

A3P Fotoeffekt

Grundlagen

Treffen Photonen der Frequenz f auf Materie, so sind diese bei genügend großer Energie

$$W_P = hf \quad (1)$$

in der Lage, Elektronen aus ihrer Bindung zu befreien. $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ W s}^2$ ist das Plancksche Wirkungsquantum. Besonders einfach gelingt dies bei Metallen und Halbleitern, da in diesen Materialien die äußeren Elektronen nicht fest an die Atome gebunden sind, sondern sich quasifrei in Energiebändern bewegen. Die zur Ablösung dieser Elektronen aus den Bändern benötigte Energie beträgt nur einige eV und kann deshalb meist schon mit sichtbarem, bei manchen Stoffen auch mit infrarotem Licht erfolgen. Werden die Elektronen vom Valenz- ins Leitungsband angeregt, spricht man vom inneren lichtelektrischen Effekt. Dieser findet breite Anwendung in optoelektronischen Halbleiterbauelementen, wie z.B. in Solarzellen. Werden die Elektronen dagegen vollständig aus dem Material befreit, handelt es sich um den äußeren lichtelektrischen Effekt. Dazu muss mindestens die Austrittsarbeit W_A des betreffenden Materials aufgebracht werden. Die zugehörige Frequenz der Photonen ist die Grenzfrequenz

$$f_G = W_A/h. \quad (2)$$

Die die Austrittsarbeit überschreitende Differenzenergie erhalten die ausgelösten Elektronen als kinetische Energie W_{kin} . Die Energiebilanz lautet also

$$W_P = W_A + W_{kin}. \quad (3)$$

Zur technischen Anwendung oder zur Untersuchung des Fotoeffekts kann eine Vakuumfotозelle verwendet werden. Sie besteht aus einem evakuierten Glaskolben, in dem sich zwei Elektroden befinden. Eine Elektrode dient als Fotokathode. Sie ist meist speziell beschichtet, um eine möglichst kleine Austrittsarbeit zu erzielen. Ihr gegenüber befindet sich die Anode, die in der Regel als Drahring ausgeführt ist, so dass das Licht die Kathode erreichen kann.

Werden Elektronen durch Lichteinfall auf die Kathode aus dieser befreit, gelangen einige Elektronen auf Grund ihrer überschüssigen kinetischen Energie zur Anode. Verbindet man Anode und Kathode mit einem Amperemeter, kann ein geringer Strom zur Kathode¹ gemessen werden. Können die Elektronen von der Anode nicht abfließen, baut sich ein elektrisches Gegenfeld auf, welches eine weitere Aufladung der Anode verhindert. Das ist gerade dann der Fall, wenn die überschüssige kinetische Energie der ausgelösten

¹physikalische Stromrichtung

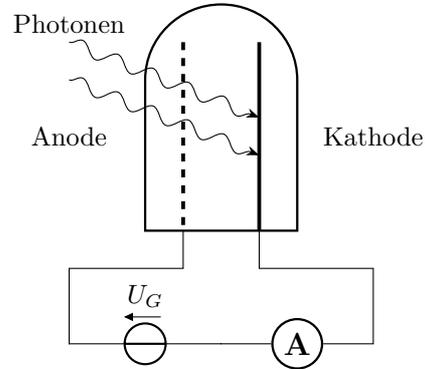


Abbildung 1: Fotозelle mit angelegter Gegenspannung

Elektronen im elektrischen Feld abgebremst wird, so dass sie nicht mehr zur Anode gelangen. Es gilt also

$$W_{kin} = W_{el} = eU_{Feld}. \quad (4)$$

Durch Messung der sich einstellenden Spannung U_G kann so prinzipiell die kinetische Energie der ausgelösten Elektronen bestimmt werden.

Praktisch wird meist der Stromfluss zwischen Anode und Kathode gemessen, welcher durch eine angelegte variable Gegenspannung² zum Verschwinden gebracht wird. Durch Messung der dazu benötigten Gegenspannung U_G in Abhängigkeit der Photonenfrequenz und grafischer Darstellung $eU_G(f) = hf - W_A$, können das Plancksche Wirkungsquantum h als Anstieg und die Austrittsarbeit W_A bzw. die zugehörige Grenzfrequenz f_G als Schnittpunkte mit den Achsen abgelesen werden.

Die Bestimmung der Austrittsarbeit bzw. Grenzfrequenz bedarf jedoch noch einer genaueren Betrachtung. Durch die zu Messzwecken erforderliche elektrische Verschaltung von Anode und Kathode baut sich eine Kontaktspannung

$$U_K = (W_{A,A} - W_{A,K})/e \quad (5)$$

auf, welche der Differenz der Austrittsarbeiten von Anode $W_{A,A}$ und Kathode $W_{A,K}$ proportional ist. Das Wirken dieser Spannung führt bereits zur teilweisen Abbremsung der Elektronen. Die wirkende Feldspannung ist um eben diese Kontaktspannung gegenüber der anliegenden Spannung U_G erhöht.³

$$U_{Feld} = U_K + U_G \quad (6)$$

Setzt man diese Beziehung zusammen mit (4) in (3) ein,⁴ fällt bemerkenswerterweise die Austrittsarbeit der Katho-

²Minuspol der Spannungsquelle an der Anode

³Energetisch betrachtet, haben die freigesetzten Elektronen eine um $W_{A,A} - W_{A,K}$ verringerte kinetische Energie. $W_{kin} = hf - W_{A,A}$. Dies muss bei spektroskopischen Analysen von Fotoelektronen berücksichtigt werden.

⁴Bei der Austrittsarbeit in (3) handelt es sich um $W_{A,K}$.

de aus der Energiebilanz heraus, die mittels Fotoeffekt also nicht experimentell bestimmt werden kann. Stattdessen bestimmt man die Austrittsarbeit der Anode.

Bei umgekehrter Polung der Spannungsquelle⁵ werden die aus der Kathode freigesetzten Elektronen zur Anode hin beschleunigt. Der maximale Stromfluss⁶ wird sich einstellen, wenn alle freigesetzten Elektronen zur Anode gelangen. Für technische Anwendungen werden vorteilhaft gasgefüllte Fotozellen verwendet. In diesen werden bei größeren Beschleunigungsspannungen durch Stoßionisation weitere Ladungsträger erzeugt, so dass deutlich größere Ströme fließen.

Versuchsvorbereitung

- Zusammenhang Wellenlänge, Energie und Frequenz von Photonen
- Beugung und Interferenz am Gitter
- homogenes elektrisches Feld, Feldstärke, Kraft auf Ladungsträger, Energie
- Stromtransport in Gasen
- physikalische und technische Stromrichtung
- Wechselwirkungen von Photonen mit Materie
- Kennlinie einer LED, Bandlücke, Schleusenspannung
- differentieller Widerstand

Aufgaben

- Bestimmen Sie durch Beugung und Interferenz an einem optischen Gitter die Wellenlänge bzw. Frequenz des Lichtes verschiedener LEDs.
- Berechnen Sie mittels Fehlerschätzung den Fehler der ermittelten Frequenzen.
- Messen Sie die sich bei Bestrahlung mit Licht verschiedener Wellenlänge an der Photozelle einstellende Spannung U_G .
- Nehmen Sie Strom- Gegenspannungskennlinien der Fotozelle für verschiedene Wellenlängen auf. Stellen Sie die Abhängigkeiten grafisch dar.
Bestimmen Sie grafisch die Spannung U_G , bei der der Stromfluss verschwindet.
- Stellen Sie die mittels beider Methoden erhaltenen Messwerte $eU_G(f)$ grafisch dar.
Bestimmen Sie grafisch Grenzfrequenz, Austrittsarbeit sowie den Wert des Planckschen Wirkungsquantums.
- Schätzen Sie die Fehler der ermittelten Gegenspannungen und zeichnen Sie diese zusammen mit den Fehlern der Frequenzen als Fehlerkreuze in Ihre Grafik ein.
Schätzen Sie grafisch die Fehler der ermittelten Werte für das Plancksche Wirkungsquantum, die Austrittsarbeit und die Grenzfrequenz ab.

- Nehmen Sie für eine geeignete Wellenlänge die gesamte Kennlinie der Fotozelle bei verschiedenen Beleuchtungsstärken auf und stellen Sie diese grafisch dar.
- Bestimmen Sie die Schleusenspannung der verwendeten LEDs. Messen Sie dazu den differentiellen Widerstand für große Flusströme⁷. Die Schleusenspannung ist durch Extrapolation bei $I = 0$ zu ermitteln.
- Berechnen Sie den Bandabstand der LEDs und mit Hilfe der emittierten Wellenlänge das Plancksche Wirkungsquantum.

⁵Pluspol der Spannungsquelle an der Anode

⁶Sättigungsstrom

⁷Der maximal erlaubte Strom ergibt sich aus den Datenblättern der LEDs. Er wird begrenzt durch interne Widerstände in der LED und einen zusätzlich eingebauten Vorwiderstand