

# Film-Inspect

## Inline-Charakterisierung von Barrierschichten

### 100-Prozent-Kontrolle ultradünner Beschichtungen

Die produktionsbegleitende Prüfung funktionaler Beschichtungen zwischen 10 nm und 100 nm Dicke spielt eine wichtige Rolle bei der Qualitätssicherung moderner Kunststoffprodukte. Das Prüfsystem Film-Inspect von Fraunhofer IPM misst solche ultradünnen Beschichtungen schnell, genau und zerstörungsfrei – auch auf dreidimensional geformten Oberflächen. Das System kann für die parallelisierte Prozessüberwachung in der Linie ausgebaut werden.

#### Prozessbegleitende, zerstörungsfreie Inspektion

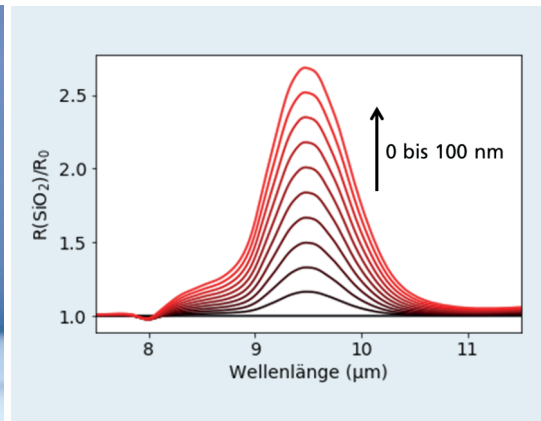
Verpackungsmaterialien, aber auch Medizinprodukte werden beschichtet, um eine Barrierewirkung oder bestimmte Oberflächeneigenschaften zu erzielen. Solche Barrierschichten – z. B. aus  $\text{SiO}_x$  oder  $\text{AlO}_x$  – sind entscheidend für die Qualität der Verpackungsinhalte und Produkte. Eine prozessbegleitende, zerstörungsfreie Inspektion der Schichten ist daher entscheidend. Aufgrund der physikalischen Eigenschaften und der geringen Dicke des Beschichtungsmaterials kommt eine konventionelle Bildverarbeitung hier jedoch nicht in Frage. Auch typische optische Verfahren zur Dünnschichtmessung – wie etwa Reflektometrie oder Ellipsometrie – stoßen an Grenzen.

Film-Inspect nutzt die spezifischen und dickenabhängigen infrarot-optischen Eigenschaften der Beschichtung für eine 100-Prozent-Kontrolle. Mit Infrarotlicht der passenden Wellenlänge können Moleküle resonant angeregt werden. Dadurch werden die Reflexionseigenschaften bei dieser Wellenlänge beeinflusst (Abb. S. 2 oben r.). Aus der Intensität des reflektierten Lichts wird die Schichtdicke bestimmt, sodass auch sehr dünne Barrierschichten vermessen werden können. Die Wahl der Wellenlänge im IR-Spektralbereich richtet sich nach dem jeweiligen Beschichtungsmaterial. Die Strahlengänge des Sensors sind so gewählt, dass auch leichte Abweichungen im Reflexionswinkel vom Detektor erfasst werden. Somit kann die Messung sogar auf gewölbten oder komplex geformten Bauteilen erfolgen.

*Sehr dünne Funktionsschichten auf Lebensmittelverpackungen verhindern, dass beispielsweise Gerüche nach außen dringen oder unerwünschte Substanzen in die Verpackung eindringen.*

#### Technische Daten

- **Messbare Materialien**  
z. B.  $\text{SiO}_x$ ,  $\text{AlO}_x$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$
- **Messbereich (für  $\text{SiO}_x$ )**  
0 bis > 100 nm
- **Messunsicherheit** bis zu  $\pm 3$  nm (je nach Substrat)
- **Zeit pro Messpunkt** 0,5 s
- **Messfleck** ca. 5 mm
- **Sensor-Abmessungen**  
50 × 40 × 95 mm<sup>3</sup>
- **Arbeitsabstand**  
5 bis 10 mm
- **Oberflächen:** anwendbar auf unebenen Oberflächen



Der Film-Inspect-Sensor im Einsatz (links)

Berechnung der relativen Änderung der Reflexionseigenschaften einer Polymeroberfläche aufgrund einer SiO<sub>2</sub>-Beschichtung: Die Schichtdicke wurde zwischen 0 nm (schwarz) und 100 nm (rot) variiert (rechts).

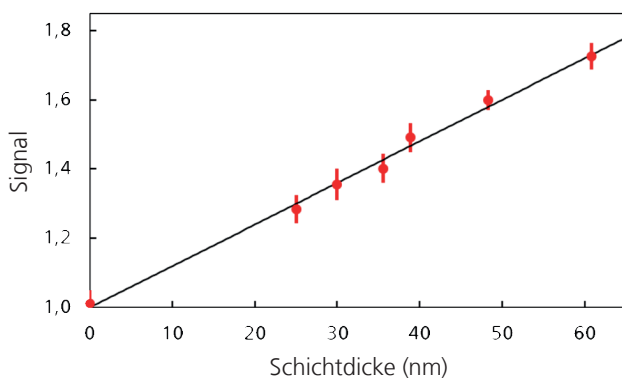
### Kompakter Sensor, präzise Messung

Auch Fourier-Transform Infrarotspektrometer (FTIR) können derartige Spektren erfassen. Sie sind aber voluminös, kostspielig und zu langsam für die typischen Taktraten im Produktionsprozess. Film-Inspect erfasst daher gezielt nur den relevanten Spektralbereich. Dazu wird der Sensor passend zum Beschichtungsmaterial konfiguriert. Aufgrund seiner kompakten Bauform misst er auch schwer zugängliche Bereiche in dreidimensional geformten Bauteilen. Über eine USB-Schnittstelle werden ein oder mehrere Sensoren mit einem Computer verbunden, auf dem die Surf-Inspect-Software zur Datenanalyse läuft. Weitere Schnittstellen zur Anlagensteuerung können nach Bedarf eingerichtet werden.

Die Messdauer beträgt 0,5 Sekunden je Datenpunkt. Die Abbildung unten zeigt die Signale für Polymerproben mit unterschiedlich dicken SiO<sub>2</sub>-Beschichtungen. Die Fehlerbalken entsprechen dabei der doppelten Standardabweichung (2σ)

aus zehn Einzelmessungen. Als Referenzmethode zur Bestimmung der tatsächlichen Schichtdicke diente hier eine Schwingquarz-Messung. Über die Regressionsgerade (schwarz) können die Messdaten eindeutig einer Schichtdicke zugeordnet werden. Aus den Messunsicherheiten (2σ) und der Geradensteigung lässt sich die Messgenauigkeit bezüglich der Schichtdicke bestimmen. Für die verwendeten Proben liegt diese bei durchschnittlich ± 3 nm. Film-Inspect kann also direkt zur Dickenmessung von Beschichtungen eingesetzt werden, nachdem das Materialsystem kalibriert ist. Damit können die Messwerte auch als Regelparameter direkt an eine Anlagensteuerung rückgekoppelt werden.

Mehrere parallel arbeitende Film-Inspect-Sensoren erreichen bei der Überwachung hoch-parallelisierter Produktionsprozesse ähnlich hohe Messgeschwindigkeiten wie einzelne seriell arbeitende High-End-Infrarotkomponenten. Da der Sensor mit kostengünstigen Komponenten arbeitet, bleibt auch der Einsatz mehrerer Sensoren wirtschaftlich.



Intensität der reflektierten Infrarotstrahlung als Funktion der Dicke einer SiO<sub>x</sub>-Beschichtung. Die Fehlerbalken zeigen den statistischen Fehler des Verfahrens. Dies entspricht einer Messunsicherheit von ± 3 nm.

### Kontakt

Dr. Alexander Blättermann  
 Gruppenleiter Optische Oberflächenanalytik  
 Telefon +49 761 8857-249  
 alexander.blaettermann@ipm.fraunhofer.de

Dr. Benedikt Hauer  
 Projektleiter  
 Telefon +49 761 8857-516  
 benedikt.hauer@ipm.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM  
 Georges-Köhler-Allee 301  
 79110 Freiburg  
 www.ipm.fraunhofer.de