

Aufbau eines 193 nm Mikroskops als Strukturbreitenmesssystem für Photomasken

Zhi Li, Frank Pilarski, Detlef Bergmann, Bernd Bodermann, Egbert Buhr

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38116 Braunschweig, Germany

<mailto:bernd.bodermann@ptb.de>

Ein neuartiges optisches Mikroskopie-System zur Strukturbreitenmessung an Photomasken wird in der PTB entwickelt und realisiert. Hiermit soll eine Messunsicherheit unter 10 nm erreicht werden. Die Arbeitswellenlänge von 193 nm bietet die Möglichkeit, "at-wavelength" Messungen für aktuelle und zukünftige 193 nm-Lithografie durchzuführen.

1 Einführung

In der Photolithographie werden die kritischen Dimensionen (CD), d.h. die Breiten der Mikro- und Nanostrukturen auf den Photomasken, unter anderem mit optisch-abbildenden Strukturbreitenmesssystemen bestimmt. Um mit dem raschen Fortschritt in der Mikro- und Nanolithographie Schritt zu halten, muss die laterale Auflösung dieser Systeme stetig verbessert werden.

In der PTB wird daher ein neuartiges DUV(deep ultraviolet)-Mikroskop entwickelt, welches sich zur Zeit im Aufbau befindet. Ein ArF-Excimerlaser ($\lambda=193\text{nm}$) dient als Lichtquelle. Das Objektiv weist eine numerische Apertur von $NA = 0.9$ auf, so dass in Kombination mit der kurzen Arbeitswellenlänge eine laterale Auflösung von etwa 100 nm erreicht wird. Diese Auflösung reicht aus, um Strukturen auf Photomasken für aktuelle und zukünftige Lithographietechnologien zu charakterisieren.

2 Beleuchtungs- und Abbildungskonzept

Abb. 1 zeigt eine Prinzipskizze des optischen Beleuchtungs- und Abbildungsstrahlengangs. Es handelt sich bei dem im Aufbau befindlichen DUV-Mikroskop um ein optisches Transmissionsmikroskop mit einer Köhler-Beleuchtungsanordnung. Das Prüfobjekt, in der Regel eine Photomaske, wird homogen beleuchtet und dann mit der qualitativ sehr hochwertigen Abbildungsoptik auf einer DUV-tauglichen CCD-Kamera abgebildet. Die laterale Vergrößerung des Mikroskops beträgt 400, so dass eine Pixelauflösung im Objektraum von etwa 20 nm erreicht wird, was etwa 1/5 der optischen Auflösung entspricht. Damit ist gewährleistet, dass das analoge Auflösungsvermögen des Objektivs vollständig ausgenutzt wird.

Im Beleuchtungsstrahlengang sind Optionen zur Realisierung verschiedener strukturierter Beleuchtungsverfahren vorgesehen. Mit einem Mikrospiegelarray (DMD) sollen verschiedene Beleuchtungsbedingungen einschließlich Dipol-,

Quadrupol- oder ringförmige Beleuchtung in der Eintrittspupille des Kondensors verwirklicht werden. Eine strukturierte Feldbeleuchtung kann ebenfalls realisiert werden durch das Einbringen zusätzlicher Transmissionsmodulatoren (z. B. 1D-Gitter) in eine konjugierte Ebene der Feldapertur. Mit diesen Beleuchtungsparametern lassen sich in Abhängigkeit von der zu messenden Struktur Kontrast- und in gewissem Maße auch Auflösungssteigerungen erzielen.

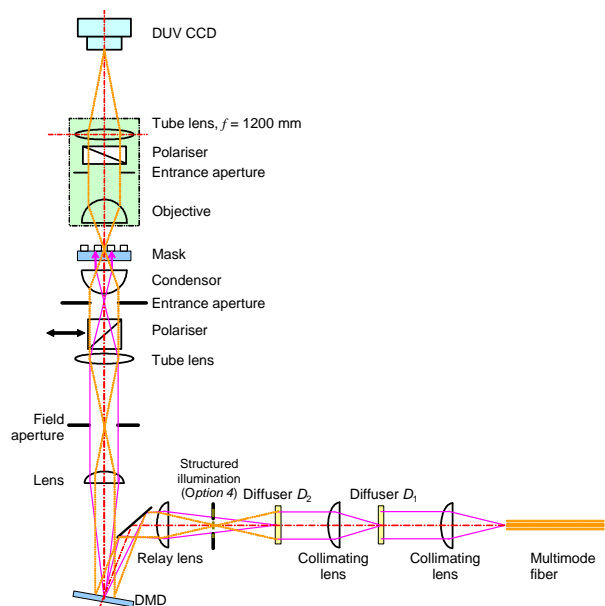


Abb. 1 Grundprinzip des optischen Systems des im Aufbau befindlichen 193 nm Mikroskops

Um bei der Charakterisierung von Mikro- und Nanostrukturen den Polarisationsfreiheitsgrad ausnutzen zu können, lässt sich mittels beweglicher Polarisatoren linear (TE und TM) polarisiertes Licht zur Beleuchtung als auch zur Abbildung realisieren.

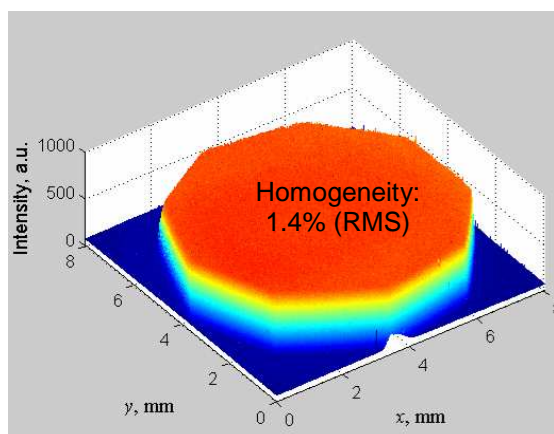
Mittels Ray-Tracing wurde eine Analyse des Beleuchtungssystems durchgeführt. Der Kondensator des Mikroskops ($NA = 0.6$) ist für Photomasken mit einer Dicke von etwa 6,35 mm korrigiert. Unter

der Annahme eines idealen Beleuchtungssystems mit gleichförmiger Intensitätsverteilung im Winkelraum wird im Objektraum eine homogene Beleuchtung mit einer Wellenfrontverzerrung von weniger als $\lambda/10$ auf der Oberfläche der zu prüfenden Photomaske erreicht.

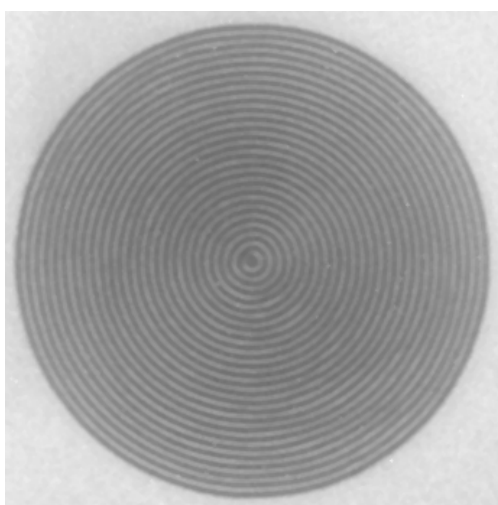
Die Variationsmöglichkeiten der Beleuchtungsparameter bieten zusätzlich die Möglichkeit, die zur Modellierung des Messprozesses verwendeten Verfahren und Programme im Detail zu überprüfen. Eine genaue Modellierung der Messungen ist notwendig und von zunehmender Bedeutung, um CD-Messungen auf Photomasken mit den erforderlichen Unsicherheiten zu ermöglichen.

3 Experimentelle Untersuchungen

Das optische System wurde zunächst experimentell mittels eines Testaufbaus geprüft. Abb. 2 zeigt Ergebnisse mit diesem Testaufbau bei der Arbeitswellenlänge $\lambda = 193$ nm.



(a) Homogenität des Beleuchtungssystems in der Objektebene



(b) Bild einer Teststruktur (Half Pitch = 100 nm)

Abb. 2 Experimentelle Tests des optischen Systems des 193 nm Mikroskops

Das Beleuchtungssystem liefert zusammen mit einem DOE-Diffusor eine sehr homogene Beleuchtung auf der Probe (Abb. 2a). Abb. 2b zeigt das speckle-freie Bild einer ringförmigen Gitterstruktur mit einer Periode von 200 nm, welche klar aufgelöst werden kann.

4 Realisierung des 193 nm DUV-Mikroskops

Abb. 3 zeigt den mechanischen Aufbau des DUV-Mikroskops. Besonderes Augenmerk wurde auf die mechanische und thermische Stabilität des Systems gelegt [1]. Der Grundaufbau des Messsystems besteht aus einem Granittisch und einer Brücke aus Invar, an der der DUV-Mikroskopkopf mit dem Objektiv und Kamera angebaut ist.

Da der laterale Messbereich des DUV-Mikroskops ($20 \mu\text{m} \times 20 \mu\text{m}$) relativ klein ist und das Auffinden des Messorts auf der Photomaske erschwert, ist ein zusätzliches Hilfsmikroskop mit verhältnismäßig geringer Vergrößerung zur Ausrichtung der Photomaske und zur Einstellung der Messstelle vorhanden. Die Übergabe der zu messenden Photomaske zwischen dem Hilfsmikroskop und dem DUV-Mikroskop wird durch ein 2D-Positioniersystem ($1 \mu\text{m}$ -Wiederholbarkeit) realisiert.

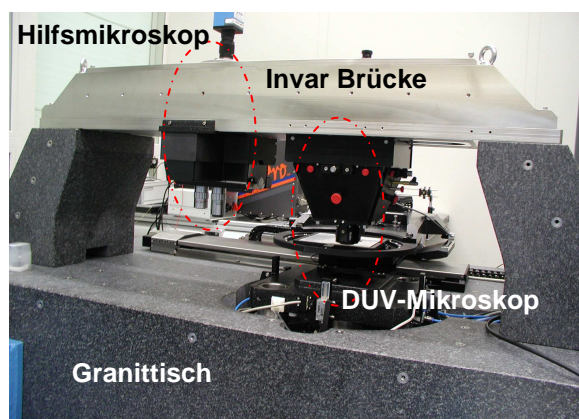


Abb. 3 Mechanischer Aufbau des 193nm Mikroskops.

5 Zusammenfassung

In der PTB wird ein Strukturbreitenmesssystem realisiert, das auf einem optischen 193 nm Mikroskop basiert. Aufgrund seiner hohen lateralen Auflösung und der umfassenden und flexiblen Beleuchtungs- und Abbildungsoptionen wird dieses System die Anforderungen in der Maskenmetrologie für aktuelle und zukünftige Lithographie-Knoten erfüllen.

Literatur

- [1] G. Ehret, F. Pilarski, D. Bergmann, B. Bodermann, E. Buhr, "A new high-aperture 193 nm microscope for the traceable dimensional characterization of micro- and nanostructures" *Meas. Sci Technol.* **20** (8) 084010-1 - 084010-10 (2009)