

 <p>Ernst-Abbe-Fachhochschule Jena Hochschule für angewandte Wissenschaften</p> <p>Fachbereich Elektrotechnik / Informationstechnik</p>	<p>Optoelektronik I Laborpraktikum</p>	<p>Versuch 02</p> <p>ET(BA) SS 2012</p>
<p>Fotometrisches Verhalten optoelektronischer Strahlungsempfänger</p>		
<p>Set:</p> <p>Studienrichtung:</p> <p>Teilnehmer:</p> <p>.....</p>	<p>Datum:</p> <p>Testat:</p> <p>.....</p> <p style="text-align: center;">Unterschrift</p>	

Literatur

1. Barabas, U.
Optische Signalübertragung
Oldenbourg Verlag München Wien
1993.
2. Bleicher, M.
Halbleiter- Optoelektronik
Hüthig Heidelberg 1986.
3. Bludau, W.
Halbleiter- Optoelektronik
Carl Hanser Verlag München 1995.
4. Brückner, V.
Optische Nachrichtentechnik
B.G. Teubner Verlag Stuttgart 2003.
5. Bundschuh, B. u. Himmel, J.
Optische Informationsübertragung
Oldenbourg Verlag München 2003.
6. Harth, W./ Grothe, H.
Sende- und Empfangsdioden für die
optische Nachrichtentechnik
B.G. Teubner Stuttgart 1984
7. Jansen, D.
Optoelektronik
Friedr. Vieweg & Sohn Braunschweig/
Wiesbaden 1993
8. Jones, K. A.
Optoelektronik
VCH Verlagsges. Weinheim 1992.
9. Paul, R.
Optoelektronische Halbleiterbauele-
mente
Teubner Stuttgart 1992.
10. Unger, H.-G
Optische Nachrichtentechnik
Teil 2: Komponenten, Systeme, Mess-
technik, 2. Auflg Hüthig Buch Verlag
GmbH, Heidelberg 1992.
11. Voges, E. u. Petermann, K.
Optische Kommunikationstechnik
Springer Verlag Berlin 2002.

1. Versuchsvorbereitung

Die unter diesem Abschnitt aufgeführten Inhalte und Fragen sind so schriftlich aufzubereiten, dass während der Laborübung fachkundig Auskunft gegeben werden kann. Die schriftlichen Ausarbeitungen zu den formulierten Fragen sind mit dem Protokoll über den Laborversuch abzugeben.

Erforderliche Begriffe

Bitte wiederholen bzw. eignen Sie sich folgende Begriffe an.

- Grundgrößen der Strahlungsphysik und Lichttechnik einschließlich des Zusammenhanges der linearen Einheit Watt (W) und logarithmischen Verhältniseinheit Dezibel (dB);
- relative spektrale Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges $V(\lambda)$;
- spektrale und räumliche Empfangscharakteristiken von Fotoempfängern
- Bändermodell von Halbleitern; Halbleitermaterialien für Fotowiderstände, -transistoren und -dioden;
- innerer und äußerer fotoelektrischer Effekt und Absorptionsmechanismen in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichtes;
- Betriebsarten für Fotowiderstände und -dioden sowie deren Vor- und Nachteile;
- Halbleiterstrukturen und Bauformen für Fotodioden (FD) und ihr Einfluss auf deren Eigenschaften.

Fragen

- 1.1 Erklären Sie an Hand einer Skizze des Halbleiter-Bändermodells die Absorptionsmechanismen für optische Strahlung sowie die Einflüsse der Wellenlänge.
- 1.2 Nennen Sie einige wichtige für Strahlungsempfänger verwendete Halbleitermaterialien und deren Eigenschaften.
- 1.3 Beschreiben Sie die verschiedenen für FD üblichen Halbleiterstrukturen und Bauformen, ihre Vor- bzw. Nachteile und Anwendungen.
- 1.4 Erläutern Sie die Begriffe spektralen Empfindlichkeit (responsivity) s , noise equivalent power NEP und Nachweisvermögen D (detectivity) sowie deren Anwendung.
- 1.5 Erläutern Sie die von der Beschaltung von Fotodioden abhängigen unterschiedlichen Betriebszustände und deren Vor- und Nachteile sowie die Anwendungen.
- 1.6 Was ist ein Transimpedanzverstärker? Skizzieren Sie eine einfache Schaltung mittels OPV. Interpretieren Sie in dem Zusammenhang die Empfindlichkeit einer Fotodiode (Stromempfindlichkeit $s[A/W]$) und die Spannungsempfindlichkeit einer Fotodiode mit nachgeschaltetem Transimpedanzverstärker $s'[V/W]$.
- 1.7 Eine Fotodiode (FD) soll als Empfänger für eine Lichtschranke dienen. Sie hat einen Durchmesser von 3.5 mm. Ihr Dunkelstrom beträgt $I_{\text{dunkel}}=1$ nA, während ihre Empfindlichkeit bei einer Wellenlänge von $\lambda=950$ nm $s_0=0,95$ A/W ist. Der Sender (LED) zeigt bei der Wellenlänge $\lambda=950$ nm eine Strahlstärke von $I_0=20$ mW/sr und eine Abstrahlcharakteristik nach $I(\alpha)=I_0\cos^2(\alpha)$. Berechnen Sie den seitlichen Abstand des Empfängers (FD) von der Mitte der Basislinie (in einer senkrechten Entfernung von 4 m vom Sender), der noch einen gegenüber dem Dunkelstrom 10 fach höheren Signalpegel erlaubt. Der Empfänger hat eine Lambert'sche Empfangscharakteristik.

2. Versuchsaufbau und -durchführung

Die unter diesem Abschnitt aufgeführten Aufgaben sind während der für die Laborübung vorgesehenen Zeit zu bearbeiten. Die Vorgehensweise, Berechnungen und Ergebnisse sind schriftlich in einem Protokoll zu fixieren.

2.1 Kalibrierung der Strahlungsquelle.

2.1.1 Strahlungsfluss bei variabler Wellenlänge (Kalibrierfunktion A)

Zur spektralen Charakterisierung der Strahlungsempfänger muss eine Strahlungsquelle zur Verfügung stehen, die bei verschiedenen Wellenlängen einen definierten und dokumentierten Strahlungsfluss (optische Leistung) zeigt.

Ein diesem Zweck dienender Messplatz besteht aus einer mit **maximal 100 W** zu betreibenden Xenongasentladungslampe, deren Licht in einem Prismen-Monochromator Typ Carl Zeiss Jena, VSU 2 spektral zerlegt und an dessen Austrittsspalt (einstellbare Breite; hier: 0,5 mm) als quasi-monochromatische Strahlung einstellbarer Wellenlänge abgenommen werden kann.

Die Xenonlampe ist zu Beginn von der Laboraufsicht am Vorschaltgerät XBO 101 einzuschalten und der Lichtbogen ist zu zünden. In den ersten 20 Minuten des Betriebes ist auf eine konstante Leistung von 100 W zu achten. Korrekturen sind ggf. am Stellknopf des Vorschaltgerätes vorzunehmen. Der Versuchsaufbau ist in Bild 1 gezeigt.

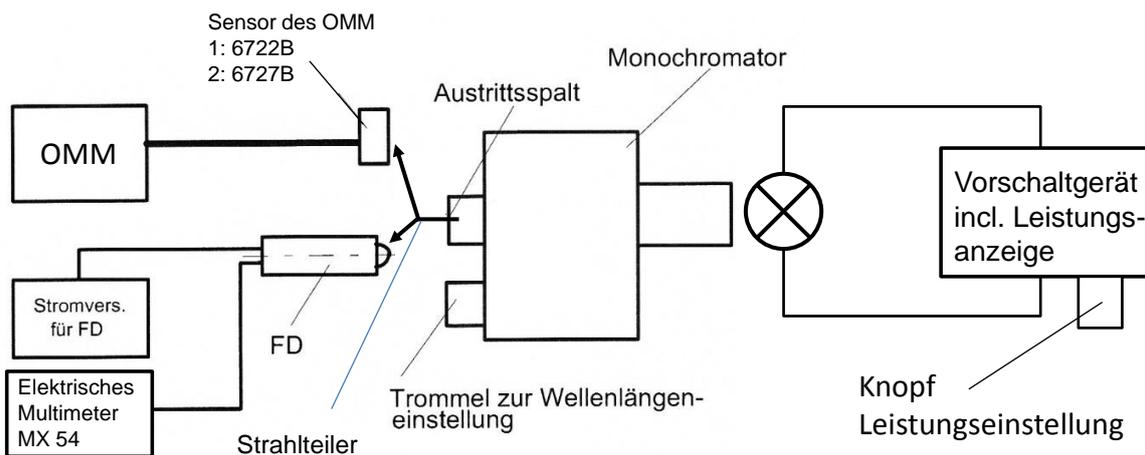


Bild 1: Versuchsaufbau zur Bestimmung der spektralen Empfindlichkeit von FD Modulen

Achtung:

Um die Zerstörung der Lichtquelle zu vermeiden, ist die maximale Leistung von 100 W keinesfalls zu überschreiten!

Zunächst wird an den Ausgang des Monochromators ein Sensor des "Optical Multimeter" (OMM, ILX Lightwave 6810B) angebracht. Das optische Multimeter bestimmt sowohl den Strahlungsfluss als auch die Wellenlänge der empfangenen Strahlung. Hierzu kann es mit zwei Messköpfen verbunden werden.

- Messkopf 1: „6722B“, Silizium-Messkopf, spektrale Empfindlichkeit 400 nm – 1100 nm
- Messkopf 2: „6727B“, InGaAs-Messkopf, spektrale Empfindlichkeit 950 nm – 1650 nm

Achtung:

Der Wechsel der Messköpfe des optischen Multimeters MUSS bei ausgeschaltetem Gerät geschehen. Ein Wechsel der Köpfe bei eingeschaltetem Gerät führt zur Zerstörung der Messverstärkerschaltungen im Gerät.

Es wird nun zum Kalibrieren des Aufbaus mit dem Ziel des Ausgleiches der spektralen Verteilung der Lampenemission und der Transmission des Monochromators im Wellenlängenbereich $\lambda=400..1700$ nm wie folgt vorgegangen.

Zunächst wird Messkopf 1, „6722B“ mit dem Multimeter verbunden. Beginnend mit der Einstellung von $\lambda=400$ nm am Monochromator-Einstellknopf wird in Schritten von 20 nm bis $\lambda=1000$ nm der Strahlungsfluss Φ_e am Ausgang des Monochromators mit Hilfe des optischen Leistungsmessgerätes gemessen und zusammen mit der angezeigten Wellenlänge in jedem Schritt notiert.

Um den spektralen Bereich bis 1700 nm auszudehnen, wird in einer zweiten Messreihe der Wellenlängenbereich von $\lambda=1000-1700$ nm mit dem Messkopf 2, „6727B“ und der oben beschriebenen Vorgehensweise ausgemessen.

Die aus beiden Bereichen zusammengesetzte Kurve $\Phi_e=\Phi_e(\lambda)$ ist graphisch darzustellen und zur Verwendung als Kalibrierkurve für die anschließende Vermessung der spektralen Empfindlichkeit der FDs zu dokumentieren. Zusätzlich ist die Funktion Φ_e auf ihr Maximum zu normieren und darzustellen.

Diskutieren Sie kurz den Verlauf der Kalibrierungskurve und deren Anwendung in den nachfolgenden Messungen.

Achtung:

Der Wechsel der Messköpfe des optischen Multimeters MUSS bei ausgeschaltetem Gerät geschehen. Ein Wechsel der Köpfe bei eingeschaltetem Gerät führt zur Zerstörung der Messverstärkerschaltungen im Gerät.

Die Kalibrierung des Messaufbaus kann gleichzeitig mit der Messung unter Aufgabe 2.2 (Bestimmung der spektralen Empfindlichkeit) vorgenommen werden. Das verkürzt wesentlich die Messzeit!

2.1.2 Strahlungsfluss als Funktion der Spaltbreite des Monochromators (Kalibrierfunktion B)

Für eine konstante Wellenlänge von 700 nm wird im Bereich 0,1 bis 1,5 mm in 0,1 mm- Schritten die Abhängigkeit des Strahlungsflusses von der Spaltbreite d des Monochromators mit Hilfe des „Optical Power Meters“ am Ausgangsspalt des Monochromators aufgenommen. Verwenden Sie hierzu den Messkopf „6722B“ des optischen Multimeters.

Daraus ist die Abhängigkeit des Strahlungsflusses Φ_e von der Spaltbreite d zu ermitteln und als Kalibrier-Funktion $\Phi_e(d)$ grafisch darzustellen und zu diskutieren.

2.2 Spektrale Empfindlichkeit von Fotodioden

Zur Vermessung der spektralen Empfindlichkeit sind mehrere Fotodiodenmodule (FD) der Fa. Thorlabs mit eingebautem Transimpedanzverstärker vorhanden. Wählen Sie die Module Si, Ge, InGAs und ein weiteres Modul Ihrer Wahl aus. Die jeweils mit ihrem Netzteil und dem Voltmeter (Elektrisches Multimeter, MX54) verbundenen Fotodioden (Einstellungen der internen Verstärker beachten) werden mittels einer entsprechenden Halterung vor dem Ausgang des Monochromators positioniert. Ihre spektralen Empfindlichkeiten $s'[V/W]$ werden nacheinander wie folgt ermittelt:

- Gewünschte Wellenlänge im vorgegebenen Bereich (400 ... 1700 nm) am Monochromator einstellen;

- Ausgangsspannung des FD-Modules am Multimeter ablesen und in einer Wertetabelle notieren;
- Vorgang für nächste Wellenlänge (in Schritten von 20 nm) wiederholen;
- Darstellung des Verlaufes $U(\lambda)$ nach Korrektur mit Hilfe der oben aufgenommenen Kalibrierungskurve (Kalibrierfunktion A) – normierte Version - für die vorgegebenen Fotodetektoren als Diagramm und Ergebnis-Diskussion unter besonderer Bezugnahme auf einen Vergleich mit Literaturwerten (Internet) des jeweiligen Empfängermaterials (Bandlückenenergie) und die spektrale Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges $V(\lambda)$.
- Bestimmung der Empfindlichkeit $s'[V/W](\lambda)=U(\lambda)/\Phi_e(\lambda)$ und Darstellung deren Verlaufes in einem Diagramm.

2.3 Ausgangsspannung als Funktion der Beleuchtungsstärke

Wie unter Pkt.2.2 wird am Ausgang des Monochromators nacheinander einer der vorgegebenen Fotodetektoren angebracht.

Die Signalspannung der Fotodetektoren wird als Funktion der Spaltbreiten d , welche unter Punkt 2.2 verwendet wurden, aufgenommen. Unter Verwendung der Kalibrierfunktion B ist der Verlauf $U(\Phi_e)$ grafisch darzustellen und im Vergleich zu dem theoretisch zu erwartenden Verlauf zu interpretieren.

2.4 Richtungsabhängigkeit der Empfindlichkeit der FDs.

Die Ermittlung der Richtungsabhängigkeit der Empfindlichkeit der vorhandenen Fotodetektoren wird mit Hilfe des im Versuch eingebauten Goniometertisches unter Verwendung der Kombination Xenongasentladungslampe/Monochromator als Strahlquelle durchgeführt. Die Strahlung am Ausgang des Monochromators wird über den Strahlteiler der Fotodiode zugeführt. Die Strahlung kann durch Drehung des Goniometertisches unter verschiedenen Winkeln auf den Fotoempfänger eingestrahlt werden. Der technische Aufbau für diesen Teilversuch ist in Abbildung 2 skizziert.

Es ist zweckmäßig, die Strahlungseinkopplung in die LLF zunächst mit Hilfe von sichtbarem Licht (z.B. $\lambda=550\text{nm}$) vorzujustieren und nach Einbau des ersten zu vermessenden Detektors in das Goniometer (Goniometerstellung $\theta=0^\circ$) eine Feinjustierung durch Ablesen der Detektorspannung vorzunehmen.

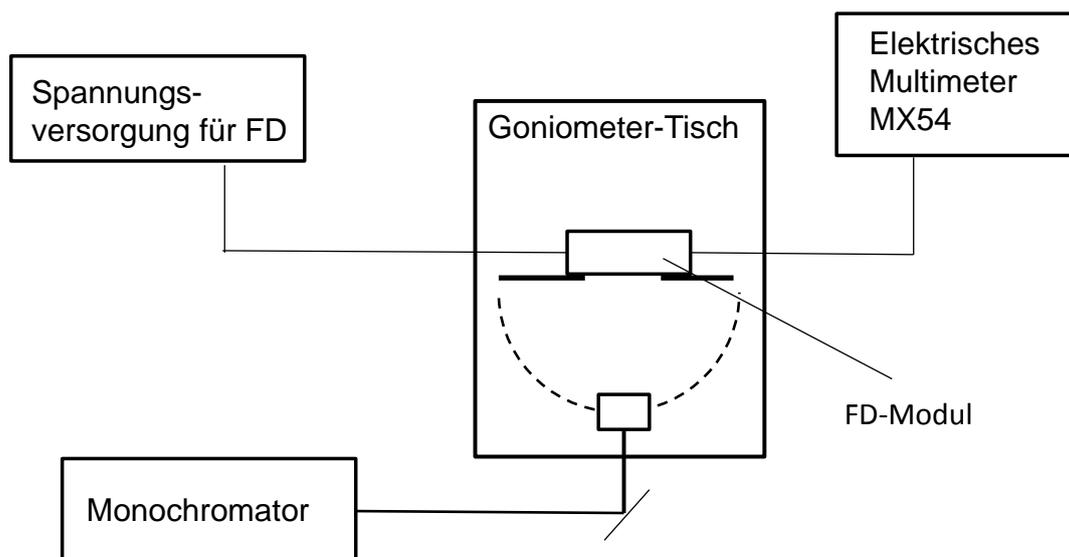


Bild 2: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Richtungsabhängigkeit der FD Empfindlichkeit

Sind alle Aufbauten vorschriftsmäßig aufgebaut und justiert wird die Ausgangsspannung der Detektoren in Abhängigkeit vom Einstrahlwinkel α , $U=U(\alpha)$, in einer sinnvollen Schrittweite von α

bestimmt und dokumentiert. Auf der Grundlage dieser Messungen wird für jeden Detektor das Verhältnis $U(\alpha)/U_{\max}$ in % als Funktion des Einstrahlwinkels α in Polarkoordinaten dargestellt und im Vergleich zum theoretisch zu erwartenden Verlauf diskutiert.

Exemplarisch ist zusätzlich für das Si FD Modul auch

i) für einen Azimutwinkel von 90° und

ii) für drei verschiedene Wellenlängen (im Empfindlichkeitsbereich der FD)

die Richtungsabhängigkeit der Empfindlichkeit analog dem oben beschriebenen Vorgehen aufzunehmen und zu diskutieren. Hierzu ist das FD Modul auf dem Goniometertisch um 90° gedreht - verglichen mit der ersten Messung - zu montieren.