



Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Instytut Fizyki Doświadczalnej, Zakład Fizyki Ciała Stałego
ul. Hoża 69, 00-681 Warszawa, (22) 55 32136, fax (22) 621 97 12,
Andrzej.Witowski@fuw.edu.pl
dr hab. Andrzej Witowski

Warszawa, 1 październik 2011 roku

Recenzja pracy doktorskiej mgr Ewy Smajek
Półprzewodnikowe heterostruktury PbTe/CdTe
wykonanej w Instytucie Fizyki PAN pod opieką prof. dr hab. Tomasza Storego

Przedstawiona mi do recenzji praca dotyczy wytwarzania metodą MBE oraz charakteryzacji heterostruktur materiałów IV-VI połączonych z materiałami II-VI. Oprócz wymienionego w tytule PbTe w pracy przedstawiono również heterostruktury otrzymane z kryształami mieszanymi PbEuTe. Praca, mająca zasadniczo charakter technologiczny, została oparta na bardzo bogatym materiale badawczym, wykonano co najmniej kilkadziesiąt struktur. Szkoda, że autorka nie wspomina w tekście o wszystkich wyhodowanych przez nią materiałach. Byłoby to kształcące dla przyszłych młodych czytelników i pokazało jak olbrzymiego wysiłku potrzeba do otrzymania niestandardowych próbek. Niestety ta świadomość nie jest w środowisku powszechna.

Próbki były charakteryzowane w różny sposób. Przede wszystkim badano luminescencję w podczerwieni jako podstawową cechę próbek ze względu na ich potencjalne zastosowania w optoelektronice. Za pomocą badań rentgenowskich, a także mikroskopii elektronowej i mikroskopii sił atomowych została scharakteryzowana struktura mikroskopowa otrzymanych próbek. Najciekawsze materiały zostały przebadane praktycznie wszystkimi wymienionymi metodami dając pełny obraz zarówno właściwości optycznych jak i strukturalnych heterostruktur.

Praca doktorska mgr Ewy Smajek zawiera 9 rozdziałów z czego 4 o podstawowym znaczeniu. Po krótkim wstępie przedstawiającym znaczenie badanych materiałów i organizację pracy autorka przedstawia *podstawowe informacje o badanych materiałach*. Rozdział dość istotny gdyż PbTe i CdTe mają różne struktury krystaliczne oraz istotnie różne struktury pasmowe. Wystarczy wspomnieć, że PbTe ma przerwę w punkcie L strefy Brillouina i należy do grupy materiałów z tak zwaną wąską przerwą energetyczną zaś CdTe ma szeroką przerwę w punkcie Γ strefy Brillouina. Co więcej, przerwy w tych materiałach mają przeciwne znaki współczynników temperaturowych. Dzięki starannie zebranych informacjom, ten rozdział dokładnie wprowadza czytelnika w problematykę pracy.

Równie istotne znaczenia dla zrozumienia działań autorki ma kolejny rozdział *Metody wytwarzania i podstawowe właściwości struktur niskowymiarowych na przykładzie heterostruktur PbTe/CdTe*. Przedstawiono w nim opis stanów elektronowych struktur o obniżonej wymiarowości (studni i kropek kwantowych) oraz metody ich wytwarzania. Część rozdziału została poświęcona problemom jakie napotyka się wykonując struktury w wysokiej temperaturze, a badając w niskich temperaturach. Szczegółowo został opisany wpływ naprężeń pomiędzy podłożem i wyhodowaną strukturą na właściwości materiałów. Jednocześnie przedstawiono wyniki i opisy innych autorów. Uważam ten rozdział również za bardzo istotny dla zrozumienia całości pracy.

Następne dwa rozdziały przedstawiają już własne wyniki autorki. Rozdział 4 *Wytwarzanie oraz charakteryzacja strukturalna i chemiczna badanych struktur PbTe/CdTe i PbEuTe/CdTe* opisuje materiały podłożowe wykorzystane do wzrastaniu próbek, metodologię procesu epitaksji i jego bezpośrednią kontrolę za pomocą dyfraktometru RHEED. W dalszej części znajdujemy wyniki charakteryzacji materiałów metodami dyfrakcji rentgenowskiej pokazujące bardzo dobrą jakość krystaliczną struktur. Mikroskopowy obraz otrzymanych struktur otrzymana za pomocą mikroskopii sił atomowych oraz skaningowej oraz transmisyjnej mikroskopii elektronowej. Pozwalało to stwierdzić bardzo wysoką jakość otrzymanych struktur nie wspominając o zbadaniu powtarzalności wymiarów studni kwantowych w układach wielowarstwowych. W ten sposób możliwe było również zbadanie wymiarów powstających kropek kwantowych. Niestety zabrakło tu dyskusji o rozkładzie wielkości kropek. Za pomocą rentgenowskiej analizy spektroskopowej zbadano skład wyhodowanych materiałów, co jest istotne w szczególności dla kryształów mieszanych PbEuTe. Jak już wspominałem, w tym rozdziale zabrakło mi informacji „statystycznych”, a mianowicie ile procesów zostało wykonanych i ile z nich przyniosło oczekiwany końcowy rezultat (fotoluminescencja w podczerwieni). Zjawisku fotoluminescencji i metodzie badawczej tego zjawiska poświęcony jest kolejny rozdział *Wyniki pomiarów fotoluminescencyjnych*. Tu trzeba podkreślić, że przed autorką stało trudne zadanie badań optycznych w obszarze widmowym, w którym występuje silna absorpcja promieniowania przez drgania molekuł, w szczególności pary wodnej i CO₂, często zniekształcająca wyniki pomiarów. Autorka uwzględniła ten problem w swoim opisie. Otrzymane wyniki fotoluminescencji pozwoliły na pokazanie wpływu naprężeń w strukturach pochodzących od podłoża jednocześnie wskazując na przewagę podłoża CdTe wyhodowanego na GaAs. Otrzymana zależność położenia linii widmowej od szerokości studni została wyjaśniona efektem kwantowania wymiarowego z uwzględnieniem naprężeń, co potwierdziło istotną rolę tych ostatnich. Dzięki badaniom struktur ze stopem PbEuTe można było prześledzić zmiany przerwy energetycznej stopu w funkcji

zawartości europejskiej. Kolejną część tego rozdziału poświęcona jest luminescencji kropek kwantowych PbTe i PbEuTe w matrycy CdTe. W obu tych systemach zademonstrowano świecenie z tych niskowymiarowych obiektów w zależności od temperatury i od składu. Jednym z istotnych wyników jest otrzymanie względnie silnej luminescencji w temperaturze pokojowej.

Po krótkim podsumowaniu następuje bardzo bogaty spis literatury świadczący nie tylko o wiedzy i odczytaniu autorki ale także ułatwiający działania jej następcom.

Niestety praca ma także swoje drobne mankamenty. Nie będę tu wymieniał wszystkich częściowo tylko zrozumiałych zdań i potknięć ale autorka nie ustrzegła się przed wyrażeniami „żargonowymi” zrozumiałymi dla wąskiego kręgu „wtajemniczonych” lub też skrótami myślowymi czyniącymi pewne fragmenty niejasnymi lub niepoprawnie wyrażonymi w języku polskim. Dla przykładu:

Str. 1 ... *efektywnych podczerwonych struktur optoelektronicznych, ...*

Str. 7 ... *Równanie (2.2) ma dwa rozwiązania dla zależności $E(k)$ energii od wektora falowego dla elektronów w paśmie przewodnictwa i dziur w paśmie walencyjnym: (naprawdę mamy rozwiązania dla elektronów w paśmie przewodnictwa i paśmie walencyjnym).*

Str. 10 w równaniach (2.10) pojawiły się nieistniejące jednostki,

Str. 29 *Zależność gęstości stanów od pierwiastka energii wynika ze zwiększenia objętości przestrzeni k dla większych wartości energii.*

Str. 50 ... *imy wpływ temperaturowej zależności na intensywność emisji ...*

Oczywiście można takich przykładów przytoczyć jeszcze wiele ale nie stanowią one istotnych mankamentów pracy.

Konkludując należy stwierdzić, że omawiana praca doktorska zawiera bogaty materiał doświadczalny pokazujący właściwości otrzymanych heterostruktur PbTe/CdTe oraz PbEuTe/CdTe. Stanowi oryginalne rozwiązanie problemu wzrastania i charakteryzacji niskowymiarowych obiektów na bazie PbTe ważnych dla optoelektroniki pracującej w obszarze podczerwieni. Praca wykazuje także ogólną wiedzę teoretyczną autorki w dziedzinie fizyki półprzewodników. Tak więc nie ulega wątpliwości, że przedstawiona praca całkowicie spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim przez Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. W związku z tym wnoszę o dopuszczenie mgr Ewy Smajek do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



