

Ellipsometer (ELLI)



Ellipsometerversuch im Praktikum

Ellipsometer (ELLI)

Die Ellipsometrie ist ein in der Laborpraxis weit verbreitetes und gängiges Verfahren zur Bestimmung von Brechungsindizes oder von Schichtdicken verschiedenster Materialien. Die Geräte sind üblicherweise so konzipiert, dass ein eingewiesener Benutzer sie ohne tiefgreifendes Verständnis der physikalischen Zusammenhänge korrekt bedienen kann. Aus den ermittelten Messwerten können die gewünschten Informationen über die untersuchte Probe nicht analytisch berechnet werden, es müssen Modelle vom Probenaufbau erstellt werden, die mit den Ergebnissen numerischer Rechenoperationen verglichen werden.

Im Versuch finden Sie einen Aufbau vor, mit dem das Reflexionsverhalten üblicher in der Optik verwendeter Materialien bzw. Oberflächen in Abhängigkeit vom Einfallswinkel des linear polarisierten Lichtes auf die zu untersuchende Oberfläche (Fresnelsche Formeln) gemessen werden kann. Anhand einfacher Oberflächen-Schicht-Systeme, die mit analytischen Auswertemethoden auskommen, werden Sie sich in die ellipsometrische Messtechnik einarbeiten.

Lernziele und Methoden

- Erarbeitung der Grundlagen der Polarisation elektromagnetischer Wellen
- Kennenlernen der praxisrelevanten Spezialfälle der Fresnelschen Formeln
- Messung der Brechzahlen verschiedener optischer Materialien
- Einführung in die ellipsometrische Messtechnik

Experimentelle Technik

- HeNe-Laser als Lichtquelle
- Ellipsometer-Aufbau zur motorgesteuerten Einstellung der Einfallswinkel auf die Probenoberfläche sowie der Drehwinkel der Polarisatoren (Polarisator und Analysator)
- Signalverstärker mit Quadranten- Fotodiode als Empfänger
- Phasenempfindlicher Gleichrichter-Verstärker
- Computer zur Ansteuerung der Stellmotoren und zur Auswertung der Ergebnisse

Ellipsometer (ELLI)

1. Grundlagen

Grundwissen: - siehe Anhang

- Bergmann Schaefer „Lehrbuch der Experimentalphysik“ Band 3
Optik, Kapitel 4 (Polarisation und Doppelbrechung des Lichtes)

weiterführende Literatur: R.M.A.Azzam, N.M. Bashara: „Ellipsometry and polarized light“, North-Holland Personal Library, Elsevier

2. Aufgaben

MA1: Bestimmen Sie das Polarisationsverhältnis der beiden verwendeten Polarisatoren

MA2: Die Einfallswinkel-Abhängigkeit des Reflexionsgrades für die parallele und senkrechte Polarisationsrichtung ist an folgenden Medien zu vermessen:

- optisch transparenten Substanzen wie z.B. Glas
- Halbleitern, z.B. Si
- Metallen, z.B. Gold, ggf. Schichten

MA3: Vergleichen Sie die gemessenen Kurvenverläufe mit den aus den Fresnelschen Kurven berechneten Werten. Dabei verwenden Sie die aus dem ermittelten Brewsterwinkel bzw. Haupteinfallswinkel berechnete Brechzahl.

MA4: Ermitteln Sie die Polarisationsellipsen für Gold sowie für beschichtetes Silizium für einen oder mehrere geeignete Einfallswinkel.

3. Experimentelle Technik

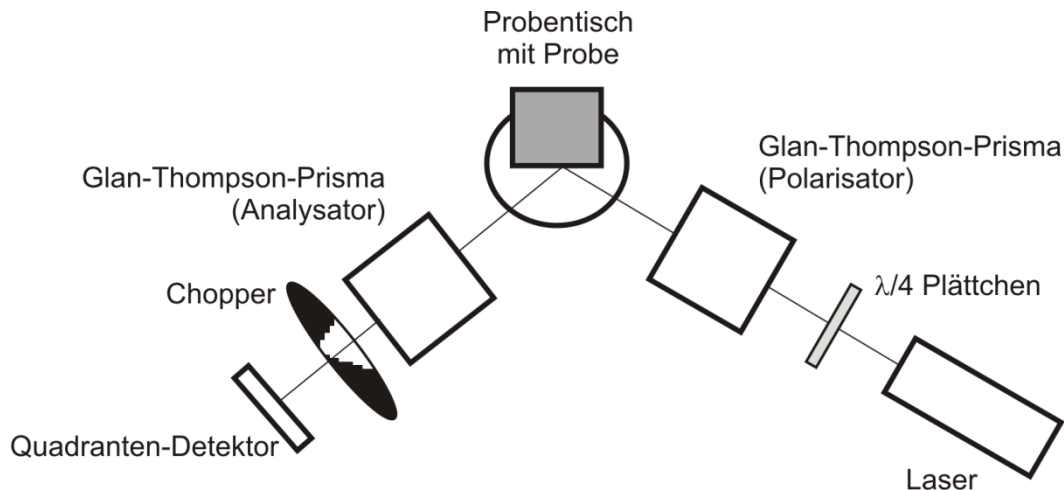


Bild 1: Versuchsanordnung

Der Versuchsaufbau besteht aus einem für den Praktikumsversuch umgebauten Ellipsometer. Die Einfallswinkel sowie die Drehwinkel des Polarisators und Analysators werden über das Computerprogramm „Polarimeter“ eingestellt. Die Verstellelemente sind jeweils Schrittmotoren. Die beiden verwendeten Polarisatoren sind Glan-Thompson Prismen.

Im kurzen Arm befinden sich die Lichtquelle, ein HeNe-Laser mit $\lambda = 633 \text{ nm}$ und einer Leistung von etwa $3,5 \text{ mW}$, ein $\lambda/4$ Plättchen, um aus dem linear polarisierten Licht des HeNe-Lasers zirkular polarisiertes Licht zu erzeugen, sowie der Polarisator.

Im langen Arm sind nacheinander der Analysator, ein Chopper sowie der Quadranten-Detektor mit Vorverstärker angeordnet. Mit Hilfe des Choppers wird ein Referenzsignal erzeugt, um einerseits unabhängig vom Raumlicht messen zu können und andererseits mit dem Lock-in-Verstärker auch kleinste Signale erfassen zu können.

Die Glan-Thompson Prismen bestehen aus Kalkspat.

Die Signale der 4 Quadranten des Detektors werden addiert, deshalb ist darauf zu achten, dass möglichst immer alle 4 Leuchtdioden auch leuchten, dann trifft das Laserlicht mittig auf den Detektor.

Am Steuergerät gibt es zwei Einschalter, einmal für die Stromversorgung des Steuergeräts selbst und einmal für die Versorgung der Elektronik im langen Messarm (Stromversorgung von Chopper und Empfänger, sowie Vorverstärker), sowie einen roten **Not-Aus Schalter**. **Dieser sollte betätigt werden, wenn die Arme unerwartet über ihre Ruheposition hinaus an den Anschlag fahren sollten.**

Die Polarisatorwinkel 0° und 90° entsprechen -bei guter Justierung der Probe auf dem Proben-tisch- den Winkeln für senkrecht zur Einfallsebene und parallel zur Einfallsebene polarisiertes Licht.

Ändern Sie die Einstellung des Probenisches also bitte nicht wesentlich. Vor Aufnahme einer Kurve „Reflexionsgrad in Abhängigkeit vom Winkel“ überprüfen Sie deshalb für einige Winkel, ob das von der Probe reflektierte Licht einigermaßen den Detektor trifft, kleine Abweichungen können Sie mit der Verschiebemöglichkeit des Detektors ausgleichen, größere müssen vor Beginn der Messung über die Drehung des Probenisches justiert werden.

Die Intensität des einfallenden Lichts muss bei jeder verwendeten Stellung des Polarisators neu bestimmt werden.

Vor jeder Intensitätsmessung muss die Phasenverschiebung zwischen Mess- und Referenzsignal überprüft und wenn nötig minimiert werden.

Der verwendete Laser sind für das Auge gefährlich. An den Proben können Reflexe auftreten und bei Bewegung der Ellipsometerarme zur Referenzfahrt werden diese im Raum wandern, da sich in diesem Fall die Arme unabhängig voneinander bewegen. Wenn Sie am Tisch sitzen, sind diese Reflexe gerade in Augenhöhe. Schützen Sie sich und ihre Mitarbeiter im Raum vor den Lichtreflexen und unterbrechen Sie während der Referenzfahrt den Strahlengang am Ende des Armes, der die Lichtquelle enthält. Lassen Sie die Ellipsometerarme sicherheitshalber nur fahren, während Sie am Tisch stehen!

4. Hinweise zur Versuchsdurchführung und Auswertung

Zum Vergleich Ihrer Messwerte mit Tabellenwerten empfehlen wir die Website:

<http://refractiveindex.info>

Bitte die Oberflächen der optischen Bauelemente –insbesondere der Metalloberflächen und Schichten- nicht berühren!

5. Fragen und Aufgaben

Fragen zur Vorbereitung:

1. Grundlagen

Was ist Polarisation? Erläutern Sie Grundzüge der Fresnelschen Formeln (Skizze; Definition Reflexionsgrad/ Reflexionsverhältnis; Winkelabhängigkeit; Phase; Unterschiede zwischen Metall- und Isolatoroberflächen)

2. Versuchsaufgaben und -ziele

Aufbau des Ellipsometers im Praktikum; Funktion aller verwendeten Bauteile;
Erwartete Ergebnisse bei Untersuchung einer Grenzfläche zwischen zwei Isolatoren und bei einer Oberfläche mit einer dünnen Schicht

Weitere Fragen zum Versuch:

1. Skizzieren Sie eine schematische Darstellung der Versuchsanordnung und erläutern Sie die Funktion der verwendeten Komponenten!
2. Erläutern Sie die Ihnen bekannten Möglichkeiten zur Erzeugung linear polarisierten Lichtes und geben Sie jeweils die zugrundeliegenden physikalischen Zusammenhänge an.
3. Skizzieren und beschreiben Sie die wichtigen (praktisch besonders relevanten) Sonderfälle der Fresnel'schen Formeln.
4. Worin besteht der wesentliche Unterschied im optischen Verhalten zwischen Isolatoren und Metallen? Geben Sie die physikalischen Ursachen und die relevanten Formeln an!
5. Was ist bei der Registrierung von Licht mit einem Photoelement zu beachten? Welche Möglichkeiten gibt es, ein Photoelement zu verwenden (Kennlinie)?
6. Berechnen Sie den Reflexionsgrad (reflektierter Anteil der Intensität des einfallenden Lichtes) bei senkrechtem Einfall auf die Grenzfläche Luft-Glas ($n=1,5$)!
7. Zeichnen Sie die Phasendifferenz zwischen einfallendem (Luft) und reflektiertem Strahl als Funktion des Einfallswinkels für die Reflexion am optisch dichten Medium Glas ($n=1,5$) !
8. Wie kann man aus linear polarisiertem Licht zirkular polarisiertes erzeugen? Geben Sie alle dabei zu realisierenden Bedingungen an! Wie kann man zirkular polarisiertes Licht nachweisen?
9. Zeichnen Sie das Reflexionsverhältnis zwischen einfallender und reflektierter Amplitude linear polarisierten Lichtes in Abhängigkeit vom Einfallswinkel für parallel und senkrecht zur Einfallsebene polarisiertes einfallendes Licht für:
 - a) den Grenzübergang Luft-Glas ($n=1,5$)
 - b) den Grenzübergang Glas-Luft !
10. Wie ist ein Rochon-Prisma aufgebaut, für welche Anwendungen zieht man ein Rochon-Prisma einem Glan-Thompson-Prisma vor?