

Dr hab. inż. Bogusław Mendala prof. PŚ
Katedra Technologii Materiałowych
Wydział Inżynierii Materiałowej
Politechnika Śląska
ul. Krasińskiego 8
40-019 Katowice

Katowice, 6.09.2023 r.

RECENZJA

osiągnięcia naukowego, istotnej aktywności naukowej, współpracy z otoczeniem społecznym i gospodarczym oraz informacji naukometrycznych, a także osiągnięć dydaktycznych i organizacyjnych, opracowana w celu przeprowadzenia postępowania habilitacyjnego Pana dra Grzegorza Wisza w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa.

Podstawa prawna opracowania recenzji:

Recenzja została wykonana na podstawie pisma Prorektora ds. Kolegium Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Rzeszowskiego prof. dr hab. Idalii Kasprzyk i uchwały Rady Naukowej Kolegium Nauk Przyrodniczych Uniwersytetu Rzeszowskiego nr 168/06/2023 z dnia 16 czerwca 2023 r. oraz decyzji Rady Doskonałości Naukowej nr DRKN.Z2.400.49.2023 z dnia 31 maja 2023 roku, w sprawie powołania Komisji habilitacyjnej w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego dr Grzegorzowi Piotrowi Wiszowi, na podstawie dokumentacji składającej się z: wniosku przewodniego, kopii dyplomu doktora nauk fizycznych, danych wnioskodawcy, autoreferatu, wykazu osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej Inżynieria Materiałowa, zgodnie z art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r., poz. 478 z późn. zm.). Wymienione dokumenty zostały dostarczone w wersji papierowej i wersji elektronicznej, na załączonym pendrive.

Dokumentacja nie zawiera kopii publikacji naukowych wchodzących w skład cyklu prac powiązanych tematycznie, **jak również nie zawiera kopii oświadczeń współautorów publikacji dotyczących ich udziału w pracach naukowych**, (...*W przypadku prac dwu- lub wieloautorskich zaleca się złożenie oświadczenia przez habilitanta oraz współautorów wskazujące na ich merytoryczny (a NIE procentowy) wkład w powstanie każdej pracy*).

1. Dane charakteryzujące Habilitanta

Dr Grzegorz Wisz jest absolwentem Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Rzeszowie, gdzie studiował na kierunku Fizyka. Dyplom magistra fizyki uzyskał w 1994 roku broniąc pracę dyplomową zrealizowaną pod kierunkiem prof. dra hab. Eugeniusza Szeregija, pt. „Parametry struktury pasmowej roztworów stałych ZnCdHgTe ”. Po studiach został zatrudniony na stanowisku asystenta w Zakładzie Fizyki Ciała Stałego Instytutu Fizyki Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Rzeszowie. W 1995 roku Habilitant rozpoczął na macierzystej Uczelni studia podyplomowe Informatyka, które ukończył w 1998 roku. Swoje kwalifikacje zawodowe dr Grzegorz Wisz rozszerzył następnie w latach 2012-2013 podejmując kolejne studia podyplomowe na Wyższej Szkole Ekonomii i Innowacji w Lublinie z zakresu Menadżer Innowacji i Transferu Wiedzy, które ukończył z wyróżnieniem. Dyplom doktora nauk fizycznych w zakresie fizyki dr Grzegorz Wisz uzyskał w 2003 roku broniąc rozprawy doktorskiej pt. „Warunki wzrostu i własności półprzewodnikowe cienkich warstw $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ otrzymywanych metodą ablacji laserowej”, której promotorem był dr hab. Marian Kuźma. Przewód doktorski, otwarty w 1999 roku, prowadzony był na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym Uniwersytetu Rzeszowskiego.

Habilitant od początku swojej kariery zawodowej związany był z Wyższą Szkołą Pedagogiczną w Rzeszowie, jako asystent, a od 2001 roku z utworzonym Uniwersytetem Rzeszowskim, początkowo jako asystent, a następnie jako adiunkt. Od 2015 do 2019 roku pracował jako starszy wykładowca na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym, a w latach 2015 – 2021 był Dyrektorem Uniwersyteckiego Centrum Transferu Technologii. Następnie, od 2021 roku pracuje jako adiunkt w Uniwersytecie Rzeszowskim – Kolegium Nauk Przyrodniczych – Instytucie Inżynierii Materiałowej. Krótkookresowo był również zatrudniony na Politechnice Rzeszowskiej (4 miesiące, 2022 r.) i w Agencji Rozwoju Regionalnego MARR S.A., w ramach półrocznego stażu naukowego (VII-XII 2022 r.).

Analizując dorobek naukowy dra Grzegorza Wisza, po ukończeniu studiów – przed doktoratem, można stwierdzić, że jest on spójny, monotematyczny, zawiera 12 publikacji współautorskich, które zostały opublikowane w okresie od 1996 do 2003 w renomowanych czasopismach np. Applied Surface Science, Thin Solid Films, Functional Materials, Molecular Physics Report i Materials Science and Engineering B.

Podsumowaniem Jego działalności naukowej w tym okresie jest rozprawa doktorska.

Po nadaniu stopnia doktora Habilitant opublikował 46 artykułów naukowych w czasopismach z listy JCR, z czego 20 z nich posiada wskaźnik IF. **Spośród publikacji powstałych po uzyskaniu stopnia doktora 15 zostało wybranych, jako główne osiągnięcie**

naukowe, powstały one w latach 2017 do 2023. Wszystkie publikacje przedstawionego cyklu są współautorskie, w 7 z nich dr Grzegorz Wisz występuje jako pierwszy autor, w pozostałych 8 autorem wiodącym jest Pani dr inż. Paulina Sawicka-Chudy, współpracownik i doktorantka Habilitanta (promotor pomocniczy), która jest jednocześnie autorem korespondencyjnym w 11 z wymienionych publikacji, natomiast Habilitant jest takim autorem tylko w 2 publikacjach.

Biorąc pod uwagę realizowaną tematykę można stwierdzić, że działalność naukowa dra Grzegorza Wisza jest skoncentrowana na procesach inżynierii materiałowej, a dokładnie inżynierii powierzchni i związana jest z wytwarzaniem oraz charakteryzowaniem cienkich warstw półprzewodnikowych osadzanych, z wykorzystaniem zaawansowanych technologii PVD. Powłoki tego typu, ze względu na swoje właściwości, znajdują również zastosowanie jako struktury fotowoltaiczne. Pan dr Grzegorz Wisz ma duży wkład w rozwój bazy aparaturowej uruchomionej w Pracowni Technologii Pokryć Ochronnych, jest głównym operatorem rozbudowanego stanowiska - modularnej platformy, do osadzania powłok metodą PVD.

Po doktoracie Habilitant w istotny sposób powiększył swój dorobek naukowy, w tym przede wszystkim w zakresie wieloautorskich publikacji w czasopismach z listy JCR, patentów i zgłoszeń patentowych, które powstały w oparciu o specjalistyczną, laboratoryjną aparaturę technologiczną.

2. Ocena osiągnięcia naukowego

Pan dr Grzegorz Wisz przedstawił do oceny jako główne osiągnięcie naukowe, będące jedną z podstawowych części dorobku naukowego w celu uzyskania stopnia doktora habilitowanego, cykl 15 publikacji powiązanych tematycznie, któremu nadał tytuł: *„Kształtowanie warunków wzrostu oraz parametrów cienkowarstwowych struktur fotowoltaicznych na bazie tlenku tytanu, tlenku cynku i tlenku miedzi”*. Na przedstawiony cykl składają się prace opublikowane w latach 2017 do 2023 (2017 – 1, 2018 – 3, 2019 – 4, 2020 – 1, 2021 – 2, 2022 – 2 i 2023 – 2), wszystkie publikacje są pracami zespołowymi, wieloautorskimi, gdzie minimalna ilość współautorów to 5 (poz. H1, H4), a maksymalna nawet 11 (poz. H15). Recenzent nie czyni z tego powodu zarzutu, nie uważa też takiej sytuacji w żadnym stopniu za negatywną. W przypadku prac technologicznych, wymagających niejednokrotnie szerszego podejścia naukowego i wieloosobowego zespołu badawczego jest to jak najbardziej uzasadnione i zrozumiałe. Uwaga dotyczy jedynie pewnej statystyki, dokonanej w tym akapicie.

Jako niezależną część osiągnięcia dr Grzegorz Wisz przedstawił do oceny również dwa patenty przyznane przez Urząd Patentowy w Rzeczypospolitej Polskiej dotyczące wynalazków pt.: „Sposób wytwarzania powłoki ditlenku tytanu modyfikowanego srebrem i azotem oraz powłoka wytworzona tym sposobem” i „Ogniwo fotowoltaiczne oraz sposób wytwarzania ogniwa fotowoltaicznego”, oba przyznane w 2022 roku.

Trzecią częścią, określoną przez Habilitanta jako osiągnięcie konstrukcyjno-technologiczne jest ...”stworzenie profesjonalnej bazy aparaturowej obejmującej platformę PVD do wytwarzania cienkich warstw w warunkach wysokiej próżni”.

Zaangażowanie w budowę urządzenia, jego uruchomienie jak również pozycja głównego operatora i opiekuna technicznego jest bardzo istotna dla działań i prac prowadzonych w Pracowni Technologii Pokryć Ochronnych, co znalazło również uznanie Władz Uczelni w postaci przyznanej w 2017 roku nagrody JM Rektora Uniwersytetu Rzeszowskiego za wkład wniesiony w rozwój infrastruktury badawczo-rozwojowej Uczelni.

Biorąc jednak pod uwagę zapisy ustawy, a dokładnie art. 219 ust. 1 pkt 2 a-c, osiągnięcie naukowe stanowiące znaczny wkład w rozwój dyscypliny to: monografia naukowa lub cykl powiązanych tematycznie publikacji naukowych lub jedno zrealizowane osiągnięcie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne lub artystyczne. Dlatego ocenie, jako główne osiągnięcie naukowe Habilitanta będzie podlegać cykl 15 publikacji naukowych, natomiast pozostałe tj. patenty i osiągnięcie konstrukcyjno-technologiczne stanowią inną aktywność naukową i organizacyjną Pana dra Grzegorza Wisza.

Habilitant stwierdza w autoreferacie, że materiały półprzewodnikowe, którymi zajmuje się od początku swojej działalności, stanowią podstawę konstrukcyjną większości urządzeń elektronicznych, a inżynieria materiałowa daje podstawy technologiczne do tworzenia nowych materiałów funkcjonalnych, w tym kompozytowych, o zadanych i modyfikowalnych właściwościach. Początkowo dr Grzegorz Wisz zajmował się zagadnieniami związanymi z kształtowaniem warunków wzrostu oraz wytwarzaniem i charakteryzowaniem cienkich warstw/powłok materiałów z grupy $A_{II}B_{VI}$. W tym celu wykorzystywał technologię impulsowego osadzania, rozbudował i zmodernizował stanowisko do osadzania powłok metodą PLD (Pulsed Laser Deposition). Zajmował się wtedy między innymi modyfikacją parametrów wiązki Lasera YAG:Nd³⁺ i rozbudową układu o laser ekscymerowy oraz modernizacją systemu pompowego. Po obronie doktoratu dr Grzegorz Wisz zainteresował się materiałami znajdującymi zastosowanie w fotowoltaice, początkowo wytwarzając wielowarstwowe struktury typu CdS/CdTe (n-p), a następnie podjął tematykę związaną

z materiałami organicznymi i hybrydowymi organiczno-nieorganicznymi. Analiza światowych trendów, jak również własne doświadczenia ukierunkowały Jego aktualnie prowadzone badania na półprzewodnikowe warstwy tlenkowe. Habilitant zajmuje się kształtowaniem warunków wytwarzania i wzrostu oraz optymalizacją właściwości cienkowarstwowych struktur fotowoltaicznych na bazie tlenku tytanu, tlenku cynku oraz tlenku miedzi. Wszystkie publikacje przedstawione do oceny cyklu dotyczą właśnie tego typu materiałów, stosowanych jako układy cienkowarstwowe i mających zastosowanie w ogniwach fotowoltaicznych.

Zasadniczą motywacją Habilitanta do podjęcia tego kierunku prac i badań było między innymi wyznaczenie teoretycznej sprawności dla ogniw TiO_2/CuO przekraczającej 20%, dostępność oraz względnie niskie koszty tytanu i miedzi, a także brak ich negatywnego wpływu na środowisko i organizmy żywe.

Obecnie najwyższe sprawności odnotowane dla jednozłączowych cienkowarstwowych ogniw słonecznych opartych na a-Si, CdTe i CIGS (Cu-In-Ga-Se) wynoszące odpowiednio 10,2%, 21,0% i 23,35% są porównywalne z uzyskiwanymi przez Habilitanta, opartymi na materiałach tlenkowych.

Z tego względu ogniwa słoneczne na bazie tlenków metali cieszą się obecnie dużym zainteresowaniem wielu grup badawczych, nie tylko w Polsce, a badania prowadzone przez dra Grzegorza Wisza uważam za ważne dla rozwoju dyscypliny Inżynieria materiałowa w aspekcie budowy cienkowarstwowych struktur fotowoltaicznych.

Opisując swój wkład w powstanie publikacji zestawionych w cykl monotematyczny dr Grzegorz Wisz stwierdza, w sposób ogólny, że Jego autorskim wkładem w każdą z prezentowanych prac było między innymi:

1. tworzenie bądź współtworzenie koncepcji i planu pracy,
2. koordynacja i planowanie eksperymentów,
3. dobór parametrów procesowych, wytwarzanie poszczególnych warstw i struktur z wykorzystaniem zbudowanej aparatury,
4. udział w badaniach i analizie uzyskanych wyników,
5. kształtowanie i optymalizacja warunków wzrostu oraz parametrów struktur fotowoltaicznych na bazie tlenku tytanu, tlenku cynku i tlenku miedzi,
6. W odniesieniu do prac H2, H4 oraz H8 dotyczących modelowania numerycznego autorskim wkładem było dookreślenie założeń, warunków wejściowych oraz zakresów zmian parametrów, dla których prowadzono symulacje, a także udział w analizie, interpretacji i praktycznej weryfikacji uzyskanych wyników.

Tak sformułowany i esencjonalny zakres autorskiego wkładu w powstanie publikacji cyklu niestety powoduje, że odnosi się wrażenie, iż ogranicza się on głównie do działań technicznych, związanych z osadzaniem powłok metodą PVD, w mniejszym stopniu dotyczy aspektów naukowych, które zostały opisane dość ogólnikowo.

Ponadto Habilitant stwierdza, że „...w pracach od H2 do H9 nie jest pierwszym współautorem, ponieważ powstawały one w okresie przed otwarciem przewodu doktorskiego i w trakcie trwania przewodu doktorskiego Pani dr inż. Pauliny Sawickiej-Chudy, w którym pełnił funkcję promotora pomocniczego i zgodnie z ogólnie przyjętymi zasadami Ona była w tym okresie pierwszym autorem wspomnianych prac” ???

W związku z powyższym bardzo trudno jest określić wkład Habilitanta w powstanie poszczególnych publikacji przedstawionego cyklu. Jak się wydaje wkład ten powinien być dominujący, istotny jest zakres badań i prac wykonywanych samodzielnie – indywidualnie - autorskich. Wykonywanie działań koncepcyjnych, technologicznych, badawczych jak i analitycznych z pewnością w każdej z publikacji było inne i różne, dlatego ustawodawca zalecił w przypadku prac zespołowych złożenie oświadczeń współautorów o ich indywidualnym udziale w powstaniu konkretnej publikacji. Co prawda w zał. nr 4 – wykaz osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria materiałowa dr Grzegorz Wisz określa Jego wkład w powstanie każdej z publikacji, jednak nie jest on potwierdzony przez współautorów, szczerze mówiąc schematyczny i bardzo ogólny, nie uwzględniający tematyki pracy.

Recenzent zakłada, że publikacje przedstawionego cyklu zostały, w znacznej większości, opracowane ze znacznym udziałem Habilitanta, jednak wystąpi z wnioskiem o uzupełnienie dokumentacji o podpisane oświadczenia współautorów.

W zamieszczonym w autoreferacie streszczeniu publikacji dr Grzegorz Wisz już nie odnosi się do celu/celów prowadzonych badań, jak również nie opisuje, nie uwypukla, co było istotnym osiągnięciem i jaki był w nim Jego udział. Moim zdaniem słabo zostały wyartikulowane indywidualne osiągnięcia Habilitanta, dotyczące inżynierii materiałowej.

Dla przedstawionego cyklu publikacji dokonałem zestawienia czasopism w których opublikowano prace, podałem ich Impact Faktor, punktację zgodną z listą Ministerstwa Edukacji i Nauki oraz liczbę ich cytowani wg JCR, na dzień sporządzania recenzji.

Zestawienie prac cyklu: [H1 (Nanoscale Research Letters, 2017 r. – 35 pkt., IF: 3,125, cyt. 74x), H2 (Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics, 2018 r. – 15 pkt., IF: 0,989, cyt. 7x), H3 (Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics, 2018 r. – 15 pkt., IF: 0,989, cyt.

6x), **H4** (Journal of Physics. Conference Series 1033, 2018 r. cyt. 39x), **H5** (Archives of Metallurgy and Materials, 2019 r. – 40 pkt., IF: 0,586, cyt. 4x), **H6** (Optik, 2019 r. – 40 pkt., IF: 2,187, cyt. 9x), **H7** (AIP Advances, 2019 r. – 70 pkt., IF: 1,337, cyt. 15x), **H8** (Materials Research Express, 2019 r. – 70 pkt., IF: 1,929, cyt. 37x), **H9** (Optik, 2020 r. – 40 pkt., IF: 2,187, cyt. 4x), **H10** (Materials Today: Proceedings 2021 r. cyt. 6x), **H11** (Opto-Electronics Review, 2021 r. – 100 pkt., IF: 2,489, cyt. 5x), **H12** (Nanomaterials, 2022 r. – 100 pkt., IF: 5,076, cyt. 3x), **H13** (Applied Materials Today, Volume 29, 2022 r. – 140 pkt., IF: 8,663; cyt. 5x), **H14** (Coatings 2023 r. – 100 pkt., IF: 3,236; cyt. 2x), **H15** (Appl. Sci. 2023 r. – 100 pkt., IF: 2,838; cyt. 0x). Pozycje **H4** i **H10** nie mają IF.

Pierwsza publikacja cyklu [**H1** - Structural, Optical and Electrical Properties of Zinc Oxide Layers Produced by Pulsed Laser Deposition Method]. Badania Habilitanta w niej opisane dotyczyły analizy właściwości otrzymanych warstw ZnO w zależności od energii wiązki laserowej, czasu osadzania oraz temperatury podłoża. Warstwy wytwarzano z wykorzystaniem lasera YAG: Nd³⁺, którego wiązkę ogniskowano na powierzchni targetu ze sprasowanego proszku ZnO. Analizowano wpływ temperatury podłoża na budowę i właściwości osadzanych warstw. Zaobserwowano zmianę sposobu wzrostu warstwy ZnO, **który dla temperatury podłoża o wartości 200°C miał charakter planarny, natomiast dla temperatury 300°C charakter kolumnowy** z preferowanym kierunkiem wzrostu w kierunku osi c struktury heksagonalnej. Stwierdzono, że zmiana struktury warstwy pociąga za sobą zmianę jej właściwości optycznych i elektrycznych.

Wytworzone warstwy były transparentne w widzialnym zakresie widma, wykazując średnią transmitancję pomiędzy 30 a 70% oraz wyraźną krawędź absorpcji w okolicach 350 nm. Stwierdzono wzrost wartości przerwy wzbronionej wraz ze wzrostem temperatury podłoża w zakresie 3.3 – 4.19 eV. **W oparciu o analizy charakterystyk prądowo napięciowych dla ogniw krzemowych z wytworzoną w temperaturach 200°C i 300°C warstwą ZnO, zaobserwowano wzrost sprawności fotowoltaicznej.** Dr Wisz, w podsumowaniu pracy stwierdza, że zastosowanie metody PLD pozwala na uzyskiwanie w układach fotowoltaicznych warstw tlenku cynku o zadowalającej jakości, których struktura i jakość jest uzależniona od temperatury podłoża. **Szkoda, że w autoreferacie Habilitant nie podjął dyskusji, a jedynie przedstawił wyniki badań - streścił publikację.**

Wyniki badań teoretycznych oparte na modelowaniu numerycznym oraz eksperymentalnych dla wytworzonej struktury TiO₂/Cu₂O opisano w pracy [**H2** - Numerical Simulation and Analysis of Experimental TiO₂/Cu₂O Thin Film for Photovoltaic Structures]. Modelowanie przeprowadzono z wykorzystaniem oprogramowania SCAPS-1D dla

pozbawionej defektów struktury n-TiO₂/p-Cu₂O o założonych grubościach warstw 200 nm (TiO₂) i 400 nm (Cu₂O), dla której wyznaczono teoretyczną sprawności wynoszącą $\eta=7,71\%$. **Wyniki tych badań porównano z rzeczywistą strukturą TiO₂/Cu₂O, o identycznej budowie (200/400 nm) wytworzoną z wykorzystaniem techniki stałoprądowego reaktywnego rozpylania magnetronowego, dla której dr Grzegorz Wisz dobrał parametry procesu technologicznego, podane w pracy.** Wytworzone warstwy Cu₂O charakteryzowały się niejednorodną strukturą i znaczną ilością defektów, nie przepuszczały też promieniowania i wykazywały się niskim współczynnikiem odbicia w zakresie 800-2800 nm, silnie absorbując promieniowanie o długościach fali poniżej 2800 nm. Uzyskane widmo transmisji dla tlenku tytanu i średnia optyczna transparentność na poziomie 70% w zakresie 800-2500 nm są porównywalne z publikowanymi danymi literaturowymi. **Stwierdzono, że parametry fotowoltaiczne dla wytworzonej struktury znacząco odbiegały od tych uzyskanych w wyniku symulacji, nie udało się również wyznaczyć jej sprawności, co jak stwierdza Habilitant, stanowi motywację do dalszych prób technologicznych.**

W pracy [H3 - TiO₂ Grown by Pulsed Laser Deposition and Reactive DC Direct Current Sputtering as an Intermediate Buffer Layer in Photovoltaic Structures] dokonano porównania własności warstw TiO₂ wytworzonych metodą stałoprądowego reaktywnego rozpylania magnetronowego oraz impulsowego osadzania laserowego (PLD), w kontekście możliwości wykorzystania tych warstw w cienkowarstwowym strukturach fotowoltaicznych.

Warstwy osadzano na podłożu szklanym i krzemowym, stosując temperaturę podłoża równą 150°C dla źródła magnetronowego (target Ti) i temperaturę otoczenia dla metody PLD (target TiO₂). Stwierdzono, że widma optyczne zmierzone dla warstw otrzymanych różnymi metodami wykazywały zasadniczą różnicę. W obszarze 800-2500 nm warstwa uzyskana metodą rozpylania magnetronowego wykazywała średnią transmisję na poziomie 70 %, natomiast warstwa uzyskana metodą PLD 15%. **W obu przypadkach warstwy stają się nieprzezroczyste dla długości fal poniżej 300 nm. Jedynie widmo dla warstwy TiO₂ uzyskanej metodą rozpylania magnetronowego odpowiadało wynikom wcześniej raportowanym w literaturze.** Wyznaczone w obu przypadkach przerwy wzbronione 3,4 eV dla osadzania magnetronowego oraz 3,6 eV dla PLD wykazywały wartości wyższe niż te raportowane w literaturze. **Dyskusja przeprowadzona w pracy [H3] doprowadziła do wniosku, że ze względu na właściwości optyczne do zastosowań w strukturach fotowoltaicznych preferowana jest metoda reaktywnego stałoprądowego rozpylania magnetronowego. Warstwy uzyskane tą metodą charakteryzowały się również mniejszą chropowatością.**

Poszerzone badania teoretyczne przeprowadzone z wykorzystaniem oprogramowania SCAPS (Solar Cell Capacitance Simulator) [H4 - Numerical analysis and optimization of $\text{Cu}_2\text{O}/\text{TiO}_2$, CuO/TiO_2 , heterojunction solar cells using SCAPS] pozwoliły na określenie potencjału technologicznego struktur opartych na tlenku tytanu i tlenku miedzi oraz wyznaczenie kierunków dalszych prac eksperymentalnych. Wykorzystując dostępne dane literaturowe przeprowadzono modelowanie i symulacje pozwalające na wyznaczenie zależności gęstości prądu zwarcia J_S oraz sprawności od grubości poszczególnych niezdefektowanych warstw, w zakresach 0,1 - 0,6 μm dla TiO_2 i 1,0 - 10,0 μm dla Cu_2O i CuO . Stwierdzono, że zwiększanie grubości warstwy TiO_2 powyżej 0,3 μm nie zmienia znacząco sprawności struktury CuO/TiO_2 oraz $\text{Cu}_2\text{O}/\text{TiO}_2$.

Przyjmując zoptymalizowane grubości warstwy tlenku tytanu na poziomie 0,3 μm oraz warstwy tlenku miedzi na poziomie 4 μm wyznaczono teoretyczne sprawności, które odpowiednio wyniosły: 22,65% dla struktury CuO/TiO_2 oraz 9,48% dla struktury $\text{Cu}_2\text{O}/\text{TiO}_2$.

Sposób wytworzenia oraz właściwości warstw tlenku miedzi osadzonych na podłożu szklanym i krzemowym z wykorzystaniem stałoprądowego reaktywnego rozpylania magnetronowego opisano w pracy [H5 - Optical and Structural Properties of Cu_2O thin Film as Active Layer in Solar Cells Prepared by DC Reactive Magnetron Sputtering]. Wyniki badań własnych oraz dane literaturowe pozwoliły Habilitantowi na określenie parametrów procesowych osadzania warstw tlenku miedzi. **Przeprowadzone badania pozwoliły na wyciągnięcie wniosków, że zmniejszenie dystansu pomiędzy podłożem a targetem prowadzi do zwiększenia niejednorodności warstwy tlenku miedzi oraz liczby występujących w niej defektów punktowych, a niższe ciśnienie w komorze reakcyjnej prowadzi do osadzania warstw o wyższym stopniu krystalizacji.** Badania widm transmisji wykonane w przedziale 350 do 3000 nm wykazały wyraźne różnice własności optycznych warstw P1 i P2 w przedziale 500-1500 nm, a wyznaczona przerwa wzbroniona dla warstwy P1 o wartości 2,04 eV była porównywalna z wynikami prezentowanymi w literaturze dla warstw tlenku miedzi wytwarzanych metodą rozpylania magnetronowego.

Wyniki wykorzystane w pracy [H5] pozwoliły na wskazanie optymalnych parametrów takich jak moc magnetronu na poziomie 80 W oraz stosunek wielkości strumieni gazów $\text{O}_2:\text{Ar}$ na poziomie 3:2, dla których otrzymano warstwy tlenku miedzi o pożądanej budowie i jakości optycznej. Ustalono także szacunkowe prędkości wzrostu warstw oraz wskazano na konieczność zachowania właściwego dystansu pomiędzy

podłożem a źródłem, który dla systemu wykorzystującego jednocalowy magnetron wynosił ok. 58 mm.

W kolejnej pracy [H6 - Optical and structural properties of TiO_2 as intermediate buffer layer prepared by DC reactive magnetron sputtering for solar cells] zastosowano jak poprzedni metodę magnetronową do wytworzenia warstw tlenku tytanu. Przedmiotem rozważań omawianej pracy były cztery warstwy wytworzone przy zmienianych parametrach procesu, z wykorzystaniem targetu Ti. Dokonano charakterystyki warstw z wykorzystaniem skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM), badając ich morfologię powierzchni i mikrostrukturę na przełomach poprzecznych. **Stwierdzono, że już niewielka zmiana mocy magnetronu (z 110 na 120 W) i odległości podłoża od źródła zmienia charakter wzrostu warstwy i wpływa na morfologię powierzchni.**

Zagadnienia te są znane i opisane w literaturze przez Mowczana i Demcziszina, Thorthona czy Messiera, którzy opracowali modele struktur powłok osadzanych metodami PVD w zależności od: odległości, temperatury, ciśnienia i energii jonów.

W przypadku warstw P2 i P4 Habilitant stwierdził, że posiadają one wyraźną strukturę warstwową - pasmową, a warstwa P2 posiada w strukturze regularnie rozmieszczone pory. Dla próbki P1, obserwowano kolumnowy charakter wzrostu, **czego niestety nie można potwierdzić na mikrostrukturze próbki P1.**

Dr Grzegorz Wisz uważa, że w odniesieniu do warstw TiO_2 rozpraszanie światła jest prawdopodobnie głównym mechanizmem wychwytywania światła ze względu na fakt, iż jest to materiał o słabej absorpcji światła.

W oparciu o widma transmisji określono przerwy wzbronione dla każdej z wytworzonych warstw P1-P4, a uzyskane wyniki pozwoliły na dobór parametrów: jak moc magnetronu na poziomie 110 W, temperaturę podłoża 473 K oraz wartości i stosunek przepływu gazów $\text{O}_2:\text{Ar}$ na poziomie 1:2,7, dla których otrzymano kolumnowy wzrost warstwy tlenku tytanu o wysokim współczynniku transmisji optycznej. **W podsumowaniu Habilitant stwierdza, że parametry procesu ustalone w omawianej pracy będą stanowić punkt wyjścia do wytwarzania docelowych struktur $\text{TiO}_2/\text{Cu}_2\text{O}$.**

W oparciu o wcześniej uzyskane dane eksperymentalne oraz symulacje numeryczne w pracy [H7 - Characteristics of TiO_2 , Cu_2O and $\text{TiO}_2/\text{Cu}_2\text{O}$ thin films for application in PV devices] podjęto badania nad wytwarzaniem struktur warstwowych $\text{TiO}_2/\text{Cu}_2\text{O}$ osadzanych metodą magnetronową etapowo, najpierw z targetu Ti i następnie z targetu Cu. **Habilitant w autoreferacie nie używa określenia jakie było stosowane w publikacji H7, gdzie mówi się o procesie dwuetapowym – „a two-step proces” natomiast posługuje się pojęciem**

kombinacji i oznaczeniem A1B1.., w odniesieniu do struktur/powłok dwuwarstwowych. W publikacji H7, do której recenzentowi udało się dotrzeć, zamieszczony jest schemat ukazujący budowę dwuwarstwową, którego w autoreferacie niestety nie wykorzystano.

Dla wytworzonych warstw analizowano morfologię powierzchni, mikrostrukturę, widma optyczne oraz charakterystyki prądowo napięciowe. Stwierdzono, że budowa kolumnowa warstw tlenku miedzi nie zależy jedynie od parametrów procesowych związanych z ich osadzaniem, ale wpływają na nie także właściwości powierzchniowe warstwy tlenku tytanu, tworzące specyficzne warunki startowe inicjujące dany tryb wzrostu.

Niestety, Habilitant streszcza publikację H7, zamieszcza w autoreferacie dużą ilość wyników badań, natomiast nie podejmuje dyskusji naukowej, nie wskazuje też co jest Jego osiągnięciem. W opisach pojawia się tryb bezosobowy stosowany w raportach i publikacjach.

Publikacja [H8 - Simulation of TiO_2/CuO solar cells with SCAPS-1D software] jest kolejną po [H2] i [H4] pracą Habilitanta poświęconą analizie parametrów struktur fotowoltaicznych na bazie tlenku tytanu i tlenku miedzi w oparciu o modelowanie numeryczne z wykorzystaniem oprogramowania SCAPS-1D. W pracy tej analizowano wpływ: temperatury, gęstości stanów dla interfejsu, pracy wyjścia dla różnych metali, efektu pułapkowania elektronów i dziur na granicy warstw oraz gęstości stanów donorowych ND dla tlenku tytanu i akceptorowych NA dla tlenku miedzi.

Analizując zależność charakterystyk prądowo napięciowych od rodzaju materiału użytego jako kontakt przeprowadzono symulację z uwzględnieniem metali o różnych pracach wyjścia, stwierdzono, że materiały styków mają istotny wpływ na sprawność urządzenia. **Najlepsze sprawności uzyskano dla przypadku zastosowania elektrod platynowych charakteryzujących się najwyższą pracą wyjścia. Zauważono, że wraz ze wzrostem pracy wyjścia metalu rośnie wartość napięcia układu otwartego, a tym samym sprawność ogniwa.**

W ostatnim akapicie streszczenia pracy [H8] Habilitant stwierdza, że zdecydowanie większą efektywność posiadają struktury TiO_2/CuO (22,4%) w porównaniu ze strukturami $\text{TiO}_2/\text{Cu}_2\text{O}$ (13,7%). Ukazano, że wydajność ogniw n- TiO_2 /p-CuO można zwiększyć poprzez zapewnienie optymalnej gęstości stanów i poziomu domieszkowania dla warstwy CuO typu p oraz zastosowanie tylnego kontaktu o wysokiej pracy wyjścia.

Praca [H9 - Performance improvement of TiO_2/CuO by increasing oxygen flow rates and substrate temperature using DC reactive magnetron sputtering method] jest kontynuacją opublikowanych badań dotyczących kształtowania warunków wzrostu warstw tlenku tytanu

i tlenku miedzi w celu uzyskania poprawy sprawności struktur fotowoltaicznych typu TiO_2/CuO . Do osadzania warstw o przeznaczeniu jako ogniwo fotowoltaiczne zastosował metodę stałoprądowego reaktywnego rozpylania magnetronowego. **W autoreferacie dokonał streszczenia ww. pracy.** Jak stwierdził, dobrane parametry procesowe nie zapewniły jednak uzyskania warstw o wymaganych własnościach, wykazano skłonność do rozwarstwiania i pękania na granicach rozdziału warstw. **Wykorzystując wzór Scherrera oszacowano wielkość krystalitów tlenku miedzi, która wynosiła ~22 i 17 nm.**

Szkoda, że Habilitant nie podejmuje szerszej dyskusji wyników, stwierdza jedynie, że zwiększenie temperatury podłoża oraz przepływu gazu reaktywnego pozwoliło na uzyskanie struktury TiO_2/CuO wykazującej wyraźny efekt fotowoltaiczny. Zidentyfikowana w strukturze faza tlenku miedzi II potwierdza wyniki modelowania numerycznego wskazujące na wyższą sprawność ogniw TiO_2/CuO w stosunku do ogniw $\text{TiO}_2/\text{Cu}_2\text{O}$.

W kolejnej pracy przedstawionego cyklu [H10 - $\text{TiO}_2/\text{Cu}_2\text{O}$ heterojunctions for photovoltaic cells application produced by reactive magnetron sputtering] Habilitant badał wpływ odległości podłoże-target na właściwości warstw tlenku miedzi, a także nowe strategie dotyczące wykonania kontaktów. **Nowe podejścia dotyczące sposobu wykonania kontaktów polegały na zastosowaniu napyłanych warstw złota (tylny kontakt), zastosowaniu złotego drutu klejonego do warstwy tlenku miedzi (tylny kontakt) i warstwy ITO (przedni kontakt) oraz zastosowaniu kontaktów lutowanych indem.** Dr Grzegorz Wisz stwierdza jednak, że metalizacja powierzchni tlenku miedzi w celu poprawy własności tylnego kontaktu nie przyniosła oczekiwanego rezultatu. Także lutowanie kontaktów z wykorzystaniem spoiwa z indu nie sprawdziło się w odniesieniu do rozważanych ogniw $\text{TiO}_2/\text{Cu}_2\text{O}$. Jedynie kontakty klejone z wykorzystaniem past na bazie srebra pozwalały na wykonanie pomiarów elektrycznych dla wytworzonych ogniw.

Opisywane badania uważam za bardzo interesujące, jednak Habilitant powinien wskazać, że sposób wykonania kontaktu, taki czy inny był Jego autorskim pomysłem, nawet jeśli nie zakończył się on sukcesem.

W omawianej pracy [H11 - Solar cells based on copper oxide and titanium dioxide prepared by reactive direct-current magnetron sputtering] przedstawiono wyniki badań jakie uzyskano dla wytworzonego, działającego ogniwa na bazie tlenku tytanu i tlenku miedzi o sprawności znacznie przekraczającej poprzednio uzyskane rezultaty. **Nowością było wprowadzenie cienkiej międzywarstwy miedzi pomiędzy warstwami tlenku tytanu i tlenku miedzi.**

Habilitant w autoreferacie przedstawił obszerną część publikacji H11, jednak nie zaznaczył swojego indywidualnego osiągnięcia i wkładu w jej powstanie. Na zakończenie zamieszczonego streszczenia pracy **sformułowano kilka wniosków dotyczących wpływu parametrów procesu na budowę wytworzonego ogniwa fotowoltaicznego oraz informację o wysokiej jego sprawności, a także informację o uzyskaniu przez Autorów patentu dotyczącego wprowadzenia dodatkowej warstwy buforowej z Cu.**

Uważam to za bardzo ważne osiągnięcie Zespołu realizującego badania oraz Pana dra Grzegorza Wisza, uważam jedna, że powinien On w autoreferacie wskazać swój indywidualny wkład w jego powstanie, a zwłaszcza w powstanie publikacji H11.

W publikacji [H12 - $\text{TiO}_2/\text{CuO}/\text{Cu}_2\text{O}$ Photovoltaic Nanostructures Prepared by DC Reactive Magnetron Sputtering] analizowano wpływ czasu osadzania i grubości górnej elektrody miedzianej na właściwości ogniwa $\text{TiO}_2/\text{CuO}/\text{Cu}_2\text{O}$. **Habilitant dość szczegółowo omówił w autoreferacie znaczną część wyników badań zamieszczonych w pracy H12.** Warstwy, jak opisywano już poprzednio, wytworzono metodą reaktywnego stałoprądowego rozpylania magnetronowego stosując podłoża ze szkła z warstwą tlenku indowo-cynowego (ITO) oraz krzem. Temperatura podłoża podczas osadzania warstw utrzymywana była na poziomie 300°C . Zastosowano gazy procesowe O_2/Ar w proporcjach 4:1 dla warstwy $\text{Cu}_2\text{O}/\text{CuO}$ i 4:0,5 dla TiO_2 .

W pracy, w oparciu o analizę fazową XRD określono skład fazowy warstw oraz w oparciu o formułę Debye'a-Scherrera wyznaczono rozmiary krystalitów, które odpowiednio wynosiły dla CuO 12 nm, 9 nm i 12 nm oraz dla Cu_2O 11 nm, 10 nm i 8 nm. Przeprowadzone badania mikrostrukturalne z wykorzystaniem SEM pozwoliły na stwierdzenie różnic w budowie wytworzonych warstw, a także jak **stwierdza Habilitant, niedopasowania pomiędzy osadzonym materiałem a podłożem. Takie niedopasowanie sieciowe pomiędzy TiO_2 i Cu_2O prowadzi do zaistnienia mechanizmu wzrostu Volmera-Webera, gdzie obserwuje się powstawanie wysp bez tworzenia warstwy zwilżającej.**

Dr Grzegorz Wisz w podsumowaniu pracy stwierdził, że czas osadzania tylnej elektrody miedzianej **(to nie czas wpływa tylko większa grubość powłoki!)** istotnie zmienia charakterystyki prądowo napięciowe ogniwa. **Dłuższy czas depozycji miedzi prowadzi do zmniejszenia oporu ogniwa, ale jednocześnie prowadzi do zwarcia wewnętrznego złącza. Podobny efekt pojawiał się podczas wcześniej opisywanych prób tworzenia tylnego kontaktu poprzez metalizację powierzchni za pomocą warstw złota lub srebra.**

Pierwszą próbę wykorzystania jako emitera warstwy tlenku tytanu zmodyfikowanej tlenkiem cynku przedstawiono w pracy [H13 - $\text{TiO}_2:\text{ZnO}/\text{CuO}$ thin film solar cells prepared

via reactive direct-current (DC) magnetron sputtering]. Dr Grzegorz Wisz stwierdza, że założonym celem tego procesu była poprawa wydajność fotokonwersji ogniw słonecznych $\text{TiO}_2:\text{ZnO}/\text{CuO}$ poprzez indukowanie kolumnowego wzrostu warstwy emitera TiO_2 na skutek włączenia cząstek ZnO o strukturze wurcytu. Tlenek cynku, który wykazuje dłuższy czas życia nośników ładunku w stosunku do tlenku tytanu, w założeniu mógłby poprawić właściwości transportowe hybrydowej warstwy $\text{TiO}_2:\text{ZnO}$. **Taką strukturę $\text{TiO}_2:\text{ZnO}/\text{CuO}$ z sukcesem wytworzono i scharakteryzowano wykorzystując proces reaktywnego rozpylania magnetronowego oraz specjalnie opracowany i wytworzony target.** Najlepsze rezultaty uzyskano stosując target (4) tytanowy z wprasowanym proszkiem tlenku cynku, dla warstwy wytworzonej z jego zastosowaniem uzyskano widoczny efekt fotowoltaiczny.

W podsumowaniu pracy Habilitant stwierdza, że hybrydowa warstwa $\text{ZnO}:\text{TiO}_2/\text{CuO}$ nie spowodowała wyraźnej poprawy wydajności w stosunku do wcześniej wytwarzanych ogniw TiO_2/CuO . Natomiast opracowana nowatorska konstrukcja targetu, jako istotny technologicznie element stała się przedmiotem zgłoszenia patentowego.

W publikacji [H14 - Optical Properties of ITO/Glass Substrates Modified by Silver Nanoparticles for PV Applications], o dominującym wkładzie dra Wisza, poddano analizie cztery podłoża szklane z warstwą ITO pochodzące od różnych producentów, na które nałożono metodą magnetronową warstwy nanocząstek srebra o grubościach 3, 5 i 10 nm.

W podsumowaniu pracy Habilitant stwierdził, że w „ pierwszym przybliżeniu do wytwarzania ogniw słonecznych powinno wybierać się podłoża o najwyższym współczynniku transmisji”. Jednak na chwilę obecną, w oparciu o przeprowadzoną analizę nie było możliwe wskazanie, które z podłoży i jaka grubość warstwy nanocząstek srebra pozwoli na uzyskanie maksymalnej sprawności ogniw na bazie tlenku tytanu i tlenku miedzi.

Pracę H15 dra Grzegorza Wisza [H15 - Structure Defects and Photovoltaic Properties of $\text{TiO}_2:\text{ZnO}/\text{CuO}$ Solar Cells Prepared by Reactive DC Magnetron Sputtering], poświęcono analizie wpływu parametrów procesowych i warunków wzrostu ogniwa fotowoltaicznego $\text{TiO}_2:\text{ZnO}/\text{CuO}$ na powstawanie defektów struktury. Analizowano zwłaszcza zjawisko intensywnej dyfuzji miedzi prowadzące do zmiany struktury absorbera z tlenku miedzi, a tym samym degradacji parametrów ogniwa słonecznego, zachodzące najczęściej w obrębie międzywarstwy $\text{TiO}_2/\text{Cu}/\text{CuO}$ oraz w obrębie części absorbera przyległej do tylnej elektrody Cu. Jak wykazano we wcześniej omawianych pracach, warstwy miedzi generalnie pozwalały na zwiększenie efektywności ogniw TiO_2/CuO , jednak warstwy te mogą być powodem

pojawienia się w strukturze silnej dyfuzji miedzi, która może powodować zwarcie i degradację ogniwa. **Habilitant w autoreferacie szczegółowo omówił stosowane parametry procesu osadzania magnetronowego warstw ogniwa oraz procedury zastosowane w trakcie osadzania miedzianej warstwy buforowej i tylnej elektrody.**

Dr Grzegorz Wisz podsumowując prowadzone badania stwierdził, że zastosowana ultracienka warstwa buforowa miedzi pomiędzy warstwą tlenku tytanu a warstwą tlenku miedzi pozwala na uzyskanie efektu fotowoltaicznego w ogniwach $\text{TiO}_2:\text{ZnO}/\text{CuO}$. Niezbędna jest jednak dalsza optymalizacja kontaktów oraz poprawa jakości i spójności, a także wewnętrznej ciągłości struktury, która pozwoli na zmniejszenie rezystancji szeregowej ogniw, a tym samym podniesienie ich sprawności.

Reasumując ocenę przedstawionego głównego osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego stwierdzam, że dr Grzegorz Wisz po uzyskaniu stopnia naukowego doktora rozwinął działalność naukową w dyscyplinie inżynieria materiałowa, jest współautorem kilkunastu publikacji dotyczących technologii osadzania cienkowarstwowych struktur fotowoltaicznych metodą PVD oraz ich charakteryzowania.

Przedstawiony przez Habilitanta cykl publikacji opisuje szereg innowacyjnych wyników badań i prób technologicznych polegających na wykorzystaniu metody PVD do osadzania powłok, które mają zastosowanie jako warstwy w ogniwach fotowoltaicznych. Efektem tych prac, opublikowanych niejednokrotnie w renomowanych czasopismach naukowych jest znaczne poszerzenie dotychczasowej wiedzy, jednak w mojej ocenie dostarczona dokumentacja jest niepełna.

Habilitant nie przedstawił kopii oświadczeń współautorów publikacji dotyczących ich udziału w pracach naukowych, w związku z czym recenzent wnioskuję o dostarczenie stosownych oświadczeń współautorów publikacji cyklu. W przypadku publikacji wieloautorskich jest to zalecane.

Wnioski szczegółowe

1. W autoreferacie dr Grzegorz Wisz zamieścił obszerne streszczenia publikacji cyklu, jednak nie odnosi się w nich do celu podejmowanych badań, jak również nie opisuje, co było Jego istotnym, autorskim osiągnięciem, mającym wpływ na rozwój inżynierii materiałowej.
2. Habilitant nie załączył do złożonego Wniosku głównego kopii swoich publikacji, co prawda nie jest to obligatoryjne, jednak znacznie ułatwiłoby pracę recenzentowi.

3. W przedstawionym autoreferacie Habilitant rzadko podejmuje dyskusję naukową, przedstawia jedynie wyniki badań, streszcza publikacje przedstawionego cyklu.
4. W opracowanej recenzji dokonałem szerokiej analizy załączonych streszczeń publikacji, starałem się "wyłowić" istotne, wymagające podkreślenia wyniki badań i ważne moim zdaniem osiągnięcia, jednak czy były to osiągnięcia dra Grzegorza Wisza nie byłem w stanie jednoznacznie odpowiedzieć.
5. W autoreferacie, w opisach publikacji cyklu Habilitant stosuje tryb bezosobowy stosowany w publikacjach np. przedstawiono, stwierdzono, wykazano, udowodniono. Niestety nie znalazłem "autorskich" działań Pana dra Grzegorza Wisza i np. stwierdzeń: moim osiągnięciem było..., udowodniłem, stwierdziłem, pozwoliło mi to na....
6. Habilitant w autoreferacie nie stosuje pojęć jakie były stosowane w publikacjach cyklu np. (H7), gdzie mówi się o procesie dwuetapowym – „a two-step proces” natomiast w autoreferacie posługuje się pojęciem "kombinacji" i oznaczeniem A1B1, A1B2,...w odniesieniu do struktur/powłok dwuwarstwowych. W opisie np. stwierdza „Analiza profilu bocznego próbki A2B1 potwierdza kolumnowy wzrost....., prawdopodobnie chodzi o przekrój poprzeczny.
7. Generalnie opisywane przez dra Grzegorza Wisza badania, stosowaną metodykę uważam za bardzo interesujące, jednak Habilitant powinien wskazać, że np. sposób wykonania kontaktu, taki czy inny, był Jego autorskim pomysłem, nawet jeśli nie zakończył się on sukcesem, autoreferat w mojej opinii temu ma służyć.
8. W mojej ocenie w autoreferacie brakuje najważniejszych wniosków podsumowujących działalność Habilitanta, co prawda we Wniosku na str. 53 pkt. 3.5.5 znajduje się Podsumowanie, jednak dr Grzegorz Wisz dokonuje w nim jedynie skrótowego podsumowania wcześniej omówionych publikacji.

Podsumowując, biorąc pod uwagę powyższe wnioski, stwierdzam, że cykl publikacji pt. „Kształtowanie warunków wzrostu oraz parametrów cienkowarstwowych struktur fotowoltaicznych na bazie tlenku tytanu, tlenku cynku i tlenku miedzi” w mojej ocenie spełnia wymogi ustawowe w zakresie osiągnięcia naukowego pozwalającego na uzyskanie stopnia doktora habilitowanego, jednak ze względu na to, że przedstawiona dokumentacja jest niepełna i nie pozwala na jednoznaczne określenie wkładu dra Grzegorza Wisza w rozwój dyscypliny inżynieria materiałowa, wymaga uzupełnienia o oświadczenia współautorów publikacji cyklu.

3. Ocena istotnej aktywności naukowej

Biorąc pod uwagę dorobek naukowy dra Grzegorza Wisza można stwierdzić, że jest on spójny i całkowicie ukierunkowany na procesy inżynierii powierzchni, zwłaszcza PVD, związany jest z wytwarzaniem cienkich warstw półprzewodnikowych, które mają zastosowanie w ogniwach fotowoltaicznych.

Habilitant jest autorem lub współautorem 58 artykułów naukowych, w tym: 12 artykułów przed uzyskaniem stopnia doktora i 46 publikacji po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych. Znakomita większość artykułów została opublikowana w czasopiśmie z listy Journal Citation Reports. W dniu pisania recenzji 54 publikacje znajdują się w bazie Web of Science. **Na uwagę zasługuje fakt, że publikacje przedstawionego cyklu dra Grzegorza Wisza w chwili pisania recenzji były cytowane 216 razy, można więc stwierdzić, że Habilitant jak i jego dorobek są bardzo dobrze rozpoznawalni.**

Dorobek naukowy dra Grzegorza Wisza jest znaczący, o czym świadczą wskaźniki bibliometryczne: liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science, na dzień pisania recenzji wynosi **458 (bez autocytowań 423)**, a indeks **Hirscha 11**. Łączna liczba punktów publikacji wg listy MNiSW wynosi **1664**.

Na tej podstawie stwierdzam, że dorobek publikacyjny oraz wskaźniki bibliometryczne dra Grzegorza Wisza należy ocenić jako bardzo wartościowe.

Habilitant brał aktywny udział w wielu krajowych (**25**) i międzynarodowych (**19**) konferencjach naukowych prezentując głównie wykłady na temat technologii wytwarzania i właściwości materiałów półprzewodnikowych oraz potencjału i możliwości ich wykorzystania.

Dr Grzegorz Wisz był kierownikiem dwóch grantów uczelnianych oraz jako wykonawca i główny wykonawca uczestniczył w 7 projektach badawczych. W latach 2006-2008 uczestniczył w projekcie realizowanym na zlecenie Ministerstwa Edukacji i Nauki Ukrainy przez Instytut Fizyki Półprzewodników Ukraińskiej Akademii Nauk w Kijowie oraz projekcie realizowanym przez Uniwersytet Preszowski na Słowacji. Uczestniczył również w międzynarodowym projekcie „FARADAY” realizowanym przez Podkarpacki Klaster Energii Odnawialnej.

Habilitant uczestniczył w organizowaniu kilkunastu konferencji naukowych o zasięgu krajowym i międzynarodowym, jako przewodniczący lub członek komitetów organizacyjnych. Większość z nich była organizowana przez Uniwersytet Rzeszowski, Podkarpacki Klaster Energii Odnawialnej, Rzeszowską Agencję Rozwoju Regionalnego S.A.,

ale również przez Agencję Europejskich Innowacji ze Lwowa czy Klaster AEI APREAN Energy INNOVACIÓN z Hiszpanii.

Dr Grzegorz Wisz jest członkiem krajowych i międzynarodowych organizacji np. Polskiego Towarzystwa Fizycznego, jako członek zwyczajny, **European Materials Research Society E-MRS**, jako członek zwyczajny i w latach 2010- 2014 członek komisji do spraw jakości ECDL Polskiego Towarzystwa Informatycznego.

Habilitant pełnił funkcję recenzenta kilkudziesięciu prac inżynierskich i magisterskich oraz artykułu naukowego "A numerical simulation of solar cells based on the CuO and Cu₂O absorber layers with ZnMgO window layer" w czasopiśmie **Materials Science & Engineering B**. W ramach opisywanej aktywności był również ekspertem przy opiniowaniu wniosków finansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, wniosków stypendialnych oraz konkursów finansowanych przez Władze Województwa Podkarpackiego i Rzeszowską Agencję Rozwoju Regionalnego S.A..

Od początku swojej kariery dr Grzegorz Wisz współpracuje z jednostkami naukowymi i ośrodkami badawczymi. Odbył kilka staży naukowych i przemysłowych oraz wizyt w krajowych i zagranicznych firmach oraz ośrodkach naukowych. Do ważnych, z punktu widzenia Jego rozwoju naukowego, należą: Instytut Fizyki Półprzewodników Ukraińskiej Akademii Nauk w Kijowie (ISP NASU), FH Joanneum – Kapfenberg – Austria (stypendium w ramach programu SOCRATES-Erasmus), Uniwersytet Południowej Australii – Adelajda oraz staże przemysłowe w WSK Rzeszów i firmie TRAKT S. A..

Habilitant jest współtwórcą dwóch przyznanych przez Urząd Patentowy RP patentów i dwóch zgłoszeń patentowych, opublikowanych w Biuletynie Urzędu Patentowego dotyczących sposobu wytwarzania powłok i ogniw fotowoltaicznych.

Po analizie istotnej aktywności naukowej Habilitanta, w tym publikacyjnej i wskaźników bibliometrycznych, związanej z realizacją prac i projektów badawczych, odbytych staży oraz Jego zaangażowania, stwierdzam, że dorobek naukowy dra Grzegorza Wiszaa jest na dobrym poziomie i świadczy o jego dojrzałości naukowej.

4. Ocena współpracy z otoczeniem społecznym i gospodarczym

Dr Grzegorz Wisz aktywnie współpracuje z kilkunastoma firmami prowadzącymi działalność w Polsce. W ramach prac rozwojowych prowadzonych z firmą Ecoeffect Sp. z o. o. zajmował się zaprojektowaniem i wykonaniem prototypu turbiny wiatrowej z pionową osią obrotu, a z firmą Smartdrones Sp. z o.o. zajmował się zagadnieniami związanymi z inspekcją turbin wiatrowych – współpraca i mentoring techniczno-biznesowy.

Z Podkarpacką Ekoenergetyką Sp. z o.o. Kandydat współpracował w zakresie zarządzania energią oraz systemów OZE, natomiast z firmą MABIHO Sp. z o.o. konsultował systemy zasilania wykorzystujące OZE. Habilitant współpracował z firmą AXELSAILPLANES Sp. z o.o. – w zakresie konstrukcji i planu biznesowego ultralekkiego szybowca, natomiast w tym samym obszarze zajmował się we współpracy z firmą DYSIM Sp. z o.o. stworzeniem nowego symulatora lotu i opracowaniem planu biznesowego.

Habilitant we współpracy z firmą NEURADETECT Sp. z o.o. zajmował się opracowaniem metody oceny stopnia zużycia głowicy w przecinarnie plazmowej, natomiast wraz z firmą JCKD Technika Sp. z o.o. zajmował się automatyzacją i optymalizacją procesu spawania.

Dr Grzegorz Wisz prowadzi również własną działalność gospodarczą prowadząc firmę COMBIT ENERGY, w ramach działalności której zajmuje się automatyką budynkową, inteligentnymi systemami zarządzania energią, fotowoltaiką i systemami magazynowania energii. W zakresie szeroko pojętego doradztwa techniczno-biznesowego współpracował między innymi z firmami: ML System S.A., COMPACT CHARGER P.S.A., Beegraphene Sp. z o.o., w zakresie produkcji grafenu, ULTRAXIS Sp. z o.o., Intellectonic Sp. z o.o., Solidele Sp. z o.o., Poly.N Sp. z o.o. i firmą Aero3DTECH Sp. z o.o. w zakresie druku 3D.

Wykonał kilkanaście ekspertyz lub innych opracowań wykonanych na zamówienie instytucji publicznych lub przedsiębiorców. **W tym obszarze działalność Habilitanta oceniam jako wystarczającą.**

5. Ocena działalności dydaktycznej i organizacyjnej oraz popularyzującej naukę

W zakresie działalności dydaktycznej, którą dr Grzegorz Wisz uważa za szczególnie istotną, prowadził lub aktualnie prowadzi zajęcia z przedmiotów takich jak: Fizyka powierzchni i cienkich warstw, Powłoki ochronne i ich wytwarzanie, Struktura powierzchni i metody modyfikacji, Fizyka i technologia wzrostu kryształów, Energetyka konwencjonalna i niekonwencjonalna, Podstawy elektroniki i elektrotechniki, Technologie pokryw ochronnych, Monitoring i diagnostyka urządzeń, Projektowanie instalacji w OZE, Inteligentne budynki niskoemisyjne czy Technologie przemysłowe. Habilitant realizuje wszystkie formy zajęć dydaktycznych, opracowywał treści programowe, sylabusy i instrukcje do ćwiczeń oraz inne autorskie materiały dydaktyczne wykorzystywane głównie na Uniwersytecie Rzeszowskim.

W trakcie swojej kariery naukowej Habilitant był promotorem ponad **50** prac dyplomowych. Co istotne, część Jego absolwentów po obronie pracy kontynuowała karierę

naukową, zarówno w ośrodkach krajowych jak i zagranicznych. W ramach omawianej aktywności Kandydat opracował także ponad 40 recenzji prac dyplomowych. W latach 2017-2020 był promotorem pomocniczym w pracy doktorskiej Pani Pauliny Sawickiej – Chudy.

W zakresie działalności organizacyjnej i popularyzującej naukę dr Grzegorz Wisz był w latach 2004 do 2008 opiekunem Studenckiego Koła Naukowego Fizyków na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym Uniwersytetu Rzeszowskiego. W ramach działalności koła organizował: prelekcje, wykłady, konferencje oraz wyjazdy i wizyty studyjne: np. do Centrum Badań Kosmicznych, Centrum Fotowoltaiki Politechniki Warszawskiej, Instytutu Wysokich Ciśnień PAN – UNIPRESS, Instytutu Energii Atomowej w Świerku, Zespołu Elektrowni Wodnych Solina – Myczkowce, Muzeum Nafty i Gazu w Bóbrce oraz CERN w Genewie.

W 2010 roku Habilitant został powołany na koordynatora działań Podkarpackiego Klastra Energii Odnawialnej i od początku działalności klastra do chwili obecnej pełni funkcję Prezesa Zarządu. Jest również zaangażowany w prace Podkarpackiej Rady Innowacyjności, odpowiedzialnej m.in. za kształtowanie polityki sprzyjającej rozwojowi gospodarczemu i działającej w oparciu o Regionalną Strategię Innowacji na lata 2021-2030.

Dr Grzegorz Wisz stara się aktywnie popularyzować wiedzę i osiągnięcia naukowe, których celem jest zmiana postaw społecznych i tworzenie przestrzeni przyjaznej dla adaptacji nowych rozwiązań i technologii. Działania te są realizowane przez Niego za pośrednictwem różnych kanałów komunikacji, między innymi: serwisów internetowych, mediów społecznościowych, radia, telewizji, prasy, itp.

Habilitant był redaktorem kilku broszur wydanych przez Rzeszowską Agencję Rozwoju Regionalnego S. A., dotyczących odnawialnych źródeł energii – OZE, które pojawiły się w 2014 i 2015 roku. Prowadził również cykle wykładów popularyzujących fizykę i nauki techniczne w szkołach średnich i gimnazjach województwa podkarpackiego w ramach projektów **Feniks** i **Tesla** realizowanych przez Uniwersytet Rzeszowski oraz popularyzujących energetykę odnawialną i zrównoważony rozwój w ramach projektów **Faraday** i **Adelante** realizowanych przez Podkarpacki Klaster Energii Odnawialnej.

Dr Grzegorz Wisz prowadzi również od 1996 roku jednoosobową działalność gospodarczą pod nazwą COMBIT, działając w obszarze technologii IT, co jak stwierdza pozwalało mu na ciągły kontakt z otoczeniem społeczno-gospodarczym, a przez to dobre rozeznanie realnych potrzeb rynku. Prowadzi różnorodne działania, których celem jest wspieranie transformacji energetycznej opartej na odnawialnych źródłach energii i dynamicznych układach zarządzania energią. Habilitant jest zaangażowany w prace

Podkarpackiej Rady Innowacyjności, Grupy roboczej ds. Krajowych Inteligentnych Specjalizacji oraz Podkarpackiego Forum Terytorialnego. W ramach współpracy z Mielecką Agencją Rozwoju Regionalnego wspiera startupy technologiczne.

Uważam, że wkład Habilitanta w zakresie działalności dydaktycznej i organizacyjnej oraz popularyzującej naukę należy uznać za bardzo dobry.

6. Wniosek końcowy

Analiza przedstawionej przez dr Grzegorza Wisza dokumentacji, przeprowadzona w oparciu o obowiązujące wymagania stawiane osobie ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego, aktywności naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej, zgodnie z kryteriami podanymi w Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, Dz. U. z 2020 r. poz. 85 pozwala stwierdzić, że Jego dorobek może stanowić podstawę o ubieganie się o stopień doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa.

Na chwilę obecną moja opinia jest pozytywna, jednak ostateczną decyzję podejmę po uzupełnieniu dokumentacji o oświadczenia współautorów przedłożonego cyklu publikacji pt. „Kształtowanie warunków wzrostu oraz parametrów cienkowarstwowych struktur fotowoltaicznych na bazie tlenku tytanu, tlenku cynku i tlenku miedzi, pozwalające stwierdzić istotny udział dra Grzegorza Wisza w ich powstaniu.

Katowice, 6.09.2023 r.

