

Dr hab. Henryk Turski, prof. IWC PAN  
Laboratorium Epitaksji z Wiązek Molekularnych (NL-14)  
Instytut Wysokich Ciśnień Polskiej Akademii Nauk  
Warszawa

Warszawa, 04.09.2022.

## Recenzja

### osiągnięcia naukowego dr Mieczysława Antoniego Pietrzyka w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego

Niniejsza recenzja przygotowana została w oparciu o „Regulamin przeprowadzania postępowania habilitacyjnego przez Radę Naukową Instytutu Fizyki PAN (przyjęty dn. 05.11.2020).” w związku z pismem RN/421/7/22/2022 sporządzonym dnia 07.07.2022. przez Przewodniczącego Rady Naukowej IF PAN Prof. dr hab. Jacka Kossuta.

Pan dr Mieczysław A. Pietrzyk przez cały okres swojej kariery zawodowej związany był z Instytutem Fizyki Polskiej Akademii Nauk, gdzie od 01.04.2018 do dnia obecnego zajmuje stanowisko adiunkta. W toku swojej kariery naukowej Habilitant w 2004 uzyskał tytuł zawodowy magistra inżyniera na Politechnice Śląskiej w Gliwicach za pracę pod tytułem: „*Elektryczne i akustyczne badanie dwuwarstwowych struktur sensorowych*” pod kierunkiem prof. dr hab. Mariana Urbańczyka. Następnie podjął studia doktoranckie w Instytucie Fizyki Polskiej Akademii Nauk, które zakończyły się obroną rozprawy doktorskiej pod tytułem: „*Wkład otwartych powłok 3d i 4f do struktury elektronowej wybranych półprzewodników IV-VI z Mn, Gd i Eu*” pod kierunkiem Prof. dr hab. Bogdana Kowalskiego.

Osiągnięcie przedstawione jako podstawa habilitacji pod tytułem: „*Studnie kwantowe ZnO w nanosłupkach i strukturach planarnych Zn(Mg,Cd)O otrzymane na wybranych podłożach*” zawiera zestaw dziesięciu prac, wszystkich opublikowanych po uzyskaniu przez dr Pietrzyka stopnia naukowego. Dodatkowo, wobec wymagań ustawy stanowiących, że „Stopień doktora habilitowanego nadaje się osobie, która: ... 3) wykazuje się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.”, w autoreferacie załączono również opis dorobku naukowego nie związanego z tematem osiągnięcia, informacje o prezentacjach konferencyjnych, wygłoszonych seminariach, udziale w komitetach organizacyjnych oraz wizytach badawczych przed i po uzyskaniu stopnia doktor.

W pierwszej części skoncentruję się na analizie cyklu prac zgłoszonych przez Habilitanta jako osiągnięcie, a następnie omówię pozostały dorobek naukowy Kandydata. Opis części właściwej cyklu poprzedzony jest wprowadzeniem, w którym zarysowane jest tło badań nad klasą materiałów opartych na ZnO wraz z wyszczególnieniem klas urządzeń, w których takie materiały mogą znaleźć zastosowanie. Jako główne cechy stanowiące o wartości badanych tlenków Habilitant słusznie wskazuje: wysoką ruchliwość elektronów, wysoką przewodność cieplną, wysoką energię wiązania ekscytonu, wysoką transmisję optyczną w obszarze widzialnym oraz szeroką przerwę energetyczną, która może być zmieniona przez

wprowadzenie atomów Mg bądź Cd tworząc związek potrójny. Następnie mówiono również znaczenie struktur niskowymiarowych oraz istotność wpływu orientacji krystalicznej podłoża na strukturę wzrastanego materiału. Poruszona jest również tematyka polaryzacji wbudowanej i jej wpływu na studnie kwantowe.

Słowem wstępu, warto zauważyć, że materiał zebrany przez Habilitanta w ramach cyklu publikacji jest bardzo spójny tematycznie dzięki skoncentrowaniu się na kryształach i strukturach niskowymiarowych wytwarzanych na bazie ZnO. Dodatkowo, prace badające wpływ polaryzacji wbudowanej na rekombinację nośników w heterostrukturach mają charakter wykraczający poza tę klasę materiałów. Warto tutaj również nadmienić, że w ośmiu spośród dziesięciu zgłoszonych publikacji (prace [H1-8]) Habilitant jest pierwszym autorem, a w dwóch pozostałych drugim (dodatkowo w przypadku pracy [H10] Jego wkład w powstanie pracy oznaczony jest jako równy z pierwszym autorem), co, w połączeniu z deklaracjami współautorów, potwierdza wiodący wkład Habilitanta w powstanie wszystkich zebranych prac. Wybrany tytuł cyklu jest adekwatny i informatywny co do treści.

Niestety we wprowadzeniu Habilitant nie ustrzegł się pewnych błędów, które należy zapewne tłumaczyć pewnym pośpiechem czy roztargnieniem towarzyszącym pisaniu autoreferatu. Dla ścisłości przytoczę tutaj trzy sformułowania, które zwróciły moją uwagę: 1) „*modyfikowałem przerwę energetyczną związków trójskładnikowych poprzez zmianę koncentracji domieszek*”, 2) „*Wbudowane pole elektryczne, może być ekranowane przez dużą gęstość swobodnych nośników. ... Ekranowanie to prowadzi do minimalizacji efektu Starka i przesunięcia widma w stronę dłuższych fal.*” oraz dalej 3) „*Na przykładzie studni InGaN/GaN stwierdzono, iż mechanizm oparty na indukowanym piezoelektrycznie efekcie Starka dominuje w studniach grubszych niż ok. 3 nm o niskiej zawartości In, mniejszej od ok 15-20% [14].*”. Co do punktu pierwszego, domyślam się, że Habilitantowi chodziło o zmianę składu zawartości Mg bądź Cd w Zn(Mg,Cd)O, a nie o domieszkowanie. W drugim przypadku – ekranowanie prowadzi oczywiście do przesunięcia w stronę krótszych fal, a nie dłuższych. Co do trzeciego sformułowania, trudno zrozumieć jest jego sens. Nie sposób doszukać się nad czym dominować miałby mechanizm oparty o pole piezoelektryczne. Zagadnienie tutaj wspomniane nie jest ściśle związane z głównym tematem cyklu, toteż najlepiej byłoby to zdanie zwyczajnie pominąć.

Następnie Habilitant przechodzi do opisu prac ujętych w cyklu publikacji. Prace [H1] oraz [H2] skupiają się na opisie procesów wzrostu tlenków na podłożu krzemowym o orientacji (111). Niski koszt takich podłoży istotnie uatrakcyjnia ich zastosowanie, jednak duże niedopasowanie sieciowe oraz tendencja do utleniania utrudnia ich praktyczne wykorzystanie. Habilitant stwierdza, że wprowadzając warstwę buforową oraz zmieniając parametry wzrostu tej warstwy jest w stanie zmienić średnicę otrzymywanych nanokolumn. W przytoczonych eksperymentach zmieniana jest zarówno temperatura wzrostu bufora jak i nanodrutów, co przy braku podania powodów takiej zmiany nieco osłabia tezę o dominującym wpływie parametrów warstwy buforowej. Istotną konsekwencją zastosowania warstwy buforowej jest na pewno podkreślone przez Autorów zapobieganie rozwarstwieniu pomiędzy podłożem i warstwą nanodrutów.

Ciekawa obserwacja została przedstawiona w pracy [H3], gdzie autorzy otrzymali warstwy planarne oraz nanodrutu ZnMgO na tym samym podłożu tj. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> o orientacji „r”. Parametrem definiującym charakter wzrostu na tym podłożu była warstwa buforowa. W obecności niskotemperaturowej warstwy buforowej wzrost zachodził jedynie w kierunku „a” ZnO, natomiast przy wzroście prowadzonym

na 10 nm warstwie ZnO otrzymanej w warunkach bogatych w cynk, nanokolumny ZnMgO wzrastały w kierunku „c”, pochylone pod kątem 62st do płaszczyzny podłoża.

W ramach prac [H5] oraz [H6] badano możliwość otrzymania struktur niskowymiarowych na podłożach odpowiednio: „c” Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oraz stronie Si 4H-SiC. W przypadku szafiru otrzymano nanodrutę ZnMgO dzięki zastosowaniu bufora z supersieci ZnO/MgO. Natomiast wzrost na podłożu 4H-SiC poskutkował powstaniem „nanopasków”. Autorzy dokonują zestawienia charakterystycznych nanopasków z periodycznymi undulacjami powierzchni podłoża przedstawione na Rys. 3. i, bazując na gęstości i rozmiarach jednych i drugich, łączą powstawanie nanopasków ze wspomnianymi undulacjami. Analizując gęstość undulacji z Rys 3b można podejrzewać, że są to pojedyncze stopnie atomowe prawie idealnie płaskiego podłoża SiC (dezorientacja 0.08 st).

Praca [H7] dyskutuje wzrost heterostruktur zawierających kadm. Wzrost materiałów tego typu jest utrudniony przez konieczność stosowania niskich temperatur wzrostu dyktowanych desorpcją kadmu z powierzchni. Mimo tej bariery, dzięki zastosowaniu warstwy buforowej z ZnO, Autorom udało się otrzymać nanodrutę o intencjonalnym składzie chemicznym oraz zaprezentować ich charakterystykę strukturalną.

W drugiej części autoreferatu Habilitant zajmuje się omówieniem charakterystyki spektralnej i strukturalnej próbek, których wytworzenie zostało omówione już wcześniej. Na zwrócenie uwagi zasługuje tutaj fakt wykorzystywania w niektórych pracach heterostruktur zawierających jednocześnie studnie kwantowe o różnej szerokości (np. prace [H2], [H5], [H8]) podczas gdy w pracy [H4] porównywane były wyniki otrzymane dla pojedynczych studni kwantowych. Analiza pozycji pików związanych z rekombinacją nośników w tym pierwszym przypadku jest znacznie trudniejsza i mniej jednoznaczna niż w przypadku studni pojedynczych. Jednak ograniczenie liczby użytych podłoży oczywiście obniża koszty powstawania tego typu struktur. Warto docenić tutaj zastosowanie programu EPITAXY do szacowania energii przejść międzypasmowych. Pewien niedosyt pozostawia natomiast arbitralne szacowanie pozycji pików w dość złożonych widmach jak np. te przedstawione na Rys 14, zamiast stosowania dopasowywanych krzywych.

Bazując na wielostudniach o różnej szerokości, zgodnie z deklaracją Autorów, Habilitant zaproponował zbadanie planarnych heterostruktur sprzężonych asymetrycznych studni kwantowych ZnO/ZnMgO opisanych w pracach [H9] i [H10] w odpowiednio niepolarnym i polarnym przypadku. W pracach zastosowano różne podłoża: *m*-ZnO oraz *a*-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> porównywano różne między studniami (praca [H9]) oraz różne odległości i grubości studni kwantowych (w pracy [H10]). Praca [H9] skupia się na przedstawieniu i interpretacji charakterystyki spektralnej struktur (katodoluminescencja i fotoluminescencja) w funkcji temperatury, podczas gdy praca [H10] zbudowana jest dookoła zrozumienia obserwowanego kształtu widma fotoluminescencji przez zastosowanie modelowania stanów kwantowych w polarnych studniach ZnO/ZnMgO. Do ciekawych wniosków tej pracy na pewno zaliczyć należy zaobserwowanie przejścia pomiędzy stanem dziurowym w jednej a stanem elektronowym w drugiej studni kwantowej.

Część poświęcona cyklowi publikacji kończy się podsumowaniem, w którym Habilitant wymienia najważniejsze osiągnięcia swoich badań. Forma przedstawienia tych osiągnięć jest dość mało konkretna. Powtarzana jest konstrukcja „Do najważniejszych osiągnięć moich badań zaliczam: ... Badania ...”. Nie

umniejsza to wagi niewątpliwie ciekawych i niejednokrotnie pionierskich osiągnięć Habilitanta we wzroście struktur tlenkowych oraz badaniach tego materiału.

Ważnym punktem przedstawionego Autoreferatu jest prezentacja dorobku naukowego niezwiązanego z tematem habilitacji zarówno przed (5.1) jak i po (5.2) uzyskaniu stopnia doktora. Prace te, szczególnie w połączeniu z informacjami przedstawionymi w części 5.6 zawierającymi spis wizyt badawczych Habilitanta, wypełniają wymóg ustawowy wykazania się istotną aktywnością naukową w więcej niż jednej uczelni bądź instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej. Za taką aktywność, w mojej ocenie, należy uznać chociażby współpracę Habilitanta z grupą prof. Roberta L. Johnsona z Hamburga. Trzeba tutaj jednak nadmienić, że większa część współpracy zagranicznej Habilitanta, zarówno publikacyjnej jak i wizyt badawczych, pochodzi z przed obrony doktoratu. Według wykazu zamieszczonego w części 5.6, po otrzymaniu stopnia doktora (od 2011) spędził On na wizytach badawczych jedynie ok. 1,5 miesiąca, co w porównaniu do wizyt badawczych z lat 2005-2010 kiedy to, według deklaracji, Jego wizyty w laboratoriach w Hamburgu, Lund oraz Namurze trwały kumulatywnie ponad rok. W mojej ocenie ta różnica mogła wynikać z zaangażowania w realizację projektu SONATA i wynikające z tego dodatkowe obowiązki eksperymentalne w kraju.

W kolejnych częściach Autor przedstawia swoje wystąpienia konferencyjne w formie ustnej (od 2013 r. było ich 8), seminaria związane z tematem habilitacji (4) oraz współautorstwo jednej prezentacji zaproszonej i 16 prezentacji ustnych. Dorobek konferencyjny niewątpliwie wzbogaca udział Habilitanta w pracach komitetu organizacyjnego konferencji międzynarodowej organizowanej w 2018 r. w Warszawie. Samodzielność prowadzenia badań została natomiast sprawdzona dzięki prowadzeniu grantu SONATA fundowanego przez NCN. Poziom naukowy Habilitanta został zauważony przez edytorów, dla których recenzował również 14-cie artykułów w czasopiśmie z listy filadelfijskiej w tym ACS Applied Nano Materials oraz wnioski grantowe dla NCN. Podkreślić należy również Jego aktywność na polu patentowym, gdzie jest współautorem 2 uzyskanych polskich patentów oraz jednoosobowym autorem zgłoszenia patentowego. Habilitant jest również promotorem pomocniczym doktoranta, a po uzyskaniu stopnia doktora sprawował opiekę nad trzema studentami, co, biorąc pod uwagę związaną swoją karierą naukową z Instytutem PAN (gdzie zaangażowanie dydaktyczne nie jest wymagane) oceniam pozytywnie.

Prezentację dorobku Kandydata warto podsumować cytując dane bibliometryczne doktora Pietrzyka. Do dnia złożenia wniosku był on współautorem 48 publikacji indeksowanych w JCR, Jego prace cytowane były 249 razy (181 bez autocytoowań), a indeks Hirscha wynosił 10. Biorąc pod uwagę specyfikę oraz rozległość dziedziny jaką się zajmuje, wyniki te oceniam również pozytywnie.

Podsumowując, całość wniosku oceniam pozytywnie. Pewne uchybienia w formie samego wniosku nie umniejszają wagi cyklowi publikacji przedstawionemu jako osiągnięcie naukowe, a także całemu dorobkowi naukowemu dr Mieczysława Antoniego Pietrzyka, które spełniają wymagania zawarte w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” Dz. U. 2021 poz. 478, niezbędne dla uzyskania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne i rekomenduję dopuszczenie Pana dr Mieczysława Pietrzyka do dalszych etapów postępowania o nadanie Mu tego stopnia.

Henryk Tondus