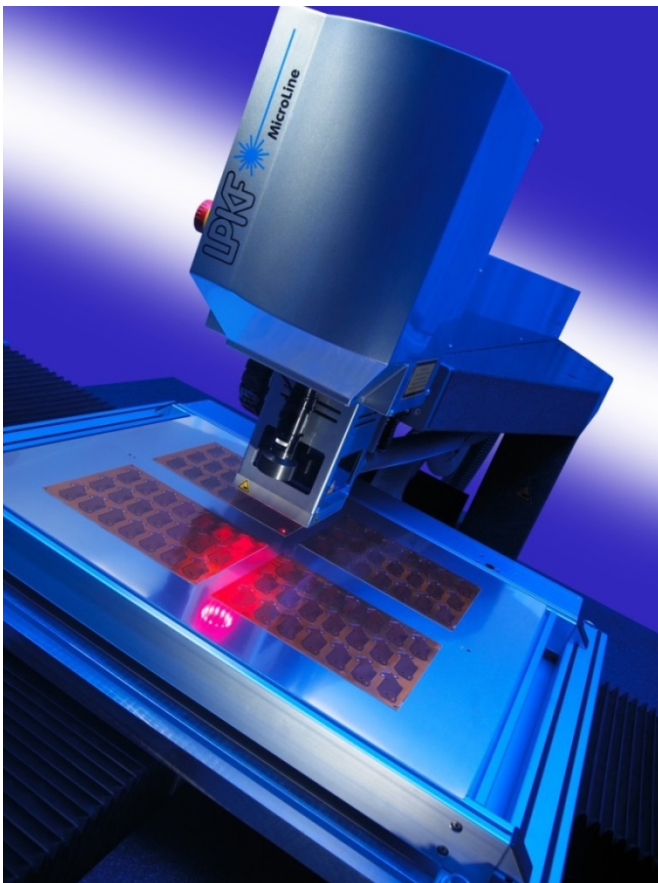


Laserstrahlsteuerung bei Materialbearbeitung, Laser-Scanning-Mikroskopie und Ophthalmologie

Piezoelektrische Antriebskomponenten und ihre Möglichkeiten



Laser sind vielseitige Werkzeuge. In der Materialbearbeitung kann man heute genauso wenig auf sie verzichten wie bei Operationen am Auge oder der Super-High-Resolution Mikroskopie. Dabei haben die verschiedenen Anwendungsbereiche durchaus Gemeinsamkeiten, denn immer kommt es auf eine genaue Positionierung des Laserstrahls an. Gleichzeitig verlangt diese Laserstrahlsteuerung und -fokussierung von den eingesetzten Antriebssystemen aber auch Dynamik, Zuverlässigkeit und kompakte Abmessungen, um eine einfache Integration in die Anwendung zu ermöglichen. Vor diesem Hintergrund wundert es kaum, dass bei der Laserstrahlsteuerung piezoelektrische Antriebskomponenten oft ohne ernstzunehmende Alternative sind.

Aktoren, die auf dem Piezoeffekt basieren, bewegen sich mit Auflösungen im Sub-Nanometerbereich und Ansprechzeiten unter einer Millisekunde, wodurch ein dynamischer Betrieb mit Scanfrequenzen bis zu eintausend Hertz möglich ist. Da die Bewegung auf kristallinen Festkörpereffekten beruht, gibt es keine rotierende oder reibende Mechanik. Weil sie keine im klassischen Sinn bewegten Teile haben, sind Piezoaktoren wartungsfrei. So lassen sich Bewegungen im Sub-Nanometer-Bereich mit hoher Geschwindigkeit realisieren.



Abb. 1 Hochdynamische, piezogetriebene Kippplattform mit zwei orthogonalen Achsen und optischen Ablenkungswinkeln von bis zu 20 mrad. Bis zu vier Piezoaktoren sind direkt mit der bewegten Plattform gekoppelt. Die Länge der Aktoren bestimmt den Kippwinkelbereich, das System ist daher skalierbar (Bild: PI)

Piezoaktoren verbrauchen außerdem im statischen Betrieb keine Energie, denn sie wirken elektrisch wie kapazitive Lasten. Kein Wunder also, dass die kompakten piezobasierten Positioniersysteme (Abb. 1) von Physik Instrumente (PI) heute in vielen Anwendungen zur Laserstrahlsteuerung das Mittel der Wahl sind.

Die auf die jeweiligen Positioniersysteme abgestimmten, analogen oder digitalen Controller ermöglichen zudem eine einfache Integration in die jeweilige Applikation.

Ein wesentlicher Vorteil der Digitalcontroller ist dabei, dass auf alle Bewegungsparameter durch Rechenalgorithmen gezielt Einfluss genommen werden kann. Dies steigert Präzision und Dynamik bei gleichzeitig hohem Bedienkomfort. Für die Laserstrahlsteuerung bieten piezoelektrische Antriebs- und Positioniersysteme damit interessante Möglichkeiten, zumal sich auch die fürs hochpräzise Positionieren notwendige Sensorik im PI Programm findet.

Präzisionslösungen für die Materialbearbeitung

Typische Anwendungen für die Materialbearbeitung per Laserstrahl finden sich in der Elektronikfertigung, z. B. wenn Schablonen hergestellt werden, mit deren Hilfe dann Platinen mit Lötpaste beschichtet werden (Abb. 2).

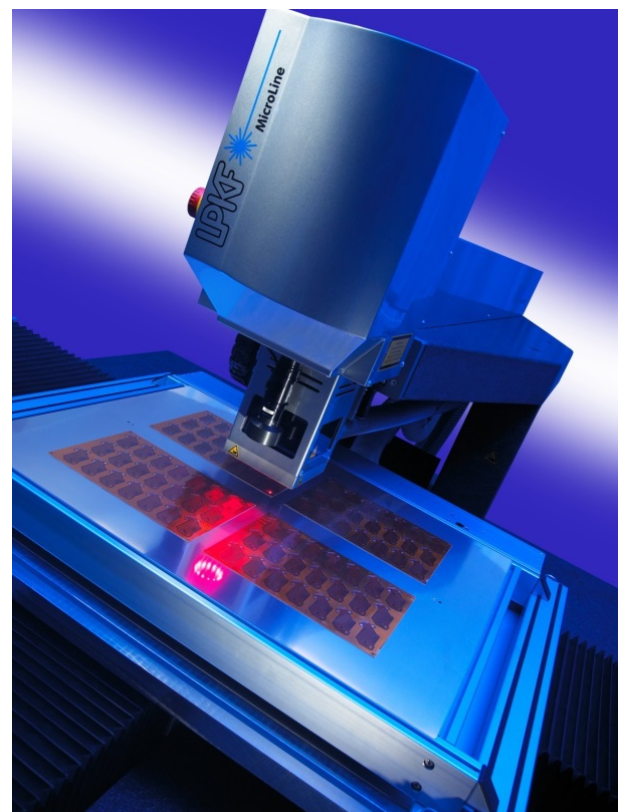


Abb. 2 PKF MicroLine series for professional laser processing of circuit carriers and printed circuit board. (Bild: LPKF Laser & Electronics AG)

Dabei sind die Anforderungen hoch, das Material muss sehr präzise abgetragen werden bei genau definierten Kanten. Ebenfalls obligatorisch sind hohe Durchsatzraten. Gängige Ablenktechniken für den Laserstrahl, wie die meist auf dem Induktionsprinzip basierenden Galvanometer-Scanner, sind für solche Hochpräzisionsanwendungen zwar prinzipiell geeignet, haben jedoch auch Nachteile. Um in zwei Achsen positionieren zu können, müssen zwei Systeme hintereinander geschaltet, also gestapelt werden. Dadurch ergeben sich unterschiedliche Kippunkte und der Platzbedarf ist verhältnismäßig groß.

Piezogetriebene Kippplattformen oder Kippspiegelsysteme sind hier die bessere Alternative, da sie nicht nur die erforderliche Genauigkeit, sondern gleichzeitig auch hohe Beschleunigungen und eine große dynamische Bandbreite bieten.

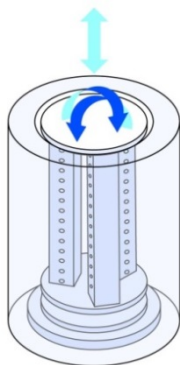


Abb. 3 Bei parallelkinematischen Systemen wirken alle Aktoren unmittelbar auf die gleiche Plattform; Prinzipaufbau mit drei Aktoren (Bild: PI)

Bei Kippspiegelsystemen und piezobasierten Scanning-Plattformen mit mehreren Bewegungsachsen sind die Piezoantriebe in parallelkinematischen Positioniersystemen eingesetzt (Abb. 3).

Diese Bauform hat gegenüber seriellen Systemen verschiedene Vorteile: So gibt es nur eine bewegte Plattform mit gemeinsamem Drehpunkt, die Dynamik ist höher und die Baugröße kleiner. Außerdem können die Systeme eine höhere Genauigkeit erreichen als dies durch Hintereinanderschalten von zwei Einachssystemen – wie z. B. bei Galvanoscannern üblich – realisierbar ist. Integrierte hochauflösende Positionssensoren sorgen für hohe Linearitätswerte von besser als 0,25 % über den vollen Stellbereich und für eine Wiederholgenauigkeit von typischerweise 5 μ rad, das entspricht in etwa 0,3 Milligrad.

Laser-Scanning-Anwendungen in der Super-Resolution Mikroskopie

Auch in der Laser-Scanning-Mikroskopie muss der Laserstrahl zum Anregen von Fluoreszenzen in der Probe positioniert und fokussiert werden. Während bei konfokalen Verfahren Galvanoscanner hinsichtlich ihrer Präzision in den meisten Fällen sicherlich ausreichen, stößt man mit dieser Lösung im Bereich der Super-Resolution-Mikroskopie schnell an deren Grenzen (Abb. 4). Hier gelten höhere Anforderungen an die Genauigkeit mit Auflösungen um die 10 nm, bei gleichzeitig hoher Dynamik. Hier spielen piezogetriebene Kippspiegel (Abb. 1) und Plattformen wieder ihre Vorteile aus.

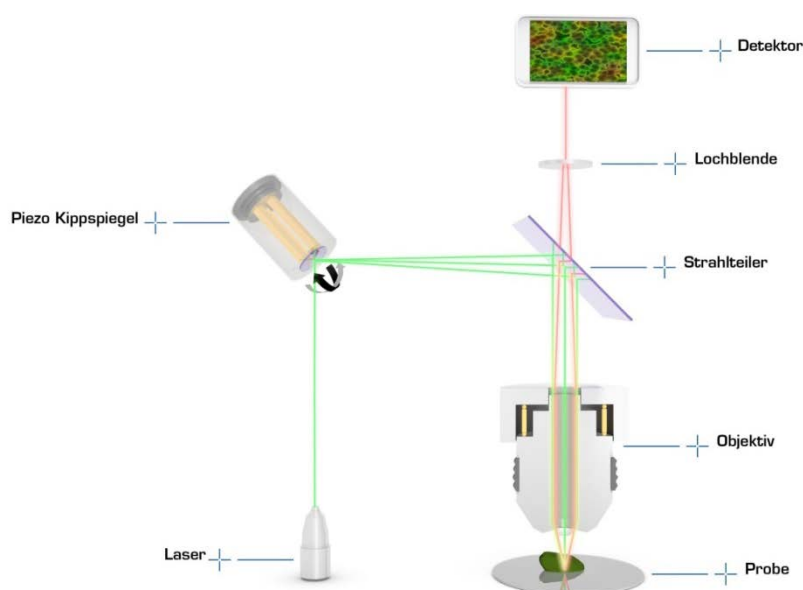


Abb. 4 Laser-Scanning-Anwendungen in der Super-Resolution Mikroskopie (Bild: PI)

Die S-334 Kippplattformen und Scanner (Abb. 5) beispielsweise erlauben hochdynamische und präzise Kippbewegungen der Deckplattform in zwei orthogonalen Achsen mit einem gemeinsamen Drehpunkt.



Abb. 5 The piezo-driven tip/tilt platforms are available with tilting angles of up to 3°, which are each offered with position sensors for closed-loop operation or without sensors as fast scanners (Bild: PI)

Die reibungsfreien Piezoantriebe und Festkörperführungen ermöglichen höhere Beschleunigungen als konventionelle Antriebe, und bieten dabei in Positionsregelung Scanfrequenzen von über 100 Hz über Kippwinkelbereiche von bis zu 3°. Mit dem E-616 steht ein eigens für Piezokippspiegel entwickelter Controller zur Verfügung, der die Funktionen eines mehrkanaligen Reglers und Verstärkers vereint.

Über seine interne Hardware kann eine Koordinatentransformation durchgeführt werden, so dass die Ansteuerung direkt proportional zum Ablenkwinkel möglich ist.

Piezo-Ultraschallantriebe für die Laserstrahlsteuerung

Präzise Laserstrahlsteuerung und -fokussierung ist auch in der Medizintechnik ein wichtiges Thema. So lassen sich beispielsweise Fehlsichtigkeiten am Auge dank refraktiver Operationstechniken bis in hohe Dioptrienbereiche ausgleichen. Dazu wird die Hornhautform in der Sehachse durch Entfernen von Hornhautpartikelchen mit Hilfe von Laserstrahlen so modelliert, dass die resultierende Brechkraft der Hornhaut (Epithel) wieder zur Länge des Augapfels passt (Abb. 6). Auch hier finden die bereits beschriebenen Kippspiegelsysteme ein breitgefächertes Anwendungsgebiet.

Ebenfalls interessante Möglichkeiten für die Laserstrahlsteuerung erschließen die keramischen PISLine® Ultraschallmotoren. Sie zeichnen sich durch extrem hohe Geschwindigkeiten und Beschleunigung bei gleichzeitig sehr kompakten Abmessungen aus. Das patentierte Antriebsprinzip (Abb. 7) macht sie im Ruhezustand selbsthemmend. Linearmotoren und Antriebe sind zur Integration in ein Kundensystem vorgesehen und im Allgemeinen ungeführt. Es gibt jedoch auch Komplettlösungen, die sich einbaufertig in viele Applikationen integrieren lassen.

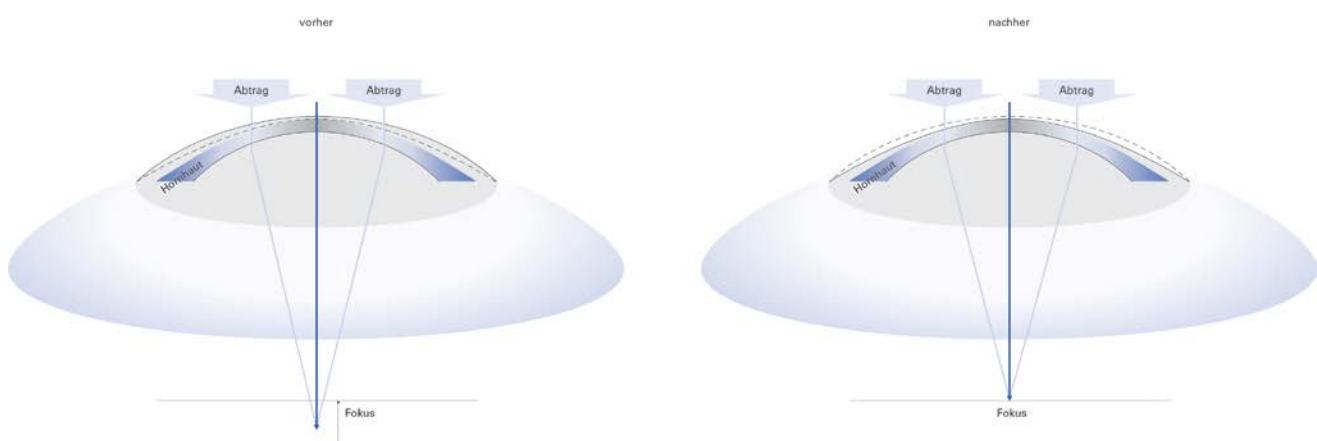


Abb. 6 Um Fehlsichtigkeiten am Auge auszugleichen wird die Hornhautform in der Sehachse durch Entfernen von Hornhautpartikelchen mit Hilfe von Laserstrahlen so modelliert, dass die resultierende Brechkraft der Hornhaut (Epithel) wieder zur Länge des Augapfels passt (Bild: PI)

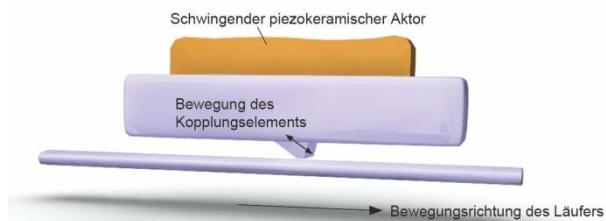


Abb. 7 Patentiertes Funktionsprinzip der PI-Line-Aktoren: Schwingungen mit Ultraschallfrequenzen eines piezokeramischen Aktuators werden entlang einer Reibschiene in lineare Bewegung umgewandelt und treiben so den beweglichen Teil eines mechanischen Aufbaus an (Bild: PI)

Der Präzisions-Mikrolineartisch M-663 (Abb. 8), der sich bei Bedarf auch für XY-Kombinationen eignet, liefert ein gutes Beispiel dafür. Er bietet Geschwindigkeiten von bis zu 400 mm/s und Stellwege bis 19 mm bei Auflösungen bis zu 0,1 µm.



Abb. 8 PI-Line® micropositioning stage with linear encoder for direct position evaluation (Bild: PI)

Mit 15 mm Höhe, 30 mm Breite und 35 mm Länge baut der Mikrostelltisch sehr kompakt, lässt sich also gut in die jeweilige Anwendung integrieren. Dazu trägt sicherlich auch bei, dass der gleiche Hersteller auch die passende Treiberelektroniken und Controller anbietet, die perfekt auf den Mikrolineartisch abgestimmt sind.

Für Laserstrahlsteuerung und -fokussierung erschließen sich durch solche Positionierlösungen interessante Möglichkeiten, von denen man heute in allen Bereichen profitieren kann, in denen die Laserbearbeitung Einzug hält.

Über PI

In den letzten vier Jahrzehnten hat sich Physik Instrumente (PI) mit Stammsitz in Karlsruhe zum führenden Hersteller von Positioniersystemen mit Genauigkeiten im Nanometerbereich entwickelt. Das privat geführte Unternehmen ist mit vier Sitzen in Deutschland und fünfzehn ausländischen Vertriebs- und Serviceniederlassungen international vertreten.

Über 850 hochqualifizierte Mitarbeiter rund um die Welt versetzen die PI Gruppe in die Lage, fast jede Anforderung aus dem Bereich innovativer Präzisionspositioniertechnik zu erfüllen. Alle Schlüsseltechnologien werden im eigenen Haus entwickelt. Dadurch kann jede Phase vom Design bis hin zur Auslieferung kontrolliert werden: die Präzisionsmechanik und Elektronik ebenso wie die Positionssensoren.

Die dafür benötigten piezokeramischen Elemente werden bei der Tochterfirma PI Ceramic in Lederhose gefertigt, einem der weltweit führenden Unternehmen auf dem Gebiet aktorischer und sensorischer Piezoprodukte.

Die PI miCos GmbH in Eschbach bei Freiburg ist spezialisiert auf flexible Positioniersysteme für Ultrahochvakuum-Anwendungen sowie parallelkinematische Positioniersysteme mit sechs Freiheitsgraden und Sonderanfertigungen.

Autoren



Dipl.-Phys. Steffen Arnold, Leiter „Markt und Produkte“ bei Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG

Ellen-Christine Reiff, M.A., Redaktionsbüro Stutensee