

Einfluss geometrisch-optischer Strukturparameter sowie instrumenteller Parameter auf dimensionelle mikroskopische Messungen an Mikro- und Nanostrukturen

B. Bodermann, G. Ehret, W. Mirandé

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

<mailto:bernd.bodermann@ptb.de>

Die Einflüsse geometrisch-optischer Strukturparameter sowie instrumenteller Parameter auf die mikroskopische Abbildung wurden anhand von Simulationsrechnungen theoretisch untersucht und für Strukturbreitenmessung an Mikro- und Nanostrukturen quantifiziert.

1 Einführung

Hochauflösende optische Mikroskopie stellt ein wichtiges Instrument zur dimensionellen Charakterisierung von Mikro- und Nanostrukturen dar. Die insbesondere im Bereich der Mikrolithografie stetig wachsenden Anforderungen an die Messgenauigkeit machen ein verbessertes Verständnis der physikalisch-optischen Wechselwirkungen zwischen Struktur und elektromagnetischem Feld und daraus resultierend eine verbesserte Interpretation der mikroskopischen Abbildung erforderlich.

Daher wurden systematisch die Einflüsse geometrisch-optischer Strukturparameter (z.B. Strukturhöhe und -breite, Kantenform, optische Konstanten,...) sowie instrumenteller Parameter (z.B. Beleuchtungswellenlänge, NA, Kohärenzgrad,...) auf die mikroskopische Abbildung im UV Spektralbereich für Transmissionsmikroskopie anhand von rigorosen Simulationsrechnungen theoretisch untersucht. Die Einflüsse dieser Parameter auf dimensionelle Messungen an Mikro- und Nanostrukturen wurden quantifiziert.

Die Simulationsrechnungen wurden mit dem Programm "Microsim", entwickelt am Institut für technische Optik, Universität Stuttgart, durchgeführt.

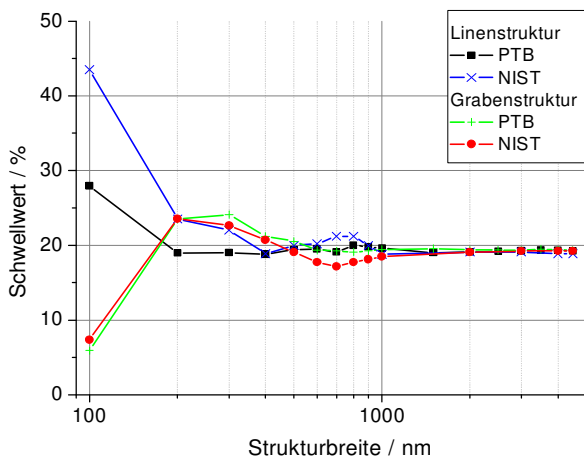


Abb. 1 Abhängigkeit des Schwellwertes von der Strukturbreite: Vergleich der Ergebnisse von Simulationsrechnungen des NIST und der PTB, $\lambda = 365\text{nm}$

2 Einfluß geometrisch-optischer Strukturparameter

Zur Bestimmung der Kantenposition aus dem gemessenen Kantenprofil wird in der Regel ein Schwellwertkriterium angewendet [1].

Abb. 1 zeigt die Variation des Schwellwertes in Abhängigkeit von der Breite der zu messenden Struktur sowohl für Linien- als auch für Grabenstrukturen. Zum Vergleich sind die Ergebnisse von Simulationsrechnungen gezeigt, welche am National Institut of Standards (NIST) durchgeführt wurden. Die Differenzen zeigen, dass insbesondere die Resonanzen im Bereich von Vielfachen der optischen Wellenlänge sowie für sub-lambda-Strukturen die Simulationen noch modellbasierte Unterschiede aufweisen. Zur Klärung der Ursachen hierfür wird zur Zeit ein systematischer Vergleich verschiedener rigoros rechnender Programme durchgeführt.

Abb. 2, und 3 zeigen die berechneten Abhängigkeiten des Schwellwertes vom Absorptionsindex k sowie von der Strukturtiefe. Die Rechnungen wurden für linienförmige Chromstrukturen auf Quarz-

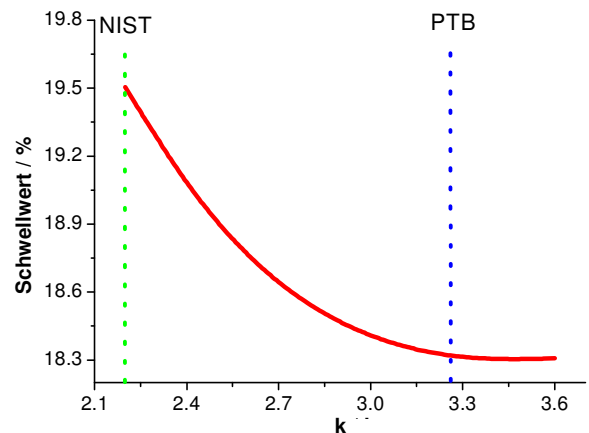


Abb. 2 Abhängigkeit des Schwellwertes von Imaginärteil k der komplexen Brechzahl \underline{n} .

substrat durchgeführt und zeigen beispielhaft die Einflüsse geometrisch-optischer Strukturparameter auf die Strukturbreitenmessung.

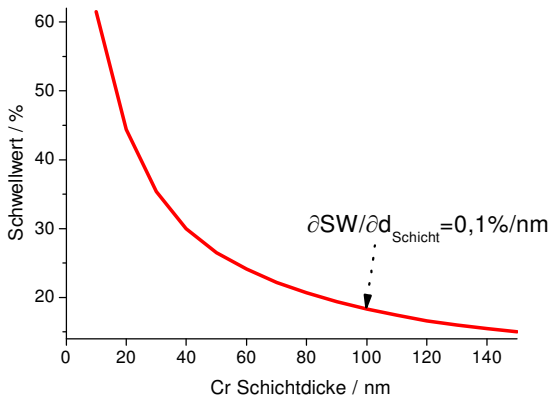


Abb. 3 Einfluss der Chromschichtdicke auf den Schwellwert, berechnet für homogene Chromschicht.

3 Einfluss instrumenteller Parameter

Neben den Strukturparametern beeinflussen natürlich auch instrumentelle Parameter das anzuwendende Schwellwertkriterium. Als Beispiele hierfür zeigen die Abb. 4 und 5 die Abhängigkeit des Schwellwertes von der NA des abbildenden Objektivs bzw. von der Beleuchtungswellenlänge.

Weitere Beispiele für berechnete Parameterabhängigkeiten sind in [1] und [2] zu finden.

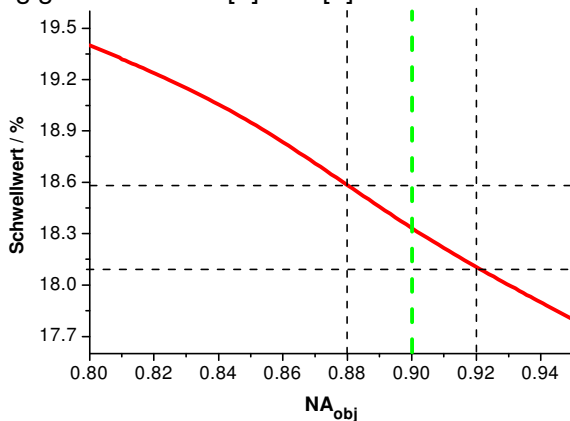


Abb. 4 Variation des Schwellwerts in Abhängigkeit von der numerischen Apertur des Mikroskop-Objektivs

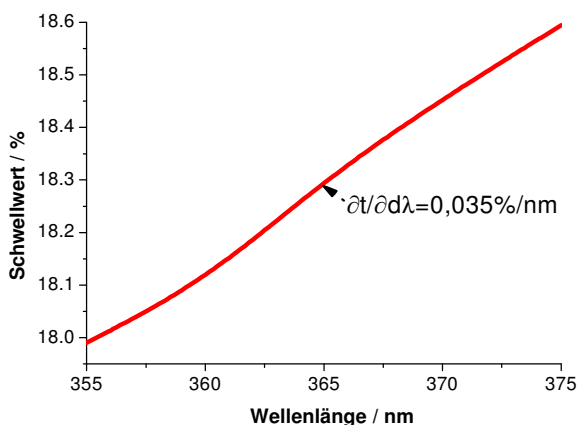


Abb. 5 Abhängigkeit des Schwellwertes von der Bestrahlungswellenlänge

4 Diskussion

Die durchgeführten systematischen Untersuchungen erlauben es, für die verschiedenen Einflussgrößen die Sensitivitätskoeffizienten zu bestimmen, welche zur Erstellung eines Unsicherheitsbudgets für die Strukturbreitenmessungen benötigt werden. Ein solches Unsicherheitsbudget zeigt Tab. 1. Man erkennt, dass neben den instrumentellen Parametern auch die Strukturparameter wie etwa Kantenwinkel und Absorptionsindex k signifikant beitragen. Zur weiteren Verringerung der Messunsicherheit ist es daher erforderlich, diese Strukturparameter ggf. durch ergänzende Messungen mit anderen Verfahren (z.B. AFM, Ellipsometrie) genauer zu charakterisieren und deren Kenntnis in der Modellierung zu berücksichtigen.

Beitrag zur Messunsicherheit		
Einflussgröße	St. Uns. / nm	in %
Wiederholbarkeit der Messung	10.0	19.1
Instrument-ind. Verschiebung	10.0	19.1
Kantenwinkel	8.8	14.8
Absorptionsindex (Chrom) k	8.0	12.2
Datenfilter	7.4	10.4
Schichtstruktur	6.4	7.8
Breite der Abtastspaltblende	5.6	6.0
Objektiv NA	4.4	3.7
Photometer Linearität	4.0	3.0
Substrat Dicke	2.5	1.2
Defokussierung	2.4	1.1
quadr. sum $U_{k=2}$:	23.0	

Tab. 1 Vorläufiges Unsicherheitsbudget für UV-Strukturbreitenmessungen ($\lambda = 365\text{nm}$) am Beispiel einer $1\mu\text{m}$ breiten Chromlinie auf Quarz-Substrat

5 Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde gezeigt, wie Strukturparameter und instrumentellen Parameter das anzuwendende Kantenkriterium zur optischen Strukturbreitenmessung beeinflussen und welche Messunsicherheiten sich hieraus ergeben. Auf Basis dieser Ergebnisse werden die in der PTB zur Strukturbreitenmessung eingesetzten Systeme verbessert. Weiter werden zukünftig verstärkt zusätzliche Messverfahren eingesetzt werden, die eine bessere a-priori Charakterisierung geometrischer und optischer Strukturparameter erlauben.

Literatur

- [1] H. Bosse, W. Mirandé, B. Bodermann, W. Häbeler-Grohne, C. G. Frase, S. Czerkas: "Metrological characterization of new CD photomask standards", 20th European Mask Conference on Mask Technology for Integrated Circuits and Micro-Components ; GMM-Fachbericht: 43, 167 - 174, (2004)
- [2] W. Mirandé, B. Bodermann, W. Häbeler-Grohne, C. G. Frase, S. Czerkas, H. Bosse: "Characterisation of new CD photomask standards", Proc. of SPIE 5375, (2004)