

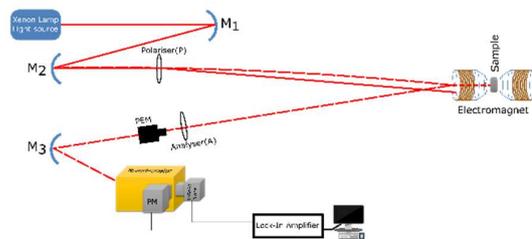


## V25 – Magneto-optischer Kerr-Effekt Spektroskopie

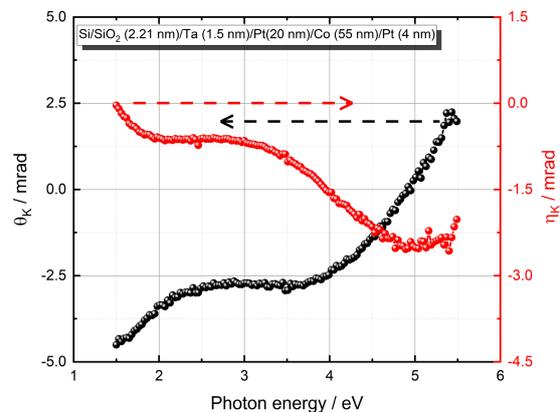
Ort: Labor C60.123 (Professur Halbleiterphysik)

Betreuer: Prof. Dr. G. Salván

Der magneto-optische Kerr-Effekt (MOKE) beruht auf der Änderung des Polarisationszustandes von linear polarisiertem Licht nach der Reflexion an magnetischen Materialien. Der reflektierte Strahl ist elliptisch polarisiert, und der Winkel, den die große Ellipsenachse mit der Polarisationsrichtung des einfallenden Strahls einschließt, ist direkt proportional zur Magnetisierung des Materials im Bereich der Eindringtiefe des Lichtes. Im Rahmen dieses Praktikums sollen die Studierenden anhand von Untersuchungen an ferromagnetischen Proben den Zusammenhang zwischen magneto-optischer Aktivität und elektronischen sowie magnetischen Eigenschaften beobachten.



(a) Messprinzip des MOKE-Spektrometers. Das Magnetfeld steht senkrecht zur Probenoberfläche (polare Konfiguration).



(b) MOKE-Rotation-Spektren gemessen an einer Co-Schicht auf Silizium.

Untersuchung des Magneto-optischer Kerr-Effekts mittels spektroskopischer Messungen im konstanten Magnetfeld sowie mittels Variation des Magnetfeldes bei einigen gegebenen Photonenenergien.

Es wird erwartet, dass die Teilnehmer die Grundlagen der Optik und des Magnetismus verstehen.

1. Brechung und Brechungsindex
2. Was bedeutet Spektroskopie?
3. Was ist die Polarisation des Lichts und wie wird sie klassifiziert?
4. Funktionsweise grundlegender optischer Komponenten, z. B. Spiegel, Polarisatoren, photoelastische Modulatoren, Beugungsgitter



5. Klassifizierung magnetischer Materialien
6. Was ist Ferromagnetismus und welche ferromagnetischen Elemente gibt es?
7. Was bedeuten die leichte und die harte Achse der Magnetisierung?
8. Welche Eigenschaft ferromagnetischer Materialien macht sie für die Demonstration des magneto-optischen Kerr-Effekts nützlich?

Elektromagnetische Welle, Polarisation, Reflexion, Reflexionsanisotropie-Spektroskopie (RAS), magneto-optischer Kerr-Effekt (MOKE), Photoelastischer Modulator (PEM), Monochromator, Photomultiplier, Magnetisierung, ferromagnetisches Material, Hysterese.

1. Reflection anisotropy spectroscopy (RAS): <https://doi.org/10.1088/0034-4885/68/6/R01>  
Reflectance Spectroscopy - Hinds Instruments
2. Magneto-optical Kerr effect spectroscopy: [https://doi.org/10.1016/S1567-2719\(01\)13007-6](https://doi.org/10.1016/S1567-2719(01)13007-6) page 289 section 3.3 Ni MOKE and page 244 Section 2.2.2. Polar MOKE, MOKE – Hinds Instruments
3. Ferromagnetism and M(H) loop DoITPoMS - TLP Library Ferromagnetic Materials – Hysteresis, Chapter1 <https://doi.org/10.1017/CBO9780511845000>

Sowie jede weitere Literatur zu MOKE-Spektroskopie und MOKE-Magnetometrie.

Eine ferromagnetische Probe wird zwischen den Polschuhen eines Elektromagneten gelegt, wie in Abbildung 1 dargestellt. Ein von einer Xenon-Bogenlampe erzeugter Weißlichtstrahl wird linear polarisiert, indem er einen Polarisator durchläuft. Der linear-polarisierte Strahl wird durch ein Loch im Polschuh geleitet und wird an der Probe reflektiert. Das von der Probe reflektierte Licht wird auf einen photoelastischen Modulator (PEM) und anschließend auf einen zweiten Polarisator (Analysator) gelenkt. Anschließend wird das Licht mit Hilfe eines Spiegels im Monochromator konvergiert. Das gestreute Licht aus dem Monochromator wird anschließend mit einem Photomultiplier (PM) in ein elektrisches Signal umgewandelt. Die vom PM registrierte Intensität liegt in Form einer Wechselspannung vor, die mit der Frequenz  $f$  des PEM moduliert ist. Aus diesem modulierten Signal werden die Grundschiwingung ( $V_{1f}$ ) und die erste Oberschiwingung ( $V_{2f}$ ) verstärkt und mittels PM aufgezeichnet. Aus diesen Signalen werden die sogenannten MOKE-Parameter wie folgt berechnet:

$$\theta_K = \frac{\sqrt{2}V_{2f}}{4J_2V_{DC}}, \quad (1)$$

$$\eta_K = \frac{\sqrt{2}V_{1f}}{4J_1V_{DC}} \quad (2)$$

wobei hier  $J_1$  und  $J_2$  die Koeffizienten der Bessel-Funktion sind. Weitere Einzelheiten und die Herleitung der Gleichungen sind in der angegebenen Referenzliteratur zu finden.



Im Verlauf dieses Praktikumversuchs führen wir die folgenden Hauptschritte durch.

### 1. Spektrometer Kalibrierung

- 1.1 Einbau der Si (110)-Referenzprobe und Justage der optischen Bauelementen.
- 1.2 Aufnahme eines Reflexionsanisotropiespektrums an einer Si(110)-Probe (3 bis 5 eV).
- 1.3 Vergleich der Position und Amplitude der spektralen Strukturen mit dem Referenzspektrum. (<https://doi.org/10.1103/PhysRevB.72.075212>)
- 1.4 Anpassung der Phase des Lock-in-Verstärkers im Programm an, um die richtige Amplitude für die beiden Peaks zu erhalten.

### 2. MOKE Spektroskopie

- 2.1 Einbau einer Kobalt-, Eisen- oder Nickelprobe. Es handelt sich um optische dicke Schichten aus Si/SiO<sub>2</sub> (2,21 nm)/Ta (1,5 nm)/Pt (20 nm)/X (55 nm)/Pt (4 nm), mit X = Co, Fe, Ni, die mit 4 nm Pt passiviert sind.
- 2.2 Aufnahme eines MOKE-Spektrums bei maximalem Magnetfeld  $\approx 1,8$  T ( $I_{\text{mag}} = 20$  A, mit erweiterten Polschuhen).
- 2.3 Vergleich des Spektrums mit der Referenzliteratur ([https://doi.org/10.1016/S1567-2719\(01\)13007-6](https://doi.org/10.1016/S1567-2719(01)13007-6)).

### 3. Aufnahme von Hysterese-Kurven

- 3.1 Messung einer Kerr-Hysterese mit dem Magnetfeld senkrecht zur Probenebene mit dem PMOKE-Setup für eine der ausgewählten Proben.
- 3.2 Die aufgezeichneten Hysterese-Schleifen beziehen sich auf den Strom durch den Elektromagneten. Daher muss ein Umrechnungsfaktor von  $I$  (Strom) zu  $B$  (Magnetfeld) bestimmt werden.
- 3.3 Einbau der Hallsonde zwischen den Polschuhen des Elektromagneten. Schrittweise Änderung des Stroms durch den Elektromagneten ( $+/-20$  A) und Dokumentierung der Magnetfeld-Werte, die auf dem Hall-Sonden-Messgerät angezeigt werden.
- 3.4 Darstellung eines Diagramms  $B = f(I)$ . Datenanpassung mit Hilfe eines Polynoms dritter Ordnung. Die Koeffizienten des Polynoms sollen später verwendet werden, um den  $I$ -Wert in den entsprechenden  $B$ -Wert in der aufgezeichneten Hystereseschleife umzuwandeln.
- 3.5 Für die Aufnahme der Hystereseschleife in der Ebene wird ein Nano-MOKE-Setup verwendet. Dazu wird das longitudinale Kerr-Signal aufgezeichnet.

Die Bedienung der Anlagen wird Ihnen vor Ort vom Betreuer erläutert. Den einzelnen Arbeitsschritten erfolgen weitgehend eigenständig.

- ▶ Die Wasserkühlung des Elektromagneten muss ständig laufen, da eine Erwärmung des Magneten zu Feldstärkefluktuationen führen kann.
- ▶ Der Polarisator darf nur bei der Kalibrierung mit der Siliziumprobe verstellt werden.
- ▶ Es ist unbedingt zu vermeiden, direkt in den Lichtstrahl zu schauen, da dieser einen hohen Anteil UV-Licht enthält.