



Politechnika Warszawska

Wydział Fizyki

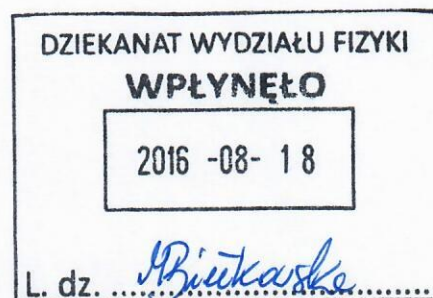


www.fizyka.pw.edu.pl

ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa; tel. +48 222 347 267; fax. +48 226 282 171

Prof. nzw. dr hab. inż. Mariusz Zdrojek
Zakład Badań Strukturalnych
Wydział Fizyki Politechniki Warszawskiej
Koszykowa 75, 00-662 Warszawa
tel. 22 234 71 70
zdrojek@if.pw.edu.pl
www.nano.if.pw.edu.pl

Warszawa, 11.08.2016



Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Katarzyny Aleksandry Gołasy

Praca doktorska mgr Katarzyny Aleksandry Gołasy zatytułowana „Optyczne własności warstw dwusiarczku molibdenu (MoS_2)” zrealizowana była w Instytucie Fizyki Doświadczalnej na Wydziale Fizyki UW pod kierunkiem prof. A. Babińskiego. Badania materiałów o strukturze dwuwymiarowej przyciągają w ostatnich latach niezwykle duże zainteresowanie badaczy na całym świecie. Wynika to z tego, że materiały o takiej strukturze posiadają wiele nowych i ciekawych właściwości fizyko-chemicznych, z których część jest jeszcze w trakcie badania. Zatem, przedstawiona do recenzji praca doskonale wpisuje się w ten niezwykle interesujący trend intensywnych badań tych materiałów.

Manuskrypt pracy zawiera krótkie streszczenie pracy, pięć rozdziałów wraz z podsumowaniem głównych osiągnięć pracy (w sumie 87 stron) oraz bogatą listę referencji (184), do których autorka często odnosi się w swojej pracy. Dodatkowo na końcu pracy zamieszczono dorobek naukowy doktorantki, na który składa się współautorstwo 16 publikacji w recenzowanych periodykach naukowych (8 prac dotyczy bezpośrednio tematyki rozprawy doktorskiej; w 7 z nich jest pierwszym autorem) oraz wykaz referatów wygłoszonych przez autorkę (brak jednak pełnej listy wystąpień konferencyjnych). Całkowita liczba cytowań wspomnianych prac wynosi 58 (wg ISI WoK), co jest wynikiem dość dobrym, jak na ten etap kariery naukowej. Mgr K. A. Gołasa jest również laureatką stypendium (2013/2014) przyznawanym przez Zarząd Województwa Mazowieckiego oraz stypendium NCN w ramach projektu Etiuda. Należy również podkreślić, że doktorantka jest kierownikiem projektu Preludium (NCN), który obejmuje tematykę pracy i dodatkowo podkreśla istotę uzyskanych w niej wyników.

Pierwszy rozdział manuskryptu jest wprowadzeniem, w którym przede wszystkim opisano rodzinę materiałów o strukturze dwuwymiarowej, a w szczególności dichalkogenki metali przejściowych (z ang. TMDs), których sztandarowym przykładem jest dwusiarczek molibdenu (MoS_2). Na początku autorka sygnalizuje podstawowe własności grafenu oraz wspomina o innych kryształach dwuwymiarowych, ich syntezie i własnościach. Bardziej szczegółowo opisane są związki rodziny dichalkogenków metali przejściowych. Szczególną uwagę poświęcono dwusiarczcowi molibdenu i jego strukturze krystalograficznej, syntezie, własnościach fononowych i strukturze pasmowej. Zamieszczono istotną dyskusję porównującą własności monowarstw z materiałem objętościowym. Rozdział zakończony jest wzmianką (jednak trochę zbyt skąpą) o zastosowaniach badanego materiału. Brakuje mi w tym rozdziale istotnej informacji dotyczącej metod wytwarzania MoS_2 , tj. mechaniczna eksfoliacja i osadzanie z fazy gazowej (choć autorka zamieszcza część tych informacji w rozdziale 2.4).

Rozdział drugi dotyczy opisu metodologii badawczej oraz wstępnych badań przygotowanych materiałów. Doktorantka przedstawia krótki opis podstawowych procesów optycznych (transmisja, absorpcja, rozpraszanie). Akapit „Odbicie i absorpcja to najsilniejsze procesy ...” (strona 19) jest moim zdaniem niejasny. Szczegółowo opisany jest proces luminescencji. Następnie autorka opisuje spektroskopię Ramana stosując podejście klasyczne. Na rysunku 2.5 pokazano piękny schemat oddający istotę przejść spektroskopowych dla cząstki. Autorka zrezygnowała z opisu dla cząstki na drgania sieci krystalicznej i ich symetrie. Ponadto, autorka wyjaśnia aspekty rezonansowego rozpraszania Ramana oraz spektroskopii konfokalnej, zamieszczając dokładny opis używanej w eksperymencie aparatury. Nie wspomniano jednak z jaką mocą lasera wykonywano pomiary i czy była ona kalibrowana na próbce? Ta informacja ma istotne znaczenie w badaniach ramanowskich. W dalszej części rozdziału opisano metodę mikroskopii sił atomowych używaną do badania grubości warstw MoS_2 (zamieszczono przykład zdjęcia płatka MoS_2). Następnie doktorantka opisuje metodę przygotowania próbek - mechaniczną eksfoliację. Na uwagę zasługują opanowana przez autorkę metoda „stempla” z użyciem folii polimerowej (PDMS), która w porównaniu do klasycznej eksfoliacji jest czystsza. Dobrze opanowana metoda przygotowania mono- i kilkuwarstw MoS_2 potwierdzona jest poprzez widma ramanowskie (rys. 2.14).

W rozdziale trzecim opisano najważniejsze wyniki pracy dotyczące badań własności optycznych warstw MoS_2 . Pierwsze prezentowane wyniki dotyczą widm absorpcyjnych cienkich warstw w temperaturze pokojowej i helowej (4.2K), ujawniając dwa pasma absorpcyjne i wyznaczając energię ekscytanu A (w 4.2K). Widma fotoluminescencji pokazane na rys. 3.4 i 3.5 doskonale pokazują zmianę charakteru przerwy energetycznej przy przejściu z materiału objętościowego do monowarstwy. Autorka przeprowadza również analizę widm fotoluminescencji w funkcji temperatury dla próbek o różnej grubości (dla fali pobudzającej 532 nm), pokazując ewolucję pasma A. Interesujący byłby szerszy komentarz nt. zmiany intensywności pasma w funkcji temperatury. Na kolejnych stronach rozdziału opisane są bardzo ciekawe wyniki pracy dotyczące badań ramanowskich. W pierwszej kolejności autorka przedstawia porównanie widma ramanowskiego materiału objętościowego dla dwóch długości fali (rezonansowej i nierezonansowej, 633 i 532 nm) równocześnie analizując dokładnie obserwowane piki i pokazując różnice między oboma widmami. W szczególności autorka dokonuje identyfikacji modów wielofononowych w widmie rezonansowym,

ustalając ich energie zgodnie z przewidywaniami teoretycznymi. Na rysunku 3.11 autorka pokazuje ewolucje widma rezonansowego w funkcji temperatury (dla próbki objętościowej), na podstawie którego wykonano zależność intensywności modu A_{1g} od temperatury (rys. 3.12a). Zależność ta wygląda bardzo interesująco. Niemniej jednak, jak rozumiem intensywność potraktowana jest tutaj jako zwykła amplituda piku ramanowskiego, która narażona jest na duże błędy pomiarowe (np. manipulując ogniskiem można dowolnie zmieniać intensywność piku, drobna zmiana mocy lasera powoduje podobny efekt). Czy autorka kalibrowała w jakiś sposób pomiar w tym kontekście? Czy brano pod uwagę wyznaczenie intensywności relatywnej (pole pod krzywą w odniesieniu do innego piku)? W dalszej części rozdziału przedstawiono wyniki badań ramanowskich próbek cienkowarstwowych włączając w to monowarstwy. Autorka analizuje widma rezonansowe (633 nm) próbek o różnej grubości (1-3 warstwy oraz próbka objętościowa) wykonane w dwóch różnych temperaturach. Widma te pokazują ciekawą ewolucję modów w funkcji grubości i temperatury. Kolejnym ciekawym eksperymentem rozpatrywanym przez autorkę jest pomiar próbek MoS_2 pokrytych klastrami złota, które to wykazują znaczny wpływ na własności fononowe badanego materiału, głównie poprzez wprowadzone przez złoto naprężenie w warstwach MoS_2 . Czy w takiej heterostrukturze (MoS_2/Au) warto rozważyć możliwość oddziaływania plazmonów złota z fononami warstwy MoS_2 ? Rozdział zakończony jest bardzo ciekawą analizą niskoenergetycznych modów ramanowskich (tzw. *shear modes*), które można obserwować w materiale kilkuwarstwowym. Autorka prezentuje ewolucje modu niskoenergetycznego w funkcji ilości warstw (rys. 3.25) pokazując, że znika on dla monowarstwy oraz porównując z materiałem objętościowym. Analiza widm podparta jest prostym modelem.

Rozdział czwarty i piąty to krótka i syntetyczna dyskusja wyników przedstawionych powyżej okraszona również krótkim podsumowaniem całej pracy.

W ogólności w manuskrypcie pracy zdarzają się drobne błędy językowe i stylistyczne oraz momentami niejasne przesłanie. Można również zauważyć błędną numerację rysunków i literówki. Niemniej jednak nie wpływa to na całokształt pracy i jej wartość merytoryczną.

W uwagach końcowych chciałbym pokreślić, że praca doktorska mgr Katarzyny Gołasy dotyczy ważnych i ostatnio bardzo intensywnie prowadzonych badań nowych materiałów o strukturze dwuwymiarowej, których sztandarowym przykładem jest dwusiarczek molibdenu. Uważam, że zawarte w pracy wyniki są niezwykle wartościowe i z pewnością przyczynią się do lepszego zrozumienia własności badanego materiału. Co więcej, wyniki te w znaczącym stopniu uzupełniają aktualnie dostępną na ten temat wiedzę. Istotną wagę wyników pracy autorki podkreśla również fakt, że są one opublikowane w kilku prestiżowych periodykach naukowych oraz były podstawą do uzyskania przez autorkę finansowania dwóch projektów NCN.

W związku z powyższym, uważam, że przedłożona mi do recenzji rozprawa może być podstawą uzyskania stopnia doktora nauk fizycznych i wnoszę o dopuszczenie mgr Katarzyny Aleksandry Gołasy do kolejnych etapów procedury przewodu doktorskiego.