

Numerische Analyse des Potentials der DUV-Scatterometrie zur Charakterisierung von EUV-Photomasken

M. Wurm, B. Bodermann, R. Model, H. Groß

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin

<mailto:Matthias.Wurm@PTB.de>

Bei der Auswertung erster scatterometrischer „at-wavelength“ Messungen an EUV-Photolithographiemasken stellten Inhomogenitäten des Vielschichtsystems ein großes Problem dar. Es wurde deshalb untersucht, inwieweit sich die DUV-Scatterometrie eignet, um die Absorberstrukturen von EUV-Masken quantitativ zu charakterisieren.

1 Einführung

Die EUV-Lithographie gilt als eine wahrscheinliche Option, die derzeitige 193 nm Lithographie als Fertigungstechnologie in der Halbleiterindustrie in den nächsten Jahren abzulösen. Für den Abbildungsprozess wird dann ein völlig neuer Photomaskentyp benötigt. Denn im Gegensatz zu den heute verwendeten Photolithographiemasken können für die EUV-Strahlung optimierte Masken nicht in Transmission verwendet werden, sondern sie können nur in Reflexion eingesetzt werden. Dies liegt an der hohen Absorption nahezu aller Materialien im EUV-Spektralbereich. Um eine hinreichende Reflektivität der EUV-Masken zu erreichen, werden unterhalb der Absorberstrukturen sich periodisch wiederholende Doppelschichten aus Molybdän und Silizium eingesetzt, die dann als Bragg-Spiegel wirken.

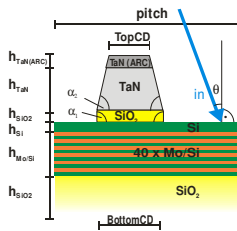


Abb. 1 Querschnittsprofil einer EUV-Maske. Das Vielschichtsystem unter den Absorberstrukturen fungiert als Bragg-Spiegel und dient der Erhöhung des Reflexionsgrades. Typischerweise werden 40-50 Doppelschichten eingesetzt.

Ein Bragg-Spiegel wirkt sowohl als Spektral- als auch - über einen limitierten Akzeptanzwinkel des einfallenden Strahls - als Raumfilter. Deshalb ist für den Abbildungsprozess die Homogenität des Vielschichtsystems (Multi Layer = ML) von entscheidender Bedeutung.

Für die EUV-Scatterometrie als nahe liegende „at wavelength“ Metrologie, zur Charakterisierung der Absorberstruktur ist die Kenntnis des ML ebenfalls von essentieller Bedeutung. Kann diese nicht unabhängig von der Absorberstruktur ermittelt werden, muss sie ebenfalls aus den scatterometrischen Messdaten extrahiert werden. Dadurch erhöht sich zum einen der Mess- und Auswerteaufwand; zum anderen steigt die Unsicherheit, mit der Absorberparameter bestimmt werden können.

Aus reflektometrischen Messungen von Scholze et al. [1] an einem Prototypen einer unstrukturierten EUV-Maske kann auf optisch effektive Schichtdickenschwankungen des ML im Prozentbereich geschlossen werden. Abb. 2 zeigt den starken Einfluss solcher Schwankungen auf EUV-Scatterogramme.

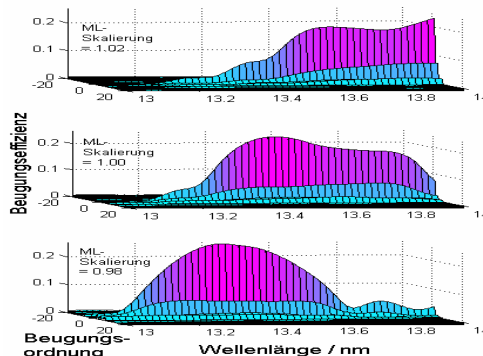


Abb. 2 Simulierte spektroskopische Scatterogramme einer EUV-Maske (Pitch: 840 nm, CD: 140 nm, Einfallswinkel 6°) bei Modifikation der einzelnen Schichtdicken des ML um 2% ($\approx 0,07$ nm).

Auch wenn bei künftigen EUV-Masken dieses Problem der Schichtdickeninhomogenitäten besser beherrscht werden kann, so ist doch eine Separation des ML-Einflusses von dem der zu bestimmenden Absorberstruktur auf das gemessene Scatterogramm wünschenswert und sinnvoll.

2 DUV-Scatterometrie an EUV-Masken

Die Idee, für metrologische Zwecke eine für den ML fehlangepasste Wellenlänge zu benutzen, liegt nahe. Die Eignung von DUV-Strahlung zu diesem Zwecke soll hier untersucht werden.

Abb. 3 bestätigt zunächst, dass die reflektierten DUV-Beugungseffizienzen auswertbar sind. Dies gilt sowohl für TE- wie TM-polarisierte Beleuchtung. Daraus folgt, dass auch ellipsometrische Messungen möglich sind. Somit besteht im DUV

also Zugriff auf zusätzliche Messgrößen, die ellipsometrischen Winkel, die im EUV mangels geeigneter Polarisatoren und Retardierer nicht zugänglich sind. Messungen in Transmission sind auch im DUV nicht möglich: Der ML wirkt als starker Absorber.

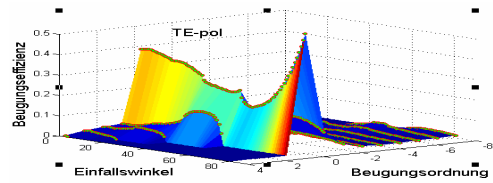


Abb. 3 Simulierte goniometrische Scatterogramme der selben EUV-Maske wie in Abb. 2 (Wellenlänge: 193 nm).

Beispielhaft für die Sensitivität der DUV-Scatterometrie gegenüber Geometrieparametern zeigt Abb. 4 die simulierten Beugungseffizienzen bei variierendem Kantenwinkel. Wie erwartet ist die Sensitivität von der gleichen Größenordnung wie bei Chrommasken, die speziell für den Einsatz im DUV hergestellt werden. Im gezeigten Beispiel kann eine maximale Sensitivität von ca. 1 % Effizienzänderung pro Grad Kantenwinkeländerung festgestellt werden.

Zudem erkennt man, dass für die Lösung des inversen Beugungsproblems, d.h. bei der Bestimmung der zugrunde liegenden Objektgeometrie aus den Scatterogrammen, ein gradientenbasierter Algorithmus eingesetzt werden kann. Es gibt keine Abhängigkeiten, die zu Mehrdeutigkeiten führen könnten (z.B. schnelle Oszillationen). Die Lösung des Problems ist hier im Rahmen des untersuchten Intervalls eindeutig.

Dies kann auch den in Abb. 5 dargestellten Zielfunktionen entnommen werden, deren Minima die am besten angepasste Objektgeometrie bei Variation zweier Objektparameter repräsentieren. In beiden simulierten Fällen, in denen Strukturrhöhen und -breiten variiert wurden, konnten zuverlässig und eindeutig die vorgegebenen Minima wieder gefunden werden.

Die Sensitivität der DUV-Scatterometrie gegenüber der Absorberstruktur von EUV-Masken wurde nun nachgewiesen. Die Insensitivität gegenüber Variationen des ML wird eindrucksvoll in Abb. 6 gezeigt: In ähnlicher Weise wie zuvor, wurden die Schichtdicken des ML um 2% variiert. Nur in der Differenz der Scatterogramme sind minimale Unterschiede erkennbar. Sie liegen hier bei maximal $5 \cdot 10^{-6}$ pro 1% Schichtdickenänderung.

3 Fazit

Auch für EUV-Masken eignet sich die DUV-Scatterometrie als metrologisches Verfahren zur Charakterisierung der Absorberstrukturen. Die Sensitivität gegenüber Strukturparametern ist ge-

geben, während der Einfluss des Vielschichtsystems mit seinen produktionsbedingten Inhomogenitäten sehr stark - praktisch unmessbar - unterdrückt wird.

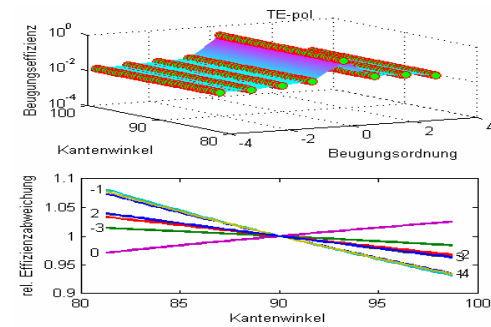


Abb. 4 Oben: Simulierte Scatterogramme der selben EUV-Maske wie in Abb. 2 bei variierendem Kantenwinkel (Einfallswinkel: 6°; Wellenlänge 193 nm). Unten: Relative Abweichungen der oben dargestellten Beugungseffizienzen (Normierung bei 90° Kantenwinkel).

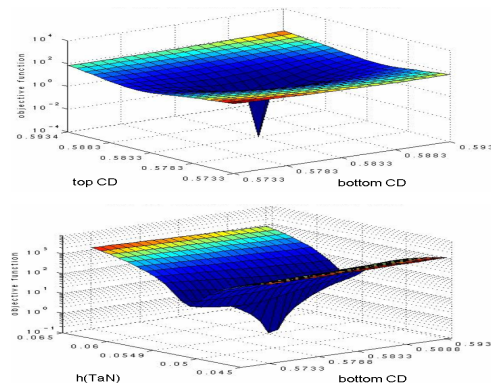


Abb. 5 Zielfunktion des inversen Beugungsproblems bei Variation von Strukturbreiten und -höhen (Erzeugt mit Dipog 2.1 [2]).

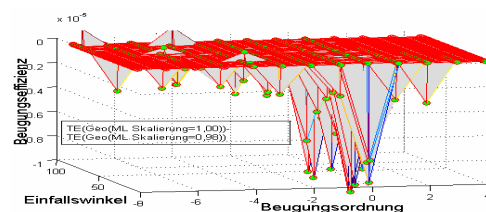


Abb. 6 Differenz der Scatterogramme berechnet für die EUV-Maske mit Original-ML und dem mit um 2% reduzierten Schichtdicken.

Literatur

- [1] F. Scholze, B. Bodermann, C. Laubis, G. Ulm, M. Wurm; „Characterization of EUV Masks by EUV Scatterometry“, 4th International EUVL Symposium, San Diego, 2005
- [2] <http://www.wias-berlin.de/software/DIPOG/index.html.de>