

Prof. dr hab. inż. Piotr Kula
ul. Borówkowa 24
91-496 Łódź
Politechnika Łódzka
Wydział Mechaniczny
Instytut Inżynierii Materiałowej

Łódź, dnia 24 września 2021 r.

Recenzja

w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego dr inż. Łukaszowi Skowrońskiemu

1. Uwagi formalne

Niniejszą opinię opracowałem w wyniku powołania mnie przez Radę Naukową Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Warszawskiej uchwałą nr 91/II/2021 z dnia 21.05.2021 roku na recenzenta w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauki inżynieryjno-techniczne w dyscyplinie inżynieria materiałowa, wszczętym na wniosek Pana dra inż. Łukasza Skowrońskiego. Podstawę opinii stanowił zbiór dokumentów zawierający starannie opracowany autoreferat wraz z kompletem załączników niezbędnych z formalnego i merytorycznego punktu widzenia. Jako osiągnięcie stanowiące znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria materiałowa, wynikające z art.219 ust.1 pkt.2 lit b), ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478), Habilitant przedłożył do oceny cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych pod tytułem *„Właściwości optyczne i mikrostruktura powłokowych układów interferencyjnych wytworzonych metodami magnetronowymi”*.

2. Charakterystyka kariery naukowej i zawodowej Habilitanta

Dr inż. Łukasz Skowroński jest absolwentem Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej Uniwersytetu Technologiczno – Przyrodniczego w Bydgoszczy. W roku 2005 ukończył studia magisterskie na kierunku fizyka techniczna w specjalności „fizyczne miernictwo komputerowe” broniąc rozprawę pt.; *„Opracowanie programu do analizy funkcji*

dielektrycznej w zakresie IR oraz UV-Vis z wykorzystaniem algorytmu genetycznego". Stopień naukowy doktora nauk fizycznych uzyskał Habilitant w Politechnice Poznańskiej w roku 2013 broniąc przed radą Wydziału Fizyki Technicznej rozprawę pt.: „*Właściwości optyczne i mikrostrukturalne warstw Cu-Ni selektywnie absorbujących, otrzymywanych metodą elektrochemiczną*”. W ten sposób spełniony został formalny wymóg ubiegania się o uzyskanie stopnia doktora habilitowanego, ujęty w art. 219 ust.1 pkt.1 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

Habilitant od początku swej kariery zawodowej jest zatrudniony w macierzystej uczelni – Uniwersytecie Technologiczno – Przyrodniczym w Bydgoszczy, na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej w Instytucie Matematyki i Fizyki, wpierw na stanowisku asystenta a następnie po uzyskaniu stopnia naukowego doktora na stanowisku adiunkta. Od roku 2019 dr inż. Łukasz Skowroński jest adiunktem w grupie pracowników badawczych. Swe umiejętności dydaktyczne Habilitant doskonalił w ramach odbytego kursu pedagogicznego dla pracowników UTP w Bydgoszczy (2007) oraz kończąc w latach 2019-2020 studia podyplomowe z zakresu przygotowania pedagogicznego w Kujawsko-Pomorskiej Szkole Wyższej w Bydgoszczy. Doskonalił również swe umiejętności w zakresie oprogramowania dla obsługi, analizy i modelowania przy wykorzystaniu techniki elipsometrii uczestnicząc w roku 2013 w treningowym kursie specjalistycznym w Darmstadt.

Dorobek publikacyjny dr inż. Łukasza Skowrońskiego obejmuje ogółem 54 artykuły w czasopismach z listy JCR, w tym 46 po uzyskaniu stopnia naukowego doktora. Został zatem znacząco powiększony po ostatnim awansie naukowym Habilitanta. Są to prace wartościowe i o dobrym odbiorze w środowisku naukowym. Sumaryczny ich impact factor wynosi 139,094, zaś ogólna liczba cytowań wg bazy Web of Science – 530 (w tym 368 z wyłączeniem autocytowań). Indeks Hirscha wynosi $h = 14$. Wskaźniki bibliometryczne dorobku publikacyjnego dr inż. Łukasza Skowrońskiego w stopniu wysoce satysfakcjonującym spełniają zwyczajowe wymagania stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego w dyscyplinie naukowej inżynieria materiałowa.

Działalność naukowa dr inż. Łukasza Skowrońskiego koncentruje się na charakteryzacji właściwości optycznych oraz elektronowych, materiałów funkcjonalnych, w tym złożonych, cienkowarstwowych systemów wytwarzanych technikami PVD, kryształów półprzewodnikowych, kompleksowych związków srebra oraz cynku, półprzewodnikowych materiałów organicznych, a także utlenianej laserowo powierzchni tytanu. Badania te Habilitant prowadził we współpracy z krajowymi i zagranicznymi ośrodkami naukowymi, tj. Politechniką Warszawską, Uniwersytetem Warszawskim, Uniwersytetem Mikołaja Kopernika

w Toruniu, Narodowym Centrum Badań Jądrowych, Politechniką Wrocławską, Politechniką Gdańską, Narodowym Uniwersytetem im. Tarasa Szewczenki w Kijowie, Uniwersytetem w Linköping oraz Uniwersytetem w Bochum. Efektem tej współpracy naukowej jest 41 wartościowych, współautorskich publikacji Habilitanta w czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Stwierdzam zatem, że ten sposób spełniony jest wymóg art. 219 ust.1 pkt.3 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

3. Ocena wskazanego osiągnięcia naukowego

Jako osiągnięcie stanowiące znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria materiałowa, Habilitant przedłożył do oceny cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych pod tytułem „*Właściwości optyczne i mikrostruktura powłokowych układów interferencyjnych wytworzonych metodami magnetronowymi*”. Cykl ten zawiera jedną publikację autorską oraz 12 prac współautorskich.

Jedenaście z przedstawionych do oceny pozycji to artykuły w czasopismach naukowych o tematyce inżynierii materiałowej, o zasięgu światowym takich jak *Materials* (1), *Thin Solid Films* (4), *Materials Science Poland* (2), *Applied Surface Science* (4), oraz *Surface and Coatings Technology* (1). Wymienione czasopisma w roku opublikowania przez Habilitanta artykułów stanowiących oceniany zbiór były ujęte w aktualnie obowiązującym wykazie czasopism punktowanych. W ten sposób spełniony został w sposób formalny wymóg art.219 ust.1 pkt.2 lit b) ustawy. Według oświadczeń współautorów wkład Habilitanta w pracach zespołowych został wyodrębniony zarówno merytorycznie jak i ilościowo. Zawiera się on w przedziale od 20% do 90% (średnio 61,25%) i dotyczy między innymi: opracowania koncepcji badań, prowadzenia prób technologicznych, wykonania badań dla wyznaczenia charakterystyki strukturalnej i funkcjonalnej wytworzonych systemów powłokowych, analizy wyników badań, przygotowania manuskryptu bądź też koncepcji tekstu. Jest w mojej ocenie wyodrębniony indywidualny, istotny wkład dr inż. Łukasza Skowrońskiego w opracowania zespołowe. Spełniony jest zatem również wymóg art.219 ust.2 ustawy.

Pod względem merytorycznym jest to zbiór spójny tematycznie. Wszystkie publikacje dotyczą plazmochemicznej technologii nanoszenia cienkich warstw dielektrycznych, metalicznych oraz ich kompozycji na wielkopowierzchniowe podłoża materiałów konstrukcyjnych (szkło, stal nierdzewna, aluminium, PMMA) w celu nadania im założonych właściwości optycznych, w tym kolorystyki dekoracyjnej. W zakresie podstaw teoretycznych kształtowania właściwości optycznych cienkich powłok jest to wiedza na poziomie

uniwersyteckim z zakresu optyki i fizyki ciała stałego. Zarówno wykształcenie jak i wcześniejsza aktywność badawcza czynią Habilitanta ekspertem w tej tematyce. Dzięki tej wiedzy i umiejętnościom Habilitant sformułował założenia do przemysłowego skalowania technologii wytwarzania powłokowych systemów interferencyjnych, z wykorzystaniem magnetronowej depozycji plazmochemicznej oryginalną metodą GIMS (ang. *gas injection magnetron sputtering*), którą współrozwinął w zespole interdyscyplinarnym pod kierunkiem profesora Krzysztofa Zdunka z Wydziału Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej.

Technologiczną część programu badań eksperymentalnych zrealizował Habilitant z wykorzystaniem wielkogabarytowej instalacji plazmochemicznej w ramach współpracy z firmą Bohamet S.A., producentem między innymi specjalistycznych tafli i paneli szklanych dla budownictwa i przemysłu okrętowego. Ostatecznym efektem tych prac o charakterze badawczo-rozwojowym, o dużej wartości aplikacyjnej było opracowanie zależności pomiędzy parametrami procesu plazmochemicznego, a sterowanymi parametrami optycznymi nanoszonych powłok funkcjonalnych, przy zapewnieniu ich jednorodności mikro i nanostrukturalnej oraz równomiernej grubości, na wielkich powierzchniach pokrywanych tafli, dochodzących do 6 m².

Osiągnięcie tego sukcesu o charakterze technologicznym było możliwe dzięki zrealizowaniu przez Habilitanta programu badań o charakterze podstawowym, które od strony postawionych hipotez, programu badań, zastosowanego instrumentarium analitycznego, analizy wyników i wnioskowania przedstawione zostały w poszczególnych publikacjach stanowiących zbiór przedłożony do oceny. Cechą wspólną tych badań było to, że poza jednym eksperymentem wszystkie procesy nanoszenia systemów powłokowych na próbki badawcze zrealizowane zostały techniką GIMS na przemysłowym urządzenie docelowym, z magnetronami liniowymi o długości 2,4 m, co ułatwiło późniejsze wielkogabarytowe skalowanie procesu.

Najobszerniejszym zagadnieniem badawczym w przedstawionym do oceny zbiorze publikacji jest opracowanie koncepcji, podstaw teoretycznych oraz technologii wytwarzania barwnych, powłokowych systemów interferencyjnych szkło/Ti/TiO₂ wraz z eksperymentalnym potwierdzeniem zależności pomiędzy parametrami depozycji plazmochemicznej, strukturą oraz morfologią poszczególnych podwarstw a właściwościami optycznymi tj. widmem interferencyjno – odbiciowym oraz transmitancją. Koncepcja struktury systemu powłokowego zakłada, że zewnętrzna, dielektryczna, praktycznie przezroczysta warstwa TiO₂ interferuje światło i jest generatorem barwy a cienka podwarstwa tytanu częściowo lub całkowicie odbija fale elektromagnetyczne wpływając w ten sposób na intensywność barwy oraz na poziom

transmitancji systemu. Obie te funkcje są zależne od grubości poszczególnych podwarstw oraz od powtarzalności ich struktury i morfologii.

Istotnym przyczynkiem do opracowania ostatecznej technologii nanoszenia złożonych systemów powłokowy na szkło były wstępne badania o charakterze rozpoznawczym. Habilitant zbadał wpływ rodzaju materiału podłoża metalicznego (Al, 316L oraz szkło) oraz jego stanu powierzchni (polerowana, szczotkowana oraz z zewnętrzną, cienką powłoką tytanu) na paletę barw powłok TiO_2 oraz intensywność barwy. Wykazał, że najbardziej intensywny i powtarzalny efekt kolorystyczny uzyskano nanosząc warstwy TiO_2 na powłoki tytanowe. Habilitant, zbadał również szczegółowo właściwości optyczne, elektryczne oraz mikrostrukturę powłok tytanu wytwarzanych metodą GIMS w zakresie grubości 12 – 1470 nm, wykazując jej ziarnistą, heteroepitaksjalną mikrostrukturę wpływającą na właściwości optyczne. Dr inż. Łukasz Skowroński zaproponował również dwa alternatywne modele wzrostu warstw TiO_2 podczas ich formowania metodą GIMS. Pierwszy z nich zakłada wpierw formowanie nanokrystalitów anatazowych a następnie ich defektowanie i amorfizację w wyniku bombardowania jonami, poprzedzającą zarodkowanie i formowanie ziaren rutyłowych na powierzchni. Drugi z zaproponowanych modeli zakłada zarodkowane i wzrost ziaren rutyłowych w fazie gazowej, a następnie ich kondensację na powierzchni substratu.

Habilitant osiągnął założony efekt w skali produkcyjnej aplikując do przemysłowej, wielkopowierzchniowej instalacji plazmochemicznej z tytanowymi magnetronami liniowymi technologię GIMS, dozując do komory impulsy gazu obojętnego (argonu) dla przygotowania powierzchni i depozycji podwarstwy tytanu oraz impulsy gazu reaktywnego (tlenu) dla depozycji zewnętrznej warstwy TiO_2 . Wykazał, że warstwy TiO_2 syntetyzowane w czystej plazmie tlenowej przy najniższym z badanych ciśnieniu (0,04 Pa) cechuje najwyższa wartość współczynnika załamania światła, praktycznie przy pomijalnej ekstynkcji, co przesunęła paletę generowanych barw w kierunku niższych grubości warstw, czyniąc proces bardziej wydajnym i ekonomicznym. Krytycznym parametrem dla przemysłowego skalowania procesu było zapewnienie na wielkiej powierzchni substratu szklanego wąskiego przedziału tolerancji zarówno grubości ($\pm 2 \mu\text{m}$) jak i powtarzalności morfologii i struktury podwarstw. Habilitant osiągnął to w sposób wysoce zadowalający. Ostatecznie, efektem prac badawczo - rozwojowych było opracowanie przemysłowej technologii wytwarzania częściowo transparentnych oraz nietransparentnych układów interferencyjnych dla zastosowań w nowoczesnym budownictwie jako szkło elewacyjne lub szkło laminowane na elementy przeszkleń architektonicznych. Oceniam, że jest to oryginalne osiągnięcie naukowe Habilitanta

o wartości aplikacyjnej, poparte rzetelnymi, profesjonalnymi badaniami o charakterze podstawowym.

Poza opisanym powyżej, głównym osiągnięciem naukowym Habilitanta w przedstawionym do oceny zbiorze publikacji opisane są również Jego około tematyczne osiągnięcia naukowo badawcze, spójne zarówno warsztatowo jak i fenomenologicznie. Zaliczam do nich między innymi opracowanie koncepcji, a następnie technologii nanoszenia metodą GIMS na powierzchnię szkła produkowanego metodą „float” cienkiej, neutralnej optycznie warstwy Al_2O_3 jako powłoki ochronnej na tzw. „szkle ogniowym” jako materiale konstrukcyjno – funkcjonalnym w produkcji pakietów ognioodpornych. Odnotowuję również publikację dotyczącą prób naniesienia dekoracyjnych powłok TiO_2 oraz Al/TiO_2 na PMMA, jakkolwiek laboratoryjna skala tych badań przy znacznych ograniczenia termicznych dla procesu z uwagi na charakter podłoża, stanowią o wyłącznie przyczynkowym charakterze zaprezentowanych wyników dla potencjalnie dalszych prac Habilitanta o charakterze badawczo – rozwojowym.

W swych badaniach Habilitant opanował profesjonalnie plazmochemiczną technologię GIMS nanoszenia złożonych systemów powłokowych. Dokonał ich charakteryzacji strukturalnej i funkcjonalnej z wykorzystaniem elipsometrii, spektrofotometrii, mikroskopii konfokalnej, AFM, XRD oraz XPS, czyli narzędzi badawczych właściwych inżynierii materiałowej. Przeprowadził badania polegające na ustaleniu zależności pomiędzy sposobem wytwarzania powłok funkcjonalnych, ich składem chemicznym i strukturą a właściwościami użytkowymi. W ten sposób wpisał się w paradygmat dyscypliny naukowej inżynieria materiałowa w dziedzinie nauk inżynieryjno – technicznych.

Reasumując stwierdzam, że przedłożony do oceny cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych pod tytułem „*Właściwości optyczne i mikrostruktura powłokowych układów interferencyjnych wytworzonych metodami magnetronowymi*” spełnia wszystkie wymagania ustawowe i tematycznie przynależy do dyscypliny naukowej inżynieria materiałowa.

4. Ocena działalności dydaktycznej i organizacyjnej,

Dr inż. Łukasz Skowroński prowadził w Uniwersytecie Technologiczno – Przyrodniczym w Bydgoszczy zajęcia dydaktyczne z fizyki dla studentów kilku kierunków studiów. Były to wykłady, ćwiczenia audytoryjne oraz laboratoria. Prowadzi ponadto zajęcia dydaktyczne z fizyki dla uczniów szkół średnich, przygotowując ich do matury międzynarodowej. Był promotorem siedmiu prac inżynierskich oraz dziewięciu prac magisterskich w tematyce

powiązanej z inżynierią materiałową. Przez ostatnie osiem lat jest opiekunem Koła Naukowego Fizyków 'NABLA', aktywnie włączając studentów w arkana badań naukowych i publikowania. Habilitant wyróżniony został w roku 2012 nagrodą indywidualną Rektora UTP w Bydgoszczy za działalność dydaktyczną oraz w roku 2013 nagrodą zespołową za działalność organizacyjną. Doświadczenie dydaktyczne Habilitanta oceniam jako dostateczne, choć tematyka prowadzonych zajęć jest wąska i wysoce specjalistyczna.

Bardzo pozytywnie oceniam natomiast zaangażowanie dr inż. Łukasza Skowrońskiego w proces kształcenia i rozwoju młodej kadry naukowej. W trzech przewodach doktorskich pełni funkcję promotora pomocniczego, zaś w jednym opiekuna naukowego. Tematyka wszystkich tych przewodów jest z zakresu inżynierii materiałowej. Dobrze to rokuje przyszłej aktywności zawodowej dr inż. Łukasza Skowrońskiego jako samodzielnego pracownika nauki.

7. Podsumowanie i wniosek końcowy

W wyniku przeprowadzonej, szczegółowej oceny dorobku naukowego oraz aktywności zawodowej dr inż. Łukasza Skowrońskiego stwierdzam, co następuje:

- dorobek naukowy Habilitanta jest oryginalny, obszerny oraz został szeroko upowszechniony w obiegu międzynarodowym. Mieści się on w obszarze nauk technicznych w dyscyplinie Inżynieria Materiałowa w specjalności Inżynieria Powierzchni. Dorobek ten powstał we współpracy z wieloma ośrodkami naukowymi w kraju za granicą;
- Dorobek naukowy Habilitanta został wyraźnie powiększony od czasu ostatniego awansu naukowego i charakteryzuje się wysokimi wskaźnikami bibliometrycznymi;
- Przedstawiony do oceny zbiór publikacji spełnia kryteria osiągnięcia naukowego stanowiącego znaczący wkład w rozwój dyscypliny naukowej Inżynieria Materiałowa zgodnie z wymaganiami art. 219 ust 1 pkt 2 lit b oraz ust. 2 ustawy „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” z dnia 20 lipca 2018 r.

Z pełnym przekonaniem stwierdzam zatem, że dr inż. Łukasz Skowroński spełnia wszystkie wymagania stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej Inżynieria Materiałowa w świetle Ustawy „Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce” z dnia 20 lipca 2018 r (Dz. U. z 2021 r. poz. 478). ***Recenzowany wniosek popieram i oceniam pozytywnie.***