

## Herausforderungen in der Herstellung von Halbleiterelementen

# Berührungslose Handhabung sensitiver Oberflächen mittels Ultraschall

Betrachtet man die hohen Prozesskosten bis zur finalen Konfektionierung eines Silizium-Chips, so wird schnell klar, dass insbesondere die Vermeidung von Defekten durch eigentlich nebensächliche Handhabungsprozesse zu einer möglichst hohen Ausbeute führt.



Um sowohl die Generierung von Partikeln als auch die Beschädigung von sensiblen Strukturen zu verhindern, sollte jeder Kontakt zwischen Substrat und Handhabungswerkzeug vermieden werden. Die naheliegendste Lösung ist eine „klassische“ Luftlagerung unter Verwendung von entsprechend der Reinraumanforderungen gereinigter Druckluft. Dieses Verfahren bedeutet allerdings in zweierlei Hinsicht ein erhöhtes Risiko: Zum einen würden eventuell in der Druckluft noch vorhandene Partikel direkt auf das Substrat geblasen werden und zum zweiten bedeutet das aktive Einbringen eines Luftstromes die Unterbrechung bzw. Zerstörung der im Reinraum herbeigeführten laminaren Luftströmung.

## Ultraschall-Luftlager

Um diese Probleme bei der Handhabung von Halbleiterelementen zu beseitigen, wurde das Ultraschall-Lager entwickelt und verfeinert.

Jede Berührung zwischen Substrat und Handhabungs-Tool kann eine Partikelgenerierung hervorrufen, wie zum Beispiel bei Vakuum-/Sauggreifern, nicht aber mit neuen, alternativen Methoden (Bilder 1 und 3). Wenn Verunreinigungen zwischen Prozessen transportiert und während der Produktion entdeckt werden, können sie im schlimmsten Fall den Verlust eines gesamten Produktions-Batches bedeuten – und damit für den Hersteller einen erheblichen finanziellen Schaden verursachen.

### Achtung, hochsensible Strukturen!

Prozessierte Wafer (Bild 3) bzw. Chips enthalten hochsensible Strukturen, die durch Berührung bzw. mechanische Belastung beschädigt werden können. Den Herstellern entstehen unnötige Kosten, weil trotz großer Sorgfalt ein gewisser Prozentsatz der auf den Wafern

hergestellten Chips nicht funktioniert. Deshalb besteht ein hohes Interesse daran, die Ursachen solcher Ausbeuteprobleme abzustellen.



Bild 1: MicroLevi-Greifer

Das für stabile Handhabungsprozesse verwendete Ultraschall-Luftlager beruht nicht auf einem akustischen, sondern auf einem strömungsmechanischen Effekt (Bild 4). Durch die sehr schnelle zyklische Kompression und Dekompression des im Spalt vorhandenen Gases entsteht primär aufgrund der Trägheit des Gases ein Überdruck im Spalt. Auf diesem „Luftkissen“ schweben die ansonsten unbeeinflussten Substrate. Für die Ultraschall-Lagerung ist also in jedem Fall ein gasförmiges Medium notwendig. Meist ist dies Luft, aber auch andere Prozessgase sind möglich.

**Handhabung von dünnen Wafern**

Die Wafer werden immer dünner und damit eine zunehmende Herausforderung für die Handhabungstechnik. Idealerweise werden diese großflächigen, sehr dünnen Substrate mit einem homogenen Druckfilm zum Schweben gebracht, um sie nicht zu beschädigen. Dies leistet

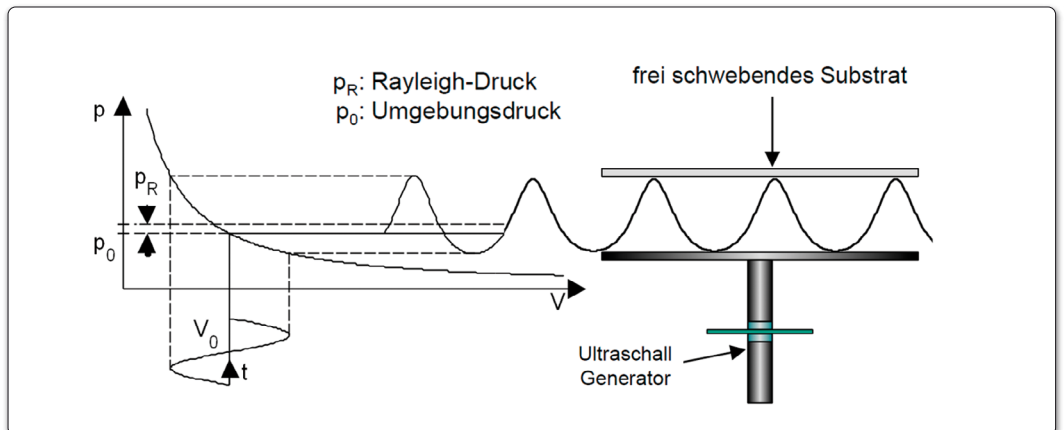


**Bild 2: Wafer-Nahaufnahme**



**Bild 3: Wafergreifer mit Double-Paddle**

die berührungslose Handhabung mit Ultraschall. Durch eine gezielte Auslegung der schwingenden Fläche, der sogenannten Sonotrode, wird mittels einer Schwingungssimulation die notwendige Sonotroden-Geometrie ermittelt, die eine möglichst gleichförmige Eigenform der Sonotrode erzeugt. In Bild 6 ist das Ergebnis einer solchen Simulation für das Paddle eines Wafer-Greifers (vgl. Bild 3) dargestellt. Die roten und blauen Bereiche stellen jeweils Schwingungsmaxima und -minima dar. Die grünen Bereiche sind „Nulldurchgänge“ –



**Bild 4: Druckkurven**

also Orte an denen die Sonotrode nicht schwingt. Ziel der Schwingungssimulation ist immer eine sehr gleichmäßige Verteilung des Schwingungsmusters, da hierdurch eben auch eine sehr gleichmäßige Kraftverteilung sichergestellt wird. Mit einer anregenden Amplitude von nur 4...5  $\mu\text{m}$  und einer Leistung von wenigen Watt kann so ein Luftspalt von 50 bis 150  $\mu\text{m}$  unterhalb des Wafers erzielt werden.

Die Oberfläche des Wafers wird dabei weder berührt noch wird die laminare Strömung im Reinraum beeinflusst. Lediglich horizontale Beschleunigungskräfte wie sie beim

Zuführen in die verschiedenen Prozesse auftreten, müssen bei Wafers durch entsprechende Side-Stops aufgenommen werden. Hierbei ist jedoch keine Klemmung mit Kraft auf die Kanten notwendig. Eine leichte Berührung reicht, um die Bewegung bzw. Rotation zu stoppen.

**Komplett berührungslose Handhabung von Dies**

Während die Handhabung von Wafers zwischen den verschiedenen Prozessen meist von unten realisiert wird, ist für die Handhabung von Halbleiter-Dies meist ein Top-side-Handling notwendig, vgl. Bild 1.

Auch hier bietet die Ultraschalllagerung eine energieeffiziente und zudem bis zu einer Größe von ca. 20 x 20 mm komplett berührungsfreie Lösung.

Für die Handhabung von oben werden die abstoßenden Kräfte der Ultraschallschwingung mit einem stetigen Luftsog (Unterdruck) nach oben kompensiert. So wird ein Kräftegleichgewicht zwischen Gewichtskraft des Dies, Ultraschall-Druck und nach oben saugendem Unterdruck eingestellt. Die kontinuierlich um die Kanten des Dies strömende Luft erzeugt dabei auch seitlich zentrierende Kräfte, s. Bild 7. Für kleine Bauteile wie eben Halbleiter-Chips, sind die so erzeugten Zentrierkräfte groß genug, sodass auch seitliche Beschleunigung von über 2 g [Nm/s<sup>2</sup>] realisiert werden können.

**Zahlreiche Vorteile**

Diese komplett berührungslose „Greiftechnik“ bietet folgende Vorteile im Vergleich zu anderen komplett oder teil-taktilen Handhabungslösungen:

- keine ungewollte Partikelgenerierung
- keine Verletzung der hochsensiblen Oberflächen/Strukturen
- keine Beeinflussung der laminaren Luftströmung im Reinraum
- hohe Energieeffizienz
- Wartungs- bzw. verschleißfrei
- keine Mindestabstände zwischen einzelnen Chips notwendig

- Greifen aus Taschen möglich
- automatische Zentrierung des Chips unterhalb der Greiferspitze

**Fazit**

Die Ultraschalllager-Technologie ermöglicht eine berührungslose Handhabung sowohl von Wafern als auch von Chips ohne eine Zufuhr von Luft und damit einer ungewollten Luftströmung. In Kombination mit Unterdruck ist das Greifen von Substraten auch von oben möglich. Bei Wafern ist sowohl beim Transport

von oben als auch von unten eine Anbringung von seitlichen Fixierungen notwendig, um horizontale Kräfte aufzunehmen. Im Fall von Chips ist aufgrund strömungsmechanischer Zentrierkräfte eine komplett berührungsfreie Handhabung durch die Ultraschalllagerung möglich. Damit stellt die Ultraschalllager-Technologie eine Lösung für die Herausforderungen in der hochsensiblen Halbleiter-Fertigung dar.

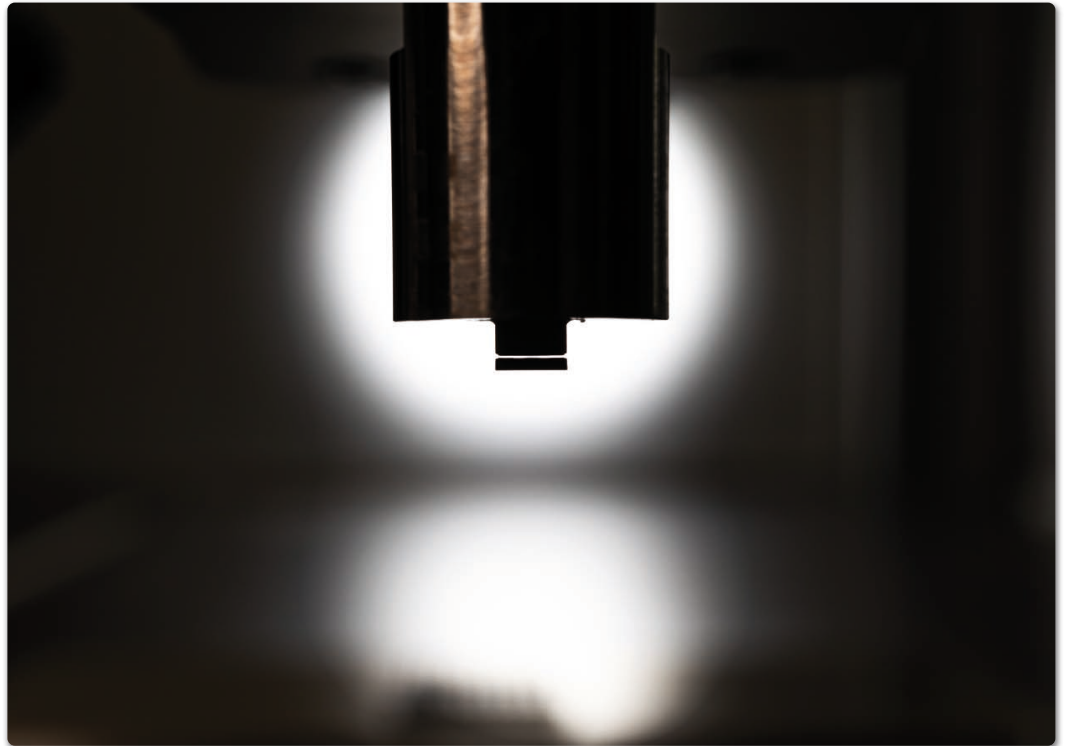
**Wer schreibt:**

Die Ultraschalllager-Technologie wurde am Institut für Werkzeug-

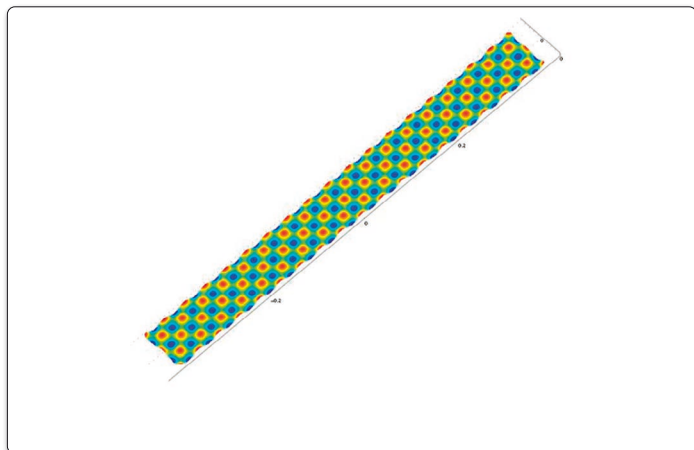
maschinen und Betriebswissenschaften (iwb) der TU München für den Einsatz in der Halbleitertechnologie erforscht und weiterentwickelt.

Die ZS-Handling Technologies GmbH Regensburg ist Spezialist für berührungslose Handhabungssysteme für oberflächensensitive Substrate.

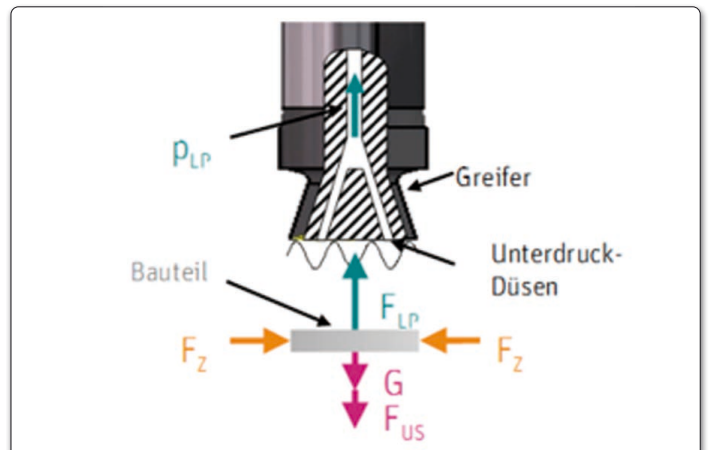
Die meist auf die Kundenapplikation angepassten Lösungen, erlauben einen beschädigungsfreien und ultra-sauberen Transport von z. B. Wafern, Chips/Dies, Optiken oder Dünnglas. ◀



**Bild 5: Schwebender Chip**



**Bild 6: Schwingungssimulation**



**Bild 7: Zentriereffekt**