

Z44 - KROPKI KWANTOWE

II Pracownia Fizyczna

Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Jagielloński

Gwałtowna miniaturyzacja urządzeń elektronicznych sprawia, że rozmiary wytwarzanych obiektów przekraczając granice, przy której klasyczny opis ruchu elektronu staje się niemożliwy. W obiektach takich dominującą rolę zaczynają odgrywać efekty kwantowe wskutek znacznego ograniczenia swobodnego ruchu nośników ładunku. Jednymi z najciekawszych obiektów w skali nano są kryształy, których rozmiary zmniejszone zostały we wszystkich trzech wymiarach, zwane kryształami zero-wymiarowymi lub nanokropkami. Charakteryzują się one ciekawymi właściwościami elektronowymi i optycznymi i często zwane są sztucznymi atomami z uwagi na widmo fluorescencji składające się z wąskich linii o ściśle określonych długościach fal. Niniejsze ćwiczenie poświęcone jest badaniu właściwości optycznych kropek kwantowych zbudowanych z kryształów CdTe. W eksperymencie wykorzystywany jest spektrometr z linijką CCD, który umożliwia charakteryzację zarówno fluorescencji z kropek kwantowych jak i absorpcji promieniowania przechodzącego przez roztwory kropek. Analiza widma fluorescencji dla kropek kwantowych o różnych wielkościach umożliwia również wyznaczenie przerwy energetycznej kryształu CdTe.

Zagadnienia do przystudiowania

1. Gęstość stanów elektronowych w obiektach trójwymiarowych, dwuwymiarowych i jednowymiarowych. Czym jest funkcja gęstości stanów? [1, 2, 3]
2. Gęstość stanów elektronowych w układach niskowymiarowych: kwazi-jednowymiarowych i kwazi-dwuwymiarowych i zerowymiarowych (kropki kwantowe)? [1, 2, 3]
3. Struktura elektronowa kryształów. Co to jest energia Fermiego, kula Fermiego, rozkład Fermiego-Diraca, zakaz Pauliego? [1, 2, 3]
4. Zagadnienie cząstki zamkniętej w wielowymiarowej studni potencjału, dozwolone energie i funkcje własne hamiltonianu. [1, 2, 3, 4]
5. Teoria Blocha. Relacja dyspersji dla elektronów w kryształach. Co to jest masa efektywna elektronu w kryształach? [1, 2, 3]
6. Fluorescencja i absorpcja światła w kropkach kwantowych. Zależność widma fluorescencji i absorpcji od rozmiarów kropek. Rekombinacja elektronów i dziur w półprzewodnikowych kropkach kwantowych. [5, 6]
7. Widmo fluorescencji kropek kwantowych zależy od ich rozmiaru. Proszę zastanowić się w jaki sposób przy użyciu kilku roztworów kropek kwantowych zbudowanych z tego samego materiału półprzewodnikowego, ale charakteryzujących się różnymi rozmiarami kropek (tj. w ramach jednego roztworu średnice kropek są takie same) można wyznaczyć przerwę energetyczną kryształu? [5, 6]
8. Budowa i zasada działania spektrometru z linijką CCD. Proszę zastanowić się jakie widma należy zarejestrować by możliwe było przeprowadzenie analizy absorpcji promieniowania w kropkach kwantowych. Co to jest prąd ciemny? Czym jest widmo referencyjne? Co to jest absorbanca? Do czego wykorzystywana jest niebieska dioda laserowa? [5]

9. Proszę zapoznać się pokrótce z metodami wytwarzania kropek kwantowych. [5, 6]

10. Proszę zapoznać się z metodą pomiarową i schematem układu eksperymentalnego wykorzystywanego w ćwiczeniu. [5]

Zadania obliczeniowe

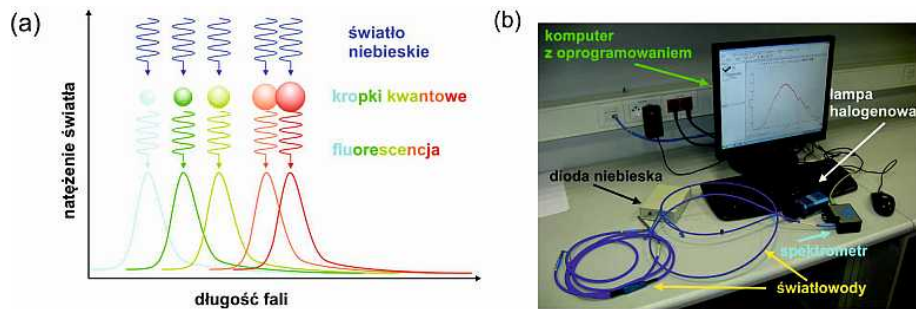
1. Wykorzystując model elektronów swobodnych proszę wyznaczyć poziomy energetyczne dla elektronów i dziur w kropkach kwantowych kryształu CdTe. Proszę założyć, że kropki są sześcianami z krawędziami o długości 2, 3, 4 i 5 nm. Masy efektywne elektronu i dziury dla kryształu CdTe wynoszą odpowiednio 0,11 i 0,4 masy elektronu.
2. Korzystając z wyniku poprzedniego zadania i wiedząc, że przerwa energetyczna w kryształach CdTe jest równa 1,56 eV proszę wyznaczyć energie fotonów z widma luminescencji kropek kwantowych. Proszę wyliczyć również odpowiadające im długości fal. Jaki jest kolor emitowanego promieniowania dla poszczególnych kropek (patrz rysunek poniżej)?

Aparatura i materiały

W skład zestawu pomiarowego wchodzi: 1. Spektrometr z linijką CCD i oprogramowaniem. 2. Niebieska dioda laserowa. 3. Lampa halogenowa 4. Zestaw światłowodów. 5. Uchwyt na kuwety prostokątne wykorzystywane do badania absorpcji światła 6. Kuwety o kształcie walcowym używane podczas badania luminescencji.

Program ćwiczenia

1. Zestawienie układu do badania luminescencji oraz absorpcji światła w kropkach kwantowych. Identyfika-



Rysunek 1: (a) Widmo fluorescencji kropek kwantowych o różnych rozmiarach [6], (b) układ eksperymentalny wykorzystywany w ćwiczeniu.

cja zewnętrznego i wewnętrznego światłowodu w układzie podwójnego światłowodu. 2. Kalibracja parametrów pomiarowych. Ustawienie maksymalnego czasu akwizycji, dla którego nie dochodzi do nasycenia spektrometru. 3. Pomiar widma luminescencji dla roztworów kropek kwantowych. 4. Rejestracja widma referencyjnego i prądu ciemnego. 5. Rejestracja widma absorpcji roztworów kropek kwantowych.

Opracowanie wyników

1. Analiza zarejestrowanych widm fluorescencji. Sporządzenie wykresu zależności energii promieniowania emitowanego od odwrotności kwadratu wielkości kropek kwantowych. Wyznaczenie przerwy energetycznej badanego kryształu CdTe metodą regresji liniowej, porównanie z wartością tablicową.
2. Analiza zarejestrowanych widm absorpcji, wyznaczenie krawędzi absorpcji.

Zasady BHP

Nie wolno patrzeć wprost w wiązkę diody laserowej! Może to spowodować trwałe uszkodzenie oka. Proszę również zwrócić uwagę by nie patrzeć na wiązkę odbitą od powierzchni dobrze odbijających, takich jak pierścionki, zegarki, bransoletki, inne elementy metalowe.

Literatura

- [1] N.W. Ashcroft, N.D. Mermin, *Fizyka ciała stałego*.
- [2] C. Kittel, , *Wstęp do fizyki ciała stałego*.
- [3] Rainer Waser (Ed.), *Nanoelectronics and Information Technology*, 2003, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- [4] Pełna instrukcja do ćwiczenia - dostępna na stronie internetowej Pracowni po zalogowaniu
- [5] E.L. Wolf, *Quantum nanoelectronics*, 2009, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- [6] <http://www.nanosysinc.com/what-we-do/quantum-dots/>.