



Politechnika Warszawska

Wydział Fizyki

Zakład Optyki i Fotoniki

Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

tel. (22) 234 5689, e-mail: [woliński@if.pw.edu.pl](mailto:woliński@if.pw.edu.pl)

---

Prof. dr hab. inż. Tomasz R. Woliński

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgra inż. Macieja Napiórkowskiego pt.:**  
**“Numeryczne badania właściwości skręconych i zgiętych światłowodów z wykorzystaniem formalizmu optyki transformacyjnej”**

Rozprawa doktorska mgra inż. Macieja Napiórkowskiego pt.: “*Numeryczne badania właściwości skręconych i zgiętych światłowodów z wykorzystaniem formalizmu optyki transformacyjnej*” została wykonana pod kierunkiem prof. dra hab. inż. Wacława Urbańczyka z Katedry Optyki i Fotoniki WPPT Politechniki Wrocławskiej. Jest to rozprawa teoretyczna prezentująca wyniki analiz numerycznych wybranych właściwości światłowodów poddanych niesymetrycznym deformacjom typu skręcenie bądź ugięcie, a wyniki tych analiz zostały uzyskane z wykorzystaniem formalizmu optyki transformacyjnej.

Rozprawa ma charakter numeryczny, jako że znaczna część badań oparta jest na wynikach symulacji. Rozprawa się z 7 rozdziałów oraz spisu publikacji obejmującego 89 pozycji literaturowych, głównie z ostatniego dziesięciolecia i zajmuje łącznie 123 strony. Autor w latach 2010-2016 był współautorem 6 prac opublikowanych w wysoko punktowanych czasopismach optycznych o zasięgu światowym z listy ISI („filadelfijskiej”) tj. *Optics Express* (2), *Journal of Optics* (3) oraz *Optics Letters* (1); przy czym w 5 pracach napisanych tylko z promotorem jest umieszczony na pierwszym miejscu. Jest to więc dorobek na etapie rozprawy doktorskiej bardzo poważny.

Pierwszy rozdział rozprawy (*Wprowadzenie*) przedstawia motywację i podstawowe cele pracy oraz formułuje jej tezę, że światłowodory zgięte lub skręcone posiadają nowe i dotąd nieopisane właściwości (o potencjalnym zastosowaniu w metrologii i telekomunikacji światłowodowej), które można poprawnie opisać z wykorzystaniem formalizmu optyki transformacyjnej. W drugim akapicie tego rozdziału Autor utożsamia błędnie rok 1996. - w którym wytworzono po raz pierwszy światłowodory fotoniczne (mikrostrukturalne) - z datą ich wynalezienia, co miało miejsce 5 lat wcześniej.

Rozdziały 2. i 3. w sposób poprawny przedstawiają opis mechanizmu propagacji fali elektromagnetycznej w światłowodach cylindrycznych (rozd. 2) oraz stosowane w pracy narzędzia numerycznego modelowania właściwości propagacyjnych światłowodów: metodę elementów skończonych i formalizm optyki transformacyjnej (rozd. 3). W przypadku

analizowanych w pracy światłowodów poddanych działaniu deformacji niesymetrycznych typu ugięcia bądź skręcenia nie jest możliwe uzyskanie analitycznych rozwiązań wektorowego równania falowego i stąd powstaje potrzeba stosowania metod numerycznych.

Zasadnicza i oryginalna część pracy zawarta jest w rozdziałach od 4. do 6.

Rozdziały 4. i 5. poświęcone zostały analizie zjawiska propagacji modów rdzeniowych w światłowodzie o spiralnym rdzeniu (rozd. 4.) oraz sprzężeniom pomiędzy modami rdzeniowymi i płaszczowymi w skręconych światłowodach (rozd. 5.). Autor dokonał rzetelnej analizy wpływu deformacji skręcenia na efektywne współczynniki załamania prowadzonych modów, rozkłady amplitudowe, polaryzację i straty zarówno w przypadku modu podstawowego jak i pierwszego rzędu w światłowodzie o spiralnym rdzeniu i dużej średnicy pola modu. Okazuje się, że stosowane wcześniej i opisane w literaturze przybliżone metody perturbacyjne nie zawsze dają poprawne wyniki, a zastosowane przez Autora metody numeryczne otwierają nowe możliwości aplikacyjne światłowodów m.in. do budowy laserów światłowodowych o dużej mocy. W odnośnikach literaturowych brak fundamentalnych prac dotyczących opisu efektu skręcenia w światłowodach, np. Ulrich, Simon, 1979, *Applied Optics* vol. 18, str. 2241, Woliński, Bock, 1993, *J. Lightwave Techn.* vol. 11, str. 389, czy też obszernej pracy przeglądowej w *Progress in Optics*, 2000, vol. XL, w której rozdz. 4.4 (str. 39-51) poświęcony jest w całości efektowi skręcenia i zawiera wiele odnośników literaturowych. W szczególności wymienione powyżej prace opisują wyniki eksperymentalne, które warto byłoby porównać z wynikami numerycznymi Doktoranta. W rozdz. 4. i 5. szereg uzyskanych wyników numerycznych przedstawionych jest na wykresach (np. 4.2, 4.4. – 4.8, 5.4., 5.5., 5.9) w zależności od współczynnika skręcenia. Należałoby się zastanowić, które z obszarów wartości symulowanych skręceń mają sens praktyczny z punktu widzenia wytrzymałości na zerwanie światłowodów zarówno krzemionkowych jak i polimerowych, w szczególności z punktu widzenia efektu elastooptycznego. Na Rys. 4.2 dwójłomność kołowa zależy od doboru układu odniesienia – nasuwa się więc pytanie, który z układów daje poprawniejsze wartości dwójłomności. Ponadto, w podpisie Rys. 4.2 jest odniesienie do wzoru (4.1), który występuje dwukrotnie w pracy.

W rozdziale 5. Autor analizuje zakres skręceń, w których dochodzi do rezonansowych sprzężeń między modami rdzeniowymi a płaszczowymi, w szczególności w światłowodach o rdzeniu spiralnym oraz o rdzeniu eliptycznym skręconym. Uzyskane wyniki znacznie się różnią od wyników uzyskiwanych metodami perturbacyjnymi i dowodzą występowania sprzężeń zależnych od polaryzacji z modami płaszczowymi wyższych rzędów. Doktorant wykazał, że odpowiednio zaprojektowany światłowod o rdzeniu spiralnym może np. pełnić rolę szerokopasmowego polaryzatora kołowego. Rozdział 5. – stanowiacy jedną z kluczowych i oryginalnych części rozprawy – w sposób jednoznaczny wykazuje wyższość metod symulacyjnych bazujących na optyce transformacyjnej nad metodami perturbacyjnymi.

W rozdz. 6. Doktorant przedstawił po raz pierwszy wyniki dokładnych symulacji właściwości propagacyjnych światłowodów skręconych oraz ugiętych pokrytych warstwami



metalicznymi. Wyniki uzyskane wskazują na możliwość zbudowania światłowodowych czujników rezonansu plazmonowego o znacznie podwyższonym wzmocnieniu w stosunku do doniesień w literaturze. Szczególnie cennym osiągnięciem Doktoranta jest rozwinięcie stosowanych w pracy metod symulacyjnych poprzez ich zastosowanie do analizy powierzchniowego rezonansu plazmonowego w światłowodach mikrostrukturalnych poddanych działaniu deformacji zgięciowej.

Końcowe wnioski i podsumowanie pracy zawarte są w rozdziale 7. Pracę zamyka spis literatury (89 publikacji), który powinien zostać uzupełniony o wcześniej podane pozycje literaturowe. W pracy dostrzegłem jedynie drobne błędy edytorskie (np. nagminne stosowanie kropki zamiast przecinka w liczbach dziesiętnych, słabo widoczne wyróżnienie tytułów rozdziałów/podrozdziałów).

Powyższe uchybienia i wcześniejsze uwagi, (które mam nadzieję zostaną wyjaśnione przez Doktoranta podczas publicznej obrony) 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 numeryczne oraz wnikliwie analizuje otrzymane wyniki uzasadniając tezę rozprawy doktorskiej, co świadczy o poprawności i rzetelności warsztatu badawczego.

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 mgr inż. Macieja Napiórkowskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Ze względu na wysoką wartość merytoryczną rozprawy popartej 6 publikacjami w bardzo dobrych czasopiśmie z listy ISI (filadelfijskiej) stawiam wniosek o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.



Warszawa, dnia 19.08.2016 r.

Prof. dr hab. inż. Tomasz R. Woliński