

DER WASSERSTRAHLGEFÜHRTE LASER UND SEINE ANWENDUNGEN

Zweckbündnis aus Licht und Wasser

DELPHINE PERROTTET, MAX WIKI UND BERNOLD RICHERZHAGEN

Das Prinzip des wasserstrahlgeführten Lasers besteht darin, einen Laserstrahl in einen hauchdünnen Wasserstrahl einzukoppeln. Aus dieser einzigartigen Symbiose resultiert eine Reihe von Vorteilen: Im Gegensatz zum herkömmlichen Laserschneiden erfolgt der Schnitt grat- und ablagerungsfrei und ohne thermische Schäden am Werkstück. Für den Anwender erschließen sich die Vorzüge des wasserstrahlgeführten Lasers in einem breiten Spektrum von Applikationen, beispielsweise beim Wafer- und Schablonenschneiden.

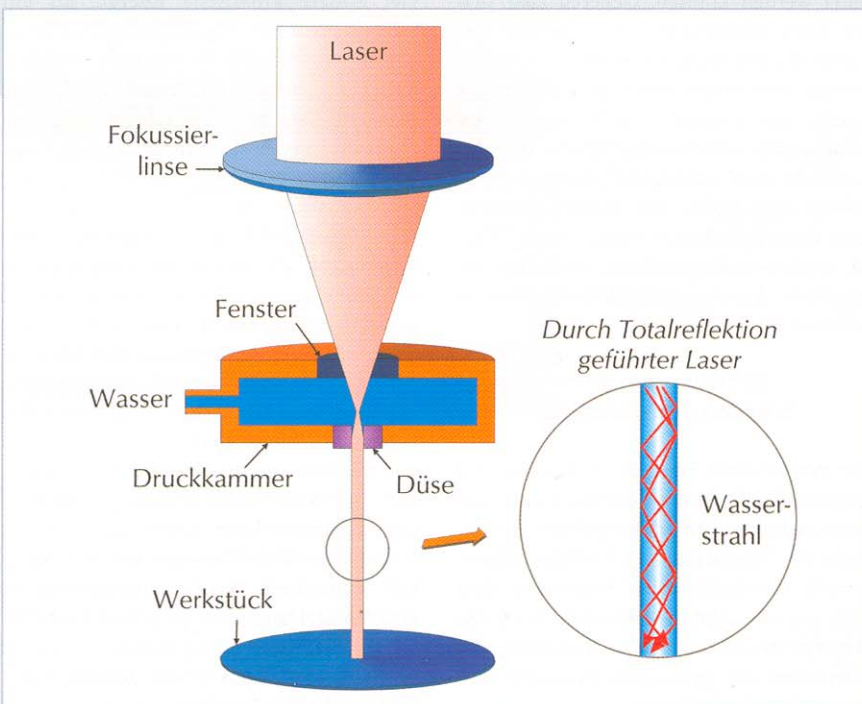


BILD 1. Zum Glück gezwungen: Die Kopplung von Laserstrahl und Wasserstrahl führt zu ausgezeichneten Bearbeitungsergebnissen in der Mikrobearbeitung

Im Jahre 1993 gelang es Wissenschaftlern des Instituts für Angewandte Optik der ETH Lausanne erstmals, einen Laserstrahl in einem Wasserstrahl zu führen, der über genügend Leistung zur Materialbearbeitung verfügte. Das Verfahren wurde ursprünglich entwickelt, um in der Zahnmedizin die Wärmeschädigung während des Laserab-

trags zu verringern. Tatsächlich hat die Nutzung des Wasserstrahls anstelle von Gas neben dem Kühleffekt noch viele weitere Vorteile, die dem Laser seit 1993 neue Anwendungen und Märkte in der industriellen Materialbearbeitung eröffnet haben. Die Grundidee des wasserstrahlgeführten Lasers ist denkbar einfach: Man nehme

einen Laserstrahl und koppelte ihn in einen Wasserstrahl ein. Die Schwierigkeit besteht darin, zwei Medien – Licht und Wasser – miteinander zu »verheiraten«, die sich nicht unbedingt immer »lieben«.

Thermische Linse im Wasserstrahl ist zu vermeiden

Das Wasser »ärgert« nämlich den Laserstrahl, indem es sich dort erwärmt, wo der Laserstrahl durchtritt. Diese Erwärmung ruft eine Änderung im Brechungsindex hervor, sodass sich im Wasser eine negative Linse ausbildet (»Thermal Lensing«). Dieser Effekt weitet den Laserstrahl auf und macht die Einkopplung ineffizient. Im Verständnis und in der Vermeidung dieses nichtlinearen optischen Phänomens durch konstruktive Maßnahmen liegt deshalb der Schlüssel zum Erfolg. Dies ist durch eine hochdynamische Strömung des Wassers während der Laserstrahleinkopplung gelungen. Auf diese Weise wird eine symmetrische Zuführung des Wassers und somit ein stabiler Wasserstrahl erzielt. Dieser Kniff ermöglicht es, hohe Laserleistungen in einen haarfeinen Wasserstrahl einzukoppeln, sodass dieser zum Abtrag von Material verwendet werden kann (Bild 1).

Wasserstrahl nutzt die Zeit zwischen den Pulsen zum Kühlen

Die Laserquelle ist typischerweise ein gepulster Nd:YAG-Festkörperlaser mit einer Grundwellenlänge von 1064 nm, aber auch frequenzverdoppelte (532 nm) oder -verdreifachte Laser (355 nm) können problemlos verwendet werden. Gepulste Laser werden benutzt, weil der Wasserstrahl die Zeit zwischen den Pulsen benötigt, um das Werkstück zu kühlen. Die mittleren Laserleistungen liegen zwischen 50 und 200 W, die Pulslängen im Nano- oder Mikrosekundenbereich und die Puls-wiederholraten zwischen 500 Hz und 50 Hz. Die Laser werden nur fasergekoppelt verwendet, wobei der Faserdurchmesser zwischen 100 und 200 µm beträgt.

Das Wasser wird von einer speziellen Druckverstärkerpumpe gefördert, die einen absolut konstanten Wasserfluss in einem Druckbereich zwischen 20 und 500 bar erlaubt. Das Wasser ist entmineralisiert, gefiltert und entgast. Die Durchflussmengen sind äußerst gering und betragen zwischen 5 und 75 ml/min. Eine Rückgewinnung und Aufbereitung des Schneidwassers ist somit nicht nötig. >>>

Die heutigen optimierten Wasserstrahldüsen bestehen aus Saphir oder Diamant und haben Durchmesser zwischen 25 und 150 μm , wobei dem Durchmesser nach oben keine Grenzen gesetzt sind. Aktuelle

ist also in der Lage, die Laserenergie durch den Materialspalt bis auf den Grund des Schnittspalts zu leiten. Sehr hilfreich ist auch die Tatsache, dass der Wasserstrahl-laser durch einen dünnen Wasserfilm

messer vorgegeben. Damit wird eine Bearbeitungsgenauigkeit von bis zu 1 μm erreicht. Da der Laserstrahl im Wasserstrahl geführt wird, gibt es keinen Brennpunkt. Somit spielt der Arbeitsabstand für die Bearbeitungsqualität und die Parallelität der Schnittkanten keine Rolle und muss deshalb nicht kontrolliert werden.

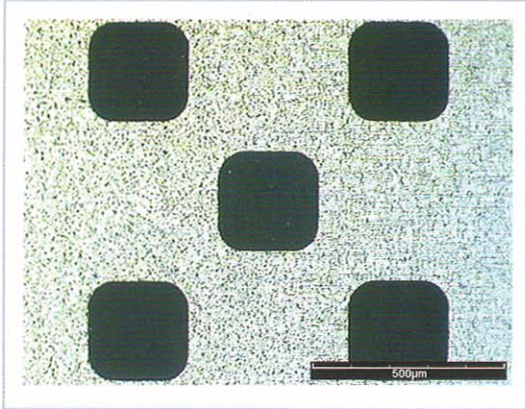


BILD 2. 250 μm große Löcher mit abgerundeten Ecken in 100 μm dicker Stahlfolie, Schnittgeschwindigkeit 8000 Löcher/h

Forschungsprojekte haben zum Ziel, den Wasserstrahldurchmesser, der identisch mit dem Laserstrahldurchmesser ist, auf 10 μm zu reduzieren. Wenn die videounterstützte Justage der Laserkopplung sorgfältig durchgeführt und regelmäßig kontrolliert wird, können die Standzeiten der Düsen mehrere Monate betragen.

Die für die Laserstrahlleitung nutzbare Länge des Wasserstrahls beträgt in grober Annäherung das 1000fache des Düsendurchmessers. Das heißt: Ein Wasserstrahl mit einem Durchmesser von 50 μm kann den Laserstrahl unter den günstigsten Bedingungen und bei optimalem Druck über eine Distanz von 50 mm leiten.

Der Laserstrahl füllt den Wasserstrahl vollkommen aus und wird über die Totalreflexion am Übergang vom Wasser zur Luft geführt. Verluste der Laserleistung entstehen einzig durch die Absorption in der Flüssigkeit, die von der Wellenlänge abhängt. Bei hohen Spitzenleistungen kann eine Ramanstreuung ebenfalls zu kleinen Verlusten führen. Diese sind aber gering und beeinträchtigen nicht die Effizienz des Schneidprozesses. Da der Düsen Eintritt scharfkantig ist und deshalb eine Strahlschnürung stattfindet, beträgt der Wasserstrahldurchmesser circa 83 Prozent des Düsendurchmessers.

Die resultierende Schnittspaltbreite ist größer als der Wasserstrahl, im Mittel beträgt sie 10 Prozent. Beispiel: Eine 30- μm -Wasserstrahldüse erzeugt einen 25- μm -Wasser-Laserstrahl, der wiederum einen Schnittspalt von 27 μm erzeugt. Der Wasserstrahl

schneiden kann, sodass empfindliche Werkstücke absolut ablagerungsfrei bearbeitet werden können. Generell lässt sich der Laser-Wasserstrahl zu jeder Art der Materialbearbeitung verwenden. Grenzen werden zum einen durch die Materialien gesetzt, die Laserlicht nicht absorbieren (Glas), oder durch Materialien, die das Laserlicht stark reflektieren (Kupfer). Beim Bohren von tiefen und kleinen Löchern muss darauf geachtet werden, dass das Wasser wieder austreten kann, wodurch das minimale Aspektverhältnis beim Bohren auf circa 1:1 begrenzt ist.

Keine thermischen Schäden am Werkstück

Der Wasserstrahl führt die in das Material eingebrachte Wärme sofort wieder ab, und zwar zwischen den Laserpulsen. Damit bleibt das Werkstück kalt, Gefügeveränderungen, Oxydation oder Mikrorisse sind nicht zu verzeichnen. Außerdem wird das Material thermisch nicht verformt; die Toleranzen der gefertigten Produkte sind entsprechend sehr gering.

Der Laserstrahldurchmesser wird durch den stets konstanten Wasserstrahldurch-

Neben dem Fehlen jeglicher Wärmeeinfuhr liegt der größte Vorteil des Verfahrens in einem sehr sauberen Schnitt. Damit ist es erstmals möglich, auch in mikroskopischen Dimensionen ablagerungsfrei zu schneiden. Selbst Werkstoffe, die stark zur Verschmutzung und Kontamination neigen, lassen sich sehr sauber bearbeiten.

Der Schnitt ist sehr sauber

Die Schneidprodukte werden im Wasser gebunden, sodass gesundheitsschädliche Produkte nicht in die Luft gelangen, sondern einfach aus dem Wasser gefiltert werden können. Der Wasserstrahl hilft zudem beim Austreiben der Schmelze und hat eine viel höhere kinetische Energie als ein Schneidgasstrahl. Die Abtragseffizienz ist damit bei dünnen Materialien deutlich höher als beim »trockenen« Laser. Um dünne Materialien bis zu 1 mm Dicke zu schneiden, lassen sich gütegeschaltete Laser problemlos einsetzen.

Der Wasserstrahl erzeugt eine konstante kleine Kraft, die wesentlich geringer ist als ein Schneidgasstrahl. Das führt dazu, dass μm -feine Strukturen ohne Vibrationen geschnitten werden können. Außerdem ist der Strahldurchmesser bei vergleichbarer Leistung kleiner als bei konventionellen Lasern. Mit 100 W sind Schnitte von 27 μm zu erreichen, mit 200 W sind 40 μm möglich. Der Wasserstrahl ermöglicht den Einsatz infraroter Laser selbst dort, wo mit konventionellen UV-Lasern nur eine deutlich schlechtere Bearbeitungsqualität zu erzielen ist. Damit sind bei besserer Schnittqualität höhere Leistungen, geringere Anschaffungskosten sowie geringere Betriebskosten zu erreichen.

Der effiziente Austrieb und die sofortige Kühlung ermöglichen die Fertigung sehr glatter Vertiefungen, beispielsweise von Gräben, deren Tiefe innerhalb von 3 μm konstant ist. Kantenrauigkeiten von Tal-zu-Berg-Werten von 1 μm sind realisierbar.

Der Wasserstrahl erlaubt den Einsatz von Trägerfolien (»LaserTape«), auf denen das Schnittgut nach dem Schneiden fixiert bleibt. Die Trägerfolien sind so gestaltet, dass der Laserstrahl die Folie nicht zer-

HERSTELLER

Synova SA, CH-1024 Ecublens
Tel. +41/21/6 94 35 00
Fax +41/21/6 94 35 01
www.synova.ch

schneidet und der Wasserstrahl samt Materialabtrag auf Grund der Porosität die Folie durchdringen kann.

Hohe Effizienz beim Bohren von Stencils

Metallschablonen (so genannte Stencils) kommen unter anderem bei der Herstellung von Leiterplatten zum Einsatz, wenn die Lötpaste aufgebracht wird. Eine weitere Anwendung findet sich bei der Herstellung von Flachbildschirmen. Das Standardverfahren für das Bohren der Metallschablonen ist das Lasern beziehungsweise bei dünnen Präzisionsschablonen das Ätzen. Der Trend zu immer kleineren Öffnungen, einer größeren Anzahl von Öffnungen, dünneren Schablonen sowie höheren Toleranzanforderungen macht das Wasserstrahl-lasern attraktiv. Selbst schmalste Stege verformen sich nicht, und an der Schablone entsteht kein Verzug durch die Wärme-einbringung. Zudem ermöglicht der Strahlradius von 14 µm scharfe Innenecken.

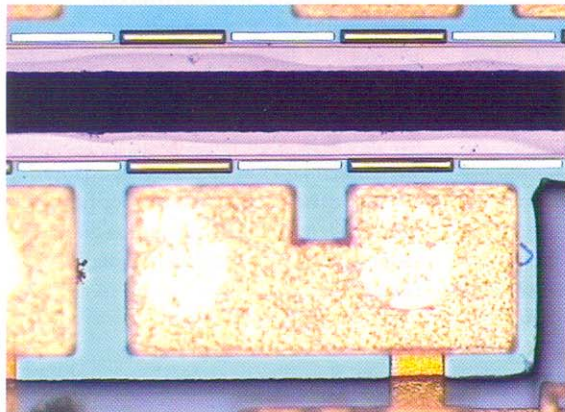


BILD 3. Mikroskopische Aufnahme einer 26 µm breiten Schnittlinie in einem 100 µm dicken GaAs-Wafer bei einer Schnittgeschwindigkeit von 60 mm/s

Außerdem gibt es weder Oxydation noch Ablagerung und praktisch keine Grate. Damit sich die Paste einfach lösen kann, ist der Winkel der Kanten programmierbar. Die in die Laseranlage integrierte Bildverarbeitung kann zum Vermessen der Resultate verwendet werden, wie auch – was einzigartig ist – zur Reparatur, wenn Öffnungen nicht oder teilweise geschnitten worden sind. Die Bohrgeschwindigkeit beträgt bis zu 20 Löcher pro Sekunde in 50 µm dünnen Edelstahlblechen. Die Vorteile sind:

- kein Wärmeeinfluss,
- kleiner Strahlradius,
- Grat- und Ablagerungsfreiheit,
- große Arbeitslänge,
- hohe Abtragseffizienz und
- geringe Fertigungstoleranzen.

Mikrochips werden auf der Basis von Halbleitermaterialien wie Silizium, Galliumarse-

nid, Indiumphosphid, Galliumnitrid und so weiter hergestellt. Sind alle Strukturen auf dem Halbleiterwafer aufgebracht, müssen die Chips vereinzelt werden.

Vereinzeln von Halbleiterwafern

Das etablierte Verfahren ist das Sägen mit Diamantscheiben. Heutzutage werden die Anforderungen an das Trennverfahren immer größer, da zerbrechliche Schichten sowie extrem dünne Wafer der Säge das Leben erschweren. Konventionelle Laser kamen in der Vergangenheit durch zu große Qualitätsprobleme nicht zum Einsatz. Daran werden auch UV-Laser nichts grundlegend ändern, da die Probleme der Kontamination, Kantenrauigkeit und geringen Effizienz bestehen bleiben. Der Wasserstrahl-laser hingegen erzeugt Resultate, die für den trockenen Laser unerreichbar sind: Die Kontamination wird um mehrere Zehnerpotenzen praktisch auf null reduziert. Schnittqualität und Schnittgeschwindigkeit sind dem klassischen Laser meilen-

weit voraus. Selbst wenn in den kommenden Jahren 100 W starke UV-Laser auf den Markt kommen sollten, werden sie dennoch nicht die Qualität erreichen, die der Wasserstrahl-laser mit infraroten oder grünen Laserquellen bereits heute problemlos erreicht. **II**

Delphine Perrottet
ist Pressereferentin bei Synova
in Ecublens/ Schweiz;
perrottet@synova.ch

Bernold Richerzhagen
ist Geschäftsführer bei Synova;
info@synova.ch

Max Wiki
ist Applikationsmanager
im gleichen Unternehmen;
Wiki@synova.ch

PRÄZISION IN EINER ANDEREN DIMENSION



I KUGLER I

Maschinen für die Mikrobearbeitung

NUTZEN SIE HEUTE SCHON DIE TECHNIK VON MORGEN!

I Microgantry® GU I UP-Version

Micro-Lasern-Bohren
Schleifen-Fräsen



I Microturn MT I HP-Version

drehen bis 40 mm Durchmesser
bis Ra 3 nm



Weltneuheit!

I Micro MPM I HP-Version

Fräsen-Schleifen, Drahterodieren,
Senkerodieren



I Lasermark I

Laserbeschriftung zur Kennzeichnung
von Bauteilen



KUGLER GMBH

Heiligenberger Str. 100
D-88682 Salem

Tel.: +49 7553 92 00-0

Fax: +49 7553 92 00-45

info@kugler-precision.com

www.kugler-precision.com