



Prof. dr hab. inż. Zbigniew Pędzich
AGH w Krakowie
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki
Katedra Ceramiki i Materiałów Ogniotrwałych
pedzich@agh.edu.pl tel. 693 772 169

Kraków, 20 czerwca 2022r.

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej mgr inż. Anity Wojciechowskiej
pt. „Wpływ modyfikacji powierzchniowych nanokryształów 2D faz MXenes
makrocząsteczkami organicznymi i nanocząsteczkami na ich właściwości biologiczne”

Recenzję sporządzono na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Materiałowa Politechniki Warszawskiej, prof. dr hab. inż. Małgorzaty Lewandowskiej.

Przedstawiona do recenzji rozprawa ma formę zbioru monotematycznych publikacji opublikowanych w języku angielskim. Wydana została jako opracowanie monograficzne zawierające przedmiotowe sześć publikacji wraz z wprowadzeniem, streszczeniami (polskim i angielskim), opisami zakresu i celów badań, a także omówienie całokształtu dorobku naukowego Doktorantki, co zwykle bywa przedstawiane w formie autoreferatu. Dołączone są również konsekwentnie oświadczenia współautorów publikacji. W efekcie publikacja jest połączeniem monografii z dokumentacją faktów wymaganą w przewodzie doktorskim. Jest to co prawda sugerowane w przepisach (tzn. obecność oświadczeń współautorów razem z publikacjami), jednak zaburza formę monografii, bo zawiera ona części nieistotne z naukowego punktu widzenia. Jest jednak, przynajmniej, bardzo wygodne dla recenzenta rozprawy, który musi nabyć przekonanie co do spełnienia wymagań formalnych w pracy. Praktyka sporządzania rozpraw doktorskich w formie cyklu publikacji jest relatywnie nowa i ciągle autorzy poszukują najlepszej metody przekazania swojego dorobku wraz z wymaganą dokumentacją innego rodzaju.

W tym kontekście chciałbym skomentować bardzo pozytywnie zamieszczenie abstraktu graficznego, który jeśli, jak to jest w tym przypadku, jest bardzo dobrze przygotowany i umieszczony w odpowiednim miejscu, może w bardzo korzystny sposób wpłynąć na nastawienie recenzenta do rozpoczynanej pracy, niejako „oswajając” go z jej problematyką.

Przedstawiony cykl publikacji pod tytułem „Wpływ modyfikacji powierzchniowych nanokryształów 2D faz MXenes makrocząsteczkami organicznymi i nanocząsteczkami na ich właściwości biologiczne” jest w mojej ocenie jednoznacznie monotematyczny i spełnia wymogi stawiane w tym zakresie przez Ustawę i Regulamin Rady Dyscypliny. Wszystkie czasopisma posiadają impact factor (od 1,284 do 6,182) oraz są wymieniane na liście czasopism punktowanych MEiN (jedna pozycja 40 pkt., jedna 100 pkt. i cztery odpowiednio 140 punktów). Poziom czasopism, w których opublikowano prace z cyklu, nie wymaga dodatkowego komentarza. Prace zostały rozpowszechnione w międzynarodowym środowisku naukowym, w czasopismach o szerokim zasięgu.

Tematyka rozprawy jest bardzo aktualna bo prace o MXenach publikowane są w istocie dopiero od roku 2011. Daje to Autorce pewien komfort badawczy, bo trzeba przyznać, że stan wiedzy o tych materiałach jest ciągle w fazie kumulowania faktów i szczegółów na temat ich właściwości w odniesieniu do różnych aplikacji i ich zachowania w różnych procesach. Cały czas intensywnie prowadzone są prace na temat ich otrzymywania, które nie jest trywialne oraz znalezienia najlepszych obszarów aplikacyjnych dla tych materiałów (aplikacje biotechnologiczne, medyczne, sensoryka, magazynowanie energii). Prace Doktorantki wpisują się właśnie w ten nurt badań.

Metodycznie Doktorantka sformułowała cztery cele badawcze, dotyczące nowej metody otrzymywania nanokryształów MXenów, możliwości modyfikacji ich powierzchni makrocząsteczkami organicznymi, możliwości dekoracji powierzchni nanocząsteczkami metalicznymi i ceramicznymi oraz określenie wpływu wybranych modyfikacji na właściwości biologiczne *in vitro*.

Realizacja celów badawczych miała zaowocować weryfikacją bardzo konkretnych hipotez badawczych dotyczących szczegółów procesu otrzymywania nanokryształów oraz funkcjonalizacji ich powierzchni prowadzącej do bioaktywności.

Publikacje złożone w cykl dokumentują realizację założonych celów badawczych. Ponieważ zostały one wydane w recenzowanych czasopismach, czuję się zwolniony

z konieczności ich szczegółowej recenzji, a oceniam jedynie ich spójność i wartość w kontekście tychże założonych celów. Ewentualne uwagi traktuję jako niezbędny element dyskusji naukowej.

Publikacje w ramach cyklu swoją „jednotematyczność” zawdzięczają głównie wyborowi materiałów do badań (MXeny Ti_2C i Ti_3C_2). Jednak jako całość, cykl omawia zróżnicowaną problematykę, w pierwszych pracach, otrzymywania tych materiałów, kolejno prace nad funkcjonalizacją, a w dwu ostatnich artykułach widzimy już wyraźny kontekst aplikacyjny.

Bardzo wysoko oceniam całościowy plan badawczy zrealizowany w toku prac nad doktoratem Pani Anity Wojciechowskiej. Te kilkuletnie prace przyniosły wartościowe wyniki, które w istotny sposób przyczyniły się do zwiększenia poziomu wiedzy na temat otrzymywania MXenów Ti_2C i Ti_3C_2 , możliwości ich modyfikacji dużą grupą przebadanych związków oraz ocenę możliwości wynikającej z tego bioaktywności. Praca powstała w wyniku przemyślanych badań, będących konsekwentną realizacją projektów badawczych, od Iuventus Plus, poprzez Sonatę Bis i Opus. Udział w nich, z oczywistych względów Doktorantka zawdzięcza aktywności Pani Promotor Prof. Agnieszce Jastrzębskiej. Doktorantka jednak w pełni wykorzystała stworzone możliwości. Dwie publikacje w cyklu rozprawy są afiliowane do Jej własnego projektu Preludium, a więc trzeba podkreślić bardzo pozytywnie fakt rozwoju naukowego Doktorantki, która w toku realizacji rozprawy rozszerzyła swoje kompetencje na tyle, że jest w stanie kierować poważnymi projektami naukowymi. Należy do listy projektów „zamieszanych” w realizację rozprawy dodać jeszcze dwa projekty finansowane przez Politechnikę Warszawską w ramach działań Projektu Inicjatywa Doskonałości Uczelnia Badawcza. Widać w nich interdyscyplinarność zaplanowanych i zrealizowanych prac. Szczegółowe omawianie wątku interdyscyplinarności w ocenianej rozprawie byłoby swego rodzaju nietaktem. Ta praca od samego założenia, w oczywisty sposób, miała łączyć w sobie działania z zakresu inżynierii materiałowej, inżynierii chemicznej, chemii materiałów, inżynierii biomedycznej, biotechnologii, czy inżynierii środowiska. I rzeczywiście wyniki uzyskane w pracy mogą być wykorzystane we wszystkich tych dyscyplinach. Współpraca z w obrębie kilku wydziałów Politechniki Warszawskiej (Chemii, Inżynierii Materiałowej, Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska) oraz Akademii Górniczo-Hutniczej, a nawet Uniwersytetu w Tjumeniu w Rosji, przyniosła efekty będące bazą dla wielu potencjalnych wątków aplikacyjnych. Co prawda

wymieniona współpraca międzynarodowa nie rokuje w obecnej sytuacji politycznej na rozwój, ale nie sądzę, żeby Doktorantka miała problem ze znalezieniem innych partnerów do współpracy. To otwarcie na potencjalne aplikacje jest również bardzo dobrze udokumentowane w publikacjach i wnioskach patentowych, nie będących co prawda, przedmiotem recenzji samej rozprawy doktorskiej, jednak zdecydowanie rozszerzających i komentujących kontekst aplikacyjny dorobku Doktorantki.

Publikacje przedstawione w cyklu potwierdzają zrealizowanie założonych celów badawczych. W toku badań pozyskano nowe informacje dotyczące odpowiednio:

- optymalizacji procesów wytwarzania MXenów Ti_2C i Ti_3C_2 , które mogą być wykorzystane jako baza dla różnorodnych zastosowań;
- stabilności faz Ti_2C i Ti_3C_2 w środowisku wodnym;
- możliwości modyfikacji powierzchni faz Ti_2C i Ti_3C_2 wybranymi makrocząsteczkami organicznymi;
- możliwości modyfikacji powierzchni faz Ti_2C i Ti_3C_2 wybranymi nanocząstkami nieorganicznymi (metale, tlenki metali);
- wpływu modyfikacji powierzchni Ti_2C i Ti_3C_2 na właściwości antybakteryjne, ekotoksyczne i cytotoksyczne.

Jak wspominałem na wstępie, MXeny są obecnie w fazie intensywnego budowania bazy informacji o ich różnorodnych właściwościach i praca Pani Anity Wojciechowskiej dostarcza tych nowych informacji bardzo dużo i daje nadzieję na praktyczną realizację potencjału drzemącego w zastosowaniu MXenów w różnych dziedzinach.

Za szczególnie ważne z punktu widzenia naukowego uważam całość wyników dotyczących możliwości sterowania ładunkiem powierzchniowym, a co za tym idzie kontrolą właściwości MXenów w różnych potencjalnych aplikacjach.

Wspomniałem wcześniej o uwagach, które nasunęły mi się w trakcie czytania rozprawy, a będących elementem dyskusji naukowej, która z pewnością powinna być podejmowana przy takich okazjach jak recenzja rozprawy doktorskiej.

W pracach opisujących modyfikację sposobu wytwarzania MXenów Ti_2C i Ti_3C_2 Autorka prezentuje dane dotyczące pomiaru wielkości cząstek metodą dynamicznego rozpraszania światła (DLS). Chciałbym prosić o komentarz uzupełniający do danych zawartych w publikacjach. Metoda DLS podaje rozkład wielkości cząstek poprzez dopasowanie numeryczne obrazu dyfrakcyjnego analizowanej populacji cząstek. Mówiąc

w sposób obrazowy, jako wynik analizy podawany jest rozkład wielkości cząstek najlepiej odpowiadający zarejestrowanemu obrazowi dyfrakcyjnemu. Niestety po drodze model posługuje się pewnymi uproszczeniami, na przykład w stosunku do kształtu cząstek. MXeny niejako „z definicji” nie są jednorodnymi cząstkami kulistymi. Obiekty pokazywane na ilustracjach uzyskanych techniką SEM ewidentnie mają swoją mikrostrukturę. W artykułach z cyklu zakłada się adekwatność modelu na podstawie cytowanej literatury. Chciałbym, aby w części jawnej rozprawy Doktorantka skomentowała w sposób nieco szerszy wyniki pomiarów DLS. Czy stosowała Ona standardowe modele dostępne w oprogramowaniu? Proszę także o komentarz w kwestii potencjalnych różnic w wielkości cząstek mierzonych za pomocą DLS i ich realnego rozmiaru i uzasadnienie wyboru jednej tylko liczby, obliczonej średnicy hydrodynamicznej, jako charakterystyki całej populacji. Sądzę, że informacja o szerokości rozkładu, że nie wspomnę o ewentualnej poli- lub monomodalności byłaby cennym uzupełnieniem przedstawianych danych.

W aspekcie nomenklaturowym interesuje mnie jak Doktorantka rozumie pojęcia „funkcjonalizacji” i „dekoracji”. Jaka jest między nimi różnica? I dlaczego nanocząstki nieorganiczne „dekorują” powierzchnię, a nie „funkcjonalizują” jej?

Innym zagadnieniem, które budzi moją wzmożoną ciekawość jest opinia Doktorantki na temat tego, jak widzi Ona możliwości aplikacyjne ze względu na bioaktywność badanych MXenów. Mam tu na myśli pluralizm możliwych aplikacji. Mogą one polegać na działaniu biobójczym, bioinertnym lub biostymulującym. Przedstawione wyniki badań świadczą o tym, że w zasadzie wszystkie te opcje są możliwe dla badanych materiałów. Wynika to z konkluzji publikacji przedstawionych w ocenianym cyklu. Jednak te konkluzje są napisane z właściwą wyważonej nauce powściągliwością. Mnie natomiast w trybie dyskusyjnym bardzo interesuje które z kierunków aplikacyjnych osobiście uważa Doktorantka za najbardziej perspektywiczne?

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska Rozprawy doktorskiej mgr inż. Anity Wojciechowskiej pt. „Wpływ modyfikacji powierzchniowych nanokryształów 2D faz MXenes makrocząsteczkami organicznymi i nanocząsteczkami na ich właściwości biologiczne” zdecydowanie spełnia wymogi przedstawione w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym (...) (tekst jednolity Dz.U. z 2017r. poz. 1789) w związku z art. 179 ust. 1 i ust. 2 ustawy z dnia 3 lipca 2018r. Przepisy wprowadzające ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018r. poz. 1669 z późn. zm.). W związku

z powyższym wnoszę do Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Materiałowa Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie Pani mgr inż. Anity Wojciechowskiej do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora.

Biorąc pod uwagę wszechstronny warsztat badawczy Pani mgr. inż. Anity Wojciechowskiej oraz wartość uzyskanych przez Nią wyników badań, które są ważne nie tylko dla inżynierii materiałowej ale również dla kilku innych dyscyplin naukowych, wnioskuję o wyróżnienie Jej rozprawy doktorskiej.

A handwritten signature in blue ink, reading "Krzysztof Potulski". The signature is written in a cursive, flowing style.