

Warszawa 14.12.2016

Prof. dr hab. Roman Stępniewski  
Wydział Fizyki  
Uniwersytet Warszawski  
ul. Pasteura 5  
02-093 Warszawa  
e-mail: Roman.Stepniewski@fuw.edu.pl

### Recenzja rozprawy habilitacyjnej dr Piotra Wojnara

#### Ocena osiągnięć naukowo-badawczych, dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego, oraz współpracy międzynarodowej

Dr Piotr Wojnar przedstawił jako osiągnięcie naukowe będące podstawą do uzyskania stopnia doktora habilitowanego „monotematyczny cykl publikacji w czasopismach o międzynarodowym zasięgu” pod tytułem: ”Optycznie aktywne heterostruktury w nanodrutach tellurkowych”.

Z oświadczeń współautorów wynika, że w przeważającej większości ich współdziałanie miało charakter pomocniczy. Wyjątkami są niektóre badania służące charakteryzacji badanych próbek takich jak pomiary mikroskopii TEM, badania rentgenowskie, składu próbek czy pomiary korelacji, które są deklarowane jako w całości wykonane przez współautorów. Jest to w zgodzie z oświadczeniem habilitanta, który najczęściej podkreśla swój dominujący wkład do koncepcji pracy, wykonania próbek, pomiarów fotoluminescencji, analizy wszystkich danych doświadczalnych i pisania manuskryptu. Pewien wyjątek stanowi praca H6 która zgodnie ze złożonymi oświadczeniami jest przygotowana ze znacznie większym, dobrze określonym udziałem mgr Małgorzaty Szymury i dra Łukasza Kłopotowskiego.

Recenzowane osiągnięcie naukowe stanowi cykl sześciu prac oznaczonych jako H1-H6. Za najważniejszy wynik pracy H1 należy uznać uzyskanie wydajnej luminescencji dla nanodrutów ZnTe przykrytych otoczką ZnMgTe. Istotnym czynnikiem wykorzystanym w tej pracy było użycie podłoża krzemowego, co doprowadziło do istotnego ograniczenia luminescencji w przedziale 1.3 – 2 eV związanej z defektami, przy jednoczesnym wzroście wydajności luminescencji krawędziowej ok. 2.3 eV. Oddzielne zagadnienie stanowi w tej pracy wykorzystanie cienkiej otoczki radialnej z (Zn,Mg)Te, stanowiącej klucz do aktywacji procesów radiacyjnych. W autoreferacie w kontekście pracy H1 dr Wojnar pisze:

„W pierwszej kolejności podjęliśmy prace mające na celu aktywację luminescencji krawędziowej w nanodrutach ZnTe.” I dalej: „Skuteczne okazało się natomiast dodanie względnie cienkiej otoczki radialnej z (Zn,Mg)Te, czyli półprzewodnika z większą przerwą energetyczną...”.

Od strony metodologicznej należy zauważyć staranność z jaką przeprowadzono identyfikację nanodrutów jako źródła badanej luminescencji. Bezpośrednimi dowodami były tu pomiary katodoluminescencji i zależności natężenia luminescencji od kierunku polaryzacji pobudzającego światła.

W pracy H2 przedstawione jest osiągnięcie technologiczne, jakim jest wytworzenie kropek kwantowych CdTe w nanodrutach ZnTe, co zaowocowało obserwacją intensywnej luminescencji o energii fotonów ok. 2.1 eV. W mojej ocenie bardzo ważnymi wynikami tej pracy są:

- potwierdzenie obecności wtrąceń CdTe w otrzymanych nanodrutach
- obserwacja i pełna charakteryzacja widm pochodzących od pojedynczej kropki kwantowej.

Uzyskane wyniki nie zostawiają wątpliwości, że obserwowana emisja jest rezultatem rekombinacji ekscytonowej z kropek kwantowych CdTe wbudowanych w nanodrutach ZnTe.

Uwieńczeniem tej części prac dra Wojnara jest najnowsza praca H3 gdzie dla nanodrutów ZnTe wprowadzono wtrącenie CdTe (jak w pracy H2) oraz otoczkę ZnMgTe (jak w pracy H1). Celem tych zabiegów było uzyskanie, zależnie od warunków wzrostu, dwójakiego rodzaju struktur: jednej zawierającej kropkę CdTe, drugiej, z dodatkowym wtrąceniem o symetrii radialnej. Potwierdzeniem skuteczności wybranej metody są wyniki pomiarów katodoluminescencji i mikroskopii elektronowej. Zaobserwowano dwa kanały rekombinacji promienistej związane z pobudzeniem wytrącenia CdTe o charakterze kropki kwantowej i obiektu, który można by nazwać radialną studnią kwantową. Jest to bardzo interesujący wynik doświadczalny pokazujący duże możliwości stosowanej technologii wzrostu.

W pracy H4 przeanalizowany został wpływ naprężeń wynikających z niedopasowania sieci krystalicznej rdzenia ZnTe i otoczki ZnMgTe nanodrutów na energię obserwowanej rekombinacji promienistej. Wykorzystano dwie serie próbek zmieniając odpowiednio grubość otoczki albo jej skład. Wraz ze wzrostem tych parametrów zaobserwowano, zgodne z oczekiwaniami, zmniejszenie energii emitowanych fotonów, co zinterpretowano jako wynik rosnących naprężeń rozciągających w rdzeniu. Celem ilościowej interpretacji obserwowanych zmian wykonane zostały, w uproszczonym modelu, obliczenia wpływu naprężeń na zmianę przerwy energetycznej w obszarze centralnej części nanodrutów. Uzyskując zgodność obliczeń z wynikami eksperymentalnym wyznaczony został zestaw parametrów dobrze opisujących obserwowane zmiany.

W mojej ocenie, bardzo ważną pracą w dorobku dra Wojnara jest praca H5. Patrząc na daty publikacji, była to chronologicznie pierwsza praca, w której dla nanodrutów ZnTe (tutaj z domieszką manganu) zaobserwowano wydajną luminescencję w obszarze przykrawędziowym dla układu nanodrutów ZnTe. Był to znaczący postęp technologiczny w obszarze badań nanostruktur półprzewodnikowych.

Ta obserwacja, w przypadku nanodrutów domieszkowanych manganem pozwoliła na zbadanie efektów związanych z oddziaływaniem wymiany pomiędzy elektronami pasmowymi a jonami manganu. Posługując się zmodyfikowaną funkcją Brillouinea, uzyskano zadowalający opis zmiany energii emitowanych fotonów ze wzrostem pola magnetycznego. Zaobserwowano i jakościowo wyjaśniono towarzyszące im zmiany stopnia polaryzacji kołowej, a także widoczne dla emisji z pojedynczego nanodrutu zawężenie szerokości spektralnej linii emisyjnej.

Pracę H6 można uznać za kontynuację poprzednich badań mającą na celu weryfikację efektów związanych z wpływem naprężeń i oddziaływania wymiany na anizotropię obserwowanej luminescencji w nanodrutach z półmagnetycznym rdzeniem i w półmagnetycznych wtrąceniach do nanodrutów.

Zaobserwowano silne sprzężenie tych efektów. Stwierdzono, że ze względu na fakt wywołanego naprężeniem rozszczepienia stanów dziurowych, wpływ pola magnetycznego na energie tych stanów silnie zależy od jego kierunku. Obserwowane zmiany dały się ilościowo opisać w modelu uwzględniającym wpływ tych czynników na strukturę pasmową badanych obiektów.

Podsumowując, cykl prac H1-H6 stanowiący rozprawę habilitacyjną dra Piotra Wojnara dokumentuje ważne osiągnięcie naukowe. Za najważniejszy jego element uważam zastosowanie otoczki CdMgTe i podłoża krzemowego co, zapewne dzięki pasywacji defektów powierzchniowych i eliminacji defektów punktowych generowanych przez obecność galu, umożliwiło obserwację wydajnej luminescencji krawędziowej z nanodrutów ZnTe. Dzięki temu osiągnięciu technologicznemu możliwe było podjęcie badań interesujących właściwości takich nanostruktur i wpływu na nie takich czynników jak naprężenia i oddziaływanie wymiany z wchodzącymi w ich skład jonami magnetycznymi. W związku z pracą H6 dr Wojnar otrzymał nagrodę Dyrektora Instytutu PAN za najlepszą publikację w roku 2015.

Chciałbym podkreślić wagę technologicznej części prowadzonych przez Niego badań. Uzyskanie tak wyrafinowanych nanostruktur o zadanych właściwościach wymagało głębokiego zrozumienia procesów fizycznych zachodzących w trakcie wzrostu z wykorzystaniem technologii MBE. Zapanowanie nad takim procesem, na wszystkich jego etapach, wymaga ustalenie niezwykle dużej liczby parametrów, co bez takiej głębokiej wiedzy jest, moim zdaniem, niewykonalne. Szczegóły tej wiedzy, często określane żargonowo jako „tajemnice kuchni” są najczęściej niepublikowane. Z jednej strony dotyczą wielu detalicznych rozwiązań opisanych parametrami mających ilościowe znaczenie tylko dla konkretnego urządzenia. Z drugiej, stanowią podstawę otrzymywania unikatowych struktur, cennych przez fakt niedostępności dla konkurencyjnych grup badawczych. Świadectwem posiadania tej wiedzy są właśnie te unikatowe struktury.

Pewien niedosyt w pracach H1-H6 budzi brak próby szczegółowej identyfikacji charakteru rekombinacji promienistej w badanych nanodrutach określanej jako „near band edge“. Nie wiadomo czy autorzy przyporządkowują tę luminescencję swobodnym, związanym ekscytonom czy innym procesom. W pracach jest tylko odniesienie do zaniebdywalnego efektu rozmiarowego i naprężeń występujących w badanych nanodrutach.

Wyniki badań związanych z pracami II1-II6 były przedstawiane przez dra Wojnara pięciokrotnie jako referaty zaproszone na konferencjach krajowych i zagranicznych, między innymi na „16th International Conference on II-VI Compounds and Related Materials, Nagahama, Japan, 2013”. Prace wchodzące w skład tego cyklu zostały opublikowane w latach 2011- 2016 w renomowanych czasopismach takich jak NanoLetters (2 prace), Appl. Phys. Lett. (2 prace), oraz po jednej w Nanoscale i Nanotechnology. Sumaryczny impact factor tych prac według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania wynosi 45.4, co należy uznać za wynik bardzo dobry.

Prace te łącznie były cytowane 39 razy, z czego liczba autocytoowań wynosi 21. Duża liczba autocytoowań nie jest tu czynnikiem obciążającym. Większość z nich są to cytowania z prac, w których dr Wojnar jest współautorem jako osoba otrzymująca ciekawe nanostruktury, będące przedmiotem szczegółowych badań innych uczonych. Niezbyt wysoka liczba pozostałych cytowań może paradoksalnie świadczyć o tym, że w innych laboratoriach są trudności z otrzymaniem analogicznych struktur.

Oceniając cały dorobek naukowo badawczy można stwierdzić, że dr Piotr Wojnar zgodnie z danymi z bazy Web of Science jest współautorem łącznie 83 prac o łącznej liczbie cytowań powyżej 800 (543 bez autocytoowań) dla których indeks Hirscha wynosi 16. Współautorami jego prac jest wielu dobrych naukowców z różnych grup badawczych. W komentarzach załączonych w spisie publikacji można znaleźć informację, że najczęściej jego udział w powstałych pracach polegał na wytworzeniu próbek, dyskusji wyników i korektach manuskryptu. Świadczy to o jego umiejętnościach technologicznych, którym towarzyszy zrozumienie zjawisk fizycznych badanych przez współpracujące z Nim zespoły. Na podkreślenie zasługuje bardzo dobra współpraca z grupą badawczą z Wydziału Fizyki UW. W jej wyniku powstało 58 dobrze cytowanych prac.

Do największych osiągnięć Piotra Wojnara należy otrzymanie nanostruktur zawierających samoorganizujące się kropki kwantowe z pojedynczymi jonami manganu. Struktury te pozwoliły na badania oddziaływań w pojedynczej kropce dla układu: elektron, dziura, pojedynczy jon manganu. Umożliwiło to manipulacje stanami kwantowymi tego układu czego wynikiem było zaobserwowanie szeregu ważnych efektów fizycznych udokumentowanych w kilku wartościowych publikacjach.

Dorobek dydaktyczny dra Piotra Wojnara nie jest zbyt bogaty, co jest zrozumiałe ze względu na jego miejsce zatrudnienia. Dotyczył on głównie prowadzenia zajęć laboratoryjnych dotyczących wytwarzania nanostruktur półprzewodnikowych, w której to dziedzinie jest niewątpliwie wybitnym specjalistą. Zajęcia te odbywały się we współpracy z Politechniką Warszawską i Uniwersytetem Warszawskim. Opiekował się także stażem trójki studentów. Aktualnie opiekuje się jedną pracą licencjacką i, jak podaje w autoreferacie, jest opiekunem naukowym doktoranta. To ostatnie sformułowanie nie jest dla mnie jasne, gdyż zgodnie z regulacjami prawnymi, dr Wojnar nie może takiej funkcji pełnić. Na podkreślenie zasługuje fakt licznego udziału w przedsięwzięciach służących popularyzacji nauki, takich jak wykłady popularyzacyjne IFPAN czy organizacja Dnia Nanotechnologii IFPAN

W autoreferacie Piotra Wojnara brak jest wydzielonej pozycji omawiającej jego współpracę międzynarodową, która, zgodnie z Art. 16 ustawy także podlega ocenie recenzenta. Z umieszczonych w nim informacji wynika że dr Wojnar odbył staż postdoktorski w Instytucie Néela, CNRS w Grenoble. Brał także udział w europejskim projekcie SANDE – „Self –Assembled semiconductor Nanostructures for new Devices in photonics and Electronics” – Network of Excellence, koordynowanym przez Prof. Dr. Mariusa Grundmanna, Universität Leipzig. Pewnym świadectwem jego aktywnego uczestnictwa we współpracy międzynarodowej jest fakt że ponad 20 jego prac opublikowana jest ze współudziałem autorów zagranicznych. W roku 2012 dr Wojnar był jednym z organizatorów (sekretarzem) „41st "Jaszowiec" International School and Conference on the Physics of Semiconductors”, a następnie gościnnym edytorem konferencyjnego wydania Acta Physica Polonica. Był też recenzentem dla czasopism naukowych, takich jak Journal of Alloy and Compounds, Thin Solid Films, Nanoresearch, Journal of Applied Physics, Physica E i Acta Physica Polonica.

Podsumowując, zaprezentowana przez dra Piotra Wojnara rozprawa habilitacyjna w pełni spełnia wymagania ustawowe. Pozostałe Jego osiągnięcia naukowo badawcze, świadczące o jego samodzielności naukowej oceniam bardzo wysoko. Dorobek dydaktyczny dra Wojnara nie jest imponujący, ale należy docenić jego dużą aktywność na polu popularyzacji nauki. Całość w pełni uzasadnia Jego wniosek o nadanie mu stopnia doktora habilitowanego i wnoszę o dopuszczenie dr Piotra Wojnara do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.

