

# Laser-Akustische Mikroskopie in der Halbleiterfertigung

Thomas WINDISCH<sup>\*,\*\*</sup>, Robert KUSCHMIERZ<sup>\*\*</sup>, Matthias LIPPMANN<sup>\*\*</sup>,  
Bernd KÖHLER<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup> FhG-IZFP Dresden (Maria-Reiche-Str.2, 01109 Dresden)

<sup>\*\*</sup> TU Dresden (Helmholtzstr. 18, 01069 Dresden)

thomas.windisch@izfp-d.fraunhofer.de

**Kurzfassung.** Hochauflösende akustische Prüfmethode setzen meist ein direktes Ankoppeln eines Sensors an die Oberfläche des Prüflings oder das Arbeiten in Immersionstechnik voraus. Ist jedoch der Kontakt zu fremdartigen Stoffen technologiebedingt nicht möglich, so muss auf die Prüfung mit Ultraschall verzichtet oder der Prüfling, falls möglich, einem zusätzlichen Reinigungsprozess unterzogen werden. Der laserbasierte Ultraschall verbindet die Vorteile der kontaktlosen Arbeitsweise optischer Systeme mit den bekannten Stärken der Ultraschallmethoden. Großer Klärungsbedarf besteht in der Eignung laser-akustischer Systeme dicht an der Auflösungsgrenze mechanischer Wellen, mit der man z.B. bei der Prüfung 3D-integrierter Packages der Halbleiterindustrie konfrontiert ist. Ergebnisse aus skalierten Voruntersuchungen deuten auf signifikantes Potential zur Prüfung verdeckter mikroskopischer Strukturen.

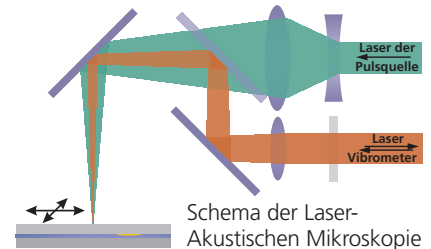
Die Erzeugung hochfrequenter Schallwellen erfolgt durch einen Anregungslaser unter Nutzung des thermoelastischen Effektes. Die sich dadurch im Volumen des Prüflings ausbreitenden Schallwellen werden an Materialübergängen in ihren Signaleigenschaften verändert und reflektiert. Schließlich treffen diese auf die Oberfläche des Prüflings an der sie mit einem zweiten Lasersystem in eine der Auslenkung proportionalen Spannung transformiert wird. Damit ergibt sich ein geschlossener Signalweg dessen Übertragungseigenschaften von den mechanischen Materialeigenschaften sowie Ort und Art möglicher Streukörper bestimmt wird. Damit erhält man ein A-Bild das dem kontaktierender Ultraschallmethoden entspricht. Wird nun der Messpunkt rasterartig über die Oberfläche des Prüflings geführt, lassen sich B- und C-Bilder des Probenvolumens erstellen.

Entscheidend für die Qualität der Bildgebung ist nicht nur die gewählte Wellenlänge und Modulation des Anregungslasers, sondern vielmehr das thermoelastische Feld der Anregungszone. Unter Zuhilfenahme der halbanalytischen Beschreibung des Quellterms konnte die Anregung hinsichtlich der akustischen Schallemission optimiert werden. Hier zeigen Simulationsrechnungen den drastischen Einfluss der gewählten Quellfunktion auf die zu erwartende Abbildungsqualität.

# Laser-Akustische Mikroskopie in der Halbleiterfertigung

## Prinzip der Laser-Akustischen Mikroskopie

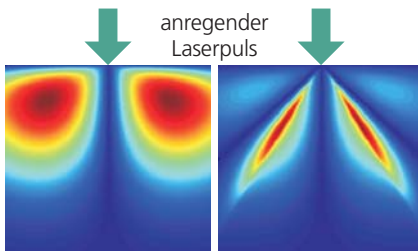
- thermoelastische Anregung akustischer Wellen im Prüfling
- Empfang der Schallwellen als Oberflächenauslenkung (Laser-Vibrometrie)
- keine Immersion oder Koppelfluid nötig → keine Verunreinigung der Probe
- funktioniert in Luft, unter Schutzgasatmosphäre oder Vakuum



## Schallfeldoptimierung thermoelastischer Quellen

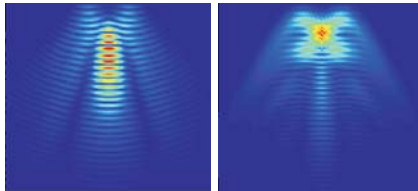
### Ausgangszustand Punktquelle

- Berechnung des Realteils der lokalen Teilchenverschiebung
- seitliche Schallkonzentration transversal stark ausgeprägt
- kein senkrechte Anregung → keine Abbildung möglich



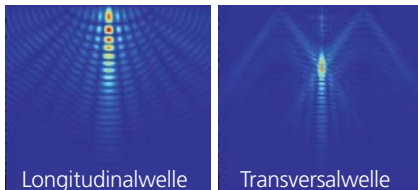
### Natürlicher Fokus Kreisquelle

- Überlagerung mehrerer Quellwirkungen
- deutliche senkrechte Anteile
- diffuse Fokusbildung im Volumen der Probe → schlechte Abbildung



### Transversal optimierte Quellverteilung

- scharfe transversale Fokusbildung im Volumen der Probe
- Linienfokus der longitudinalen Komponenten → gute Abbildung der Fehler



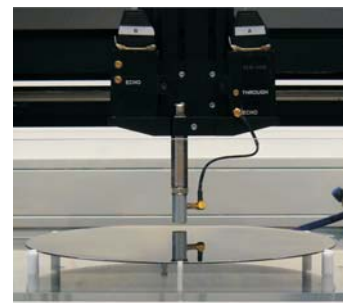
## Zusammenfassung

- zerstörungsfreie und berührungslose Prüfung
- Abbildung verdeckter Strukturen
- Anzeigen vergleichbar mit konventionellem SAM
- zusätzliche Fehleranzeigen
- Zeit-, Frequenz- und Dämpfungsmessung

## Messung an Bonded Wafers

### Akustische Mikroskopie (SAM)

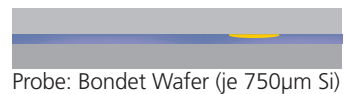
- Immersion - Prüfling befindet sich in Wasser zur akustischen Ankopplung
- Prüfkopf tastet Prüfling ab
- Zeitpunkt und Amplitude der Reflexionen (Echos) führen zur Bildgebung



Wafer im Ultraschallmikroskop

### Prüfaufgabe

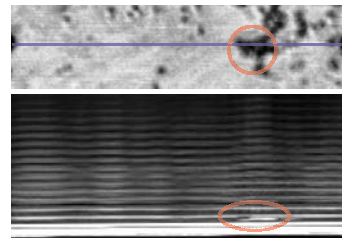
- Fehler im Bond-Interface abbilden



Probe: Bonded Wafer (je 750µm Si)

### Prüfergebnis (SAM)

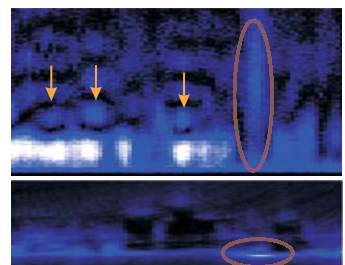
- C-Scan:
  - flächiges Fehlerabbild (Markierung)
  - Grau-Schattierung der Fläche
- B-Scan:
  - erhebliche Mehrfachreflexionen erschweren die Auswertung
  - klare Anzeige im Fehlerbereich
- oberflächennahe Bereiche schwer zu Prüfen (Übersteuerung)



SAM: C-Scan mit Position des B-Scans (oben), B-Scan (unten)

### Prüfergebnis Laser-Mikroskopie

- B-Scan:
  - deutliche Signalmerkmale am Ort des Fehlers (langes Ausklingen)
  - zusätzliche Anzeigen anderen Signalcharakters im Vergleich zu SAM
- F-Scan:
  - Analyse der Fourierkomponenten
  - hoher Abbildungscontrast des Fehlers
  - ermöglicht Aussagen über das Verhältnis von Schallgeschwindigkeit und Schichtdicke



Laser-Mikroskopie: B-Scan (oben) mit Hilbert-Filter, F-Scan (unten)