

Möglichkeiten und Grenzen der interferenzlithografischen Herstellung modulierter Blazegitter

Matthias Burkhardt*, Oliver Sandfuchs*, Reinhard Steiner*,
Alexandre Gatto*, Stefan Sinzinger*

*Carl Zeiss Jena GmbH, Carl-Zeiss-Promenade 10, 07745 Jena, Germany

**Technische Universität Ilmenau, Postfach 100565, 98684 Ilmenau, Germany

m.burkhardt@zeiss.de

Basierend auf der Interferenzlithografie ergibt sich bei der Generierung von Blazestrukturen durch die Variation leicht zugänglicher Prozessparameter wie Vorbelichtung, Belichtungsdosis oder Entwicklungszeit die Möglichkeit zur Einflussnahme auf die Profilcharakteristik. Dies lässt sich auch zur Realisierung effizienter Beugungsgitter mit lokaler Variation der Blaze-Wellenlänge nutzen, was für spezielle Anwendungen einen nutzbaren Designfreiheitsgrad ergibt.

1 Einleitung

Interferenzlithografisch hergestellte holografisch-optische Bauelemente (HOEs) stellen eine leistungsfähige Alternative zu beugungsoptischen Bauelementen dar, die mit klassischen lithographischen Verfahren hergestellt werden. Eine generelle Problemstellung ist dabei die Anpassung der beugenden Strukturen an eine bestimmte Anwendungswellenlänge. Oft besteht jedoch auch der Anspruch, derartige Elemente für mehrere Wellenlängen oder, wie z.B. in der Spektroskopie, für größere spektrale Bandbreiten auszuliegen.

Zur Beeinflussung bzw. Umverteilung der spektralen Effizienzcharakteristik ist u. a. die gezielte Modulation der Profilform (Höhenvariation, Blazewinkel) über das gesamte Element anwendbar. D.h., werden unterschiedliche Bereiche des Gitters für unterschiedliche Wellenlängen ausgelegt, so hat das resultierende Element einen spektralen Beugungswirkungsgrad, der sich aus dem gewichteten Mittelwert der Einzelcharakteristiken ergibt. Prinzipien der spektralen Vorselektion wie im Beitrag von O. Sandfuchs u.a. (B27) beschrieben ermöglichen dabei zusätzlich eine Effizienzsteigerung.

Eine technologische Herausforderung ist dabei die Generierung einer höhenmodulierten Resistmaske bereits im holografischen Prozess.

2 Prinzip der Blazeprofilentstehung

Bei der Interferenzlithografie wird basierend auf dem Effekt stehender Wellen ein ortsfestes Intensitätsmuster erzeugt. Sind die zueinander kohärenten Wellen mit parallel orientierten E-Vektoren eben, was in der Regel zumindest lokal der Fall ist, besteht der räumliche Intensitätsverlauf dieses Interferenzfeldes aus einem Stapel heller (konstruktive Überlagerung) und dunkler Ebenen (Aus-

löschungsgebiete). Im Bild 1 ist eine Schnittdarstellung zu sehen, in der die Intensitätsverteilung den schräg verlaufenden Streifen entspricht. Eine resultierende Oberflächenform, die sich im nass-chemischen Entwicklungsprozess ergeben würde ist bereits angedeutet.

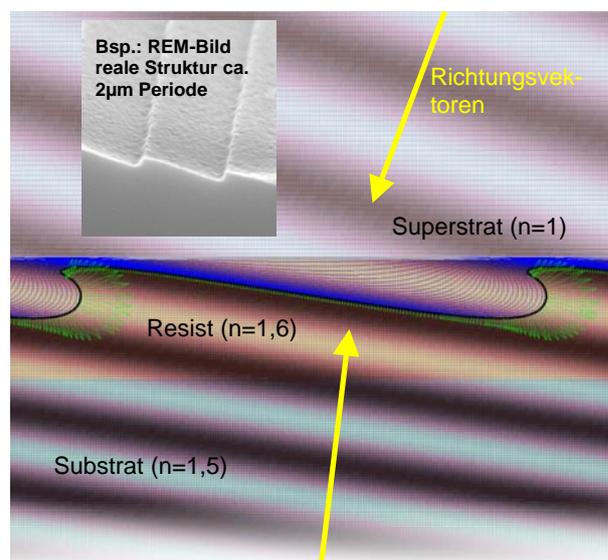


Abb. 1 Lage des Interferenzfeldes bezüglich der Resistoberfläche geeignet zur Blaze-Erzeugung (hellere Gebiete – hohe Belichtungsenergie, Auslöschungsgebiete – dunkel)

Aus dieser sinusförmigen Energieverteilung kann unter Berücksichtigung der Brechung die lokale Abtragsrate im Entwickler abgeleitet werden, nachdem diese mit der experimentell ermittelten belichtungsabhängigen Abtragsrate des Resists gewichtet wurde (Abb. 2). Eine sinusförmige Verteilung der Abtragsrate erhält man beispielsweise durch eine lineare Resistkennlinie ohne Schwellwert (i. a. durch Vorbelichtung erreichbar), wobei

durch den verwendeten Positivresist AZ1505 am vorherigen Ort der Auslöschungsgebiete die am schwersten löslichen Resistzonen gebildet werden, welche die Blazeflanke im Wesentlichen prägen.

Zur Erzeugung einer blazeartigen Struktur wird der Winkel zwischen Interferenzebenen und Substratoberfläche relativ klein eingestellt (ca. 1° ... 20°).

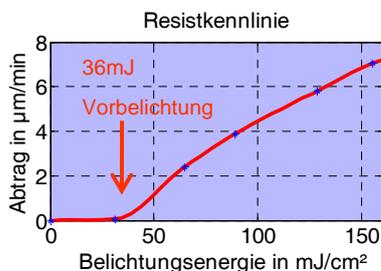


Abb. 2 Experimentell ermittelte Resistkennlinie für eine Belichtungswellenlänge von 442nm für den Photoresist AZ1505 in verdünnten AZ 303 entwickelt.

Da die Ebenen gleicher Intensität entlang der Winkelhalbierenden der Richtungsvektoren der beiden interferierenden Wellen orientiert sind, wird diese starke Neigung praktisch durch relativ zur Substratoberfläche gegenläufig orientierte Wellen erreicht. Die Periode P des Interferenzfeldes in Luft oder Vakuum beträgt

$$P = \frac{\lambda}{2 \cdot \sin \alpha} \quad (1)$$

λ ist dabei die Belichtungswellenlänge und α der Halbwinkel zwischen den beiden Richtungsvektoren der aufeinander zulaufenden ebenen Wellen.

3 Modellierung

Blazeartige holografische Gitter sind seit geraumer Zeit Stand der Technik [1], [2], [3]. In der Literatur wurde die Profilentstehung jedoch vereinfacht dargestellt. Das spezielle Problem der Generierung einer Blaze-Struktur nach holografischer Belichtung lässt sich mit überschaubaren numerischen Simulationen heute leicht nachstellen. Idealerweise könnte man auf kommerzielle Simulationssoftware zurückgreifen. Durch deren Auslegung auf die Halbleiterlithografie ist die Nachbildung der Intensitätsverteilung bei beliebiger Beleuchtung jedoch nicht ohne Weiteres gegeben, insbesondere dann wenn der Lichteinfall aus beiden Halbräumen um die Substratoberfläche heraus erfolgt. Eine einfache Methode, angelehnt an den String-Development-Algorithm [5] ist dann hilfreich, wenn ein großer Teil der Daten experimentell ermittelt werden und ein entsprechendes Kalibrieren des Modells auf quasi beliebigen Ausbaustufen erfolgen kann. Grundannahme der hier verwendeten Simulation ist ein Fortschreiten des Materialabtrages im Entwickler stets senkrecht zur Oberfläche

mit einer Geschwindigkeit, die sich aus der lokalen Löslichkeit ergibt.

4 Lokale Blazewinkelmodulation

Das wesentliche Detail, welches die Möglichkeit der Beeinflussung des Blazewinkels in der Resistmaske anzeigt, ist die Abweichung des Blazewinkels im Resistprofil von der ursprünglichen Neigung des Interferenzfeldes zur Oberfläche. Eine genauere Untersuchung ergibt z.B. eine Abhängigkeit dieser Abweichung von der Belichtungsenergie. Erklärbar ist dieses Verhalten leicht durch die Tatsache, dass im Verlauf des Entwicklungsprozesses die oberen Bereiche der Blazeflanke länger dem Entwickler ausgesetzt sind als die zuletzt freigelegten unteren Gebiete (Abb.3).

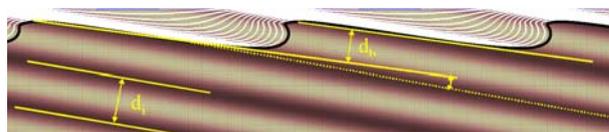


Abb. 3 Orientierung der der nasschemisch erzeugten Blazeflanken relativ zur Lage des belichtenden Interferenzfeldes.

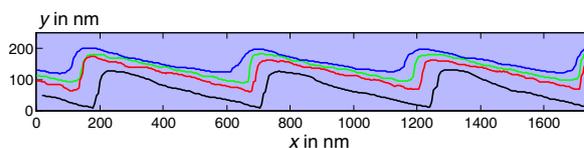


Abb. 4 Vergleich unterschiedlich prozessierter Resistprofile - Erhöhung der Belichtungsenergie von 15mJ/cm² (blau) bis 30mJ/cm² (schwarz)

In Abb.3 werden die durch die Entwicklungsdynamik hervorgerufenen Unterschiede der Abstände von Interferenzminima d_i und Blazetiefen d_b veranschaulicht. Eine Variation der Blazewinkel in einem Bereich von $0,5 \cdot d_i$ bis ca. $0,85 \cdot d_i$ ist mit dieser Methode bei ausreichender Profilqualität nachweislich erreichbar, wie die Gegenüberstellung der AFM-Scans unterschiedlich stark belichteter 1800-Liniengitter bei gleichem Belichtungs Aufbau in Abb.4 zeigt.

Literatur

- [1] N. K. Sheridan, Appl. Phys. Lett. **12**, 316 (1968)
- [2] Nagata, H. and Kishi, M., Japan J. of Appl. Phys., **14** (1975), Suppl. 14-1
- [3] R. Steiner, Vorträge zur 11. Frühjahrsschule Optik, 26 – 28. März 1979, K 3.14
- [4] Ch. Zanke et al, Optics Commun. Vol.154, Iss.1-3, 1998

- [5] Mello, B. de A. et al, **APPL. OPTICS** Vol. 34, No. 4, 1995