

# Einfluss von Polarisierung, Einfallswinkel und Materialkonstanten bei der Dunkelfeldmikroskopie mit alternierender Beleuchtung bei streifenden Einfall

Gerd Ehret, Bernd Bodermann, Werner Mirandé

Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Bundesallee 100, 38116 Braunschweig, Germany

<mailto:gerd.ehret@ptb.de>

Ein in der PTB entwickeltes neuartiges Dunkelfeldmikroskopieverfahren bietet die Möglichkeit, Strukturen bis unterhalb der optischen Wellenlänge mit deutlich reduzierter Unsicherheit zu messen. An Hand rigoroser numerischer Berechnungen der elektrischen Felder bzw. Intensitäten werden unterschiedliche Einflussfaktoren wie Polarisierung, Einfallswinkel und Materialkonstanten untersucht.

## 1 Einführung

In der dimensionellen Messtechnik von Mikro- und Nanostrukturen bietet das an der PTB entwickelte neuartige Dunkelfeldmikroskopieverfahren AGID (Alternating Grazing Incidence Dark field microscopy) die Möglichkeit, Strukturkanten noch aufzulösen, die im konventionellen Mikroskop nicht mehr zu unterscheiden sind [1]. In der Mikroskopie kann man die Auflösung durch Verwendung kleinerer Wellenlängen oder größerer numerischer Apertur verbessern. Jedoch sind auch hier technische Grenzen gesetzt. Gelangt man zu Strukturbreiten, die im Bereich von  $\lambda/2$  liegen, so überlagern sich bei der konventionellen Mikroskopie im Fernfeld das an der rechten und linken Kante gebeugte Licht. Dadurch lassen sich die Felder von der rechten bzw. linken Kante nicht mehr unterscheiden, um damit die Strukturbreite zu bestimmen. Dieser sogenannte Proximity-Effekt wird beim AGID-Verfahren effizient unterdrückt.

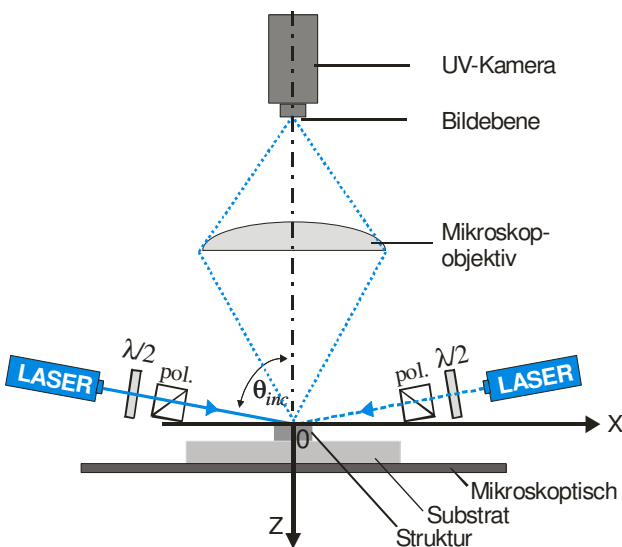


Abb. 1 Prinzipskizze des AGID-Verfahrens

Hier wird im streifenden Einfall nacheinander die rechte bzw. linke Kante beleuchtet. Dadurch er-

reicht man eine hohe Unterdrückung des Signals der zur Beleuchtung zugewandten Kante und der gegenüberliegenden Kante. In Abb. 1 ist eine Prinzipskizze des AGID-Verfahrens dargestellt.

Bei der Messung von Strukturen auf Masken oder Wafern ist die CD-Linearität ein wichtiges Kriterium für die Wahl der Messmethode. „CD“ steht für „Critical Dimension“ und wird als Synonym für Strukturbreite verwendet.

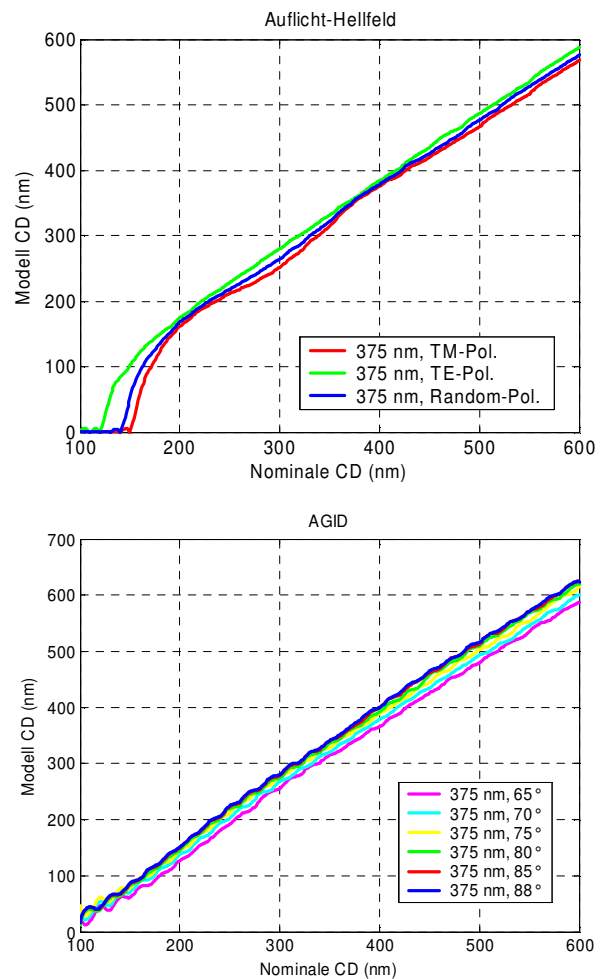


Abb. 2 Vergleich der CD-Linearitäten von konventionell. Auflicht-Hellfeld ( $NA=0.9$ ) und AGID ( $NA=0.9$ , TE-Pol.)

In Abb. 2 sind entsprechende rigorose Simulationen sowohl für die konventionelle Hellfeldmikroskopie als auch für das AGID-Verfahren dargestellt. Die Simulationen wurden mit dem Programmpaket „MicroSim“ durchgeführt, das am Institut für technische Optik in Stuttgart entwickelt wurde. Die Berechnung der Beugungsordnungen bei „MicroSim“ basiert auf der RCWA-Methode [2]. Zur Bestimmung der Strukturbreite beim Hellfeld wurde ein konstanter Schwellwert von 50% verwendet. Man erkennt in Abb. 2, dass man mit dem AGID-Verfahren eine deutlich bessere CD-Linearität erreichen kann.

## 2 Simulationen zu AGID

Es wurden rigorose Simulationen durchgeführt, um den Einfluss der Polarisation, des Einfallswinkels und der Materialkonstanten auf das AGID-Verfahren systematisch zu untersuchen.

Für die *Polarisation* zeigen die Simulationsrechnungen, dass man mit TE-Polarisation, d.h. E-Feld parallel zur Kante die Struktur besser erfassen kann. Dies liegt an den Randbedingungen für das elektrische bzw. magnetische Feld. Für das elektrische Feld gilt, dass die Tangentialkomponente stetig übergeht, während die Normalkomponente  $\epsilon_1 E_{norm}^1 = \epsilon_2 E_{norm}^2$  sich sprunghaft ändert.

Der Einfluss des *Einfallswinkels* wurde an einer COG-Struktur (Chromschicht auf Quarzsubstrat) mit einer Strukturbreite von  $1 \mu\text{m}$  und einer Gitterkonstante von  $a=10 \mu\text{m}$  untersucht. Als Wellenlänge wurde  $\lambda = 375 \text{nm}$  und als numerische Apertur des Objektivs  $\text{NA}=0.9$  gewählt.

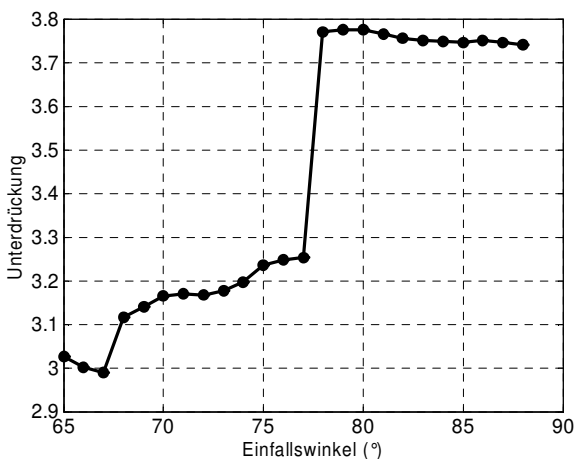


Abb. 3 Unterdrückung der gegenüberliegenden Kante

Je nach Einfallswinkel fallen unterschiedliche Beugungsordnungen  $m$  in das Objektiv ein. Diese können mit der Gittergleichung bestimmt werden:

$$\sin(\theta_m) = \frac{m \cdot \lambda}{a} + \sin(\theta_{inc}) \quad ; \quad m = 0, \pm 1, \dots$$

Die Unterdrückung der jeweils gegenüberliegenden Kante bei Einfallswinkeln  $\theta_{inc}$  zwischen  $65^\circ$  und  $88^\circ$  ist in Abb. 3 dargestellt.

Die *Materialkonstanten* beeinflussen beim AGID-Verfahren die Fokusposition. Dies zeigen die Simulationen in Abb. 4. Man erkennt zusätzlich, dass mit größer werdenden  $k$  das einfallende Licht stärker gedämpft wird und dadurch die Fokusposition in Richtung  $z=0$  wandert. Die Position  $z=0$  ist entsprechend Abb. 1 an der Strukturoberseite definiert.

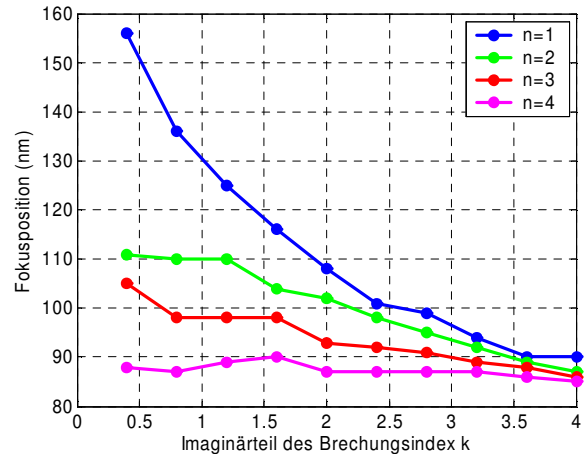


Abb. 4 Materialabhängigkeit der Fokusposition

## 3 Zusammenfassung / Ausblick

Das AGID-Verfahren ist ein geeignetes Verfahren, um Strukturenbreiten unterhalb der klassischen Auflösungsgrenze zu messen. Aus den Simulationen wird ersichtlich, dass sich damit eine bessere CD-Linearität erreichen lassen kann. Die gemessene Strukturbreite hängt beim AGID-Verfahren im Wesentlichen von der Polarisation und den Materialkonstanten ab. Der Einfluss des Einfallswinkels ist gering.

Basierend auf diesen Simulationen sollen nun Messungen mit dem AGID-Verfahren bei  $375 \text{nm}$  an verschiedenen Strukturen durchgeführt und mit anderen Messverfahren (Hellfeld, Elektronenmikroskopie, AFM) verglichen.

## Literatur

- [1] B. Bodermann, W. Michaelis, A. Diener, W. Mirandé: „Alternating grazing incidence dark field microscopy for dimensional measurements“, Proc. of SPIE **4277**:352-361 (2002)
- [2] M. Totzeck: „Numerical Simulation of high-NA quantitative polarization microscopy and corresponding near-fields, Optik **112**(9):399-406 (2001)

Für die finanzielle Förderung des Projekts „Neuartige Dunkelfeldmikroskopieverfahren“ danken wir dem Bundesministerium für Arbeit und Wirtschaft.