

Prof. dr hab. Agnieszka Iwan

Wrocław, 5.07.2022

Wojskowy Instytut Techniki Inżynieryjnej im. prof. Józefa Kosackiego

ul. Obornicka 136,

50-961 Wrocław

Ocena dorobku naukowego oraz autoreferatu dr inż. Katarzyny Znajdek

(w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika)

Niniejsza recenzja została wykonana w oparciu o analizę autoreferatu, życiorysu naukowego, wykazu osiągnięć w pracy naukowej oraz 10 publikacji przedstawiającymi główne osiągnięcia naukowe Habilitantki.

1. Sylwetka Habilitantki

Dr inż. Katarzyna Znajdek ukończyła studia wyższe na kierunku Elektronika i Telekomunikacja na Wydziale Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej w 2008r. Rok później ukończyła studia podyplomowe na tym samym wydziale na kierunku Technologie Optoelektroniki. W roku 2014 (6 lat po dyplomie) dr inż. K. Znajdek obroniła pracę doktorską pt. „Elastyczne ogniwa fotowoltaiczne” wykonaną pod promotorstwem prof. dr hab. Zbigniewa Lisika. Od października 2014 roku jest zatrudniona na stanowisku adiunkta na Politechnice Łódzkiej i na tym stanowisku pracuje po dzień dzisiejszy bardzo aktywnie uczestnicząc w działalności dydaktycznej i organizacyjnej. Po uzyskaniu stopnia doktora Habilitantka uczestniczyła jako wykonawca w 2 projektach POLONIUM finansowanych przez MNiSW i obecnie uczestniczy w realizacji projektu NCBR pn. „Systemy hybrydowe do konwersji energii słonecznej”. Ponadto po doktoracie uczestniczyła w 4 krótkoterminowych stażach badawczych (Francja, Szwecja, Kanada).

Habilitantka była promotorem 15 prac dyplomowych, inżynierskich i magisterskich, w tym 3 prac magisterskich międzynarodowych, oraz promotorem pomocniczym 10 prac dyplomowych, w tym 1 w toku.

Habilitantka prowadzi bardzo intensywną działalność dydaktyczną zarówno w języku polskim jak i angielskim poprzez opracowywanie treści nowych przedmiotów, e-learning czy też prowadzenie zajęć z wykorzystaniem innowacyjnych metod typu *Design Thinking*, *Problem Based Learning*, *Project Based Learning*, *Research Based Learning*, *Integrated Design*. Ponadto bardzo aktywnie uczestniczyła w 12 projektach dydaktycznych (np. Erasmus Plus, *Masters of Didactics*, MNiSW, EduBUP – projekt europejski).

Habilitantka bardzo aktywnie działa także na niwie popularyzacji nauki w postaci przygotowywania i wygłaszania wykładów/referatów naukowo-popularnych, przygotowywania ćwiczeń, wykładów i warsztatów oraz ich praktyczną realizację na PŁ. Otrzymała 18 (w tym 12 po doktoracie) różnego rodzaju nagród wśród których należy wyróżnić nagrodę: Laureatka Polskiej Nagrody Inteligentnego Rozwoju 2019 w kategorii

Naukowiec Przyszłości za realizację projektu pt.: „Wykorzystanie warstw konwerterów energii w nowych rozwiązaniach dla ogniw fotowoltaicznych” oraz nagrodę PAN za wybitne osiągnięcia przyczyniające się do rozwoju nauki dla młodych uczonych pracujących na terenie województwa łódzkiego, 2021.

2. Osiągnięcia naukowe

Dorobek naukowy Habilitantki stanowi 55 publikacji, w tym 33 (według Scopus) i 24 (według Web of Science) w czasopismach naukowych indeksowanych w bazach oraz 2 patenty krajowe (*Konwerter DOWN długości fali światła przeznaczony do zwiększenia sprawności ogniwa słonecznego*, 2016 i *Hybrydowy cieczowy panel solarny z płytą chłodzącą*, 2021) i 4 zgłoszenia patentowe. Indeks Hirscha Habilitantki, według bazy Web of Science wynosi 8 (wg. autoreferatu), a sumaryczna ilość cytowań bez autocytowań jest równa 102. Dr inż. K. Znajdek była recenzentem tylko 5 prac w czasopismach takich jak: *Thin Solid Films*, *J. Nanoelectronics and Optoelectronics*, *Solar Energy* (2 razy), czy *Applied Thermal Engineering*. Należy podkreślić, iż Habilitantka jest sumarycznie współtwórcą 6 zgłoszeń patentowych, w tym 2 zgłoszenia otrzymały status patentu i zostały przyznane po doktoracie. Ponadto przed i po doktoracie powstały po 2 zgłoszenia patentowe.

Analizując liczbowo aktywność naukową Habilitantki w zakresie publikacji przed i po doktoracie niestety należy stwierdzić, iż nie jest obserwowane znaczące zwiększenie aktywności naukowej po uzyskaniu doktoratu. Progress zauważa się tylko w zakresie monografii (po doktoracie 2, w tym jedna monoautorska gdzie przed doktoratem było 0) i w zakresie wystąpień konferencyjnych przed doktoratem: 33 wystąpienia (w tym 22 ustne), zaś po doktoracie 38, w tym 16 wystąpień ustnych. Z kolei już w zakresie rozdziałów w monografiach naukowych (przed 6, w tym 3 monoautorskie i jeden rozdział anglojęzyczny), zaś po doktoracie 2 rozdziały krajowe, w tym jeden rozdział w monografii monoautorski.

Analiza liczbowa w zakresie artykułów naukowych przedstawia się następująco: przed doktoratem: 24 (*Czysta Energia* - 2, *Przegląd Elektrotechniczny* - 2, *Elektronika* - 7, *Optica Applicata*, *Świat Szkła*, *Sensing&Measurement*, *Instal – Teoria i Praktyka w Instalacjach*, *Renewable Energy&Power Quality Journal*, *Mat. Sci. Eng. B*, *Prace Instytutu Elektrotechniki* - 2, *Magazyn Fotowoltaika*, *J. Energy and Power Engineering*, *Proc. SPIE*, *Phys. Status Solidi C*, *Microelectronic Engineering* (w 11 pracach Habilitantka jest pierwszym autorem), po doktoracie 21 (w tym 10 będących podstawą autoreferatu) w czasopismach takich jak *Przegląd Elektrotechniczny* - 3, *Opto-Electronics Review* - 3, *Proc. SPIE*, *Acta Innovations* - 2, *Renewable Energy&Power Quality Journal*, *Nanomaterials*, *Energies* (w 6 pracach Habilitantka jest pierwszym autorem), oraz prace będące podstawą autoreferatu *Microelectronic Engineering*, *Opto-Electronics Review*, konferencyjna *IEEE PVSC* - 2, *AIP Conference Proceedings*, *Acta innovations*, *Optik*, *J. Nanoelectronics and Optoelectronics*, *Open Physics*, *Optical Materials Express* (w 7 pracach Habilitantka jest pierwszym autorem). Podano omyłkowo w wykazach dwukrotnie pracę H8 w wykazie prac do habilitacji i w spisie prac po doktoracie (pozycja 7).

Niestety nie widać znaczącego progressu Habilitantki w aktywności publikacyjnej po doktoracie (w zakresie liczebności prac). Przed doktoratem suma $6+33+24 = 63$ prace (65 po

dodaniu 2 zgłoszeń patentowych). Po doktoracie suma $2+2+38+21 = 63$ prace (67 po dodaniu 2 patentów i 2 zgłoszeń patentowych).

Na podkreślenie zasługuje aktywność w zakresie implementacji opracowywanych rozwiązań w technologii poprzez adaptację technologii osadzania warstw TCO na bazie nanoform węgla od skali laboratoryjnej do nakładania w warunkach przemysłowych poprzez praktyczne wykorzystanie techniki natryskowej oraz opracowanie koncepcji produktów zawierających elastyczne, przewodzące warstwy transparentne i ich zastosowanie w przemyśle poprzez współpracę z przedsiębiorcami (ML System, Thermall sp. z o.o. Electrotile sp. z o.o. (Udział w projekcie Tango, 2016).

Podstawą pracy habilitacyjnej zatytułowanej *Technologie wytwarzania i charakteryzacja warstw konwerterów energii do zastosowań w elastycznych, cienkowarstwowych ogniwach fotowoltaicznych*. dr inż. K. Znajdek, jest lista 10 wskazanych w autoreferacie publikacji H1-H10, opublikowanych w okresie 2014-2020 (w tym 6 posiadających tzw. współczynnik wpływu $IF = 0,18-2,673$). Trzy artykuły, tj. H3, H4 i H9 są artykułami pokonferencyjnymi. Artykuł H5 nie ma IF według informacji zamieszczonych w autoreferacie.

Według informacji zamieszczonych w autoreferacie praca H10 ma największą z analizowanych prac liczbę punktów MEN = 100 pkt. Prace H1, H2 mają 70 pkt. Prace H6-H8 mają 40 pkt, zaś praca H5 ma 20 pkt MEN.

Według informacji podanych w otrzymanych dokumentach do recenzji, z przedstawionych do oceny publikacji największą ilość cytowań mają prace H1 (18 cytowań) i H2 (16 cytowań). Pozostałe prace mają H6, H8, H9 i H10 (8), H7 (2) cytowań. Prace H3-H5 cytowań nie mają.

3. Ocena dorobku naukowego na podstawie autoreferatu i cyklu publikacji

Część merytoryczna autoreferatu (str. 6 – 40) składa się z Wprowadzenia (1) obejmującego cel pracy, a następnie opisu każdej z 10 prac w tym w rozdziale (2) prace H1, H2: Wykorzystanie nanocząstek ZnO – metoda próżniowa, symulacje wstępne, (3) prace H2-H5: Warstwy nanocząstek ZnO wytwarzane metodami powlekania oraz analiza symulacji numerycznych, (4) prace H6-H8: Wykorzystanie potencjału pierwiastków ziem rzadkich oraz ich mieszanek z nanocząstkami ZnO, (5) H9-H10: Wzbogacenie struktur o warstwy selektywnie transparentne oraz krótkie i bardzo ogólne podsumowanie. Podany spis literatury obejmuje 98 pozycji włączając w spis 15 publikacji Habilitantki. Cytowana w autoreferacie literatura obca jest bardzo obszerna, aczkolwiek rozczerowuje bardzo ubogie i ogólnikowe wprowadzenie do tematu, brak porównania otrzymanych wyników z obecnym stanem wiedzy w temacie.

Ocenę autoreferatu i cyklu publikacyjnego przedstawię w pierwszej kolejności w oparciu o odpowiedź na następujące kluczowe pytania.

Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy/hipoteza pracy/ i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez Habilitantkę? Jaki charakter ma rozprawa? Jaki jest wkład Habilitantki w prowadzone badania (na podstawie oświadczeń)?

Celem naukowym prac prowadzonych przez Habilitantkę było wytworzenie i charakterystyka warstw konwertujących energię słoneczną oraz zrozumienie i identyfikacja ich właściwości

dla zastosowań w fotowoltaice cienkowarstwowej i elastycznej. Zaproponowano zastosowanie koncepcji tzw. *down conversion* w celu podniesienia wydajności ogniw słonecznych poprzez zastosowanie warstw konwertujących energię padającego na ogniwo promieniowania słonecznego. Idea koncepcji polega na zamianie wysokoenergetycznych fotonów z zakresu światła ultrafioletowego (UV) na fotony o niższych energiach, z zakresu światła widzialnego, które są bardziej efektywnie przetwarzane w procesie fotowoltaicznym. Jest to znane z literatury ale wciąż bardzo interesujące i o dużym potencjale aplikacyjnym podejście do tematyki poprawy sprawności ogniw słonecznych, poprzez wykorzystanie modyfikacji padającego na ogniwa widma światła w aspekcie modyfikacji zarówno materiałów jak i technik ich wytwarzania. Jako warstwy luminescencyjne, które po pochłonięciu światła słonecznego powinny emitować następnie światło o ściśle określonej długości fali zastosowano nanocząstki ZnO o różnych rozmiarach oraz wybrane pierwiastki ziem rzadkich. Ponadto, nanocząstki ZnO zawieszano w matrycy polimerowej PMMA, co jest interesującą częścią prowadzonych badań. Wybrane materiały nanoszono na powierzchnie sztywne (szkło, krzem) i elastyczne (PET) za pomocą metody fizycznej próżniowej LECBD, oraz powlekania obrotowego, abelacji laserowej czy sitodruku. Identyfikację wytworzonych warstw prowadzono głównie poprzez zastosowanie metody luminescencji oraz wydajności kwantowej EQE i transmitancji optycznej. Ponadto, zastosowano technikę AFM czy SEM do identyfikacji wytworzonych warstw na bazie nanocząstek, aczkolwiek nie prowadzono dogłębnej analizy poprzez zastosowanie tych metod.

Niestety, Habilitantka sztucznie dzieliła materiał do habilitacji. Mogło powstać mniej, ale bardziej obszernych publikacji zawierających dogłębną analizę obserwowanych efektów.

Prace przedstawione do oceny można pogrupować w 3 aspektach: H1-H5: prace na bazie ZnO, H6-H7: prace na bazie metali ziem rzadkich, H8: porównanie/mieszanki ZnO z pierwiastkami ziem rzadkich, H9-H10: prace dotyczące fotowoltaiki elastycznej na PET poprzez wytworzenie warstwy selektywnie transparentnej.

Niestety, zabrakło w autoreferacie odniesienia się do obecnego stanu wiedzy w temacie i zdefiniowanie jasno „luki badawczej” którą Habilitantka proponuje zapełnić. Zarówno w autoreferacie jak i w *Introduction* do artykułów wspomina się, iż zastosowanie pierwiastków ziem rzadkich i ZnO jako warstw konwertujących energię słoneczną było stosowane przez innych naukowców. Zabrakło jasno sformułowanego celu badawczego.

Prowadzone badania będące przedmiotem cyklu publikacyjnego mają charakter prac eksperymentalnych oraz są wzbogacane o obliczenia/symulacje teoretyczne. Często Habilitantka używa sformułowania, iż są to badania wstępne i należy stwierdzić, iż tak jest, proponowane badania są początkiem do rozwoju tematyki ogniw słonecznych dla aplikacji praktycznych, a nie ich finałem. Świadomość Habilitantki w tym zakresie świadczy o znajomości tematyki i pokorze wobec nowych odkryć.

Niestety, na podstawie sformułowanego opisu w oświadczeniach należy stwierdzić, iż Habilitantka nie była pomysłodawcą tematyki, a tylko współtwórcą. We wszystkich 10 publikacjach niezależnie czy była autorem do korespondencji czy też nie, oświadczyła, iż miała udział w tworzeniu hipotezy badawczej i opracowaniu idei badań oraz udział w analizie wyników. Od Habilitantki jako kandydatki na samodzielnego pracownika nauki oczekuje się wykazania umiejętności w generowaniu i prowadzeniu nowej tematyki.

Czy w autoreferacie przeprowadzono analizę literatury światowej (stanu wiedzy) w sposób właściwy, świadczący o dostatecznej wiedzy Habilitantki? Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Muszę stwierdzić z dużym zaskoczeniem, że całą analizę źródeł definiującą stan wiedzy w obszarze tematycznym autoreferatu zawarła Habilitantka na 3 stronach *wprowadzenia – tło naukowe badań*, przywołując w nim 93 pozycje literaturowe. Zakładam, że Habilitantce znany jest stan wiedzy w temacie autoreferatu, ale przeprowadzona z taką nonszalancją analiza źródeł pozostawia wrażenie znaczącego niedosytu. Zabrakło, porównania otrzymanych wyników badań z obecnym stanem literatury światowej. Wielowątkowość poruszanej tematyki powinna obligować Habilitantkę do głębokiej analizy zarówno od strony materiałowej, technologicznej jak i aplikacyjnej z uwzględnieniem właściwości elektro-optycznych. W autoreferacie zabrakło informacji o możliwości wytwarzania ZnO i AZO metodą ALD, która jest szeroko rozwijana zarówno w kraju jak i na świecie. Ponadto, Habilitantka w autoreferacie omawia bardzo ubogo aspekty materiałowe a zjawisko *down converison* w ogniwach słonecznych, choć konkluduje, że, cytując strona 7: „Wykorzystanie efektów *down-conversion* i *down-shifting* wydaje się wielce obiecujące dla podniesienia sprawności fotokonwersji w ogniwach słonecznych, **co potwierdzają liczne badania prowadzone w tej tematyce** [8, 38-39, 42-76]. Na przykład, w pracy [42] zaproponowano wykorzystanie luminescencyjnych kompozytów złożonych z polimeru i nanocząstek krzemu w charakterze warstw typu *down converters*.” Bezwzględnie pracę by wzbogaciła analiza porównawcza pod kątem materiałów, technologii czy rodzaju ogniw słonecznych z warstwą *down-conversion* (w tym ogniw perowskitowych czy organicznych), taka jaką można znaleźć np. w artykułach *Materials for downconversion in solar cells: Perspectives and challenges*, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 165 (2017) 59–71, *Down-conversion materials for organic solar cells: Progress, challenges, and perspectives*, *Aggregate*, DOI: 10.1002/agt2.185, czy *A promising europium-based down conversion material: organic inorganic perovskite solar cells with high photovoltaic performance and UV-light stability*, *J Mat. Chem A*, 2019.

Opinia o przedstawionych do habilitacji publikacjach naukowych i ich omówienie w autoreferacie

Czytając autoreferat ma się wrażenie, iż jest on nie do końca przemyślaną formą opisu i prezentacji otrzymanych wyników badań o czym świadczy fakt przedstawiania bardzo szczegółowych informacji dotyczących metodologii eksperymentu czy też producenta nanocząstek, a z drugiej strony brak jest analizy porównawczej i próby przedstawienia idei i pomostu w zakresie proponowanych materiałów i technologii.

W pracy H1 Habilitantka jest 6-tym autorem pracy. Według oświadczenia rola Habilitantki polegała na udziale w tworzeniu hipotezy badawczej, obróbce graficznej wyników symulacji komputerowej oraz udziale w analizie wyników oraz w przygotowaniu artykułu. W autoreferacie Habilitantka bardzo szczegółowo opisuje część eksperymentalną dotyczącą technologii LECBD. Wytworzono nanocząstki ZnO o średnicy poniżej 5 nm poprzez optymalizację parametrów procesu osadzania. Habilitantka konkluduje, że zaobserwowano iż

istnieje optymalne ciśnienie, które pozwala na uzyskanie najwyższych wartości fotoluminescencji w procesie LECBD dla efektywnej konwersji energii. Ponadto, Habilitantka wysuwa wniosek, iż warstwa ZnO_x o zoptymalizowanej stechiometrii, $x = 0,5$ może być używana jako konwerter luminescencyjny umieszczony na górnej powierzchni każdego rodzaju ogniwa słonecznego, co wykazała wykonując symulacje komputerowe dla ogniw krzemowych, CIGS i CdTe. Porównano ogniwa z warstwą antyrefleksyjną ZnO oraz z warstwą konwertującą na bazie nanocząstek ZnO uzyskując dla każdego ogniwa przewagę po zastosowaniu nanocząstek ZnO. Niestety zabrakło informacji jakie modele ogniw słonecznych zastosowano do symulacji w programie SCAPS, o jakiej architekturze? Habilitantka, konkluduje, iż obserwowano także dla ogniw z warstwą nanocząstek ZnO wytworzonych metodą LECBD na krystalicznych ogniwach krzemowych wzrost wydajności EQE, aczkolwiek charakterystyka przedstawiona na rys 7 w autoreferacie nie jest jednoznaczna a obserwowany wzrost jest niewielki.

W artykule H1 i w autoreferacie nie przedstawiono synergii między wyborem materiału (ZnO) a zastosowaną technologią wytwarzania (zalety i wady) i otrzymanymi parametrami.

Praca została opublikowana w 2014 roku, czyli w roku obrony doktoratu przez Habilitantkę. Co jest elementem nowości pracy H1 w stosunku do obecnych doniesień literaturowych? Artykuł H1 ma charakter teoretyczno-eksperymentalny. Proszę o ustosunkowanie się do stwierdzenia w artykule, cytuję: „*Additionally ZnO layers are not usually used as the antireflective coating of silicon solar cells, thus further implementation of ZnO NPs layers as a down shifter in the case of these solar cells is put in question.*”

Habilitantka konkluduje, iż metoda LECBD nie pozwala na wytwarzanie warstw o dużej powierzchni (max. 1 cm²) i traktuje tą metodę i otrzymane wyniki jako punkt odniesienia do dalszych badań w celu otrzymania warstw o większych rozmiarach dla zastosowań aplikacyjnych w fotowoltaice, aczkolwiek nie znalazłam w autoreferacie i pracy informacji na temat przeskalowania technologii.

W artykule H2 gdzie Habilitantka jest autorem do korespondencji porównano wyniki badań dla warstw ZnO wytworzonych techniką LECBD z ogniwem z warstwą ZnO wytworzonej metodą powlekania obrotowego (o średnicy 20 nm). Badano ZnO w różnym stężeniu zawieszone w wodnym roztworze matrycy polimerowej, aczkolwiek nie podano rodzaju polimeru. Prace eksperymentalne przeprowadzono dla ZnO (SEM, luminescencja). Zaobserwowano, iż warstwa ZnO na podłożu szklanym absorbuje promieniowanie z zakresu 280-400 nm, i widoczna jest emisja dla ZnO wzbudzonych tym promieniowaniem co zdaniem Habilitantki daje podstawy/nadzieje do wytworzenia warstw konwertujących w celu poprawy wydajności ogniw słonecznych poprzez zjawisko *down-conversion*. Ponownie Habilitantka konkluduje, iż po optymalizacji technologii osadzania warstw można będzie zastosować proponowane rozwiązania w przemyśle. Aczkolwiek, w H2 i w autoreferacie nie przedstawiono wyników dla skonstruowanych ogniw z warstwą ZnO.

Niezrozumiałym jest stwierdzenie w autoreferacie, iż w H2 porównywane są ogniwa z ZnO wytworzonym metodą LECBD z ogniwem z warstwą ZnO:Al w charakterze transparentnej elektrody. Jak wytworzono AZO? Skład pierwiastkowy AZO i ZnO jest różny więc porównywanie tych dwóch materiałów jest nie do końca właściwe z punktu widzenia

inżynierii materiałowej. Wiadomym jest, iż zarówno kształt, rozmiar jak i stężenie nanocząstek ma wpływ na otrzymywane parametry. Zabrakło analizy i dyskusji w tym aspekcie.

Praca H3 (Habilitantka jest pierwszym autorem) jest kontynuacją pracy H2, gdzie badano nanocząstki ZnO rozproszone w matrycy polimerowej na bazie PMMA ($M_w = 350\,000$ daltonów) o dwóch rozmiarach: 20 nm (praca H2) i w zakresie 90-210 nm (praca H3). PMMA potocznie nazywany jest szkłem akrylowym, a jego właściwości zależne są od wielkości masy molowej. Interesującym i innowacyjnym byłoby określenie wpływu masy molowej polimeru na otrzymywane parametry optyczne wytwarzanych warstw na bazie ZnO. PMMA został wybrany przez Habilitantkę ze względu na bardzo dobrą transmitancję optyczną w zakresie światła widzialnego. W pracy H3 poszerzono charakterystykę optyczną w tym badania luminescencyjne poprzez graficzną prezentację w formie map 3D. Warstwy luminescencyjne wytworzono techniką nanoszenia wirowego na szkło lub krzem. Wszystkie badane nanocząstki ZnO absorbują promieniowanie z obszaru światła UV, co potwierdza ich potencjał aplikacyjny jako *down-shift* konwerterów, a ponowna emisja następuje w świetle widzialnym. Obserwacje mikroskopią SEM uwiarygodniły tworzenie się aglomeratów szczególnie w przypadku ZnO o rozmiarze 20 nm, aczkolwiek zdaniem Habilitantki nie ma to ujemnego wpływu na oczekiwane właściwości luminescencyjne. Kolejnym krokiem było sprawdzenie w oparciu o symulacje komputerowe (oprogramowanie SCAPS) możliwości wykorzystania opracowanych warstw w ogniwach słonecznych krzemowych, CIGS czy CdTe. Na podstawie uzyskanych wyników symulacji Habilitantka wnioskuje, iż sprawność modelowych ogniw słonecznych rośnie proporcjonalnie wraz ze wzrostem transmitancji optycznej warstw i jest tym wyższa im wyższa jest wartość wydajności kwantowej luminescencji (LQE) co zdaniem Habilitantki jest parametrem kluczowym w celu ustalenia warunków brzegowych proponowanego rozwiązania w aspekcie opłacalności proponowanej technologii. Na otrzymywane wartości ma wpływ także szybkość rozwirowania warstw co bezwzględnie jest związane z grubością otrzymywanych warstw. Nie podano jaka była grubość badanych warstw. Zabrakło weryfikacji założeń teoretycznych z eksperymentem. Bezwzględnie pracę by wzbogaciły wyniki dla skonstruowanych ogniw z warstwą ZnO.

Praca H4 (Habilitantka jest pierwszym autorem, autorem do korespondencji jest A. Sosna-Głębska) jest kontynuacją pracy H3, gdzie przedstawiono dodatkowo wyniki symulacji uwzględniając rozkłady transmitancji optycznej warstw o różnych stężeniach ZnO w matrycy polimerowej na bazie PMMA. Nie zaobserwowano istotnych różnic w wartościach wydajności ogniw słonecznych przy różnych parametrach LQE dlatego zaprezentowano wyniki tylko dla LQE = 70%. Habilitantka konkluduje, iż wydajność ogniw jest wyższa dla niższych stężeń ZnO. Wyniki symulacji wykazały, iż dla stężenia < 5% ZnO warstwy pochłaniają więcej promieniowania niż ponownie emitują w procesie konwersji i tym samym wpływają na zmniejszenie wydajności pierwotnej, aczkolwiek w tym przypadku na wielkość absorbancji wpływ ma głównie rodzaj podłoża. Habilitantka ma świadomość, iż proponowane rozwiązania cechuje bardzo ograniczona możliwość zastosowań w aspekcie kompromisu między wysoką transmitancją optyczną a stężeniem nośników konwertujących. Uwaga: w

języku polskim nie używa się sformułowania koncentracja tylko stężenie. W H4 przedstawiono także wyniki symulacji EQE dla 3 rodzajów ogniw słonecznych na tle widm emisyjnych uzyskanych z pomiarów dla ZnO o rozmiarach 20 nm i 90-210 nm. Otrzymane wyniki sugerują większy potencjał dla ZnO 20 nm biorąc pod uwagę lepsze dopasowanie do rozważanych ogniw słonecznych.

Praca H5 (Habilitantka jest drugim współautorem pracy) jest kontynuacją pracy H4 i zamyka cykl artykułów poświęconych analizie ZnO jako warstwy konwertującej dla ogniw słonecznych. W H5 skupiono się na analizie nanocząstek ZnO o rozmiarach 20 nm w aspekcie doboru optymalnych stężeń masowych nanocząstek (1, 2 i 5%) zawieszonych w matrycy PMMA nanoszonych techniką powlekania obrotowego przy zastosowaniu różnych szybkości wirowania (1000-6000 rpm). Przedstawiono wyniki pomiarów widm transmitancji optycznej oraz widm emisji i wzbudzenia dla różnych stężeń ZnO. Ponadto wykonano badania mikroskopowe SE, SEM, MO i określono porowatość i grubość warstw. Zastosowana procedura wytwarzania warstw metodą powlekania obrotowego jest powszechnie znana.

Przeprowadzone symulacje komputerowe wykazały, iż dla wartości transmitancji niższej niż 85% warstwa konwertująca nie wpływa na wzrost wydajności ogniwa słonecznego. Poziom ten jest przekraczany dla warstw z ZnO (1 i 2 %) dla wszystkich badanych szybkości wirowania dla długości fali 400 nm. Z kolei dla 5% stężenia ZnO transmitancje na poziomie 85% uzyskuje się także ale tylko dla prędkości wirowania 1000 rpm przy długości fali 540 nm. W kolejnym etapie prowadzonych prac wykonano elastyczne ogniwo słoneczne na bazie krzemu amorficznego z warstwą ZnO oraz zmierzono charakterystykę EQE. Habilitantka stwierdza, iż widmo wzbudzenia ZnO jest względnie dopasowane do charakterystyki EQE ogniwa. Wartość EQE ogniwa nie przekracza 50% w zakresie długości fal 350-450 nm co zdaniem Habilitantki świadczy o pozytywnym wpływie warstwy ZnO na wydajność ogniw krzemowych. Rozkład optyczny wszystkich badanych warstw wynosi ponad 85% dla całego zakresu widzialnego, co spełnia warunek określony w symulacjach. Ponadto, nie obserwowano wpływu stężenia nanocząstek ZnO na morfologie wytworzonych warstw (SE SEM). Grubość warstwy wynosiła 2,55 μm jak podano na rys. 18 w autoreferacie. Niewątpliwie pracę wzbogaciły by informacje odnośnie chropowatości wytworzonych warstw i wpływie szybkości rozwirowania na grubość otrzymanych warstw.

Habilitantka, podsumowując cykl publikacji H1-H5 dotyczących analizy ZnO dla fotowoltaiki jako warstw konwertujących stwierdza, że widmo emisyjne warstw osiąga najwyższe wartości dla wyższego stężenia ZnO, przy niskich prędkościach wirowania. Proponowane warstwy do dalszych badań to 5% ZnO w PMMA wytwarzane z prędkością wirowania 3000 rpm, aczkolwiek w cyklu publikacyjnym nie znalazłam kontynuacji tych badań.

Kolejne trzy publikacje H6-H8 dotyczą próby zastosowania jako warstw konwertujących typu *down-converter* w ogniwach słonecznych kompozycji pierwiastków ziem rzadkich (REE) na bazie europu i dysprozu. Zabrakło analizy stanu literatury w temacie. Habilitantka stwierdza, iż analogicznie jak dla ZnO motywacją jest poprawa wydajności ogniw słonecznych poprzez przesunięcie spektrum promieniowania słonecznego z UV do Vis. Wybór materiałów argumentuje ich absorpcją promieniowania UV i emisją w obszarze światła widzialnego, a

także wysoką wydajnością kwantową luminescencji oraz faktem wykazywania fosforescencji. Jest to bardzo interesująca właściwość umożliwiająca emisję także po naświetlaniu, szkoda że Habilitantka nie rozwinęła tego wątku w pracach badawczych.

Praca H6 (Habilitantka jest pierwszym autorem, zaś autorem do korespondencji jest N. Szczecińska) dotyczy związków typu $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Eu}$, Dy oraz $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}$, Dy o wysokiej stabilności chemicznej. Praca H7 obejmuje analizę kolejnych materiałów takich jak $\text{ZnS}:\text{Cu}$ i $\text{ZnS}:\text{Cu}$, Mn, Co oraz ich mieszanek otrzymywanych poprzez mielenie proszków ($\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Eu}$, Dy; $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}$, Dy; $\text{ZnS}:\text{Cu}$, Mn, Co jako mieszanka 1 w stosunku 1:2:1:1, oraz mieszanka 2: $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Eu}$, Dy; $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}$, Dy; $\text{ZnS}:\text{Cu}$, $\text{ZnS}:\text{Cu}$, Mn, Co w stosunku 1:2:3:3). Praca H8 poświęcona jest analizie mieszanek opartych o REE i nanocząstki ZnO w kierunku poszerzenia zakresu widm emisyjnych, gdzie warstwy wytworzono metodą sitodruku (mając na uwadze także aspekty produkcyjne w tym prostotę wykonania) na podłożu PET z zastosowaniem farby bezbarwnej (pigmentu o stężeniu 10-50%) w celu otrzymania pasty aktywnej do wydruku. Analizowano wpływ grubości warstw na właściwości optyczne i luminescencyjne, aczkolwiek nie podano/nie znalazłam wartości grubości wytworzonych warstw co utrudnia interpretację wyników. Habilitantka konkluduje, iż na podstawie analizy rozkładów transmitancji optycznej można stwierdzić, iż zastosowanie sitodruku wielowarstwowego w celu zwiększenia wydajności ogniwa słonecznego nie przyniosło zamierzonego rezultatu. W autoreferacie Habilitantka używa zbyt ogólnikowych sformułowań bez podawania wartości konkretnych parametrów co utrudnia analizę wyników. Np. Chropowatość jest niezadowalająco wysoka (strona 27). Czyli jaka dla analizowanych układów dla konkretnych zastosowań powinna być aby spełnić swoją rolę w urządzeniu? W H6 znajduje się informacja iż chropowatość określono na poziomie około 82 μm , aczkolwiek w autoreferacie zabrakło tej informacji. Habilitantka w autoreferacie używa sformułowania koncentracja na stężenie co nie jest właściwym sformułowaniem.

Habilitantka stwierdza, iż wszystkie pigmenty oraz baza polimerowa (rozumiem że chodzi o polimer PET?) posiadają właściwości luminescencyjne i wpływają na zwiększenie wydajności ogniwa słonecznego poprzez skuteczne dopasowanie widma promieniowania do charakterystyk EQE ogniwa krzemowych. Habilitantka w pracy H7 wprowadza dodatkowo do REE barwnik (dye) Polyplast PY383. Kolejnym krokiem jest poprawa właściwości konwertujących warstw na bazie REE poprzez zwiększenie szerokości widma emisyjnego. Habilitantka proponuje w tym celu wytworzenie mieszanek na bazie REE i nanocząstek ZnO (20 nm i 90-210 nm) w stosunku 1:1, co omówiono w pracy H8 (Habilitantka jest autorem do korespondencji). Nie obserwowano wpływu dodatku ZnO na zakres widmowy przygotowanych mieszanek w porównaniu do REE, toteż nie kontynuowano tego kierunku badań. W zamian za to przygotowano elastyczne ogniwa krzemowe z warstwą $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}:\text{Eu}$, Dy oraz $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}$, Dy obserwując korzystny wpływ pierwszego związku na wzrost EQE ogniwa w porównaniu z ogniwem referencyjnym w zakresie UV dla stężenia 30%. Drugi związek nie spełnił oczekiwań jako warstwa konwertująca podobnie jak zastosowane mniejsze stężenie na poziomie 10% miało negatywny wpływ na otrzymane wartości EQE. W pracach H7 i H8 zastosowano do wytworzenia warstw roztwór PMMA, a w pracy H8 dodatkowo octan butylu, aczkolwiek Habilitantka nie wspomina o tym w autoreferacie.

Wiadomym jest, iż rodzaj rozpuszczalnika/domieszka ma duży wpływ na przetwarzalność polimeru i otrzymywane wyniki badań.

Ostatnie dwie prace z cyklu publikacyjnego H9 i H10 dotyczą wzbogacenia jak określiła to Habilitantka struktur o warstwy selektywnie transparentne w celu intensyfikacji efektu fotoluminescencji oraz zwiększenia ilości promieniowania docierającego do ogniwa słonecznego. W celu realizacji przedsięwzięcia Habilitantka proponuje nową konstrukcję konwertera wyposażoną w warstwę selektywnie transparentną umieszczoną nad warstwą konwertującą ZnO czy REE, której celem jest skierowanie jak największej ilości fotonów do ogniwa fotowoltaicznego. Z literatury znanym jest rozwiązanie polegające na wielokrotnym odbijaniu promieniowania słonecznego od ogniwa poprzez zastosowanie np. nanocząstek plazmonicznych czy też zastosowanie różnych układów optycznych, takich jak klasyczne soczewki, soczewki Fresnela, zwierciadła (płaskie, wklęsłe - paraboidalne, wklęsłe liniowe), liniowe soczewki Fresnela oraz koncentratory luminescencyjne (skoncentrowana fotowoltaika). Habilitantka w autoreferacie przedstawia koncepcje i wyniki eksperymentalne dla warstwy komercyjnej firmy 3M o wymogach tzw. lustra weneckiego. Brak jest opisu folii 3M w autoreferacie. W pracy H9 (Habilitantka jest pierwszym autorem) znajduje się informacja iż jest to folia PET. Transmitancję optyczną wykonano dla folii naświetlanej od strony teksturowanej i od strony płaskiej w całym zakresie długości fal obserwując, iż w zakresie światła widzialnego folia wykazuje różnicę około 70% pomiędzy stroną teksturowaną i płaską. Ważnym wnioskiem jest fakt, iż warstwa 3M umieszczona na warstwie konwertującej wykazuje transmitancję promieniowania UV równą około 100% podczas naświetlania warstwy od strony teksturowanej. Z kolei transmitancja optyczna od strony płaskiej w obszarze długości emitowanych fal (400-700 nm) wynosi tylko około 10%. Dla ogniwa z warstwą selektywnie transparentną, ale bez warstwy konwertującej nie obserwowano polepszenia charakterystyk EQE. Habilitantka mimo takiego wyniku, konkluduje, iż, cytując „*Jednak wyniki są bardzo obiecujące i stwarzają potencjał dla przyszłych prac w tym obszarze.*”, co jest stwierdzeniem nieco zaskakującym. Habilitantka nie przedstawia zarysu przyszłych prac w tym zakresie.

W pracy H10 (Habilitantka jest czwartym autorem) kontynuowano zagadnienia poruszone w H9 i zaproponowano wytworzenie warstw selektywnie transparentnych w postaci rowków trójkątnych i sinusoidalnych przy użyciu lasera UV 343 nm (zastosowano metodę abelacji laserowej gdzie weryfikowano parametry procesu, ale Habilitantka nie opisuje szczegółów tej technologii w autoreferacie tylko skierowuje recenzenta do pracy H10). Brak jest też informacji w autoreferacie co kryje się pod akronimami P5 i P7, które są przedmiotem dalszej analizy przez Habilitantkę (na rys. 27 jest pokazane 9 wytworzonych próbek). Dokonano porównania z niemodyfikowaną folią PET stwierdzając istotny proces degradacji w obszarze transmitancji optycznej dla światła UV-niebieskiego, co Habilitantka tłumaczy zbyt dużą mocą lasera, niestety w autoreferacie nie podano jaka to była moc. Stwierdzono, iż teoretycznie rowki trójkątne mają tendencje do generowania wyższej wydajności jednak kosztem bardziej złożonego procesu wytwarzania. Wytworzono na folii PET metodą abelacji laserowej rowki trójkątne i zaobserwowano efekt selektywnej transparentności. Habilitantka, konkluduje, iż są to wstępne badania które wymagają dalszej optymalizacji. W artykule H10

analizowane są teoretycznie także inne poza PET polimery (Kapton - poliimid, Teonex - PEN, PET i tzw. optyczny PET który został wybrany do dalszych badań ze względu na grubość 125 μm , zaś folia PET ma grubość 50 μm podobnie jak pozostałe analizowane polimery) do powyższych zastosowań pod kątem odpowiednich właściwości mechanicznych i środowiskowych, w tym elastyczności i wagi oraz ceny, niestety Habilitantka nie rozwija tego wątku w autoreferacie.

Przed wnioskami końcowymi, należy stwierdzić, iż zaproponowane technologie do wytwarzania warstw są znane i nie uwypuklono dostatecznie ich innowacyjnej modyfikacji na potrzeby wytwarzania warstw konwerterów energii. Ponadto zabrakło dogłębnej dyskusji naukowej i wyjaśnienia obserwowanych efektów na kanwie zależności materiałów – właściwości, które są bardzo ważne i bezwzględnie perspektywiczne dla rozwoju fotowoltaiki. Autoreferat opracowano raczej w formie opisu obserwowanych efektów.

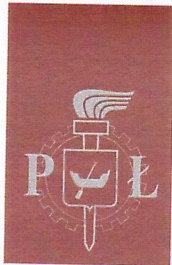
Habilitantka, podsumowuje osiągnięcie w 6 punktach, które mają charakter zbyt ogólny. Proszę o doprecyzowanie każdego stwierdzenia z 6 punktów pod kątem wykonanych badań eksperymentalnych i symulacji teoretycznych i wytypowanie najlepszego materiału i techniki oraz skonstruowanego ogniwa słonecznego jako innowacyjnego osiągnięcia dla przyszłych zastosowań aplikacyjnych.

Proszę o odpowiedź na czym polega oryginalność badań zaproponowanych jako cykl publikacyjny, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek Habilitantki, jaka jest pozycja przeprowadzonych badań w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Co jest głównym autorskim osiągnięciem naukowym Habilitantki?

Potrzebuję rozmowy z Habilitantką, aby podjąć ostateczną decyzję. Wnioskuje o zaproszenie Habilitantki na posiedzenie komisji Habilitacyjnej.

Agnieszka Iwan



Politechnika Łódzka

Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki

skan
wpisany

Łódź, 02.08.2022 r.

Pani prof. dr hab. inż. Agnieszka IWAN
Akademia Wojsk Lądowych imienia generała Tadeusza Kościuszki
Wydział Nauk o Bezpieczeństwie
ul. P. Czajkowskiego 109
51-147 Wrocław

Szanowna Pani Profesor!

W nawiązaniu do umowy o dzieło nr W2D/500/2-2-10-1/2022 z dnia 27.05.2022 r. i otrzymanej recenzji w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego p. dr inż. Katarzynie Znajdek, uprzejmie proszę Panią Profesor o uzupełnienie recenzji – zgodnie z wymaganiami art. 221 ust. 8 p.s.w.n - o jednoznaczną ocenę czy osiągnięcia naukowe dr inż. Katarzyny Znajdek odpowiadają wymaganiom określonym w art. 219 ust. 1 pkt. 2 p.s.w.n.

Jednocześnie, w związku z wnioskiem Pani Profesor o przeprowadzenie kolokwium habilitacyjnego, uprzejmie informuję, że Politechnika Łódzka jako podmiot habilitujący, w Uchwale Senatu nr 21/2021 z dnia 26 maja 2021r. w sprawie określenia sposobu postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego, zawarła następującą regulację: „Komisja habilitacyjna, po zapoznaniu się z recenzjami, może podjąć uchwałę o przeprowadzeniu kolokwium habilitacyjnego....”. Istnieje więc podstawa prawna do zorganizowania kolokwium habilitacyjnego po otrzymaniu kompletu recenzji w przedmiotowym postępowaniu.

Z poważaniem

DZIEKAN
Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki
Politechniki Łódzkiej

dr hab. inż. Jacek Kucharski, prof. uczelni

Prof. dr hab. Agnieszka Iwan
Wojskowy Instytut Techniki Inżynieryjnej im. prof. Józefa Kosackiego
ul. Obornicka 136,
50-961 Wrocław

Wrocław, 3.08.2022

Dotyczy: odpowiedzi na pismo z dnia 2.08.2022 – uzupełnienie recenzji do umowy o dzieło nr W2D/500/2-2-10-1/2022 z dnia 27.05.2022.

**Szanowny Pan Dziekan Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki
Politechniki Łódzkiej
Dr hab. inż. Jacek Kucharski, prof. uczelni**

Ocena dorobku naukowego oraz autoreferatu dr inż. Katarzyny Znajdek
(w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika)

Wniosek końcowy, rozprawa habilitacyjna dr inż. K. Znajdek spełnia wymagania formalne ustawy określone w artykule 219.

Jednakże w moim głębokim przekonaniu, dyskusyjna jest dominująca rola kandydatki w cyklu publikacji będących podstawą osiągnięcia naukowego.

W celu podjęcia ostatecznej decyzji tak jak napisałam w recenzji (z dn. 5.07.2022) z powodów, które szczegółowo wyjaśniłam w recenzji wnioskuję o zaproszenie Habilitantki na rozmowę podczas posiedzenia komisji Habilitacyjnej.

Wnoszę o dopuszczenie Habilitantki do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.

Z wyrazami szacunku

Agnieszka Iwan