



dr hab. inż. Sławomir Drobczyński, prof. PWr  
Katedra Optyki i Fotoniki  
Wydział Podstawowych Problemów Techniki  
Politechnika Wroclawska  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław

### Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Macieja Ćwierzony pt. „Nanooptyka nielokalnych procesów fotoluminescencyjnych”

Rozprawa doktorska poświęcona jest badaniom nanostruktur metalicznych oraz propagujących w nich wzbudzeń plazmonowych. Praca obejmuje szeroko zakrojony zakres prac związanych z preparatyką nanostruktur i opracowaniem układu pomiarowego do pomiarów przewodzenia światła do pojedynczych nanoemiterów przez falowody plazmoneczne w postaci nanodrutów srebra.

Praca powstała pod kierunkiem dra hab. inż. Dawida Piątkowskiego prof. UMK w Katedrze Nanofotoniki Instytutu Fizyki Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. W rozprawie Autor bada możliwości zastosowania nanodrutów srebra jako struktur zdolnych do przewodzenia światła w mikroskali. W dobie dochodzenia do granic miniaturyzacji układów optoelektronicznych, nowe technologie przesyłania informacji stają się niezwykle atrakcyjne. Od wielu lat obserwujemy rozwój nanoinżynierii materiałów fluorescencyjnych, które znajdują zastosowania w obrazowaniu struktur biologicznych, procesów w nich zachodzących czy w technologiach szeroko rozumianych wyświetlaczy oraz fotowoltaiki. Bardzo interesujące zagadnienie to prowadzenie sygnałów optycznych między nanoemiterami. Podstawy fizyczne tych zjawisk związane są z pojawieniem się kwazicząstek – polarytonów. Obserwując publikacje naukowe jest to silnie rozwijany kierunek fotoniki, który urósł już do rangi oddzielnego kierunku – nanofotoniki czy nanooptyki. Zaprezentowane w pracy wyniki wpisują się w aktualny nurt badań oddziaływań światło-materia i mogą stanowić cenne narzędzia do dalszego rozwoju plazmoniki.

Zaprezentowany dorobek naukowy mgra inż. Macieja Ćwierzony to 6 prac w czasopismach z Listy Filadelfijskiej. Według bazy Web of Science do tej pory głównie cytowane przez współpracowników doktoranta. Doktorant jest pierwszym autorem tylko jednej z nich *Applied Physics Letters* 120, 261108 (2022) i odczytuję to jako zwieńczenie prac zawartych w pracy doktorskiej. W pozostałych pracach nie zostały zawarte wyniki bezpośrednio związane z pracą doktorską, jednak świadczą one o wykorzystaniu warsztatu eksperymentalnego doktoranta. Jest to dowód uznania kompetencji młodego badacza



HR EXCELLENCE IN RESEARCH





w środowisku naukowym. Mgr Ćwierzona prezentował swoje wyniki w postaci plakatów i referatów na 9 branżowych konferencjach naukowych o zasięgu krajowym i międzynarodowym. Należy uznać, że na obecnym etapie rozwoju zawodowego doktoranta jest to wynik dobry i świadczy o zainteresowaniu środowiska jego pracami. Metrologia optyczna w zakresie nanostruktur metalicznych jest trudnym tematem, który podejmuje niewiele ośrodków na świecie.

Praca doktorska mgr inż. Macieja Ćwierzony obejmuje 109 stron i składa się z 7 rozdziałów.

W rozdziale pierwszym Autor w syntetyczny sposób przedstawia zawartości poszczególnych rozdziałów. Następnie przedstawia podstawy teoretyczne zjawisk fizycznych i technik omawianych w rozprawie. W przejrzysty sposób omówiono zasadę mikroskopii konfokalnej - kluczowej techniki prezentowanej w pracy. Kolejno omawiane są właściwości optyczne struktur metalicznych, techniki wzbudzenia polarytonów, proces up-konwersji w nanokryształach domieszkowanych jonami lantanowców.

Rozdział drugi zawiera przegląd aktualnych prac naukowych dotyczących wzbudzeń plazmonowych w nanocząstkach metalicznych. Bibliografia liczy 144 pozycje, Autor rzetelnie przeprowadził studia literaturowe co świadczy o dobrej znajomości tematu. Na tym tle doktorant wskazuje motywacje i obszary swoich badań prezentowanych w rozprawie.

W rozdziale trzecim zaprezentowano budowę autorskiego układu mikroskopu konfokalnego. Następnie szczegółowo omówiono techniki przygotowania próbek poddawanych dalszym eksperymentom. Zamieszczono ilustracje procesu przygotowania próbek oraz rzeczywiste obrazy SEM uzyskanych preparatów. Na koniec scharakteryzowano właściwości nanokryształów domieszkowanych jonami lantanowców, które wykorzystano do obserwacji procesów fotoluminescencyjnych prezentowanych w rozprawie.

Rozdział czwarty zawiera główne wyniki otrzymane w trakcie realizacji pracy. Doktorant zaczyna swoje badania w układzie losowo rozmieszczonych nanokryształów fotoluminescencyjnych i nanodrutów. Badana jest efektywność aktywacji polarytonów w nanodrucie w zależności od odległości między nanoobjektami. Jest to również pierwszy test opracowanego mikroskopu konfokalnego. Doświadczenia dotyczące procesów wzmocnienia i tłumienia, aktywacji powierzchniowych polarytonów plazmonowych zebrane w trakcie tych pomiarów były potrzebne do dalszych prac nad projektowaniem bardziej złożonych nanoukładów. Najwięcej uwagi Autor poświęca kolejnej strukturze nazwanej hybrydową zapałką, składającej się z nanodrutu srebra z naniesioną na jedną końcówkę kroplą nanokryształów luminescencyjnych. Zbadano efektywność procesów fotoluminescencyjnych w zależności od średnicy nanodrutu oraz rozkładów pola elektrycznego wiązki laserowej.



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Politechnika Wroclawska

Wydział Podstawowych Problemów Techniki

Katedra Optyki i Fotoniki

Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław

T: +48 71 320 25 79

wppt.kof@pwr.edu.pl  
www.pwr.edu.pl

REGON: 000001614

NIP: 896-000-58-51

Nr konta:

37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



Kolejna część prezentuje bardzo praktyczny aspekt prowadzonych badań w odniesieniu do pomiaru tłumienności falowodów plazmonicznych, które mogą zostać wykorzystane w zintegrowanych układach optoelektronicznych. Na koniec doktorant opisuje jeszcze bardziej zaawansowane nanostruktury bazujące na hybrydowej zapalce i możliwości dalszych, ciekawych badań.

W rozdziale piątym Autor w bardzo syntetyczny sposób podsumowuje wyniki uzyskane w pracy.

Poziom pracy przedstawionej przez pana Macieja Ćwierzonę oceniam wysoko. Jest to bez wątpienia praca, którą można zakwalifikować do prac o charakterze eksperymentalnym. Opracowanie techniki przygotowania próbek oraz metodyki pomiarowej stanowi ważny wkład w badania nad zjawiskami wzbudzeń plazmonowych w nanocząstkach metalicznych. Doktorant opracował i przetestował techniki przygotowania próbek do trudnych eksperymentów, a także zbudował zaawansowany mikroskop konfokalny. Wymagało to wielogodzinnej pracy w laboratorium, wysokich umiejętności w justowaniu i konstrukcji układów optycznych do pomiarów fluorescencyjnych o bardzo dużej czułości. Chciałbym zwrócić uwagę na bardzo dobrze wykonane rysunki wyjaśniające kluczowe aspekty metodyki i działania układu pomiarowego. Wszystko to świadczy o głębokiej wiedzy i zrozumieniu badanych zagadnień przez Doktoranta.

Jednak, jak każda rozprawa doktorska i ta zawiera pewne niedoskonałości. Pierwsze wrażenie to niestandardowy układ pracy, zwykle we wprowadzeniu prezentowany jest aktualny stan wiedzy oraz motywacje autora. Następnie w pracy doktorskiej oczekuje się precyzyjnie sformułowanej tezy.

Autor w rozdziale drugim dokonuje przeglądu literaturowego jednak ze względu na eksperymentalny charakter pracy i wyeksponowanie techniki mikroskopii konfokalnej zabrakło informacji o innych możliwościach badania tego typu układów.

W rozdziale trzecim doktorant prezentuje zaprojektowany przez siebie układ mikroskopu konfokalnego i w tym miejscu mogłyby się znaleźć szczegółowo omówione zagadnienia mikroskopii konfokalnej z rozdziału pierwszego.

Jako źródło promieniowania laserowego w układzie pomiarowym zastosowano diodę laserową sprzężoną z jednomodowym światłowodem. Dziwi trochę fakt, dlaczego w tak zaawansowanych pomiarach nie wykorzystano diody stabilizowanej temperaturowo wraz ze stabilizacją długości fali w postaci światłowodu z siatką Bragga. Nie skomentowano wpływu fluktuacji stanu polaryzacji światła, który może pochodzić od naprężeń powstających w światłowodzie, na stabilność intensywności wiązki pobudzającej nanostruktury.



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Politechnika Wroclawska  
Wydział Podstawowych Problemów  
Techniki

Katedra Optyki i Fotoniki  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław

T: +48 71 320 25 79

wppt.kof@pwr.edu.pl  
www.pwr.edu.pl

REGON: 00001614  
NIP: 896-000-58-51  
Nr konta:  
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



Należałoby precyzyjnie omówić działanie przestawnego konwertera polaryzacji i powiązać go z otrzymywanymi rozkładami polaryzacji światła w wiązce typu „donut”.

Nie wykonano oceny stanu polaryzacji światła przed obiektywem po odbiciu od zwierciadła dichroicznego, odbicie od dielektryków może modyfikować stan polaryzacji, który w części prezentowanych badań jest kluczowy.

W przypadku pomiarów czasu zaniku fotoluminescencji należałoby podać częstotliwość próbkowania, aby rozwiać wątpliwości związane z regułami analizy sygnałów.

W przypadku tak czułych pomiarów fotoluminescencyjnych oczekiwałbym pomiaru szumu termicznego detektorów oraz oszacowania parametru SNR.

Czy dodatkowe funkcje oprogramowania napisanego w środowisku LabView są autorstwa doktoranta ?

W rozdziale trzecim poświęconym preparatyce próbek, doktorant powinien wyraźnie zaznaczyć swój udział w procesie syntezy i dalszych etapów przygotowania oraz walidacji preparatów.

Na rysunku 3.12a zgodność histogramu rozmiaru z czerwoną krzywą fitowania wydaje się wątpliwy.

Czy istnieją techniki separacji przestrzennej nanokryształów o różnej wielkości ?

Czy do obserwacji nielokalnych procesów fotoluminescencyjnych można wykorzystać kropki kwantowe ? Jeśli tak czy można porównać wydajności kwantowe tych materiałów ?

W rozdziale czwartym prezentowane są wyniki bardzo subtelnych pomiarów w mikroskali. Czy w eksperymencie dotyczącym analizy oddziaływania między nanostrukturami w zależności od ich odległości może być zauważalny wpływ pozostającego, niejednorodnego pokrycia nanodrutów po procesie ich syntezy ? Czy można stwierdzić, że nanodruły leżą płasko na szkłe, które w tej skali jest już nierówne? Moje wątpliwości budzi analiza map fluorescencji otrzymanych dla serii hybrydowych zapatek o rosnącej średnicy nanodrutu, która nie ma odniesienia do modelu propagacji polarytonów w nanodrucie. Model powinien odpowiedzieć na fundamentalne pytanie – jakie mody zostały pobudzone określoną wiązką laserową i jakie propagują w takim nanodrucie ?

Bez matematycznego opisu zjawiska nie ma pewności czy jest to wpływ składowej  $E_{0,z}$  pola czy np. modów wyższych rzędów propagujących w nanodrucie.

Wnioskowanie tylko na podstawie danych eksperymentalnych jest nie wystarczające.

Z drobnych błędów edytorskich chciałbym zwrócić uwagę na pozostawione spójniki na końcach linii tekstu oraz niespójności w zapisie bibliografii: miesiące po polsku, pozostawienie przed nazwą czasopisma „w”, zapis Autor i in. zamiast Author et. all.



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Politechnika Wroclawska  
Wydział Podstawowych Problemów  
Techniki

Katedra Optyki i Fotoniki  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław

T: +48 71 320 25 79

wppt.kof@pwr.edu.pl  
www.pwr.edu.pl

REGON: 000001614  
NIP: 896-000-58-51  
Nr konta:  
37 1090 2402 0000 0006 1000 0434



# Politechnika Wroclawska

Katedra Optyki i Fotoniki

Uważam, że dotychczasowy dorobek mgr inż. Macieja Ćwierzony spełnia wymogi stawiane w art. 187 ust. 1 i 2 ustawy prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018r. i może być podstawą do ubiegania się o stopień doktora w dyscyplinie nauki fizyczne. W związku z powyższym wnoszę o dopuszczenie rozprawy do obrony publicznej.

Wrocław, 30.04.2024r

Dr hab. inż. Sławomir Drobczyński, prof. PWR



HR EXCELLENCE IN RESEARCH

Evaluated by  
**IEP** INSTITUTIONAL  
EVALUATION  
PROGRAMME  
[www.iep-qaa.org](http://www.iep-qaa.org)

Politechnika Wroclawska

Wydział Podstawowych Problemów  
Techniki

Katedra Optyki i Fotoniki

Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław

T: +48 71 320 25 79

[wppt.kof@pwr.edu.pl](mailto:wppt.kof@pwr.edu.pl)  
[www.pwr.edu.pl](http://www.pwr.edu.pl)

REGON: 000001614

NIP: 896-000-58-51

Nr konta:

37 1090 2402 0000 0006 1000 0434