

Strahlungsempfänger

1. Ziel des Versuches:

Kennenlernen von Strahlungsempfängern und Bestimmung der spektralen Empfindlichkeit anhand eines Vergleichsempfängers.

2. Grundlagen:

Strahlungsempfänger sind Bestandteil aller Anordnungen, die optische Strahlung als Indikator für Zustände oder deren Veränderungen benutzen, z.B. bei Lichtschranken, bei der Bestimmung von optischen und lichttechnischen Stoffkennzahlen, bei der Pyrometrie u.s.w. . Vielgebrauchte und robuste Empfänger sind Halbleiterempfänger und Fotozellen bzw. Photomultiplier.

1. Die Fotozelle

Fotozellen arbeiten nach dem Prinzip des äußeren lichtelektrischen Effekts. Die auffallende Strahlung löst Elektronen aus der lichtempfindlichen Kathode, falls die Energie der Lichtquanten größer als die Austrittsarbeit des Kathodenmaterials ist. Nach Einstein besteht zwischen der Energie $h \cdot \nu$ eines Photons, der Austrittsarbeit W_A und der kinetischen Energie $m \cdot v^2 / 2$ der losgelösten Elektronen folgende Beziehung:

$$h \cdot \nu = \frac{m}{2} v^2 + W_A = e \cdot U + W_A \quad (1)$$

Die Kathode ist auf einer metallischen Unterlage oder auf der Innenwand des Zellgefäßes aufgebracht, im Abstand dazu befindet sich die Anode (als Draht, Bügel oder Netz ausgeführt). Die Zellwand besteht aus Glas oder Quarzglas, der Kolben ist entweder evakuiert (Vakuumpfotozelle) oder mit einem Edelgas (meist Argon) gefüllt. Die durch die Strahlung herausgelösten Elektronen werden in dem elektrischen Feld zwischen Kathode und Anode beschleunigt und rufen im äußeren Kreis einen Strom (Fotostrom) hervor.

Meist arbeitet man mit Anodenspannungen von 20-30V, bei besonderen Typen von Fotozellen genügen sogar 2V.

Die spektrale Empfindlichkeit der Fotozellen wird entscheidend durch die Zusammensetzung des Kathodenmaterials bestimmt.

Vor allem wegen ihrer größeren Empfindlichkeit finden fast ausschließlich Fotozellen mit zusammengesetzten Kathoden (z.B. Cs-Sb) Verwendung. Die Empfindlichkeit der Fotozellen ist nicht an allen Stellen der Kathode von gleicher Größe, d.h. sie ist ortsabhängig. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass beim Herstellungsprozess die Bedeckung mit lichtempfindlichem Material nicht völlig gleichmäßig erfolgt.

In der Praxis finden Fotozellen kaum noch Verwendung, es werden die wesentlich empfindlicheren, auf dem Prinzip der Fotozelle aufgebauten, Fotovervielfacher (Photomultiplier) angewendet.

2. Die Fotodiode

In der Fotodiode werden der Sperrschichtfotoeffekt und der innere Fotoeffekt wirksam. Für die Erzielung einer Linearität in einem weiten Messbereich werden Foto-

dioden als Fotoelemente verwendet, wobei sie im Kurzschluss betrieben werden. Somit ist dann nur der Sperrschichtfotoeffekt relevant, durch den bei Bestrahlung in der Sperrschicht Elektronen-Lochpaare gebildet werden. Diese werden durch das vorhandene elektrische Feld getrennt, was im geschlossenen Stromkreis den Fotostrom zur Folge hat. Die größte Verbreitung haben Siliziumfotodioden gefunden (z.B. in Luxmetern, Leuchtdichtemessern, Fotometern). Si-Fotodioden besitzen eine hohe Empfindlichkeit über einen großen spektralen Bereich (200nm-1000nm) und sind über die gesamte Empfängerfläche sowohl in der spektralen als auch in der örtlichen Empfindlichkeit weitgehend konstant.

Eine wichtige Eigenschaft fotoelektrischer Empfänger ist die Empfindlichkeit (Responsibility). Wegen ihrer Wellenlängenabhängigkeit wird sie im Versuch als spektrale Empfindlichkeit $S(\lambda)$ bestimmt. Die Empfindlichkeit kann sowohl auf die spektrale Bestrahlungsstärke als auch auf den spektralen Strahlungsfluss bezogen werden.

3. Versuchsaufbau und Durchführung

Aufbau

1. Bestimmung der spektralen Empfindlichkeit bezogen auf die spektrale Bestrahlungsstärke $E(\lambda)$. Die Messung wird mit einem spektral zerlegenden Gerät (Monochromator) und einem kalibrierten Vergleichsempfänger durchgeführt. Wichtigstes Kriterium, damit die Messung auch auf die spektrale Bestrahlungsstärke bezogen wird, ist eine gleichmäßige Ausleuchtung des Empfängers (Bild 1).

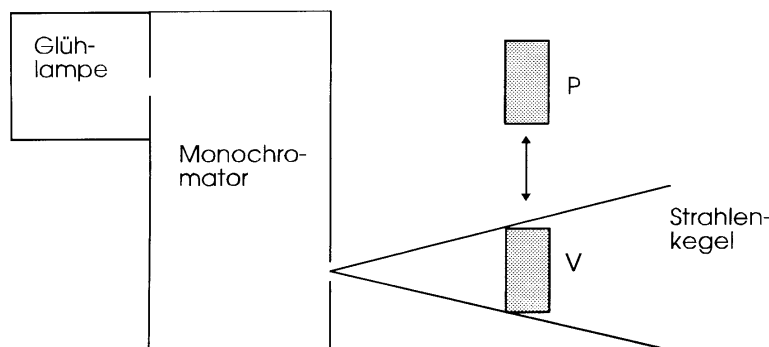


Bild 1:
Aufbau zur Messung der spektralen Empfindlichkeit bezogen auf die Bestrahlungsstärke

Für die vollständige Ausleuchtung der Empfänger gilt:

$$S_{E,P}(I) = \frac{I_P(I)}{E(I)} \quad (2)$$

$$S_{E,V}(I) = \frac{I_V(I)}{E(I)} \quad (3)$$

Unter der Voraussetzung, dass die Bestrahlungsstärke für beide Empfänger gleich groß ist, errechnet sich die spektrale Empfindlichkeit des Prüflings wie folgt:

$$S_{E,P}(I) = \frac{I_P(I) * S_{E,V}(I)}{I_V(I)} \quad (4)$$

$S_{E,V}(\lambda)$ ist im Kalibrierprotokoll (am Arbeitsplatz) gegeben.

2. Bestimmung der spektralen Empfindlichkeit bezogen auf den Strahlungsfluss bei einer Wellenlänge, angegeben in A/W.

Dazu wird die Anordnung so abgewandelt, dass der Austrittsspalt vollständig auf der Empfängerfläche abgebildet wird (Bild 2).

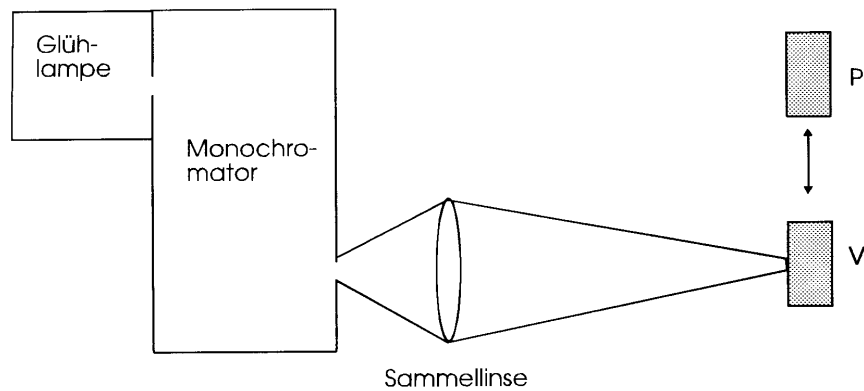


Bild 2:
Aufbau zur Bestimmung der spektralen Empfindlichkeit bezogen auf den Strahlungsfluss

Austrittsspalt auf der Empfängerfläche abbilden!

Dann gelten folgende Beziehungen:

$$S_{\Phi,P}(I) = \frac{I_P(I)}{\Phi(I)} \quad (5)$$

$$\Phi(I) = E(I) * A \quad (6)$$

$$S_{\Phi,P}(I) = \frac{I_P(I)}{I_V(I) * A_V} * S_{E,V}(I) \quad (7)$$

A_V : Fläche des Vergleichsempfängers

3. Beschaltung der Empfänger

Die Fotozelle wird mit einer Spannung von 30 V betrieben und der Fotostrom wird mittels eines empfindlichen Strommessers (MV 40) abgelesen. Die Fotodioden werden im Kurzschluss betrieben und der Fotostrom wird ebenfalls am MV 40 abgelesen. Zu beachten sind die unterschiedlichen Strombereiche für Fotozelle und Fotodiode.

Durchführung:

1. Messen Sie die Fotoströme von der Fotodiode, der Fotozelle, der $V(\lambda)$ -angepassten Fotodiode und der geeichten Fotodiode im Spektralbereich von 400 nm - 650 nm entsprechend der Werte der Eich-tabelle bezogen auf die spektrale Bestrahlungsstärke (Bild1)!

2. Messen Sie die Fotoströme der Fotodiode, der geeichten Fotodiode ($\lambda=400\text{nm}$) und der Fotozelle ($\lambda=580\text{nm}$) bei einer Wellenlänge bezogen auf den spektralen Strahlungsfluss (Bild 2)!

Bestimmen Sie die Empfängerfläche der geeichten Fotodiode (quadratische Fläche).

4. Auswertung

1. Berechnen Sie aus den in der ersten Messreihe (bezogen auf Bestrahlungsstärke) gewonnenen Fotoströmen die entsprechenden spektralen Empfindlichkeiten und stellen Sie diese grafisch dar (Verwenden Sie für die $V(\lambda)$ -Diode einen eigenen Maßstab auf der 2.y-Achse!)
2. Berechnen Sie aus den gemessenen Strömen von Aufgabe 2 die spektralen Empfindlichkeiten bezogen auf Φ (spektralen Strahlungsfluss) und vergleichen Sie diese untereinander!
3. Bestimmen Sie von der Fotozelle die Grenzwellenlänge aus dem entsprechenden Diagramm. Hinweis: Bei Fotozellen verläuft $S(\lambda)$ im Prinzip so wie in Bild 3 gezeigt. Die Fotoelektronen zeigen im langwelligen Bereich einen thermischen Effekt. Deshalb wird λ_g aus einer Extrapolation bestimmt. Berechnen Sie daraus die Austrittsarbeit der Cs-Sb-Kathode nach Gleichung 1 (für $v=0$). Geben Sie den Wert in Elektronenvolt (eV) an!

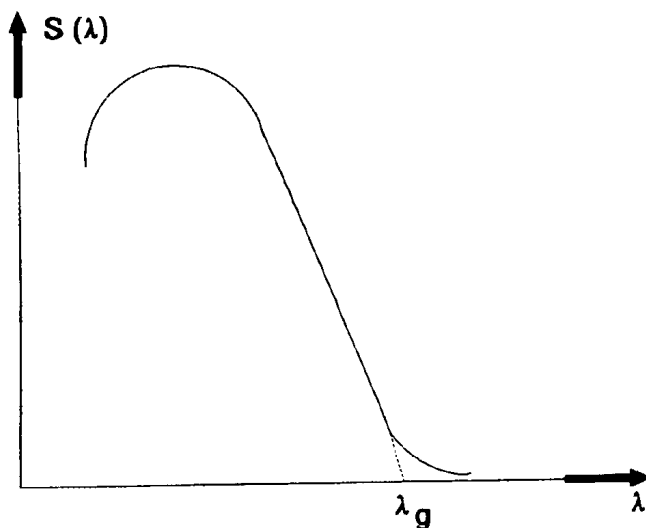


Bild 3:
Prinzipieller Verlauf der spektralen Empfindlichkeit einer Photozelle

4. Berechnen Sie die Quantenausbeute der Fotozelle bei 400nm und der Fotodiode bei 580nm und vergleichen Sie diese miteinander!

5. Vorbereitungsaufgaben

1. Skizzieren Sie den prinzipiellen Aufbau eines Gittermonochromators!
2. Geben Sie einen Überblick über die wichtigsten Typen von Strahlungsempfängern!
3. Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Beleuchtungsstärke und der Bestrahlungsstärke?

6. Literaturangaben

- /1/ Beleuchtungstechnik: Grundlagen, Roland Baer, Verlag Technik, 1990
- /2/ Taschenbuch ET, Band 6, Verlag Technik
- /3/ Lehrbrief: Lichtmesstechnik, Ralf Zimmermann, 1975
- /4/ Licht und Beleuchtung, H.J. Hentschel, Hüthig 1982
- /5/ Grundlagen der Lichtmesstechnik, Erich Helbig, Leipzig 1972