

**Photoleitung in Halbleitern**

Studiengang: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

Set: \_\_\_\_\_ Platz: \_\_\_\_\_

Teilnehmer: \_\_\_\_\_

### Zielstellung

- Ermittlung der Abhängigkeit der Photoleitfähigkeit von Strahlungsflußdichte und Lichtwellenlänge
- Bestimmung der Lebensdauer photoinduzierter Überschlußladungsträger

### 1. Begriffe und Formelzeichen

Nichtgleichgewichtsladungsträger, Photoleitung, Strahlungsflußdichte, Lebensdauer von Ladungsträgern, lineare und quadratische Rekombination

### 2. Versuchsvorbereitung

2.1. Wiederholen Sie die Vorlesung zu den o.g. Themen, insbesondere den Abschnitt 'Photoleitung in Halbleitern'. Machen Sie sich mit den in Punkt 1. angegebenen Begriffen und Formelzeichen vertraut. Machen Sie sich die Zusammenhänge zwischen den angegebenen Größen klar.

2.2. Beantworten Sie folgende Kontrollfragen:

- Worauf beruht die Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit durch Beleuchtung?
- Erklären Sie anhand des Bändermodells die Vorgänge im Halbleiter, die mit der Photoleitung verbunden sind!
- Wie hängt die Leitfähigkeit von der Strahlungsflußdichte und der Lichtwellenlänge ab? Wie unterscheiden sich hierbei Eigenleiter und Störleiter?
- Wie reagiert die Photoleitfähigkeit auf eine sprungartige Änderung der Strahlungsflußdichte?
- Welche Halbleiterwerkstoffe werden für Photowiderstände eingesetzt?

2.3. Machen Sie sich mit der Wirkungsweise der Meßschaltungen in Bild 1 und Bild 3 vertraut.

2.4. Erläutern Sie den Begriff Grenzfrequenz anhand eines passiven Tiefpasses.

### 3. Versuchsdurchführung und -auswertung

#### 3.1. Abhängigkeit des Photowiderstandes von der Strahlungsflußdichte

Bauen Sie die Schaltung nach Bild 1 auf. Bestimmen Sie die Abhängigkeit des Photowiderstandes von der Strahlungsflußdichte für rotes, grünes und blaues Licht. Stellen Sie hierzu die Strahlungsflußdichte über den Strom durch die LED ein. Beschränken Sie sich dafür auf Werte für  $L_e \geq 1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ . Den Zusammenhang zwischen Strahlungsflußdichte und Stromstärke entnehmen Sie den am Arbeitsplatz ausliegenden Diagrammen.

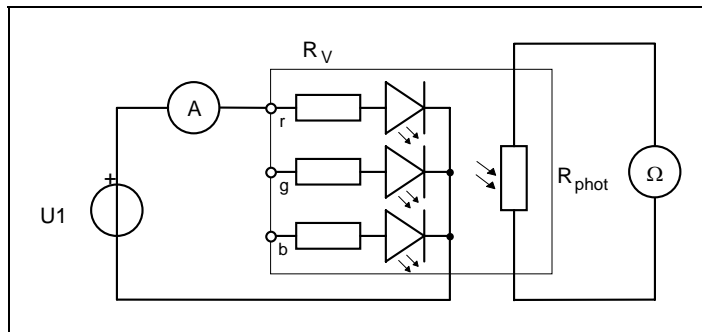


Bild 1: Bestimmung der Abhängigkeit der Photoleitfähigkeit von der Strahlungsflußdichte

Stellen Sie die Abhängigkeit des Leitwertes von der Strahlungsflußdichte  $L_e$  grafisch dar. Benutzen Sie eine logarithmische Darstellung  $\log G_{\text{phot}} = f(\log L_e)$ .

Im Falle des Störleiters liegt lineare Rekombination vor, denn die Rekombinationsrate der Überschußträger ist deren Konzentration proportional, d.h.  $r \sim \delta n$  im p-Leiter oder  $r \sim \delta p$  im n-Leiter. Daraus folgt für die Abhängigkeit des Leitwertes von der Strahlungsflußdichte  $L_e$  ein linearer Zusammenhang

$$G_{\text{phot}} = \text{const.} \cdot L_e \quad /1/$$

Im Eigenleiter ist demgegenüber die Rekombinationsrate proportional dem Produkt der Konzentrationen von Überschüßelektronen und -löchern  $\delta n \delta p$ . Es liegt dann eine quadratische Rekombination vor, die zu einer Abhängigkeit des Photoleitwertes von der Strahlungsflußdichte in der Form

$$G_{\text{phot}} = \text{const.} \cdot L_e^{1/2} \quad /2/$$

führt. Diese Abhängigkeit liefert in der logarithmischen Darstellung eine Gerade mit dem Anstieg 1/2.

$$\log G_{\text{phot}} = \log \text{const.} + \frac{1}{2} \log L_e \quad /3/$$

Stellen Sie anhand der grafischen Darstellungen fest, ob es sich bei dem untersuchten Photoleiter um einen Eigen- oder Störleiter handelt.

Vergleichen Sie die spektrale Empfindlichkeit des Photowiderstandes mit der des menschlichen Auges. Normieren Sie dazu den Leitwert bei jeweils vergleichbarer Strahldichte für alle drei Farben auf den höchsten Wert. Tragen Sie die Werte in das Diagramm der spektralen Empfindlichkeit des Auges ein. Stellen Sie einen Bezug zu diesen Werten her.

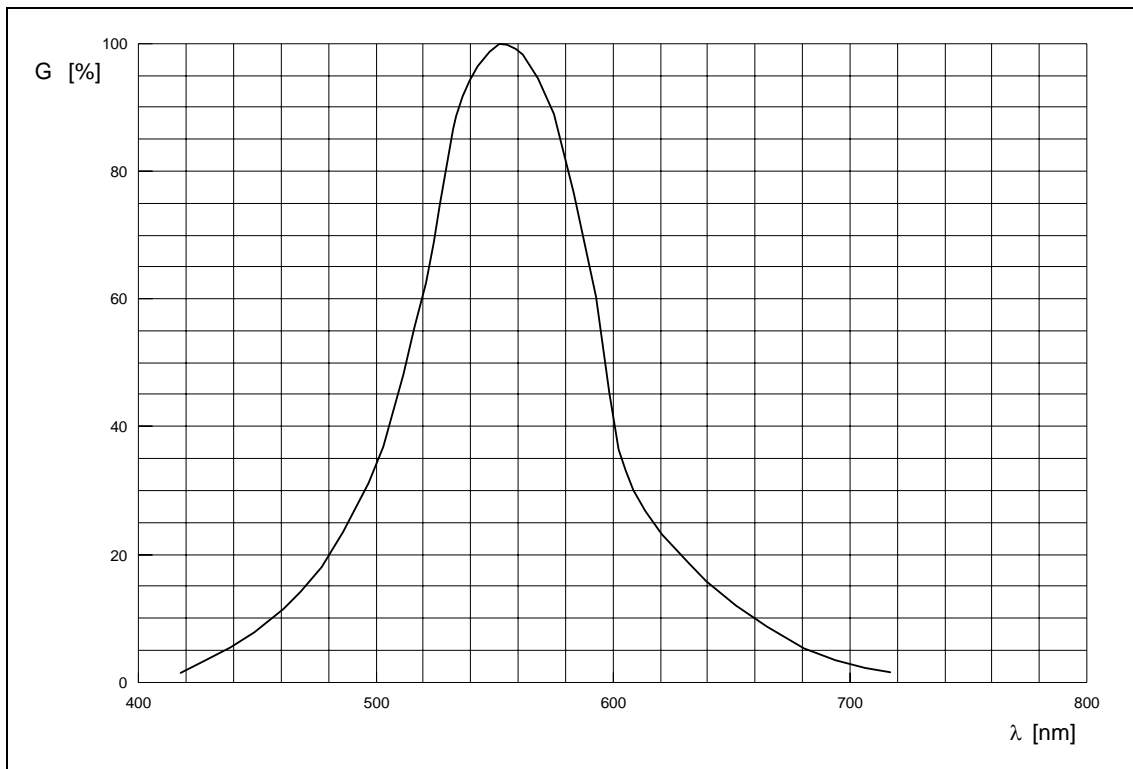


Bild 2: spektrale Empfindlichkeit des menschlichen Auges

### 3.2. Bestimmung der Lebensdauer der photoinduzierten Überschussladungen

Bauen Sie die Meßschaltung nach Bild 3 zur Bestimmung der Lebensdauer der photoinduzierten Überschussladungsträger auf. Stellen Sie die Eingangsspannung und die Spannung am Reihenwiderstand auf dem Oszilloskop dar. Stellen Sie am Funktionsgenerator eine positive Impulsspannung mit der Frequenz  $f=100$  Hz und  $U_1=0,5 V_{SS}$  ein. Erhöhen Sie den Gleichspannungsoffset soweit nach positiven Werten, bis die Spannung über dem Widerstand  $R_M$  dreieckförmig ist.

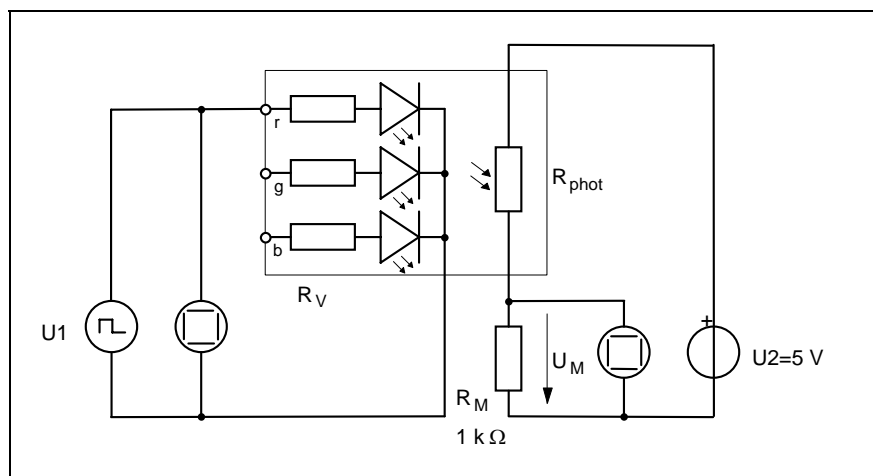


Bild 3: Bestimmung der Lebensdauer der photoinduzierten Überschussladungen

Verringern Sie dann die Frequenz, bis am Photostrom deutlich der Übergang in den stationären Zustand erkennbar wird. Bestimmen Sie mit Hilfe der Cursormessung die Zeit  $t_{1/2}$ , in der die Spannung  $U_M$  auf 50 % des stationären Wertes ansteigt.

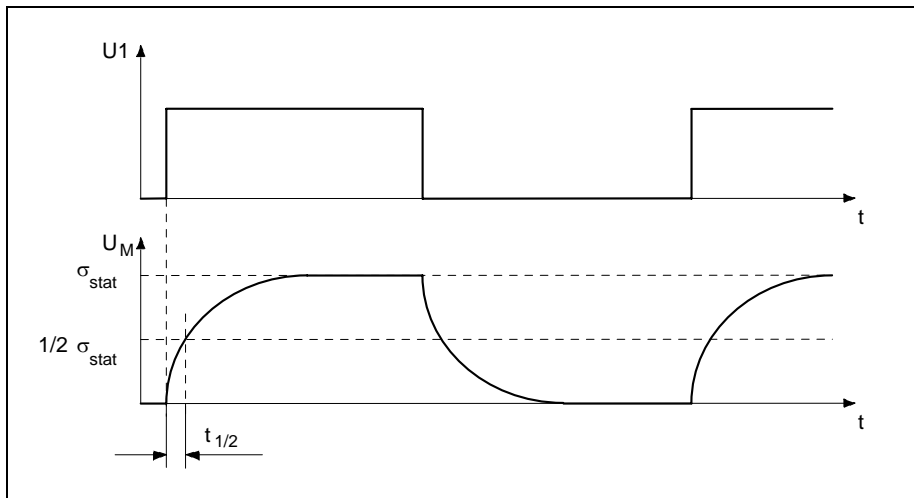


Bild 4: Bestimmung von  $t_{1/2}$  aus dem Oszillogramm

Wie aus der Versuchsschaltung ersichtlich ist, wird die Spannung  $U_M$  gegeben durch

$$U_M = R_M \frac{U_2}{R_M + R_{\text{phot}}} \quad /4/$$

Wenn der Gleichanteil und die Amplitude der Strahlungsflußdichte so klein gehalten wird, daß  $R_M \ll R_{\text{phot}}$  gilt, dann vereinfacht sich Gleichung 4 zu

$$U_M \approx \frac{R_M}{R_{\text{phot}}} U_2 = R_M * U_2 * G_{\text{phot}} \quad /5/$$

Die Spannung  $U_M$  gibt deshalb den zeitlichen Verlauf der Photoleitfähigkeit als Antwort auf eine Änderung der Beleuchtungsstärke wieder. Der Anstieg der Photoleitfähigkeit nach dem Einschalten des Lichtes folgt näherungsweise der Funktion

$$\sigma_{\text{phot}}(t) = \sigma_{\text{stat}} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right] \quad /6/$$

Zum Zeitpunkt  $t_{1/2}$  hat  $\sigma_{\text{phot}}$  50 % von  $\sigma_{\text{stat}}$  erreicht. Die Lebensdauer der Überschussladungsträger berechnet sich aus  $t_{1/2}$  gemäß Gleichung 6 zu

$$\tau = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \quad /7/$$

Bestimmen Sie  $\tau$  aus Ihren Messungen!

Bestimmen Sie die Grenzfrequenz des Photowiderstandes. Gehen Sie von der Frequenz aus, mit der Sie die Messung zur Lebensdauer der Überschussladungsträger durchgeführt haben. Als Kurvenform wählen Sie eine sinusförmige Spannung mit  $U_{AC} = 0,5 V_{SS}$ . Erhöhen Sie am Funktionsgenerator den positiven Gleichspannungsoffset, bis die Spannung über  $R_M$  sinusförmig ist. Berechnen Sie anhand der Amplitude der Spannung über  $R_M$  den Wert, der einem Abfall um 3 dB entspricht. Erhöhen Sie die Frequenz der Eingangsspannung soweit, bis sich dieser berechnete Amplitudenwert eingestellt hat. Notieren Sie den Wert der Grenzfrequenz. Ziehen Sie aus diesem Ergebnis Schlußfolgerungen für die Einsatzmöglichkeiten des Photowiderstandes.