

Warszawa, 17 października 2019 r.

## Recenzja osiągnięć dr. Tomasza Krajewskiego w związku z postępowaniem habilitacyjnym w dziedzinie nauk fizycznych w dyscyplinie fizyka

### 1. Podstawa prawna

- Pismo Z-cy Przewodniczącego Rady Naukowej IF PAN RN.421.23.54.2019 z dnia 3 października 2019 r.;
- Ustawa z dn. 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2017, poz. 1789);
- Ustawa z dn. 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018, poz. 1668);
- Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dn. 30 stycznia 2018 r., poz. 261 w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora;
- Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dn. 1 września 2011 r., poz. 1165 w sprawie kryteriów oceny osiągnięć osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego.

### 2. Informacje ogólne

Recenzję opracowałem na podstawie dostarczonej z pismem RN.421.23.54.2019 dokumentacji zawierającej załączniki określone w par. 12 ust. 2 Rozporządzenia MNiSW z 30 stycznia 2018 r.

Tomasz Krajewski ukończył studia licencjackie na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w 2005 r. Jego praca licencjacka zatytułowana była „Opracowanie materiałów dydaktycznych do wykładu «Mechanika płynów»”. Tytuł zawodowy magistra uzyskał w czerwcu 2007 r. na Wydziale Matematyczno – Przyrodniczym Szkoły Nauk Ścisłych Uniwersytety Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie na podstawie pracy p.t. „Badania elektryczne warstw tlenku cynku otrzymanych w niskotemperaturowym procesie ALD”, promotorem pracy była dr Elżbieta Guziewicz. Stopień naukowy doktora nauk fizycznych otrzymał w Instytucie Fizyki PAN w listopadzie 2012 r. po obronie rozprawy „Właściwości elektryczne cienkich warstw tlenku cynku otrzymywanych w procesie osadzania warstw atomowych (ALD)”. Promotorem rozprawy była prof. dr hab. Elżbieta Guziewicz a recenzentami prof. Witold Dobrowolski i prof. Regina Paszkiewicz. Od 2007 r. kandydat pracuje w Oddziale Fizyki i Technologii Nanostruktur Półprzewodników Szerokoprzerwowych Instytutu Fizyki PAN, od 2015 roku na stanowisku adiunkta. Wniosek o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego złożył w dniu 14 marca 2019 r.

### 3. Ocena osiągnięcia naukowego

Osiągnięcie naukowe habilitanta oparte jest na zestawie 7 publikacji ujętych pod tytułem „Struktury złączowe wykorzystujące cienkie warstwy tlenku cynku otrzymane techniką Osadzania Warstw Atomowych (ALD)” tworzących wg. deklaracji wnioskodawcy łączne osiągnięcie naukowe w sensie

przepisów Ustawy o stopniach naukowych [...] z dn. 14 marca 2003 (Dz. U. 2017, poz. 1789). Wszystkie prace opublikowano w czasopismach z listy *Journal Citation Reports* (JCR), a habilitant jest w nich jednym z autorów. W trzech pracach [H1, H2, H6] habilitant jest pierwszym autorem i zarazem autorem korespondencyjnym, w dwóch [H3, H4] pierwszym autorem jest doktorant, którego habilitant jest promotorem pomocniczym. Sumaryczny współczynnik *Impact Factor* (IF) prac wynosi 16.911 (jednak przy uwzględnieniu udziału habilitanta maleje do 9.222). A czasopisma wybrane do publikacji są uznane, chociaż poza *Journal of Applied Physics*, *Physica Status Solidi A* czy *Semiconductor Science and Technology*, przynależą raczej do obszaru związanego z badaniami materiałowymi, które jednakże nie są odległe od zakresu tematyki stanowiącej temat rozprawy. Dodatkowo, ich współczynniki IF są w większości wyższe niż 2, co stanowi bardzo dobry wynik.

Badania naukowe opisane w zestawionym cyklu publikacji rozpoczynają się od opisu czynników prowadzących do wystąpienia przewodnictwa typu n w niskotemperaturowych warstwach ZnO osadzanych techniką ALD [H1], następnie opisują poziomy pułapkowe w złączu ZnO/GaN [H2] i przechodzą do wzrostu warstw p-ZnO domieszkowanych azotem [H3] oraz współdomieszkowanych azotem i glinem [H4]. W pracy [H3] zaprezentowano także badania homołączka p-n ZnO. Kolejne prace dotyczą złącz ZnO z warstwą międzypowierzchniową z dielektryka o wysokiej stałej dielektrycznej [H5] i [H6], a ostatnia praca [H7] dotyczy wielowarstwowych struktur dielektrycznych  $Al_2O_3/HfO_2$  dla zastosowania w pamięciach opartych na pułapkowaniu ładunku. Praca [H7] powstała wg. słów habilitanta w celu wyjaśnienia zachowania homołączka ZnO z warstwą dielektryczną na międzypowierzchni. Chociaż takie ustawienie tematyki w autoreferacie jest logiczne, na podstawie dat publikacji można stwierdzić, że zaproponowane ono zostało *a posteriori*, gdyż lata publikacji prac [H1:H7] nie następują chronologicznie, jak pokazano w Tab. 1. Sposób ustawienia publikacji w autoreferacie pozwala na logiczne połączenie ich w całość i posiłkowanie się wynikami z jednych publikacji jako motywacją i wynikami wejściowymi do kolejnych co pozwala przeprowadzić spójny wywód zagadnień związanych z technologią i charakteryzacją funkcjonalnych homołączka ZnO. Mam jednak dwa istotne zarzuty do przedstawionych danych. Pierwszy dotyczy analizy warstw ZnO typu p, a drugi sposobu charakteryzacji własności elektrycznych i transportowych materiałów i złącz. Habilitant w części wprowadzającej omawia kwestię samoistnego domieszkowania ZnO na typ n i tłumaczy, zgodnie z aktualnym stanem wiedzy, że w literaturze nie rozstrzygnięto jednoznacznie jakie defekty odpowiadają za występowanie tego zjawiska. Wymienia defekty rodzime jak i nieintencjonalne domieszkowanie za pomocą wodoru jako możliwe źródła elektronów swobodnych natomiast poza krótkim opisem nie analizuje dalej roli wodoru w swoich warstwach. Wiadomym jest, że cienkie warstwy wytwarzane w reaktorach wykonywanych ze stali nierdzewnej, co dotyczy większości technik próżniowych jak i techniki ALD, będą zawierały nieintencjonalnie wprowadzone atomy wodoru, ze względu na zjawisko dyfuzji wodoru ze stali nierdzewnej do atmosfery, związana z własnościami samego materiału. Dodatkowo, proces ALD jako oparty na prekursorach metaloorganicznych charakteryzuje się typowo podwyższonym w stosunku do tła poziomem zanieczyszczeń węglem i właśnie wodorem. W autoreferacie nie zostało to uwzględnione. Ponadto, warstwy badane przez habilitanta są warstwami polikrystalicznymi, co utrudnia analizę wpływu defektów i domieszek na własności materiału i struktur, ze względu na niejednorodność materiału, oraz raportowaną agregację defektów, zanieczyszczeń jak i samych domieszek w granicach ziaren. Zaskakuje jednocześnie relatywnie prosty sposób identyfikacji defektów odpowiedzialnych za domieszkowanie samoistne, oparty np. na wygrzewaniu w tlenie albo azocie i obserwacji zachowania fotoluminescencyjnej linii defektowej (identyfikowanej w nietrywialny sposób jako złożenie 3-4 linii pochodzących z różnych źródeł) w warstwach po wyhodowaniu i po wygrzaniu [H1], podczas gdy badania zazwyczaj służące temu celowi są dość zaawansowane technicznie i obejmują techniki takie jak spektroskopia anihilacji pozytronów czy spektroskopia absorpcji promieni X na próbkach monokrystalicznych dla dokładnego zbadania defektów oraz ich otoczenia krystalicznego. Habilitant wspiera się analizą poziomów pułapkowych w materiale na podstawie pomiarów spektroskopii pojemnościowej [H2], jednakże jak sam stwierdza, uzyskane energie poziomów trudno jest zidentyfikować jednoznacznie na podstawie danych literaturowych. Podobny zarzut mam do części

2

związanej z pomiarami własności elektrycznych i transportowych warstw i struktur. Niezrozumiałe jest opieranie swojej analizy na matematycznych przekształceniach charakterystyki IV diody i wyciąganiu istotnych wniosków na podstawie *de facto* fenomenologicznego modelu [H6], podczas gdy wykonanie porządných pomiarów magneto-transportowych było by zgodne z zasadami sztuki, umożliwiło by opisanie wielu własności materiału i struktur jak również jest możliwe do wykonania w Instytucie Fizyki PAN czy innych polskich grupach badawczych.

Z mniejszych uwag w autoreferacie powtarza się często uzyskanie 'stabilnego przewodnictwa' dziurowego, przy jednoczesnym braku badań stabilności czasowej, dyfuzji domieszek i określenia czasu życia przyrządów w różnych konfiguracjach technologicznych, np. przez porównanie czasu stabilności złącza bez międzypowierzchniowej warstwy dielektryka i złącza z taką warstwą zarówno bez jak i pod obciążeniem prądowym lub napięciowym. Stwierdzenia takie nie poparte danymi pomiarowymi nie powinny być używane na poziomie autoreferatu habilitacyjnego, gdzie habilitant powinien znać znaczenie używanych terminów i wiedzieć z jakimi zjawiskami i badaniami powinny być powiązane, a nie używać ich jak wytrychów do stwierdzenia wysokiej jakości badanych próbek.

Analiza danych bibliograficznych publikacji habilitanta pokazuje, że mimo iż wykazuje on wysoką całkowitą liczbę cytowań równą 837, prace wchodzące w skład osiągnięcia były cytowane łącznie 47 razy co stanowi zaledwie 6% całkowitej liczby cytowań. Mimo, że od najwcześniejszego roku opublikowania minęło już 6 lat, a od najpóźniejszych publikacji dwa lata, wydaje się, że właściwym było by odczekanie dłużej na reakcję międzynarodowej społeczności badaczy w celu umożliwienia właściwej oceny wpływu publikacji na dziedzinę. Dodatkowo, grupa, której habilitant jest częścią ma wybitny dorobek i bardzo duże doświadczenie w prowadzeniu projektów krajowych i międzynarodowych oraz może się poszczycić wysoką rozpoznawalnością w środowisku międzynarodowym jak i licznymi współpracami. Trudno jest na takim tle wyróżnić w recenzji całkowicie samodzielny dorobek habilitanta, zwłaszcza, jeżeli wśród współautorów jest kierownik grupy. Dodatkowym negatywnym aspektem formalnym osiągnięcia jest zadeklarowany istotny kierowniczy udział w pracach stanowiących osiągnięcie dotychczasowego promotora prac magisterskiej i doktorskiej, a jednocześnie kierownika grupy w której habilitant pracuje, prof. Guziewicz. Zgodnie z oświadczeniami zawartymi w Załączniku 4 do przedłożonego wniosku, wkład prof. Guziewicz nie jest podany procentowo, jednakże dotyczył planowania eksperymentów w przypadku prac [H1, H4, H7], zaproponowania sposobu wykonywania warstw [H1- H4] bądź, co wydaje się być kluczowe dla oryginalności prowadzonych prac, pomysłu połączenia pomiarów elipsometrycznych z optycznymi i elektrycznymi [H1], pomysłu otrzymywania homołączka [H3] czy pomysłu współdomieszkowania azotem i glinem [H4]. Z oświadczeń habilitanta zawartych w Załączniku 5 wynika że jego udział w tych publikacjach był na odpowiednio wysokim procentowym poziomie, jednakże dotyczył głównie przeprowadzenia pomiarów, dyskusji wyników i redagowania tekstu manuskryptu, co przy braku aspektów kierowniczych jest zadaniem bardziej dla doktoranta niż pracownika aspirującego do miana samodzielnego pracownika nauki. Dodatkowo, w przypadku najbardziej interesujących moim zdaniem dla środowiska naukowego (co ma odzwierciedlenie w wysokiej liczbie cytowań) a dotyczących wytwarzania ZnO typu p prac [H3 i H4], udział habilitanta jest względnie niski.

Tab. 1. Analiza danych bibliometrycznych dotyczących publikacji stanowiących osiągnięcie.

Artykuł	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
Rok opublikowania	2017	2013	2015	2016	2015	2017	2017
<i>Impact Factor</i>	3.779	2.185	2.098	1.068	2.207	3.779	1.795
Liczba cytowań (w tym własnych)	7 (0)	5 (3)	22 (3)	6 (0)	3 (0)	1 (0)	3 (1)
Deklarowany udział habilitanta	65%	60%	40%	40%	50%	65%	35%

#### 4. Ocena aktywności naukowej

3

Dorobek publikacyjny habilitanta po uzyskaniu stopnia doktora, z uwzględnieniem osiągnięcia będącego przedmiotem autoreferatu, obejmuje 16 publikacji w czasopiśmie z listy JCR. Dla porównania, dorobek habilitanta do czasu uzyskania stopnia doktora wynosi 30 publikacji z listy JCR, co przy porównywalnych zakresach czasu oznacza istotny spadek aktywności publikacyjnej. Habilitant w latach 2007-2012 był pierwszym autorem 1 wykładu zaproszonego, 3 prezentacji konferencyjnych oraz współautorem 18 konferencyjnych referatów zaproszonych, 14 referatów ustnych oraz autorem bądź współautorem 47 prezentacji plakatowych. Po doktoracie, liczby te wzrosły w przypadku referatów zaproszonych oraz referatów ustnych gdzie habilitant był pierwszym autorem i wynosiły odpowiednio 3 i 6. Ponadto w tym czasie był współautorem 9 referatów zaproszonych, 12 referatów ustnych oraz 50 prezentacji plakatowych. Widoczny jest zatem wzrost aktywności konferencyjnej habilitanta oraz docenienie wyników przez społeczność naukową widoczne w zwiększonej liczbie referatów zaproszonych. Habilitant wygłosił liczne seminaria badawcze, jednakże jedynie jedno z nich było wygłoszone poza gronem pracowników IF PAN.

Z prac opublikowanych po uzyskaniu doktoratu widać wyraźnie, że habilitant specjalizuje się w badaniach tlenków metali przejściowych, ze szczególnym naciskiem na ZnO. Tylko 1 praca z dorobku habilitanta nie dotyczy materiałów tlenkowych, a zdecydowana większość związana jest z cienkimi warstwami i strukturami ZnO otrzymywanymi techniką ALD. Wyraźnie widocznym tematem w publikacjach habilitanta jest zagadnienie technologii złącz ZnO, w szczególności w zakresie opracowania homołącz p-n. Opracowanie działającego stabilnego złącza p-n od lat wykazywane jest jako istotne potwierdzenie skutecznego domieszkowania ZnO na typ p co zostało zademonstrowane w pracach w których habilitant jest współautorem. Szczególnym rysem prac habilitanta są pomiary własności elektrycznych oraz optycznych materiałów i złącz, uzupełnione w ramach dodatkowych doświadczeń przez pomiary spektroskopii Augera, spektroskopii fotoelektronów rentgenowskich czy skaningową mikroskopię tunelową. Widoczne jest, że habilitant obrał jako swoją specjalizację struktury z ZnO wytwarzane techniką ALD i charakteryzację ich własności elektrycznych i optycznych. Tak określona specjalizacja pozwala być ekspertem w danym zakresie natomiast moim zdaniem dla przyszłego samodzielnego pracownika nauki jest to specjalizacja trochę zbyt wąska.

Kandydat kierował jednym projektem badawczym NCN w programie Sonata, brał udział w realizacji jednego projektu europejskiego FP6 a także w realizacji dwóch projektów strukturalnych POIG oraz jednego projektu NCN i jednego projektu NCBiR, co jest przyzwoitym dorobkiem, chociaż porównując ze znanymi mi kandydatami w zakresie fizyki, stwierdzam że aktywność projektowa dr. Krajewskiego mogła być wyższa. Kandydat otrzymał nagrodę za plakat na konferencji E-MRS w 2008 r. oraz był członkiem zespołów nagrodzonych medalami na Międzynarodowych Targach Gdańskich „Technicon – Innowacje” w latach 2009 – 2011 a także członkiem zespołu nagrodzonego Złotym Medalem na Międzynarodowych Targach Innowacji Gospodarczych i Naukowych INTARG (Katowice, 2011 r.). Po uzyskaniu stopnia doktora otrzymał wyróżnienie od Edytora czasopisma Journal of Applied Physics za artykuł [H2], co należy uznać za istotne osiągnięcie.

Habilitant pełnił rolę sekretarza komitetu organizacyjnego prestiżowej konferencji 10th International Workshop on Zinc Oxide and Other Oxide Semiconductors, która była organizowana w 2018 r. w Warszawie. Dodatkowo przewodniczył sesjom na konferencjach Energy Materials and Nanotechnology w latach 2015 i 2016. W zakresie działalności dydaktycznej i popularyzatorskiej habilitant wykazywał istotną aktywność prowadząc zajęcia laboratoryjne dla studentów Szkoły Nauk Ścisłych Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego (od roku akademickiego 2008/2009) i dla studentów Wydziału Fizyki UW (od roku akademickiego 2012/2013) a także praktyki studenckie dla studentów Wydziału Fizyki UW (2013, 2014, 2015 i 2018 r.). Godna odnotowania jest opieka dydaktyczna nad trójkiem uczestników Warsztatów w Instytucie Fizyki PAN organizowanych przez Krajowy Fundusz na Rzecz Dzieci. Ponadto habilitant pełnił rolę opiekuna pomocniczego dla jednego doktoranta. Mając na uwadze, że habilitant zatrudniony jest w Instytucie PAN a nie na uczelni, działalność dydaktyczną i organizacyjną oceniam jako wyjątkowo dobrą. Ponadto, dr Tomasz

4  
B

Krajewski jest recenzentem prac zgłaszanych do redakcji znanych czasopism naukowych jak również odbył trzy kilkudniowe staże zagraniczne (najdłuższy trwał 14 dni).

W nawiązaniu do kryteriów zawartych w Rozporządzeniu MNiSW z dn. 1 września 2011 r., poz. 1165, stwierdzam że dr Tomasz Krajewski

- nie uczestniczył w pracy komitetów redakcyjnych i rad czasopism;
- nie jest członkiem międzynarodowych ani krajowych organizacji czy towarzystw naukowych;
- nie odbył dłuższych niż 2 tygodnie staży naukowych w ośrodkach krajowych lub zagranicznych;
- nie wykonywał ekspertyz na zamówienie;
- nie recenzował projektów międzynarodowych i krajowych.

Dr Tomasz Krajewski jest aktywny w części obszarów określonych w Rozporządzeniu MNiSW z dn. 1 września 2011 r. Jego aktywność naukową można ocenić jako istotną. Uczestniczył w istotnych dla społeczności międzynarodowej pracach dotyczących opracowania ZnO p-typu i badaniu struktur złączowych stanowiących podstawowy element przyrządów elektronicznych wykorzystujących ten materiał. Najslabszymi moim zdaniem stronami aktywności naukowej habilitanta są: dość wąska specjalizacja tematyczna, niewielkie doświadczenie w kierowaniu i realizacji projektów jak również brak okresów jednolitej dłuższej pracy w ośrodkach zagranicznych.

## 5. Wniosek

Stwierdzam, że mimo podniesionych uwag, dorobek naukowy dr. Tomasza Krajewskiego spełnia wymagania Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz. U. 2018, poz. 1668) oraz Ustawy o stopniach naukowych [...] z dn. 14 marca 2003 (Dz. U. 2017, poz. 1789) i jest wystarczający do nadania mu stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk fizycznych w dyscyplinie fizyka.

*Mikołaj Borysiński*