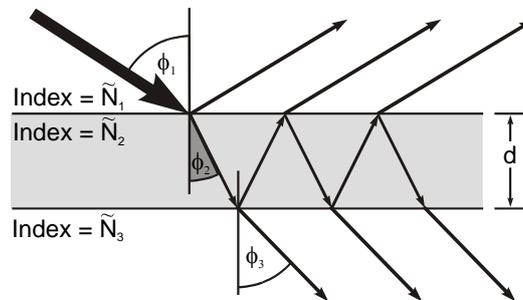


Ellipsometrie

In unserer Arbeitsgruppe verwenden wir die Ellipsometrie als Standardverfahren zur Charakterisierung dünner Filme. Als phasenempfindliches Reflexionsexperiment erlaubt es die Messung der Schichtdicke bis hinunter zu Zehnteln von Nanometern. Da das Verfahren zerstörungsfrei arbeitet, eignet es sich neben der Untersuchung organischer Monoschichten besonders zur Prozesskontrolle anorganischer Schichtabscheidungen wie der atomic layer deposition oder ähnlicher Techniken.

Zur Bestimmung der Schichtdicke nutzt man die Reflexion von linear polarisiertem, parallelem und monochromatischem Licht am Dreiphasensystem Substrat/Film/Luft aus. Trifft ein Lichtstrahl auf eine Grenzfläche, wird er sowohl in das Medium hinein gebrochen als auch reflektiert. Bei einem Dreiphasensystem findet dieser Vorgang an zwei Grenzflächen statt, wodurch die Strahlung immer wieder in den Film hinein reflektiert werden kann und ein Teil der Strahlung in das Medium Luft entlassen wird.

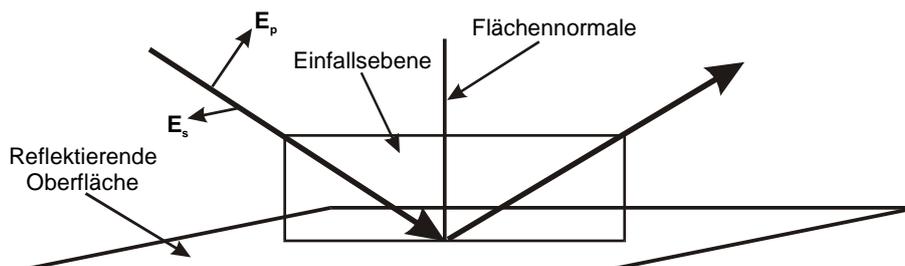


Diese Strahlen interferieren miteinander und es ergibt sich ein Strahl gesamtreflektierten Lichts, der in Abhängigkeit der komplexen Brechungsindizes

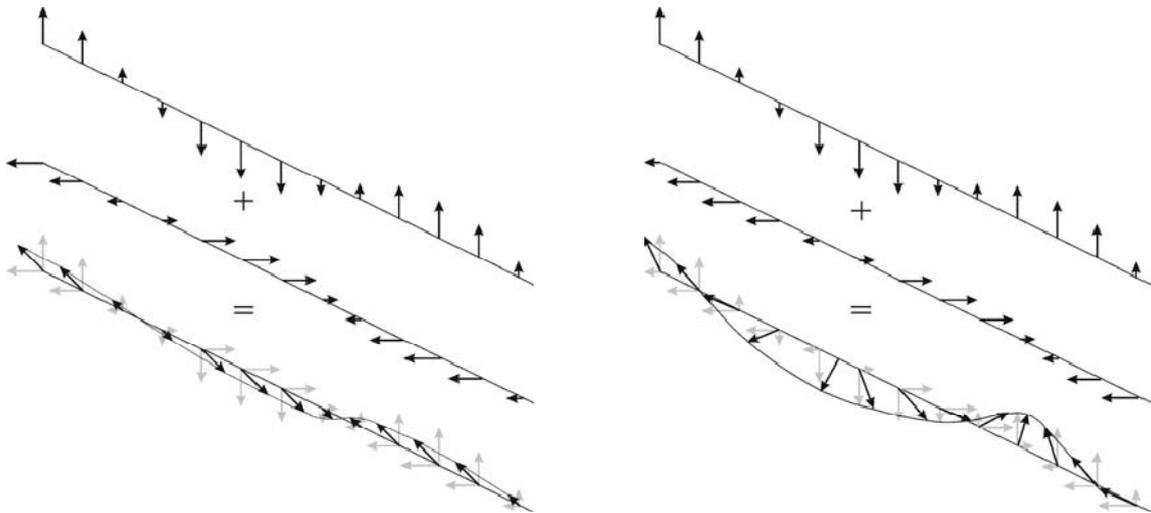
$$\tilde{N}_j = n_j + i \cdot k_j$$

gegenüber der einfallenden Strahlung in Amplitude E und Phase δ verschoben ist. \tilde{N}_j lässt sich in Realteil n_j und Imaginärteil k_j aufteilen. Dabei ist der Realteil der Brechungsindex der kondensierten Phase und der Imaginärteil ist das Produkt aus $(-1)^{1/2}$ und dem Absorptionskoeffizienten. Ist der Absorptionskoeffizient null, handelt es sich um ein transparentes Medium mit einem reellen Brechungsindex.

Liegt die Polarisationssebene des Lichts nicht in der Einfallsebene, lässt sich der elektrische Feldvektor in die parallel (E_p) zur und senkrecht (E_s) auf der Einfallsebene stehenden Komponenten unterteilen.



Die S- und P-Komponenten ändern ihre Amplitude und Phase bei der Reflexion unterschiedlich und es resultiert ein Strahl elliptisch polarisierten Lichts, d. h. die Projektion der Feldvektoren auf eine Fläche senkrecht zur Ausbreitungsrichtung ergibt eine Ellipse.



Die ellipsometrischen Größen Δ und Ψ beschreiben genau diesen Unterschied in der Polarisation des einfallenden und reflektierten Lichts.

$$\Delta = (\delta_p^{\text{aus}} - \delta_s^{\text{aus}}) - (\delta_p^{\text{ein}} - \delta_s^{\text{ein}})$$

$$\tan \Psi = \frac{E_p^{\text{aus}}/E_p^{\text{ein}}}{E_s^{\text{aus}}/E_s^{\text{ein}}}$$

Die Größen Δ und Ψ können mit dem Ellipsometer gemessen werden, wobei sich Ψ für organische Monoschichten nicht stark genug ändert, um für die Schichtdickenberechnung herangezogen zu werden. Über die Drude-Näherung, die für Schichtdicken sehr viel kleiner als die Wellenlänge des verwendeten Lichts gilt, lässt sich aus der Differenz der Werte Δ des beschichteten Substrats und Δ_s des filmfreien Substrats die Schichtdicke d berechnen.

$$\Delta - \Delta_s = C_\Delta \cdot d$$

$$\text{wobei } C_\Delta = \left(\frac{180}{\pi}\right) \left(\frac{4\pi}{\lambda}\right) \frac{\cos \phi_1 \sin^2 \phi_1 (\cos^2 \phi_1 - \alpha)(1 - 1/n_2^2)}{(\cos^2 \phi_1 - \alpha)^2 + \alpha^2}$$

$$\text{mit } \alpha = \frac{n_3^2 - k_3^2}{(n_3^2 + k_3^2)^2} \quad \text{und} \quad \alpha_1 = \frac{2 n_3 k_3}{(n_3^2 + k_3^2)^2}$$

Der Brechungsindex der Luft wird als $n_1 \approx 1$ genähert und taucht somit nicht in den obigen Formeln auf. Für den Brechungsindex des Films wird unter der Annahme, dass die Schicht sehr dünn und damit transparent ist, nur der Realteil, also der Brechungsindex n_2 der kondensierten Phase, verwendet. Der Brechungsindex n_3 und der Absorptionskoeffizient k_3 des Substrats gehören zu den sogenannten Substratparametern und werden bei der Messung des filmfreien Substrats bestimmt.

Damit präsentiert sich die Ellipsometrie als elegante Methode, um mit einfachen Mitteln schnell die Dicke dünner Filme zu bestimmen. Zu beachten ist dabei jedoch, dass es sich bei dem Ergebnis um eine optische Schichtdicke handelt. Diese ist ein Oberflächenintegral über die Fläche des

auftreffenden Lichtstrahls. Unregelmäßigkeiten in der Ausbildung z. B. einer organischen Monoschicht zeigen sich daher in einer niedrigeren Schichtdicke, verglichen mit der aus der Molekülhöhe erwarteten.