

Warszawa, 24.06.2019

Prof. dr hab. Maciej Bugajski
Sieć Badawcza Łukasiewicz -
Instytut Technologii Elektronowej
Al. Lotników 32/46
02 668 Warszawa

**Ocena dorobku naukowego i rozprawy habilitacyjnej dr. Bartłomieja Witkowskiego
w związku z ubieganiem się przez niego o stopień doktora habilitowanego w dziedzinie
nauk fizycznych w dyscyplinie fizyka**

1. Charakterystyka dorobku naukowego

Dr Bartłomiej Witkowski ukończył w 2009 r. studia magisterskie na kierunku fizyka, na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie. Pracę magisterską pt. „*Badania strukturalne metodą mikroskopii elektronowej warstw tlenku cynku domieszkowanych manganem i kobaltem*” wykonał pod opieką prof. dr hab. Marka Godlewskiego. W tym samym roku rozpoczął studia doktoranckie w Instytucie Fizyki Polskiej Akademii Nauk gdzie za pracę pt. „*Hydrotermalna technologia otrzymywania nanosłupków ZnO*”, wykonaną pod kierunkiem prof. dr hab. Marka Godlewskiego uzyskał w 2014 r. stopień doktora nauk fizycznych. W chwili obecnej jest zatrudniony w Instytucie Fizyki Polskiej Akademii Nauk na stanowisku adiunkta.

Głównym obszarem zainteresowań badawczych dr. Witkowskiego jest technologia wzrostu nanosłupków ZnO ich zastosowania w ogniwach fotowoltaicznych. W swojej pracy badawczej skupia się na technologii i zastosowaniach nanosłupków ZnO wzrastanych z roztworu wodnego metodą opracowaną i przedstawioną w pracy doktorskiej. Rozwój przemysłu ogniw krzemowych wymaga redukcji kosztów produkcji ogniw poprzez modyfikacje istniejących technologii produkcyjnych. Prace dr. Witkowskiego skupiające się na modyfikacji architektury ogniw krzemowych polegające na zastąpieniu złącza Si(p)/Si(n) złączem Si(p)/ZnO(n) mają znaczny potencjał aplikacyjny. Takie rozwiązanie może zredukować koszty produkcji ogniw, a także wyeliminować energochłonne i toksyczne procesy związane z wytworzeniem warstwy Si(n) oraz nanostrukturyzacją powierzchni.

Na dorobek naukowy dr. Witkowskiego składa się **118** publikacji indeksowanych w bazie Journal of Citation Reports (JCR), z czego w czasopiśmie posiadających „impact factor” ukazało się **100** publikacji. Sumaryczny IF publikacji według tej listy wynosi **202,236**, a całkowita liczba cytowań - **1012**, bez uwzględniania autocytowań - **792**. Indeks Hirscha Kandydata wynosi **17**. Przytoczone wskaźniki bibliometryczne są wysokie, wykraczające ponad przeciętne wartości dla ubiegających się o stopień doktora habilitowanego. Jednakże

jeżeli z liczby opublikowanych prac wyłączymy prace będące podstawą ubiegania się o stopień doktora habilitowanego to w pozostałych **109** pracach tylko w **4** przypadkach Kandydat jest pierwszym autorem, i są to prace opublikowane w przeciętnych czasopismach o IF poniżej jedynki. W pozostałych pracach opublikowanych w czasopismach o znacznie wyższym statusie, pośród których są m.inn.: Nucleic Acids Research (IF=11,561), ACS Appl. Mater. Interfaces (IF=8,097), Nanoscale (IF=7,233), Nanotechnology, Biology and Medicine (IF=6,5), Acta Materialia (IF=6,036), Electrochimica Acta (IF=5,116), Solar Energy Materials & Solar Cells (IF=5,018), Materials & Design (IF=4,525), Solar Energy (IF=4,374), Scientific Reports (IF=4,122), Physical Review B (IF=3,813), Journal of Alloys and Compounds (IF=3,779), Applied Physics Letters (IF=3,495), dr Witkowski jest na dalszych miejscach listy autorów a jego deklarowany udział ogranicza się do kilku procent, rzadko wykraczając poza 10%. Od strony merytorycznej udział ten, w większości przypadków, sprowadza się do wykonywania pomiarów za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej. Bez dalszego sprecyzowania trudno stwierdzić czy miał on charakter twórczy, czy była to tylko standardowa usługa pomiarowa. Sama aktywność we współpracy z licznymi grupami badawczymi, często dość odległymi od tematyki badawczej Kandydata jest zjawiskiem zasługującym na wyróżnienie, nie może ona jednak zastępować indywidualnej pracy twórczej i być podstawą do awansów naukowych.

Dr Witkowski aktywnie uczestniczył w licznych konferencjach naukowych. Wygłosił **10** referatów zaproszonych, w tym **3** na konferencjach międzynarodowych. Liczbę tę uzupełnia **7** referatów zgłaszanych i liczne prezentacje plakatu. Dr Witkowski kierował projektem „Wyjaśnienie mechanizmów zmiany właściwości elektrycznych nanosłupków ZnO wytwarzanych metodą hydrotermalną pod wpływem światła z zakresu widzialnego i UV” finansowanym przez Narodowe Centrum Nauki Czas i realizowanym w latach 2013-2015 i był zastępcą kierownika pakietu zadaniowego projektu European Action Towards Leading Centre for Innovative Materials – EAGLE realizowanego z funduszy Unii Europejskiej w latach 2014-2016. Ponadto uczestniczył jako wykonawca w **20** innych projektach. Stopień i charakter udziału w tych ostatnich projektach nie został określony w dostarczonej dokumentacji.

2. Ocena rozprawy habilitacyjnej

Przedstawione do oceny osiągnięcie naukowe zatytułowane: „*Rozwój technologii wzrostu, analiza właściwości optycznych nano/mikrosłupków ZnO oraz przykłady ich zastosowań w fotorezystorze i ogniwach fotowoltaicznych*” oparte jest na cyklu **9** prac opublikowanych w latach 2014 do 2018, w czasopismach o zasięgu międzynarodowym. W **5** z nich Kandydat jest pierwszym autorem. Ostatnia praca cyklu jest pracą przeglądową na temat zastosowań nanosłupków ZnO. Udział merytoryczny dr Witkowskiego w pracach stanowiących podstawę wystąpienia o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego potwierdzony jest stosownymi oświadczeniami współautorów. Tematyka przedstawionych do oceny prac skupia się na rozwoju metody krystalizacji hydrotermalnej, na skalowaniu metody do większych rozmiarów podłoży oraz na pracach nad poznaniem właściwości nanosłupków i możliwości

ich zastosowania w ogniwach fotowoltaicznych. Metoda hydrotermalna w wersji rozwijanej przez dr. Witkowskiego stanowi nowe podejście do krystalizacji nanosłupków opierające się na dynamicznej reakcji chemicznej, przez co znacznie został skrócony czas wzrostu i obniżono temperaturę wzrostu. Otrzymywane w ten sposób nanosłupki są monokryształami pozbawionymi luk tlenowych, co obok niskich kosztów i prostoty, stanowi podstawową wartość metody.

Szczegółowa analiza publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego.

- H1 **B.S. Witkowski**, R. Pietruszka, S. Gierałtowska, L. Wachnicki, H. Przybylinska, M. Godlewski, *Photoresistor based on ZnO nanorods grown on p-type silicon substrate*, Opto-Electronics Review 25(1), 15-18 (2017). IF (2017)=1,156, liczba cytowań = 2 (1 bez autocytowań).

W pracy analizowano zmiany oporności struktury nanosłupki ZnO/krzem. Struktura ta pod wpływem światła widzialnego obniża rezystywność, a po zakończeniu naświetlania mierzony opór wraca do wartości pierwotnej. Reakcja ta została zbadana dla różnych środowisk (powietrze, tlen, azot, próżnia), które nie miały wpływu na mechanizm zmiany oporności, a także dla różnych intensywności i długości fali zastosowanego światła. Obserwowane efekty zostały wykorzystane do skonstruowania detektora promieniowania optycznego z zakresu 400 nm – 1100 nm i przełącznika optycznego. Praca jest oryginalna, zawiera prawidłowe odniesienia do stanu wiedzy w swojej dziedzinie.

- H2 **B.S. Witkowski**, L. Wachnicki, S. Gierałtowska, A. Reszka, B.J. Kowalski, M. Godlewski, *Low-Temperature Cathodoluminescence Investigations of High-Quality Zinc Oxide Nanorods*, Microscopy and Microanalysis 21(03), 564-569 (2015). IF (2015)=1,730, liczba cytowań = 2 (0 bez autocytowań).

- H3 **B.S. Witkowski**, V.Y. Ivanov, Ł. Wachnicki, S. Gierałtowska, M. Godlewski, *Optical Characterization of ZnO Nanorods Grown by the Ultra-Fast and Low Temperature Hydrothermal Process*, Acta Physica Polonica A 130 (5), 1199-1201 (2016). IF (2016): 0,469, liczba cytowań = 0.

Kolejne dwie prace poświęcone są analizie właściwości optycznych nanosłupków ZnO. Przedstawione w pracy H2 i H3 pomiary katodoluminescencji CL i fotoluminescencji PL potwierdzają wysoką jakość wytwarzanych nanosłupków, co powinno być kluczowe w zastosowaniach optoelektronicznych. Badania luminescencyjne są standardowe. Interpretacja widm luminescencji opiera się na porównaniu z danymi literaturowymi dla objętościowego ZnO. Część wyników przedstawianych w pracy H2 zawarta była w pracy doktorskiej. Prace nie wzbudziły zainteresowania.

- H4 **B. S. Witkowski**, P. Dłużewski, J. Kaszewski, L. Wachnicki, S. Gierałtowska, B. Kurowska, M. Godlewski, *Ultra-fast epitaxial growth of ZnO nano/microrods on a GaN substrate, using the microwave-assisted hydrothermal method*, Materials Chemistry and Physics 205, 16-22 (2018). IF (2017)=2,210, liczba cytowań = 1.

- H5 A. Pieniążek, **B.S. Witkowski**, A. Reszka, M. Godlewski, B.J. Kowalski, *Optical properties of ZnO microrods grown by a hydrothermal method – a cathodoluminescence study*, *Optical Materials Express* 6 (12), 3741-3750 (2016). IF (2016)=2,591, liczba cytowań = 3.

Opisane w pracy H4 badania dotyczą nano/mikrosłupków ZnO wzrastanych epitaksjalnie na krystalograficznie dopasowanym podłożu z azotku galu za pomocą metody hydrotermalnej. Możliwość wzrostu takich struktur została zademonstrowana w pracy doktorskiej Kandydata, a praca H4 stanowi rozwinięcie tego tematu przedstawiając szczegółową analizę technologii wzrostu, a także charakteryzację nanosłupków metodami rentgenowskimi i metodą transmisyjnej mikroskopii elektronowej (TEM). Praca jest z 2018 r, trudno więc spodziewać się by miała cytowania, ale spodziewam się, że może ona wzbudzić zainteresowanie. Podobnie, praca H5, która zawiera bardzo interesującą analizę właściwości optycznych zorientowanych nano/mikrosłupków na podłożach z azotku galu. Omawiana jest w niej możliwość wykorzystania mikrosłupków ZnO jako rezonatory optyczne. Praca H5 skupia się na analizie katodoluminescencji indywidualnych mikrosłupków, wykazując korelację właściwości optycznych z rozmiarami i kształtem struktur. Mikrosłupki ZnO, ze względu na swoją geometrię, mogą służyć jako naturalne rezonatory optyczne. Sześć ścian bocznych mikrosłupka może służyć jako lustro „zamykając” światło wewnątrz wzmacniając mody rezonansowe krążącego światła. Taki obiekt powinien przy odpowiednim pobudzeniu osiągnąć próg emisji stymulowanej. Pierwszym autorem pracy H5 jest doktorantka Agnieszka Pieniążek.

- H6 R. Pietruszka, **B.S. Witkowski**, G. Luka, L. Wachnicki, S. Gierałtowska, K. Kopalko, E. Zielony, P. Bieganski, E. Placzek-Popko and M. Godlewski, *Photovoltaic properties of ZnO nanorods/p-type Si heterojunction structures*, *Beilstein J. Nanotechnol.* 5, 173–179 (2014). IF (2014)=2,670, liczba cytowań = 14.
- H7 R. Pietruszka, **B.S. Witkowski**, S. Gierałtowska, P. Caban, L. Wachnicki, E. Zielony, K. Gwozdz, P. Biegański, E. Płaczek-Popko, M. Godlewski, *New efficient solar cell structures based on zinc oxide nanorods*, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 143, 99–104 (2015). IF (2015): 4,732, liczba cytowań = 46.
- H8 R. Pietruszka, **B.S. Witkowski**, E. Zielony, K. Gwozdz, E. Płaczek-Popko, M. Godlewski, *ZnO/Si heterojunction solar cell fabricated by atomic layer deposition and hydrothermal methods*, *Solar Energy* 155, 1282-1288 (2017). IF (2017)=4,374, liczba cytowań = 14.

Prace H6-H8 dotyczą zastosowania nanosłupków w architekturze krzemowych ogniw fotowoltaicznych. Nanosłupki ze względu na wysoką jakość krystalograficzną i geometrię mogą tworzyć kanały wydajnie odprowadzające ładunki z obszaru złącza, ograniczając w ten sposób straty nośników. Zaletą nanosłupków jest także niska koncentracja nośników (niższa niż w przypadku warstw ZnO-ALD), która skutkuje poszerzeniem obszaru efektywnego złącza, w szczególności również po stronie ZnO. Z tego powodu dla ogniw z wykorzystaniem nanosłupków widoczna jest zwiększona absorpcja światła dla krótszych długości fali. Wreszcie, zastosowania nanosłupków, dzięki naturalnej chropowatości

powierzchni, polepsza zbierania światła. Idea zastosowania nanosłupków ZnO w technologii krzemowych ogniw fotowoltaicznych jest interesująca a osiągnięte na tym etapie rozwoju technologii wydajności są obiecujące z punktu widzenia praktycznego wykorzystania.

Prace dotyczące ogniw fotowoltaicznych publikowane są w dobrych czasopismach branżowych; Solar Energy Materials & Solar Cells i Solar Energy, o wysokich, powyżej 4 współczynnikach wpływu. Prace H6–H8 są często cytowane. Wyłączając autocytowania jest to odpowiednio 6, 37 i 10 cytowań. Moje wątpliwości budzi jednak fakt, że badania nad wykorzystaniem nanosłupków ZnO stanowiły przedmiot pracy doktorskiej dr. Rafała Pietruszki pt. *Otrzymywanie i charakteryzacja ogniw fotowoltaicznych zawierających cienkie warstwy oraz nanosłupki tlenku cynku*, której dr Witkowski był promotorem pomocniczym. Dr Pietruszka jest pierwszym autorem prac H6–H8 a kopie prac H6 i H7 są zamieszczone jako załączniki w pracy doktorskiej Rafała Pietruszki.

H9 **B. S. Witkowski**, *Applications of ZnO Nanorods and Nanowires - A Review*, Acta Physica Polonica A 134, 1226-1246 (2018) IF (2017)=0,857, liczba cytowań = 0.

Praca H9 stanowi przegląd zastosowań nanosłupków ZnO. W szczególności praca omawia ich zastosowania w emiterach światła (diody i lasery), w detektorach światła (na pojedynczych nanosłupkach oraz matrycach), w ogniwach fotowoltaicznych, w zastosowaniach fotokatalitycznych, w emiterach polowych, w tranzystorach typu FET, w detektorach substancji chemicznych i biologicznych oraz w konstrukcji nanogeneratorów mocy. W rozdziałach dotyczących detektorów światła i ogniw fotowoltaicznych osiągnięcia Habilitanta zostały przedstawione na tle osiągnięć innych grup badawczych. Praca może być traktowana jako swego rodzaju uzasadnienie podjęcia prac badawczych związanych z technologią wzrostu nanosłupków. Publikacja jest nowa i nie ma jeszcze cytowań. Jako praca przeglądowa zbierająca doświadczenia autora z kilku lat działalności nad rozwojem technologii nanosłupków ZnO praca ta może mieć znaczenie dla dziedziny. Uważam, że jej poziom jest taki, że można było pokusić się o jej opublikowanie w czasopiśmie o większej rozpoznawalności.

Do głównych osiągnięć naukowych dr Bartłomieja Witkowskiego można zaliczyć rozwinięcie technologii krystalizacji nanosłupków ZnO metodą hydrotermalną, demonstrację możliwości wzrostu epitaksjalnych nanosłupków na podłożach GaN oraz demonstrację wzrostu wydajności ogniw fotowoltaicznych ZnO/Si po wprowadzeniu nanosłupków ZnO do ich architektury. W tym sensie prace dr. Bartłomieja Witkowskiego wnoszą nowe wartości do literatury przedmiotu, zarówno pod względem rozwoju technologii jak i zrozumienia zjawisk fizycznych leżących u podstaw działania detektorów UV i nowych konstrukcji ogniw fotowoltaicznych. Badane technologie mają znaczny potencjał aplikacyjny.

3. Charakterystyka pozostałych osiągnięć Habilitanta.

Na dorobek dydaktyczny Habilitanta składają się regularne zajęcia laboratoryjne prowadzone w latach 2014 -2019 na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczymi Uniwersytetu

Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie. Ponadto w ramach opieki nad studentami dr Witkowski wypromował dwu magistrantów i opiekował się czterema pracami licencjackimi. Był promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim dr. Rafała Pietruszki – tytuł rozprawy: *Otrzymywanie i charakteryzacja ogniw fotowoltaicznych zawierających cienkie warstwy oraz nanosłupki tlenku cynku*. Obrona odbyła się: 2 czerwca 2016. Obecnie jest promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim mgr. Agnieszki Pieniążek, Instytut Fizyki PAN.

Dr. Witkowski jest współwłaścicielem 12 patentów i współautorem 8 zgłoszeń patentowych, w tym 4 europejskich i 2 w Urzędzie Patentowym USA, będących rozszerzeniami wcześniejszych patentów polskich. Wszystkie te patenty dotyczą różnych aspektów technologii nanosłupków ZnO i elementów fotowoltaicznych je wykorzystujących. Trudno mi wypowiadać się na temat wartości tych patentów, ponieważ nie znalazłem informacji, czy któryś z nich został zastosowany.

Podobnie, z rezerwą odnoszę się do promocji Instytutu Fizyki PAN za pomocą uczestnictwa w Targach Innowacji i Wystawach Wynalazków i licznych dyplomów i medali tam zdobywanych, w których kolekcjonowaniu zdaje się specjalizować Habilitant. Znacznie wyżej cenię Nagrodę Dyrektora IF PAN, czy Stypendium Ministra dla wybitnego młodego naukowca w latach 2015-2018 i stypendium Samorządu Województwa Mazowieckiego „Potencjał naukowy wsparciem dla gospodarki Mazowsza – stypendia dla doktorantów” w roku akademickim 2011/2012, których laureatem był dr. Witkowski

4. Podsumowanie

Uważam osiągnięcia naukowe i praktyczne dr. Bartłomieja Witkowskiego w dziedzinie niekonwencjonalnych technologii wzrostu nanostruktur ZnO i ich wykorzystania w konstrukcji nowego typu ogniw fotowoltaicznych za warte uwagi. Ich prawdziwą wartość w pełni zweryfikują lata następne i to czy jego pomysły zostaną podchwycone i rozwijane przez innych badaczy. Habilitant wykazuje się dużą aktywnością naukową i organizacyjną. Rozwija bogatą współpracę z wieloma naukowcami w kraju i ma doświadczenie w prowadzeniu i wykonywaniu grantów naukowych. Uważam jednak, że dla jego osobistego rozwoju naukowego korzystniejsze byłoby skoncentrowanie się na zasadniczym nurcie badań a nie rozpraszanie się na liczne publikacje w których jego wkład jest często jedynie usługowy. Dlatego też jego wskaźniki bibliometryczne, skądinąd imponujące, dla urealnienia powinny być przeskalowane. Tym nie mniej, nawet po takim zabiegu, uważam dokonania dr. Witkowskiego za wystarczające dla kolejnego awansu naukowego.

Stwierdzam, że w świetle obowiązującej Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 r, z późniejszymi zmianami, Pan dr Bartłomiej Witkowski spełnia kryteria wymagane do uzyskania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk fizycznych w dyscyplinie fizyka i wnioskuję o dopuszczenie go do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.

