

Recenzja Rozprawy Doktorskiej

Tytuł: Mikrostruktura oraz właściwości optyczne utlenianych warstw związków międzymetalicznych AuSn

Autor: mgr inż. Aleksandra Olszewska

Promotor: dr hab. inż. Łukasz Skowroński, prof. PBŚ

Promotor pomocniczy: dr Marek Trzeciński

Recenzja rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Aleksandry Olszewskiej, przygotowanej w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki chemiczne, została sporządzona zgodnie z uchwałą Senatu Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich z dnia 19 listopada 2025 r. oraz na podstawie zawiadomienia nr 2/NB.520.6.2025 z dnia 24 listopada 2025 r., przekazanego przez dr. hab. Przemysława Kosobuckiego, prof. PBŚ, Przewodniczącą Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Chemiczne. Opinię opracowałam na podstawie dostarczonej w formie wydrukowanej dysertacji doktorskiej. Podstawę prawną niniejszej recenzji stanowi Ustawa z dnia 20.07.2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zmianami).

Przedstawiona do recenzji dysertacja doktorska Pani mgr inż. Aleksandry Olszewskiej pt. „Mikrostruktura oraz właściwości optyczne utlenianych warstw związków międzymetalicznych AuSn” została wykonana na Wydziale Technologii i Inżynierii Chemicznej Politechniki Bydgoskiej im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich pod kierunkiem uznanego specjalisty w dziedzinie fizykochemii powierzchni i nanomateriałów - dr. hab. inż. Łukasza Skowrońskiego, prof. PBŚ, przy współudziale promotora pomocniczego dr. Marka Trzecińskiego.

Dysertacja doktorska mgr inż. Aleksandry Olszewskiej poświęcona jest badaniom mikrostruktury oraz właściwości optycznych utlenianych warstw związków międzymetalicznych AuSn, otrzymywanych z wykorzystaniem technik fizycznego osadzania z fazy gazowej. Podjęta tematyka wpisuje się w aktualne i dynamicznie rozwijające się nurty

badan nad nanomateriałami i cienkimi warstwami, a także ich potencjalnymi zastosowaniami katalitycznymi i fotokatalitycznymi.

Rozprawa doktorska liczy 215 stron i posiada przejrzysty, logiczny oraz typowy dla prac doktorskich układ. Zasadniczy tekst pracy został podzielony na 9 rozdziałów, obejmujących: wstęp, analizę literatury, cele i hipotezę badawczą, część teoretyczną, opis zastosowanych metod pomiarowych, przygotowanie próbek, wyniki badań wraz z ich analizą i dyskusją oraz podsumowanie i wnioski. Praca zawiera ponadto obszerny wykaz skrótów i symboli, spis rysunków i tabel, streszczenia w języku polskim i angielskim, bogatą bibliografię, zestawienie dorobku naukowego Kandydatki oraz cztery dodatki zawierające szczegółowe wyniki badań. W rozdziale 1 Autorka wprowadza Czytelnika w problematykę nanomateriałów i związków międzymetalicznych, przedstawiając aktualny stan wiedzy oraz jasno formułując cel, hipotezę badawczą i plan badań. Analiza literatury została przygotowana starannie, z wykorzystaniem licznych i aktualnych pozycji bibliograficznych, co świadczy o bardzo dobrym rozeznaniu Autorki w podejmowanej tematyce. Rozdziały 2-4 stanowią solidne teoretyczne zaplecze pracy, w którym w sposób przystępny i merytorycznie poprawny omówione zostały zagadnienia dotyczące nanomateriałów, ich wytwarzania i mikrostruktury, oddziaływań fal elektromagnetycznych z materią oraz podstaw katalizy. Zakres i poziom przedstawionych informacji są adekwatne do dalszej części eksperymentalnej pracy i pozwalają na właściwe zrozumienie uzyskanych wyników. W Rozdziale 5 Autorka szczegółowo i kompetentnie scharakteryzowała zastosowane metody pomiarowe, wykazując się dobrą znajomością ich podstaw teoretycznych oraz ograniczeń. Podsumowując, część literaturowa rozprawy doktorskiej mgr inż. Aleksandry Olszewskiej stanowi wartościowe i dobrze przygotowane wprowadzenie do zasadniczej części badawczej pracy, potwierdzając wysoki poziom merytoryczny oraz dojrzałość naukową Autorki. Kandydatka trafnie zidentyfikowała lukę badawczą dotyczącą wpływu parametrów procesu utleniania (czasu i temperatury) na mikrostrukturę oraz właściwości optyczne warstw AuSn wytwarzanych metodami fizycznymi. Na tej podstawie Autorka rozprawy sformułowała jasno określony cel główny pracy, którym było zbadanie wpływu temperatury oraz czasu wygrzewania i utleniania na mikrostrukturę oraz właściwości optyczne utlenianych warstw związków międzymetalicznych AuSn. Realizacja

tego celu miała na celu ocenę możliwości modyfikacji właściwości wytwarzanych nanowarstw poprzez kontrolę parametrów procesu technologicznego. Cel główny został doprecyzowany poprzez sformułowanie celów szczegółowych, obejmujących wytwarzanie cienkich warstw związków międzymetalicznych o różnej stechiometrii, ich charakterystykę mikrostrukturalną, chemiczną i optyczną z wykorzystaniem zaawansowanych technik badawczych, a także wytypowanie układów o potencjalnie korzystnych właściwościach aplikacyjnych, w szczególności katalitycznych i fotokatalitycznych. Autorka postawiła również hipotezę badawczą zakładającą, że możliwe jest obniżenie energo- i czasochłonności procesu wytwarzania utlenianych warstw AuSn poprzez redukcję temperatury i skrócenie czasu ich utleniania, przy jednoczesnym zachowaniu pożądanych właściwości mikrostrukturalnych i optycznych. Podsumowując, sformułowane przez Autorkę cele badawcze oraz hipoteza pracy zostały określone w sposób jasny, logiczny i merytorycznie poprawny. Są one spójne z tematyką rozprawy, adekwatne do zaplanowanego zakresu badań oraz dobrze osadzone w aktualnym stanie wiedzy. Układ celów szczegółowych oraz ich kolejność realizacji świadczą o przemyślanym planie badawczym i dojrzałym podejściu Autorki do rozwiązywanego problemu naukowego. W mojej ocenie zarówno cele pracy, jak i hipoteza badawcza zostały postawione prawidłowo i zasługują na bardzo dobrą ocenę. Konsekwentna realizacja tak zaplanowanych założeń znalazła swoje bezpośrednie odzwierciedlenie w jakości oraz spójności uzyskanych wyników badań.

Otrzymane w pracy wyniki badań zostały przedstawione w sposób logiczny, przejrzysty i uporządkowany, zgodnie z przyjętym planem badawczym. Autorka zaprezentowała szczegółowe wyniki dotyczące mikrostruktury, składu chemicznego oraz właściwości optycznych utlenianych warstw związków międzymetalicznych AuSn, otrzymanych w precyzyjnie kontrolowanych warunkach temperatury i czasu wygrzewania. Zastosowanie komplementarnych technik badawczych, takich jak SEM, TEM, XPS oraz spektroskopia elipsometryczna, umożliwiło kompleksową, wieloaspektową charakterystykę badanych układów. Na podstawie analiz mikrostrukturalnych Autorka wykazała, że parametry procesu utleniania stanowią kluczowy czynnik determinujący morfologię, jednorodność oraz stopień uporządkowania wytwarzanych warstw. Badania SEM i TEM pozwoliły nie tylko na

jakościowy, lecz także ilościowy opis zmian zachodzących w mikrostrukturze, natomiast analizy XPS umożliwiły szczegółową identyfikację stanów chemicznych i stopnia utlenienia składników warstw AuSn. Uzyskane wyniki dowodzą, że proces utleniania prowadzi do powstawania złożonych, kontrolowalnych struktur wielofazowych, których charakter można świadomie kształtować poprzez dobór warunków technologicznych.

Wyniki badań optycznych wykazały jednoznaczny i bezpośredni związek pomiędzy mikrostrukturą a właściwościami optycznymi badanych warstw. Autorka wykazała, że zmiany parametrów procesu utleniania prowadzą do istotnych modyfikacji współczynnika załamania światła, współczynnika ekstynkcji oraz charakterystyk absorpcyjnych, co zostało potwierdzone zaawansowanym modelowaniem elipsometrycznym. Oryginalnym elementem pracy jest zaproponowanie modeli optycznych adekwatnych do opisu złożonych układów warstwowych powstających w wyniku utleniania związków międzymetalicznych AuSn. Na szczególne podkreślenie zasługuje część aplikacyjna pracy, w której Autorka wykazała, że odpowiednio zaprojektowane i utlenione warstwy AuSn wykazują aktywność fotokatalityczną w procesie rozkładu błękitu metylenowego. Wyniki te potwierdzają, że opracowana koncepcja wytwarzania materiałów nie ma wyłącznie charakteru poznawczego, lecz posiada również realny potencjał aplikacyjny. Na podstawie całości uzyskanych wyników Autorka wywnioskowała, że możliwe jest kontrolowane i powtarzalne kształtowanie mikrostruktury oraz właściwości optycznych warstw AuSn poprzez odpowiedni dobór temperatury i czasu procesu utleniania. Co szczególnie istotne, wykazała ona możliwość istotnego obniżenia energo- i czasochłonności procesu wytwarzania przy jednoczesnym zachowaniu, a w wybranych przypadkach nawet poprawie, pożądanych właściwości materiałowych. Wnioski te jednoznacznie potwierdzają zasadność i trafność przyjętej hipotezy badawczej.

Za główne osiągnięcia rozprawy doktorskiej należy uznać: (1) oryginalne, całościowe podejście do zagadnienia utleniania fizycznie wytwarzanych warstw związków międzymetalicznych AuSn, obejmujące analizę ich mikrostruktury oraz właściwości optycznych; (2) wykazanie jednoznacznych zależności pomiędzy parametrami procesu technologicznego a mikrostrukturą i właściwościami optycznymi; oraz (3) opracowanie koncepcji wytwarzania materiałów o kontrolowanych właściwościach przy zmniejszonych

nakładach energetycznych. Istotnym osiągnięciem pracy jest również identyfikacja układów o szczególnie korzystnych właściwościach optycznych i fotokatalitycznych, co stanowi nowy i wartościowy wkład w rozwój badań nad nanostrukturami na bazie związków międzymetalicznych. Na podkreślenie zasługuje fakt, że przedstawione wyniki mają charakter oryginalny i nie powielają znanych rozwiązań literaturowych, a zaproponowane podejście badawcze stanowi autorski wkład Kandydatki.

Pomimo bardzo wysokiej oceny otrzymanych wyników, w trakcie lektury rozprawy nasunęły mi się trzy spostrzeżenia. Po pierwsze, wartościowym uzupełnieniem przeprowadzonych badań byłaby bardziej szczegółowa analiza długoterminowej stabilności otrzymanych, utlenianych warstw AuSn, istotna z punktu widzenia ich potencjalnych zastosowań katalitycznych i fotokatalitycznych. Ocena zmian mikrostrukturalnych i optycznych zachodzących w czasie pozwoliłaby na pełniejsze oszacowanie użyteczności badanych układów w warunkach praktycznych. Po drugie, choć Autorka wykazała istnienie zależności pomiędzy parametrami mikrostrukturalnymi a właściwościami optycznymi i fotokatalitycznymi, interesującym rozwinięciem pracy byłoby pogłębienie ilościowej analizy tych korelacji. Zastosowanie metod statystycznych lub modeli opisujących zależności przyczynowo-skutkowe mogłoby przyczynić się do pełniejszego zrozumienia mechanizmów odpowiedzialnych za obserwowane efekty. Po trzecie, zastosowane modele elipsometryczne, choć poprawnie dobrane i uzasadnione, mogłyby zostać szerzej omówione pod kątem ich ograniczeń w opisie złożonych, wielofazowych układów warstwowych powstających w trakcie procesu utleniania. Krótkie odniesienie do potencjalnych źródeł niepewności lub alternatywnych podejść modelowych dodatkowo wzmocniłoby wiarygodność interpretacji uzyskanych wyników optycznych. Zgłoszone spostrzeżenia mają charakter konstruktywny i nie zmieniają mojej bardzo wysokiej oceny pracy, która stanowi wartościowy i dojrzały wkład w rozwój badań nad utlenianymi związkami międzymetalicznymi AuSn. Niemniej jednak, w celu pogłębienia dyskusji naukowej, chciałabym skierować do Kandydatki kilka pytań, na które uprzejmie proszę o odpowiedź podczas publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

1. Czy Autorka analizowała wpływ ewentualnych naprężeń mechanicznych w cienkich warstwach na obserwowane właściwości optyczne, a jeśli nie - jak ocenia ich potencjalne znaczenie dla interpretacji uzyskanych wyników?
2. W jaki sposób Autorka ocenia stabilność otrzymanych utlenianych warstw AuSn w dłuższym czasie, zwłaszcza w kontekście ich potencjalnych zastosowań katalitycznych i fotokatalitycznych?
3. Czy możliwe jest, zdaniem Autorki, dalsze obniżenie temperatury lub skrócenie czasu procesu utleniania bez istotnego pogorszenia właściwości mikrostrukturalnych i optycznych badanych warstw?
4. Jakie ograniczenia zastosowanych modeli elipsometrycznych Autorka uznaje za najbardziej istotne w odniesieniu do złożonych, wielofazowych układów warstwowych powstających w trakcie procesu utleniania?
5. Na podstawie uzyskanych wyników - które parametry mikrostrukturalne Autorka uznaje za kluczowe dla uzyskania najwyższej efektywności fotokatalitycznej badanych układów?
6. Jakie dalsze kierunki badań Autorka uznałaby za najbardziej perspektywiczne w kontekście rozwoju materiałów na bazie utlenianych związków międzymetalicznych AuSn?

Pragnę podkreślić, że powyższe uwagi mają charakter dyskusyjny i w żaden sposób nie obniżają bardzo wysokiej wartości naukowej rozprawy.

W dalszej części recenzji odniosę się do dorobku naukowego Kandydatki. Pani mgr inż. Aleksandra Olszewska wykazuje się aktywnością naukową adekwatną do etapu kariery badawczej, co znajduje potwierdzenie w jej udziale w publikacjach naukowych, konferencjach oraz realizacji badań eksperymentalnych stanowiących podstawę niniejszej rozprawy doktorskiej. Dorobek naukowy Kandydatki świadczy o jej systematycznym rozwoju naukowym oraz zaangażowaniu w prowadzenie badań o charakterze interdyscyplinarnym, łączących zagadnienia z zakresu chemii materiałowej, fizykochemii powierzchni oraz inżynierii materiałowej. Na podkreślenie zasługuje fakt, że Kandydatka aktywnie uczestniczyła w konferencjach naukowych, prezentując wyniki swoich badań zarówno w formie referatów

ustnych, jak i posterów, co świadczy o umiejętności komunikowania rezultatów badań oraz gotowości do podejmowania dyskusji naukowej. Udział w realizacji prac badawczych wymagających zastosowania zaawansowanych technik eksperymentalnych potwierdza również jej bardzo dobre przygotowanie praktyczne oraz zdolność do samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Podsumowując, dorobek naukowy mgr inż. Aleksandry Olszewskiej oceniam pozytywnie. Jest on spójny z tematyką rozprawy doktorskiej, potwierdza kompetencje badawcze Kandydatki oraz jej potencjał do dalszego rozwoju naukowego.

Podsumowując stwierdzam, że oceniana rozprawa doktorska zawiera szereg interesujących, innowacyjnych i nowatorskich wyników badań, które stanowią istotny wkład w rozwój wiedzy z zakresu badań nad utlenianymi warstwami związków międzymetalicznych AuSn. Otrzymane rezultaty jednoznacznie potwierdzają bardzo dobre przygotowanie merytoryczne Autorki, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia zaawansowanych badań eksperymentalnych. W mojej opinii mgr inż. Aleksandra Olszewska prezentuje wysoki poziom naukowy, przejawiający się w zdolności do krytycznej analizy i interpretacji złożonych wyników badań, dojrzałej dyskusji uzyskanych rezultatów na tle bogato cytowanego piśmiennictwa oraz poprawnego formułowania wniosków wynikających z przeprowadzonych eksperymentów. Biorąc pod uwagę całokształt rozprawy doktorskiej stwierdzam, że praca stanowi oryginalne i wartościowe opracowanie naukowe oraz spełnia wszystkie wymagania określone w ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. W związku z powyższym wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Aleksandry Olszewskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.