



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

pt.: “Spektroskopia gazów w światłowodach mikrostrukturalnych”

MGRA INŻ. MICHAŁA GRABKA

Rozprawa doktorska mgra inż. Michała Grabka pt.: “*Spektroskopia gazów w światłowodach mikrostrukturalnych*” została wykonana pod kierunkiem prof. dra hab. Wojciecha Gawlika przy współpracy promotora pomocniczego dra Szymona Pustelnego, obydwaj z Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego.

Rozprawa ma charakter zarówno eksperymentalny jak i teoretyczny. Pan Grabka przeprowadził badania i symulacje dwóch klas światłowodów mikrostrukturalnych: światłowodów: z zawieszonym rdzeniem SCF (*suspended-core fiber*) oraz światłowodów z rdzeniem powietrznym wykazujących zjawisko fotonicznej przerwy wzbronionej PBG (*photonic bandgap*), czyli światłowodów typu HC-PBG (*hollow-core photonic bandgap fiber*) o sieci trójkątnej.

Światłowody mikrostrukturalne (często równolegle nazywane światłowodami fotonicznymi), w których propagacja światła może odbywać się zarówno na zasadzie klasycznego efektu falowodowego jak i na zasadzie fotonicznej przerwy zabronionej w przeciągu ostatnich kilkunastu lat należą do niezwykle intensywnie badanych struktur światłowodowych. Stan i gorączka badawcza w tej badań nadal przypomina gorący okres rozwoju techniki światłowodowej z lat siedemdziesiątych ubiegłego stulecia ukoronowanych w 2009 r. Nagrodą Nobla z fizyki dla prof. Charlesa K. Kao za jego pionierskie prace w dziedzinie fotoniki światłowodowej. W tym kontekście tematyka rozprawy doktorskiej mgra inż. Michała Grabka dotycząca wykorzystania światłowodów mikrostrukturalnych do spektroskopii gazów wydaje się być nowatorska i aktualna.

Rozprawa składa się z 5 rozdziałów, podsumowania pracy, 5 dodatków oraz spisu publikacji obejmującego 155 pozycji literaturowych i zawiera łącznie 272 strony.

Autor w latach 2010-2015 był współautorem 6. prac opublikowanych w czasopiśmie umieszczonych w bazie *Web of Science*, z czego 3 prace w najwyższej punktowanej czasopiśmie optycznych z listy ISI („filadelfijskiej”) tj. *Optics Express* (2 prace) oraz *Optics Letters*. Pan Grabka w trzech publikacjach (*Optics Express*, *Acta Phys. Pol. A*, *Bull. Pol. Ac.:Tech.*) jest umieszczony na pierwszym miejscu, a trzy razy na drugiej pozycji. Dodatkowo, pan Grabka był w latach 2012-13 współautorem 4 komunikatów opublikowanych w *Proc. SPIE* (raz – na pierwszym miejscu, a trzy razy – na drugim). Należy więc uznać dorobek publikacyjny Doktoranta za znaczący.

W *Streszczeniu* (str. 11-15) Autor omówił główną motywację podjęcia badań oraz podstawowy cel pracy, który sprowadza się do wykorzystania kanałów powietrznych światłowodów mikrostrukturalnych wypełnianych różnymi substancjami gazowymi a następnie zbadaniu wzajemnego oddziaływania struktury światłowodowej z wprowadzonym do niej gazem. Pan Grabka nie definiuje *explicite* tezy swojej pracy doktorskiej, jednakże podejmuje dwa podstawowe zagadnienia, jak zbadanie wpływu ośrodka wypełniającego na parametry światłowodu mikrostrukturalnego, czyli typowe zagadnienie typu „gość-gospodarz” oraz określenie wpływu infiltrowanego gazami światłowodu mikrostrukturalnego na procesy w nim zachodzące, którymi Doktorant zajmuje się w swojej rozprawie. Spośród szerokiej gamy światłowodów mikrostrukturalnych pan Grabka ogranicza się do światłowodów z zawieszonym rdzeniem oraz do klasy światłowodów z fotoniczną przerwą wzbronioną typu HC-PBG.

Pierwsze dwa rozdziały (1. oraz 2., str. 17-90) są wprowadzeniem do teorii światłowodów (rozdz. 1) oraz do spektroskopii światłowodowej z elementami optyki nieliniowej (rozdz. 2) i - bez szkody dla całości pracy - mogłyby być pominięte lub ograniczone do krótkiego kilkustronicowego wstępu, zamiast ponad 70. stron opisu. Również Autor ma świadomość tego faktu stwierdzając, iż te dwa rozdziały „stanowią ... kompilację innych wyników, mogą być pominięte przy pierwszym czytaniu”.

W rozdziałach od 3. do 5. (str. 91-214) zawarta jest zasadnicza i oryginalna część pracy; w rozdziałach tych Autor przedstawił swoje oryginalne wyniki badawcze.

I tak rozdział 3. przedstawia wyniki pomiarów i symulacji wybranych światłowodów mikrostrukturalnych. W szczególności pan Grabka badał światłowody typu SCF wytworzone w Pracowni Technologii Światłowodów UMCS w Lublinie, a następnie porównywał ich właściwości ze światłowodami dostępnymi komercyjnie produkowanymi przez firmę NKT Photonics. Okazuje się, że badane światłowody typu SCF posiadają dużą dwójłomność fazową rzędu 10^{-4} (porównywalną z typowymi

światłowodami dwójłomnymi typu PANDA), która – przy małej dyspersji – jest w przybliżeniu równa jego dwójłomności grupowej. Dla odpowiedniej długości światłowodu SCF (rzędu 20-30 cm) mody wyższego rzędu zostają silnie wytłumione i światłowód praktycznie staje się jednomodowy. W podrozdziale 3.3 Doktorant przeprowadza badania wytwarzanego w ubiegłych latach przez firmę NKT Photonics światłowodu o rdzeniu powietrznym z foniczną przerwą wzbronioną AIR-6-800, a zastąpionego obecnie światłowodem HC-800-2. Parametry obu tych światłowodów zebrane w Tab. 3.2 w większości są dostępne albo były dostępne w katalogach producenta. W podrozdziale 3.3.2 pan Grabka podjął próbę określenia dwójłomności światłowodu fonicznego o rdzeniu powietrznym, który z definicji jest światłowodem izotropowym. Oczywiście, każdy rzeczywisty światłowód charakteryzuje się pewną szczątkową dwójłomnością, która jest wynikiem braku idealnej symetrii cylindrycznej rdzeniu czy też niejednorodności gęstości szkła w płaszczu. Wynikiem tych zjawisk są stochastyczne fluktuacje stanu polaryzacji podczas propagacji światła w każdym światłowodzie, zależne od jakości wykonania włókna. Stwierdzenie, że krótkie odcinki światłowodu zachowują polaryzację może być słuszne jedynie pod warunkiem odizolowania światłowodu od otoczenia. Uzyskana przez Doktoranta dwójłomność rzędu 10^{-7} świadczy o ok. 10-metrowej drodze zdudnień i jest typową wartością dla większości światłowodów telekomunikacyjnych. Ważnym wnioskiem badawczym uzyskanym w tym rozdziale jest wykazanie, że mody wyższego rzędu mają wpływ na widma absorbcyjne jedynie dla krótkich odcinków światłowodów.

W rozdziale 4. Doktorant przedstawił wyniki dotyczące badania efektów magnetoptycznych w światłowodach mikrostrukturalnych wypełnionych tlenem. Oprócz analiz teoretycznych i symulacji pan Grabka – podczas pobytu w Zespole prof. Tanyi Monro w Australii – przeprowadził istotną część prac eksperymentalnych. Zjawisko rotacji Faradaya było obserwowane w światłowodzie mikrostrukturalnym typu PBG wypełnionym tlenem i umieszczonym w polu magnetycznym. Wyniki tych badań zostały opublikowane w *Optics Express* w 2013 r. [poz. lit. 139] oraz w 2 pracach w *Proc. SPIE* [poz. 140, 141]. Okazuje się, że to zjawisko - zaobserwowane po raz pierwszy w świecie – Doktorant uzyskał w światłowodzie z foniczną przerwą wzbronioną, natomiast pomiary we włóknie z zawieszonym rdzeniem (SCF) nie powiodły się. Pan Grabka tłumaczy to zjawisko większą dwójłomnością liniową światłowodu typu SCF. W rozdziale tym podany został również model teoretyczny, który w sposób poprawny opisywał mierzone sygnały.

Rozdział 5. prezentuje koncepcję i opis zbudowanego układu eksperymentalnego do badań spektroskopowych metali alkalicznych w światłowodach. Pan Grabka zaprojektował i zbudował układ próżniowy do wypełniania światłowodów rubidem i

wykonał wstępne pomiary, przy czym - jako zdolny inżynier – rozwiązał szereg istotnych problemów technicznych.

Końcowe wnioski i podsumowanie pracy zawarte są bezpośrednio po rozdziale 5., a całą pracę zamyka 5 dodatków (zarówno teoretycznych jak i bardziej praktycznych) oraz spis literatury obejmujący 155 pozycji. W zestawie tym brakuje przeglądowych prac dotyczących opisu polaryzacji w światłowodach (np. „*Polarimetric Optical Fibers and Sensors*”, w *Progress in Optics* ed. E. Wolf (North Holland), vol XL, (2000), pp. 1-75), co pozytywnie wpłynęłoby na lepszą interpretację uzyskanych w rozdziale 3. wyników. W pracy dostrzegłem pewne niefortunne sformułowania i błędy edytorskie np.: „lusterko” zamiast „zwierciadło” (rys. 3.1, 3.2), niekonsekwentne stosowanie zamiennie skróconych nazw światłowodów z przerwą fotoniczną (PBF lub PBG), umieszczanie opisu tabel pod tabelami (Tab. 3.1, 3.2).

Powyższe uchybienia jak i wcześniejsze uwagi krytyczne, nie zmieniają mojej pozytywnej oceny recenzowanej rozprawy. Rozprawa - chociaż bardzo obszerna - napisana jest w sposób poprawny merytorycznie i jednocześnie posiada niezaprzeczalne walory dydaktyczne (dwa pierwsze rozdziały oraz 5 dodatków). Doktorant ze starannością opisuje stosowane metody numeryczne i procedury badawcze oraz wnikliwie analizuje otrzymane wyniki, które potwierdzają przyjęte założenia badawcze. Świadczy to o 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 oryginalne wyniki naukowe i może stanowić podstawę uzyskania stopnia naukowego doktora nauk fizycznych. W związku z powyższym wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Michała Grabka do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Warszawa, dnia 24.03.2017 r.

Prof. dr hab. inż. Tomasz R. Woliński