

Dreidimensionales Laserschreiben im Nanometer-Maßstab

Piezoantriebe treiben die Technik voran



Größtmögliche Positioniergenauigkeit ist heute in vielen Anwendungsbereichen obligatorisch. Beispiele reichen von der Halbleiterfertigung über die Biotechnologie bis hin zur optischen Messtechnik und Mikroskopie. Nanopositioniersysteme mit piezoelektrischen Aktoren sind in solchen Applikationen meist das Mittel der Wahl. Sie arbeiten mit Wiederholgenauigkeiten im Nanometerbereich bei Ansprechzeiten unterhalb einer Millisekunde, sind vakuumkompatibel und funktionieren in einem weiten Temperaturbereich. Dadurch erschließen sich den präzisen Positioniersystemen immer wieder neue Einsatzbereiche. Ein typisches Beispiel liefern neue Laserlithografiegeräte.

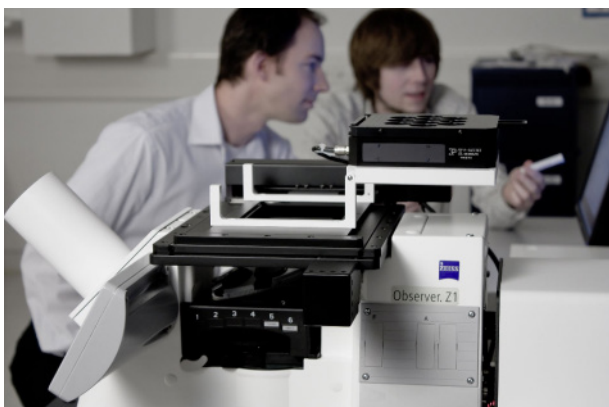


Abb. 1 Neuartiges Laserlithographiesystem der Nanoscribe GmbH, mit dem sich erstmals komplexe dreidimensionale Mikro- und Nanostrukturen in photosensitiven Materialien herstellen lassen (Bild: Nanoscribe GmbH)

Die Ende 2007 gegründete Firma Nanoscribe GmbH, ansässig in Eggenstein-Leopoldshafen, hat ein neues Laserlithographiesystem auf den Markt gebracht (Abb. 1), mit dem sich erstmals komplexe dreidimensionale Mikro- und Nanostrukturen in photosensitiven Materialien herstellen lassen. In das Start-up Unternehmen fließen mehr als sieben Jahre Forschungsarbeit ein, sowohl am Institut für Nanotechnologie des Forschungszentrums Karlsruhe als auch am Institut für Angewandte Physik der Universität Karlsruhe (TH).

Von dem neuen Lithografieverfahren, mit dessen Hilfe sich reproduzierbare Strukturen vollautomatisch und mit einer zuvor nicht vorhandenen Design-Flexibilität auf Submikrometerskalen realisieren lassen, werden viele Anwendungen vor allem im Forschungs- und Entwicklungsbereich profitieren.

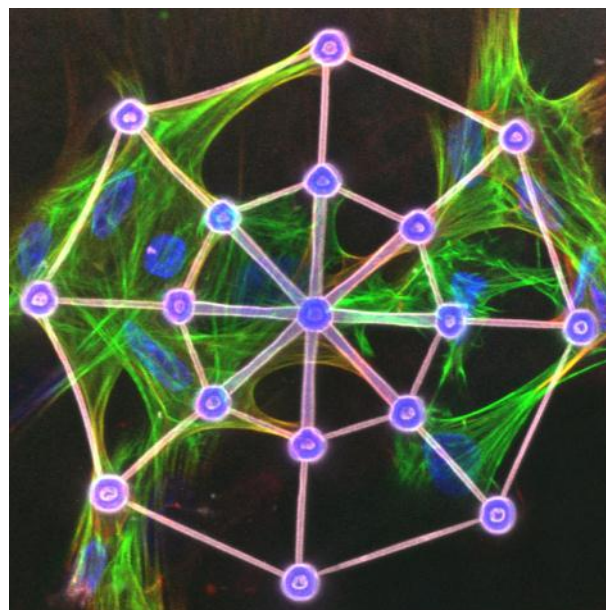


Abb. 2 Mit 3D-Lithografie hergestelltes Gerüst für die Zellbiologie (Bild: Nanoscribe GmbH)

Typische Einsatzbereiche für die neue Technik finden sich z. B. bei der Herstellung dreidimensionaler Gerüste für die Zellbiologie (Abb. 2), bei der Fertigung mikrooptischer Bauelemente oder photonischer Kristalle (Abb. 3) sowie als Rapid-Prototyping-Instrument für mikro- und nanofluidische Systeme und deren Kleinserienfertigung.

Die gewünschten Strukturen können mit jeder CAD-Software entworfen und importiert werden, die das Format DXF unterstützt, oder alternativ mit der eigens entwickelten Skript-Sprache GWL, die speziell auf die Bedürfnisse der 3D-Strukturierung ausgelegt ist.

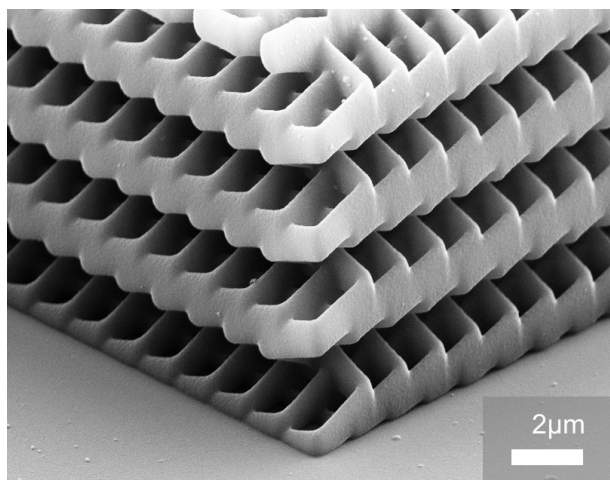


Abb. 3 Photonischer Kristall (Bild: Nanoscribe GmbH)

Bahnbreiten bis herunter zu 150 nm sind realisierbar

Die prinzipielle Funktionsweise des neuen Lithografieverfahrens, das sich für eine Vielzahl kommerziell verfügbarer Fotolacke eignet, ist einfach zu verstehen: Durch starkes Fokussieren ultrakurzer Laserpulse in das Material wird dieses über einen nichtlinearen optischen Prozess im Fokus belichtet. Vergleichbar einem Stift, der in drei Dimensionen geführt wird, beschreibt der Laserstrahl das Material entlang beliebiger Pfade. Dabei werden Linienbreiten von mehreren Mikrometern bis hinunter zu 150 nm erreicht. Natürlich sind auch 2D- oder 2 1/2-D-Strukturierungen möglich, allerdings mit wesentlich höherer Auflösung als bei konventionellen Geräten bisher üblich.

Realisierbar ist eine hohe Präzision bei der dreidimensionalen Lithografie jedoch nur, wenn entsprechend genau positioniert wird. „Während des Schreibvorgangs bleiben Laser und Fokus fix, die Probe wird entsprechend der dreidimensionalen Schreibaufgabe bewegt,“ erläutert Martin Hermatschweiler (Abb. 4), CEO der Nanoscribe GmbH. „Dadurch erreichen wir qualitativ sehr hochwertige Ergebnisse.“

Erschwerend kommt bei dieser Positionieraufgabe hinzu, dass es nicht genügt, bestimmte Positionen hochgenau anzufahren. Der Weg ist hier genauso wichtig wie das Ziel, die Applikation erfordert deshalb auch eine präzise Bahnsteuerung. Während der Fahrt können wir dann die Laserintensität entsprechend der Beschleunigung oder Verzögerung des Antriebssystems variieren, um das gewünschte Lithografieergebnis zu erzielen.“



Abb. 4 Martin Hermatschweiler, CEO der Nanoscribe GmbH (Bild: Nanoscribe GmbH)

Positioniersystem mit Piezoantrieb und Parallelmetrologie für die Feinjustierung

Eine Schlüsselkomponente für die Anforderungen ist also das Positioniersystem Physik Instrumente (PI). PI bietet weltweit die größte Auswahl an hochdynamischen und hochauflösenden Piezo-Nanopositioniersystemen für wissenschaftliche und industrielle Anwendungen an (Abb. 5). „Der Piezoversteller ließ sich gut auf dem für die Grobjustierung eingesetzten, mikroskopüblichen XY-Scannertisch anbringen (Abb. 6). Er arbeitet mit Stellwegen bis $300 \times 300 \times 300 \mu\text{m}^3$, wobei die Wiederholgenauigkeit im Nanometerbereich liegt,“ freut sich Hermatschweiler.

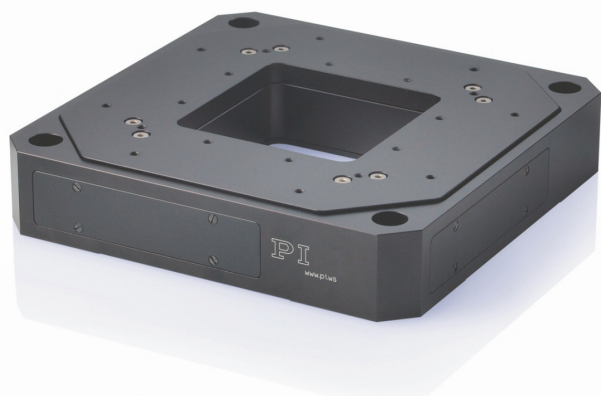


Abb. 5 Die hochdynamischen und hochauflösenden Piezo-Nanopositioniersysteme eignen sich für die unterschiedlichsten wissenschaftlichen und industriellen Anwendungen (Bild: PI)

In das Positioniersystem integrierte hochpräzise kapazitive Sensoren sorgen für die genaue Istwert-Erfassung, die notwendig ist, um die Probe präzise unter dem Laser zu bewegen. Die Sensoren erfassen die Bewegung direkt und ermöglichen dadurch höhere Phasentreue und Bandbreite als indirekte Systeme.



Abb. 6 Die Feinjustierung von Objekt oder Probe übernimmt das Piezo-Nanopositioniersystem, das nicht nur hochgenau arbeitet, sondern sich auch gut in die Applikation integrieren ließ (Bild: PI / Nanoscribe GmbH)

Zur hohen Positioniergenauigkeit trägt auch der Aufbau als parallelkinematisches Mehrachssystem bei: Treibende Kraft der Nanopositioniersysteme sind vorgespannte, sehr langlebige Hochleistungs-Piezoaktoren, die in ein reibungsfreies parallelkinematisches Führungssystem mit FEM-optimierten Festkörpergelenken integriert sind.

Alle Piezoaktoren wirken somit auf eine zentrale Plattform. Dadurch lässt sich ein identisches dynamisches Verhalten für alle Achsen erzielen. Bei der 3D-Lithografie ist das besonders vorteilhaft, da die Proben beliebige Strukturen besitzen können.

Eine „langsamere“ Achse, wie sie z. B. bei einem Zeilenscan unproblematisch ist, würde sich hier nachteilig auswirken. Außerdem erfasst die Sensorik alle geregelten Freiheitsgrade gleichzeitig. Durch diese Parallelmetrologie lassen sich Achsübersprechen und Führungsfehler aktiv verhindern. Bahngengenauigkeit und Reproduzierbarkeit profitieren davon.



Abb. 7 Die als PCI-Board aufgebaute Controllerkarte ist speziell auf die Ansteuerung von mehrachsigen Piezo-Nanopositioniersysteme abgestimmt

Die dafür notwendige Bahnsteuerung übernimmt ein als PCI-Board aufgebauter digitaler Controller (s. Abb. 7). Ebenso wie das Nanopositioniersystem stammt auch er aus dem dem PI Programm und ist speziell auf die mehrachsigen parallelkinematischen Piezo-Nanopositioniersysteme abgestimmt.

„Selbst die bei unseren 3D-Lithografiegeräten sehr hohen Anforderungen an die Bahngengenauigkeit lassen sich damit erfüllen,“ ergänzt Hermatschweiler. Die hochgenauen Piezo-Nanopositioniersysteme haben damit wesentlich dazu beigetragen, die Lithografiertechnik einen entscheidenden Schritt voranzutreiben.

Piezoaktoren – hohe Genauigkeit und Dynamik

Die treibende Kraft der in den neuen 3D-Lithografiegeräten zur Feinpositionierung der Objekte oder Proben eingesetzten hochdynamischen parallelkinematischen Nanopositioniersysteme sind Piezoaktoren. Diese Piezoaktoren wandeln elektrische Energie direkt in mechanische und umgekehrt. Dabei können typischerweise Stellwege bis zu etwa einem Millimeter bei Auflösungen bis hinunter in den Nanometerbereich und hoher Dynamik mit Frequenzen bis zu mehreren Kilohertz erreicht werden. Da die Bewegung auf kristallinen Effekten beruht, gibt es keine rotierenden oder reibenden Teile; Piezoaktoren sind dadurch wartungs- und verschleißfrei und da keine Schmierung notwendig ist, auch für Vakuum geeignet. Sie können große Lasten bewegen und bauen sehr kompakt.

Autor

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

Über Nanoscribe

Die Nanoscribe GmbH ging Anfang 2008 als erste Ausgründung des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) mit dem 3D Laserlithographiesystem Photonic Professional an den Start. Innerhalb von nur fünf Jahren hat sie sich als Markt- und Technologieführer im Bereich der 3D Laserlithografie etabliert. Weltweite Geräteverkäufe an führende Forschungsinstitute und Universitäten in Asien, Nordamerika sowie in Europa belegen den Siegeszug dieser innovativen Technologie. Das Portfolio umfasst außerdem selbst entwickelte Fotolacke, die auf die verschiedenen Anwendungsbereiche der Gerätekunden zugeschnitten sind. Beratungsleistungen in der Abformung komplexer, dreidimensionaler Polymerstrukturen in Metalle oder Halbleiter sowie diverse Serviceleistungen runden das Angebot ab.

Über die PI Gruppe

Für die hohe Qualität ihrer Produkte bekannt, hat sich die PI Gruppe zum führenden Hersteller von Positioniersystemen mit Genauigkeiten im Bereich einzelner Nanometer entwickelt. Über 700 hochqualifizierte Mitarbeiter rund um die Welt versetzen PI in die Lage, fast jede Anforderung aus dem Bereich innovativer Präzisions-Positioniertechnik 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 Positionssensorik.

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.

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