



DPG-Tagung

Schreiben mit dem Laserstift

Laserlithografiegeräte einer neuen Generation ermöglichen 3D-Strukturierung im Nanometerbereich.

Steffen Arnold und Ellen-Christine Reiff

Die Laserlithografie gilt für viele Bereiche heute als Schlüsseltechnologie. Typische Beispiele liefern Mikro- u. Nanoelektronik oder -fluidik ebenso wie die Photonik oder Biotechnologie. Die bisher üblichen Verfahren, mit deren Hilfe sich zweidimensionale oder, wenn man die Schichtdicke berücksichtigt, auch zweieinhalbdimensionale Strukturen in photosensitive Materialien einbringen lassen, setzen mittlerweile sowohl in der Forschung als auch im industriellen Bereich Grenzen. Aber auch in der Laserlithografie bleibt die Entwicklung nicht stehen. Mit einem neuen Verfahren lassen sich jetzt erstmals auch sehr komplexe dreidimensionale Mikro- und Nanostrukturen in photosensitiven Materialien herstellen.

Zukunftsweisend ist das neuartige 3D-Lithografieverfahren der Firma Nanoscribe GmbH (Abb. 1). Es ermöglicht, vollautomatisch nahezu beliebige dreidimensionale Mikro- und Nanostrukturen zu realisieren, wie sie beispielsweise die optischen Technologien von morgen benötigen. Dabei ist die Funktionsweise des Lithografieverfahrens, das sich für eine Vielzahl

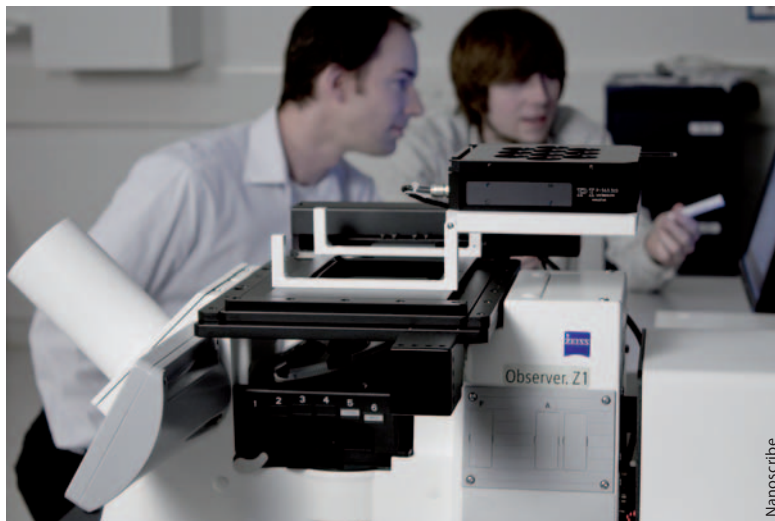


Abb. 1 Laserlithografiegerät zur Herstellung dreidimensionaler Mikro- und Nanostrukturen.

kommerziell verfügbarer Fotolacke eignet, einfach zu verstehen. Das Prinzip ist vergleichbar mit der Glas-Innengravur.

Durch starkes Fokussieren ultrakurzer Laserpulse wird Material über einen nichtlinearen optischen Prozess im Fokus belichtet. Vergleichbar einem Stift, der in drei Dimensionen geführt wird, beschreibt der Laserstrahl im Material beliebige Pfade. Dabei sind Linieneriten von mehreren Mikro-

metern bis hinunter zu 150 nm möglich, wobei sich ein Volumen von $300 \mu\text{m} \times 300 \mu\text{m} \times 80 \mu\text{m}$ beschreiben lässt, abhängig von der Wahl des Mikroskop-Objektivs und der Scanner-Konfiguration.

Präzise Positionierung notwendig

Während des Schreibvorgangs bleiben Laser und Fokus fix, das Objekt bzw. die Probe bewegen sich entsprechend der dreidimensionalen Schreibaufgabe. Dadurch lassen sich qualitativ sehr hochwertige Ergebnisse erreichen (Abb. 2). Dies erfordert jedoch eine sehr anspruchsvolle Steuerung, da es nicht genügt, bestimmte Positionen exakt anzufahren. Verlangt wird eine hochgenaue Bahnsteuerung und natürlich muss auch die Intensität des Lasers entsprechend der Beschleunigung oder Verzögerung des Positionierantriebs angepasst werden sowie funktional variierbar sein, um die Linieneriten zu modulieren oder gar zu unterbrechen (z. B. gestrichelte Linien).

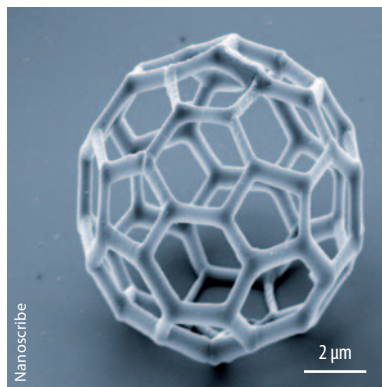


Abb. 2 Mit dem neuen Laserlithografieverfahren lassen sich komplexe dreidimensionale Mikro- und Nanostrukturen in photosensitiven Materialien herstellen.

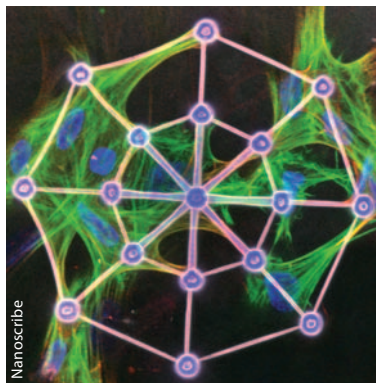


Abb. 3 Mit 3D-Lithografie hergestelltes Gerüst für die Zellbiologie.

Dipl.-Phys. Steffen Arnold, Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG, Auf der Römerstr. 1, 76228 Karlsruhe/Palmbach; Ellen-Christine Reiff, M. A., Redaktionsbüro Stutensee

WIDEST TUNING RANGE

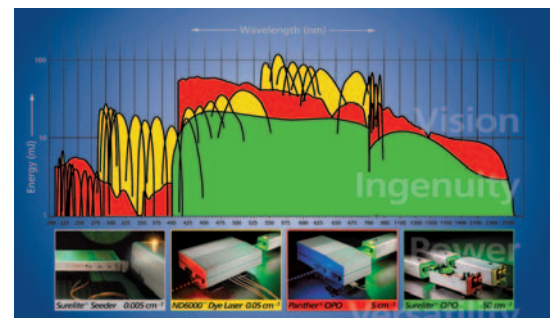


- Optisch Parametrischer Verstärker**
- höchste Effizienz von über 40 %
 - lückenloser Abstimmbereich von 0,175 µm bis 22 µm
 - Pulsdauern von < 40 fs bis 1 ps
 - volle Automatisierung und Rechnersteuerung
 - temperaturstabilisiertes Gehäuse für höchste Stabilität
 - kompakteste und stabilste derzeit auf dem Markt erhältliche Lösung
 - optionale Integration in unsere Laserverstärker möglich



Continuum®
The High Energy Laser Company™

THE FULL SPECTRUM SOURCE



- 10, 20 und 30 Hz Version
- 1064, 532, 355 und 266 nm lieferbar, Kristalle flexibel vom Anwender tauschbar
- OPO's und Dye Laser können mit 532 sowie 355 nm gepumpt werden
- durchstimmbarer Laser und Pumpquelle aus einer Hand – optimal aufeinander abgestimmt, ein Ansprechpartner für zwei Produkte
- weit mehr als 3.000 zuverlässige und ausgereifte Surelites weltweit im Einsatz

Excel Technology Europe GmbH
Quantronix / Continuum Division
Röntgenstraße 84, 64291 Darmstadt
Tel: + 49 (0)61 51 - 93 80-0, Fax: + 49 (0)61 51 - 93 80-25
Email: sales@excel-europe.com, www.excel-europe.com

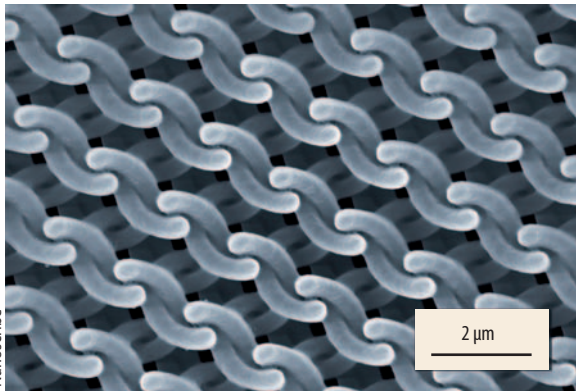


Abb. 4 Auch bei der Fertigung mikro-optischer Bauelemente oder photonischer Kristalle erschließen sich dem neuen Laserlithografieverfahren viele Einsatzbereiche.

In vielen Applikationen werden sich dadurch neue Perspektiven erschließen. Typische Einsatzbereiche für die neue Technik finden sich z. B. bei der Herstellung dreidimensionaler Gerüste für die Zellbiologie (Abb. 3). Schließlich spielt sich das Leben in „3D“ ab. In der Stammzellenforschung beispielsweise gilt es als anerkannt, dass neben einer geeigneten chemischen Umgebung auch die räumliche Umgebung die Differenzierung der Zellen maßgeblich beeinflusst. Dank der Nanoscribe-Technologie lässt sich nun gezielt der Einfluss der physikalischen Parameter wie Geometrie und Steifigkeit der dreidimensionalen künstlichen extrazellulären Matrix untersuchen.

Auch bei der Fertigung mikro-optischer Bauelemente oder photonischer Kristalle erschließen sich dem neuen Laserlithografieverfahren viele Einsatzbereiche (Abb. 4). Die Kristalle können gezielt die Ausbreitung von Licht kontrollieren und werden in Zukunft Anwendungen bei Lasern, optischen Filtern, Wellenleitern, Polarisatoren, Strahlteilern, Kopplern oder Sensoren finden. Außerdem eignen sich die 3D-Lithografiegeräte als Rapid-Prototyping-Instrumente für mikro- und nanofluidische Systeme und deren Kleinserienfertigung.

Die Feinjustierung der laserlithografisch hergestellten Proben übernimmt ein Piezo-Nanopositioniersystem der Firma Physik Instrumente (PI), Karlsruhe (Abb. 1). Zur hohen Positioniergenauigkeit trägt der Aufbau als parallelkinematisches Mehrachssystem bei: Treibende Kraft der Nanopositioniersysteme sind vorgespannte Piezoaktoren, die in ein reibungsfreies

parallelkinematisches Führungssystem mit 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. Bahngenaue und Reproduzierbarkeit profitieren davon.

Dabei ist der Umgang mit der Technik einfach und praxistauglich: Die gewünschten Strukturen lassen sich mit jeder CAD-Software entwerfen und importieren, die das Format DXF unterstützt, oder alternativ mit der eigens entwickelten Skript-Sprache GWL, die speziell auf die Bedürfnisse der 3D-Strukturierung ausgelegt ist. Als Allrounder eignet sich das Verfahren nicht nur für dreidimensionale „Schreibaufgaben“. Auch die heute üblichen 2D- oder 2 1/2-D-Strukturierungen sind natürlich möglich; allerdings mit wesentlich höherer Auflösung als bei konventionellen Geräten.