

# Optimiertes Maskendesign für die Herstellung mikrooptischer Bauelemente mit der optischen Rasterlithographie

Wolfgang Hanke\*, Jürgen Jahns\*\*, Matthias Gruber\*

\* Juniorprofessur für Optische Mikrosysteme, FernUniversität in Hagen

\*\* Lehrgebiet Optische Nachrichtentechnik, FernUniversität in Hagen

<mailto:Wolfgang.Hanke@wh42.com>

Als Sonderform der analogen Lithographie verwendet die optische Rasterlithographie binäre Masken zur Erzeugung einer kontinuierlich oberflächen-modulierten Fotolackschicht. Es zeigt sich, dass die Struktur des Rasters maßgeblichen Einfluss auf den Prozessablauf hat und zur Optimierung genutzt werden kann.

## 1 Analoge Lithographie

Ziel der analogen Lithographie ist die Erzeugung eines kontinuierlichen Oberflächenprofils in einer Fotolackschicht; meist wird ein solches Profil dann durch Ätzen in das Trägersubstrat übertragen. Motiviert ist dieser technologische Ansatz durch den erzielbaren Effizienzgewinn gegenüber der einfacheren binären Lithographie, wenn es um die Realisierung mikrooptischer Komponenten geht (mit Stufenprofilen kommt man z.B. bei Mikroprismen für eine Strahlablenkung um 20° typischerweise auf 40% Effizienz gegenüber theoretischen 100% beim kontinuierlichen Oberflächenprofil).

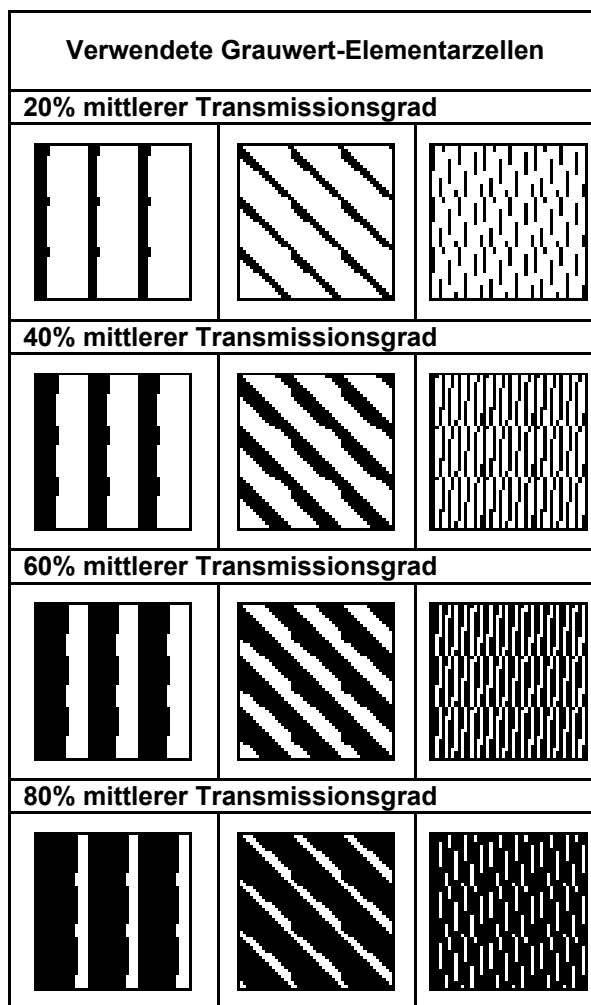
Analoge Lithographie kann als Graustufenlithographie unter Verwendung von Masken mit kontinuierlichen Grauwertmustern oder als Rasterlithographie implementiert werden. Bei der ersten Variante verwendet man meist sog. HEBS-Glas-Masken [1,2], welche patentrechtlich weitgehend geschützt sind, was die praktische Durchführung aufwendig und teuer macht. Bei der zweiten Variante kommen dagegen konventionelle binäre Masken zum Einsatz, welche in jedem kommerziellen Maskenshop bezogen werden können. Rasterlithographie beruht i.W. auf einer Tiefpassfilterung der binären Maskeninformation, bei der die Strukturinformation des Rasters verloren geht und nur die mittlere Intensitätsinformation genutzt wird.

## 2 Optische Rasterlithographie

Rasterlithographie kann abbildungslos oder mit Hilfe eines optischen Projektionssystems (z.B. eines Steppers) durchgeführt werden. Bei der abbildenden Variante wird die Tiefpasswirkung des Linsensystems genutzt, welche über die Blendöffnung eingestellt werden kann, bei der abbildungslosen Variante, die nachfolgend im Mittelpunkt steht, wird der Filtereffekt durch eine Belichtung mit endlichem Abstand zwischen Maske und Substrat (proximity exposure) erzielt. Zur Steuerung des Effekts stehen i.W. zwei Parameter zur Verfügung, nämlich der Abstand zwischen Maske und Substrat und die Rasterstruktur.

## 3 Elementarzellen für die Rasterlithographie

Die Rasterstruktur resultiert aus dem jeweiligen Algorithmus, der zur Grauwert-Codierung verwendet wird. Zu den Standardverfahren zählen hier Pulsweitenmodulation (eingesetzt z.B. beim RELIEF-Projekt [3] unter Beteiligung der Fraunhofer-Gesellschaft) und Pulsdichtemodulation.



**Abb. 1:** Struktur von Elementarzellen mit jeweils identischem Grauwert (Zeilen) bei drei verschiedenen (Spalten) experimentell untersuchten Zellaufbaualgorithmien.

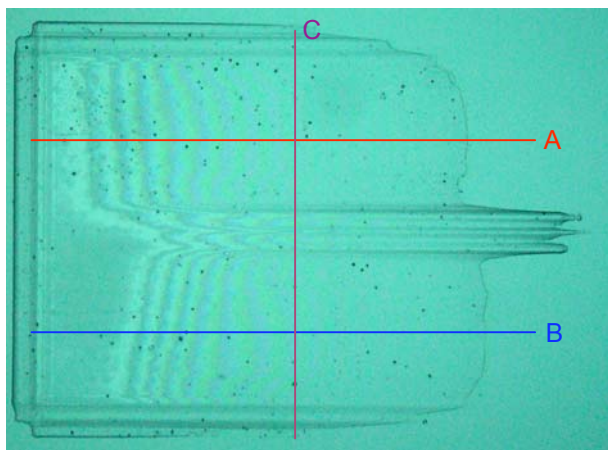
Bei den vorliegenden Untersuchungen kam ein Codierungs-Algorithmus zum Einsatz, den man als Pulsdichtemodulation auf Elementarzellenbasis bezeichnen kann. Zu realisierende kontinuierliche Profile wurden zuerst als pixelierte Grauwert-Bilder ausgedrückt; auf der Maske wurde dann jedes Pixel durch die zum jeweiligen Grauwert gehörige Elementarzelle ersetzt. Die Grauwertcodierung der Zellen folgte dabei primär einem Pulsdichtemodulationsschema, wobei mit variablen Dichteverteilungen innerhalb der Zellen experimentiert wurde. Abb. 1 zeigt exemplarisch einige verwendete Elementarzellen.

#### 4 Experimentelle Durchführung

Für die quantitative Analyse des Verfahrens wurden Graustufenkeile mit linear ansteigendem Transmissionsgrad von 0-100% generiert. Diese gerasterten Rampen wurden bei einem Maskenhersteller auf 5-Zoll-Masken übertragen, wobei die minimale Strukturgröße (CD) auf 0,3  $\mu\text{m}$  festgelegt war. Mit den Masken wurden dann in einem Mask-Aligner vom Typ MA-4 (Süss) Quarzglassubstrate belichtet, auf die eine 3,8  $\mu\text{m}$  dicke Fotolackschicht aufgeschleudert war. Die Belichtung erfolgte im Proximity-Modus mit verschiedenen Abständen.

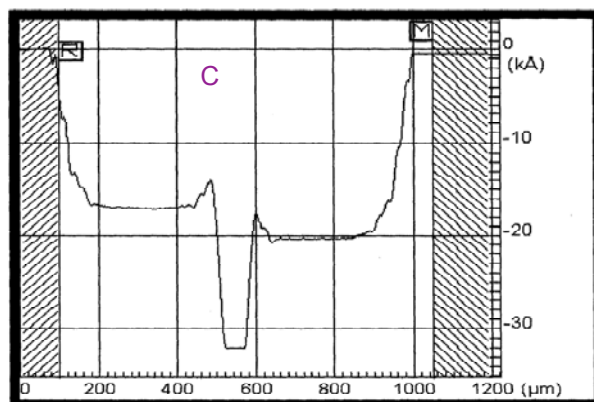
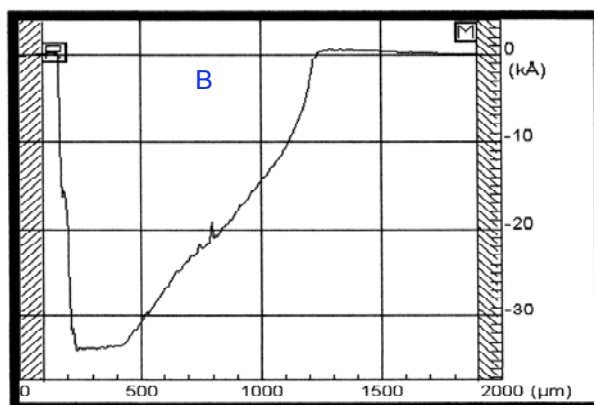
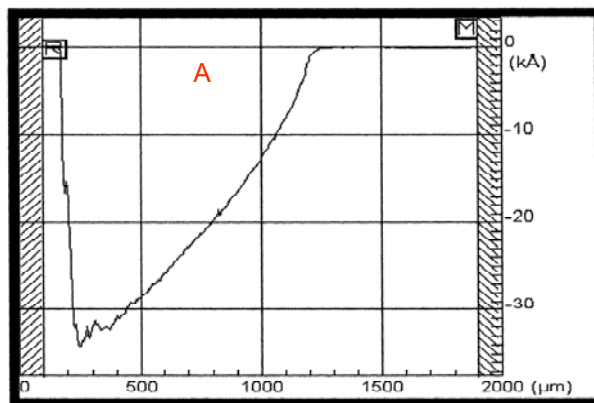
#### 5 Ergebnisse

Eine optimale Tiefpassfilterwirkung stellte sich bei einem Abstand von 1,3 mm ein. Es zeigte sich aber, dass der Belichtungsgrad im Fotolack (bei gleichem mittleren Schwärzungsgrad der Maske) vom verwendeten Codierungsschema für die Elementarzellen abhängt.



**Abb. 2** Rampenprofile in entwickeltem Fotolack für zwei gleiche, aber mit verschiedenen Raster-Codierungen erzeugte lineare Graukeile auf der Maske.

Dies kann man deutlich in Abb. 2 sehen, welche zwei horizontale Rampen im entwickelten Fotolack zeigt, die trotz jeweils identischer Grauwerte auf der Maske horizontal gegeneinander verschoben sind. Messungen mit einem mechanischen Profilometer (Abb. 3) bestätigten, dass der Fotolack unterschiedlich tief belichtet wurde.



**Abb. 3** Profilometrische Vermessung der beiden Rampen von Abb. 2 entlang der dort angezeigten Pfade.

Diese Erkenntnis lässt sich nutzen, um die Prozesssteuerung bei der Rasterlithographie zu optimieren und zu einer möglichst linearen „Kennlinie“ zu gelangen.

#### Literatur

- [1] <http://www.canyonmaterials.com/CMI-01-88-6.html>
- [2] R. Heming, J. Jahns, M. Gruber, L. Wittig, E. Kley, „Combination of binary and analog lithography to fabricate efficient planar-integrated free-space optical interconnects“ in *Proc. DGaO 106\_p36* (2005)
- [3] K. Reimer, H.J. Quenzer, M. Jürss, B. Wagner, „Micro-optic fabrication using one-level gray-tone lithography“ in *Proc. SPIE 3008*: 279-288 (1997)