POLITECHNIKA POZNAŃSKA

Prof. Krzysztof FIC
Institute of Chemistry and Technical Electrochemistry
ul. Berdychowo 4/121A, 61-131 Poznań, Poland
tel.: +48 (61) 665-3310, e-mail: Krzysztof.Fic@put.poznan.pl

POLITECHNIKA GDAŃSKA
BIURO RADY DYSCYPLINY NAUKOWEJ
INŻYNIERIA MATERIAŁOWA
Wpłynęło dnia 28.10.2026
Poz. 75/2026
Podpis

Poznań, 27.10.2026

RECENZJA
rozprawy doktorskiej Pani Aiswarya Manohar
„Engineering Laser-Induced Graphene for Multifunctional Electrochemical Interfaces"
(„Inżynieria laserowo indukowanego grafenu do tworzenia wielofunkcyjnych interfejsów elektrochemicznych")

1. Przedmiot i podstawa oceny

Przedmiotem niniejszej recenzji jest rozprawa doktorska Pani Aiswarya Manohar pt. „Engineering Laser-Induced Graphene for Multifunctional Electrochemical Interfaces", przygotowana w dyscyplinie inżynieria materiałowa pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Jacka Ryla, z udziałem dr. Mohsena Khodadadi Yazdiego jako promotora pomocniczego. Rozprawa została napisana w języku angielskim i ma formę spójnej monografii naukowej obejmującej przegląd literatury, sformułowanie pytań badawczych i hipotezy, część metodyczną, obszerną część wynikową, rozdział poświęcony perspektywom dalszych badań oraz wnioski końcowe.

Recenzję przygotowano w odniesieniu do wymagań stawianych rozprawom doktorskim, w szczególności kryteriów określonych w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tekst jednolity: Dz.U. z 2026 r. poz. 1362), zgodnie z którymi rozprawa doktorska powinna prezentować ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie, wykazywać umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz przedstawiać oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

2. Tematyka, znaczenie i konstrukcja rozprawy

Tematyka rozprawy jest aktualna i dobrze osadzona we współczesnej inżynierii materiałów oraz elektrochemii. Laserowo indukowany grafen (*laser-induced graphene*, LIG) stanowi atrakcyjną platformę do bezpośredniego wytwarzania przewodzących, hierarchicznie porowatych struktur węglowych, których właściwości mogą być kształtowane zarówno na etapie konwersji laserowej prekursora, jak i poprzez późniejszą modyfikację powierzchni. Z punktu widzenia zastosowań elektrochemicznych szczególne znaczenie mają przy tym nie tylko przewodnictwo i rozwinięcie powierzchni, ale również zwilżalność, dostępność porów, chemia powierzchni, transport jonów i analitów oraz stabilność granicy faz (interfejsu) w bardziej złożonym środowisku.

Autorka buduje rozprawę wokół konsekwentnie rozwijanej koncepcji inżynierii interfejsu. Badania prowadzą od optymalizacji warunków wytwarzania LIG na folii poliimidowej, przez analizę zależności między parametrami procesu a strukturą i odpowiedzią elektrochemiczną, następnie przez modyfikację interfejsu naturalnymi hydrożelami, funkcjonalizację nanocząstkami Ir-Pt oraz elektropolimeryzację wielofunkcyjnej warstwy zawierającej komponent enzymatyczny, aż do demonstracji działania w układach detekcji nadtlenku wodoru

POLITECHNIKA POZNAŃSKA

Prof. Krzysztof FIC
Institute of Chemistry and Technical Electrochemistry
ul. Berdychowo 4/121A, 61-131 Poznań, Poland
tel.: +48 (61) 665-3310, e-mail: Krzysztof.Fic@put.poznan.pl

i glukozy. Ostatnia część pracy obejmuje badania eksploracyjne dotyczące alternatywnych prekursorów oraz transferu LIG na podłoża hydrożelowe.

Tak skonstruowana narracja jest jedną z mocnych stron pracy. Kolejne etapy nie stanowią zbioru luźno powiązanych eksperymentów, lecz rozwijają tę samą platformę materiałową i odpowiadają na kolejne ograniczenia poprzedniego poziomu funkcjonalizacji. Zasadne jest przy tym rozdzielenie dojrzałych wyników stanowiących zasadnicze osiągnięcie rozprawy od rozdziału 6, który sama Autorka określa jako *future perspectives and ongoing research*. Wyniki dotyczące cellulose-derived LIG, laserowej transformacji PTFE i transferu PEGDA traktuję zatem jako wartościowe badania wstępne i kierunek dalszego rozwoju, nie zaś jako równorzędny filar zasadniczego osiągnięcia doktorskiego.

3. Ocena części literaturowej oraz sformułowania problemu badawczego

Przegląd literatury jest szeroki i obejmuje zarówno podstawy elektrochemicznych materiałów węglowych, charakterystykę LIG i wpływ parametrów laserowych, jak również strategie funkcjonalizacji z wykorzystaniem hydrożeli, nanocząstek metali, polimerów przewodzących, warstw antifouling oraz komponentów biologicznie aktywnych. Autorka prawidłowo identyfikuje kilka realnych luk badawczych: brak pełnej standaryzacji warunków otrzymywania LIG, trudność w przenoszeniu parametrów między różnymi systemami laserowymi i prekursorami, złożoność transportu przez porowate interfejsy pokryte hydrożelami oraz potrzebę integrowania kilku funkcjonalności bez utraty dostępności elektrochemicznej.

W rozdziale 3 sformułowano zasadnicze pytanie badawcze dotyczące możliwości systematycznego kształtowania właściwości elektroanalitycznych i funkcjonalnej niezawodności LIG poprzez kontrolę parametrów laserowych i ukierunkowaną inżynierię powierzchni. Hipoteza zakłada, że odpowiedź elektrochemiczna i niezawodność interfejsów LIG mogą być kontrolowane poprzez racjonalną integrację procesu wytwarzania, doboru prekursora, nanomateriałów katalitycznych oraz wielofunkcyjnych warstw polimerowych. Uważam tę hipotezę za trafną i adekwatną do zakresu pracy. Jej zaletą jest odejście od prostego pytania „czy dany sensor działa?" na rzecz pytania bardziej fundamentalnego: jakie elementy architektury interfejsu determinują transport, kinetykę, stabilność i funkcjonalność całego układu.

Jednocześnie miejscami część literaturowa i wnioski aplikacyjne formułowane są szerzej niż zakres bezpośredniej walidacji eksperymentalnej. W szczególności perspektywy zastosowań w urządzeniach typu „*wearable*", bioelektronice czy złożonych próbkach biologicznych należy traktować jako uzasadnione kierunki rozwoju, ale nie jako już sprawdzone i określone zastosowania. Rozprawa jest najsilniejsza tam, gdzie Autorka pozostaje przy mechanistycznym opisie interfejsu i jasno określa aplikacje sensoryczne jako *proof-of-concept*.

4. Metodyka i warsztat badawczy

Zakres zastosowanych technik badawczych jest szeroki i dobrze dopasowany do wielowarstwowej natury badanych materiałów. Obejmuje on m.in. skaningową i transmisyjną mikroskopię elektronową, spektroskopię Ramana, XPS, FTIR, pomiary kąta zwilżania, rezystancję czteropunktową, woltamperometrię cykliczną, chronoamperometrię,

POLITECHNIKA POZNAŃSKA

Prof. Krzysztof FIC
Institute of Chemistry and Technical Electrochemistry
ul. Berdychowo 4/121A, 61-131 Poznań, Poland
tel.: +48 (61) 665-3310, e-mail: Krzysztof.Fic@put.poznan.pl

chronopotencjometrię, elektrochemiczną spektroskopię impedancyjną, a także testy biologiczne. Szczególnie pozytywnie oceniam próbę łączenia informacji morfologicznych, chemicznych i elektrochemicznych w celu budowania zależności struktura-właściwość-odpowiedź.

W pracy zastosowano również bardziej zaawansowane podejście do interpretacji transportu w hydrożelach: Autorka nie ogranicza się do prostego równania Cottrella, lecz wykorzystuje dopasowanie komponentów chronoamperometrycznych i podejmuje próbę oddzielenia efektów dyfuzji, kinetyki oraz powierzchni. Jest to kierunek metodologicznie wartościowy. Należy jednak podkreślić, że ilościowa interpretacja porowatych i wielowarstwowych interfejsów wymaga spełnienia szeregu założeń, które w kilku miejscach rozprawy są silniejsze niż materiał dowodowy pozwalający je niezależnie zweryfikować. Dotyczy to przede wszystkim EASA i parametrów kinetycznych wyprowadzanych z elektrochemii żelazocyjanków.

5. Najważniejsze osiągnięcia naukowe rozprawy

Za najważniejsze osiągnięcie rozprawy uważam nie samo opracowanie kolejnego czujnika glukozy, ale wykazanie, że LIG może stanowić platformę, której właściwości elektrochemiczne są modyfikowane sekwencyjnie i w sposób celowy poprzez kontrolę procesu wytwarzania oraz projektowanie kolejnych warstw interfejsu.

- Systematyczna analiza wpływu parametrów obróbki laserowej i grubości folii poliimidowej na morfologię, stopień grafityzacji, zwilżalność, przewodnictwo i odpowiedź elektrochemiczną LIG, prowadząca do wyznaczenia użytecznych okien procesowych.
- Wykazanie, że hydrożele o odmiennej chemii i ładunku w różny sposób modyfikują transport oraz odpowiedź żelazocyjanku w porowatej strukturze LIG; szczególnie interesujący jest przypadek chitozanu, w którym lokalne oddziaływania elektrostatyczne wyraźnie wpływają na odpowiedź elektrochemiczną.
- Opracowanie sekwencyjnej funkcjonalizacji LIG heteronanostrukturami Ir-Pt i demonstracja ich zwiększonej aktywności katalitycznej wobec H_2O_2 w porównaniu z LIG niemodyfikowanym i interfejsami pojedynczych metali.
- Opracowanie wielofunkcyjnej warstwy kopolimerowej integrującej immobilizację oksydazy glukozowej z właściwościami ograniczającymi *fouling* oraz potencjałem antybakteryjnym, przy zachowaniu użytecznej odpowiedzi elektrochemicznej.
- Walidacja całej strategii poprzez układy modelowe H_2O_2 i glukozy, badania interferentów, stabilności operacyjnej i odpowiedzi w sztucznym pocie, przy jednoczesnym prawidłowym określaniu tej części badań jako demonstracji *proof-of-concept*.

Łącznie wyniki te stanowią spójny wkład do obszaru inżynierii interfejsów elektrochemicznych. Szczególnie wartościowe jest połączenie aspektu materiałowego z transportem międzyfazowym i funkcjonalnością biologiczną, a nie jedynie maksymalizacja jednego parametru analitycznego.

POLITECHNIKA POZNAŃSKA

Prof. Krzysztof FIC
Institute of Chemistry and Technical Electrochemistry
ul. Berdychowo 4/121A, 61-131 Poznań, Poland
tel.: +48 (61) 665-3310, e-mail: Krzysztof.Fic@put.poznan.pl

6. Uwagi krytyczne i zagadnienia wymagające dyskusji

6.1. Interpretacja EASA w porowatym i modyfikowanym LIG

Najważniejsza uwaga metodologiczna dotyczy parametru „*electrochemically active surface area*" (EASA). Autorka słusznie zauważa, że prąd mierzony w pomiarze chronoamperometrycznym zależy jednocześnie od powierzchni, współczynnika dyfuzji i stężenia, oraz podejmuje próbę korekty poprzez osobne wyznaczanie transportu w warstwach hydrożelowych. Jest to mocniejsza metodyka niż bezpośrednie zastosowanie klasycznego równania Randlesa-Sevcika bez refleksji nad transportem.

Nadal jednak pozostają istotne pewne poczynione założenia. Współczynnik dyfuzji w hydrożelu określany na płaskim (nieporowatym) SPCE jest następnie traktowany jako reprezentatywny dla hydrożelu znajdującego się na hierarchicznie porowatym LIG. Co ważniejsze, chitozan może (?) zatężać anionowy żelazocyjankowy próbnik redoks, a więc lokalne stężenie w warstwie nie musi być równe stężeniu w roztworze objętościowym. Sama Autorka trafnie opisuje zjawisko „partitioning" i wiąże je z wysoką odpowiedzią CS-LIG. W tej sytuacji wartość 2,34 cm^2 dla CS-LIG, około dziewięciokrotnie większa od wartości dla „*bare*" LIG powinna być interpretowana przede wszystkim jako *apparent/effective* EASA dla konkretnego próbnika i przyjętego modelu, a nie jako bezpośrednia miara rzeczywistej powierzchni reaktywnej materiału. Zapewne taka metodyka ma swoje uzasadnienie, o które poproszę w trakcie publicznej obrony.

Dodatkowo w rozdziale poświęconym metodyce (s. 69) zastosowano „modified Randles-Sevcik equation" zawierające współczynnik symetrii transferu alfa, podczas gdy w innych miejscach narracja odwołuje się do warunków typowych dla odwracalnego układu żelazocyjankowego. Warto podczas obrony jednoznacznie wyjaśnić, jaka postać równania była rzeczywiście używana w poszczególnych obliczeniach i dlaczego wybrano właśnie taki reżim kinetyczny.

6.2. Znaczenie parametru k^0

Podobnej ostrożności wymaga (w mojej subiektywnej ocenie) wyznaczanie standardowej stałej szybkości heterogenicznego transferu elektronu k^0 metodą Nicholsona. W klasycznym ujęciu relacja między separacją pików a kinetyką jest najbardziej jednoznaczna dla dobrze zdefiniowanego, quasi-odwracalnego interfejsu. W porowatym LIG, a szczególnie po wprowadzeniu hydrożelu, nanocząstek lub polimeru, obserwowana separacja pików i kształt odpowiedzi zależą jednocześnie od transportu w porach i warstwie, oporu omowego, aktywności próbnika oraz heterogeniczności powierzchni. Dlatego uważam, że k^0 należy traktować jako parametr efektywny dla wybranego „*redox probe*" w konkretnych warunkach, a nie jako uniwersalną, „*intrinsic*" właściwość badanego materiału.

Zakładam, że rozprawa częściowo dostrzega tę złożoność, zwłaszcza w dyskusji układu CS-LIG, gdzie wysoka odpowiedź prądowa współistnieje z nieco niższą wartością k^0. Uważam tę obserwację za wartościową, natomiast terminologia powinna być bardziej konsekwentna: parametry kinetyczne uzyskane w tym układzie opisują zachowanie całego interfejsu, a nie wyłącznie elementarny etap transferu elektronu.

POLITECHNIKA POZNAŃSKA

Prof. Krzysztof FIC
Institute of Chemistry and Technical Electrochemistry
ul. Berdychowo 4/121A, 61-131 Poznań, Poland
tel.: +48 (61) 665-3310, e-mail: Krzysztof.Fic@put.poznan.pl

6.3. Parametry procesu laserowego i powtarzalność

W części metodycznej występuje pewna niespójność wymagająca korekty: moc źródła wskazano jako 50 W, natomiast przy definiowaniu procentowego ustawienia mocy podano, że procent odnosi się do całkowitej mocy wynoszącej 40 W. Ma to znaczenie, ponieważ istotna część rozprawy opiera się na porównywaniu niewielkich zmian mocy nominalnej, np. 12 i 13%. Należy jednoznacznie wskazać rzeczywistą konfigurację źródła i sposób kalibracji.

Z tym wiąże się także termin „fluence". W mojej ocenie, procent nominalnej mocy urządzenia nie jest fluencją w sensie fizycznym. Fluencja wymaga znajomości energii dostarczonej na jednostkę powierzchni, a więc m.in. rzeczywistej mocy na próbce, geometrii/średnicy wiązki, czasu oddziaływania wynikającego z prędkości skanowania oraz sposobu nakładania ścieżek. W pracy słowo „fluence" jest miejscami używane jako synonim procentowej mocy zadanej. Przy pracy, która słusznie akcentuje standaryzację LIG, warto ten zapis uporządkować i odróżnić parametry zadane urządzenia od wielkości fizycznych obliczonych dla próbki. Być może jest to kwestia standardów w podejmowanych badaniach i takie rozróżnienie nie ma większego znaczenia. Proszę o wyjaśnienie tej kwestii.

6.4. Geometria elektrody i normalizacja powierzchniowa

W opisie geometrii elektrody podano średnicę części roboczej równą 3 mm. Taki wymiar odpowiada powierzchni geometrycznej około 0,0707 cm^2. W dalszych obliczeniach, w tym przy normalizacji czułości i porównaniach EASA, pojawia się natomiast wartość 0,085 cm^2. Różnica nie jest duża z punktu widzenia jakościowej interpretacji, ale wpływa na wszystkie parametry normalizowane do powierzchni. Proszę o wskazanie, która wartość jest rzeczywista i skorygować odpowiednie obliczenia lub opis geometrii.

6.5. Spektroskopia Ramana i interpretacja stosunku I_D/I_G

Na s. 76 wyższy stosunek I_D/I_G dla jednej z próbek został zinterpretowany jako oznaka większego uporządkowania „grafitowego" i niższej gęstości defektów. Taka interpretacja może być prawidłowa tylko po jednoznacznym wskazaniu reżimu strukturalnego badanego węgla, ponieważ zależność I_D/I_G od stopnia nieuporządkowania nie jest monotoniczna. W silnie defektowych materiałach węglowych kierunek zmian może być odmienny niż w dobrze uporządkowanym grafenie. Sugerowałbym zatem, aby podczas obrony Autorka odniosła swoje wyniki do modelu *„amorphization trajectory"* i wyjaśniła, na jakiej podstawie przypisała obserwowany trend zmianom „gęstości" defektów.

6.6. Elektrochemiczna spektroskopia impedancyjna (EIS)

EIS jest właściwym narzędziem do analizy tak złożonych interfejsów, ale sposób wykorzystania danych impedancyjnych w rozprawie jest w większym stopniu jakościowy niż ilościowy. Metodologia informuje o dopasowaniu modeli obwodów zastępczych w programie EC-Lab, natomiast w części wynikowej dominują interpretacje oparte na wielkości półokręgu i przebiegu części niskoczęstotliwościowej. Dla silnie porowatej elektrody oraz dodatkowych warstw hydrożelowych prosty model Randlesa nie musi być wystarczający. Mocniejsze wnioski o zmianach R_{ct}, elementach pojemnościowych lub liczbie stałych czasowych wymagałyby konsekwentnego pokazania parametrów dopasowania, kryteriów wyboru modelu i jakości

Prof. Krzysztof FIC
Institute of Chemistry and Technical Electrochemistry
ul. Berdychowo 4/121A, 61-131 Poznań, Poland
tel.: +48 (61) 665-3310, e-mail: Krzysztof.Fic@put.poznan.pl

dopasowania. Nie traktuję tego jako wady dyskwalifikującej, ale jako ograniczenie mechanistycznej interpretacji EIS.

6.7. LOD, zakres liniowy i walidacja aplikacyjna

Dla biosensora glukozy raportowany jest limit detekcji 6,55 μM, podczas gdy eksperymentalnie przedstawiony zakres liniowy rozpoczyna się od 0,5 mM. Obliczenie LOD z relacji $3\sigma/S$ jest formalnie poprawne, ale tak duża różnica między statystycznie wyliczonym LOD a najniższym zwalidowanym punktem kalibracji wymaga ostrożności interpretacyjnej. Wartość ta pokazuje relację szumu ślepej próby do nachylenia krzywej, nie zaś bezpośrednio zwalidowaną zdolność ilościowego oznaczenia glukozy w zakresie pojedynczych lub kilkunastu mikromoli. Naturalnym uzupełnieniem byłaby eksperymentalna kalibracja w niższym zakresie stężeń oraz podanie LOQ.

Badania w sztucznym pocie są wartościowym krokiem w stronę bardziej złożonej matrycy, ale należy je traktować jako test funkcjonalności w modelowym elektrolicie, a nie pełną walidację „wearable" sensor. Podobnie test z BSA jest dobrą oceną podatności sygnału na fouling, ale nie stanowi bezpośredniego, ilościowego pomiaru adsorpcji białek. Testy antybakteryjne potwierdzają potencjał materiału polimerowego, natomiast nie są jeszcze pełną walidacją gotowej elektrody w długotrwałych warunkach użytkowych. Pozytywnie oceniam, że w wielu miejscach Autorka sama określa te doświadczenia jako *proof-of-concept*; zalecam utrzymanie tej ostrożności także w końcowych sformułowaniach.

6.8. Statystyka, powtarzalność i warstwa redakcyjna

W wielu kluczowych doświadczeniach przedstawiono wyniki dla niezależnych elektrod wraz z odchyleniami standardowymi, co należy ocenić pozytywnie. Nie jest to jednak stosowane całkowicie konsekwentnie. Dla części parametrów materiałowych i elektrochemicznych liczba niezależnych próbek, sposób propagacji niepewności lub statystyczna istotność niewielkich różnic nie zawsze są jasno widoczne. Ponieważ jednym z motywów pracy jest problem powtarzalności / odtwarzalności LIG, bardziej konsekwentne raportowanie „n" oraz niepewności dodatkowo wzmocniłoby pracę.

Warstwa językowa rozprawy jest zrozumiała, ale wymagałaby profesjonalnej korekty anglojęzycznej. W tekście zdarzają się drobne błędy gramatyczne, niekiedy niezręczne konstrukcje składniowe oraz miejscami nadmiernie kategoryczne sformułowania. Nie wpływa to na możliwość oceny wyników ani na ich wartość naukową. Ani dla mnie, ani dla Doktorantki, język angielski nie jest językiem ojczystym.

7. Dorobek publikacyjny związany z rozprawą

Wyniki rozprawy zostały w istotnej części poddane zewnętrznej weryfikacji w recenzowanych czasopismach. Bezpośrednio z tematyką rozprawy związane są m.in. następujące publikacje:

- M. Khodadadi Yazdi, A. Manohar et al., „Elucidating Charge Transfer Process and Enhancing Electrochemical Performance of Laser-Induced Graphene via Surface Engineering with Sustainable Hydrogel Membranes: An Electrochemist's Perspective", Talanta 281 (2025), 126836.

POLITECHNIKA POZNAŃSKA

Prof. Krzysztof FIC
Institute of Chemistry and Technical Electrochemistry
ul. Berdychowo 4/121A, 61-131 Poznań, Poland
tel.: +48 (61) 665-3310, e-mail: Krzysztof.Fic@put.poznan.pl

- A. Łepek, A. Manohar et al., „Neutral-pH Electropolymerization of Aniline on Hierarchically Porous Laser-Induced Graphene Electrodes for Dual Biosensing", Advanced Materials Technologies 11 (2026), e01757.
- A. Manohar et al., „Electrochemical Glucose Sensing at a Multifunctional Hydrogel-Modified Laser-Induced Graphene Interface", Small Structures 7 (2026), e70562.

Szczególne znaczenie ma ostatnia z wymienionych publikacji. Aiswarya Manohar jest jej pierwszą autorką, a artykuł obejmuje zasadniczą i najbardziej zaawansowaną część wyników rozprawy: funkcjonalizację Ir-Pt, wielofunkcyjny interfejs polimerowy, immobilizację GO_x, detekcję glukozy, stabilność, test w sztucznym pocie oraz właściwości związane z ograniczaniem foulingu i aktywnością antybakteryjną. Small Structures jest czasopismem o wysokiej pozycji w obszarze materiałów funkcjonalnych i nanomateriałów; według danych wydawcy jego Journal Impact Factor wynosi 8,9. Fakt opublikowania kluczowych wyników przy pierwszym autorstwie Doktorantki stanowi mocne potwierdzenie ich jakości i znaczenia naukowego.

8. Pytania do dyskusji podczas publicznej obrony:

1. Jak należy interpretować bardzo wysoką wartość EASA dla CS-LIG, jeżeli chitozan jednocześnie zwiększa partycjonowanie anionowego żelazocyjanku? Jak eksperymentalnie rozdzielić wpływ lokalnego stężenia próbnika od rzeczywistej powierzchni elektrochemicznie dostępnej?
2. Które założenia metody wyznaczania EASA i współczynnika dyfuzji są najbardziej krytyczne przy przeniesieniu parametrów uzyskanych dla hydrożelu na SPCE do tego samego hydrożelu naniesionego na hierarchicznie porowaty LIG?
3. W jakim zakresie wartości k^0 wyznaczone metodą Nicholsona można traktować jako miarę właściwej kinetyki transferu elektronu, a w jakim jako parametr efektywny złożonego, porowatego interfejsu?
4. Jakie są rzeczywiste parametry energetyczne zastosowanego lasera i jak Autorka rozróżnia nominalny procent mocy, energię liniową oraz fluencję? Jak te parametry można raportować, aby wyniki były porównywalne między różnymi systemami laserowymi?
5. Jak Autorka uzasadnia interpretację stosunku I_D/I_G jako miary stopnia uporządkowania i gęstości defektów w badanym zakresie struktur węglowych?
6. Jakie modele obwodów zastępczych najlepiej opisują „bare" LIG oraz LIG po modyfikacji hydrożelem/polimerem? Czy alternatywne podejścia, np. transmission-line models lub analiza DRT, mogłyby dostarczyć dodatkowych informacji?
7. Jak należy interpretować LOD = 6,55 µM przy zakresie liniowym rozpoczynającym się od 0,5 mM i jaki eksperyment należałoby wykonać, aby rzeczywiście zwalidować dolny zakres oznaczalności?
8. Który element rozprawy Autorka uważa za najważniejsze oryginalne osiągnięcie naukowe i który z proponowanych kierunków dalszego rozwoju ma największą szansę przełożyć się na praktycznie użyteczne urządzenie elektrochemiczne?

POLITECHNIKA POZNAŃSKA

Prof. Krzysztof FIC
Institute of Chemistry and Technical Electrochemistry
ul. Berdychowo 4/121A, 61-131 Poznań, Poland
tel.: +48 (61) 665-3310, e-mail: Krzysztof.Fic@put.poznan.pl

9. Ocena końcowa

Rozprawa Pani Aiswarya Manohar stanowi wartościowe, spójne i oryginalne opracowanie dotyczące projektowania oraz funkcjonalizacji interfejsów elektrochemicznych opartych na laserowo indukowanym grafenie. Autorka wykazała dobrą znajomość literatury, umiejętność samodzielnego projektowania złożonych eksperymentów, sprawność w posługiwaniu się szerokim zestawem metod materiałowych i elektrochemicznych oraz zdolność do łączenia danych pochodzących z różnych poziomów charakterystyki.

Za szczególnie cenne uważam konsekwentne rozwijanie jednej platformy materiałowej poprzez kontrolę procesu laserowego, modyfikację właściwości międzyfazowych, wprowadzenie nanostruktur katalitycznych oraz funkcjonalizacji polimerowo-enzymatycznej. Oryginalność pracy wynika przede wszystkim z integracji tych elementów w spójną strategię inżynierii interfejsu, a nie z pojedynczego parametru analitycznego sensora.

Przedstawione w recenzji zastrzeżenia dotyczą głównie granic ilościowej interpretacji klasycznych modeli elektrochemicznych w złożonych, porowatych i wielowarstwowych układach, a także kilku niespójności metrologicznych i redakcyjnych. Nie podważają one wiarygodności zasadniczych obserwacji eksperymentalnych ani oryginalnego wkładu pracy. Przeciwnie, tworzą wartościową płaszczyznę do pogłębionej dyskusji podczas obrony.

W mojej ocenie rozprawa prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w zakresie inżynierii materiałowej i elektrochemii materiałów, potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz przedstawia oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Tym samym **spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce".**

W związku z powyższym wnoszę o dopuszczenie Pani Aiswarya Manohar do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

10. Wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej

Niezależnie od powyższej pozytywnej oceny uważam, że poziom naukowy pracy, zakres przeprowadzonych badań, stopień integracji różnych metod oraz charakter uzyskanych wyników uzasadniają wystąpienie z wnioskiem o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.

Za szczególnie zasługujące na wyróżnienie uważam konsekwentnie rozwiniętą koncepcję wielostopniowej inżynierii interfejsu LIG, obejmującą zarówno kontrolę procesu wytwarzania materiału, jak i funkcjonalizację hydrożelową, katalityczną i polimerowo-biologiczną; szeroki i komplementarny warsztat badawczy; a także fakt, że zasadnicze elementy koncepcji zostały zweryfikowane na poziomie funkcjonalnym w testach elektroanalitycznych i biologicznych. Praca wykracza poza prostą demonstrację działania pojedynczego sensora i przedstawia bardziej uniwersalny sposób projektowania właściwości elektrochemicznych interfejsu.

Istotnym argumentem jest również publikacyjne udokumentowanie wyników. Kluczowa część osiągnięcia została opublikowana w artykule „Electrochemical Glucose Sensing at a Multifunctional Hydrogel-Modified Laser-Induced Graphene Interface", Small Structures 7 (2026), e70562, którego Pani Aiswarya Manohar jest pierwszą autorką. Artykuł obejmuje

POLITECHNIKA POZNAŃSKA

Prof. Krzysztof FIC
Institute of Chemistry and Technical Electrochemistry
ul. Berdychowo 4/121A, 61-131 Poznań, Poland
tel.: +48 (61) 665-3310, e-mail: Krzysztof.Fic@put.poznan.pl

zasadnicze wyniki dotyczące integracji Ir-Pt, wielofunkcyjnego interfejsu polimerowego, immobilizacji enzymu oraz walidacji właściwości sensorycznych i biologicznych. Pozostałe istotne elementy rozprawy zostały udokumentowane również w Talanta oraz Advanced Materials Technologies.

W mojej ocenie powyższe przesłanki odpowiadają kryterium określonemu w § 3 pkt 1 Uchwały Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Materiałowa Politechniki Gdańskiej nr 2/2020 z dnia 20 stycznia 2020 r., zgodnie z którym uzasadnienie wyróżnienia powinno wskazywać elementy rozprawy szczególnie zasługujące na wyróżnienie oraz uwzględniać publikację oryginalnych wyników przy pierwszym lub korespondencyjnym autorstwie kandydata w czasopiśmie o wysokim wskaźniku oddziaływania w danej tematyce.

W związku z powyższym wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pani Aiswarya Manohar.

Spełnienie dodatkowego wymogu formalnego wskazanego w § 4 powołanej uchwały pozostaje do weryfikacji przez właściwy organ prowadzący postępowanie.

Krzysztof Fic

KRZYSZTOF FIC
2026.10.28 09:36:52
+01'00'