

Laser-Microjet®: Bearbeitung durch einen im Wasserstrahl geführten Laser Wenn sich Wasser und Feuer verbünden.

1993 haben Forscher des Institutes für angewandte Optik der EPFL es zum ersten Mal geschafft, einen Laserstrahl in einem Wasserstrahl zu führen. Die Herausforderung alten Idee bestand in der Geometrie der Wasserkammer, in der die Einkopplung des Lasers in den Wasserstrahl stattfindet. Von den ersten Labortests bis zu den heute weltweit eingesetzten industriellen Maschinen durchging der Laser-Microjet® zahlreiche Optimierungen. Die ursprüngliche Idee ist jedoch unverändert geblieben und beweist ihre Effizienz in immer neuen Anwendungsbereichen.

Prinzip des Laser-Microjet® (LMJ)

Wenn man die Wirkung des LMJ anschaulich umschreiben wollte, wäre „eine eiserne Hand im Samthandschuh“ wahrscheinlich ein recht treffender Ausdruck. Dieses Hybridsystem ermöglicht es die Kraft eines starken Infrarot-Lasers mit der Sanftheit eines Niederdruck-Wasserstrahls zu vereinen.

Bevor das Laserlicht wie in einer Glasfaser geleitet wird, durchläuft es eine unter Druck stehende Wasserkammer. (siehe Abb. 1). Das Licht wird ausschliessend durch das Phänomen der Totalreflektion, das an der Grenzfläche zwischen Wasser und Luft auftritt, ähnlich wie bei konventionellen Glasfasern im Wasserstrahl geleitet. Der Wasserstrahl kann mit einem, in der Länge variierenden, flüssigen Lichtleiter verglichen werden.

Dank seinen speziellen Eigenschaften ist der Wasserstrahl für das Laserlicht transparent. Stößt der Laser jedoch an einen Körper, der ihn

absorbiert, so wird die Energie des Lasers an diesen Körper weitergegeben. Der Körper erwärmt sich und es entsteht sich lokal ein Plasma. Dieses Plasma trennt den Wasserstrahl und das Material und ermöglicht eine effiziente Übertragung der Energie des Lasers an den zu bearbeitenden Körper.

Für den schonenden Materialabtrag, wird ein gepulster Laser eingesetzt. Sobald der Laserstrahl aktiviert ist, schmilzt das Material, während es gleichzeitig vom Wasserstrahl wegbefördert wird. Wenn der Laser nicht mehr aktiv ist, kühlt der Wasserstrahl die Schnittfuge, und ermöglicht es somit, den Wärmeeintrag in das Werkstück deutlich zu vermindern.

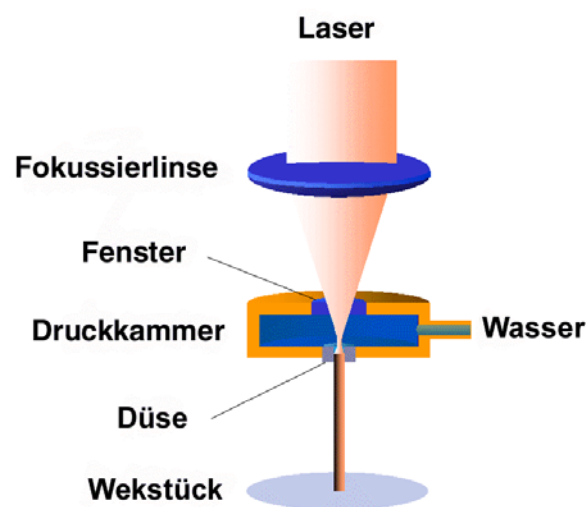


Abb. 1 : Funktionsprinzip des Laser-Microjet®

Der Hauptvorteil des Systems liegt in der exzellenten Schnittqualität, die auf folgende Weise erzielt wird:

- Wegfall von thermischen Schädigungen und keine Verschmutzung durch Ablationsprodukte dank der kontinuierlichen Kühlung und Spülung durch den Wasserstrahl;
- Wegfall von mechanischen Belastungen auf das Werkstück, weil die Kraft des Wasserstrahls sehr gering ist (50 bis 500 bar für Durchmesser von 40 bis 100 Mikrometern).
- Effizient in der Wegführung der Ablationsprodukte durch den Wasserstrahl, was eine Bearbeitung mit hohen Geschwindigkeiten ermöglicht.

Der LMJ eignet sich besonders gut für temperaturkritische Anwendungen bei denen die Sprödigkeit des Materials oder auch seine extreme Härte das Bearbeiten mit anderen Methoden erschweren. Die Bereiche in denen der LMJ angewendet wird, umfasst sehr verschiedene Gebiete, wie die Automobil-, die Medizin-, die Halbleiter-, die Elektronik-, die Werkzeugindustrie- sowie die Solarenergie. Die folgenden Beispiele stellen dar, wie der LMJ das Trennen verschiedener Materialien optimiert.

Herstellung von CBN Einsätzen für die Werkzeugindustrie

Hartwerkzeuge aus kubischem Bohrnitrid (CBN), die bei der Zerspanung verwendet werden, werden normalerweise ausgehend von Scheiben mit einem Durchmesser von 10 cm und einer Dicke von 1 bis 4 mm, hergestellt. Alle herkömmlichen Geometrien dieser Einsätze (dreieckig, rechteckig oder rautenförmig) können dank des omnidirektionalen Schneidens des LMJ problemlos hergestellt werden. Es können mit dem LMJ alle denkbaren Formen ausgeschnitten werden. Es ist auch möglich, die Werkstücke mit exzellenter Qualität zu bohren. Die besten Resultate beim Schneiden von CBN erzielt man durch den Einsatz von Wasserstrahldüsen mit Durchmessern von 75 Mikrometern. Dieser Parameter ist für die Breite des Schnittes bestimmend. Weil CBN ein teurer Werkstoff ist, sind dünne Einschnitte, welche die Materialverluste minimieren, von Wichtigkeit.

Zusätzlich können sehr enge Toleranzen erreicht werden, da die Maschine eine absolute Präzision von ± 3 Mikrometern über eine Arbeitsfläche von 300 x 300 mm und einer maximalen Vorschubgeschwindigkeit von 1000 mm/sek garantiert.

Aber der Hauptvorteil des LMJ im Bereich der CBN-Bearbeitung ist die im Vergleich zu konventionellen Bearbeitungsmethoden exzellente Schnittqualität. Durch diese Schnittqualität entfällt nämlich die Nachbearbeitung und das Nachpolieren der Kanten, und das bei Schnittgeschwindigkeiten von bis zu 35 mm/min für CBN mit einer Dicke von 3,25 mm. Mit dieser Schnittgeschwindigkeit

ist der LMJ-Prozess um ein Vielfaches schneller als die Funkenerosion (EDM) und wie schon erwähnt ist der Prozess auch viel sauberer als der herkömmliche Laser. Deswegen wird der LMJ heute von vielen Herstellern von Hartwerkzeugen als die effizienteste CBN-Schneidtechnologie angesehen.

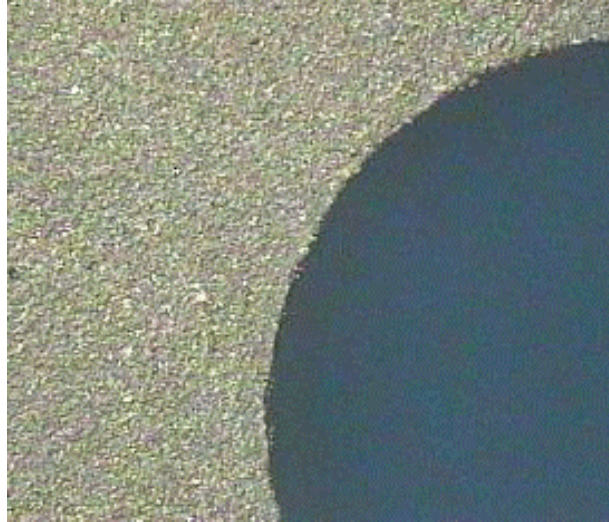


Abb. 2: Loch mit einem Durchmesser von 2,6 mm in reinen CBN, gleich nach der Bearbeitung ohne jegliche Reinigung oder Politur fotografiert.

Trennen von Chips für die Halbleiterindustrie

Das Trennen ist eine der letzten Etappen der langen Produktionskette, die die Umwandlung von Siliziumwafern in integrierte elektronische Schaltungen (Chips) zum Ziel hat. Der Wert des Wafers ist während der Trennung der Chips somit am höchsten, was einen entsprechend sicheren und raschen Trennvorgang erfordert.

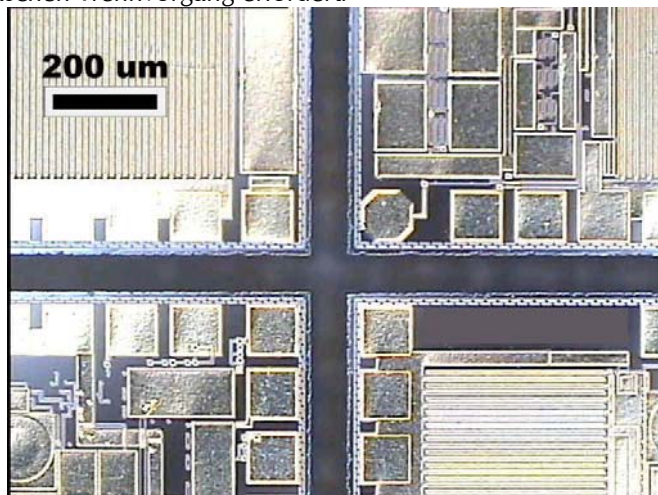


Abb. 3: Trennen von Elektronik-Chips aus Galliumarsenid (Dicke des Wafers : 75 μm ; Durchmesser des Wasserstrahls: 60 μm)

Außerdem werden die Anforderungen des Elektronikmarktes für die Taktfrequenzen der Schaltungen und deren Miniaturisierung immer höher. Die Wafer werden dadurch immer feiner und Verbundwerkstoffe die teuer und extrem spröde sind, wie zum Beispiel Gallium-Arsenid, ersetzen schon heute Silizium in bestimmten Anwendungen. Die Effizienz des LMJ-Trennvorganges für dünne Wafer und auch

GaAs-Wafer wurde bereits nachgewiesen, und seit zwei Jahren wird auch eine spezifisch auf diesen Markt abgestimmte Maschine angeboten.

Im Gegensatz zu den herkömmlichen Methoden wie der Diamantsäge oder „Ritzen und Brechen“ bietet der LMJ eine größere Flexibilität, die es ermöglicht, Chips in allen Formen zu schneiden (z.B. rund), oder auch Chips verschiedener Form und Größe auf ein und demselben Wafer zu trennen. Auch in dieser Anwendung ist es wieder entscheidend, dass keine mechanischen oder thermischen Belastungen auf das Werkstück ausgeübt werden, dadurch können Risse, „Chipping“ und raue Kanten verhindert werden. Mit dem LMJ können Wafer mit einer Dicke von nur 50 Mikrometern mit hohen Geschwindigkeiten (bis zu 200 mm/sek) und einer exzellenten Schnittqualität getrennt werden.

Herstellung der Luftspalte von Ferritkernen in der Elektronikindustrie

Die Kerne kleiner Transformatoren und anderer Spulen für die Elektronikindustrie sind im allgemeinen aus magnetisch „weichen“ Keramiken, bestehend aus Manganoxid, Zink und Eisen (Ferritkerne). Ihre Keramikstruktur macht sie hart, brüchig und schleiftest, also sehr schwer zu bearbeiten. Einige Kernegeometrien benötigen die Herstellung eines Luft-Spaltes mit sehr engen Toleranzen, damit die Leistung des Transformators optimiert werden kann.

Wegen der mechanischen Härte des Materials wird dieser Spalt üblicherweise mit einer Diamantsäge geschnitten. Der Hauptnachteil der Säge besteht in der raschen Abnutzung der Sägeblätter, was zu Problemen

in der Einhaltung der Toleranzen und der Wiederholbarkeit führt. Zudem benötigt dieser Sägevorgang eine kontinuierliche Schmierung der zu schneidenden Teile und verbraucht entsprechend große Flüssigkeitsmengen. Die ständig zu ersetzenden Sägeblätter und die verbrauchte Flüssigkeit lassen diese Methode deutlich teurer als den wasserstrahlgeführten Laser werden.

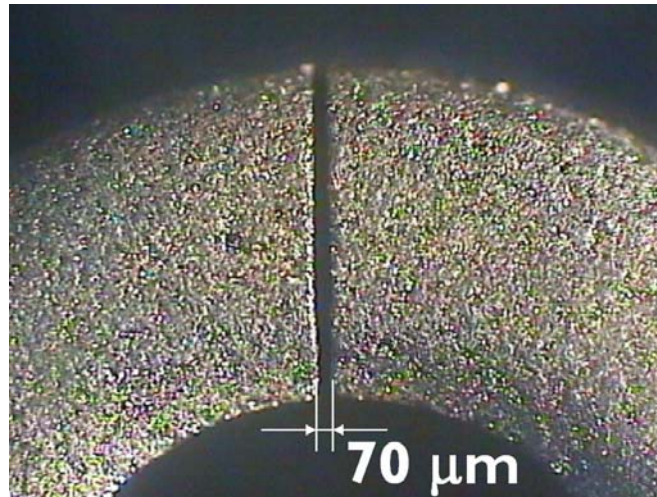


Abb. 4: 70 Mikrometer breiter Spalt, der in einen Ringkern geschnitten wurde.

Mit dem LMJ werden die Betriebskosten deutlich reduziert weil eine viel geringere Abnutzung als bei einer Diamantsäge stattfindet und der Verbrauch von deionisiertem Wasser klein ist (max. 100 ml/min). Die Spalte können sehr schnell hergestellt werden, da die Materialentfernung zwischen 0,05 und 1 mm³/sek beträgt. Die Besonderheit des wasserstrahlgeführten Lasers besteht darin, dass die Ränder des Spaltes perfekt parallel geschnitten werden. Das gilt sogar für Spaltbreiten von nur 50 Mikrometern.

Die Anwendungsbereiche des LMJ beschränken sich nicht auf die drei erwähnten Beispiele. Die Anwendungsbereiche, in denen die LMJ klare Vorteile bringt, sind sehr vielseitig und reichen von der Trennung von Solarzellen bis zur Bearbeitung von Autokatalysatoren. Den Beweis dafür erbringt die letzte Innovation von Synova: eine Maschine zum Schneiden von Schablonen für die Herstellung von Siebdruckmasken (Stencils). Diese Maschine ist die erste aus der Mikrojet-Reihe die ein Gantry-System paralleler Achsen einsetzt um die Arbeitsfläche auf 800 x 600 mm zu vergrößern. Vor kurzem haben auch Versuche an feinen Stents für die Gefäßchirurgie positive Resultate gezeigt, was dem Laser-Microjet® das Tor in die Industrie der biomedizinischen Instrumentierung öffnet.

Auch wenn der LMJ dieses Jahr sein 10-jähriges Jubiläum feiert, und Maschinen in Europa, den USA und Asien 24 Stunden am Tag in der industriellen Produktion laufen, verbessern die Ingenieure von Synova weiter das Prinzip. Seit Anfang 2003 wurden verschiedene Laser mit unterschiedlichen Wellenlängen getestet. Ein weiteres F&E-Projekt betrifft die Verbesserung der Düsen, die einen sehr feinen und stabilen Wasserstrahl erzeugen müssen, damit der LMJ auch in Zukunft den sich weiter diversifizierenden und steigenden Marktanforderungen gerecht wird.

