

Diffraktive Mikrolinsen: Herstellung durch direkte Laserstrukturierung

Thomas Fricke-Begemann, Jürgen Ihlemann, Jörg Meinertz

Laser-Laboratorium Göttingen e.V., Göttingen, Germany

<mailto:tfb@llg.gwdg.de>

Die Herstellung diffraktiver Mikrolinsen mittels direkter Laserablation in Glas oder Quarzglas wird demonstriert. Die präzise Strukturierung wird durch ein F_2 -Lasersystem bei einer Wellenlänge von 157 nm ermöglicht. Die hergestellten Elemente weisen eine gute Oberflächenqualität auf und erreichen einen nahezu beugungsbegrenzten Fokus.

1 Einleitung

Bei der Integration optischer Komponenten in Mikrosysteme werden zunehmend diffraktive optische Strukturen eingesetzt. Sie zeichnen sich durch eine extrem flache Bauweise, hohe Designflexibilität sowie eine große Dispersion aus. Ein Beispiel sind chromatisch konfokale Abstandssensoren [1].

Eine viel versprechende und sehr flexible Methode zur Mikrostrukturierung einer großen Klasse von Materialien ist die direkte UV-Laserablation. Um auch UV-transparente Materialien wie Gläser und Quarzglas präzise bearbeiten zu können, bietet sich der F_2 -Laser als Lichtquelle an. Die ausreichend starke Absorption bei der Wellenlänge 157 nm erlaubt eine definierte, hochauflösende Strukturierung dieser Materialien.

In dieser Arbeit demonstrieren wir die Herstellung einer aus 14 Zonen bestehenden, diffraktiven Quarzlinse mittels F_2 -Laserablation.

2 Linsenherstellung

Das Bearbeitungssystem für die direkte Laserstrukturierung besteht neben dem F_2 -Laser (Einpulsenergie bis 25 mJ bei 15 ns Pulsdauer und Repetitionsraten bis 200 Hz) aus einem optischen System zur Strahlhomogenisierung, einer Maskenabbildungsoptik, einer hochpräzisen Positioniermechanik sowie optischen Systemen zur Analyse von Laserstrahl und Probenlage. Die UV-Optiken sind in einer Reihe von Aluminium-Modulen gekapselt, die zur Gewährleistung eines transparenten Strahlenganges wahlweise mit Stickstoff, Argon oder Helium gespült werden können. Die Maske wird mit dem homogenisierten Laserstrahl beleuchtet und über ein Schwarzschild-Objektiv mit 25-facher Verkleinerung und einer numerischen Apertur von 0.4 auf das Werkstück abgebildet. Das Werkstück befindet sich außerhalb des gekapselten Strahlenganges auf einem Positioniertisch und ist durch eine Düse von der Abbildungsoptik getrennt. Die Düse sorgt für einen transparenten Strom des Schutzgases bis zur Bearbeitungsebene auf dem Werkstück [2].

Zur Herstellung der diffraktiven Linsen werden Masken mit verschiedenen Sätzen von speziell geformten Aperturen verwendet (Abschnitt 3). Während der Bearbeitung mit ortsfester Maske wird das Substrat rotiert, um so die vorgegebenen konzentrischen Strukturen zu erzeugen (Abb. 1). Die gewünschte Profiltiefe ergibt sich aus einer geeigneten Kombination von Laser-Fluenz, Pulsfrequenz und Rotationsgeschwindigkeit.

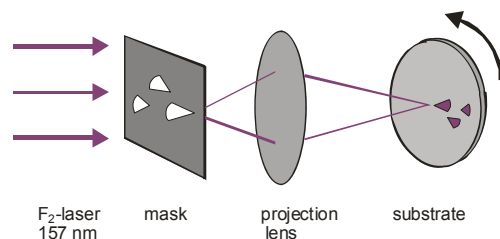


Abb. 1 Illustration des Maskenprojektionsverfahrens zur Herstellung der diffraktiven Mikrolinsen.

3 Maskendesign

Die verwendete Maske enthält für jede Zone der diffraktiven Linse ein Aperturelement, dessen Abstand von der Rotationsachse dem Zonenradius entspricht und dessen Öffnungswinkel in Abhängigkeit des Radius (von der Rotationsachse aus gesehen) proportional zur vorgegebenen Profiltiefe ist (Abb. 2).

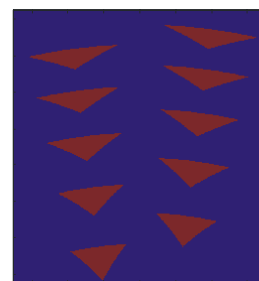


Abb. 2 Maskendesign: Gruppe von Aperturen für die Zonen Nr. 5-14.

Um extrem enge Toleranzen bei der Maskenherstellung zu vermeiden, sind die Aperturelemente in mehreren Gruppen angeordnet. Entsprechend

erfolgt die Bearbeitung in aufeinander folgenden Schritten mit jeweils unterschiedlicher Rotationsgeschwindigkeit.

Eine Simulation des diskreten Ablationsprozesses bei Abtragsraten von 50 nm pro Puls ergibt eine prozessbedingte Abweichung vom Idealprofil von ca. 20 nm rms.

4 Charakterisierung

In Abb. 3 ist ein mit dem Rasterelektronenmikroskop aufgenommenes Bild einer diffraktiven Mikrolinse in Quarzglas mit Durchmesser 600 μm und einer Brennweite von 5 mm bei der Design-Wellenlänge 633 nm zu sehen. Das Design 1. Ordnung erfordert eine Profiltiefe von 1.38 μm . Die äußere der 14 Zonen hat eine Breite von 10 μm . Zur Herstellung sind zwei Gruppen von Maskenelementen erforderlich. Die Aufnahme lässt eine gute Kantensteilheit und eine glatte Oberfläche ohne nennenswerte Ablagerungen erkennen.

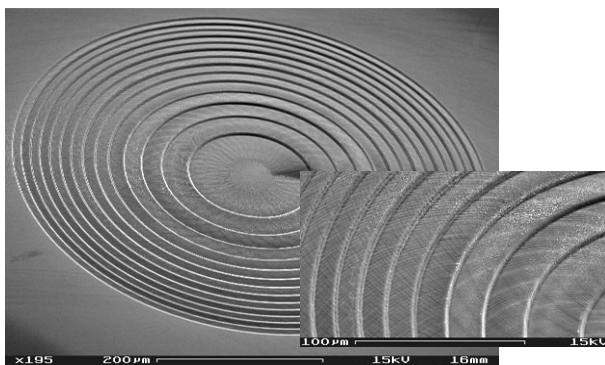


Abb. 3 REM Aufnahme einer diffraktiven Mikrolinse in Quarzglas.

Messungen des Oberflächenprofils mit einem konfokalen Laser-Scan-Mikroskop ergeben eine gute Übereinstimmung mit dem berechneten Design. Abb. 4 zeigt ein Grauwert-codiertes Höhenprofil und Abb. 5 einen Profilschnitt durch die äußeren 6 Zonen im Vergleich zum Profil des berechneten Designs.



Abb. 4 Grauwert-codiertes Höhenprofil der äußeren Zonen einer diffraktiven Mikrolinse gemessen mit konfokaler Mikroskopie. Die dargestellte Bildgröße beträgt 80 x 80 μm^2 .

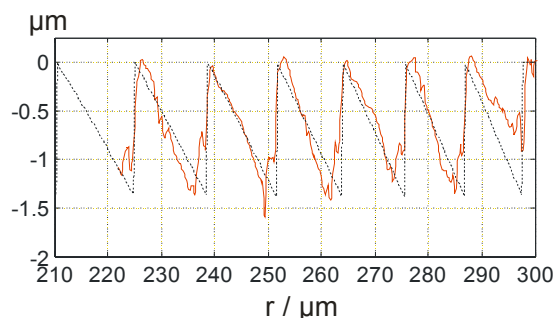


Abb. 5 Oberflächenprofil der äußeren Zonen der diffraktiven Mikrolinse. Rot: Messdaten des konfokalen Mikroskops, schwarz: berechnetes Design.

Zur Charakterisierung der Fokussierungseigenschaften wurde das Strahlprofil im Fokus bei Beleuchtung mit einem kollimierten Strahl eines He-Ne-Lasers mit einem Mikroskopobjektiv aufgenommen. Ein Schnitt durch das Strahlprofil ist in Abb. 6 im Vergleich zum Profil einer beugungsbeugten Fokussierung (Airy-Funktion) dargestellt.

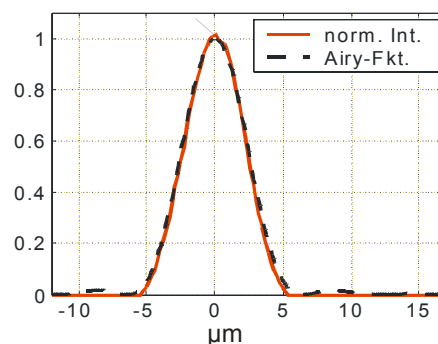


Abb. 6 Strahlprofil im Fokus der diffraktiven Mikrolinse.

5 Zusammenfassung

Die Herstellung diffraktiver Mikrolinsen durch direkte Laserstrukturierung bei 157 nm bietet eine hohe Flexibilität bezüglich Design und Materialauswahl. Das Verfahren ermöglicht neben der einfachen Erstellung von Prototypen ein Aufbringen der Strukturen auf sehr kleine optische Elemente und zu einem späten Zeitpunkt im Herstellungsprozess. Die diffraktiven Linsen weisen eine hohe Präzision und eine gute Oberflächenqualität auf und zeichnen sich durch einen nahezu beugungsbeugten Fokus aus.

Literatur

- [1] C. Pruss, A. Ruprecht, K. Körner, W. Osten, P. Lücke: „Diffractive Elements for Chromatic Confocal Sensors“ in *DGaO Proceedings 2005*, A1 (2005)
- [2] J. Li, P.R. Herman, M. Wei, K.P. Chen, J. Ihlemann, G. Marowsky, P. Oesterlin, B. Burghardt: „High-Resolution F2-Laser Machining of Micro-Optic Components“ in *Proc. SPIE 4637A*, 228-234 (2002)