

| | | | | |
|------------------------------|------------------------------|-------------------|---------------|-----------------|
| WFilS | Imię i nazwisko: 1. 2. | ROK | GRUPA | ZESPÓŁ |
| PRACOWNIA FIZYCZNA I i II | TEMAT: | | | NR ĆWICZENIA |
| Data wykonania: | Data oddania: | Zwrot do poprawy: | Data oddania: | Data zliczenia: |
| | | | | OCENA |

Cel ćwiczenia

Wyznaczenie przerwy energetycznej półprzewodników przez pomiar współczynnika absorpcji światła w funkcji długości fali.

Wstęp teoretyczny

Odstęp energetyczny między pasmem przewodnictwa i pasmem walencyjnym nazywamy przerwą energetyczną. Jeżeli na przewodnik padają fotony o energii wystarczającej do przeniesienia elektronów z pasma walencyjnego do pasma przewodnictwa to są one o wiele silniej absorbowane niż fotony o mniejszych energiach. Zatem w widmie absorpcyjnym półprzewodnika lub izolatora daje się wyróżnić w okolicy energii fotonu równej szerokości przerwy energetycznej odcinek szybkiego wzrostu współczynnika absorpcji, zwany krawędzią absorpcji.

W procesie absorpcji światła obok zasady zachowania energii musi być też spełnione prawo zachowania pseudopędu. Ponieważ długość fali świetlnej jest rzędu 10^3 razy większa od wymiaru komórki elementarnej, więc liczba falowa fotonu jest pomijalnie mała w porównaniu do liczby falowej elektronów w pasmach. Przejścia związane wyłącznie z absorpcją przez elektron energii i pędu fotonu zachodzą zatem praktycznie bez zmiany wektora falowego elektronu i na wykresie energii od wektora falowego są reprezentowane przez pionową prostą. Przejścia proste dominują w pobliżu krawędzi absorpcji półprzewodników z tzw. prostą przerwą energetyczną, w których wierzchołek pasma walencyjnego i dno pasma przewodnictwa występują dla tej samej wartości wektora falowego.

W przejściach między pasmowych obowiązują, podobnie jak w atomach swobodnych, określone reguły wyboru. W związku z tym rozróżnia się przejścia dozwolone i wzbronione.

W naszym ćwiczeniu krawędź absorpcji będzie wyznaczona dla półprzewodnika, w który dominują przejścia proste dozwolone.

W przybliżeniu parabolicznych pasm

$$h\nu = E_g + \frac{\hbar^2 k^2}{2m_p} + \frac{\hbar^2 k^2}{2m_n} \quad (1)$$

gdzie m_p i m_n oznaczają masy elektronów w paśmie walencyjnym i efektywne masy dziur przewodnictwa.

Dla $h\nu = E_g$ zachodzi przejście elektronu z wierzchołka pasma walencyjnego na dno pasma przewodnictwa. Ze wzrostem energii kwantu poziom energii stanu początkowego przesuwają się w dół pasma walencyjnego, a poziom energii stanu końcowego w górę pasma przewodnictwa proporcjonalnie do różnicy $h\nu - E_g$, wskutek czego proporcjonalnie do pierwiastka tej różnicy rośnie liczba stanów, między którymi może zachodzić przejście. Ostatecznie współczynnik absorpcji α wiąże się z energią kwantów $h\nu$ w następujący sposób:

$$\alpha h\nu = A\sqrt{h\nu - E_g} \quad (2)$$

Dla innych rodzajów przejść wartość wykładnika we wzorze (2) jest inna. Analiza zależności $\alpha(h\nu)$ pozwala określić nie tylko wartość, lecz również rodzaj przerwy energetycznej. Współczynnik absorpcji α

osiąga wartości rzędu $10^7/\text{m}$; liczbę tą oznacza 2,7-krotny spadek natężenia światła na grubości absorbenta $0,1 \mu\text{m}$. Aby można było zmierzyć współczynnik absorpcji należy się więc posłużyć bardzo cienkimi warstwami półprzewodnika. wiązka światła padającego o natężeniu I_0 częściowo odbija się na granicy powietrze-półprzewodnik, następnie wewnątrz półprzewodnika o grubości d natężenie światła maleje zgodnie z prawem wykładniczym absorpcji. Dodatkową stratę natężenia światła powoduje odbicie na granicy półprzewodnik-szkło i szkło-powietrze. Doświadczalnie mierzymy stosunek natężenia światła przechodzącego I_T do światła padającego I_0 zwanym transmisją.

$$\frac{I_T}{I_0} = T = (1 - R)e^{-\alpha d} \quad (3)$$

gdzie R oznacza wypadkowy współczynnik odbicia.

Zaniedbując zjawisko odbicia (czyli przyjmując $R=0$), co jest usprawiedliwione, jeżeli transmisja T jest mała, z połączenia wzorów (2) i (3) otrzymujemy:

$$T = e^{-\frac{A}{h\nu}\sqrt{h\nu - E_g}d} \quad (4)$$

Po obustronnym zlogarytmowaniu:

$$\left(h\nu \ln \frac{1}{T}\right)^2 = Ad(h\nu - E_g) \quad (5)$$

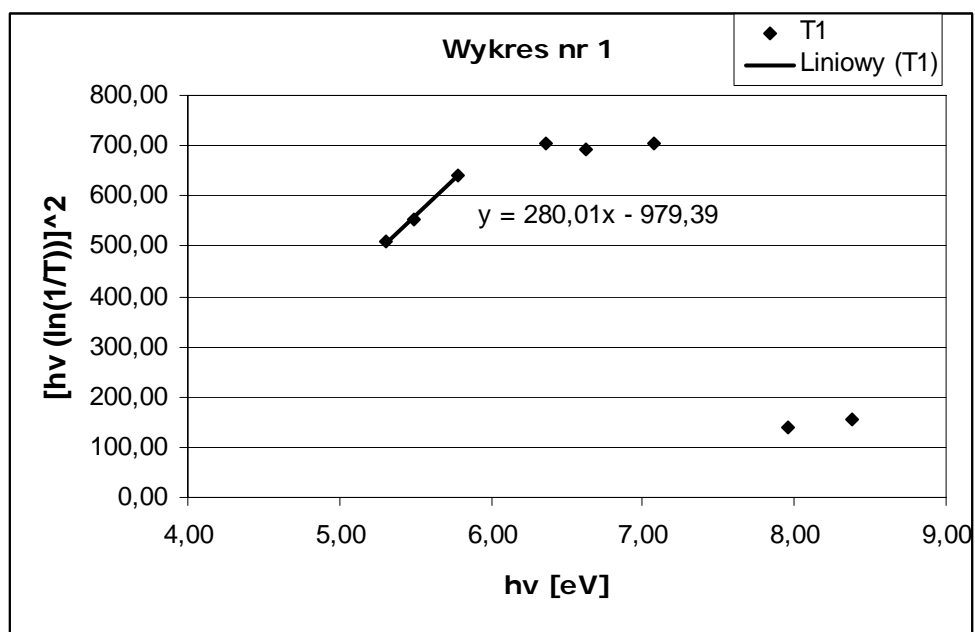
Wykres zależności ze strony lewej w funkcji energii kwantu $h\nu$ powinien być linią prostą, której przecięcie się z osią rzędnych wyznacza wartość przerwy energetycznej (E_g).

Opracowanie wyników

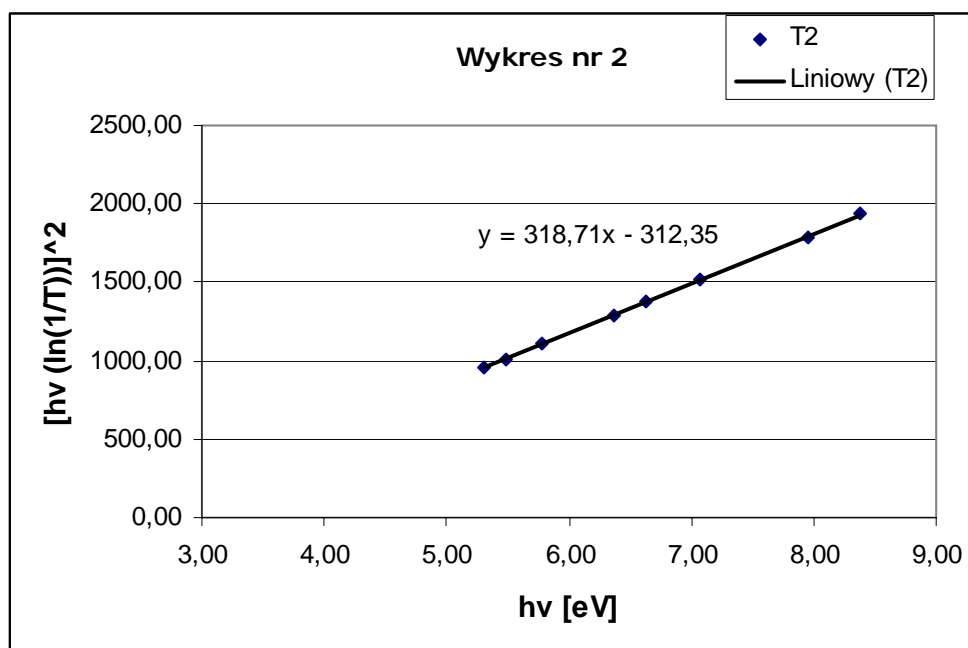
Ćwiczenie wykonaliśmy z pomocą aparatu SPECOL 11.

Badaliśmy dwie próbki w zakresie długości fali od 380 nm do 600 nm.

Wykres nr 1 przedstawia wykres zależności $[h\nu \ln(1/T_1)]^2$ do energii kwantów $h\nu$.



Wykres nr 2 przedstawia wykres zależności $[h\nu \ln(1/T_2)]^2$ do energii kwantów $h\nu$.



Przez prostoliniową część wykresu przeprowadziliśmy prostą metodą najmniejszych kwadratów. Równania tych prostych znajdują się na wykresach.

- 1) $y = 280,01x - 979,39$
- 2) $y = 318,71x - 312,35$

Z tych równań można wyliczyć wartość graniczną $h\nu$, dla każdego absorbentu, przyrównując równanie do zera.

- 1) $x = 3,497$
- 2) $x = 0,980$

Przerwa energetyczna jest równa najmniejszej energii kwantu światła, dla której elektron jest przenoszony do pasma przewodnictwa. Wartość graniczna $h\nu$ jest równa przerwie energetycznej E_g .

Przerwa energetyczna I próbki wynosi: $E_g = 3,497 \text{ eV} = 5,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
 Przerwa energetyczna II próbki wynosi: $E_g = 0,980 \text{ eV} = 1,569 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Natomiast, aby określić niepewność wyznaczenia przerwy energetycznej skorzystaliśmy z prawa przenoszenia niepewności:

$$\Delta E_g = \sqrt{\left(\frac{\partial E_g}{\partial T}\right)^2 (\Delta T)^2}$$

po przekształceniu:

$$\Delta E_g = \sqrt{\left(2 \ln\left(\frac{1}{T}\right) \cdot T\right)^2 \cdot (\Delta T)^2}$$

Po podstawieniu wartości do powyższego wzoru, otrzymano niepewności pomiarowe przerw energetycznych poszczególnych próbek.

- 1) $\Delta E_g = 0,878 \text{ eV} = 1,406 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
- 2) $\Delta E_g = 0,845 \text{ eV} = 1,353 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Wnioski.

Ćwiczenie było przyjemne do wykonania. Nie stwierdziliśmy żadnych nieprawidłowości. Z powodu ograniczeń SPECOL 11 wykonaliśmy niewielką ilość pomiarów co z zwiększyło niepewność pomiarową dla poszczególnych próbek. Niestety nie wiedzieliśmy, jakimi materiałami są badane przez nas półprzewodniki, co nie pozwoliło nam na porównanie wartości przez nas uzyskanych z wartościami tablicowymi.

Literatura:

1. A. Gałkowska, A. Kolincio, K. Kozłowski: *Fizyka w tablicach*. Gdańsk, Wyd. Podkowa 2002
2. K. Krop: *Fizyka ciała stałego. Laboratorium*. Kraków, Wyd. AGH 1983

Załączniki:

1. Kartka z obliczeniami.