



FOTONIKA (W12IMM-SI0012L)

Laboratorium nr 3 i 4

Detektory

Opracował zespół pod kierunkiem Ryszarda Korbutowicza

1. Cel zajęć

Zapoznanie się z pracą statyczną i dynamiczną detektorów

2 Zagadnienia do samodzielnego przygotowania

- * wpływ światła na konduktywność półprzewodnika
- * wewnętrzne zjawisko fotoelektryczne,
- * charakterystyki widmowe i oświetleniowe fotorezystora oraz przebieg czasowy zjawiska fotoelektrycznego,
- * wpływ światła na złącze p-n, charakterystyka prądowo-napięciowa,
- * dioda półprzewodnikowa jako detektor promieniowania (parametry, budowa),
- * czasy przełączania

...

3. Literatura uzupełniająca

A. Świt, J. Pułtorak – Przyrządy półprzewodnikowe.

T. Ohly, Z. Radzimski – Elementy elektroniczne, Skrypt do Laboratorium.

B.G. Streetman – Przyrządy półprzewodnikowe.

Wykład Zastosowanie Optoelektroniki

Wykład Fotonika

Karty katalogowe

4. Wprowadzenie teoretyczne i zagadnienia praktyczne

4.1 Wewnętrzne zjawisko fotoelektryczne

Fotony absorbowane przez półprzewodnik mogą spowodować powstanie nośników prądu w drodze generacji par elektron-dziura lub w drodze jonizacji donorów lub akceptorów. Warunkiem wystąpienia opisanego wyżej efektu jest odpowiednio duża energia absorbowanego fotonu.

Warunek progowy zjawiska fotoelektrycznego wewnętrznego:

półprzewodnik samoistny: $h\nu \geq W_g$ stąd : $\lambda_{prog} = \frac{ch}{W_g}$ czyli $\lambda_{prog} [\mu m] = \frac{1,24}{W_g [eV]}$

Podczas zajęć należy przestrzegać przepisów BHP

półprzewodnik donorowy: $h\nu \geq W_c - W_d$ stąd: $\lambda_{prog} = \frac{ch}{W_c - W_d}$, $\lambda_{prog} [\mu m] = \frac{1,24}{W_c - W_d [eV]}$

półprzewodnik akceptorowy: $h\nu \geq W_a - W_v$ stąd: $\lambda_{prog} = \frac{ch}{W_a - W_v}$, $\lambda_{prog} [\mu m] = \frac{1,24}{W_a - W_v [eV]}$

gdzie: c – prędkość światła, h – stała Plancka

Przykładowe wartości progowej długości fali:

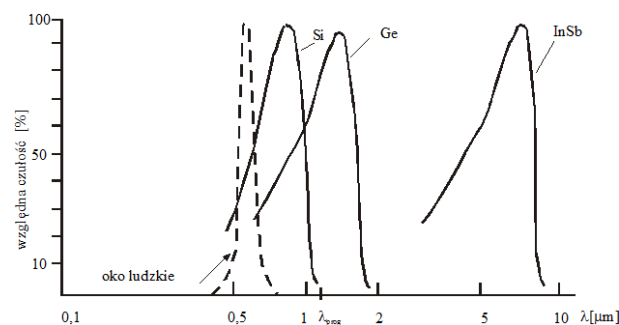
materiał	Ge	Si	Ge (dom. Au)	Ge (dom. Zn)	InSb
$\lambda_{prog} [\mu m]$	1,8	1,1	15	40	10

Wpływ światła na półprzewodnik wykorzystuje się w fotorezystorach. Ich czułość dla światła monochromatycznego określa się następującymi wzorami:

$$C_\lambda = \frac{\Delta I_\Phi}{P_\lambda} \quad \text{lub} \quad C_\lambda = \frac{\Delta I_\Phi}{\Phi_\lambda}$$

gdzie: P_λ – moc padającego promieniowania, Φ_λ – strumień świetlny, ΔI_Φ – przyrost fotoprądu w stosunku do prądu ciemnego przy określonym napięciu fotorezystora.

Czułość zależy od rodzaju półprzewodnika i długości fali świetlnej – tę ostatnią zależność przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Przebieg względnej czułości widmowej kilku materiałów półprzewodnikowych w warunkach ustalonego oświetlenia

Konduktywność półprzewodnika oświetlonego σ_f wyraża się sumą konduktywności ciemnej σ_o (półprzewodnik nieoświetlony) i konduktywności fotoelektrycznej $\Delta\sigma$ (przyrost konduktywności półprzewodnika wynikający z jego oświetlenia):

$$\sigma_f = \sigma_o + \Delta\sigma$$

$$\sigma_o = q (n_o \mu_n + p_o \mu_p)$$

gdzie: μ_n , μ_p – ruchliwości elektronów i dziur, n_o , p_o – koncentracje równowagowe elektronów i dziur, q – ładunek elementarny, $\Delta\sigma = q (\Delta n \mu_n + \Delta p \mu_p)$; przy czym: przyrost liczby nośników jest liniową funkcją strumienia świetlnego dla (małych mocy promieniowania) i wyraża się wzorem:

$$\Delta n = \beta \alpha \Phi \tau$$

gdzie: β – wydajność kwantowa proporcjonalna do ilości par elektron-dziura generowanych przez jeden foton, α – współczynnik absorpcji, Φ – strumień świetlny, τ – czas życia nośników.

Tak więc konduktywność fotorezystora jest liniową funkcją strumienia świetlnego w granicach stosowalności wzoru $\Delta n = \beta\alpha\Phi\tau$.

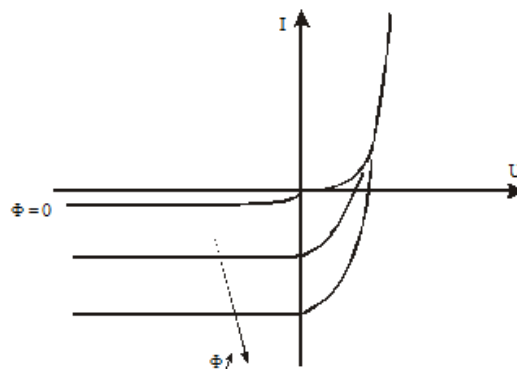
4.2 Wpływ światła na złącze p-n

Prąd oświetlonego złącza opisuje wzór

$$I = I_s \left[\exp\left(\frac{qU}{kT}\right) - 1 \right] - I_\Phi$$

gdzie: I_s – prąd ciemny generacji lub nasycenia, I_Φ – dodatkowy prąd związany z występowaniem wewnętrznego efektu fotoelektrycznego, którego natężenie zależy od strumienia świetlnego, a nie zależy od napięcia.

Pole elektryczne złącza p-n powoduje rozdzielanie nośników generowanych przez fotony w obszarze złącza, co prowadzi do wytworzenia siły elektromotorycznej (zjawisko fotowoltaiczne). Również nośniki prądu generowane poza obszarem złącza, ale w jego pobliżu dyfundując do obszaru warstwy zaporowej podlegają działaniu pola w złączu. Na rys. 2. przedstawiono charakterystykę prądowo-napięciową oświetlonego złącza p-n. Parametrem rodziny krzywych jest strumień świetlny Φ .



Rys. 2. Charakterystyka prądowo-napięciowa złącza p-n w warunkach oświetlenia strumieniem Φ

Jak widać ze wzrostem strumienia świetlnego rośnie prąd wsteczny złącza spolaryzowanego zaporowo (wykres w III ćwiartce układu współrzędnych). Efekt ten wykorzystywany jest w fotodiodach. Wymienione wyżej rozdzielanie ładunku polem wbudowanym złącza powoduje wytworzenie w niespolaryzowanym złączu siły elektromotorycznej (wykres w IV ćwiartce układu współrzędnych na rys. 2.). Efekt ten wykorzystuje się w ogniwie słonecznym.

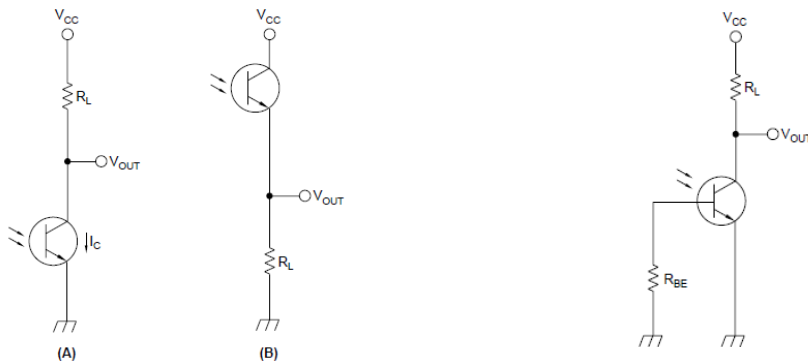
4.3 Fototranzystory

Fototranzystor jest tranzystorem, w którym wartość wyjściowego prądu elektrycznego zależy od natężenia promieniowania elektromagnetycznego (zwykle optycznego). Z reguły jest to tranzystor bipolarny z odsłoniętą dla promieniowania bazą. Przebieg procesów zachodzących w fototranzystorze pod wpływem promieniowania jest uwarunkowany wewnętrznym zjawiskiem fotoelektrycznym. Możliwa jest praca fototranzystora zarówno na zasadzie fotodiody, jak i fotoogniwa. Fototranzystor może mieć końcówkę bazy wyprowadzoną na zewnątrz obudowy – jest wtedy elementem bardziej uniwersalnym, gdyż może być sterowany jednocześnie elektrycznie i optycznie.

Ogólnie rzecz biorąc fototranzystory mogą pracować w układzie wspólnego emitera lub wspólnego kolektora (rys. 3.). Praca WE jest bardziej stabilna. Dla układu WE świetlny sygnał wejściowy podawany na bazę powoduje, że napięcie wyjściowe maleje. Dla wspólnego kolektora napięcie wyjściowe wzrasta po podaniu sygnału świetlnego. Do pracy w trybie przełączania wartość rezystora obciążenia R_L jest oczywiście powiązana z napięciem zasilania U_{CC} oraz prądem kolektora I_C zależnością:

$$U_{CC} < R_L \cdot I_C.$$

Na rys. 4. [1] pokazano obwód wykorzystujący elektrodę bazy. Rezystor R_{BE} podłączony pomiędzy bazę a emiter minimalizuje wpływ prądu ciemnego przy pracy wysokotemperaturowej.



Rys. 3. Podstawowe układy pracy fototranzystora: a) wspólny emiter, b) wspólny kolektor

Rys. 4. Tryb pracy fototranzystora wykorzystujący elektrodę bazy

Złącze baza-kolektor polaryzowane jest zaporowo i działa jak zwykła fotodiody. Złącze baza-emiter polaryzowane jest w kierunku przewodzenia — tranzystor pracuje w układzie aktywnym normalnym. Prądem bazy jest fotoprąd nośników ładunku wygenerowanych przez światło padające na obszar złącza BC. Dlatego też fototranzystory często wystarcza wyprowadzenie tylko dwu elektrod. Prąd wyjściowy jest równy $I_{ph}\beta$.

4.4 Praca dynamiczna fotodetektorów

W większości swoich zastosowań fotodetektory pracują przy określonej częstotliwości sygnału optycznego. Dlatego do podstawowych parametrów fotodetektorów zalicza się szybkość odpowiedzi. Szybkość odpowiedzi jest to szybkość reakcji fotodetektora na zmienny sygnał optyczny — pochodzący ze źródła światła. Szybkość odpowiedzi charakteryzowana jest dwoma czasami: czasem narastania — t_r lub t_{ON} i czasem opadania — t_f lub t_{OFF} oraz częstotliwością odcięcia — f_{cutOFF} . Często stosowanym parametrem fotodetektora pracującego dynamicznie jest częstotliwość pasma 3dB — f_{3dB} .

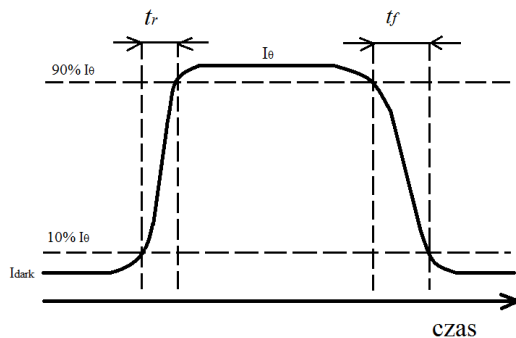
Czas narastania (t_r lub t_{ON}) impulsu fotoprądu jest to czas, w jakim amplituda fotoprądu zmienia się od 10% do 90% swojej wartości maksymalnej.

Czas opadania (t_f lub t_{OFF}) impulsu fotoprądu jest to czas, w jakim amplituda fotoprądu zmienia się od 90% do 10% swojej wartości maksymalnej.

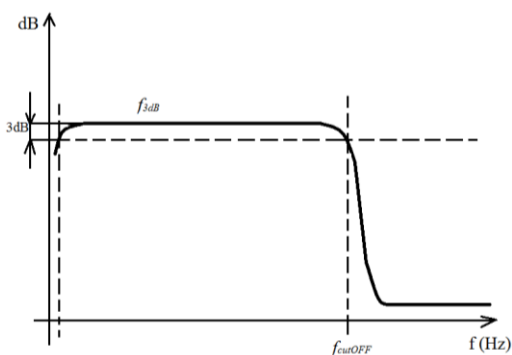
Sposób określania czasów narastania i opadania sygnału pokazano na rys. 5.

Częstotliwością pasma 3dB (f_{3dB}) nazywa się zakres częstotliwości pracy fotodetektora, w którym amplituda impulsu napięciowego jest mniejsza od maksymalnej o nie więcej niż 3 dB.

Częstotliwością odcięcia (f_{cutOFF}) nazywa się maksymalną częstotliwością pracy fotodetektora, przy której spadek amplitudy sygnału napięciowego jest nie większy niż 3 dB. Sposób określania częstotliwości pokazano na rys. 6.



Rys. 5. Sposób określania czasów narastania i opadania sygnału fotodetektora



Rys. 6. Sposób określania częstotliwości sygnału fotodetektora

Proszę się zapoznać z kartami katalogowymi:

- * fotorezystor GL5539 (Senba Optical & Electronic Co., Ltd),
- * fotodiody krzemowe pin SFH 203 P (OSRAM Opto Semiconductors),
- * fototranzystor krzemowy FT06-M,
- * dioda światła białego OSPW5 (Optosupply Technologies Ltd.)

[1] <http://educyclopedia.karadimov.info/library/Sharp%20photodevices.pdf>

Niektóre ilustracje zaczerpnięto z kart katalogowych