

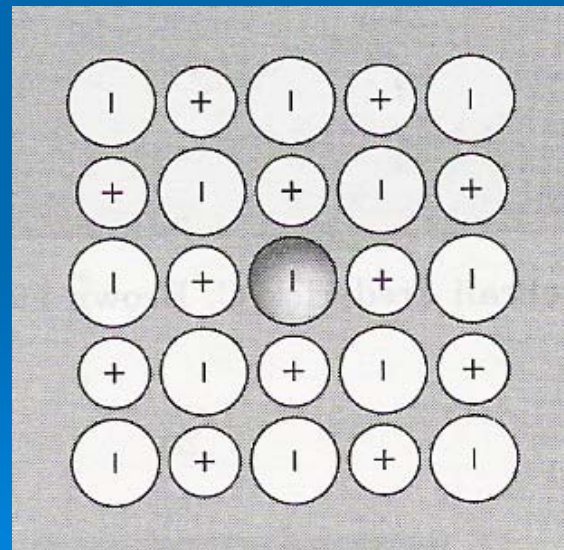
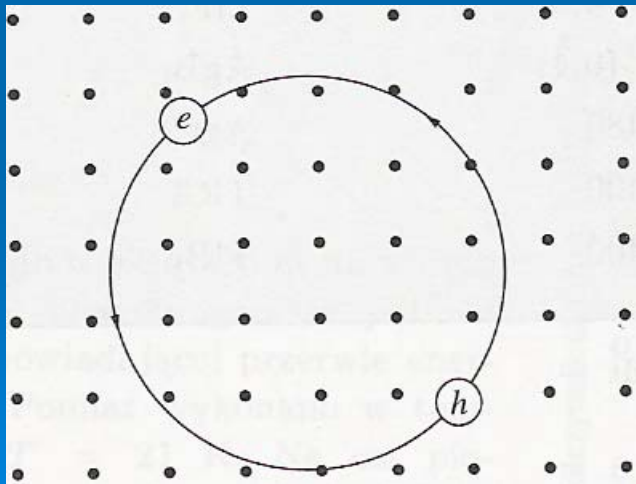
POLITECHNIKA GDAŃSKA
WYDZIAŁ FIZYKI TECHNICZNEJ I MATEMATYKI STOSOWANEJ

EKSCYTONY W CIAŁACH STAŁYCH

Seminarium z Molekularnego Ciała Stałego
Jędrzejowski Jaromir

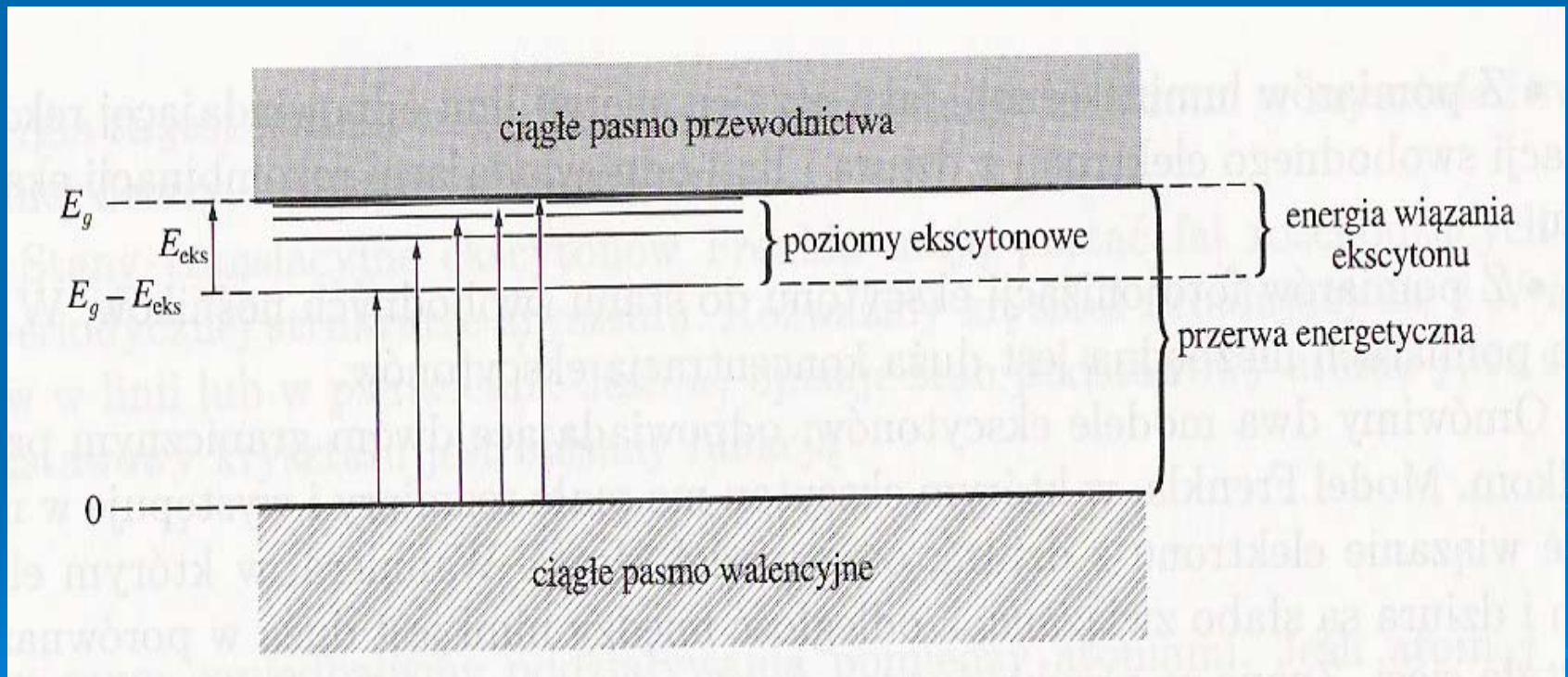
Co to są ekscytony?

- ekscyton to stan związany elektronu wzbudzonego do pasma przewodnictwa i dziury pozostałej w paśmie walencyjnym w wyniku oddziaływania kulombowskiego (podobieństwo: elektron-proton w atomie wodoru)



- energia tworzenia eksctynów jest mniejsza od szerokości przerwy energetycznej (obszar, w którym kryształ powinien być przezroczysty)
- małe rozmiary ekscytonu i silne wiązanie elektronu z dziurą – ekscyton Frenkla (znaleziony w półprzewodnikach organicznych)
- elektron i dziura słabo związane i odległość między nimi jest duża w porównaniu do stałej sieci – ekscyton Motta-Wanniera (typowy dla półprzewodnikach nieorganicznych)

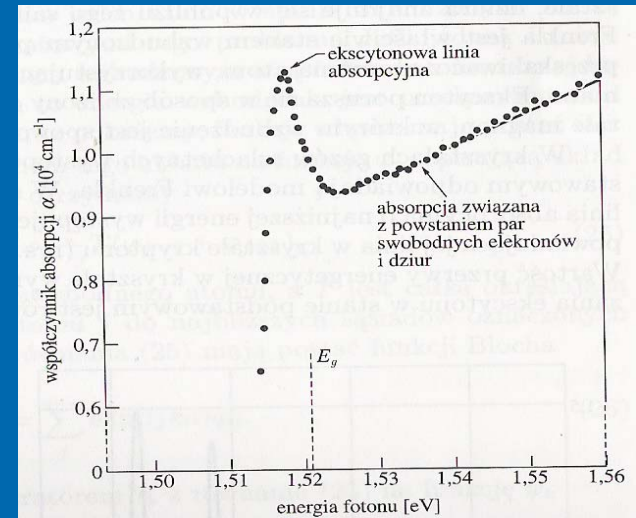
Poziomy energetyczne ekscytonów



Jak wyznaczyć energię wiązania ekscytonu?

- z pomiarów współczynnika absorpcji, jako różnica między energią potrzebną do utworzenia ekscytonu a energią potrzebną do utworzenia swobodnego elektronu i swobodnej dziury
- z pomiarów luminescencji, jako różnica energii linii odpowiadającej rekombinacji swobodnego elektronu z dziura i linii odpowiadającej rekombinacji ekscytonu
- z pomiarów fotojonizacji ekscytonów do stanu swobodnych nośników

(w wyżej wymienionych metodach niezbędna jest duża koncentracja ekscytonów)



Charakterystyczne energie wiązania

- dla półprzewodników nieorganicznych

od 4.9meV , 5.1meV (GaAs, InP)

do 29 meV , 59 meV (Zns, ZnO)

- dla półprzewodników organicznych

od $< 0.1\text{eV}$

do $\gg 1\text{eV}$

charakterystyczna: 0.3 eV

- dla ekscytonu Motta-Wanniera

$$E_g \approx \frac{1}{\epsilon^2}$$

Ekscytony Frenkla

- ekscyton o silnym wiązaniu zlokalizowany jest na jednym atomie
- dziura znajduje się w pobliżu tego samego atomu co elektron
- stan wzbudzony pojedynczego atomu, ale może przeskakiwać z atomu na atom (wykorzystanie sprzężenia między sąsiednimi atomami)
- energia ekscytonu liczona jest względem energii swobodnego elektronu w kryształach i swobodnej dziury, będących w spoczynku
- Stany translacyjne ekscytonów Frenkla mają postać fal rozchodzących się w periodycznej strukturze kryształu



Ekscytony Motta-Wanniera

- ekscytony o słabym wiązaniu
- stany związane są podobne do stanów w modelu atomu wodoru
- do opisu ekscytonów używa się formalizmu masy efektywnej (małe masy efektywne elektronów i dziur)



Generacja ekscytonów

- bezpośrednia absorpcja optyczna
- generacja poprzez promieniowanie wysokoenergetyczne (α , β , γ)
- generacja poprzez rekombinację nośników ładunku
- generacja poprzez przyspieszane nośniki ładunku wewnątrz materiału molekularnego
- generacja poprzez termiczne lub chemiczne procesy
- generacja w wyniku niebezpośredniego wzbudzenia
- generacja poprzez inne ekscytony



Dyfuzja ekscytonów

- przy wyższych temperaturach opis ekscytonów może być dokonywany przy użyciu dyfuzyjnego modelu ruchu ekscytonów

$$I_0 \kappa \exp(-\kappa x) - \frac{1}{\tau_0} S(x) + D \frac{d^2 S(x)}{dx^2} = 0$$

D – współczynnik dyfuzji ekscytonów

τ_0 - czas życia ekscytonów

$S(x)$ – koncentracja ekscytonów w warunkach równowagi

I_0 - natężenie padającego światła

κ - liniowy współczynnik absorpcji

Warunki brzegowe:

- nieskończona grubość ciała absorbującego światło

$$S(x) = 0 \quad x \rightarrow \infty$$

- ekscytony w pobliżu granicy ciała absorbującego mogą być wygaszane lub odbijane przez powierzchnię, a więc szybkość zaniku strumienia ekscytonów na powierzchni (s – szybkość wygaszania strumienia ekscytonów na powierzchni)

$$D \frac{dS}{dx} \Big|_{x=0} = sS(0)$$

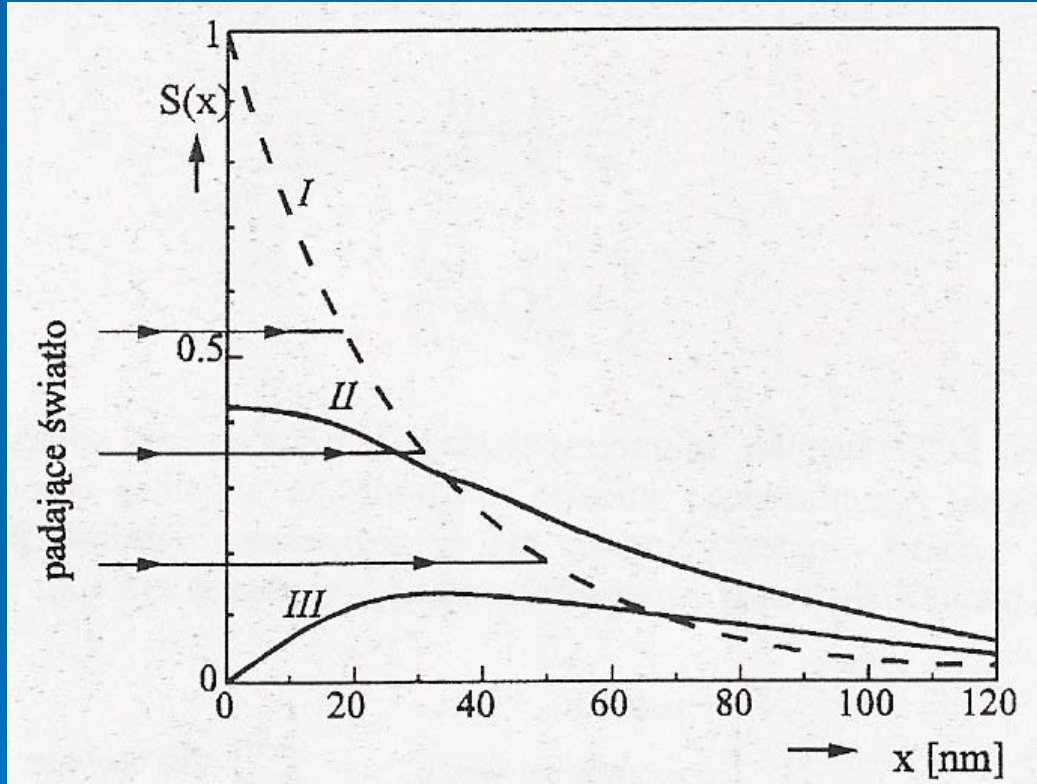
Koncentracja ekscytonów przy warunkach brzegowych ma postać:

$$S(x) = \frac{I_0 \kappa l^2}{D(1 - \kappa^2 l^2)} \left[\exp(-\kappa x) - \frac{\kappa l D + s l}{D + s l} \exp\left(-\frac{x}{l}\right) \right]$$

gdzie $l = \sqrt{D \tau_0}$



Interpretacja długości dyfuzji ekscytonów



$$K \rightarrow \infty$$

$$S(\infty) = \frac{I_0 l \exp(-\frac{x}{l})}{D + sl}$$

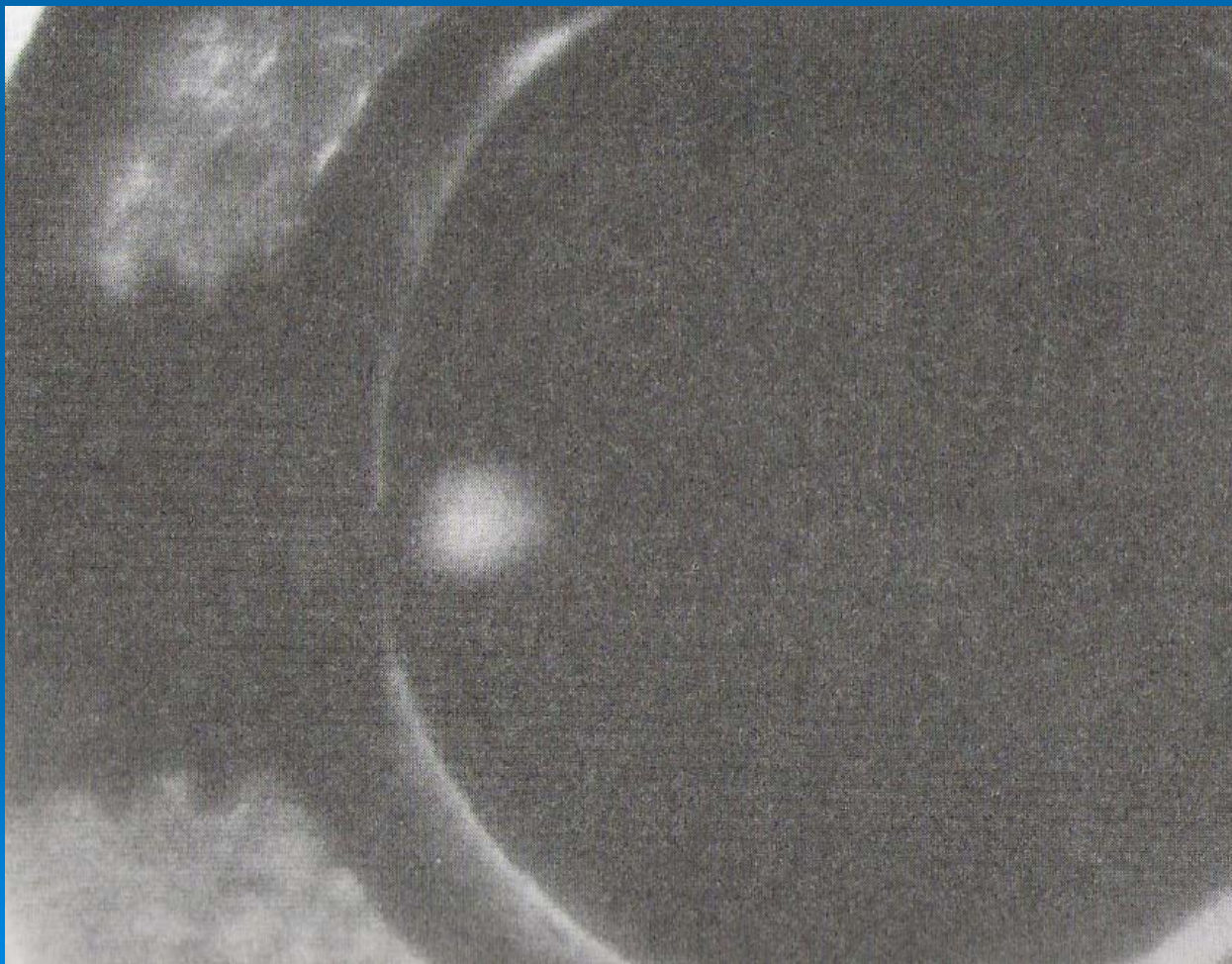
- I. $l=0$
- II. $l=40\text{nm}$ $s=0$
- III. $l=40\text{nm}$ $s=\infty$

Kondensacja ekscytonów

Do powstania kropli elektronowo-dziurowych (EHD – ang. *electron-hole drop*) prowadzi następująca sekwencja zdarzeń:

- w wyniku absorpcji fotonów o energii $\hbar\omega > E_g$ powstają swobodne elektrony i dziury
- po krótkim czasie ok.. 1ns powstają ekscytony
- typowy czas życia ekscytonów wynosi 8 μs
- koncentracja ekscytonów powyżej , 10^{13} cm^{-3} to w temperaturze 2 K nastąpi kondensacja większości ekscytonów w krople
- czas kropli ekscytonów wynosi 40 μs
- wewnątrz kropli ekscytony rozpuszczają się tworząc zdegenerowany gaz Fermiego, o własnościach metalicznych, złożony z elektronów i dziur

Kropla elektronowo-dziurowa w krążku czystego germanu



Bibliografia

- Godlewski J., *Własności optyczne i elektryczne molekularnych ciał stałych*, Wydawnictwo PG, Gdańsk 1996
- Suffczyński M., *Ekscytony związane na neutralnych domieszkach*, Postępy Fizyki, tom 28, zeszyt 5, PWN, Kraków 1977
- Suffczyński M., *Dyskusja na temat kondensacji ekscytonów w półprzewodnikach*, Postępy Fizyki, tom 24, zeszyt 2, PWN, Kraków 1973
- Ibach H., Luth H., *Fizyka ciała stałego*, PWN, W-wa 1996
- Kittel C., *Wstęp do fizyki ciała stałego*, PWN, W-wa 1999
- <http://edu.ioffe.ru/register/?doc=galperin/l9pdf7.tex>
- <http://kottan-labs.bgsu.edu/excitons.htm>

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

