



Politechnika Warszawska

Wydział Fizyki

Warszawa, 27.08.2026

Prof. dr hab. inż. Mariusz Zdrojek

Recenzja rozprawy doktorskiej Piotra Tatarczaka

Uwagi wstępne.

Praca doktorska magistra Piotra Tatarczaka, zatytułowana „Quantum emitters in MOVPE-grown layered boron nitride”, została zrealizowana na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego pod kierunkiem dr hab. Johanesa Bindera. Manuskrypt pracy jest napisany w języku angielskim.

Manuskrypt pracy doktorskiej przedstawiony jest w klasycznej formie – monografii, składającej się przede wszystkim z siedmiu głównych rozdziałów: wstępu teoretycznego (dotyczącego jednofotonowych emiterów kwantowych i zjawisk im towarzyszących oraz wprowadzającego do badanego materiału – azotku boru), technik eksperymentalnych i metodologii pomiarowej, opisu próbek i ich wstępnej charakteryzacji oraz właściwej części wynikowej. W ostatnim rozdziale autor zamieszcza również podsumowanie oraz perspektywy dalszych badań. Dodatkowo w manuskrypcie znajduje się opis wkładu autora i współpracowników oraz podsumowanie osiągnięć kandydata do stopnia doktora. Każdy z rozdziałów podzielony jest na numerowane podrozdziały, których zawartość jest wzajemnie powiązana i spójna z omawianym obszarem tematycznym. Manuskrypt zawiera również bardzo bogatą listę referencji (aż 435 pozycji), dobrze powiązaną merytorycznie z całością pracy.

Magister Piotr Tatarczak prezentował wyniki swojej pracy badawczej na kilkunastu konferencjach o zasięgu krajowym i międzynarodowym (8 wystąpień ustnych, 6 posterów), co pokazuje, że jest aktywny w rozpowszechnianiu swoich dokonań naukowych.

Na jego dorobek naukowy składa się współautorstwo aż dziesięciu, a wg. bazy Scopus jedenastu publikacji w recenzowanych periodykach naukowych, z czego jedna jest ściśle związana z tematyką jego rozprawy doktorskiej. Kolejne trzy prace z tej tematyki są przygotowane do wysłania (stan na dzień przygotowywania recenzji). Zwracam uwagę na to, że opublikowana praca, na której oparta jest dysertacja, a w której autor manuskryptu jest również pierwszym autorem, została opublikowana w bardzo dobrym periodyku naukowym *Advanced Functional Materials* (IF 19.9). Całkowita liczba cytowań wspomnianych prac wynosi 94 (według bazy Scopus), a indeks Hirsha wynosi 6, co jest wynikiem bardzo dobrym na tym etapie rozwoju naukowego.

Autor jest kierownikiem projektu Preludium (NCN) oraz brał udział w realizacji innych projektów NCN. Jest współautorem wniosku patentowego (w manuskrypcie jednak brakuje szczegółowych danych), laureatem kilku nagród oraz współpromotorem pracy dyplomowej (mgr.).

Manuskrypt jest napisany bardzo poprawnie stylistycznie, co sprawia, że czyta się go z przyjemnością. Wyniki są prezentowane w sposób przejrzysty, estetyczny i bardzo staranny. Nie znalazłem braków w tekście (literówek) ani skrótów myślowych.



Politechnika Warszawska

Wydział Fizyki

Uwagi krytyczne i pytania

Szczegółowe pytania i komentarze dotyczące pracy, które nasunęły mi się podczas analizy manuskryptu:

- Trochę szkoda, że autor nie miał możliwości samodzielnego wykonania bardzo podstawowych charakteryzacji warstw BN, np. przy użyciu AFM, SEM lub FTiR. Proszę o komentarz, jaki był powód takiego podejścia.
- W rozdziale 4.2, na rys. 4.1, przedstawiono przykładowe dane próbek typu T_{1300} i T_{1400} . Ile próbek danego typu zostało przebadanych? Jakie są rozrzuty wyników XRD i Ramana dla różnych próbek? Na rys. 4.1e, pokazano 5 widm dla każdego typu warstw BN – czy były to różne próbki czy widma robione w różnych miejscach dla jednej próbki?
- Szerokości połówkowe modu E_{2g} dla próbek T_{1300} i T_{1400} (tabela 4.3) dość mocno się różnią. Autor tłumaczy to znaczącą zmianą jakości materiału. Proszę o bardziej szczegółową analizę tej interpretacji.
- Często w pracy (np. str. 82, 94, 142, 148) autor używa sformułowania dotyczącego warunków badań właściwości optycznych: „próbka była oświetlana laserem o mocy kilku- (lub kilkudziesięciu) mW”, a czasem „... o mocy μW ”. Czy chodzi o moc na próbce, czy o nominalną moc lasera używanego w eksperymencie? Tak duże gęstości mocy na próbce zapewne powodowałyby silne efekty grzania – nawet w przypadku grubszych warstw BN. Proszę o komentarz w tej sprawie.
- Str. 90. Autor stwierdza, że zidentyfikował jedynie 17 emiterów jednofotonowych typu 3 z grupy 120 badanych i twierdzi, że typ 3 w badanych próbkach jest niezwykle rzadki. Skąd takie stwierdzenie? (17 z 120 to ~14% więc wcale nie tam mało)
- W rozdziale 4.5, autor bada jedynie populację 20 ‘zielonych’ emiterów dla próbki T_{1400} . Dlaczego nie więcej?

Ocena wraz z uzasadnieniem

Warunki stawiane rozprawom doktorskim, zostały określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Zgodnie z tym przepisem rozprawa doktorska powinna prezentować ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, a ponadto przedmiotem rozprawy doktorskiej ma być oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Mając powyższe na uwadze, po kolei odnoszę się poniżej do tych przesłanek:

1. Stwierdzam, że rozprawa doktorska zawiera i poprawnie prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną w zakresie dyscypliny *nauki fizyczne*.

Uzasadnienie: Oceniam, że autor manuskryptu: (i) bardzo poprawnie i jasno przytacza aktualną wiedzę z obszaru badawczego, którego dotyczy podjęta praca; (ii) wyczerpująco przedstawia wstęp do zagadnienia dotyczącego jednofotonowych emiterów kwantowych, włączając w to ich właściwości, strukturę oraz towarzyszące im zjawiska fizyczne; (iii) przedstawia pogłębioną wiedzę na temat badanego materiału – azotku boru – nawiązując do jego struktury, podstawowych właściwości, metod wytwarzania oraz co istotne faktu, że ten materiał jest platformą dla emiterów kwantowych; (iv) przytacza podstawowe informacje o metodach wytwarzania próbek, które użyto w badaniach; (v) przedstawia szczegółowy i wystarczająco wyczerpujący opis metod badawczych oraz układów eksperymentalnych



Politechnika Warszawska

Wydział Fizyki

używanych w swojej pracy; (vi) poprawnie nawiązuje do wykazanej i obszernej literatury; oraz (vii) przedstawia wstęp teoretyczny adekwatny do podjętego problemu badawczego.

2. Stwierdzam, że rozprawa doktorska stanowi dowód na to, że kandydat ubiegający się o nadanie stopnia doktora wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Uzasadnienie: Uważam, że autor (i) trafnie zaproponował hipotezę badawczą, która dotyczy zależności właściwości emiterów kwantowych w warstwach epitaksjalnego azotku boru od parametrów syntezy i otoczenia; (ii) autor wskazał braki w istniejącej literaturze w tym zakresie i przekonująco wykazał zasadność podjęcia się tej tematyki badawczej; (iii) spójnie powiązał technologie wytwarzania materiałów epitaksjalnych, ich podstawową charakterystykę z bardziej wyrafinowaną koncepcją zielonych emiterów i wykorzystał narzędzie do ich charakteryzacji w kontekście właściwości materiału, w którym te emitery występują; (iv) wykazał się znajomością metod badawczych niezbędnych do prawidłowego zrealizowania celu pracy (w szczególności spektroskopii Ramana, fotoluminescencji, badań funkcji korelacji); (v) wykazał umiejętność zbierania i analizy danych badawczych oraz ich zrozumiałej prezentacji; (vi) udowadnia umiejętność przygotowania publikacji naukowych; oraz (vii) prawidłowo wysuwa wnioski wynikające z uzyskanych wyników prac.

3. Stwierdzam, że rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Uzasadnienie: Problem badawczy wskazany przez autora dotyczył zbadania właściwości kwantowych emiterów optycznych wytworzonych w epitaksjalnych warstwach azotku boru (BN), pod kątem parametrów przydatnych w technologiach kwantowych.

W tym obszarze autor wnosi następujące argumenty, które są nowe w odniesieniu do wcześniej dostępnej literatury:

(i) autor pokazał, że w warstwach BN hodowanych metodą MOVPE istnieją centra barwnikowe, które mogą działać jak różne typy jednofotonowych emiterów kwantowych, w temperaturze pokojowej; (ii) pokazał, że fonony mają istotny wpływ na charakterystykę optyczną emiterów; (iii) udowodnił jak struktura warstw BN (grubość) oraz parametry technologiczne ich wzrostu (przepływ prekursorów, temperatura) wpływa na formowanie się emiterów oraz ich finalne właściwości; (iv) wykazał, że pewne odkształcenia materiałowe (bąble) powstające podczas procesu naświetlania wiązką elektronową warstw BN wytworzonych metodą MOVPE powodują istotne wzmocnienie właściwości emisyjnych badanych emiterów oraz wytłumaczył możliwe powody tego efektu; (v) wykazał, że potraktowanie epitaksjalnych warstw BN wiązką neutronów prowadzi do powstania centrów barwnikowych typu V_B^- oraz wpływa na istniejące centra w strukturze BN, co sugeruje możliwość współistnienia różnych sensorów i emiterów kwantowych na jednej platformie materiałowej; oraz (vi) pokazał istnienie niebieskich emiterów jako rezultat tworzenia się wakansji borowych pod wpływem naświetlania wiązką neutronów.



Politechnika Warszawska

Wydział Fizyki .

W związku z powyższym, przedłożoną mi do recenzji rozprawę doktorską oceniam jednoznacznie bardzo pozytywnie. Uważam, że ta rozprawa może stanowić podstawę uzyskania stopnia doktora w dyscyplinie nauk fizycznych, ponieważ spełnia warunki określone w odpowiedniej ustawie. Niniejszym wnoszę o dopuszczenie mgr Piotra Tatarczaka do kolejnych etapów procedury ubiegania się o stopień doktora.

Jednocześnie wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr Piotra Tatarczaka, z uwagi na znaczenie wyników prezentowanych w jego pracy. W szczególności doceniam to, że powiązał właściwości zielonych emiterów kwantowych, w kontekście potencjalnych zastosowań w technologiach kwantowych, z parametrami wzrostu platformy BN, w której formowane są centra, i wskazał wprost na możliwości optymalizacji technologii wytwarzania tych materiałów pod kątem poprawy właściwości badanych emiterów.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Zolopka', is written on the right side of the page.