

Wrocław, 17 grudnia 2015

Dr hab. inż. Robert Kudrawiec, Prof. PWr
Katedra Fizyki Doświadczalnej
Politechnika Wrocławska
ul. Wybrzeże S. Wyspiańskiego 27,
50-370 Wrocław
Tel.: +48-71320-42-80, Fax: +48-71-328-36-96
E-mail: robert.kudrawiec@pwr.edu.pl

Recenzja pracy doktorskiej mgr Francesco Ivaldi zatytułowanej „*Structural and electronic properties of indium rich nitride nanostructures*”

Praca doktorska Pana mgr Francesco Ivaldi jest pracą eksperymentalną, napisana jest w języku angielskim i składa się z siedmiu części z czego dwie z nich (część 5 i 6) stanowią kluczową część rozprawy, w której doktorant przedstawia wyniki swoich badań i odnosi się do tez (celów) rozprawy doktorskiej sformułowanych na początku doktoratu w sekcji zatytułowanej *Introduction and scope of the work*. Dwie pierwsze części rozprawy zaznajamiają czytelnika z tematyką dysertacji i obejmują: ogólne wprowadzenie do struktur azotowych, krótkie przedstawienie metod wytwarzania próbek, które badane są w ramach rozprawy (tj. metody MBE oraz MOVPE), oraz nieco szersze omówienie metod zastosowanych przez doktoranta do badania właściwości strukturalnych materiałów i struktur III-N, tj. metodę wysokorozdzielczej mikroskopii elektronowej, metodę spektroskopii strat energii elektronów oraz spektroskopię dyspersji energii promieniowania rentgenowskiego (ang. High Resolution Transmission Electron Microscopy (HRTEM), Energy Dispersive X-Ray spectroscopy (EDS) oraz Electron Energy Loss Spectroscopy (EELS)). Część III poświęcona jest szczegółowemu omówieniu dwóch aspektów eksperymentalnych, które wykorzystywane są w części zasadniczej rozprawy, a mianowicie zagadnieniu degradacji próbek na skutek ekspozycji na wiązkę elektronową oraz problemowi analizie składu z pomiarów HRTEM. W części IV doktorant w odpowiedniej tabeli zebrał wszystkie próbki jakie były badane w ramach niniejszej rozprawy. Taki rozdział wprowadza

pewien ład i jest bardzo pomocny przy czytaniu dalszych rozdziałów rozprawy. Podsumowując cztery pierwsze części rozprawy uważam, że czyta się je bardzo dobrze, balans pomiędzy długością opisu oraz zawartością informacji potrzebnych do zrozumienia wyników eksperymentalnych przedstawionych w głównej części rozprawy jest dobry. Doktorant w odpowiednich miejscach odsyła czytelnika do odpowiedniej literatury, a jej dobór jest właściwy i świadczy o znajomości przedmiotu. To czego zabrakło mi przy czytaniu tej części rozprawy to brak jasno sformułowanych tez rozprawy doktorskiej oraz informacji na temat przygotowania próbek do badań. Warto tutaj podkreślić, że przygotowanie próbek do badań metodą mikroskopii elektronowej nie jest sprawą banalną, a z rozprawy nie można dowiedzieć się kto był za to odpowiedzialny i w jaki sposób próbki były przygotowane do badań mikroskopowych. Dlatego wskazane jest aby doktorant wyjaśnił tą sprawę podczas obrony.

Odnosząc się do części zasadniczej rozprawy zawartej w rozdziałach 11-13 uważam, że podział wyników na poszczególne rozdziały/podrozdziały jest bardzo właściwy, a ich wewnętrzna struktura bardzo przystępna dla czytelnika. Na początku każdego z tych rozdziałów pojawia się krótkie wprowadzenie do problemu, a następnie przedstawione są odpowiednie wyniki wraz z ich dyskusją. Zawartość merytoryczną pracy oceniam pozytywnie zarówno pod względem jakości i ilości materiału eksperymentalnego oraz dyskusji wyników. Wyniki przedstawione w rozprawie zostały częściowo opublikowane w takich czasopismach jak J. Phys. D, Semicond. Sci. Technol. lub J. Cryst. Growth co również świadczy o dużej wartości naukowej uzyskanych wyników. Mam pewien niedosyt jeżeli chodzi o skorelowanie w tej rozprawie informacji uzyskanych przez doktoranta na temat właściwości strukturalnych z informacjami na temat właściwości optycznych. Tych ostatnich według mnie mogło być zdecydowanie więcej ale rozumiem, że doktorant odpowiedzialny był za badania strukturalne i dlatego w niniejszej rozprawie skupił się głównie na tych aspektach. Do głównych wyników rozprawy uzyskanych przez doktoranta można zaliczyć:

- Zbadanie niejednorodności składu i szerokości studni w studniach kwantowych InGaN/GaN wytwarzanych metodą MBE oraz MOVPE oraz zbadanie ewolucji tych niejednorodności wraz z wygrzewaniem oraz skorelowanie tego wyniku z pomiarami intensywności fotoluminescencji.
- Określenie składu warstw InGaN oraz InAlN na podstawie pomiarów EELS, a w tym wyznaczenie zależności parametru E_p od składu.

- Zbadanie wpływu temperatury osadzania capu GaN na skład i niejednorodność studni kwantowej InGaN, a w tym wskazanie procesu desorpcji indu z obszaru studni przy przykrywaniu tej studni capem GaN w wysokiej temperaturze oraz osłabienie tego procesu podczas przykrywania capem GaN w niskiej temperaturze.

- Wykazanie formowania się warstwy zwilżającej (tzw. wetting layer) podczas przykrywania kropek kwantowych In(Ga)N warstwą GaN w temp. 520 °C oraz metalicznej fazy In podczas przykrywania kropek kwantowych warstwą GaN w temp. 960 °C.

Wszystkie te obserwacje są bardzo ważne dla właściwej interpretacji widm fotoluminescencji, a co za tym idzie zastosowaniu tego typu studni/kropek kwantowych w przyrządach optoelektronicznych.

Podsumowując materiał eksperymentalny przedstawiony w rozdziałach 11-13 należy podkreślić jego dużą wartość naukową co potwierdzają publikacje przytoczone na początku rozprawy. Odnosząc się do dyskusji wyników przedstawionych w tych rozdziałach chciałbym zaznaczyć, że nie dostrzegam błędów pojęciowych, interpretacyjnych lub wewnętrznych sprzeczności jednak mam kilka pytań dotyczących zagadnień, które mogą być bardzo istotne dla tych badań, a nie zawsze są poruszane/komentowane wystarczająco obszernie w dyskusji wyników.

Pytanie 1: Podczas czytania tej rozprawy nasuwa się pytanie jak reprezentatywne są badania w skali nano dla próbki w skali mikro. Czy doktorant podczas obrony może skomentować ten problem. Według mnie jest to pytanie, które może nurtować zarówno osoby wytwarzające tego typu próbki jak i osoby badające je metodami optycznymi.

Pytanie 2: Na rysunku 22 przedstawione są widma XRD dla studni kwantowej InGaN/GaN nie wygrzewanej oraz wygrzewanej w różnych temperaturach. W tekście można przeczytać, że piki satelitarne znikają na skutek degradacji interfejsów InGaN/GaN i segregacji indu pod wpływem wygrzewania, a z drugiej strony, że słabe piki satelitarne są widoczne dla próbki wygrzewanej A4 i pojawiają się z powodu poprawy powierzchni capu GaN na skutek wygrzewania. Czy efekt poprawy powierzchni GaN na skutek wygrzewania jest na tyle istotny i czy był obserwowany w innych próbkach czy też jest to coś co można pominąć?

Pytanie 3: Przy analizie parametru E_F przy symulacji widm EELS pojawiają się duże rozbieżności jeżeli chodzi o wartość tego parametru dla InN, o czym zresztą wspomina doktorant. Jaka jest

niepewność parametru E_p wyznaczonego na drodze eksperymentalnej przez doktoranta? Będąc przy tej części zwracam uwagę, że składy InGaN zostały niejednoznacznie określone w tabelach 7, 8 i 9.

Podsumowując wyniki przedstawione w niniejszej rozprawie chciałbym podkreślić, że stanowią one bardzo cenny wkład do literatury przedmiotu oraz są już dostrzegane przez środowisko naukowe zajmujące się tą tematyką, tj. są już cytowane i prawdopodobnie będą cytowane w przyszłości. Wśród uchybień jakie dostrzegłem w czytanej rozprawie mogę wymienić nieliczne literówki (str. 54, 62, 75, ...), braki spacji (str. 73) lub referencji w podpisie rys. 12. Są to błędy, które muszę zauważać z racji bycia recenzentem, ale które nie umniejszają wartości rozprawy. Zakres badań przewidzianych do przeprowadzenia w recenzowanej rozprawie obejmował zagadnienia, które bardzo interesują środowisko naukowe zajmujące się materiałami i strukturami III-N i które nie do końca są wyjaśnione i zrozumiane ponieważ są dość trudne pod względem eksperymentalnym i wymagają odpowiedniego zaplecza eksperymentalnego. Analiza przedstawionych rezultatów pozwala stwierdzić, że postawione na początku pracy cele zostały zrealizowane w zadowalającym stopniu. Uważam, że rozprawa doktorska Pana mgr Francesco Ivaldi spełnia wszystkie wymagania stawiane przez ustawę o stopniach naukowych dla rozpraw na tytuł doktora. Dlatego wnioskuję o dopuszczenie mgr Francesco Ivaldi do publicznej obrony niniejszej rozprawy.



Robert Kudrawiec