

Lublin, 10.11.2023.

RECENZJA

osiągnięcia naukowego pt. „*Ultracienkie warstwy mikroporowate w zastosowaniach membranowych badane z wykorzystaniem elipsometrii spektroskopowej*” oraz całokształtu dorobku naukowego **dr. Wojciecha Ogiegło** w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki chemiczne

Sylwetka Kandydata

Pan dr Wojciech Ogiegło w 2009 roku otrzymał podwójny dyplom ukończenia studiów dwóch uczelni: Politechniki Krakowskiej (Wydział Chemii i Inżynierii Chemicznej) i Münster University of Applied Sciences, Department of Chemical Engineering w Niemczech uzyskując tytuł zawodowy magistra. Pracę magisterską pt. „Investigation of interactions between ultraviolet laser beam and polymer matrices with a use of total organic carbon and laser ablation ICP-MS” wykonywał pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Jana Pielichowskiego i prof. dr rer. nat. Martina Kreyenschmidta. Po skończeniu studiów kariera naukowa i zawodowa dr. Wojciecha Ogiegło związana jest z wieloma renomowanymi ośrodkami naukowymi w Holandii, Niemczech i Arabii Saudyjskiej.

Stopień naukowy doktora w zakresie inżynierii chemicznej Kandydat uzyskał w 2014 roku na University of Twente, Faculty of Science and Technology w Enschede w Holandii. Rozprawa doktorska zatytułowana „In-situ spectroscopic ellipsometry for studies of thin films and membranes”, obroniona z wyróżnieniem „cum laude” stała się punktem wyjściowym do wieloletnich przyszłych zainteresowań Habilitanta. Promotorem rozprawy był prof. dr. -ing. Matthias Wessling a promotorem pomocniczym prof. dr. ir. Nieck E. Benes.

Dr Wojciech Ogiegło odbył dwa długoterminowe podoktorskie staże naukowe, pierwszy w Institute for Sustainable Process Technology (ISPT) na University of Twente (01.2014–02.2015) w Holandii i drugi w DWI Leibniz Institute for Interactive Materials na RWTH Aachen University w Niemczech (03.2013–06.2017). Od 2017 roku do chwili obecnej jest zatrudniony w grupie badawczej kierowanej przez prof. Ingo Pinnau w Advanced Membranes and Porous Materials Center (AMPMC) na King Abdullah University of Science and Technology (KAUST) w Thuwal w Arabii Saudyjskiej początkowo jako Established Researcher (R3), a od 2022 jako Leading Researcher R4. Taki awans świadczy, że dr Wojciech Ogiegło jest naukowcem o dużej inicjatywie twórczej, cieszącym się międzynarodową sławą i uznaniem dzięki nowatorskim badaniom i osiągnięciom naukowym w swojej dziedzinie.

Wybrane dane naukometryczne dorobku naukowego Habilitanta

Całkowity dorobek naukowy dr. Wojciecha Ogiegło jest znaczący i obejmuje 50 prac, w tym 47 artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Report (JCR). Po uzyskaniu stopnia doktora Kandydat jest współautorem 35 prac, z czego 14 zostało zgłoszonych do recenzowanego osiągnięcia naukowego. Jego aktywność publikacyjna od 2012 roku wynosi średnio 5 indeksowanych prac na rok, co potwierdza bardzo wysoką kreatywność naukową Habilitanta. Po złożeniu wniosku ukazały się 2 kolejne prace w wysoko punktowanych czasopismach,



jedna w *Materials Horizons* (IF₂₀₂₃=15,72), a druga w *Journal of Membrane Science* (IF₂₀₂₃=10,53). Łączny współczynnik oddziaływania IF wszystkich prac Kandydata zgodnie z datą opublikowania wynosi 389,19, a po uzyskaniu stopnia doktora 328,29. W przeliczeniu na jedną pracę IF rzędu 8,28 w dziedzinie z zakresu zainteresowań Habilitanta jest wynikiem bardzo dobrym (wyróżniającym), potwierdzającym nowatorskość badań i wysoki poziom czasopism naukowych, w których publikowane były artykuły.

Uzupełnieniem listy prac twórczych jest monoautorski obszerny rozdział „In situ spectroscopic ellipsometry in the field of industrial membranes” w monografii *Ellipsometry of Functional Organic Surfaces and Films* wydanej w 2018 roku przez wydawnictwo Springer. Na podkreślenie zasługuje również zaangażowanie dr. Wojciecha Ogiegło (pierwszy autor) w przygotowanie przeglądowego artykułu w wysokopunktowanym czasopiśmie *Progress in Polymer Science* (IF₂₀₁₅=27,18) o wykorzystaniu elipsometrii spektroskopowej w badaniach cienkich warstw polimerowych w różnych cieczach i gazach. Praca ta do chwili obecnej była cytowana 115 razy co świadczy, że tematyka uprawiana przez Kandydata wpisuje się w najnowsze i aktualne trendy badawcze. Z punktu widzenia aplikacyjnego w dorobku dr. Wojciecha Ogiegło bardzo ważny jest patent pt. „Hybrid inorganic oxide-carbon molecular sieve membranes”, którego jest współautorem. Z oświadczenia Kandydata wynika, że był on głównym pomysłodawcą i wykonawcą większości badań do zgłoszenia patentowego.

Pan dr Wojciech Ogiegło podaje, że zgodnie z bazą Web of Science z października 2022 roku Jego prace były cytowane 1259 razy (1109 bez cytowań własnych), natomiast indeks Hirscha wynosił 22 (20 z wyłączeniem autocytowań). Są to bardzo dobre wskaźniki, tym bardziej że w ciągu roku indeks H wzrósł do 23, zaś liczba cytowań do 1483 (1339 bez autocytowań). Przytoczone parametry naukometryczne jednoznacznie wskazują na wysoką wartość publikacji naukowych Habilitanta oraz duże zainteresowanie wynikami jego badań w międzynarodowym środowisku naukowym.

Ważną formą upowszechniania rezultatów badań jest ich prezentacja na konferencjach i seminariach. Widać tutaj dużą aktywność Kandydata. W ciągu 13 lat wygłosił 33 komunikaty (21 po doktoracie, w tym 12 na zaproszenie) na konferencjach międzynarodowych oraz był współautorem 9 posterów (2 po doktoracie). Przewaga wystąpień ustnych świadczy o wysokich umiejętnościach dr. Wojciecha Ogiegło w prezentowaniu i popularyzacji wyników swoich badań.

Habilitant jest rozpoznawalny w środowisku naukowym. O Jego kompetencjach i uznaniu w skali międzynarodowej świadczy wykonanie w ciągu 10 lat 45 recenzji manuskryptów opublikowanych w m. in. *Nature Communications*, *Journal of Membrane Science*, *Materials Today Nano*, *Microporous and Mesoporous Materials*.

Osiągnięcia Habilitanta były zauważone i docenione. W 2012 roku otrzymał medal Paula Drude – nagrodę przyznaną młodym naukowcom przez „Arbeitskreis Ellipsometrie (AKE) – Paul Drude e. V.” za wybitne zasługi w dziedzinie metrologii elipsometrycznej i spektroskopii. Był również finalistą konkursu Lanxess Talent Award DWI/RWTH Aachen Summer School oraz otrzymał drugą nagrodę za najlepszą pracę doktorską w konkursie Dutch Challa Polymeer Prijs 2015. Docenienie badań Habilitanta nad możliwością zastąpienia energochłonnych separacji mieszanin cieczy lub gazów bardziej przyjaznymi dla środowiska separacjami membranowymi ukazało się w artykule w czasopiśmie KAUST DISCOVERY.

Ocena osiągnięcia naukowego

Pan dr Wojciech Ogiegło jako osiągnięcie naukowe (zgodnie z art. 219 ust. 1 pkt 2 lit. b ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce) wskazał cykl 14 spójnych tematycznie publikacji pt. „Ultracienkie warstwy mikroporowate w zastosowaniach membranowych badane z wykorzystaniem elipsometrii spektroskopowej”, które zostały omówione w formie autorskiego komentarza w opracowaniu liczącym 53 strony (załącznik 2 do wniosku o nadanie stopnia doktora habilitowanego w języku polskim i angielskim).

Publikacje stanowiące podstawę postępowania habilitacyjnego to oryginalne prace opublikowane w latach 2015–2021 w profilowanych czasopismach naukowych z listy JCR. Sumaryczny współczynnik wpływu tych prac zgodnie z rokiem opublikowania wynosi 131,48, natomiast $\Sigma IF_{2020}=154,28$ (2380 punktów MEiN), co daje średni IF na jedną pracę z cyklu równy 9,39 i 170 punktów MEiN. Prace te w chwili przygotowania wniosku (WoS, październik 2022) były



cytowane 311 razy (280 razy bez cytowań własnych), natomiast w po upływie roku liczba ich cytowań wzrosła już do 389 (WoS, październik 2023), co jest wynikiem bardzo dobrym dla Kandydata ubiegającego się o stopień doktora habilitowanego.

W ocenianym zbiorze wszystkie prace są wieloautorskie z udziałem od 2 [H7], 3 [H11, H13], 4 [H3, H6], 5 [H1, H2, H4, H8, H10, H12, H14], 6 [H5] i 9 [H9] współautorów. Ze względu na wielowątkowość badań z wykorzystaniem różnorodnych technik badawczych we współczesnej chemii praca w interdyscyplinarnych zespołach badawczych jest koniecznością i stała się praktycznie standardem. Niemniej jednak, przy ocenie dorobku naukowego, będącego podstawą osiągnięcia naukowego, należy uwzględnić autorski wkład Habilitanta w rozwój określonej dyscypliny wyrażony inicjowaniem prac badawczych oraz wiodącej roli w ich realizacji i upowszechnianiu.

Przy każdej pozycji włączonej do cyklu habilitacyjnego znajduje się szczegółowy opis udziału Kandydata w powstaniu publikacji, natomiast w zamieszczonych oświadczeniach przedstawiona jest również rola współautorów. W jedenastu pracach z cyklu habilitacyjnego dr Wojciech Ogiegło jest pierwszym autorem, a jego zaangażowanie i wiodąca rola nie budzi wątpliwości. Brał on aktywny udział w procesie tworzenia koncepcji, planowania, przygotowania próbek i realizacji badań eksperymentalnych, projektowania aparatury instrumentalnej. Analizował wyniki i przygotowywał procedury ich analizy, aktywnie uczestniczył w przygotowaniu manuskryptów i w całym procesie publikacyjnym. Bez wątpienia widać tutaj bardzo duży wkład merytoryczny Kandydata potwierdzony, co jest istotne, przez jego mentorów naukowych i współautorów prac, prof. dr. -ing. Matthiasa Wesslinga i prof. Ingo Pinnau. Z oświadczeń profesorów wynika, że ich rola polegała na konsultacjach naukowych dotyczących właściwości cienkich mikroporowatych warstwek, separacji gazów w membranach oraz na przygotowaniu końcowej wersji manuskryptu.

Do zbioru prac włączone są również 3 ważne prace opublikowane w renomowanych czasopismach z mniejszym udziałem dr. Wojciecha Ogiegło, jednak ważnych dla prezentowanego osiągnięcia. W pracy [H1, IF₂₀₁₅=7,145] brał udział w opracowaniu i weryfikacji modeli optycznych do analizy złożonych, wielowarstwowych struktur, natomiast w kolejnych dwóch uczestniczył w opracowaniu procedury eksperymentalnej badania właściwości cienkich warstw membranowych bez konieczności ich wyodrębnienia z nośników [H2, IF₂₀₁₆=16,721] oraz nowej metodologii mapowania topografii powierzchni membran [H9, IF₂₀₂₀=30,849].

Od początków działalności człowieka źródłem rozwoju metod separacji jest naturalna samorzutność mieszania się związków i potrzeba ich rozdziału. W miarę rozwoju przemysłu prowadzone są liczne prace nad efektywnym rozdziałem mieszanin przy najmniejszych nakładach energii i po jak najmniejszych kosztach. W latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku do znanych metod tj. filtracja, destylacja i ekstrakcja, sorpcja czy wymiana jonowa dołączyły techniki membranowe, które po latach badań utrwaliły swoją pozycję i nadal stale rośnie zainteresowanie nad opracowaniem nowych membran i ich wykorzystaniem w praktyce przemysłowej. W ten nurt wpisują się kompleksowe badania dr. Wojciecha Ogiegło dotyczące różnych materiałów, które mogłyby być wykorzystane w procesach rozdziału.

W ramach osiągnięcia naukowego Habilitant przeprowadził szereg precyzyjnych i dobrze zaplanowanych badań wykorzystując materiały o nowych właściwościach fizykochemicznych i użytkowych, tj. materiały hybrydowe organiczno-nieorganiczne na bazie poliedrycznych oligomerycznych silseskwioksanów, POSS (Polyhedral Oligomeric Silsesquioxanes), polimery z wewnętrzną mikroporowatością, PIMs (Polymers of Intrinsic Microporosity) oraz węglowe sita molekularne, CMS (Carbon Molecular Sieves). Do badań złożonych struktur membranowych zastosował technikę zaawansowanej elipsometrii spektroskopowej, którą w pracy doktorskiej wykorzystywał do charakterystyki cienkich i ultracienkich warstw separacyjnych. Do swoich badań włączył również inne nowoczesne techniki komplementarne obrazowania struktury powierzchni, tj. mikroskopia siła atomowych (AFM), skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM) i tunelowa mikroskopia elektronowa (TEM).

W autoreferacie w sposób przejrzysty i trafny dr Wojciech Ogiegło przedstawił podsumowanie najbardziej wartościowych wyników z podkreśleniem najważniejszych osiągnięć stanowiących istotny postęp w stosunku do istniejącego stanu wiedzy. Wśród prac z cyklu habilitacyjnego Kandydat wyróżnił i omówił badania eksperymentalne obejmujące trzy główne wątki tematyczne, które stanowią spójną całość.



Zgodnie z intencją Autora pierwsza część, dotycząca wykorzystania zaawansowanej elipsometrii spektroskopowej w badaniach *in-situ* złożonych systemów membranowych, rozpoczyna się od krótkiego przedstawienia historii elipsometrii z wykazaniem szerokiej możliwości jej wykorzystania do charakterystyki cienkowarstwowych membran kompozytowych otrzymanych przez ich nanoszenie z roztworu na porowaty nośnik [H1, H2, H7] oraz chropowatych membran otrzymanych w wyniku reakcji międzyfazowych [H9, H11]. W przypadku zastosowania tej nieinwazyjnej metody do analizy takich układów konieczne było opracowanie złożonych, wielowarstwowych modeli optycznych.

W pracy [H1] zaproponowany warstwowy model optyczny do charakterystyki membran bazujących na ultra-cienkich warstwach poli(POSS-imidu) naniesionych na mezoporowaty układ γ/α tlenku glinu został zweryfikowany przy wysokociśnieniowej sorpcji CO₂ i CH₄. Pomiary elipsometryczne wykonane z wykorzystaniem wysokociśnieniowej stalowej komory pozwoliły na wyznaczenie spęcznienia, współczynnika załamania światła i objętości molowych zaadsorbowanych gazów. Z przeprowadzonych badań m. in. wynika, że wysoka pojemność sorpcyjna badanych ultracienkich warstw hybrydowych daje nowe możliwości ich potencjalnych zastosowań, np. w czujnikach gazów czy membranach do separacji gazów.

Innym ciekawym wątkiem badawczym Habilitanta było zastosowanie zaawansowanej elipsometrii spektroskopowej *in-situ* w badaniach mechanizmu transportu protonów przez kanały wodne występujące w matrycy hydrofobowej PIM-1 stosowanej jako separator baterii przepływowych [H2]. Kolejną propozycją opartą na elipsometrii było wykorzystanie tej nieinwazyjnej metody optycznej do bezpośredniego obrazowania powierzchni cienkowarstwowych membran kompozytowych *in-situ* w cieczach [H7]. W tym przypadku membrana składała się z gęstej, szklistej polimerowej folii wykonanej z dwóch polimerów o wewnętrznej mikroporowatości: PIM-1 i PIM-6FDA-OH osadzonej na porowatym nośniku polimerowym (poliakrylnitryl, PAN). Dzięki tym badaniom pojawiają się nowe możliwości charakterystyki wielowarstwowych powierzchni kompozytowych zarówno w aspekcie poznawczym jak i przyszłych ich zastosowań.

Kolejne prace prezentują wyniki badań morfologii selektywnych warstw cienkowarstwowych membran kompozytowych uzyskanych przez polimeryzację międzyfazową (Interfacial Polymerization, IP) otrzymanych w laboratorium w KAUST [H9] oraz membran handlowych osadzonych na porowatym nośniku stosowanych w odwróconej osmozie do odsalania wody morskiej i słonej [H11]. Atrakcyjnością tych badań było wykorzystanie elipsometrii spektroskopowej do określenia grubości, współczynnika załamania światła i chropowatości warstw typu IP bez konieczności ich izolacji. Do modelowania struktury membran opracowano dwa modele optyczne: model jednorodny i model uwzględniający znaczną chropowatość powierzchni membran IP. Wyniki z elipsometrii FB-VASE (Focused Beam-Variable Angle Spectroscopic Ellipsometry) dla komercyjnych membran kompozytowych są w dobrej zgodności z danymi uzyskanymi z badań technikami mikroskopowymi SEM, TEM i AFM. Są to bardzo ciekawe i zasługujące na uwagę wyniki potwierdzone badaniami *in-situ* pęcznienia (wzrost grubości) warstw IP membran XLE i BW30XFR poddanych działaniu par wody i etanolu.

Drugi wątek tematyczny (prace [H3]–[H6], [H10]) dotyczy zachowania cienkich i ultracienkich polimerów z wewnętrzną mikroporowatością (PIMs) w czasie ich oddziaływania z cieczami i gazami oraz ich mieszaninami. Motywacją do podjęcia tych badań są niespotykane dotąd właściwości przenikania i separacji molekularnej tych syntetycznych materiałów membranowych. W pracy [H3], wykorzystując elipsometrię spektroskopową *in-situ*, zaprezentowano charakterystykę pęcznienia (zmiany grubości i współczynnika załamania światła) warstewek PIM-1 i PIM-6FDA-OH o grubości 53–72 nm dla sześciu rozpuszczalników organicznych i wody. Okazało się, że obie warstewki PIMs znacznie pęcznieją w większości rozpuszczalników i przechodzą indukowane penetrantem przejście szkliste, tworząc termodynamicznie zrównoważone mieszaniny podobne do cieczy. Ponadto, Habilitant na podstawie wyznaczonych zmian współczynnika załamania światła przeprowadził obliczenia udziału objętościowego rozpuszczalnika w mikroporowatych polimerach posiadających wysoką początkową objętość swobodną. Są to nowatorskie badania pęcznienia warstewek PIMs, które pozwalają na lepsze zrozumienie transportu rozpuszczalników, co jest szczególnie istotne dla ich zastosowań, np. w ich filtracji, separacji gazu ziemnego i zatrzymywania jonów w bateriach przepływowych.



Z kolei badania dynamiki sorpcji par etanolu i toluenu w ultracienkiej warstwy polimeru PIM-1 osadzonych na pytkach krzemowych wykorzystano do oceny ich plastyfikacji przed osiągnięciem całkowitego zmiękczenia [H5]. Okazało się, że oba związki organiczne znacząco spęczniają matrycę PIM-1 powodując jednocześnie zmiękczenie jej szklistej struktury oraz obniżenie temperatury zeszklenia spęcznionych polimerów. Wykazano tutaj wpływ rozpuszczalnika i grubości filmu na właściwości ultrasztywnych polimerów, co jest ważne w punkcie ich wykorzystania jako membrany czy adsorbenty o wysokiej wydajności.

Elipsometryczne badania pęcznienia i sorpcji CO₂ pod wysokim ciśnieniem w ultracienkich warstwach kilku polimerów o wewnętrznej mikroporowatości (PIMs) i polistyrenu (PS) opisane przez Habilitanta w pracy [H6] zostały wykonane dla warstwek o różnej grubości od 7 do 135 nm. Było to możliwe dzięki efektowi wzmocnienia interferencji uzyskanemu przez naniesienie warstwek na stosunkowo gruby (ok. 500 nm) nośnik z tlenku krzemu. Analiza wyznaczonych zmian współczynników spęcznienia i względnego współczynnika załamania umożliwiła Autorowi wnioskowanie o procesach wypełniania mikroporów i rozszerzania matrycy w określonych warunkach, co jest jeszcze szczególnie ważne dla układów praktycznych.

W pracach [H4] i [H10] przedstawione są wyniki prac badawczych Habilitanta dotyczące oddziaływań mieszanin par rozpuszczalników i gazów z cienkimi warstewkami mikroporowatych polimerów uzyskane przy pomocy elipsometrii spektroskopowej *in-situ* ze wzmocnioną interferencją. Pęcznienie PIM-1 i towarzyszące mu zmiany współczynnika załamania światła w ultracienkich (12–14 nm) warstewkach podczas działania czystych penetrantów (woda, n-heksan, etanol) i ich mieszanin [H4] pozwoliły na określenie konkurencyjnych oddziaływań cząsteczek podczas ich adsorpcji (dla wody/n-heksanu lub etanolu/n-heksanu) lub zwiększenia adsorpcji polarnych cząsteczek wody w obecności silniejsz adsorbujących się cząsteczek apolarnego etanolu, co jest istotne przy rozdziale mieszanin o podobnych oddziaływaniach.

Badano również wysokociśnieniowy wzrost objętości i sorpcji trzech polimerów szklistych: trioctanu celulozy, CTA (najczęściej wykorzystywanego materiału membranowego do separacji gazu ziemnego) oraz dwóch polimerów o wewnętrznej mikroporowatości, PIM-1 i PTMSP [H10]. Procesy te badano w cienkich warstwach o grubości ~50 i ~500 nm dla czystego CO₂ i CH₄ oraz mieszaniny gazów o stosunku objętościowym 50:50 przy ciśnieniu cząstkowym do 25 barów, co pozwoliło na potwierdzenie istotnych różnic strukturalnych oraz sorpcyjnych pomiędzy poszczególnymi polimerami. W szczególności wykazano istotną rolę ultramikroporów (<7 Å), których obecność w PIM-1 przeciwdziałała zmianom strukturalnym, co wpływa na zachowanie selektywności w ultracienkich membranach.

Spośród wielu wartościowych wyników Kandydata bardzo ciekawe i dobrze udokumentowane są badania związane z opracowaniem membran na bazie węglowych sit molekularnych ([H8], [H13], [H14]). Membrany CMS należą do obiecującej grupy materiałów amorficznych o potencjalnych zastosowaniach do zmniejszenia zużycia energii w wysokoenergetycznych procesach przemysłowych, a w szczególności w technologii separacji. Zainteresowania naukowe dr. Wojciecha Ogiełto podczas pracy w KAUST koncentrowały się na otrzymywaniu membran CMS na bazie polimerów PIMs, zwłaszcza poliimidów z wewnętrzną mikroporowatością (PIM-PIs), co szczegółowo omówiono w pracy [H8]. Ultracienkie membrany węglowe CMS preparowano na dobrze zdefiniowanych podłożach tlenku glinu stosując nowo zsyntetyzowany mikroporowaty prekursor SBFDA-DMN o dobrych właściwościach warstwowotwórczych. W wyniku obróbki termicznej takich układów następuje densyfikacja (zagęszczanie) struktury, co prowadzi do zapadania się mikroporowatej warstewki PIM-PI i powstanie cieńszych selektywnych warstw w porównaniu do niemikroporowatego 6FDA-DABA. Unieruchomienie takich warstwek na podłożu powoduje jednokierunkową zmianę struktury, co skutkuje anizotropią optyczną warstewki, która ma wpływ na skuteczność separacji gazów (CO₂/CH₄ i O₂/N₂).

Kontynuacja tych badań w pracy [H13] dotyczyła ultracienkich warstwek CMS na bazie PIM-PI o grubości < 100 nm na nośniku γ/α -tlenku glinu o porach 2–5 nm w aspekcie ich starzenia i separacji sześciu gazów (He, H₂, N₂, O₂, CO₂ i CH₄). W tym przypadku również stwierdzono zapadanie się struktury warstwek w wyniku pyrolizy oraz przyspieszone ich starzenie fizyczne.

W kolejnej pracy [H14] pirolityczną densyfikację i pęcznienie warstwek CMS (otrzymanych z prekursora SBFDA-DMN) o grubości ok. 300 i ok. 30 nm pod wpływem par etanolu badano stosując spektroskopową elipsometrię ze wzmocnieniem interferencyjnym, transmisyjną mikroskopię



elektronową i spektroskopię Ramana. Podobnie jak poprzednio, piroliza cienkich folii doprowadziła do znacznej orientacji struktury CMS w kierunku równoległym do podłoża, przy czym cieńsze warstwy zapadały się bardziej, co prowadziło do zmniejszenia mikroporowatości w porównaniu do grubszych odpowiedników. Zmniejszona mikroporowatość w cieńszych warstwach spowodowała zmiany w równowadze pomiędzy pęcznieniem indukowanym penetrantem a wypełnieniem mikroporów.

Istotnym osiągnięciem Habilitanta było wykazanie, że nadmierne zmniejszenie grubości warstwy selektywnej w amorficznych materiałach mikroporowatych CMS może prowadzić do niezwykle zwartych struktur, co często nie jest optymalne dla transportu molekularnego i separacji. Badania nad niepożądanym procesem zmiany struktury ultracienkich warstwek CMS doprowadziły do opracowania nowej metody otrzymania nanohybrydowych membran CMS poprzez pirolizę prekursora poliimidu o wewnętrznej mikroporowatości (PIM-PI) modyfikowanego metodą infiltracji w fazie gazowej (Vapor Phase Infiltration, VPI) związkami metaloorganicznymi zawierającymi Al (trimetylaluminium, TMA). Takie nanohybrydowe membrany węglowe domieszkowane rozproszonym Al_2O_3 charakteryzują się dobrą selektywnością rozdzielania gazów (np. CO_2/CH_4) typową dla wysokotemperaturowych pirolizowanych membran CMS, jednakże w temperaturach niższych o 200-300°C. Biorąc pod uwagę szerokie spektrum dostępnych prekursorów metaloorganicznych oraz możliwość optymalizacji procesu domieszkowania opatentowana metoda daje możliwość otrzymania nanomembran hybrydowych CMS o nowych właściwościach i przeniesienia ich ze skali laboratoryjnej do przemysłowej. Takie pilotażowe próby zostały już zapoczątkowane w Advanced Membranes and Porous Materials Center, co podkreśla dr Wojciech Ogiegło.

Ważnym elementem autoreferatu są przedstawione perspektywiczne kierunki rozwoju badań własnych, co pozwala ocenić możliwy stopień samodzielności Habilitanta. W szczególności obiektem dalszych zainteresowań będą obiecujące nowe nanohybrydowe membrany CMS z dodatkiem tlenków metali w celu ograniczenia fizycznego starzenia amorficznych cienkich i ultracienkich warstwek. Drugim nurtem przyszłych badań byłyby próby wykorzystania elipsometrii spektroskopowej *in-situ* do wyznaczenia porowatości cienkich warstwek, co w chwili obecnej jest praktycznie niemożliwe. Ambitne plany dr. Wojciecha Ogiegła obejmują również kontynuację współpracy z Zespołem Membran i Techniki Membranowych na Wydziale Chemii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika.

Podsumowując przedstawioną ocenę stwierdzam, że cykl prac zgłoszonych przez dr. Wojciecha Ogiegła do postępowania habilitacyjnego cechuje bardzo wysoki poziom naukowy. Kandydat wykazał się profesjonalnym warształem naukowym, znajomością licznych nowoczesnych technik badawczych, inwencją i oryginalnością koncepcji naukowych oraz umiejętnością rozwiązywania złożonych i trudnych zagadnień. Przeprowadzając wielokierunkowe i spójne badania Habilitant uzyskał szereg interesujących i nowatorskich wyników, co bez wątpliwości stanowi Jego istotny wkład w rozwój reprezentowanej dyscypliny i dobrze koresponduje z połączeniem badań podstawowych i ich aplikacyjności. Uzyskane ze współautorami wyniki weszły do światowej literatury przyczyniając się do postępu w dziedzinie badań nad membranami i ich wykorzystaniem w procesach separacji.

Ocena działalności dydaktycznej i organizacyjnej

Na pozytywną ocenę zasługują również osiągnięcia dydaktyczne i organizacyjne Habilitanta. Dr Wojciech Ogiegło jest zatrudniony w jednostce naukowo-badawczej w Advanced Membranes and Porous Materials Center (AMPMC) na King Abdullah University of Science and Technology (KAUST), która nie prowadzi działalności dydaktycznej jak szkoły wyższe. W związku z tym Habilitant nie miał możliwości prowadzenia zajęć kursowych ze studentami. Niemniej jednak, z sukcesem włączał się w kształcenie studentów. Dwukrotnie (w 2020 i 2023 roku) miał okazję prowadzić wykłady ze swojej specjalności dla studentów inżynierii chemicznej. Podczas studiów doktoranckich i po obronie pracy doktorskiej na University of Twente i RWTH Aachen University uczestniczył w opiece nad wykonywaniem trzech prac licencjackich i dwóch prac magisterskich. Kilku dyplomantów, którymi opiekował się dr Wojciech Ogiegło, jest współautorami publikacji z listy JCR oraz komunikatów na konferencjach naukowych. W 2019 roku w ramach programu dla młodych naukowców koordynował prace badawcze studenta, który z wysoką lokatą ukończył 6-tygodniowy kurs w Saudi Research Science Institute, SRSI. Ponadto, w 2022 roku został zaproszony do oceny raportów i wystąpień



uczestników programu SRSI. Aktywnie włączał się również w promocję działalności AMPMC uczestnicząc dwukrotnie w dniach otwartych.

Ważnym elementem oceny Kandydata ubiegającego się o stopień doktora habilitowanego jest umiejętność zdobywania środków na badania naukowe, a także czynny udział w przygotowywaniu oraz uczestniczeniu w realizacji projektów badawczych. Z załączonej do wniosku dokumentacji wynika, że w czasie pobytu w Holandii (2014–2015) był wykonawcą w jednym grantie, natomiast od 2018 roku Habilitant aktywnie uczestniczył jako wykonawca w czterech rocznych projektach w KAUST, a obecnie bierze udział w dwuletnim projekcie aplikacyjnym dotyczącym przeniesienia węglowych membran CMS ze skali laboratoryjnej do skali przemysłowej. W przygotowaniu jest również wysokobudżetowy projekt wdrożeniowy obiecujących membran CMS.

Do działalności organizacyjnej można zaliczyć uczestnictwo dr. Wojciecha Ogiegło w Komitecie organizacyjnym konferencji WSE2015 – 9th Workshop Ellipsometry oraz Komitecie programowym konferencji International Congress on Spectroscopic Ellipsometry (ICSE-9). Ponadto, jest on członkiem towarzystwa naukowego Arbeitskreis Ellipsometrie (AKE) – Paul Drude e.V. i North American Membrane Society (NAMS).

W okresie zatrudnienia w KAUST Habilitant odbył dwa krótkoterminowe staże naukowe na RWTH Aachen University oraz w ramach Grantu Mobilności na uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu, co zaowocowało publikacjami w *Macromolecules* i *Journal of Membrane Science*.

Ocena końcowa

Stwierdzam, że zgodnie z art. 221 ust. 8 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym osiągnięcia naukowe dr. Wojciecha Ogiegło ubiegającego się o stopień doktora habilitowanego odpowiadają (z nadmiarem) wymaganiom określonym w art. 219 ust. 1 pkt 2. Przedstawiony zbiór publikacji składających się na osiągnięcie naukowe cechuje wysoka wartość naukowa i merytoryczna z istotnymi elementami nowości naukowej w zakresie membran i ich wykorzystania w procesach rozdziału ze szczególnym uwzględnieniem elipsometrii spektroskopowej do badań złożonych struktur ultracienkich mikroporowatych warstw. W związku z tym w pełni popieram wniosek dr. Wojciecha Ogiegło o nadanie mu stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki chemiczne.

Lucyna Hołysz

