

Fertigung laminarer optischer Gitter am HZB

Manufacturing of laminar gratings at HZB

Dr.-Ing. Stephanie Lemke¹, Dipl.-Ing. Tino Seliger¹, BA Christopher Naß¹, Philipp Göttert¹, Dipl.-Ing. Ivo Rudolph¹, Oliver Kutz¹, Grzegorz Gwalt¹, Dr. rer. nat Bruno Nelles², Dr. rer. nat. Fridmar Senf¹, Dr. rer. nat. Bernd Löchel¹,
¹ Institut für Nanometeroptik und Technologie, Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH, Berlin,
² DIOS GmbH, Bad Münstereifel, Deutschland,
Email: stephanie.lemke@helmholtz-berlin.de

Kurzfassung

Laminare optische Gitter stellen höchste Anforderungen an die mikrosystemtechnische Fertigung der Mikro- und Nanostrukturen in Hinsicht auf Präzision und Homogenität. Im Rahmen des EU-Projektes „Aufbau eines Technologiezentrums für hocheffiziente optische Präzisionsgitter am Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB)“ (EFRE Vertrag Nr. 20072013 2/43) [1,2] wurden die für die Herstellung von laminaren und geblazten Gittern notwendigen Anlagen in Betrieb genommen. Gleichzeitig wurde mit der Prozessentwicklung begonnen.

In diesem Artikel werden die neuesten Prozessergebnisse von durch Laserinterferenzlithographie (LIL) in Photoresist erzeugter Gitterstrukturen und deren nur wenige Nanometer tiefe Übertragung in Siliziumsubstrate mittels Ionenstrahlätzen vorgestellt.

Abstract

Laminar optical gratings impose highest demands on microsystem technological manufacturing with regard to precision and uniformity. Within the project “Installation of a technology centre for highly efficient precision gratings at Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB)” (EFRE Vertrag Nr. 20072013 2/43) [1,2] the necessary systems for the manufacturing of laminar and blazed gratings were taken into operation and process development has started.

In this article we present the results of grating structures manufactured with laser interference lithography and subsequent ion beam etching.

1 Resistaufbringung auf Substrate für Synchrotrongitter

Substrate für Synchrotrongitter, bestehend aus Silizium oder Zerodur, müssen ebenso hohe Kriterien an Geradheit und Oberflächenbeschaffenheit erfüllen wie Spiegelsubstrate. Der Einsatz im streifendem Einfall bedingt eine große Substratelänge (typisch: 100 – 200 mm). Die Abbildungsqualität erfordert große Krümmungsradien (ab 10 km) und geringe Oberflächenrauheiten ($S_q < 1$ nm). Bei den Substratformen sind Quader- und T-Profile mit und ohne Durchgangsbohrungen gefragt.



Bild 1 Links: Lackschleudern im Reinraum für Belackung der Synchrotrongitterträger (links) und von Wafersubstraten (rechts). Rechts: Synchrotronträger (150x40x40 mm³) aus Silizium mit aufgebrachtener Photoresistschicht.

Die Träger werden in einer speziell für diese ausgelegten Lackschleuder (**Bild 1**, links) mit jeweils an die Substratgeometrie angepassten Einsätzen mit Resistschichten im

Bereich weniger hundert Nanometer versehen. Ein Beispiel für einen solchen belackten Träger zeigt Bild 1 (rechts).

2 Strukturierung mittels Laserinterferenzlithographie

Die großflächige Laserinterferenzlithographie stellt neben den Anforderungen an die Lichtquelle (hohe Leistung und große Kohärenzlänge) insbesondere hohe Anforderungen an die Stabilität des Aufbaus. Durch die starke Strahlaufweitung gelangen von den 180 mW des verwendeten HeCd-Lasers (442 nm, Fa. Kimmon) noch etwa 30 μ W auf die Probenoberfläche, was zu sehr langen Belichtungszeiten führt. Sowohl thermische als auch mechanische Instabilitäten (Drift) können die Interferenzstruktur, die während der Belichtung in die Photoresistschicht übertragen werden soll, verschmieren. Die erzeugte Interferenzstruktur kann über die Strahlanzahl und die jeweiligen Einfallswinkel eingestellt werden.

Für eindimensionale Gitterstrukturen werden zwei aufgeweitete und kollimierte Laserstrahlen auf der Probenoberfläche interferiert [3]. Der verwendete Aufbau ist in **Bild 2** skizziert.

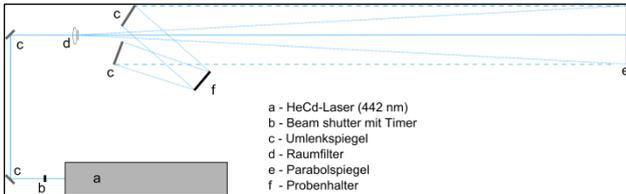


Bild 2 LIL-Aufbau mit ebenen Wellen

Der mit einer Pore aufgeweitete Laserstrahl wird mittels Parabolspiegel kollimiert. Zwei großflächige Umlenkspiegel reflektieren das Licht auf die Probenoberfläche und überlagernes dabei. Zur homogenen Ausleuchtung werden Spiegel mit Flächen oberhalb der Substratabmaße und hochqualitativen Oberflächen benötigt.

3 Strukturübertragung mittels Ionenstrahlätzen

Die übertragenen Gitterstrukturen müssen eine hohe Homogenität aufweisen. Dazu muss neben einer homogenen Resistschicht und einer gleichmäßigen Ausleuchtung bei der Belichtung auch ein entsprechend gleichmäßiger Ätzprozess bei der Übertragung der Resistmaske in den Substratuntergrund verwendet werden. Dazu wird die Anlage R.I.B. Etch 250 verwendet, siehe **Bild 3**.



Bild 3 Wieder in Betrieb genommene Ionenätzanlage R.I.B. Etch 250 der Fa. Technico Plasma.

4 Erste Ergebnisse bei der Gitterherstellung

4.1 Vorversuche auf 4 & 6 Zoll Si-Wafern

Für die Bestimmung der notwendigen Belichtungs-dosis und des Prozessbias werden Vorversuche an Standardsubstraten der Mikrosystemtechnik (Siliziumwafer <100>) durchgeführt.

Bild 4 zeigt die REM-Aufnahmen einer 4 Zoll Probe in verschiedenen Prozessschritten. Auffallend ist die Ver-

größerung der Grabenbreite durch das Sauerstoffplasma und die Ionenätzung. Die Abnahme der Resisthöhe und die Zunahme der Grabenbreite muss bei der Anpassung der Belichtungs-dosis und der Optimierung des Entwicklungsprozesses berücksichtigt werden.

Die AFM-Aufnahme und der Profilschnitt der 4^{te}-Probe in **Bild 5** zeigen das erhaltene Siliziumprofil.

Die Grabenbreite variierte in den AFM-Messungen zwischen 60-63 %, die Proben hatte eine mittlere Stufenhöhe von $\approx 18,5$ nm.

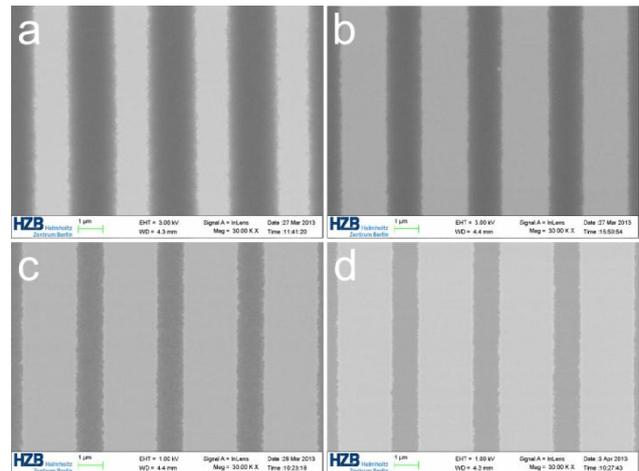


Bild 4 REM-Aufnahmen der entwickelten Resiststruktur (a – 1,3 μm Grabenbreite, 80 nm Höhe), einer mit Sauerstoffplasma gereinigten Resiststruktur (b – 1,9 μm Grabenbreite, 44 nm Höhe), der ionengeätzten Resiststruktur (c – 2,2 μm Grabenbreite, 33 nm Höhe) und die Siliziumstruktur nach der Resistentfernung (2,2 μm Grabenbreite, 18,4 nm Höhe).

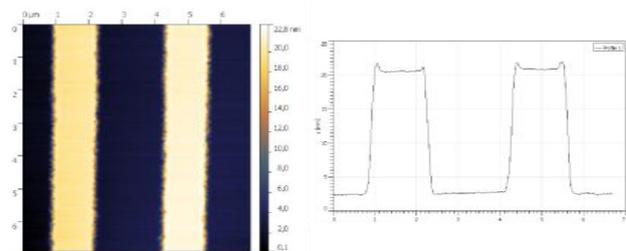


Bild 5 AFM-Aufnahmen und Profilschnitt des erhaltenen Siliziumgitters.

Diese AFM-Messwerte wurden durch die Vermessung der Probe am Reflektometerstrahlrohr an BESSY II und Vergleich zu theoretischen Berechnungen bestätigt (**Bild 6**).

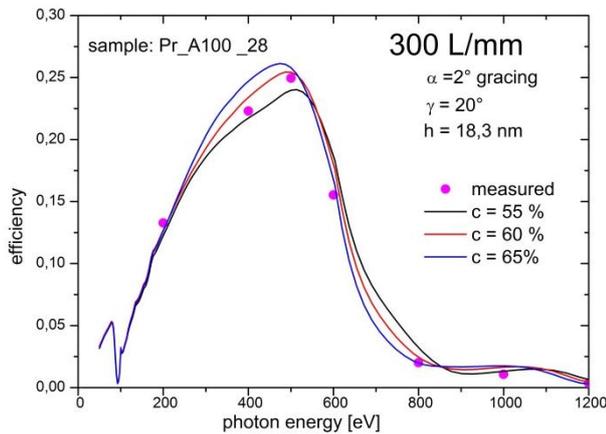


Bild 6 Gute Übereinstimmungen von Messung und Theorie des geätzten Siliziumgitters.

Die gute Übereinstimmung der gemessenen und theoretischen Werte in Bild 6 ist ein starkes Indiz für eine homogene Gitterstruktur. Zusätzlich wurden zwei 6^{te}-Proben prozessiert und die erreichten Ätztiefen auf den Mittelspuren anhand von AFM-Aufnahmen ausgewertet (**Bild 7**).

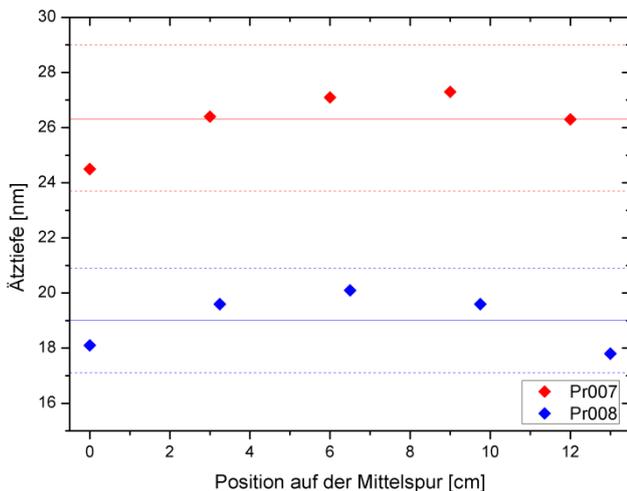


Bild 7 Ätztiefen entlang der Mittellspur zweier 6^{te}-Proben:

Mit Linien angedeutet sind der jeweilige Mittelwert (durchgehend) und die $\pm 10\%$ Toleranzen (gestrichelt), die für beide Proben eingehalten wurden.

5 Ausblick

Im nächsten Schritt des Projektes werden die in den Vorversuchen gewonnenen Ergebnisse auf die Prozessierung der Synchrotronträger übertragen. Eine erfolgreich strukturierte Resistschicht zeigt **Bild 8**. Diese muss nun als nächstes in das Silizium übertragen werden. Der zugehörige Prozess wird gegenwärtig optimiert.



Bild 8 Träger für Synchrotronanwendungen mit Gitter in Resiststruktur

6 Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die Unterstützung bei der Durchführung der Experimente bei allen Mitarbeitern des Institutes für Nanometeroptik und Technologie des Helmholtz-Zentrums Berlin.

Die Arbeiten wurden finanziell unterstützt durch Mittel aus dem EFRE-Fonds der EU unter dem Contract-Nr. 20072013 2/43.

7 Literatur

- [1] Loechel, B., et al.: Installation of a technological center for highly efficient optical gratings at Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB). Journal of Physics: Conference Series 425 (2013) 212012.
- [2] Eggenstein, F., et al.: A reflectometer for at-wavelength characterisation of gratings. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 15 November 2012, <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2012.10.132>.
- [3] Bläsi, B.: Holographisch hergestellte Antireflexoberflächen für solare und visuelle Anwendungen. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Breisgau, 2000