

Konstruktive Realisierung eines hochaperturigen 193nm-Mikroskops für die quantitative dimensionelle Charakterisierung von Mikro- und Nanostrukturen

Gerd Ehret, Frank Pilarski, Detlef Bergmann, Bernd Bodermann, Egbert Buhr, Werner Mirandé

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

mailto:gerd.ehret@ptb.de

An der PTB wird zur Zeit ein neuartiges, hochaperturiges optisches 193nm-Mikroskop zur quantitativen Messung von Strukturbreiten von 10 μm bis 100 nm mit Messunsicherheiten von 10 nm (95%-Vertrauensintervall) aufgebaut. Es wird die konstruktive Realisierung des Mikroskops sowie das Konzept der Beleuchtung vorgestellt.

1 Einführung

Die optische Mikroskopie ist neben der Elektronenmikroskopie, Rasterkraftmikroskopie und der optischen Scatterometrie ein wichtiges Standbein in der quantitativen dimensionellen Charakterisierung von Mikro- und Nanostrukturen. Zur Zeit wird an der PTB ein neues optisches Transmissionsmikroskop aufgebaut, das bei der Wellenlänge von 193 nm mit einer numerischen Apertur von $NA=0,9$ arbeitet.

Im Vergleich zu bestehenden optischen Mikroskopie-Systemen wird mit diesem Gerät aufgrund der sehr kurzen Wellenlänge, eines mechanisch sehr stabilen sowie optisch möglichst idealen Aufbaus eine deutliche Reduzierung der Messunsicherheit bei der Strukturbreitenmessung angestrebt. So soll eine absolute Messunsicherheit von 10 nm (95%-Vertrauensintervall) bei der Messung von Strukturbreiten auf Photomasken erreicht werden. Es besteht der zusätzliche Vorteil, dass dieses System eine so genannte "at-wavelength"-Charakterisierung von solchen Photomasken bietet, die für die 193 nm-Photolithographie-Technik eingesetzt werden.

2 Vergleich UV- und DUV-Transmissionsmikroskopie

Der Übergang zu kürzeren Wellenlängen hat den Vorteil der höheren Ortsauflösung, d. h. die Bildprofile abgebildeter Kanten werden steiler. In Abb.1 sind als Beispiel modellierte Mikroskopbilder eines 400nm-Chrom-Steps für die Beleuchtungswellenlängen 193 nm, 248 nm und 365 nm dargestellt.

Aus den Profilen kann man die Schwellwerte (threshold) ermitteln, die den geometrischen Ort der Kante definieren. Aufgrund diverser Fehlereinflüsse im Experiment kann man einen vorgegebenen Schwellwert nur mit einer endlichen Genauigkeit bestimmen. Die Tabelle 1 zeigt, dass bei einer Beleuchtungswellenlänge von 365 nm eine Abweichung im Schwellwert von z.B. 1 % auf einen Linienbreitenfehler von 5,4 nm führt,

wohingegen bei einer 193 nm-Beleuchtung eine Abweichung im Schwellwert von 1% nur zu einem Linienbreitenfehler von 3,4 nm führt.

Es ist zu beachten, dass die Schwellwerte bei kleinen Linienbreiten nicht konstant sind, sondern aufgrund von Beeinflussungen durch die jeweils gegenüberliegende Kante von der Linienbreite selbst abhängig sind (siehe Abb. 2).

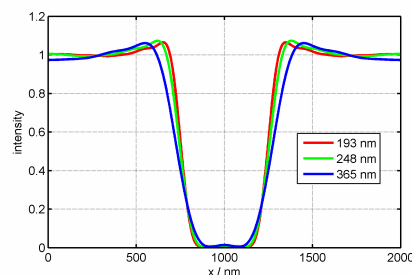


Abb. 1 Rigoros berechnete Profile des Mikroskopbilds eines 400 nm breiten Chrom-Steps für 3 Wellenlängen (Objektivapertur: 0,9, Kondensorapertur: 0,6).

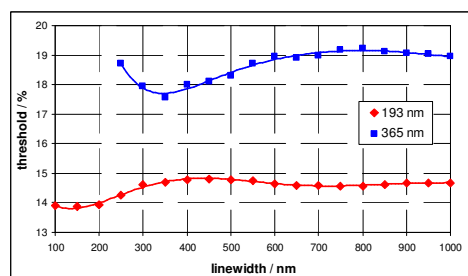


Abb. 2 Der Schwellwert ist linienbreitenabhängig.

Tab. 1 Einfluss eines ungenau bekannten Schwellwertes auf die Bestimmung der Kantenposition.

Wellenlänge	193 nm	248 nm	365 nm
Kantensteilheit	0,57% /nm	0,50% /nm	0,37% /nm
Unsicherheit des Schwellwertes von 1 % führt zu einer Unsicherheit der Kantenposition von	1,7 nm	2,0 nm	2,7 nm

3 Konzept und Konstruktion

Zur Verminderung von mechanischen Störeinflüssen wird das 193nm-Mikroskop auf einen Granitblock mit Invarbrücke aufgebaut (siehe Abb. 3 und 4).

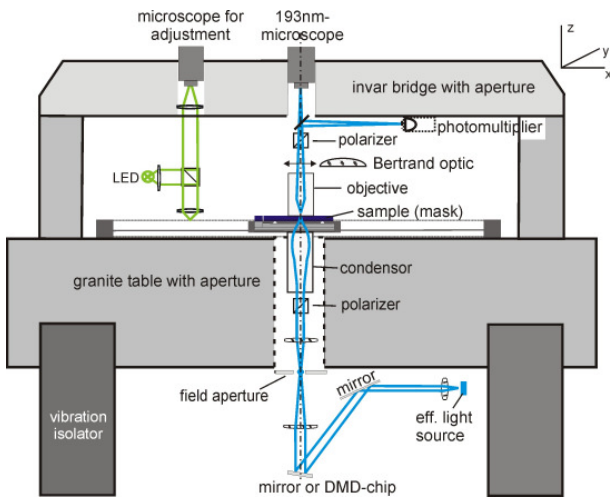


Abb. 3 Prinzipskizze des 193nm-Mikroskops

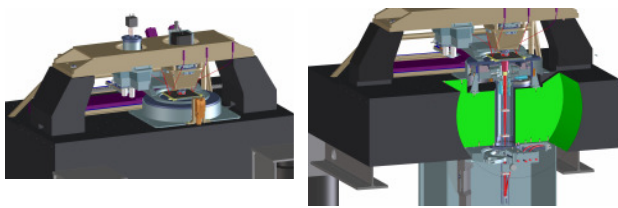


Abb. 4 Konstruktionszeichnungen (Stand: Mai 2008).

Das 193nm-Objektiv besitzt zusammen mit der Tubusoptik eine 400-fache Vergrößerung, so dass von der 193nm-Kamera ein Objektfeld von etwa 20 μm erfasst wird.

Da bei diesem relativ kleinen Objektfeld das Auffinden der Strukturen sehr schwierig wäre, wird mit einem zusätzlichen Justiermikroskop mit vergleichsweise geringer Vergrößerung zunächst die zu vermessende Struktur eingestellt. Anschließend wird das ganze Objekt mit einem Positioniersystem (1 μm -Reproduzierbarkeit) unter das 193nm-Messmikroskop gefahren und an ein Nanopositionier-System übergeben, der Verfahrenswege in x-, y- und z-Richtung von 200 μm , 30 μm und 20 μm mit Subnanometergenauigkeit ermöglicht. Zur genauen Ausrichtung der Probe kann der Nanopositionierer noch ein wenig um die 3 Rotationsachsen (rot-x, rot-y und rot-z) gedreht werden. Zur Wegmessung werden interferometrische, kapazitive und triangulationsbasierte Systeme eingesetzt. Der Kondensator wird mit 3 Piezoschrittmotoren zentriert, die stromlos ihre Positionen im Nanometerbereich halten.

Mit dem Mikroskop können polarisationsabhängige Messungen durchgeführt werden. Es sind auch strukturierte Beleuchtungen durch Pupilleneigriffe

mittels Blenden oder DMD möglich. Eine Erweiterung auf eine 193nm-Mikroskatterometrie ist ebenfalls geplant [1]. Der Beleuchtungsstrahlengang wird mit Stickstoff gespült.

4 Realisierung einer homogenen Beleuchtung

Als Strahlungsquelle wird ein gepulster 193nm-Excimerlaser eingesetzt. Dieser Laser besitzt eine zeitliche Kohärenzlänge von ca. 7,5 mm und eine räumliche Kohärenzlänge von ca. 0,25 mm. Um damit eine homogene Beleuchtung zu realisieren, werden zuerst über zwei Stufenspiegel möglichst viele inkohärente Quellen erzeugt [2,3], die in einem Quarz-Lichtmischstab mit einem hexagonalem Querschnitt vermengt werden. Der Ausgang des hexagonalen Lichtmischstabs liefert bei einer genügend hohen Anzahl an inkohärenten Lichtquellen eine homogene Beleuchtung.

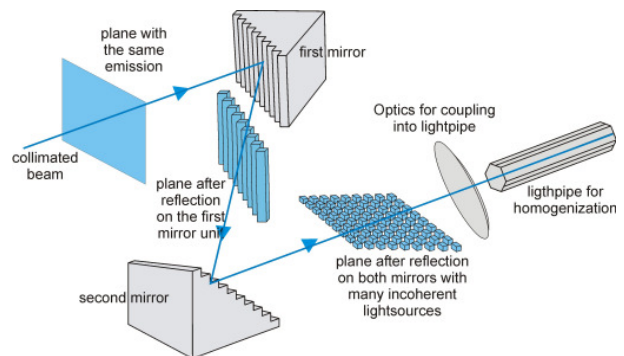


Abb. 5 Kohärenzreduzierung in x- und y-Richtung durch Stufenspiegel mit Stufenhöhe von 2-3 mm.

5 Zusammenfassung/Ausblick

Das neuartige 193nm-Transmissionsmikroskop ist zur Zeit im Aufbau und soll ab Mitte 2009 messbereit sein. Dieses Mikroskop besitzt ein 193nm-Objektiv mit einer hohen Apertur ($NA=0,9$). Durch den mechanischen Aufbau sind Positioniergenauigkeiten und Stabilitäten im nm-Bereich und darunter realistisch. Abgebildete Strukturkanten weisen im Vergleich zur Abbildung mit einer 365nm-Beleuchtung eine um mehr als 50% größere Kantensteilheit auf. Dadurch wird zum Einen eine verbesserte Auflösung erreicht (bis hinunter zu etwa 100 nm) und zum Anderen wird der Einfluss eines - immer nur mit einer endlichen Genauigkeit bestimmbar - Schwellwertes auf die Messunsicherheit deutlich reduziert.

Literatur

- [1] R. M. Silver et al.: „Scatterfield microscopy for extending the limits of image-based optical metrology“, Applied Optics Vol. 46 (20), 2007.
- [2] M. Burckhardt et al.: „Optische Vorrichtung und optisches Verfahren zur Homogenisierung von Laserstrahlung“, Patent DE102006009212A1, 2007.
- [3] L. Erdmann, M. Burkhardt and R. Brunner: „Coherence management for microlens laser beam homogenizers“, Proc of SPIE 4775, 145-154, 2002.