

# Wasserstrahlgeführtes Laserschneiden von Wafern

**B. Richerzhagen<sup>1</sup>**

SYNOVA SA, CH-Lausanne

## Zusammenfassung

Seit beinahe 20 Jahren wird der Laser zum Schneiden industriell eingesetzt, vor allem in der Metallverarbeitung. Der Laser konnte sich gegen die mechanischen Trennverfahren durch einen Gewinn an Flexibilität, Geschwindigkeit, Qualität und Genauigkeit durchsetzen. Den gleichen Vorteil versprach man sich in der Halbleiterindustrie, um Silizium zu schneiden. Obwohl Silizium als Werkstoff gut vom Laserstrahl absorbiert wird, führten die Probleme Rissbildung, Grat und Ablagerungen von Siliziumschlacke dazu, dass der Laser für den Prozess der Chipvereinzelnung nicht eingesetzt werden konnte. Alle Anstrengungen, dem Laser durch Eintauchen des Wafers in ein Wasserbad, durch Verwendung sehr kurzer Pulse oder durch das Aufbringen von Schutzlacken auf dem Wafer doch noch zum Erfolg zu verhelfen, haben fehlgeschlagen. Erst durch die Kombination aus Laser und Wasserstrahl können die genannten Probleme beseitigt werden.

Schlagworte: Silizium, Wafer, Dicing, Wasserstrahlgeführter Laserstrahl

---

<sup>1</sup> Dr.-Ing. Bernold Richerzhagen :  
Geschäftsführer der SYNOVA SA, Parc Scientifique A, CH-1015 Lausanne  
Email : [richerzhagen@synova.ch](mailto:richerzhagen@synova.ch), URL. <http://www.synova.ch>

## 1 Einleitung

Das Schneiden von Siliziumwafern ist ein unerlässlicher Prozess in der Halbleiterfertigung. Das etablierte Verfahren für das Trennen der Siliziumchips ist das Sägen mit Diamantblättern, welches in den letzten Jahren aufgrund der Nachfrage der Halbleiterindustrie nach immer höheren Geschwindigkeiten, Genauigkeiten, kleinerer Schnittspaltbreite und höherer Schnittqualität zu einem sehr perfektioniertem High-Tech Werkzeug wurde. Die Grenzen des Abrasivsägens scheinen nunmehr erreicht zu sein, was die oben genannten Anforderungen angeht. Doch diese hören nicht auf zu steigen, und die Säge erfüllt nicht mehr die Erwartungen.

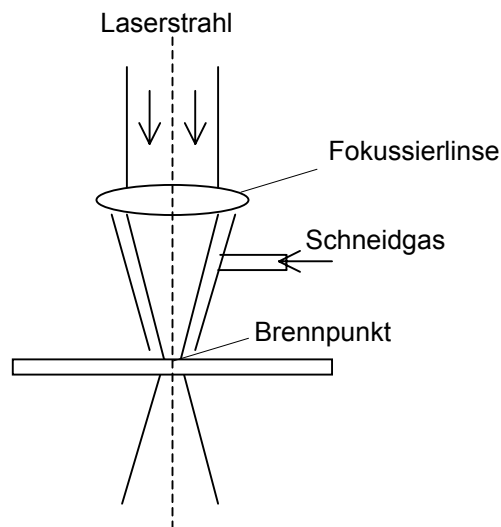
Die unbestreitbaren Probleme der Säge sind heute:

- keine konstante Schnittqualität durch Verschleiss des Sägeblattes
- keine zuverlässige Vorhersage der Einsatzdauer eines Sägeblattes
- hoher Verbrauch von Sägeblättern, hohe Verbrauchskosten
- Chipping (front und back side)
- mechanischer Stress, Rissbildung, geringe Kantenbruchfestigkeit
- wenig geeignet für sehr dünne Wafer
- nur gerade Konturen
- Grenzen sind erreicht in Bezug auf Geschwindigkeit und Schnittqualität

Die Suche nach alternativen Schneidprozessen hat in der Vergangenheit keine Lösung gebracht:

Laserlicht kennzeichnet sich durch Lichtwellen gleicher Frequenz und Phase, die sich aufgrund Ihrer geringen Divergenz stark bündeln lassen. Der fokussierte Laserstrahl vermag Material auf mehr als tausend Grad zu erhitzen, und damit zu schmelzen und zu verdampfen. Ein zusätzlicher Gasstrahl treibt die Schmelze aus der Schnittfuge aus (Bild 1).

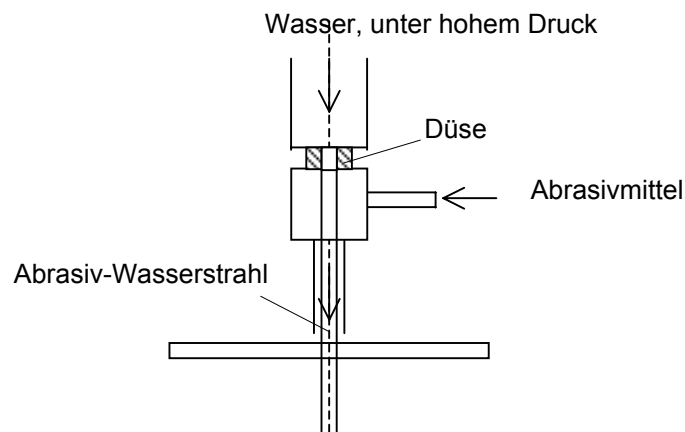
Der Laser ist zwar imstande, in Geschwindigkeit und Schnittspaltbreite mit der Diamantsäge zu konkurrieren, aber in Sachen Qualität steht er weit zurück. Vor allem durch die hohe Wärmeeinbringung in das Silizium werden Risse, Strukturveränderungen, Grate und Ablagerungen auf der Waferoberfläche erzeugt. Der Laser, sonst ein Präzisionswerkzeug, welches mehr und mehr die herkömmlichen Trennprozesse verdrängt, konnte in der Halbleitertechnik bis auf wenige Anwendungen nicht richtig Fuss fassen.



**Bild 1: Laserstrahlschneiden**

Bekannt in der Siliziumtechnik ist der Laser zum Markieren von Wafern oder zum Schneiden von runden Siliziumkomponenten wie z.B. Hochspannungsthyristoren und -dioden. Doch wird auch dort mit vielen Kompromissen gearbeitet. So wird eine spezielle Schutzschicht aufgebracht, die nach dem Lasern mit Lösungsmittel entfernt werden muss, oder die Kanten müssen nachträglich bearbeitet werden.

Der Abrasive-Wasserstrahl vermag allein aufgrund seiner kinetischen Energie, Material abzutragen. Dabei wird Wasser unter hohem Druck (3000 bar) durch eine Düse gepresst und anschliessend mit Abrasivmittel vermischt, so dass sich ein Strahl aus einem Wasser-Partikel-Gemisch ergibt (Bild 2).



**Bild 2: Abrasiv-Wasserstrahlschneiden**

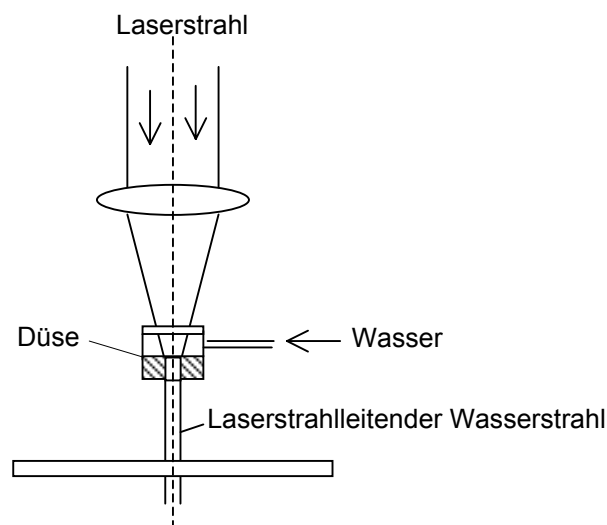
Gegenüber dem Laser hat der Wasserstrahl den Vorteil des kalten Bearbeitens. Aufgrund der hohen Kräfte ist dieses Verfahren allerdings für die empfindlichen Siliziumwafer sehr ungeeignet.

Beide Schnittverfahren hatten ihren Ursprung in den 60er Jahren und haben sich vor allem in der Metallverarbeitung als zuverlässiges Schneidwerkzeug etabliert. Da jedoch diese Verfahren durch das „heisse“ Schneiden (Laser) und die hohen Kräfte (Abrasivwasserstrahl) ihre Grenzen haben, bestanden schon seit geraumer Zeit Überlegungen, ob beide Prozesse miteinander kombiniert werden könnten, wobei die Vorteile jedes einzelnen Verfahrens bestehen bleiben sollen: Das „kalte“ Schneiden des Wasserstrahls und das „kraftarme“ Schneiden des Lasers.

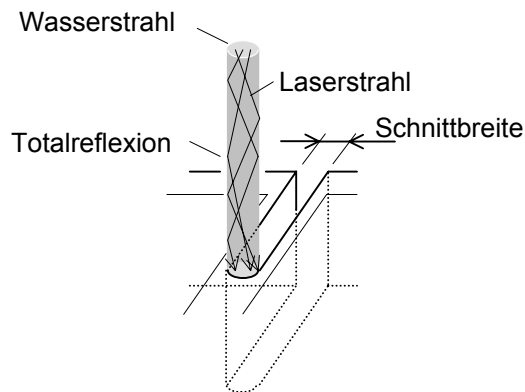
## 2 Schneiden mit Laser und Wasser?

Dies hört sich nach einem physikalischen Widerspruch an; und doch ist es möglich! Dreissig Jahre nach der Entdeckung des Lasers und des Hochdruckwasserstrahl ist es Wissenschaftlern am Institut für Angewandte Optik der Technischen Hochschule Lausanne/Schweiz gelungen, einen laserlichtleitenden Wasserstrahl zu erzeugen.

Die Schweizer Wissenschaftler haben dazu einen Festkörperlaser (Neodymium – YAG) benutzt, der bei ca.  $1\ \mu\text{m}$  emittiert und in der Materialbearbeitung gewöhnlich eingesetzt wird. Der Laserstrahl wird, eine unter Druck stehende Wasserkammer passierend, in eine Düse fokussiert. Ganz entscheidend für die Einkopplung des energiereichen Wasserstrahls ist im übrigen die Geometrie der Kammer und der Düse. Der die Düse verlassende Wasserstrahl leitet den Laserstrahl aufgrund der Totalreflexion am Übergang Wasser – Luft, ähnlich wie eine herkömmliche Glasfaser, so dass man von einem flüssigen Lichtleiter variabler Länge sprechen kann (Bild 3 und 4).



**Bild 3:** Schneiden mit wasserstrahlgeführtem Laserstrahl



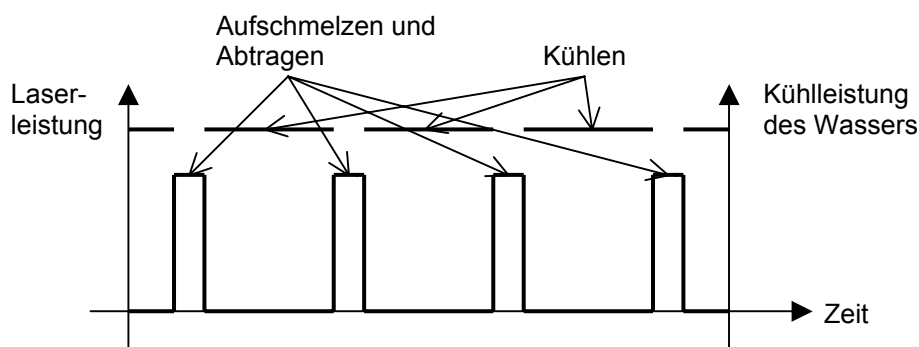
**Bild 4:** Wasserstrahl als Wellenleiter

### 2.1 Doch wie kann der Laser-Wasserstrahl nun Material abtragen?

Diese Frage ist berechtigt, wenn man bedenkt, dass der Laserstrahl heizt und der Wasserstrahl kühlt. Den Wissenschaftlern half bei der Ueberwindung dieses Problems, folgendes physikalisches Phänomen: der Wasserstrahl ist für den Laserstrahl weitgehend transparent; trifft aber der Laserstrahl auf einen Körper, der ihn absorbiert, heizt sich das Material an der Oberfläche so sehr auf, dass sich ein Plasma bildet, welches Wasserstrahl und Material voneinander trennt. Das Plasma schirmt das Wasser ab, der Laserstrahl geht hingegen durch.

### 2.2 Wie soll aber nun der Kühleffekt zustande kommen?

Das Plasma bleibt nur so lange erhalten wie der Laserstrahl eingeschaltet ist. Da ein gepulster Laser verwendet wird, kann der kontinuierliche Wasserstrahl die Schnittfuge sofort wieder abkühlen, so dass die Wärmeeindringtiefe sehr gering ist (Bild 5).



**Bild 5:** Stetiger Wechsel Kühlen – Heizen (und Abtragen)

Damit war der Laser–Wasserstrahl erfunden und das Ziel erreicht, einen kalten Laserstrahl für die Industrie einsetzbar zu machen.

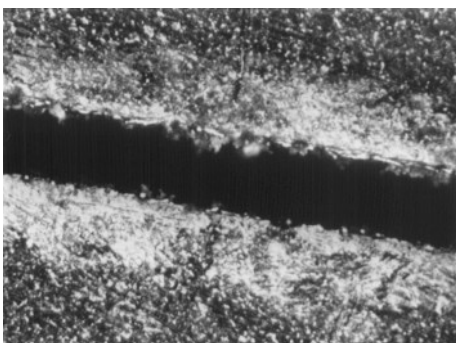
### 2.3 Ein paar technische Angaben zum Laser-Wasserstrahl

Die wichtigsten Eckdaten des Laser–Wasserstrahls, welcher von seinen Erfindern Laser–Microjet genannt wurde.

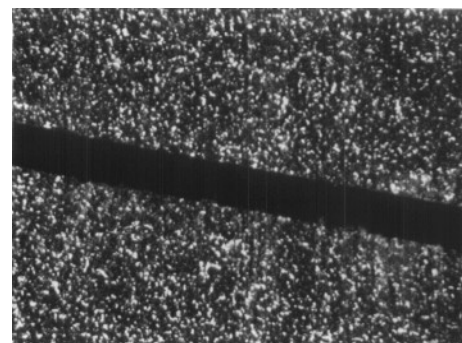
Wellenlänge des Lasers:	1,064 $\mu\text{m}$
Laserpulswiederholrate:	max 4000 Hz
Laserpulsdauer:	0,05 – 0,25 ms
mittlere Leistung des Lasers:	300 W
Wasserstrahldruck:	50 – 400 bar
Strahldurchmesser	50 – 150 $\mu\text{m}$
Wasserqualität:	gefiltert auf 0,2 $\mu\text{m}$ , deionisiert
Wasserstrahllänge:	50 mm
Wasserdurchfluss:	im Durchschnitt 20ml/min

Seit Beginn der Veröffentlichung der Resultate aus dem Lausanner Labor 1997, zeigte im besonderen die Industrie der Mikroelektronik grosses Interesse an dieser Entwicklung, hoffte man doch, nun mit dieser Technologie die vielen ungelösten Probleme in der Präzisionsbearbeitung lösen zu können.

Es stellte sich schnell heraus, dass der Microjet sich für das Schneiden von Silizium hervorragend eignet. Der Vergleich mit dem konventionellen Laser überzeugt:



konventioneller Laser



wasserstrahlgeführter Laser

**Bild 6:** Vergleich Schnitt in Silizium

Von diesem Zeitpunkt an wurden eingehende Tests an Siliziumwafern gemacht und folgende Leistungen sind zur Zeit erreicht.

Schnittgeschwindigkeit max. 150 mm/s

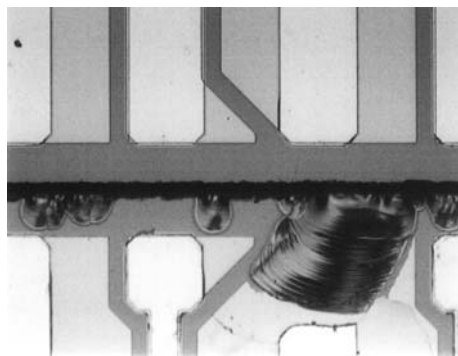
Schnittspaltenbreite min. 50  $\mu\text{m}$

Materialdicke max. 5 mm

Diese Ergebnisse stellen aber keinesfalls absolute Grenzen dar, kleinere Spaltbreiten und höhere Geschwindigkeiten werden in Zukunft erreichbar sein.

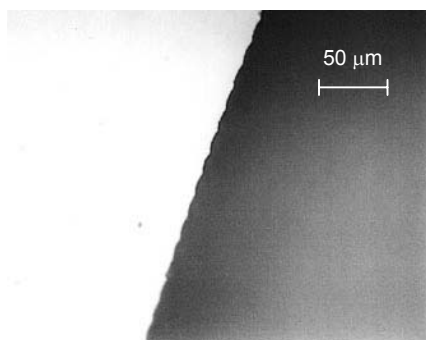
### 3 Wie sieht die Qualität aus? Hält der Microjet stand mit der Säge?

Eines der wichtigsten Probleme der konventionellen Säge ist das Chipping, welches zur Zerstörung des Dies führen kann:

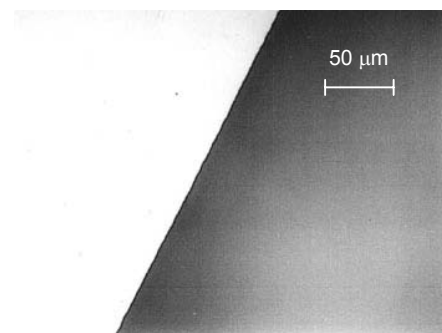


**Bild 7:** Chipping-Effekt beim Sägen von Silizium

Folgende Bilder zeigen die Kante laserwasserstrahlgeschnitten mit 160facher Vergrößerung.



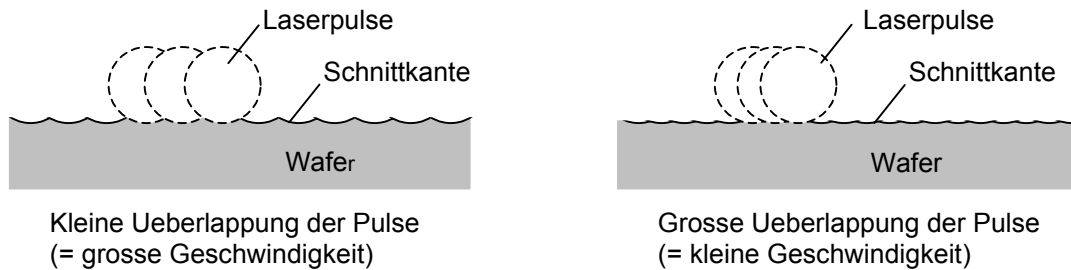
Kleine Ueberlappung der Laserpulse



Grosse Ueberlappung der Laserpulse

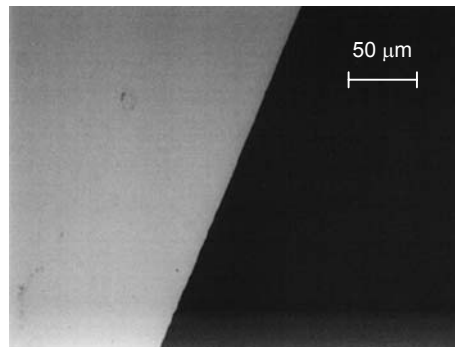
**Bild 8:** Kantenqualität von Siliziumschnitten mit wasserstrahlgeführtem Laser

Die Unregelmässigkeiten in der Schnittkante, vergleichbar mit einer Briefmarke, stehen in Abhängigkeit zu der gewählten Ueberlappung der Laserpulse, welche sich aus Verfahrensgeschwindigkeit und Laserpulswiederholrate ergibt.



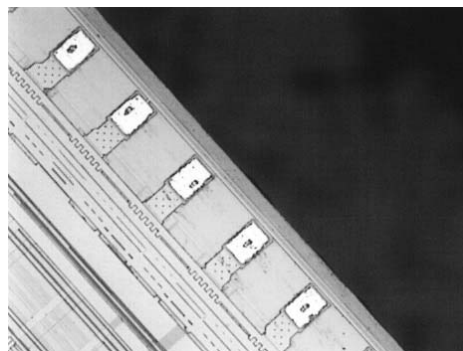
**Bild 9:** Einfluss der Ueberlappung bzw. Schrittweite auf die Kantenqualität

Auf der Rückseite des Wafers ist die Kante nur unwesentlich schlechter.



**Bild 10:** Kantenqualität auf der Rückseite

Damit entfällt beim wasserstrahlgeführten Laser das chipping praktisch vollkommen.



**Bild 11:** Chippingfreies Dicing von Wafern

Die Schnittgeschwindigkeit ist abhängig von der Waferdicke, da mit zunehmender Dicke die erforderliche Laserpulsenergie ansteigt.

Waferdicke	Schnittgeschwindigkeit (kein Grenzwert!)
100 $\mu\text{m}$	120 mm/s
200 $\mu\text{m}$	80 mm/s
300 $\mu\text{m}$	40 mm/s
500 $\mu\text{m}$	20 mm/s
700 $\mu\text{m}$	10 mm/s
1000 $\mu\text{m}$	6 mm/s
1500 $\mu\text{m}$	3 mm/s
2000 $\mu\text{m}$	1 mm/s

Die maximale Schnittgeschwindigkeit bei gegebener Waferdicke hängt nur von der Pulswiederholrate und der mittleren Leistung des Lasers ab und stellt somit keine technische Grenze dar.

#### 4 Vergleich Laserdicing – Sawing:

Im Falle der Diamantsäge verschlechtert sich die Schnittqualität aufgrund des Sägeblattverschleisses mit zunehmender Schnittlänge, das heisst zwei Wafer können nie mit der gleichen Qualität geschnitten werden. Es liegt am Maschinenbediener, den Zeitpunkt für einen Werkzeugwechsel festzulegen. Der Laser hingegen hat keinen mechanischen Verschleiss, so dass die Schnittqualität konstant bleibt.

Das Diamantblatt übt während des Sägens sehr hohe Kräfte auf den Wafer aus, die es erfordern, den Wafer sehr gut zu fixieren, und dazu führen können, dass Teile an den Kanten oder Ecken ausbrechen bzw. Risse entstehen, die später zu einem Ausfall der Schaltung führen können.

Das bedeutendste Problem des Abrasivsägens ist das Ausbrechen an Ober- und Unterkante (chipping). Ein Ausbruch über die Strassenbreite in den Die hinein wird unweigerlich einen Ausschuss bewirken. Durch das praktisch kräftefreie Bearbeiten mit dem Laser, ist chipping hier kein Thema. Die Unregelmässigkeiten auf der Rückseite bleiben in der Regel unter 5  $\mu\text{m}$ . Die Kraft, welche durch den Wasserstrahl auf den Wafer ausgeübt wird, ist sehr viel kleiner als die der Säge, sie ist sogar 10 x kleiner als die Kraft, welche der Schneidgasstrahl beim herkömmlichen Laser ausübt. Dies liegt an der sehr geringen Querschnittsfläche des Wasserstrahls.

Die Säge kann nur gerade Schnitte ausführen, die Schnittgeometrie ist auf eine Dimension begrenzt. Der Laser hingegen ist punktförmig und erlaubt ein zweidimensionales Bearbeiten, womit man jede beliebige Konturen schneiden kann.

Damit entfällt übrigens auch die Rotationsachse, die zur Waferausrichtung beim Sägen erforderlich ist. Eine Z-Achse entfällt ebenso, da der Laserwasserstrahl gleich einem Draht schneidet und nicht fokussiert zu werden braucht.

Infolge des punktförmigen Werkzeugs Laser können nun auf derselben Maschine auch Löcher oder Schlitze gebohrt werden, eine Anwendung für die bisher ein Partikelstrahl mit vielen Kompromissen eingesetzt wurde.

Der Vorteil des kraftarmen Laserschneidens ist im übrigen auch die Fähigkeit, sehr dünne Wafer zu schneiden. Die Waferdicke ist nach unten nicht beschränkt.

Die Betriebskosten der Säge sind durch den hohen Verbrauch an Diamantsägeblättern sehr hoch. Zudem muss der Fabrikationsprozess für den Werkzeugwechsel angehalten werden und der Sägeblattwechsel manuell ausgeführt werden. Der Laser, in der Anschaffung zwar etwas teurer, hat deutlich geringere Betriebskosten. Nach ca. 800 – 1000 h sind die Blitzlampen des Lasers auszutauschen, sowie die Diamant-Wasserstrahldüsen nach ca. 200 h. Somit sind die Verbrauchskosten beim Laser um ein Vielfaches geringer.

Der Laser-Microjet eignet sich im übrigen auch zum Ritzen. Die Ritztiefe wird von der Laserpulsenergie bestimmt und ist sehr konstant. Für diese Anwendung wird ein Kurzpuls laser eingesetzt (Q-switch YAG), mit dem dank der hohen Pulswiederholrate sehr hohe Geschwindigkeiten erreicht werden (bis zu 500 mm/s).

Die Vorteile des Laserschneidens gegenüber dem Sägen in der Zusammenfassung:

- Konstante Schnittqualität
- Keine mechanischen Kräfte
- Kein Chipping
- Sehr hohe Kantenbruchfestigkeit
- Schneiden von runden und anderen beliebigen Konturen
- Bohren von Viaholes
- Ritzen

- Ideal für sehr dünne Wafer (Smart Cards)
- Waferdicke zwischen 25  $\mu\text{m}$  und 5 mm
- Kein Werkzeugverschleiss
- Sehr geringe Verbrauchskosten

## 5 Wo sind die Grenzen des wasserstrahlgeführten Lasers?

Der Laser kümmert sich nicht um die mechanischen Eigenschaften des Werkstückes wie z.B. die Härte, jedoch beeinflussen die optischen Parameter seine Wirksamkeit sehr. Dies bedeutet, dass er einige Materialien nicht oder nur bedingt schneiden kann:

Glas zum Beispiel ist ein Material, welches sehr transparent für den YAG-Laser ist. Daneben gibt es Materialien, welche den Laser stark reflektieren und daher nur in geringen Dicken geschnitten werden können wie zum Beispiel Gold oder Kupfer.

Die in der Siliziumtechnik verwendeten Gold- oder Kupfer – Bedampfungen in einer Dicke von wenigen Mikrometern spielen aber keine Rolle. Keramiken wie  $\text{Al}_2\text{O}_3$  können in hohen Reinheitsgraden von 99% nur sehr langsam bearbeitet werden.

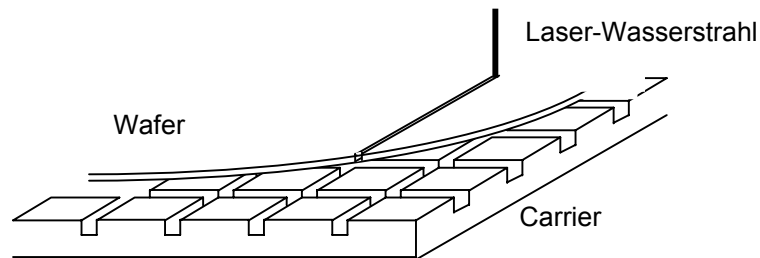
Der wasserstrahlgeführte Laser nimmt seine Energie für den Materialabtrag vom Laser, nicht von der Pumpe. Der Wasserstrahl dient nur zum Kühlen des Werkstückes, zum Laserstrahlleiten und zum Schmelzaustrieb. Die Abtragung ist somit thermisch, auch wenn dank des Wasserstrahls die Eindringtiefe sehr gering ist. Die Schnittkanten zeigen daher eine verschmolzene Oberfläche.

Die hieraus resultierende Struktur ist sehr fein, wird aber mit zunehmender Waferdicke gröber. Die Rauigkeit in Ra ist für 660  $\mu\text{m}$  Wafer etwa 3  $\mu\text{m}$ . Die Oberfläche der Kante ist somit nicht vergleichbar mit der der diamantgeschnittenen. Doch spielt die Oberflächenrauigkeit, wenn sie nicht zu einer verringerten Bruchfestigkeit führt, in den meisten Fällen keine Rolle.

Ein Laser hat neben den höheren Anschaffungskosten auch einen höheren Platzbedarf zur Folge, als eine Säge, die nur über eine Spindel angetrieben wird. Ein 300 W Laseraggregat nimmt eine Fläche von zwischen 0,4 und 0,8  $\text{m}^2$  ein, das Pumpenaggregat noch einmal ungefähr diegleiche.

## 6 Wie wird das Problem der Wafer- und Chip- Fixierung gelöst?

Es ergeben sich zwei Varianten: zunächst kann man recyclebare Carrier verwenden, wie sie zum Beispiel beim Vereinzeln vom CSPs (Chip-Scale-Packages) verwendet werden.



**Bild 11:** Schneiden von Wafern auf Carriern

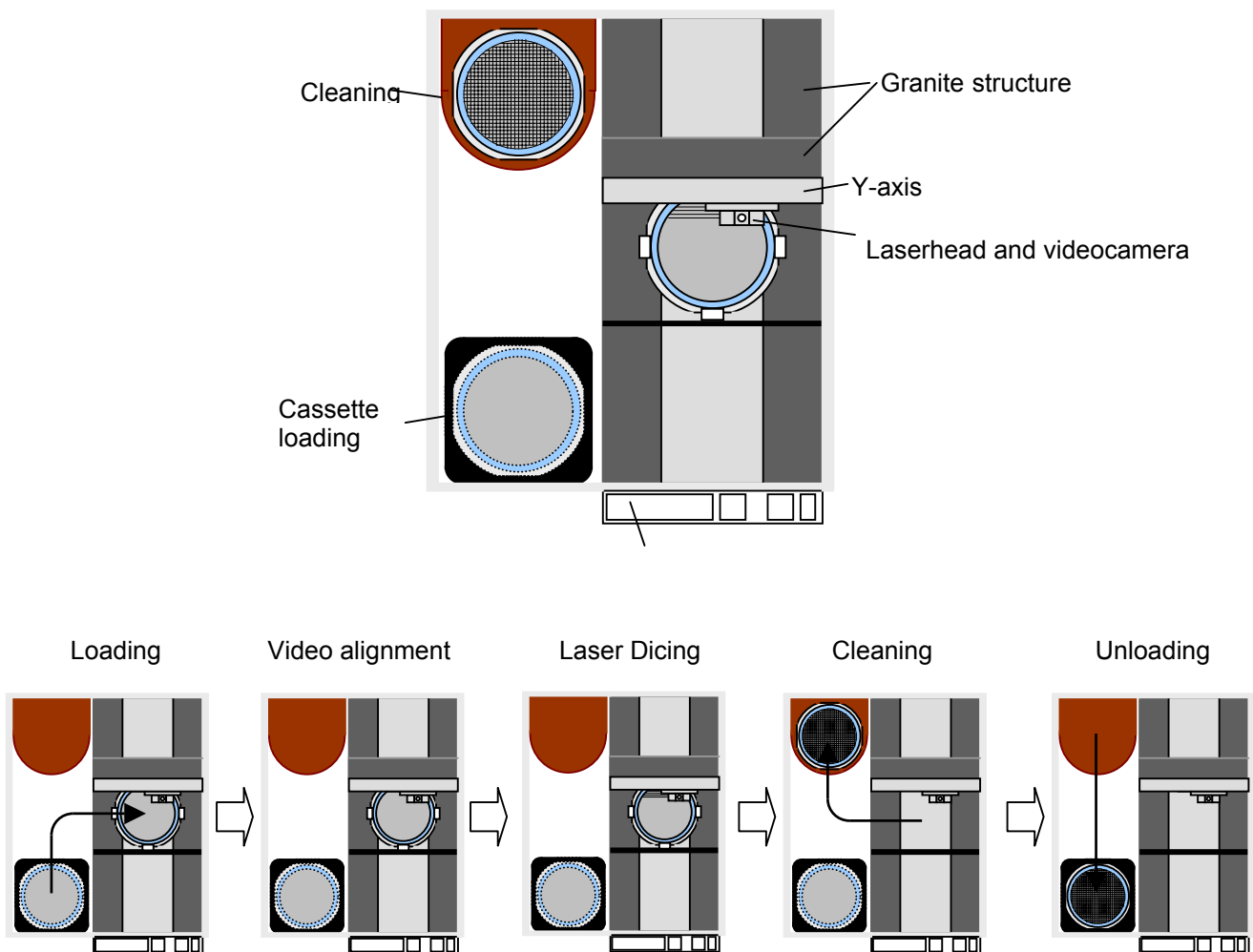
Die aus Kunststoff hergestellten Carrier haben Schnittfugen, welche dem Raster des Wafers entsprechen. Sie erlauben dem Wasserstrahl, durch das Material hindurchzugehen und abgesaugt zu werden. Für eine gute Schnittqualität ist es erforderlich unter der Schnittkante einen freien Raum zu lassen. Die Chips werden mit einem Adhäsivfilm auf dem Carrier bis zum Pick-and Place Prozess gehalten und anschliessend dem Schneidprozess wieder zugeführt.

Der Nachteil dieser Lösung ist die Notwendigkeit, Carrier in genau dem gleichen Raster bereitzustellen wie der Wafer, sowie die höheren Transportgewichte und -volumen (Wafer + Carrier).

Die zweite Variante ist ein Tape, welches sich aber von dem herkömmlichen Tapes unterscheidet. Seine Anforderungen lauten: nicht vom Laser durchgeschnitten zu werden und den Wasserstrahl passieren zu lassen. Dieses „Lasertape“ ist bereits entwickelt und befindet sich derzeit in der Testphase. Das Lasertape wird die gleichen Voraussetzungen erfüllen wie das konventionelle Tape, so dass es ohne Umstellung in die bestehende Umgebung übernommen werden kann.

## 7 Wie wird die Laser-Dicing-Maschine aussehen?

Am Äusseren ändert sich eigentlich nicht viel, wie auch an den Zusatzaggregaten der Dicing-Säge wie Reinigung, Videoalignment, Loading etc.



**Bild 12:** Prinzip des Laser Dicing Systems

## 8 Wo wird der Laser-Wasserstrahl seine ersten Anwendungen in der Halbleiterfertigung haben?

Zunächst mal dort, wo die bisherigen Lösungen nicht oder nur in ungenügender Weise ausreichen:

- Via holes drilling und slot cutting (Inkjet Printer)
- Runde, sechseckige Dies (Thyristoren, Transistoren, Dioden)
- sehr dünne Wafer (Smart Cards)
- grosse Chips (RAM)
- GaAs-Wafer (HF-IC, Optoelektronik)

## **9 Zusammenfassung/Ausblick**

Die bisherigen Resultate mit dem wasserstrahlgeführten Laser im Bereich des Waferdicings haben gezeigt, dass von nun an der Halbleiterindustrie eine neue Schneidtechnologie zur Verfügung steht, mit Vorteilen gegenüber der klassischen Trennverfahren, welche ihn schnell zu einem breit eingesetzten Werkzeug machen werden. Nicht alle Erwartungen wird er sofort erfüllen können, aber er hat noch ein grosses Entwicklungspotential.