



Wrocław, 12 lutego 2021r.

Prof. Robert Kudrawiec
Katedra Inżynierii Materiałów Półprzewodnikowych
Wydział Podstawowych Problemów Techniki
Politechnika Wroclawska
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 mgra Jakuba Plachty zatytułowanej „Wytwarzanie i badania luminescencji nanodrutów z tellurku kadmu o różnych właściwościach strukturalnych”

Praca doktorska Pana mgra Jakuba Plachty jest pracą eksperymentalną z fizyki półprzewodników i jej przedmiotem są „nanodruły półprzewodnikowe oraz ich właściwości, w szczególności strukturalne i optyczne”. W rozprawie nie znalazłem jasno sformułowanych hipotez badawczych, które miał zweryfikować doktorant ale zakładam, że postawione cele badawcze wynikały z hipotez dysertacji i dlatego byłoby wskazane aby podczas obrony doktorant bezpośrednio odniósł się do tych hipotez.

Rozprawa składa się z ośmiu rozdziałów z czego rozdział 4) stanowi kluczową jej część, w której doktorant w pięciu podrozdziałach przedstawia wyniki swoich badań. Są to oryginalne i bardzo wartościowe wyniki, które zostały opublikowane w czterech pracach:

1. **Plachta, J.**, Kaleta, A.; Kret, S.; et al. „Polarization and magneto-optical properties of excitonic emission from wurtzite CdTe/(Cd, Mg)Te core/shell nanowires” Nanotechnology 31, 215710 (2020).
2. **Plachta, J.**; Grodzicka, E.; Kaleta, A.; et al. Magnetic field induced mixing of light hole excitonic states in (Cd, Mn)Te/(Cd, Mg)Te core/shell nanowires” Nanotechnology 29, 205205 (2018).
3. Wojnar, P.; **Plachta, J.**; Kret, S.; et al. „Growth and optical investigations of high quality individual CdTe/(Cd, Mg)Te core/shell nanowires” Nanotechnology 28, 045207 (2017).
4. Wojnar, P.; **Plachta, J.**; Zaleszczyk, W.; et al. „Coexistence of optically active radial and axial CdTe insertions in single ZnTe nanowire” Nanoscale 8, 5720 (2016).

Każdy z tych podrozdziałów rozpoczyna się opisem wkładu doktoranta w opisane wyniki. Następnie przedstawione są wyniki, ich dyskusja w kontekście całej rozprawy doktorskiej oraz podsumowanie. Do zawartości merytorycznej tych rozdziałów odniosę się w dalszej części recenzji.

Wstęp (tj. rozdział 1)) zaznajamia czytelnika z przedmiotem rozprawy, przedstawia układ pracy, krótko sygnalizuje o zawartości poszczególnych rozdziałów, a w tym o uzyskanych wynikach, które umieszczone są w odpowiednim kontekście literaturowym. Uważam, że rozdział ten jest bardzo dobrze napisany, a jedynym jego mankamentem jest brak jasno sformułowanej hipotezy badawczej.

Kolejne dwa rozdziały (tj. rozdział 2) i 3)) wprowadzają czytelnika do tematyki dysertacji i obejmują: rozdział 2) - wprowadzenie do zagadnienia struktury pasmowej w półprzewodnikach o strukturze blendy cynkowej i wurcytu oraz rozdział 3) - opis



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Politechnika Wroclawska

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław
Budynek A-1

Tel: +48 71 320 25 23
Fax: +48 71 320 34 09

dziekan.wppt@pwr.edu.pl
<http://wppt.pwr.edu.pl>

REGON: 000001614
NIP: 896-000-58-51
Bank Zachodni WBK S.A.
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



Politechnika Wroclawska

Wydział Podstawowych Problemów Techniki

stosowanych metod badawczych gdzie każdej z metod zastosowanych przez doktoranta poświęcony jest odpowiedni podrozdział. Podsumowując te dwa rozdziały 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 dobrze wyważony. Doktorant w odpowiednich miejscach odsyła czytelnika do odpowiedniej literatury, a jej dobór jest właściwy i świadczy o bardzo dobrej znajomości literatury przedmiotu.

W rozdziale 4) rozprawy doktorant prowadzi dyskusje swoich wyników wielokrotnie odwołując się do części rozprawy przedstawionej w rozdziale 5) i 6), w którym przedstawione są podstawy teoretyczne niezbędne do zrozumienia uzyskanych wyników eksperymentalnych. Przy czytaniu dysertacji można mieć pewien dyskomfort kiedy autor odsyła czytelnika do przyszłego rozdziału lub równań, które dopiero się pojawiają. Jednak rzetelne przedstawienie podstaw teoretycznych wymaga wielu stron (w tym wypadku jest to 25 stron) i z pewnością mogłoby „zmęczyć” czytelnika przed dojściem do zasadniczej części rozprawy. Dlatego zaproponowany układ uważam za udany, a zawartość rozdziałów 5) i 6) oceniam bardzo wysoko. Doktorant w rozdziałach tych opisał metodę *kp*, model Luttingera-Kohna, uwzględnienie naprężeń w tym modelu, oddziaływanie z polem magnetycznym, a w tym efekt Zeemana oraz złotą regułę Fermiego dla przejść optycznych. Te dwa rozdziały czyta się bardzo dobrze, kolejność podrozdziałów jest logiczna, wiadomo co z czego wynika i gdzie szukać źródeł do odpowiednich formuł matematycznych.

Rozdział 7) jest podsumowaniem, w którym doktorant zwięźle podsumowuje swoje oryginalne wyniki, a rozdział 8) stanowi bibliografię.

Odnosząc się do zawartości merytorycznej rozprawy uważam, że doktorant uzyskał bardzo wartościowe wyniki w obszarze syntezy nanodrutów II-VI oraz ich strukturalnej i optycznej charakteryzacji. Po raz pierwszy otrzymano druty ZnTe z otoczką oraz wstawką z CdTe i określono warunki wzrostu w jakich można uzyskać takie druty. Wyraźnie wykazano, że kluczową rolę odgrywa tutaj temperatura wzrostu, a za brak emisji z drutów bez otoczek odpowiadają stany powierzchniowe (to akurat jest bardzo spodziewanym wynikiem). Kontynuacja tych badań doprowadziła do uzyskania nanodrutów CdTe z otoczką z (Cd, Mg)Te, które charakteryzowały się silnie spolaryzowaną emisją. Dodanie manganu do tego typu drutów uczyniło je interesujące do badań w polu magnetycznym podobnie jak ma to miejsce w studniach i kropkach kwantowych II-VI z manganem. Wykazano, że w przypadku badanych drutów kluczową rolę w emisji światła i jej polaryzacji odgrywa kolejność pasm, a dokładnie wpływ naprężenia rozciągającego rdzeń drutu. W przypadku tych drutów efekty kwantowe są pominięte ze względu na ich znaczną średnicę (tj. ~30 nm). Jednak doktorant ma świadomość w jakim reżimie rozmiarów porusza się i uważam, że dyskusja wyników i ich interpretacja poprowadzona jest w wywarzony i poprawny sposób. W celu uzyskania reżimu kwantowego dla drutów CdTe doktorant przeprowadził szereg procesów w których poprzez temperaturę starał się uzyskać mniejszą średnicę tych drutów. Tą drogą uzyskał druty CdTe o średnicy dochodzącej do 7 nm i zaobserwował efekt kwantowy w pomiarach fotoluminescencji, tj. przesunięcie emisji w stronę krótszych fal. Temu zagadnieniu poświęcony jest



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Politechnika Wroclawska

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław
Budynnek A-1

Tel: +48 71 320 25 23
Fax: +48 71 320 34 09

dziekan.wppt@pwr.edu.pl
http://wppt.pwr.edu.pl

REGON: 000001614
NIP: 896-000-58-51
Bank Zachodni WBK S.A.
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434





Politechnika Wroclawska

Wydział Podstawowych Problemów Techniki

podrozdział 4.5). Analiza wyników przedstawionych w tym rozdziale wyraźnie pokazuje, że wykonanie drutów o mniejszych średnicach (tj. średnicach które prowadzą do efektów kwantowych) wciąż pozostaje wyzwaniem ale uzyskane wyniki w istotny sposób przybliżają doktoranta do tego celu. Warto tutaj podkreślić, że w badaniach tych doktorant odegrał wiodącą rolę i badania te były przedmiotem grantu Preludium z NCN w którym doktorant był kierownikiem.

Bardzo ciekawym fragmentem rozprawy są druty CdTe/(Cd, Mg)Te i (Cd, Mn)Te/(Cd, Mg)Te o strukturze wurcytu. Obecnie jest to dość atrakcyjna tematyka w drutach kwantowych (również tych z materiałów III-V takich jak InP, GaAs, InAs) z tego względu, że materiały te w postaci litych kryształów preferują strukturę blendy cynkowej. Doktorant uzyskał druty kwantowe w strukturze wurcytu w warunkach dość nieoczekiwanych w stosunku do tego co raportowano w literaturze, a mianowicie w temperaturze wyższej rosły druty o strukturze wurcytu, a w niższej w strukturze blendy cynkowej. Wytłumaczenie tego zjawiska zostało przypisane rozmiarowi kropli metalu, który determinuje ten wzrost. Z kolei rozmiar tej kropli kontrolowany jest temperaturą wzrostu co jak najbardziej ma sens. W drutach tych wykryto „wstawki” o strukturze blendy cynkowej oraz obserwowano przesunięcie emisji w stronę wyższych energii wraz ze wzrostem mocy pobudzania. Widma mikro-fotoluminescencji w funkcji mocy pobudzania dość istotnie różnią się i w związku z tym mam pytanie czy za te zmiany nie są odpowiedzialne efekty polaryzacyjne tj. spontaniczna polaryzacja, której należy spodziewać się w strukturze wurcytu? W kierunku wzrostu drutu jego rozmiary są makroskopowe i pole elektryczne związane z efektami polaryzacyjnymi będzie ekranowane ale w przypadku „wstawek” o strukturze blendy cynkowej tak nie musi być i wzdłuż drutu mogą pojawić się wbudowane pola elektryczne. W związku z tym, że doktorant nie porusza problemu polaryzacji spontanicznej i piezoelektrycznej w drutach w strukturze wurcytu chciałbym, żeby się odniósł do tego zagadnienia podczas obrony.

Przechodząc do końcowej oceny dysertacji uważam, że doktorant uzyskał bardzo ciekawe wyniki, które zostały opublikowane w bardzo dobrych czasopismach (3x *Nanotechnology i Nanoscale*). Chciałbym podkreślić, że prace te stanowią bardzo cenny wkład do literatury przedmiotu i dostrzegane są przez środowisko naukowe zajmujące się tą tematyką, tj. są już cytowane ponad 10 razy i z pewnością będą cytowane w przyszłości z odpowiednim natężeniem odpowiadającym tematyce związków II-VI. W dwóch pracach doktorant jest pierwszym autorem co dodatkowo podkreśla jego rolę w przytoczonych badaniach/publikacjach. Uważam, że w takim wypadku pomimo publikacji, które mogły by być podstawą do obrony doktoratu, ważną rolę odgrywa zebranie wyników i opisanie ich w jednym miejscu tj. w pracy doktorskiej. To zadanie doktorant zrealizował wzorowo zarówno pod względem merytorycznym jak i redakcyjnym. Uważam, że niniejsza dysertacja zredagowana jest bardzo dobrze (znaleziono przez mnie literówki i uwagi co do sformułowań są bardzo nieliczne i podane są na końcu niniejszej recenzji). Odnosząc się do dyskusji wyników przedstawionych w dysertacji chciałbym zaznaczyć, że nie dostrzegam błędów pojęciowych, interpretacyjnych lub wewnętrznych sprzeczności.

Podsumowując uważam, że rozprawa doktorska Pana mgra Jakuba Płachty spełnia wszystkie wymagania stawiane przez ustawę o stopniach naukowych dla



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Politechnika Wroclawska

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław
Bucynek A-1

Tel: +48 71 320 25 23
Fax: +48 71 320 34 09

dziekan.wppt@pwr.edu.pl
<http://wppt.pwr.edu.pl>

REGON: 000001614
NIP: 896-000-58-51
Bank Zachodni WBK S.A.
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



Politechnika Wroclawska

Wydział Podstawowych Problemów Techniki

rozpraw na stopień doktora oraz zwyczajowo przyjęte kryteria w środowisku fizyki półprzewodników. Dlatego wnioskuję o dopuszczenie mgra Jakuba Płachty do publicznej obrony niniejszej rozprawy, a w przypadku pozytywnej obrony wnioskuję o jej wyróżnienie ze względu na wartość merytoryczną przedstawionych wyników w poruszanej tematyce, znaczący wkład doktoranta w powstałe prace, które zostały opublikowane w bardzo dobrych czasopiśmie (w dwóch z nich doktorant jest pierwszym autorem, a w dwóch pozostałych drugim), a także stroną redaktorską niniejszej rozprawy.

Robert Kudrawiec

Uwagi redakcyjne:

Strona 7: brak spójności w interpunkcji w referencjach (kropki po imionach).

Strona 16: 'dodanie silnego obiektywu' słowo silnego nie bardzo mi tutaj pasuje.

Stron 23: zabrakło literki 'c' bo powinno być 'para-ciało stałe-ciało stałe'.

Strona 26: brakuje kropki na końcu zdania w pierwszym akapicie.

Strona 34: podane są średnie średnice i długości drutów bez niepewności, które warto tutaj podać.

Strona 36: powtórzenie, dwa razy jest 'na podstawie na podstawie'.

Strona 44/45: autor używa sformułowania „emisja w energii ...” gdzie w większości przypadków mówi się i pisze o „emisji przy energii ...”.

Strona 50: to nie jest równanie, ten stosunek trzeba nazwać odpowiednią literą i zapisać równaniem.

Strona 71: 'przedstawionych na nanodrutów' usunąć 'na'.

Strona 77: 'będziemy się spodziewali się' usunąć jedno 'się'.

Literówki w referencjach [23], [64], [68], [69], ...



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Politechnika Wroclawska

Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław
Budynek A-1

Tel: +48 71 320 25 23
Fax: +48 71 320 34 09

dziekan.wppt@pwr.edu.pl
<http://wppt.pwr.edu.pl>

REGON: 00001614
NIP: 896-000-58-51
Bank Zachodni WBK S.A.
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434