

# Ćwiczenie 7

## Absorbcja w półprzewodnikach

Patrycja Trybułowska, Zuzanna Rudzińska  
Zespół 7

25/11/2022

### 1 Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia było wyznaczenie wartości przerwy energetycznej oraz określenie rodzaju krawędzi absorpcji w wybranych warstwach półprzewodnikowych za pomocą pomiarów widma absorbcji światła.

### 2 Wykonanie ćwiczenia

#### 2.1 Pomiar transmisji światła przez warstwę siarczku kadmu, fosforku galu oraz bez włożonej warstwy

Wykonałyśmy pomiar transmisji światła przez warstwy CdS oraz GaP w zakresie długości fal  $480\text{nm}$ – $580\text{nm}$  z krokiem  $\Delta\lambda = 2\text{nm}$ .

Grubości badanych warstw wynosiła odpowiednio  $d_{CdS} = 500\mu\text{m}$  oraz  $d_{GaP} = 400\mu\text{m}$ . Następnie wykonałyśmy pomiar natężenia światła bez włożonej warstwy półprzewodnikowej. Zrobiłyśmy to w tym samym zakresie fal co powyższe. Otrzymane wyniki wykorzystałyśmy do sporządzenia poniższych wykresów oraz wyliczania potrzebnych wartości. Zaznaczyć również należy, że w otrzymanych pomiarach dostałyśmy w wynikach strumień zamiast natężenia. Możemy jednak użyć wartości  $\frac{\phi}{\phi_0}$  jako przybliżoną wartość  $\frac{I}{I_0}$  co wynika z małej powierzchni badanych płytka GaP oraz CdS.

### 3 Zależność współczynnika absorpcji od długości fali światła dla badanych dwóch warstw

Otrzymane pomiary pozwoliły nam na wyznaczenie wyżej wymienionej zależności. W tym celu skorzystałyśmy z poniższych wzorów w celu wyznaczenia współczynnika absorpcji:

$$T = (1 - R)^2 e^{-\alpha x}$$

$$T = \frac{I}{I_o}$$

Podstawiając więc do siebie oba równania na współczynnik T otrzymujemy:

$$\alpha = -\frac{1}{d} \ln \left( \frac{I}{I_o(1 - R^2)^2} \right) \quad (1)$$

gdzie x- grubość połoprzewodnika, I-natężenie światła przechodzącego,  $I_o$ - natężenie światła padającego, T- transmisja.

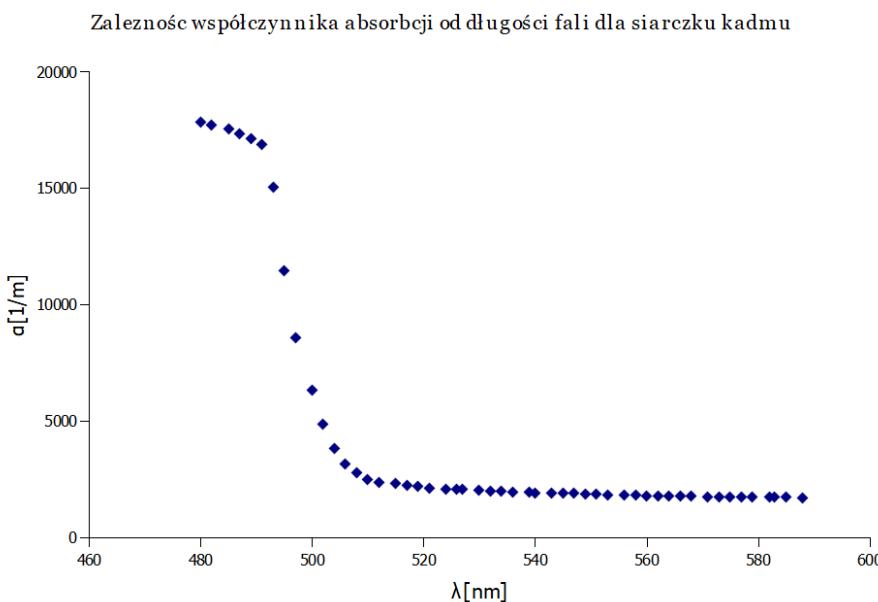
Wyznaczenie współczynnika odbicia obliczymy na podstawie współczynników załamania n dla poszczególnych materiałów: GaP oraz CdS.

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

Współczynniki te wynoszą odpowiednio (doświadczalnie dla światła o fali 568nm<sup>1</sup>):

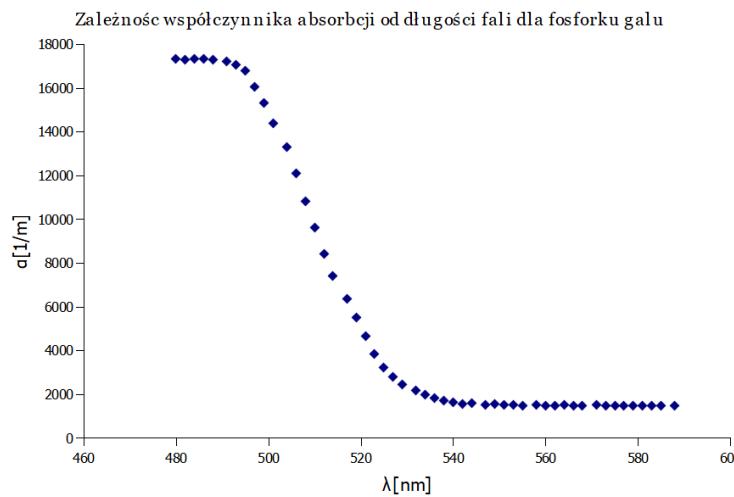
$$n_{GaP} = 3.4122$$

$$n_{CdS} = 2.5646$$



Rysunek 1: Wykres zależności współczynnika absorbcji od długości fali dla CdS

<sup>1</sup><https://refractiveindex.info/?shelf=mainbook=Ga&Ppage=Aspnes>

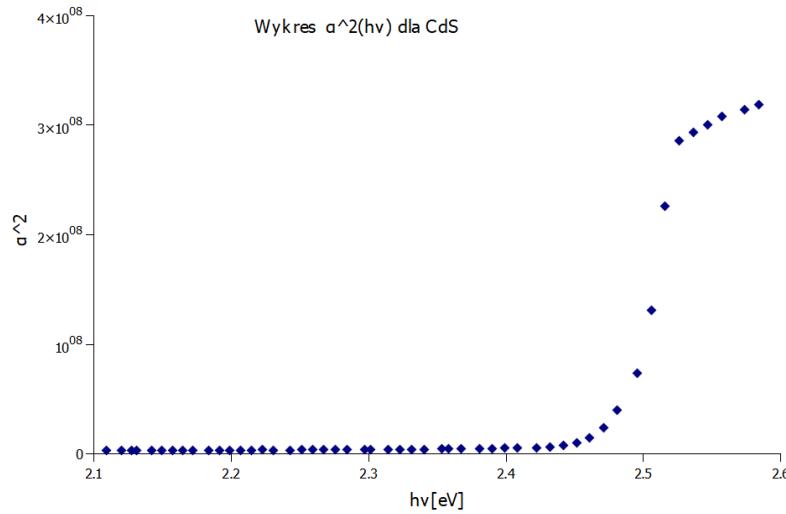


Rysunek 2: Wykres zależności współczynnika absorpcji od długości fali dla GaP

Otrzymane przebiegi wykresów pozwalają stwierdzić, że każdy półprzewodnik mocniej absorbuje światło w zakresie różnych długości fal.

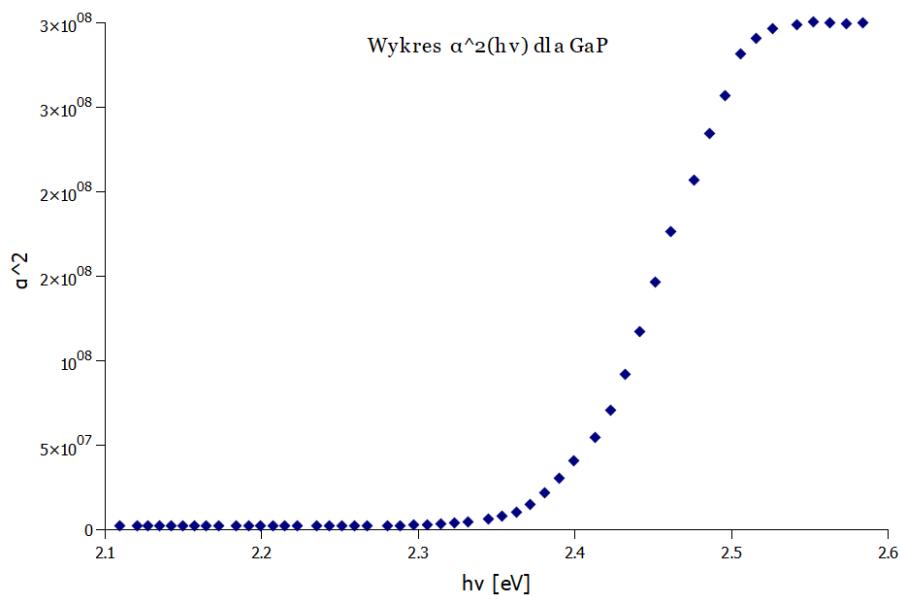
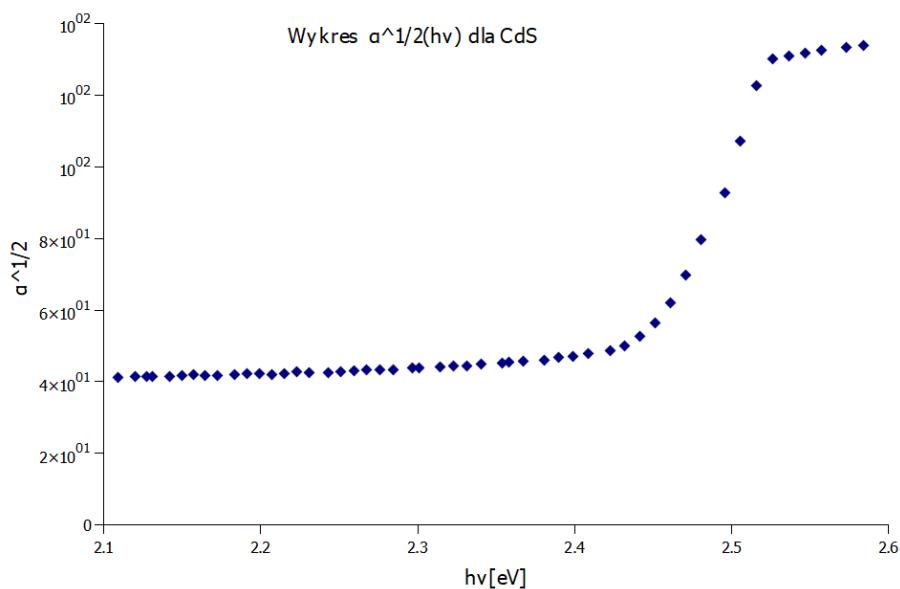
#### 4 Wykresy $\alpha^2(hv)$ , $\alpha^{\frac{1}{2}}(hv)$ oraz $\ln(\alpha)(hv)$

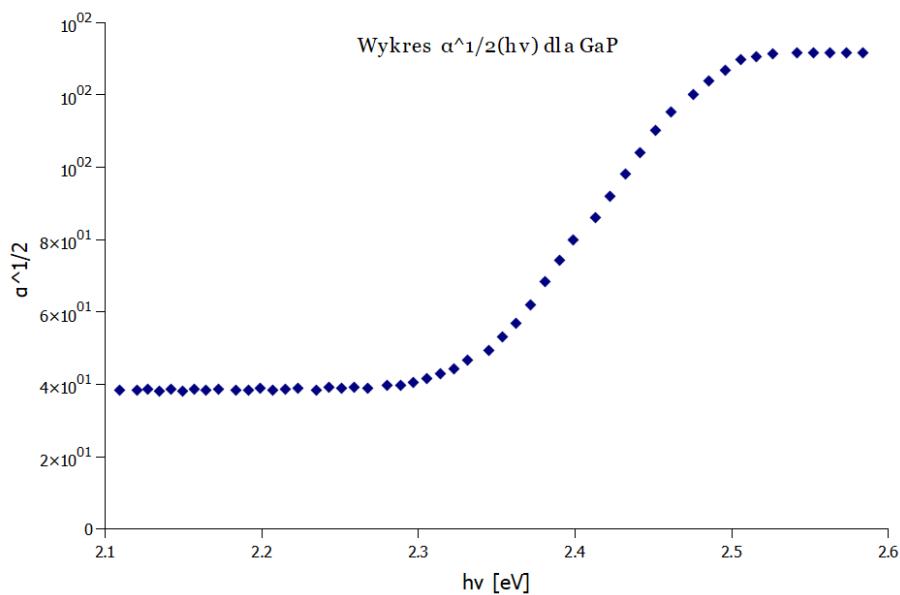
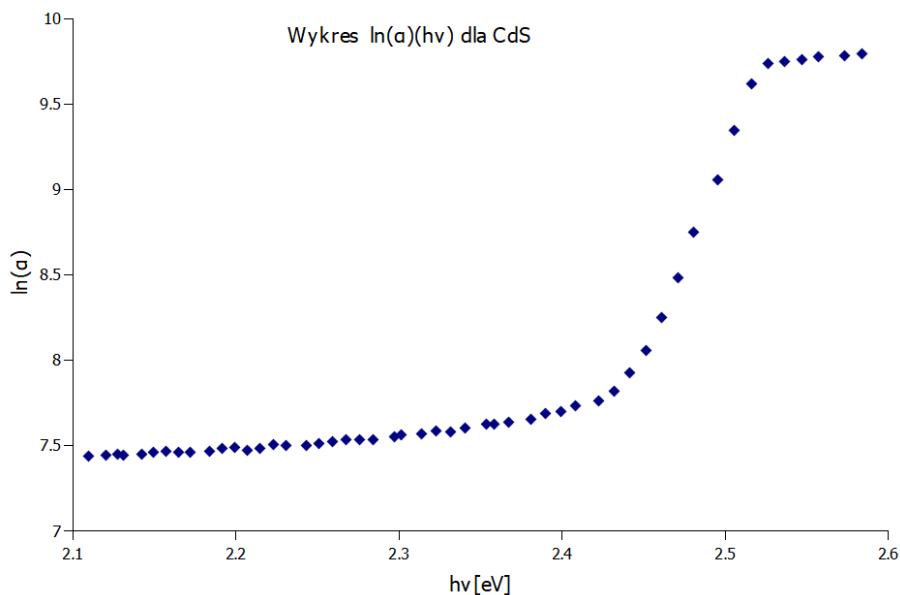
Dla otrzymanych w ćwiczeniu wyników wyznaczyłyśmy wykresy współczynników absorpcji zależne od energii. Energię wyznaczamy z klasycznego wzoru:  $E = hv$ , gdzie  $h$  oznacza stałą Plancka<sup>2</sup>, a  $v$  częstotliwość. Wzór ten możemy zapisać również inaczej, uwzględniając długość fali oraz prędkość światła w próżni:  $E = c \cdot h/\lambda$ . Znając wszystkie z tych trzech wielkości możemy wykreślić wykresy.

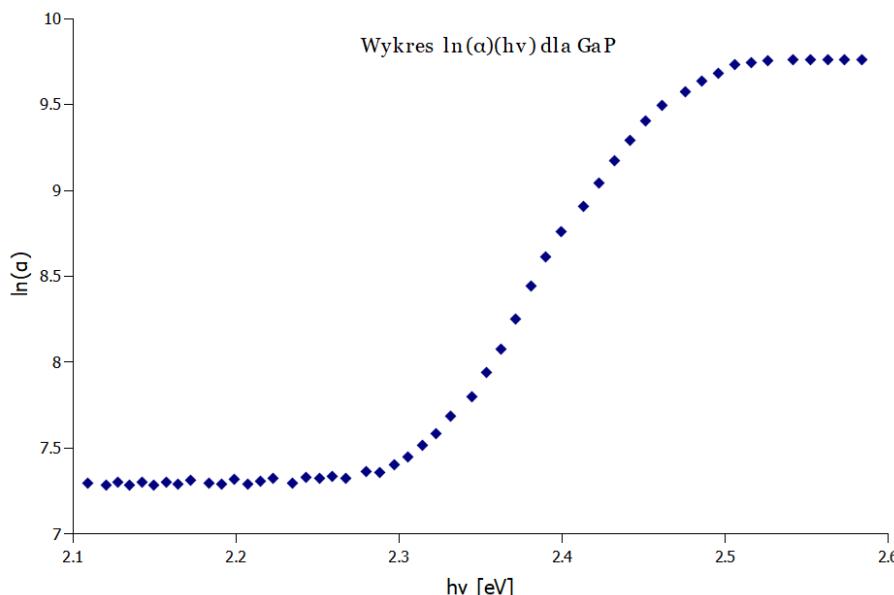


Rysunek 3: Wykres zależności  $\alpha^2(hv)$  dla CdS

$$^2h = 4.135 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$$

Rysunek 4: Wykres zależności  $\alpha^2(hv)$  dla GaPRysunek 5: Wykres zależności  $\alpha^{1/2}(hv)$  dla CdS

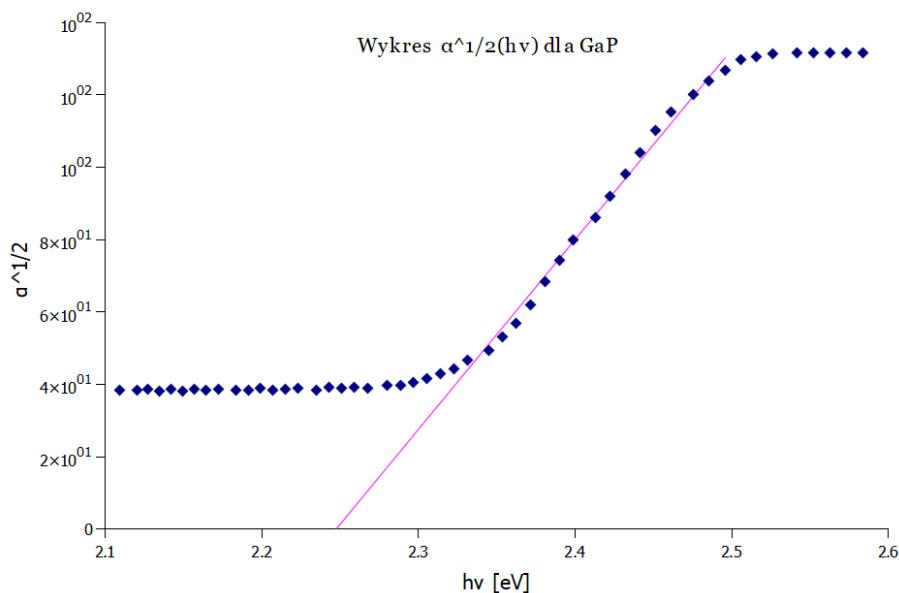
Rysunek 6: Wykres zależności  $\alpha^{1/2}(hv)$  dla GaPRysunek 7: Wykres zależności  $\ln\alpha(hv)$  dla CdS



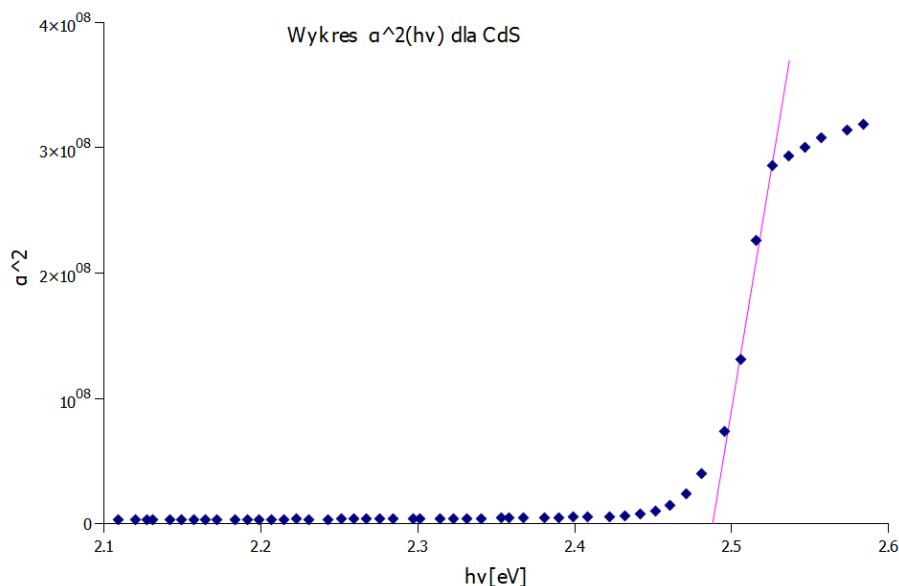
Rysunek 8: Wykres zależności  $\ln\alpha(hv)$  dla GaP

## 5 Rodzaje przejść międzypasmowych w badanych warstwach

Na powyższych wykresach zauważać możemy bardzo podobne do siebie charakterystyki, które z jakiejś w przybliżeniu stałej wartości wzrastają liniowo do kolejnej stałej. Najbardziej liniowymi z tych wykresów jest  $\alpha^{\frac{1}{2}}(hv)$  dla GaP oraz  $\alpha^2(hv)$  dla CdS (na powyższych wykresach należy zwrócić uwagę, że dla czytelności  $\ln\alpha(hv)$  skala osi pionowej zaczyna się od 7. Gdyby jednak zaczynał się od zera charakterystyka ta byłaby dość "płaska"). Tak więc dla tych wykresów poprzez odpowiednie funkcje w programie Gnuplot dopasowalibyśmy prostą do środkowych części funkcji.



Rysunek 9: Wykres zależności  $\sqrt{\alpha}(hv)$  dla GaP wraz z dopasowaną prostą



Rysunek 10: Wykres zależności  $\alpha^2(hv)$  dla CdS wraz z dopasowaną prostą

Współczynniki dopasowania wynoszą odpowiednio:

a	525	b	-1179
u(a)	17	u(b)	41

Tabela 1: Współczynniki dopasowania dla fosforku galu

a	7555101358	b	-18796593588
u(a)	1035821067	u(b)	2606404017

Tabela 2: Współczynniki dopasowania prostej dla siarczku kadmu

## 6 Wartości przerwy energetycznej badanych materiałów

W celu odczytania wartości przerw energetycznych badanych półprzewodników posłużymy się wzorem:

$$E_g = \frac{-b}{a}$$

Otrzymując:

- Dla CdS:

$$E_{g_{CdS}} = \frac{18796593588 \frac{1}{m^2}}{7.56 \cdot 10^{18} \frac{1}{eV \cdot m^2}} = 2.49 eV$$

$$u(E_{g_{CdS}}) = 0.33 eV$$

- Dla GaP:

$$E_{g_{GaP}} = \frac{1178 \frac{1}{m^2}}{524566367898 \frac{1}{eV \cdot m^2}} = 2.25 eV$$

$$u(E_{g_{GaP}}) = 0.09 eV$$

Niepewności przerwy energetycznej zostały policzone za pomocą metody propagacji niepewności zgodnie ze wzorem:

$$u(E_g) = \sqrt{\left(\frac{\partial E_g}{\partial a} u(a)\right)^2 + \left(\frac{\partial E_g}{\partial b} u(b)\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{b}{a^2} u(a)\right)^2 + \left(\frac{1}{a} u(b)\right)^2}$$

Ostatecznie otrzymamy poniższe wartości przerw energetycznych:

- dla CdS:

$$E_g(u_{E_g}) = 2.49(33) eV$$

- dla GaP:

$$E_g(u_{E_g}) = 2.25(9) eV$$

## 7 Wnioski

Porównując wyliczone wartości przerw energetycznych zauważamy że zbliżone są do wartości tablicowych w temperaturze pokojowej (2.42eV dla CdS oraz 2.26eV dla GaP).

Wykresy do których dopasowałyśmy proste świadczą o rodzaju przejść międzymiędzypasmowych. Największa liniowość dla wykresu  $\alpha^2(hv)$  dla CdS świadczy o tym, że półprzewodnik ma prostą przerwę energetyczną, natomiast liniowość  $\sqrt{\alpha}(hv)$  dla GaP świadczy o skośnej przerwie energetycznej. Jak wiemy z instrukcji do ćwiczenia właśnie takie przerwy energetyczne mają te półprzewodniki.