

**Ocena rozprawy habilitacyjnej oraz dorobku naukowego doktora Piotra  
Wojnara w związku z postępowaniem o nadanie Mu stopnia doktora  
habilitowanego nauk fizycznych**

*Formalny opis pracy habilitacyjnej.*

Jako swoje osiągnięcie naukowe, podlegające ocenie w związku z Ustawą o stopniach i tytułach naukowych dr Wojnar wskazał, zgodnie z Art.16.2 Ustawy, jednotematyczny cykl 6 prac [H1-H6], opublikowanych w latach 2011-2016 w czasopismach z bazy JCR o wysokich wskaźnikach wpływu (*impact factor*) i opatrzył go tytułem: "Optycznie aktywne heterostruktury w nanodrutach tellurkowych". Po dwie prace opublikowano w czasopismach *Applied Physics Letter* i *NanoLetters* i po jednej w *Nanotechnology* oraz *Nanoscale*.

Zawartość ocenianego cyklu prac jest jednorodna, zarówno z punktu widzenia głównego problemu badań jak i pod względem używanej w niej metodologii. Prace dotyczą własności nanodrutów (ang. *nanowire*, dalej: NW) o strukturze krystalicznej, głównie o rdzeniu ZnTe, także ze wstawkami CdTe, z otoczkami ZnMgTe. Ponadto w części prac rdzeń domieszkowano jonami  $Mn^{2+}$ . W publikacjach opisano syntezę omówionych układów, wykonywaną przy użyciu metody epitaksji z wiązek molekularnych w ramach mechanizmu para-ciecz-ciało stałe, głównie na podłożu krzemowym, z udziałem złota jak katalizatora wzrostu kryształów. Charakteryzowanie własności badanych układów zostało dokonane przy użyciu szeregu metod, w tym: skaningowej mikroskopii elektronowej, spektroskopii rentgenowskiej z dyspersją energii, fotoluminescencji, katodoluminescencji (także w obecności pola magnetycznego) i pomiaru korelacji fotonów. Ponieważ w tym krótkim opisie można zawrzeć dość szczegółowe omówienie przedmiotu pracy, uważam za jasne, że przedstawiona rozprawa spełnia założenia monotematyczności o jakiej mówi ustawa o stopniach i tytule naukowym a temat rozprawy precyzyjnie odpowiada jej zawartości.

Wszystkie prace cyklu są wspólnym dziełem wielu autorów i do oceny wkładu dr. Wojnara trzeba dokonać analizy 23 oświadczeń współautorskich oraz oświadczeń samego Habilitanta. Zgodnie z oświadczeniami dr. Wojnara w pracach [H1-H6] jego wkład polegał min. na stworzeniu koncepcji pracy, planowaniu i kierowaniu badaniami, wytwarzaniu próbek (najczęściej we współpracy z dr Elżbietą Janik), ich

charakteryzowaniu przy pomocy skaningowego mikroskopu elektronowego i pomiarach fotoluminescencji oraz katodoluminescencji. Habilitant dokonywał oczywiście też analizy danych doświadczalnych i we współpracy z wymienionymi współautorami redagował prace. Określając swój wkład w procentach dr Wojnar podał wartości: 70%, 70%, 50%, 50%, 70% i 45%. Pozostali autorzy cyklu nie określili swojego wkładu w sposób liczbowy (poza dr. hab. Michałem Zielińskim który podał wartość 20% dla swojego udziału w pracy [H4]), i najczęściej opisali go jako wykonanie wyszczególnionego eksperymentu, często we współpracy z Habilitantem. Zakładam, że zaakceptowali bez zastrzeżeń oświadczenia dr. Wojnara. Uważam, że na tej podstawie można określić dr. Wojnara jako głównego Autora prac cyklu, którego wkład znacznie przekracza udział każdego z pozostałych autorów i wobec tego uznać, że cykl spełnia wymagania stawiane w Ustawie pracom habilitacyjnym.

#### *Kontekst badawczy tematyki pracy.*

Cel podjęcia badań opisanych w cyklu prac można przedstawić odnosząc się do perspektyw zastosowań nanostruktur półprzewodnikowych złożonych z pierwiastków z grup II-VI. Układy te można wykorzystywać w technologii elektronicznej w charakterze diod laserowych (ZnSe, ZnS), diod elektroluminescencyjnych (LED), detektorów promieni  $\gamma$  i promieni X. Obiecujące wydają się zastosowania tych układów do wytwarzania ogniw słonecznych, dotyczy to min. CdTe, który dzięki korzystnej wartości bezpośredniej szczeliny energetycznej (1.5 eV) może znaleźć zastosowanie w wydajnych ogniwach słonecznych, podobnie ma się sprawa z ZnTe. Do tej pory jednak przemysłowe zastosowanie nanostruktur II-VI jest na wczesnym etapie. Głównymi problemami do rozwiązania dla szybszego postępu w tej dziedzinie są: uzyskanie lepszej kontroli nad ich metodami wzrostu nanostruktur i bardziej szczegółowego ich zrozumienia, powtarzalność syntezy i uzyskiwanie kryształów o większej jednorodności z mniejszą liczbą niepożądanych defektów.<sup>1</sup> Cykl prac składających się na omawianą habilitację w istotnym stopniu stanowi odpowiedź na przedstawione wyżej wyzwania.

#### *Dyskusja wyników uzyskanych w pracy habilitacyjnej.*

Wspólnym ważnym osiągnięciem prac cyklu było uzyskanie wydłużonych nanostruktur (nanodrutów), na bazie rdzenia ZnTe z ewentualnymi wstawkami CdTe i domieszkowaniem  $Mn^{2+}$ , dla których można było zaobserwować zjawisko fotoluminescencji w zakresie zbliżonym do energii krawędzi pasma wzbronionego (2.26 eV). Udało się to dzięki stworzeniu otoczki ZnMgTe, której rola polegała na pasywacji stanów powierzchniowych. Stany powierzchniowe w nanodrutach bez takiej otoczki przyczyniały się do wzrostu nieradiacyjnej rekombinacji nośników, uniemożliwiając

<sup>1</sup>Jie et al., Nano Today 5, 313 (2010).

przez to obserwację fotoluminescencji. O ile idea pasywacji stanów powierzchniowych jest od dawna znana i stosowana w materiałach półprzewodnikowych<sup>2</sup> dla zwiększenia ich aktywności optycznej, to w badanych od stosunkowo niedawna nanodrutach ma szczególne znaczenie ze względu na bardzo duży udział stanów powierzchniowych w ogólnej liczbie stanów elektronowych. W pracach starano się upewnić jakie z wytworzonych nanostruktur są źródłem świecenia. W tym celu izolowano pojedyncze nanodruły z otrzymanego w syntezie zespołu i poddawano je badaniu metodą mikrofotoluminescencji. Podobnie pokazywano też świecenie wstawek CdTe w drutach o rdzeniu ZnTe. Wśród dalszych ważnych osiągnięć prac cyklu widzę:

- Określenie optymalnej grubości otoczki ZnMgTe pozwalającej uzyskać najbardziej wydajną fotoluminescencję [H1].
- Zbadanie wpływu podłoża na wydajność fotoluminescencji: pokazano, że wzrost z podłoża Si prowadzi do lepszej emisji niż użycie podłoża GaAs i wyjaśniono to prawdopodobną dyfuzją atomów Ga do obszarów rdzenia, co sprzyjało powstawaniu głębokich poziomów defektowych, gdzie mogło dochodzić do rekombinacji nieradiacyjnej [H1].
- Określenie procedury wytwarzania wstawek CdTe o charakterze osiowym lub radialnym, co uzyskano min. przez sterowanie temperaturą i odpowiednimi komórkami efuzyjnymi podczas syntezy [H2,H3].
- Potwierdzenie przez badanie korelacji emitowanych fotonów, że otrzymane wstawki CdTe miały charakter zerowymiarowy (jak kropki kwantowe) [H2].
- Zbadanie zależności energii linii PL pochodzących od wstawek CdTe od naprężeń spowodowanych heterogeniczną budową nanostruktur [H3,H4]. Przeprowadzone zostały obliczenia (M.Zieliński) w ramach atomowej teorii pola sił walencyjnych odzwierciedlające przebieg doświadczalny energii emisji w zależności od koncentracji Mg i grubości otoczki.
- Uzyskanie nanodrutów z rdzeniem ZnTe i wstawkami CdTe (lub bez nich), do których wprowadzono jony  $Mn^{2+}$ . W pracach [H5,H6] widmo PL zbadano w obecności pola magnetycznego, obserwując tzw. gigantyczne rozszczepienie linii o wartości o dwa rzędy większe niż w NW bez domieszkowania Mn. Zjawisko to tłumaczono sprzężeniem wymiennym sp-d pomiędzy stanami ciężkich

<sup>2</sup>np.: Wanlass, US patent 4,935,384 z 1990 r.; Bhargava i in., Phys. Rev. Lett. **72**, 416 (1994); Chen i in., J. Appl. Phys. **82**, 3111 (1997).

dziur pasm ZnTe i CdTe oraz poziomami Mn z otoczki  $d$ . W pracy [H6] zbadano też zależność tego rozszczepienia od ustawienia pola względem osi NW, pokazując, że jest ono największe dla ustawienia pola równoległego wzdłuż osi NW.

*Ocena pracy habilitacyjnej: podsumowanie.*

Jak wynika z powyższego podsumowania, główne akcenty w cyklu prac położono na rozmaite aspekty technologiczne, tj. głównie otrzymywanie nanostruktur o oczekiwanych własnościach. Tak to np. widzą Autorzy pracy [H5] w ostatnim zdaniu jej podsumowania. Nieco mniej uwagi poświęca się tam szczegółowej analizie procesów fizycznych. Na przykład, potwierdzenie roli otoczki ZnMgTe w pasywacji stanów powierzchniowych i zbadanie mechanizmu tego zjawiska, należałoby zbadać na poziomie atomowym, co przypuszczalnie można by wykonywać znanymi metodami obliczeniowymi struktury elektronowej.<sup>3</sup> Podobnie nie jest dla mnie jasne, jak można tłumaczyć identyczną wartość anizotropii rozszczepienia spinowego ( $=4.4$  dla  $B=2T$ , przy różnych wartościach tych rozszczepień) w domieszkowanych Mn nanodrutach ZnTe i dla wstawek CdTe, opisanych w pracy [H6]. Nie wynika to moim zdaniem z przedstawionych w tej pracy prostych rozważań modelowych. Aspekt nanotechnologiczny dokonań Habilitanta jest jednak nowy i bardzo ważny, a rzetelność zawartych w cyklu prac badań doświadczalnych nie budzi moich wątpliwości (na ile jestem w stanie to ocenić jako specjalista w zakresie teorii ciała stałego, znający działalność doświadczalną jedynie w sposób pośredni). Ta ocena jest zgodna z samym faktem publikacji osiągnięć habilitacji w najlepszych czasopismach zajmujących się nanotechnologią, o bardzo wysokich wskaźnikach wpływu, od 3.3 do 13.6. Wpływ prac cyklu na literaturę światową nie jest na razie szczególnie wysoki; suma wszystkich cytowań niezależnych do momentu napisania tej recenzji wynosi 16, według baz Scopus i WebOfScience. Są to jednak prace dość niedawne i myślę, że w tej sytuacji można ten wskaźnik uznać za dobry.

*Ocena dorobku naukowego nie zaliczonego do pracy habilitacyjnej.*

Nie zawarty w habilitacji dorobek dr. Wojnara jest ilościowo bardzo pokaźny. Habilitant jest współautorem 51 (poza [H1-H6]) publikacji z listy filadelfijskiej, z czego 40 po doktoracie. Są to prace bardzo dobrze cytowane, liczba cytowań niezależnych (według danych z autoreferatu) wszystkich prac osiągnęła 506, przy czym ich indeks Hirscha osiągnął wartość 15. Podane wartości są dużo większe niż przeciętne dla kandydata na stopień doktora habilitowanego i oceniam je zdecydowanie pozytywnie, choć pewnie precyzyjniej należałoby uwzględnić przy tym fakt, że wszystkie jego prace są wieloautorskie (mające zwykle po 7 autorów). W sumie w 2 z jego

<sup>3</sup>zob. np.: Schrier i in., NanoLett. **7**, 2377 (2007); Peköz, Computat. Mat. Sci. **123**, 158 (2016).

nie zawartych w rozprawie 40 prac z listy WebOfScience i napisanych po doktoracie Habilitant określa swój wkład na co najmniej 70% i występuje w nich jako główny autor. Są to prace [1,4] z listy publikacji, które ukazały się w czasopismach: J. Cryst. Growth i Phys. Rev. B, a dotyczą one kropek kwantowych CdTe. W dalszych 8 publikacjach opublikowanych po doktoracie (poza [H1-H6]) określa swój wkład na 20%-15%, a w pozostałych na 10% lub mniej. Jego udział we wszystkich (prócz jednej) pracach polegał na wytworzeniu badanych próbek, a w 8 pracach dokonywał rozmaitych pomiarów optycznych (i, jak podaje, brał udział w dyskusjach merytorycznych, co jednak uważam za oczywisty warunek współautorstwa). Działalność Habilitanta jest doceniana w środowisku naukowym, o czym świadczy wygłoszenie przez niego 5 referatów na zaproszenie na konferencjach międzynarodowych i krajowych. Poza tym brał udział w 10 innych konferencjach, gdzie również przedstawił swoje wyniki w referatach.

Pewnym mankamentem dorobku dr. Wojnara jest brak choćby jednej jego pracy całkowicie samodzielnej. Być może jednak udział dr. Wojnara jest uważany za na tyle nieodzowny dla realizacji bieżących planów badawczych jego zespołu, że do napisania całkowicie samodzielnej pracy nie znajduje specjalnej zachęty w swoim środowisku.

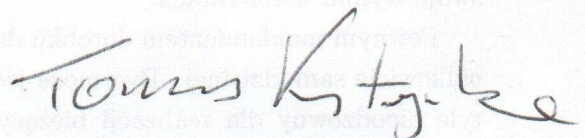
*Podsumowanie dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego Habilitanta.* Jestem przekonany, że dorobek naukowy dr. Wojnara uzyskany po doktoracie jest wystarczający, jak na zwyczajowe wymagania stawiane kandydatowi na stopień doktora habilitowanego. Osiągnął on szczególnie dużą biegłość w metodach wytwarzania nanostruktur, co jest oczywiście warunkiem koniecznym powstania wartościowej publikacji i pracy w dziedzinie zastosowań. Poza tym kandydat posiada poświadczone licznymi pracami umiejętności w wykonywaniu pomiarów optycznych i mikroskopowych. Uważam, że jest dobrze przygotowany do pracy jako samodzielny pracownik naukowy, na co wskazuje min. fakt, że potrafi sprawować funkcje głównego autora i kierownika badań w liczebnie dużych zespołach badawczych. Ponadto świadczy o tym też informacja, że dr. Wojnar pełnił już funkcje kierownika grantu badawczego w dwóch grantach, które uzyskały pozytywne oceny.

Oprócz dokonań w zakresie badań naukowych dr. Wojnar opisuje w autoreferacie swoją działalność organizacyjną (organizacja konferencji naukowej) oraz recenzentką (wykonał około 20 recenzji do czasopism naukowych). Jego działalność dydaktyczna przedstawia się raczej skromnie i ogranicza się do zajęć laboratoryjnych ze studentami Politechniki Warszawskiej i Uniwersytetu Warszawskiego w ciągu 1 roku, oraz sprawowania opieki nad stażystami IF PAN. Jest to jednak dość typowe dla pracownika instytucji dla której dydaktyka nie stanowi głównego nurtu działalności.

Można za to docenić działalność popularyzatorską Habilitanta z lat 2011-2016, w tym lekcje pokazowe dla uczniów liceów i dla dzieci, na których prezentował metody z zakresu nanotechnologii.

*Podsumowanie i wniosek końcowy.*

Podsumowując omówione osiągnięcia Habilitanta uważam, że wartość rozprawy habilitacyjnej i całkowitego dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego dr. Piotra Wojnara spełniają warunki określone przez Ustawę o tytule i stopniach naukowych i wnoszę o dopuszczenie Kandydata do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.



prof. dr hab. Tomasz Kostyrko