

Gdańsk, 19.06.2021

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr Dominika Dobrakowskiego

pt. „*Badanie właściwości liniowych i nieliniowych oraz dwójłomności strukturalnych światłowodów dla zastosowań w źródłach ultrakrótkich impulsów laserowych*”

Podstawą formalną do przygotowania recenzji analizowanej rozprawy doktorskiej stanowiło pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu Warszawskiego prof. dr. hab. Wojciecha Satuły.

1. Zasadność podjęcia tematu oraz ocena oryginalności problematyki

Praca doktorska jest skupiona na modelowaniu i badaniach właściwości mikrostrukturalnych szklanych światłowodów dedykowanych do zastosowań w układach laserów do generacji ultrakrótkich impulsów. Doktorant podejmuje się analizy różnych rozwiązań bazując m.in. na strukturalnych światłowodach do generacji koherentnego światła białego, tj. superkontinuum, które charakteryzują się wysoką dwójłomnością oraz relatywnie płaską dyspersją chromatyczną w zakresie normalnym. Kolejnymi badanymi rozwiązaniami były specyficzne światłowody antyrezonansowe o szerokim oknie transmisyjnym wprowadzające niewielkie deformacje spektralno-czasowe. Postawiony problem badawczy jest wyjątkowo oryginalny oraz aktualny skupiając się na wnikliwej analizie modeli propagacji fali elektromagnetycznej w ośrodkach dielektrycznych, w warunkach dużego ograniczenia przestrzennego.

Autor zajmuje się nowymi rozwiązaniami z zakresu generacji spolaryzowanego koherentnego superkontinuum z użyciem światłowodów w odróżnieniu od standardowego superkontinuum generowanego w materiałach objętościowych wykorzystywanego w komercyjnej aparaturze. W standardowych rozwiązaniach koherencja impulsów może zostać zaburzona w wyniku defektów indukujących dekoherencję. Podejmowany problem jest aktualny w literaturze a ilość

prac dotyczących generacji spolaryzowanego koherentnego superkontinuum w światłowodach o dyspersji zawartej całkowicie w zakresie normalnym jest bardzo ograniczona.

Nadrzędnym celem pracy i problemem naukowym stawianym w rozprawie było zaprojektowanie i wytworzenie światłowodów pozwalających na poszerzenie widmowe oraz transmisję ultrakrótkich impulsów laserowych z zachowaniem ich jednolitej struktury spektralno-czasowej. **Sformułowany cel jest w pełni mierzalny, posiada głęboki aspekt naukowy oraz jest aktualny w zakresie wiedzy światowej.**

W ramach realizacji prac badawczych udowodniono za pomocą modelowania oraz eksperymentów prawdziwość sformułowanych tez dotyczących możliwości zaprojektowania i wytworzenia światłowodu pozwalającego na generację spolaryzowanego koherentnego superkontinuum o szerokości spektralnej obejmującej zakres wzmacniacza erbowego oraz tulowego, zaprojektowanie światłowodu dwójłomnego pozwalającego na uzyskanie odmiennych wartości współczynnika nieliniowego dla dwóch ortogonalnych składowych polaryzacyjnych modu podstawowego światłowodu oraz zaprojektowanie jak również wytworzenie światłowodu z powietrznym rdzeniem pozwalającego na transmisję impulsu o czasie trwania poniżej 100 fs na odcinku długości kilku metrów z zachowaniem integralnej struktury spektralno-czasowej impulsu.

Autor w pełni wykazał zgodność założonych hipotez z wynikami uzyskanymi dla badanych struktur światłowodowych. Zaprojektowano, wytworzono i zbadano struktury światłowodowe o dedykowanych parametrach nieliniowych i dwójłomności fazowej. Zaproponowane i eksperymentalnie potwierdzone rozwiązania światłowodowe są niezwykle użyteczne w aspekcie koherentnych źródeł światła i wymagają do pobudzenia tylko laserów impulsowych niskiej mocy. Dotychczasowe rozwiązania nie posiadały tak szerokiego widma albo wymagały skomplikowanego źródła pompującego o dużej mocy. Opracowane rozwiązania dają nowe możliwości generacji wysokich harmonicznych w celu uzyskania impulsów attosekundowych, prowadzenia badań spektroskopowych dla wykrywania różnego rodzaju związków chemicznych czy obrazowania struktur biologicznych niewielkich rozmiarów.

Pragnę stwierdzić, że postawiony **problem naukowy jest ambitny i oryginalny. Biorąc pod uwagę przeprowadzone obliczenia oraz prace eksperymentalne dla różnego typu rozwiązań światłowodowych jest zadaniem niebanalnym i wymagającym od Autora**

Kontakt:

dr hab. inż. Robert Bogdanowicz prof. PG
Tel +48 58 3471503 | email: rbogdan@eti.pg.edu.pl
Fax +48 58 3471848 | <http://diamondized.eu>

zawansowanej wiedzy o charakterze podstawowym w zakresie fizyki, fotoniki, elektrodynamiki jak i kwalifikacji w zakresie budowy układów optycznych na potrzeby badań generacji i propagacji spolaryzowanego koherentnego superkontinuum wraz ze zrozumieniem zjawisk odpowiadających za obserwowane efekty.

2. Ogólna charakterystyka i ocena rozprawy doktorskiej

Oceniana rozprawa obejmuje 127 stron maszynopisu podzielonego na 6 rozdziałów zawierających 90 rysunków oraz 143 pozycje bibliograficzne. Zebrany materiał badawczy jest imponujący i świadczy o ogromnej pracy włożonej w realizację i przygotowanie rozprawy.

We wstępnym rozdziale 1 przedstawiono wyczerpująco motywację do podjęcia badań i właściwie odniesiono się do aktualnego stanu wiedzy w tematyce. W tym rozdziale Autor definiuje również cel badawczy pracy oraz formułuje tezy rozprawy. Treści te są zdefiniowane klarownie, mają głębokie podłoże naukowe a ich charakter jest mierzalny.

W drugim rozdziale Autor umieścił szeroki wstęp teoretyczny rozpoczynając od równań Maxwella. Następnie opisuje równania propagacji fali elektromagnetycznej w ograniczonych ośrodkach dielektrycznych oraz wprowadza czytelnika w teorię propagacji światła oraz metody uzyskiwania dwójłomności w światłowodach strukturalnych odnosząc się do uznanych źródeł literaturowych w tym zakresie. Sporo uwagi Autor poświęca również definicjom dyspersji chromatycznej światłowodów oraz ich właściwościom nieliniowym. Zamieszczony rozdział wstępny wyczerpuje temat wprowadzenia czytelnika w podejmowane w następnych rozdziałach analizy i wskazuje wyraźnie na głęboką znajomość wiedzy i podstaw Autora w zakresie tematyki rozprawy.

Kolejne rozdziały rozprawy skupione są już wyłącznie na analizie oryginalnych wyników osiągniętych przez Autora pracy. Rozdział 3 zawiera autorskie wyniki opisujące procesy projektowania, wytwarzania i charakteryzacji nieliniowych światłowodów strukturalnych z dyspersją normalną oraz dwójłomnością. Autor zaproponował różne modyfikacje struktury światłowodów wykonanych z ogólnodostępnych szkielek krzemianowych (SF6 oraz F2) w celu zaindukowania dwójłomności. Doceniam szeroki zakres prac w tym zakresie, gdzie Autor wykonał predykcje numeryczne struktur a następnie zbadał eksperymentalnie parametry

Kontakt:

dr hab. inż. Robert Bogdanowicz prof. PG
Tel +48 58 3471503 | email: rbogdan@eti.pg.edu.pl
Fax +48 58 3471848 | <http://diamondized.eu>

nieliniowe wyciągniętych światłowodów. W podsumowaniu Autor dyskutuje i porównuje te efekty tłumacząc charakter poszerzenia widmowego przy pompowaniu laserem o mocy szczytowej nieprzekraczającej kilkudziesięciu kilowatów. Kolejny rozdział 4 prezentuje wyniki badań skupionych na zależności od polaryzacji nieliniowości światłowodów z nanostrukturyzowanym, anizotropowym rdzeniem. W tym miejscu Autor również porównuje wyniki eksperymentalne do przeprowadzonych symulacji nieliniowej generacji superkontinuum jak i do obserwacji struktur opisywanych w poprzednim rozdziale 3.

Do bardzo ciekawych części pracy zaliczam rozdział 5, zawierający dogłębny opis wyników dotyczących predykcji numerycznych, wyciągania włókien oraz charakteryzacji właściwości liniowych i nieliniowych światłowodów antyrezonansowych. Autor samodzielnie przeprowadził badania charakterystyk spektralno-czasowych impulsów po przejściu przez światłowod antyrezonansowy z użyciem układów FROG, również w zależności od promienia zgięcia włókna. Rozdział podsumowano dyskusją skupioną na wzajemnej korelacji wyników. Autor kończy pracę szczegółowym podsumowaniem wszystkich uzyskanych wyników, wykazując synergiczne zależności i wskazując na tej podstawie dalsze, interesujące eksperymenty badawcze.

Lektura ww. rozdziałów wskazuje, że Autor samodzielnie opracował modele symulacji mechaniczno-optycznej światłowodu typu „bow-tie”, pozwalającej na określenie wpływu naprężeń na wytworzenie dwójłomności, jak i zaprojektował struktury światłowodów z nanostrukturyzowanym, warstwowym rdzeniem i mikrostrukturalnym płaszczem. Do ważnych obserwacji Autora zaliczam efekty zróżnicowanego współczynnika nieliniowego dla dwóch składowych polaryzacyjnych modu podstawowego przyczyniającego się do zwiększonego kontrastu nieliniowości. Doceniam, że Doktorant samodzielnie zaplanował i przeprowadził symulacje numeryczne właściwości propagacyjnych światłowodów antyrezonansowych uwzględniając wpływ różnych średnic i grubości ścianek kapilar wytworzonego światłowodu na uzyskanie dwójłomności. Wymienione osiągnięcia oraz zaprezentowane w pracy merytoryczne dyskusje wskazują na dojrzałość naukową Autora oraz jego szeroką wiedzę z zakresu rozprawy.

Doktorant profesjonalnie opisuje i posługuje się zaawansowanymi, badawczymi metodami symulacyjnymi takimi jak: metoda elementów skończonych, metoda split-step Fourier

czy metoda wielomianów Czebyszewa-Lagrange'a. Używa również poprawnie technik eksperymentalnych m.in.: interferometrycznego pomiaru dyspersji, metody drogi zdudnień do określania dwójłomności fazowej, metody odcięcia do badania tłumienności światłowodu czy metody FROG do określania parametrów impulsów laserowych.

Muszę dodać, że Doktorant jest współautorem 6 prac w czasopismach z listy ISI (np. *Optics Express*, *Optics Letters*, *Journal of Optics*), które bezpośrednio są związane z rozprawą i prezentują jej wyniki na światowym forum. W 3 z 6 tych prac Doktorant jest wiodącym, pierwszym autorem, co dodatkowo podbudowuje jego dorobek naukowy. Poza ważnym znaczeniem poznawczym wyników badań, istotnym aspektem prac jest przydatność praktyczna wytworzonych światłowodów dla nauki i techniki.

Zaprezentowana w rozprawie dyskusja wyników wskazuje na szerokie i kompleksowe podejście Doktoranta do badań symulacyjnych oraz eksperymentalnych jak i polemiki dotyczącej pochodzenia uzyskanych efektów. **Potwierdza to zaawansowaną wiedzę Autora w zakresie rozumienia zjawisk odpowiadających za obserwowane efekty w zaprojektowanych i zbadanych strukturach światłowodowych.** Autor odnosi się w dyskusji do najnowszych doniesień literaturowych, co świadczy o znajomości aktualnego stanu wiedzy w tym zakresie. **Doceniam docieklivość naukową Autora w dążeniu do zrozumienia zjawisk odpowiedzialnych za uzyskiwane efekty i weryfikacji modeli symulacyjnych z efektami eksperymentów.**

3. Uwagi oraz pytania do Doktoranta

Przedstawiona rozprawa doktorska jest praktycznie nienagannie przygotowana od strony edycyjnej. Rysunki i tabele są czytelnie zaprezentowane, przywoływane i omówione w tekście. Autor profesjonalnie posługuje się specjalistyczną terminologią, dzięki czemu manuskrypt czyta się bez zakłóceń i z zainteresowaniem. Nie przytaczam dosłownie kilku zauważonych potknięć edytorskich ze względu na ich nieznaczący wpływ na właściwy odbiór pracy.

Zainteresowany wynikami zaprezentowanymi w rozprawie proszę serdecznie Autora o szersze przedyskutowanie poniższych kwestii:

- (strona 57/60) Jakie są przyczyny niedoskonałości modeli dwójłomności przy wyższych długościach fali obserwowane na Rysunkach 3.16 lub 3.20? Proszę o dyskusję tego przypadku.
- (strona 96). Proszę o przybliżenie metodyki i założeń optymalizacji wartości grubości kapilar dwójłomnego światłowodu antyrezonansowego. Czy te wartości podlegały predykcji czy były ograniczone wymaganiami technologicznymi ?
- (strona 99) Czy analogiczne efekty wpływają na rozbieżności eksperymentu i symulacji dwójłomności fazowej światłowodu antyrezonansowego (patrz Rys. 5.4) jak ma to miejsce w przypadku wymienionym w rozdziale 3?
- (strona 110) Proszę o szerszą dyskusję i próbę oceny ilościowej czynników wpływających na spadek mocy wyjściowej w światłowodzie antyrezonansowym (patrz Tab. 5.5).

Abstrahując od wymienionych uwag i komentarzy stwierdzam jednoznacznie, że rozprawa jest na wysokim poziomie naukowym i zasługuje na ocenę wyróżniającą.

4. Wnioski końcowe

Pragnę stwierdzić, że Doktorant w pełni zrealizował założony program badawczy, udowodnił stawiane tezy oraz osiągnął założony cel pracy doktorskiej używając do tego zaawansowanych metod symulacyjnych oraz optycznych metod diagnostycznych. Przedstawiona rozprawa doktorska charakteryzuje się wysokim poziomem nowości w skali świata, o czym świadczą dołączone publikacje Autora. Symulacje i wytwarzanie nowych nanostrukturalnych światłowodów do generacji i transmisji superkontinuum jest istotne zarówno w aspekcie poznawczym jak i aplikacyjnym.

Analiza rozprawy oraz dołączonych publikacji pozwala mi stwierdzić, że Doktorant doskonale wywiązał się z postawionego mu zadania badawczego udowadniając słuszność stawianych tez. Opracowane modele, analizy symulacyjne jak i wyniki eksperymentalne badania nieliniowych światłowodów strukturalnych z dyspersją normalną oraz dwójłomnością dostarczają bez wątpienia nowych obserwacji i wniosków w stosunku do istniejącego stanu wiedzy w dziedzinie nauk ścisłych

Kontakt:

dr hab. inż. Robert Bogdanowicz prof. PG
Tel +48 58 3471503 | email: rbogdan@eti.pg.edu.pl
Fax +48 58 3471848 | http://diamondized.eu

i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki fizyczne. Biorąc pod uwagę uprzednie konkluzje, stwierdzam, że opiniowana rozprawa mgr Dominika Dobrakowskiego zatytułowana „*Badanie właściwości liniowych i nieliniowych oraz dwójtomności strukturalnych światłowodów dla zastosowań w źródłach ultrakrótkich impulsów laserowych*” **spełnia z naddatkiem wymogi określone w odnośnej Ustawy oraz Rozporządzeniach.** W związku z tym wnioskuję do Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne o skierowanie rozprawy doktorskiej do publicznej obrony.

Ponadto, biorąc pod uwagę wysoką jakość merytoryczną rozprawy doktorskiej, współautorstwo publikacji w czasopismach z listy ISI (10 prac), kierownictwo projektu Preludium 17 (NCN) oraz wystąpienia na międzynarodowych konferencjach naukowych stawiam wniosek o wyróżnienie pracy.

dr hab. inż. Robert Bogdanowicz prof. PG