

Perfekte Mikroschnitte

Neue Mikrodüsen und optimierte Prozessschritte ermöglichen ein partikelfreies Laserschneiden mit nur 28 µm Schnittbreite.

Vor zehn Jahren wurde mit dem wasserstrahlgeführten Laser (Laser-Microjet) ein neues Materialbearbeitungsverfahren erfunden, dessen herausragende Eigenschaften auf der Kombination eines Laserstrahls und eines feinen Wasserstrahls beruhen. Dieses einzigartige Verfahren unterscheidet sich von bis dahin existierenden Techniken vor allem dadurch, dass es die Vorteile des klassischen Laserschneidens erhält (hohe Schnittgeschwindigkeit auf dünnen Werkstücken, Flexibilität der Formen) und dessen Nachteile vermeidet: Es wird nur eine minimale Wärmeinflusszone erzeugt, und auch Partikelabscheidungen werden weitgehend vermieden. Der Laser-Microjet ist deswegen ein effizientes Werkzeug bei der Präzisionsbearbeitung empfindlicher Werkstoffe (Halbleiter) und beim Feinschneiden von dünnem Metall in Anwendungen mit besonderen Anforderungen (medizinische Stents, Schablonen).

Zwei wichtige Verbesserungen der Technologie konnten kürzlich realisiert werden. Erstens wurde der Wasserstrahldurchmesser auf nun 28 µm verringert, was vor allem in der Halbleiterindustrie neue Möglichkeiten eröffnet. Zweitens wurde eine Vorrichtung entwickelt, welche die ohnehin schon niedrige Partikelkontamination der Oberfläche weiter verringert.

Diese Vorrichtung verhindert die Austrocknung des Wasserfilms während des Schneidens, was eine Reduzierung der verbleibenden Partikel um etwa 90 % erlaubt. Wegen der so erreichten Oberflächenreinheit können Nachbearbeitungsschritte in den meisten Anwendungen entfallen.

Um die Kombination aus einem Laser und

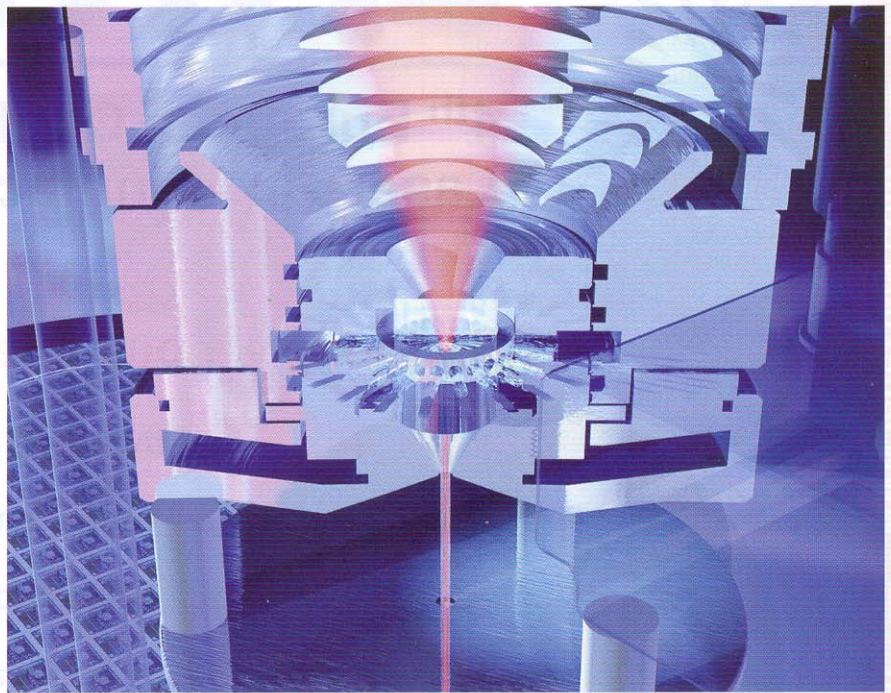


Bild 1 – Kopplung von Laserstrahl und Wasserstrahl. Alle Abbildungen: Synova.

einem feinen Niederdruck-Wasserstrahl zu realisieren, wird das Licht in einen Wasserstrahl eingekoppelt, der es wie eine Glasfaser durch Totalreflexion an der Wasser-Luft-Grenzfläche leitet. Genauer gesagt wird der Laser durch eine Druckkammer hindurch in eine Wasserstrahldüse aus Diamant fokussiert. Der von der Düse ausgehende Strahl kann als stabiler, flüssiger Wellenleiter betrachtet werden, der den Laserstrahl zum Werkstück leitet.

Weil der Laser nicht direkt auf das Werkstück fokussiert wird, ist die bestrahlte Fläche nicht von der Position des Werkstücks abhängig. Die konstante Energiedichte auf der Probe, selbst in tiefen Schnitten, erlaubt es, falls nötig, praktisch parallele Schnittfugen zu erzeugen.

Selbst wenn die Hauptaufgabe des Wasserstrahles die Lichtleitung ist, so sind

doch noch zwei weitere Effekte des Wasserstrahls zu nennen, die sehr wichtig für den Abtragprozess sind und es erlauben, den wasserstrahlgeführten Laser tatsächlich als eine eigene Kategorie neben allen anderen Laserbearbei-

tungsmethoden zu sehen. Die erste wichtige Nebenaufgabe des Wasserstrahls ist es, den Wärmeeintrag in das Werkstück zu verringern: Durch die Verwendung eines gepulsten Lasers wird in der Tat sichergestellt, dass der Wasserstrahl zwischen den Pulsen direkt die Stelle des Werkstücks aktiv kühlen kann, an der zuvor Material abgetragen wurde. Somit wird die Wärmeinflusszone bis zum absoluten Minimum reduziert.

Der zweite Nebeneffekt ist der Austrieb der Schmelze und wird durch den Druck des Wasserstrahles verursacht, der typischerweise zwischen 50 und 500 bar liegt. Die heiße Schmelze wird vom Wasserstrahl aus dem Schnitt getrieben und die dabei entstehenden Partikel werden gleichzeitig gekühlt, was verhindert, dass sie sich wieder an das Werkstück heften. Es sollte jedoch da-

Die Autoren

Delphine Perottet, Frank Wagner, Roy Housh und Bernold Richerzhagen sind bei der Synova SA, Ecublens, Schweiz, beschäftigt.

rauf hingewiesen werden, dass trotz der kraftvollen gezielten Auswaschung des Schnittspaltes nur eine Kraft von weniger als 0,01 N auf das Werkstück wirkt, da der Wasserstrahl einen sehr kleinen Durchmesser hat. Durch die kleine Kraft liegt das Werkstück ruhig und ohne Vibrationen in der Halterung, was eine perfekte Schnittqualität und eine optimale Positioniergenauigkeit ermöglicht.

Kürzlich wurde eine neuartige Reinigungsvorrichtung entwickelt, welche die schon sehr niedrige Partikel-Kontaminationsrate weiter reduziert. Diese Vorrichtung ist während des gesamten Schneidprozesses aktiv und sorgt im Wesentlichen dafür, dass in dieser Zeit ein Wasserfilm kontrollierter Dicke das Werkstück bedeckt. Der Wasserfilm, der nicht mehr eintrocknen kann, sorgt dafür, dass die Partikel in Suspension bleiben und somit nicht durch Adhäsionskräfte an das Werkstück gebunden werden können. Schließlich werden die Partikel einfach mit dem Wasserfilm weggespült. Durch diese neue Kombination des Wasserstrahles mit einem Wasserfilm, werden 90 % der bisher noch vorhandenen Partikel vermieden. Weiterhin vereinfacht sich die Entfernung der verbleibenden Partikel durch ein einfaches Abspülen.

Ein anderer Fortschritt des Laser Microjets ist die Verringerung der Schnittbreite durch die Entwicklung kleinerer Düsen. In der Vergangenheit konnten Strahldurchmesser von typischerweise 50 bis 100 μm verwendet werden. Auf-

grund eines kürzlich erreichten Durchbruchs bei der Düsenherstellung sind nun Strahldurchmesser bis hinunter zu 28 μm kommerziell erhältlich. Zum Vergleich: ein menschliches Haar ist mit 50 bis 60 μm Durchmesser praktisch doppelt so dick. In vielen Anwendungen sind diese jetzt möglichen Dimensionen von großem Vorteil, weil die gleiche herausragende Schnittqualität wie bei den größeren Strahldurchmessern erreicht werden kann.

Erste Anwendung in der Halbleiterbearbeitung

Die Chip-Vereinzelung (Schneiden von Halbleiter-Wafern) ist eine ständig wachsende Anwendung des Verfahrens, weil die Halbleiterindustrie dazu tendiert, die Straßen (Bereich zwischen den Chips) schmaler zu machen. Besonders wenn viele kleine Bauelemente auf einem Wafer produziert werden, reicht schon eine relativ kleine Verringerung des Abstandes der Chips aus, um mehr Chips auf dem Wafer unterzubringen. Oder anders ausgedrückt: die Fläche in den Strassen ist verloren, und ihre Reduzierung ist auch gleichzeitig eine Kostenreduzierung (Kosten pro Chip).

Ein anderer Aspekt, der bei der Chip-Vereinzelung besonders wichtig ist, betrifft die Sauberkeit der fertigen Bauteile. Bei den üblichen Schneid- und Ritzprozessen, insbesondere den laserbasierten, werden Partikel über die gesamte Waferoberfläche verteilt, deren Größe meist zwischen 0,1 und 5 μm liegt. Diese Partikel, besonders in der Größe im Sub- μm -Bereich, heften sich durch Kapillarkräfte, elektrostatische Kräfte, und auch Van-der-Waals-Kräfte auf der Waferoberfläche an und sind nur sehr schwer zu entfernen. Bei den folgenden Prozessschritten stören diese Partikel dann, z. B. beim Wire-Bonden, wo sie eine zuverlässige Verbindung zwischen Kontakt-Pad und Draht verhindern, oder beim Sortieren und Verpacken der Chips. Solche Partikel können nur schwer entfernt werden, weil die Kraft, die eine Wisch- oder Spülreinigung auf diese Objekte ausüben kann, klein gegenüber den Adhäsionskräften ist. Au-

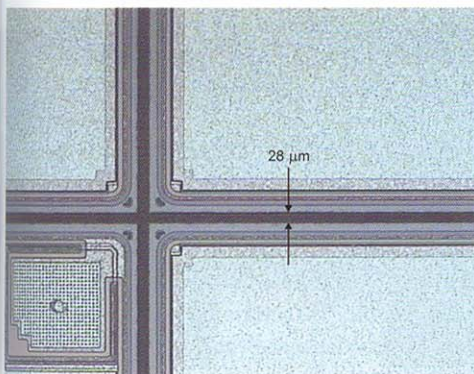


Bild 2 – Vereinzelung 210 μm dicker Chips. Schnittbreite 28 μm , Vorderseite.

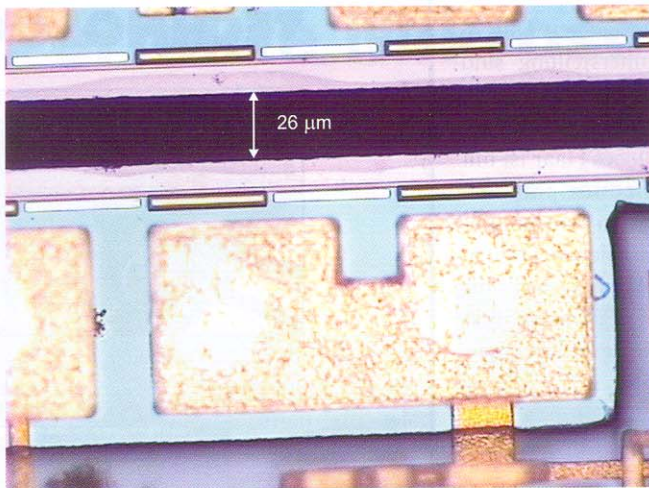


Bild 3 - Vereinzelung eines 100 µm dicken GaAs-Wafers. Schnittbreite 26 µm.

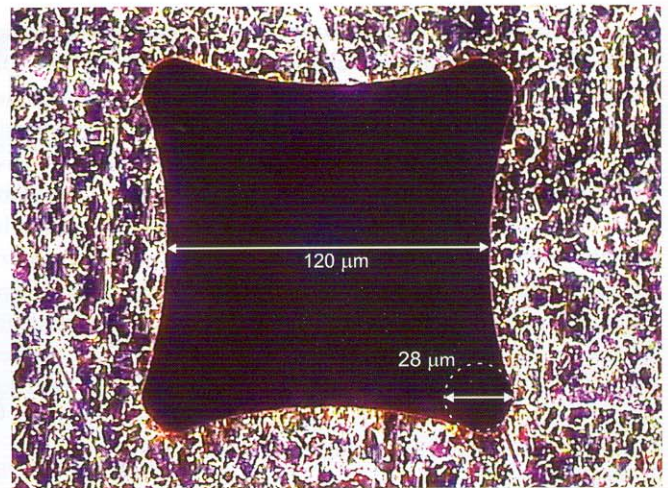


Bild 4 - Konkave Öffnung, die mit einem 28 µm-Strahl in nur 300 ms geschnitten wurde.

ßerdem ist es nach klassischem Laserschneiden üblich, dass sich die noch heißen, größeren Partikel auf der Oberfläche des Wafers festschweißen. Die Verwendung einer Schutzschicht, die nach dem Schnitt wieder entfernt wird, ist keine realistische weil nicht wirtschaftliche Alternative.

Aus diesen Gründen bietet der Laser Microjet interessante Perspektiven für viele Unternehmen im Bereich der Halbleiterbearbeitung: Schnelles Freiform-Schneiden, schmale Schnittbreite (bis zu 28 µm), exzellente Parallelität der Schnittfuge, sehr geringe Partikelkontamination, vernachlässigbare Wärmeeinflusszone, und vernachlässigbare mechanische Schädigungen. Die letzten beiden Punkte zeigen klar die verbesserte Bruchfestigkeit der Chips gegenüber allen anderen Methoden.

Perfekte Schnitte im Silizium-Wafer und anderen Halbleitern

Silizium ist das meistgenutzte Halbleitermaterial, und die Vereinzelung von Siliziumwafern ist deswegen eine wichtige Anwendung des Laser-Microjets. Bild 2 zeigt einen 210 µm dicken Siliziumwafer, der mit einer 30 µm-Düse geschnitten wurde, was eine Schnittbreite von ca. 28 µm zur Folge hat. Der Wafer wurde mit einer Geschwindigkeit von 17 mm/s (6 Passagen mit 100 mm/s) vollständig durchgeschnitten. Der ver-

wendete Laser ist ein diodengepumpter, frequenzverdoppelter Nd:YAG-Laser, und die verwendeten Parameter lauten: 30 kHz Pulswiederholrate, mittlere Leistung 18W, und Wasserdruck 500 bar.

Dieser Wafer wurde unter Verwendung der oben beschriebenen Reinigungsvorrichtung geschnitten und dann durch die Standard-Reinigungsstation weiter gereinigt, d. h. alle Reinigungsetappen sind vollautomatisch in die Maschine integriert. Wie man auf dem Mikroskopbild sehen kann, ist die Probe perfekt sauber ohne sichtbare Partikel auf der Chipfläche. Die Schnittfuge ist regelmäßig und ohne Ausbrüche.

III/V-Halbleitermaterialien, insbesondere Gallium Arsenid (GaAs), werden wegen der Möglichkeit, kürzere Schaltzeiten zu realisieren, immer häufiger eingesetzt. Die mechanischen und chemischen Eigenschaften dieser Materialien erschweren aber die Chipvereinzelung. Konventionelle Laserprozesse erzeugen beim Bearbeiten von GaAs eine starke Partikelkontamination, die selbst die aktiven Oberflächen beschädigen kann. Dies wird mit dem Laser-Microjet vermieden; die verbleibende Partikelkontamination ist mit der der Diamantsägen vergleichbar, wobei die Schnittgeschwindigkeit des Lasers aber um ein Vielfaches höher ist.

Bild 3 zeigt die Schnittqualität in einem dünnen GaAs-Wafer, der mit einem

Nd:YAG Laser (1064 nm) vollständig durchgeschnitten wurde (mittlere Leistung 50 W, Pulswiederholrate 35 kHz). Der Wasserstrahldurchmesser betrug 25 µm und der Wasserdruck 400 bar. Mit diesen Parametern wurde eine Schnittgeschwindigkeit von 60 mm/s erreicht.

Metall-Feinschneiden für Anwendungen mit besonderen Ansprüchen

Schneidanwendungen in dünnen Metallfolien sind oft mit besonders hohen Qualitätsansprüchen verbunden. Hohe Präzision, minimale thermische Schädigung und die Realisierung komplexer Strukturen werden in vielen Anwendungen dünner Folien benötigt. Dies ist insbesondere bei der Herstellung von Siebdruckschablonen der Fall, die zum Beispiel in der Elektronikfertigung verwendet werden, um die Lötpaste auf Leiterplatten oder Wafer aufzutragen. Typischerweise werden auf jeder Schablone sehr viele kleine Öffnungen benötigt, die oft dicht aneinander liegen, was eine minimale Wärmeeinflusszone voraussetzt. Durch die Wasserstrahlkühlung ist die Wärmeeinflusszone nach der Laser-Microjet-Bearbeitung praktisch nicht detektierbar, was den Begriff des kalten Laserschneidens rechtfertigt.

Edelstahlmasken, die für das Auftragen

Laserschneiden

von Lötpaste auf gedruckte Schaltungen verwendet werden, nennt man Stencils. Die Größe der Stencilaperturen variiert dabei von einigen Millimetern bis zu ein paar hundertstel Millimetern, und ihre Formen sind unterschiedlich. Stencilhersteller profitieren von dem neuen, kleineren Strahlradius: die Rechtecke haben schärfere Ecken und kleinere runde Löcher können gefertigt werden.

Bild 4 zeigt ein konkaves Loch, das in 300 ms geschnitten wurde (was einer Stundenrate von mehr als 10'000 entspricht). Das Material ist eine 80 µm dicke Edelstahlfolie und die gesamte Breite der Öffnung beträgt 120 µm. Der neue 28 µm-Strahl ermöglicht neue Formen, d. h. die oft verwendeten rechteckigen Öffnungen können nun mit Eckenradien von nur 14 µm realisiert werden. Die in Bild 4 gezeigte Apertur wurde mit einem Wasserstrahlruck von 200 bar geschnitten, was eine Wasserstrahlgeschwindigkeit von etwa 190 m/s und damit eine beachtliche Kühlung der Schnittkante zur Folge hat.

Zusammenfassung

Durch die fortschreitende Miniaturisierung in vielen Industriezweigen, zum Beispiel in der Halbleiter- und der Elektronikindustrie, werden durch die Sensibilität der schrumpfenden Werkstücke und die hohen Anforderungen an sie neue Probleme in allen Ferti-

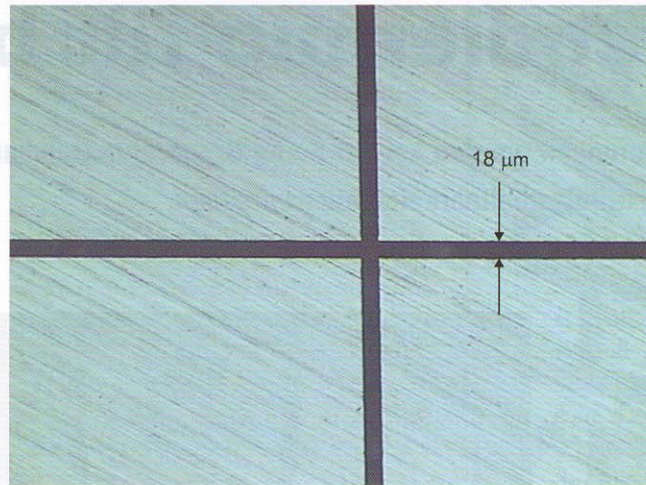


Bild 5 – Reiner Siliziumwafer, der mit dem neuen 17 µm breiten wasserstrahlgeführten Laser geschnitten wurde (Labortest).

gungsschritten aufgeworfen. Abrasives Sägen führt zu störenden mechanischen Spannungen im Werkstück, konventionelles Laserschneiden erzeugt problematische Wärmeeinflusszonen und starke, schwer zu entfernende Partikelkontaminationen der Werkstücke.

Eine Alternative zu diesen Methoden ist der wasserstrahlgeführte Laser (Laser-Microjet), der den Vorteilen des Laserschneidens durch den Einfluss des Wasserstrahls weitere hinzufügt: die Partikelkontamination, die üblicherweise mit Laserablation einhergeht, wird drastisch reduziert. Es ist keine Wärmeeinflusszone detektierbar. Der Durchmesser des Wasserstrahls kann frei von 100 µm herunter bis zu 28 µm gewählt werden. Zusätzlich zu dieser Verringerung des minimalen Wasserstrahldurch-

vorigen Laser-Microjet Niveaus.

Noch kleinere Düsen werden zur Zeit unter Laborbedingungen getestet. Die nächste kommerzialisierbare Düsengröße wird 25 µm Durchmesser haben, was einen Wasserstrahldurchmesser von 21 µm zur Folge hat. Dies erklärt sich durch die Einschnürung des Strahls auf 83 % des Düsendurchmessers. Weiter sind 20 µm-Düsen im Test, die 17 µm feine Wasserstrahlen erzeugen. Die Verwendung dieser kleinen Düsen wird die Präzision des Laser-Microjets weiter verbessern und auch die zukünftigen Anforderungen der Industrie erfüllen, insbesondere in der Elektronikfertigung und dem Medizingerätebau.

KENNZIFFER 031

Synova SA

www.synova.ch