

Dr hab. inż. Sebastian Molin, prof. PG
Katedra Inżynierii Materiałów Funkcjonalnych
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki
Politechnika Gdańska

Gdańsk, 11-07-2025

Recenzja pracy doktorskiej

mgr. inż. Patrycji Pokory

“Analiza właściwości cienkich warstw na bazie mieszanin tlenków tytanu i kobaltu oraz ich zastosowanie jako powłok funkcjonalnych w elektronice”

Wstęp do recenzji

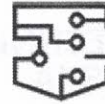
Praca doktorska mgr inż. Patrycji Pokory pt. „Analiza właściwości cienkich warstw na bazie mieszanin tlenków tytanu i kobaltu oraz ich zastosowanie jako powłok funkcjonalnych w elektronice” wykonana została w Zespole Technologii Cienkowarstwowych w Katedrze Metrologii Elektronicznej i Fotonicznej Politechniki Wrocławskiej pod opieką merytoryczną promotora dr hab. inż. Damiana Wojcieszaka, prof. uczelni oraz promotora pomocniczego dr inż. Agaty Obstarczyk. Rozprawa dotyczy aktualnej i istotnej tematyki badań w obszarze interdyscyplinarnym na granicy elektroniki oraz inżynierii materiałowej. Rozprawa łączy zagadnienia z zakresu syntezy, charakteryzacji oraz oceny właściwości funkcjonalnych cienkich warstw tlenkowych, ukierunkowanych na zastosowania w elektronice. Temat ten ma zarówno znaczenie poznawcze, związane z poszerzaniem wiedzy o materiałach Ti-Co, jak i praktyczne – wynikające z potencjalnych zastosowań opracowanych warstw w urządzeniach elektronicznych i sensorach. Wyniki badań stanowią rozwinięcie wcześniejszych prac Zespołu Technologii Cienkowarstwowych PWR, ale wnoszą znaczący wkład autorski w zakresie opracowania nowych konfiguracji składu oraz procesów wytwarzania powłok (Ti,Co)Ox.

Podstawa opracowania

Recenzja została wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Wrocławskiej z dnia 24 marca 2024 r. Podstawa prawna art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (z późn. zm.).

Opinia dotycząca przedmiotowej rozprawy doktorskiej zawiera trzy elementy:

- 1) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne;
- 2) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta ubiegającego się o nadanie stopnia doktora;
- 3) Ocenę wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.



1. Charakterystyka i opis rozprawy

Część 1: Ocena wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Patrycji Pokory prezentuje wysoki poziom merytoryczny oraz szeroki zakres wiedzy teoretycznej doktorantki w obszarze materiałów elektronicznych oraz inżynierii materiałowej, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień związanych z analizą właściwości cienkich warstw na bazie mieszanin tlenków tytanu i kobaltu oraz ich zastosowaniem jako powłok funkcjonalnych w elektronice. Autorka wykazała się znajomością zarówno fundamentalnych podstaw teoretycznych, jak i najnowszych osiągnięć badawczych w omawianej dziedzinie, co znajduje odzwierciedlenie w obszernym przeglądzie literatury obejmującym prace o znaczeniu podstawowym oraz aktualne publikacje naukowe. Struktura pracy, logiczny układ treści oraz poprawność merytoryczna wprowadzają czytelnika w tematykę badań, a przedstawione we wstępnych rozdziałach uzasadnienie wyboru tematu i zakresu badań jasno pokazuje, że doktorantka posiada ugruntowaną wiedzę teoretyczną oraz rozumie kontekst i znaczenie prowadzonych prac.

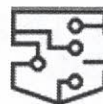
Rozdział 1: Wstęp

Pierwszy rozdział (3 strony) pracy stanowi zwięzłe, ale dobrze ukierunkowane wprowadzenie do tematyki badań. Autorka w sposób klarowny przedstawia motywację podjęcia się badań nad cienkimi warstwami na bazie mieszanin tlenków tytanu i kobaltu oraz ich potencjalnymi zastosowaniami w elektronice. W rozdziale tym wyraźnie zarysowano zarówno ogólny kontekst naukowy (wskazano braki literaturowe), jak i praktyczne znaczenie omawianych materiałów, wskazując na ich istotne właściwości funkcjonalne, w tym m.in. przewodnictwo elektryczne, stabilność chemiczną oraz możliwości modyfikacji parametrów w zależności od składu i struktury.

Autorka zwraca uwagę na aktualne wyzwania badawcze w obszarze cienkich warstw tlenkowych oraz potencjalne kierunki ich wykorzystania, co pozwala czytelnikowi zrozumieć celowość podjętej problematyki. Rozdział jest poprawnie osadzony w kontekście literaturowym, a przedstawione informacje stanowią spójną podstawę do dalszych, bardziej szczegółowych części pracy. Dzięki klarownej strukturze i logicznemu wywodowi, czytelnik zostaje wprowadzony w główne założenia i cele rozprawy, a także w ogólny plan jej realizacji.

Rozdział 2: Przegląd materiałów

Rozdział drugi stanowi obszerny (32 strony) i rzetelny przegląd literatury dotyczącej cienkich warstw tlenkowych, ze szczególnym uwzględnieniem materiałów opartych na mieszaninach tlenków tytanu i kobaltu. Autorka w uporządkowany sposób omawia kluczowe aspekty ich struktury, metod otrzymywania oraz właściwości fizykochemicznych i funkcjonalnych, odnosząc się zarówno do prac o znaczeniu podstawowym, jak i do najnowszych doniesień naukowych. Przedstawiono tu m.in. charakterystykę fazową i morfologiczną omawianych materiałów, mechanizmy przewodnictwa elektrycznego, stabilność termiczną, a także możliwości kontrolowania parametrów warstw poprzez dobór składu oraz warunków procesu technologicznego.



W rozdziale zawarto przegląd stosowanych technik depozycji, takich jak metoda zol-żel, rozpylenie magnetronowe czy chemiczne osadzanie z fazy gazowej, wskazując na ich zalety, ograniczenia oraz wpływ parametrów procesu na uzyskiwane właściwości. Cenne jest także porównanie materiałów $TiO_2-Co_3O_4$ z innymi funkcjonalnymi tlenkami stosowanymi w elektronice, co pozwala czytelnikowi lepiej umiejscowić badane materiały na tle szerokiej gamy rozwiązań dostępnych w literaturze.

Całość została opracowana w sposób logiczny i przejrzysty, z licznymi odwołaniami do aktualnych źródeł, co świadczy o bardzo dobrej orientacji autorki w stanie wiedzy w tej dziedzinie. Rozdział ten stanowi solidne podstawy teoretyczne dla części eksperymentalnej pracy i dobrze uzasadnia wybór badanego układu materiałowego.

Podsumowanie Części 1 oceny – Ocena wiedzy teoretycznej doktorantki

Rozdział 1 zwięźle prezentuje motywację badań oraz znaczenie cienkich warstw tlenkowych Ti-Co, wskazując aktualne wyzwania i potencjalne zastosowania. Rozdział 2 to uporządkowany przegląd literatury obejmujący właściwości, strukturę i metody wytwarzania badanych materiałów, z licznymi odniesieniami do źródeł. Całość świadczy o solidnej wiedzy teoretycznej doktorantki i umiejętności osadzenia tematu badań w szerszym kontekście naukowym.

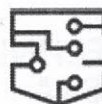
Część 2: Ocena wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta ubiegającego się o nadanie stopnia doktora

W treści rozprawy mgr inż. Patrycji Pokory można dostrzec przemyślaną koncepcję badań, obejmującą pełny proces – od sformułowania problemu naukowego, poprzez wybór metod badawczych, realizację eksperymentów, aż po krytyczną analizę uzyskanych wyników. Autorka wykazała się umiejętnością samodzielnego planowania i prowadzenia badań, łączenia różnych technik badawczych oraz interpretacji danych w odniesieniu do literatury przedmiotu.

Sformułowanie problemu naukowego i celów badawczych

Rozdział trzeci (3 strony) jasno definiuje problem badawczy, który stanowi podstawę rozprawy. Autorka identyfikuje kluczowe wyzwania związane z projektowaniem i wytwarzaniem cienkich warstw na bazie tlenków Ti-Co o kontrolowanych właściwościach funkcjonalnych. Wskazuje na brak wystarczających danych literaturowych dotyczących wpływu składu chemicznego, mikrostruktury oraz parametrów procesu wytwarzania na przewodnictwo elektryczne i stabilność termiczną tego typu materiałów. W szczególności, Autorka zwraca uwagę na słabo poznane właściwości materiałów o wysokiej zawartości kobaltu.

W tej części wyraźnie zaznaczono lukę badawczą, którą autorka zamierza wypełnić, oraz znaczenie uzyskania materiałów o przewidywalnych właściwościach w kontekście potencjalnych zastosowań w elektronice i sensorach. Sformułowanie problemu jest precyzyjne i spójne z wcześniej przedstawionym przeglądem literatury, co zapewnia logiczną ciągłość pracy.



Wybór metod badawczych i ich zastosowanie

Rozdział czwarty (14 stron) prezentuje dobór metod badawczych zastosowanych do weryfikacji postawionych hipotez oraz realizacji celów pracy. Autorka przedstawiła zarówno metody eksperymentalne, jak i techniki analizy strukturalnej oraz właściwości funkcjonalnych cienkich warstw Ti-Co. Wskazano szczegółowo użyte techniki wytwarzania warstw, warunki procesów oraz aparaturę pomiarową, co pozwala na ocenę rzetelności i powtarzalności badań. W szczególności opisano obie wykorzystane metody przygotowania cienkich warstw – proces z ciągłym przepływem gazów (oznaczony jako MS – Magnetron Sputtering) oraz procesu z impulsowym dozowaniem gazów (GIMS – Gas Impulse Magnetron Sputtering).

Autorka zaprojektowała i zrealizowała dwie serie powłok (Ti,Co)O_x – w procesie MS z ciągłym przepływem gazów oraz w procesie GIMS – obejmujące szeroki zakres składu od 2 at.% do 60 at.% Co. Taki dobór pozwolił na systematyczne zbadanie wpływu składu na właściwości strukturalne (XRD, SEM, AFM), optyczne i elektryczne. Włączenie jednocześnie analizy przyczynowo-skutkowej pomiędzy mikrostrukturą a przewodnictwem oraz trwałością termiczną potwierdza wysoką umiejętność syntezy danych.

Dobór metod jest uzasadniony charakterem problemu badawczego i umożliwia kompleksową ocenę wpływu składu, struktury i parametrów technologicznych na właściwości badanych materiałów. Połączenie technik charakteryzacji strukturalnej, morfologicznej i elektrycznej świadczy o dobrze przemyślanym podejściu badawczym, zapewniającym spójne dane do dalszej analizy.

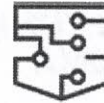
Część eksperymentalna pracy została przeprowadzona w sposób systematyczny, obejmując kolejne etapy od przygotowania próbek, poprzez ich charakterystykę, aż po analizę właściwości funkcjonalnych. Autorka konsekwentnie wykorzystuje opisane wcześniej metody, przedstawiając uzyskane wyniki w formie przejrzystych tabel, wykresów i mikrofotografii.

Całość badań została zrealizowana w sposób pozwalający na weryfikację postawionych hipotez, a uzyskane wyniki stanowią spójny zestaw danych, będący podstawą do sformułowania końcowych wniosków.

Krytyczna analiza wyników i wnioskowanie

Rozdział 5 (25 stron) i Rozdział 6 (27 stron) zawierają szczegółową analizę uzyskanych wyników dotyczących struktury, składu chemicznego oraz właściwości elektrycznych cienkich warstw Ti-Co. Autorka nie ogranicza się do prezentacji danych, lecz dokonuje ich interpretacji w odniesieniu do stanu wiedzy oraz hipotez postawionych we wcześniejszych częściach pracy. Wyniki są omawiane w sposób krytyczny – wskazywane są zarówno zgodności z przewidywaniami literaturowymi, jak i obserwacje odmienne, dla których proponowane są możliwe wyjaśnienia oparte na mechanizmach fizykochemicznych.

Zwraca uwagę umiejętne łączenie danych strukturalnych (m.in. analiza fazowa, morfologia, wielkość kryształitów) z wynikami pomiarów przewodnictwa elektrycznego i stabilności termicznej, co pozwala na formułowanie wniosków o charakterze przyczynowo-skutkowym. Autorka wskazuje ograniczenia



zastosowanych metod pomiarowych oraz możliwe źródła błędów, co podkreśla dojrzałość badawczą i rzetelne podejście do oceny uzyskanych rezultatów.

Całość wyników została zwięźle podsumowana w Rozdziale 7 (2 strony), jasno wskazując zakres wykonanych prac oraz oryginalne wyniki.

5. Innowacyjność i wkład własny

Praca wnosi istotny wkład w rozwój wiedzy dotyczącej cienkich warstw tlenkowych Ti–Co, w szczególności w zakresie zależności pomiędzy składem, mikrostrukturą a właściwościami funkcjonalnymi. Innowacyjność badań wynika z kompleksowego podejścia obejmującego opracowanie i optymalizację procesu wytwarzania warstw, zastosowanie szerokiego zestawu technik charakteryzacji oraz powiązanie uzyskanych parametrów strukturalnych z wynikami pomiarów elektrycznych.

Autorka samodzielnie zaplanowała i przeprowadziła znaczną część eksperymentów, opracowała metodykę analiz oraz zinterpretowała wyniki w odniesieniu do literatury. Wkład własny obejmuje m.in. przygotowanie i modyfikację warstw w różnych konfiguracjach składu oraz przeprowadzenie kompleksowej oceny ich właściwości, co pozwoliło na sformułowanie praktycznych wniosków dla przyszłych zastosowań w elektronice.

Podsumowanie części 2 – Ocena umiejętności samodzielnego prowadzenia badań

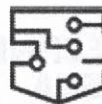
Rozprawa mgr inż. Patrycji Pokory potwierdza wysoki poziom kompetencji w zakresie planowania i realizacji badań naukowych. Autorka precyzyjnie zdefiniowała problem badawczy, dobrała adekwatne metody, przeprowadziła systematyczne eksperymenty i podała wyniki wnikliwej analizie krytycznej. Wykazała się samodzielnością w przygotowaniu próbek, prowadzeniu pomiarów i interpretacji danych, a także umiejętnością powiązania wyników z literaturą i wskazania ich znaczenia dla dalszego rozwoju badań nad cienkimi warstwami Ti–Co. Praca odznacza się spójnością metodyczną, rzetelnością wykonania i widocznym wkładem własnym autorki w uzyskane rezultaty.

Część 3: Ocena wraz z uzasadnieniem czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Oryginalność problemu naukowego

Przedmiotem rozprawy jest opracowanie i szczegółowa analiza cienkich warstw na bazie mieszanin tlenków tytanu (TiO_2) i kobaltu (Co_3O_4) w szerokim zakresie stosunków molowych, z uwzględnieniem różnych parametrów procesu wytwarzania, takich jak temperatura wygrzewania, czas obróbki czy warunki atmosferyczne. W literaturze brakuje całościowych badań, które w sposób systematyczny łączyłyby dane strukturalne (m.in. fazy krystaliczne identyfikowane metodą XRD, rozmiary krystalitów, morfologię z SEM/AFM) z wynikami pomiarów właściwości elektrycznych w funkcji temperatury oraz stabilności termicznej warstw.

Oryginalność pracy wynika z przyjęcia podejścia łączącego kilka aspektów:



- zastosowania kontrolowanej modyfikacji składu Ti–Co w cienkich warstwach w celu uzyskania optymalnego przewodnictwa elektrycznego,
- szczegółowego badania korelacji pomiędzy mikrostrukturą (np. wielkością ziaren, chropowatością) a parametrami transportu ładunku,
- wykonania porównania uzyskanych wyników z aktualnie stosowanymi materiałami funkcjonalnymi w elektronice (np. warstwami bazującymi na tlenkach pojedynczych metali).

Tak szerokie i spójne ujęcie problemu badawczego, obejmujące zarówno fazę opracowania materiału, jak i jego charakteryzację w warunkach zbliżonych do aplikacyjnych, jest rzadko spotykane w dostępnych publikacjach, co nadaje pracy autorki wyraźny rys nowości.

Innowacyjne podejście i nowatorskie wyniki

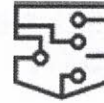
Innowacyjność rozprawy wynika z kompleksowego podejścia badawczego, w którym autorka połączyła optymalizację procesu wytwarzania cienkich warstw Ti–Co z ich wszechstronną charakterystyką strukturalną, morfologiczną i elektryczną. W ramach prac opracowano zestaw procedur umożliwiających kontrolę składu fazowego oraz mikrostruktury poprzez dobór stosunku Ti:Co, parametrów osadzania.

Takie połączenie badań podstawowych i aplikacyjnych, z naciskiem na powiązanie parametrów procesu z trwałością właściwości funkcjonalnych, jest rzadko spotykane w dotychczasowych pracach i stanowi istotny wkład w rozwój materiałów Ti–Co dla elektroniki i sensorów.

Wkład w rozwój nauki

Rozprawa wnosi istotny, oryginalny wkład w rozwój badań nad cienkimi warstwami tlenkowymi (Ti,Co)O_x poprzez:

- **Opracowanie i wdrożenie dwóch odmiennych procedur wytwarzania** cienkich warstw metodą rozpylania magnetronowego – w procesie z ciągłym przepływem gazów oraz w procesie z impulsowym dozowaniem gazów (GIMS) – co pozwoliło na kontrolę zawartości tlenu w powłoce i uzyskanie warstw o zróżnicowanych właściwościach funkcjonalnych.
- **Systematyczne zbadanie wpływu szerokiego zakresu zawartości kobaltu (2–60 at.%)** na strukturę, mikrostrukturę, właściwości optyczne, elektryczne, fotokatalityczne i czujnikowe warstw (Ti,Co)O_x, co wypełnia istotną lukę w literaturze dotyczącej materiałów o wysokiej zawartości Co w postaci cienkowarstwowej.
- **Identyfikację i opis zjawisk funkcjonalnych** istotnych z punktu widzenia zastosowań – w tym wykazanie występowania efektu memrystorowego i aktywności fotokatalitycznej w przezroczystych warstwach wytworzonych w procesie z ciągłym przepływem gazów, oraz właściwości półprzewodnikowych i wysokiej odpowiedzi sensorowej na wodór w warstwach wytworzonych metodą GIMS, bez konieczności stosowania dodatkowej warstwy katalizatora.
- **Powiązanie parametrów technologicznych i składu chemicznego z mikrostrukturą i właściwościami transportowymi**, co umożliwiło wskazanie optymalnych konfiguracji składu i



warunków wytwarzania dla różnych zastosowań (powłoki samoczyszczące, elementy pamięciowe, sensory gazów).

- **Publikację wyników w pięciu artykułach w czasopismach z listy JCR** oraz udział w projektach badawczych Zespołu Technologii Cienkowarstwowych Politechniki Wrocławskiej, co świadczy o aktywnym udziale doktorantki w krajowym i międzynarodowym obiegu naukowym.

Otrzymane wyniki mają znaczenie zarówno poznawcze – poprzez pogłębienie wiedzy o zależnościach skład–mikrostruktura–właściwości w układach $(\text{Ti,Co})\text{O}_x$ – jak i aplikacyjne, wskazując konkretne obszary wykorzystania opracowanych powłok w nowoczesnej elektronice, optoelektronice i technologii sensorowej.

Znaczenie praktyczne wyników

Wyniki uzyskane w rozprawie mają wyraźny potencjał aplikacyjny w obszarze elektroniki i technologii sensorowych. Określone w pracy zależności pomiędzy składem chemicznym, fazowym i mikrostrukturą a przewodnictwem elektrycznym umożliwiają świadome projektowanie cienkich warstw Ti–Co o wymaganych parametrach funkcjonalnych.

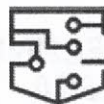
Praktyczne znaczenie pracy obejmuje m.in.:

- wskazanie optymalnych proporcji Ti:Co dla uzyskania warstw o wysokiej stabilności przewodnictwa,
- możliwość zastosowania opracowanych warstw jako elementów aktywnych w czujnikach gazów, szczególnie w warunkach podwyższonej temperatury,
- potencjał wykorzystania materiałów Ti–Co jako powłok elektroprzewodzących lub barierowych w układach mikro- i optoelektronicznych,
- dostarczenie danych technologicznych, które mogą zostać zaadaptowane w procesach przemysłowych związanych z wytwarzaniem funkcjonalnych powłok tlenkowych.

Praca łączy więc walory poznawcze z aspektami aplikacyjnymi, co zwiększa jej wartość zarówno w kontekście naukowym, jak i potencjalnych wdrożeń.

Podsumowanie części 3 – Oryginalność i znaczenie pracy

Rozprawa mgr inż. Patrycji Pokory wnosi istotny i oryginalny wkład w rozwój badań nad cienkimi warstwami tlenkowymi Ti–Co. Autorka wypełniła lukę w literaturze, łącząc badania strukturalne, mikrostrukturalne i elektryczne z analizą wpływu parametrów technologicznych na stabilność właściwości funkcjonalnych. Nowatorskie wyniki, obejmujące m.in. identyfikację optymalnych warunków otrzymywania warstw o wysokim przewodnictwie i stabilności, mają znaczenie zarówno poznawcze, jak i aplikacyjne. Praca dostarcza cennych danych, które mogą posłużyć do projektowania powłok funkcjonalnych w elektronice i sensorach, potwierdzając oryginalny charakter badań i wysoki poziom kompetencji autorki.



Pozostałe informacje/uwagi:

Redakcja i struktura rozprawy

Rozprawa została przygotowana jako klasyczna monografia w sposób przejrzysty i logiczny. Wybrana forma pracy zasługuje na pochwałę, pozwala na dobre zapoznanie się z ciągiem logicznym pracy. Układ treści jest spójny – od wprowadzenia i przeglądu literatury, poprzez sformułowanie problemu badawczego, opis metod i realizację badań, aż po analizę wyników i wnioski końcowe. Podział na rozdziały i podrozdziały jest dobrze przemyślany i ułatwia śledzenie toku wywodu. Cytowania literatury są konsekwentne, a lista źródeł bardzo obszerna i aktualna. Zastosowany język jest poprawny pod względem merytorycznym i stylistycznym.

Forma graficzna rozprawy

Forma graficzna pracy stoi na bardzo wysokim poziomie. Ilustracje, wykresy, schematy technologiczne i mikrofotografie są wyraźne, dobrze opisane i prawidłowo ponumerowane. Kolorystyka oraz czytelny układ osi i legend ułatwiają interpretację danych. Fotografie z badań mikroskopowych i obrazy struktury powierzchni charakteryzują się wysoką jakością i stanowią cenne uzupełnienie opisu. Tabele są przejrzyste, a ich opisy jednoznacznie wyjaśniają zawartość. Forma graficzna w istotny sposób wspiera przekaz merytoryczny pracy – zdecydowanie zasługuje na wyróżnienie.

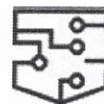
Uwagi krytyczne do rozprawy doktorskiej

Rozprawa została bardzo starannie przygotowana pod względem edytorskim, a liczba i jakość ilustracji (mikrofotografie, wykresy, schematy) wyróżniają się na tle wielu prac – są czytelne i dobrze opisane. Praktycznie brak jest błędów edytorskich i literówek, praca jest bardzo dopracowaną oraz wysokiej jakości.

Dorobek naukowy

Doktorantka jest autorką lub współautorką licznych publikacji naukowych, w tym artykułów w czasopiśmie MEIN, rozdziałów w monografiach oraz referatów konferencyjnych. Brała czynny udział w licznych konferencjach krajowych i międzynarodowych, prezentując wyniki badań w formie wystąpień ustnych i posterów. Zrealizowała także szereg staży naukowych w uznanych ośrodkach badawczych w Polsce i za granicą (m.in. Politechnika Wrocławska, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg), zdobywając doświadczenie w zakresie zaawansowanych technik wytwarzania i charakteryzacji cienkich warstw (m.in. ALD, XPS, UPS). Uczestniczyła w realizacji projektów badawczych, wnosząc wkład w prace eksperymentalne, analityczne i opracowanie wyników. Jej badania obejmują projektowanie, wytwarzanie oraz analizę właściwości strukturalnych, optycznych, elektrycznych i czujnikowych cienkowarstwowych powłok tlenkowych.

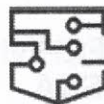
Dorobek ten potwierdza wysoką aktywność naukową doktorantki, jej interdyscyplinarne podejście oraz konsekwentny rozwój kompetencji badawczych.



Pytania recenzenta do Autorki rozprawy

Pomimo bardzo wysokiej jakości merytorycznej pracy, proszę Autorkę o wyjaśnienie kilku istotnych kwestii, które mogą dodatkowo wzbogacić odbiór i interpretację przedstawionych wyników:

1. Szybkość osadzania cienkich warstw – w obu zastosowanych metodach zauważalne są istotne różnice w szybkości osadzania w zależności od składu chemicznego targetów. Proszę o szersze omówienie mechanizmów odpowiedzialnych za ten efekt oraz wyjaśnienie, w jaki sposób skład chemiczny targetu wpływa na kinetykę procesu depozycji w każdej z metod.
2. Wpływ grubości warstw – przygotowane warstwy charakteryzowały się różną grubością. Jaki może być przewidywany wpływ grubości na ich właściwości funkcjonalne? Czy w różnych przypadkach skład chemiczny oraz mikrostruktura (w tym defekty) można uznać za jednorodne w całej objętości warstwy?
3. Domieszkowanie a mieszane tlenki – w rozprawie stosunkowo płynnie przechodzi się między pojęciami warstw domieszkowanych oraz warstw będących mieszaninami tlenków. Proszę o doprecyzowanie możliwych efektów występujących w przygotowanych warstwach oraz wskazanie, w których przypadkach mamy do czynienia z efektem domieszkowania, a w których z obecnością faz mieszanych tlenków.
4. Wpływ rodzaju podłoża – w pracy zastosowano trzy różne rodzaje podłoży. Jaka jest możliwa rola podłoża zarówno w procesie formowania warstwy, jak i w kształtowaniu jej właściwości funkcjonalnych?
5. Relacje fazowe w układzie CoO-TiO_2 – czy w literaturze dostępne są kompletne lub częściowe diagramy fazowe dla tego układu? Jakie wnioski dotyczące stabilności faz oraz możliwych produktów reakcji można by z nich wyciągnąć w kontekście cienkich warstw o obniżonej zawartości tlenu?
6. Wpływ zawartości tlenu – Autorka wskazuje, że niedobór tlenu ma istotne znaczenie dla właściwości funkcjonalnych warstw i może być kontrolowany przy użyciu techniki GIMS. Proszę o komentarz dotyczący faktycznej zawartości tlenu w badanych warstwach, gdyż zagadnienie to w dalszych częściach rozprawy wydaje się opisane jedynie częściowo.
7. Potencjalny wpływ obróbki cieplnej – jaki byłby przewidywany wpływ dodatkowej obróbki cieplnej wytworzonych warstw na ich właściwości strukturalne, optyczne, elektryczne oraz czujnikowe?
8. Mechanizmy przewodnictwa – czy na podstawie uzyskanych wyników można wskazać dominujące mechanizmy przewodnictwa w badanych warstwach (np. transport polaronowy, przewodnictwo dziurowe, elektronowe) oraz określić ich zależność od zawartości kobaltu i zastosowanej metody wytwarzania?
9. Stabilność długoterminowa – czy prowadzone były lub planowane są testy starzeniowe warstw, w szczególności dla zastosowań sensorowych, w warunkach zbliżonych do rzeczywistych? Jakie mechanizmy degradacji można przewidywać w takich warunkach?



2. Wniosek końcowy

Podsumowując, rozprawa stanowi wartościowe i oryginalne opracowanie łączące badania podstawowe z oceną potencjału aplikacyjnego, a uzyskane wyniki mogą stanowić podstawę do dalszych prac nad implementacją powłok Ti-Co w urządzeniach elektronicznych i sensorowych.

Na podstawie analizy treści rozprawy, oceny wartości merytorycznej uzyskanych wyników oraz sposobu ich opracowania stwierdzam, że praca mgr inż. Patrycji Pokory spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* oraz w obowiązujących przepisach wykonawczych. Rozprawa prezentuje oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, potwierdza wysoki poziom wiedzy teoretycznej doktorantki oraz jej umiejętność samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

W związku z powyższym wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Patrycji Pokory do dalszych etapów przewodu doktorskiego oraz o nadanie jej stopnia doktora w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

Ze względu na bardzo wysoki poziom rozprawy, oryginalność uzyskanych wyników, a także skuteczne podjęcie trudnego zarówno technicznie, jak i naukowo tematu, którego rezultaty zostały opublikowane w międzynarodowych czasopismach naukowych, wnoszę dodatkowo o wyróżnienie niniejszej pracy doktorskiej.



Signed by /
Podpisano przez:

Sebastian Molin
Politechnika Gdańska

Date / Data: 2025-
08-13 08:48

Z poważaniem,

Sebastian Molin