

Mikrostrukturierung auf nicht ebenen Glasoberflächen mittels Interferenzlithographie

Xuan Ma, Stefan Sinzinger

Fachgebiet Technische Optik, IMN MacroNano[®], Technische Universität Ilmenau
<mailto:xuan.ma@tu-ilmenau.de>

Zur holographischen Strukturierung auf optischen Freiformflächen wird ein Belichtungsaufbau in einem Ultrapräzisionsbearbeitungszentrum integriert. Wir präsentieren das Konzept und die Umsetzung des Belichtungsaufbaus sowie erste Ergebnisse der Beschichtungs- und Belichtungsversuche.

1 Einführung

Hybride optische Elemente mit refraktiver und diffraktiver Funktionalität besitzen ein hohes Potenzial zur Verbesserung und Integration optischer Systeme. Interferenzlithographie ist ein bekanntes Verfahren zur Mikrostrukturierung optischer Elemente. Neben der effizienten Erzeugung hochauflöser Gitterstrukturen ist dabei die Möglichkeit der Strukturierung auf nicht ebenen Oberflächen von großem Interesse. Zur Erweiterung unserer Herstellungsmöglichkeiten für optische Bauelemente wird ein Aufbau zur holographischen Belichtung neben der mechanischen Strukturierung und der direkten Laserablation in einem Ultrapräzisionsbearbeitungszentrum integriert.

2 Der Aufbau

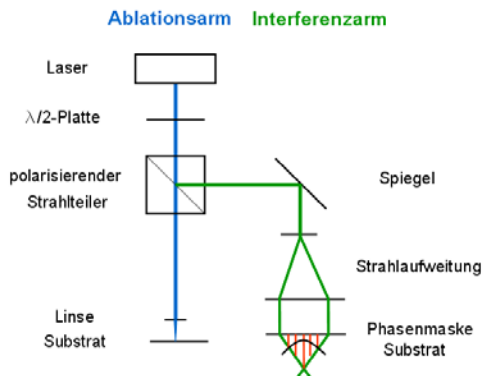


Abb. 1 Prinzip des kompakten holographischen Belichtungsaufbaus.

Abb. 1 zeigt das Prinzip des Belichtungsaufbaus. Der Laserstrahl kann nach Belieben für die Laserablation oder für die holographische Belichtung eingesetzt werden, indem die $\lambda/2$ -Platte gedreht und das Licht in einem polarisierenden Strahlteiler entweder durchgelassen oder reflektiert wird. In dem Interferenzarm wird ein binäres Transmissionsgitter als Phasenmaske eingesetzt, durch das ein Großteil der Gesamtintensität auf zwei Beugungsordnungen aufgeteilt wird. Die beiden Strahlbündel kommen direkt hinter der Phasenmaske zur

Interferenz. Die Periode der Interferenzstreifen ist dann halb so groß wie die der Maske. Ein Vorteil dieses Verfahrens liegt in einem sehr kompakten Aufbau, durch den die Integration in die Ultrapräzisionsbearbeitungsanlage erst realisierbar ist. Außerdem gibt es auf der ganzen Fläche keinen optischen Gangunterschied zwischen den interferierenden Strahlen, was eine simultane Belichtung auf großen Flächen ermöglicht, da der in der Maschine integrierte 355nm ps-Laser nur eine sehr geringe Kohärenzlänge hat.

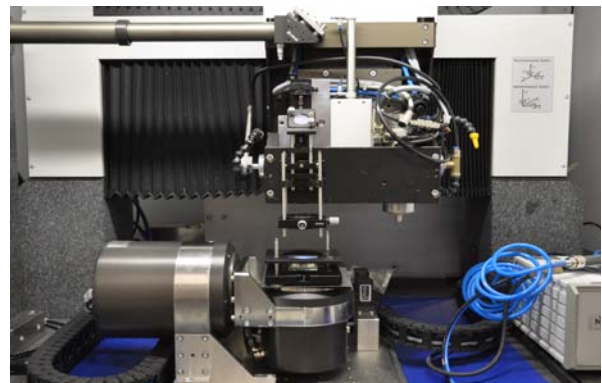


Abb. 2 Das Ultrapräzisionsbearbeitungszentrum mit dem integrierten Belichtungsaufbau.

Der Teilaufbau zur Strahlaufweitung wird auf der X-/Z-Achse der Maschine befestigt. Auf der Dreh-/Schwenkeinheit der Anlage lassen sich die Phasenmaske und das Substrat beliebig nahe zueinander positionieren, sodass die strukturierbare Flächengröße maximiert wird. Die beiden Einheiten des Aufbaus besitzen zueinander eine große Bewegungsfreiheit und -genauigkeit in fünf Achsen. Außerdem ist der Aufbau gegenüber mechanischen und akustischen Schwingungen sehr stabil. Durch die Maschinensteuerung sind die Laserleistung sowie die Pulswiederholrate in einer großen Bandbreite einstellbar.

3 Einfluss der Belichtungsmaske

Der hohe Anspruch bei Design und Herstellung der Phasenmaske liegt darin, dass außer den zwei

Nutzordnungen alle anderen Beugungsordnungen unterdrückt werden müssen. Die Beugungseffizienz in der 0. Ordnung hat einen starken Einfluss auf die entstehenden Interferenzmuster [1]. Im idealen Fall wird eine gleichmäßige sinusförmige Intensitätsverteilung erzeugt. Sobald die Effizienz der 0. Ordnung nicht null ist, variiert die Amplitude der Intensitätskurve periodisch (Abb. 3).

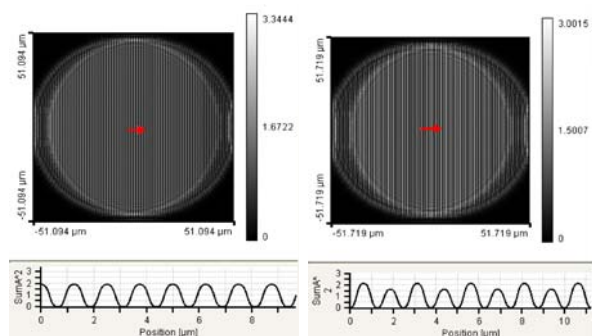


Abb. 3 Simulation der Interferenzstreifen hinter der Phasenmaske mit VirtualLab™. Die Beugungseffizienz der 0. Ordnung der Maske ist im linken Bild 0% und im rechten Bild 10%.

4 Sprühbelackung

Um homogene Lackschichten auf gewölbten Flächen zu erzielen, kommt bei der Beschichtung ein Spray-Coating-Prozess zum Einsatz. Statt Photolack auf das Substrat aufzuschleudern wird hier der vorverdünnte Lack mittels Ultraschalldüse zerstäubt und als Spraynebel auf das langsam rotierende Substrat geleitet. Somit ist es möglich, homogene Lackschichten auch auf profilierte oder strukturierte Oberflächen aufzubringen, was mit konventionellen Spin-Coating nicht erreichbar ist.

Die Schichtdicke sollte in Hinsicht auf das Aspektverhältnis der herzustellenden Strukturen kleiner als $1\mu\text{m}$ sein, was beim normalerweise für Lackdicken ab einigen μm eingesetzten Spray-Coating-Prozess eher ungewöhnlich ist. Untersucht wurde der Einfluss der Prozessparameter wie Lackverdünnung, Dispensrate, Druck, Drehzahl sowie Verfahrensgeschwindigkeit der Düse. Nach Optimierung wurden Schichtdickenabweichung aller Messstellen einer Probe kleiner 3% bei Planwafern und kleiner 10% bei Linsen erreicht. Die Rauheit Ra aller Proben liegt unter 10nm.

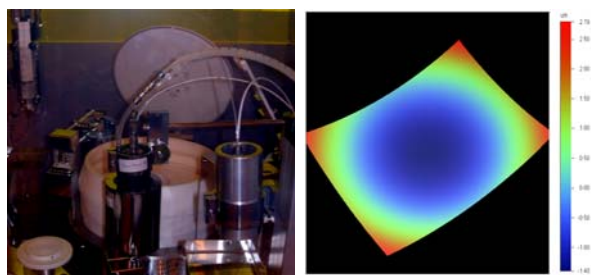


Abb. 4 Spray-Coating-Anlage und weißlichtinterferometrische Messung einer belackten Konkavlinse.

5 Ergebnisse

Es wurde ein binäres Gitter mit einer Periode von $2,5\mu\text{m}$ als Maske eingesetzt. Die Beugungseffizienz der 0. Ordnung beträgt 10%. Der ausgewählte positive Photoresist AZ ECI 3007 besitzt neben hoher Auflösung und Empfindlichkeit einen sehr hohen Kontrast. Dadurch ist es möglich, mit sinusförmiger Belichtung binäre Strukturen zu erzeugen.

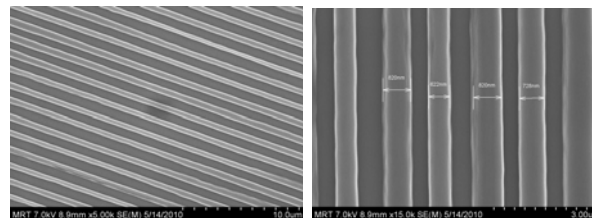


Abb. 5 REM-Aufnahme der entwickelten Gitterstrukturen auf einem Planwafer. Das Gitter hat eine Periode von $1,25\mu\text{m}$ und eine Steghöhe von $0,35\mu\text{m}$. Die Linienbreite variiert mit einer zweifachen Gitterperiode, was mit der Simulation in Abb. 3 übereinstimmt.

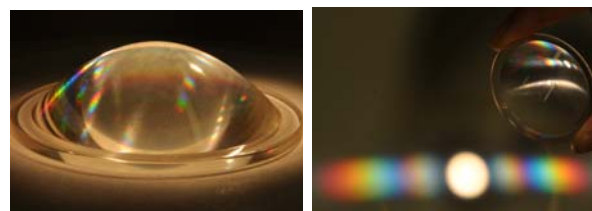


Abb. 6 Linse mit Beugungsgitter auf der Oberfläche.

6 Zusammenfassung

Mit dem vorgestellten Beschichtung- sowie Belichtungsverfahren ist es möglich, diffraktive Strukturen auf nicht ebenen Oberflächen zu strukturieren. Um die Störung der 0. Ordnung zu vermeiden, wird im nächsten Schritt eine schräge Belichtung mittels der 0. und -1. Beugungsordnungen durchgeführt.

7 Danksagung

Die Autoren danken für die Kooperation mit IAP der FSU Jena (Herr S. Steiner, Herstellung der Phasenmaske).

Die Arbeit wurde finanziell unterstützt vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Projektes „Kompetenzdreieck Optische Mikrosysteme - KD OptiMi“ (FKZ: 16SV3700) und dem Thüringer Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur (TMBWK) im Rahmen der Graduiertenschule „Optische Mikrosystemtechnik - OMITEC“ (FKZ: PE 104-1-1).

Literatur

- [1] Z. Xiong, Journal of Lightwave Technology, VOL 17, NO.11, pp.2361-2365 (1999).