



ASSIC

Austrian Smart Systems Integration Research Center

Programm: COMET – Competence Centers for Excellent Technologies

Programmlinie: K1-Zentren

COMET Sub-projekt, Dauer und Projekttype:

Smart Semiconductor Process Development, 01/2015 – 12/2018, multi-firm

Raman Mikro-Spektrometrie als Schlüssel für Entwicklung und Prozesskontrolle in der modernen Halbleiterfertigung

Raman Mikro-Spektrometrie wurde als verlässliches Messwerkzeug für effiziente und zielgerichtete F&E in der Halbleiterprozessierung eingeführt. Sie ermöglicht eine präzise, kontaktlose Messung von mechanischem Stress in Halbleitermaterialien, sowie die Erkennung und Quantifizierung von Veränderungen in der Materialstruktur. Die Ergebnisse die im Rahmen dieses kooperativen COMET Projekts erreicht wurden sind ein wertvolles Werkzeug zur Optimierung der Halbleiterfertigung und für die Qualitätskontrolle.



Die Herausforderung

Getrieben von wirtschaftlichen Überlegungen und technischen Anforderungen dominieren derzeit die Erhöhung der Wafer-Durchmesser bei gleichzeitiger Verringerung der Substratdicken auf einige 10µm die F&E im Bereich Leistungshalbleiter. Dadurch werden mechanische Spannungen im Halbleiter ein zunehmend kritisches Problem, von einer Deformation der Wafer, und daraus resultierender praktischer Probleme in der Prozessierung und der Handhabung, bis zum Worst Case - dem Versagen des Bauelements im Einsatz. In Kombination mit der Vielzahl der Belastungen in der Fertigung, wie z.B. Schicht-Abscheidungen und Strukturierungen, dem Wafer-Dünnen sowie dem abschließenden Chip-Vereinzelungsprozess, erfordert dies dringend Methoden zur raschen, absoluten und berührungsfreien Messung mechanischer Spannungen in Silizium.



Von der Theorie zum realen Einsatz

Das Forschungsteam des Kompetenzzentrums ASSIC rund um DI Martin De Biasio und Dr. Martin Kraft von CTR und Dr. Michael Roesner

von Infineon Technologies Austria identifizierten Raman Spektroskopie (RS) als eine alle Anforderungen erfüllende optische Messmethode. Die Nutzbarkeit von RS zur Detektion mechanischer Spannungen in diversen Materialien, inklusive Silizium, ist ansich bekannt. Trotz der enormen Vorteile dieser schellen, zerstörungsfreien und kontaktlosen optischen Methode ist RS allerdings bislang in Halbleiterfabriken (noch) nicht als zuverlässige Methode akzeptiert. Das Kernziel dieses Projekts war somit, RS als zuverlässiges Werkzeug für die Halbleiter-Prozessentwicklung, -optimierung und -kontrolle zu validieren und in Folge zu etablieren.

Die wichtigste RS-Messgröße zur Ermittlung von Spannungen in Silizium ist die relative Verschiebung eines dreifach degenerierten, Raman-aktiven Si Phononen-Peaks bei 520.5 cm^{-1} um $\sim 1.95 \text{ cm}^{-1}/\text{GPa}$. Zugdehnung verschiebt die Bande dabei in Richtung niedrigerer Frequenzen, während komprimierend wirkende Belastungen die Mittenfrequenz erhöhen (siehe Abb. 1.). Für die praktische Implementierung wesentliche Fragestellungen beinhalteten *i*) die Stabilität und Sensitivität der Messungen, *ii*) die Auswirkung der Wellenlänge des Anregungslasers auf die Eindring- und Informationstiefe, und die

iii) Zuverlässigkeit der Messungen, speziell bei Anwendung auf ganze Wafer und unter Produktionsbedingungen. Zur Abklärung wurden mit dem verwendeten Raman Mikro-Spektrometrie Laborsystem (Renishaw InVia) zunächst Messungen an einer spannungsfreien Siliziumprobe unter perfekt kontrollierten Bedingungen in einer speziell entwickelten Biegevorrichtung durchgeführt. Mit einer analytischen Genauigkeit von ± 25 MPa und einer exzellenten Übereinstimmung der gemessenen Werte mit aus analytischen Berechnungen und FEM-Simulationen abgeleiteten Spannungen hat die Methode alle Erwartungen übertroffen. Gleichzeitig erwies sich die Temperatur als wichtige mögliche Störgröße, die für zuverlässige und sensitive Messungen möglichst konstant gehalten werden muss.

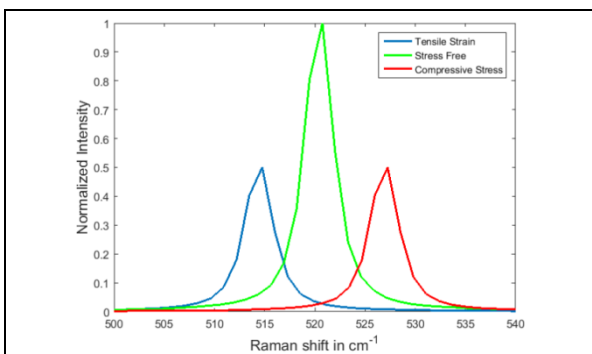


Abb. 1: Stress-abhängiger Raman Si-Peak

Die optimierte und validierte Methode wurde in Folge als Werkzeug verwendet, um eine Reihe von Forschungsaktivitäten im Bereich der Halbleiterherstellung zu unterstützen. Ein aktueller Forschungsschwerpunkt ist der Einfluss der Oberflächenbehandlung auf Spannungen. Bislang nur indirekt messbar, zeigten die mittels RS direkt gemessenen, absoluten Spannungen einen deutlichen Einfluss der verwendeten Prozessmethoden und -Parameter. Dieser Prozessschritt kann Oberflächen mit bis zu 250 MPa belasten, auch wenn vermeintlich sichere Standard-Prozessparameter verwendet werden. Zudem zeigten Art und Dosis der im Material vorhandenen Dotierstoffe einen überraschend großen Einfluss – eine Feststellung, die nun entsprechende weitere Materialforschung nach sich zieht.

Ein anderer interessanter Effekt konnte in den Raman-Spektren mechanisch gesägter Proben beobachtet werden. Es wurden Silizium-Metaphasen gefunden (siehe Abb. 2), was auf eine substanzielle Veränderung der kristallinen Struktur hinweist – vermutlich in Folge der hohen Drücke, die während des Trennens mittels Diamantsäge in den obersten Materialschichten auftreten.

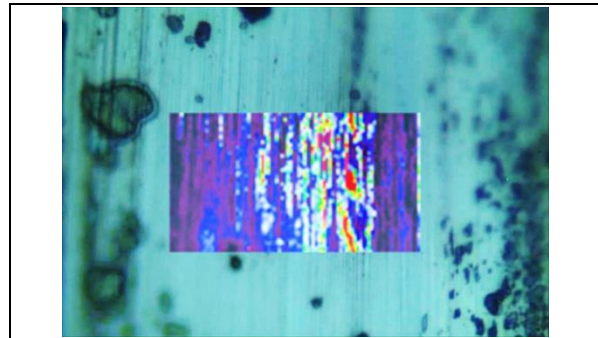


Abb. 2: Kristallines Silizium (blau), überlagert mit Silizium-Metaphasen (rot) die durch den hohen Druck im Schneideprozess entstanden sind

Auswirkungen

Mit der Einführung der Raman Spektroskopie als zerstörungsfreie, verlässliche, schnelle und kontaktlose Methode zur direkten Charakterisierung von Halbleitern und deren Fertigungsprozessen haben CTR und Infineon ein Messwerkzeug etabliert, das Messungen von mechanischen Stressbelastungen vom kleinem Maßstab (z.B. bei Schnittkanten) bis zu gesamten Siliziumwafern sichtbar machen kann. Das Messsystem kann sowohl Druck- als auch Zug-Belastungen von 0 MPa bis zum Bruch des Materials mit einer analytischen Genauigkeit von ± 25 MPa detektieren und quantifizieren und hat damit einen direkten, praktischen Einfluss auf die industrielle Qualitäts- und Prozesskontrolle. Zudem stellt sie wichtige, zuverlässige Informationen bereit, die von Forschern und Ingenieuren für die Optimierung der Halbleiter-Herstellungsprozesse benötigt werden. Basierend auf diesen Erkenntnissen ist zudem geplant, in Zukunft auch weitere, zukunftssträchtige Halbleitermaterialien wie Siliziumkarbid (SiC) zu untersuchen.

Kontakt und Information

K1-Zentrum ASSIC

CTR Carinthian Tech Research AG
 Europastraße 12, 9524 Villach
 T +43 (0) 4242-56300-0
 E info@ctr.at, www.ctr.at

Projektkoordinator
 Dr. Martin Kraft

Project partners

Organisation	Land
Infineon Technologies Villach	Österreich

Further information on COMET – Competence Centers for Excellent Technologies: www.ffg.at/comet

This success story was provided by the consortium leader/centre management for the purpose of being published on the FFG website. FFG does not take responsibility for the accuracy, completeness and the currentness of the information stated.