



Politechnika Łódzka

Katedra Prządów Półprzewodnikowych i Optoelektronicznych

al. Politechniki 10, 93-590 Łódź

Łódź, dn. 28 października 2024 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

autorstwa pani magister Małgorzaty Wiolety Sypniewskiej

zatytułowanej

Wytwarzanie i charakterystyka cienkich warstw zawierających związki cynku i glinu z 8-hydroksychinoliną i jej pochodnymi do zastosowań w optoelektronice

Przedkładana recenzja rozprawy doktorskiej została przygotowana w odpowiedzi na pismo numer 19/112N/2024 z dnia 18 września 2024 roku od pana dr. hab. Piotra Mastowskiego, profesora UMK, Przewodniczącego Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu.

Promotorem recenzowanej pracy jest pani dr hab. Beata Derkowska-Zielińska, prof. UMK. Promotorem pomocniczym jest pan dr Robert Szczęsny.

Rozprawa doktorska pani magister Małgorzaty Wiolety Sypniewskiej podejmuje nowatorski temat i istotne wyzwanie, z punktu widzenia rozwoju technologii OLED i optoelektroniki, jakim jest opracowanie i wytworzenie urządzeń wykorzystujących metalochinoliny w charakterze warstw emisyjnych. Badania zrealizowane przez Doktorantkę poświęcone są analizie, opracowaniu procedur otrzymywania, wytwarzaniu oraz charakteryzacji i modyfikacji nowo zsyntezowanych cienkich warstw metalochinolin (takich jak Alq_3 oraz Znq_2), w celu zwiększenia efektywności optycznej i ewaluacji ich potencjału aplikacyjnego w organicznych diodach elektroluminescencyjnych.

Autorka wykazuje wysoki stopień zaawansowania metodologicznego, stosując różne techniki syntezy i osadzania warstw, analizę strukturalną i kompleksową, analityczną interpretację



Politechnika Łódzka

Katedra Prządów Półprzewodnikowych i Optoelektronicznych

al. Politechniki 10, 93-590 Łódź

właściwości luminescencyjnych otrzymanych materiałów. W pracy zaprezentowane są także badania właściwości fotofizycznych i morfologicznych cienkich warstw z wykorzystaniem mikroskopii elektronowej oraz technik spektroskopowych, co wskazuje na rzetelne podejście eksperymentalne.

Rozprawa doktorska mgr Małgorzaty Sypniewskiej jest pracą zaawansowaną, kompleksowo opracowaną i bogatą w treści zarówno teoretyczne, jak i eksperymentalne, opisujące szczegółowo metodykę badań dot. syntez i osadzania warstw oraz techniki charakteryzacji wraz z interpretacją otrzymanych wyników. Analiza poszczególnych elementów pracy pozwala wskazać na wysoki poziom merytoryczny rozprawy, a także jej wkład w rozwój nauk fizycznych, zwłaszcza w zakresie zastosowań optoelektronicznych.

Tematyka podjętych badań, cele i hipoteza rozprawy oraz jej ocena

Temat pracy doktorskiej mgr Małgorzaty Sypniewskiej jest wysoce zasadny zarówno z perspektywy naukowej, jak i w kontekście zastosowań przemysłowych. Wybór zagadnienia dotyczącego wytwarzania i charakterystyki cienkich warstw zawierających związki cynku i glinu, z zastosowaniem 8-hydroksychinolini oraz jej pochodnych w technologii OLED, odzwierciedla aktualne potrzeby i trendy w obszarze optoelektroniki i materiałoznawstwa. Badania nad innowacyjnymi materiałami organicznymi, które mogą poprawić wydajność i trwałość diod OLED w nowoczesnych urządzeniach, są niezwykle aktualne w obszarze współczesnej elektroniki i fotoniki. Praca wnosi oryginalny wkład poprzez badanie styrylowych pochodnych metalochinolin. Wprowadzenie grup styrylowych w badanych związkach cynku i glinu ma na celu poprawę właściwości luminescencyjnych oraz stabilności termicznej materiałów. Technologia OLED, mimo wysokiej jakości, boryka się z wyzwaniami związanymi z trwałością oraz wydajnością materiałów organicznych, dlatego istnieje duże zapotrzebowanie na tańsze i bardziej stabilne materiały. Praca mgr Sypniewskiej przyczynia się do wypracowania bardziej wydajnych rozwiązań w produkcji OLED, co może mieć bezpośrednie przełożenie na zastosowania przemysłowe i rozwój technologii wyświetlaczy oraz oświetlenia o niższych kosztach eksploatacyjnych. Rozprawa odpowiada na istotne wyzwania współczesnej optoelektroniki, oferując nowatorskie rozwiązania w obszarze materiałów do technologii OLED, co pozwala stwierdzić, że stanowi ona istotny wkład w rozwój tego dynamicznie rozwijającego się obszaru optoelektroniki.

Autorka rozprawy precyzyjnie określiła cel badawczy pracy, wskazując na dążenie do opracowania procedur wytwarzania oraz charakteryzacji pod kątem właściwości fotofizycznych cienkich warstw zawierających metalochinolinę, takie jak bis(8-hydroksychinolina) cynku (Znq_2) oraz tris(8-



Politechnika Łódzka

Katedra Przyrządów Półprzewodnikowych i Optoelektronicznych

al. Politechniki 10, 93-590 Łódź

hydroksychinolina) glinu (Alq_3). Kluczowym elementem pracy było wprowadzenie nowej grupy styrylowych pochodnych metalochinolin oraz ich zastosowanie w organicznych diodach elektroluminescencyjnych. Doktorantka postawiła tezę, że możliwe jest wytworzenie takich cienkich warstw organicznych zawierających nowosyntetyzowane metalochinoliny, które będą mogły pełnić rolę efektywnych warstw emisyjnych w strukturach diod OLED. Cele pracy zostały jasno określone, a hipoteza badawcza przedstawiona w sposób logiczny i adekwatny do zakresu badań.

Autorka wykazała się bardzo dobrą znajomością metodologii syntezy oraz wytwarzania cienkich warstw i ich charakteryzacji. Metody pomiarowe zastosowane w rozprawie, takie jak spektrofotometria UV-Vis, spektroskopia FTIR, mikroskopia konfokalna i skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM), oraz wyznaczenie widm foto o elektroluminescencyjnych, zostały szczegółowo opisane i właściwie dobrane do celów badawczych pracy. Procedury związane z otrzymywaniem cienkich warstw metodą powlekania obrotowego są poprawnie opisane w rozprawie. Przyjęte przez Doktorantkę metody i parametry badawcze pozwoliły na uzyskanie jednorodnych, dobrze scharakteryzowanych warstw, co było kluczowe dla dalszej analizy ich właściwości.

Wyniki badań zostały zaprezentowane w sposób uporządkowany i klarowny. Autorka przeprowadziła kompleksową analizę uzyskanych wyników, wskazując na wpływ struktury metalochinolin oraz ich pochodnych styrylowych na właściwości optyczne i luminescencyjne cienkich warstw. Prezentacja wyników badań zawartych w pracy obejmuje szczegółowo opisane wykresy i tabele, co umożliwia weryfikację i zrozumienie procesów zachodzących w badanych warstwach. Istotnym elementem dyskusji podjętej w rozprawie jest porównanie pochodnych cynku i glinu w matrycy polimerowej PVK oraz ocena wpływu dodatków na wydajność luminescencyjną diod OLED. Autorka przeprowadziła również analizę morfologii i struktury warstw, która umożliwiła lepsze zrozumienie ich właściwości i potencjalnych zastosowań w optoelektronice.

Ocena ogólnej wiedzy teoretycznej Kandydatki do stopnia doktora nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauk fizycznych, na podstawie recenzowanej pracy doktorskiej

Złożoność recenzowanej pracy dowodzi wysokiego poziomu ogólnej wiedzy teoretycznej Autorki, który pozwolił jej na skuteczne przeprowadzenie badań oraz wyciągnięcie wartościowych wniosków. W części teoretycznej rozprawy Doktorantka szczegółowo omawia techniki osadzania cienkich warstw, opisuje parametry procesów oraz ich wpływ na jakość otrzymanych struktur, co świadczy o jej kompetencjach w zakresie znajomości tych metod wraz z wymaganiami technologii materiałowej. Autorka wykazała się również zdolnością krytycznego doboru metodologii do osiągnięcia zamierzonych celów badawczych. Umiejętność syntetyzowania wiedzy z różnych



Politechnika Łódzka

Katedra Przyrządów Półprzewodnikowych i Optoelektronicznych

al. Politechniki 10, 93-590 Łódź

dyscyplin naukowych, takich jak fizyka, chemia i inżynieria materiałowa, świadczy o kompleksowym przygotowaniu teoretycznym Doktorantki do podjęcia tego interdyscyplinarnego tematu badawczego. Wykorzystanie różnych technik analitycznych, jak również znajomość ich funkcjonalności i ograniczeń wskazuje, że Autorka dobrze rozumie zarówno specyfikę badanych materiałów, jak i znaczenie metod ich analizy. Praca ta wykracza poza typowe materiały stosowane w OLED, eksplorując możliwości wzbogacenia i sfunkcjonalizowania materiałów organicznych poprzez dodanie grup funkcyjnych, co może przyczynić się do utworzenia nowych kierunków badań i innowacji.

Autorka, w sposób profesjonalny odniosła się do kluczowych publikacji naukowych dotyczących rozwoju struktur OLED oraz technologii cienkowarstwowej osadzania warstw, co świadczy o jej znajomości najnowszych osiągnięć naukowych w tym obszarze wiedzy. Przegląd literatury zawarty w rozprawie jest wyczerpujący i aktualny. Uwzględniła on historię, stan obecny i kierunki rozwoju diod OLED, a także aspekty związane z właściwościami fizycznymi i chemicznymi metalochinolin, co stanowi o całościowym i rzetelnym ujęciu problemu badawczego przed Doktorantką.

Ocena umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przed Doktorantką

Praca mgr Małgorzaty Sypniewskiej jest oparta na jasno sformułowanej i ambitnej hipotezie badawczej, która zakłada opracowanie nowych cienkich warstw organicznych o pożądanych właściwościach luminescencyjnych i strukturalnych, o potencjalnych możliwościach zastosowania w diodach OLED. Autorka dobrała i opanowała złożone techniki badawcze, uwzględniające zarówno technologie wytwarzania jak i precyzyjnej charakteryzacji, co pozwoliło jej na kontrolę ścieżki realizowanych eksperymentów. Przeprowadzone i opisane przez Doktorantkę prace laboratoryjne dowodzą o posiadanych przez nią kompetencjach technicznych na poziomie wymaganym od doktoranta.

Autorka wykazała się umiejętnością twórczego myślenia oraz proponowania nowych rozwiązań, co przejawia się w badaniu i modyfikacji metalochinolin przez wprowadzenie pochodnych styrylowych. Otwarte podejście do problemu oraz autorskie propozycje modyfikacji strukturalnych sugerują, że Doktorantka potrafi samodzielnie rozwijać i dostosowywać metody do specyficznych celów badawczych.

Autorka zaprezentowała zdolność do krytycznej analizy i interpretacji wyników, zwłaszcza w zakresie wpływu różnych czynników na właściwości emisyjne badanych warstw, takich jak skład chemiczny, struktura molekularna i efekty modyfikacji chemicznych. Nie tylko zgłębiła ona podstawy



Politechnika Łódzka

Katedra Prządów Półprzewodnikowych i Optoelektronicznych

al. Politechniki 10, 93-590 Łódź

teoretyczne, ale także wykazała się umiejętnością integracji wiedzy z różnych dziedzin w celu efektywnego zaplanowania eksperymentów i interpretacji wyników. Praca zawiera dobrze przemyślaną część dyskusyjną, gdzie Doktorantka ocenia uzyskane wyniki, odnosząc je do literatury i wyciągając własne wnioski, co niewątpliwie wymaga wysokiego poziomu samodzielności i komplementarnego zrozumienia tematu badań.

W mojej ocenie Doktorantka, mgr Małgorzata Sypniewska, wykazała się wysokim poziomem samodzielności w prowadzeniu pracy naukowej. Jest to widoczne zarówno w aspektach formułowania i realizowania zaawansowanych hipotez badawczych, jak również w kontekście samodzielnego doboru odpowiednich metod i interpretacji wyników w zaplanowanej strukturze zarządzania projektem badawczym i dobrej organizacji pracy.

Ocena oryginalności rozwiązania problemu naukowego oraz zastosowania wyników własnych badań naukowych przez Doktorantkę

Rozprawa doktorska mgr Małgorzaty Sypniewskiej charakteryzuje się oryginalnym podejściem rozwiązania problemu badawczego dotyczącego wydajności luminescencyjnej i stabilności warstw organicznych w strukturach OLED. Praca Doktorantki wnosi istotny wkład w badania nad tą technologią poprzez analizę możliwości wykorzystania pochodnych metalochinolin w warstwach elektroluminescencyjnych. Przeprowadzone przez Autorkę badania wykazały, że modyfikacja struktur metalochinolin może istotnie wpłynąć na właściwości emisyjne otrzymywanych warstw. Wprowadzenie pochodnych metalochinolin z grupą styrylową (ZnStq_R) jest kierunkiem nowym i rzadko spotykanym w literaturze dotyczącej OLED-ów.

Zaprezentowane wyniki badań nad warstwami Znq_2 i Alq_3 oraz ich styrylowymi pochodnymi mają istotne znaczenie dla rozwoju nowoczesnych, bardziej efektywnych struktur OLED. Wnioski przedstawione w rozprawie dowodzą, że zastosowanie pochodnych styrylowych metalochinolin, szczególnie w połączeniu z matrycą PVK, pozwala na uzyskanie materiałów o zwiększonej stabilności i intensywności emisji. Autorka dowiodła zatem, że modyfikacja chemiczna tych związków może prowadzić do poprawy trwałości i wydajności urządzeń OLED. Wyniki pracy mogą być również aplikowane w innych strukturach optoelektronicznych, takich jak czujniki luminescencyjne. Recenzowana rozprawa otwiera zatem możliwości w zakresie rozwoju nowych rodzajów wyświetlaczy i oświetlenia oraz stwarza fundamenty do dalszych zastosowań w elektronice organicznej.



Politechnika Łódzka

Katedra Przyrządów Półprzewodnikowych i Optoelektronicznych

al. Politechniki 10, 93-590 Łódź

Powyższe wnioski stanowią istotną podstawę naukową dla dalszego rozwoju tego typu materiałów oraz sugerują wysoki potencjał aplikacyjny zrealizowanych prac. Ponadto, oryginalność rozwiązania problemu oraz propozycja zastosowania wyników własnych badań pozwalają wskazać na istotny wkład recenzowanej pracy w rozwój nauki i technologii.

Wnioski, ocena zgodności rozprawy z wymogami art. 187 ustawy "Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce" z dnia 20 lipca 2018 r. oraz rekomendacje końcowe

Niniejsza recenzja rozprawy doktorskiej mgr Małgorzaty Sypniewskiej uwzględnia zarówno analizę naukową, jak i ocenę zgodności z wymogami ustawowymi określonymi w art. 187 ustawy "Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce" z dnia 20 lipca 2018 roku.

W mojej opinii rozprawa doktorska mgr Małgorzaty Sypniewskiej stanowi bardzo wartościowy wkład w rozwój optoelektroniki oraz spełnia wszystkie wymagania rozprawy doktorskiej zgodnie z przepisami ustawowymi ("Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce" z dnia 20 lipca 2018 roku). Badania zostały przeprowadzone z należytą starannością, a wyniki badań w pełni wspierają wnioski sformułowane przez Autorkę. Oryginalność pracy, rzetelność metodologiczna i potencjalne znaczenie aplikacyjne czynią rozprawę dziełem wartościowym zarówno z naukowego, jak i technicznego punktu widzenia.

Autorka wykazała pełną zdolność do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej na poziomie doktoratu. Zarówno wybór i stosowanie zaawansowanych metod badawczych, jak i innowacyjne podejście do problemu badawczego świadczą o jej kompetencjach badawczych oraz zdolności do prowadzenia samodzielnych badań. Na tej podstawie można ocenić, że doktorantka posiada umiejętności niezbędne do realizacji dalszych, złożonych projektów badawczych.

Na podstawie powyższych wniosków, rozprawę doktorską pani mgr Małgorzaty Sypniewskiej oceniam pozytywnie oraz rekomenduję jej przyjęcie pracy do publicznej obrony. W przypadku pozytywnego rozstrzygnięcia obrony, wnoszę o nadanie mgr Sypniewskiej stopnia doktora nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauk fizycznych.

dr hab. inż. Katarzyna Znajdek, profesor uczelni
Politechnika Łódzka