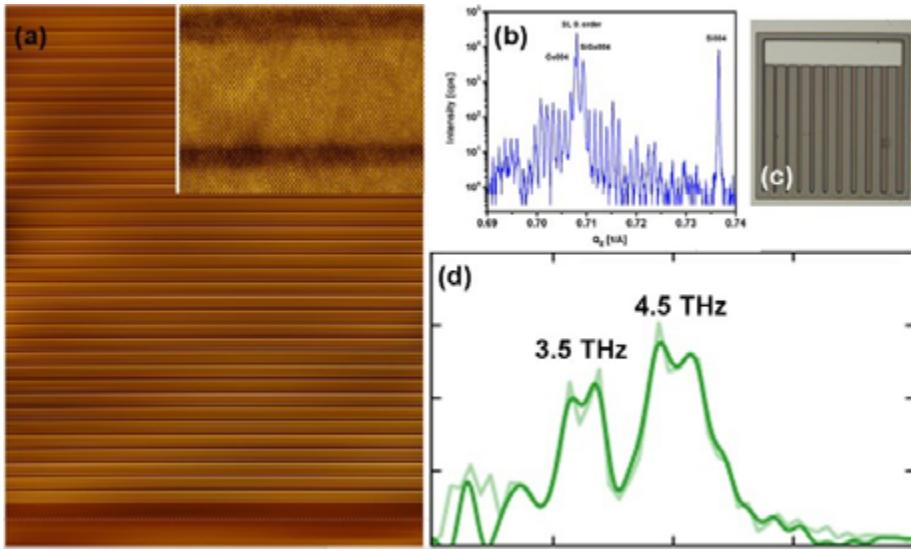


Abb. 22: (a) STEM-Bild einer Aktivschichtstruktur des QKL. Das hochauflösende Bild im Inset demonstriert die extrem hohe Qualität der Materialgrenzflächen, ein Schlüsselpunkt zur Realisierung eines funktionsfähigen Bauelements. (b) Die Röntgenbeugungsanalyse zeigt gut ausgeprägte Übergitterschwingungen, was auf eine hohe Wiederholbarkeit des Kaskadenmoduls in der gesamten Struktur hinweist. (c) Ein Gitter-Koppler-LED-Bauelement, das auf dem in Tafel (a) dargestellten aktiven Material hergestellt wurde. Dieses Bauelement wurde verwendet, um die erste THz-Elektrolumineszenz aus einer n-Typ-Ge/SiGe-Heterostruktur zu demonstrieren, wie in Abb. 22 (d) gezeigt.

Fig. 22: (a) STEM image of a QCL active layer structure. The high resolution image in the inset demonstrates the extremely high quality of the heterointerfaces, a key point for achieving an operational device. (b) The X-ray diffraction analysis shows well pronounced superlattice oscillations, indicating high repeatability of the cascade module throughout the structure. (c) A grating-coupler LED device fabricated on the active material reported in panel (a). This device has been used to demonstrate the first THz electroluminescence from n-type Ge/SiGe heterostructure, shown in panel (d).

mit Partnern aus Italien, Deutschland, der Schweiz und Großbritannien mit grundlegenden materialwissenschaftlichen Fragen befasst, die die Realisierung eines GeSi-QKL bisher behindert haben. Wie in Abb. 22 dargestellt, ist es dem FLASH-Konsortium gelungen, einen unübertroffenen Grad an Kontrolle über den Materialwachstumsprozess zu erreichen, welche eine zwingende Voraussetzung für die Realisierung des QKL darstellt. Insbesondere Strukturen mit einer begrenzten Defekt-dichte (Versetzungsdichte $< 2 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$), einer rekordverdächtig niedrigen Grenzflächenrauheit ($< 0.2 \text{ nm}$) und einer begrenzten Grenzflächenbreite (1 nm) können nun routinemäßig produziert werden. Diese Errungenschaften, zusammen mit der Verbesserung des Herstellungsprozesses und des elektrischen Kontaktmoduls, führten zur ersten Demonstration von THz-Elektrolumineszenz aus n-Typ-Ge/SiGe-Kas-kaden-Heterostrukturen (siehe Abb. 22(d)). Darüber hinaus hat das FLASH-Konsortium optische Kavitäten für die Realisierung des QKL entworfen, optimiert und mit ihrer Herstellung begonnen. Realistische optische Verluste werden berücksichtigt, die jedoch niedrig genug sind, um die Laseremission zu ermöglichen. Diese beiden Meilensteine ebnen den Weg für die Demonstration eines funktionierenden QKL im letzten Jahr des Projekts.

QCL device. In particular, structures featuring a **limited density of defects** (threading dislocation density $< 2 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$), **record-low interface roughness** ($< 0.2 \text{ nm}$) and **limited interface width** ($\sim 1 \text{ nm}$) can now be routinely reproduced. These achievements, together with the improvement of the fabrication process and of the electrical contact module, led to the first demonstration of THz electroluminescence from n-type Ge/SiGe cascade heterostructures (see Fig. 22(d)). Furthermore, the FLASH consortium has designed, optimized, and started the fabrication of optical cavities for the realization of the QCL, realistically targeting optical losses low enough to enable the laser emission from our devices. These two milestones pave the way towards the demonstration of a functioning QCL device in the last year of the project.

THz-Plasmonik auf Germaniumbasis für markierungsfreie Life-Science-Anwendungen

Germanium-Based THz Plasmonics for Label-Free Life Sciences Applications

Im Rahmen des DFG-Schwerpunktprogramms „Elektromagnetische Sensoren für die Biowissenschaften“ entwickelt das IHP, gemeinsam mit den Universitäten Kassel und Osnabrück, eine auf Germanium-Mikrostrukturen basierte Technologieplattform für die markierungsfreie Erfassung von Biomolekülen mittels plasmonverstärkter THz-Spektroskopie.

Die THz-Spektroskopie birgt ein enormes Potenzial als neuer Ansatz zur Untersuchung der vier wichtigsten Arten von Makromolekülen: Proteine, Lipide, komplexe Kohlenhydrate und DNA. Da der THz-Frequenzbereich die charakteristischen Energien (Fingerabdrücke) molekularer Schwingungen, Rotationen und Librationen umfasst, ermöglicht er z. B. die Charakterisierung von DNA in Krebszellen oder die Umweltüberwachung von flüchtigen organischen Verbindungen. Die Anwendung der THz-Spektroskopie für diese Zwecke bleibt durch die sehr hohen Mengen und Konzentrationen, die für traditionelle THz-Messungen erforderlich sind, noch stark eingeschränkt. Plasmonische Bauelemente, bei denen Plasmon-Polaritonen (d. h. Quasiteilchen, die aus Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie entstehen) eine starke Feldverstärkung und eine Beschränkung auf Subwellenlängenvolumina ergeben, stellen einen vielversprechenden Ansatz zur Überwindung dieser Einschränkung dar. Unser interdisziplinärer Ansatz nutzt die Verstärkung in Resonanz-Hotspots (d. h. am Antennenspalt Ge/Si-Mikrostrukturen mit THz-Mikroresonatoren siehe Abb. 23). Über Affinitäts-Biotags kann durch materialselektive Oberflächen-Biofunctionalisierung eine effiziente ortsspezifische Erfassung von Makromolekülen an den THz-Sensor-Hotspots realisiert werden.

Within the framework of the DFG Priority Program “Electromagnetic Sensors for Life Sciences”, IHP together with the universities of Kassel and Osnabrück, aims to develop a Ge-based, plasmonic-enhanced platform for the label-free sensing of biomolecules in the THz region of the electromagnetic spectrum.

THz spectroscopy holds tremendous potential as a new approach to study the four major types of macromolecules: proteins, lipids, complex carbohydrates and DNA. Since the THz energy range comprises the characteristic energies (fingerprints) of molecular vibrations, rotations and librations, it enables e. g. the characterization of DNA in cancer cells or the environmental monitoring of volatile organic compounds. However, the application of THz spectroscopy for these purposes so far remains limited by the very high concentrations and amounts of the analyte that are required. To overcome this fundamental limitation a solution can be provided by plasmonics, where plasmon-polaritons (i.e. quasiparticles arising from light-matter interactions) yield strong field enhancement and confinement into sub-wavelength volumes. Our interdisciplinary approach is based on subwavelength THz field enhancement within hotspots of Ge-based resonant antennas (i.e. at the antenna gap), as shown in Fig. 23. Via affinity biotags, efficient site-specific capturing of macromolecules at the THz sensing hotspots can be realized by making use of material-selective surface biofunctionalization.

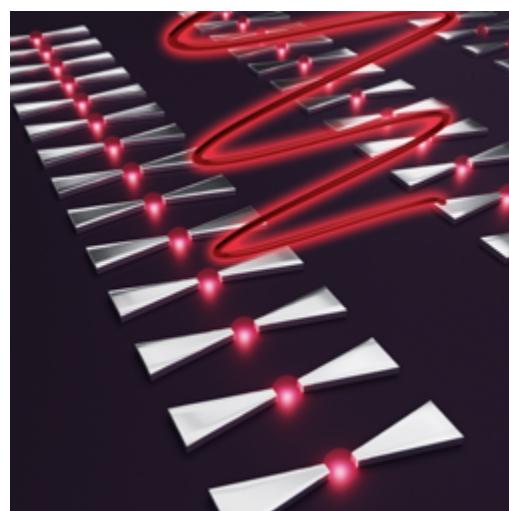


Abb 23: Ge-Antennen konzentrieren und verstärken die THz-elektrischen Felder am Antennenspalt.

Fig 23: Ge antennas concentrating and enhancing the THz electric fields at their gaps.

In enger Zusammenarbeit zwischen den Abteilungen Materials Research und Technology wurde das epitaktische Wachstum einer hoch-dotierten und μm -dicken Ge-Schicht auf 200-mm-Si-Wafer mit elektrisch aktiven Ladungsträgerkonzentrationen von bis zu 10^{19} cm^{-3} realisiert. Ein Feintuning der Wachstumsparameter und -bedingungen war entscheidend, um eine Inhomogenität des Ladungsträgerprofils entlang ihrer gesamten Dicke zu vermeiden, welches sich nachteilig auf die Wechselwirkungen zwischen Licht und Materie der Plasmonik auswirken würde. Zusätzlich verursacht eine zu hohe Konzentration von Dotanden deren Agglomeration, die nicht nur die Anzahl der elektrisch aktiven Ladungsträger, sondern auch deren Mobilität in Germanium verringern. Als ersten herausfordernden Meilenstein haben wir die routinierte Herstellung von Ge/Si-Schichten auf Wafer-Skala mit einem konstanten Dotierungsprofil über die gesamte Dicke demonstriert. Innerhalb der Ge-Schicht sind alle Dotanden elektrisch aktiv und die erreichten Mobilitätswerte sind nahe denen von n-dotierten Germanium-Kristallen mit ähnlichen Konzentrationen.

Anschließend wurden zusammen mit der Arbeitsgruppe Computational Electronics and Photonics (CEP) der Universität Kassel theoretische Simulationen durchgeführt, um Geometrien der Ge/Si-Mikrostrukturen mit THz-Mikroresonatoren zu bestimmen, welche eine lokalisierte Plasmonresonanz am unteren Ende der THz-Spektren aufweisen. Unter Berücksichtigung dieser Simulationen wurden am IHP verschiedene Antennen-Designs und deren geometrische Anordnungen entwickelt und im Wafer-Maßstab innerhalb der IHP-Pilotlinie hergestellt. Aufgrund ihrer hervorragenden Materialeigenschaften zeigen die plasmonischen Antennen eine polarisationsabhängige Extinktion der THz-Strahlung. Die Amplitude und Form der Antennenresonanz, gesehen als dichroitisches Verhältnis (DR), war abhängig von der Antennendichte und deren Anordnung. Dies wurde durch die theoretischen Simulationen, wie in Abb. 24(a) gezeigt, korrekt vorhergesagt.

In close collaboration between the Materials Research and Technology departments the epitaxial growth of μm -thick, highly doped Ge layer on 200 mm Si wafers with electrically active donor concentrations up to 10^{19} cm^{-3} was established. Fine tuning of the growth parameters and conditions was essential to avoid doping variability along its complete thickness, which is detrimental for the light-matter interactions of plasmonics. Furthermore, a too high dopant concentration causes agglomerations which not only reduces the number of active carriers but also its mobility. As a first challenging milestone we demonstrated the now routine wafer-scale fabrication of Ge epilayers on Si with a constant doping profile over its whole thickness, where all donors are electrically active and mobility values close to that of bulk n-doped Ge with similar concentrations.

Next, together with the Computational Electronics and Photonics (CEP) working group from Kassel University, theoretical simulations were realized to determine the geometries at which localized plasmon resonances can be obtained at the lower end of the THz spectra. Taking these simulations into consideration, several designs and geometrical arrangements were produced at wafer-scale by IHP's pilot line. Thanks to its outstanding material properties the plasmonic antennas showed a polarization-dependent extinction of the THz radiation. The amplitude and shape of the antennas resonance, seen as a dichroic ratio (DR), was dependent on the antenna density and their arrangement. This was correctly predicted by the theoretical simulations as shown in Fig. 24(a).

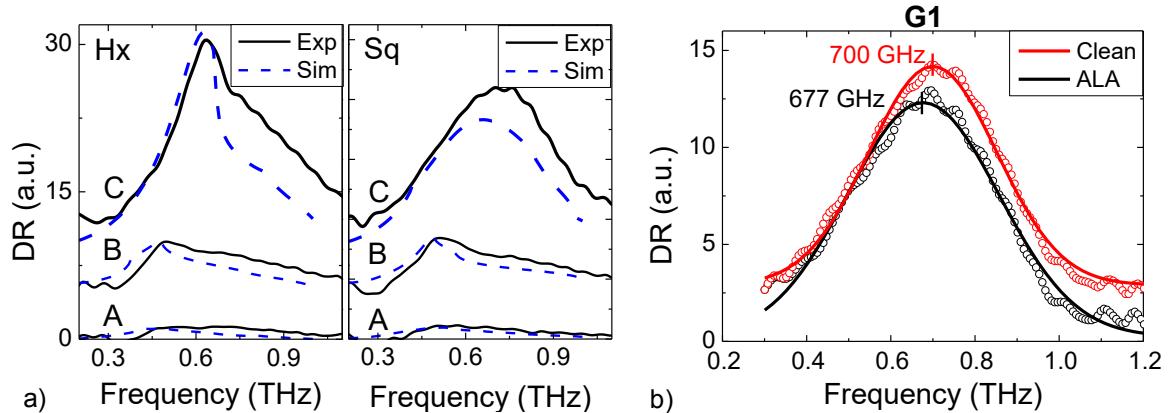


Abb 24: (a) Vergleich der theoretischen und experimentellen Antennenresonanz für verschiedene Geometrien (hexagonal und quadratisch) und zunehmende Antennendichte (A, B und C). (b) Detektion einer Subwellenlängen-Biolayer aus ALA durch Resonanzverschiebung der Ge-Antennen.

Fig. 24: (a) Comparison of the theoretical and experimental antenna resonance for different array geometries (Hexagonal and Square) and increasing antenna density (A, B and C). (b) Detection of a subwavelength bilayer of ALA by the resonance shift of the Ge antennas.

In Zusammenarbeit mit dem Fachbereich für Biophysik der Universität Osnabrück wurde eine Ge-selektive Biofunktionalisierung mit α -Liponsäure (ALA) material- und geometriespezifische Oberflächenmodifikation von Ge/Si-Mikrostrukturen entwickelt. Die intramolekulare Disulfidgruppe von ALA erlaubt eine selektive kovalente Bindung an die Ge-Oberfläche, während die verbleibende Carboxyleinheit zur Immobilisierung weiterer Biomoleküle geeignet ist. Diese ALA-Schichten, die durch Germanium-Schwefel-Bindungen stabilisiert sind und eine Dicke zwischen 0,1 und 1 μm aufweisen, konnten als Rotverschiebung der Antennenresonanzen nachgewiesen werden (siehe Abb. 24(b)). Diese Ergebnisse demonstrieren die plasmonische Verstärkung von Ge-Antennen, um eine ALA-Schicht, mit einer Dicke von zwei bis drei Größenordnungen kleiner als die THz-Wellenlänge, zu detektieren.

Mit Blick auf die Zukunft konzentriert sich das IHP zur Zeit, neben einer Verbesserung der Empfindlichkeit und des Q-Faktors der Ge-Mikroresonatoren auf der Basis von neuen Designs, auf die Integration von Mikrofluidikanälen in den Sensorchip, mit denen Biolayer unter physiologischen und dynamischen Bedingungen untersucht werden können.

Finally, the collaboration with the Biophysics division of Osnabrück University has allowed at IHP advances in the Ge-selective biofunctionalization with α -Lipoic Acid (ALA). The intramolecular disulfide group of ALA mediates selective covalent bonding to the Ge surface while the remaining carboxyl moiety is suitable for immobilization of further biomolecules. The ALA adlayers, which are stabilized by germanium-sulfur bonds and are expected to be between 0.1 and 1 μm in thickness in this quasi-static experiment, were detected as a red-shift of the antennas resonances as seen in Fig. 24(b). These results demonstrate the plasmonic-enhancement of Ge antennas to detect an ALA layer with a thickness two to three orders of magnitude smaller than the THz wavelength.

Looking forward, IHP's focus is now on improving the sensitivity and Q-factor of the plasmonics antennas through new designs, as well as the integration of microfluidic channels in the sensing chip which will allow the study of biolayers under physiological and dynamic conditions.

Künstliche Intelligenz für industrielle und medizinische Anwendungen

Artificial Intelligence for Industrial and Medical Applications

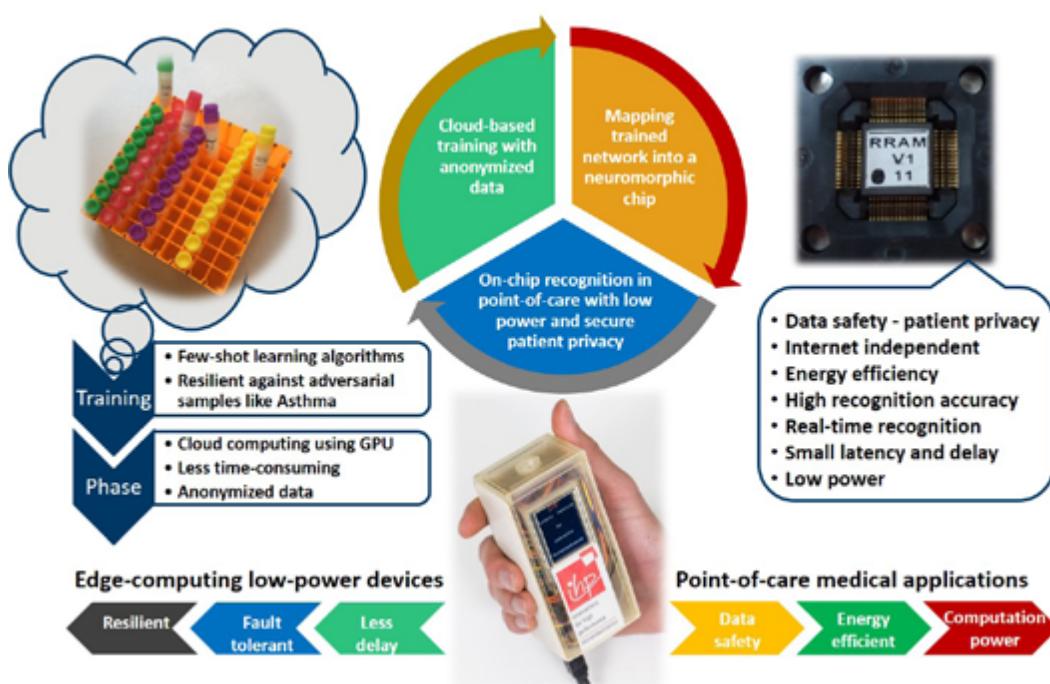
Im Rahmen des Total Resilience-Forschungsbereiches wurden verschiedene Techniken auf das Exasens-Setup des IHP angewandt, um die Systemleistung in realen Szenarien noch belastbarer zu machen. Der Exasens-Sensor wurde für die dielektrische Charakterisierung von Speichelproben von COPD-Patienten in Point-of-Care (PoC)-Umgebungen entwickelt. Ähnlich wie bei herkömmlichen Ansätzen leiden diagnostische Lösungen, die für die Erkennung von COPD-Patienten entwickelt wurden, unter der Generalisierung auf eine breitere Gruppe von Atemwegserkrankungen wie Asthma. Mit anderen Worten, Patienten, die an Asthma oder COPD leiden, entwickeln aufgrund des analogen Mechanismus der Krankheiten und der signifikanten Überschneidung zwischen ihnen ähnliche Symptome, was zu diagnostischer Komplexität führt. Daher war das Ziel dieses Projekts, fortschrittliche Techniken der Künstlichen Intelligenz (KI) zur Analyse der Sensorergebnisse und zur Unterscheidung von COPD- und Asthmapatienten anzuwenden. In Anbetracht der starken Abhängigkeit von KI-Algorithmen von Daten und der Unpraktikabilität, Millionen von Proben von Patienten zu erhalten, wurden neuartige "few-shot"-Lernalgorithmen eingesetzt, um eine bessere Integration von KI-Tools in medizinische Anwendungen mit begrenzter Datenverfügbarkeit zu ermöglichen. Die entwickelten Techniken lieferten vielversprechende Ergebnisse für die Erkennung von COPD-Patienten und deren Unterscheidung von Asthma-Patienten, wodurch die KI-basierte Diagnose der Krankheit in realen Szenarien widerstandsfähiger gegen gegnerische Eingaben wird.

In the frame of the Total Resilience research topic, various techniques were applied to IHP's Exasens setup to make system performance more resilient in real-world scenarios. The Exasens sensor was developed for the dielectric characterization of saliva samples of COPD patients in Point-of-Care (PoC) environments. Similar to conventional approaches, diagnostic solutions developed for the recognition of COPD patients suffer from generalization to a broader group of respiratory diseases such as asthma. In other words, patients suffering from asthma or COPD develop similar symptoms due to the analogous mechanism of the diseases and the significant overlap between them, thus causing diagnostic complexities. Therefore, the objective of this project was to apply advanced Artificial Intelligence (AI) techniques for analyzing sensor results and distinguishing between COPD and asthma subjects. However, considering the strong dependence of AI algorithms on data and the impracticality of obtaining millions of samples from patients, novel few-shot learning algorithms were utilized to enable the better integration of AI tools in medical applications with limited data availability. The developed techniques provided promising results for the recognition of COPD subjects and their distinction from asthma patients, making the AI-based diagnosis of the disease more resilient against adversarial inputs in real-world scenarios.

On the other hand, shortcomings of conventional AI-based solutions in terms of data safety, energy consumption, latency, and internet

Abb. 25: Künstliche Intelligenz für Resiliente Systeme

Fig. 25: Artificial Intelligence for Resilient Systems



Auf der anderen Seite begrenzen die Unzulänglichkeiten konventioneller KI-basierter Lösungen in Bezug auf Datensicherheit, Energieverbrauch, Latenzzzeit und Anforderungen an die Internetabdeckung ihre Anwendung in PoC-Diagnoseansätzen. Dies liegt daran, dass bei vielen KI-Lösungen die Patientendaten zu Berechnungszwecken auf zentralisierte Cloud-Server hochgeladen und nach der Nachbearbeitung an den Endbenutzer zurückgesendet werden müssen. Ein solcher Prozess kann durch die Zunahme der Datengröße zu einem Engpass im Datenfluss und einer erheblichen Belastung des Netzwerks mit eingeschränkter Bandbreite führen. Dieses Phänomen führt zu einer beträchtlichen Latenz in der Reaktionszeit des Netzwerks, was Cloud-Computing-KI für zeitkritische medizinische Anwendungen aufgrund von Sicherheitsbedenken weniger attraktiv macht. Darüber hinaus sind die Praktikabilität und Zuverlässigkeit von cloudbasierten KI-Techniken an abgelegenen Orten ohne Internetabdeckung fraglich. Zu solchen Anwendungen gehören personalisierte Gesundheitslösungen, die für die Erkennung von COPD erforderlich sind. Abgesehen von den technischen Bedenken bei cloudbasierter KI sind Datensicherheit und der Schutz der Privatsphäre von Patienten die größten Hindernisse für die effektive Integration von KI-Tools in datenintensive Anwendungen wie das Gesundheitswesen. Dazu gehören Sicherheitsbedenken bei der Kurz- und Langstreckenkommunikation sowie die Datenspeicherung in zentralen Datenbanken, die anfällig für bösartige Angriffe oder Datenskandale sind. Darüber hinaus geht die erstaunliche Leistung von KI mit einem immensen Energieverbrauch und einer enormen Rechenleistung einher, was die Anwendung in PoC-Geräten mit geringem Stromverbrauch einschränkt. Diese Nachteile von cloudbasierten KI-Lösungen wurden mit dem neuromorphen Computerchip des IHP adressiert, wodurch das entwickelte System zur COPD-Erkennung noch belastbarer und fehlertoleranter wird. Eine neuromorphe Plattform bietet eine hardwarebasierte Nachahmung neuronaler Netzwerke, indem sie tatsächliche elektrische Komponenten als Neuronen und Synapsen verwendet. Die Echtzeit-Analyse von Daten mit geringerer Zeitverzögerung und Latenz ist weitaus praktikabler, indem die Nachbearbeitung der Daten aus der Cloud auf einen neuromorphen Chip gebracht wird. Darüber hinaus entspricht die Sicherung sensibler Patientendaten auf einem einzelnen Chip, ohne Internetkommunikation oder Cloud-Speicher, besser den Datenschutz- und Sicherheitsvorschriften. Da neuromorphe Plattformen Daten in der Nähe ihrer Quelle verarbeiten, sind sie außerdem relativ besser gegen Fehlbedienungen gefeit und bieten eine große Fehlertoleranz für entfernte und sensible Anwendungen. Mit anderen Worten, neuromorphe Technologien sind robuster und widerstandsfähiger für medizinische PoC-Anwendungen, bei denen der Zugang zu einer ausreichenden Internetabdeckung nicht gewährleistet ist. Darüber hinaus benötigen energieeffiziente, hardwarebasierte neuromorphe Systeme weniger Rechenleistung, was sie zu einer adäquaten Technologie für Edge-Sensing in Geräten mit geringem Stromverbrauch, wie PoC-Technologien im Gesundheitswesen, macht. Die vorgeschlagene neuromorphbasierte KI-Lösung lieferte vielversprechende Ergebnisse für die effiziente und Echtzeit-Erkennung von COPD in PoC, was die entwickelte Diagnosetechnologie in Bezug auf Datensicherheit und Internetabhängigkeit weiter belastbar macht.

coverage requirements limit their application in PoC diagnostic approaches. This is due to the fact that for many AI solutions, patient data need to be uploaded to centralized cloud servers for computation purposes and to be returned to end-users after post-processing. With the increase of data size such a process can lead to a bottleneck in the data flow and an extensive pressure on the network with a constrained bandwidth. This phenomenon leads to a considerable latency in the network's response time, making cloud-computing AI less appealing for time-sensitive medical applications due to safety concerns. In addition, the practicality and reliability of cloud-based AI techniques in remote places with no internet coverage are questionable. Such applications include personalized healthcare solutions required for COPD recognition. Apart from technical concerns with cloud-based AI, data safety and patient privacy are major barriers for the effective integration of AI tools with data-sensitive applications like healthcare. This includes security concerns with short- and long-range communications, as well as data storage at centralized databases vulnerable to malicious attacks or data scandals. In addition, the astonishing performance of AI comes at the cost of immense energy consumption and enormous computational power, limiting its application in low-power PoC devices. These drawbacks related to cloud-based AI solutions were addressed using IHP's neuromorphic-computing chip, making the developed system for COPD recognition further resilient and fault tolerant. A neuromorphic platform offers a hardware-based imitation of neural networks by using actual electrical components as neurons and synapses. Real-time analysis of data in a less time consuming manner with a smaller time delay and latency is far more practical by bringing data post-processing from the cloud onto a neuromorphic chip. Furthermore, securing sensitive patient data on a single chip, without internet communications or cloud storage, complies better with privacy and security regulations. In addition, since neuromorphic platforms process data near their source, they are relatively better immune against false operations and offer a large fault tolerance for remote and sensitive applications. In other words, neuromorphic technologies are more robust and resilient for PoC medical applications, where accessing sufficient internet coverage is not guaranteed. Moreover, energy-efficient hardware-based neuromorphic systems require less computational power, making them an adequate technology for edge-sensing in low power devices such as PoC healthcare technologies. The proposed neuromorphic-based AI solution provided promising results for the efficient and real-time recognition of COPD in PoC, making the developed diagnostic technology further resilient in terms of data safety and internet independency.

IHP Joint Labs

mit



b-tu

Brandenburgische
Technische Universität
Cottbus - Senftenberg

Sabancı
Universitesi



Technische
Hochschule
Wildau [FH]
Technical University
of Applied Sciences



Gemeinsame Labore
Joint Labs

Gemeinsame Labore

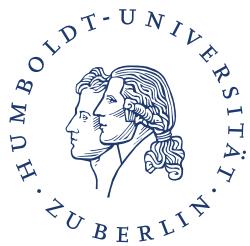
Die Brücke zwischen Forschung und Hochschulen bilden am IHP die neun Joint Labs. In der Leibniz-Gemeinschaft gehörte das IHP zu den ersten Einrichtungen mit dieser Kooperationsform und ist auch jetzt eine der aktivsten. In Potsdam, Cottbus, Wildau und Berlin sowie auf internationaler Ebene in Poznań, Zielona Góra und Istanbul arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Instituts eng mit den universitären Einrichtungen zusammen. Die Ziele der Zusammenarbeit in Joint Labs bestehen in der Erweiterung der Grundlagenforschung, der schnelleren Umsetzung von universitärer Forschung in die Anwendung sowie der Förderung und der Gewinnung von technisch-wissenschaftlichem Nachwuchs durch gemeinsame Lehre sowie Betreuung und Begutachtung von Qualifikationsarbeiten der Partnerhochschulen. Die Themen der Kooperationen, intensiv und erfolgreich durch zahlreiche gemeinsame Forschungsprojekte bearbeitet, sind strategisch ausgerichtet und orientieren sich an den Forschungsprogrammen des IHP.

Ein besonderer Höhepunkt war die Gründung des an der TH Wildau lokalisierten Instituts für Angewandte Physik (IAP). Diese hochschulinterne Kooperationsform, welche durch die beiden Joint-Lab-Leiter Prof. Schrader (TH Wildau) und Prof. Mai (IHP) initiiert wurde, erlaubt neue Möglichkeiten in der internen Kooperation und kann aktuell auf eine hohe Anzahl an Partnern an der Hochschule sowie von Partnerinstitutionen zurückgreifen.

Joint Labs

The bridge between research and universities is built at IHP by the nine Joint Labs. Within the Leibniz- Association, IHP was one of the first institutions with this form of cooperation and is still one of the most active. In Potsdam, Cottbus, Wildau and Berlin as well as on an international level in Poznań, Zielona Góra and Istanbul, scientists of the institute are working closely together with the universities. The goals of the cooperation in Joint Labs are the enhancement of basic research, the faster transfer of university research into application as well as the promotion and recruitment of young technical-scientific talents through joint teaching as well as supervision and review of qualification theses of the partner universities. The topics of the cooperations, intensively and successfully worked on through numerous joint research projects, are strategically oriented and aligned with the research programs of the IHP.

A special highlight was the foundation of the Institute for Applied Physics (IAP) located at UAS Wildau. This university-internal form of cooperation, which was initiated by the two Joint Lab directors Prof. Schrader (TH Wildau) and Prof. Mai (IHP), allows new possibilities in internal cooperation and can currently draw on a large number of partners at the university, as well as partner institutions.



Joint Lab IHP < > Universität Potsdam

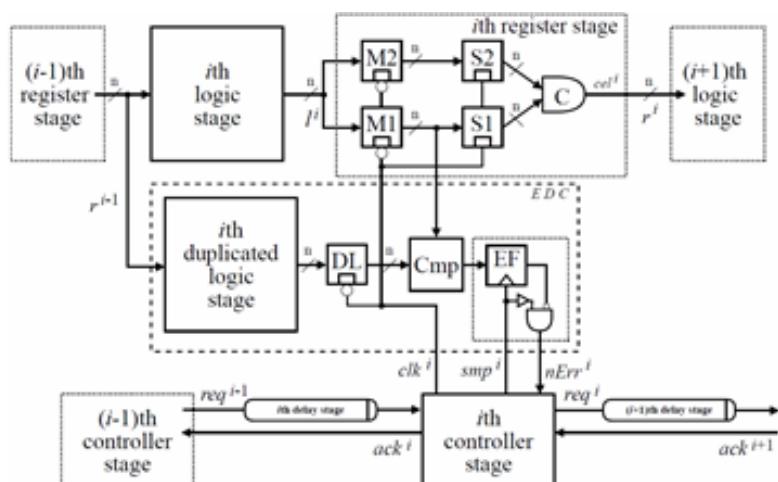
Entwurf von drahtlosen und eingebetteten Systemen

Wireless and Embedded System Design

Kontakt Contact	Prof. Dr. Miloš Krstić (IHP), Prof. Dr. Bettina Schnor (UP)
Partner Partner	Universität Potsdam, Institut für Informatik und Computational Science
Gründung und Eröffnung Opening	2014/2015
Ausgewählte Projekte Selected Projects	ENROL (DFG), MORFEUS (BMBF)
Internetseite Homepage	www.ihp-microelectronics.com/up

Die Erforschung und Entwicklung von Methoden und Werkzeugen zur Unterstützung eines effizienten Entwicklungsprozesses von komplexen energieeffizienten und zuverlässigen eingebetteten Chips und Systemen sind ein Schwerpunkt des Joint Lab. Das DFG-Projekt ENROL beschäftigt sich mit fehlertoleranten Methoden für den asynchronen Logikentwurf. Im Projekt MORFEUS liegt der Forschungsschwerpunkt auf der Resilienz der eingebetteten Systeme. Die Forschungsaktivitäten des Joint Lab umfassten im Jahr 2020 zwei veröffentlichte Konferenz- und drei Zeitschriftenbeiträge, die sich insbesondere mit strahlungsharten Lösungen für asynchrone Architekturen befassten. Außerdem wurden in diesem Jahr zwei Bachelorarbeiten im Joint Lab verteidigt. Die Arbeiten der Studierenden konzentrierten sich hauptsächlich auf die aufkommenden Themen, wie z. B. KI-Verarbeitungsarchitekturen. Ein weiteres Thema des Joint Lab ist die Lehre. Es wurden Vorlesungen über Hardware-Architekturen für KI-Anwendungen und Chip-Design gehalten. Die Studenten konnten ihr Wissen in Laboren vertiefen, die mit modernsten Testgeräten und FPGA-Evaluierungsplattformen ausgestattet sind. Ein wichtiger Höhepunkt der Joint-Lab-Aktivität war die Organisation des PhD-Workshops "Advanced Topics of Fault-Tolerant Design and AI Methodology" im Januar 2020 zusammen mit der BTU Cottbus-Senftenberg.

The research and development of methods and tools for supporting an efficient development process of complex energy-efficient and reliable embedded chips and systems are a main focus of the Joint Lab. The DFG-Project ENROL focuses on fault-tolerant methods for asynchronous logic design. In MORFEUS project, the research is focused on the resiliency of the embedded systems. The research activities of the Joint Lab included two published conference and three journal papers in 2020, addressing in particular the radiation hard solutions for asynchronous architectures. Moreover, two bachelor theses have been defended in the Joint Lab in this year. The work of the students have been mainly focused on the emerging topics, such as AI processing architectures. Another topic of the Joint Lab is teaching. Lectures on hardware architectures for AI applications and chip design were held. Students could strengthen their knowledge in labs, which are equipped with state-of-the-art test devices and FPGA evaluation platforms. An important highlight of the Joint Lab activity was the organization of the PhD-workshop "Advanced Topics of Fault-Tolerant Design and AI Methodology" in January 2020 together with the BTU Cottbus-Senftenberg.



Ergebnis aus DFG-Projekt ENROL, ausgeführt im Joint Lab:
Vorgeschlagene Struktur eines gebündelten datenasynchronen Pipeline-Designs zur Adressierung von SEUs in Flip-Flops und SETs von unbegrenzter Dauer in der Logik.
Results from DFG Project ENROL, executed in the Joint Lab:
Proposed structure of bundled data asynchronous pipeline design for addressing SEUs in flip-flops and SETs of unlimited duration in logic.

Joint Lab IHP < > University of Zielona Góra

Verteilte Messsysteme und drahtlose Sensor-Netzwerke

Distributed Measurement Systems and Wireless Sensor Networks

Kontakt Contact	Dr. Krzysztof Piotrowski (IHP), Prof. Dr. Ryszard Rybski (UZ)
Partner Partner	University of Zielona Góra
Gründung und Eröffnung Opening	2019
Ausgewählte Projekte Selected Projects	SmartGrid Plattform, SmartRiver
Internetseite Homepage	www.ihp-microelectronics.com/uz

Dieses Joint Lab untersucht alle Aspekte der praktischen Ansätze der verteilten Messsysteme. Solche Messsysteme beinhalten einen ressourceneingeschränkten Teil, normalerweise unter den Namen drahtloses Sensornetzwerk, Internet of Things (IoT) oder Cyber-physikalisches System (CPS) bekannt. Dieses Sensor- und Aktuator-Netzwerk wird in der überwachten Umgebung installiert, interagiert mit dieser Umgebung und kommuniziert mit dem leistungsfähigeren Teil des Messsystems, welches sich z. B. in der Cloud befindet. Die Kombination dieser zwei Teile erlaubt Anwendungen in Bereichen wie Umweltmonitoring, Smart Grid, Smart City und Ähnlichen zu implementieren. Solche Anwendungen bearbeiten sehr große Datenmengen aus verschiedenen Quellen und von verschiedenen Besitzern. Sie brauchen Zuverlässigkeit und Sicherheit, welche zusammen mit einer weiteren und wichtigen Eigenschaft von verteilten Systemen – Verfügbarkeit, die Entwicklung von solchen Messsystemen nicht trivial machen.

Dieses Joint Lab ist ein Ergebnis einer schon länger existierenden Zusammenarbeit mit der Universität Zielona Góra. Die Kooperation wurde im Februar 2016 vertraglich fixiert und zeichnet sich durch gemeinsame Vortrags- und Lehraktivitäten sowie fachspezifische Projekte aus.

Im Rahmen der Zusammenarbeit wurden seit dem Jahr 2018 ein gemeinsames INTERREG-Projekt (SmartGrid Plattform) schon finalisiert und ein weiteres ist gerade in Bearbeitung (SmartRiver).

Es gibt auch weitere Forschungsprojekte, die in diesem Themenbereich realisiert werden (EU-H2020-ebalanceplus, BMBF-AMMOD, INTERREG-SpaceRegion). Im Rahmen der Kooperation wurden auch mehrere Diplomarbeiten realisiert – seit dem Jahr 2018 waren es 14 Bachelorarbeiten und vier Masterarbeiten. Im Jahr 2020 wurden acht gemeinsame Publikationen veröffentlicht.

This Joint Lab focuses on all aspects related to practical approaches of distributed measurement systems. Such measurement systems involve a resource-constrained part usually known as a wireless sensor network (WSN), Internet of Things (IoT) or cyber-physical system (CPS). The sensor and actuator network installed within the monitored environment interacts with it and communicates with the other, more powerful part of the measurement system located, e.g., in the cloud. Combination of these two parts allows implementing applications in areas such as environmental monitoring, smart grid, smart city or the like. All these applications handle huge amounts of data from different sources and owned by different parties. They require reliability and security, and together with another feature important in distributed systems – availability, which make the design of such measurement systems far from trivial.

This Joint Lab is a result of an already longer existing cooperation with the University of Zielona Góra. The cooperation was contractually agreed in February 2016. The cooperation is characterized by joint lectures and teaching activities as well as subject-specific projects.

Within this cooperation, since the year 2018, we have already realized one INTERREG Project (SmartGrid Plattform) and another one is currently in progress (SmartRiver).

There are also further research projects realized in this subject area (EU H2020 – ebalanceplus, BMBF – AMMOD, INTERREG – SpaceRegion). Within this cooperation, multiple diploma theses have also been realized – since 2018 there were 14 bachelor theses and 4 master theses. In the year 2020, eight joint papers were published.



Joint Lab IHP < > TU Berlin

Bioelektronik

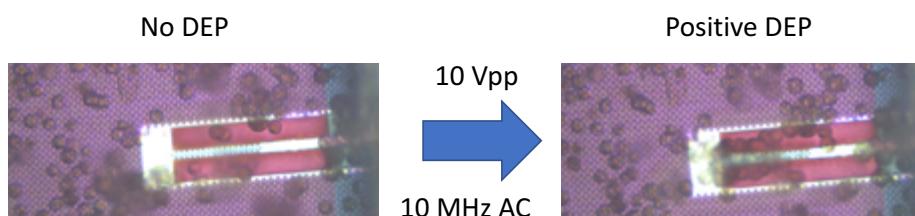
Bioelectronics

Kontakt Contact	Prof. Dr. Mario Birkholz (IHP), Prof. Dr. Peter Neubauer (TU Berlin)
Partner Partner	Technische Universität Berlin, Institut für Biotechnologie
Gründung und Eröffnung Opening	2012/2013
Ausgewählte Projekte Selected Projects	Photonische Biosensorik, Zellseparation
Internetseite Homepage	www.ihp-microelectronics.com/jlbioelectronics

Biosensoren haben die Aufgabe, die Konzentration bestimmter biologischer Substanzen oder auch ganzer Zellen in wässrigen Milieus festzustellen, wie z. B. Glucose im Blut, Azetat im Bioreaktor oder Legionellen im Brauchwasserspeicher; die Liste ließe sich noch um viele Beispiele ergänzen. In den letzten Jahren wurden zunehmend Biosensoren entwickelt, die mit Methoden der Mikroelektronik herzustellen sind. Das hat den großen Vorteil, dass die gemessenen Signale gleich elektronisch weiterverarbeitet und weitergeleitet werden können. Zudem sind mikroelektronische Biosensoren auch wesentlich kleiner als ihre konventionellen Vorgänger und können in kleinsten Volumina operieren – so wie sie üblicherweise in der Biologie und Medizin auftreten. Zumeist sind die Sensoren so gestaltet, dass eine sensorische Fläche auf der Oberfläche des Mikroelektronikchips mit dem wässrigen Milieu in Kontakt steht. Die nachzuweisenden Moleküle oder Zellen, die „Analyten“, werden durch Diffusion zugeführt und oft auch an der sensorischen Fläche eingefangen oder chemisch modifiziert. Aus der Stärke des gemessenen elektrischen Signals lässt sich dann auf die Menge des Stoffs im Testvolumen schließen. Allerdings braucht dieser Vorgang Zeit, je nachdem wie lange der Analyt benötigt, um von nah oder fern bis zur Sensorfläche zu diffundieren. In einem von der DFG geförderten Forschungsprojekt von Dr. Anders Henriksson wurde im gemeinsamen Labor für Bioelektronik in 2020 ein Biosensor untersucht, der diese Diffusionsgrenze überwinden soll. Der Sensorchip wurde mit der phototischen Technologie im Reinraum des IHP hergestellt. Der Clou dabei: Durch in die Sensorfläche integrierte Elektroden kann in das Testvolumen eine Wechselspannung eingestrahlt werden, die den Analyten zur Sensorfläche hin beschleunigt. Das zugrunde liegende Prinzip ist die sogenannte Dielektrophorese (DEP), bei der dem Analyten ein elektrisches Dipolmoment induziert wird und im inhomogenen elektrischen Feld als anziehende Kraft wirkt. In einem Proof-of-Principle-Versuch wurde die anziehende Wirkung des Sensors für Mikroalgen demonstriert, wie das nebenstehende Bild die Situation vor (links) und nach Einschalten des DEP-Feldes (rechts) zeigt.

Biosensors have the task of detecting the concentration of certain biological substances or even whole cells in aqueous environments - such as glucose in blood, acetate in bioreactors or Legionella in water storage tanks; the list could be extended by many more examples. In recent years, biosensors have increasingly been developed that can be manufactured using microelectronic methods. This has the great advantage that the measured signals can be immediately processed and transmitted electronically. In addition, microelectronic biosensors are also considerably smaller than their conventional predecessors and can operate in the smallest of volumes - as is usually the case in biology and medicine. In most cases, the sensors are designed so that a sensing area on the surface of the microelectronics chip is in contact with the aqueous environment. The molecules or cells to be detected, the "analytes," are supplied by diffusion and are often also captured or chemically modified at the sensory surface. The strength of the measured electrical signal can then be used to infer the amount of the substance in the test volume. However, this process takes time, depending on how long it takes for the analyte to diffuse from near or far to the sensing surface. In a DFG-funded research project led by Dr. Anders Henriksson, a biosensor designed to overcome this diffusion limit was studied at the Joint Laboratory for Bioelectronics in 2020. The sensor chip was fabricated using the photonic technology in the IHP clean room. The trick here is that electrodes integrated into the sensor surface can be used to radiate an alternating voltage into the test volume, which accelerates the analyte toward the sensor surface. The underlying principle is the so-called dielectrophoresis (DEP), in which an electric dipole moment is induced in the analyte and acts as an attractive force in the inhomogeneous electric field. In a proof-of-principle experiment, the attractive effect of the sensor was demonstrated for microalgae as shown in the adjacent picture for the situation before (left) and after switching on the DEP field (right).

Dielektrophorese - die anziehende Wirkung des Sensors für Mikroalgen
Dielectrophoresis - the attracting effect of the sensor for microalgae



Joint Lab IHP < > BTU Cottbus-Senftenberg

Zuverlässige Sensor-Netzwerke

Dependable Sensor Networks

Kontakt Contact	Prof. Dr. Peter Langendörfer (IHP), Prof. Dr. Michael Hübner (BTU Cottbus-Senftenberg)
Partner Partner	BTU Cottbus-Senftenberg
Gründung und Eröffnung Opening	2014 gegründet, offizielle Eröffnung 2015 (Frühjahr)
Ausgewählte Projekte Selected Projects	KISS_KI: https://www.forschung-it-sicherheit-kommunikationssysteme.de/projekte/kiss_ki ICampus: https://www.b-tu.de/icampus/ Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Cottbus: https://www.kompetenzzentrum-cottbus.digital/
Internetseite Homepage	www.ihp-microelectronics.com/btu

Dieses Joint Lab untersucht zuverlässige und sichere verteilte Systeme mit einem Schwerpunkt auf zeitkritischen Systemen. In den vergangenen Jahren sind verteilte Systeme und sensorbasierte Netze in den weltweiten Fokus des Forschungsinteresses gerückt. Solche Systeme bestehen aus Computern und Netzwerkverbindungen. Sie werden zur Kontrolle und Signalverarbeitung in realen Umgebungen eingesetzt, wie beispielsweise in Anwendungen von Smart Power Grids, Flugsicherheitskontrolle, der Steuerung von Fahrzeugen, in medizinischen Anwendungen und im Umweltmonitoring. In der Literatur werden sie auch als Cyber Physical Systems bezeichnet. Die Systemumgebungen sind typischer Weise durch hohe Realzeitanforderungen und durch die Notwendigkeit charakterisiert, Ausnahmestände und Fehler in sicherheitskritischen Anwendungen zu bearbeiten. Gleichzeitig werden die Zuverlässigkeitserfordernisse an verteilte Computersysteme immer höher. Die Fehlerbehandlung in solchen Systemen verursacht einen signifikanten zusätzlichen Stromverbrauch und bedarf zusätzlicher Hardware, insbesondere, wenn die Fehlerbehandlung in extrem kurzer Zeit, z. B. einem Clockzyklus, erfolgen muss. Es existieren partiell konkurrierende Herausforderungen: Einerseits muss ein ausreichendes Niveau an Zuverlässigkeit mit minimalem Aufwand erreicht werden, andererseits müssen Schutzfunktionen für die Sicherheit realisiert werden, sodass die Systemfunktion sowohl unter Fehlerbedingungen als auch unter Angriffsbedingungen abgesichert ist. Im August 2020 wurde das Projekt KISS_KI gestartet, in dem Methoden der Künstlichen Intelligenz zur Erkennung von Angriffen gegen Automatisierungsnetze im Bereich kritischer Infrastrukturen, hier Wasserwerke, untersucht werden. Mit diesem Ansatz können u. U. auch Fehlfunktionen in den Anlagen erkannt werden. Hier gibt es Gemeinsamkeiten und im Verlauf der Projekte möglicherweise Synergien mit dem Innovationscampus μSensorik-Projekt ForTune. Erste Arbeiten wurden bereits begonnen. Im November 2020 wurde das Projekt im Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Cottbus um zwei Jahre verlängert. Dabei wurde das Aufgabenfeld um den Bereich Beratung zu Themen der Künstlichen Intelligenz erweitert.

The Joint Lab focuses on the dependability and security of distributed computer systems with an emphasis on the role of timing constraints. In recent years, the technology of distributed computer- and sensor-based systems has become a worldwide focus of research. Such systems incorporate computers and computer networks that perform control and signal processing in a real-world environment, recently also labelled as cyber physical systems. The real-world environment in which these systems function is typically characterized by real-time constraints and by the need to handle exceptional conditions and errors in safety-critical applications. At the same time, reliability requirements for distributed computer systems are constantly growing. Error management in these systems generally induces considerable power-consumption and hardware overhead, especially if the error management has to be performed in a short time such as a single clock cycle (e.g., based on "hot" backup elements). The emerging challenge is two-fold. First, error management must be performed at minimum cost and overhead. Second, security aspects may have a further impact, requiring system design approaches that consider dependability and security in close combination. Essentially this means that critical system functions must be secured even under error conditions and in case of attacks by various mechanisms. In August 2020, the KISS_KI project was launched, in which methods of artificial intelligence for the detection of attacks against automation networks in the area of critical infrastructures, such as waterworks, are being investigated. This approach may also be able to detect malfunctions in the systems. There are similarities here and, in the course of the projects, possibly synergies with the Innovation Campus μSensorik project ForTune. Initial work has already begun. In November 2020, the project at the Mittelstand 4.0 competence centre in Cottbus was extended by two years. The field of activity was expanded to include consulting on artificial intelligence topics.

Joint Lab IHP < > TH Wildau

Photonische Bauelemente & Dünnschichttechnologien

Photonic Devices & Thin Film Technologies

Kontakt Contact	Prof. Dr. Andreas Mai (IHP), Prof. Dr. Sigurd Schrader (TH Wildau), Dr. Patrick Steglich (IHP)
Partner Partner	Technische Hochschule Wildau AG für Photonik, Laser- und Plasmatechnologien
Gründung und Eröffnung Opening	2006
Ausgewählte Projekte Selected Projects	BioPIC, HOPBIT, GETiT
Internetseite Homepage	www.ihp-microelectronics.com/thwildau

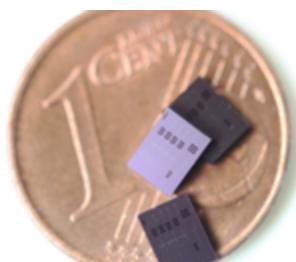
Trotz der außergewöhnlichen Randbedingungen in 2020 setzte das Joint Lab IHP/TH Wildau die gemeinsamen Arbeiten innerhalb der Kooperation mit dem IHP erfolgreich fort. Die akademische Lehre und Forschung wurden im Wesentlichen online durchgeführt. Seit dem Sommer 2020 wird die Lehre nun durch den Gruppenleiter Prozess- und Bauelementeforschung am IHP unterstützt und auf die Bachelorstudiengänge erweitert. Lehrveranstaltungen wurden abermals durchgeführt. Laborpraktika und Studentenexkursionen sowie die jährlichen Praktika für Studierende der TH Wildau aus den Bachelor- und Masterstudiengängen mussten jedoch pandemiebedingt ausgesetzt werden. Dennoch gelang es erstmals, gemeinsam mit der italienischen Partneruniversität TorVergata Studierende zu betreuen. Das Joint Lab hat verschiedene Forschungsschwerpunkte. Im Bereich der Erforschung von kohlenstoffbasierten Dünnschichttechnologien konnte das vom Land Brandenburg finanzierte Projekt GETiT erfolgreich fortgesetzt werden. Für diesen Zweck wurde auch ein spezieller Fine-Placer für den Transfer der 2D-Schichten in Betrieb genommen. Weiterhin wurden die Entwicklung von anwendungsspezifischen photonischen Bauelementen und insbesondere hybriden Silizium-Organik-Technologien, die neue Anwendungen in der Sensorik und neuartige Kommunikationstechnologien ermöglichen, fortgeführt. Neue Projekte wurden beantragt und auf europäischer Ebene (BioPIC) erfolgreiche weitere Schritte und Kooperationen umgesetzt. Ein besonderer Höhepunkt war die Gründung des an der TH Wildau lokalisierten Instituts für Angewandte Physik (IAP). Diese hochschulinterne Kooperationsform, welche durch die beiden Joint-Lab-Leiter Prof. Schrader und Prof. Mai initiiert wurde, erlaubt neue Möglichkeiten in der internen Kooperation und kann aktuell auf eine hohe Anzahl an Partner an der Hochschule sowie von Partnerinstitutionen zurückgreifen.

Link IAP: <https://www.th-wildau.de/forschung-transfer/institut-fuer-angewandte-physik/>

Im gemeinsamen Projekt BioPIC haben Wissenschaftler des IHP und der TH Wildau einen Chip mit photonischen Biosensoren zur Detektion von Troponin I in Blut entwickelt, womit ein Herzinfarkt eindeutig erkannt werden kann. Dabei wurde ein komplett neuer Integrationsansatz genutzt, der auch mit einem Patent geschützt wurde.
In the joint project BioPIC, scientists from IHP and TH Wildau have developed a chip with photonic biosensors for the detection of troponin I in blood, with which a heart attack can be clearly recognised. A completely new integration approach was used, which was also protected by a patent.

Despite the exceptional boundary conditions in 2020, the Joint Lab IHP/UAS Wildau successfully continued the joint work within the cooperation with IHP. Academic teaching and research were essentially conducted online. Since summer 2020, teaching and lectures are now supported by the group leader Process and Device Research from IHP and extended to the bachelor's degree programs at UAS Wildau. Teaching activities were again carried out. However, laboratory internships and student excursions as well as the annual on-site internships for students of the UAS Wildau from the bachelor and master programs had to be suspended due to the pandemic. Nevertheless, master students were supervised for the first time together with the Italian partner university TorVergata. The Joint Lab has various research topics. In the area of research into carbon-based thin-film technologies, the GETiT project, financed by the state of Brandenburg, was successfully continued. For this purpose, a special fine placer for the transfer of 2D layers was also put into operation. Furthermore, the development of application-specific photonic devices and in particular hybrid silicon organic technologies, which enable new applications in sensor technology and novel communication technologies, were continued. New projects were applied for and successful further steps and cooperation were implemented on a European level (BioPIC). A special highlight was the foundation of the Institute for Applied Physics (IAP) located at UAS Wildau. This university-internal form of cooperation, which was initiated by the two Joint Lab directors Prof. Schrader and Prof. Mai, allows new possibilities in internal cooperation and can currently draw on a large number of partners at the university, as well as partner institutions.

Link IAP: <https://www.th-wildau.de/forschung-transfer/institut-fuer-angewandte-physik/>



Joint Lab IHP < > Poznań University of Technology

Połączyć – Verbinden – Interfacing

Połączyć – Verbinden – Interfacing

Kontakt Contact	Dr. Wolfgang M. Klesse (IHP), Prof. Dr. Ryszard Czajka (PUT)
Partner Partner	Poznań University of Technology (PUT), Institute of Physics
Gründung und Eröffnung Opening	2014
Ausgewählte Projekte Selected Projects	Development of germanium-based plasmonics nanoantennas
Internetseite Homepage	www.ihp-microelectronics.com/put

Unter dem Motto „Połaćzyc‘-Verbinden-Interfacing“ verfolgt das gemeinsame Labor IHP/PUT das Ziel, grenzüberschreitend den Austausch zwischen Studenten und jungen Wissenschaftlern aus Deutschland und Polen zu fördern. Die Zusammenarbeit zwischen der Poznan University of Technology und dem IHP stellt im Ausbildungsbereich eine ideale Plattform dar, um bereits im Studium einen Einblick in die Materialforschung der modernen Siliziummikroelektronik zu gewähren. Praktika und Abschlussarbeiten von PUT-Studenten am IHP werden gefördert, um erste Erfahrungen in wissenschaftlicher Arbeit in diesem Bereich zu sammeln. Auch in diesem Jahr konnte das IHP zwei experimentelle Masterarbeiten der PUT ermöglichen.

Ein wichtiges gemeinsames Forschungsthema ist die Entwicklung von CMOS-kompatibler Plasmonik, welche optimierte Materialeigenschaften erfordert (z. B. hochdotiertes Germanium mit hoher Mobilität und die Erforschung von Nanostrukturen mit unterschiedlichen Geometrien). Hierbei bietet die Kombination des Fachwissens vom IHP in der Halbleiterverarbeitung und vom PUT in der Nanofabrikation die Grundlage zur gemeinsamen Entwicklung von Plasmonik-Nanoantennen auf Germaniumbasis, die eine verbesserte Terahertz-Spektroskopie organischer Moleküle für Anwendungen in der Biosensorik versprechen.

Under the motto “Połaćzyc‘-Verbinden-Interfacing”, the joint laboratory IHP/PUT pursues the goal of promoting cross-border exchange between students and young scientists from Germany and Poland. The cooperation between the Poznan University of Technology and IHP provides an ideal platform for students to gain insight into material science for modern silicon microelectronics. Internships and master/bachelor theses of PUT students are supported to gain firsthand scientific experience in the field at IHP. Currently two different fields of research are pursued within the IHP/PUT joint lab. This year, IHP was again able to facilitate two experimental master's theses from PUT.

An important common research topic is the development of CMOS-compatible plasmonics, which requires excellent material properties, such as highly doped germanium with high mobility and the exploration of nanostructures of different geometries. The combination of expertise of IHP in semiconductor processing and of PUT in nanofabrication are leveraged towards the development of germanium-based plasmonics nanoantennas that enable enhanced terahertz spectroscopy of organic molecules in biosensing applications.

Joint Lab IHP < > HU Berlin

Drahtlose Breitbandkommunikationssysteme

Wireless Communication Systems

Kontakt Contact	Prof. Dr. Eckhard Grass (IHP), Dr. Frank Winkler (HU Berlin)
Partner Partner	Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Informatik
Gründung und Eröffnung Opening	2011/2012
Ausgewählte Projekte Selected Projects	maximumMIMO: www.wireless100gb.de , 5GENESIS: https://5genesis.eu/ , AgileHyBeams: https://gepris.dfg.de/gepris/projekt/421544431
Internetseite Homepage	www.ihp-microelectronics.com/hu

Innerhalb des Joint Lab wird in der Lehre im Modul Drahtlose Breitbandkommunikation auf Grundlagen der Nachrichtentechnik sowie auf spezielle aktuelle Entwicklungen (z. B. Mobilfunkstandard 5G) eingegangen. Der wachsende Anteil an Smartphones führt zu einem rasanten Anstieg der notwendigen Übertragungsraten für mobile Endgeräte. Ausgehend von den Kanaleigenschaften werden Algorithmen, Architekturen und Implementierungsaspekte für drahtlose Kommunikationssysteme mit höchsten Datenraten erörtert und den Studierenden vermittelt. Aus Forschungsprojekten zur 5. Generation Mobilfunk (5G) fließen Ergebnisse direkt in die Lehre ein. Neben der Lehre charakterisieren Forschungsprojekte die Arbeit des Joint Lab. Im Jahr 2020 wurde die Arbeit an dem neuen DFG-Projekt AgileHyBeams aufgenommen. In diesem Projekt geht es um die Erhöhung der spektralen Effizienz durch den Einsatz effizienter Spatial-Multiplexing-Verfahren in Verbindung mit Hybrid Beamforming. Im Rahmen dieses DFG-Projekts wurden 2020 erste Simulationen durchgeführt, die zum Ziel haben, die Geometrie von Räumen durch Auswertung der Kanalimpulsantworten zahlreicher Beams zu identifizieren (Abb. 1). Eine präzise Charakterisierung und Modellierung der Abstrahlcharakteristik der Phased-Array-Antennen ist dafür notwendig (Abb. 2).

Nach einer erfolgreichen ersten Messkampagne im Herbst 2019 musste der Aufbau und Betrieb eines 5G-Testbeds vor dem Hauptgebäude der Humboldt-Universität Berlin im Rahmen der gemeinsamen Arbeit im H2020-Projekt 5GENESIS auf Grund der andauernden COVID-19-Beschränkungen um ein Jahr auf den Herbst 2021 verschoben werden. Gemeinsam mit dem Fraunhofer-FOKUS sind nun im Oktober 2021 Messungen zu spezifischen Aspekten der 5G-Technologie geplant. Das Ziel des Aufbaus besteht u. a. darin, die Effizienz von Edgecomputing zur Bereitstellung von medialen Inhalten mit geringen Latenzen für große Menschenmengen auf kleinstem Raum nachzuweisen. Vom Lehrstuhl Technische Informatik der Humboldt-Universität werden in diesem Kontext Aspekte der Anonymisierung und Wahrung der Privatsphäre bearbeitet.

Abb. 1: Indoor setup für mmWellen-Hybrid-Beamforming-Simulationen
Fig. 1: Indoor setup for mmWave Hybrid Beamforming simulations

Abb. 2: Beispiel der Antennen-Abstrahlcharakteristik für mmWellen-Hybrid-Beamforming-Simulationen
Fig. 2: Example Antenna Pattern used for mmWave Hybrid Beamforming Investigations

One main aspect of the Joint Lab is teaching a Masters Course on the basics of communications engineering as well as recent developments and standards (for example cellular network standards such as 5G). The growing percentage of smartphones and other wireless devices results in a dramatic increase of required datarate. Algorithms, architectures, and implementation aspects of wireless communication systems are presented and introduced to the students. Results of research projects on the development of the 5th Generation of Mobile Communication Systems (5G) are directly used in the lectures.

Another aspect is the cooperative work in research projects. The DFG-Project AgileHyBeams, which concentrates on increasing the spectral efficiency using hybrid beamforming technology based on high-resolution phased array antenna topologies, was started in fall 2020. First simulations were conducted which aim at establishing the geometry of rooms based on evaluating the Channel Impulse Responses of many different beams (Fig. 1). The precise characterization and modelling of the radiation pattern of the phased array antenna is crucial for the investigations (Fig. 2).

After successful construction and operation of a 5G-Testbed at the main building of the Humboldt University within the H2020 Project 5GENESIS in fall 2019, another large experimental evaluation was planned for fall 2020. However, due to the continuing COVID-19 restrictions, this demonstration is now postponed until fall 2021. Together with the Fraunhofer-FOKUS Institute, we are planning detailed measurements on specific aspects of the 5G-technology. One goal of the testbed is to verify the efficiency of edge-computing for delivering media contents with low latency for large crowds. The Chair Technische Informatik at Humboldt University investigates and contributes aspects of anonymization and protection of privacy in this context.



Joint Lab IHP < > Sabanci University

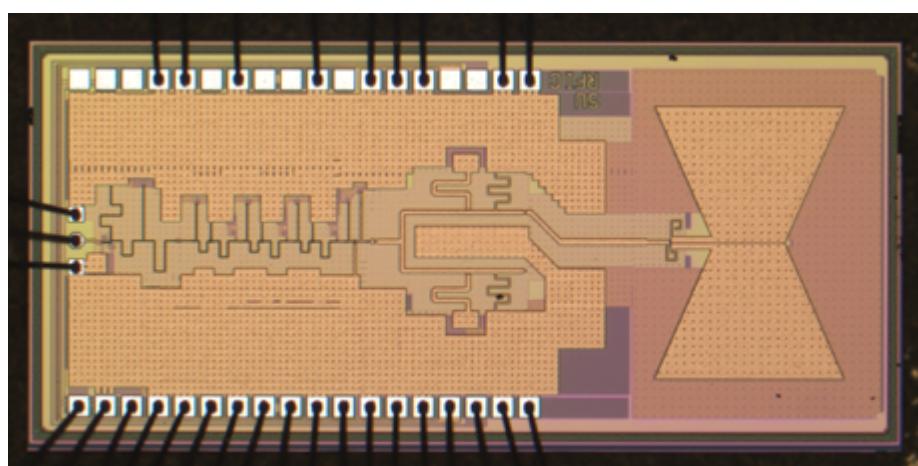
More-than-Moore

More-than-Moore

Kontakt Contact	Dr. Mehmet Kaynak (IHP), Prof. Yasar Gurbuz (Sabanci University)
Partner Partner	Sabanci University, Istanbul
Gründung und Eröffnung Opening	2014
Ausgewählte Projekte Selected Projects	MtM RD
Internetseite Homepage	www.ihp-microelectronics.com/sabanci

Das gemeinsame Labor bündelt das Know-how der beiden akademischen Institutionen. Der Fokus liegt auf der Erforschung und Entwicklung von integrierten Millimeterwellen-Schaltkreisen. Das Hauptziel besteht darin, die Forschungskapazitäten durch einen komplementären Forschungsansatz zu erweitern und die internationale Sichtbarkeit zu erhöhen. Seit 2014 hatten mehr als 45 Studierende der Universität Sabanci die Möglichkeit, ihre Praktika am IHP zu absolvieren. Einige von ihnen schließen an ihr erfolgreiches Praktikum die Promotion am IHP an. Sie alle leisten einen wesentlichen Beitrag zu den gemeinsamen Forschungsarbeiten. Dem Joint Lab ist es gelungen, Mittel der Türkischen Anstalt für Wissenschaftliche und Technologische Forschung (TUBITAK) zur Finanzierung der Kooperation und zur gemeinsamen Entwicklung von RF-MEMS-Technologien zu erhalten. Die Joint-Lab-Kooperation beinhaltet mittlerweile nicht mehr nur den Austausch von Studierenden, sondern auch eines leitenden Wissenschaftlers. Im Sommer 2019 haben 11 Studierende der Sabanci-Universität ihr Praktikum am IHP absolviert. Aus der Forschung, die sie während des Praktikums durchgeführt haben, haben sie als Koautoren zu einer akademischen Publikation beigetragen. Bislang wurden 12 Zeitschriften- und 19 Konferenzbeiträge in angesehenen Verlagen und Communities veröffentlicht. Schließlich trug das Joint Lab zur Organisation der Mikroelektronik-Workshop-Reihe der Sabanci-Universität von 2014 bis 2016 bei.

The Joint Lab bundles the expertise of both academic institutions. The focus is on the exploration and development of mm-wave integrated circuits. The main objective is extending the research capabilities by using a complementary research approach and increasing international visibility. Since 2014, more than 45 undergrad and grad students from Sabanci University have had the opportunity to perform their internships at IHP. They have provided significant contributions to the joint research, with contributions to the academic publications during their bachelor studies. Some of the students are continuing their PhD studies at IHP after their successful internship period. The Joint Lab has succeeded in receiving funds from the Turkish Government funding agency, TUBITAK, for cooperation and joint development on RFMEMS technologies. Today, the Joint Lab cooperation is not only based on student exchange, but also on exchange at the senior researcher level. During the summer of 2019, 11 students from Sabanci University have performed their internship at IHP. Out of the research they have done during the internship, they have contributed to an academic publication as coauthors. So far, 12 journal and 19 conference papers have been published in respectable publishers and communities. Finally, the Joint Lab contributed to the organization of the Sabanci University Microelectronics Workshop series from 2014 to 2016.



W-Band Radiometer-Chipset
W-Band Radiometer Chipset

Joint Lab IHP < > TU Berlin

Siliziumphotonik

Silicon Photonics

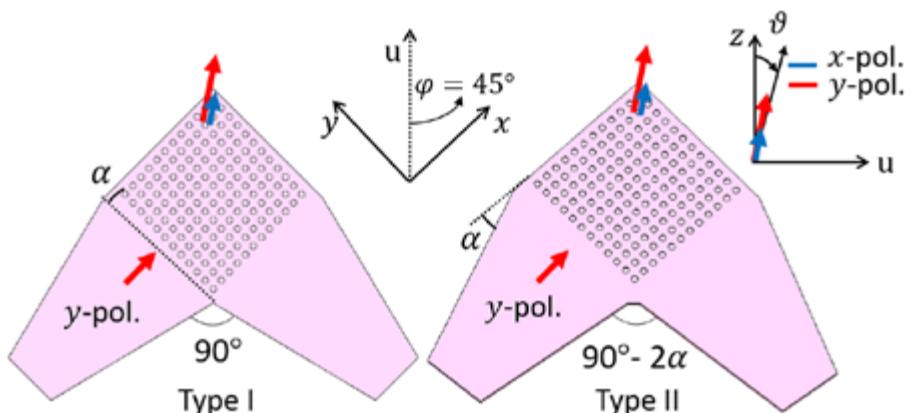
Kontakt Contact	Prof. Dr. Lars Zimmermann (TU Berlin/IHP)
Partner Partner	Technische Universität Berlin, Institut für Hochfrequenz- und Halbleiter-Systemtechnologien
Gründung und Eröffnung Opening	2010
Ausgewählte Projekte Selected Projects	DFG ZI 1283-3-2 & ZI 1283-6-1, BMBF-PEARLS
Internetseite Homepage	www.ihp-microelectronics.com/jlphotronics

Die Siliziumphotonik hat sich in den vergangenen Jahren zu einer Schlüsseltechnologie der optischen Kommunikation entwickelt. Die wichtigsten Anwendungen sind hier im Bereich Datenzentrum und Metronetze angesiedelt. Einen Schwerpunkt der gegenwärtigen Forschung und Entwicklung bildet insbesondere die Vereinigung von Silizium-IC-Elektronik mit integrierter Optik. Die Entwicklung der photonenischen BiCMOS-Technologie des IHP erfolgt in enger Kooperation mit der TU Berlin. Im gemeinsamen Joint Lab profitiert das IHP von dem verfügbaren photonischen Know-how, die TU Berlin erhält für ihre photonischen Forschungen und Entwicklungen Zugang zu den IHP-Technologien. Es besteht eine enge Kooperation mit international führenden Einrichtungen und Forschergruppen auf dem Gebiet der Siliziumphotonik. Ausdruck dafür ist die Zusammenarbeit in zahlreichen Photonik-Projekten. Neben den Forschungsaktivitäten verbessert das Joint Lab Siliziumphotonik auch die akademische Anbindung des IHP. Das Joint Lab ist mit zwei Vorlesungen und Projektlaboren an der TU Berlin vertreten. Außerdem werden zahlreiche Studien-, Bachelor-, Master- und Doktorarbeiten bis zum erfolgreichen Abschluss betreut.

Silicon photonics is becoming a key technology in optical communications for deployment in high-throughput networks such as data-centers or in the metro area. Present developments focus in particular on the convergence of silicon IC technology and integrated optics. In order to develop IHP's photonic BiCMOS technology, a close collaboration with the TU Berlin has been established. In the Joint Lab, IHP benefits from the photonics know-how available in Berlin, while Berlin gains access to the technology of IHP for photonic research purposes. Our work is closely linked to top-level research in this area, which is reflected by the cooperation in a considerable number of international and national projects with the focus on photonics. In addition to extensive research activities the Joint Lab actively links IHP to academia. Currently, two courses and project labs at TU Berlin are provided. A considerable number of training, Bachelor, Master and PhD theses are conducted in the frame of the Joint Lab.

Im Rahmen der Zusammenarbeit zwischen TU Berlin und dem IHP werden z. B. 2D-Gitterkoppler und ihr Polarisationsübersprechen untersucht.

In the frame of the collaboration between TU Berlin and IHP 2D grating couplers are studied with respect to the polarization crosstalk properties.





Forschungsfabrik
Mikroelektronik Deutschland
Research Fab
Microelectronics Germany

Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland – One-Stop-Shop: Von den Grundlagen bis zur kundenspezifischen Produktentwicklung

Research Fab Microelectronics Germany – One-Stop-Shop: From basic research to customer-specific product development

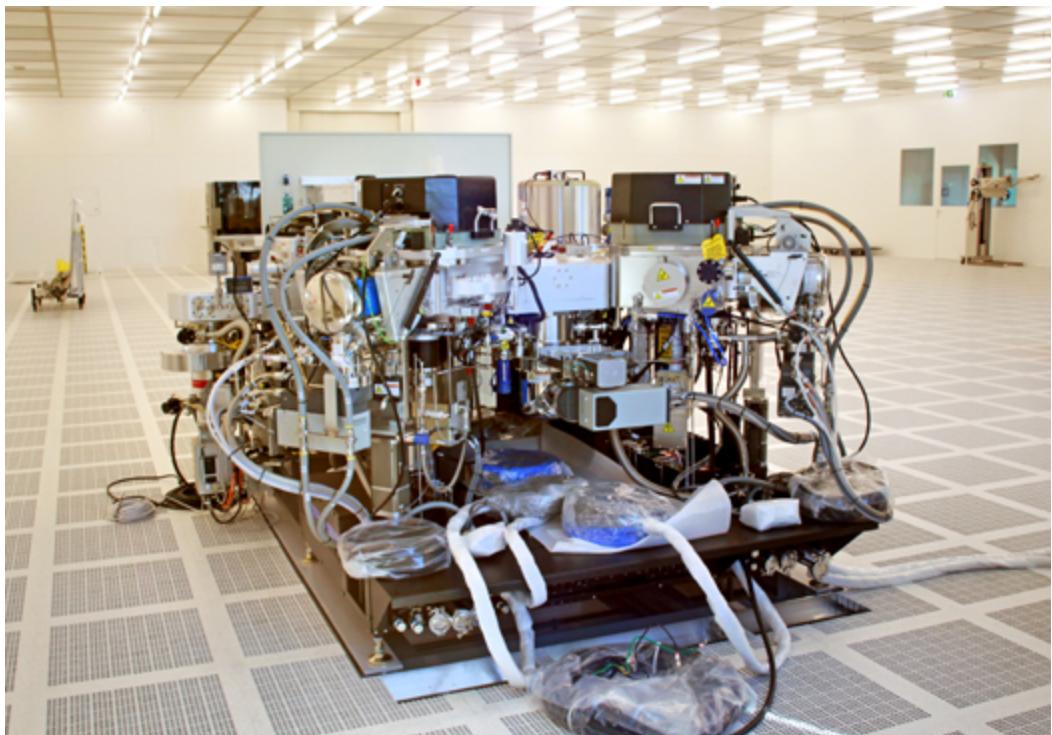
Das IHP ist seit April 2017 Teil der bundesweit koordinierten Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD). Dieses Forschungsnetzwerk ist mit 13 Mitgliedern und mit über 2000 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der größte FuE-Zusammenschluss für die Mikro- und Nanoelektronik in Europa. Als größter standortübergreifender FuE-Zusammenschluss für die Mikroelektronik vereint die Forschungsfabrik die Expertise der elf Institute des Fraunhofer-Verbunds Mikroelektronik und der zwei Leibniz-Institute – das Ferdinand-Braun-Institut (FBH) in Berlin und das IHP. So werden erstmalig FuE-Dienstleistungen, Anwendungslösungen und neue Technologien in einem hohen technischen Reifegrad für einen breiten Kreis industrieller Kunden entlang der gesamten mikroelektronischen Innovationskette aus einer Hand angeboten.

Mit dem Ziel, die Entwicklung, vor allem aber auch die Herstellung und Vermarktung mikroelektronischer Produkte in Deutschland zu fördern, um eine Abwanderung der Kompetenzen in andere Regionen zu verhindern, unterstützt das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) die Forschung und Entwicklung mit rund 350 Millionen Euro bis

Since April 2017, the IHP has been part of the nationally coordinated Research Factory Microelectronics Germany (FMD). This research network is with 13 members and with over 2000 scientists, it is the largest R&D association for micro- and nanoelectronics in Europe. As the largest cross-location R&D association for microelectronics, the research factory combines the expertise of the eleven institutes of the Fraunhofer Group for Microelectronics and the two Leibniz institutes – the Ferdinand Braun Institute (FBH) in Berlin and the IHP. Thus, for the first time, R&D services, application solutions and new technologies at a high level of technical maturity are offered for a broad spectrum of industrial customers along the entire microelectronic innovation chain from a single source.

With the aim of promoting the development, and above all the manufacture and marketing, of microelectronic products in Germany in order to prevent the skills from migrating to other regions, the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) is supporting research and development with around 350 million euros until September 2021. These investments in FMD form the basis for the future viability of

Abscheideanlage zur Realisierung fortschrittlicher Metallisierungssysteme – eine Grundlage für die nächste Generation leistungsfähiger BiCMOS-Technologien
Deposition system for realizing advanced metallization systems – a foundation for the next generation of high-performance BiCMOS technologies



September 2021. Diese Investitionen in die FMD sind die Grundlage für die Zukunftsfähigkeit der angewandten Mikroelektronikforschung in Deutschland. Hierbei handelt es sich vor allem um die Modernisierung der Forschungsausstattung der 13 beteiligten Institute der Fraunhofer-Gesellschaft und der Leibniz-Gemeinschaft. Mit einem neu aufgestellten Konzept zum nachhaltigen Betrieb startet die FMD nach dem Ende der Projektlaufzeit in die produktive Phase. Im Jahr 2020 wurde gemeinsam mit allen in der FMD vertretenen Instituten ein Konzept für den nachhaltigen Betrieb der FMD für die Zeit nach Auslauf der Investitionsphase erarbeitet. Dieses Konzept zur Verfestigung wird in 2021 umgesetzt, wobei sich das IHP ab 2021 durch Zuordnung personeller Ressourcen an der FMD-Geschäftsstelle beteiligen wird.

Vielseitige Kooperationsmöglichkeiten

Neben dem Leistungsangebot für ihre Kunden aus der Wirtschaft, bietet die FMD zusätzlich unterschiedlichste Kooperationsmöglichkeiten für ihre Partner in der Wissenschaft. Hier sind die Angebote hervorzuheben, die direkt auf eine kooperative Bearbeitung von Forschungsfragestellungen abzielen, wie gemeinsame Arbeit in Verbundprojekten und den Betrieb der gemeinsamen Labore, den sogenannten Joint Labs. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, Institute der FMD zu beauftragen, spezielle Konzepte aus der Grundlagenforschung auf den Anlagen der Institute hinsichtlich ihrer Eignung in stärker anwendungsorientierten Umfeldern zu erproben. Als Beispiele für die Kooperation zwischen der FMD und den Universitäten und Hochschulen können das Europäisches Netzwerk für Nanoelektronik ASCENT+, die Forschungskooperation »iCampus« oder das Joint Lab SmartBeam – Mikroelektronik-Forschungslabor Duisburg-Essen für Hochfrequenz-Beamforming in Duisburg genannt werden.

Zielstellung des IHP im Rahmen der FMD

Für das IHP konnten mit Hilfe der Neuinvestitionen wichtige strategische Forschungsfelder weiterverfolgt bzw. neu erschlossen werden. Zusätzlich ist neben dem Ausbau der Forschungsinfrastruktur mittels des investierten Prozessequipments auch die intensive Kooperation und Zusammenarbeit mit den FMD-Partnern von großem Wert.

Das IHP unterstützt sehr stark die strategischen und thematischen Ziele der einzelnen, anwendungsnahen Technologieplattformen des FMD-Konsortiums und ist hier insbesondere in den Plattformen „Extended CMOS“, „Microwave & THz“, „Sensor Systems“ & „Optoelectronic Systems“ aktiv.

applied microelectronics research in Germany. This primarily involves modernizing the research equipment of the 13 participating institutes of the Fraunhofer-Gesellschaft and the Leibniz Association. With a new concept for sustainable operation, the FMD is now entering the productive phase after the initial project period. In 2020, a concept for the sustainable operation of the FMD for the period after the end of the investment phase was developed together with all institutes represented in the FMD. This concept for continuation will be implemented in 2021, with IHP participating by allocating personnel resources to the FMD office from 2021.

Versatile cooperation opportunities

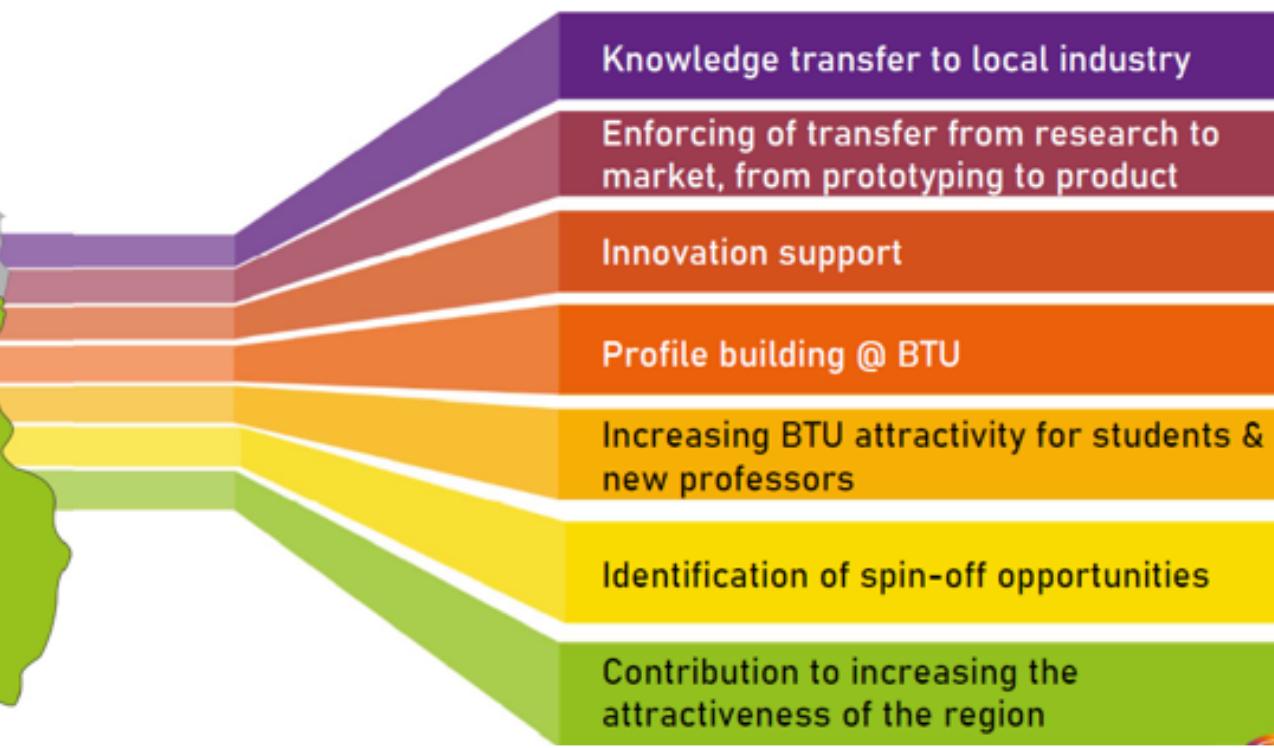
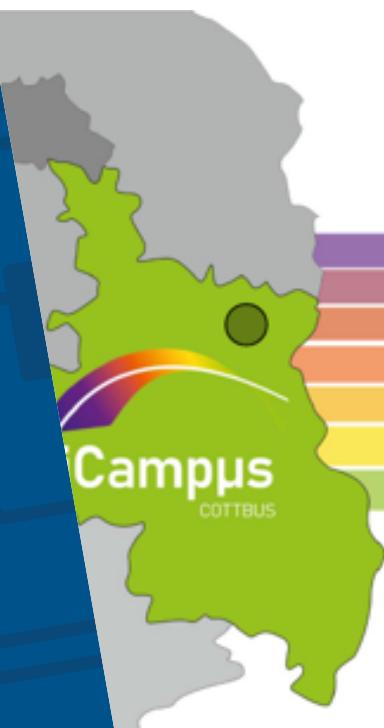
In addition to the range of services for its customers from industry, FMD also offers a wide variety of cooperation opportunities for its partners in science. Among the highlights are services that aim directly at processing research questions cooperatively, for example through collaborative work in joint projects and the operation of so-called Joint Labs. In addition, it is possible to commission FMD institutes to test basic research concepts in the institutes' facilities with regard to their suitability in more application-oriented environments. Good examples of cooperation between FMD and universities as well as other institutions of higher education include the European Nanoelectronics Network ASCENT+, the "iCampus" research collaboration and the SmartBeam - Microelectronics Research Laboratory Duisburg-Essen for High-Frequency Beam Forming in Duisburg.

Objectives of the IHP within the framework of the FMD

With the help of the new investments, important strategic research fields could be pursued or newly developed for the IHP. In addition to the expansion of the research infrastructure by means of the invested process equipment, the intensive cooperation and collaboration with the FMD partners is also of great value.

IHP strongly supports the strategic and thematic goals of the individual, application-oriented technology platforms of the FMD consortium and is particularly active in the platforms "Extended CMOS", "Microwave & THz", "Sensor Systems" and "Optoelectronic Systems".





Innovationscampus Elektronik und Mikrosensorik Cottbus

Innovation Campus Electronics and Microsensor Technology Cottbus

Innovationscampus Elektronik und Mikrosensorik Cottbus

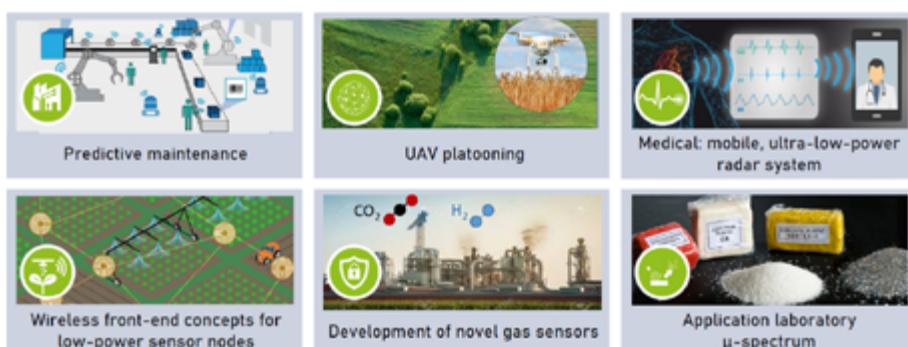
Innovation Campus Electronics and Microsensor Technology Cottbus

Das Lausitzer Revier zählt in Deutschland noch immer zu den strukturschwächsten Regionen. Vor allem die ungünstige demographische Entwicklung und die relativ geringen privaten FuE-Aktivitäten belasten das wirtschaftliche Fortkommen. Zur positiven Gestaltung ist es entscheidend, die Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit zu steigern, dabei an bestehende Forschungskompetenzen anzuknüpfen und das Potential für technologieorientierte Ausgründungen zu heben. Mit dem Innovationscampus μ Sensorik sollen erstmals die Kompetenzen der Partner BTU Cottbus-Senftenberg, IHP und FBH sowie Fraunhofer IZM und IPMS synergetisch zusammengeführt werden und die Kooperation gezielt für den Transfer von FuE-Ergebnissen mit breitem gesellschaftlichen Nutzen forciert werden. In enger Orientierung an den Empfehlungen der Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ soll ein Beitrag zur Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit regionaler Unternehmen geleistet werden. Es sollen direkt und indirekt Arbeitsplätze im Hochtechnologiesektor geschaffen und insbesondere Ausgründungen initiiert und realisiert werden. Dabei fokussiert sich der Innovationscampus auf das enorm an Bedeutung gewin-

The Lausitz region is still one of the structurally and economically weakest regions in Germany. Above all, the negative demographic trend and the relatively low level of private sector R&D activities are a burden on economic progress. In order to achieve a reversal of this trend, it is crucial to increase innovation and competitiveness, by building on existing research competences and raising the potential for technology-oriented spin-offs. Within the Innovation Campus Electronics and μ Sensor Technology Cottbus, the competencies of the partners BTU Cottbus-Senftenberg, IHP and FBH as well as Fraunhofer IZM and IPMS are combined synergistically for the first time. The goal of this cooperation is R&D and transfer of R&D results into the private sector in areas with broad social benefits. In close alignment with the recommendations of the Commission "Growth, Structural Change and Employment" a contribution is to be made to increase the competitiveness of regional companies. The goal is the direct and indirect creation of jobs in the high-tech sector and in particular, spin-offs are to be initiated and realized. The Innovation Campus focuses on the field of micro sensors, which is gaining significant importance, and on



Innovationscampus Elektronik und
Mikrosensorik
Innovation Campus Electronics and
Microsensor Technology



Arbeitsbereiche des Innovationscampus
Elektronik und Mikrosensorik
Work areas of the Innovation Campus
Electronics and Microsensor Technology

nende Feld der Mikrosensoren und darauf aufbauender elektronischer Systeme, die als Sinnesorgane der Digitalisierung bezeichnet werden. Sie bilden mit intelligenten Auswerte- und Steuerungsalgorithmen sowie breitbandigen Datenkommunikationslösungen die Basis aller heute bereits adressierten und aller zukünftigen Anwendungsfelder der Digitalisierung. So breit das Anwendungsfeld von Mikrosensoren ist, so unterschiedlich sind in den meisten Fällen die Anforderungen an deren Funktionalität und Leistungsprofil. „Off-the-shelf“-Lösungen erfüllen gerade für besondere Anwendungen, wie beispielsweise „Smart Farming“, nicht die gestellten Anforderungen. Vielmehr müssen in enger Abstimmung mit dem Anwender applikationsspezifische Lösungen entwickelt werden. Der „Innovationscampus μSensorik“ zielt darauf, diesen Bedarf konkret zu erfassen und durch Zusammenführung der Kompetenzen von Universität und außeruniversitären Forschungseinrichtungen zu adressieren. Zur Umsetzung des vollen Potentials der Transferaktivitäten sowie die produktorientierte bzw. applikationsspezifische Weiterentwicklung der im Rahmen dieses Vorhabens demonstrierten Technologien und damit letztlich auch die Verfestigung des Innovationscampus erfordert weiterführende Aktivitäten, die den zeitlichen und inhaltlichen Rahmen des hier beantragten Projektes überschreiten. In Folgeprojekten sollen im Erfolgsfall die Ergebnisse aus dem hier beantragten Vorhaben weiterentwickelt werden, um so den Transfer in die Wirtschaft weiter zu forcieren, wobei insbesondere die Realisierung von Ausgründungen einen Schwerpunkt darstellen wird. Mit dem Vorhaben wird der Standort Cottbus im Bereich der angewandten Forschung und Entwicklung deutlich gestärkt. Es trägt dazu bei, FuE- und Verwertungsaktivitäten von exzellenten außeruniversitären Instituten am Standort Cottbus aufzubauen bzw. auszuweiten. Das IHP ist in fünf Arbeitsbereichen involviert.

Das auf zunächst 26 Monate ausgelegte Vorhaben wurde mit insgesamt 7,5 Mio. Euro aus Mitteln des Sofortprogramms des BMBF im Rahmen des Strukturwandels gefördert und läuft bis Ende Dezember 2021.

Der Deutsche Bundestag und der Bundesrat haben am 03. Juli 2020 das „Strukturstärkungsgesetz Kohleregionen“ verabschiedet. Das „Strukturstärkungsgesetz“ setzt die strukturpolitischen Empfehlungen der Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“ um. Mit dem Gesetz sollen aber nicht nur die Folgen des Ausstiegs aus der Kohleverstromung abgemildert werden. Die Kohleregionen sollen gestärkt werden, damit sie nach dem Kohleausstieg besser dastehen als zuvor. Hierfür erhalten Braunkohleregionen bis zum Jahr 2038 Finanzhilfen von bis zu 14 Milliarden Euro für besonders bedeutsame Investitionen von Ländern und Gemeinden.

Der Innovationscampus ist namentlich in § 17 erwähnt und ist somit für die nächsten Jahre verfestigt worden.

Ziel ist die Schaffung eines langfristigen Markenzeichens „iCampus“, mit Feldern der Exzellenz, für die iCampus bekannt und der erste Ansprechpartner ist.

Seit November ist der iCampus auch im Dock3 Lausitz, dem Kompetenzzentrum für Gründer, zu finden. Im Industriepark Schwarze Pumpe finden Existenzgründer und Unternehmen ideale Bedingungen, um neue Ideen, innovative Geschäftsfelder und zukunftsträchtige Produkte und Technologien zu entwickeln und zu realisieren.

Um die Sichtbarkeit auf dem Zentralcampus der BTU Cottbus-Senftenberg zu erhöhen und die Marke iCampus Cottbus zu stärken, hat jeder Partner ein eigenes Mitgliedsschild erhalten.

electronic systems based on this sensor technology. Micro sensors are recognized as the sensory organs of digitization. Combined with intelligent evaluation of raw data, control algorithms and broadband data communication solutions, the micro sensors form the back bone of digitalization in many fields of applications already addressed today and in the future. The area of micro sensor application is very broad, still each specific application differs in detail regarding functionality and performance. "Off-the-shelf" solutions do not meet the requirements, especially for specific applications such as "smart farming". Instead, application-specific solutions must be developed in close cooperation with the end user. The "Innovation Campus μSensor Technology" aims to identify requirements and addresses these needs by combining the competencies of the university and non-university research institutions. In order to realize the full potential of the transfer activities as well as the product-oriented and application-specific advancements of the R&D work demonstrated within the context of this project, further activities are required that exceed the time frame and content of the Innovation Campus project. Promising R&D results from the Innovation Campus projects will be fostered in subsequent projects with the goal of being transferred into applications, in particular with focus on the realization of the spin-offs. The Innovation Campus project will significantly strengthen Cottbus as a high-tech region for applied R&D. It contributes to establishing and extending R&D and transfer activities of excellent non-university institutes in this region. The IHP is involved in five R&D fields of the Innovation Campus project.

The project, which was initially scheduled to run for 26 months, was funded with a total of €7.5 million from the BMBF's emergency program in the context of structural change and will run until the end of December 2021.

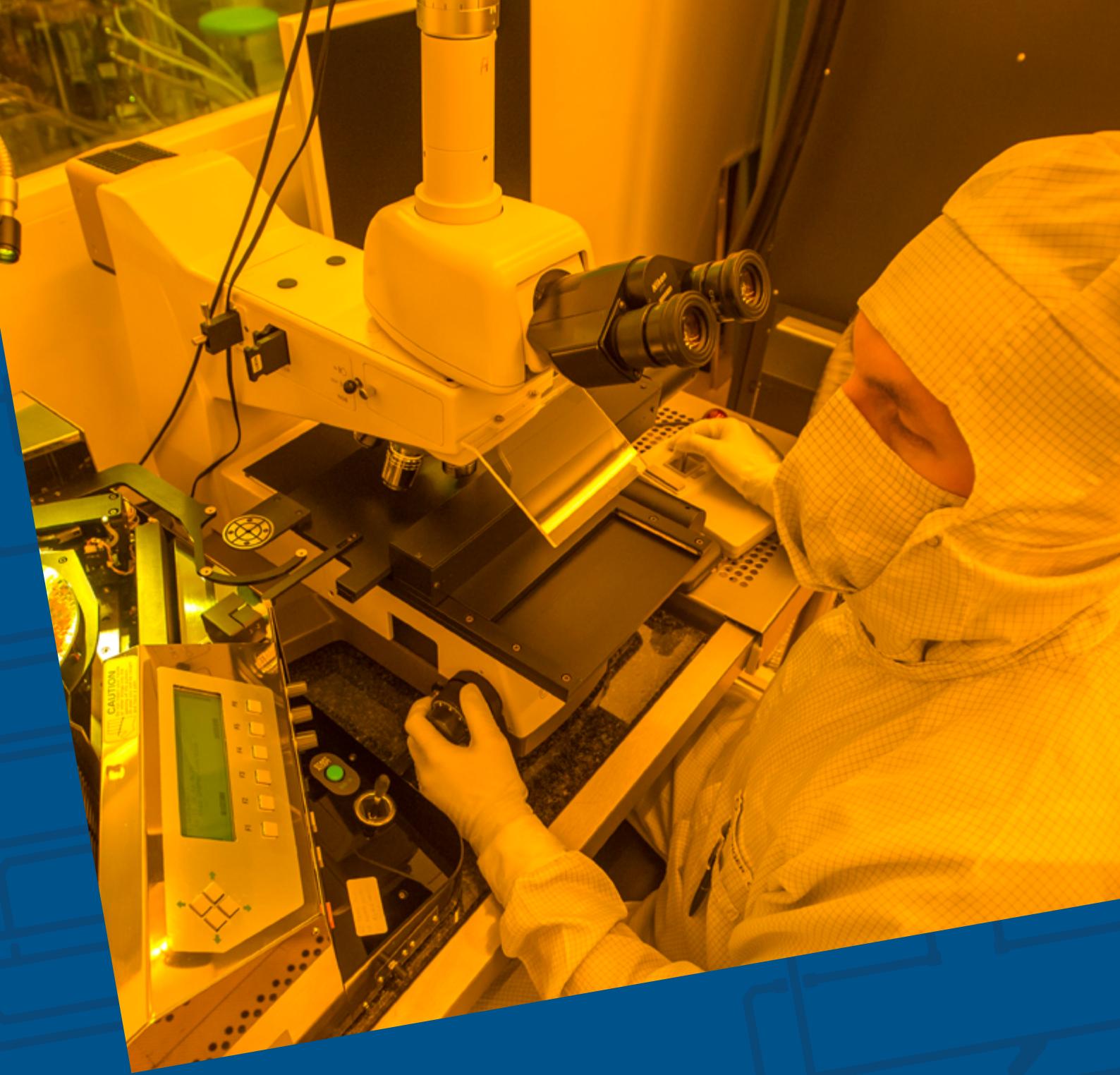
The German Bundestag and the Bundesrat passed the "Structural Strengthening Act for Coal Regions" on 3 July 2020. The "Structural Strengthening Act" implements the structural policy recommendations of the Commission "Growth, Structural Change and Employment". However, the law is not only intended to mitigate the consequences of the phase-out of coal-fired power generation. The coal regions are to be strengthened so that they are better positioned after the coal phase-out than before. To this end, lignite regions will receive financial aid of up to 14 billion euros for particularly significant investments by the federal states and municipalities until 2038.

The Innovation Campus is mentioned by name in § 17 and has thus been made permanent for the next few years.

The aim is to create a long-term brand "iCampus", with fields of excellence for which iCampus is known and is the first point of contact.

Since November, the iCampus has also been located in Dock3 Lausitz, the competence center for start-ups. In the Schwarze Pumpe Industrial Park, start-ups and companies find ideal conditions to develop and realize new ideas, innovative business fields and promising products and technologies.

To increase visibility on the central campus of BTU Cottbus-Senftenberg and strengthen the iCampus Cottbus brand, each partner has received its own membership sign.



Angebote und Leistungen

Offers and Services

Angebote und Leistungen

Offers and Services

Multi-Projekt-Wafer (MPW)- und Prototyping-Service

Das IHP bietet Forschungspartnern und Kunden Zugang zu seinen leistungsstarken SiGe:C-BiCMOS-Technologien mit speziellen integrierten RF- und Silizium-Photonik-Modulen.

Weiterhin bietet das IHP einen regelmäßigen Multi Project Wafer Service mit 0,13- und 0,25- μm -SiGe-BiCMOS-Technologien auf 8-Zoll-Silizium-Wafern an. Integrierte SiGe-Heterobipolartransistoren mit 500 GHz f_{max} sind für Forschung und Produktdesign qualifiziert, Bauelemente mit bis zu 700 GHz f_{max} sind in Entwicklung. Weiterhin ist ein Cadence-basiertes Mixed-Signal-Design-Kit verfügbar. Für Hochfrequenz-Designs kann ein analoges Design Kit mit Keysight ADS verwendet werden.

Verfügbar sind folgende SiGe-BiCMOS- und Siliziumphotonik-Technologien:

SG13S: Eine hochleistungsfähige 0,13- μm -BiCMOS-Technologie mit npn-HBTs mit Grenzfrequenzen bis zu $f_{\text{T}} = 250$ GHz und $f_{\text{max}} = 340$ GHz, mit 3,3 V I/O CMOS und 1,2 V Logik CMOS.

SG13G2: Eine 0,13- μm -BiCMOS-Technologie mit dem gleichen Bauelemente-Portfolio wie SG13S, aber deutlich höherer bipolarer Leistung mit $f_{\text{T}}/f_{\text{max}} = 350/450$ GHz.

SG13SCu und SG13G2Cu: FEOL-Prozess SG13S und SG13G2 zusammen mit Cu-BEOL-Option von X-FAB mit 4 dünnen Cu-Lagen, zwei 3 μm Cu-Lagen, einer dünnen Al-Lage mit 2 ff/ μm MIM-Kondensator und einer 2,8 μm -Aluminium-Decklage.

Verbesserung der passiven Komponenten im Vergleich zu Al BEOL:

- 2 dicke Kupfer-Metallleitungen
- Höhere Strombelastbarkeit der dünnen Metallschichten
- Höhere Strombelastbarkeit der kleinen Durchkontaktierungen
- 40 % höhere Flächendichte des MIM-Kondensators

Multi Project Wafer (MPW) and Prototyping Service

IHP offers research partners and customers access to its powerful SiGe:C BiCMOS technologies with dedicated integrated RF and silicon photonics modules.

IHP provides a regular Multi Project Wafer Service with 0.13 and 0.25 μm SiGe BiCMOS technologies on 8" silicon wafers. Integrated SiGe heterobipolar transistors with 500 GHz f_{max} are qualified for research and product design, devices with up to 700 GHz f_{max} are under development. A Cadence-based mixed-signal design kit is available. For high frequency designs an analog Design Kit using Keysight ADS can be used.

The following SiGe BiCMOS technologies are available:

SG13S: A high-performance 0.13 μm BiCMOS technology with npn-HBTs with cutoff frequencies up to $f_{\text{T}} = 250$ GHz and $f_{\text{max}} = 340$ GHz, with 3.3 V I/O CMOS and 1.2 V logic CMOS.

SG13G2: A 0.13 μm BiCMOS technology with same device portfolio as SG13S, but significantly higher bipolar performance with $f_{\text{T}}/f_{\text{max}} = 350/450$ GHz.

SG13SCu and SG13G2Cu: FEOL process SG13S and SG13G2 together with Cu BEOL option from X-FAB containing 4 thin Cu layers, two 3 μm Cu layers, a thin Al layer with 2 ff/ μm MIM capacitor and a 2.8 μm Aluminum top layer.

Improvement of passive components compared to Al BEOL:

- 2 thick copper metal lines,
- Higher current handling of thin metal layers
- Higher current handling of the small vias
- 40 % higher area density of MIM capacitor

SG25H5_EPIC:	Eine hochleistungsfähige BiCMOS-Technologie mit integrierten Siliziumphotonik-Bauelementen. Sie kombiniert einen BiCMOS-Prozess mit bipolarer sehr leistungsfähigen Transistoren ($f_T/f = 220/290$ GHz) und photonische Bauelemente aus der SG25_PIC-Basistechnologie.	SG25H5_EPIC:	A high performance BiCMOS technology with integrated Silicon Photonic devices. It combines a BiCMOS process with bipolar high performance transistors ($f_T/f = 220/290$ GHz) and SG25_PIC photonic devices.
	Details zum photonisch-integrierten Schaltungsmodul:		Details on Photonic Integrated Circuit Module:
	<ul style="list-style-type: none"> • 220 nm Si auf 2 μm SiO_2 • 3 Ätztiefen • 4 Dotierungsebenen (p, n, p+, n+) • 3 + 2 dicke Al Backend-Metallschichten • Germanium-Photodioden ($f_{3\text{dB}} > 60$ GHz) • HBTs ($f_T/f_{\text{max}} = 220/290$ GHz) • Optionales lokalisiertes Rückseiten-Ätzen 		<ul style="list-style-type: none"> • 220 nm Si on 2 μm SiO_2 • 3 etch depths • 4 doping levels (p, n, p+, n+) • 3 + 2 thick Al backend metal layers • Germanium photo diodes ($f_{3\text{dB}} > 60$ GHz) • HBTs ($f_T/f_{\text{max}} = 220/290$ GHz) • Optional localized backside etching
SG25H3:	Eine 0,25- μm -BiCMOS-Technologie mit npn-HBTs, die von höherer RF-Leistungsfähigkeit ($f_T/f_{\text{max}} = 110/180$ GHz) zu höheren Durchbruchsspannungen von bis zu 7 V reicht.	SG25H3:	A 0.25 μm BiCMOS technology with npn-HBTs that ranges from higher RF performance ($f_T/f_{\text{max}} = 110/180$ GHz) to higher breakdown voltages up to 7 V.
SGB25V:	Eine kostengünstige BiCMOS-Technologie mit einer Reihe von npn-HBTs bis zu einer Durchbruchsspannung von 7 V.	SGB25V:	A low cost BiCMOS technology with a range of npn-HBTs up to a breakdown voltage of 7 V.
SGB25RH:	Eine spezielle Variante der SGB25V-BiCMOS-Technologie, die strahlungsfeste IPs für Weltraum-anwendungen enthält. Es ist nicht erlaubt, die hier enthaltene strahlungsfeste Process Design Kit-IP zusammen mit der SGB25V-Technologie zu verwenden.	SGB25RH:	A special variant of SGB25V BiCMOS technology which includes radiation hard IPs for space applications. It is not allowed to use the radiation hard Process Design Kit IPs included here together with SGB25V technology.

Der Zeitplan für MPW- & Prototyping-Abläufe ist unter www.ihp-microelectronics.com zu finden.

Ein Cadence-basiertes Design Kit für Mischsignale ist verfügbar. Wiederverwendbare Schaltungsböcke und IPs des IHP für die drahtlose- und Breitbandkommunikation werden zur Unterstützung von Designs Dritter angeboten.

The schedule for MPW & Prototyping runs is published at www.ihp-microelectronics.com.

A Cadence-based mixed-signal design kit is available. For high frequency designs an analog Design Kit in ADS can be used. IHP's reusable blocks and IPs are offered to support third party designs.

Zusätzliche Module sind für bestimmte SiGe-BiCMOS-Technologien verfügbar:

LBE:	Das Localized Backside Etching Modul wird angeboten, um Silizium lokal zu entfernen, um die passiven Eigenschaften zu verbessern (verfügbar in allen Technologien)
PIC:	Enthält spezielle photonische Design-Ebenen, zusammen mit den BiCMOS-BEOL-Ebenen auf SOI-Wafern.
TSV:	Ist eine zusätzliche Option in der SG13S- und SG13G2-Technologie, die RF-Erdung durch Durchkontaktierungen durch Silizium bietet, um die RF-Leistung zu verbessern. <ul style="list-style-type: none"> • Through-Silicon-Via-Modul für RF-Erdung ist in SG13-Technologien verfügbar. • Einzelne TSVs bieten eine niedrige GND-Induktivität $\approx 30 \text{ pH}$, um die RF-Schaltungseigenschaften zu verbessern. • Die Rückseiten-Metallisierung kann auch zur verbesserten Chip-zu-Gehäuse-Kontaktierung verwendet werden.

Additional modules for certain SiGe-BiCMOS technologies are available:

LBE:	The Localized Backside Etching module is offered to locally remove silicon to improve passive properties (available in all technologies).
PIC:	Includes additional photonic design layers along with BiCMOS BEOL layers on SOI wafers.
TSV:	An additional option in SG13S and SG13G2 technology that provides RF grounding by vias through silicon to improve RF performance. <ul style="list-style-type: none"> • Through-Silicon Via Module for RF Grounding is available in SG13 technologies. • Single TSVs can provide low GND inductance $\approx 30 \text{ pH}$ to improve RF circuit performance. • Backside metallization can also be used for improved chip-to-package contacting.

Die wesentlichen Parameter der Technologien

Technical key-parameters of the technologies

Key Specification

Feature	SG13S	SG13G2	SG25H3	SGB25V
Technology node (nm)	130	130	250	250
CMOS core supply (V)	1.2, 3.3	1.2, 3.3	2.5	2.5
CMIM (fF/ μm^2)	1.5	1.5	1.0	1.0
Poly Res (Ω/\square)	250	275	210 - 280	210 - 310
High Poly Res (Ω/\square)	1300	1360	1600	2000
BEOL	$7 \times \text{Al}$	$7 \times \text{Al}$	$5 \times \text{Al}$	$5 \times \text{Al}$
Varactor (C_{\max}/C_{\min})	1.7	1.7	3	3
Q inductor	37*	37*	37*	37*

*1 nH (with LBE)

Bipolar Transistors

Feature	SG13S	SG13G2	SG25H3	SGB25V
NPN1 f_T/f_{max} (GHz)	250/340	300/500	110/180	75/95
NPN2 f_T/f_{max} (GHz)	45/165	120/330	45/140	45/90
NPN3 f_T/f_{max} (GHz)			25/80	25/70
NPN1 BV_{CEO} (V)	1.7	1.7	2.3	2.4
NPN2 BV_{CEO} (V)	3.7	2.5	5	4
NPN3 BV_{CEO} (V)			7	7
NPN1 BV_{CBO} (V)	5	4.8	6	7
NPN2 BV_{CBO} (V)	15	8.5	10.5	15
NPN3 BV_{CBO} (V)			21	20

CMOS Section

Feature	SG25H3*		SG13S**	
Core Supply Voltage (V)	2.5		3.3	1.2
nMOS	V_{TH} (V)	0.6	0.71	0.5
	I_{OUT}^{***} ($\mu A/\mu m$)	540	280	480
	I_{OFF} ($pA/\mu m$)	3	10	500
pMOS	V_{TH} (V)	-0.6	-0.61	-0.47
	I_{OUT} ($\mu A/\mu m$)	-230	-220	-200
	I_{OFF} ($pA/\mu m$)	-3	-10	-500

* Parameters for SGB25V are similar

** Parameters for SG13G2 are similar

*** @ $V_G = 2.5$ V

Passive Section

Feature	SG25H3	SGB25V	SG13S	SG13G2
MIM Capacitor ($fF/\mu m^2$)	1	1	1.5	1.5
N+ Poly Resistor (Ω/\square)	210	205	-	-
P+ Poly Resistor (Ω/\square)	280	310	250	260
High Poly Resistor (Ω/\square)	1600	2000	1300	1360
Varactor C_{max}/C_{min}	3	3	1.7	1.7
Inductor Q@5 GHz	18 (1 nH)	18 (1 nH)	18 (1 nH)	18 (1 nH)
Inductor Q@10 GHz	20 (1 nH)	20 (1 nH)	20 (1 nH)	20 (1 nH)
Inductor Q@5 GHz	37 (1 nH)*	37 (1 nH)*	37 (1 nH)*	37 (1 nH)*

* with LBE

Fast Design-Enablement

Wir unterstützen IHP-Designer, externe Projektpartner und Kunden dabei, ihren Designzyklus von der Designidee bis zum erfolgreichen TAPE OUT zu beschleunigen.

Für unsere qualifizierten Technologien bieten wir getestete und zuverlässige Prozess Design Kits (PDKs) innerhalb modernster elektronischer und optischer Design-Plattformen. Dies ermöglicht es Designern, in ihren Projekten, gleich ob Produktion, Entwicklung oder Forschung, im ersten TAPE OUT funktionierendes Silizium zu erhalten.

IHP-Standard-Design-Kits unterstützen RF-MMIC-Designs, Mixed-Signal-Designs und einen digitalen Design-Flow. Spezielle Tools unterstützen die Simulation passiver Bauelemente, die thermische Simulation und Alterungssimulation.

Als Forschungseinrichtung bietet das IHP auch Design-Tool-Support für in der Entwicklung befindliche Technologien und Module an, um Entwicklern die Möglichkeit zu geben, Designs für Forschungs- und Benchmark-Studien in einem sehr frühen Stadium der Entwicklung durchzuführen.

Ein neuer Bereich sind Anwendungen für extrem rauhe Umgebungen. Hier bieten und entwickeln wir Entwurfsmethodiken für das strahlungsharte Design. Für kryogene Designs ist die PDK-Entwicklung in Arbeit.

Um die Besonderheiten der IHP-PDKs zu erlernen, stehen eine ausführliche Dokumentation, Video-Tutorials und Designbeispiele zur Verfügung. Regelmäßige PDK-Tutorials werden angeboten, um neue Benutzer zu schulen und neue Design-Tools und Funktionen einzuführen. Ein spezieller Support-Service ist über die PDK-Web-Plattform des IHP verfügbar, um Lösungen für spezielle Probleme direkt von IHP-Experten zu erhalten.

Analog/Mixed-Signal Flow:

- Verifikation
 - Cadence Assura und PVS DRC/LVS/QRC
 - Calibre DRC/LVS
 - POLYTEDA PowerDRC/LVS
- Ausgewählte PDKs bieten Cadence VPS für EMIR-Analyse
- Sonnet Support für alle Design Kits
- Empire Support für alle Design Kits
- EMX Stack verfügbar für SG13-Technologie mit Aluminium-Backend
- ADS Support via Golden Gate/RFIC dynamic link zu Cadence verfügbar
- Eigenständiges ADS Kit, einschließlich Momentum substrate layer file

Digital Design Flow:

- Digitale Standardzellen- und IO-Bibliotheken sind für 0,25 µm CMOS und 0,13 µm CMOS verfügbar, einschließlich Verhaltenssimulation (Verilogmodelle), Timing (LIB) und Abstracts (LEF)
- Simulation: ModelSim (Mentor Graphics), Incisive Enterprise Simulator IES (Cadence)
- Logiksynthese: Design Compiler (Synopsys), RTL Compiler (Cadence)
- Formale Verifikation: Formality (Synopsys)

Fast Design Enablement

We support IHP designer, external project partners and customers to accelerate their design cycle from design idea to successful TAPE OUT.

For our qualified technologies we offering tested and reliable process design kits (PDKs) within state-of-the-art electronic and optical design platforms. This enables designers to obtain working silicon in their product development projects in the first TAPE OUT.

IHP standard design kits support RF MMIC designs, mixed signal designs and a digital design flow. Furthermore special tools support passive device simulation, thermal simulation and aging simulation.

A new area covers applications for harsh environments. Here we provide and develop design methodologies for radiation-hardened design.

As a research facility IHP is also offering design tool support for technologies under development to offer designers the possibility to perform designs for research and benchmark studies in a very early stage of development. For example PDK development is underway for cryogenic designs.

Detailed documentation, video tutorials, and design examples are available to learn the ins and outs of IHP PDKs. Regular PDK tutorials are offered to train new users and introduce new design tools and features. A dedicated support service is available through IHP's PDK web platform. For special problems, customers obtain answers directly from IHP experts.

Analog/Mixed-Signal Flow:

- Verification
 - Cadence Assura and PVS DRC/LVS/QRC
 - Calibre DRC/LVS
 - POLYTEDA PowerDRC/LVS
- Selected PDKs offer Cadence VPS for EMIR Analysis
- Sonnet support for all design kits
- Empire support for all design kits
- EMX stack for SG13 technology with aluminum backend
- ADS Support via Golden Gate/RFIC dynamic link to Cadence available
- Standalone ADS Kit including Momentum substrate layer file

Digital Design Flow:

- Digital CMOS libraries and IO Cells for 0.25 µm CMOS and 0.13 µm CMOS are available:
 - Behavioral Models (Verilog)
 - Timing Files (LIB)
 - Abstracts (LEF)
- Simulation: ModelSim (Mentor Graphics), Incisive Enterprise Simulator IES (Cadence)

- Scan Insertion und Testpatterngenerierung: DFT Compiler/ TetraMax (Synopsys)
- Place & Route: Innovus Digital Implementation System (Cadence)
- OA der digitalen Bibliotheken für Mixed-Signal Design Flow
- Statische Timing Analyse: PrimeTime (Synopsys)
- Power Analyse: PrimeTime mit PrimePower Option (Synopsys)

- Logic Synthesis: Design Compiler (Synopsys), RTL Compiler (Cadence)
- Formal Verification: Formality (Synopsys)
- Scan Insertion and Test Pattern Generation: DFT Compiler/ TetraMax (Synopsys)
- Place & Route: Encounter Digital Implementation System (Cadence)
- OA views of digital libraries are available for mixed-signal flow
- Power Analysis: PrimeTime with PrimePower Option (Synopsys)
- Static Timing Analysis: PrimeTime (Synopsys)

Technologie-Entwicklungsservice

Das IHP bietet eine Unterstützung bei der Entwicklung von dedizierten Prozessschritten und Modulen für Forschungs- und Entwicklungszwecke sowie für das Prototyping in kleinen Stückzahlen an, in folgenden drei Kategorien von Dienstleistungen:

- Dedizierte Prozessentwicklungen auf Einzelanlagen
- Prozessablaufentwicklungen für spezielle Bauelemente oder Interposerabläufe
- Adaption von spannenden Standard-Technologieabläufen

Dedizierte Prozessentwicklungen auf Einzelanlagen

- Standardprozesse (Implantation, Ätzen, CMP & Abscheidung von Schichtstapeln, wie thermisches SiO₂, PSG, Si₃N₄, Al, TiN, W)
- Epitaxie (Si, Si:C, SiGe, SiGe:C)
- Optische Lithographie (i-Linie und 248 nm bis zu 100 nm Strukturgröße)
- Beispiel Si/SiGe-Schichtstrukturen: Si/SiGe-Schichtstruktur nach Kundenspezifikation auf einem 8-Zoll-Wafer.

Technology Development Service

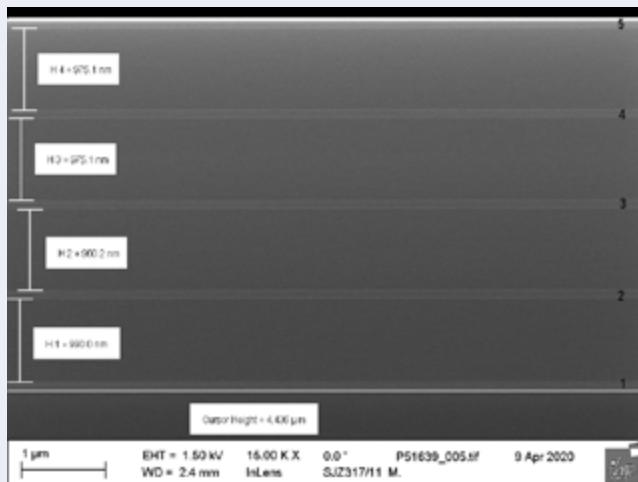
IHP offers support for development of dedicated process steps and modules for research and development purposes and small volume prototyping.

IHP is offering three categories of services:

- Dedicated process developments on single tools
- Process flow developments for special devices or interposer flows
- Adaption of exciting standard technology flows

Dedicated process developments on single tools

- Standard processes (implantation, etching, CMP & deposition of layer stacks such as thermal SiO₂, PSG, Si₃N₄, Al, TiN, W)
- Epitaxy (Si, Si:C, SiGe, SiGe:C)
- Optical lithography (i-line and 248 nm down to 100 nm structure size)
- Example Si/SiGe layer structures: Si/SiGe layer structure on customer specification on an 8 inch wafer.

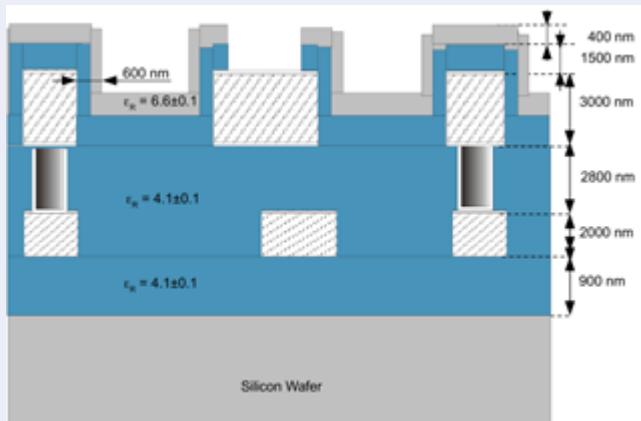


Transmissionselektronenmikroskopische Aufnahme von einer kundenspezifischen Si/SiGe-Abscheidung
Transmission electron image of a custom Si/SiGe deposition

Prozessablaufentwicklungen für spezielle Bauelemente oder Interposerabläufe

Basierend auf bestehende Prozessschritte bietet das IHP Entwicklungen von Prozessabläufen an. Hierbei können spezielle Bauelemente oder Teile bestehender Technologien (z. B. Backend of line Module) für Prototypen oder als Basis für eigene Entwicklungen gefertigt werden.

- **Beispiel:** Interposer mit 2 Lagen, basierend auf Standard Al BEOL



Process flow developments for special devices or interposer flows

IHP offers developments of process flows based on existing process steps. Here special devices or part of existing technologies (part of Backend of line modules) can be fabricated for prototypes or as basis for own developments.

- **Example:** Interposer with 2 layer based on standard Al BEOL

Querschnitt eines Interposer-Wafers basierend auf IHP Al-BEOL-Stack
Cross section of an interposer Wafer based on IHP Al-BEOL stack

Adaption bestehender Standard-Technologieabläufe

In diesem Fall basiert der Service auf bestehenden Standardtechnologien, die IHP-Standard-MPW-Abläufe können genutzt werden, um leicht modifizierte Technologien anzubieten. Mögliche Modifikationen sind die Verwendung von Nicht-Standard-Wafermaterial, die Anpassung einzelner Prozessschritte oder das Stoppen der Prozessierung an einem geeigneten Schritt.

Falls komplette Wafer benötigt werden, sind ein eigener Maskensatz oder zusätzliche Masken zur Ausblendung anderer Kundendaten erforderlich. In diesem Fall können Entwicklungen mit Standard-Backend-Prozessen wie Rückseitenschleifen, Dicing und einer Reduzierung der Standard-Wafergröße auf 6, 4 oder 3 Zoll kombiniert werden.

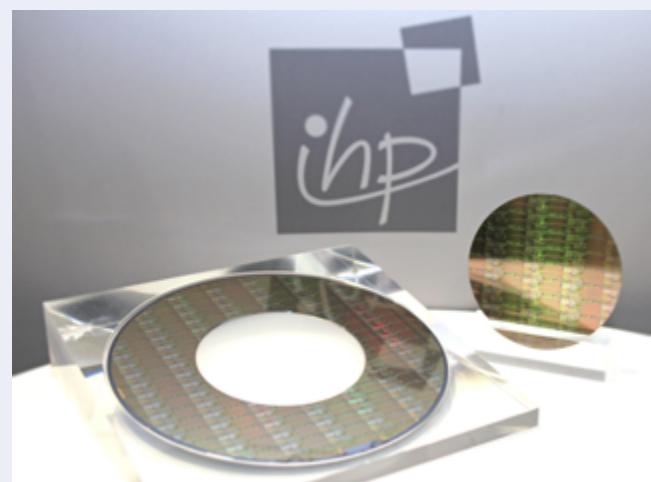
- **Beispiel 1:** Fertigung von Standardtechnologie auf einem hochohmigen Wafer über einen 130-nm-MPW-Ablauf
- **Beispiel 2:** Fertigung in MPW-Standardtechnologie und Planarisierung für die Nachbearbeitung

Adaption of existing standard technology flows

In this case service is based on existing standard technologies and IHP standard MPW runs can be used to offer slightly modified technologies. Possible modifications are the use of non-standard wafer material, adaption of a single process steps or stopping processing at an appropriate step.

In case complete wafers are required an own mask set or additional masks to disguise other customer data are needed. In this case developments can be combined with standard Backend processes like backside grinding, dicing and a reduction of standard wafer size to 6, 4 or 3 inches.

- **Example 1:** Fabrication of standard technology on a high resistive wafer via a 130 nm MPW run
- **Example 2:** Fabrication of MPW standard technology and planarisation for post processing



4-Zoll-Wafer, geschnitten aus 8-Zoll-MPW-Wafer
4-inch wafer cut from an 8-inch MPW wafer

Transfer von Technologien und Technologiemarken

Das IHP entwickelt siliziumbasierte Technologien und qualifiziert diese nach JEDEC-Standards und Testmethoden. Die Prozessabläufe, die Prozesssteuerung und -wartung folgen Industriestandards mit produktionstauglichem Equipment. IHP-Technologien werden über einen MPW-Service für Prototyping und Kleinserienfertigung angeboten. Dies ist eine ideale Voraussetzung für den Transfer dieser Technologien in kommerzielle Großserienfertigungen. Das IHP kann den Transfer von kompletten Technologien oder Technologiemarken anbieten. Im Rahmen eines Transferprojektes kann eine Machbarkeitsstudie, ein Eins-zu-Eins-Prozesstransfer oder eine Prozessanpassung an die Bedürfnisse der empfangenden Produktionsstätte angeboten werden.

Neben dem Transfer bestehender Technologien können auch Prozessabläufe und spezielle Bauelemente entwickelt werden, die auf bestehenden Prozessfähigkeiten und Forschungsergebnissen basieren. Diese Entwicklungen können auf kommerzielle Fertigungsstätten übertragen werden, die in vereinbarten Entwicklungsprojekten definiert sind.

Das IHP kann auch siliziumbasierte Technologieentwicklungen in kommerziellen Fabrikationsstätten oder Forschungseinrichtungen unterstützen. Detaillierte Aktivitäten können Beratungstätigkeiten oder die Unterstützung von Prozessentwicklungen beinhalten, die den Austausch von Wafern und die teilweise Bearbeitung im IHP beinhalten.

Kontaktieren Sie uns, um Ihre speziellen Anforderungen im Detail zu besprechen und Ihr spezielles Transferszenario zu diskutieren.

Fehleranalyse und Diagnostik

Das IHP bietet Unterstützung für Ausbeuteerhöhung durch Fehleranalyse mit modernster Ausrüstung, einschließlich AES, AFM, FIB, LST, SEM, SIMS, STM und TEM. Tester und Geräte für RF-Messungen sind vorhanden.

Verfügbare analoge und digitale Blöcke und Designs

Zur Unterstützung von Entwürfen bietet das IHP eine breite Palette von Blöcken und Entwürfen für Drahtlos- und Breitbandlösungen an.

Analoge IP

- **Drahtlose Kommunikation**
 - 60, 240 GHz
- **Radarsensoren**
 - 60, 80, 120, 160, 256 GHz
- **THz-Sensoren**
 - 245, 500 GHz
- **Frequenzsynthesizer**
 - 6 - 60 GHz
- **Faseroptische Kommunikation**
 - VCSEL, MZM, TIA
- **Mixed-Signal Komponenten**
 - ADC, DAC
- **Impulse Radio UWB**
- **Demonstratoren und Evaluationskits**
 - 60-GHz-Frontend-Demonstrator-Modul für analoge

Transfer of Technologies and Technology Modules

IHP develops Si-based technologies and qualifies them in compliance to JEDEC standards and test methods. Process flows, process control and maintenance follow industry standards with equipment suitable for production. IHP technologies are offered through an MPW Service for prototyping and low volume fabrication. This is an ideal fit for transferring these technologies to commercial high volume fabrication sites. IHP can offer transfer of complete technologies or technology modules. Within a transfer project IHP can offer a feasibility study, one to one process transfer or a process adaption to the needs of the receiving production facility.

In addition to transferring existing technologies, IHP can also develop process flows and dedicated devices based on existing process capabilities and research results. These developments can be transferred to commercial fabrications sites as defined in agreed development projects.

The IHP may also support Si-based technology developments at commercial fabrication sites or research facilities. Detailed activities may include consulting activities or process development support involving wafer exchange and partial processing at IHP.

Contact us to discuss your specific requirements in detail and your dedicated transfer scenario.

Failure Mode Analysis and Diagnostics

IHP offers support for yield enhancement through failure mode analysis with state-of-the-art equipment, including AES, AFM, FIB, LST, SEM, SIMS, STM and TEM. Tester and equipment for RF measurements are available.

Available Analog and Digital Blocks and Designs

To support designs, IHP offers a wide range of blocks and designs for wireless & broadband solutions

Analog IP

- **Wireless Communication**
 - 60, 240 GHz
- **Radar Sensors**
 - 60, 80, 120, 160, 256 GHz
- **THz Sensors**
 - 245, 500 GHz
- **Frequency Synthesizers**
 - 6 - 60 GHz
- **Fiberoptical Communication**
 - VCSEL, MZM, TIA
- **Mixed-Signal Components**
 - ADC, DAC
- **Impulse Radio UWB**
- **Demonstrators and Evaluation Kits**
 - 60 GHz analog beamforming communication frontend

- Strahlformungskommunikation
- Skalierbares 60/120-GHz-FMCW- und PRN-Radarsensor-Frontend-Demonstratormodul
- UWB-Impulsfunk-Lokalortungs- und Kommunikations-Demonstratorsystem
- LiDAR-Transimpedanzverstärker-Evaluierungskit mit hohem Dynamikbereich
- Strahlungsbeständiger Mehrkanal-VCSEL-Treiber + TIA-Demonstrator-Modul

- demonstrator module
- 60/120 GHz FMCW and PRN scalable radar sensor frontend demonstrator module
- UWB impulse-radio local positioning and communication demonstrator system
- LiDAR high dynamic range transimpedance amplifier evaluation kit
- Radiation-hard multi-channel VCSEL Driver + TIA demonstrator module

Digitale IP

- **Schnittstellen**
 - I²C Slave, SPI Slave, MDIO Slave, 10BASE-T und 100BASE-TX Digital Controller
- **Kommunikationskerne**
 - PTMP-MAC-Prozessor mit ultrahoher Datenrate und Strahlformungsunterstützung
 - Breitband-OFDM-Basisbandprozessor mit ultrahoher Datenrate
 - LDPC-Kodierer/-Dekodierer
 - RS-Kodierer/-Dekodierer
 - Viterbi-Dekodierer/Faltungskodierer
 - Peaktop-Prozessorkern (32 Bit)
 - Waterbear Multiprozessor-Framework
 - Der PISA-Multiprozessor
- **Beratung**
 - (Point-to-Multipoint) MAC-Protokolldesign und -implementierung
 - Entwurf und Implementierung von Kommunikationssystemen mit niedriger Latenz
 - Entwicklung und Implementierung eines Gigabit-WLAN-Systems
 - 5G-Backhaul-Systeme
 - Entwicklung und Implementierung von Lokalisierungs- und Ortungssystemen für Innenräume
 - Strahlungshärtung von digitalen ASICs

Digital IP

- **Interfaces**
 - I²C Slave, SPI Slave, MDIO Slave, 10BASE-T und 100BASE-TX Digital Controller
- **Communication Cores**
 - Ultra-high data rate PTMP MAC processor with beamforming support
 - Ultra-high data rate broadband OFDM baseband processor
 - LDPC Encoder / Decoder
 - RS Encoder / Decoder
 - Viterbi decoder / convolutional encoder
 - Peaktop processor core (32-bit)
 - Waterbear multiprocessor framework
 - The PISA multiprocessor
- **Consulting**
 - (Point-to-Multipoint) MAC protocol design and implementation
 - Design and implementation of low-latency communication systems
 - Gigabit WLAN system development and implementation
 - 5G backhaul systems
 - Indoor localization and positioning system development and implementation
 - Radiation hardening of digital ASICs

Kommerzielle Dienstleistungen: IHP Solutions GmbH

Die IHP Solutions GmbH, eine 100%ige Tochtergesellschaft des IHP, ist eine kommerzielle, marktorientierte Schnittstelle für Kunden zum IHP und seinen Forschungsergebnissen. Zu den Aktivitäten gehören der Transfer von Ergebnissen aus Forschung, Technologieentwicklung und Dienstleistungen für das IHP, einschließlich Patentmanagement und Startup-Unterstützung. Im Bereich Industrieservice ist das Unternehmen Auftragnehmer für Industrikunden und ermöglicht ihnen die Nutzung der Fertigungsdienstleistungen der IHP-Pilotlinie. Weitere Informationen: www.ihp-solutions.com

Commercial Services: IHP Solutions GmbH

IHP Solutions GmbH, a 100% subsidiary of IHP, is a commercial, market-oriented interface for customers to IHP and its research results. Among the activities are the transfer of results from research, technology development and services for IHP, including patent management and start-up support. In the field of "Industry Service", the company is a contractor for industrial customers and allows them to use the manufacturing services of the IHP pilot line. More information: www.ihp-solutions.com

Für weitere Informationen kontaktieren Sie bitte:
For more information please contact:

Dr. René Scholz
(MPW & Prototyping contact)

Email: scholz@ihp-microelectronics.com
Tel: +49 335 56 25 647



Publikationen

Publications

Erschienene Publikationen

Published Papers

- (1) **Vital Signs Monitoring using Pseudo-Random Noise Coded Doppler Radar with Delta-Sigma Modulation**
 S. Abouzaid, W. Ahmad, T.F. Eibert, H.J. Ng
IET Radar, Sonar & Navigation **14**(11), 1778 (2020)
- (2) **Separation, Characterization, and Handling of Microalgae by Dielectrophoresis**
 V. Abt, F. Gringel, A. Han, P. Neubauer, M. Birkholz
Microorganisms **8**(4), 540 (2020)
- (3) **Horizontal SCA Attacks against kP Algorithm using K-Means and PCA**
 M. Aftowicz, I. Kabin, D. Klann, Y. Varabei, Z. Dyka,
 P. Langendörfer
Proc. 8th International Conference on Cyber-Physical Systems and Internet-of-Things (CPS & IoT 2020), 109 (2020)
- (4) **Millimeter-Wave Single-Layer Full-Band WR12 Vertical Waveguide Transition**
 W. Ahmad, D. Kissinger, H.J. Ng
Proc. IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS 2020), 298 (2020)
- (5) **Micromachined 160 GHz Endfire Antenna in 130-nm BiCMOS Technology for Radar Applications**
 W. Ahmad, H.J. Ng, C. Waldschmidt, D. Kissinger
Proc. IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APS 2020), 1859 (2020)
- (6) **Modular Scalable 80- and 160-GHz Radar Sensor Platform for Multiple Radar Techniques and Applications**
 W. Ahmad, M. Kucharski, A. Ergintav, D. Kissinger, H.J. Ng
Proc. IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS 2020), 1275 (2020)
- (7) **Investigation of the Oxidation Behavior of Graphene/Ge(001) versus Graphene/Ge(110) Systems**
 F. Akhtar, J. Dabrowski, M. Lisker, Y. Yamamoto, A. Mai,
 Ch. Wenger, M. Lukosius
ACS Applied Materials & Interfaces **12**(2), 3188 (2020)
- (8) **Kinetic Monte Carlo Analysis of Data Retention in Al:HfO₂-based Resistive Random Access Memories**
 S. Aldana, E. Perez, F. Jimenez-Molinos, Ch. Wenger, J.B. Roldan
Semiconductor Science and Technology **35**(11), 115012 (2020)
- (9) **90 GHz Bandwidth Single-Ended PA for D-Band Applications in BiCMOS Technology**
 A. Ali, J. Yun, H.J. Ng, D. Kissinger, F. Giannini, P. Colantonio
Proc. 4th Australian Microwave Symposium (AMS 2020), (2020)
- (10) **Wideband Frequency Quadrupler for D-Band Applications in BiCMOS Technology**
 A. Ali, J. Yun, H.J. Ng, D. Kissinger, F. Giannini, P. Colantonio
Proc. 23rd International Microwave and Radar Conference (MIKON 2020), 229 (2020)
- (11) **D-Band Balanced PA with Wideband Performance in BiCMOS Technology**
 A. Ali, J. Yun, H.J. Ng, D. Kissinger, F. Giannini, P. Colantonio
Proc. International Workshop on Integrated Nonlinear Microwave and Millimetre-Wave Circuits (INMMiC 2020), 1 (2020)
- (12) **Wideband 4-Way Combined Power Amplifier in BiCMOS Technology for D-Band Applications**
 A. Ali, W. Ahmad, H.J. Ng, D. Kissinger, F. Giannini, P. Colantonio
Proc. Asia Pacific Microwave Conference (APMC 2020), 107 (2020)
- (13) **168–195 GHz Power Amplifier with Output Power Larger than 18dBm in BiCMOS Technology**
 A. Ali, J. Yun, F. Giannini, H.J. Ng, D. Kissinger, P. Colantonio
IEEE Access **8**, 79299 (2020)
- (14) **220–360-GHz Broadband Frequency Multiplier Chains (x8) in 130-nm BiCMOS Technology**
 A. Ali, J. Yun, M. Kucharski, H.J. Ng, D. Kissinger, P. Colantonio
IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques **68**(7), 2701 (2020)
- (15) **Second Generation of Optical IC-Backside Protection Structure**
 E. Amini, T. Kiyan, N. Herfurth, A. Beyreuther, C. Boit,
 J.-P. Seifert
Proc. 27th IEEE International Symposium on the Physical and Failure Analysis of Integrated Circuits (IPFA 2020), (2020)
- (16) **A Review of Particle Detectors for Space-Borne Self-Adaptive Fault-Tolerant Systems**
 M. Andjelkovic, J.-C. Chen, A. Simevski, Z. Stamenkovic,
 M. Krstic, R. Kraemer
Proc. 18th IEEE East-West Design and Test Symposium (EWDTs 2020), 1 (2020)
- (17) **Characterization of Single Event Transient Effects in Standard Delay Cells**
 M. Andjelkovic, O. Schrape, A. Breitenreiter, M. Krstic, R. Kraemer
Proc. 27th IEEE International Conference on Electronics Circuits and Systems (ICECS 2020), (2020)
- (18) **Design of Radiation Hardened RADFET Readout System for Space Applications**
 M. Andjelkovic, A. Simevski, J.-C. Chen, O. Schrape, Z. Stamenkovic, M. Krstic, S. Ilic, L. Spahic, L. Kostic, G. Ristic, A. Jaksic, A.J. Palma, A. Lallena, M.-A. Carvajal
Proc. 23rd EUROMICRO Conference on Digital System Design (DSD 2020), 484 (2020)
- (19) **Monitoring of Particle Flux and LET Variations with Pulse Stretching Inverters**
 M. Andjelkovic, J.-C. Chen, A. Simevski, O. Schrape, M. Krstic,
 R. Kraemer
Proc. 31st European Conference on Radiation and its Effects on Components and Systems (RADECS 2020), (2020)

- (20) **Analysis and Monolithic Implementation of Differential Transimpedance Amplifiers**
 H. Andrade, A. Maharry, T. Hirokawa, L. Valenzuela, S. Pinna, St. Simon, C.L. Schow, J.F. Buckwalter
IEEE Journal of Lightwave Technology **38**(16), 4409 (2020)
- (21) **Comparison of Three Monolithically Integrated TIA Topologies for 50 Gb/s OOK and PAM4**
 H. Andrade, A. Maharry, T. Hirokawa, L. Valenzuela, St. Simon, C.L. Schow, J.F. Buckwalter
Proc. SPIE Optical Interconnects XX (2020), **11286**, 112860W (2020)
- (22) **High-Mobility Epitaxial Graphene on Ge/Si(100) Substrates**
 J. Aprojanz, P. Rosenzweig, T.T. Nhung Nguyen, H. Karakachian, K. Küster, U. Starke, M. Lukosius, G. Lippert, A. Sinterhauf, M. Wenderoth, A.A. Zakharov, C. Tegenkamp
ACS Applied Materials & Interfaces **12**(38), 43065 (2020)
- (23) **Channel Characterization of a Dual-Band Dual-Polarized SAR with Digital Beamforming**
 E. Arnieri, L. Boccia, G. Amendola, S. Glisic, C.-X. Mao, S. Gao, T. Rommel, P. Penkala, M. Krstic, U. Yodprasit, A. Ho, O. Schrape, M. Younis
International Journal of Microwave and Wireless Technologies (IJMWT) **12**(6), 477 (2020)
- (24) **Highly Sensitive Capacitive Sensor Based on Injection Locked Oscillators with ppm Sensing Resolution**
 M. Babay, C. Hallepee, C. Dalmay, B. Barelaud, E.C. Durmaz, C. Baristiran Kaynak, M. Kaynak, D. Cordeau, A. Pothier
Proc. IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS 2020), 456 (2020)
- (25) **Characterization and Tests of Different Mach-Zehnder Silicon Photonic Modulator Configurations**
 D. Badoni, V. Bonaiuto, M. Casalboni, F. De Matteis, G. Di Giuseppe, L. Frontini, R. Gunnella, V. Liberali, A. Mai, G. Paoluzzi, P. Prospisito, A. Salamon, G. Salina, F. Sargeni, S. Schrader, A. Stabile, P. Steglich
Materials Research Proceedings **16**, 1 (2020)
- (26) **Design and Test of Silicon Photonic Mach-Zehnder Interferometers for Data Transmission Applications**
 D. Badoni, R. Gunnella, A. Salamon, V. Bonaiuto, V. Liberali, G. Salina, F. De Matteis, A. Mai, M. Salvato, L. Colavecchi, G. Paoluzzi, F. Sargeni, G. Di Giuseppe, P. Prospisito, A. Stabile, L. Frontini, P. Steglich
Proc. Italian Conference on Optics and Photonics (ICOP 2020), (2020)
- (27) **Disentangling Elastic and Inelastic Scattering Pathways in the Intersubband Electron Dynamics of N-Type Ge/SiGe Quantum Fountains**
 L. Bagolini, M. Montanari, L. Persichetti, L. Di Gaspare, G. Capellini, M. Ortolani, M. De Seta, M. Virgilio
Physical Review B **101**(24), 245302 (2020)
- (28) **Layer Transfer Process Development for SiGe Based Microbolometer Integration**
 C. Baristiran Kaynak, A. Göritz, P. Krüger, T. Voss, Y. Yamamoto, P. Heinrich, U. Saarow, M. Wietstruk, M. Kaynak
Proc. 8th Electronics System-Integration Technology Conference (ESTC 2020), (2020)
- (29) **Thermo-Mechanical Modeling and Experimental Validation of an Uncooled Microbolometer**
 C. Baristiran Kaynak, A. Göritz, E.C. Durmaz, M. Wietstruk, E. Onat, A.S. Ozcan, E.R. Turkoglu, Y. Gurbuz, M. Kaynak
Proc. 20th IEEE Topical Meetings on Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems (SiRF 2020), 57 (2020)
- (30) **Controlling the Relaxation Mechanism of Low Strain Si_{1-x}Ge_x/Si(001) Layers and Reducing the Threading Dislocation Density by Providing a Preexisting Dislocation Source**
 L. Becker, P. Storck, T. Schulz, M.H. Zoellner, L. Di Gaspare, F. Rovaris, A. Marzegalli, F. Montalenti, M. De Seta, G. Capellini, G. Schwalb, T. Schroeder, M. Albrecht
Journal of Applied Physics **128**(21), 215305 (2020)
- (31) **Influence of Temperature on Growth of Graphene on Germanium**
 A.P. Becker, Ch. Wenger, J. Dabrowski
Journal of Applied Physics **128**(4), 045310 (2020)
- (32) **Electron Transport Across Vertical Silicon/MoS₂/Graphene Heterostructures: Towards Efficient Emitter Diodes for Graphene Base Hot Electron Transistors**
 M. Belete, O. Engström, S. Vaziri, G. Lippert, M. Lukosius, S. Kataria, M.C. Lemme
ACS Applied Materials & Interfaces **12**(8), 9656 (2020)
- (33) **Comprehensive Parametric Investigations of EOFM Measurements on Single FinFET Transistors**
 A. Beyreuther, N. Herfurth, E. Amini, T. Nakamura, B. Motamed, C. Boit
Proc. 27th IEEE International Symposium on the Physical and Failure Analysis of Integrated Circuits (IPFA 2020), (2020)
- (34) **Contactless Device Characterization of Transistor Structures in Silicon using Electro Optical Frequency Mapping (EOFM)**
 A. Beyreuther, N. Herfurth, T. Nakamura, G.G. Fischer, S. Keil, C. Boit
Microelectronics Reliability **106**, 113583 (2020)
- (35) **Bonded Wireless Networks: The Gateway to Real-Time Mobile Applications**
 M. Brzozowski, P. Langendörfer
Proc. 28th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM 2020), (2020)
- (36) **End2End100 - Communication Protocol Processing for Ultra High Data Rates**
 S. Buechner, J. Nolte, A. Hasani, R. Kraemer, L. Lopacinski
Wireless 100 Gbps And Beyond, 1st Edition, Editors: R. Kraemer, St. Scholz, Chapter 10. End2End100 - Communication Protocol Processing for Ultra High Data Rates, IHP, 359 (2020)
- (37) **A Switchless SiGe BiCMOS Bidirectional Amplifier for Wide-band Radar Applications**
 C. Caliskan, M. Yazici, M. Kaynak, Y. Gurbuz
IEEE Transactions on Circuits and Systems II **67**(10), 1844 (2020)
- (38) **5G-CLARITY: Integrating 5GNR, WiFi and LiFi in Private Networks with Slicing Support**
 D. Camps-Mur, M. Ghorashi, J. Gutierrez Teran, J. Ordóñez-Lucena, T. Cogalan, H. Haas, A. Garcia, V. Sark, E. Aumayr, S. van

- (der Meer, S. Yan, A. Mourad, O. Adamuz-Hinojosa, J. Pérez-Romero, M. Granda, R. Bian
Proc. 29th European Conference on Networks and Communications (EuCNC 2020), 105 (2020)
- (39) **Advanced Thermal Modeling of IC – Package Interaction**
Z. Cao, M. Stocchi, M. Wietstruck, F. Garbuglia, D. Pincini, M. Kaynak
Proc. IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS 2020), 326 (2020)
- (40) **Myoelectric Pattern Recognition of Hand Motions for Stroke Rehabilitation**
J.C. Castiblanco, St. Ortmann, I.F. Mondragon, C. Alvarado-Rojas, M. Jörges, J.D. Colorado
Biomedical Signal Processing and Control **57**, 101737 (2020)
- (41) **Hardware Accelerator Design with Supervised Machine Learning for Solar Particle Event Prediction**
J.-C. Chen, T. Lange, M. Andjelkovic, A. Simevski, M. Krstic
Proc. 33rd IEEE International Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI and Nanotechnology Systems (DFT 2020), (2020)
- (42) **Prediction of Solar Particle Events with SRAM-Based Soft Error Rate Monitor and Supervised Machine Learning**
J.-C. Chen, T. Lange, M. Andjelkovic, A. Simevski, M. Krstic
Microelectronics Reliability **114**, 113799 (2020)
- (43) **A 3GS/s Highly Linear Energy Efficient Constant-Slope Based Voltage-to-Time Converter**
Q. Chen, Y. Liang, B. Kim, C.C. Boon
Proc. IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2020), (2020)
- (44) **A 6bit 1.2GS/s Symmetric Successive Approximation Energy-Efficient Time-to-Digital Converter in 40nm CMOS**
Q. Chen, Y. Liang, C.C. Boon
Proc. IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2020), (2020)
- (45) **Multi-Channel FSK Inter/Intra-Chip Communication by Exploiting Field-Confining Slow-Wave Transmission Line**
Q. Chen, C.C. Boon, X. Zhang, C. Li, Y. Liang, Z. Liu, T. Guo
Proc. IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2020), (2020)
- (46) **Strong Electron-Phonon Interaction in 2D Vertical Homovalent III-V Singularities**
L. Chen, O. Skibitzki, L. Pedesseau, A. Létoublon, J. Stervinou, R. Bernard, C. Levallois, R. Piron, M. Perrin, M.A. Schubert, A. Moréac, O. Durand, T. Schroeder, N. Bertru, J. Even, Y. Léger, C. Cornet
ACS Nano **14**(10), 13127 (2020)
- (47) **Terahertz Absorption-Saturation and Emission in Germanium Quantum Wells**
C. Ciano, M. Virgilio, L. Bagolini, L. Baldassarre, A. Pashkin, M. Helm, M. Montanari, L. Persichetti, L. Di Gaspare, G. Capellini, D.J. Paul, G. Scalari, J. Faist, M. De Seta, M. Ortolani
Optics Express **28**(5), 7245 (2020)
- (48) **Electron Population Dynamics in Optically Pumped Asymmetric Coupled Ge/SiGe Quantum Wells: Experiment and Models**
C. Ciano, M. Virgilio, L. Bagolini, L. Baldassarre, A. Rossetti, A. Pashkin, M. Helm, M. Montanari, L. Persichetti, L. Di Gaspare, G. Capellini, D.J. Paul, G. Scalari, J. Faist, M. De Seta, M. Ortolani
Photonics **7**(1), 2 (2020)
- (49) **Electron-Phonon Coupling in N-Type Ge Two-Dimensional Systems**
C. Ciano, L. Persichetti, M. Montanari, L. Di Gaspare, G. Capellini, L. Baldassarre, M. Ortolani, A. Pashkin, M. Helm, S. Winnerl, M. Virgilio, M. De Seta
Physical Review B **102**(20), 205302 (2020)
- (50) **Liquid Phase Exfoliated Indium Selenide Based Highly Sensitive Photodetectors**
N. Curreli, M. Serri, D. Spirito, E. Lago, E. Petroni, B. Martín-García, A. Politano, B. Gürbulak, S. Duman, R. Krahne, V. Pellegrini, F. Bonaccorso
Advanced Functional Materials **30**(13), 1908427 (2020)
- (51) **Immature Cancer Cell Discrimination using Combined High Frequency Electromagnetic Fields and Dielectrophoresis Forces**
C. Dalmary, R. Manczak, S. Saada, T. Provent, B. Bessette, A. Casciati, M. Tanori, E. Porcu, E. Rampazzo, L. Persano, C. Baristiran Kaynak, M. Kaynak, C. Palego, G. Viola, C. Merla, M. Mancuso, F. Lalloue, A. Pothier
Proc. Joint Meeting of the BioElectroMagnetics Society and the European BioElectromagnetics Association (BioEM 2020), (2020)
- (52) **Temperature-Driven Transformation of CsPbBr₃ Nanoplatelets into Mosaic Nanotiles in Solution through Self-Assembly**
Z. Dang, B. Dhanabalan, A. Castelli, R. Dhall, K.C. Bustillo, D. Marchelli, D. Spirito, U. Petralanda, J. Shamsi, L. Manna, R. Krahne, M.P. Arciniegas
Nano Letters **20**(3), 1808 (2020)
- (53) **An Approach to Verify Electro-Thermal Material Stack-Up File Based on Modeling of Poly Resistors with Different Geometry**
A. Datsuk, A. Balashov, W. Wichmann, F. Vater, V. Timoshenkov
Proc. IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus 2020), 2123 (2020)
- (54) **rEDActor - A PDK Cross-Platform Integrated Development Environment for Semiconductor Technologies**
A. Datsuk, V.P. Timoshenkov
Proc. 9th All-Russia Science & Technology Conference Problems of Advanced Micro- and Nanoelectronic Systems Development (MES 2020), 17 (2020)
- (55) **Full Error Detection and Correction Method Applied on Pipelined Structure using two Approaches**
M. Dug, St. Weidling, E. Sogomonyan, D. Jokic, M. Krstic
Journal of Circuits, Systems, and Computers (JCSC) **29**(13), 2050218 (2020)
- (56) **No Resilience without Security**
Z. Dyka, E. Vogel, I. Kabin, D. Klann, O. Shamalyan, P. Langendorfer
Proc. 8th International Conference on Cyber-Physical Systems and Internet-of-Things (CPS & IoT 2020), 83 (2020)

- (57) **A Monolithically Integrated Optical Bandpass Receiver in 0.25 μ m SiGe BiCMOS Technology for Microwave-Photonic Applications**
 G. Dziallas, A. Fatemi, F. Korndörfer, A. Peczek, D. Kissinger, L. Zimmermann, A. Malignaggi, G. Kahmen
 Proc. IEEE Asian Solid-State Circuits Conference (A-SSCC 2020), S12-3 (2020)
- (58) **100 Gbps 0.8-m Wireless Link based on Fully Integrated 240 GHz IQ Transmitter and Receiver**
 M.H. Eissa, N. Maletic, E. Grass, R. Kraemer, D. Kissinger, A. Malignaggi
 Proc. IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS 2020), 627 (2020)
- (59) **Frequency Interleaving IF Transmitter and Receiver for 240-GHz Communication in SiGe:C BiCMOS**
 M.H. Eissa, N. Maletic, L. Lopacinski, A. Malignaggi, G. Panic, R. Kraemer, G. Fischer, D. Kissinger
IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques **68**(1), 239 (2020)
- (60) **Composition Analysis and Transition Energies of Ultrathin Sn-Rich GeSn Quantum Wells**
 I.A. Fischer, C.J. Clausen, D. Schwarz, P. Zaumseil, G. Capellini, M. Virgilio, M.C. da Silva Figueira, S. Birner, S. Koelling, P. M. Koenraad, M.R.S. Huang, C.T. Koch, T. Wendav, K. Busch, J. Schulze
Physical Review Materials **4**(2), 024601 (2020)
- (61) **Scalable 60 GHz FMCW Frequency-Division Multiplexing MIMO Radar**
 H. Forstén, T. Kiuru, M. Hirvonen, M. Varonen, M. Kaynak
IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques **68**(7), 2845 (2020)
- (62) **Ultra Broadband Low-Power 70 GHz Active Balun in 130-nm SiGe BiCMOS**
 A. Franzese, M.H. Eissa, T. Mausolf, D. Kissinger, R. Negra, A. Malignaggi
 Proc. IEEE BiCMOS and Compound Semiconductor Integrated Circuits and Technology Symposium (BCICTS 2020), (2020)
- (63) **Demonstration of WISDOM - A Wireless in Field Measurement and Debugging Platform for Wireless Sensor Networks and Devices**
 M. Frohberg, P. Langendörfer
Works in Progress in Embedded Computing Journal (WiPiEC) **6**(1), 1 (2020)
- (64) **Demonstration of WISDOM - A Wireless in Field Measurement and Debugging Platform for Wireless Sensor Networks and Devices**
 M. Frohberg, P. Langendörfer
 Proc. 9th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO 2020), 911 (2020)
- (65) **A V-Band Bidirectional Amplifier-Module for Hybrid Phased-Array Systems in BiCMOS Technology**
 A. Gadallah, M.H. Eissa, D. Kissinger, A. Malignaggi
 Proc. IEEE Radio and Wireless Week (RWW 2020), 330 (2020)
- (66) **A V-Band Miniaturized Bidirectional Switchless PALNA in SiGe:C BiCMOS Technology**
 A. Gadallah, M.H. Eissa, D. Kissinger, A. Malignaggi
IEEE Microwave and Wireless Components Letters **30**(8), 786 (2020)
- (67) **Design and Simulation of Losses in Ge/SiGe Terahertz Quantum Cascade Laser Waveguides**
 K. Gallacher, M. Ortolani, K. Rew, C. Ciano, L. Baldassarre, M. Virgilio, G. Scalari, J. Faist, L. Di Gaspare, M. De Seta, G. Capellini, T. Grange, S. Birner, D.J. Paul
Optics Express **28**(4), 4786 (2020)
- (68) **R-Abax: A Radiation Hardening Legalisation Algorithm Satisfying TMR Spacing Constraints**
 C. Georgakidis, C. Sotiriou, N. Sketopoulos, M. Krstic, O. Schrape, A. Breitenreiter
 Proc. IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI (ISVLSI 2020), 316 (2020)
- (69) **Cross-Polarization Effects in Sheared 2D Grating Couplers in a Photonic BiCMOS Technology**
 G. Georgieva, K. Voigt, Ch. Mai, P.M. Seiler, K. Petermann, L. Zimmermann
Japanese Journal of Applied Physics **59**(S0), S00B03 (2020)
- (70) **Design and Performance Analysis of Integrated Focusing Grating Couplers for the Transverse-Magnetic TM₀₀ Mode in a Photonic BiCMOS Technology**
 G. Georgieva, K. Voigt, A. Peczek, Ch. Mai, L. Zimmermann
Journal of the European Optical Society: Rapid Publications **16**, 7 (2020)
- (71) **An Advanced Audio System for Stereo Reproduction Enhancement**
 D.A. Giliberti, F. Iseini, N. Pelagalli, A. Terenzi, S. Cecchi
 Proc. 148th AES Convention 2020, 1 (2020)
- (72) **Nanospectroscopy of a Single Patch Antenna Strongly Coupled to a Mid-Infrared Intersubband Transition in a Quantum Well**
 R. Gillibert, M. Malerba, D. Spirito, V. Giliberti, L. Li, A.G. Davies, E.H. Linfield, L. Baldassarre, R. Colombelli, M. Ortolani
Applied Physics Letters **117**(10), 101104 (2020)
- (73) **Effective Reduction of the Programming Pulse Width in Al:HfO₂-based RRAM Arrays**
 O. Gonzalez Osorio, E. Perez, S. Dueñas, H. Castan, H. Garcia, Ch. Wenger
 Proc. Joint International EUROSOI Workshop and International Conference on Ultimate Integration on Silicon (EUROSOI-ULIS 2019), (2020)
- (74) **Synchronization in 5G: A Bayesian Approach**
 M. Goodarzi, D. Cvetkovski, N. Maletic, J. Gutierrez Teran, E. Grass
 Proc. European Conference on Networks and Communications (EuCNC 2020), 214 (2020)
- (75) **A Hybrid Bayesian Approach Towards Clock Offset and Skew Estimation in 5G Networks**
 M. Goodarzi, D. Cvetkovski, N. Maletic, J. Gutierrez Teran, E. Grass
 Proc. 31st IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2020), (2020)

- (76) **Bayesian Joint Synchronization and Localization Based on Asymmetric Time-Stamp Exchange**
 M. Goodarzi, N. Maletic, J. Gutierrez Teran, E. Grass
 Proc. IEEE International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC 2020), (2020)
- (77) **Atomic-Scale Insights into Semiconductor Heterostructures: From Experimental Three-Dimensional Analysis of the Interface to a Generalized Theory of Interfacial Roughness Scattering**
 T. Grange, S. Mukherjee, G. Capellini, M. Montanari, L. Persichetti, L. Di Gaspare, S. Birner, A. Attiaoui, O. Moutanabbir, M. Virgilio, M. De Seta
Physical Review Applied **13**(4), 044062 (2020)
- (78) **Modeling of Plasmonic Semiconductor THz Antennas in Square and Hexagonal Array Arrangements**
 S. Guessing, B. Witzigmann, F. Roemer, G. Capellini, C.A. Chavarin, W.M. Klesse, E. Hardt, J. Piehler, C. You, J. Flesch
 Proc. SPIE Terahertz, RF, Millimeter, and Submillimeter-Wave Technology and Applications XIII (2020), **11279**, 1127926 (2020)
- (79) **WORTECS: Enabling Untethered Virtual Reality through Optical Wireless Communication**
 V. Guerra, J. Rabadan, R. Perez-Jimenez, M. Brzozowski, V. Sark, R. Singh, G. Faulkner, D. O'Brien, B. Bechadergue, T. Weszely, O. Bouchet, G. Vercasson
 Proc. 3rd South American Colloquium on Visible Light Communications (SACVC 2020), (2020)
- (80) **A 440-540-GHz Subharmonic Mixer in 130-nm SiGe BiCMOS**
 A. Güner, T. Mausolf, J. Wessel, D. Kissinger, K. Schmalz
IEEE Microwave and Wireless Components Letters **30**(12), 1161 (2020)
- (81) **A 6-mW W-Band LNA in 0.13μm SiGe BiCMOS for Passive Imaging Systems**
 B. Gungor, E. Turkmen, M. Yazici, M. Kaynak, Y. Gurbuz
 Proc. 63rd IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS 2020), 436 (2020)
- (82) **Multi-Channel RF Power and Phase Supervision Systems Technology for Thermal Magnetic Resonance: Development, Evaluation and Application**
 H. Han, T.W. Eigenthaler, E. Grass, T. Niendorf
 Proc. ISMRM Annual Meeting & Exhibition (ISMRM 2020), 1281 (2020)
- (83) **Design, Implementation, Evaluation and Application of a 32-Channel Radio Frequency Signal Generator for Thermal Magnetic Resonance Based Anti-Cancer Treatment**
 H. Han, T.W. Eigenthaler, S. Wang, E. Kretov, L. Winter, W. Hoffmann, E. Grass, T. Niendorf
Cancers **12**(7), 1720 (2020)
- (84) **A Modified Rejection-Based Architecture to Find the First Two Minima in Min-Sum-Based LDPC Decoders**
 A. Hasani, L. Lopacinski, S. Buechner, J. Nolte, R. Kraemer
 Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2020), (2020)
- (85) **Development of the Thin TOF-PET Scanner based on Fast Monolithic Silicon Pixel Sensors**
 D. Hayakawa, G. Iacobucci, L. Paolozzi, P. Valerio, E. Ripiccini, M. Benoit, D. Ferrere, O. Ratib, M. Weber, D. Forshaw, A. Miucchi, Y. Bandi, R. Cardarelli, H. Rücker, M. Kaynak
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A **958**, 162433 (2020)
- (86) **An Approach to Ring Resonator Biosensing Assisted by Dielectrophoresis: Design, Simulation and Fabrication**
 A. Henriksson, L. Kasper, M. Jäger, P. Neubauer, M. Birkholz
Micromachines **11**(11), 954 (2020)
- (87) **Miniature Switchable Millimeter-Wave BiCMOS Low-Noise Amplifier at 120/140 GHz using an HBT Switch**
 J. Heredia, M. Ribó, L. Pradell, S. Tolunay Wipf, A. Göritz, M. Wietstruk, Ch. Wipf, M. Kaynak
Nanodevices for Microwave and Millimeter Wave Applications, 1st Edition, Editor: I. Huynen, Chapter. Miniature Switchable Millimeter-Wave BiCMOS Low-Noise Amplifier at 120/140 GHz using an HBT Switch, MDPI, 3 (2020)
- (88) **A Modular MIMO Millimeter-Wave Imaging Radar System for Space Applications and its Components**
 M. Hrobak, K. Thurn, J. Moll, M. Hossain, A. Shrestha, T. Al-Sawaf, D. Stoppel, N.G. Weimann, A. Raemer, W. Heinrich, J. Martinez, M. Vossiek, T.K. Johansen, V. Krozer, M. Resch, J. Bosse, M. Sterns, K. Loebelcke, S. Zorn, M.H. Eissa, M. Lisker, F. Herzel, R. Miesen, K. Vollmann
International Journal of Infrared and Millimeter Waves (2020)
- (89) **MonPicoAD - A Monolithic Picosecond Avalanche Detector**
 G. Iacobucci, P. Valerio, L. Paolozzi, E. Charbon, F. Martinelli, R. Cardarelli, M. Kaynak, H. Rücker
 Proc. ATTRACT Digital Conference 2020, 1 (2020)
- (90) **Tradeoffs Between RF Performance and SET Robustness in Low-Noise Amplifiers in a Complementary SiGe BiCMOS Platform**
 A. Ildefonso, G.N. Tzintzarov, N.E. Lourenco, Z.E. Fleetwood, A. Khachatrian, S.P. Buchner, D. McMorrow, J.H. Warner, M. Kaynak, J.D. Cressler
IEEE Transactions on Nuclear Science **67**(7), 1521 (2020)
- (91) **Determining Optimal Parallel Schedules in Tree-Based WSNs Using a Realistic Interference Model**
 A. Ilic, P. Langendorfer, St. Weidling, M. Schölzel
 Proc. 5th International Congress on Information and Communication Technology (ICICT 2020), in: *Advances in Intelligent Systems and Computing*, Springer, **1183**, 572 (2020)
- (92) **Real100G.COM**
 A.R. Javed, J.C. Scheytt, E.R. Bammidi, I. Kalfass, K. Krishnegowda, R. Kraemer
Wireless 100 Gbps And Beyond, 1st Edition, Editors: R. Kraemer, St. Scholz, Chapter 8. Real100G.COM, IHP, 231 (2020)
- (93) **Impact of Environmental Parameters on SNR and RSS in LoRaWAN**
 N. Jeftenic, M. Simic, Z. Stamenkovic
 Proc. 2nd International Conference on Electrical, Communication and Computer Engineering (ICECCE 2020), (2020)

- (94) **RESCUE: Interdependent Challenges of Reliability, Security and Quality in Nanoelectronic Systems**
 M. Jenihhin, S. Hamdioui, M. Sonza Reorda, M. Krstic, P. Langendörfer, C. Sauer, A. Klotz, M. Huebner, J. Nolte, H.T. Vierhaus, G. Selimis, D. Alexandrescu, M. Taouil, G.J. Schrijen, J. Raik, L. Sterpone, G. Squillero, Z. Dyka
Proc. Design, Automation & Test in Europe (DATE 2020), 388 (2020)
- (95) **Automated Simple Analysis Attack**
 I. Kabin, Z. Dyka, P. Langendörfer
Proc. 8th International Conference on Cyber-Physical Systems and Internet-of-Things (CPS & IoT 2020), 214 (2020)
- (96) **Horizontal Attacks against ECC: From Simulations to ASIC**
 I. Kabin, Z. Dyka, D. Klann, P. Langendörfer
Proc. International Workshop on Information & Operational Technology (IT & OT) Security Systems (IOSec 2019), in: Computer Security, Springer, LNCS **11981**, 64 (2020)
- (97) **Methods Increasing Inherent Resistance of ECC Designs against Horizontal Attacks**
 I. Kabin, Z. Dyka, D. Klann, P. Langendörfer
Integration, the VLSI Journal **73**, 50 (2020)
- (98) **On the Influence of the FPGA Compiler Optimization Options on the Success of the Horizontal Attack**
 I. Kabin, A. Sosa, Z. Dyka, D. Klann, P. Langendörfer
Proc. International Conference on Reconfigurable Computing and FPGAs (ReConfig 2019), (2020)
- (99) **Resistance of the Montgomery kP Algorithm against Simple SCA: Theory and Practice**
 I. Kabin, Z. Dyka, M. Aftowicz, D. Klann, P. Langendörfer
Proc. 21st IEEE Latin-American Test Symposium (LATS 2020), (2020)
- (100) **Breaking a Fully Balanced ASIC Coprocessor Implementing Complete Addition Formulas on Weierstrass Elliptic Curves**
 I. Kabin, Z. Dyka, D. Klann, N. Mentens, L. Batina, P. Langendörfer
Proc. 23rd EUROMICRO Conference on Digital System Design (DSD 2020), Special Session: Architectures and Hardware for Security Applications (AHSA), 270 (2020)
- (101) **Surface and Structural Analysis of Epitaxial $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x(\text{Mn}_{1-y}\text{Co}_y)\text{O}_3$ Films**
 S. Kaciulis, E. Bolli, A. Mezzi, M. Vagner, V. Plausinaitiene, S. Kersulis, N. Zurauskienė, R. Lukose
Surface and Interface Analysis **52**(12), 900 (2020)
- (102) **A 0.9 mW Compact Power Detector with 30 dB Dynamic Range for Automotive Radar Applications**
 H. Kandis, B. Gungor, M. Yazici, M. Kaynak, Y. Gurbuz
Proc. 63rd IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS 2020), 541 (2020)
- (103) **A 7-Bit 0.22 dB Step Variable Attenuator with Flat States and Low Phase Variation at 1.5–13.5 GHz using iNMOS Switches**
 H. Kandis, A. Burak, M. Yazici, M. Kaynak, Y. Gurbuz
Proc. IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2020), (2020)
- (104) **Broadband 110 - 170 GHz True Time Delay Circuit in a 130-nm SiGe BiCMOS Technology**
 A. Karakuzulu, M.H. Eissa, D. Kissinger, A. Malignaggi
Proc. IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS 2020), 775 (2020)
- (105) **Effectiveness of myAirCoach: A mHealth Self-Management System in Asthma**
 R. Khusial, P.J. Honkoop, O. Usmani, M. Soares, A. Simpson, M. Biddiscombe, S. Meah, M. Bonini, A. Lalas, E. Polychronidou, J.G. Koopmans, K. Moustakas, J.B. Snoeck-Stroband, St. Ortmann, K. Votis, D. Tzovaras, K.F. Chung, S. Fowler, J.K. Sont
The Journal of Allergy and Clinical Immunology **8**(6), 1972 (2020)
- (106) **A Fully Integrated 25 Gb/s Si Ring Modulator Transmitter with a Temperature Controller**
 M. Kim, M.-H. Kim, Y. Jo, H.-K. Kim, St. Lischke, Ch. Mai, L. Zimmermann, W.-Y. Choi
Proc. Optical Fiber Communications Conference and Exposition (OFC 2020), T3H.7 (2020)
- (107) **A Monolithically-Integrated 2×25-Gb/s Si Photonic WDM Receiver with Thermally-Tunable Ring-Resonator Filters**
 H.-K. Kim, Y. Jo, M. Kim, H.-Y. Jung, Ch. Mai, St. Lischke, L. Zimmermann, W.-Y. Choi
Proc. SPIE Smart Photonic and Optoelectronic Integrated Circuits XXII (2020), 11284, 112840I (2020)
- (108) **An Accurate and Computationally Efficient Large-Signal SPICE Model for Depletion-Type Silicon Ring Modulators Including Temperature Dependence**
 M. Kim, St. Lischke, Ch. Mai, L. Zimmermann, W.-Y. Choi
46th European Conference on Optical Communications (ECOC 2020), (2020)
- (109) **Editors' Choice - Precipitation of Suboxides in Silicon, their Role in Gettering of Copper Impurities and Carrier Recombination**
 G. Kissinger, D. Kot, A. Huber, R. Kretschmer, T. Müller, A. Sattler
ECS Journal of Solid State Science and Technology **9**(6), 064002 (2020)
- (110) **Integration and Implementation of Four Different Elliptic Curves in a Single High-Speed Design Considering SCA**
 D. Klann, M. Aftowicz, I. Kabin, Z. Dyka, P. Langendörfer
Proc. 15th IEEE International Conference on Design & Technology of Integrated Systems in Nanoscale Era (DTIS 2020), (2020)
- (111) **High-Resolution Net Load Forecasting for Micro-Neighbourhoods with High Penetration of Renewable Energy Sources**
 P. Kobylinski, M. Wierzbowski, K. Piotrowski
International Journal of Electrical Power & Energy Systems **117**, 105635 (2020)
- (112) **A Monolithic Bipolar CMOS Electronic-Plasmonic High-Speed Transmitter**
 U. Koch, C. Uhl, H. Hettrich, Y. Fedoryshyn, C. Hoessbacher, W. Heni, B. Baeuerle, B.I. Bitachon, A. Josten, M. Ayata, H. Xu, D.L. Elder, L.R. Dalton, E. Mentovich, P. Bakopoulos, St. Lischke, A. Krüger, L. Zimmermann, D. Tsikatos, N. Pleros, M. Möller, J. Leuthold
Nature Electronics **3**, 338 (2020)

- (113) **Plasmonics - High-Speed Photonics for Co-Integration with Electronics**
 U. Koch, C. Uhl, H. Hettrich, Y. Fedoryshyn, D. Moor, M. Baumann, C. Hoessbacher, W. Heni, B. Baeuerle, B.I. Bitachon, A. Josten, M. Ayata, H. Xu, D.L. Elder, L.R. Dalton, E. Mentovich, P. Bakopoulos, St. Lischke, A. Krüger, L. Zimmermann, D. Tsikos, N. Pleros, M. Möller, J. Leuthold
Proc. 52nd International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2020), E-10-01 (2020)
- (114) **Intelligent and Interactive Household Simulation for Energy Management Algorithms' Evaluation**
 I. Koropiecki, P. Powroznik, K. Piotrowski
Proc. 13th Scientific Conference on Measurement Systems in Research and in Industry (MS 2020), 33 (2020)
- (115) **Exploiting EEG Signals for Eye Motion Tracking**
 R. Kovtun, S. Radchenko, A. Netreba, O. Sudakov, R. Natarov, Z. Dyka, I. Kabin, P. Langendörfer
Proc. 18th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS 2020), 120 (2020)
- (116) **Generic Energy Production Model for Smart Grid Emulation**
 M. Krysik, R. Rybski, K. Piotrowski
Systemy Pomiarowe w teorii i w praktyce / Red. R. Rybski, Uni Zielonogorski, 107 (2020)
- (117) **Generic Energy Production Model for Smart Grid Emulation**
 M. Krysik, R. Rybski, K. Piotrowski
Proc. 13th Scientific Conference on Measurement Systems in Research and in Industry (MS 2020), 49 (2020)
- (118) **Soft Error Detection and Correction Architecture for Asynchronous Bundled Data Designs**
 F.A. Kuentzer, M. Krstic
IEEE Transactions on Circuits and Systems I **67**(12), 4883 (2020)
- (119) **Radiation Hardened Click Controllers for Soft Error Resilient Asynchronous Architectures**
 F.A. Kuentzer, M. Herrera, O. Schrape, P.A. Beerel, M. Krstic
Proc. 26th IEEE International Symposium on Asynchronous Circuits and Systems (ASYNC 2020), 78 (2020)
- (120) **Test Oriented Design and Layout Generation of an Asynchronous Controller for the Blade Template**
 F.A. Kuentzer, L.R. Juracy, M.T. Moreira, A.M. Amory
Proc. 26th IEEE International Symposium on Asynchronous Circuits and Systems (ASYNC 2020), 86 (2020)
- (121) **Testing the Blade Resilient Asynchronous Template**
 F.A. Kuentzer, L.R. Juracy, M.T. Moreira, A.M. Amory
Analog Integrated Circuits and Signal Processing **106**, 219 (2020)
- (122) **In-Plane Growth of Germanium Nanowires on Nanostructured Si(001)/SiO₂ Substrates**
 F. Lange, O. Ernst, T. Teubner, C. Richter, M. Schmidbauer, O. Skibitzki, T. Schroeder, P. Schmidt, T. Boeck
Nano Futures **4**(3), 035006 (2020)
- (123) **AC Electrokinetic Immobilization of Organic Dye Molecules**
 E.-M. Laux, Ch. Wenger, F.F. Bier, R. Hözel
Analytical and Bioanalytical Chemistry **412**, 3859 (2020)
- (124) **Integration**
 G. Leger, A. Gines, Z. Stamenkovic
Silicon Systems for Wireless LAN, 1st Edition, Editors: Z. Stamenkovic, G. Leger, A. Bosio, Chapter 11. Integration, World Scientific, 285 (2020)
- (125) **Challenges of Return-Oriented-Programming on the Xtensa Hardware Architecture**
 K. Lehniger, M. Aftowicz, P. Langendörfer, Z. Dyka
Proc. 23rd EUROMICRO Conference on Digital System Design (DSD 2020), 154 (2020)
- (126) **Double Cell Upsets Mitigation through Triple Modular Redundancy**
 Y.-Q. Li, A. Breitenreiter, M. Andjelkovic, J.-C. Chen, M. Babic, M. Krstic
Microelectronics Journal **96**, 104683 (2020)
- (127) **A 311.6 GHz Phase-Locked Loop in 0.13 μm SiGe BiCMOS Process with -90 dBc/Hz In-Band Phase Noise**
 Y. Liang, C.C. Boon, Y. Dong, Q. Chen, Z. Liu, C. Li, T. Mausolf, D. Kissinger, Y. Wang, H.J. Ng
Proc. IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS 2020), 1133 (2020)
- (128) **320 GHz On-Chip Circularly-Polarized Antenna Array Realized with 0.13 μm BiCMOS Technology**
 W. Lin, R. Ziolkowski, W. Ahmad, Y. Yang, L. Yuan, H.J. Ng, Y. Wang, D. Kissinger
Proc. IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APS 2020), 1467 (2020)
- (129) **Ge Photodiode with -3 dB OE Bandwidth of 110 GHz for PIC and ePIC Platforms**
 St. Lischke, A. Peczek, F. Korndörfer, Ch. Mai, H. Haisch, M. Koenigsmann, M. Rudisile, D. Steckler, F. Goetz, M. Fraschke, St. Marschmeyer, A. Krüger, Y. Yamamoto, D. Schmidt, U. Saarow, P. Heinrich, A. Kroh, M.A. Schubert, J. Katzer, P. Kulse, A. Trusch, L. Zimmermann
Proc. 66th IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM 2020), 135 (2020)
- (130) **Directly Silicon-Nitride Waveguide Coupled Ge Photodiode for Non-SOI PIC and Epic Platforms**
 St. Lischke, D. Knoll, Ch. Mai, K. Voigt, A. Hesse, G. Georgieva, A. Peczek, L. Zimmermann
Proc. 9th International SiGe, Ge, & Related Compounds: Materials, Processing, and Devices Symposium (ECS Meeting 2020), 1746 (2020)
- (131) **Directly Silicon-Nitride Waveguide Coupled Ge Photodiode for Non-SOI PIC and Epic Platforms**
 St. Lischke, D. Knoll, Ch. Mai, K. Voigt, A. Hesse, G. Georgieva, A. Peczek, L. Zimmermann
ECS Transactions **98**(5), 315 (2020)
- (132) **Preparation of Germanium-on-Insulator (GOI) Wafers by Means of Layer Transfer Technique**
 M. Lisker, A. Krüger, P. Krüger, T. Voß, R. Lukose, Y. Yamamoto, O. Fursenko, M. Wietstruk, M. Kaynak
Proc. 22nd Design, Test, Integration & Packaging of MEMS/MOEMS (DTIP 2020), (2020)

- (133) **5G and Beyond: Multi Baseband PSSS Architecture for 100 Gbps Wireless Communication**
 L. Lopacinski, M.H. Eissa, J. Gutierrez Teran, E. Grass
 Proc. Workshop on Microwave Theory and Techniques in Wireless Communications (MTW 2020), 102 (2020)
- (134) **Influence of Specific Forming Algorithms on the Device-to-Device Variability of Memristive Al-Doped HfO₂ Arrays**
 M.K. Mahadevaiah, E. Perez, Ch. Wenger
Journal of Vacuum Science and Technology B **38**(1), 013201 (2020)
- (135) **Back-Side Release of Slot Waveguides for Integration of Functional Materials in a Silicon Photonic Technology with Full BEOL**
 Ch. Mai, P. Steglich, M. Fraschke, A. Mai
IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology **10**(9), 1569 (2020)
- (136) **Analysis of Communication Parameters for Chosen LP-WAN Standards**
 J. Maj, D. Eljasz, K. Piotrowski
 Proc. 13th Conference on Measurement Systems in Research and in Industry (MS 2020), 57 (2020)
- (137) **On the Impact of Residual Transceiver Impairments in mmWave RF Beamforming Systems**
 N. Maletic, J. Gutierrez Teran, E. Grass
IEEE Communications Letters **24**(11), 2459 (2020)
- (138) **Performance Evaluation of LoS Round-Trip ToF Localization: A 60GHz Band Case Study**
 N. Maletic, V. Sark, M. Ehrig, J. Gutierrez Teran, E. Grass
 Proc. 24th International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA 2020), 1 (2020)
- (139) **Performance Investigation of 2-Gbaud QAMs using Fully-Integrated SiGe Chipset at 240-GHz**
 N. Maletic, M.H. Eissa, V. Sark, A. Malignaggi, E. Grass
 Proc. Workshop on Microwave Theory and Techniques in Wireless Communications (MTW 2020), 108 (2020)
- (140) **5G Infrastructure PPP Trials & Pilots: 5G-PICTURE: Smart City Safety and Virtual Reality Demonstration**
 N. Maletic, H. Falaki, A.F. Beldachi, J. Bartelt, A. Tzanakaki, A. Kumar
 zu finden unter: <https://5g-ppp.eu/the-5g-ppp-infrastructure-trials-and-pilots-brochure-n2-is-out/>
- (141) **Temperature Dependence of Strain–Phonon Coefficient in Epitaxial Ge/Si(001): A Comprehensive Analysis**
 C.L. Manganelli, M. Virgilio, O. Skibitzki, M. Salvalaglio, D. Spirito, P. Zaumseil, Y. Yamamoto, M. Montanari, W.M. Klesse, G. Capellini
Journal of Raman Spectroscopy **51**(6), 989 (2020)
- (142) **IoT Based Occupancy Detection System with Data Stream Processing and Artificial Neural Networks**
 D. Markovic, D. Vujicic, Z. Stamenkovic, S. Randjic
 Proc. 23rd IEEE International Symposium on Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems (DDECS 2020), (2020)
- (143) **Kafka-ML: Connecting the Data Stream with ML/AI Frameworks**
 Ch. Martin, P. Langendörfer, P.S. Zarrin, M. Diaz, B. Rubio
 zu finden unter: <https://arxiv.org/abs/2006.04105>
- (144) **Dielectrophoretic Immobilization of Yeast Cells using CMOS Integrated Microfluidics**
 H. Matbaechi Ettehad, P.S. Zarrin, R. Hözel, Ch. Wenger
Micromachines **11**(5), 501 (2020)
- (145) **Flood Embankments Monitoring System**
 E. Michta, P. Powroznik, K. Piotrowski, R. Rybski, R. Szulim, U. Kolodziejczyk, J. Kostecki
Systemy Pomiarowe w teorii i w praktyce / Red. R. Rybski, Uni Zielogorski, 139 (2020)
- (146) **Flood Embankments Monitoring System**
 E. Michta, K. Piotrowski, P. Powroznik, R. Rybski, R. Szulim, U. Kolodziejczyk, J. Kostecki
 roc. 13th Conference on Measurement Systems in Research and in Industry (MS 2020), 65 (2020)
- (147) **Growth of Ge/SiGe Quantum Cascade Heterostructures**
 M. Montanari, L. Persichetti, C. Ciano, L. Di Gaspare, M. Virgilio, G. Capellini, M.H. Zoellner, O. Skibitzki, G. Scalari, D.J. Paul, T. Grange, S. Birner, O. Moutanabbir, S. Mukherjee, L. Baldassarre, M. Ortolani, M. De Seta
 Proc. 8th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI 2019), 71 (2020)
- (148) **A Unified Aging Compact Model for Hot Carrier Degradation under Mixed-Mode and Reverse E-B Stress in Complementary SiGe HBTs**
 C. Mukherjee, G.G. Fischer, F. Marc, M. Courret, T. Zimmer, C. Maneux
Solid State Electronics **172**, 107900 (2020)
- (149) **A Physical and Versatile Aging Compact Model for Hot Carrier Degradation in SiGe HBTs under Dynamic Operating Conditions**
 C. Mukherjee, F. Marc, M. Courret, G.G. Fischer, M. Jaoul, D. Celi, K. Aufinger, T. Zimmer, C. Maneux
Solid State Electronics **163**, 107635 (2020)
- (150) **Resilience Aspects in Distributed Wireless Electroencephalographic Sampling**
 R. Natarov, O. Sudakov, Z. Dyka, I. Kabin, O. Maksymuk, O. Iegorova, O. Krishtal, P. Langendörfer
 Proc. 8th International Conference on Cyber-Physical Systems and Internet-of-Things (CPS & IoT 2020), 116 (2020)
- (151) **Artefacts in EEG Signals Epileptic Seizure Prediction using Edge Devices**
 R. Natarov, Z. Dyka, R. Bohovsky, M. Fedoriuk, D. Isaev, O. Sudakov, O. Maximuk, O. Krishtal, P. Langendörfer
 Proc. 8th International Conference on Cyber-Physical Systems and Internet-of-Things (CPS & IoT 2020), 768 (2020)
- (152) **Ridge Gap Waveguide Based Liquid Crystal Phase Shifter**
 M. Nickel, A. Jimenez-Saez, P. Agrawal, A. Gadallah, A. Malignaggi, C. Schuster, R. Reese, H. Tesmer, E. Polat, D. Wang, P. Schumacher, R. Jakoby, D. Kissinger, H. Manue
IEEE Access **8**, 77833 (2020)

- (153) **Semiconductor Gas Sensors: Materials, Technology, Design, and Application**
 M.V. Nikolic, V. Milovanovic, Z.Z. Vasiljevic, Z. Stamenkovic
Sensors **20**(22), 6694 (2020)
- (154) **BEACON: In the Next Generation Ground Radars and Radio Telescopes Infrastructures – The SKA Project Opportunity**
 R.N. Nogueira, V.C. Duarte, J.G. Prata, G. Winzer, L. Zimmermann, R. Walker, S. Clements, M. Filipowicz, M. Napierala, T. Nasilowski, J. Crabb, L. Stampoulidis, J. Anzalchi, M.V. Drummond
 Portuguese SKA White Book, 1st Edition, Editors: D. Barbosa, S. Antón, J.P. Barraca, M. Bergano, A. Correia, D. Maia, V. Ribeiro, Chapter. BEACON: In the Next Generation Ground Radars and Radio Telescopes Infrastructures – The SKA Project Opportunity, UA Editora – Universidade de Aveiro, 165 (2020)
- (155) **Modular Baseband Processing for mm-Wave and THz Communication**
 G. Panic, M.H. Eissa, L. Lopacinski, N. Maletic, R. Kraemer
Proc. 8th Small Systems Simulation Symposium (SSSS 2020), 49 (2020)
- (156) **A Compact, Low-Power and Constant Output Power 330 GHz Voltage-Controlled Oscillator in 130-nm SiGe BiCMOS**
 L. Pantoli, H. Bello, H.J. Ng, D. Kissinger, G. Leuzzi
International Journal of Infrared and Millimeter Waves **41**, 796 (2020)
- (157) **SiGe Sub-THz VCOs Design Approach for Imaging Applications**
 L. Pantoli, H. Bello, G. Leuzzi, H.J. Ng, D. Kissinger
Proc. International Workshop on Integrated Nonlinear Microwave and Millimetre-Wave Circuits (INMMiC 2020), 1 (2020)
- (158) **Time Resolution and Power Consumption of a Monolithic Silicon Pixel Prototype in SiGe BiCMOS Technology**
 L. Paolozzi, R. Cardarelli, S. Débieux, Y. Favre, D. Ferrère, S. Gonzalez-Sevilla, G. Iacobucci, M. Kaynak, F. Martinelli, M. Nessi, H. Rücker, I. Sanna, D.M.S. Sultan, P. Valerio, E. Zaffaroni
Journal of Instrumentation **15**, P11025 (2020)
- (159) **Comparison of Cut-Back Method and Optical Backscatter Reflectometry for Wafer Level Waveguide Characterization**
 A. Peczek, Ch. Mai, G. Winzer, L. Zimmermann
Proc. 33rd International Conference on Microelectronic Test Structures (ICMTS 2020), 9.1 (2020)
- (160) **Programming Pulse Width Assessment for Reliable and Low-Energy Endurance Performance in Al:HfO₂-based RRAM Arrays**
 E. Perez, O.G. Ossorio, S. Dueñas, H. Castan, H. Garcia, Ch. Wenger
Electronics (MDPI) **9**(5), 864 (2020)
- (161) **Behavioral Modeling of Multilevel HfO₂-based Memristors for Neuromorphic Circuit Simulation**
 A.J. Perez-Avila, G. González-Cordero, E. Pérez, E. Pérez-Bosch Quesada, M.K. Mahadevaiah, Ch. Wenger, J.B. Roldan, F. Jimenez-Molinos
Proc. 35th Conference on Design of Circuits and Integrated Systems (DCIS 2020), (2020)
- (162) **New Solutions for the Support Region Calculation of Logarithmic Quantizers for the Laplacian Source**
 Z. Peric, M. Dincic, M. Tancic, Z. Stamenkovic
Proc. 23rd IEEE International Symposium on Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems (DDECS 2020), (2020)
- (163) **Intersubband Transition Engineering in the Conduction Band of Asymmetric Coupled Ge/SiGe Quantum Wells**
 L. Persichetti, M. Montanari, C. Ciano, L. Di Gaspare, M. Ortolani, L. Baldassarre, M.H. Zoellner, S. Mukherjee, O. Moutanabbir, G. Capellini, M. Virgilio, M. De Seta
Crystals **10**(3), 179 (2020)
- (164) **N-Type Ge/SiGe Multi-Quantum Wells for THz Light Emission: High Quality Growth and Material Parameter Calibration**
 L. Persichetti, C. Ciano, M. Montanari, L. Baldassarre, L. Di Gaspare, A. Pashkin, M. Helm, O. Skibitzki, M.H. Zoellner, G. Capellini, M. Ortolani, M. Virgilio, M. De Seta
ECS Meeting Abstracts MA2020-02(24), 1711 (2020)
- (165) **Evaluation of the Sensitivity of RRAM Cells to Optical Fault Injection Attacks**
 D. Petryk, Z. Dyka, E. Perez, M.K. Mahadevaiah, I. Kabin, Ch. Wenger, P. Langendörfer
Proc. 23rd EUROMICRO Conference on Digital System Design (DSD 2020), Special Session: Architecture and Hardware for Security Applications (AHSA), 238 (2020)
- (166) **Metal Fillers as Potential Low Cost Countermeasure against Optical Fault Injection Attacks**
 D. Petryk, Z. Dyka, J. Katzer, P. Langendörfer
Proc. 18th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS 2020), 125 (2020)
- (167) **Sensitivity of Standard Library Cells to Optical Fault Injection Attacks in IHP 250 nm Technology**
 D. Petryk, Z. Dyka, P. Langendörfer
Proc. 9th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO 2020), 133 (2020)
- (168) **Tailoring the Switching Dynamics in Yttrium Oxide-Based RRAM Devices by Oxygen Engineering: From Digital to Multi-Level Quantization Toward Analog Switching**
 S. Petzold, E. Piros, R. Eilhardt, A. Zintler, T. Vogel, N. Kaiser, A. Radetinac, P. Komissinskiy, E. Jalaguier, E. Nolot, Ch. Charpin-Nicolle, Ch. Wenger, L. Molina-Luna, E. Miranda, L. Alff
Advanced Electronic Materials **6**(11), 2000439 (2020)
- (169) **Mobile Application to Support Maintenance of Wireless Sensor Networks**
 K. Piotrowski, I. Koropiecki, P. Zielony, P. Powroznik, R. Szulim
Proc. 13th Conference on Measurement Systems in Research and in Industry (MS 2020), 81 (2020)
- (170) **Enhanced Thermal Stability of Yttrium Oxide-Based RRAM Devices with Inhomogeneous Schottky-Barrier**
 E. Piros, S. Petzold, A. Zintler, N. Kaiser, T. Vogel, R. Eilhardt, Ch. Wenger, L. Molina-Luna, L. Alff
Applied Physics Letters **117**(1), 013504 (2020)

- (171) **Role of Oxygen Defects in Conductive-Filament Formation in Y_2O_3 -Based Analog RRAM Devices as Revealed by Fluctuation Spectroscopy**
 E. Piros, M. Lonsky, S. Petzold, A. Zintler, S.U. Sharath, T. Vogel, N. Kaiser, R. Eilhardt, L. Molina-Luna, Ch. Wenger, J. Müller, L. Alff
Physical Review Letters **14**(3), 034029 (2020)
- (172) **Substrate Integrated Waveguide Bandpass Filters Implemented on Silicon Interposer for Terahertz Applications**
 G. Prigent, A.-L. Franc, M. Wietstruk, M. Kaynak
Proc. IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS 2020), 595 (2020)
- (173) **Impact of Local Structure on Halogen Ion Migration in Layered Methylammonium Copper Halide Memory Devices**
 A. Ray, B. Martín-García, A. Martinelli, D. Spirito, F. Locardi, D. Altamura, C. Giannini, M. Prato, L. Manna, A.L. Abdelhady
Journal of Materials Chemistry A: Materials for Energy and Sustainability **8**(34), 17516 (2020)
- (174) **5G-PPP View on 5G Architecture: Section 4**
 S. Redanan, Ö. Bulakci, C. Mannweiler, L. Gallo, A. Kousaridas, D. Navratil, A. Tzanakaki, J. Gutierrez Teran, H. Karl, P. Hasselmeyer, A. Gavras, S. Parker, E. Mutafungwa, A. Zafeiropoulos, A. Albanese, A. Weit, B. Sayadi, B. Tiomela Jou, C.J. Bernardos, C. Benzaid, D. Warren, D. Camps-Mur, D. Breitgand, D. Gutierrez Estevez, D. Mi, D. Lopez, D. Klonidis, E. Fotopoulos, E. Kafetzakis, E. Pateromichelakis, E. Biton, F.B. Tesema, G. Kalfas, J. Bartelt, J. Kosmas, J. Thomson, J.J. Giménez, J.M. Alcaraz Calero, J. Mangues-Bafalluy, K. Katsalis, M. Gramaglia, M.R. Spada, M. Salih, N. Nikaein, N. Jawad, N. Maletic, N. Chuberre, P. Demestichas, Q. Wang, Q. Wie, R.F. Ustok, R. Blom, S. Pontarelli, S. Keskin, S. Salsano, T. Deiss, U. Acar, X. Li, Y. Zhang
View on 5G Architecture, (2020)
- (175) **Investigation of the Surface Electronic Structure of Bulk ZnGa_2O_4**
 F. Reichmann, J. Dabrowski, Z. Galazka, W.M. Klesse, M. Mulazzi
Proc. SPIE Oxide-based Materials and Devices XI (2020), **11281**, 112810V (2020)
- (176) **A QPSK 110-Gb/s Polarization-Diversity MIMO Wireless Link with a 220–255 GHz Tunable LO in a SiGe HBT Technology**
 P. Rodriguez-Vazquez, J. Grzyb, B. Heinemann, U.R. Pfeiffer
IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques **68**(9), 3834 (2020)
- (177) **Corrections to “A QPSK 110-Gb/s Polarization-Diversity MIMO Wireless Link with a 220–255 GHz Tunable LO in a SiGe HBT Technology”**
 P. Rodriguez-Vazquez, J. Grzyb, B. Heinemann, U.R. Pfeiffer
IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques **68**(9), 3783 (2020)
- (178) **Investigation of Inter-Modal Four Wave Mixing in p-i-n Diode Assisted SOI Waveguides**
 G. Ronniger, St. Lischke, Ch. Mai, L. Zimmermann, K. Petermann
Proc. IEEE Photonics Society Summer Topicals Meeting Series (SUM 2020), (2020)
- (179) **Metastable CdTe@HgTe Core@Shell Nanostructures Obtained by Partial Cation Exchange Evolve into Sintered CdTe Films upon Annealing**
 I. Rosina, B. Martín-García, D. Spirito, Z. Dang, G. Gariano, S. Marras, M. Prato, R. Krahne, L. De Trizio, L. Manna
Chemistry of Materials **32**(7), 2978 (2020)
- (180) **A Compact Circular Multipass Cell for Millimeter-Wave/Terahertz Gas Spectroscopy**
 N. Rothbart, K. Schmalz, H.-W. Hübers
IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology **10**(1), 9 (2020)
- (181) **Toward a Reliable Synaptic Simulation using Al-Doped HfO_2 RRAM**
 S. Roy, G. Niu, Q. Wang, Y. Wang, Y. Zhang, H. Wu, S. Zhai, P. Shi, S. Song, Z. Song, Z.-G. Ye, Ch. Wenger, T. Schroeder, Y.-H. Xie, X. Meng, W. Luo, W. Ren
ACS Applied Materials & Interfaces **12**(9), 10648 (2020)
- (182) **Recognition of Objects in the Urban Environment using R-CNN and YOLO Deep Learning Algorithms**
 R. Saric, M. Ulbricht, M. Krstic, J. Kevric, D. Jokic
Proc. 8th International Conference on Cyber-Physical Systems and Internet-of-Things (CPS & IoT 2020), 455 (2020)
- (183) **Performance Evaluation of a Time-of-Arrival Based Indoor Localization System**
 V. Sark, N. Maletic, J. Gutierrez Teran, E. Grass
Proc. 8th Small Systems Simulation Symposium (SSSS 2020), 79 (2020)
- (184) **Measuring Oxygen and Bulk Microdefects in Silicon**
 H. Savin, G. Kissinger, V.-M. Airaksinen
Handbook of Silicon Based MEMS Materials and Technologies, 3rd Edition, Editors: M. Tilli, M. Paulasto-Krockel, M. Petzold, H. Theuss, T. Motooka, V. Lindroos, Chapter 37. Measuring Oxygen and Bulk Microdefects in Silicon, Elsevier, 775 (2020)
- (185) **Real100G — Ultrabroadband Wireless Communication at High mm-Wave Frequencies**
 J.C. Scheytt, A.R. Javed, A. Bhutani, T. Zwick, I. Kallfass, E.R. Bammidi, K. KrishneGowda, R. Kraemer
Wireless 100 Gbps And Beyond, 1st Edition, Editors: R. Kraemer, St. Scholz, Chapter 7. Real100G — Ultrabroadband Wireless Communication at High mm-Wave Frequencies, IHP, 213 (2020)
- (186) **Ge(Sn) Nano-Island/Si Heterostructure Photodetectors with Plasmonic Antennas**
 V. Schlykow, C.L. Manganelli, F. Römer, C. Clausen, L. Augel, J. Schulze, J. Katzer, M.A. Schubert, B. Witzigmann, T. Schroeder, G. Capellini, I.A. Fischer
Nanotechnology **31**(34), 345203 (2020)
- (187) **Design Concept for Radiation-Hardening of Triple Modular Redundancy TSPC Flip-Flops**
 O. Schrape, M. Andjelkovic, A. Breitenreiter, A. Balashov, M. Krstic
Proc. 23rd EUROMICRO Conference on Digital System Design (DSD 2020), 616 (2020)

- (188) **Controlling Photocurrent Channels in Scanning Tunneling Microscopy**
 B. Schröder, O. Bunjes, L. Wimmer, K. Kaiser, G.A. Traeger, T. Kotzott, C. Ropers, M. Wenderoth
New Journal of Physics **22**, 033047 (2020)
- (189) **VCSEL-Based Silicon Photonic Interconnect Technologies**
 P. M. Seiler, B. Tillack, L. Zimmermann
Semiconductor Nanophotonics, 1st Edition, Editors: M. Kneissl, A. Knorr, S. Reitzenstein, A. Hoffmann, Chapter 11. VCSEL-Based Silicon Photonic Interconnect Technologies, Springer, **194**, 427 (2020)
- (190) **56 GBaud O-Band Transmission using a Photonic BiCMOS Coherent Receiver**
 P.M. Seiler, A. Peczek, G. Winzer, K. Voigt, St. Lischke, A. Fatemi, L. Zimmermann
46th European Conference on Optical Communication (ECOC 2020), (2020)
- (191) **Hardware/Software Co-Verifizierungsplattform für eingebettete Multiprozessoren**
 A. Simevski, M. Krstic
Proc. 32. GI/GMM/ITG - Workshop Testmethoden und Zuverlässigkeit von Schaltungen und Systemen (TuZ 2020), (2020)
- (192) **PISA: Power-Robust Multiprocessor Design for Space Applications**
 A. Simevski, O. Schrape, C. Benito, M. Krstic, M. Andjelkovic
Proc. 26th IEEE International Symposium on On-Line Testing and Robust System Design (IOLTS 2020), (2020)
- (193) **A Comprehensive Study of Charge Transport in Au-Contacted Graphene on Ge/Si(001)**
 A. Sinterhauf, S. Bode, M. Auge, M. Lukosius, G. Lippert, H. Hofssäss, M. Wenderoth
Applied Physics Letters **117**(2), 023104 (2020)
- (194) **Reduction of Threading Dislocation Density Beyond the Saturation Limit by Optimized Reverse Grading**
 O. Skibitzki, M.H. Zoellner, F. Rovaris, M.A. Schubert, Y. Yamamoto, L. Persichetti, L. Di Gaspare, M. De Seta, R. Gatti, F. Montalenti, G. Capellini
Physical Review Materials **4**(10), 103403 (2020)
- (195) **MaximumMIMO — Millimeter Wave Line-of-Sight Spatial Multiplexing**
 X. Song, W. Rave, G. Fettweis, T. Hälsig, B. Lankl, D. Cvetkovski, E. Grass
Wireless 100 Gbps And Beyond, 1st Edition, Editors: R. Kraemer, St. Scholz, Chapter 5. MaximumMIMO — Millimeter Wave Line-of-Sight Spatial Multiplexing, IHP, 139 (2020)
- (196) **A 24-48 GHz Wideband Frequency Tripler in SiGe BiCMOS Technology**
 H. Son, D. Kim, Y. Zhao, R. Al Hadi, M. Kaynak, J.-S. Rieh
Proc. Asia Pacific Microwave Conference (APMC 2020), 101 (2020)
- (197) **Nano- and Microscale Apertures in Metal Films Fabricated by Colloidal Lithography with Perovskite Nanocrystals**
 D. Spirito, J. Shamsi, M. Imran, Q.A. Akkermann, L. Manna, R. Krahne
Nanotechnology **31**(18), 185304 (2020)
- (198) **System Architecture**
 Z. Stamenkovic, M. Stojcev
Silicon Systems for Wireless LAN, 1st Edition, Editors: Z. Stamenkovic, G. Leger, A. Bosio, Chapter 1. System Architecture, World Scientific, 3 (2020)
- (199) **Digital Baseband**
 Z. Stamenkovic, M. Stojcev, B. Dimitrijevic
Silicon Systems for Wireless LAN, 1st Edition, Editors: Z. Stamenkovic, G. Leger, A. Bosio, Chapter 2. Digital Baseband, World Scientific, 17 (2020)
- (200) **Digital Circuit Models**
 Z. Stamenkovic, B. Dimitrijevic, M. Stojcev
Silicon Systems for Wireless LAN, 1st Edition, Editors: Z. Stamenkovic, G. Leger, A. Bosio, Chapter 5. Digital Circuit Models, World Scientific, 111 (2020)
- (201) **Implementation Methodologies**
 Z. Stamenkovic, G. Leger
Silicon Systems for Wireless LAN, 1st Edition, Editors: Z. Stamenkovic, G. Leger, A. Bosio, Chapter 8. Implementation Methodologies, World Scientific, 225 (2020)
- (202) **Semi-Custom Implementation of Digital Circuits**
 Z. Stamenkovic, M. Krstic
Silicon Systems for Wireless LAN, 1st Edition, Editors: Z. Stamenkovic, G. Leger, A. Bosio, Chapter 9. Semi-Custom Implementation of Digital Circuits, World Scientific, 243 (2020)
- (203) **System Models**
 Z. Stamenkovic, B. Dimitrijevic, M. Stojcev
Silicon Systems for Wireless LAN, 1st Edition, Editors: Z. Stamenkovic, G. Leger, A. Bosio, Chapter 4. System Models, World Scientific, 97 (2020)
- (204) **Introductory Chapter: Electromagnetic Propagation and Waveguides in Photonics and Microwave Engineering**
 P. Steglich
Electromagnetic Propagation and Waveguides in Photonics and Microwave Engineering, 1st Edition, Editor: P. Steglich, Introductory Chapter: Electromagnetic Propagation and Waveguides in Photonics and Microwave Engineering, IntechOpen, 1 (2020)
- (205) **CMOS-Compatible Silicon Photonic Sensor for Refractive Index Sensing using Local Back-Side Release**
 P. Steglich, S. Bondarenko, Ch. Mai, M. Paul, M. Weller, A. Mai
IEEE Photonics Technology Letters **32**(19), 1241 (2020)
- (206) **BioPIC - Integration of Biosensors based on Photonic Integrated Circuits by Local-Backside Etching**
 P. Steglich, Ch. Mai, S. Bondarenko, M. Paul, M.G. Weller, S. Schrader, A. Mai
Proc. ATTRACT Digital Conference 2020, 1 (2020)
- (207) **Direct Observation and Simultaneous Use of Linear and Quadratic Electro-Optical Effects**
 P. Steglich, Ch. Mai, C. Villringer, A. Mai
Journal of Physics D: Applied Physics **53**(12), 125106 (2020)

- (208) **Electric Field-Induced Linear Electro-Optic Effect Observed in Silicon-Organic Hybrid Ring Resonator**
 P. Steglich, C. Villringer, B. Dietzel, Ch. Mai, S. Schrader, M. Casalboni, A. Mai
IEEE Photonics Technology Letters **32**(9), 526 (2020)
- (209) **Full-Wave RF Modeling of a Fan-Out Wafer-Level Packaging Technology Based on Al-Al Wafer Bonding**
 M. Stocchi, M. Wietstruk, S. Schulze, C. Zhibo, S. Tolunay Wipf, M. Kaynak
Proc. 20th IEEE Topical Meeting on Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems (SIRF 2020), 60 (2020)
- (210) **Atomic-Scale Patterning of Arsenic in Silicon by Scanning Tunneling Microscopy**
 T.J.Z. Stock, O. Warschkow, P.C. Constantinou, J. Li, S. Fearn, E. Crane, E.V.S. Hofmann, A. Kölker, D.R. McKenzie, S.R. Schofield, N.J. Curson
ACS Nano **14**(3), 3316 (2020)
- (211) **Using Yield to Predict Long-Term Reliability of Integrated Circuits: Application of Boltzmann-Arrhenius-Zhurkov Model**
 E. Suhir, Z. Stamenkovic
Solid State Electronics **164**, 107746 (2020)
- (212) **Accurate and Process-Tolerant Resistive Load**
 B. Sütbas, E. Ozbay, A. Atalar
IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques **68**(7), 2495 (2020)
- (213) **Fault Tolerant Platform for Communication and Distance Measurement in Highly Automated Driving**
 R.T. Syed, M. Ulbricht, W. Ahmad, H.J. Ng, V. Sark, R. Hasan, M. Krstic
Proc. 8th International Conference on Cyber-Physical Systems and Internet-of-Things (CPS & IoT 2020), 673 (2020)
- (214) **Carbon Related Hillock Formation and its Impact on the Optoelectronic Properties of GaN/AlGaN Heterostructures Grown on Si(111)**
 H. Tetzner, P. Sana, W.M. Klesse, G. Capellini, M.A. Schubert, S.B. Thapa, P. Storck, T. Schroeder, M.H. Zoellner
Applied Physics Letters **116**(25), 252101 (2020)
- (215) **Memory-Assisted Statistically-Ranked RF Beam Training Algorithms for Sparse MIMO**
 K.K. Tiwari, E. Grass, J.S. Thompson
Proc. 91st IEEE Vehicular Technology Conference (VTC-Spring 2020), (2020)
- (216) **Nanocrystals of Lead Chalcogenides: A Series of Kinetically Trapped Metastable Nanostructures**
 S. Toso, Q.A. Akkerman, B. Martín-García, M. Prato, J. Zito, I. Infante, Z. Dang, A. Moliterni, C. Giannini, E. Bladt, I. Lobato, J. Ramade, S. Bals, J. Buha, D. Spirito, E. Mugnaioli, M. Gemmi, L. Manna
Journal of the American Chemical Society **142**(22), 10198 (2020)
- (217) **Low-Power Artificial Intelligence Based Sensors for Wireless Sensor Network Applications**
 K. Turchan, E. Michta, K. Piotrowski
Proc. 13th Conference on Measurement Systems in Research and in Industry (MS 2020), 105 (2020)
- (218) **Electronic-to-Photonic Single-Event Transient Propagation in a Segmented Mach-Zehnder Modulator in a Si/SiGe Integrated Photonics Platform**
 G.N. Tzintzarov, A. Ildefonso, P.S. Goley, M. Frounchi, D. Nergui, S.G. Rao, J. Teng, J. Campbell, A. Khachatrian, S.P. Buchner, D. McMorrow, J.H. Warner, M. Kaynak, L. Zimmermann, J.D. Cressler
IEEE Transactions on Nuclear Science **67**(1), 260 (2020)
- (219) **Contact Resistance and Mobility in Back-Gate Graphene Transistors**
 F. Urban, G. Lupina, A. Grillo, N. Martucciello, A. Di Bartolomeo
Nano Express **1**(1), 010001 (2020)
- (220) **Front-End Blocks of a W-Band Dicke Radiometer in SiGe BiCMOS Technology**
 B. Ustundag, E. Turkmen, A. Burak, B. Gungor, H. Kandis, B. Cetindogan, M. Yazici, M. Kaynak, Y. Gurbuz
IEEE Transactions on Circuits and Systems II **67**(11), 2417 (2020)
- (221) **PI-MOCVD Technology of (La, Sr)(Mn, Co)O₃: From Epitaxial to Nanostructured Films**
 M. Vagner, V. Plausinaitiene, R. Lukose, S. Kersulis, M. Talaikis, B. Knasiene, S. Stanionyte, V. Kubilius, K. Motiejutis, Z. Saltyte, G. Niaura, E. Naujalis, N. Zurauskienė
Surface and Coatings Technology **385**, 125287 (2020)
- (222) **Cryogenic W-Band SiGe BiCMOS Low-Noise Amplifier**
 M. Varonen, N. Sheikhipoor, B. Gabritchidze, K. Cleary, H. Forstén, H. Rücker, M. Kaynak
Proc. IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS 2020), 185 (2020)
- (223) **Highly Configurable Framework for Adaptive Low Power and Error-Resilient System-On-Chip**
 M. Veleski, M. Huebner, M. Krstic, R. Kraemer
Proc. 23rd EUROMICRO Conference on Digital System Design (DSD 2020), 24 (2020)
- (224) **Cross-Layer Hardware/Software Assessment of the Open-Source NVDLA Configurable Deep Learning Accelerator**
 A. Veronesi, M. Krstic, D. Bertozzi
Proc. 28th IFIP/IEEE International Conference on Very Large Scale Integration (VLSI-SoC 2020), (2020)
- (225) **Nonlinear Optical Characterization of CsPbBr₃ Nanocrystals as a Novel Material for the Integration into Electro-Optic Modulators**
 F. Vitale, F. De Matteis, M. Casalboni, P. Prospisito, P. Steglich, V. Ksianzou, C. Breiler, S. Schrader, B. Paci, A. Generosi
Materials Research Proceedings **16**, 27 (2020)
- (226) **A Cascadable Integrated Bistatic Six-Port Transceiver at 60 GHz in a 130-nm BiCMOS Technology for SIMO-Radar Applications**
 M. Voelkel, St. Pechmann, M.H. Eissa, D. Kissinger, R. Weigel, A. Hagelauer
Proc. IEEE Asia-Pacific Microwave Conference (APMC 2019), 622 (2020)

- (227) **An Integrated Bistatic 4TX/4RX Six-Port MIMO-Transceiver at 60 GHz in a 130-nm SiGe BiCMOS Technology for Radar Applications**
 M. Voelkel, S. Pechmann, H.J. Ng, D. Kissinger, R. Weigel, A. Hagelauer
 Proc. IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS 2020), 1219 (2020)
- (228) **A Highly-Efficient 120 GHz and 240 GHz Signal Source in a SiGe-Technology**
 F. Vogelsang, D. Starke, J. Wittemeier, H. Rücker, N. Pohl
 Proc. IEEE BiCMOS and Compound Semiconductor Integrated Circuits and Technology Symposium (BCICTS 2020), (2020)
- (229) **240-GHz Reflectometer with Integrated Transducer for Dielectric Spectroscopy in a 130-nm SiGe BiCMOS Technology**
 D. Wang, M.H. Eissa, K. Schmalz, T. Kämpfe, D. Kissinger
 Proc. IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS 2020), 1129 (2020)
- (230) **480-GHz Sensor with Subharmonic Mixer and Integrated Transducer in a 130-nm SiGe BiCMOS Technology**
 D. Wang, M.H. Eissa, K. Schmalz, T. Kämpfe, D. Kissinger
 IEEE Microwave and Wireless Components Letters **30**(9), 908 (2020)
- (231) **Microwave and Millimeter Wave Sensors for Industrial, Scientific and Medical Applications in BiCMOS Technology**
 J. Wessel, K. Schmalz, R.K. Yadav, P.S. Zarrin, F.I. Jamal, D. Wang, G. Fischer
 Proc. IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT 2020), 290 (2020)
- (232) **Nickel and Nickel-Platinum Silicide for BiCMOS Devices**
 D. Wolansky, J.-P. Blaschke, J. Drews, T. Grabolla, B. Heinemann, T. Lenke, H. Rücker, S. Schulze, M.A. Schubert, H.-P. Stoll, M.H. Zoellner, U. Richter, D. Deyo
 Proc. 9th International SiGe, Ge, & Related Compounds: Materials, Processing, and Devices Symposium (ECS Meeting 2020), 1749 (2020)
- (233) **Nickel and Nickel-Platinum Silicide for BiCMOS Devices**
 D. Wolansky, J.-P. Blaschke, J. Drews, T. Grabolla, B. Heinemann, T. Lenke, H. Rücker, S. Schulze, M.A. Schubert, H.-P. Stoll, M.H. Zoellner, U. Richter, D. Deyo
 ECS Transactions **98**(5), 351 (2020)
- (234) **A 1 mW Cryogenic LNA Exploiting Optimized SiGe HBTs to Achieve an Average Noise Temperature of 3.2K from 4–8GHz**
 W.-T. Wong, M. Hosseini, H. Rücker, J.C. Bardin
 Proc. IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS 2020), 181 (2020)
- (235) **Large-Scale Fabrication of Submicrometer-Gate-Length MOSFETs with a Trilayer PtSe₂ Channel Grown by Molecular Beam Epitaxy**
 K. Xiong, M. Hilse, L. Li, A. Göritz, M. Lisker, M. Wietstruck, M. Kaynak, R. Engel-Herbert, A. Madjar, J.C.M. Hwang
 IEEE Transactions on Electron Devices **67**(3), 796 (2020)
- (236) **Temperature-Dependent RF Characteristics of Al₂O₃-Passivated WSe₂ MOSFETs**
 K. Xiong, X. Zhang, L. Li, F. Zhang, B. Davis, A. Madjar, A. Göritz, M. Wietstruck, M. Kaynak, N.C. Strandwitz, M. Terrones, J.M. Redwing, J.C.M. Hwang
 IEEE Electron Device Letters **41**(7), 1134 (2020)
- (237) **Ge/SiGe Multiple Quantum Well Fabrication by Reduced-Pressure Chemical Vapor Deposition**
 Y. Yamamoto, O. Skibitzki, M.A. Schubert, M. Scuderi, F. Reichmann, M.H. Zoellner, M. De Seta, G. Capellini, B. Tillack
 Japanese Journal of Applied Physics Pt. 1 **59**(SG), SGGK 10 (2020)
- (238) **Threading Dislocation Reduction of Ge by Introducing a SiGe/Ge Superlattice**
 Y. Yamamoto, C. Corley, M.A. Schubert, M.H. Zoellner, B. Tillack
 ECS Transactions **98**(5), 185 (2020)
- (239) **Threading Dislocation Reduction of Ge by Introducing SiGe / Ge Superlattice**
 Y. Yamamoto, C. Corley, M.A. Schubert, M.H. Zoellner, B. Tillack
 Proc. ECS PRIME Meeting 2020, Symposium: SiGe, Ge, and Related Compounds: Materials, Processing and Devices, abstr. (2020)
- (240) **Analogue Pattern Recognition with Stochastic Switching Binary CMOS-Integrated Memristive Devices**
 F. Zahari, E. Perez, M.K. Mahadevaiah, H. Kohlstedt, Ch. Wenger, M. Ziegler
 Scientific Reports **10**, 14450 (2020)
- (241) **Reliability of Logic-in-Memory Circuits in Resistive Memory Arrays**
 T. Zanotti, C. Zambelli, F.M. Puglisi, V. Milo, E. Perez, M.K. Mahadevaiah, O.G. Ossorio, Ch. Wenger, P. Pavan, P. Olivo, D. Ielmini
 IEEE Transactions on Electron Devices **67**(11), 4611 (2020)
- (242) **Epileptic Seizure Detection using a Neuromorphic-Compatible Deep Spiking Neural Network**
 P.S. Zarrin, R. Zimmer, Ch. Wenger, T. Masquelier
 Proc. International Work-Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering (IWBBIO 2020), in: Lecture Notes in Bioinformatics, Springer, LNBI **12108**, 389 (2020)
- (243) **Implementation of Siamese-Based Few-Shot Learning Algorithms for the Distinction of COPD and Asthma Subjects**
 P.S. Zarrin, Ch. Wenger
 Proc. 29th International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN 2020), in: Information and Communications Security, Springer, LNCS **12396**, 431 (2020)
- (244) **In-Vitro Classification of Saliva Samples of COPD Patients and Healthy Controls using Machine Learning Tools**
 P.S. Zarrin, N. Roeckendorf, Ch. Wenger
 IEEE Access **8**, 168053 (2020)
- (245) **Neuromorphic On-Chip Recognition of Saliva Samples of COPD and Healthy Controls using Memristive Devices**
 P.S. Zarrin, F. Zahari, M.K. Mahadevaiah, E. Perez, H. Kohlstedt, Ch. Wenger
 Scientific Reports **10**, 19742 (2020)

- (246) **A Glitch-Free Clock Multiplexer for Non-Continuously Running Clocks**
 St. Zeidler, O. Schrape, A. Breitenreiter, M. Krstic
 Proc. 23rd Euromicro Conference on Digital Systems Design (DSD 2020), 11 (2020)
- (247) **A Co-Integrated Silicon-Based Electronic-Photonic Wideband, High-Power Signal Source**
 S. Zeinolabedinzadeh, P. Goley, M. Frounchi, S. Rao, C.G. Bottenfield, S.E. Ralph, M. Kaynak, L. Zimmermann, St. Lischke, Ch. Mai, J.D. Cressler
 Proc. Optical Fiber Communications Conference and Exposition (OFC 2020), M2I.2 (2020)
- (248) **A Wide Locking-Range, Low Phase-Noise and High Output Power D-Band SiGe PLL**
 S. Zeinolabedinzadeh, I. Song, M. Kaynak, J.D. Cressler
 Proc. 20th IEEE Topical Meeting on Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems (SiRF 2020), 35 (2020)
- (249) **3.2-mW Ultra-Low-Power 173–207-GHz Amplifier with 130-nm SiGe HBTs Operating in Saturation**
 Y. Zhang, W. Liang, X. Jin, M. Krattenmacher, S. Falk, P. Sakalas, B. Heinemann, M. Schröter
 IEEE Journal of Solid-State Circuits 55(6), 1471 (2020)
- (250) **Cap Fabrication and Transfer Bonding Technology for Hermetic and Quasi Hermetic Wafer Level MEMS Packaging**
 K. Zoschke, P. Mackowiak, K. Kröhnert, H. Oppermann, N. Jürgensen, M. Wietstruck, A. Göritz, S. Tolunay Wipf, M. Kaynak, K.-D. Lang
 Proc. 70th IEEE Electronic Components and Technology Conference (ECTC 2020), 432 (2020)

Eingeladene Vorträge

Invited Presentations

- (1) **mmWave Modular Multimode Radar Platform**
 W. Ahmad
 Keysight Design Forum (KDF 2020), October 14 - 15, 2020, Japan
- (2) **Recent Advances Towards a GeSi-Based QCL**
 G. Capellini
 IEEE Summer Topicals Meeting Series (2020), Cabos San Lucas, July 13 - 15, 2020, Mexico
- (3) **A Glimpse of the 5G-VICTORI Facilities in Support of the Vertical use Cases - Berlin Facility -**
 J. Gutierrez Teran
 5G Trials in Europe – 5G Experimentation Facilities and Vertical Trials (2020), online, October 14, 2020, Germany
- (4) **5GENESIS Architecture for Experimentation in 5G**
 J. Gutierrez Teran, D. Tsolkas, P. Merino, D. Artuñedo, V. Frascolla
 5G-PPP Architecture Working Group (2020), Frankfurt (Oder), December 11, 2020, Germany
- (5) **MonPicoAD - A Monolithic Picosecond Avalanche Detector**
 G. Iacobucci, P. Valerio, L. Paolozzi, E. Charbon, F. Martinelli, R. Cardarelli, M. Kanyak, H. Rücker
 ATTRACT Digital Conference (2020), Meyrin, September 22 - 23, 2020, Switzerland
- (6) **Plasmonics - High-Speed Photonics for Co-Integration with Electronics**
 U. Koch, C. Uhl, H. Hettrich, Y. Fedoryshyn, D. Moor, M. Baumann, C. Hoessbacher, W. Heni, B. Baeuerle, B.I. Bitachon, A. Josten, M. Ayata, H. Xu, D.L. Elder, L.R. Dalton, E. Mentovich, P. Bakopoulos, St. Lischke, A. Krüger, L. Zimmermann, D. Tsikatos, N. Pleros, M. Möller, J. Leuthold
 52nd International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2020), Toyama, September 27 - 30, 2020, Japan
- (7) **Directly Silicon-Nitride Waveguide Coupled Ge Photodiode for Non-SOI PIC and Epic Platforms**
 St. Lischke, D. Knoll, Ch. Mai, K. Voigt, A. Hesse, G. Georgieva, A. Peczek, L. Zimmermann
 9th International SiGe, Ge, & Related Compounds: Materials, Processing, and Devices Symposium (ECS Meeting 2020), Honolulu, October 04 - 09, 2020, USA
- (8) **Scalable and Fully-Integrated Multi-Band Radar Sensor Platform in SiGe BiCMOS Technology**
 H.J. Ng, M. Kucharski, W. Ahmad, R. Hasan, D. Kissinger
 IEEE International Wireless Symposium (IWS 2020), Shanghai, May 17 - 20, 2020, China
- (9) **BioPIC - Integration of Biosensors based on Photonic Integrated Circuits by Local-Backside Etching**
 P. Steglich, Ch. Mai, S. Bondarenko, M. Paul, M.G. Weller, S. Schrader, A. Mai
 ATTRACT Digital Conference (2020), Meyrin, September 22 - 23, 2020, Switzerland
- (10) **Der Innovationscampus Elektronik und Mikrosensorik Cottbus - Mikrosensoren, die Sinnesorgane der Digitalisierung**
 Ch. Wenger
 10. Brandenburger Sensornetztag (2020), Frankfurt (Oder), November 26, 2020, Germany

Berichte

Reports

- (1) **Being a Doctoral Researcher in the Leibniz Association - 2019 Leibniz PhD Network Survey Report**
B. Beadle, S. Do, D. El Yousoufi, D. Felder, J.L. Gorenflo López, A. Jahn, E. Pérez-Bosch Quesada, T. Rottleb, F. Rüter, J. Schanze, A. Stroppe, S. Thater, A. Verrière, M. Weltin
zu finden unter: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-69403-1>
- (2) **Manipulation of Bioparticles using Dielectrophoresis**
A. Mekhnache
Internship Report 2020
- (3) **Schlussbericht zum Zwanzig20 – Verbundvorhaben fast-secure – TP2: Entwicklung von Algorithmen und prototypischen Kommunikationssystemen zur Unterstützung der PLS-Schlüsselgenerierung (protoCom)**
M. Petri
- (4) **Sensorelektronik der nächsten Generation für variable, mobile Gesundheitsanwendungen**
J. Wessel
- (5) **Epileptic Seizure Detection using a Neuromorphic-Compatible Deep Spiking Neural Network**
P.S. Zarrin
Franco-German AI-Procope Program at Toulouse Brain and Cognition Research Center (CerCo), Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)
- (6) **Schlussbericht zum Zwanzig20 – Verbundvorhaben: fast-traffic – TP4: Entwicklung echtzeitfähiger 802.11p Middleware-Komponenten für Verkehrsinfrastruktur anwendungen**
St. Zeidler, K. Tittelbach-Helmrich
- (7) **GaN on Si Metrology & Research Activity by IHP**
M.H. Zoellner
- (8) **Evolution of Surface Morphology of SiGe Buffer Layers with Low Ge Concentration III**
M.H. Zoellner
- (9) **Final Report: Evolution of Surface Morphology of SiGe Buffer Layers with Low Ge Concentration**
M.H. Zoellner
- (10) **GaN on Si Metrology & Research Activity by IHP**

Monographien

Monographs

- M.H. Zoellner
- (1) **Wireless 100 Gbps And Beyond: Architectures, Approaches and Findings of German Research Foundation (DFG) Priority Programme SPP1655**
R. Kraemer, St. Scholz (Eds.)
IHP, (2020)
- (2) **Silicon Systems for Wireless LAN**
Z. Stamenkovic, A. Bosio, G. Leger
World Scientific Publishing, (2020)
- (3) **Electromagnetic Propagation and Waveguides in Photonics and Microwave Engineering**
P. Steglich (Ed.)
- InTechOpen, (2020)
- (4) **Vorkurs Physik fürs MINT-Studium: Grundlagen und Insider-Tipps für Erstis**
P. Steglich, K. Heise
Springer, (2020)
- (5) **Design and Characterization of a Novel Integrated Ring Resonator: Integrated Photonics for Optical Communication and Sensing**
P. Steglich
Südwestdeutscher Verlag für Hochschulschriften, (2020)

Habilitationen/Dissertationen

Habilitations/Dissertations

- (1) **Graphene Synthesis under Si-CMOS Compatible Conditions**
F. Akhtar
Dissertation, BTU Cottbus-Senftenberg, Germany, (2020)
- (2) **Development of Ultra Sensitive Localisation Techniques for Failure Analysis of Soft Breakdown Events in Low K Dielectrics**
N. Herfurth
Dissertation, Technische Universität Berlin, Germany, (2020)
- (3) **Investigation of PSSS Technologies to Achieve 100 Gbps and Beyond**
K. Krishnegowda
Dissertation, BTU Cottbus-Senftenberg, Germany, (2020)
- (4) **Dielectrophoretic Manipulation of Yeast Cells using CMOS Integrated Microfluidic**
H. Matbaechi Ettehad
Dissertation, BTU Cottbus-Senftenberg, Germany, (2020)
- (5) **Full-Wave Analysis and Design of Opto-Mechanical Systems**
M. Stocchi
Dissertation, Università Politecnica delle Marche, Italy, (2020)

Diplomarbeiten/Masterarbeiten/Bachelorarbeiten

Diploma Theses/Master Theses/Bachelor Theses

- (1) **Vital Signs Monitoring using Pseudo-Random Noise Coded Doppler Radar with Delta Sigma Modulation**
S. Abouzaid
Master Thesis, Technische Universität München, Germany, (2020)
- (2) **Implementacja Warstwy Adaptacyjnej dla Systemu Operacyjnego IHPOS dla Platformy Sprzętowej Mars Node Lite**
L. Chomont
Bachelor Thesis, University of Zielona Góra, Poland, (2020)
- (3) **Implementacja Energooszczednej Aplikacji dla Stacji Meteorologicznej**
M. Gola
Bachelor Thesis, University of Zielona Góra, Poland, (2020)
- (4) **Towards Automatic Detection of Freezing of Gait (FOG) with Single Low-Power Sensor Node**
A. Haddadi Esfahani
Master Thesis, Technische Universität Chemnitz, Germany, (2020)
- (5) **Evaluierung von optischer und mechanischer Profilometrie an strukturierten und beschichteten Silizium-Wafer Oberflächen**
C. Heinig
Bachelor Thesis, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Germany, (2020)
- (6) **Prozessentwicklung zur duktilen Zerspanung von einkristallinen Silizium-Wafern**
N. Kroh
Bachelor Thesis, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Germany, (2020)
- (7) **Control System of the Inverter Model with Regulated Maximum Power and Synchronization with the Power Grid**
M. Krysk
- (8) **Master Thesis, University of Zielona Góra, Poland, (2020)**
Cyfrowy System Pomiarowy Przeznaczony do Badania Wybranych Protokołów Komunikacyjnych
W. Krzyzan
Bachelor Thesis, University of Zielona Góra, Poland, (2020)
- (9) **Investigation and Improvement of Optical Silicon Nitride Waveguides Fabricated under Different Process Conditions**
O. Kurzel
Master Thesis, Technische Hochschule Wildau, Germany, (2020)
- (10) **Development of an ATR-FTIR Unit for Mid-Infrared Application**
K. Nowakowska
Master Thesis, Poznań University of Technology, Poland, (2020)
- (11) **Die Erfassung von Open-Access-Publikationen in HORIZON 2020 - Ein Vergleich zweier Spezialbibliotheken**
J. Schlegel
Bachelor Thesis, Fachhochschule Potsdam, Germany, (2020)
- (12) **Characterizing the Hardware/Software Stack of the NVIDIA Deep Learning Accelerator for FPGA and ASIC Technologies**
A. Veronesi
Master Thesis, University of Ferrara, Italy, (2020)
- (13) **Optimization of Material and Fabrication of THz - Germanium Microantennas**
A.A. Wiciak
Master Thesis, Poznań University of Technology, Poland, (2020)
- (14) **Implementacja Energooszczednej Aplikacji dla Stacji Hydrologicznej**
M. Wojciechowski
Bachelor Thesis, University of Zielona Góra, Poland, (2020)

Patente

Patents

- (1) **Programmable Analog Signal Processing Array for Time-Discrete Processing of Analog Signals**
G. Kahmen, E. Grass
IHP.508, EP-Patentanmeldung am 30.12.2020, AZ: EP 2021 77 81.2
- (2) **Single Recipe RTA**
G. Kissinger, u. a.
IHP.500, EP-Patentanmeldung über Siltronic am 23.06.2020, AZ: EP 2018 16 50.1
- (3) **Diode with Light-Sensitive Intrinsic Region**
St. Lischke
IHP.506, EP-Patentanmeldung am 28.08.2020, AZ: EP 20 193 424.7
- (4) **Strukturiertes Wachsen von Graphen**
A. Scheit
IHP.495, DE-Patentanmeldung am 21.04.2020, AZ: DE 10 2020 110 814.1
- (5) **Corrigible Comparator for Triple Modular Redundancy Cell**
O. Schrape
IHP.503, EP-Patentanmeldung am 04.09.2020, AZ: EP 20 194 684.5
- (6) **Self-Correcting Modularredundancy-Memory Device**
O. Schrape, A. Breitenreiter, F. Vater, M. Krstic
IHP.501, EP-Patentanmeldung am 04.09.2020, AZ: EP 20 194 694.4
- (7) **True Single-Phase Clock Storage Unit for Triple Modular Redundancy Cell**
O. Schrape, A. Balashov, M. Andjelkovic, M. Krstic
IHP.502, EP-Patentanmeldung am 04.09.2020, AZ: EP 20 194 687.8
- (8) **Slot Waveguide for a Phase Shifter based on Ferroelectric Materials**
P. Steglich, A. Mai, Ch. Mai, C. Dubourdieu, V. Deshpande, D.-J. Kim
IHP.499, EP-Patentanmeldung am 23.12.2020, AZ: EP 2021 69 06.6
- (9) **Fehlertolerante sequenzielle Speicherzelle und Testverfahren für die Speicherzelle**
St. Zeidler, O. Schrape, A. Breitenreiter, M. Krstic
IHP.504, DE-Patentanmeldung am 30.12.2020, AZ: DE 10 2020 135 080.5

Wegbeschreibung zum IHP

Directions to IHP

Per Flugzeug

Vom Flughafen Berlin-Brandenburg (BER) mit dem Regional-Express RE7 (aus Dessau in Richtung Berlin Hauptbahnhof) bis Haltestelle Berlin Ostkreuz. Weiter mit Regional-Express RE1 Richtung: Frankfurt (Oder) bis Haltestelle Frankfurt (Oder) Bahnhof. Weiter mit der Straßenbahn STR 3 oder 4 (je nach Zeitplan) Richtung Markendorf bis Haltestelle Technologiepark, Fußweg 7 min bis IHP (Gesamtdauer: 1h 43 min).

Per Bahn

Von den Berliner Bahnhöfen Zoologischer Garten, Hauptbahnhof, Friedrichstraße, Alexanderplatz, Ostkreuz oder Ostbahnhof mit dem Regional Express RE 1 bis Frankfurt (Oder).

Per Auto

Über den Berliner Ring auf die Autobahn A 12 in Richtung Frankfurt (Oder)/Warschau; Abfahrt Frankfurt (Oder)-West, an der Ampel links in Richtung Beeskow und dem Wegweiser „Technologiepark“ folgen.

Per Straßenbahn in Frankfurt (Oder)

Ab Frankfurt (Oder) Bahnhof mit der Linie 4 in Richtung Markendorf Ort bis Haltestelle Technologiepark (13 Minuten).

By plane

From the airport Berlin-Brandenburg (BER) with the regional express RE7 direction: Dessau Hbf to stop Berlin Ostkreuz. Continue with Regional-Express RE1 direction: Frankfurt (Oder) to stop Frankfurt (Oder) Bahnhof. Continue with Tram STR 3 or 4 (depending on schedule) direction: Markendorf to stop: Technologiepark, walk 7 min to IHP (total time: 1h 43 min).

By train

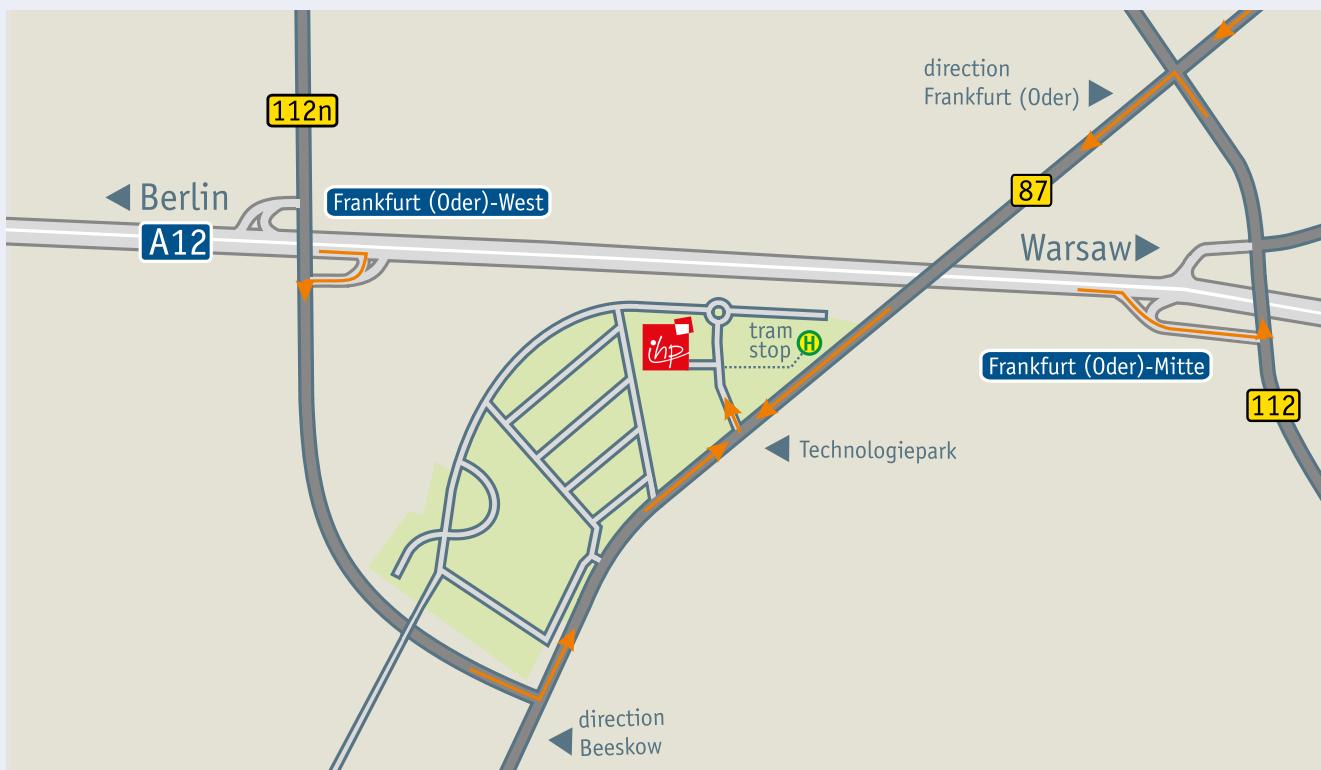
Take the train RegionalExpress RE 1 from the Berlin railway stations Zoologischer Garten, Hauptbahnhof, Friedrichstraße, Alexanderplatz, Ostkreuz or Ostbahnhof to Frankfurt (Oder).

By car

Take the highway A 12 from Berlin in the direction Frankfurt (Oder)/Warschau (Warsaw); take exit Frankfurt (Oder)-West, at the traffic lights turn left in the direction Beeskow and follow the signs to "Technologiepark".

By tram in Frankfurt (Oder)

Take the Tram 4 from railway station Frankfurt (Oder) Bahnhof in the direction Markendorf Ort to Technologiepark (13 minutes).



Impressum

Imprint

Herausgeber Publisher

IHP GmbH – Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik |
Innovations for High Performance Microelectronics

Postadresse Postbox

Postfach 1466 | Postbox 1466, 15204 Frankfurt (Oder),
Deutschland | Germany

Besucheradresse Address for Visitors

Im Technologiepark 25, 15236 Frankfurt (Oder),
Deutschland | Germany
Telefon | Fon: +49 335 56250, Telefax | Fax: +49 335 5625300
E-Mail: ihp@ihp-microelectronics.com,
Internet: www.ihp-microelectronics.com

Redaktion Editors

Dr. Anna Sojka-Piotrowska

Gestaltung und Satz Design and layout

Pitch Black Graphic Design, Köpenicker Straße 147, 10997 Berlin
E-Mail: info@pitchblackgraphicdesign.com
Internet: www.pitchblackgraphicdesign.com

Druck Printing

Chromik Offsetdruck, Marie-Curie-Straße 8, 15236 Frankfurt (Oder)
Telefon | Fon: +49 335 5212773, Telefax | Fax: +49 335 5212776
E-Mail: kai.chromik@online.de
Internet: www.chromikoffsetdruck.de

Bildnachweise Photo credits

IHP, Patrick Pleul, Winfried Mausolf, Frederic Schweizer, Uwe Steinert, Fraunhofer Mikroelektronik, BTU Cottbus-Senftenberg,
Tobias Tanzyna Fotografie, Thomas Ritter Fotografie

Bilderklärungen Photodescriptions

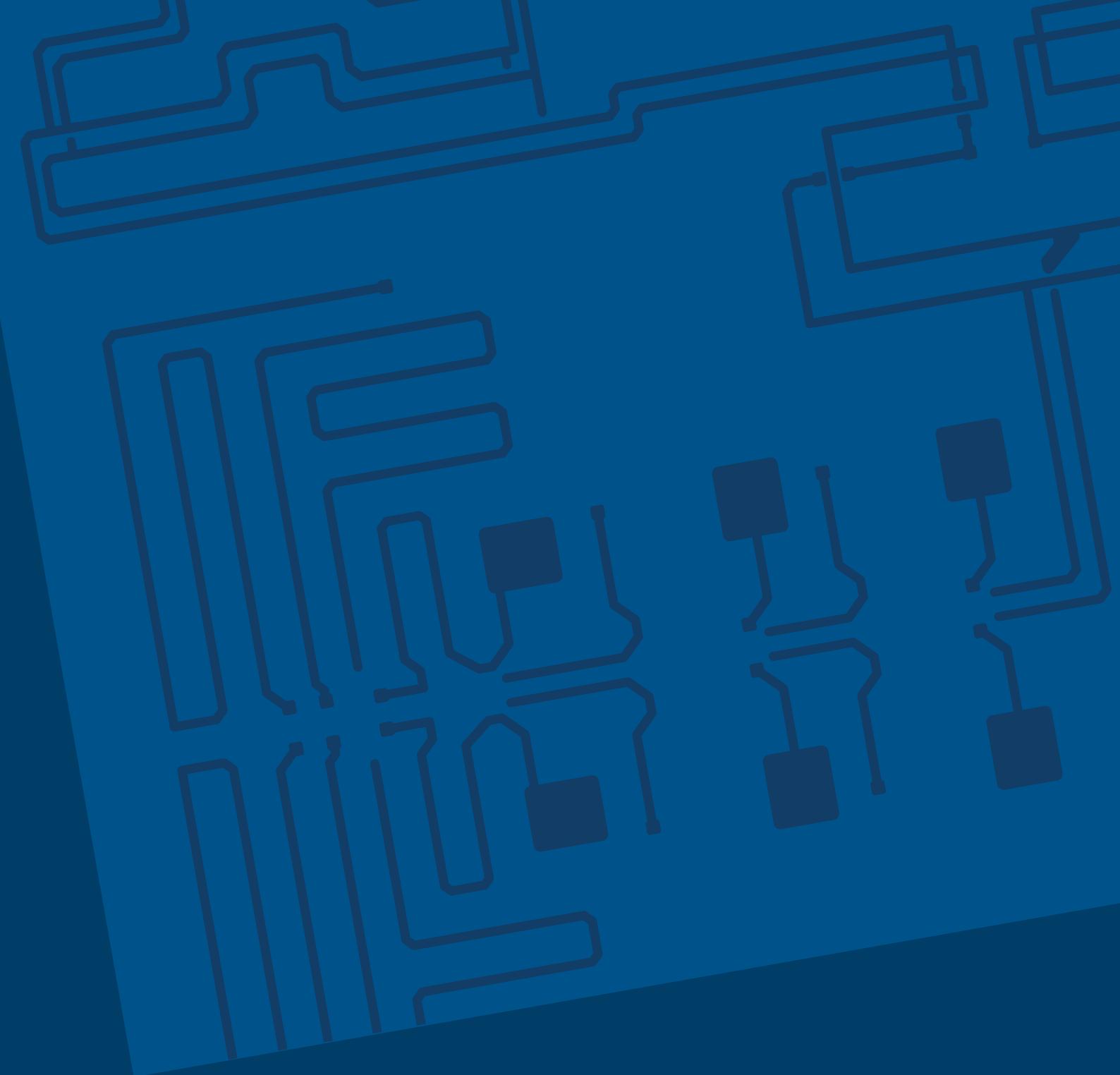
Umschlag Cover: Chip-Foto einer integrierten 160 GHz-Radar Sende- und Empfangsschaltung Chip photo of 160 GHz radar transmit and receive integrated circuit

Umschlaginnenseite Inside Cover: IHP-Gebäude IHP building

S. 2: Vorwort Foreword: Prof. Dr. Gerhard Kahmen (l.),
Manfred Stöcker (r.)

S. 17: Forschung des IHP IHP's Research: Optischer Aufbau für kryogene Photolumineszenz Optical setup for cryogenic photoluminescence

S. 43: Ausgewählte Projekte Selected Projects: Das Impulse Radio Ultrabreitband Verfahren – UWB - ein hochgenaues, dreidimensionales Lokalisierungssystem für Drinnen und Draußen. The impulse radio ultra-wideband method – or UWB – a high-precision, three-dimensional localisation system for indoor and outdoor applications.



Leibniz Institute
for high
performance
microelectronics

**IHP GmbH – Innovations
for High Performance Microelectronics**
Leibniz-Institut
für innovative Mikroelektronik

Im Technologiepark 25
15236 Frankfurt (Oder)
Germany
Telefon +49 335 5625 0
Fax +49 335 5625 300

ihp@ihp-microelectronics.com
www.ihp-microelectronics.com