

# Retroreflex-Ellipsometrie

## Automatisierte Inspektion gekrümmter Oberflächen

*Ellipsometriescanner*

Oberflächen können grundsätzlich gut automatisch geprüft werden, indem man die Spiegelung einer Lichtquelle auswertet. Auswertbar sind die Reflexionen allerdings nur, wenn die Ausrichtung der Beleuchtung, des Sensors und der Oberfläche genau zueinander passen. Bei nicht ebenen Oberflächen wird eine Prüfung dadurch in der Regel unmöglich oder zumindest extrem aufwändig.

Eine elegante Lösung dieses Problems bietet das RRE-Prinzip (Retro-Reflexions-Ellipsometrie) des Fraunhofer IOSB. Dank des Retroreflektors ist eine präzise Ausrichtung der Komponenten des Prüfsystems zur untersuchten Oberfläche nicht nötig. Somit erlaubt die echtzeitfähige Bildaufnahme und -auswertung eines RRE-Prüfsystems, ebene wie gekrümmte Oberflächen im Durchlauf zu prüfen: z.B. die Inspektion polierter und lackierter Metall- bzw. Kunststoffoberflächen oder die Inspektion funktionaler Schichten aus den Bereichen Automobil, Mikroelektronik und Sanitär.

### Funktionsprinzip

Die Ellipsometrie als Werkzeug zur Untersuchung von Oberflächen beruht auf der Änderung des Polarisationszustands von Licht, wenn es an schräg auf die Probe trifft und reflektiert wird. Gemessen wird die Intensität verschie-

derer Polarisationsrichtungen des reflektierten Lichts. Lokale Änderungen des Polarisationszustands, die durch Inhomogenitäten der Beschichtung, Oberflächenbeschaffenheit oder Materialzusammensetzung entstehen, können somit detektiert werden.

Trotz ihrer großen Anwendungsmöglichkeiten wird Ellipsometrie in der Industrie bisher eher selten verwendet. Ein Grund ist die nötige Genauigkeit bei der Abstimmung der Positionen von Lichtquelle und Detektor: Das Licht aus der Lichtquelle wird an dem Prüfling nach dem Reflexionsgesetz reflektiert und gelangt in den Detektor. Der klassische Aufbau (siehe Abbildung) toleriert dabei nur eine Abweichung von ca. 1° oder weniger. Dagegen ist die Retro-Reflexions-Ellipsometrie wesentlich unproblematischer: Dank des Transceivers und des Retroreflektors kann die Untersuchung unter allen möglichen Positionseinstellungen erfolgen (siehe Abbildung). Die verwendete

### Fast Facts

1. Schnelle industrielle Fehlererkennung und Materialcharakterisierung durch Retroreflex-Ellipsometrie.
2. Auswertung von Reflexionen auch an non-planaren Prüflingen.
3. In-line Bestimmung der optischen Materialeigenschaften bzw. der Schichtdicke.

Retroreflektor-Folie erhält den Polarisationszustand unabhängig vom Einfallswinkel (bis ca.  $\pm 30^\circ$ ) und reflektiert den Strahl ohne Versatz wieder in die eingestrahle Richtung. Somit können auch Objekte mit ungewöhnlicher Geometrie untersucht werden. Dabei ist in der Auswertung zu beachten, dass der Lichtstrahl zweimal seine Polarisation ändert.

## Auswertung

Die Detektorkomponente im Transceiver misst die Intensitäten für verschiedene Polarisationsrichtungen. Daraus wird zunächst der Reflexions- bzw. Transmissionsgrad und die Änderung des Polarisationszustandes durch das beleuchtete Element der Probe bestimmt. In der Ellipsometrie ist es üblich, die Parameter  $R/T$ ,  $\Psi$  und  $\Delta$  zu berechnen, um die Änderungen der Intensität und der Polarisation an oder in der Probe zu beschreiben. Diese Parameter sowie die beiden Neigungswinkel der Probenoberfläche sind die Eingangswerte für das Objektmodell. Das Objektmodell beschreibt die grundlegende physikalische Struktur des Prüfobjekts (Substrat, Anzahl und Art der Schichten usw.). Das Modell verwendet diese bekannten und gemessenen Parameter, um die unbekannt physikalischen Eigenschaften des beobachteten Objektelements zu bestimmen.

## Messgröße:

Für jedes gemessene Oberflächenelement isotroper Substrate oder Schichten misst das System

- den Einfallswinkel (bzw. den Winkel der Oberfläche in der Einfallsebene relativ zum Beleuchtungsstrahl),
- den Winkel der resultierenden Anisotropie (Winkel der Oberfläche zur optischen Achse),
- den Brechungsindex  $n$ ,
- den Extinktionskoeffizient  $k$ ,
- die Schichtdicke.

Für andere Materialien ist die Entwicklung noch im Gange. Dennoch ist es bereits möglich, diese Materialien auf Abweichungen im

Vergleich zu einer Referenzprobe zu untersuchen.

## Prototypen:

Am Fraunhofer IOSB stehen zwei unterschiedliche Realisierungen zur Verfügung:

- Punktsensor für Einzelpunktmessungen der vollständigen Mueller-Matrix eines Oberflächenelements
- Laserscanner zur schnellen Inspektion großer Flächen

## Industrielle Anwendungen:

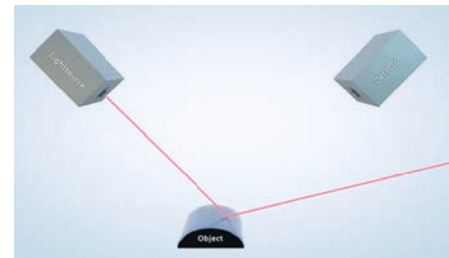
Eine Scanner-Realisierung ist bereits in mehreren industriellen Produktionsprozessen installiert. In den meisten Anwendungen inspizieren diese Scanner große Oberflächen oder Volumen von 3D-erweiterten Proben auf kleine Defekte. Scanrate, Auflösung, „Tiefenschärfe“ und Empfindlichkeit gegenüber Polarisations-effekten können für bestimmte spezifische Aufgaben optimiert werden. Die Bandbreite der möglichen Anwendungen lässt sich am besten an zwei Realisierungsbeispielen verdeutlichen:

Fehlerscanner für transparente Kunststoffartikel:

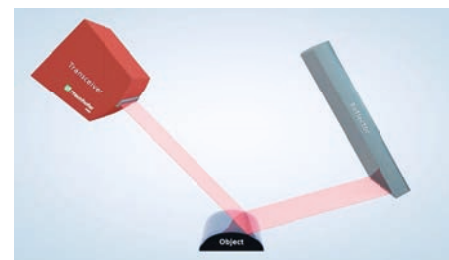
- Scanrate: 1 kHz
- Abtastrate: 12 MHz
- Auflösung: 10  $\mu\text{m}$
- Scanlänge: 120 mm
- Polarisationsempfindlichkeit: keine
- Minimaler Defektdurchmesser: 20  $\mu\text{m}$
- Schärfentiefe: 30 mm

Tension Scanner zur Defekterkennung und Messung von Zugkräften in der Glasrohrproduktion Herstellung:

- Scanrate: 1 kHz
- Abtastrate: 12 MHz
- Auflösung: 10  $\mu\text{m}$
- Scanlänge: 140 mm
- Auflösung der Polarisation (Phasenänderung): 0,1 nm
- Abzugskraft: 0 – 90 N
- Minimaler Defektdurchmesser: 60  $\mu\text{m}$
- Schärfentiefe: 100 mm



Stand der Technik - Ellipsometrie



Retroreflex-Ellipsometrie

## Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Thomas Längle  
Abteilungsleiter  
Tel. +49 721 6091-212  
thomas.laengle@iosb.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Matthias Hartrumpf  
Projektleiter  
Tel. +49 721 6091-444  
matthias.hartrumpf@iosb.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für  
Optronik, Systemtechnik  
und Bildauswertung IOSB  
Fraunhoferstr. 1  
76131 Karlsruhe  
www.iosb.fraunhofer.de

1 **Patentanmeldungen:** Hartrumpf, Matthias: Apparatus and method for optically characterizing materials — DE 102010046438 A1, WO 2012/038036 A1, EP 2848916 A1; Hartrumpf, Matthias und Negara, Christian; Configurable retro-reflective sensor system for the improved characterization of the properties of a sample, corresponding method and corresponding use — WO 2017/207681 A2, EP 3465145 A2