

Mikrometergenau schnell bewegen

Lasergestützte Feinstbearbeitung mit verschleißfreien, hochdynamischen Bewegungselementen

Michael Lehdorff, Salem

Entwickler erzielen zunehmend Fortschritte beim Lasereinsatz für Bearbeitungsaufgaben im Mikrometerbereich. Eine Schwachstelle sind aber oft die verfügbaren Positioniersysteme. Mittlerweile stehen jedoch wirtschaftliche Bewegungselemente auf der Basis wartungsfreier Luftlager zur Verfügung, mit denen eine Laser-Feinstbearbeitung auch mit der Maskenprojektion oder der Femtosekundentechnik machbar ist.

Schon vor der industriellen Etablierung des Lasers wurde leistungsstarkes Licht für die Feinbearbeitung eingesetzt, man denke nur an die «Bearbeitung» von Netzhautablösungen im menschlichen Auge mit Quecksilberhochdrucklampen in den frühen 60er-Jahren. Die hauptsächlichste Domäne der Laserbearbeitung war der Bereich der «groberen» Strukturierung, nämlich das

industrielle Arbeiten in einem Bereich von weniger als 10 µm. Insbesondere das Bohren von spröden Werkstoffen durch thermische Effekte des Lasers («Sprödbrech» durch Überhitzen mit Laserpulsen) führt zu wirtschaftlichen Ergebnissen und wird deshalb in vielen Bereichen, beispielsweise in der Glas- und Maskenbearbeitung sowie beim Packaging in der Elektronikindustrie, eingesetzt.



Bild 1. Luftgelagerte Aluminium-Präzisionsführung mit Linearmotoren und integrierter Messsysteme. Die sehr sprüchlich für die spanende Ultrapräzisionsbearbeitung entwickelten kompakten Führungen werden aufgrund ihrer ausgezeichneten Dynamik zunehmend für die Laserstrukturiertung eingesetzt. Die Laser sind wartungsfrei

Schneiden und das Bohren mit CO₂-Lasern. Die dabei erzielten Strukturbreiten liegen zwar deutlich im Submillimeterbereich, aber auf Grund der großen Laserwellenlänge von 10,6 µm ist hier eine «echte» Mikrobearbeitung schon aus theoretischen Gründen nicht möglich.

Erst die Einführung der Festkörperlaser, beispielsweise der Nd:YAG-Laser mit Wellenlängen von 1,06 µm, ermöglichte das

Für die Bearbeitung von Keramiken oder auch Quarzglas werden Laser mit noch kürzeren Wellenlängen angewendet, aber auch hier stellen zunächst physikalische Ursachen eine Begrenzung der erzielbaren kleinsten Strukturbreiten dar. Zum einen weisen die meisten Hochleistungs-Excimerlaser mit Wellenlängen im UV-Bereich (etwa 250 nm oder kürzer) eine charakteristische Strahlqualität auf, die es nicht ermöglicht, das UV-Licht auf kleinste Durchmesser im Mikrometer- und Submikrometerbereich zu fokussieren. Zum anderen bedingt die Wärmeeindringtiefe der zu bearbeitenden Materialien, dass bei den typischen Laserpulsdauern im Bereich von Nanosekunden Schmelzschichten mit einer Dicke von mehreren Mikrometern entstehen, was eine etwa gleichgroße Strukturverbreiterung bewirkt. Hier setzen jetzt neue Verfahren an, um die erzielbaren Genauigkeiten zu verbessern und die Strukturbreiten bei Beibehaltung der



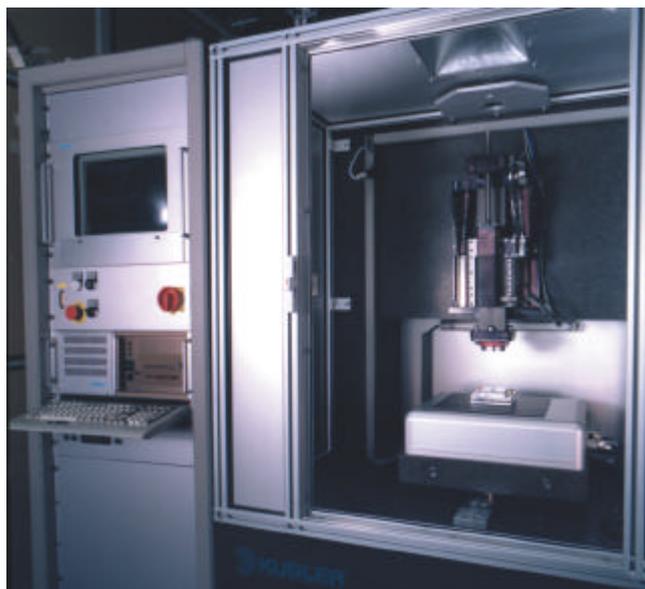
Quelle: IFSW Stuttgart

Wirtschaftlichkeit weiter zu reduzieren. Im Wesentlichen wird dadurch die Reduktion der Energiedichte eines Einzelpulses die Schärfe der bearbeiteten Strukturen wesentlich erhöht, das heißt, ein Bearbeitungsschritt wird, wie beim Perkussionsbohren, in viele Einzelschritte zerlegt.

Um weiterhin technisch interessante Bearbeitungszeiten zu erhalten, erfolgen derzeit Arbeiten zum Verbessern der Bearbeitung, beispielsweise durch großflächige Ablation mittels Abbildung flexibler, strukturierter Masken. Weiterhin arbeiten die Entwickler aber auch an der Optimierung der eingesetzten Laserstrahlquellen zur Erhöhung der Repetitionsraten. Sie wollen darüber hinaus den Anwendern zum Mikrobearbeiten auch neue Lasertypen verfügbar machen, beispielsweise durch frequenzvervielfachte Scheibenlaser mit wesentlich verbesserter Strahlqualität im Vergleich zu Excimer-Lasern sowie durch die Entwicklung industriegerechter «Femtosekunden»-Kurzpulslaser.

Solche Vorhaben werden zur Zeit in Deutschland in öffentlich geförderten Verbundprojekten zwischen Industrie, Hochschulen und Forschungseinrichtungen (z.B. beim Verbundprojekt «Promis» im Förderprogramm «Produktion 2000» oder beim Projekt «Primus» im Programm «Laser 2000» des BMBF) intensiv bearbeitet. Auf Grund der Vorarbeiten und der Ergebnisse im Rahmen dieser Projek-

Bild 2. Positionier-einheit für die Lasermikrobearbeitung. Sowohl Werkstückpositionierung als auch Fokus-einstellung erfolgen über luft-gelagerte Achsen.



gerkomponenten ist lediglich trockene Pressluft oder ein Inertgas erforderlich, um den Betrieb aufrechtzuerhalten. Das führt, verglichen mit mechanischen oder hydrostatischen Lagerungen, zu geringeren Betriebskosten. Außer dem ist nur mit derartigen Luftlagern das Erreichen einer Submikrometer-Genauigkeit in der Positionierung von Werkstücken oder vom Laserstrahl zum Werkstück möglich.

Als problematisch bei Luftlagern mag dem potenziellen Anwender die Lagersteifigkeit erscheinen. Bezüglich ihrer Wartungsfreiheit sind relativ große Lagerflächen erforderlich, um die für technische Anwendungen erforderliche Steifigkeit zu erzielen. Dies wurde bis Ende der 80er-Jahre nahezu ausschließlich durch die Anwendung großer (Granit-)Tische erreicht, auf denen sich entsprechende Werkstoffe (versehen mit Luftdüsen und Vakuumflächen zur Einstellung des korrekten Lager spalts von etwa 5 µm) reibungsfrei bewegen. Es liegt auf der Hand, dass mit derartigen Systemen die für die Feinstbearbeitung mit Lasern erforderliche Dynamik (gefordert werden zur Zeit bis zu 2 g) nicht erzielt werden können. Erst durch die Entwicklung von luftgelagerten Käfigführungen auf Aluminiumpinolen konnte teils auf den Einsatz der großen Massen und andererseits auf die Vakuumvorspannung verzichtet werden (Bild 1). Geschlossene Kä-

te wurden Entwicklungen angestoßen, die innerhalb der nächsten zwei Jahre (bezüglich der Feinstbearbeitung) zu industriegerechten und auch ökonomischen Strahlquellen führen werden.

Ist ein physikalisch-technischer Prozess für die mikrotechnischen Bearbeitungen gefunden und ist die dafür erforderliche Laserstrahlquelle vorhanden, so stellt sich den noch das Problem der Positionierung. Oft sind bei einer Bohrung neben der im Submikrometerbereich liegenden Schärfe der Bohrungskante auch ein genauer Bohrungsdurchmesser und auch eine weignstens im Bereich von wenigen Mikrometern liegende Positionsgenauigkeit erforderlich. Es zeigt sich aber, dass bisherige Methoden, um das Licht gezielt an die Bearbeitungsstelle am Werkstück zu bringen, oft unzureichend sind. Was nützt eine scharfe Schnittkante oder eine präzise Tiefe einer optischen Gitterstruktur, wenn die Form der Struktur in im Mikrometerbereich nicht exakt gerade oder kreisförmig verläuft? Die Mikrobearbeitungstechnik erfordert deshalb auch eine entsprechende Positioniertechnik. Hier können bei Genauigkeiten bis zu einem Mikrometer zwar teilweise auch konventionelle mechanische Führungen (wie Rollen- oder Kugelführungen, Kugelumlaufspindeln, Planetenspindeln) eingesetzt werden, man bewegt sich bei diesen geforderten Genauigkeiten aber an der Grenze des Machbaren. Zudem bedeutet eine Unterteilung des Bearbeitungsprozesses in viele (Mikro-) Einzelschritte auch eine deutlich höhere Anforderung an die Dynamik der Positionierachsen (Stepper-Betrieb mit vielen Stop-and-

Go-Operationen, Scan-Betrieb mit kurzen Hüben im Submillimeterbereich). Diese bewirken eine hohe Wartungsrate bei den Führungen und Antriebskomponenten. Hier erweisen sich Lagerkomponenten mit aerostatischen Führungen (Luftlager) hinsichtlich Dynamik und Wartungsfreiheit als überlegen, insbesondere wenn sie mit Linearmotoren direkt angetrieben werden. Sie erfordern kein Schmieröl und kein Nachspannen.

Bei diesen ursprünglich für die spanende Präzisionsbearbeitung (Optikfertigung, Buntmetallbearbeitung) entwickelten La-

	Ablauffehler			Geschwindigkeit (max.) (mm/min)	Beschleunigung (max.)	Positioniergenauigkeit
	1-100 mm	0,1-1 mm	1-0,1mm			
	Geradheit	Welligkeit	Rauschen			
AluLine Spindeltrieb	1 µm	200 nm	10 nm	1000	0,5 g	0,2 µm
AluLine, Spindel Spitzenkopplung	0,3 µm	40 nm	3 nm	500	0,1 g	0,2 µm
AluLine, Spindel Ausgleichskoppl.	0,3 µm	40 nm	5 nm	1000	0,5 g	0,1 µm
Ausgleichskoppl. vertikal	0,3 µm	k.A.	k.A.	500	0,1 g (0,5g)	0,3 µm
Flachbett, Linearmotor	0,3 µm	200 nm	10 nm	> 4000	> 1 g	0,2 µm
Flachbett, Spindel (Vertikaltisch)	0,3 µm	k.A.	k.A.	4000	0,75 g	0,2 µm
AluLine 160, Linearmotor	0,2 µm	40 nm	3 nm	> 4000	> 1 g	0,1 µm

Tabelle. Ablaufparameter verschiedener Luftlagertypen für die Mikrobearbeitung

führungen regeln den Lagerspalt auf Grund der allseitigen Druckluftbeaufschlagung selbstständig [1].

Die Auswahl einsetzgerechter Luftlager-Positionierkomponenten ist entscheidend für den Aufbau mehrachsiger Systeme für die Feinstbearbeitung. Direktangetriebene Linearachsen eignen sich beispielsweise für eine Bewegung der Werkstücke in der Horizontalen. Für Vertikalachsen sind selbsthemmende Antriebsspindeln eine sinnvolle Wahl, zumal wenn für die Vertikalbewegung eine wesentlich geringere Dynamik als für die Horizontalbewegung gefordert wird, wenn also Werkstücke zweidimensional bearbeitet werden. Sie erfüllen wesentliche Sicherheitsgesichtspunkte, da direktangetriebene Vertikalachsen über gesonderte Bremsysteme verfügen müssen, um bei Energieabfall oder Not-Halt ein Herabfallen des reibungsfrei ablaufenden Luftlagerschlittens zu verhindern.

Solchegemischten Antriebskonzeptionen haben sich beim Herstellen von optischen Bauteilen nach dem Verfahren der Maskenprojektion mit Excimerlasern bewährt. Das Titelbild zeigt einen einfachen 4-achsigen Aufbau mit zwei luftgelagerten Linearachsen, einer luftgelagerten Rotationsachse und einer mechanischen Vertikalachse, noch ohne Laser und ohne Geräteverkleidung. Dagegen zeigt Bild 2 einen ähnlichen Luftlagentisch im eingebauten Zustand mit dem Steuerungsschrank und den Abdeckungen. Hier ist die Vertikalachse allerdings ebenfalls als luftgelagerte Achse ausgeführt, um die in diesem Anwendungsfall erforderliche Präzision gewährleisten zu können. Die Tabelle zeigt die typischen Ablaufwerte für verschiedene Luftlagertypen im Überblick. Damit kann der Konstrukteur je derzeit auf einfache Weise eine Anlage zusammenstellen, die die vom Laseranwender geforderten optimalen Parameter aufweist.

■ Literatur

1 Karl-Christian Esprester: «Linearmotoren in der Optikerfertigung», F&M 1-2/99, Carl Hanser, München.

■ Dipl.-Phys. Dr. Michael Lehdorff

geboren 1955 studierte Physik in Köln und Konstanz und promovierte 1986 mit einer Arbeit über Lichtstreuung an Festkörperoberflächen. Nun arbeitet er als freier Mitarbeiter im Bereich Forschung und Entwicklung der Kugler GmbH in Saalem, Bodensee.

Hohe Pulsspitzenleistung

Die gepulste Ansteuerung der Dioden des diodengepumpten Nd:YAG-Lasers DiNY ermöglicht Ausgangsenergien bis 10 mJ bei einer Pulswiederholrate von 500 Hz (maximal 1 kHz). Durch seine Eigenschaften soll er lampengepumpte Systeme ersetzen. Der Laser der Innovative Berlin Laser AG, Berlin, erzielt eine Pulsspitzenleistung bis 1 MW bei Pulsdauern von 8 ns. Die Lebensdauer der Antriebsquelle



be trägt über 6000 h. Bei der Entwicklung des Lasers hat man besonderen Wert auf eine einfache Bedienung über graphische Benutzeroberflächen gelegt. Seinen Einsatz findet er im wesentlichen beim Abtragen von Material (beispielsweise in der Mikromaterialbearbeitung) und beim Beschriften. Ein nur 100 x 100 x 300 mm³ kleines Gehäuse umkapselt den Laser vollständig. Er kann durch seine Konstruktioneinheit auch aus der Ferne gewartet werden.

Nicht größer, aber stärker

Zu den Deos-Lasern von Bfi-Optilas GmbH, Puchheim, mit den Leistungen 25, 50 und 100 W gibt es seit kurzem den Laser LC-100NV in der Version «wide guide». Dieser hat die gleichen Abmessungen wie die herkömmliche 100 W-Ausführung, er liefert jedoch eine Ausgangsleistung, die um 25 Prozent höher liegt. Somit stehen mehr als 125 W zur Verfügung. Auch dieser Laser ist wartungsfrei, kompakt und so mit einfach in die Fertigung zu integrieren. Er kommt überwiegend beim Schneiden, Schweißen und Markieren so wie beim Bohren und Gravieren von organischen Materialien zum Einsatz.

