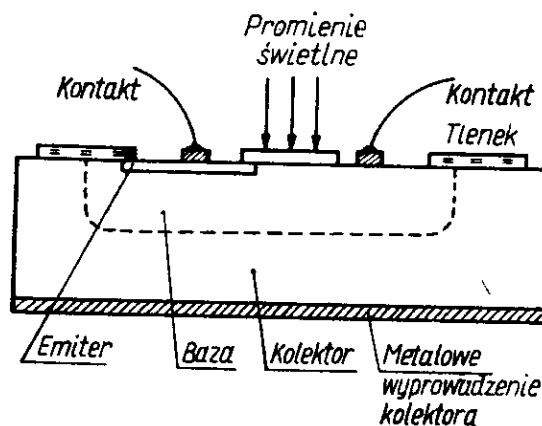




4. FOTOTRANZYSTOR

Wprowadzenie.

Konstrukcja fototranzystora jest zbliżona do konstrukcji zwykłego tranzystora wzmacniającego z tą różnicą, że obudowa umożliwia oświetlenie obszaru jego bazy (rysunek 1). W większości fototranzystorów nie stosuje się wyprowadzenia bazy na zewnątrz.



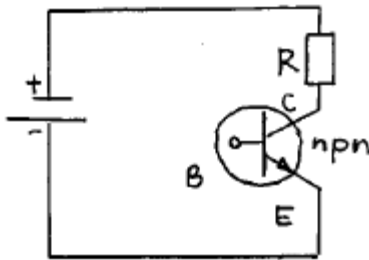
Rys. 1. Budowa fototranzystora.

Urządzenie to najczęściej pracuje w układzie wspólnego emitera. Tranzystor n-p-n w układzie o wspólnym emiterze, pracuje w ten sposób, że złącze emiter-baza jest spolaryzowane w kierunku przewodzenia a baza-kolektor w kierunku zaporowym. Przez złącze p-n spolaryzowane w kierunku przewodzenia (baza-emiter) płynie duży prąd nośników większościowych, elektronów z n do p i dziur z p do n. Prąd elektronowy w obszarze bazy (p) jest prądem nośników mniejszościowych, który z kolei jest dominującym prądem gdy złącze jest spolaryzowane w kierunku zaporowym. Pole elektryczne wzmacnia ten prąd. W ten sposób w tranzystorze uzyskuje się duże wzmocnienie prądowe: prąd kolektora jest zwykle dwa rzędy większy od prądu bazy.

W fototranzystorze baza nie jest nigdzie połączona elektrycznie, czyli złącze baza-emiter jest rozwarte. Fotony generują w tej sytuacji fotonapięcie, które jest równoważne spolaryzowaniu złącza emiter-baza w kierunku przewodzenia. Dalej fototranzystor działa jak zwykły tranzystor. Dodatkowo dziury generowane w obszarze p (bazy) i te wciągane z obszaru kolektora zmniejszają napięcie na złączu baza-emiter, zwiększając prąd nośników większościowych. Zmiany w obszarze bazy spowodowane oświetleniem obserwuje się w obwodzie kolektora, zwykle mierząc spadek napięcia na oporniku połączonym z kolektorem. Na rys.2 przedstawiono schemat układu do wyznaczania charakterystyk prądowo-

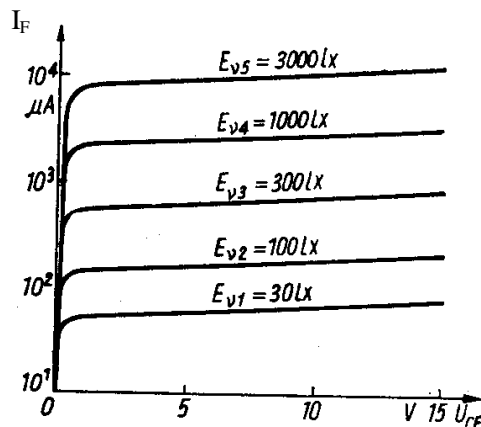


napięciowych i oświetleniowych fototranzystora. Dla fototranzystora n-p-n kolektor podłącza się do wyjścia „+” zasilacza a emiter do wyjścia „-”.



Rys. 2. Schemat układu polaryzującego fototranzystor n-p-n.

Fototranzystory charakteryzują się dużą czułością (wielokrotnie większą od czułości diody) i wzmocnieniem (rzędu 100÷1000), natomiast ich wadą jest niezbyt duża szybkość działania, częstotliwość graniczna wynosi około 200kHz. Ponadto zależność sygnału elektrycznego od mocy promieniowania optycznego padającego na złącze jest nieliniowa (zależność prądu kolektora od natężenia oświetlenia jest podobna jak w przypadku tranzystora konwencjonalnego od napięcia bazy). Fotodiody w tym przypadku odznaczają się bardzo dużym zakresem liniowości sygnału oraz bardzo dużą szybkością działania. Na rysunku 3 przedstawiono przykładową zależność fotoprądu (prądu kolektora) w funkcji napięcia kolektor - emiter dla różnych wartości natężenia oświetlenia. Jak widać charakterystyka ta jest podobna do zależności prądu kolektora w funkcji napięcia kolektor-emiter zwykłego tranzystora.



Rys.3. Charakterystyki statyczne fototranzystora, $I_F = f(U_{CE})$ dla różnych wartości natężenia oświetlenia.

Fototranzystor krzemowy, produkcji polskiej typu BPYP21, o strukturze n-p-n wymaga napięcia zasilającego (napięcia U_{CE}) równego 5 V. Prąd ciemny fototranzystora jest równy 0,1μA, a prąd fotoelektryczny przy oświetleniu $E_v = 1000$ lx wynosi 2 mA. Graniczna częstotliwość pracy wynosi 90 kHz.

**POMIARY**

Cel ćwiczenia: Wyznaczenie charakterystyki statycznej I-V oraz charakterystyki spektralnej fototranzystora.

Opis stanowiska:

Oświetlacz - lampa halogenowa (nap. zas. do 16V).

Zasilacz halogenu Z 3020.

Zwierciadła M1 i M2

Modulator o częstotliwości modulacji $f \sim 18$ Hz

Monochromator - SPM2 z pryzmatami Si - $0.4 \mu\text{m}$ do $3.5 \mu\text{m}$, G60 - j.w.

NaCl - $0.3 \mu\text{m}$ do $10 \mu\text{m}$

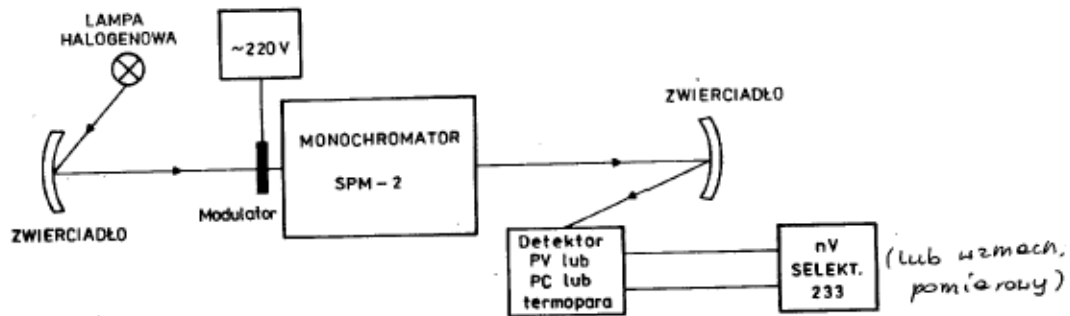
Detektor odniesienia - termoelement VTh-1 z okienkiem CaF, o czułości stałoprądowej 2V/W , stałej czasowej 15 ms i powierzchni światłoczułej 7mm^2 .

Nanowoltomierz selektywny 233 do pomiaru fotonapięcia detektora termicznego (termopary).

Badany fototranzystor

Przebieg ćwiczenia:

1. Pomiar charakterystyki spektralnej czułości względnej fototranzystora.
 - a) zestawić układ wg. schematu przedstawionego na rys.1, stosując jako źródło światła halogen. Ustawić na zasilaczu halogenu napięcie $U = 16\text{V}$
 - b) ustawić szczelinę monochromatora na 1mm
 - c) oświetlić fototranzystor światłem o długości fali z zakresu widzialnego. W tym celu wybrać odpowiednią długość fali monochromatora i ustawić badany fototranzystor w ognisku zwierciadła M2, tak aby optymalnie go oświetlić.



Rys.1.

c) Podłączyć fototranzystor do układu polaryzującego, zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 2.

d) W obecności prowadzącego spolaryzować fototranzystor napięciem 0.4 V, pamiętając aby „+” zasilacza został podłączony do kolektora a „-” do emitera. Odpowiada to połączeniu „-” zasilacza do „gorącego” wejścia gniazda w skrzynce.

e) Zmierzyć napięcie stałe na oporze R w funkcji długości fali w zakresie od 600nm aż do długości fali przy której sygnał spadnie do poziomu 10^{-3} wartości maksymalnej. **Ponieważ mierzone jest napięcie stałe, modulator jest podczas tego pomiaru wyłączony.**

f) Zmierzyć charakterystykę spektralną źródła i monochromatora dla tych samych długości fal dla których zmierzono sygnał z badanego fototranzystora. W tym celu należy zmierzyć fotonapięcie na wyjściu detektora termicznego, którym w tym układzie pomiarowym jest termopara.

- zestawić układ wg. schematu przedstawionego na rys.1
- ustawić na zasilaczu halogenu napięcie $U = 16V$
- ustawić szczelinę monochromatora na 1 mm
- wstawić termoparę na miejsce fototranzystora i oświetlić ją światłem o długości fali z zakresu widzialnego.
- włączyć modulator; modulator uruchamia się popychając ‘skrzydełka’ zgodnie z kierunkiem ruchu wskazówek zegara.
- połączyć wyjście termopary z wejściem NANOMIERZA SELEKTYWNEGO 233

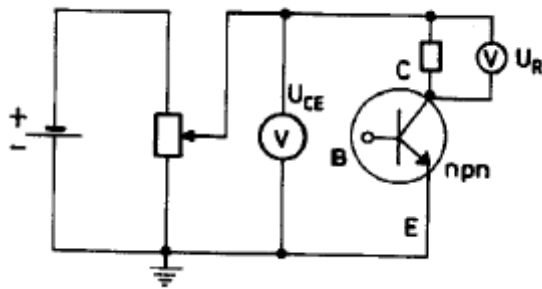


- **w obecności przewodzącego** włączyć nanowoltomierz do sieci
- jeśli na największym zakresie pomiarowym sygnał jest bliski zeru, zmniejszać skokowo zakres pomiarowy, tak aby wychylenie wskazówki osiągnęło wartość równą ok. 2/3 zakresu pomiarowego.
- skorygować położenie termopary tak, aby uzyskać maksymalne napięcie na wyjściu.
- ustawić pokrętkę częstotliwości nanowoltomierza w takim położeniu, przy którym sygnał na wyjściu termopary jest największy (ok. 18Hz)
- wykonać pomiary.

2) Pomiar charakterystyki I-V fototranzystora

a) Wyznaczyć maksimum na charakterystyce spektralnej czułości względnej fototranzystora (w tym celu należy podzielić sygnał z fototranzystora przez sygnał z detektora termicznego i znaleźć maksimum tego ilorazu).

b) Dla długości fali odpowiadającej temu maksimum zmierzyć zależność fotosygnалу z fototranzystora, tj. napięcia $U_R = I_F R$ w funkcji napięcia kolektor – emiter, od 0.1V do 1V co 0.02V do 0.3V i dalej co 0.1V do 1.5V.



Rys.2. Układ polaryzujący fototranzystor n-p-n

Opracowanie wyników

a) Narysować wykres czułości względnej fototranzystora w funkcji długości fali światła.

$$R_v(\lambda) = R_{vT}(\lambda) \frac{U_d A_T}{U_T A_d} \quad [\text{V/W}] \quad (1)$$

gdzie $R_{vT}(\lambda)$ – czułość spektralna detektora termicznego, A_T i A_d – oświetlone powierzchnie detektora termicznego i fototranzystora. Na podstawie tego wykresu określić przerwę wzbronioną i zidentyfikować materiał półprzewodnikowy z którego wykonano fototranzystor.



b) Narysować wykres zależności fotosygnалу fototranzystora U_R w funkcji napięcia kolektor – emiter U_{CE} dla kilku różnych napięć lampy halogenowej. Porównać z charakterystyką $I_C=f(U_{CE})$ dla zwykłego tranzystora.

WZORY KONIECZNE DO WYKONANIA SPRAWOZDANIA.

Detektory fotonowe.

1. Spektralna czułość napięciowa detektora fotonowego $R_v(\lambda)$:

$$R_v(\lambda) = R_{vT} \frac{U_d A_T}{U_T A_d} \quad [\text{V/W}] \quad (1)$$

gdzie $R_{vT}(\lambda)$ – czułość spektralna detektora termicznego (termopary lub detektora piroelektrycznego), A_T i A_d – oświetlone powierzchnie detektora termicznego i detektora fotonowego.

2. Charakterystyka spektralna detektora **fotonowego**:

$$\eta \sim \frac{R_v(\lambda)}{\lambda} \quad (\text{j.u.}) \quad (3)$$

gdzie λ - długość fali, $R_v(\lambda)$ - spektralna czułość napięciowa detektora.

Pytania kontrolne

1. Model pasmowy ciał stałych.
2. Półprzewodniki samoistne i domieszkowane.
3. Złącze p-n. Charakterystyka prądowo-napięciowa.
4. Oddziaływanie światła z półprzewodnikiem.
5. Efekt fotowoltaiczny.
6. Tranzystor i fototranzystor. Zasada działania.
7. Parametry charakteryzujące właściwości detektorów promieniowania.