

# Das neue DUV-Scatterometer der PTB

Matthias Wurm, Bernd Bodermann, Frank Pilarski  
 Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig  
<mailto:Matthias.Wurm@PTB.de>

In der PTB wurde ein neues DUV-Scatterometer entwickelt und aufgebaut. Die Anlage ermöglicht eine Vielzahl verschiedener Messmodi, wie Scatterometrie, ellipsometrische Scatterometrie, polarisationsabhängige Reflektometrie und zusätzlich – unter Verwendung einer breitbandigen Strahlungsquelle – spektrale Ellipsometrie und spektrale Reflektometrie

## 1 Einführung

Viele nichtabbildende optische Messverfahren zur quantitativen Charakterisierung von (periodisch) strukturierten Oberflächen oder auch Schichtsystemen lassen sich unter dem Oberbegriff Scatterometrie zusammenfassen. Eine Untergliederung hinsichtlich der untersuchten Eigenschaft des Lichtes sowie der Messvariablen bietet sich an. Tab. 1 zeigt eine Klassifizierung hinsichtlich der Lichteigenschaften Intensität, Polarisationszustand und Ausbreitungsrichtung sowie den Messvariablen Einfallswinkel und Wellenlänge.

Untersuchte Eigenschaft	Messverfahren	Goniometrische Messgrößen ( $\Theta$ -abhängig)	Spektroskopische Messgrößen ( $\lambda$ -abhängig)
Intensität	Klassische Scatterometrie	$\eta_{\Theta}(\Theta')$	
	Reflektometrie	$R(\Theta/2\Theta)$	$R_{\Theta/2\Theta}(\lambda)$
	Pol. abh. Scatterom.	$R_{P,A}(\Theta/2\Theta)$ , $\eta_{P,A}(\Theta')$	$R_{P,A,\Theta/2\Theta}(\lambda)$ , $R_{P,A,\Theta=0}(\lambda)$
	Phasenmod. Scatterom.	$I_0(\Theta)$ , $I_{\sin}(\Theta)$ , $I_{\cos}(\Theta)$	
Polarisationszustand	Klassische Ellipsometrie	$\Delta(\Theta/2\Theta)$ , $\Psi(\Theta/2\Theta)$	$\Delta_{\Theta/2\Theta}(\lambda)$ , $\Psi_{\Theta/2\Theta}(\lambda)$
	Ellips. Scatterometrie.	$\Delta_{\Theta}(\Theta')$ , $\Psi_{\Theta}(\Theta')$	
Ausbreitungsrichtung	Diffraktometrie	$\Theta'$ (Ordnung)	

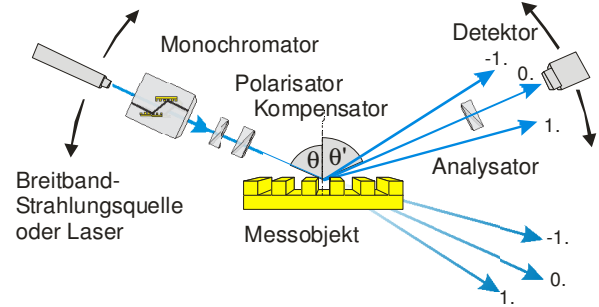
**Tab. 1** Überblick über scatterometrische Messverfahren. ( $\Theta$ -Einfallswinkel,  $\Theta'$ -Beugungswinkel,  $\eta$ -Beugungseffizienz,  $R$ -Reflektionskoeffizient,  $I$ -Intensität,  $\Delta$ ,  $\Psi$ -ellipsometrisch Winkel,  $\lambda$ -Wellenlänge)

Die Verfahren unterscheiden sich oftmals lediglich dadurch, dass Messvariable und –parameter getauscht wurden. Stattet man also die wesentlichen Stellemente mit Messsystemen aus, so erhält man ein sehr vielseitiges Gerät. Dies war einer der Grundgedanken bei der Konzeption des neuen DUV-Scatterometers der PTB, das zur quantitativen Strukturprofilbestimmung auf Photolithographiemasken eingesetzt werden soll.

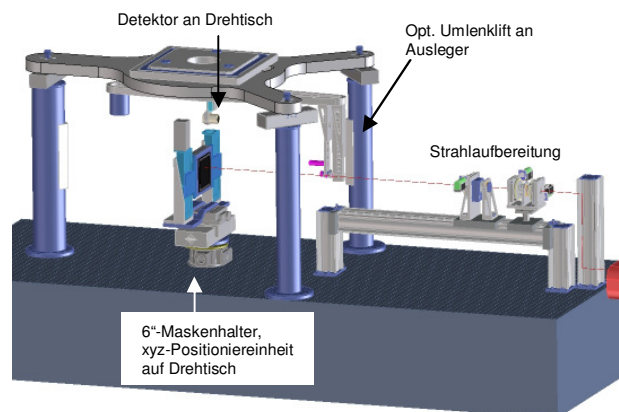
## 2 Das DUV-Scatterometer

Abb. 1 zeigt schematisch die Komponenten des Scatterometers; Abb. 2 den technischen Entwurf und Abb. 5 ein Foto des System.

Als Strahlungsquelle wird ein TiSa-Laser eingesetzt, dessen Fundamentalwellenlänge zwischen 772 und 840 nm durchgestimmt werden kann. Das System erlaubt den Zugriff auf die 2., 3. und 4. Harmonische, so dass im DUV ein Wellenlängenbereich von 193 bis 210 nm zur Verfügung steht.



**Abb. 1** Die wesentlichen Komponenten des neuen DUV-Scatterometers.



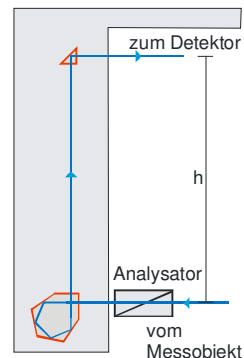
**Abb. 2** Entwurf des neuen DUV-Scatterometers. Bei der Konstruktion des Überbaus (Dreibein mit Detektorhalterung) wurde darauf Wert gelegt, dass die Drehachse des Detektors sehr genau gegen die des Maskenhalters ausgerichtet werden kann und zudem thermische Effekte sich nur minimal auf die Justage auswirken können.

Damit sind also auch at-wavelength-Messungen an aktuellen Photomasken möglich.

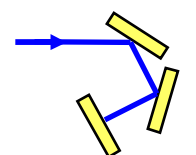
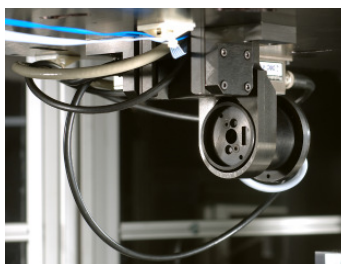
Die Strahlformungs- und Polarisationsoptik wurde so ausgewählt, dass sie über den gesamten Spektralbereich nicht ausgetauscht werden muss (lediglich für den Bereich  $\lambda < 250$  nm muss der Analysator gewechselt werden). Dies gelingt vornehmlich durch den Einsatz von variablen und motorisiert ansteuerbaren Berek-Retardierern statt der sonst üblichen  $\lambda/2$ - und  $\lambda/4$ -Platten (Kompensatoren). Die Polarisationsoptik erlaubt das Einstellen beliebiger elliptischer Polarisationszustände (also auch linear und zirkular). Zur Strahlformung wird ein Teleskop mit Raumfilter eingesetzt, das auch ein dezentes Fokussieren auf das Messobjekt ermöglicht.

Über die Drehung des Maskenhalters können Einfallswinkel zwischen  $\pm 90^\circ$  eingestellt werden. Der Detektor kann die gesamte Beugungsebene absannen ( $\pm 180^\circ$ ). Dazu wird zunächst ein optischer Lift eingesetzt (siehe Abb. 3). Diese Konstruktion bietet drei Vorteile: 1. Streulicht am Ort des Detektors wird reduziert. 2. Der optische Weg (Probe-Detektor) wird verlängert, wodurch bei diffraktometrischen Messungen eine höhere Winkelauflösung erzielt werden kann, und 3. die eingesetzte Prismenkombination hält bei vertikaler Vibration des Auslegers den Abstand zwischen einfallendem und ausgehendem Strahl konstant, so dass der Detektor, der im Knotenpunkt der Vibration steht, stets an der selben Stelle getroffen wird.

Der Detektor selbst besteht aus drei fensterlosen Si-Photodioden, deren Anordnung eine weitestgehend polarisationsunabhängige Intensitätsmessung erlaubt (siehe Abb. 4). Zusätzlich wurde ein PSD (position sensitive device) mit in das Detektorgehäuse integriert. Über dessen Nullsignal kann der gesamte Detektor, der sich an einer motorisierten Vertikalachse befindetet, in seiner Höhe automatisiert nachgeregelt werden. Dies dient zur Kompensation von z.B. Taumelfehlern.



**Abb. 3** Der optische Umlenkklift: Vom Messobjekt kommend passiert das Licht zunächst den Analysator. Über eine Kombination aus Hexagon- und  $90^\circ$ -Prisma wird das Licht zum Detektor geführt.



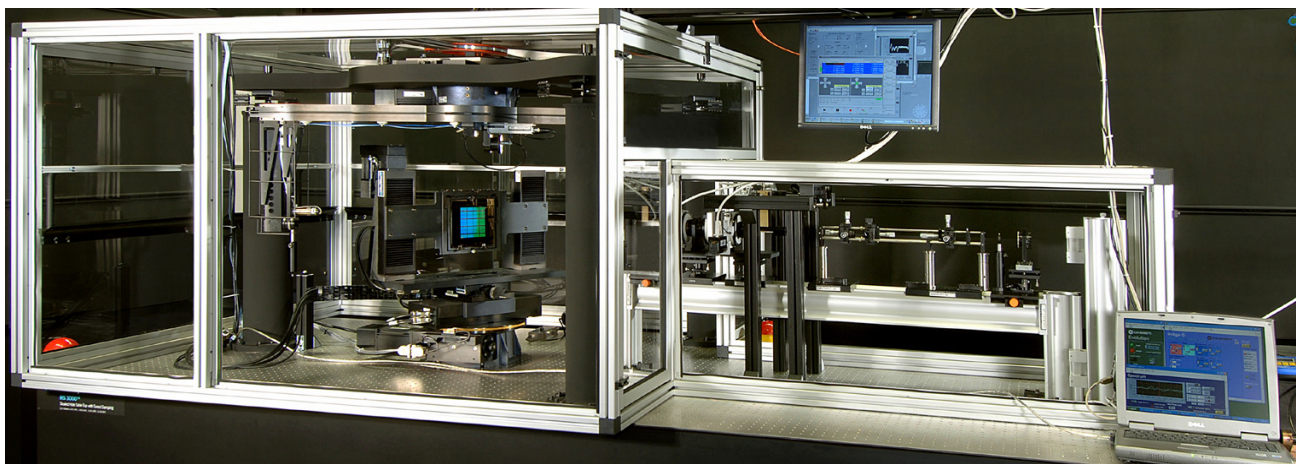
Si-Photodioden

**Abb. 4** Der Detektor besteht aus drei Si-Photodioden, die entsprechend der Zeichnung angeordnet sind (so genannter Trap-Detektor). Neben der zentrischen Öffnung des Gehäuses erkennt man die vertikale Aussparung für den PSD.

### 3 Fazit

In der PTB wurde ein Scatterometer entwickelt und aufgebaut, das vornehmlich im DUV eingesetzt werden soll. Es bietet eine Vielzahl von Messmöglichkeiten. Bis auf die phasenmodulierte Scatterometrie sind alle goniometrischen Methoden aus Tab. 1 möglich. Auch die spektroskopischen Methoden sind allesamt mit der entsprechenden Strahlungsquelle realisierbar.

Das System wird zurzeit evaluiert. Erste Messungen wurden bereits durchgeführt.



**Abb. 5** Das neue DUV-Scatterometer ist einsatzbereit. Um sowohl Turbulenzen als auch Absorptionen des Luftsaureffluents zu verhindern, wurde die Anlage in eine Einhausung gesetzt, die mit Stickstoff gespült werden kann.