

2019 -07- 26 MBiute

Wrocław, 17 lipca 2019

Prof. Robert Kudrawiec
Katedra Fizyki Doświadczalnej
Wydział Podstawowych Problemów Techniki
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 Piotra Drózdza zatytułowanej „*Dynamika kwazicząstek w strukturach InGaN/GaN na podłożach o różnym odorientowaniu*”

Praca doktorska Pana mgr Piotra Drózdza jest pracą eksperymentalną i składa się z sześciu rozdziałów. Rozdział pierwszy stanowi wprowadzenie w którym doktorant przedstawia przedmiot i cel pracy oraz formułuje hipotezę badawczą, która mówi, że w studniach kwantowych InGaN moment dipolowy spolaryzowanych ekscytonów jest tym czynnikiem, który może wzmacniać ich dyfuzję w płaszczyźnie studni. Przedmiotem badań są studnie kwantowe InGaN wychodowane w dość specyficzny sposób, a głównym narzędziem do weryfikacji postawionej hipotezy badawczej jest spektroskopia czasowo-rozdzielcza. W tym miejscu warto zaznaczyć, że zarówno przedmiot badań tj. studnie kwantowe InGaN, oraz narzędzie jakim posługuje się doktorant tj. spektroskopia czasowo-rozdzielcza, nie są nowatorskie, tj. dynamika nośników w studniach kwantowych InGaN studiowana była przez wiele grup niemniej jednak jest to zagadnienie, które nie do końca jest zrozumiane i dlatego wciąż warto je badać. W przypadku tego doktoratu należy podkreślić, że zasadnicze znaczenie mają próbki, które są interesujące same w sobie ze względu na dodatkowy czynnik, tj. dezorientację powierzchni, która wpływa na inkorporację indu. Czynnik ten może wpływać na lokalizację nośników i ich dyfuzję oraz może mieć kluczowe znaczenie w potencjalnym zastosowaniu tego typu studni w wielokolorowych emiterach światła. Biorąc pod uwagę wszystkie te aspekty nie mam wątpliwości, że tematyka porusza w doktoracie oraz postawiona hipoteza badawcza była warta podjętego wysiłku badawczego.

Kolejne trzy rozdziały zapoznają czytelnika z tematyką rozprawy: rozdział 2 przedstawia wprowadzenie do teorii struktur azotkowych, rozdział 3 zawiera opis układów eksperymentalnych (układ do pomiarów topografii powierzchni za pomocą mikroskopii sił

atomowych, układ do czasowo-rozdzielczej i przestrzennie-rozdzielczej fotoluminescencji), a rozdział 4 opis części technologicznej związanej z wytwarzaniem próbek w której opisane są próbki badane w przedstawionej rozprawie. Podsumowując tą część rozprawy uważam, że jest bardzo dobrze skomponowana, balans pomiędzy długością opisów oraz zawartością informacji potrzebnych do zrozumienia wyników eksperymentalnych przedstawionych w głównej części rozprawy jest bardzo dobry. Doktorant w odpowiednich miejscach odsyła czytelnika do odpowiedniej literatury, a jej dobór jest właściwy i świadczy o znajomości literatury przedmiotu rozprawy.

Odnosząc się do części zasadniczej rozprawy zawartej w rozdziale 5 uważam, że podział wyników na poszczególne podrozdziały jest bardzo właściwy, a ich wewnętrzna struktura bardzo przystępna dla czytelnika. W pierwszym podrozdziale przedyskutowana jest topografia powierzchni badanych próbek, następnie w drugim podrozdziale doktorant przechodzi do wyników czasowo-rozdzielczej fotoluminescencji dla tych próbek i wykazuje, że wraz ze zwiększaniem konta dezorientacji czas zaniku fotoluminescencji wydłuża się i związane jest to ze wzrostem zawartości indu. Ten wniosek jest spójny z dotychczasowymi doniesieniami literaturowymi na temat studni kwantowych InGa_N, a jego główna wartość naukowa leży po stronie ciekawych próbek i ich potencjalnemu wykorzystaniu w wielokolorowych emiterach światła. Niedostatkami jakie odczuwam przy czytaniu tej części doktoratu jest brak informacji na temat wpływu dezorientacji podłoża na szerokość studni. Czy aby na pewno studnie kwantowe wytworzone w tym samym procesie na tym „strukturyzowanym” podłożu mają te same szerokości? Obok zawartości indu szerokość studni jest tym czynnikiem, który w polarnych studniach kwantowych InGa_N w sposób zasadniczy wpływa na energię emisji światła oraz dynamikę emisji. Zmiana szerokości studni o jedną monowarstwę ma tutaj już istotne znaczenie. Dlatego uważam, że podczas obrony doktorant powinien odnieść się do tego zagadnienia.

W podrozdziale 5.3 przedstawione są wyniki temperaturowej zależności czasowo-rozdzielczej fotoluminescencji oraz ich interpretacja w ramach modeli przedstawionych we wstępie (model Eliseeva oraz model Li) oraz modelu zaproponowanego w ramach pracy Drózd et al. *Acta Physica Polonica* 130, 1209 (2016). Zakładam, że niniejszy model w jakimś stopniu wchodzi do części autorskiej doktoratu mimo tego, że opis tego modelu został zamieszczony w rozdziale 2, który stanowi wprowadzenie „literaturowe” do zakresu tematyki doktoratu. Próbę wyjaśnienia dynamiki fotoluminescencji w ramach modelu dynamicznego uważam za bardzo wartościową część niniejszego doktoratu. Dobrze wiadomo, że czasowa zależność

fotoluminescencji w funkcji temperatury niesie ze sobą wiele informacji, a jej odpowiednie modelowanie może pomóc w lepszej interpretacji widm oraz lepszemu porównywaniu próbek między sobą. Przykłady przedstawione w ramach rozprawy wyraźnie pokazują, że proponowany model dynamiczny dużo lepiej niż dotychczasowe modele jest w stanie opisać wyniki eksperymentalne. Jednakże w tym miejscu należy wspomnieć, że jeden z modeli tzw. „exciton hopping model” zaproponowany przez S. D. Baranovskii [Phys. Rev. B 58, 13081 (1998), Phys. Rev. B 73, 233201 (2006)], a potem stosowany i modyfikowany przez wielu innych autorów nie został przedyskutowany w niniejszej dysertacji. Nie uważam tego za istotne niedopatrzenie z tego względu, że model ten nie koniecznie daje proste analityczne formuły na położenie piku fotoluminescencji (lub innego parametru) w funkcji temperatury ale uważam, że doktorant powinien mieć świadomość możliwości modelowania uzyskanych wyników w ramach modelu skaczących ekscytonów metodami Monte-Carlo. Dlatego było by wskazane, żeby podczas obrony doktorant w jakiś sposób również odniósł się do wspomnianego modelu Baranovskii-ego.

Ostatnią część autorską niniejszego doktoratu stanowi rozdział poświęcony dyfuzji ekscytonów w płaszczyźnie studni dla próbek z metalizacjami, które umożliwiają przykładanie pola elektrycznego. W ramach tego podrozdziału doktorant przedstawia bardzo ładne wyniki eksperymentalne, które w moim odczuciu jakościowo potwierdzają hipotezę, że dla spolaryzowanych ekscytonów oddziaływanie dipol-dipol wspomaga ich dyfuzję. Świadczyć o tym może oszacowana droga dyfuzji, która wynosi kilka mikrometrów tj. jest większa niż obszar pobudzenia. Uważam, że niniejsze zagadnienie warto dalej badać chociażby po to aby wyjaśnić jaką rolę w dyfuzji ekscytonów odgrywa ich lokalizacja i dlaczego droga dyfuzji jest większa w niższej temperaturze kiedy ekscytony są bardziej zlokalizowane (rysunek 5.58) oraz czy istnieje wyraźna korelacja między maksymalną drogą dyfuzji, a temperaturą w której mamy do czynienia z delokalizacją nośników? Tą część rozprawy uważam za najbardziej wartościową i przyszłościową w dalszych badaniach.

Podsumowując materiał eksperymentalny przedstawiony w części autorskich wyników rozprawy, tj. rozdziale 5, chciałbym zaznaczyć, że nie dostrzegam błędów pojęciowych, interpretacyjnych lub wewnętrznych sprzeczności. Uzyskane wyniki zostały bardzo dobrze podsumowane w ostatnim rozdziale doktoratu i uważam, że mają one istotną wartość naukową co potwierdzają odpowiednie publikacje. Moje pytania do poszczególnych części rozprawy przedstawiłem w powyżej dyskusji wyników i liczę na to, że doktorant podczas obrony odniesie się do tych pytań.

Po lekturze niniejszej dysertacji mogę stwierdzić, że doktorant potrafi przedstawić wyniki swoich badań w sposób zrozumiały i przejrzysty dla czytelnika na odpowiednich wykresach i rysunkach. Przechodząc do interpretacji przedstawionych wyników jest w stanie wyciągnąć odpowiednie wnioski, a w sytuacjach niejednoznacznych w sposób odpowiednio wyważony przeprowadzić dyskusję naukową uzyskanych wyników. Świadczy to o odpowiedniej dojrzałości naukowej, która powinna cechować osobę ze stopniem naukowym doktora. Dlatego uważam, że rozprawa doktorska Pana mgr Piotra Drózdza spełnia wszystkie wymagania stawiane przez ustawę o stopniach naukowych dla rozpraw na tytuł doktora oraz zwyczajowo przyjęte kryteria w środowisku „fizyki półprzewodników”. Dlatego wnioskuję o dopuszczenie mgr Piotra Drózdza do publicznej obrony niniejszej rozprawy.

Appendix

W przedstawionej dysertacji znalazłem dość sporo literówek (>14 do wglądu na egzemplarzu recenzenta), które nie umniejszają wartości naukowej doktoratu ale na pewno rzutują na ocenę staranności przygotowanej dysertacji. Z racji bycia recenzentem jestem zmuszony do wskazania każdej z nich i dlatego służę moją kopią doktoratu z naniesionymi poprawkami/komentarzami.

Przechodząc do dodatkowych uwag pozytywnych, które niekoniecznie powinny być zawarte w części zasadniczej niniejszej recenzji, chciałbym podkreślić, że przedstawiona dysertacja jest bardzo dobrym przykładem na komplementarną współpracę dwóch ośrodków naukowych posiadających odpowiednie kompetencje (badania czasowo-rozdzielczej fotoluminescencji – Uniwersytet Warszawski (UW) oraz wytwarzanie struktur laserowych – Instytut Wysokich Ciśnień (IWC) Polskiej Akademii Nauk), w której to współpracy obie strony zyskują. Formułę doktoratu w której promotorem jest pracownik naukowy z UW (dr hab. Krzysztof Korona) z wysokimi kompetencjami ze spektroskopii czasowo-rozdzielczej, a promotorem pomocniczym pracownik z IWC (dr Marcin Sarzyński) z wysokimi kompetencjami w wytwarzaniu struktur InGaN na podłożach o różnej dezorientacji powierzchni uważam za bardzo właściwą i wzorcową. Jestem przekonany, że bez takiej współpracy niniejsza rozprawa nie mogła by powstać dlatego chciałem podkreślić ten fakt.



Robert Kudrawiec