

# BIOMIMETISCHE STRUKTURIERUNG DURCH LASERINTERFERENZLITHOGRAPHIE

## DIE AUFGABE

Die Herstellung biomimetischer Materialien, welche die Strukturen und Funktionen lebender Organismen imitieren, stellt eine Schlüsseltechnologie im Bereich der Werkstoffwissenschaft dar. Sie spielt eine zunehmend wichtige Rolle bei unterschiedlichen innovativen Technologien.

Die Oberfläche biomimetischer Materialien besteht meist aus komplexen ein- oder zweidimensionalen Strukturen, die zudem oft hierarchisch angeordnet sind. Verschiedene technologische Ansätze für die Designentwicklung und die Synthese solcher komplexer Oberflächen wurden in den letzten Jahren intensiv verfolgt. Jedoch benötigen einerseits viele dieser Technologien für die Erzeugung spezifischer Geometrien oder Strukturformen Masken oder Formkörper und sind bei der Herstellung hierarchischer Muster nicht einsetzbar. Andererseits erfolgt die Behandlung großer Flächen oder Volumina mit Hilfe maskenloser Methoden nur sequentiell und ist somit zeitintensiv (bis zu einigen Stunden).

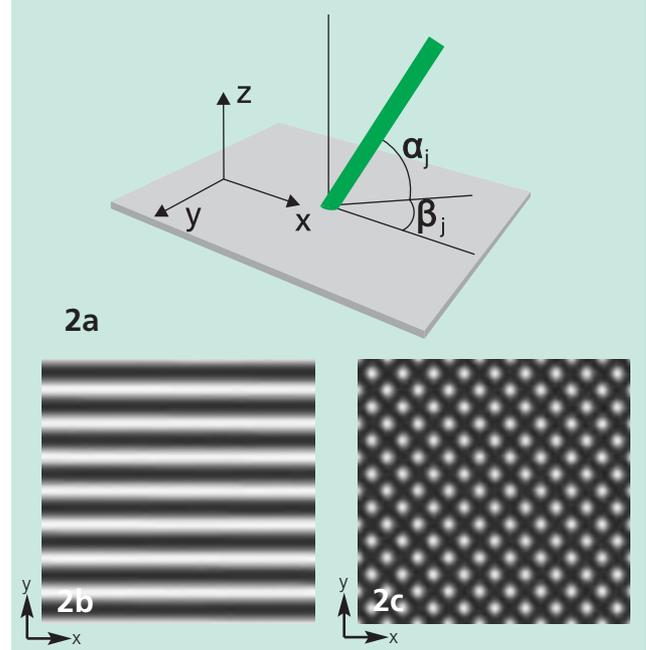
Das Fraunhofer IWS Dresden bietet eine leistungs- und konkurrenzfähige Technologie zur Fertigung solcher Oberflächenstrukturen. Die Methode kann für die Erzeugung eines breiten Spektrums an topografischen, komplexen Mustern auf fast jeder Geometrie angewendet werden.

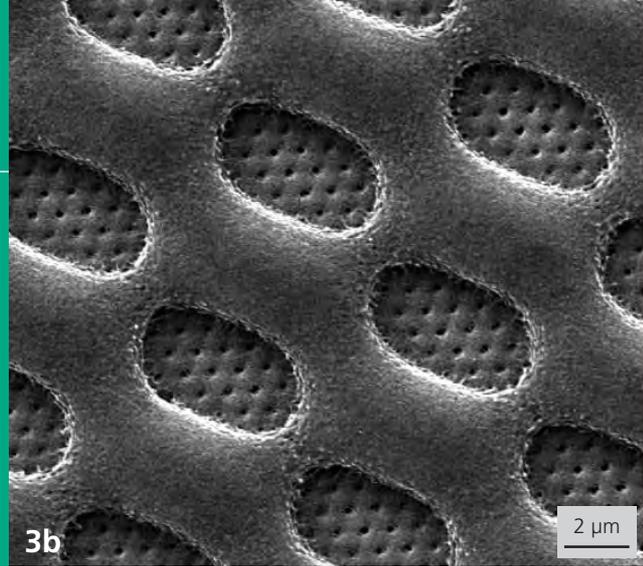
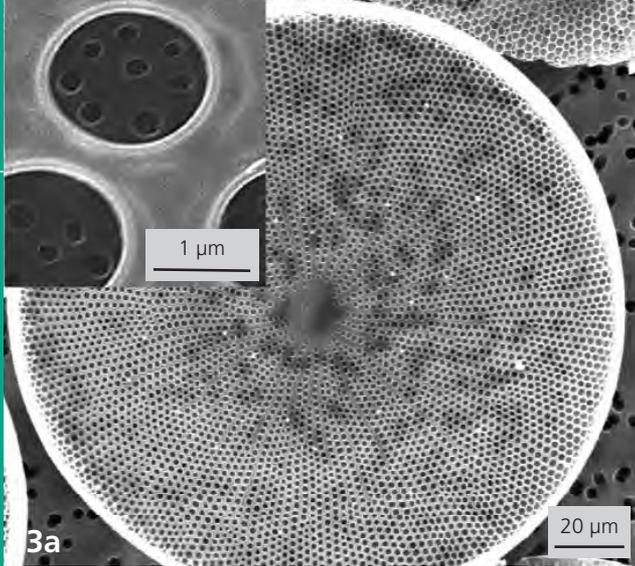
## UNSERE LÖSUNG

Die Laserinterferenzlithographie erlaubt es, große planare und nicht planare Flächen mit periodischen Mikro- und Nanostrukturen zu versehen (Abb. 1). Um das Interferenzmuster zu erzeugen werden  $N$  kollimierte und kohärente Laserstrahlen auf der Oberfläche eines Fotolacks zur Interferenz gebracht.

Nach der Bestrahlung wird der Lack mit einem Entwickler behandelt und es entsteht aufgrund des unterschiedlichen Löslichkeitsverhaltens der verschiedenen belichteten Bereiche eine poröse Struktur im Fotolack. Ein großer Vorteil dieser Methode ist, dass die Form und die Ausdehnung des Interferenzmusters lediglich durch die Anzahl der Laserstrahlen sowie deren geometrische Konfiguration (Abb. 2a) bestimmt werden. Ein Zweistrahl Aufbau erzeugt eine linienartige periodische Struktur (Abb. 2b), ein Vierstrahl Aufbau mit identischen azimutalen Winkeln ein gitterartiges Array (Abb. 2c).

- 2a Einfallender Laserstrahl mit Bezeichnung der geometrischen Konfiguration (polarer Winkel  $\alpha$ , azimutaler Winkel  $\beta$ )
- 2b Periodische Linienstruktur durch Zweistrahl-Intensitätsverteilung
- 2c Gitterarray durch Vierstrahl-Intensitätsverteilung





Des Weiteren können mit Hilfe des Verfahrens durch die Überlappung verschiedener periodischer Arrays mit kontrolliert definierten Abmessungen hierarchische Oberflächen hergestellt werden. Zusätzlich dazu bietet die Laserinterferenzlithographie die Möglichkeit, eine Fläche von einigen Quadratcentimetern pro Sekunde auf verschiedenen technologisch relevanten Materialien zu bearbeiten.

## ERGEBNISSE

Der Negativ-Fotolack SU-8 wurde mit Hilfe des Spincoatings auf Siliziumsubstrate in dünnen Schichten aufgebracht. Anschließend erfolgte die Herstellung eines linienartigen Musters durch Verwendung des Zweistrahlbaus (Abb. 1a). Dabei wurden zwei Laserstrahlen mit einer Wellenlänge im UV-Bereich (355 nm) unter einem Winkel von  $2\alpha = 13,6^\circ$  zur Interferenz gebracht und damit eine Periode von 1,5 µm erzeugt.

Für die Herstellung gitterartiger Strukturen wurden zwei verschiedene Verfahren verwendet. Beim ersten Verfahren wurden vier Laserstrahlen zur Erzeugung der gewünschten Struktur benutzt. Allerdings ist dabei ein präzises Einstellen der einzelnen azimutalen Winkel erforderlich, da schon kleine Abweichungen zu linearen Defekten führen.

Das zweite Verfahren besteht aus einem Prozess mit zweifacher Belichtung, wobei die Probe zwischen den Belichtungsschritten um einen bestimmten Winkel gedreht wird. Die Wahl des Rotationswinkels definiert die Form der kreuzartigen Strukturen (Abb. 1b-c). Um eine stabile polymere Struktur zu erzeugen, müssen verschiedene Parameter wie die Strukturperiode, die Schichtdicke des Fotolacks, die Breite der fotopolymerisierten Bereiche sowie die Temperaturen bei den Temperschritten vor und nach der Belichtung genau eingestellt werden. Bei einer kreuzartigen Struktur lässt sich die mechanische Standfestigkeit zusätzlich erhöhen, indem durch doppelte Belichtung stabilisierende Knotenpunkte erzeugt werden.

Die Herstellung bio-inspirierter Oberflächen mit hierarchischen Strukturen erfolgt durch einen Schicht-für-Schicht-Aufbau. In dem hier vorgestellten Beispiel wird die Herstellung der Diatomee *C. Walesii* gezeigt (Abb. 3a). Diese Kieselgelalge weist eine komplexe hierarchische Struktur bestehend aus hexagonalen Mustern (aerolae) mit einem Gitterabstand von 3 - 5 µm sowie eine periodische Anordnung von Kavitäten mit einem Durchmesser von 100 bis 250 nm innerhalb dieser Muster auf. Bei der künstlichen Synthese dieser Struktur wurde zunächst eine dünne Fotolackschicht mit dem hexagonalen Submikrometernmuster durch zweimaliges Belichten mit einer Periode von 500 nm und einem Rotationswinkel von  $60^\circ$  versehen. Anschließend wurde eine zweite Fotolackschicht auf den schon strukturierten und entwickelten Film aufgebracht und mit einem linienartigen Interferenzmuster mit 5 µm Periode bestrahlt. Die so generierte Struktur besitzt einen hohen Grad an geometrischer Gleichförmigkeit (Abb. 3b).

Die hier präsentierte einfache Prozessfolge verdeutlicht das Potenzial der Laserinterferenztechnologie bei der Erzeugung komplexer periodischer Arrays.

- 1a *Linienstruktur mit 1,5 µm Periode*
- 1b *Gitterstruktur mit 1,5 µm Periode und  $30^\circ$  Rotation*
- 1c *Gitterstruktur mit 0,5 µm Periode und  $60^\circ$  Rotation*
- 3a *Diatomee *C. Walesii* und*
- 3b *ihre künstliche bio-inspirierte Struktur*

## KONTAKT

Dr. Andrés-Fabián Lasagni  
Tel.: +49 351 83391-3007  
andres-fabian.lasagni@iws.fraunhofer.de

