

Schichtdickenbestimmung an dünnen, optisch transparenten Schichten mit geringer Brechzahldifferenz zwischen Schicht und Substrat

Albrecht Hertzsch, Knut Kröger, Karl Hehl

Innovent Technologieentwicklung e.V., Jena
<mailto:ah4@innovent-jena.de>

Optisch transparente Einzelschichten mit Schichtdicken unter 120nm auf Glassubstraten werden mit einem einfachen Messverfahren präzise charakterisiert. Dabei wird die Schichtbrechzahl unabhängig von der Schichtdicke bestimmt. Mit Nanometergenauigkeit kann die Schichtdicke ermittelt werden. Das Verfahren bietet gute Voraussetzungen für einen Inprozesseinsatz.

1 Einführung

Zunehmend großflächige Glasscheiben werden in den Markt Bereichen Building Products und Automotive Products beschichtet. Dabei soll die Schicht z.B. zur Reflexionsminderung, zur Wärmeisolierung oder zur Korrosionsunterdrückung führen. Sowohl die Funktionalität der Schicht als auch der visuelle Eindruck beschichteter Glasscheiben hängt in hohem Maß von der Homogenität der Beschichtung ab. Somit ist ein Inprozessmessverfahren notwendig, um die Schichtparameter Brechzahl und Dicke kontrollieren zu können und eine schnelle Prozessnachführung zu ermöglichen. Am Beispiel von SiO_x (Pyrosil[®])-beschichteten Floatgläsern wird ein optisches Schichtdickenmessverfahren vorgestellt, das im Gegensatz zu den herkömmlich zur Schichtdickencharakterisierung eingesetzten ellipsometrischen Verfahren eine unabhängige Bestimmung der Schichtkenngrößen Brechzahl und Dicke ermöglicht.

2 Zweistrahlmethode im Brewsterwinkelbereich

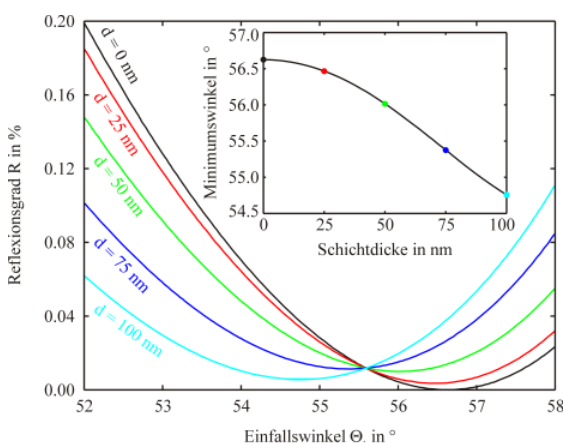


Abb. 1 Reflexionsgradkurven eines Pyrosil[®]-beschichteten Glassubstrates.

Zur Brechzahlbestimmung nutzt das Verfahren den brechzahlabhängigen Brewsterwinkel. Fällt kohärentes, p-polarisiertes Licht unter diesem Einfallswinkel auf einen unbeschichteten Glasprüfling,

kommt es zur vollständigen Auslöschung des an der Prüflingsoberfläche reflektierten Lichtes. Bei Variation des Einfallswinkels bildet sich ein Reflexionsgradminimum beim Brewsterwinkel heraus. Ist der Prüfling mit einem optisch transparenten Material beschichtet, so führt die Interferenz innerhalb der Schicht zu einer Verschiebung des Brewsterwinkels, die vorrangig von der Schichtdicke abhängt. Abb. 1 zeigt die für die Brechzahlen $n_{\text{Schicht}}=1.46$ und $n_{\text{Substrat}}=1.52$ bei der Wellenlänge $\lambda=633$ nm mittels Vielstrahlinterferenz simulierten Reflexionsgradkurven unterschiedlicher Schichtdicke. Wenige Nanometer Schichtdickenänderung führen zu einer deutlichen Winkelverschiebung des Minimums. Eine Besonderheit der Kurvenschar besteht darin, dass sie sich alle in einem Punkt schneiden. Der Winkel des Schnittpunktes definiert den Brewsterwinkel der Schicht. Diese Abhängigkeit ermöglicht es, bei Überlagerung der Reflexionsgradkurven eines beschichteten und unbeschichteten Prüflings die Brechzahl und die Dicke der Schicht quasi unabhängig zu bestimmen.

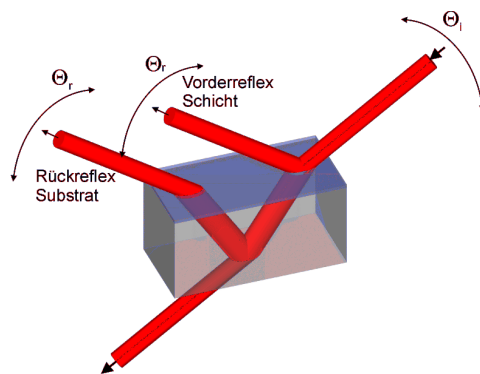


Abb. 2 Prinzip der Zweistrahl-Reflexionsgradmessung

Dieser Zusammenhang wird messtechnisch in einem Zweistrahlmessverfahren [1] ausgenutzt. Ein p-polarisierter Laserstrahl beleuchtet die Prüflingsoberfläche unter einem Einfallswinkel Θ_i , der in der Nähe des Brewsterwinkels von Substrat und Schicht liegt. Das Laserlichtbündel wird an der beschichteten Oberfläche reflektiert (Vorderreflex), wobei die Intensität des Reflexes durch die Interfe-

renz innerhalb der Schicht beeinflusst wird (vgl. Abb.1). Der Hauptteil des Lichtbündels wird ins Substrat hineingebrochen und an dessen Rückfläche zu geringem Anteil wiederum reflektiert. Nach erneutem Durchlaufen von Substrat und Schicht verlässt das Lichtbündel in Richtung Vorderreflex das Substrat (Rückreflex). Ist die Substratdicke ausreichend groß, können die Intensitäten des Vorder- und Rückreflexes unabhängig voneinander vermessen werden (vgl. Abb.2). Dabei beschreibt der Reflexionsgrad des Rückreflexes das Verhalten eines unbeschichteten Prüflings, da im Brewsterwinkelbereich die Wechselwirkung des transmittierten Lichts mit der Schicht bzw. den optischen Grenzflächen zu vernachlässigen ist und die Reflexionsgradwerte der inneren Reflexion den Reflexionsgradwerten der äußeren Reflexion entsprechen. Wird das einfallende Lichtbündel in definierten Winkelschritten in Brewsterwinkelnähe variiert, lassen sich die Reflexionsgradkurven des beschichteten (Vorderreflex) und des unbeschichteten Prüflings (Rückreflex) unter den selben Messbedingungen gleichzeitig aufzeichnen.

3 Zweistrahl- Reflexionsgradmessungen

Die Zweistrahlmethode wurde in einem Laboraufbau umgesetzt, bestehend aus den Hauptkomponenten: Beleuchtungssystem, Probenaufnahme und Kamera (Abb. 3).

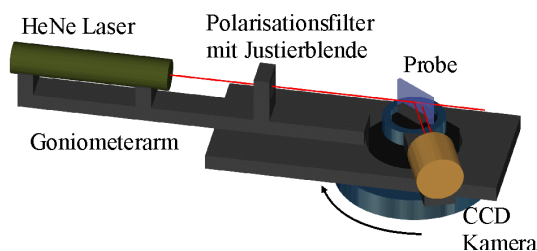


Abb. 3 Aufbau Zweistrahl-Reflexionsgradmessung

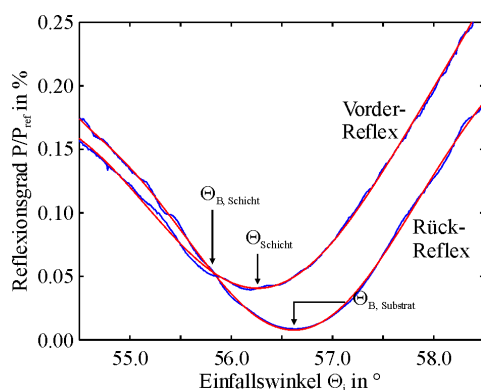


Abb. 4 Zweistrahl-Reflexionsgradmessung

Zur Aufzeichnung der Reflexionsgradkurven von Vorder- und Rückreflex wird das Beleuchtungssystem (HeNe-Laser, Polarisator, Justierblende) computergesteuert in Schritten von 0.005° um den Beleuchtungspunkt auf der Prüflingsoberfläche geschwenkt. Bei jedem Winkel zeichnet die orts-

feste Kamera die beiden Reflexe auf, um durch Integration daraus die unnormierten Reflexionsgrade von beschichteten und unbeschichteten Prüfling zu ermitteln und mit Hilfe der drei Winkel die Schichtparameter Brechzahl und Dicke zu bestimmen. Abbildung 4 zeigt eine typische Messung an einer 30nm dicken Pyrosil®-Schicht auf Floatglas mit den eingetragenen Messgrößen.

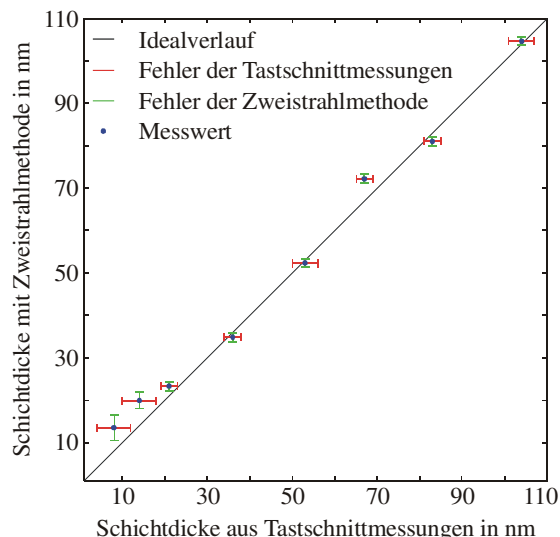


Abb. 5 Schichtdickenmesswerte im Vergleich

Zur Überprüfung des Messverfahrens sind Floatglasprüflinge vermessen worden, deren Pyrosil®-Schichtdicke sich durch die Anzahl der durchlaufenen Beschichtungsgänge unterscheidet. Als Referenz wurde für jeden Prüfling eine Schichtstufe präpariert und die Schichtdicke durch Tastschnittmessung ermittelt (vgl. Abb. 5). Die optisch ermittelten Schichtdicken sind zu den Vergleichsmesswerten des Tastschnittverfahrens gut korreliert und zeigen Abweichungen im Bereich von 3 nm. Die Reproduzierbarkeit der optischen Schichtdickenmessung beträgt ± 1 nm.

4 Ausblick

Um das vorgestellte Messverfahren fertigungsnah in der Beschichtungsprozesskontrolle einsetzen zu können, ist eine Vereinfachung der Messwertaufnahme notwendig. Weiterführende Arbeiten befassen sich mit der schnellen winkelaufgelösten Reflexionsgradmessung mit Hilfe eines Winkelspektrums des Beleuchtungslichtbündels, mit der Kompensation von Keiligkeiten der Substratvorder- und Rückseite, der Anpassung von Brechzahlgradienten innerhalb des Substrates sowie der optischen Rauheitsbewertung der Beschichtungs Oberfläche.

Literatur

- [1] A. Hertzsch, K. Kröger, R. Weidl: „A Simple Technique for Optical Thin Film Characterization with Small Refractive Index Differences between Coating and Substrate“ eingereicht bei: *glass technology*