

Prof. dr hab. inż. Wacław Urbańczyk
Katedra Optyki i Fotoniki
Wydział Podstawowych Problemów Techniki
Politechnika Wrocławska
50-370 Wrocław
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
wacław.urbańczyk@pwr.edu.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Grabki pt. „Spektroskopia gazów w światłowodach mikrostrukturalnych”

Rozprawa doktorska Pana Michała Grabki została wykonana pod kierunkiem prof. Wojciecha Gawlika, a promotorem pomocniczym był dr hab. Szymon Pustelny, obaj z Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego. Część badań eksperymentalnych była wykonana przez Autora w ramach stażu w Institute for Photonics and Advanced Sensing, University of Adelaide w Australii. Badania o charakterze eksperymentalnym i symulacyjnym, przedstawione w ramach rozprawy, koncentrują się na fizycznych właściwościach odpowiednio wyselekcjonowanych światłowodów fonicznych wypełnianych tlenem i rubidem. Warto podkreślić, że tematyka rozprawy jest bardzo aktualna. Pojawianie się światłowodów fonicznych z pustym rdzeniem, który można stosunkowo łatwo wypełniać dowolnymi gazami, zintensyfikowało badania oddziaływania światła z gazami, w tym między innymi badania efektów nieliniowych, generacji i wzmacniania światła oraz wykrywania śladowych koncentracji niebezpiecznych gazów. Istotną zaletą światłowodów jest długa droga oddziaływania z zachowaniem dużej gęstości mocy oraz niewielkie objętości gazu potrzebne do wypełnienia pustego rdzenia włókna.

Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Michała Grabki, która wpisuje się w ten aktualny nurt badań, składa się z 5 rozdziałów, 6 dodatków o łącznej długości 272 stron oraz wyczerpującego spisu referencji (łącznie 155 pozycji). Na początku Autor przedstawił także wykaz własnych publikacji, który zawiera 4 współautorskie artykuły w czasopismach z Listy Filadelfijskiej (Optics Express-2, Optics Letters-1, Acta Phys. Pol. A.-1), 2 publikacje w czasopismach spoza Listy Filadelfijskiej (Phot. Lett. Poland, Bull. Pol. Ac.: Tech.), a także 4 komunikaty konferencyjne w Proc. of SPIE. Warto podkreślić, że Autor rozprawy pojawia się w 4 publikacjach na pierwszym miejscu na liście współautorów.

Rozdziały 1-2 stanowią wprowadzenie w tematykę rozprawy. W rozdziale 1. przytoczono podstawowe informacje na temat budowy światłowodów klasycznych i fonicznych, sposobów prowadzenia w nich światła oraz charakterystycznych parametrów.

Informacje zawarte w tym rozdziale są podane w zwięzły i na ogół zrozumiały sposób. Autor nie ustrzegł się jednak pewnych potknięć, z których najpoważniejszym jest powiązanie dyspersji światłowodu z zależnością fazowej prędkości propagacji modu od długości fali (w rzeczywistości chodzi o zależność prędkości grupowej od długości fali). Wzór 1.21 jest błędny, z dwóch zamiennie używanych terminów „kanały powietrzne” i „dziury powietrzne”, ten pierwszy brzmi zdecydowanie lepiej. Ponadto, Autor niepotrzebnie wprowadza własną, nieznaną w literaturze terminologię do opisu propagacji światła w światłowodach, tzw. „mechanizm geometryczny” i „mechanizm materiałowy”.

W rozdziale 2. omówiono możliwości zastosowania światłowodów z powietrznym rdzeniem i światłowodów z zawieszonym rdzeniem do spektroskopii gazów i optyki nieliniowej. Przedstawiono zalety i wady obu typów światłowodów, możliwości ich wykorzystania w różnych technikach pomiarowych, w tym spektroskopii saturacyjnej, absorpcji dwufotonowej, elektromagnetycznie indukowanej oraz trudności związane z wypełnianiem światłowodów gazami, w szczególności parami rubidu. Ten rozdział zawiera także wyczerpujący przegląd literatury na temat badań spektroskopowych prowadzonych na świecie z wykorzystaniem światłowodów wypełnionych gazami.

W rozdziale 3. przedstawiano wyniki pomiarów i symulacji numerycznych właściwości światłowodów z zawieszonym rdzeniem i powietrznym rdzeniem, które były stosowane w dalszej części rozprawy. Pod uwagę brano wszystkie parametry, istotne w badaniach spektroskopowych, a więc geometrię rdzenia, aperturę numeryczną, tłumienność, strukturę prowadzonych modów, współczynnik sprzężenia wiązki z włóknem, wpływ propagacji wielomodowej na mierzone widma absorpcji oraz dwójłomność. W wielu przypadkach wyniki symulacji były weryfikowane względem danych eksperymentalnych. Autor przeprowadził także szczegółową numeryczną analizę zależności ułamka mocy prowadzonej w kanałach wypełnionych gazem od parametrów konstrukcyjnych włókna z zawieszonym rdzeniem. Jej wyniki wskazują, że najlepsze pod tym względem jest włókno z trzema kanałami powietrznymi, o możliwie małej znormalizowanej częstości (małym rdzeniu). Ważnym osiągnięciem Autora przedstawionym w tym rozdziale jest oryginalna metoda pomiaru dwójłomności dla włókien wielomodowych, opublikowana w Optics Express, która wykorzystuje metodę transformacji falkowej do analizy złożonych interferogramów spektralnych. Pewien niedosyt budzi dyskusja wyników pomiarów dwójłomności światłowodów z fotoniczną przerwą wzbronioną. Wyniki dostępne w literaturze (Opt. Express 13, 1457-1467, 2005, Opt. Comm 255, 175-183, 2005, Opt. Express 14, 12039-12048, 2006) wskazują, że dwójłomność grupowa takich włókien jest silnie dyspersyjna i zmienia znak w

pobliżu środka przerwy fotonicznej (w przypadku włókna AIR-6-800 efekt ten zachodzi dla $\lambda \approx 761,5$ nm, co niemal idealnie pokrywa się z badanym w następnym rozdziale wzbudzeniem tlenu dla 762,3 nm i moim zdaniem ma kluczowe znaczenie dla powodzenia opisanych tam eksperymentów). Dwójłomność fazowa tego włókna, która ma paraboliczny przebieg w obszarze przerwy, nie może być tak mała jak sugeruje Autor, gdyż eliptyczna deformacja rdzenia jest wyraźnie widoczna na zdjęciach SEM.

W rozdziale 4. przedstawiono najważniejsze wyniki rozprawy, które związane są z badaniami efektu magnetorotacji we włóknach z rdzeniem wypełnionych tlenem. Część eksperymentalna tych badań jest na bardzo wysokim poziomie i demonstrowa pierwszą na świecie obserwację efektu magnetorotacji w światłowodach wypełnionych gazami wykrytą dzięki zastosowaniu techniki FRS (Faraday Rotation Spectroscopy). Wyniki przedstawione w tej części rozprawy opublikowano w Opt. Express. Dużą czułość pomiaru uzyskano poprzez zastosowanie modulacji natężenia pola magnetycznego (a w niektórych przypadkach także długości fali) i detekcji fazoczułej. Wyjaśniono przyczyny pojawiania się sygnałów MCB i MCD w zależności od sposobu pobudzenia światłowodu. Pomimo zastosowania wysublimowanych technik detekcji z podwójną modulacją, nie udało się zaobserwować efektu magnetorotacji we włóknach z zawieszonym rdzeniem, prawdopodobnie z powodu małego ułamka mocy prowadzonej w gazie oraz dużej dwójłomności tego światłowodu. Pewne wątpliwości budzi teoretyczny opis eksperymentu, który odnosi się do statycznych pomiarów mocy optycznej na wyjściu układu pomiarowego, co Autor wprost stwierdza na stronie 174 („*wielkością bezpośrednio mierzoną jest moc optyczna...*”). Tymczasem, ze względu na zastosowanie detekcji fazoczułej, mierzony sygnał jest proporcjonalny do pochodnej mocy względem natężenia pola magnetycznego lub długości fali. Ze względu na złożoność formuł analitycznych, to różniczkowanie nie jest łatwe do przeprowadzenia, jednak przypuszczam, że będzie ono skutkowało pojawieniem się w odpowiednich wzorach dwójłomności grupowych zamiast fazowych. Tłumaczy to dlaczego wybrane włókno z fotoniczną przerwą wzbronioną tak doskonale nadaje się do przeprowadzenia opisanych eksperymentów. Jego znaczna dwójłomność fazowa w obszarze przerwy, umożliwia kontrolowane pobudzenie modów polaryzacyjnych, a niemal zerowa dwójłomność grupowa dla rezonansowej długości fali umożliwia obserwację efektów polaryzacyjnych indukowanych polem magnetycznym.

W rozdziale 5. przedstawiono układ do badań spektroskopowych metali alkalicznych (w szczególności rubidu) w światłowodach. Autor rozwiązał szereg nietrywialnych technicznych problemów związanych między innymi z wypełnianiem włókna parami rubidu, zapewnieniem

odpowiedniej próżni, dozowania argonu, pobudzania światłowodu, desorpcji atomów rubidu z wewnętrznej powierzchni rdzenia i referencyjnych pomiarów widm absorpcji Rb. Przeprowadzone wstępne pomiary widm absorpcji dla światłowodu z foniczną przerwą wzbronioną dały wynik negatywny. Istotnym eksperymentalnym osiągnięciem Autora jest już jednak samo zbudowanie tak zaawansowanego stanowiska pomiarowego, które będzie wykorzystywane w przyszłych badaniach.

Rozprawa jest dobrze napisana i zilustrowana przemyślanymi rysunkami. Liczba potknięć i niezręczności językowych jest stosunkowo niewielka i nie przekracza akceptowalnego poziomu. Zwraca uwagę bardzo rzetelny opis stosownych technik eksperymentalnych.

Pomimo podniesionych wcześniej uwag krytycznych, moja ogólna ocena pracy jest wysoka. Za najważniejsze osiągnięcie Autora należy uznać pierwszą na świecie eksperymentalną demonstrację efektu magnetorotacji w światłowodach wypełnionych gazami. Wartościowa jest także zaproponowana przez Autora metoda pomiaru dwójłomności w światłowodach kilkumodowych oraz wyniki optymalizacji światłowodów z zawieszonym rdzeniem. Jestem przekonany, że recenzowana rozprawa może być podstawą uzyskania stopnia doktora nauk fizycznych w świetle wymagań formalnych stawianych przez odpowiednie ustawy. Proszę więc Wysoką Radę o dopuszczenie mgr inż. Michała Grabki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Prof. dr hab. inż. Waclaw Urbanczyk

Wrocław, 3 stycznia 2017 r.