

PHYWE Systeme GmbH & Co. KG
Robert-Bosch-Breite 10
D-37079 Göttingen

Telefon +49 (0) 551 604-0
Fax +49 (0) 551 604-107
E-mail info@phywe.de
Internet www.phywe.de

Betriebsanleitung



Das Gerät entspricht
den zutreffenden
EG-Rahmenrichtlinien



Abb. 1: Fotozelle zur Bestimmung des Planck'schen Wirkungsquantums h im Gehäuse

INHALTSVERZEICHNIS

- 1 SICHERHEITSHINWEISE
- 2 ZWECK UND EIGENSCHAFTEN
- 3 FUNKTIONS- UND BEDIENELEMENTE
- 4 BETRIEBSHINWEISE
- 5 HANDHABUNG
- 6 AUSWERTUNG
- 7 TECHNISCHE DATEN
- 8 LIEFERUMFANG
- 9 GERÄTELISTE
- 10 GARANTIEHINWEIS
- 11 ENTSORGUNG

1 SICHERHEITSHINWEISE

- Vor Inbetriebnahme des Gerätes ist die Betriebsanleitung sorgfältig und vollständig zu lesen. Sie schützen sich und vermeiden Schäden an Ihrem Gerät.
- Verwenden Sie das Gerät nur für den vorgesehenen Zweck.

2 ZWECK UND EIGENSCHAFTEN

Die Fotozelle im Gehäuse dient der Untersuchung des äußeren Photoeffektes.

Die Eigenschaften des äußeren Photoeffekts zeigen sich in der Abhängigkeit der Strom-Spannungskennlinie einer Fotozelle von Intensität und Wellenlänge des einfallenden Lichtes.

Photoeffekt wird die Wechselwirkung von Photonen mit Elektronen genannt, bei der ein Photon von einem Elektron absorbiert wird. Das Elektron übernimmt dabei Energie und Impuls des absorbierten Photons.

Wenn sich das Elektron im Inneren einer Substanz nahe der Oberfläche befindet, kann die übernommene Energie dafür ausreichen, dass das Elektron das Material verlassen kann. Diese Elektronenemission einer belichteten Oberfläche wird äußerer Photoeffekt genannt. Bei dem Austritt aus der Substanz verliert das Elektron seine Bindungsenergie. Diese Bindungsenergie wird elektrochemisches Potenzial oder Austrittsarbeit genannt. Sie hängt vom Bindungszustand des reagierenden Elektrons ab. Metalle enthalten viele bewegliche Elektronen im Leitungsband, das bis zum Fermi-Niveau mit Elektronen gefüllt ist und in der Nähe des Fermi-Niveaus gibt es viele Elektronenzustände, die mit Elektronen besetzt sind, die mit Photonen reagieren können. Diese haben alle eine ähnliche Austrittsarbeit. Deshalb emittieren Metalle viele Elektronen, wenn sie mit Photonen ausreichender Energie bestrahlt werden, dass die Elektronen ihre Bindungsenergie überwinden können, also vom Fermi-Niveau in den Außenraum übertreten können.

Die Quanteneffizienz dieses Prozesses ist gering, weil der Impuls des Photons am häufigsten in das Innere des Materials gerichtet ist und noch weitere Stöße hinzukommen müssen, damit das Elektron emittiert wird.

Ohne eine weitere Elektrode lädt sich ein beleuchteter Körper

folglich auf, bis seine dann vorhandene positive Ladung die Elektronen wieder anzieht und zurückfängt.

Eine Fotozelle enthält in einer Hochvakuumröhre eine Kathode mit geringer Austrittsarbeit und eine Anode mit einer für Metalle gewöhnlichen Austrittsarbeit, welche die freigesetzten Elektronen aufnehmen kann.

Da Fotozellen als Lichtdetektoren dienen, ist die Kathode flächig ausgebildet und dem Licht zugewandt, während die Anode so angeordnet ist, dass sie die Kathode möglichst wenig abschattet, aber für die Elektronen gut erreichbar ist.

Wird die Fotozelle kurzgeschlossen, so fließt ein Strom. Da ein Teil der Elektronen von der Kathode selbst wieder eingefangen wird – die Energie der Elektronen ist im Festkörper schließlich geringer als außerhalb, – steigt der Fotostrom an, wenn die Anode gegenüber der Kathode positiv vorgespannt wird. Dann saugt das Feld der Anode die Fotoelektronen ab, bevor sie in die Kathode zurückfallen. Der Fotostrom sättigt bei jener Spannung, die ausreichend ist, alle freigesetzten Elektronen mit der Anode einzufangen. Diese Stromstärke ist der Beleuchtungsintensität streng proportional.

Wenn die Anode gegenüber der Kathode negativ vorgespannt wird, erreichen mit steigender Spannung immer weniger Elektronen die Anode, bis schließlich die Energie der von der Kathode emittierten Elektronen nicht mehr ausreicht, um zur Anode zu gelangen. Die Stromkennlinie der Zelle bei negativer Vorspannung enthält also Informationen über das Energiespektrum der emittierten Elektronen.

Es zeigt sich, dass es eine maximale Elektronenenergie gibt und diese nicht von der Beleuchtungsstärke, sondern von der Wellenlänge des Lichts abhängt.

Dieses Verhalten bestätigt die Quantennatur des Lichts. Durch die Bestimmung der maximalen kinetischen Elektronenenergie in Abhängigkeit von der Lichtfrequenz ergibt sich der lineare Zusammenhang zwischen Lichtfrequenz und Photonenenergie. Die Linearitätskonstante ist das Planck'sche Wirkungsquantum und diese kann somit durch die Messungen bestimmt werden.

Wenn bei negativer Vorspannung ein negativer Strom fließt, stammt der von Elektronen, die ihrerseits per Fotoeffekt aus der Anode herausgelöst wurden. Dieser Strom ist ebenfalls bei Beleuchtung vorhanden und hat seine vom Anodenmaterial abhängige eigene wellenlängen- und intensitätsabhängige Kennlinie. Er ist um ein vielfaches geringer als der Kathodenstrom. Thermische Anregung und Radioaktivität können zu einem Dunkelstrom führen, welcher wiederum um Größenordnungen geringer ist

Damit die Fotozelle einen möglichst großen Fotostrom pro eingestrahelter Lichtintensität abgibt und außerdem auf einen möglichst großen Wellenlängenbereich reagiert, wird die Kathode überzogen mit einem speziellen Material mit besonders niedriger Austrittsarbeit und mit möglichst hoher Elektronendichte nahe der Oberfläche. Außerdem soll das Material eine große Oberfläche haben und ist deshalb im mikroskopischen Maßstab nicht glatt. Solche Materialien verhalten sich nicht unbedingt wie klassische Metalle und insbesondere gehorcht die Energieverteilung der an der Oberfläche von Photonen erreichbaren Elektronenzustände nicht einer einfachen Funktion. Das Ansprechen der Fotozelle auf unterschiedliche Lichtintensität hängt deshalb nicht mit einer einfachen Funktion von der Wellenlänge des Lichtes ab.

Technisch haben Halbleiterdetektoren die Fotozelle als Lichtdetektor aus vielen Bereichen verdrängt, weil Vakuumröhren in der Herstellung deutlich teurer sind als diese und sich nicht ebenso gut miniaturisieren lassen. Außerdem ist die Quanteneffizienz einer Halbleiterzelle deutlich besser.

Für Spezialanwendungen, z.B. bei extremen oder extrem breiten Frequenzbereichen etwa im UV oder unter ungünstigen Umgebungsbedingungen werden diese Röhren weiter ihre Einsatzgebiete finden.

3 FUNKTIONS- UND BEDIENELEMENTE

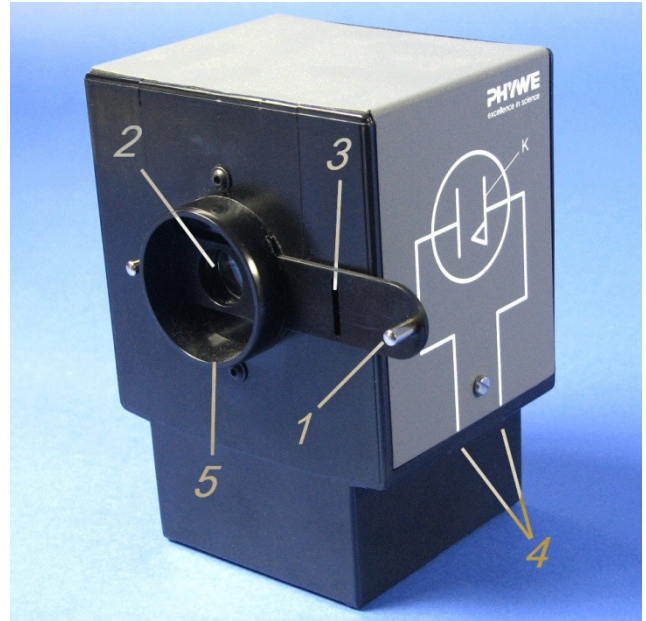


Abb. 2: Funktionselemente der Fotozelle im Gehäuse

- 1 *Schieber für die Öffnung der Fotozelle*
Schieber mit drei Positionen, in mittlerer Position ist die Zelle geschlossen.
- 2 *Runde Eintrittsöffnung*
für maximalen Lichteinfall
- 3 *Eintrittsschlit*
Blende für die Benutzung im Gitterspektrometer
- 4 *Elektrische Anschlüsse der Fotozelle*
zwei 4 mm-Buchsen zum Anschluss von Anode und Kathode, Kathode rechts
- 5 *Blendentubus*
zum Aufstecken von Filter- oder Linsenfassungen

4 BETRIEBSHINWEISE

Zur Messung der I/U -Kennlinien empfiehlt es sich, die Vorspannung U der genauen Regelbarkeit wegen mit Hilfe einer Potentiometerschaltung bereitzustellen.

Da der Fotostrom im μA -Bereich liegt, sollte ein Messverstärker oder ein entsprechend empfindliches Amperemeter verwendet werden, z.B. 07042-00 Vielfachmessinstrument mit Messverstärker, 13620-93 Gleichstrommessverstärker oder 13262-93 Messverstärker universal.

Die Schaltung hat so zu erfolgen, dass der Strom durch den Spannungsmesser nicht mit erfasst wird – er ist bei typischem 1 MOhm Eingangswiderstand genauso groß wie der Fotostrom ($1 \mu A/Volt$) (Spannungsfehlerschaltung).

Die Beleuchtung sollte so erfolgen, dass eine Wellenlänge oder ein Wellenlängenbereich des sichtbaren bis nahen UV Spektrums zur Beleuchtung der Fotozelle ausgewählt werden kann.

Dies kann mit einer Spektrallampe geschehen, die ein Linienspektrum emittiert und die jeweiligen Linien können mit Farb- oder Interferenzfiltern selektiert werden.

Oder es wird eine Glühlampe als breitbandige Lichtquelle verwendet. Interferenzfilter oder ein Gitterspektrometer können dann zur Selektion eines Wellenlängenbereiches verwendet werden.

Ab. 3 zeigt ein Beispiel der Verkabelung für die Aufnahme einer I/U -Kennlinie mit Hilfe des Universal-Messverstärkers 13626-93.

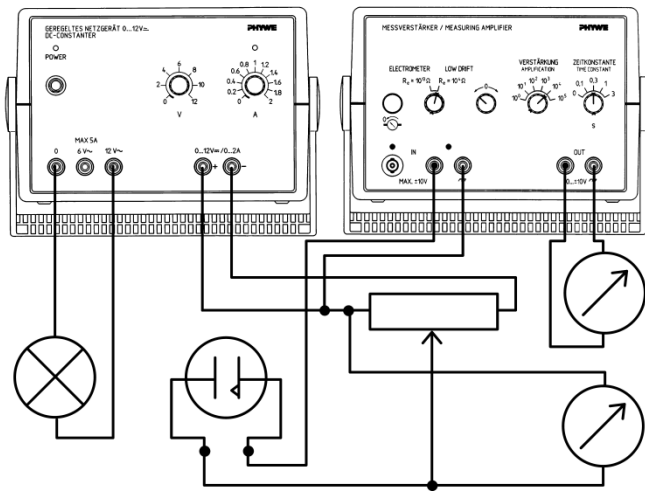


Abb. 3: Schaltung für die Aufnahme einer I/U -Kennlinie

5 HANDHABUNG

Die Fotozelle kann mit Hilfe des beiliegenden Stieles in einem Reiter auf einer optischen Bank gehalten werden z.B. um ein auf einer optischen Bank aufgebautes Gitterspektrometer zur Lichtwellenlängenselektion zu verwenden oder sie kann direkt auf den Tisch gestellt werden.



Abb. 4: Beispiel eines Versuchsaufbaus mit Interferenzfiltern

Beispiel für die Versuchsdurchführung mit dem Aufbau aus Abb. 4:

- Verstärker stellen auf "Low drift"-Modus, Verstärkung 10^4 , Zeitkonstante 0,3 s
- Nullpunkt des Messverstärkers überprüfen: Die Anzeige des Multimeters durch Drehen am Nullpunktsteller des Verstärkers auf null bringen, wenn nichts an den Verstärkereingang angeschlossen ist
- Die Stromversorgung auf 3 V und 1 A einstellen
- Einen der Interferenzfilter jeweils auf die Fotozelle aufstecken
- Das Fotozellengehäuse direkt vor die Lampe stellen, die runde Öffnung mit dem Schieber vor die Fotozelle bringen
- Die Ausgangsspannung des Verstärkers in Abhängigkeit der Vorspannung an der Fotozelle notieren, Vorspannung 0...3 V
- Die Ausgangsspannung des Verstärkers ist proportional zum Fotostrom, bei 10 kOhm Eingangswiderstand des Verstärkers entspricht 1 V am Ausgang bei Verstärkung

10^4 einer Stromstärke von 10 nA

- Insbesondere denjenigen Wert der Vorspannung notieren, an dem der Fotostrom auf null abfällt und diesen über der Wellenlänge des verwendeten Lichtes (Mittenwellenlänge des Interferenzfilters) auftragen
- Mit dem nächsten Interferenzfilter fortfahren

6 AUSWERTUNG

Die einfallenden Photonen bringen die Energie $h f$ mit, die nach dem Austreten aus der Kathode sich aufteilt auf die Austrittsarbeit aus der Kathode W_K und die kinetische Energie der Elektronen W_{kin} (falls sonst keine Stöße die Elektronen bremsen)

$$h f = W_K + W_{kin} \quad (1)$$

und die kinetische Energie W_{kin} wird im Falle des Stromnullpunktes $I = 0$ genau aufgebraucht beim Anfliegen gegen das Feld der zugehörigen Vorspannung U_0 und das unbekannte Feld der Kontaktspannung U_{AK} zwischen Anode und Kathode,

$$e(U_0 + U_{AK}) = W_{kin} \quad (2)$$

mit der Elektronenladung $e = 1.602 \cdot 10^{-19}$ As.

Für die Kontaktspannung gilt:

$$e U_{AK} = e(U_A - U_K) = W_A - W_K \quad (3)$$

mit den elektrochemischen Potentialen von Anode und Kathode U_A und U_K und der Austrittsarbeit der Anode W_A .

Daraus ergibt sich die in der Frequenz f lineare Funktion

$$e U_0 = h f - W_A \quad (4)$$

oder

$$U_0 = \frac{h}{e} \cdot f - U_A \quad (5)$$

mit den Konstanten h und W_A . Durch Auftragen der gemessenen Nullpunktsspannung U_0 über der Lichtfrequenz kann aus der Steigung des Grafen die Planck'sche Konstante h geteilt durch die Elementarladung e .

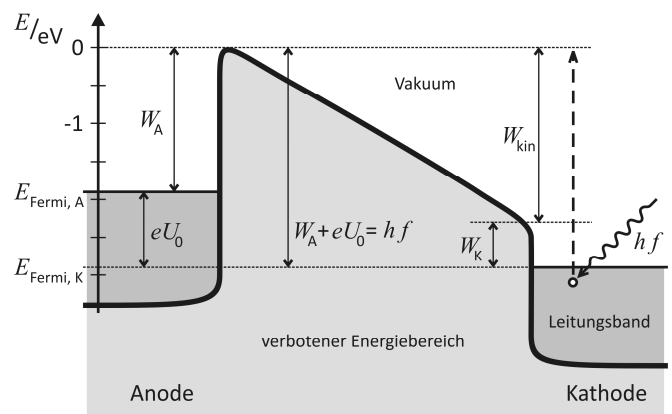


Abb. 5: Energiediagramm für Elektronen, welches die Verhältnisse in der Fotozelle bei Einfall von Licht der Wellenlänge $\lambda = 436$ nm zeigt, wobei die Vorspannung so groß ist, dass kein Strom mehr fließt. Es liegt $U_0 = 1$ V an. Die Fermi-Niveaus von Kathode und Anode sind entsprechend um 1 eV verschieden.

Tabelle 1: Messbeispiel

λ / nm	U_0 / V	$f/10^{12}$ Hz
366	-1,50	820
405	-1,20	741
436	-1,00	688
546	-0,50	550
578	-0,40	520

Mit den Daten aus Tabelle 1 ergibt sich die Steigung zu

$$\frac{h}{e} = 0,00366 \text{ V / THz}$$

und damit ein Wert von

$$h = 5,59 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

zu vergleichen mit dem Literaturwert

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

7 TECHNISCHE DATEN

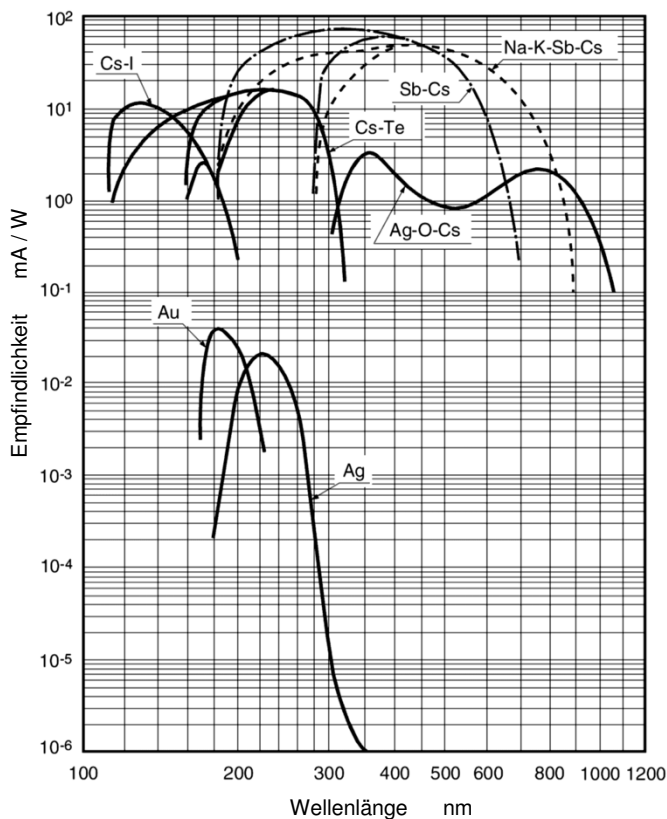


Abb. 6: Empfindlichkeit der verwendeten Sb-Cs-Kathode im Vergleich mit anderen Materialien

Durchmesser aktive Fläche	15 mm
Wellenlängenbereich	185...650 nm
Größte Empfindlichkeit bei	340 nm
Kathodenmaterial	Sb-Cs
Empfindlichkeit	110 $\mu\text{A/lm}$ 70 mA/Watt
Maximaler Kathodenstrom	6 μA
Maximale Spannung	100 V
Betriebsspannung	15 V
Dunkelstrom bei 15 V	2,0 pA
Kapazität	2 pF

8 LIEFERUMFANG

Photozelle mit Gehäuse

Stiel 100 mm x 10 mm mit M 6-Gewinde zur Halterung

9 GERÄTELISTE

(wie Abb. 4)

1 x 06779-00	Fotозelle zur h-Bestimmung, mit Gehäuse
1 x 08461-00	Interferenzfilter, Satz von 3 Stück
1 x 08463-00	Interferenzfilter, Satz von 2 Stück
1 x 11601-00	Experimentierleuchte 5
1 x 13505-93	Netzgerät 0...12 V DC/ 6 V, 12 V AC
1 x 13626-93	Messverstärker universal
1 x 07122-00	Digitalmultimeter
1 x 06114-02	Schiebewiderstand 100 Ohm, 1,8 A
4 x 07361-01	Verbindungsleitung, 32 A, 500 mm, rot
3 x 07361-04	Verbindungsleitung, 32 A, 500 mm, blau
1 x 07361-02	Verbindungsleitung, 32 A, 500 mm, gelb
2 x 07361-05	Verbindungsleitung, 32 A, 500 mm, schwarz
1 x 07363-04	Verbindungsleitung, 32 A, 1000 mm, blau

10 GARANTIEHINWEIS

Für das von uns gelieferte Gerät übernehmen wir innerhalb der EU eine Garantie von 24 Monaten, außerhalb der EU von 12 Monaten. Von der Garantie ausgenommen sind: Schäden, die auf Nichtbeachtung der Bedienungsanleitung, unsachgemäße Behandlung oder natürlichen Verschleiß zurückzuführen sind.

Der Hersteller kann nur dann als verantwortlich für Funktion und sicherheitstechnische Eigenschaften des Gerätes betrachtet werden, wenn Instandhaltung, Instandsetzung und Änderungen daran von ihm selbst oder durch von ihm ausdrücklich ermächtigte Stellen ausgeführt werden.

11 ENTSORGUNG

Die Verpackung besteht überwiegend aus umweltverträglichen Materialien, die den örtlichen Recyclingstellen zugeführt werden sollten.



Dieses Produkt gehört nicht in die normale Müllentsorgung (Hausmüll). Soll dieses Gerät entsorgt werden, so senden Sie es bitte zur fachgerechten Entsorgung an die unten stehende Adresse.

PHYWE Systeme GmbH & Co. KG
Abteilung Kundendienst
Robert-Bosch-Breite 10
D-37079 Göttingen

Telefon +49 (0) 551 604-274
Fax +49 (0) 551 604-246