

DRIEL LASER • OPTIK
TECHNOLOGIE

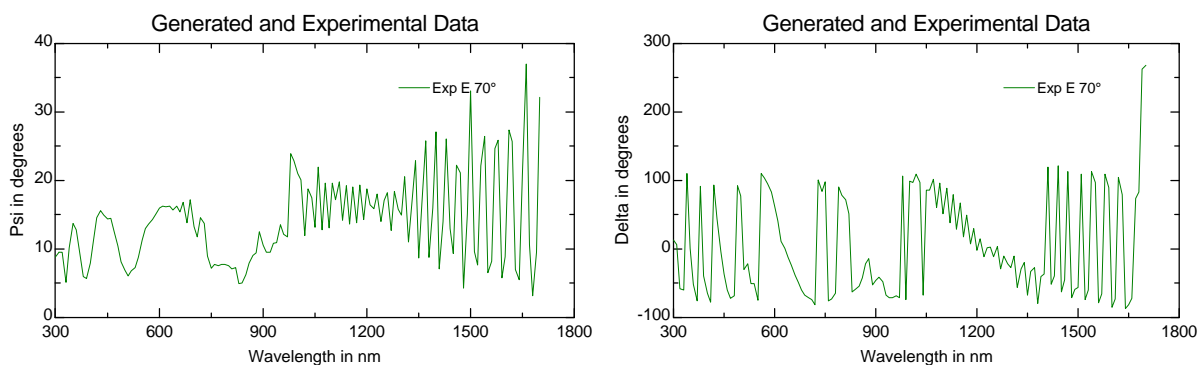
L.O.T.-Oriol GmbH
Im Tiefen See 58
D 64293 Darmstadt.

VASE® Messungen an dünnen, beschichteten Mylarfolien

LOT-Oriol GmbH,
J.A. Woollam Co., Inc.
Kontaktperson: Thomas Wagner

Aufgabenstellung:

Dünne, beschichtete Mylarfolien (Foliendicke ca. 25 μm) wurden für ellipsometrische Messungen zur Verfügung gestellt. Flexible Folien sind normalerweise sehr schwierig ohne starke Krümmung der Oberfläche zu montieren. Rückseitenreflexionen führen bei solch dünnen Proben zu sehr starken Interferenzstrukturen im Spektrum, die nicht modelliert werden können. Zusätzlich zeigen die Folien anisotrope Effekte. Alle diese Punkte erfordern eine spezielle Probenpräparation. Nachfolgend ist eine Messung an einer Mylarfolie, die einfach ausgeschnitten und montiert wurde, dargestellt.



Das Spektrum zeigt sehr starke Interferenzstrukturen auf Grund der Rückseitenreflektion, so daß eine gezielte Auswertung nicht möglich ist.

Probenpräparation:

Anrauen der Probenrückseite mit feinem Sandpapier und Schwärzen mit einem Markerstift unterdrückte die Rückseitenreflexion. Die Probe wurde auf einen Glasträger aufgespannt, wodurch eine glatte Probenoberfläche innerhalb des Meßflecks erreicht wurde.

Mit dieser Probenpräparation konnten die Proben gemessen und die Daten ausgewertet werden. Abweichungen der Fitkurven von den gemessenen Kurven resultieren sicherlich zum größten Teil aus Restdepolarisation, die durch sorgfältigere Probenpräparation noch weiter reduziert werden kann.

Diese Messungen zeigen jedoch deutlich, daß ellipsometrische Messungen an solch schwierigen Proben möglich sind.

Allgemein:

Die ellipsometrischen Messungen wurden mit dem spektroskopischen Ellipsometer **VASE** der Firma J.A. Woollam Co., Inc. bei mehreren Einfallswinkeln durchgeführt. Bei allen Messungen wurde der AutoRetarder verwendet. Gemessen wurde über einen Spektralbereich von 300 bis 1200 nm. Bei der Auswertung der Meßdaten wurde an alle Einfallswinkelspektren simultan gefittet. Bei einigen Proben, deren Schicht Absorption aufweist, wurden auch separate Transmissionsmessungen durchgeführt und diese Spektren mit den ellipsometrischen Daten gemeinsam angefitet.

Zielsetzung war, neben der Schichtdicke die Brechungsindex-Materialdispersion der einzelnen Schichten zu ermitteln.

Zur Bestimmung der Brechzahl n der transparenten Schichten sowie der unbeschichteten Folie (Substrat) wurde das Cauchy-Dispersionsmodell

$$n(\lambda) = A + B / \lambda^2 + C / \lambda^4 \quad \lambda \text{ in } \mu\text{m}$$

verwendet und nach der Schichtdicke sowie den Cauchy-Parametern gefittet.

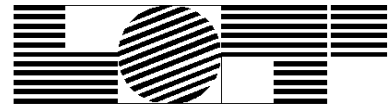
Bei den Al_2O_3 -Schichten wurde zusätzlich eine exponentiell abfallende Absorption mitberücksichtigt:

$$k(\lambda) = A_k * \exp(B_k * (12400/\lambda - 12400/\text{BandEdge})) \quad \lambda \text{ in } \text{\AA}, \text{BandEdge} = 4000 \text{ fest}$$

Die optischen Konstanten der TiN-Schicht wurde mit Hilfe des Lorentz-Oszillator-Modells bestimmt:

$$\tilde{\epsilon} = \epsilon_1(\infty) + \sum_{i=1}^N \frac{A_i}{E_i^2 - E^2 - i\Gamma_i E}$$

$\tilde{\epsilon}$ ist die komplexe dielektrische Funktion als Funktion der Energie; $\epsilon_1(\infty)$ ist der Wert des Realteils der dielektrischen Funktion bei sehr hohen Energien, N ist die Gesamtzahl der Oszillatoren. Jeder Oszillator wird durch drei Parameter beschrieben: A_i ist die Amplitude des i -ten Oszillators mit Einheit $(\text{eV})^2$, Γ_i (bzw. im Programm B_i) ist die Dämpfung (broadening) der i -ten Oszillators mit Einheit (eV) und E_i ist die Zentralenergie (Lage) des i -ten Oszillators mit Einheit (eV).



Mylarfolie - Referenzprobe:

Um die Anisotropie der Folien zu ermitteln, wurden die unbeschichtete Mylarfolie unter verschiedenen Probenorientierungen (0°, 45° und 90° bzgl. der Einfallsebene) gemessen und alle Messungen gemeinsam mit einem uniaxialen anisotropen Modell ausgewertet.

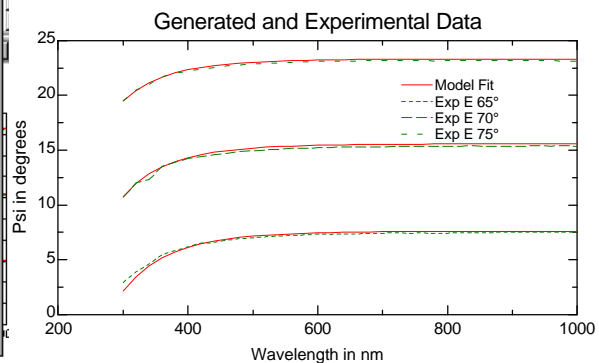
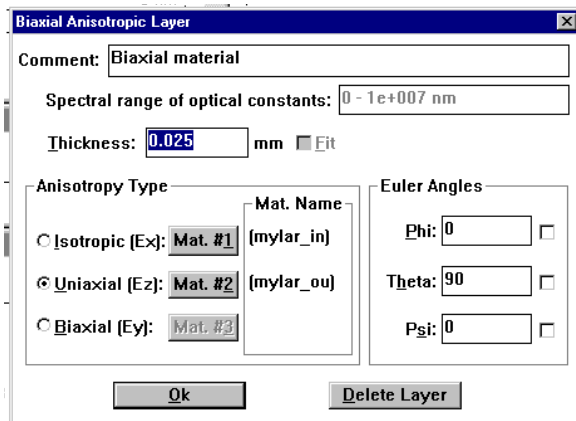
Probe parallel zur Einfallsebene ausgerichtet:

'Mylar_in' bezeichnet die optisch dichtere Achse in der Einfallsebene, 'Mylar_ou' die optisch dünnere Achse senkrecht zur Einfallsebene.

0	biaxial	0.025 mm
-1	mylar_ou	0 nm
-2	mylar_in	0 nm

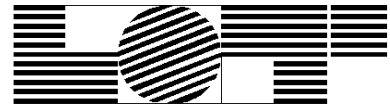
MSE=0.5577

An.-2	1.7534±0.00945
Bn.-2	-0.006703±0.00497
Cn.-2	0.0028278±0.000469
An.-1	1.7015±0.00889
Bn.-1	-0.0041968±0.00466
Cn.-1	0.0013952±0.00044



Probe um ca. 90° gegenüber der Einfallsebene gedreht:

bei dieser Messung wurde die Probe nicht exakt um 90° gedreht, etwas weniger, so daß wir für den in-plane-Winkel 10° festgehalten haben.



Biaxial Anisotropic Layer

Comment: Biaxial material

Spectral range of optical constants: 0 - 1e+007 nm

Thickness: 1 mm Fit

Anisotropy Type

Isotropic (Ex): Mat. #1 (mylar_ou)

Uniaxial (Ez): Mat. #2 (mylar_in)

Biaxial (Ey): Mat. #3

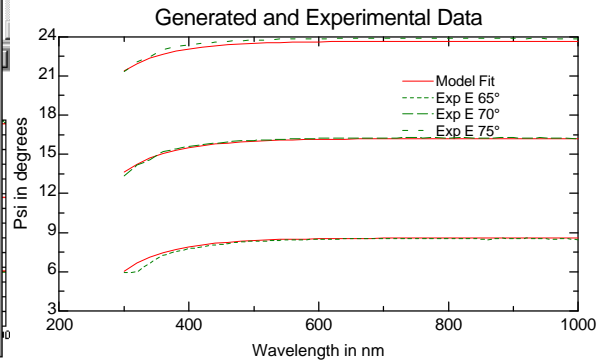
Mat. Name

Euler Angles

Phi: 10

Theta: 90

Psi: 0



Probe um 45° gegenüber der Einfallsebene gedreht:

Bei dieser Messung wurde die Methode der 'Generalisierten Ellipsometrie' angewandt. Dabei wird für jeden Meßpunkt bei unterschiedlicher Polarisatorstellungen gemessen. Da bei dieser Probenausrichtung die s- und p-Komponente des E-Feldvektors des einstrahlenden Lichts gemischt werden, ist das gemessene Ergebnis nicht mehr unabhängig vom Polarisatorazimuth. Bei isotropen Proben sind die Nebenelemente der Jones-Matrix Null, in diesem Fall jedoch ungleich Null. Neben den Diagonalelementen Ψ_{ss} , wurden die Nebenelemente Ψ_{sp} , Ψ_{ps} bestimmt. Diese beinhalten die Information bzgl. des Brechzahlunterschieds der einzelnen Achsen, während die Diagonalelemente die Information der absoluten Brechzahl enthalten und den isotropen ellipsometrischen Größen entsprechen. Gemessen wurde bei einem Einfallswinkel von 20° und 70°.

Prinzipiell ist diese Messung ausreichend zur Bestimmung der optischen Konstanten beide Achsen.

Biaxial Anisotropic Layer

Comment: Biaxial material

Spectral range of optical constants: 0 - 1e+007 nm

Thickness: 1 mm Fit

Anisotropy Type

Isotropic (Ex): Mat. #1 (mylar_in)

Uniaxial (Ez): Mat. #2 (mylar_ou)

Biaxial (Ey): Mat. #3

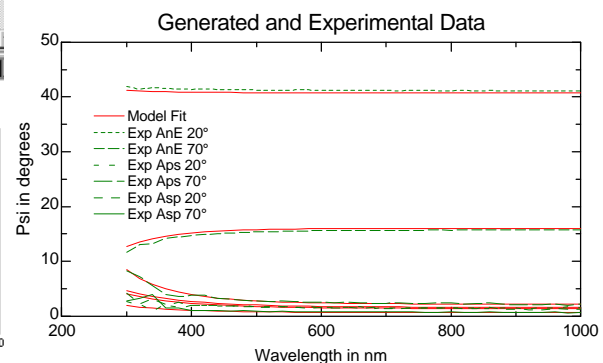
Mat. Name

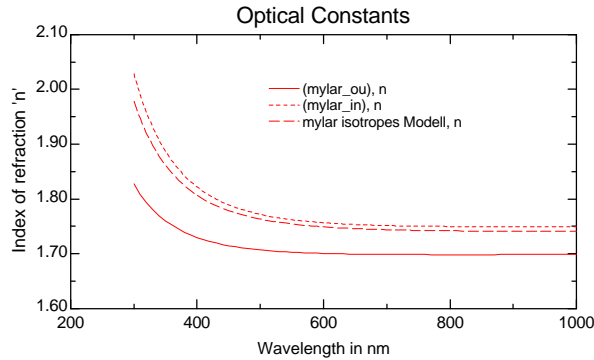
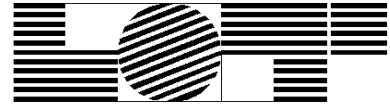
Euler Angles

Phi: 45

Theta: 90

Psi: 0





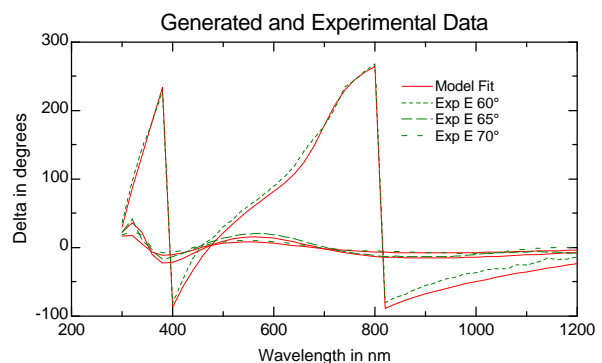
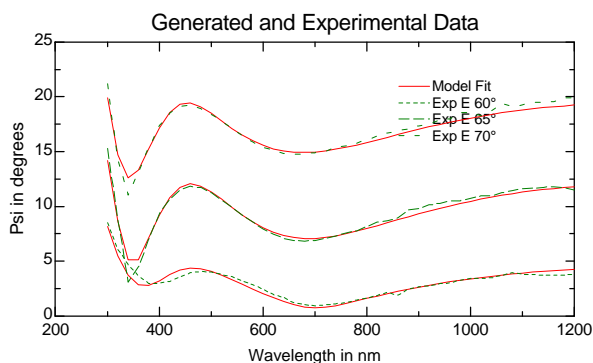
Die optischen Konstanten 'mylar_in' entsprechen etwa den optischen Konstanten wie sie zuvor mit dem isotropes Modell gerechnet wurde.

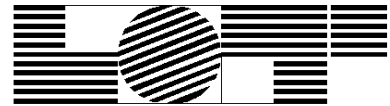
Al₂O₃ auf Mylar:

Bei der folgenden Probe handelte es sich um eine mit ca. 250 nm Al₂O₃ beschichtete Mylarfolie. Der beste Fit ergab sich mit einer Gradientenschicht mit zunehmender optischer Dichte zur Filmoberseite hin.

2	graded (al2o3_6)/void	249.26 nm
1	al2o3_6	0 nm
0	mylar	0.025 mm

MSE=1.036
 An.1 1.6521±0.00696
 Bn.1 0.0040493±0.00443
 Cn.1 7.9157e-005±0.000543
 Thick.2 249.26±2.67
 NodeVal0.2 3.315±1.91

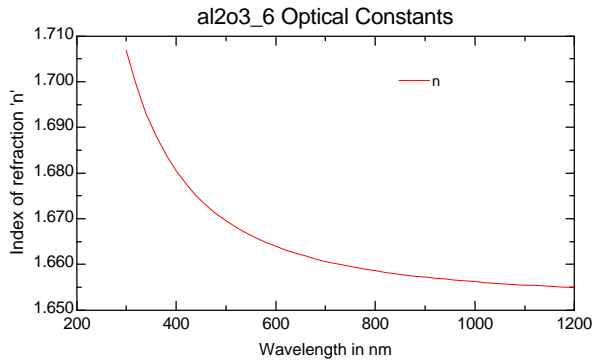




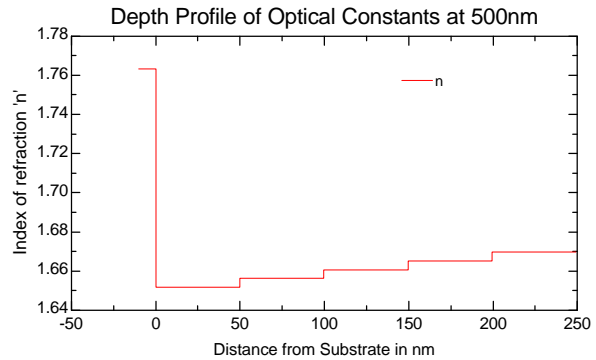
DRIEL LASER • OPTIK
TECHNOLOGIE

L.O.T.-Oriell GmbH
Im Tiefen See 58
D 64293 Darmstadt.

N für Al₂O₃ an der Filmoberseite:



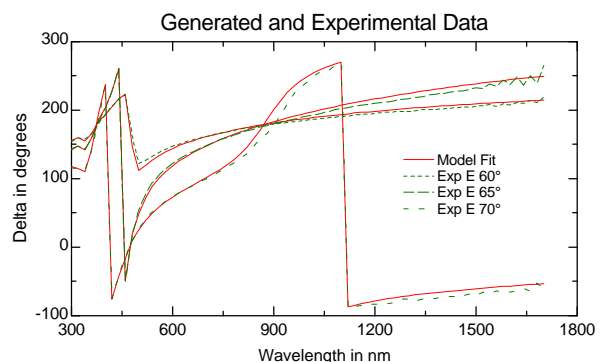
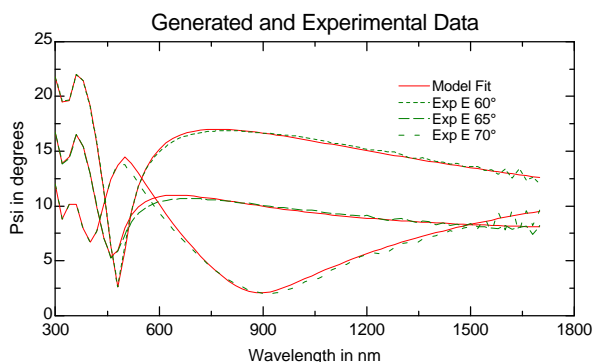
Tiefenprofil der Brechzahl N:

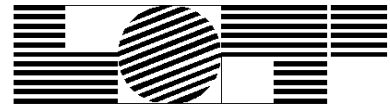


TiO₂ auf Mylar:

Diese Mylarfolie war nominell mit 100 nm TiO₂ beschichtet. TiO₂ weist ein Absorptionsverhalten im UV auf, das von einem einfach exponentiellen Verlauf abweicht. Um neben der Brechzahl auch exakte Extinktionskoeffizienten zu bestimmen, wurde zunächst ein parametrisiertes Modell für die optischen Konstanten des TiO₂ verwendet und die Dispersionsparametern und die Schichtdicke bestimmt. Anschließend wurde im Absorptionsbereich gezielt nach n und k als Funktion der Wellenlänge gefittet. Bei diese Probe mußte im Modell eine Oberflächenrauhigkeit berücksichtigt werden. Neben den ellipsometrischen Daten wurden auch Transmissionsdaten in der Auswertung verwendet.

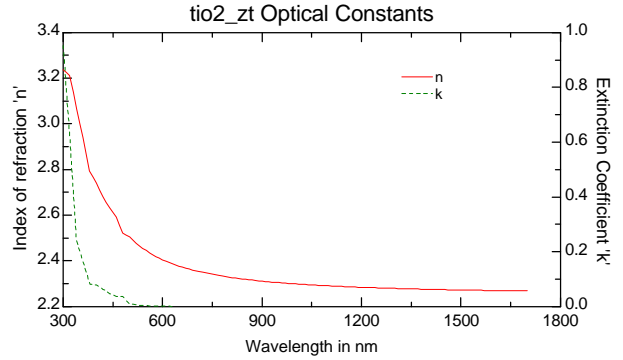
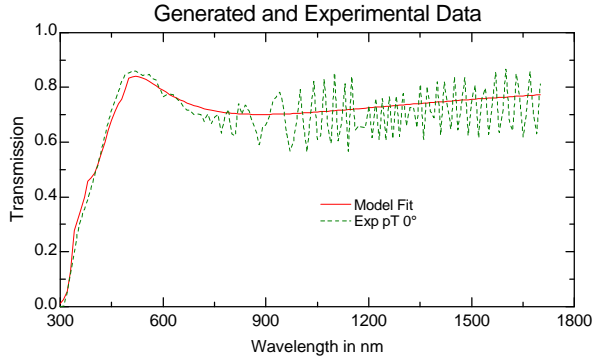
2 srough	2.2276 nm
1 tio2_zt	99.93 nm
0 mylar	0.025 mm





DRIEL LASER • OPTIK
TECHNOLOGIE

L.O.T.-Oriell GmbH
Im Tiefen See 58
D 64293 Darmstadt.

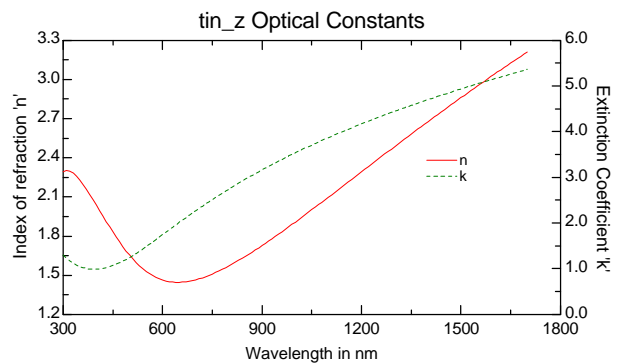
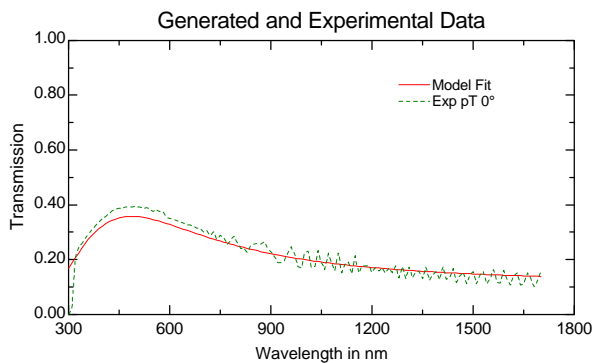
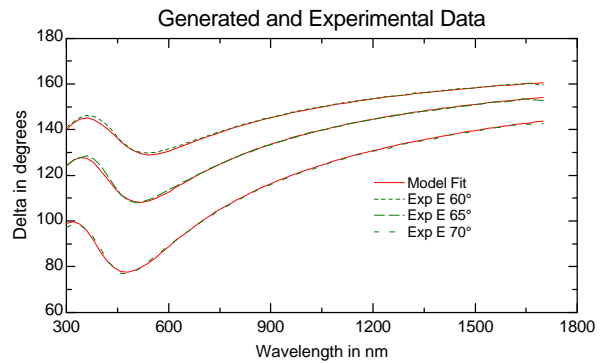
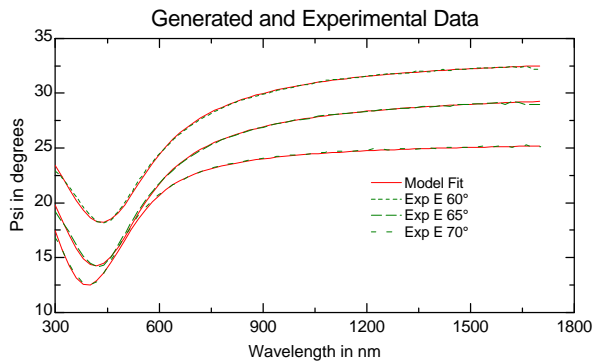


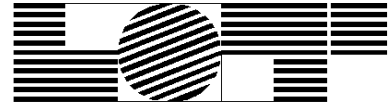
TiN auf Mylar:

Auch bei dieser Probe mit nominell 30 nm TiN wurden Transmissionsdaten in der Analyse mit angefittet. Zur Beschreibung der optischen Konstanten dieser metallischen Schicht haben wir ein Lorentz-Oszillatormodell mit drei Oszillatoren verwendet.

1	tin_z	28.193 nm
0	mylar	0.025 mm

MSE=2.95
Thick.1 28.193±0.678





DRIEL LASER • OPTIK
TECHNOLOGIE

**L.O.T.-Oriol GmbH
Im Tiefen See 58
D 64293 Darmstadt.**

Zusammenfassung:

Es konnte gezeigt werden, daß die Bestimmung der Schichtdicken und optischen Konstanten von Filmen auf dünnen Mylar-Folien mit dem Spektralellipsometer VASE von Woollam Co. möglich sind. Ein System mit Spektralbereich 250 bis 1100 nm dürfte ausreichend sein. Da Deltawerte sehr häufig im Bereich von 0° liegen, ist jedoch ein AutoRetarder zwingend notwendig. Dadurch erhöht man die Meßgenauigkeit in Delta bei 0 bzw. 180° sehr stark. Zusätzlich erlaubt er die Messung von Delta von 0° bis 360° und nicht nur bis 180° .

Ein wichtiger Punkt bei der Untersuchung dieser Proben ist die Probenpräparation. Das Unterdrücken der Rückseitenreflexion ist zwingend erforderlich. Die von uns durchgeführte Methode erweist sich als praktikabel, kann aber mit entsprechender Sorgfalt noch optimiert werden.