



Politechnika Warszawska

Wydział Fizyki

Zakład Optyki i Fotoniki

Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

tel. (22) 234 5689, e-mail: wolinski@if.pw.edu.pl

Prof. dr hab. inż. Tomasz R. Woliński

Recenzja rozprawy doktorskiej mgra inż. Dominika Kowala pt.:
“Struktury periodyczne w światłowodach polimerowych”

Rozprawa doktorska mgra inż. Dominika Kowala pt.: “*Struktury periodyczne w światłowodach polimerowych*” została wykonana pod kierunkiem prof. dra hab. inż. Wacława Urbańczyka przy współpracy promotora pomocniczego dr inż. Gabrieli Statkiewicz-Barabach, obydwójce z Katedry Optyki i Fotoniki WPPT Politechniki Wrocławskiej. Rozprawa ma charakter eksperymentalny, jako że prezentuje wyniki badań dotyczących wytwarzania trwałych siatek światłowodowych dwojakiego rodzaju: siatek Bragga oraz siatek światłowodowych zapisywanych w światłowodach polimerowych, które to struktury periodyczne wykazują odpowiednie właściwości czujnikowe.

Współczesna telekomunikacja jak również szereg układów i urządzeń optoelektronicznych wykorzystuje technologię światłowodową opartą głównie na światłowodach krzemionkowych, które były intensywnie badane i rozwijane w przeciągu ostatniego półwiecza. Obok standardowych światłowodów telekomunikacyjnych w ostatnich kilkunastu latach pojawiły się mikrostrukturalne światłowody foniczne posiadające w przekroju posiadają strukturę powietrznych mikro-otworków. Światłowody klasyczne jak i foniczne wykonywane są od kilkunastu lat również z polimerów, które charakteryzują się wysoką elastycznością oraz większą odpornością na naprężenia mechaniczne niż w przypadku światłowodów krzemionkowych. Zarówno w polimerowych jak i w szklanych światłowodach fonicznych rozchodzenie się światła może być oparte nie tylko na klasycznym mechanizmie całkowitego wewnętrznego odbicia, ale również z wykorzystaniem tzw. fonicznej przerwy wzbronionej. Materiały polimerowe dostępne na rynku to m.in. polimetakrylan metylu (PMMA), polistyren (PS), poliwęglan (PC), a także polimery z grupy cykloolefin znane pod nazwami handlowymi TOPAS lub ZEONEX. Aktualność i nowatorskość tematyki recenzowanej rozprawy polega na opracowaniu sposobów trwałego wytwarzania struktur periodycznych w postaci zapisanych w światłowodach polimerowych (klasycznych i mikrostrukturalnych) długookresowych siatek światłowodowych oraz światłowodowych siatek Bragga.

Rozprawa składa się z 7 rozdziałów oraz spisu publikacji obejmującego 102 pozycje literaturowe i zajmuje łącznie 130 stron. Autor w latach 2013-2015 był współautorem 5. prac opublikowanych w wysoko punktowanych czasopismach optycznych o zasięgu światowym z listy ISI („filadelfijskiej”) tj. *Optics Express*, *Journal of Optics*, *Optics Letters*, *Applied Optics*

oraz *IEEE Photon. Technol. Letters*; przy czym w dwóch pracach (*Optics Letters*, *Applied Optics*) jest umieszczony na pierwszym miejscu. Zgodnie z oświadczeniami Autora, jego udział w w/w pracach wynosił od 5% do 35% (udziały Doktoranta były podane w związku z prowadzoną habilitacją promotora pomocniczego pracy, a w przypadku doktoratu nie są one wymagane). Dodatkowo, pan Kowal był współautorem komunikatu na konferencji w 2013 r. opublikowanego w *Proc. SPIE* (pozycja [18] spisu publikacji z błędnie podanym rokiem wydania). Należy więc uznać dorobek publikacyjny Doktoranta za znaczący.

Pierwszy rozdział rozprawy (*Wprowadzenie*) przedstawia motywację i podstawowe cele pracy oraz formułuje jej tezę, że „w światłowodach polimerowych można wytworzyć trwałe struktury periodyczne o różnym okresie (tj. siatki Bragga oraz siatki długookresowe), które mogą być użyte jako aktywne elementy czujników światłowodowych do pomiaru wielkości fizycznych”. Autor stawia sobie za główny cel badań opanowanie technologii wytwarzania struktur periodycznych w światłowodach polimerowych, a w szczególności opracowanie i zoptymalizowanie metod umożliwiających zarówno zapis siatek Bragga jak i siatek długookresowych.

W rozdziałach od 2. do 4. stanowiących ok. 40% Autor przedstawił zwięzły opis światłowodów specjalnych (wysoce dwójłomnych, mikrostrukturalnych oraz polimerowych, rozdz. 2.), bardzo poprawny i czytelny opis światłowodowych struktur periodycznych (rozd. 3.), a także przykłady zastosowania siatek Bragga i siatek długookresowych w telekomunikacji, laserach i wzmacniaczach światłowodowych oraz w systemach czujnikowych (rozd. 4.). W rozdz. 4. formuła (4.1) opisująca odpowiedź siatki Bragga na zmianę dowolnej wielkości fizycznej X została błędnie podana.

Zasadnicza i oryginalna część pracy zawarta jest w rozdziałach 5. i 6., w których Autor przedstawia swoje oryginalne wyniki eksperymentalne.

Rozdział 5. prezentuje wyniki dotyczące siatek długookresowych. Autor opracował dwie metody zapisu: metodę mechaniczno-termiczną oraz metodę punktowego naświetlania światłowodu wiązką lasera ultrafioletowego UV ($\lambda=375$ nm). Okazało się, że plastyczność włókien polimerowych (głównie PMMA) umożliwia wytworzenie stabilnych czasowo siatek długookresowych uformowanych mechanicznie w podwyższonej temperaturze (metoda mechaniczno-termiczna). W dalszej części Doktorant zaprezentował prostą i skuteczną metodę domieszkowania światłowodu mikrostrukturalnego z PMMA poprzez dyfuzję azobenzenu (rozpuszczonego w metanolu) bezpośrednio do tej części włókna, w której zapisana zostanie siatka. Metoda ta jest o wiele szybsza w wytwarzaniu siatek długookresowych w porównaniu z metodą opartą na wyciąganiu włókna z domieszkowanej preformy. W rozdziale tym Autor wykazał również możliwość zastosowania wytworzonych polimerowych siatek długookresowych jako czujników ciśnienia hydrostatycznego oraz odkształcenia podłużnego. Okazało się, że metoda naświetlania za pomocą wiązki UV okazała się skuteczniejsza od metody mechaniczno-termicznej, szczególnie w zakresie wyższych temperatur (powyżej 60°C).

W rozdz. 6. Doktorant przedstawił wyniki dotyczące zapisywania siatek Bragga w światłowodach polimerowych. Szczególnie cennym osiągnięciem Doktoranta jest zbudowanie układu i opracowanie sposobu wytwarzania siatek Bragga metodą maski fazowej. Autor dokonał rzetelnej analizy dynamiki wzrostu pików braggowskich w widmie odbicia naświetlanych siatek. Pan Kowal miał również duży udział w opracowaniu sposobu zapisu siatek Bragga wyższego rzędu na zakres widzialny w światłowodach polimerowych z wykorzystaniem maski fazowej i lasera He-Cd. Siatki Bragga z pikami wyższego rzędu mogą znaleźć zastosowanie do jednoczesnego pomiaru dwóch wielkości fizycznych, co zostało przeanalizowane przez Doktoranta w części teoretycznej pracy w rozdz. 4. Stabilne siatki Bragga zostały zapisane we włóknach mikrostrukturalnych na bazie polimeru PMMA jak również w światłowodach klasycznych typu *step-index* z rdzeniem zawierającym PS. Jest to niewątpliwie duże osiągnięcie Doktoranta w zakresie opanowania wytwarzania zaawansowanych struktur światłowodowych. Okazało się, że obydwa typy siatek różniły się w trakcie zapisywania szybkością zapisu, a we włóknach mikrostrukturalnych stabilność siatek była dużo lepsza niż w światłowodach klasycznych. Dodatkowo, wygrzewanie włókna przed zapisaniem siatki wpływało pozytywnie na jej długoterminową stabilność. W pracy przebadano odpowiedzi wytworzonych siatek na zmiany temperatury i wilgotności; w przypadku temperatury zaobserwowano histerezę, której nie udało się do końca wyeliminować.

Końcowe wnioski i podsumowanie pracy zawarte są w rozdziale 7., a pracę zamyka spis literatury obejmujący 102 pozycje. W pracy dostrzegłem jedynie drobne błędy edytorskie typu: stosowanie kropki zamiast przecinka w liczbach dziesiętnych (np. Rys. 6.15, 6.17, 6.21) oraz słabo widoczne wyróżnienie tytułów podrozdziałów.

Powyższe uchybienia jak i wcześniejsze nieliczne uwagi krytyczne, nie zmieniają mojej bardzo wysokiej oceny recenzowanej rozprawy. Rozprawa napisana jest w sposób bardzo poprawny merytorycznie, a jej układ jest jasny i przejrzysty. Doktorant ze starannością opisuje stosowane metody badawcze oraz wnikliwie analizuje otrzymane wyniki eksperymentalne, które jednoznacznie uzasadniają tezę rozprawy doktorskiej. Świadczy to o dużej poprawności i rzetelności warsztatu badawczego, a jednocześnie o sumienności i skrupulatności w badaniach eksperymentalnych.

W podsumowaniu stwierdzam, iż zgodnie z obowiązującymi ustawami recenzowana rozprawa doktorska zawiera istotne i oryginalne wyniki naukowe i może stanowić podstawę uzyskania stopnia naukowego doktora nauk fizycznych. W związku z powyższym wnoszę o dopuszczenie mgra inż. Dominika Kowala do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Ze względu na wysoką wartość merytoryczną rozprawy, która poparta jest 5 publikacjami w bardzo dobrych czasopismach z listy ISI (filadelfijskiej) stawiam wniosek o jej wyróżnienie.



Prof. dr hab. inż. Tomasz R. Woliński

Warszawa, dnia 24.08.2016 r.