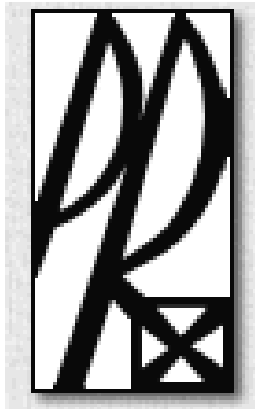


POLITECHNIKA RZESZOWSKA



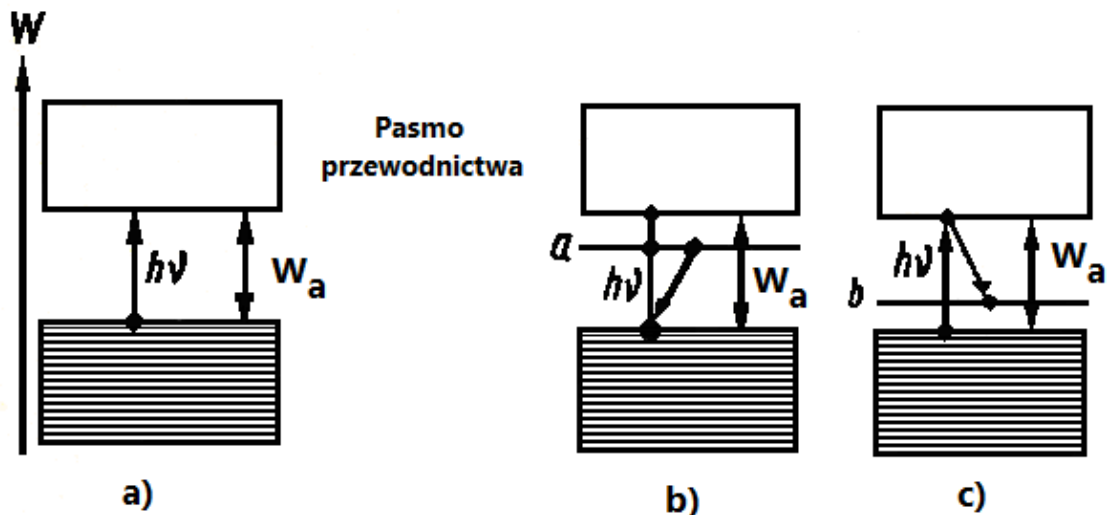
**LABORATORIUM
FIZYKI CIAŁA STAŁEGO**

Badanie zjawiska fotoelektrycznego
wewnętrznego

Wprowadzenie do problematyki ćwiczenia

Zjawisko fotoelektryczne wewnętrzne

W krystalicznych półprzewodnikach i dielektrykach występuje zjawisko fotoelektryczne wewnętrzne. Polega ono na zwiększaniu przewodności elektrycznej tych ciał w wyniku zwiększania się w nich liczby swobodnych nośników prądu (elektronów przewodności i dziur). Zjawisko to nazywane jest często fotoprzewodnictwem. Można je wyjaśnić na podstawie pasmowej teorii krystalicznych ciał stałych. Przypomnieć należy, że w dielektryku i półprzewodniku bezpostaciowym pasmo przewodnictwa nie zawiera elektronów, a leżące poniżej następnego pasmo (walencyjne) jest całkowicie zapełnione elektronami (Rys. 1a.). Różnica W_a pomiędzy energiami niższego poziomu pasma przewodnictwa i górnego poziomu pasma walencyjnego nazywa się energią aktywacji przewodnictwa substancji.



Rys. 1. Schemat struktury energetycznej i przejść pomiędzy pasmami walencyjnym i przewodnictwa.

Energia W_a jest nieznacznie mniejsza w półprzewodnikach niż w dielektrykach. Elektron pochłaniając foton o energii $h\nu \geq W_a$, może zostać przeniesiony z pasma walencyjnego do pasma przewodnictwa. Tak, więc pod wpływem działania światła w paśmie przewodnictwa pojawiają się elektrony, w paśmie walencyjnym - dodatnie dziury. Te pary przeciwnie naładowanych nośników prądu mogą pod działaniem zewnętrznego pola elektrycznego poruszać się w sposób uporządkowany. Ruch taki jest prądem elektrycznym. Koncentracja elektronów przewodnictwa i dziur oraz zależne od nich przewodnictwo elektryczne substancji są proporcjonalne do liczby fotonów padających na jednostkę powierzchni w jednostce czasu - to znaczy do natężenia światła monochromatycznego. Czerwoną granicą dla fotoprzewodności jest $\nu_0 = W_a/h$.

W półprzewodnikach domieszkowych o niewielkiej ilości domieszek prawdopodobieństwo pochłonięcia fotonów przez atomy domieszek jest niewielkie. Zmiana przewodnictwa wywołana działaniem światła występuje głównie w wyniku przenoszenia elektronów z pasma walencyjnego do pasma przewodzenia oraz tworzenia par różnoimiennych nośników prądu-elektronów przewodnictwa i dziur.

Jednak charakter przewodnictwa w elektronowych półprzewodnikach domieszkowych (typu n) i dziurawych (typu p), jest różny.

W półprzewodniku elektronowym występują domieszkowe, donorowe poziomy energetyczne znajdujące się blisko „dna” pasma przewodnictwa, które obsadzone są elektronami (rys. b). W procesie tworzenia się par elektron-dziura pod wpływem działania światła dodatnie dziury rekombinują z elektronami domieszek donorowych. Powoduje to, że przewodnictwo półprzewodnika typu n ma charakter czysto elektronowy. W półprzewodniku dziurowym pochłaniane kwanty powodują przejście części elektronów z pasma walencyjnego do pasma przewodnictwa, w wyniku czego powstają puste domieszkowe poziomy akceptorowe b, położone w górnej części pasma walencyjnego (rys. b). Równocześnie w paśmie walencyjnym tworzą się „dziury dodatnie”. Przewodnictwo półprzewodnika typu p jest, jak widzimy, często typu dziurowego.

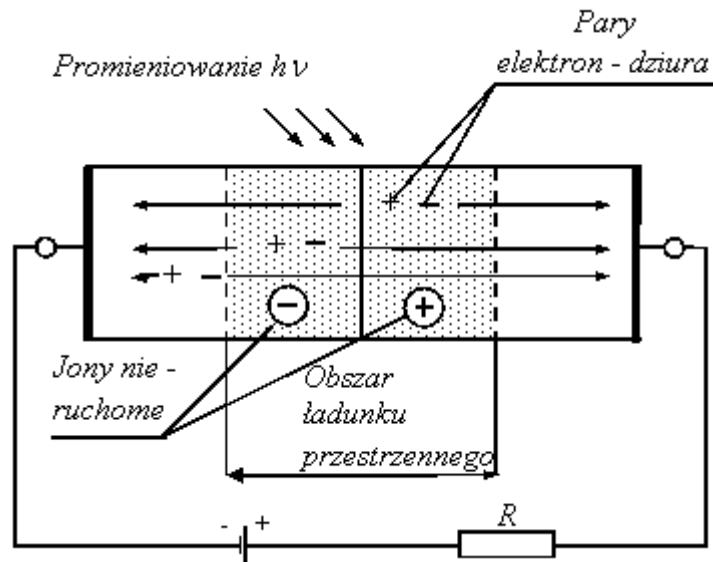
Specjalnie interesujące dla techniki jest zaworowe zjawisko fotoelektryczne (zjawisko fotoelektryczne w warstwie zaporowej) polegające na znikaniu siły elektromotorycznej wywołanej zjawiskiem fotoelektrycznym wewnętrznym, zachodzącym w pobliżu powierzchni styku metalu i półprzewodnika lub dwu półprzewodników typów p i n. Styk ten przewodzi tylko w jednym kierunku. Przewodnictwo takich styków jest jednokierunkowe, gdyż przylegające do powierzchni styku warstwy półprzewodnika są uboższe w ruchliwe nośniki prądu (elektrony przewodnictwa i dziury). Zjawisko fotoelektryczne wewnętrzne powoduje w półprzewodniku zachwianie równomierności rozkładu nośników prądu w obszarze styku i prowadzi do zmiany kontaktowej różnicy potencjałów, a więc pojawia się siła fotoelektromotoryczna. Wartość siły fotoelektromotorycznej wywołanej działaniem światła monochromatycznego jest proporcjonalna do jego natężenia, ponieważ zależy od liczby fotonów padających w ciągu jednostki czasu na jednostkę powierzchni warstwy styku. Nisko-falowa granica zjawiska jest określona wartością W_a „luki” energetycznej pomiędzy pasmem walencyjnym, a pasmem przewodnictwa półprzewodnika.

Zjawisko fotoelektryczne znalazło szerokie zastosowanie w nauce i technice w rejestracji i pomiarach strumieni świetlnych, w bezpośrednim przekształcaniu energii świetlnej w energię elektryczną oraz w przekształcaniu sygnałów świetlnych w elektryczne.

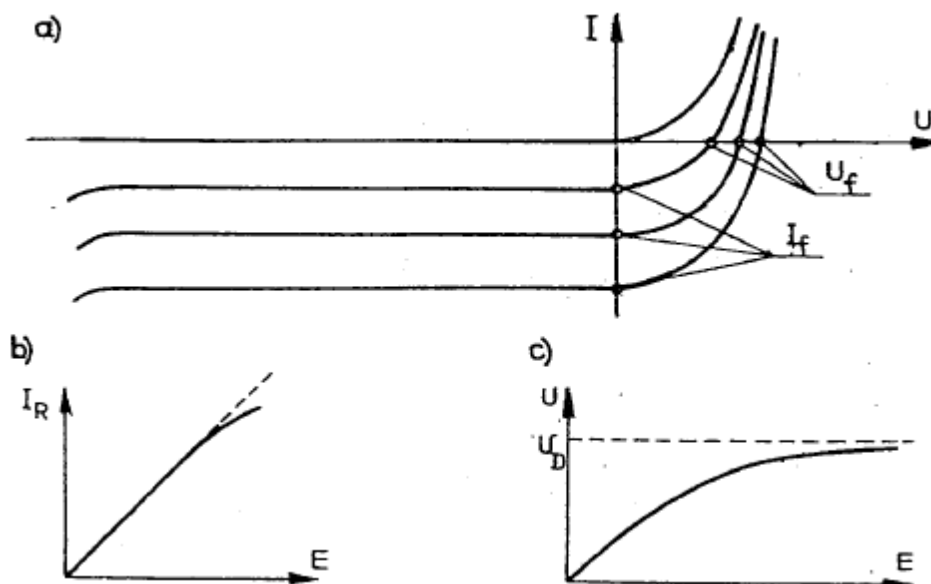
Charakterystyka niektórych przyrządów optoelektronicznych

1. Fotodiody

Fotodiody są to diody, w których wykorzystuje się wewnętrzne zjawisko fotoelektryczne. Promieniowanie świetlne padające na spolaryzowane zaporowo złącze P – n powoduje prawie liniowy wzrost prądu wstecznego w funkcji mocy promieniowania.



Rys. 2.1. Zasada działania fotodiody



Rys. 2.2. Charakterystyki statyczne fotodiody: a) prądowo napięciowa, b) zależności prądu wstecznego od natężenia oświetlenia, c) zależności napięcia fotoelektrycznego od natężenia oświetlenia

Przy braku oświetlenia w fotodiodzie płynie niewielki prąd ciemny, który tworzą głównie nośniki mniejszościowe.

W przypadku oświetlenia złącza p – n, generowane nośniki nadmiarowe po obu stronach złącza dyfundują do warstwy zaporowej i są przenoszone przez pole elektryczne na drugą stronę, zwiększając prąd nasycenia. Powoduje to przesunięcie charakterystyk w stronę prądów ujemnych złącza o wartość prądu fotoelektrycznego, a charakterystyka przecina oś napięć przy pewnym napięciu dodatnim (Rys. 2.2.a) U zwanym napięciem fotoelektrycznym fotodiody. Charakterystyki statyczne fotodiody przedstawia Rys. 2.2. Wartością, do której zdąża napięcie fotoelektryczne przy wzroście natężenia oświetlenia jest napięcie bariery potencjału złącza. Pojawienie się napięcia na złączu pod wpływem oświetlenia jest nazywane efektem fotowoltaicznym.

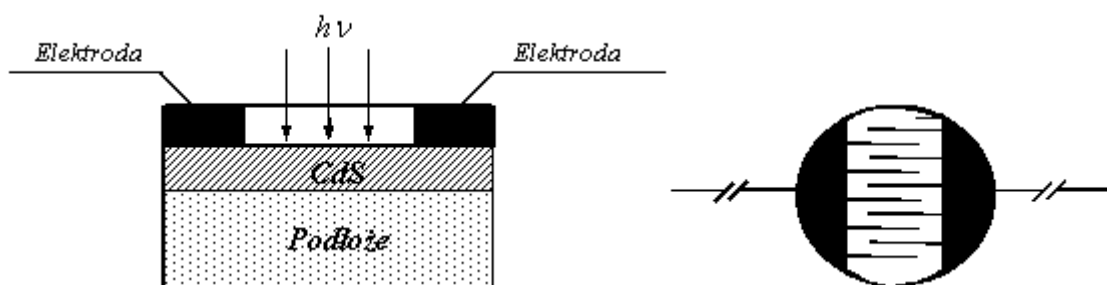
Oprócz fotodiod konwencjonalnych występują także fotodiody lawinowe i fotodiody typu p- i – n. W fotodiodach lawinowych wykorzystuje się prócz wewnętrznego zjawiska fotoelektrycznego, zjawisko powielania nośników ładunku.. fotodiody te wykorzystuje się w przypadku wykrywania sygnałów optycznych o bardzo niskim poziomie natężenia promieniowania. W fotodiodach p-i-n, dzięki zastosowaniu szerokiego obszaru wysokorezystywnego, uzyskuje się większą czułość i prędkość działania oraz węższą charakterystykę widmową niż fotodiody konwencjonalne.

2. Fotorezystory

Działanie fotorezystorów opiera się na zjawisku fotoelektrycznym wewnętrznym polegającym na zmniejszeniu się rezystancji (rezystywności właściwej) półprzewodnika w stopniu zależnym od mocy padającego promieniowania. Padające na półprzewodnik fotony powodują rozrywanie wiązań kowalencyjnych, w wyniku czego tworzą się dodatkowe, oprócz generowanych termicznie, pary dziura – elektron. Zwiększona tak ilość nośników prądu powoduje zmniejszenie rezystancji elementu. Rezystancja typowych fotorezystorów zmienia się o kilka rzędów przy zmianie natężenia oświetlenia o 1000 lx.

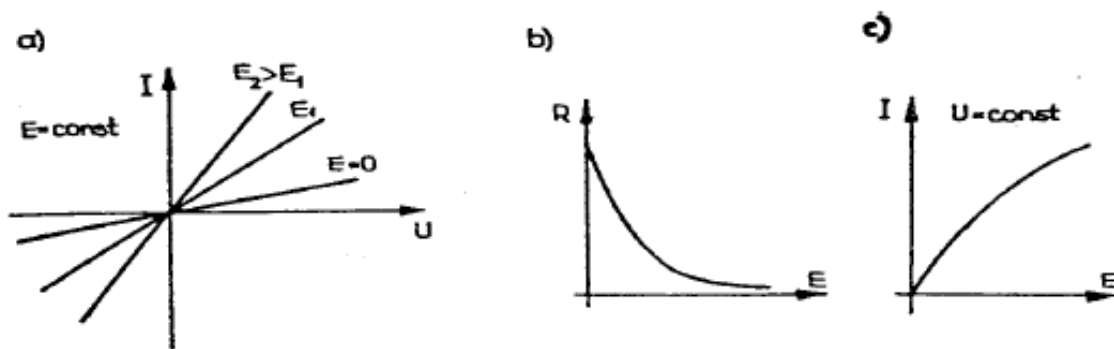
Najczęściej stosowanymi półprzewodnikami do budowy fotorezystorów są :PbS, PbSe, PbTe, CdS, CdSe, CdTe. Dobór materiału półprzewodnikowego podyktowana jest przede wszystkim widmowym zakresem pracy, do którego detekcji przeznaczony jest fotorezystor.

Fotorezystory możemy podzielić na fotorezystory samoistne wykonane z półprzewodnika samoistnego oraz fotorezystory domieszkowane wykonane z półprzewodnika domieszkowanego.



Rys. 3.1. Zasada działania fotorezystora: a) budowa, b) grzebieniowy kształt elektrod.

Charakterystyki fotorezystora przedstawia rys. 3.2.



Rys. 3.2. Charakterystyki fotorezystora: a) prądowo – napięciowa przy stałym natężeniu, b) rezystancji od natężenia oświetlenia, c) świetlna

Charakterystyki prądowo – napięciowe przy stałym oświetleniu rezystora są liniowe, gdyż cały jego obszar roboczy jest jednorodny. W zależności od natężenia oświetlenia charakterystyki te zmieniają nachylenie (Rys. 3.2. a). Charakterystykę prądowo-napięciową możemy opisać zależnością:

$$R = E^{-g}$$

Gdzie :

E – natężenie promieniowania,

g – (0,5 – 1) – współczynnik zależny od typu fotorezystora.

Nachylenie charakterystyk z rys.3.2.b jest czułością rezystancyjną . Nachylenie charakterystyki z rys 3.2.c jest czułością prądową fotorezystora. Czułość zależy od długości fali promieniowania, natężenia oświetlenia, rodzaju półprzewodnika oraz temperatury.

Najważniejszymi parametrami fotorezystorów są:

- Dopuszczalne napięcie pracy – U_d ,
- Dopuszczalna moc elektryczna wydzielana na fotorezystorze – P_{ad} ,
- Prąd ciemny fotorezystora przy danym napięciu i temperaturze pracy,
- Maksymalne napięcie szumów.

Zalety przyrządów półprzewodnikowych optoelektronicznych:

- duża trwałość i niezawodność,
- małe rozmiary i ciężar,
- niskie napięcia zasilania, zbliżone do napięć stosowanych w układach scalonych,
- duża sprawność,
- duża szybkość działania.

Metodologia wykonania ćwiczenia

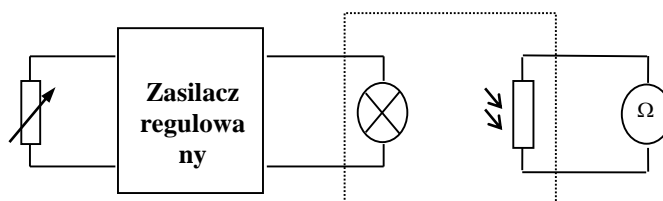
Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie zasady działania różnych fotoelementów oraz wyznaczanie na podstawie pomiarów ich podstawowych charakterystyk.

Przebieg ćwiczenia

1. Badanie fotorezystora

a) pomiar charakterystyki oświetleniowej



Rys.3 Schemat blokowy układu do badania fotorezystora

Potencjometrem zasilacza nastawiać kolejne wartości natężenia oświetlenia, którego wartość mierzy się luksomierzem, a następnie odczytywać rezystancję fotorezystora. Wyniki pomiarów wpisywać do tabeli 1.

Tabela 1:

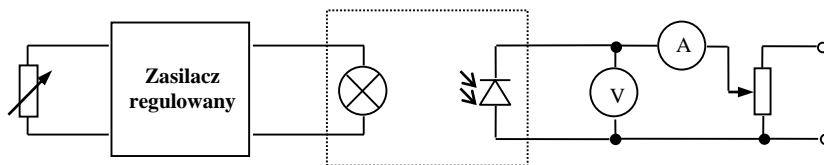
E_v	lux										
R	Ω										

b) Po wykonaniu pomiarów należy wykreślić charakterystyki $R=f(E_v)$

2. Badanie fotodiody

a) pomiar charakterystyki oświetleniowej

Uwaga: Napięcie zasilania od strony diody (U_R) nie powinno przekraczać 0,9 V.



Rys.4 Schemat blokowy układu do badania fotodiody

Potencjometrem zasilacza nastawiać kolejne wartości natężenia oświetlenia którego wartość mierzy się luksmierzem, a następnie odczytywać natężenie prądu płynącego przez fotodiode. Napięcie na zaciskach fotodiody powinno być niezmiennie w trakcie przeprowadzania pomiarów. Wyniki wpisujemy do tabeli

Tabela 2:

E_v	lux											
I	mA											
U	mV											

5. Opracowanie wyników pomiarów

Po narysowaniu odpowiednich charakterystyk na ich podstawie odpowiedzieć na następujące pytania:

1. Jaki jest wpływ oświetlenia na rezystancję fotorezystora i z czego wynika?
2. Wyznaczyć parametr g fotorezystora.
3. Co to jest „prąd ciemny” fotodiody i jak wytłumaczyć jego istnienie?
4. Wykreślić i omówić charakterystyki fotodiody: $I(E_v)$, $U(E_v)$, $I(U)$.
5. Wyznaczyć niepewności pomiarowe.

Literatura

1. Badźmirowski K. , Kołodziejski J., Spiralski L., Stolarski E. „*Miernictwo elementów półprzewodnikowych i układów scalonych.*” Warszawa WKŁ 1984.
2. Tietze U. Schrenk Ch. „*Układy półprzewodnikowe*” WNT 2006.
3. Ziętek B. „*Optoelektronika.*” Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika 2006
4. Filipkowski A. „*Układy elektroniczne analogowe i cyfrowe.*” WNT wyd. 4 - 09.2006

5. Fabijański P., Wójciak A. „*Podstawy elektroniki.*” REA 02.2006
6. Baranowski J., Kalinowski B., Nosal Z. „*Układy elektroniczne*” WNT 01.2006
7. Chwaleba A., Moeschke B.M. Pilawski M. „*Pracownia elektroniczna – elementy układów elektronicznych.*” WSiP 1998