



Politechnika Warszawska
Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa

POLITECHNIKA GDAŃSKA BIURO RADY DYSCYPLINY NAUKOWEJ INŻYNIERIA MATERIAŁOWA	
Wpłynęło dnia	14.04.2026
L.dz.	19/2026
Podpis	<i>CS</i>

Warszawa, 03.04.2026

dr hab. inż. Arkadiusz Szczęśniak, prof. uczelni
Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa
Politechnika Warszawska
arkadiusz.szczesniak@pw.edu.pl

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr Omida Ekhlasiogouei

*"Electrophoretic deposition of protective coatings for high
temperature applications of steel interconnects"*

Promotor rozprawy

dr hab. inż. Sebastian Molin, prof. uczelni



RPW/16047/2026 P
Data: 2026-04-13

1. Podstawa opracowania

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska autorstwa mgr Omida Ekhlasiogouei pod tytułem: "Electrophoretic deposition of protective coatings for high temperature applications of steel interconnects", napisanej pod kierunkiem promotora dr hab. inż. Sebastiana Molina, prof. uczelni. Celem recenzji jest, zgodnie z obowiązującymi przepisami ustalenie, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a doktorant wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie naukowej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Recenzja została sporządzona w odpowiedzi na pismo Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Materiałowa, prof. dr hab. inż. Marii Gazdy z dnia 04.02.2026.

2. Ogólna charakterystyka recenzowanej rozprawy

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska pana mgr. Omida Ekhlasiogouei pt. „*Electrophoretic deposition of protective coatings for high temperature applications of steel interconnects*” została przygotowana w dyscyplinie inżynieria materiałowa. Praca dotyczy aktualnego i istotnego problemu badawczego z pogranicza inżynierii materiałowej, elektrochemii wysokotemperaturowej oraz technologii ogniów stałotlenkowych. Przedmiotem pracy jest opracowanie i ocena ochronnych powłok spinelowych nanoszonych metodą osadzania elektroforetycznego na stalowe interkonektory przeznaczone do pracy w warunkach wysokotemperaturowych. Podjęta tematyka ma duże znaczenie poznawcze i aplikacyjne, ponieważ trwałość oraz właściwości eksploatacyjne interkonektorów stanowią jeden z kluczowych czynników wpływających na niezawodność i żywotność ogniów typu SOC.

W rozprawie Autor koncentruje się na problemach związanych z utlenianiem stalowych interkonektorów, dyfuzją i parowaniem chromu oraz pogarszaniem przewodnictwa elektrycznego w warunkach pracy wysokotemperaturowej. W tym celu zastosowano powłoki spinelowe oparte na materiałach $MnCo_2O_4$ oraz $Mn_{1.7}CuFe_{0.3}O_4$, analizując ich właściwości w różnych konfiguracjach, w tym jako powłoki jednowarstwowe, dwuwarstwowe oraz hybrydowe. Zakres pracy obejmuje zarówno optymalizację parametrów zawiesiny i procesu osadzania elektroforetycznego, jak i ocenę mikrostruktury, składu fazowego, przewodnictwa elektrycznego oraz zdolności do ograniczania dyfuzji chromu.

Recenzowana rozprawa doktorska ma formę rozprawy opartej na cyklu publikacyjnym. Jej układ obejmuje wykaz skrótów, streszczenia w języku angielskim i polskim, rozdział wprowadzający, rozdział definiujący cel, hipotezy i nowość badań, trzy zasadnicze manuskrypty, a także końcowe podsumowanie zawierające wnioski i kierunki dalszych badań. Całość uzupełnia bibliografia obejmująca 121 pozycji oraz spisy rysunków i tabel.

Rozdział 1 Rozdział pierwszy ma charakter szerokiego wprowadzenia teoretycznego. Autor omawia klasyfikację ogniwi paliwowych, zasadę działania SOFC oraz materiały dla elektrolitu (YSZ, GDC), elektrody anodowej (cermet Ni-YSZ) i katodowej (LSM, LSCF). Centralną częścią jest charakterystyka metalicznych interkonektorów z ferrytycznej stali nierdzewnej. Rozdział kończy omówienie materiałów powłok ochronnych (spinele, perowskity), właściwości powłok spinelowych, roli domieszkowania pierwiastkami ziem rzadkich oraz zalet i ograniczeń metody EPD.

Rozdział 2 Rozdział precyzuje cel badawczy i formułuje dwie hipotezy. Celem dysertacji jest opracowanie metody EPD do nanoszenia powłok spinelowych w konfiguracjach jedno-, dwuwarstwowej i hybrydowej na interkonektorach o różnej geometrii. Pierwsza hipoteza zakłada możliwość wytworzenia metodą EPD powłoki dwuwarstwowej z wyraźną granicą faz, druga – możliwość kontrolowanego współosadzania dwóch spineli o dostosowanych właściwościach funkcjonalnych. Każda hipoteza jest bezpośrednio powiązana z zakresem jednego z manuskryptów

Rozdział 3 Główny rozdział zawiera pełne teksty trzech opublikowanych artykułów:

1. Omid Ekhlasiogouei, Federico Smeacetto, Sebastian Molin, "Suspension and process parameters selection for electrophoretic deposition of Mn-Co spinel coating on steel interconnects," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 60, pp. 1054-1067, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.02.252>. 3.2.
2. Omid Ekhlasiogouei, Maciej Bik, Sebastian Molin, "Preparation of Mn-Co and Mn-Cu-Fe single-layer, and novel Mn-Co/Mn-Cu-Fe dual-layer spinel protective coatings on complex-shaped metallic interconnects by EPD method," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 83, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.07.447>. 3.3.
3. Omid Ekhlasiogouei, Maciej Bik, Federico Smeacetto, Piotr Jasinski, Sebastian Molin, "Electrophoretic deposition of novel hybrid MnCo₂O₄: Mn_{1.7}CuFe_{0.3}O₄ spinel protective coating on stainless-steel metallic interconnects for SOFCs application,"

Każdy z artykułów poprzedzony jest krótkim opisem Autora i tabelą wkładu autorskiego (CRedit). Manuskrypt I dotyczy optymalizacji parametrów zawiesiny i procesu EPD dla powłoki Mn-Co na Crofer 22 APU, z wyznaczeniem optymalnych warunków osadzania (30 V, 20 s, czysty etanol, 10 g/L). Manuskrypt II opisuje wytworzenie i charakteryzację nowatorskiej powłoki dwuwarstwowej MnCo₂O₄/Mn_{1.7}CuFe_{0.3}O₄ na interkonektorach o złożonej geometrii, z analizą składu fazowego na granicy warstw metodą mapowania Ramana 2D. Manuskrypt III przedstawia pięć wariantów hybrydowych powłok Mn-Co/Mn-Cu-Fe (stosunki 1:0, 3:1, 1:1, 1:3, 0:1), badając przewodność elektryczną metodą van der Pauwa, skład fazowy (XRD, Raman) oraz dyfuzję chromu.

Rozdział 4 Podrozdział 4.1 (Conclusion) syntetycznie podsumowuje wyniki wszystkich manuskryptów, potwierdzając obie hipotezy badawcze i wskazując skuteczność powłok dwuwarstwowych i hybrydowych w ograniczaniu dyfuzji chromu. Podrozdział 4.2 (Future research directions) postuluje automatyzację procesu EPD dla dużych serii, długoterminowe testy ASR oraz badania powłok w warunkach rzeczywistej pracy stosu.

Sekcje uzupełniające Pracę zamykają zbiorczy wykaz piśmiennictwa (ponad 120 pozycji z lat 2004–2024), spis 14 rysunków, 3 tabel oraz wykaz ponad 40 skrótów i symboli stosowanych w pracy.

Reasumując, układ rozprawy oceniam pozytywnie, jest logiczny, a poszczególne rozdziały wyraźnie nawiązują do siebie nawzajem, a praca sprawia wrażenie spójnej całości.

3. Ocena wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora

W mojej ocenie recenzowana rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata na poziomie właściwym dla osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora. Świadczy o tym rozbudowany rozdział wprowadzający, obejmujący zagadnienia dotyczące ogniw stałotlenkowych, materiałów stosowanych na ich poszczególne komponenty, mechanizmu działania SOFC, właściwości interkonektorów metalicznych, zjawisk utleniania i migracji chromu, przewodnictwa elektrycznego, powłok ochronnych oraz metody osadzania elektroforetycznego. Zakres ten należy uznać za adekwatny do tematyki rozprawy i dyscypliny naukowej.

Na pozytywną ocenę zasługuje również to, że przedstawione podstawy teoretyczne pozostają w ścisłym związku z częścią badawczą pracy. Autor nie ogranicza się do opisu zagadnień ogólnych, lecz prowadzi wywód w kierunku problemów bezpośrednio związanych z tematyką rozprawy, takich jak właściwości powłok spinelowych, ich zagęszczanie, przewodnictwo elektryczne, dyfuzja chromu oraz możliwości zastosowania metody EPD do nanoszenia warstw ochronnych na interkonektory stalowe. Pozwala to uznać, że Kandydat posiada uporządkowaną wiedzę teoretyczną oraz potrafi wykorzystać ją do sformułowania celu pracy, pytań badawczych i hipotez.

Uwzględniając powyższe, stwierdzam, że przedłożona rozprawa spełnia wymaganie dotyczące wykazania ogólnej wiedzy teoretycznej przez osobę ubiegającą się o nadanie stopnia doktora.

4. Ocena wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej przez osobę ubiegającą się o nadanie stopnia doktora

W mojej ocenie recenzowana rozprawa doktorska potwierdza, że Pan mgr Omid Ekhlasiogouei posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Świadczy o tym prawidłowe sformułowanie problemu badawczego, konsekwentna realizacja programu badań eksperymentalnych oraz właściwa analiza i interpretacja uzyskanych wyników. Przedłożona rozprawa dowodzi, że Doktorant potrafi samodzielnie planować badania, dobierać adekwatne metody badawcze, prowadzić analizy oraz formułować wnioski naukowe i wskazywać dalsze kierunki prac badawczych.

Ocena ta znajduje uzasadnienie w układzie autorstwa publikacji wchodzących w skład cyklu. Omid Ekhlasiogouei we wszystkich trzech artykułach zajmuje pierwsze miejsce na liście autorów, a także pełni funkcję autora korespondencyjnego, co wskazuje na jego wiodącą rolę w przygotowaniu i opracowaniu wyników badań. W tabelach wkładu autorskiego sporządzonych według standardu CRediT przypisano mu role obejmujące m.in. methodology, investigation, formal analysis, data curation oraz writing – original draft, a więc zadania kluczowe z punktu widzenia samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Jednocześnie należy zauważyć, że sama rozprawa nie zawiera w pełni szczegółowego, opisowego rozdzielenia, które konkretne eksperymenty, analizy i elementy opracowania zostały wykonane bezpośrednio przez Doktoranta w ramach każdego z manuskryptów. Uwaga ta nie zmienia jednak mojej ogólnej oceny, że przedłożona rozprawa wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez osobę ubiegającą się o nadanie stopnia doktora.

5. Ocena czy rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego

W mojej ocenie recenzowana rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Oryginalność pracy nie polega na samym wyborze materiałów spinelowych czy zastosowaniu metody osadzania elektroforetycznego, lecz na zaproponowaniu i eksperymentalnej weryfikacji nowych konfiguracji powłok ochronnych dla stalowych interkonektorów pracujących w warunkach wysokotemperaturowych. Autor wykazał, że poprzez odpowiednie połączenie materiałów $MnCo_2O_4$ oraz $Mn_{1-7}CuFe_{0-3}O_4$ możliwe jest uzyskanie układów dwuwarstwowych i hybrydowych, które pozwalają łączyć korzystne właściwości obu faz, tj. wysoką odporność oksydacyjną oraz dobre przewodnictwo elektryczne.

Za istotny element nowości należy uznać przede wszystkim opracowanie nowej konfiguracji powłoki dwuwarstwowej Mn-Co/Mn-Cu-Fe nanoszonej metodą EPD na interkonektory o złożonym kształcie, a także zaproponowanie nowej powłoki hybrydowej Mn-Co:Mn-Cu-Fe

o różnych udziałach wagowych składników. Rozwiązania te nie zostały w pracy potraktowane wyłącznie koncepcyjnie, lecz zostały poddane ocenie eksperymentalnej w zakresie jakości powłok, ich zagęszczenia, przewodnictwa elektrycznego, składu fazowego oraz zdolności do ograniczania dyfuzji chromu.

Na pozytywną ocenę zasługuje również to, że Autor osadził proponowane rozwiązania w jasno zdefiniowanej luce badawczej. W rozprawie wskazano, że powłoki jednowarstwowe nie zapewniają jednocześnie optymalnej odporności na utlenianie, ograniczenia dyfuzji chromu i wysokiego przewodnictwa elektrycznego, co stało się bezpośrednią przesłanką do opracowania układów bardziej złożonych. Tym samym oryginalność pracy ma charakter zarówno materiałowy, jak i koncepcyjny oraz technologiczny.

Uwzględniając powyższe, stwierdzam, że rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w zakresie projektowania i wytwarzania ochronnych powłok spinelowych dla stalowych interkonektorów do zastosowań wysokotemperaturowych.

6. Uwagi oraz informacje o ewentualnych nieprawidłowościach

Dokonując krytycznej ewaluacji przedłożonej rozprawy doktorskiej, należy zwrócić uwagę na aspekty dyskusyjne, luki metodologiczne oraz uchybienia natury formalnej. Choć dysertacja w ujęciu całościowym bezsprzecznie reprezentuje satysfakcjonujący poziom naukowy i stanowi dowód biegłości kandydata w stosowaniu zaawansowanych technologii z zakresu inżynierii materiałowej, wyartykułowanie poniższych kwestii jest w pełni uzasadnione. Stanowią one bowiem cenne pole do dyskusji, a także istotną wskazówkę dla przyszłych projektów badawczych.

1. W rozdziale 3, poprzedzającym każdy z manuskryptów, wkład autorski Kandydata przedstawiono z wykorzystaniem standardowych kategorii CRediT. Jest to rozwiązanie zgodne z aktualną praktyką wydawniczą i niewątpliwie potwierdza istotny udział Pana mgr. Omida Ekhlasiogouei w przygotowaniu publikacji. Z perspektywy rozprawy doktorskiej opartej na publikacjach pewien niedosyt budzi jednak brak bardziej szczegółowego, opisowego wskazania, które elementy poszczególnych badań zostały wykonane samodzielnie przez Doktoranta. Takie uzupełnienie zwiększyłoby przejrzystość rozprawy i pozwoliłoby pełniej wyeksponować wkład własny Kandydata. **Które konkretne elementy metodologii, badań eksperymentalnych, analizy wyników oraz opracowania tekstu zostały wykonane samodzielnie przez Doktoranta w ramach każdego z trzech manuskryptów?**
2. Ograniczeniem pracy z punktu widzenia inżynierii i docelowego potencjału aplikacyjnego, jest brak weryfikacji powłok w warunkach operacyjnych ogniwa. Badania kandydata ograniczają się do wygrzewania (utleniania/redukcji) próbek w piecach atmosferycznych (w statycznym powietrzu lub w atmosferze wodorowej). Tymczasem

w rzeczywistym, działającym stosie SOFC interkonektor jest poddawany jednoczesnej ekspozycji na przepływ prądu elektrycznego, gradienty termiczne, pole naprężeń mechanicznych docisku, a przede wszystkim na drastycznie różne, przepływające gazy po obu stronach bloku. Oparcie konkluzji wyłącznie na prostym wygrzewaniu ex-situ stanowi znaczące uproszczenie problemu. W jaki sposób, w Pana ocenie, zaproponowane powłoki hybrydowe i dwuwarstwowe zachowują się w pełnych warunkach operando i czy będą stanowić wystarczającą barierę dla permeacji wodoru?

3. Brak porównania ilościowej konfiguracji powłok w jednej tabeli syntetycznej. Praca przedstawia wyniki trzech manuskryptów opisujących odpowiednio: powłokę jednowarstwową Mn-Co, powłoki jednowarstwowe + dwuwarstwową Mn-Co/Mn-Cu-Fe i pięć wariantów hybrydowych. Łącznie opisanych jest zatem co najmniej osiem różnych konfiguracji powłok. Tymczasem rozdział 4.1 (Conclusion) przedstawia wnioski wyłącznie narracyjnie, bez zestawienia tabelarycznego kluczowych parametrów (grubość, porowatość, przewodność elektryczna, dyfuzja Cr) dla wszystkich konfiguracji. Która z analizowanych konfiguracji powłok, przy uwzględnieniu wszystkich badanych parametrów jednocześnie, może zostać uznana przez Doktoranta za najbardziej perspektywiczną z punktu widzenia zastosowań praktycznych i dlaczego?
4. W części wprowadzającej pracy, między innymi w sekcjach 1.6.3 i 1.8, pojawiają się sformułowania takie jak „gęsta powłoka”, „wysokie przewodnictwo” czy „niski współczynnik rozszerzalności cieplnej”. Są to oczywiście pojęcia w pełni uzasadnione merytorycznie, jednak w kilku miejscach brakuje ich jednoznaczniejszego przełożenia na kryteria liczbowe, które mogłyby stanowić wyraźny punkt odniesienia dla oceny wyników własnych. Dotyczy to zwłaszcza oczekiwanego poziomu porowatości, przewodnictwa czy dopuszczalnego zakresu TEC w ujęciu aplikacyjnym. Jakie konkretne wartości graniczne porowatości, przewodnictwa elektrycznego oraz współczynnika rozszerzalności cieplnej Doktorant uznaje za wystarczające z punktu widzenia zastosowania badanych powłok na interkonektorach SOC?
5. W Manuskrypcie I optymalizacja parametrów procesu EPD została przeprowadzona dla stali Crofer 22 APU. W kolejnych częściach rozprawy analizowane są jednak również inne podłoża i inne geometrie interkonektorów. W pracy nie wykazano w sposób systematyczny, w jakim zakresie zoptymalizowane wartości napięcia, czasu osadzania i parametrów zawiesiny są przenaszalne między różnymi gatunkami stali ferrytycznych ani na ile zależą od składu chemicznego i geometrii podłoża. Jest to kwestia istotna zarówno z poznawczego, jak i aplikacyjnego punktu widzenia, ponieważ ogranicza możliwość bezpośredniego uogólnienia wypracowanych warunków procesu. Czy Doktorant uważa, że zoptymalizowane parametry EPD wyznaczone dla Crofer 22 APU mogą być bezpośrednio przeniesione na inne stale ferrytyczne, takie jak AISI 441 lub AISI 430, a jeśli nie, to jakie czynniki uznaje za kluczowe dla tej nieprzenaszalności?

6. Za istotny brak należy uznać to, że żaden z manuskryptów nie zawiera bezpośrednich pomiarów oporu powierzchniowego ASR dla pokrytych interkonektorów po procesie utleniania. Jest to szczególnie istotne w odniesieniu do powłok dwuwarstwowych i hybrydowych, które stanowią główny element nowości rozprawy. Tymczasem sam Autor w części przeglądowej wskazuje ASR jako jeden z podstawowych parametrów użytkowych interkonektora i przywołuje wartość progową o znaczeniu aplikacyjnym. W tej sytuacji zasadne pozostaje pytanie, dlaczego właśnie ten kluczowy parametr nie został zweryfikowany eksperymentalnie dla badanych układów.

Z jakiego powodu Doktorant nie przeprowadził bezpośrednich pomiarów ASR dla opracowanych powłok, mimo że parametr ten stanowi jedno z podstawowych kryteriów ich przydatności aplikacyjnej?

7. Kolejnym obszarem wymagającym dyskusji jest zakres czasowy przeprowadzonych badań. Rozprawa nie przedstawia własnych długoterminowych testów stabilności eksploatacyjnej, które pozwalałyby ocenić trwałość barierową, odporność na utlenianie oraz ewolucję parametrów elektrycznych i mikrostrukturalnych w dłuższej perspektywie. Z punktu widzenia zastosowań praktycznych jest to ograniczenie istotne, ponieważ procesy dyfuzyjne i degradacyjne, które w krótkim czasie wydają się umiarkowane, mogą po długotrwałej ekspozycji prowadzić do wyraźnej utraty właściwości ochronnych. W konsekwencji przedstawione wyniki mają dużą wartość materiałową i poznawczą, lecz ich znaczenie prognostyczne dla długotrwałej pracy interkonektora pozostaje ograniczone.

Jak Doktorant ocenia prawdopodobną trwałość ochronną badanych powłok w perspektywie wielotysięcznej pracy i które mechanizmy degradacji uważa za najbardziej krytyczne w długim czasie?

8. Zakres rozprawy odnosi się do układów SOC, obejmujących zarówno SOFC, jak i SOEC. Należy jednak zauważyć, że warunki pracy SOEC są pod wieloma względami bardziej wymagające niż klasyczny tryb SOFC, zwłaszcza po stronie tlenowej, gdzie występuje silnie utleniające środowisko pracy. W rozprawie nie przedstawiono wyników, które pozwalałyby bezpośrednio ocenić stabilność opracowanych układów spinelowych właśnie w takich warunkach. Zasadne wydaje się więc pytanie, na ile uzyskane rezultaty można odnosić także do zastosowań w SOEC i czy badane powłoki zachowałyby integralność strukturalną oraz funkcję ochronną również w tym reżimie pracy.

Uwagi o charakterze edycyjnym:

1. Rozdział 1.2.2 (Anode electrodes) otwiera zdanie: „because of the reducing conditions of the fuel gas, metals are utilized as anode materials...”, pisane małą literą, co wskazuje na brak poprzedzającego zdania.

2. Referencja nr 82 – nieprawidłowy format. Pozycja nr 82 zawiera wbudowaną ścieżkę do lokalnego pliku na komputerze autora: „fileCUsersASUSDesktopInt J Applied Ceramic Tech...”
3. Rysunek przedstawiający schemat zasady działania SOFC charakteryzuje się wyraźnie obniżoną rozdzielczością i rozmytymi elementami graficznymi, co utrudnia czytelną identyfikację poszczególnych komponentów ogniwa.
4. Braki w bibliografii: Referencja [13] w spisie literatury jest trudna do zidentyfikowania z uwagi na niepełne dane bibliograficzne. W pracy naukowej o tym stopniu zaawansowania aparat krytyczny musi być weryfikowalny i kompletny
5. Poważne błędy słownikowe, np. w wykazie skrótów błędnie zdefiniowano wiodący akronim "TEC" jako "Thermal exiation coefficient" zamiast poprawnego "Thermal expansion coefficient". Jest to niezwykle niefortunny błąd słownikowy w jednym z kluczowych parametrów.

Podsumowując, wykazane powyżej słabości i braki o charakterze aplikacyjnym (brak testów operando), a także liczne potknięcia warsztatu edytorskiego rzucają cień na ogólną estetykę i bezdyskusyjność wyciąganych wniosków pod kątem wdrożenia przemysłowego. Tym niemniej, rdzeń naukowy, zaawansowana metodyka, innowacyjność w obszarze hybrydowych barier dyfuzyjnych oraz obfitość precyzyjnych badań materiałowych (XRD, Raman, EPD) z powodzeniem pozwalają na pozytywną obronę tez postawionych na początku przewodu.

Comments and Information on Possible Irregularities

As the doctoral dissertation was written in English, the comments presented below have been translated into English in order to maintain terminological consistency and ensure precise reference to the original content of the dissertation.

In conducting a critical evaluation of the submitted doctoral dissertation, attention should be paid to points of contention, methodological gaps, and formal shortcomings. Although the dissertation as a whole undoubtedly represents a satisfactory scientific level and demonstrates the candidate's proficiency in applying advanced technologies in the field of materials engineering, the articulation of the following issues is fully justified. They provide valuable ground for discussion and serve as an important guide for future research projects.

1. In Chapter 3, preceding each manuscript, the Candidate's authorial contribution is presented using standard CRediT categories. This approach is consistent with current publishing practice and undoubtedly confirms the significant contribution of Mr. Omid Ekhlasiogouei, M.Sc., to the preparation of the publications. From the perspective of a dissertation based on publications, however, the lack of a more detailed, descriptive indication of which elements of the individual studies were carried out independently by the Candidate leaves something to be desired. Such an addition would increase the transparency of the dissertation and allow for a

more complete presentation of the candidate's own contribution. Which specific elements of the methodology, experimental research, analysis of results, and drafting of the text were carried out independently by the doctoral candidate within each of the three manuscripts?

2. A limitation of the work from the perspective of engineering and its intended application potential is the lack of verification of the coatings under actual cell operating conditions. The candidate's research is limited to annealing (oxidation/reduction) of samples in atmospheric furnaces (in static air or a hydrogen atmosphere). Meanwhile, in a real, operating SOC stack, the interconnector is simultaneously exposed to electric current flow, thermal gradients, a mechanical stress field from compression, and, above all, drastically different gases flowing on both sides of the block. Basing conclusions solely on simple ex-situ annealing constitutes a significant simplification of the problem. In your opinion, how will the proposed hybrid and bilayer coatings behave under full operando conditions, and will they provide a sufficient barrier against hydrogen permeation?
3. Lack of a quantitative comparison of coating configurations in a single summary table. The paper presents the results of three manuscripts describing, respectively: a single-layer Mn-Co coating, single-layer + bilayer Mn-Co/Mn-Cu-Fe coatings, and five hybrid variants. In total, at least eight different coating configurations are thus described. Meanwhile, Section 4.1 (Conclusion) presents the conclusions solely in narrative form, without a tabular comparison of key parameters (thickness, porosity, electrical conductivity, Cr diffusion) for all configurations. Which of the analyzed coating configurations, taking all the examined parameters into account simultaneously, can be considered by the PhD candidate to be the most promising from the perspective of practical applications, and why?
4. In the introductory section of the thesis, including sections 1.6.3 and 1.8, terms such as "dense coating," "high conductivity," and "low thermal expansion coefficient" appear. These are, of course, concepts that are fully justified in substance; however, in several places, they lack a clearer translation into numerical criteria that could serve as a clear reference point for evaluating the author's own results. This applies in particular to the expected level of porosity, conductivity, or the acceptable range of TEC in terms of application. What specific limit values for porosity, electrical conductivity, and the coefficient of thermal expansion does the PhD candidate consider sufficient from the perspective of applying the studied coatings to SOC interconnectors?
5. In Manuscript I, the optimization of EPD process parameters was carried out for Crofer 22 APU steel. However, subsequent sections of the dissertation also analyze other substrates and interconnector geometries. The work does not systematically demonstrate to what extent the optimized values of voltage, deposition time, and

suspension parameters are transferable between different grades of ferritic steel or to what extent they depend on the chemical composition and geometry of the substrate. This is a significant issue from both a theoretical and an applied perspective, as it limits the possibility of directly generalizing the developed process conditions. Does the PhD candidate believe that the optimized EPD parameters determined for Crofer 22 APU can be directly transferred to other ferritic steels, such as AISI 441 or AISI 430, and if not, what factors does he consider key to this non-transferability?

6. A significant shortcoming is that none of the manuscripts contain direct measurements of the ASR surface resistance for coated interconnectors after the oxidation process. This is particularly important with regard to bilayer and hybrid coatings, which constitute the main novelty of the dissertation. Meanwhile, the Author himself, in the review section, identifies ASR as one of the fundamental performance parameters of an interconnector and cites a threshold value of practical significance. In this context, it is reasonable to ask why this key parameter was not experimentally verified for the studied systems. Why did the doctoral candidate not conduct direct ASR measurements for the developed coatings, even though this parameter is one of the fundamental criteria for their applicability?
7. Another area requiring discussion is the time scope of the conducted research. The dissertation does not present its own long-term operational stability tests, which would allow for the assessment of barrier durability, oxidation resistance, and the evolution of electrical and microstructural parameters over the long term. From the perspective of practical applications, this is a significant limitation, as diffusion and degradation processes that appear moderate in the short term can lead to a marked loss of protective properties after prolonged exposure. Consequently, the presented results have great material and cognitive value, but their predictive significance for the long-term operation of the interconnector remains limited. How does the PhD candidate assess the likely protective durability of the studied coatings over thousands of hours of operation, and which degradation mechanisms does he consider most critical over the long term?
8. The scope of the dissertation pertains to SOC systems, encompassing both SOFCs and SOECs. It should be noted, however, that SOEC operating conditions are in many respects more demanding than those of a conventional SOFC, particularly on the oxygen side, where a highly oxidizing operating environment prevails. The dissertation does not present results that would allow for a direct assessment of the stability of the developed spinel systems under precisely such conditions. It therefore seems reasonable to ask to what extent the obtained results can also be applied to SOEC applications and whether the studied coatings would maintain their structural integrity and protective function under this operating regime as well.

Editorial notes:

1. Section 1.2.2 (Anode electrodes) begins with the sentence: “because of the reducing conditions of the fuel gas, metals are utilized as anode materials...”, written in lowercase, which indicates the absence of a preceding sentence.
2. Reference No. 82 – incorrect format Entry No. 82 contains an embedded path to a local file on the author’s computer: “fileCUsersASUSDesktopInt J Applied Ceramic Tech...”
3. The figure illustrating the operating principle of SOFCs is characterized by significantly reduced resolution and blurred graphic elements, which makes it difficult to clearly identify individual cell components.
4. Deficiencies in the bibliography: Reference [13] in the list of references is difficult to identify due to incomplete bibliographic data. In a scientific paper of this level of sophistication, the reference list must be verifiable and complete
5. Serious terminological errors, e.g., in the list of abbreviations, the key acronym “TEC” is incorrectly defined as “Thermal expiation coefficient” instead of the correct “Thermal expansion coefficient.” This is an extremely unfortunate terminological error regarding one of the key parameters.

In summary, the application-related weaknesses and shortcomings listed above (lack of in situ tests), as well as numerous editorial missteps, cast a shadow on the overall quality and indisputability of the conclusions drawn regarding industrial implementation. Nevertheless, the scientific core, advanced methodology, innovation in the field of hybrid diffusion barriers, and the abundance of precise material analyses (XRD, Raman, EPD) successfully support the theses put forward at the beginning of the thesis.

8. Wniosek końcowy

W mojej ocenie rozprawa doktorska Pana Omida Ekhlasiogouei pt. „*Electrophoretic deposition of protective coatings for high temperature applications of steel interconnects*” stanowi samodzielne rozwiązanie istotnego problemu naukowego i spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce oraz mieści się w dyscyplinie naukowej inżynieria materiałowa. Tym samym wnoszę o przyjęcie rozprawy oraz dopuszczenie Doktoranta do publicznej obrony.


dr hab. inż. Arkadiusz Szczęśniak, prof. uczelni