

- Rynek»
- Prezentacje»
- Półprzewodnikowa rewolucja w domenie open source

# Półprzewodnikowa rewolucja w domenie open source

Środa, 01 Maj 2024



Leibniz Institute  
for High  
Performance  
Microelectronics

Hasło „open source” kojarzy się większości osób przede wszystkim z oprogramowaniem tworzonym przez pasjonatów informatyki i udostępnianym za darmo ogólnoswiatowej społeczności użytkowników. Nie mniej interesująca jest jednak grupa otwartych rozwiązań sprzętowych, czyli open source hardware – mało kto wie, że istnieją już bezpłatne pakiety oprogramowania przeznaczonego do projektowania układów scalonych, w tym nawet układów ASIC o paśmie rzędu setek GHz. Jeszcze większym zaskoczeniem może być fakt, że fabryki półprzewodników otwierają swoje podwoje także dla małych firm, partnerów akademickich, a nawet... odbiorców prywatnych!

Pomimo istnienia pewnego wsparcia open source hardware (takiego jak: obwody, układy, elementy i przyrządy elektroniczne), domena ta nie doczekała się tak szerokiego upowszechnienia efektów pracy twórców, jak miało to miejsce w przypadku open source software.

Pewną formę pośrednią stanowi oprogramowanie open source EDA (Electronic Design Automation), którego sztandarowym przykładem jest KiCAD do projektowania obwodów drukowanych. Inny przykład to kody źródłowe w języku opisu sprzętu HDL (Hardware Description Language), które – choć zbliżone w formie do kodów oprogramowania – służą do opisu oraz testowania układów/systemów elektronicznych (w zdecydowanej większości cyfrowych). Opisana wyżej dysproporcja między oprogramowaniem a sprzętem wynika głównie z ograniczenia dostępności zasobów i możliwości produkcyjnych (produkcji i montażu płytek PCB w przypadku elektroniki dyskretniej czy produkcji układów scalonych w warunkach laboratoryjnych, tzw. clean room) oraz całego środowiska testowego. Ze względu na wspomniane przeszkody trudniej jest tutaj uzyskać zamierzony efekt finalny, aby doświadczyć emocji związanych z jego użytkowaniem lub – co ważniejsze – móc zaoferować ów działający i sprawdzony projekt innym w domenie open source.

Od końca pierwszej dekady XXI wieku nastąpił dynamiczny rozwój projektów open source hardware. Choć popularność platform, takich jak Arduino czy tych opartych na rozwiązaniach firmy ST Microelectronics, pozwoliła na rozpowszechnienie wiedzy oraz projektów w obrębie open source hardware, to prawdziwy kamień milowy stanowiło pojawienie się RISC-V – wolnej architektury RISC niezależnej od rynkowych potentatów. Kluczem do sukcesu RISC-V okazała się modularność i dostępność narzędzi do tworzenia oraz testowania aplikacji, które składają się na cały ekosystem RISC-V. Wciąż nierozwiązany pozostawał jednak problem dostępu do środków produkcji, które w przypadku rozwiązań opartych na krzemie były poza zasięgiem zwykłego śmiertelnika, głównie ze względu na barierę cenową.

Równolegle, aby przyspieszyć innowacje w branży elektronicznej, amerykańska agencja rządowa DARPA (Defense Advanced Research Agency) ogłosiła w czerwcu 2017 roku utworzenie Electronics Resurgence Initiative (ERI). ERI ze swoim ogromnym finansowaniem wezwała w 2018 roku do opracowywania innowacyjnych podejść do materiałów, projektów i architektur mikrosystemów. Tak powstał projekt

OpenROAD atakujący bariery kosztów i wiedzy specjalistycznej, które blokują wykonalność projektowania sprzętu w zaawansowanych technologiach. OpenROAD dążył do opracowania narzędzi open source umożliwiających autonomiczne, 24-godzinne generowanie układów scalonych na podstawie opisu w języku HDL oraz specyfikacji.

Sytuacja zmieniła się diametralnie w lipcu 2020 roku, kiedy to do domeny publicznej został po raz pierwszy w historii uwolniony PDK (Process Design Kit) SKY130 firmy Skywater. Na PDK składa się kompletny zestaw informacji na temat przyrządów półprzewodnikowych oraz wytycznych do projektowania w zakresie danego procesu technologicznego. Można w nim znaleźć między innymi modele urządzeń, statystyki parametrów modeli, zasady projektowania, specyfikację procesu: poziomy domieszkowania krzemu, geometrię przyrządów, zasady DRC (Design Rule Check). W przypadku bloków cyfrowych dostarczane są biblioteki standard cell, które zawierają w sobie opisy behawioralne HDL, opisy w języku SPICE, charakterystyki czasów propagacji oraz strat mocy i layouty bramek logicznych. Wraz z przeniesieniem do domeny open source informacji o procesie SKY130 amerykańska firma eFabless podjęła się zadania dostarczenia użytkownikom zautomatyzowanych narzędzi open source oraz ustrukturyzowania informacji dostarczonej przez Skywater, aby była ona kompatybilna z użytymi narzędziami programowymi. Tak powstał OpenLane (bazujący w 80% na OpenROAD), czyli zestaw darmowych programów oraz skryptów konfiguracyjnych, który dostarcza użytkownikowi możliwość wygenerowania dokumentacji produkcyjnej w formacie GDSII, na podstawie behawioralnego opisu układu cyfrowego w języku Verilog. Dodatkowo eFabless zajęła się zarządzaniem sponsorowanymi przez Google cyklami produkcyjnymi OpenMPW (Open Multi Project Wafer) w technologii SKY130. W ramach programu OpenMPW użytkownicy otrzymywali do dyspozycji 10 mm<sup>2</sup> na waflu krzemowym, w postaci modułu wewnątrz układu scalonego o wdzięcznej nazwie Caravel. Opisana metoda, oprócz dostarczenia użytkownikowi platformy mikroprocesorowej w postaci Pico RISC-V, magistrali Wishbone oraz wewnętrznego analizatora logicznego, wyręcza projektanta w żmudnej pracy projektowania padringu oraz sieci dystrybucji zasilania. Jedynym wymaganie, aby otrzymać dostęp do krzemu, było przekazanie do domeny open source projektu zgłoszonego do produkcji w ramach OpenMPW.

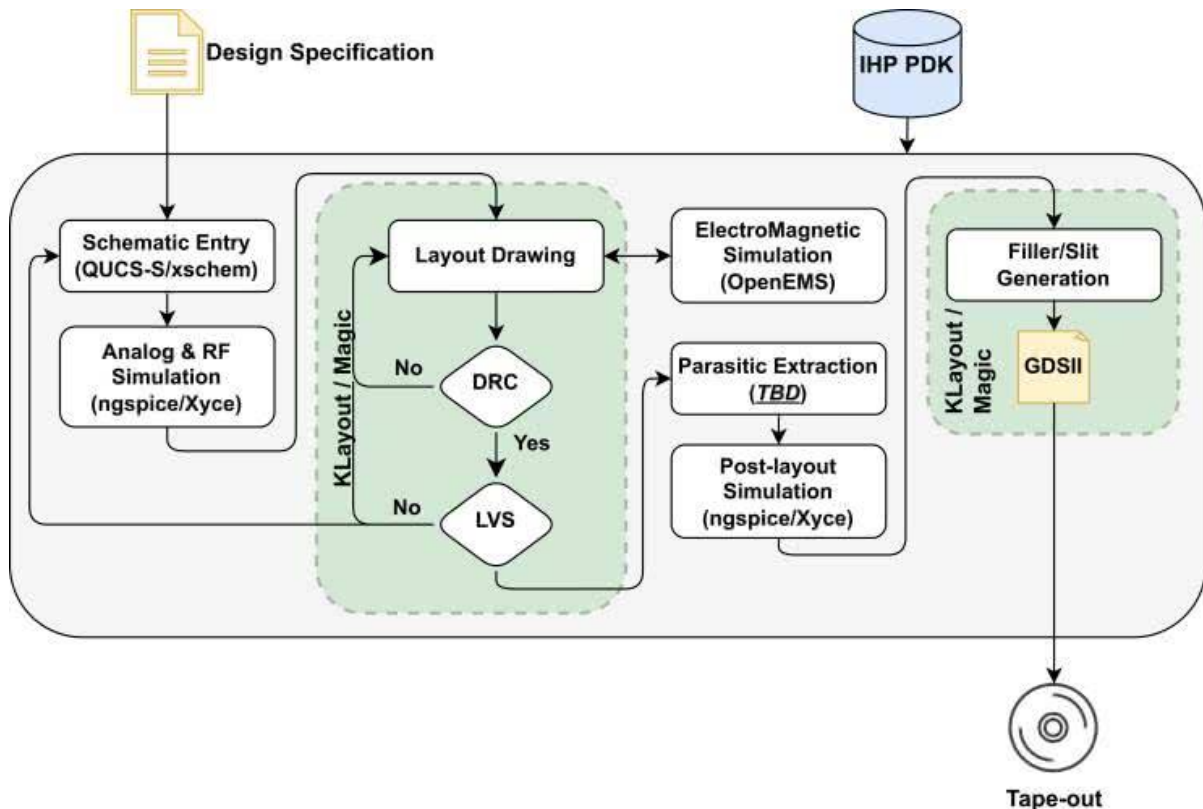
W tym miejscu warto nacisnąć STOP i zastanowić się nad tym, co wydarzyło się w 2020 roku. Otóż jeden z pracowników Google, Tim Ansell, przekonał swojego pracodawcę do słuszności finansowania Open Silicon Initiative. Jednym z kluczowych argumentów była prognoza podaży specjalistów w dziedzinie mikroelektroniki na rynku pracy pod koniec dekady 2020...2030, która ujawniła bardzo duże niedobory kadrowe, a także problemy strukturalne w kształceniu nowych pracowników. Ponadto trend technologiczny zakładał zastosowanie wyspecjalizowanych obwodów obliczeniowych, które ktoś musi zaprojektować i zweryfikować, a rosnący w związku z tym nakład czasu i zasobów to kolejny powód bólu głowy menedżerów. W Google wdrożono więc pomysł, którego celem było zainteresowanie ludzi mikroelektroniką, przy jednoczesnym drastycznym obniżeniu bariery dostępu. Cała prezentacja Tima jest dostępna na kanale YouTube Fundacji FOSSi (Free Open Source Silicon) wraz z innymi interesującymi wykładami osób zaangażowanych w Open Source Silicon.

W 2021 roku na tej samej zasadzie sfinansowany został projekt przeniesienia informacji o procesie Global Foundries GF180 do domeny publicznej. Do chwili obecnej eFabless ma za sobą organizację ośmiu edycji OpenMPW w technologii SKY130 oraz dwóch w technologii GF180, a publiczne repozytorium projektów na stronach eFabless liczy ponad 1000 układów, zarówno analogowych, jak i cyfrowych.

W kalendarzu najważniejszych wydarzeń związanych z Open Source Silicon należy odnotować datę 20 lutego 2023 roku, kiedy to niemiecki instytut badawczy IHP (Leibniz Institute for High Performance Microelectronics) upublicznił informacje na temat procesu BiCMOS SG13G2, który bazuje na ultraszybkich tranzystorach HBT pracujących w zakresie setek GHz. Założeniem IHP jest rozwój Open Source PDK i narzędzi EDA głównie pod kątem projektowania układów analogowych z silnym naciskiem na RF (Radio Frequency). Obecnie IHP oferuje zestaw standardowych bramek w technologii 130 nm CMOS (za pomocą których można syntetyzować obwody cyfrowe), wsparcie edytorów schematów (takich jak xschem i Qucs-S), modele SPICE urządzeń półprzewodnikowych kompatybilne z symulatorami ngspice i Xyce, przykłady układów urządzeń półprzewodnikowych

w formacie GDSII, czy też eksperymentalne i stale rozwijane wsparcie projektowania układów za pomocą Klayout.

Kompletna propozycja zestawu narzędzi Open Source do projektowania układów analogowych z uwzględnieniem pasma RF jest pokazana na rysunku 1.



Rysunek 1. Zestaw narzędzi open source do projektowania układów analogowych z uwzględnieniem pasma RF

Oprócz powyższych informacji, publiczne repozytorium IHP-Open-PDK na platformie GitHub zawiera również wyniki i warunki pomiarów urządzeń półprzewodnikowych, umożliwiając rozwój i weryfikację modeli przez społeczność Open Source Silicon.

Atrakcyjność i unikalność IHP open source PDK polega na zapewnieniu pełnego i darmowego zestawu narzędzi do tworzenia projektów z możliwością produkcji na linii pilotażowej IHP. Instytut oferuje usługę produkcji układów BiCMOS w swoich laboratoriach clean room w oparciu o własne kwalifikowane technologie od 2001 roku, a technologie BiCMOS IHP są jednymi z najbardziej wydajnych na świecie. IHP umożliwia produkcję niewielkich serii układów scalonych na waflach krzemowych o średnicy 200 mm oraz szerokie możliwości pomiarów i charakteryzacji struktur półprzewodnikowych, co jest szczególnie atrakcyjne z punktu widzenia partnerów akademickich oraz przemysłowych o niskich wymaganiach ilościowych.

Instytut planuje uruchomić pierwsze darmowe programy MPW z zastosowaniem IHP open source PDK od grudnia 2024 roku, a szczegółowy opis rozwiązań oraz planów rozwijanych w IHP zostanie zamieszczony w kolejnym artykule.

dr Krzysztof Herman, dr Anna Sojka-Piotrowska

[herman@ihp-microelectronics.com](mailto:herman@ihp-microelectronics.com), [sojka@ihp-microelectronics.com](mailto:sojka@ihp-microelectronics.com)

IHP GmbH – Leibniz Institute for High Performance Microelectronics, Frankfurt (Oder), Niemcy

[www.ihp-microelectronics.com](http://www.ihp-microelectronics.com)

#### **Ważne linki:**

- <https://github.com/IHP-GmbH/IHP-Open-PDK>
- <https://fossi-foundation.org/>
- Free Silicon Foundation <https://wiki.f-si.org/>
- <https://efabless.com>
- <https://open-source-silicon.slack.com>