

Uniwersytet Warszawski
Wydział Fizyki

Tomasz Fąs

Nr albumu: 382348

**Tunelowanie między studniami
kwantowymi umieszczonymi w
mikrowęcie optycznej.**

**Praca licencjacka
na kierunku FIZYKA**

Praca wykonana pod kierunkiem
dr hab. Jan Suffczyński
Zakład Fizyki Ciała Stałego

Któryś z 2019

Oświadczenie kierującego pracą

Potwierdzam, że niniejsza praca została przygotowana pod moim kierunkiem i kwalifikuje się do przedstawienia jej w postępowaniu o nadanie tytułu zawodowego.

Data

Podpis kierującego pracą

Oświadczenie autora pracy

Świadom odpowiedzialności prawnej oświadczam, że niniejsza praca dyplomowa została napisana przeze mnie samodzielnie i nie zawiera treści uzyskanych w sposób niezgodny z obowiązującymi przepisami.

Oświadczam również, że przedstawiona praca nie była wcześniej przedmiotem procedur związanych z uzyskaniem tytułu zawodowego w wyższej uczelni.

Oświadczam ponadto, że niniejsza wersja pracy jest identyczna z załączoną wersją elektroniczną.

Data

Podpis autora pracy

Streszczenie

W niniejszej pracy przedstawiono zależność intensywności tunelowania między studniami kwantowymi od przyłożonego pola magnetycznego. Wykorzystana próbka składała się ze studni kwantowych umieszczonych w mikrownęce. Udało się uzyskać tunelowanie całego ekscytonu tj. elektronu i dziury, przez barierę potencjału o szerokości 125 nm. Doświadczenie to częściowo wypełnia lukę w dziedzinie tunelowania średniodystansowego.

Słowa kluczowe

mikrownęka optyczna, tunelowanie, polaryton, ekscyton, fotoluminescencja

Dziedzina pracy (kody wg programu Socrates-Erasmus)

13.2 Fizyka

Klasyfikacja tematyczna

Do
ustalenia
chyba

Wstęp

Jednym z ważniejszych efektów w mechanice kwantowej jest tunelowanie, czyli przejście cząstki przez barierę potencjału pomimo braku odpowiedniej energii. Prawdopodobieństwo takiego przejścia maleje eksponencjalnie wraz z szerokością bariery oraz eksponencjalnie z pierwiastka iloczynu różnicy energii i masy. Jednakże prawdopodobieństwo przejścia można zwiększyć korzystając ze sprzężenia między studniami, czyli własności która sprawia, że stany własne obu studni zaczynają się ze sobą mieszać. W pracy S. A. Gurvitz'a et. al [2] został przedstawiony taki opis studni sprzężonych wraz ze sposobami na zwiększenie prawdopodobieństwa tunelowania takich jak na przykład manipulacja grubością bariery. Artykuł ten jest oparty na danych eksperymentalnych uzyskanych przez B. Deveaud'a et. al. [1], w którym to autorzy badali tunelowanie elektronów na sprzężonych studniach kwantowych o różnej grubości bariery. Udało się im zaobserwować efekt tunelowania przez barierę o grubości 80 \AA . Z kolei I. Lawrence et al. [3] w pracach nad tunelowaniem wykorzystali ekscyton, czyli parę elektron-dziura, W swojej pracy autorzy udowodnili, iż możliwe jest tunelowanie takiej cząstki między studniami oddalonymi o 109 \AA . Przedstawione odległości $5\text{-}10 \text{ nm}$ między studniami stanowią limit możliwości tunelowa ekscytonu z powodu jego masy, tj. prawdopodobieństwo tunelowania staje się zanedbywalnie małe. Jednym z możliwych rozwiązań może być zmieszanie funkcji falowej ekscytonu z fotonem, co prowadzi do zmniejszenia masy efektywnej układu i dalej, do zwiększenia prawdopodobieństwa tunelowania. Jednak taki foton musi silnie oddziaływać ze studniami, co można osiągnąć wprowadzając mikrownękę optyczną, czyli obszar o rozmiarach mikrometrów ograniczony przez zwierciadła. W takiej mikrownęce mogą powstawać elektromagnetyczne fale stojące, czyli mody optyczne. Przykłady. To właśnie na takim sprzężeniu skupiono się w tej pracy. W mikrownęce umieszczono dwie studnie kwantowe: jedna z nich (MQW) zawierała domieszkę jonów manganu, co pozwalało na kontrolę poziomów energetycznych przy pomocy pola magnetycznego. Z kolei druga (NMW) nie zawierała domieszki co przekładało się na słabszą zmianę poziomów w polu magnetycznym. Studnie te były otoczone półprzepuszczalnymi zwierciadłami Bragga, umożliwiając wprowadzanie fotonów do wnętrza mikrownęki. Powstałe ekscytony mogły zrekombinować w tej samej studni, w której powstały, lub jako całość przetunelować za pośrednictwem modu optycznego do drugiej z nich i dopiero tam ponownie się połączyć. Badając fotoluminescencję próbki, można określić, czy dochodzi do tunelowania ekscytonów, czy też takowe rekombinują tam, gdzie powstały.

Rozdział 1

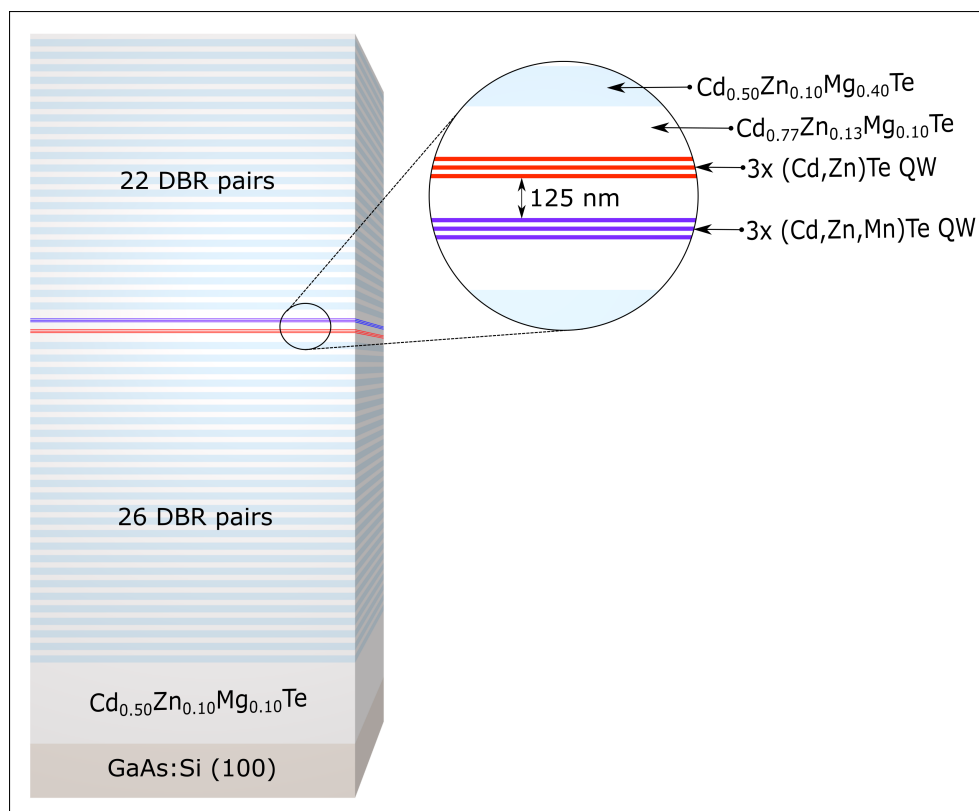
Wprowadzenie

Pasmo walencyjne, elektron-dziura, ekscyton, mikrownęka, polaryton.

Rozdział 2

Próbka

Próbka została wykonana przez dr hab. Wojciecha Pacuskiego z Zakładu Fizyki Ciała Stałego. Do jej wykonania skorzystano z dwukomorowej maszyny MBE. Całość została wyhodowana na podstawce z (100) GaAs:Si. Dalej zastosowano warstwę buforową CdZnMgTe o grubości 1 μm . Na buforze wyhodowano 26 par zwierciadeł Bragga oznaczonych jako DBR, 3 studnie kwantowe (Cd,Zn,Mn)Te o grubości 10 nm oddalone od siebie również o 10 nm, barierę z CdZnMgTe o grubości 125 nm i 3 studnie kwantowe CdZnMgTe o grubości 10 nm i odległości od siebie wynoszącej 10 nm. Całość zwięczają 22 pary zwierciadeł Bragga. Schemat próbki wraz z procentową zawartością pierwiastków znajduje się na Rysunku 1.1.



Rysunek 2.1: Schemat próbki.

Studnie tu wykorzystane są wykonane z materiału typu DMS, czyli półprzewodnika półmagnetycznego. Materiał tego typu wykazuje właściwości zarówno półprzewodnikowe jak i

magnetyczne, pozwalając np. na kontrolę jego poziomów energetycznych przy pomocy pola magnetycznego.

Rozdział 3

Metody eksperymentalne

Do wzbudzania ekscytonów wykorzystano laser o długości fali 685 nm,

Rozdział 4

Wyniki

4.1. Wyniki surowe

4.2. Dopasowanie do modelu

Do opisu próbki można wykorzystać prosty hamiltonian:

$$\hat{H} = \begin{bmatrix} \omega_{MQW} & \Omega & 0 \\ \Omega & \omega_C & \Omega \\ 0 & \Omega & \omega_{NMQW} \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

gdzie ω_{MQW} , ω_{NMQW} i ω_C oznaczają kolejno energie studni magnetycznej, niemagnetycznej i modu optycznego i są zależne od wartości pola magnetycznego B , a Ω oznacza siłę sprzężenia między studnią a modem. Jak widać, hamiltonian nie opisuje bezpośredniego przejścia z jednej studni do drugiej. Wynika to z szerokiej przerwy między studniami; bezpośredni transport jest pomijalny, jedyny wkład pochodzi od pośrednictwa modu optycznego, czyli procesu postaci powstanie ekscytonu \rightarrow powstanie ekscytonu w drugiej studni \rightarrow ponowna rekombinacja w drugiej studni.

Rozdział 5

Podsumowanie

Dodatek A

Może będzie potrzebne

Bibliografia

- [1] B. Deveaud, F. Clerot, A. Chomette, A. Regreny, R. Ferreira, G. Bastard, and B. Sermage. Tunneling and relaxation in coupled quantum wells. *EPL (Europhysics Letters)*, 11:367, 02 1990.
- [2] S. A. Gurvitz, I. Bar-Joseph, and B. Deveaud. Quantum tunneling and relaxation in asymmetric coupled wells. *Phys. Rev. B*, 43:14703–14706, Jun 1991.
- [3] I. Lawrence, S. Haacke, H. Mariette, W. W. Rühle, H. Ulmer-Tuffigo, J. Cibert, and G. Feuillet. Exciton tunneling revealed by magnetically tuned interwell coupling in semiconductor double quantum wells. *Phys. Rev. Lett.*, 73:2131–2134, Oct 1994.