

Warszawa, 4 lipca 2019

Ocena osiągnięcia naukowego zatytułowanego

„Rozwój technologii wzrostu, analiza właściwości optycznych nano/mikro-słupków ZnO oraz przykłady ich zastosowań w fotorezystorze i ogniwach fotowoltaicznych”

oraz istotnej aktywności naukowo-badawczej, dydaktycznej i popularyzatorskiej, a także współpracy międzynarodowej doktora Bartłomieja Witkowskiego, ubiegającego się o nadanie stopnia doktora habilitowanego.

Przedstawiona poniżej ocena osiągnięć doktora Bartłomieja Witkowskiego została opracowana na podstawie następujących dokumentów:

- autoreferatu stanowiącego opis osiągnięcia naukowego zatytułowanego „*Rozwój technologii wzrostu, analiza właściwości optycznych nano/mikro-słupków ZnO oraz przykłady ich zastosowań w fotorezystorze i ogniwach fotowoltaicznych*”,
- załączonych dziewięciu publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe będące podstawą wystąpienia o nadanie stopnia naukowego,
- oświadczeń współautorów ww. publikacji,
- wykazu opublikowanych prac naukowych lub twórczych prac zawodowych oraz informacji o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki,
- dokumentu potwierdzającego uzyskanie stopnia doktora nauk fizycznych.

1. Ogólne informacje dotyczące kariery i osiągnięć naukowych dra Bartłomieja Witkowskiego

Doktor Bartłomiej Witkowski ukończył studia na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie w roku 2009, przygotowując pod kierunkiem prof. Marka Godlewskiego pracę magisterską pt. „*Badania strukturalne metodą mikroskopii elektronowej warstw tlenku cynku domieszkowanych manganem i kobaltem*”. Pracę doktorską wykonał także pod kierunkiem prof. Marka Godlewskiego, w ramach studiów doktoranckich w IFPAN w latach 2009-2014. Tematem rozprawy była: „*Hydrotermalna technologia otrzymywania nanosłupków ZnO*”. Od 2009 roku aż do chwili obecnej zatrudniony jest w Instytucie Fizyki PAN, od 2015 na stanowisku adiunkta. Po doktoracie nie odbył żadnego długoterminowego stażu naukowego – co nie obyło się bez wpływu na jego dalszą karierę naukową. Pierwsze publikacje doktora Witkowskiego ukazały się w roku 2009. W ciągu 10 lat opublikował on imponującą liczbę 118 (!) prac, tzn. prawie 12 prac rocznie. Średni w nich udział habilitant ocenia na 15,5 %, co nie jest wprawdzie jakimś znakomitą wynikiem, ale i tak oznacza to, w przeliczeniu, około 1,8 *samodzielnej pracy* rocznie! Znaczna część publikacji, 37, ukazała się w bardzo dobrych czasopismach z $IF > 2$, między innymi: Nucleic Acids Research ($IF=8,1$), Nanoscale ($IF=7,2$), Solar Energy Materials and Solar Cells ($IF=4,8$),

Scientific Reports (IF=4,12), Phys. Rev. B (IF=3,84) etc. Według habilitanta całkowita liczba cytowań jego prac wynosi 1012, a indeks Hirscha wynosi 17. Jest to doprawdy imponujący wynik, zważywszy, że habilitant jest zaledwie 10 lat po studiach!

Spośród 118 publikacji habilitanta, aż ponad 80 dotyczy ZnO; ten procent jest nawet wyższy w przypadku prac, w których deklarowany udział habilitanta przekracza 25%: 17 na 19 prac dotyczy ZnO. Zważywszy, że zarówno praca magisterska, jak i doktorska dotyczyły także ZnO, oznacza to swego rodzaju „monokulturę”. Także, jeśli chodzi o techniki badawcze, którymi posługiwał się habilitant w swoich badaniach, absolutnie dominuje skaningowa mikroskopia elektronowa (obrazowanie, EDX i katodoluminescencja). W co najmniej 104 pracach na 118 habilitant wykonywał badania SEM. Ponadto istotnym elementem działalności naukowej habilitanta było jego zaangażowanie w prace technologiczne, głównie przy użyciu metody hydrotermalnej oraz ALD (co najmniej 35 prac na 118). Ta podwójna „specjalizacja” habilitanta sprawiła, że był on, ze względu na swoje umiejętności, bardzo poszukiwanym współpracownikiem i doprowadziła do tego, że liczba publikacji doktora Witkowskiego jest tak duża. Oznacza to, że *w całej swojej działalności naukowej, poczynwszy już od magisterium*, habilitant skupiał się na badaniach SEM materiałów na bazie ZnO. Może to budzić pewne obawy czy, jako przyszły samodzielny pracownik naukowy, będzie potrafił łatwo znaleźć nową własną tematykę, w której mógłby stać się niekwestionowanym ekspertem... Obawa ta wiąże się także z brakiem intensywnej współpracy zagranicznej habilitanta, czego wyrazem jest także brak długoterminowych staży zagranicznych. Z drugiej strony – biorąc pod uwagę dane bibliometryczne dotyczące działalności naukowej habilitanta, należy stwierdzić, że jest on bardzo poważnym kandydatem do stopnia naukowego doktora habilitowanego.

2. Ocena Osiągnięcia Naukowego pt. „*Rozwój technologii wzrostu, analiza właściwości optycznych nano/mikro-słupków ZnO oraz przykłady ich zastosowań w fotorezystorze i ogniwach fotowoltaicznych*”

Jako swoje osiągnięcie naukowe, zatytułowane „*Rozwój technologii wzrostu, analiza właściwości optycznych nano/mikro-słupków ZnO oraz przykłady ich zastosowań w fotorezystorze i ogniwach fotowoltaicznych*”, będące podstawą wystąpienia o stopień naukowy doktora habilitowanego, doktor Bartłomiej Witkowski przedstawił spójny tematycznie cykl dziewięciu prac, (H1-H9) z lat 2014 – 2018, opublikowanych w *Opto-Electronics Review* (H1), *Microscopy and Microanalysis* (H2), *Acta Physica Polonica A* (H3 i H9), *Materials Chemistry and Physics* (H4), *Optical Materials Express* (H5), *Beilstein Journal of Nanotechnology* (H6), *Solar Energy Materials & Solar Cells* (H7) i *Solar Energy* (H8). Praca H9 jest jednoautorska, pozostałe mają od 5 do 10 autorów. W czterech z nich, wbrew kolejności alfabetycznej, doktor Witkowski jest pierwszym autorem. Prace stanowiące rozprawę habilitacyjną cytowane były w sumie 76 razy (w tym 18 autocytowań). Udział własny habilitanta w powstawaniu poszczególnych prac H1-H9 został przez niego oceniony na 25 – 100%, przy czym średnio jest to 56%. Dołączone zostały oświadczenia prawie wszystkich współautorów (brak oświadczeń Grzegorza Łuki i Piotra Biegańskiego), które wprawdzie nie pozwalają precyzyjnie zweryfikować deklarowanego przez habilitanta udziału w pracach H1-H8, ale nie wzbudzają żadnych wątpliwości.

Badania ZnO i mikro/nanostruktur na bazie ZnO są obecnie bardzo intensywnie rozwijane, w dużym stopniu ze względu na możliwe zastosowania, np. w wytwarzaniu ogniw słonecznych (tu potencjany rynek zastosowań byłby największy). Rozprawa habilitacyjna doktora Witkowskiego dotyczy więc gorącej tematyki – nanosłupków ZnO wzrastanych z roztworu wodnego metodą opracowaną i przedstawioną w jego pracy doktorskiej oraz (hetero)struktur zawierających te nanosłupki. Rozprawa ma 3 aspekty: (1) – technologiczny, (2) – poznawczo-

fizyczny i (3) – aplikacyjny. Wydaje się, że w realizacji każdego z nich udział doktora Witkowskiego był bardzo istotny.

Poniżej przedstawię najważniejsze wyniki poszczególnych prac, zwracając także uwagę na ewentualne błędy/wątpliwości.

- W ramach pracy H1 wytworzono czuły fotooporowy detektor bazujący na heterozłączu pomiędzy warstwą nanosłupków ZnO i wysokooporowym p-Si. Zbadano własności tego detektora, pokazano, że działa on w obszarze widmowym od bliskiej podczerwieni aż do ultrafioletu oraz ma bardzo nieliniową odpowiedź na pobudzenie – jego opór niezwykle słabo zależy od mocy pobudzenia i od długości fali światła pobudzającego. Wykazano, że fotoczułość nie jest związana z reakcjami fotochemicznymi cząsteczek zaadsorbowanych na powierzchni ZnO, lecz z wytworzeniem obszaru wzbogaconego (kanału przewodzącego) w p-Si w pobliżu interfejsu z ZnO. Fotoelektrony są w polu elektrycznym heterozłącza odseparowywane od dziur i przechodzą do ZnO. Interesująca praca, demonstrująca możliwe zastosowanie zmodyfikowanej przez habilitanta hydrotermalnego wzrostu nanosłupków ZnO.

Do tej pracy mam kilka wątpliwości:

- a) Nie rozumiem dlaczego na Rys.7 dzielono przez natężenie światła? Lepiej byłoby po prostu narysować bez dzielenia (byłaby w przybliżeniu pozioma linia prosta?) - jeśli coś prawie stałego podzieli się przez x , to musi wyjść w przybliżeniu hiperbola!
 - b) Rys. 9 jest kompletnie niezrozumiały:
 - (1) – jeśli koncentracja donorów w ZnO jest zaledwie na poziomie $2,2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, to dlaczego poziom Fermiego w n-ZnO ma być tak strasznie wysoko? Poziom Fermiego leżący około 1eV ponad dnem pasma odpowiadałby koncentracji powyżej $2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$!
 - (2) – skąd się biorą załamania profilu potencjału na granicy n-ZnO/p-Si oraz w p-Si na głębokości 25 mikrometrów? W takim razie powinny tam być warstwy ładunków - odpowiednio dodatnich i ujemnych - skąd mają się one wziąć?
 - (3) – w pobliżu interfejsu, od strony p-Si powinna być duża koncentracja elektronów swobodnych (a więc wypadkowa gęstość ładunku różna od zera) - dlaczego więc pole elektryczne jest tam stałe?! Ponadto – gdzie jest w takim razie miejsce dla wygenerowanych światłem dziur?
 - c) Wydaje mi się, że wyjaśnienie mechanizmu fotoprzewodnictwa, opisane na końcu „Results and Discussion” nie może być tak proste! W szczególności trzeba byłoby rozważyć wpływ kumulowanych w obszarze ZnO fotoelektronów na rozkład potencjału!
- H2 to bardzo interesująca praca demonstrująca, za pomocą pomiarów niskotemperaturowej katodoluminescencji, bardzo wysoką jakość nanosłupków ZnO otrzymanych metodą hydrotermalną. Nie zaobserwowano ani charakterystycznego kształtu temperaturowej zależności energii pików ekscytonowych (tzw. “S-shape”), związanego z lokalizacją fotonosników lub ekscytonów na fluktuacjach potencjału generowanych przez defekty, ani żadnych szerokich pasm luminescencji, które mogłyby wskazywać na obecność głębokich stanów defektowych. Wykazano istotne różnice pomiędzy katodoluminescencją pojedynczych słupków odizolowanych od otoczenia oraz umieszczonych w matrycy innych takich obiektów (znacznie silniejszy sygnał, węższe widmo świecenia). Zapostulowano wpływ efektu superradiacyjnego.

W przypadku tej pracy także mam szereg uwag:

- a) Porównywanie zależności natężenia sygnału CL dla izolowanych nanosłupków i umieszczonych w matrycy przy bardzo różnych (3 rzędy wielkości !) mocach pobudzenia wiązką elektronów (Rys. 7 i 8) jest wątpliwe.
 - b) Wprawdzie nie jestem specjalistą od katodoluminescencji, ale pobudzenie pojedynczego, submikrometrowych rozmiarów słupka mocą bliską 1 W (!) wydaje mi się nieporozumieniem... Przy tak dużej mocy pobudzenia nanosłupki powinien chyba odparować! Czy nasycanie się natężenia sygnału CL nie wynika po prostu z dramatycznego grzania nanosłupka wiązką elektronową? Czy to nie jest błąd edytorski typu zamiana greckiej litery μ na łacińską literę m ?
 - c) Zdanie, które prowadzi do sugestii, że procesy superradiacji są istotne: „Obviously, in the case of excitation of a nanorod in the matrix, the higher intensity is expected, as neighbor nanorods are also excited, but the difference should not be so large” nie przekonuje bez jakiejś głębszej dyskusji spodziewanego przestrzennego rozkładu pobudzenia wiązką elektronów. Może to jest oczywiste, ale nie dla mnie.
- Praca H3 jest bardzo podobna do H2 w jej części potwierdzającej wysoką jakość nanosłupków, tyle, że dotyczy fotoluminescencji, a nie katodoluminescencji. Wyniki – niewystępowanie efektu „S-shape” ani pasm domieszkowych także są zbieżne.

Moje uwagi:

- a) Nie wiadomo po co rozkładać widmo z Rys. 2 na funkcje Gaussa, skoro potem nie robi się użytku z informacji o liniach 2, 3, 4.
 - b) “We attribute the dominant component to donor bound excitonic (DBE) transition, whereas the one at 3.345 eV – to LO replica of excitonic emission.” nie wiadomo, o którą linię chodzi. Na Rys. 2 po dekompozycji widać, oprócz głównej linii, jeszcze 3: 3,36, 3,35 i 3,34 eV. Nie ma linii przy 3,345 eV, która nazywana jest repliką LO.
 - c) “A strong temperature quenching of the DBE PL was observed. At temperature above 100 K band DBE excitonic emission is replaced by free-to-band and/or donor-acceptor pair emission.” Jest to gołosłowne stwierdzenie. Może to jest i prawda, ale zupełnie nie wiadomo skąd się bierze taka sugestia – w szczególności pozycja głównego piksu aż do 100 K dobrze śledzi zmiany przerwy energetycznej ZnO!
 - d) W ogóle nie komentowana jest bardzo duża wartość stałej γ_{ph} opisującej oddziaływanie ekscytonów z fononami akustycznymi w nanosłupkach ZnO.
 - e) “When localization effects are not important, the above dependence (formuła Bose-Einsteina, M.B.) can be approximated by a linear one explaining the data shown in Fig. 4” To jest nieprawda! W niskich temperaturach ani z formuły Varshni, ani też Bose-Einsteina nie da się uzyskać zależności liniowej!
- Praca H4 jest mocno nakierowana na aspekt technologiczny. Pokazuje ona, że można wyhodować nanosłupki ZnO na podłożu GaN z zachowaną orientacją podłoża (słupki są zorientowane) niskotemperaturową metodą hydrotermalną i szczegółowo opisuje tę metodę. Pokazano możliwość kontroli rozmiarów słupków i ich gęstości oraz ich bardzo dobrą jakość krystalograficzną i optyczną.
- Nie mam uwag, z tym, że nie jestem w stanie śledzić części dotyczącej procesów chemicznych w trakcie wzrostu.
- Praca H5, podobnie do poprzednich, zachwala zalety niskotemperaturowej metody hydrotermalnej w produkcji nanosłupków ZnO, która tym razem umożliwiła otrzymanie znakomitej jakości heksagonalnych nanorezonatorów o rozmiarach pojedynczych

mikrometrów. W tych rezonatorach zaobserwowano optyczne mody rezonansowe, tzw. mody (fale) szepczącej galerii („whispering-gallery modes”) w postaci subtelnej struktury piku ekscytonowego. Udało się wymodelować położenia tych dodatkowych struktur w oparciu o prosty model opisujący interferencje fal odbijających się wielokrotnie od bocznych ścian wewnątrz rezonatora. Dla wysokich mocy pobudzających autorzy obserwują poszerzenie i przesuwanie się w stronę niższych energii widma luminescencji, co wiąże z przejściem do reżimu luminescencji plazmy elektronowo-dziurowej. Uważam tę pracę za bardzo ciekawą.

Zastrzeżenia/uwagi:

- a) W odróżnieniu od pracy H2 tutaj autorzy mają świadomość, że wiązka elektronowa może zarówno grzać próbkę, jak i prowadzić do jej uszkodzeń i jest ta sprawa omawiana – OK.
 - b) Rys.5(a) może być mylący, bo to są chyba wyniki doświadczalne. Tylko przypisanie nazw odpowiednich modów jest z modelowania.
 - c) Szkoda, że dla słupka o średnicy $1,49\ \mu\text{m}$ nie porównano (tak jak dla największej próbki) wymodelowanych i zmierzonych położenia rezonansów.
 - d) Góra strony 9: „One can see in Figs. 5, 6(a) and 6(b) that the main maxima are blueshifted when the diameter of the microstructure decreases. The corresponding WGMs also shift toward higher energies.” Ale to pierwsze przesunięcie jest malutkie w porównaniu z przesunięciem określonych modów (opisanych danym indeksem). To nie może mieć nic wspólnego z przesuwaniem się modów rezonansowych ewidentnie związanym z wymiarem rezonatora.
 - e) Dół strony 9: „The formation of the EHP (electro-hole plasma) and many-body interactions leads to a renormalization of the band gap and to a spectral red-shift of the main emission with increasing excitation power”. To może być prawda, ale czy da się aby wykluczyć po prostu grzanie próbki i zmniejszanie przerwy?
- Prace H6-H8 mają głównie charakter technologiczno-aplikacyjny i demonstrować czynny udział habilitanta w ogólnoswiatowym wyścigu zmierzającym do konstrukcji wysokowydajnych, łatwych w produkcji i przyjaznych środowisku ogniw słonecznych.

Praca H6 opisuje konstrukcję ogniwa na bazie heterozłącza p-Si/ZnO_{NR}/ZnO:Al., gdzie ZnO_{NR} oznacza nanosłupki ZnO. Kontrolując pH roztworu prekursorów autorzy zmieniali rozmiar i gęstość nanosłupków. Dla pH=8 otrzymali najcieńsze i najgęściej upakowane słupki i to okazały się być warunki optymalne. Warstwę podkontaktową ZnO:Al otrzymywano metodą ALD. Uzyskano wydajność konwersji dla światła słonecznego równą 3,6%. Praca bardzo techniczna, ale interesująca i ważna z punktu widzenia zastosowań (stąd 14 cytowań).

Zastrzeżenia/uwagi do pracy H6:

- a) Na str. 177 napisano: „The large value of R_{sh} reduces the current flowing through the junction and reduces the value of V_{oc} ”. Tego kompletnie nie rozumiem – przecież w idealnym przypadku R_{sh} powinno być nieskończone, a R_s – zerowe!
- b) Na str. 177 podane są wartości zewnętrznej wydajności kwantowej (external quantum efficiency, EQE), zarówno w tekście, jak i na Rys. 5. Wartości te muszą być błędne, bo w jaki sposób EQE poniżej 0,04 % w całym zakresie widma może dać całkowitą wydajność konwersji równą 3,6% ? Ponadto w pracy H7 podawane wydajności kwantowe (EQE) sięgają 70-80% (!) dla podobnych ogniw (tyle, że z dodatkową warstwą ZnO).

- c) Tzw. współczynnik wypełnienia (fill factor, FF) dla próbki C, podany w Tabeli 3, jest też błędny – ja oszacowałem go na 59%, a nie 38%.
- d) W „Conclusions” niesłusznie użyto sformułowania „quantum efficiency” w odniesieniu do całkowitej energetycznej wydajności konwersji ogniwa (wydajności ogniwa słonecznego) równej 3,6%.

Praca H7 jest kontynuacją wyścigu o zwiększenie wydajności ogniw słonecznych. Zademonstrowano istotną poprawę wydajności poprzez dodatkową warstwę ZnO, otrzymywaną metodą ALD, przykrywającą nanosłupki ZnO_{NR}. Okazało się, że grubość tej warstwy jest bardzo istotna, także ze względu na jej wpływ na szorstkość powierzchni, a więc minimalizację współczynnika odbicia światła od powierzchni ogniwa. Po zoptymalizowaniu grubości tej warstwy uzyskano wydajność konwersji dla światła słonecznego równą 10,9%. Praca ważna z punktu widzenia zastosowań (47 cytowań).

Uwaga do pracy H7:

Interesujące jest, że obserwuje się tak wysoką wartość EQE. Przeliczając ze współczynnikiem odbicia otrzymuje się praktycznie IQE=100%. Czy to rzeczywiście jest aż tak dobrze?

Praca H8 jest dotychczasowym zwieńczeniem badań grupy, w której pracuje doktor Witkowski, zmierzających do zwiększenia wydajności ogniw p-Si/ZnO_{NR}. Pomysł, żeby zamiast ZnO, przykryć warstwę nanosłupków kryształem mieszanym ZnMgO, zaczerpnięty z pracy: Knutsen, K.E., Schifano, R., Marstein, E.S., Svensson, B.G., Kuznetsov, A.Y., 2013. „Prediction of high efficiency ZnMgO/Si solar cells suppressing carrier recombination by conduction band engineering”, *Phys. Status Solidi A* 210, 585–588, był już wcześniej przetestowany w pracy: R. Pietruszka et al., “Improved efficiency of n-ZnO/p-Si based photovoltaic cells by band offset engineering”, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 147 (2016)164–170, gdzie uzyskano wydajność 7,1%. W pracy H8, dzięki dalszym optymalizacjom udało się osiągnąć wydajność konwersji dla światła słonecznego równą 14%. Praca (z 2017 r.) ma już 10 cytowań.

Uwagi do pracy H8:

- a) Nie rozumiem Rys. 4b – jak przy kącie padania wiązki światła $\phi = 90^\circ$ można mieć taki sygnał? Czy nie powinien on spaść do zera?
 - b) Na końcu strony 1286 autorzy piszą, że zmierzone przez nich wydajności ogniw (do 14 %) są najwyższymi raportowanymi dla ogniw opartych o heterozłącze ZnO/Si. Jest to nieprawda – w pracy H.Y. Chen et al., *Sci.Rep.* 6, 38486 (2016), którą autorzy cytują, zmierzona wydajność wynosiła 15,8%.
- Wreszcie praca H9 – przegląd opisujący potencjalne zastosowania nanosłupków tlenku cynku. Dobrze, że habilitant pobierał informacje zawarte w tym artykule, ale oprócz samego zbierania nie widać specjalnie żadnej wartości dodanej... Nie podoba mi się ta praca - jest to sucha wyliczanka kolejnych osiągnięć, w czym trudno się dopatrzeć jakiegos logicznego wywodu. Nie bardzo to pomaga w zrozumieniu opisywanych zagadnień... W zasadzie nie ma tu fizyki. Poza tym nie ma tu logicznego porządku. Jeśli chciałoby się tu znaleźć jakąś konkretną informację, jest to bardzo trudne! Bardzo utrudnia czytanie praktyczny brak rysunków oraz całkowity brak tabel. Jeśli chodzi o tabele, to przy takim natłoku szczegółowych informacji aż się prosi, żeby za ich pomocą porównywać jakieś parametry opisywanych urządzeń, techniki ich otrzymywania, zalety i wady etc. Wydaje mi się, że znacznie bardziej pożyteczne byłoby stworzenie bazy danych o tych urządzeniach, bazy w której można byłoby stosować jakieś kwerendy. Habilitant ma już udany epizod tworzenia bazy danych zawierającej wyniki symulacji rozciągania białek.

Podsumowując w kilku punktach główne wyniki prac H1-H7 można napisać, że:

- ✓ Zademonstrowano możliwości wzrostu bardzo wysokiej jakości epitaksjalnych nanosłupków ZnO za pomocą niskotemperaturowej metody hydrotermalnej.
- ✓ Przy użyciu takich technik jak SEM, CL, PL, TEM zbadano ich własności strukturalne i optyczne, co potwierdziło ich bardzo wysoką jakość.
- ✓ Zbudowano fotorezystywny detektor oparty na strukturze $\text{ZnON}_{\text{RZ}}/\text{Si}$ i wyjaśniono mechanizm fizyczny odpowiedzialny za jego działanie.
- ✓ Zaobserwowano i zbadano efekty rezonansowe (tzw. „whispering-gallery modes”) w heksagonalnych mikrorezonatorach w postaci pojedynczych nanosłupków ZnO.
- ✓ Pokazano ścieżkę prowadzącą do konstrukcji wydajnych (14%) i łatwych w produkcji fotoogniw opartych na heterostrukturach zawierających ZnO, w których nanostrukturyzacja ZnO (nanosłupki) istotnie wpływa na parametry tych przyrządów.

Uważam, że wyniki osiągnięte w ramach rozprawy habilitacyjnej doktora Bartłomieja Witkowskiego są znaczące i w związku z tym oceniam osiągnięcie naukowe habilitanta zatytułowane „*Rozwój technologii wzrostu, analiza właściwości optycznych nano/mikrosłupków ZnO oraz przykłady ich zastosowań w fotorezystorze i ogniwach fotowoltaicznych*” **zdecydowanie pozytywnie**, pomimo sformułowanych przeze mnie uwag/zastrzeżeń do poszczególnych prac.

3. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowych habilitanta i innych elementów jego działalności naukowo-badawczej, a także działalności organizacyjnej, dydaktycznej i popularyzatorskiej.

Na liście publikacji doktora Bartłomieja Witkowskiego, oprócz omawianych wcześniej prac H1 – H9, znajduje się jeszcze 109 prac ujętych w bazie Web of Science. Znaczna część dorobku naukowego habilitanta, nie związanego z tematem habilitacji dotyczy charakteryzacji materiałów i struktur metodami SEM, wraz z technikami towarzyszącymi – EDS (ang. Energy Dispersive Spectroscopy) i katodoluminescencją. Umiejętności doktora Witkowskiego w dziedzinie elektronowej mikroskopii skaningowej były wykorzystywane w badaniach takich materiałów jak nanoproszki z materiałów tlenkowych domieszkowane jonami ziem rzadkich, warstwy tlenków metali wytwarzanych metodą ALD – tutaj na szczególną uwagę zasługują badania katodoluminescencji warstw, które stały się drugą specjalnością habilitanta. Istotną częścią działalności naukowej wykraczającej poza ramy rozprawy habilitacyjnej doktora Witkowskiego jest niewątpliwie współpraca naukowa oparta na technologii wzrostu nanosłupków ZnO i wiążąca się z ich zastosowaniem w ogniwach fotowoltaicznych (inne prace, niż zaliczone do cyklu habilitacyjnego) i detektorach. Prace nieobjęte rozprawą mają około 1000 cytowań, średni w nich udział habilitanta wynosi kilkanaście procent. Wprawdzie większość prac habilitanta dotyczy ZnO, zaś znakomita większość angażowała go jako specjalistę od badań skaningowej mikroskopii elektronowej, to należy jednoznacznie stwierdzić, że wykraczający poza rozprawę dorobek naukowy doktora Witkowskiego jest imponujący zarówno pod względem różnorodności jak i liczby publikacji.

Z wykazu osiągnięć, przedstawionego przez doktora Bartłomieja Witkowskiego wynika ponadto, że:

- jest współautorem 12 polskich patentów,
- jest współautorem 8 zgłoszeń patentowych (w tym 2 w USA i 4 europejskich),

- był kierownikiem grantu NCN realizowanego w latach 2013-2015,
- był/jest wykonawcą w 20 projektach naukowo-badawczych/badawczo-rozwojowych,
- był członkiem zespołów nagradzanych ponad 30 razy nagrodami i medalami na Targach Innowacji i Wystawach Wynalazków,
- wygłosił 3 referaty zaproszone na konferencjach międzynarodowych oraz miał 4 wystąpienia ustne na konferencjach międzynarodowych,
- był członkiem komitetu organizacyjnego lub programowego 13 konferencji naukowych,
- od roku 2017 jest członkiem Zarządu Polskiego Towarzystwa Próżniowego,
- habilitant informuje także o dziesięciu sporządzonych przez siebie recenzjach publikacji w krajowych i zagranicznych czasopismach naukowych,
- w 2014 r. we współpracy z firmą Ertec (producent reaktorów hydrotermalnych wspomaganych mikrofalowo) uczestniczył w opracowaniu nowego typu reaktora o zmodyfikowanej komorze, który umożliwił wzrost nanosłupków ZnO na podłożach o wymiarach $5 \times 5 \text{ cm}^2$,
- W 2012 r. uczestniczył w budowie komory do pomiarów sensorowo-optycznych, która umożliwia monitorowanie właściwości elektrycznych w różnych otoczeniach gazowych oraz temperaturach do 300°C .

Doktor Bartłomiej Witkowski jest aktywnym dydaktykiem:

- Od szeregu lat (2014 do chwili obecnej) prowadził regularnie zajęcia dydaktyczne na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie. Były to zajęcia laboratoryjne takie jak: „Technologie Informacyjne”, „Pracownia informatyczna”, „Pracownia podstaw informatyki”, „II Pracownia fizyczna”, „Pracownia specjalistyczna I”.
- Recenzował 2 prace dyplomowe wykonywane na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego.
- Sprawował opiekę nad 4 pracami licencjackimi i 3 magisterskimi wykonywanymi na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym Uniwersytetu Kardynała Stefana Wyszyńskiego we współpracy z Instytutem Fizyki PAN.

Doktor Bartłomiej Witkowski był promotorem pomocniczym doktora Rafała Pietruszki w Instytucie Fizyki PAN (obrona odbyła się: 2 czerwca 2016) oraz jest promotorem pomocniczym mgr Agnieszka Pieniążek, także w Instytucie Fizyki PAN.

Zważywszy, że doktor Witkowski ukończył studia zaledwie 10 lat temu (!), należy stwierdzić, że jego dotychczasowe osiągnięcia naukowe są imponujące.

Niedosyt budzi tylko fakt, że doktor Witkowski w zasadzie nie ma żadnej aktywnej współpracy zagranicznej, nie odbył żadnego długoterminowego stażu zagranicznego, a odbył tylko 3 kilkudniowe wyjazdy badawcze, ostatni w roku 2011.

4. Wnioski końcowe i rekomendacja

Podsumowując: zarówno cykl prac stanowiących osiągnięcie naukowe będące podstawą wystąpienia doktora Bartłomieja Witkowskiego, jak i pozostałe elementy jego aktywności naukowo-badawczej, dydaktycznej i popularyzatorskiej oceniam zdecydowanie pozytywnie. Jedyne zastrzeżenie można mieć do trudnej do zauważenia naukowej współpracy zagranicznej

habilitanta. Wydaje mi się, że sytuacja wyglądałaby znacznie lepiej, gdyby doktor Witkowski odbył po doktoracie długoterminowy staż zagraniczny.

Niniejszym uważam więc, że spełnione są warunki określone w ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (tekst jednolity - Dz. U. 2017 r. poz. 1789) dla osób ubiegających się o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego i wnioskuję o dopuszczenie dra Bartłomieja Witkowskiego do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'M. B.' or similar, located at the end of the text.