



Dr hab. Henryk Turski, prof. IWC PAN  
Laboratorium Epitaksji z Wiązek Molekularnych (NL-14)  
Instytut Wysokich Ciśnień "Unipress", PAN  
ul. Sokołowska 29/37, 01-142 Warszawa  
tel. +48228760341  
e-mail: [henryk@unipress.waw.pl](mailto:henryk@unipress.waw.pl)

## Recenzja

### **Pracy doktorskiej mgr inż. Agaty Tolłoczko pt. "Investigation of the anisotropic optical and electronic properties of group IV-VI van der Waals crystals"**

Przygotowanej pod kierownictwem promotora: Prof. dr hab. Roberta Kudrawca  
oraz promotora pomocniczego: dr inż. Szymona J. Zalewskiego

Niniejsza recenzja została wykonana w związku z uchwałą Rady Dyscypliny Naukowej Nauki Fizyczne nr 21/3/RDND11/2024-2028 Politechniki Wrocławskiej z dnia 22.10.2024 wyznaczającej mnie na recenzenta w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora Pani mgr inż. Agacie Tolłoczko w oparciu o rozprawę doktorską o wskazanym wyżej tytule. Niniejszą recenzję wykonano w oparciu o art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

Dysertacja spisana została w języku angielskim i poprzedzona streszczeniami w języku polskim oraz angielskim. Ma ona formę zbioru opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych. Głównymi elementami łączącymi cykl publikacji są podobieństwa pomiędzy badanymi materiałami – wszystkie są mono- i dichalkogenkami metali grupy IV oraz badane były przy pomocy podobnych technik pomiarowych. Praca składa się ze wstępu (rozdział 1.), cyklu 5 prac wieloautorskich (rozdziały 2.-6.) oraz wniosków (rozdział 7.). W przypadku 4 prac Doktorantka jest pierwszym autorem (w tym w jednej pracy jej wkład uznany jest za równy z drugim autorem), a w przypadku ostatniej wyszczególnionej pracy, według deklaracji Doktorantki, pomimo mniejszego bezpośredniego wkładu w publikację, to pomiary prowadzone przez nią podczas projektu magisterskiego na tych materiałach były podstawą pomysłu przeprowadzenia raportowanych eksperymentów. Cztery z pośród wyszczególnionych artykułów

opublikowane zostały w bardzo dobrych i recenzowanych czasopismach, ostatnia w serwisie arXiv. Poziom naukowy cyklu opublikowanych prac oceniam bardzo dobrze.

Opis cyklu artykułów poprzedzony jest około dwudziestostronicowym wstępem podzielonym na trzy części: motywację badań, podsumowanie specyficznych własności badanych materiałów oraz opis stosowanych technik eksperymentalnych. Przyjęta forma prezentacji wiedzy teoretycznej w przystępny sposób przedstawia zagadnienia z zakresu ogólnej wiedzy niezbędnej do zrozumienia cyklu artykułów. Jest to dobrze zredagowany wstęp przedstawiający historyczne motywacje badań nad materiałami dwuwymiarowymi (2D), różnice w strukturach krystalicznych i pasmowych tych materiałów oraz ich konsekwencje i potencjalne zastosowania. W dość obszerny sposób omówione są również stosowane techniki pomiarowe: powody ich stosowania oraz potencjalne ograniczenia.

W dalszej części pracy Doktorantka przedstawia po kolei prace wykonane na GeSe, GeS, SnS, SnSe, SnS<sub>2</sub> oraz SnSe<sub>2</sub>. Badania zebrane w prezentowanych pracach mają na celu poznanie podstawowych własności tychże materiałów oraz opisanie ich oddziaływania ze światłem. W przypadku GeSe, GeS, SnS i SnSe badania ogniskowane były dookoła dichroizmu w tych materiałach. Natomiast w przypadku SnS<sub>2</sub> oraz SnSe<sub>2</sub> prowadzone badania analizowały wpływ natywnych defektów, prawdopodobnie związanych ze stechiometrią w tych kryształach, na strukturę pasmową i obserwowane widmo emisji. **Warte podkreślenia jest stosowanie uzupełniających się wzajemnie technik pomiarowych** oraz dbałość o wysokiej jakości materiał użyty do badań. W zależności od badanego związku i techniki pomiarowej użyte zostały materiały wytworzone różną techniką. Za bardzo istotną uważam również **wykorzystywanie w pracach symulacji opartych o funkcjonal gęstości (DFT)**, pozwalających odnieść otrzymane wyniki eksperymentalne do oczekiwań teoretycznych. Mimo że symulacje te nie były wykonywane przez Doktorantkę osobiście, to włączanie tych wyników do pracy zbiorowej potwierdza umiejętność prowadzenia pracy naukowej. Z mojej perspektywy bardzo istotne jest również zwracanie uwagi przez Doktorantkę na **potencjał aplikacyjny badanych materiałów**. W przypadku badaczy materiałów 2D ten aspekt jest często zupełnie pomijany. W niniejszej pracy zademonstrowano fotodetektor czuły na polaryzację. Bardzo wysoko oceniam wartość naukową większości zreferowanych w dysertacji wyników, które uważam za interesujące. Chciałbym podkreślić, że praca jest wyjątkowo starannie zredagowana. Jej poprawność językową uważam za bardzo dobrą. Nawet drobne uchybienia redakcyjne są bardzo rzadkie.

Przedstawiona praca doktorska jest bez wątpienia wartościowym wkładem w rozwój wiedzy w omawianym obszarze badawczym, a Doktorantka wykazała się dużym zaangażowaniem oraz umiejętnością analizy złożonych problemów. Niemniej jednak, poniżej pozwolę sobie wskazać kilka kwestii, które mogą wymagać dalszej uwagi lub rozwinięcia, mając na celu uczynienie pracy jeszcze bardziej kompletną i spójną:

- 1) Brakuje mi informacji czym podyktowany był wybór tych konkretnie badanych materiałów. Czy poszukiwano dostępnych materiałów, w których raportowano już

- wcześniej dichroizm? Czy może prace teoretyczne sugerowały wyjątkowość tych materiałów? A może były to materiały 2D, które nie zyskały wystarczająco dużo uwagi innych uczonych przez co nie zostały wystarczająco dobrze poznane i opisane?
- 2) W swoich pracach Doktorantka opierała się na materiałach wysokiej jakości, często oferowanych komercyjnie. Można podejrzewać, że w zależności od producenta, dostawcy czy techniki wytwarzania własności materiału będą nieco inne. Doktorantka sama pokazuje wpływ defektów na własności optyczne w rozdziale 6., a jak duża jest zależność efektów opisywanych we wcześniejszych rozdziałach od próbki? Na ile powtarzalne są prowadzone obserwacje w ramach jednej próbki (od miejsca do miejsca)?
  - 3) Naiwnie można by podejrzewać, że jeżeli defekty natywne czy też domieszki odpowiadają za efektami prezentowanymi w rozdziale 6., to sygnał od punktu do punktu próbki (dość niejednorodnej oceniając po Fig S2) powinien silnie się zmieniać.

Zawarte powyżej pytania nie umniejszają roli przedstawionym obserwacjom, a postawiony cel pracy sformułowany jako „zrozumienie podstawowych własności MX i MX<sub>2</sub> oraz zjawisk związanych z oddziaływaniem ze światłem” uważam za osiągnięty. Na podstawie przedstawionej mi do oceny dysertacji uważam, że Doktorantka posiada niezbędne kwalifikacje wymagane od fizyka ze stopniem naukowym doktora.

Na podstawie analizy treści przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej pt. „Investigation of the anisotropic optical and electronic properties of group IV-VI van der Waals crystals” autorstwa Pani Agaty Karoliny Tołłoczko stwierdzam, że **Doktorantka wykazała odpowiedni poziom wiedzy w zakresie problematyki badawczej objętej niniejszą dysertacją**, dowiodła, że posiada umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, wyboru odpowiednich technik pomiarowych i planowania eksperymentów w celu rozwiązania postawionych problemów naukowych.

Uważam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Agaty Karoliny Tołłoczko **spełnia wymagania ustawy z dnia 20 lipca 2018 r.** - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2024.0.1571). Na tej podstawie wnioskuję o dopuszczenie pracy do obrony, a mgr inż. Agaty Karoliny Tołłoczko do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Jednocześnie wnioskuję o **przyznanie wyróżnienia** przedłożonej do oceny rozprawie doktorskiej ze względu na wysoką renomę czasopism, w których opublikowane zostały wyszczególnione w dysertacji artykuły.