



Politechnika Warszawska

Wydział Fizyki

Warszawa, 4.01.2025

Prof. dr hab. inż. Mariusz Zdrojek

Recenzja rozprawy doktorskiej Michała Piskorskiego

Uwagi wstępne

Praca doktorska magistra Michała Piskorskiego zatytułowana „Wykorzystanie spektroskopii Ramana w badaniach materiałów niskowymiarowych” zrealizowana była na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej na Uniwersytecie Łódzkim pod kierunkiem dr hab. inż. Witolda Kozłowskiego. Promotorem pomocniczym jest dr hab. Paweł Krukowski. Manuskrypt pracy napisany jest w języku polskim.

Manuskrypt pracy doktorskiej przedstawiony jest w klasycznej formie – monografii, składającej się przede wszystkim z pięciu głównych rozdziałów, z których pierwszy zawiera wstęp teoretyczny, drugi to opis stworzonego w ramach pracy nowego narzędzia badawczego, a pozostałe dotyczą wyników badawczych uzyskanych przez doktoranta oraz konkluzje z nich wynikające. Manuskrypt zawiera również bardzo bogatą listę referencji (213 pozycji) powiązaną merytorycznie z głównymi rozdziałami pracy oraz opis dorobku naukowego autora.

Doktorant prezentował wyniki pracy na kilku konferencjach o zasięgu krajowym i międzynarodowym (1 wystąpienie ustne, 7 posterów). Na jego dorobek naukowy składa się współautorstwo 11 publikacji w recenzowanych periodykach naukowych, z czego 2 są ściśle związane są z tematyką jego rozprawy doktorskiej. Całkowita liczba cytowań wspomnianych prac wynosi 61 (według bazy Scopus), a index Hirsha wynosi 5, co jest wynikiem dość dobrym. Autor jest również współautorem patentu (1) i wniosków patentowych (3).

Jedna z prac, na której oparta jest dysertacja i w której doktorant jest pierwszym autorem opublikowana jest w nisko punktowanym czasopiśmie *Przegląd Elektrotechniczny*. Drugą z prac, gdzie doktorant jest współautorem opublikowano w dużo lepszym czasopiśmie *Applied Surface Science*. W obu przypadkach wkład doktoranta jest istotny i wyraźnie zaznaczony. Niepublikowane dane, zawarte w dysertacji, są podstawą do kolejnych publikacji naukowych.

Praca napisana jest poprawnym językiem a wyniki prezentowane są w sposób przejrzysty i estetyczny.

Uwagi krytyczne i pytania

Niewątpliwym atutem pracy jest fakt, że autor skonstruował układ pomiarowy pozwalający na wykonanie pomiarów ramanowskich w atmosferze ochronnej. Brakuje mi w pracy wyraźniejszego podkreślenia wad i zalet stworzonego układu?

Charakterystyka badanych materiałów jest potraktowana zbyt skrótowo i rozrzucona po różnych rozdziałach co czasem utrudnia śledzenie pracy.

Brak jest opisu innych technik eksperymentalnych użytych w pracy (np. AFM, STM, KPFM).

Pytania szczegółowe dotyczące pracy:

- Proszę o wyjaśnienie założenia, że współczynnik absorpcji nie zależy od grubości (str. 47) - dla materiałów warstwowych 2D znana jest silna zależność tego typu.



Politechnika Warszawska

Wydział Fizyki

- Czy w badaniach zmian intensywności pików ramanowskich w zależności od grubości (np. str. 48) był brany pod uwagę problem zmiany/niestabilności ogniska w pomiarze widma ramanowskiego?
- Czy sformułowanie 'oscylacje' intensywności linii ramanowskich (str.59 i rys. 3-10n) są poprawnym wyrażeniem? – na wykresie widać pojedynczy pik z monotonicznie malejącą zależnością.
- Proszę o uściślenie pomiaru mocy lasera na próbce w przeprowadzanych badaniach. Przykładowo, na str. 61 mowa jest o użyciu lasera o mocy 3mW – czy to oznacza moc lasera na wyjściu czy moc na próbce?
- Czy była szacowana temperatura (przy użyciu przesunięć ramanowskich) do jakiej naświetlanie laserem poddzwęwa próbkę?
- W rozdziale 3 efekty starzenia i traktowania dużą/malą mocą lasera są ze sobą powiązane. Czy autor próbował rozdzielić te dwa czynniki i pokazać ich wpływ oddzielnie?
- Na rysunku 4-12 pokazana jest zmiana intensywności pików ramanowskich krzemu pod wpływem zmiany kąta padania/polaryzacji wiązki. Czy efektem obserwowanej zależności mogą być również właściwości optyczne krzemu?

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 z zakresu obejmującego dyscyplinę nauki fizyczne.
Uzasadnienie: Oceniam, że autor manuskryptu: (i) poprawnie zdefiniował obszar badawczy oraz potrzebę stworzenia nowego narzędzia badawczego na bazie techniki powszechnie używanej w zakresie fizyki ciała stałego (i nie tylko) – badania materiałów warstwowych w środowisku kontrolowanym przy pomocy zintegrowanej spektroskopii ramanowskiej; (ii) dość skrupulatnie opisał efekt Ramana, zarówno w ujęciu klasycznym jak i kwantowym, wyjaśniając przy tym zależności dyspersyjne fononów i analizując przykładowe widma ramanowskie krzemu; (iii) wyczerpująco przedstawił spektroskopie Ramana od strony techniki pomiarowej ze szczególnym uwzględnieniem użycia jej w przypadku pomiarów w kontrolowanej atmosferze; (iv) dość skrótowo ale poprawnie opisał podstawowe właściwości badanych materiałów – MoS_2 , TaS_2 , MoTe_2 i WTe_2 , uwzględniając ich politypy oraz Re_2O_7 ; (v) w sposób prawidłowy nawiązuje do znanej w omawianym obszarze literatury, wskazując przy tym dość obszerną bibliografię; (vi) przedstawia wstęp teoretyczny, który jest adekwatny do podjętego przez autora problemu badawczego i technicznego, co stanowi dobrą podstawę do zrozumienia wyników pracy.
2. Stwierdzam, że rozprawa doktorska jest dowodem na to, że kandydat ubiegający się o nadanie stopnia doktora wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.



Politechnika Warszawska

Wydział Fizyki

Uzasadnienie: Uważam, że (i) autor prawidłowo zdefiniował hipotezę badawczą, którą jest zbadanie wpływu czystości otoczenia (atmosfery) na właściwości optyczne i strukturalne materiałów niskowymiarowych wykorzystując spektroskopię Ramana oraz samodzielnie zbudował narzędzie potrzebne do jej weryfikacji; (ii) doktorant wiarygodnie uzasadnił celowość podjęcia się tej tematyki badawczej, biorąc pod uwagę istniejącą literaturę naukową oraz dostępność aparatury badawczej; (iii) wykazał się dobrą znajomością głównej techniki badawczej (spektroskopia Ramana) oraz techniki pomocniczej – AFM/STM; (iv) doktorant wykazał umiejętność zbierania i analizy danych badawczych oraz ich zrozumiałej prezentacji; (v) doktorant udowodnił (w sposób minimalny) umiejętność przygotowania publikacji naukowych; (vi) autor posiada umiejętność przedstawiania sensownych wniosków wynikających z uzyskanych wyników prac.

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

Uzasadnienie: Ogólnym problemem naukowym wskazanym przez mgr Piskorskiego jest zbadanie wpływu czystości otoczenia (atmosfery) na właściwości optyczne i strukturalne materiałów niskowymiarowych wykorzystując spektroskopię Ramana. W tym obszarze można wskazać następujące argumenty stanowiące o oryginalnym wkładzie autora w rozwiązanie problemu naukowego: (i) skonstruował unikalny układ pozwalający na integrację spektroskopii Ramana z systemami pracującymi w kontrolowanych warunkach atmosferycznych (gaz obojętny, próżnia); (ii) wykazał konieczność użycia atmosfery gazu obojętnego w badaniach ramanowskich w badaniach cienkich warstw heptatlenku renu; (iii) zbadał i zinterpretował zależności intensywności wybranych modów ramanowskich od grubości materiałów warstwowych osadzonych na podłożu Si/SiO₂ oraz wyznaczył ich współczynniki absorpcji; (iv) pokazał efekt degradacji tellurków pod wpływem światła laserowego używanego w trakcie pomiarów ramanowskich, w tym efekt formowania się telluru na powierzchni podłoża i płatków WTe₂; (v) zademonstrował znaczenie wysokiej próżni w pomiarach ramanowskich.

W związku z powyższym, jednoznacznie stwierdzam, że przedłożona mi do recenzji rozprawa doktorska może być podstawą uzyskania stopnia doktora w dyscyplinie nauki fizyczne ponieważ spełnia warunki określone w stosownej ustawie.

Niniejszym, wnoszę o dopuszczenie mgr Michała Piskorskiego do kolejnych etapów procedury ubiegania się o stopień doktora.