

# Untersuchungen zur Eignung der EUV-Scatterometrie zur quantitativen Charakterisierung periodischer Strukturen auf Photolithographiemasken

M. Wurm\*, B. Bodermann\*, F. Scholze\*, C. Laubis\*, H. Groß\*, A. Rathsfeld\*\*

\*Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin

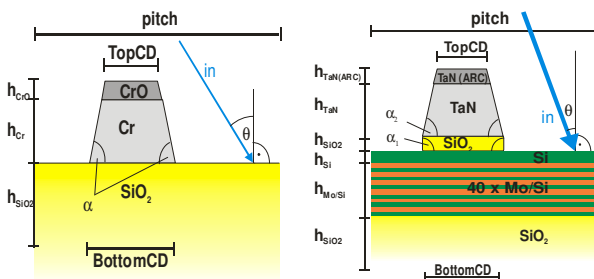
\*\*Weierstraß-Institut für Angewandte Analysis und Stochastik (WIAS)

<mailto:Matthias.Wurm@PTB.de>

Aufgrund der kürzeren Wellenlänge sind bei Messungen mit EUV Strahlung im Gegensatz zum sichtbaren Spektralbereich auch für Strukturbreiten um 100 nm noch viele Beugungsordnungen zugänglich. Es wurde deshalb untersucht, inwiefern es Scatterometrie bei 13,5 nm erlaubt, Informationen über die Linienprofile auf CoG und EUV Masken zu gewinnen.

## 1 Einführung

Zur quantitativen Querschnittsprofilbestimmung von (periodisch) strukturierten Photolithographiemasken (siehe Abb. 1) werden neben der Rasterkraft- und Rasterelektronenmikroskopie auch optische Verfahren eingesetzt. Mit immer kleiner werdenden Strukturbreiten stoßen abbildende Verfahren jedoch an die Beugungsgrenze. Alternativ können hier scatterometrische, nichtabbildende Verfahren zum Einsatz kommen. Im Gegensatz zur ellipsometrischen Scatterometrie im VIS oder DUV, bei der die Information über die Probe aus ihren Polarisations-eigenschaften gewonnen werden kann [1], werden bei der EUV-Scatterometrie die Effizienzen der zahlreichen Beugungsordnungen ausgewertet. Für reflektometrische und scatterometrische Messungen steht der PTB am Bessy II ein EUV Reflektometer für den Wellenlängenbereich zwischen 0,7 und 35 nm zur Verfügung (Schema siehe Abb. 2).



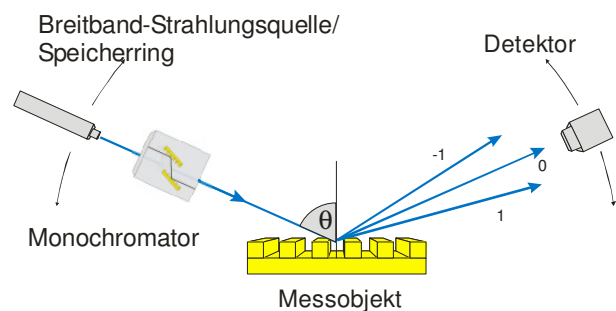
**Abb. 1** Querschnittsprofil einer CoG-Maske (links) und einer EUV-Maske. Erstere werden in Transmission, letztere in Reflexion eingesetzt. Zur Erhöhung des Reflexionsgrades wird ein Mehrschichtsystem (Mo/Si) eingesetzt (Bragg-Spiegel).

## 2 Mess- und Auswertekonzept

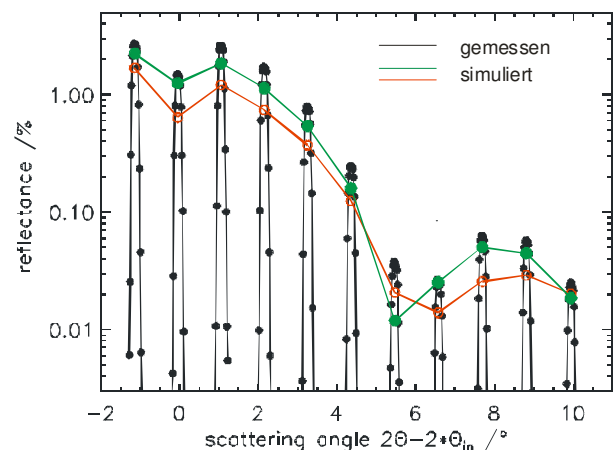
Mathematisch stellt sich die Auswertung als inverses Beugungsproblem dar, zu dessen Lösung die Lösung des direkten Beugungsproblems bekannt sein muss. Dazu bedienen wir uns des vormals nur

»vorwärts« rechnenden Programms Dipog [2]. Im Vorfeld eines Experiments lassen sich – mit a priori Informationen über die Struktur – Sensitivitätsanalysen erstellen und somit geeignete Messparameter wählen. Die Messparameter sind dabei generell:

- die Wellenlänge (hier zwischen 0,7 und 35 nm)
- der Einfallswinkel (hier zwischen  $-90^\circ$  und  $90^\circ$ )
- die Polarisation (beim EUV-Scatterometer TE).



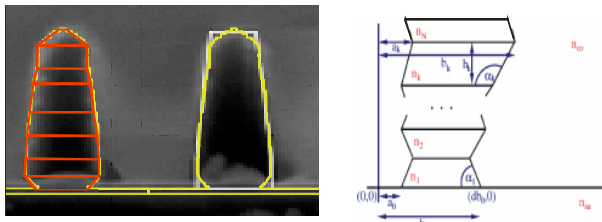
**Abb. 2** Das Messprinzip des EUV-Scatterometers der PTB am Bessy II.



**Abb. 3** Vergleich von gemessenen Beugungsintensitäten an einer EUV-Maske (@  $\lambda=13,5$  nm) mit simulierten Daten basierend auf zwei leicht unterschiedlichen Objektgeometrien.

Abb. 3 zeigt die Messung und Simulationsergebnisse an einer EUV-Maske. Die Übereinstimmung der Simulation mit dem Experiment ist noch nicht befriedigend, obwohl zehntausende von Geometrien gerechnet wurden. Drei Aspekte können dieser Auswertung entnommen werden:

1) Ein zielgerichteter, effektiver Suchalgorithmus im Parameterraum ist notwendig. Zu diesem Zweck wurde Dipog in seiner aktuellen Version in eine gradientenbasierte Optimierungsroutine eingebettet [3]. Die Zielgeometrie besteht dabei aus einem  $n$ -schichtigen Stapel aneinander anknüpfender Trapeze. Damit lassen sich realistische Kantenprofile durch stückweise glatte Kanten gut modellieren (siehe Abb. 4).



**Abb. 4** Dipog 2.1 nähert Querschnittsprofile durch einen  $n$ -fachen Stapel aneinander anknüpfender Trapeze an.

2) Die Lösung ist i.A. nicht eindeutig. Deshalb müssen einerseits möglichst viele Messdaten zu einer Probe unter unterschiedlichen Messkonfigurationen gewonnen werden, andererseits aus den Sensitivitätsanalysen ein optimierter Parametersatz, der die Struktur noch hinreichend beschreiben kann und aus den Messungen bestimmbar ist, ermittelt werden.

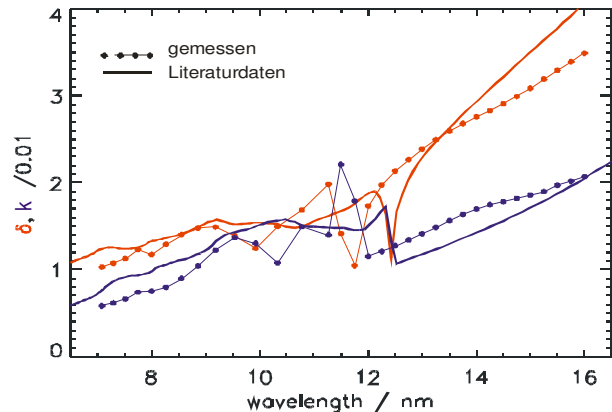
3) Im vorliegenden Fall war die gemessene gebeugte Gesamtintensität immer höher als die simulierte. Dies lässt darauf schließen, dass die optischen Parameter nicht genau genug bekannt waren. Deshalb müssen sie gemessen werden.

### 3 Messung der optischen Parameter ( $n$ , $k$ )

Zur Bestimmung der optischen Parameter ( $n$ ,  $k$ ) der Probenmaterialien kann das EUV-Scatterometer selbst genutzt werden. Dazu ist die Reflektivität an einer geeigneten, d.h. unstrukturierten Probe an den jeweiligen Schichten gemessen worden. Beispielhaft werden hier die Ergebnisse für das Maskensubstrat (Quarzglas) vorgestellt. Die Reflektivität wurde in Abhängigkeit vom Einfallswinkel für einen Wellenlängenbereich von 7 bis 16 nm gemessen. Damit erreicht man eine ausreichende Redundanz des Datensatzes um Einflüsse der geometrischen Objektparameter (Schichtdicken, Rauheiten) von denen der gesuchten optischen separieren zu können.

Über die Fresnel-Gleichungen wurden die Werte für  $n$  (bzw.  $\delta=1-n$ ) und  $k$  ermittelt.

Abb. 5 fasst die Ergebnisse zusammen. Zum Vergleich sind die entsprechenden Daten nach Henke et al. aus der häufig genutzten CXRO-Datenbank [4] eingezeichnet. Es zeigt sich, dass die Resonanzstruktur im spektralen Verlauf der Messdaten gegenüber den Literaturdaten zu kürzeren Wellenlängen hin um etwa 1.5 nm verschoben ist. Dies wirkt sich besonders stark im Bereich von 11 bis 13 nm aus.



**Abb. 5** Vergleich der Literaturdaten [4] mit den gemessenen Werten für  $n$  (bzw.  $\delta=1-n$ ) und  $k$  von Quarzglas.

### 4 Fazit

Erste scatterometrische Messungen bei  $\lambda=13,5$  nm, sowohl an EUV- als auch an CoG-Masken, zeigen eine Vielzahl signifikant messbarer Beugungsordnungen. Bei der ersten Auswertung konnte jedoch zunächst nur eine unbefriedigende Übereinstimmung zu den Messdaten erreicht werden. Daraufhin wurde das FEM-basierte Simulationsprogramm Dipog mit einer Optimierungsroutine zu einem auch invers rechnenden Programm weiterentwickelt. Erste Tests mit simulierten Beugungseffizienzen sind vielversprechend verlaufen [3].

Experimentell konnten die optischen Parameter für die einzelnen Probenmaterialien bestimmt werden. Dazu wurde das Scatterometer selbst benutzt. Die gemessenen Unterschiede zu den Literaturwerten belegen die Notwendigkeit solcher Messungen. In einem nächsten Schritt wird die Auswertung mit den neuen optischen Daten wiederholt.

### Literatur

- [1] M. Wurm, B. Bodermann, W. Mirandé: »Evaluation of Scatterometry Tools for Critical Dimension Metrology«, DGaO-Proceedings (2005)
- [2] <http://www.wias-berlin.de/software/DIPOG/index.html> de
- [3] H. Groß, R. Model, M. Bär, M. Wurm, B. Bodermann, A. Rathsfeld: »Mathematical modelling of indirect measurements in scatterometry«, Measurement **39**, IMEKO (2006)
- [4] [http://www-cxro.lbl.gov/optical\\_constants](http://www-cxro.lbl.gov/optical_constants)