



Politechnika Wrocławska

Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów



Miernictwo elementów fotonicznych

Laboratorium nr 3 i 4 (część teoretyczna)

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 przetwarzania

...

3. Literatura uzupełniająca

A. Świt, J. Pułtorak – Przyrządy półprzewodnikowe.

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

B.G. Streetman – Przyrządy półprzewodnikowe.

Wykład **Miernictwo elementów fotonicznych**

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:

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

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

Podczas zajęć należy przestrzegać przepisów BHP

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:

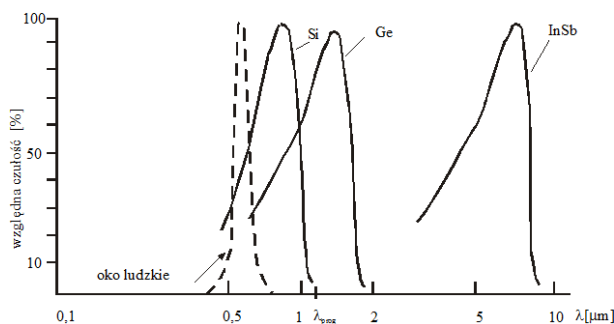
materiał	Ge	Si	Ge (dom. Au)	Ge (dom. Zn)	InSb
$\lambda_{prog} [\mu m]$	1,8	1,1	15	40	10

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

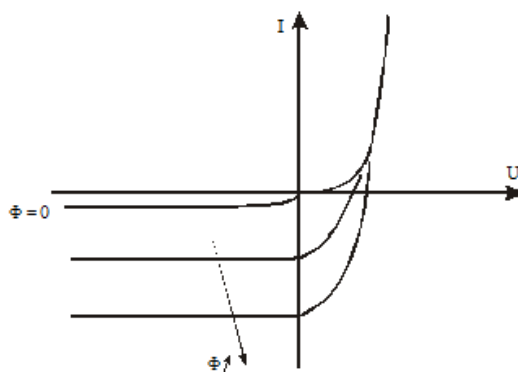
4.2 Wpływ światła na złącze p-n

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

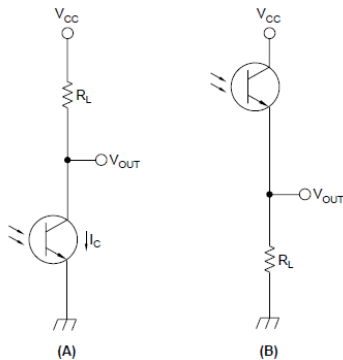
Fototranzystor jest tranzystorem, w którym wartość wyjściowego prądu elektrycznego zależy od natężenia promieniowania elektromagnetycznego (zwykle optycznego). Z reguły jest to tranzystor bipolarny z odsłoniętą dla promieniowania bazą. Przebieg procesów zachodzących w fototranzystorze pod wpływem promieniowania 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 ko-

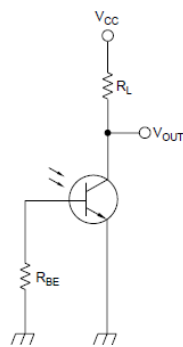
lektora napięcie wyjściowe wzrasta po podaniu sygnału świetlnego. Do pracy w trybie przełączania wartość rezystora obciążenia R_L jest oczywiście powiązana z napięciem zasilania U_{CC} oraz prądem kolektora I_C zależnością:

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

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.

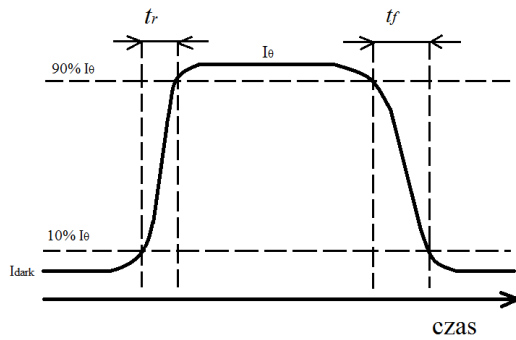
Czas opadania (t_f lub t_{OFF}) impulsu fotoprądu jest to czas, w jakim amplituda fotoprądu zmienia się od 90% do 10% swojej wartości maksymalnej.

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

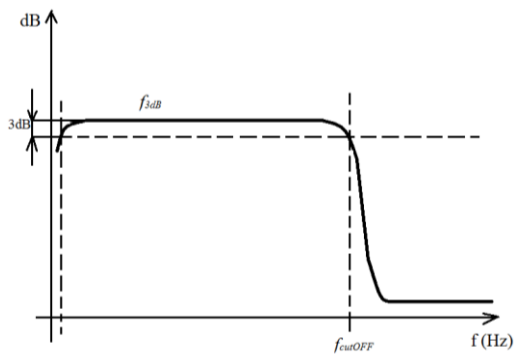
Częstotliwością pasma 3dB (f_{3dB}) nazywa się zakres częstotliwości pracy fotodetektora, w którym amplituda impulsu napięciowego jest mniejsza od maksymalnej o nie więcej niż 3 dB.

Częstotliwością odcięcia (f_{cutOFF}) nazywa się maksymalną częstotliwość 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),
- * fotodioda krzemowa 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