



**Katedra Optoelektroniki
Wdział Elektroniki Telekomunikacji
i Informatyki
Politechnika Gdańska**



LABORATORIUM OPTOELEKTRONIKI

ĆWICZENIE 5

DETEKTORY OPTOELEKTRONICZNE

Gdańsk, 2005

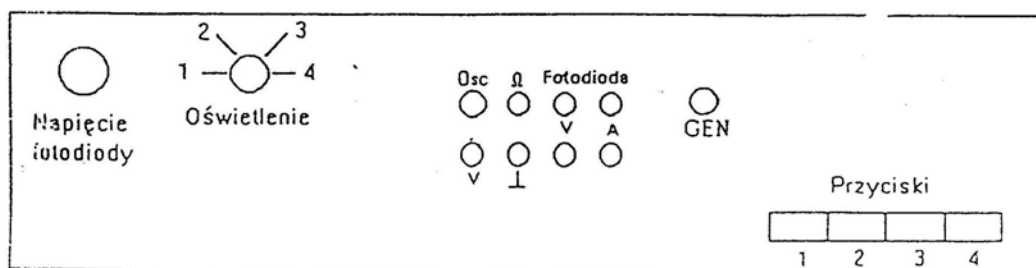
Wstęp

Podczas laboratorium badane będą fotodetektory, czyli elementy umożliwiające zamianę strumienia świetlnego na prąd elektryczny. Ta zamiana (proces fotodetekcji) polega na optycznej absorpcji fotonów w materiale półprzewodnikowym. Jeżeli energia fotonu jest większa od energii przerwy energetycznej to przy absorpcji fotonu generowana jest para dziura-elektron. W wyniku tego procesu powstanie prądu zwany fotoprądem lub na okładkach fotodetektora napięcie fotowoltaiczne.

W ćwiczeniu będą wykorzystywane następujące przyrządy:

- 1) omomierz,
- 2) amperomierz,
- 3) woltomierz,
- 4) oscyloskop,
- 5) generator.

Poniżej znajduje się widok płyty czołowej zestawu zawierającego badane fotoelementy.



Zestaw laboratoryjny umożliwia wykonywanie następujących zadań:

1. Badane fotoogniwa
2. Badanie fotorezystora
3. Badanie charakterystyk prądowo-napięciowych fotodiody
4. Badanie fototranzystora
5. Badanie charakterystyk dynamicznych elementów optoelektronicznych

1. Badanie fotoogniwa

Zasada działania fotoogniwa:

W oświetlonym niespolaryzowanym złączu p-n wygenerowane pary dziura-elektron przy złączu rozdzielane są i usuwane w różne strony przez silne pole elektryczne istniejące w jego pobliżu, powodując przepływ prądu.

Badanie fotoogniwa polega na pomiarze napięcia na fotoogniwie obciążonym dwoma opornikami o wartościach, które można dowolnie wybrać dla różnych wartości natężenia oświetlenia. Pozwala to na wyznaczenie parametrów zastępczego generatora napięciowego. Jako E_{SM} (napięcie rozwarcia) przyjmujemy wartość napięcia U_z na nieobciążonym ogniwie.

Rezystancję wewnętrzną obliczamy ze wzoru:

$$R_{we} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot (U_{R2} - U_{R1})}{R_2 \cdot U_{R1} - R_1 \cdot U_{R2}}; \quad R_1 = 1k\Omega, \quad R_2 = 10k\Omega$$

W celu pomierzenia napięcia na fotoogniwie należy podłączyć woltomierz do zacisku oznaczonego literą V oraz do zacisku masy. Przy obciążeniu fotoogniwa rezystorem R_1 przycisk 3 powinien być wyciśnięty natomiast przycisk 4 powinien być wciśnięty. Przy obciążeniu fotoogniwa rezystorem R_2 przycisk 3 i 4 powinny być wciśnięte.

2. Badanie fotorezystora

Zasada działania fotorezystora:

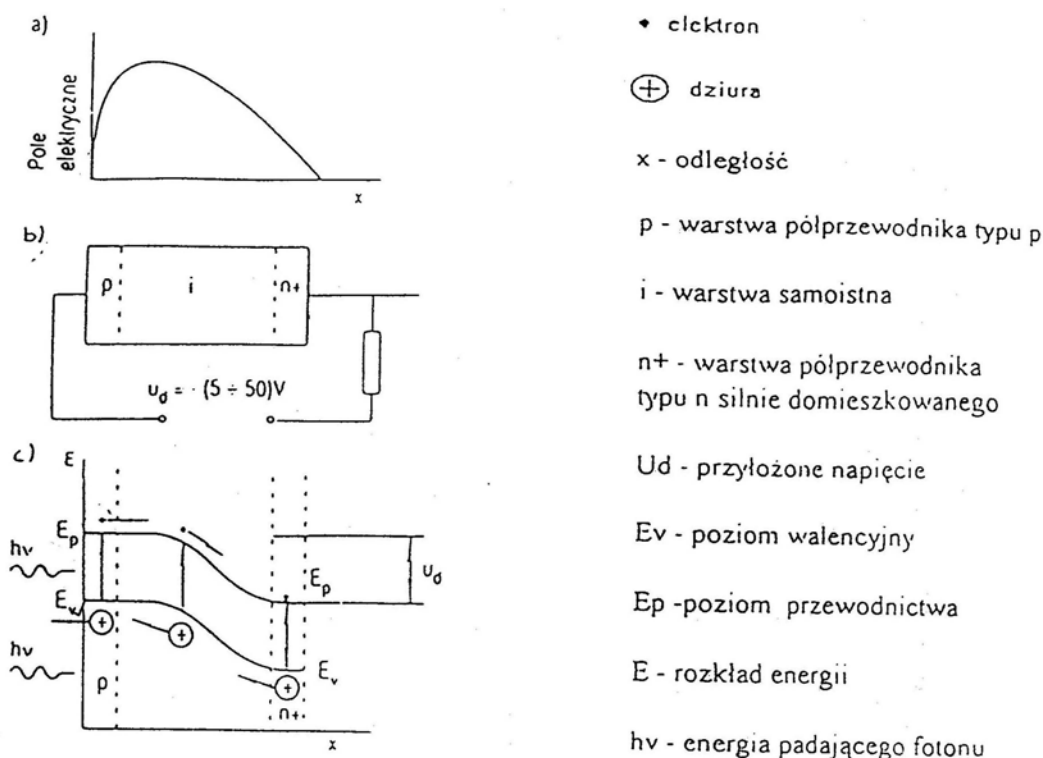
Jeżeli energia promieniowania padającego na materiał półprzewodnikowy jest większa od szerokości przerwy energetycznej, to powoduje generację par dziura-elektron. Z oświetleniem materiału półprzewodnikowego, wskutek generacji par dziura-elektron, rośnie liczba nośników prądu, tego materiału półprzewodnikowego maleje.

Do pomiaru zależności rezystancji fotorezystora od natężenia oświetlenia wykorzystujemy wejście Ω oraz zacisk masy. Wszystkie przyciski powinny być **wyciśnięte**.

3. Badanie fotodiody pin

Zasada działania fotodiody:

W skład spolaryzowanego zaporowo złącza p-n wykorzystanego w diodzie p-n wchodzi tak zwana warstwa zubożona pozbawiona swobodnych nośników. W warstwie tej pod wpływem oświetlenia następuje generacja par dziura-elektron. Pod wpływem przyłożonego z zewnątrz napięcia powstaje w niej silne pole elektryczne szybko wymiatające generowane nośniki i powodujące przepływ prądu w obwodzie zamkniętym.



Rys. 1 Fotodioda PIN a) rozkład pola elektrycznego wzdłuż półprzewodnika, b) przekrój przez złącze, c) rozkłady poziomów energetycznych.

Badanie charakterystyki fotodiody pin

Pomiar charakterystyk fotodiody przeprowadzamy przy użyciu wewnętrznego zasilacza stabilizowanego oraz zewnętrznych przyrządów: amperomierza i woltomierza dołączonych do odpowiednich gniazd. Pomiaru charakterystyk $I=f(U)$ dokonujemy dla 5 poziomów natężeń oświetlenia E ($E = 0 \div MAX$) traktowanych jako parametr rodziny charakterystyk. Do pomiaru fotodiody służą 4 gniazda, które są podpisane „Fotodioda”. Odpowiednio gniazda oznaczone literą V służą do pomiaru napięcia, natomiast oznaczone literą A do pomiaru prądu.

4. Badanie fototranzystora

Fototranzystor jest to element półprzewodnikowy z dwoma złączami p-n, przeznaczony do detekcji promieniowania optycznego, działający tak jak konwencjonalny tranzystor, z tą tylko różnicą, że prąd jego kolektora zależy nie od prądu bazy, a od natężenia oświetlającego go promieniowania.

Baza fototranzystora jest rozwarta i najczęściej nie wyprowadzona. Złącze kolektor-baza spolaryzowane w kierunku zaporowym działa jako fotodioda. Pod wpływem oświetlenia w bazie wygenerowane zostają pary elektron-dziura. Elektrony dyfundują w kierunku złącza baza-kolektor i po dostaniu się do warstwy zaporowej są z niej usuwane do obszaru kolektora na skutek istnienia odpowiedniego natężenia pola elektrycznego. Niektóre z dziur, powstających w bazie równocześnie z elektronami, mają dostatecznie dużą energię kinetyczną, aby pokonać barierę potencjału na złączu baza-emiter. Te, które przedostaną się do obszaru typu n rekombinują, natomiast pozostałe w bazie powodują obniżenie bariery potencjału na złączu baza-emiter. W ten sposób znacznie więcej elektronów w emiterze wystarczającą energię, aby przez obniżoną barierę potencjału przedostać się do bazy. Powoduje to wzrost strumienia elektronów przechodzących przez tę barierę z emitera do bazy, a następnie do kolektora. Ponieważ czas życia dziur w obszarze typu p jest wielokrotnie dłuższy od czasu τ elektronów przez ten obszar, więc nawet jedna dziura wytworzona przez zadziaływanie promieniowania w obszarze typu p może spowodować taki wzrost prądu pomiędzy elektrodami, jaki wynika ze stosunku czasu życia dziury do czasu dyfuzji elektronu. Wstrzykiwane w ten sposób elektrony, osiągając kolektorowe złącze p-n, zwiększają prąd kolektorowy w znacznie większej mierze niż elektrony, które powstały w wyniku generacji par elektron-dziura pod wpływem światła bezpośrednio w obszarze bazy. W ten sposób zachodzi wewnętrzne wzmocnienie prądu fotoelektrycznego.

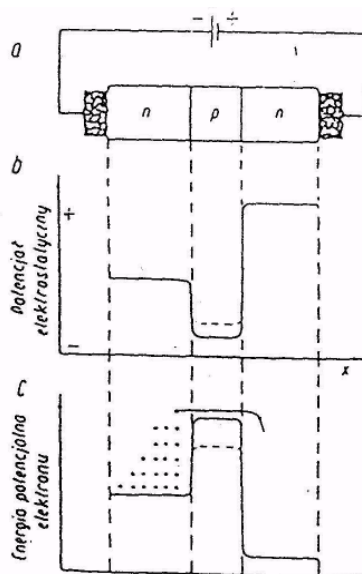
Fototranzystory są detektorami o czułości znacznie większej od czułości fotodiod.

Badanie charakterystyki wyjściowej fototranzystora.

Badanie fototranzystora polega na pomiarze zależności prądu kolektora I_c fototranzystora od natężenia oświetlenia E . W ćwiczeniu wykonujemy pomiar prądu I_c pośrednio przez pomiar spadku napięcia i obliczenie prądu ze wzoru:

$$I_c = U/R, \text{ gdzie } R = 1k\Omega$$

Do pomiarów napięcia wykorzystujemy gniazda V oraz MASA. Wszystkie przyciski powinny być wyciśnięte.



Rys. 2. Fototranzystor n-p-n. a) sposób polaryzacji fototranzystora n-p-n; b) rozkład potencjału elektrostatycznego w fototranzystorze po przyłożeniu napięcia polaryzującego

Wszystkie pomiary statyczne dokonuje się przy regulowanym oświetleniu (pokrętko „OŚWIETLENIE”).

Pokrętko w pozycji:

4 - oznacza $26 [\mu\text{W}/\text{cm}^2]$,

3 - $19 [\mu\text{W}/\text{cm}^2]$,

2 - $12 [\mu\text{W}/\text{cm}^2]$,

1 - $8 [\mu\text{W}/\text{cm}^2]$.

5. Badanie odpowiedzi impulsowych elementów optoelektronicznych.

W tym punkcie wykonujemy pomiar dynamicznych charakterystyk optoelementów.

Do wejścia „GEN” dołączamy generator fali sinusoidalnej, a do gniazda „OSC” oscyloskop dwukanałowy (kanał B), którego kanał A dołączamy również do generatora. Oscyloskop przełączamy na pracę CHOP, synchronizacja kanałem A (generatorem). W ten sposób na ekranie oscyloskopu możemy obserwować - w kanale A pobudzenie, a w kanale B odpowiedź elementów optoelektronicznych. Przy pomocy przełączników 1 2 dokonujemy wyboru odpowiedniego elementu, przy czym: 0 - oznacza wyciśnięty przełącznik, 1 - oznacza przycisk wciśnięty.

Przycisk

1 2

0 0 - fotorezystor

0 1 - fototranzystor

1 1 - fotodioda

Zmieniając płynnie częstotliwość sygnału generatora obserwujemy kształt odpowiedzi. Rejestrujemy częstotliwość graniczną f_g , dla której przebieg odpowiedzi zostanie znacznie zniekształcony. Częstotliwości te będą zasadniczo różne dla 3 poziomów sygnałów sterujących z GENERATORA (Kontrolowanych na ekranie oscyloskopu).

Zalecane częstotliwości:

- rezystor - pojedyncze Hz
- dioda - do 100 kHz
- tranzystor - do 10 kHz

Zaobserwować spadek amplitudy sygnału sinusoidalnego do wielkości $0,7 A_{pocz}$ dla $f = f_g$.

OPRACOWANIE

1. Wykreślić charakterystykę zmian rezystancji fotorezystora od oświetlenia.
2. Wykreślić charakterystyki $U(I)$ fotodiody dla różnych wielkości oświetlenia.
3. Wykreślić charakterystykę prądu foto-tranzystora Ic od oświetlenia.
4. Sformułować wnioski płynące z obserwacji odpowiedzi impulsowej elementów optoelektronicznych

Bibliografia :

1. Świt Alfred, Pułtorak Jerzy „Przyrządy półprzewodnikowe”
2. Stepowicz Witold J. “Elementy półprzewodnikowe i układy scalone”