

Warszawa, 24 kwietnia 2018

Prof. dr hab. inż. Mirosław Karpierz

Wydział Fizyki Politechniki Warszawskiej

DZIEKANAT WYDZIAŁU FIZYKI
WPŁYNĘŁO

2018 -05- 07

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Grzegorza Stępniewskiego
pt. „Generacja superkontinuum w zakresie podczerwieni w światłowodach
fotonicznych wykonanych z wieloskładnikowych szkieł tlenkowych”**

Rozprawa doktorska mgr inż. Grzegorza Stępniewskiego poświęcona jest badaniu nowych włókien światłowodowych pod kątem efektywności generacji superkontinuum. Zjawisko generacji superkontinuum w światłowodach fotonicznych ma ważne i unikatowe zastosowanie jako źródło światła o szerokim widmie i dużej spójności przestrzennej (co pozwala uzyskanie wysokich natężeń światła) a także pewnej formie spójności czasowej (dotyczącej korelacji pomiędzy impulsami). Najczęściej stosuje się do tego światłowody mikrostrukturalne wykonane ze szkła krzemionkowego dopasowane do laserów pompujących o długości fali poniżej 1,3 mikrometra. Celem rozprawy było przebadanie światłowodów ze szkieł wieloskładnikowych, dopasowanych do źródeł o większej długości fali i mających większą nieliniowość, co umożliwia wytworzenie superkontinuum na krótszych odcinkach światłowodu. Dodatkowo sprawdzony został wpływ występujących tu efektów termicznych na badane zjawisko.

Temat i zakres pracy jest bardzo aktualny i ważny zarówno pod względem poznawczym jak i aplikacyjnym. Miejsce powstania pracy – laboratorium prof. Ryszarda Buczyńskiego (promotora pracy) oraz współpracujące w zakresie źródeł laserowych laboratorium prof. Krzysztofa Abramskiego należą do uznanych na świecie. Zapewne opieka zarówno promotora jak i promotora pomocniczego (który niedawno uzyskał stopień doktora habilitowanego za badania w zakresie generacji superkontinuum) zagwarantowała, że poziom uzyskanych wyników, ich poprawność eksperymentalna oraz szczegółowa interpretacja nie budzi żadnych zastrzeżeń. Częściowe wyniki pracy doktorskiej zawarte

zostały w 13 publikacjach w czołowych czasopismach naukowych z tej tematyki, z czego w 4 z nich doktorant jest pierwszym współautorem.

Zawarte w rozprawie badania podzielone zostały na trzy zagadnienia, dla każdego z nich sformułowana została osobna teza. Pierwsza dotyczy możliwości wykorzystania światłowodów fotonicznych ze szkła ołowiowych i tellurowych do efektywnej generacji superkontinuum (wyniki zawarte w rozdziałach 4-6), druga związana z włóknami ze strukturyzowanym dwójłomnym rdzeniem (rozdz. 7) a trzecia dotycząca badania wpływu termicznych zmian na efektywność generacji superkontinuum. Na początku rozprawy przytoczone zostały w sposób zwięzły, ale wyczerpujący podstawowe informacje dotyczące badanych zjawisk a także zastosowanych metod i układów pomiarowych. Rozprawę poprzedza wstęp zawierający rys historyczny a także cel i motywacje pracy, kończy zaś podsumowanie i wystarczająco liczna bibliografia.

Mgr inż. Grzegorz Stępniewski zawarł w swojej rozprawie bardzo obszerne i niemal kompletne badania światłowodów pod kątem możliwości ich wykorzystania do generacji superkontinuum. Wykonane zostały przez niego i współpracujący z nim zespół zarówno symulacje numeryczne jak i pomiary eksperymentalne mające na celu wyznaczenie między innymi dyspersji chromatycznej, dyspersji grupowej, dwójłomności, strat, efektywnego pola modowego, apertury numerycznej jak również parametrów nieliniowych kilku rodzajów światłowodów. Bardzo bogaty i różnorodny zestaw wyników pomiarowych i symulacji numerycznych został szczegółowo opisany i co ważniejsze przeanalizowany. W szczególności podjęto próbę interpretacji wpływu różnych zjawisk nieliniowych na uzyskane widma superkontinuum wykorzystując porównanie symulacji numerycznych z wynikami eksperymentalnymi. Symulacje numeryczne wykonywane były zarówno dla założonych parametrów projektowanych struktur jak i dla wytworzonych światłowodów na podstawie znajomości zdjęć ich przekrojów poprzecznych.

Początkowe badania dotyczące światłowodu ze szkła ołowiowego z płaszczem fotonicznym o strukturze heksagonalnej skłoniły do wykonania próby zoptymalizowania jego parametrów pod kątem zwiększenia efektywności generacji superkontinuum. Wyniki zawarte w rozdziale 6. są najbardziej rozbudowaną częścią rozprawy opisującą projektowanie światłowodu, wytwarzanie włókna, jego pomiary i określenie czynników

wpływających na rozbieżności od założonych wartości parametrów. Zawarta tu jest również bardzo szczegółowa analiza uzyskanego widma superkontinuum o atrakcyjnych właściwościach pod względem aplikacyjnym. W zasadzie ta część badawcza wystarczyłaby na pozytywną ocenę rozprawy doktorskiej.

Doktorant zajął się jednak badaniem kolejnej struktury światłowodowej, której prostokątny w przekroju rdzeń utworzony jest z na przemian ułożonych warstw dwóch różnych szkła o różnym współczynniku załamania. Taki światłowod ma stosunkowo wysoką dwójłomność strukturalną i prawie stałą jej wartość w szerokim zakresie widmowym jak również praktycznie niezależną od polaryzacji dyspersję. Są to bardzo ciekawe i rzadko spotykane właściwości, atrakcyjne również do zastosowań w optyce nieliniowej. Podobnie jak w poprzednich badaniach, zostały przeprowadzone bardzo szczegółowe symulacje numeryczne porównane z pomiarami eksperymentalnymi. Uzyskane wyniki sugerują, że tego struktury światłowodowe mogą być zoptymalizowane do generacji superkontinuum, choć uzyskane w eksperymencie jego widmo było stosunkowo wąskie, co wynikało ze słabego sprzężenia z laserem (niedopasowanym do prostokątnego rdzenia) oraz zbyt wysoką tłumiennością badanego światłowodu.

Ostatnia część rozprawy dotyczy badania wpływu zjawisk termicznych na efektywność generacji superkontinuum. Mimo, że zmiana temperatury modyfikuje właściwości światłowodów, zostało wykazane, że są to zmiany niezbyt istotne w rozpatrywanym zjawisku. Z pozoru negatywny wynik (brak wpływu temperatury) ma duże znaczenia aplikacyjne, bo pozwala projektować układy bez obawy, że laser pompując i jednocześnie ogrzewając włókno światłowodowe zaburzy warunki dostrojenia.

Rozprawa jest starannie napisana oraz zredagowana, zawiera szczegółowe opisy pomiarów i uzyskanych wyników, poprawnie stosowana jest terminologia (na pochwałę zasługuje używanie polskiego terminu superkontinuum). Występują też nieścisłości, lecz niezbyt liczne, nie wpływające znacząco na jej jakość. Przykładowo niektóre z nich:

- wzór (2.22) na str.27 dotyczy odwrotności prędkości grupowej;
- wz. (2.49) na str. 36 dotyczy współczynnika załamania w ośrodkach niemagnetycznych;

- na str. 40 nie tylko „w temperaturze pokojowej liczba cząstek w stanie podstawowym jest wyższa niż liczba cząstek w stanie wzbudzonym”;
- str. 49 wzory na natężenie światła w układzie jednostek SI powinny zawierać jeszcze impedancję falową próżni (i współczynnik załamania).

W części pomiarowej niezręcznością jest podanie różnych krzywych transmisji dla szkła PBG08 na rys. 6.1 i na rys. 4.1 – straty w okolicy długości fali 3. mikrometrów są zdecydowanie różne co do wartości. Porównanie wyników generacji superkontinuum w różnych światłowodach byłoby bardziej przejrzyste, gdyby zastosowano porównywalne warunki pompowania laserami impulsowymi. Rozumiem jednak, że pomiary dokonywane były na przestrzeni kilku lat i zmieniała się dostępna baza aparaturowa.

Podsumowując, zawarty w rozprawie materiał badań jest bardzo obszerny i różnorodny. Doktorant zebrał w pracy niemal kompletny zestaw wyników dotyczących charakterystyki światłowodów na potrzeby generacji superkontinuum oraz wskazał sposób optymalizacji ich projektowania. Wypunktowane przeze mnie uwagi krytyczne nie umniejszają bardzo wysokiej oceny rozprawy zarówno jeśli chodzi o poprawność jak i zawartość merytoryczną. Na podkreślenie zasługuje to, że przeprowadzone badania mają duże znaczenie aplikacyjne.

Mając na uwadze rzetelność przeprowadzonych badań i dużą naukową a szczególnie praktyczną wartość otrzymanych wyników uważam, że recenzowana praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Wnoszę zatem o dopuszczenie magistra inżyniera Grzegorza Stępniewskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Jednocześnie z uwagi na wysoki poziom i zawartość wnioskuje dodatkowo o wyróżnienie recenzowanej rozprawy doktorskiej.



prof. dr hab. inż. Mirosław Karpierz