

38. Internationale Physikolympiade
Iran
Experimentelle Klausur
Dienstag, den 17. Juli 2007

Bitte lesen Sie zunächst folgende Informationen:

1. Lesen Sie diese Bemerkungen und die Fragen sorgfältig durch **bevor** Sie mit dem Experiment zu arbeiten beginnen. Nehmen Sie die gegebenen Warnungen ernst.
2. Die Klausur dauert 5 Stunden und besteht aus einer Aufgabe. Diese wird mit maximal 20 Punkten bewertet.
3. Nutzen Sie nur den Stift, der auf Ihrem Tisch liegt.
4. Der Umschlag auf Ihrem Tisch beinhaltet eine grüne Mappe. Die Mappe enthält 14 **Aufgabenbögen**, die mit **Q** gekennzeichnet sind; 7 Antwortbögen, die mit **A** gekennzeichnet sind; eine Anzahl von **Schreibbögen**, die mit **W** gekennzeichnet sind und Millimeterpapier.
5. Bitte benutzen Sie nur die Antwortbögen (**A**) für Ihre Ergebnisse. Für Ihre Bearbeitung benutzen Sie bitte nur die Schreibbögen (**W**). Numerische Ergebnisse sollten mit so vielen signifikanten Stellen angegeben werden, die den gegebenen Daten entsprechen. **Vergessen Sie nicht, die Einheiten mit anzugeben.**
6. Alles was Sie für die Bearbeitung der Aufgaben als wichtig erachten schreiben Sie bitte auf die Schreibbögen (**W**). Trotzdem sollten Sie möglichst wenig Text schreiben und sich nach Möglichkeit mit Gleichungen, Zahlen, Symbolen und Diagrammen begnügen.
7. Benutzen Sie nur die Vorderseite der zur Verfügung gestellten Blätter.
8. Es ist **absolut notwendig**, dass Sie Ihren „**student code**“ in den oberen Kasten auf jedes Blatt schreiben. Notieren Sie zusätzlich auf jedem Schreibbogen (**W**) die Seitennummer (**page no**) und die Gesamtanzahl der für diese Aufgabe verwendeten Schreibbögen (**total no of pages**). Es ist auch hilfreich, wenn Sie die einzelnen Abschnitte auf diesen Bögen notieren. Streichen Sie die Schreibbögen mit einem großen Kreuz durch, auf denen Ihre Notizen stehen, die nicht benotet werden sollen.

Wenn Sie fertig sind, legen Sie bitte alle Blätter in der richtigen Reihenfolge in die Mappe. Legen Sie zuerst die Antwortbögen (**A**) in die rechte Umschlagtasche, dann die Schreibbögen (**W**) und zuletzt die durchgestrichenen Schreibbögen. Legen Sie die ungenutzten Schreibbögen und die Aufgabenbögen (**Q**) in die linke Umschlagtasche. Legen Sie zuletzt die Mappe in den Umschlag.

Sie können den Taschenrechner als IPhO-Souvenir nach Hause mitnehmen. Es ist Ihnen aber nicht erlaubt, irgendwelche Papierbögen mitzunehmen.

Viel Erfolg wünschen Ihre Leader



Beschreibung des Versuchsaufbaus

In Abbildung 1 sehen Sie den Versuchsaufbau so, wie Sie sie auf Ihrem Tisch zum Experimentieren vorfinden. Das Instrument ist ein Spektroskop, das mit einem Detektor ausgerüstet wird, damit es als einfaches Spektrometer dienen kann.

Um mit dem Versuch zu beginnen, müssen Sie zunächst die Abdeckung des Kastens anheben (Abbildung 1). Die Abdeckung ist auf der Hinterkante fixiert und somit auf- und zuklappbar. Damit der Detektor in Dunkelheit arbeiten kann, muss die Abdeckung in ihre Anfangsstellung gebracht werden und während der Messung der Spektren lichtdicht geschlossen bleiben. Das Netzkabel besitzt einen Schalter, mit dem man die Halogenlampe an- und ausschalten kann. Die Höhe der Grundplatte kann mit vier Schrauben justiert werden (siehe Abbildung 1).

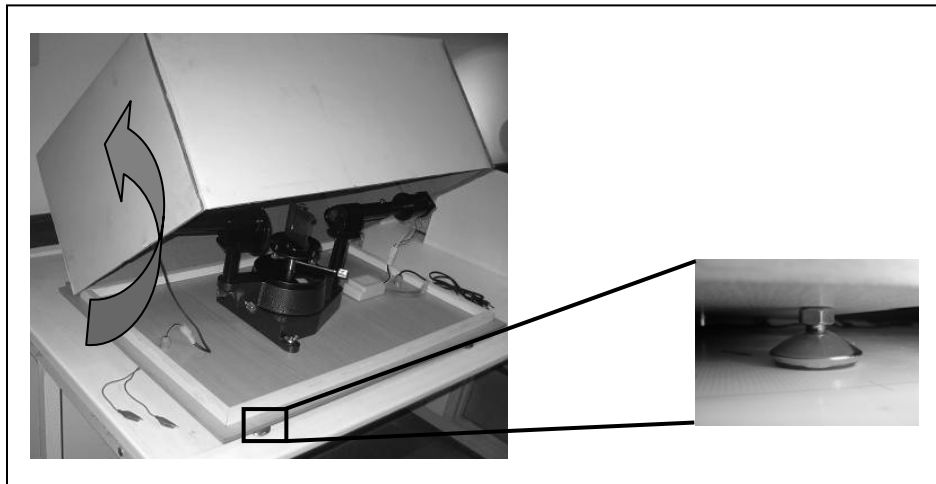


Abbildung 1. Der Versuchsaufbau. Im rechten Bild ist eine der Schrauben zur Höheneinstellung vergrößert dargestellt.



WARNUNG 1: Fassen Sie die Halogenlampe und ihren Halter nicht an! Sie werden sehr *heiss*, wenn die Lampe eingeschaltet ist!



WARNUNG 2: Ändern Sie nichts am Netzteil und seinen Verbindungen! Die Netzspannung beträgt gefährliche 220V!

Wie der Versuchsaufbau von oben aussieht, zeigt Abbildung 2. Die Details sind im Bild eingefügt worden.

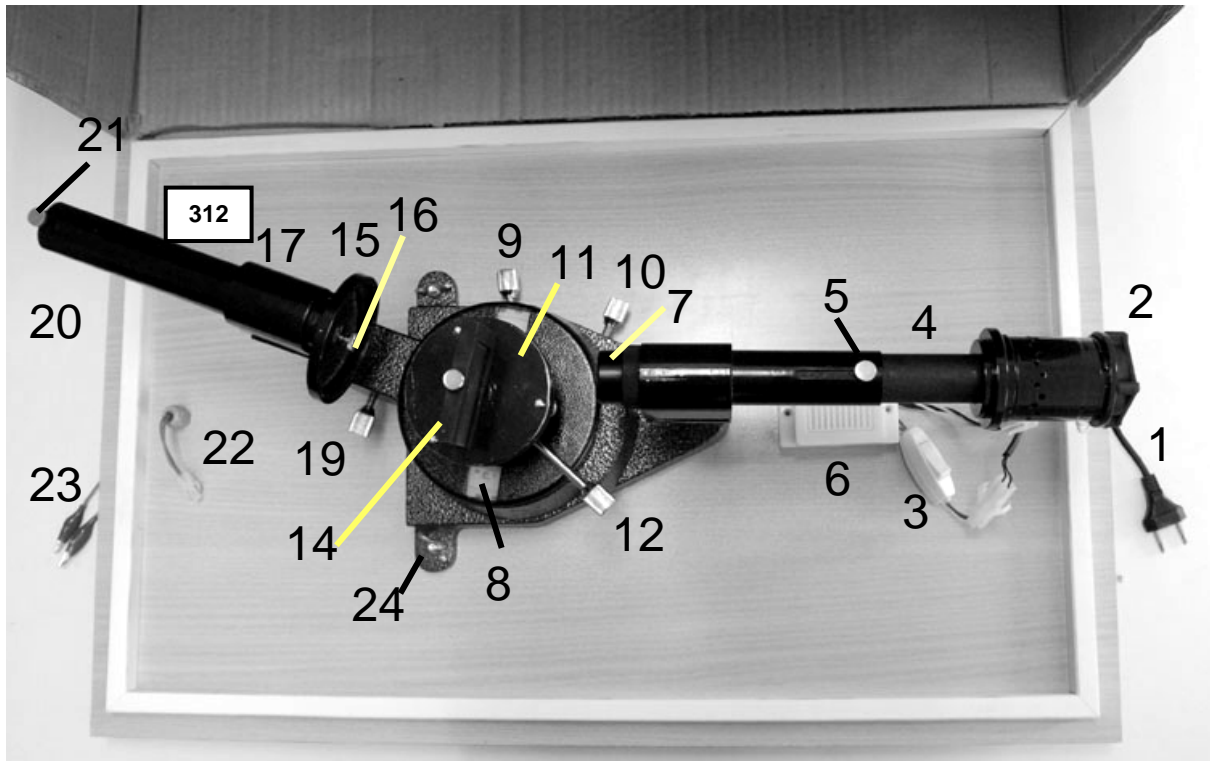


Abbildung 2.

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 1. Netzkabel 2. Halogenlampe samt Kühlung 3. Ein-/Aus-Schalter 4. Arm mit einstellbarer Länge 5. Fixierungsschraube zur Einstellung der Länge 6. Netzteil: Eingang 220V, Ausgang <12V 7. Linse 8. Noniuskala des Winkelmessers 9. Schraube zur Fixierung des Nonius 10. Schraube zur Justierung des Nonius 11. Drehbühne für das Gitter 12. Schraube zur Fixierung der Drehbühne 13. Schraube zur Justierung der Höhe der Drehbühne (s. Abbildung 4) | <ul style="list-style-type: none"> 14. Gitterhalter 15. Probenhalter 16. Schraube zur Fixierung und Einstellung des Probenhalters (Abbildung 6) 17. Schwenkbarer Arm 18. Schraube zur Fixierung des schwenkbaren Arms (Abb. 4) 19. Schraube zur Justierung des schwenkbaren Arms 20. Detektorposition 21. Schraube zur Fixierung des Detektors 22. Verbindungsstecker zum Detektor 23. Verbindung zum Multimeter 24. Schraube zur Fixierung des Instruments am Boden |
|---|---|

Die Nummer, die sich in der oberen linken Ecke des Versuchsaufbaus befindet, ist die **Versuchsaufbau-Nummer**.

Der Winkel zwischen dem schwenkbaren Arm und der Richtung des festen Arms (Nr. 4 in Abbildung 2) kann mit Hilfe des Goniometers (Winkelmesser mit Nonius) gemessen werden. Der Winkelmesser hat eine Auflösung von 30' (Bogenminuten; $1^\circ = 60'$). Das Goniometer erlaubt es, mit Hilfe des Nonius Winkel mit einer Genauigkeit von 5' zu messen.

Zusätzlich zur Apparatur finden Sie einen kleinen Kasten (Probenkasten; Abbildung 3), der die folgenden Komponenten enthält: **1.** Einen Detektor in seinem Halter; **2.** Ein Gitter mit 600 Linien/mm; **3.** Ein beschichtetes Glasplättchen (Probe) und ein unbeschichtetes Glasplättchen (Substrat) auf einem Halter.

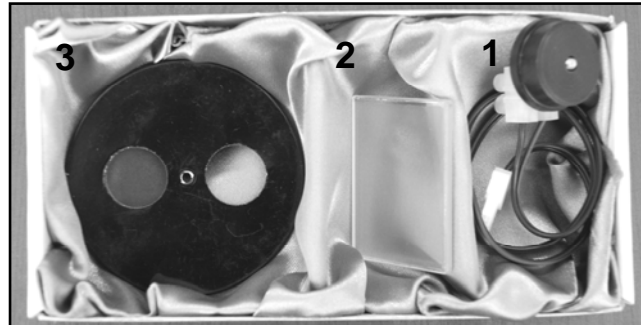


Abbildung 3. Der Probenkasten, der den Probenhalter, das Beugungsgitter und den lichtabhängigen Widerstand (Photowiderstand) enthält.

Nehmen Sie das Gitter aus der Verpackung und führen Sie es sorgfältig in den Rahmen (Gitterhalter) ein (Abbildung 4).

VORSICHT: Falls die Oberfläche des Gitters angefasst wird, kann dadurch seine Beugungseffizienz reduziert und das Gitter dauerhaft beschädigt werden!

Es gibt drei Justierungsschrauben (Abbildung 4), mit denen das Gitter in eine senkrechte Position gebracht werden kann.

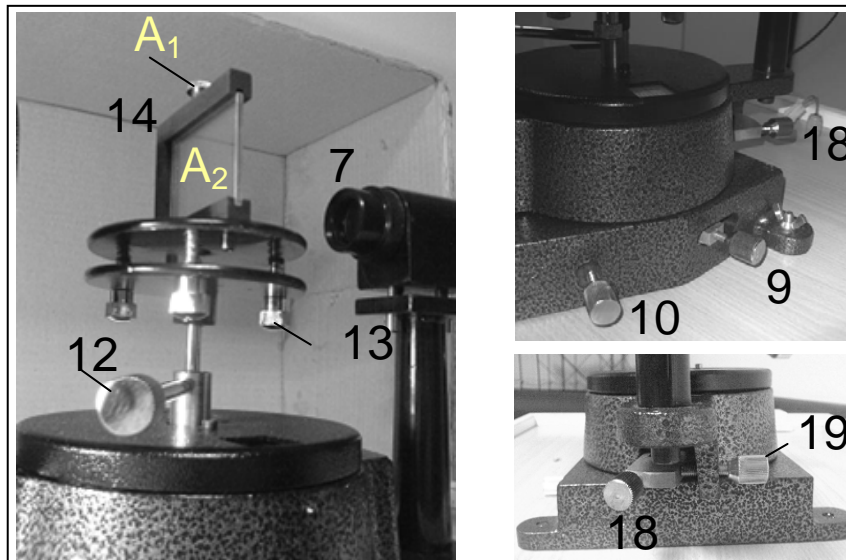


Abbildung 4. Fixierungs- und Justierungsschrauben. A₁: Fixierungsschraube für das Gitter, A₂: Das Gitter. 7, 9, 10, 12-14, 18 and 19 sind in Abbildung 2 beschrieben worden.

Der Detektor muss an seinem Platz am Ende des schwenkbaren Armes fixiert werden (Abbildung 5).

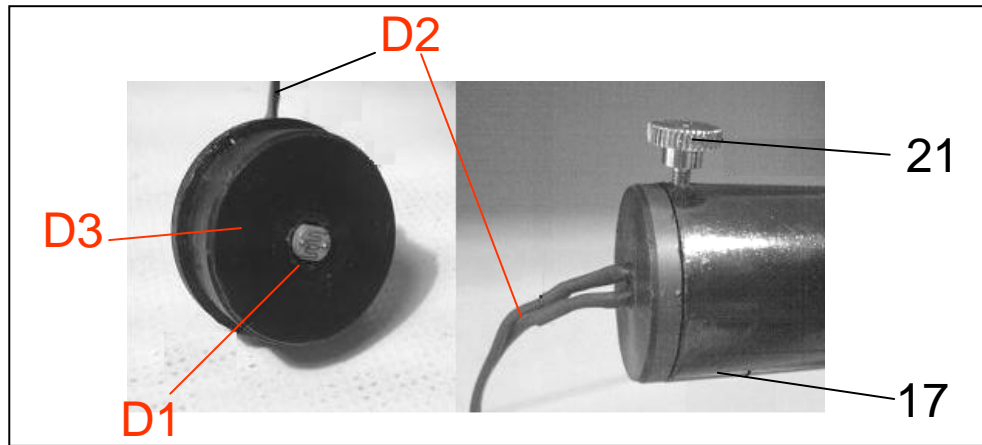


Abbildung 5. Der Detektor mit Halter. D₁: Lichtabhängiger Widerstand (Photowiderstand); D₂: Verbindungskabel; D₃: Detektorhalter. Siehe Abbildung 2 für 17 und 21

Die Probe und das unbeschichtete Glas-Substrat sind auf einem Halter angebracht (Abbildung 6c), der mit einer Schraube vor dem Eingangsloch befestigt wird (Komponente 16 in Abbildung 6a). Der Rahmen kann um die Fixierungsschraube (16) gedreht werden, um entweder die Probe oder das unbeschichtete Glas-Substrat vor das Eingangsloch zu bringen.

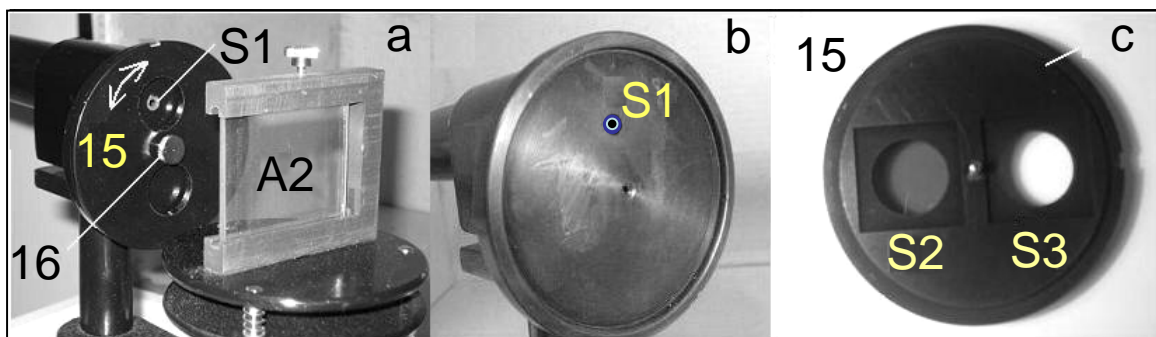


Abbildung 6 . a) Gitter im Halter (A2); Probenhalter (15). **b)** Ende des schwenkbaren Armes mit Eingangsloch (S1) und Gewinde zum Befestigen des Probenhalters. **c)** Probenhalter mit Probe (S2) und Glas-Substrat (S3).

Siehe Abbildung 2 für 16.

In Abbildung 7 sehen Sie das Universalmessgerät (Multimeter), mit welchem Sie den jeweiligen Widerstandswert des Photowiderstandes messen können. Dieses Multimeter kann bis zu 200 M Ω messen. Das rote und das schwarze Kabel müssen, wie in Abbildung 7, mit dem Multimeter verbunden werden. Der Ein-/Aus-Schalter befindet sich auf der linken Seite des Multimeters (Abbildung 7, Komponente M1).

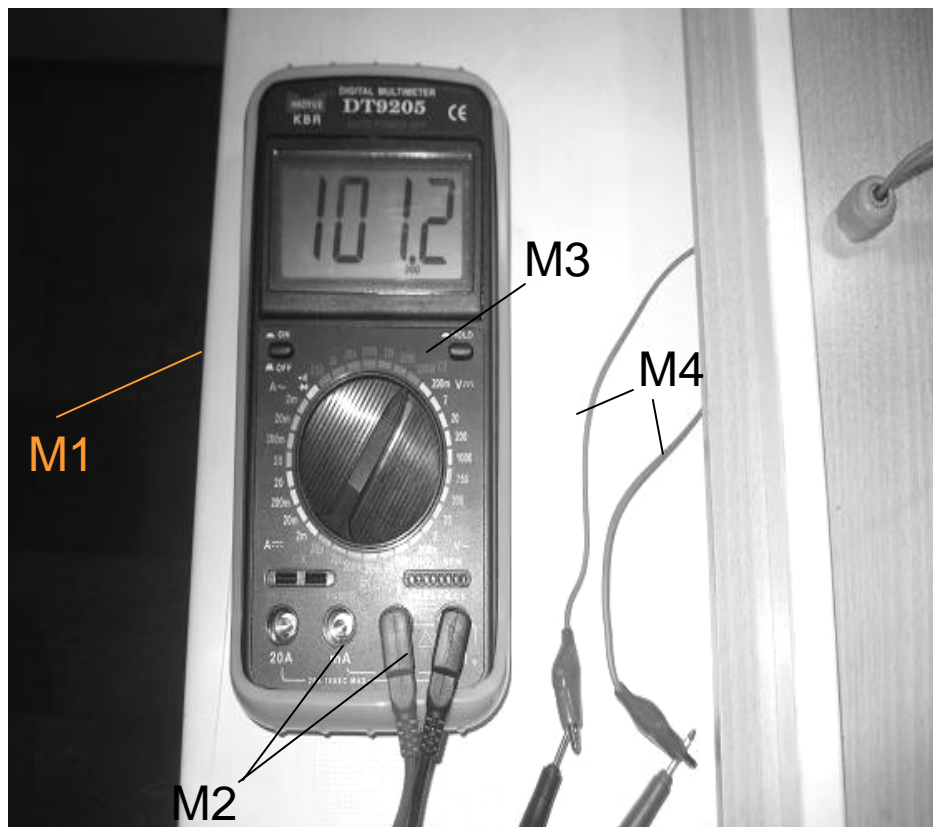


Abbildung 7. Das Multimeter zur Messung des Photowiderstandes. M1: Ein-/Aus-Schalter; M2: Kabel mit Messspitzen; M3: “Hold”-Knopf; M4: Verbindungskabel zum Photowiderstand.

Hinweis: Das Multimeter hat eine “Auto-Off”-Funktion. Wenn sich das Multimeter selbst ausgeschaltet hat, müssen Sie den Ein-/Aus-Schalter zweimal drücken.

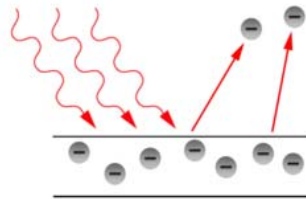
❖ Der “Hold”-Knopf sollte während des Experiments nicht gedrückt sein.

Experimentelle Aufgabe

Bestimmung der Energielücke (Bandlücke) einer dünnen Halbleiterschicht

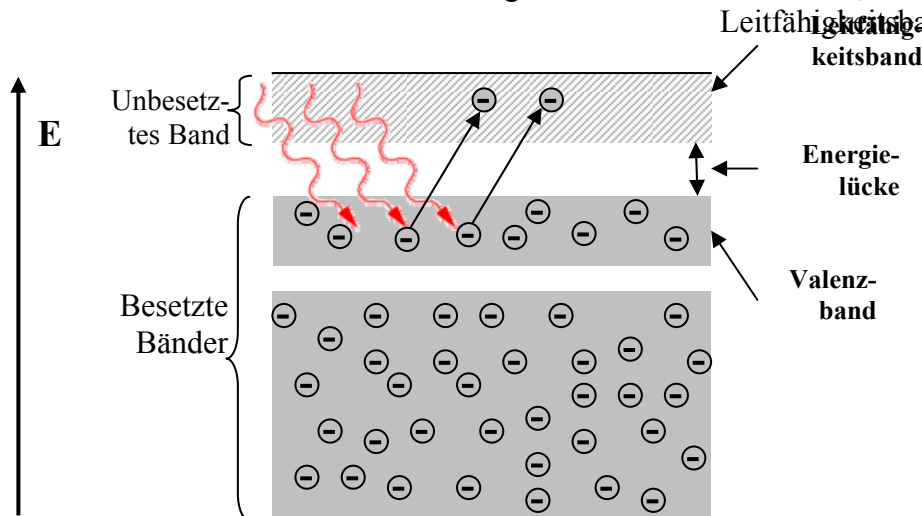
I. Einführung

Halbleiter können als Stoffe charakterisiert werden, deren elektrische Eigenschaften zwischen den Eigenschaften von Leitern und Isolatoren (Nicht-Leitern) liegen. Um die elektrischen Eigenschaften von Halbleitern zu verstehen, können wir mit dem *photoelektrischen Effekt* als einem gut bekannten Phänomen beginnen. Der photoelektrische Effekt ist ein quantenphysikalisches Phänomen. Dabei werden Elektronen aus einem Material durch Absorption genügend energiereicher Photonen emittiert. Die kleinste nötige Energie zur Emission eines Elektrons (*Photoelektron*) aus einem mit Licht bestrahlten Metall nennt man „*Austrittsarbeit*“. Folglich können nur die grösser oder gleich einer charakteristischen ν Photonen ab einer Frequenz $h\nu$ Grenzfrequenz ist, Elektronen ausschlagen, d.h. nur Photonen ab einer Energie $h\nu$ ist die grösser oder gleich der Austrittsarbeit des Materials ist. (Konstante)



. Darstellung einer photoelektrischen Emission aus einer Metallplatte: Das einfallende Photon muss eine Energie besitzen, die grösser oder gleich der Austrittsarbeit des Materials ist.

Das Konzept der Austrittsarbeit beim photoelektrischen Effekt ist ähnlich dem Konzept einer Energielücke (Bandlücke) eines Halbleitermaterials. In der Festkörperphysik dem Energieunterschied zwischen der Obergrenze des Valenzbandes und der Untergrenze des Leitfähigkeitsbandes eines Isolators bzw. eines Halbleiters. Das Valenzband ist vollständig mit Elektronen besetzt, während das Leitfähigkeitsband leer ist.



. Schematische Darstellung der Energiebänder eines Halbleiters

Trotzdem können Elektronen vom Valenzband zum Leitfähigkeitsband übergehen, falls sie ausreichend Energie erhalten (mindestens so viel Energie wie die Energie der Bandlücke beträgt). Die Leitfähigkeit der Halbleiter hängt stark von ihrer Energielücke ab.

In diesem Experiment werden wir die Energielücke (Bandlücke) einer dünnen Halbleiterschicht vermessen, die aus Ketten von Nanoteilchen aus Eisenoxid (Fe_2O_3) besteht. Dabei wird eine optische Methode verwendet. Um die Bandlücke zu vermessen, untersuchen wir die optischen Absorptions-Eigenschaften einer transparenten Halbleiterschicht mit Hilfe ihres optischen Transmissionsspektrums. Absorptionsspektren zeigen einen signifikanten Anstieg, wenn die Energie der einfallenden Photonen gleich der Energielücke (Bandlücke) ist.

II. Versuchsaufbau

Auf Ihrem Tisch befindet sich folgendes Material:

1. Ein grosser weisser Kasten, der ein Spektrometer und eine Halogenlampe enthält.
2. Ein kleiner Kasten (Inhalt siehe unten)
3. Ein Multimeter (Universalmessgerät)
4. Ein Taschenrechner
5. Ein Lineal
6. Eine rechteckige Lochblende aus Karton
7. Ein Satz unbeschrifteter Klebe-Etiketten

Das Spektrometer enthält ein Goniometer (Winkelmesser mit Nonius-Skala) mit einer . Die Halogenlampe dient als Lichtquelle und ist auf dem 5' Genauigkeit von unbeweglichen Arm des Spektrometers befestigt. (Detaillierte Informationen finden Sie in der beigelegten „Beschreibung des Versuchsaufbaus“).

Der kleine Kasten enthält folgende Gegenstände:

1. Einen Probenhalter mit zwei Fenstern: In einem der beiden Fenster befindet sich ein mit Fe_2O_3 beschichtetes Glasplättchen (Probe), im anderen ein unbeschichtetes Glasplättchen (Glas-Substrat).
2. Einen Photowiderstand, der auf einem Halter montiert ist und als Lichtdetektor dient.
3. Ein transparentes Beugungsgitter (600 Linien/mm).

Vorsicht: *Vermeiden Sie, die Oberfläche der verschiedenen Komponenten im kleinen Kasten anzufassen!*

Skizze des Versuchsaufbaus:

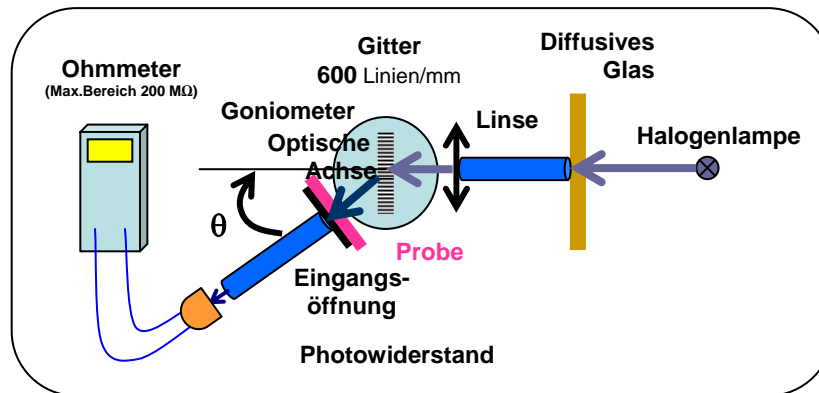


Abbildung 3. Schematisches Diagramm des Versuchsaufbaus.

III. Versuchsdurchführung

Um die Lichtdurchlässigkeit (Transmission) einer Schicht für jede beliebige Wellenlänge zu erhalten, kann man folgende Formel benutzen: $T_{Schicht}(\lambda)$

$$)1 (\quad T_{Schicht}(\lambda) = I_{Schicht}(\lambda) / I_{Glas}(\lambda)$$

die Intensität des durch das beschichtete Glasplättchen (Probe) $I_{Schicht}$ Dabei ist ist die Intensität des durchgegangenes Lichtes I_{Glas} hindurchgegangenen Lichts und kann gemessen werden, I durch das unbeschichtete Glasplättchen. Der Betrag von indem man einen Lichtdetektor also z.B. einen Photowiderstand verwendet. In einem Photowiderstand nimmt der elektrische Widerstand ab, wenn die Intensität des mit Hilfe der folgenden I einfallenden Lichtes zunimmt. Hier kann der Betrag von Beziehung bestimmt werden:

$$)2(\quad I(\lambda) = C(\lambda)R^{-1}$$

-abhängiger λ ein C der Widerstand des Photowiderstandes und R Dabei ist Koeffizient.

Das transparente Gitter des Spektrometers beugt verschiedene Wellenlängen des Lichtes zu λ als Funktion von T unter verschiedenen Winkeln. Um Änderungen von) zwischen dem Photowiderstand und θ' untersuchen, reicht es, wenn man den Winkel (der optischen Achse ändert. Die optische Achse entspricht dem unbeeinflussten Lichtstrahl durch die Anordnung, wie in Abbildung 4 dargestellt.

Aus der Gleichung für die Maxima bei der Beugung des Lichtes an einem optischen Strichgitter

$$)3(\quad n\lambda = d[\sin(\theta' - \theta_0) + \sin \theta_0]$$

ist hier eine n entspricht: λ ermitteln, der einem bestimmten θ' kann man den Winkel ist θ_0 ist die Gitterkonstante und d ganze Zahl, die die Ordnung der Beugung darstellt, der Winkel zwischen dem Normalenvektor der Gitterebene und der optischen Achse (siehe Abb. 4).

Für diesen Versuch soll das Gitter möglichst senkrecht zur optischen Achse ausgerichtet). Da dies aber nicht exakt erreicht werden kann, wird der Fehler dieser θ_0 werden (Justierung in Aufgabe 1-e bestimmt.

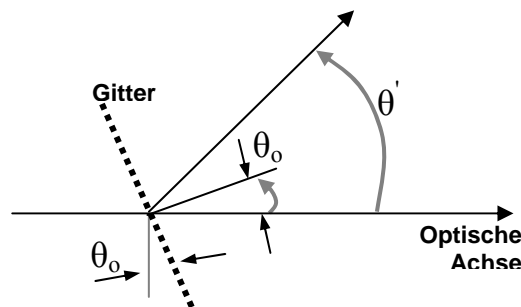


Abbildung 4. Definition der Winkel in der Gleichung 3

Experimentell wurde gezeigt, dass für Photonenenergien, die ein bisschen grösser als die Energie der Bandlücke sind, folgende Beziehung gilt:

$$)4(\quad \alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^\eta$$

eine vom Schichtmaterial abhängige A der Absorptionskoeffizient der Schicht, α wobei eine vom Absorptionsmechanismus des Schichtmaterials und deren η Konstante und Struktur bestimmte Konstante ist. Die Lichtdurchlässigkeit (Transmission) steht in durch die Absorptionsbeziehung: α Relation mit dem Betrag von

$$)5(\quad T_{film} = \exp(-\alpha t)$$

die Dicke der Schicht. (t = "thickness") t Hier ist

IV. Aufgaben:

0. Ihre Apparatur und Ihr Probenkasten (der kleine Kasten, der den Probenhalter enthält) sind mit Nummern gekennzeichnet. Schreiben Sie die **Versuchsaufbau-Nummer** und **Probenkasten-Nummer** in das vorgesehene Kästchen auf Ihren Antwortbogen.

1. Justierung und Messungen:

1-a) Ihres $\Delta\theta$ • Überprüfen Sie die maximale Ablesegenauigkeit (Goniometers anhand der Noniusskala. Geben Sie diese im Antwortbogen an.	0,1 P.
------------	---	--------

Hinweis: Lupen sind auf Nachfrage erhältlich.

Schritt 1:

Beginnen Sie das Experiment, indem Sie die Halogenlampe einschalten, damit sie sich aufwärmt. Schalten Sie die Lampe nach Möglichkeit während des Experiments nicht wieder aus. Da die Halogenlampe im Betrieb sehr heiss wird, seien Sie bitte vorsichtig und fassen Sie die Lampe nie an.

Platzieren Sie die Lampe möglichst weit von der Linse weg. Dies erzeugt parallele Lichtstrahlen.

Führen Sie eine grobe Nulljustierung des Goniometers ohne Benutzung des Photowiderstandes durch. Lösen Sie dazu den schwenkbaren Arm mit der Schraube 18 und richten Sie ihn so gut wie möglich entlang der optischen Achse aus. Fixieren Sie den Arm mit der Schraube 18. Entsperren Sie den Winkelmesser mit Schraube 9 und drehen Sie die Skala auf 0. Fixieren Sie nun die Noniusskala mit Schraube 9 und benutzen Sie die Feinjustierungsschraube des Winkelmessers (Schraube 10), um die Nullstellung des Winkelmessers einzustellen. Setzen Sie nun das Gitter in seinen Halter. Drehen Sie den Halter, bis das Gitter ungefähr senkrecht auf der optischen Achse steht. Platzieren Sie die Lochblende direkt vor der Lichtquelle, und zwar so, dass der einfallende Lichtstrahl durch das Loch auf das Gitter fällt. Drehen Sie das Gitter vorsichtig, bis der reflektierte Lichtstrahl mit dem einfallenden Lichtstrahl zusammenfällt (koinzidiert). Fixieren Sie nun den Gitterhalter mit Hilfe von Schraube 12.

1-b	• Schätzen Sie die Genauigkeit dieser Justierung ($\Delta\theta_o$) ab. Messen Sie dazu den Abstand zwischen Loch und Gitter.	0,3 P.
	• Drehen Sie nun den schwenkbaren Arm und bestimmen Sie damit den Winkelbereich, bei dem die erste Beugungsordnung des sichtbaren Lichtes (von blau zu rot) beobachtet wird. Notieren Sie diesen Winkelbereich.	0,2 P.

Schritt 2:

Befestigen Sie nun den Photowiderstand am Ende des schwenkbaren Armes. Richten Sie das System mit Hilfe des Photowiderstands entlang der optischen Achse aus, indem Sie die Fixierung des schwenkbaren Armes durch Schraube 18 lösen und diesen vorsichtig so drehen, dass der Wert des Photowiderstandes minimal wird. Fixieren Sie den Arm durch Schraube 18 und benutzen die entsprechende Schraube zur Feinjustierung des schwenkbaren Armes.

Benutzen Sie dann die Feinjustierungsschraube des Winkelmessers, um die Nullstellung des Winkelmessers (den Offset) auf die gefundene Position zu bringen und so die Nullstellung zu korrigieren.

1-c	<ul style="list-style-type: none">Notieren Sie den minimalen Wert des Photowiderstandes ($R_{\min}^{(0)}$).	0,1 P.
	<ul style="list-style-type: none">Ihre Nulljustierung ist nun präziser. Geben Sie die Genauigkeit ($\Delta\varphi_o$) dieser neuen Justierung an. ist der Fehler in der Festlegung der optischen Achse, $\Delta\varphi_o$ Beachte: d.h. es gibt an, in welchem Ausmass der drehbare Arm nicht auf der optischen Achse liegt.	0,1 P.

- **Hinweis:** Drehen Sie nach dieser Aufgabe die Fixierungsschrauben des Winkelmessers fest. Fixieren Sie ausserdem den Halter des Photowiderstandes durch Festschrauben und nehmen Sie ihn während des Experiments nicht ab.

Schritt 3:

Bewegen Sie den schwenkbaren Arm in den Bereich der ersten Beugungsordnung. Bestimmen Sie den Winkel, bei dem der Wert des Photowiderstandes minimal wird (maximale Lichtintensität). Benutzen Sie die Justierungsschrauben an der Platte auf der die Gitterhalterung steht und ändern Sie dadurch vorsichtig die Neigung des Gitters. Auf diese Weise können Sie einen noch niedrigeren Wert für den Widerstand erreichen.

1- c	<ul style="list-style-type: none">Tragen Sie den so erreichten minimalen Wert des Widerstandes in den dafür vorgesehenen Kasten ein.	0.1 P.
------	--	--------

Wichtig! Überprüfen Sie noch einmal, ob das Gitter bei der Nullstellung noch senkrecht ist.

Hierzu müssen Sie die Methode der Überlagerung von Strahl und reflektiertem Strahl (Reflektions-Koinzidenz) aus dem ersten Schritt benutzen.

- **Wichtig:** Führen Sie den Versuch von jetzt an in Dunkelheit durch. Schliessen Sie dazu während jeder Messung die Abdeckung.

Messung: Schrauben Sie den Probenhalter auf den schwenkbaren Arm. Überprüfen Sie die äussere Erscheinung Ihrer Halbleiterschicht (Probe), bevor Sie mit den Messungen so auf dem beweglichen S_1 anfangen. Platzieren Sie die Probe vor die Eingangsöffnung Arm, dass ein gleichmässig beschichtetes Probenstück das Loch überdeckt. Um sicher zu stellen, dass Sie immer mit dem selben Teil der Probe arbeiten, sollten Sie auf dem

Probenhalter und auf dem schwenkbaren Arm mit Etiketten geeignete Markierungen machen.

Beachten Sie: Bei höheren Widerständen benötigt der Wert des Photowiderstandes einige Zeit, bis er sich eingestellt hat. Daher kann es notwendig sein, bei höheren Messbereichen 3 bis 4 Minuten zu warten, bevor der Messwert aufgenommen wird.

1-d	<ul style="list-style-type: none"> Messen Sie den Wert des Photowiderstandes für das unbeschichtete Glasplättchen und für das überzogene Glas mit der Probe als Funktion des Winkels θ. Der Winkel kann am Goniometer als Winkel zwischen dem Photowiderstand und der gefundenen optischen Achse abgelesen werden. Füllen Sie dann Tabelle 1-d aus. Hinweis: Sie benötigen mindestens 20 Datenpunkte im von Ihnen gefundenen Bereich (siehe Aufgabe 1-b). Führen Sie die Messungen im jeweils günstigsten Messbereich des Ohmmeters durch. 	2,0 P.
	<ul style="list-style-type: none"> Geben Sie für jeden Datenpunkt den zugehörigen Fehler an. Für den Fehler dürfen nur die am Ohmmeter abgelesenen Werte verwendet werden. 	1,0 P.

Schritt 4:

Die bis jetzt gewonnene Genauigkeit ist immer noch begrenzt, da eine exakte Ausrichtung des schwenkbaren Armes und/oder eine perfekte senkrechte Einstellung des Gitters auf der optischen Achse unmöglich ist.

Daher existiert immer noch eine Asymmetrie der gemessenen Transmission an den beiden Seiten der optischen Achse (das ergibt sich aus der Abweichung der Normalen auf θ_o). Bearbeiten Sie die folgenden θ_o der Gitteroberfläche von der optischen Achse (Teilaufgaben zur Untersuchung dieser Asymmetrie).

1-e	<ul style="list-style-type: none"> Messen Sie zuerst $T_{Schicht}$ bei $\theta = -20^\circ$. Bestimmen Sie dann Werte von $T_{Schicht}$ bei einigen anderen Winkelwerten um $+20^\circ$. Füllen Sie die Tabelle 1-e aus. (Sie können dazu die Werte in Tabelle 1-d benutzen). 	0,6 P.
	<ul style="list-style-type: none"> Zeichnen Sie einen Graphen, in dem Sie $T_{Schicht}$ gegen θ auftragen, und legen Sie eine Kurve durch die Messpunkte. 	0,6 P.

$T_{Schicht}$ zu bestimmen, für den der Wert von γ Verwenden Sie Ihre Kurve, um den Winkel γ zu bestimmen, für den der Wert von $T_{Schicht}$ gleich dem Wert von $T_{Schicht}$ bei $\theta = -20^\circ$ ist ($\theta = -20^\circ$ bei $T_{Schicht}$ gleich dem Wert von $T_{Schicht}$ bei $\theta = -20^\circ$). D.h., δ mit $+20^\circ$ Differenz zwischen diesem Winkel und $\theta = -20^\circ$ ist $\delta = \gamma - 20^\circ$.

1-e	<ul style="list-style-type: none"> Tragen Sie den Wert von δ in das dafür vorgesehene Kästchen ein. 	0,2 P.
------------	--	--------

Dann kann für die Beugung erster Ordnung die Gleichung (3) wie folgt vereinfacht werden:

$$(7) \quad \lambda = d \sin(\theta - \delta/2)$$

der am Goniometer abgelesene Winkel ist. θ wobei

2. Berechnungen:

2-a	<ul style="list-style-type: none"> Benutzen Sie Gleichung (7), um $\Delta\lambda$ als Funktion der Fehler der anderen Parameter auszudrücken (Nehmen Sie d als exakt an). Drücken Sie ausserdem $\Delta T_{Schicht}$ mittels R und ΔR unter Verwendung der Gleichungen (1), (2) und (5) aus. 	0,6 P.
2-b	<ul style="list-style-type: none"> Geben Sie den Wertebereich für den Fehler $\Delta\lambda$ bei Betrachtung der ersten Beugungsordnung an. 	0,3 P.
2-c	<ul style="list-style-type: none"> Füllen Sie die Tabelle 2-c für jedes θ auf der Grundlage der in Aufgabe 1 gemessenen Parameter aus. Achten Sie darauf, dass die Wellenlänge mit Hilfe von Gleichung (7) berechnet werden muss. 	2,4 P.
2-d	<ul style="list-style-type: none"> Zeichnen Sie in einem gemeinsamen Diagramm sowohl R_{Glas}^{-1} und als auch $R_{Schicht}^{-1}$ als Funktionen der Wellenlänge ein. gibt mittels $R_{Schicht}^{-1}$ und R_{Glas}^{-1} Hinweis: Das Verhalten von bzw. I_{Glas} Gleichung (2) Hinweise auf das Verhalten von $I_{Schicht}$. 	1,5 P.
	<ul style="list-style-type: none"> Tragen Sie die Wellenlängen, bei denen R_{Glas} und $R_{Schicht}$ ihre minimalen Werte annehmen, in die Tabelle 2-d ein. 	0,4 P.
2-e	<ul style="list-style-type: none"> Stellen Sie $T_{Schicht}$ graphisch als Funktion der Wellenlänge dar. Der Graph zeigt die Änderung der Transmission durch die Halbleiterschicht in Abhängigkeit von der Wellenlänge. 	1,0 P.

3. Datenauswertung:

und E_g (eV)^{1/2}/nm in Gleichung (4) können $A=0,071$ und $\eta = 1/2$ Durch Einsetzen von in Einheiten von eV bzw. nm bestimmt werden. Dazu zeichnet man in ein x - y -Koordinatensystem ein geeignetes Diagramm. Anschliessend extrapoliert man im Gültigkeitsbereich der Gleichung (4).

3-a	<ul style="list-style-type: none"> • Verwenden Sie $x = h\nu$ und $y = (\alpha t h\nu)^2$. Füllen Sie die Tabelle 3-a für Wellenlängen um 530 nm und für grössere Wellenlängen aus. Benutzen Sie dazu Ihre Messungen aus der Aufgabe 1. Verwenden Sie für Ihre Ergebnisse (x und y) eine korrekte Anzahl signifikanter Stellen basierend auf einer Fehlerabschätzung bei einem einzigen Datenpunkt. <u>muss in Einheiten von eV und die Wellenlänge muss $h\nu$ Hinweis: in Einheiten von nm berechnet werden.</u> Schreiben Sie die Einheit jeder Variablen in Klammern in die obere Zeile der Tabelle ein. 	2,4 P.
------------	--	--------

3-b	<ul style="list-style-type: none"> • Tragen Sie y gegen x auf. 	2,6 P.
	<ul style="list-style-type: none"> • Beachten Sie, dass der y-Wert mit der Absorption in der Halbleiterschicht zusammenhängt. Legen Sie eine Gerade durch die Punkte im linearen Gebiet um 530 nm. 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Geben Sie den Bereich an, in dem die Gleichung (4) erfüllt ist. Benutzen Sie dazu die maximalen und minimalen Werte der x-Koordinaten, die Sie beim Anlegen der Geraden verwendet haben. Notieren Sie diese Werte. 	

3-c	<ul style="list-style-type: none"> • Bestimmen Sie die Steigung m dieser Geraden. Finden Sie einen Ausdruck für die Dicke (t) der Schicht und ihren Fehler (Δt) unter Verwendung von m und A. Der Fehler von A kann vernachlässigt werden. 	0,5 P.
------------	---	--------

3-d	<ul style="list-style-type: none"> • Bestimmen Sie die Werte von E_g und t und die zugehörigen Fehler in eV bzw. nm. Füllen Sie Tabelle 3-d aus. 	3,0 P.
------------	---	--------

❖ Ein paar physikalische Konstanten, die für Ihre Auswertung nützlich sind:

- Lichtgeschwindigkeit: $c = 3,00 \cdot 10^8$ m/s
- Planck'sche Konstante: $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ J·s
- Elektronenladung: $e = (-)1,60 \cdot 10^{-19}$ C

Aufgabe 0

***Versuchsaufbau-
Nummer:***

--

***Probenkasten-
Nummer:***

--

Aufgabe 1

Tabelle 1-a

$\Delta\theta$	
----------------	--

Tabelle 1-b

$\Delta\theta_0$	
Winkelbereich für die erste Ordnung des sichtbaren Lichtes (Grad) θ	$\leq\theta\leq$

Tabelle 1-c

$R_{\min}^{(0)}$	
$\Delta\varphi_0$	
$R_{\min}^{(1)}$	

Tabelle 1-e

θ	$T_{Schicht}$	θ	$T_{Schicht}$
-20°			

1-e

(Grad) δ	
-----------------	--

Aufgabe 2

2-a

=	$\Delta\lambda$
---	-----------------

= ΔT

2-b

	$(\text{nm}) \leq \Delta\lambda \leq$	
--	---------------------------------------	--

$\lambda_{\max}(I_{Glas})$	
$\lambda_{\max}(I_{Schicht})$	

2-e Graph

3-b Graph

$= x_{\min}$	$= x_{\max}$
--------------	--------------

3-c

$= t$
$= \Delta t$

Tabelle 3-d

Berechnete Werte für E_g und t

$(\text{eV}) E_g$	$(\text{eV}) \Delta E_g$	$(\text{nm}) t$	$(\text{nm}) \Delta t$