

POLITECHNIKA ŁÓDZKA

INSTYTUT FIZYKI

LABORATORIUM

FIZYKI KRYSZTAŁÓW STAŁYCH

ĆWICZENIE Nr 4

**Badanie krawędzi absorpcji podstawowej
w kryształach półprzewodników**

I. Część doświadczalna.

1. Uruchomić Spekol /wg. instrukcji podanej w punkcie III/.
2. Przeprowadzić pomiar krzywej wzorcowej dla fotokomórki czerwonej.

Sporządzić wykres $I_0 / \lambda /$ dla zakresu 450-600 nm, pomiary przeprowadzać co 5 nm. Przez I_0 rozumiemy natężenie promieniowania świetlnego docierającego do fotokomórki, gdy na jego drodze nie ma badanego kryształu. Natężenie promieniowania odczytujemy w jednostkach względnych bezpośrednio na skali przyrządu. W celu zmierzenia krzywej wzorcowej należy odłączyć do przyrządu komórkę zawierającą kryształ

3. Przeprowadzić pomiary dla kryształu w tym samym zakresie i dla tych samych długości fal. W obszarze krawędzi absorpcji zagęścić punkty pomiarowe do 1 nm. Wartości odczytywane z przyrządu będą natężeniem promieniowania przechodzącego przez kryształ - $I / \lambda /$ w jednostkach względnych.

II. Opracowanie danych doświadczalnych.

1. Obliczyć transmisję kryształu T.

Obliczamy ją jako stosunek względnych natężeń: promieniowania przechodzącego przez kryształ - $I / \lambda /$ i promieniowania padającego - $I_0 / \lambda /$:

$$T = \frac{I / \lambda /}{I_0 / \lambda /}$$

Przeliczanie zakresów wzmocnienia :

$$/200/ = 2,031 \cdot /100/$$

$$/500/ = 2,554 \cdot /200/$$

$$/1000/ = 2,145 \cdot /500/$$

Sporządzić wykres zależności transmisji od energii fotonów - $h\nu$.

Energję fotonu /w eV/ o długości fali λ /w μm / obliczamy :

$$h\nu = \frac{1,24}{\lambda}$$

2. Obliczyć współczynnik pochłaniania.

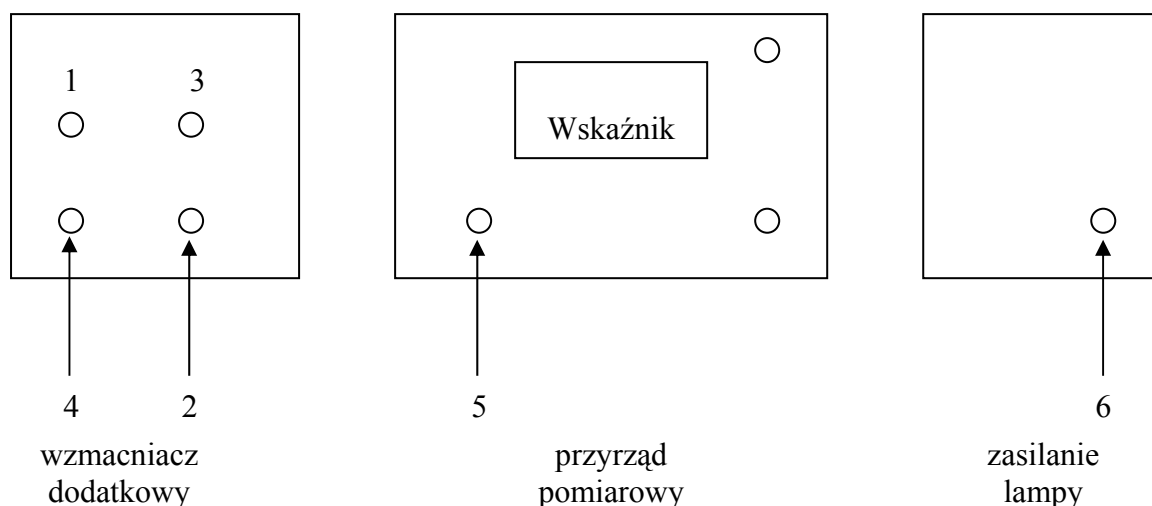
Sposób obliczenia podany jest w dalszej części instrukcji.

Sporządzić wykresy zależności α^2 i $\sqrt{\alpha}$ od energii kwantu i na ich podstawie określić czy przejście jest proste czy skośne.

3. Określić wartość przerwy wzbronionej i jeśli przejście jest skośne, wartość energii fononu biorącego w nim udział.

4. Przeprowadzić rachunek błędów.

III. Uruchomienie przyrządu.



1. Pokrętko regulacji wzmocnienia - 3 ustawić na 0.
2. Włączyć wzmacniacz dodatkowy i odczekać 15 min. /włącznik - 1/.
3. Włączyć zasilanie lampy /włącznik - 6/.
4. Ustawić pokrętko płynnej regulacji wzmocnienia - 4 w krańcowym lewym położeniu.
5. Pokrętko kompensacji tła - 2 ustawić na 0.
6. Przy zamkniętym dopływie światła - przełącznik 5 w pozycji 0 - ustawić 3 na maksimum sprowadzając pokrętkę 2 wskazówkę przyrządu na 0.
7. Zmniejszyć wzmocnienie do 50 i otworzyć dopływ światła - przełącznik 5 w pozycji I.
8. W czasie pomiarów stosować większe wzmocnienia w zależności od potrzeb czuwając by nie przekroczyć zakresu przyrządu,

UWAGA!!! Przy niewłaściwym uruchomieniu przyrząd może ulec uszkodzeniu.

IV. Podstawowe wiadomości teoretyczne.

1. Odbicie i pochłanianie.

W przypadku prostopadłego padania światła na kryształ następuje częściowe jego odbicie. Współczynnik odbicia /dla normalnego padania światła/ opisany jest wzorem:

$$R = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2$$

Jest to wzór przybliżony - pomijamy tu ekstynkcję, która w większości przypadków jest mniejsza od 10^{-2} . Współczynnik pochłaniania światła definiujemy jako :

$$\alpha = \frac{1}{I/h\nu} \frac{dI/h\nu}{dx}$$

czyli jako względne zmniejszenie natężenia światła na jednostkę drogi w kryształach. Wychodząc z tej definicji otrzymujemy :

$$I = I_0 e^{-\alpha x},$$

gdzie :

I_0 - natężenie wiązki padającej

I - natężenie wiązki wychodzącej

x - grubość kryształu /kryształ wykorzystywany w doświadczeniu ma grubość 0,4 cm/

Uwzględniając normalne odbicia od ścian kryształu /jeśli światło pada na nie prostopadle/ otrzymamy :

$$I = I_0 B e^{-\alpha x}$$

B jest tu współczynnikiem, który może być funkcją energii fotonów :

$$B = 1 - R^2$$

Oznaczając transmisję przez T mamy :

$$T = B e^{-\alpha x}$$

Z tego wzoru możemy obliczyć współczynnik pochłaniania światła :

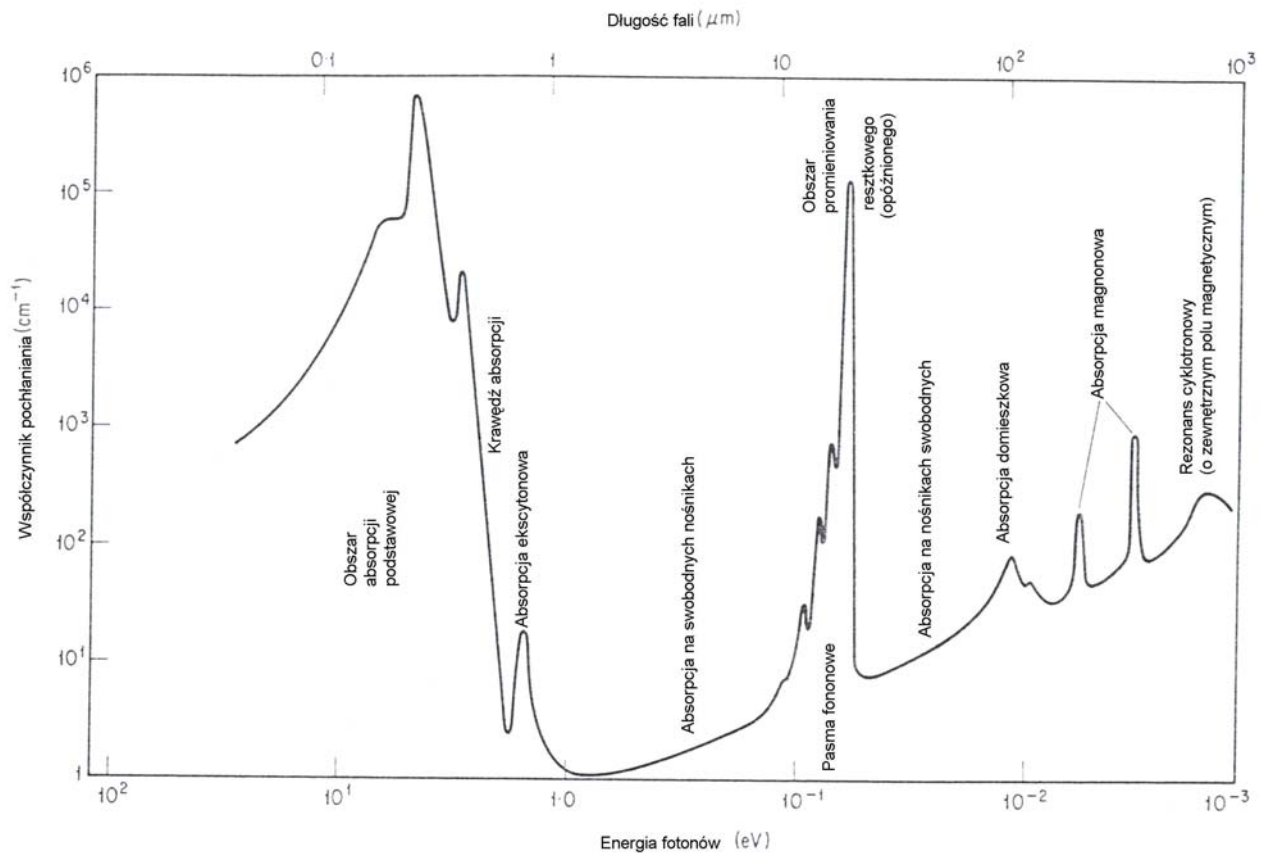
$$\alpha = \frac{1}{x} / -\ln T + \ln B /$$

Dla fotonów o energii mniejszej od energii przerwy wzbronionej można przyjąć, że B jest równe zmierzonej wartości transmisji /czyli, że $\alpha=0$ /.

Jeśli w zakresie małych energii B nie zależy od energii fotonu, to możemy przyjąć, że wartość tego współczynnika jest stała w całym zakresie interesujących nas energii. Dla B zależnego od energii fotonów, w celu obliczenia współczynnika pochłaniania światła konieczne jest ekstrapolowanie jego wartości do zakresu energii dla których przeprowadzamy obliczenia.

2. Pochłanianie promieniowania przez kryształ.

Przykładowe widmo absorpcji w szerokim zakresie energii fotonów przedstawione jest na rysunku :

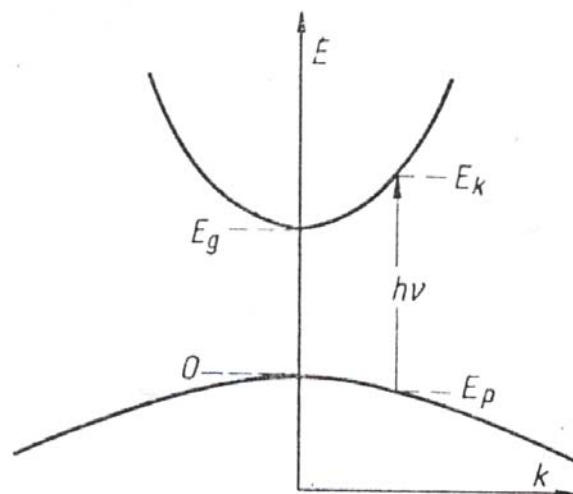


3. Absorpcja podstawowa.

Określenia to obejmuje przejścia międzypasmowe oraz ekscytonowe tzn. wzbudzenia elektronów z pasma walencyjnego do pasma przewodnictwa.

Przejścia proste.

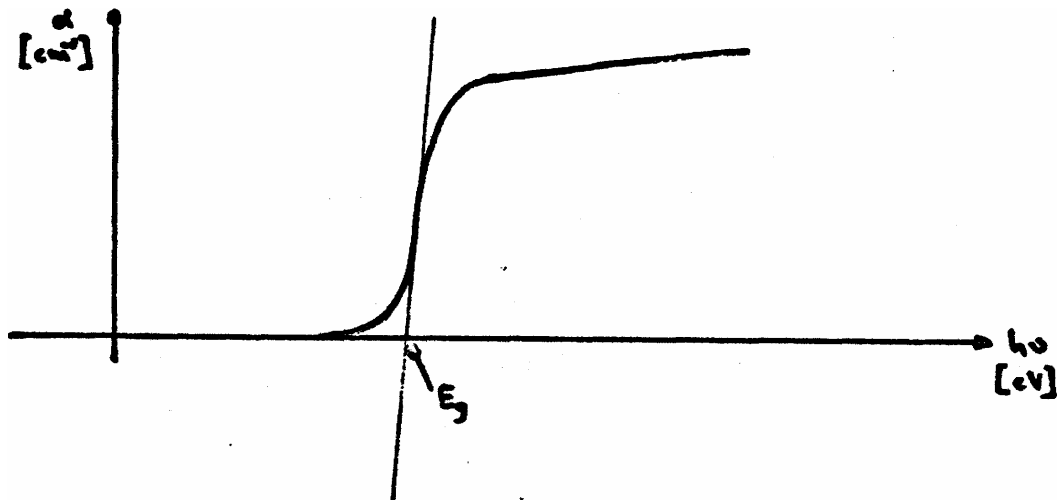
Zachodzą one w półprzewodnikach z prostą przerwą energetyczną:



Współczynnik pochłaniania światła zachodzącego w wyniku przejść prostych dozwolonych spełnia równanie :

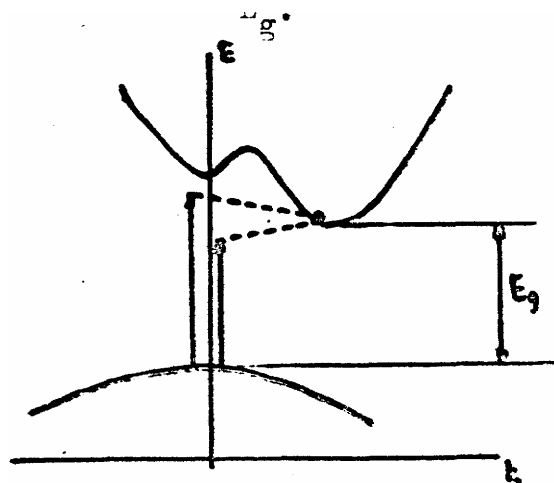
$$\alpha / hv = A / hv - E_g / 2$$

Z wykresu zależności α^2 od $h\nu$ można wyznaczyć wartość przerwy wzbronionej przedłużając najbardziej stromy prostoliniowy odcinek krawędzi absorpcji do przecięcia się z osią energii :



Przejścia skośne.

Mamy z nimi do czynienia w półprzewodnikach ze skośną przerwą energetyczną. W przejściu takim musi brać udział fonon - możliwe są przejścia z emisją i absorpcją fononu - energie emitowanych kwantów będą odpowiednio mniejsze i większe od E_g .



Współczynniki absorpcji mają postać :

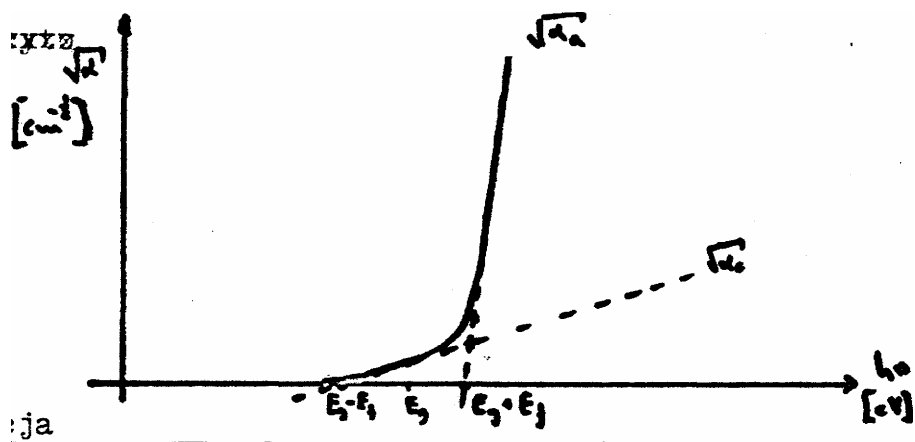
$$\alpha_a(h\nu) = \frac{C(h\nu - E_g + E_f)^2}{\exp\left(\frac{E_f}{k_B T}\right) - 1}$$

$$\alpha_e(h\nu) = \frac{C(h\nu - E_g + E_f)^2}{1 - \exp\left(-\frac{E_f}{k_B T}\right)}$$

Łącznie współczynnik absorpcji :

$$\alpha(h\nu) = \alpha_e(h\nu) + \alpha_a(h\nu)$$

Wykres współczynnika absorpcji przedstawiono na rysunku poniżej. Posługując się takim wykresem można wyznaczyć oprócz przerwy energetycznej także wartość biorącego udziału w przejściu fononu.

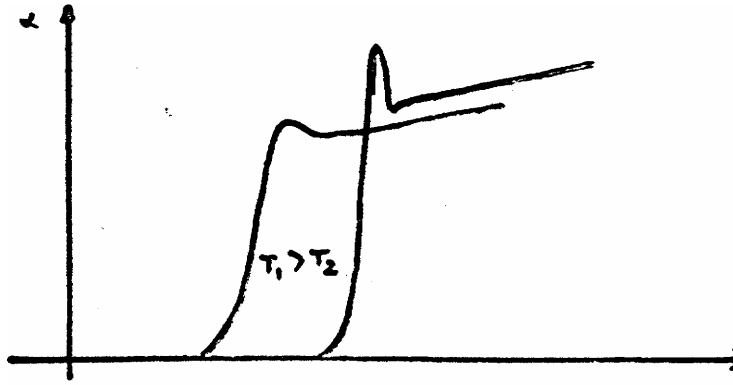


Absorpcja ekscytonowa.

Ekscytonem nazywamy parę elektron-dziura związane ze sobą siłami przyciągania elektrycznego. Energia potrzebna do utworzenia ekscytonu jest mniejsza niż szerokość przerwy energetycznej o energię wiązania ekscytonu.

W przypadku materiału z prostą przerwą energetyczną przejścia zachodzą dla fotonów o energiach:

$$h\nu = E_g - E_{ex}$$



Charakterystyczny dla przejść ekscytonowych pik /pokazany na wykresie dla temperatury T_2 / w temperaturach wyższych /zbliżonych do pokojowej/ ulega rozmyciu i praktycznie nie jest obserwowany.

Dla materiałów o skośnej przerwie energetycznej w przejściach musi brać udział fonon. Przejścia zachodzą dla energii :

$$h\nu = E_g \pm E_f - E_{ex}$$

Występujące na krawędzi absorpcji stopnie są konsekwencją faktu, że w miarę wzrostu energii fotonu w przejściu mogą brać udział kolejne typy fononów. Tak jak i w poprzednim przypadku charakterystyczny kształt krzywej obserwuje się - tylko dla niskich temperatur.

V. Wymagania.

1. Struktura energetyczna półprzewodników,
2. Prosta i skośna przerwa energetyczna.
3. Odbicie i pochłanianie światła w kryształach.
4. Ekscytony i poziomy ekscytonowe.
5. Absorpcja w kryształach.
6. Absorpcja podstawowa
 - przejścia proste
 - przejścia skośne
 - absorpcja ekscytonowa

VI. Literatura.

1. W. Giriat „Struktura krawędzi absorpcji podstawowej w półprzewodnikach. Postępy fizyki” t.XIV, zeszyt 5 /1963/ str.569
2. J. Pankove „Zjawiska optyczne w półprzewodnikach”, W-wa 1974
3. Iu. Uchanow „Optyczne właściwości półprzewodników”
4. C. Kittel „Wstęp do fizyki ciała stałego”
5. F. Blatt „Fizyka zjawisk elektronowych w metalach i półprzewodnikach”
6. Szalimowa „Fizyka półprzewodników”
7. Smith „Półprzewodniki”
8. R.J. Elliot, A.F. Gibson „An Introduction to Solid State Physics and its Applications”, London 1974