

Spektroskopische Ellipsometrie zur spektralen Bestimmung optischer und dielektrischer Materialkenngrößen sowie von Schichtdicken

Schlagwörter

Spektroskopische Ellipsometrie, Reflexions- und Polarisationsgrad, Brechungsindex n , Extinktionskoeffizient k , Schichtdicke h , Real- und Imaginärteil der dielektrischen Funktion (ε_1 , ε_2), Energieverlust-Funktion

Prüfgrößen und -objekte

Ellipsometrische Größen ψ und Δ (Amplituden- und Phaseninformation) von unbeschichteten und beschichteten ($1 \text{ nm} < h < 10 \text{ }\mu\text{m}$) Prüfobjekten als Funktion der Prüfwellenlänge λ ($100 \text{ nm} < \lambda < 25 \text{ }\mu\text{m}$).

Mit Hilfe eines Modells werden in einem parametrisierten Fit optische (n und k) oder dielektrische (ε_1 und ε_2) Materialkenngrößen sowie Schichtdicken wenigstens semi-transparenter Schichtsysteme bestimmt.

Prüfbereich	Ergebnisunsicherheit	
Optische Konstanten (n , k) typischerweise $n > 1,3$ bzw. für $k > 0,05$	von 0,01	bis 0,05
Dielektrische Konstanten (ε_1 , ε_2) für $ \varepsilon_1 > 0,01$ und typischerweise $\varepsilon_2 > 0,1$	von 0,02	bis 0,05
Schichtdicke h für $1 \text{ nm} < h < 10 \text{ }\mu\text{m}$	von 0,5 nm	bis 1,0 % rel.

Einsatzgebiete

Entwicklung und Zertifizierung von Referenzmaterialien und -schichten; Referenzverfahren zur Bestimmung optischer Materialkenngrößen und ihrer Dispersion sowie von Schichtdicken im nm-Bereich. Homogenitäts-, Stabilitäts- und Identifikationsprüfung.

Prüfmethodik und Gerätetechnik

Prüfmethodik:
Reflexionsexperiment mit polarisiertem Licht.

Eingesetzte Geräte:

1. Spektrellipsometer VASE der Fa. J.A. Woollam Inc (mit Autoretarder, automatisch veränderbarer Einfallswinkel),
2. Spektral-RCE-Ellipsometer M2000 der Fa. J. A. Woollam Co. Inc.,
3. VUV-Ellipsometer an den Synchrotron-Lichtquellen BESSYII und MLS (Kooperation mit der TU Berlin und der PTB, Synchrotronstrahlung, veränderbarer Einfallswinkel),
4. FTIR-Ellipsometer der Fa. Sentech GmbH,
5. Imaging-Spektral-Ellipsometer der Fa. Accurion GmbH.

Qualifikation und Qualitätssicherung

Rückführbarkeit der Kalibrierung; Verwendung von zertifizierten Referenzmaterialien; Teilnahme an Ringversuchen

Ansprechpartner:

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

Dr. Uwe Beck, Telefon +49 30 8104 1821, Fax +49 30 8104 71821, uwe.beck@bam.de

Dr. Andreas Hertwig, Telefon +49 30 8104 3515, Fax +49 30 8104 73515, andreas.hertwig@bam.de

[Fachbereich 6.7: Oberflächenmodifizierung und -messtechnik](#)

[Referenzverfahren auf www.rrr.bam.de](http://www.rrr.bam.de)

Ergänzende Angaben

Prinzip der spektralellipsometrischen Prüfung

Es handelt es sich um ein spektrales Reflexionsexperiment mit polarisiertem Licht, bei dem die Änderung des Polarisationszustandes gemessen wird. Die voneinander unabhängige Betrachtung von Parallel- und Senkrecht-Polarisation liefert die Amplituden- und Phaseninformation (ψ und Δ). Die auf Basis eines parametrisierten Modells simulierten Daten werden in einem Fit-Algorithmus unter Verwendung von experimentell bestimmten oder in Materialdatenbanken verfügbaren Materialdaten mit den experimentellen Daten in bestmögliche Übereinstimmung gebracht. Die Fit-Prozedur liefert dann jeweils einen Satz (für das Substrat oder eine Schicht) der relevanten physikalischen Materialkenngrößen n und k oder ε_1 und ε_2 einschließlich deren Dispersion. Zusätzlich kann die (spektral unabhängige) Schichtdicke h einer Schicht bestimmt werden. Mit Mehrwinkelmessungen kann das Modell auf seine Richtigkeit überprüft werden (Validierung) oder aber auf weitere Parameter gefittet werden. Bei Verzicht auf eine modellmäßige Beschreibung stellen die ellipsometrischen Rohdaten (ψ und Δ) ein Fingerprint-Spektrum dar, das die elektronische Struktur (Mikrostruktur, Stöchiometrie, Dichte) einschließlich der Schichtdicke eines gegebenen Schicht-/Substrat-Systems eindeutig beschreibt. Letzteres ist für Identifikations-, Homogenitäts- und Stabilitätsprüfungen von Bedeutung.

Anforderungen an die Prüfobjekte

Ebene Oberfläche hinreichend kleiner Rauheit (typischerweise $< \lambda/10$) aus einem Material oder einer Materialmischung von zwei Effektiv-Medien-Materialien (einschließlich Voids) bestehend. Die Prüf- und Auflageflächen sollten hinreichend eben und parallel sein. Bei der Untersuchung von Schicht-/Substrat-Systemen ist die Verfügbarkeit von unbeschichtetem und beschichtetem Substrat sehr hilfreich. Auch kann die separate Bestimmung der optischen Konstanten (von unbekanntem Materialien in einem Mehrschichtsystem) zunächst aus einer (dickeren) Einzelschicht auf bekanntem Substrat für das Erreichen der spezifizierten Ergebnisunsicherheiten notwendig sein.

Genauigkeit der Prüfeinrichtung

Für die Kalibrierung der Wellenlängenskala werden Spektrallinien als inherente Standards verwendet. Erreichbare Kalibriergenauigkeit $\pm 0,1$ nm. Die Gerätekalibrierung selbst ist prinzipbedingt standardfrei. Zur Validierung der Gerätekalibrierung (ψ - und Δ -Skalen) werden zertifizierte Referenzmaterialien verwendet. Die Genauigkeit in ψ und Δ wird dann im Wesentlichen durch die Eigenschaften des Prüfobjektes bestimmt.

Ergebnisunsicherheit der Prüfung

Grundsätzlich wird die Ergebnisunsicherheit sowohl von der Genauigkeit der Prüfmaschine, den Eigenschaften des Prüfkörpers als auch vom Prüfbereich bestimmt. Großen Einfluss hat die Oberflächenrauheit. Die unteren Grenzen der zuvor angegebenen Ergebnisunsicherheiten beziehen sich auf eine zertifizierte Referenzprobe idealer Prüfobjekteigenschaften bei Spektralmessung.