

Messverfahren zur Kontrolle tiefer Siliziumstrukturen für die 3D-Chip-Integration

J. Bauer*, F. Villasmunta*, F. Heinrich*, C. Villringer*, J. Reck**, S. Peters**, A. Treffer**, Chr. Kuhnt***, St. Marschmeyer****, O. Fursenko****, P. Steglich*,****, A. Mai*,****, S. Schrader*, M. Regehly*

* Technische Hochschule Wildau, Hochschulring 1, 15745 Wildau, Germany

** SENTECH Instruments GmbH, Schwarzschildstraße 2, 12489 Berlin, Germany

*** X-FAB MEMS Foundry GmbH, 99097 Erfurt, Haarbergstraße 67, Germany

**** HyPhoX – Photonic Integrated Biosensors, Hochschulring 1, 15745 Wildau, Germany

***** IHP – Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik, Im Technologiepark 25, 15236 Frankfurt(Oder), Germany

<mailto:jobauer@th-wildau.de>

Through Silicon Vias werden zur Herstellung von Durchkontaktierungen für eine 3D-Chiparchitektur benötigt. Die Vermessung solcher Strukturen erfolgt standardmäßig mit der Rastererelektronenmikroskopie. Für eine schnelle, zerstörungsfreie Analyse werden zwei optische Verfahren für die Messung der Tiefe der Vias und der Restmaterialien im Bodenbereich entwickelt, die auf Reflexion im UV/VIS- und im NIR-Spektralbereich basieren.

1 Einleitung

Die 3-D **Through Silicon Vias (TSV)** Integration ist eine moderne Technologie zur Erhöhung der Packungsdichte in der Mikroelektronik, Fluidik und Photonik. Das Ätzen von Vias, die Kontaktierung durch den Wafer mit Kupfer oder Wolfram, die Seitenwandpassivierung und die Entfernung von Restoxid in den Vias sind kritische Schritte der TSV-Integration [1]. In bisherigen Arbeiten [2-5] haben wir gezeigt, dass Aspektverhältnisse bis 35:1, Profile und Strukturbreiten einschließlich der Dimension von Scallops mittels Fouriertransformation der Reflexionsmessungen und auf Basis der Rigorous Coupled Wave Analysis (RCWA) Simulation [6] bestimmt werden können. In dieser Arbeit wird der durch Siliziumoxidschichten und eine erforderliche Seitenwandpassivierung (SiO_2) verursachte Restoxidabtrag an der Unterseite der Durchkontaktierungen zur Optimierung der Kontaktwiderstände untersucht.

2 Experiment

Abb. 1 zeigt den Querschnitt einer TSV-Struktur.

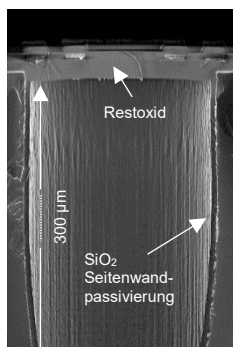


Abb. 1 Rastererelektronenmikroskopie (REM) Querschnitt einer typischen TSV-Struktur mit Restoxid und SiO_2 Seitenwandpassivierung.

Die Aufgabe besteht darin, die Dicke dieser Schichten im Via für die Restoxidentfernung durch Ätzprozesse zu messen und eine abschließende Kontrolle der Oxidentfernung am Via-Boden vor dem Auffüllen mit Metall durchzuführen. Wenn die Vias transparent sind, kann die Restoxidstärke durch Reflexionsmessungen bei kleiner Spotgröße oder durch Transmissionsmessungen durch die gesamte Via-Struktur mit einem Dünnschicht-Fit bestimmt werden. Bei den meisten Technologien sind die Durchkontaktierungen jedoch aufgrund der Rückseitenmetallisierung nicht transparent.

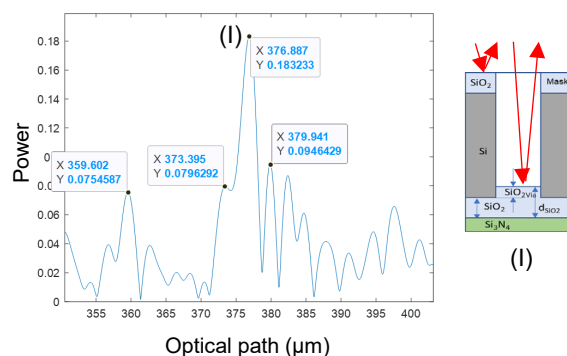
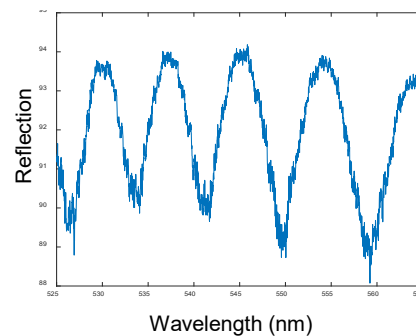


Abb. 2 Reflexionsmessungen (Probe der Abbildung 1) im VIS-Spektralbereich mittels Spektrometer (Ocean Optics HR4000) und die zugehörige Fourier-Transformation. Rechts die Illustration der Interferenz des Hauptpeaks (I) bei 376.89 µm.

In diesem Fall wird, wie in dieser Arbeit vorgeschlagen, mittels der Messung der reflektierten Strahlung vom Boden der Vias und einer Fourier-Transformation des gemessenen Spektrums die Restoxiddicke bestimmt. Beispiele der Rückseitenmessungen sind in den Abb. 2 für den VIS- und Abb. 3 für den NIR-Spektralbereich für die Struktur in Abb. 1 dargestellt. Die Peaks in der Fourier-Transformation entstehen durch Interferenzen verursacht durch die Topologien und Grenzflächen der Vias. Im NIR-Spektralbereich kann auf Grund der Transmission des Si-Bulk-Materials auch die Waferdicke gemessen werden (Peak (III) in Abb. 3).

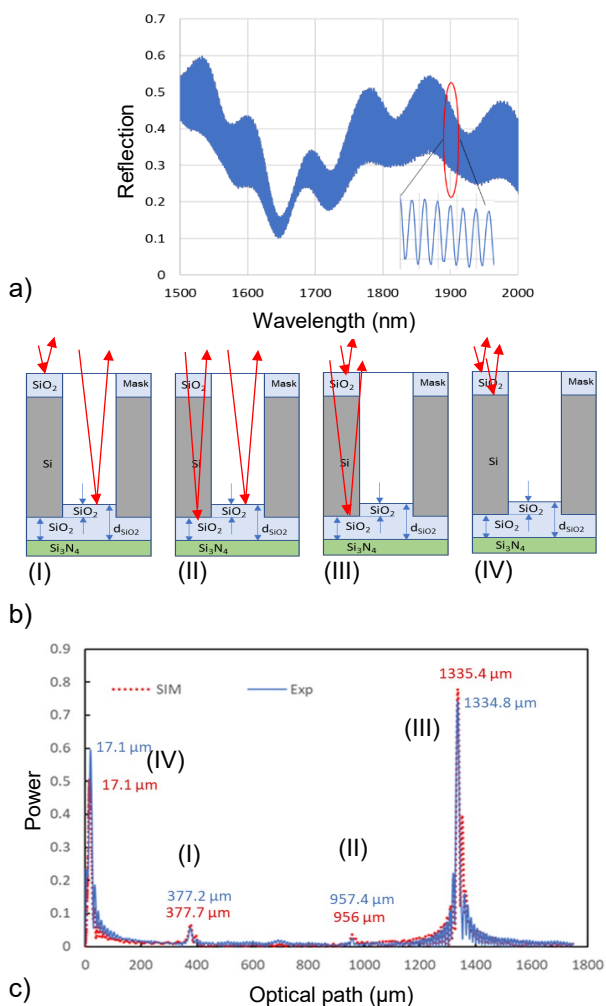


Abb.3 Reflexionsmessungen a) (Probe der Abbildung 1) im NIR-Spektralbereich mittels hochauflösendem Spektrometer (1 cm^{-1}), die zugehörige Fourier-Transformation c) und die Zuordnung der Interferenzen der Fourier-Peaks b). Die rote Kurve zeigt die Ergebnisse einer RCWA Simulation mit den REM-Messergebnissen (Waferdicke = $379 \mu\text{m}$, Restoxiddicke = $2.61 \mu\text{m}$, $\text{SiO}_{2\text{Mask}} = 11.5 \mu\text{m}$, $\text{Si}_3\text{N}_4 = 0.58 \mu\text{m}$, Viadurchmesser = $50 \mu\text{m}$).

3 Ergebnisse

Mittels Fouriertransformation der Reflexionsspektren können die Restoxide am Via-Boden bestimmt werden. Für die Dickenmessung wurde die „Integrale Fouriertransformation“ als genauere Methode

im Vergleich mit der „Schnellen Fourier-Transformation“ (FFT) verwendet. Durch RCWA-Simulationen [6] sowohl im VIS- als auch im NIR-Spektralbereich konnte die Verbesserung der Genauigkeit durch die integrale Fourier-Transformation nachgewiesen werden und es ergaben sich gute Übereinstimmungen mit den Experimenten. Bei der Berechnung der Fourier-Peaks in Abhängigkeit des optischen Weges ($n(\lambda)d$) wurde die Dispersion der Materialien mitberücksichtigt, wobei die Restoxiddicke aus der Verschiebung des Peaks (I) (s. Abb 2 und 3) der Fourier-Transformierten ermittelt wird. Die Restoxiddicken von ca. $0.5 \mu\text{m}$ - $1 \mu\text{m}$ am Boden der TSV konnten durch diese Methode mit Genauigkeiten von ca. 20% im Vergleich mit dem REM bestimmt werden. Einfluss auf die Toleranzen im Vergleich mit dem REM können durch die Technologietoleranzen und einem nicht ausreichendem Auflösungsvermögen der Spektrometer verursacht werden. Mit dem Versuchsaufbau konnten dicke Schichten (auch Waferdicken) und tiefe Gräben bis $750 \mu\text{m}$ gemessen werden.

4 Zusammenfassung

Es wurden optische Messmethoden im UV/VIS- und NIR-Spektralbereich zur Messung der Dicken von Restmaterialien am Boden von TSVs vorgestellt, die auch zur Prozesskontrolle für die Durchkontaktierungen für eine 3D-Chiparchitektur genutzt werden können. Für eine Methodenevaluierung wurden Dünnschichten am Boden und die Tiefe der TSVs vermessen und mit REM-Querschnittsmessungen verglichen.

Literatur

- [1] W. L. Loh, Q. Ren und K. J. Chui, „TSV Via Last Etch Integration Challenges and Etch Optimization,“ 17th Electronics Packaging Technology Conference, 2015.
- [2] O. Fursenko, J. Bauer, S. Marschmeyer, In-line through silicon vias etching depths inspection by spectroscopic reflectometry, Microelectronic Engineering 122 (2014) 25–28.
- [3] O. Fursenko, J. Bauer, S. Marschmeyer, H.-P. Stoll, Through silicon via profile metrology of Bosch etching process based on spectroscopic reflectometry, Microelectronic Engineering 139 (2015) 70–75.
- [4] O. Fursenko, J. Bauer, S. Marschmeyer, 3D Through Silicon Via profile metrology based on spectroscopic reflectometry for SOI applications, Proc. of SPIE Vol. 9890, 15-6, 2016.
- [5] J. Bauer, O. Fursenko, S. Marschmeyer, F. Heinrich, F. Villasmunta, C. Villringer, Ch. Zesch, and S. Schrader, Spectroscopic reflectometry for characterization of Through Silicon Via profile of Bosch etching process, Journal of Vacuum Science & Technology B 37, 062205 (2019); doi: 10.1116/1.5120617.
- [6] <https://unigit.net>