

Szczecin, 30.10.2016

Prof. dr hab. Ewa Weinert-Rączka
Katedra Telekomunikacji i Fotoniki
Wydział Elektryczny
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin

Opinia na temat rozprawy doktorskiej
mgr inż. Bartłomieja Siwickiego
zatytułowanej „Badanie stabilności i szerokości spektralnej
widma superkontinuum w całoszklanych włóknach fonicznych
w zakresie dyspersji normalnej”

Generacja superkontinuum w światłowodach fonicznych w zakresie dyspersji normalnej umożliwia uzyskanie promieniowania o płaskim widmie i dużej stabilności. Wadą superkontinuum generowanego w tradycyjnych włóknach szklano-powietrznych jest stosunkowo mała szerokość spektralna. Poszukiwania źródeł łączących stabilność i jednorodność widma z dużą szerokością spektralną, w które wpisuje się rozprawa doktorska Bartłomieja Siwickiego, są aktualnym i ważnym tematem badań.

Recenzowana praca składa się ze wstępu, dwóch rozdziałów wprowadzających, trzech rozdziałów poświęconych prezentacji wyników badań, rozdziału podsumowującego oraz załącznika zawierającego wyprowadzenia stosowanych w rozprawie wzorów. Pracę kończy obejmująca 114 pozycji bibliografia.

W pierwszym z rozdziałów wprowadzających przedstawione są podstawowe informacje dotyczące opisu propagacji światła w strukturach światłowodowych oraz elementy optyki nieliniowej, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień związanych z generacją superkontinuum. W następnym rozdziale autor opisuje metody projektowania i wykonywania całkowicie szklanych światłowodów fonicznych podkreślając różnice między strukturami

całkowicie szklanymi a szklano-powietrznymi. Z dużym zainteresowaniem czyta się opis procesu produkcji światłowodów, zilustrowany zdjęciami stosowanej aparatury oraz przekrojów poprzecznych otrzymywanych struktur. Trochę zaskakujące jest umieszczenie w tym rozdziale opisu parametrów badanych światłowodów, nie tylko referencyjnego, ale i zoptymalizowanego, którego projektowanie przedstawione jest w dalszej części pracy.

Rozdział 4 poświęcony jest badaniom numerycznym. Pierwszym etapem tych prac było zbadanie wpływu kształtu krzywej dyspersji światłowodu fotonicznego na generację widma superkontinuum w zakresie dyspersji normalnej oraz możliwości rozszerzania płaskiego odcinka tej krzywej przez optymalizację parametrów geometrycznych i wybór odpowiedniej pary szkieł. Wybrane zostały materiały i zaprojektowane kilka światłowodów o płaskiej charakterystyce dyspersyjnej. Następnie przeprowadzone zostały symulacje propagacji światła w tych światłowodach, i wybrany projekt, w którym uzyskano generację superkontinuum o odpowiednim rozkładzie widmowym. Zbadana numerycznie została też zależność szerokości i jednorodności widma od parametrów impulsu pompującego. Symulacje przeprowadzono dla różnych energii, czasów trwania oraz kształtów impulsów. Przeprowadzone zostało porównanie otrzymanych numerycznie charakterystyk dyspersyjnych zaprojektowanej struktury oraz światłowodu referencyjnego.

Jest to dobrze napisany rozdział, zawierający wyniki wielu obliczeń, uzasadniających decyzje dotyczące wyboru rodzaju materiałów, parametrów geometrycznych struktury i warunków pompowania. Wyniki badań i opracowana metodologia mogą być przydatne przy projektowaniu kolejnych układów do generacji superkontinuum. Autor stosuje znane metody numeryczne i komercyjne programy, ale w razie potrzeby rozszerza je, na przykład w celu uwzględnienia zależności niektórych parametrów od częstości lub dodania szumu do impulsu pompującego.

W rozdziale 5 przedstawione zostały wyniki badań doświadczalnych. Opisana jest metodologia i wyniki pomiarów dyspersji oraz generacji superkontinuum, w dwóch typach światłowodów, w grupie włókien zaprojektowanych wcześniej, nazywanych referencyjnymi oraz w grupie światłowodów zaprojektowanych i wytworzonych przez autora rozprawy, które nazywane są zoptymalizowanymi. Pomiary przeprowadzono z użyciem impulsów laserowych o różnych parametrach. Z porównania rezultatów badań z laserem pompującym o centralnej długości fali 2160 nm wynika, że widmo superkontinuum generowanego w zaprojektowanych przez autora światłowodach, jest szersze i rozciąga się dalej w kierunku podczerwieni (o około

400 nm). Pokazano również, że w obu grupach światłowodów możliwa jest generacja superkontinuum za pomocą lasera o długości fali 1550 nm, ale w tym przypadku czasy trwania impulsów były różne, co nie pozwoliło na skuteczne porównanie widm. Otrzymane doświadczalnie krzywe dyspersyjne i widma superkontinuum zostały porównane z wynikami symulacji numerycznych. Niewielkie rozbieżności Autor rozprawy przypisał obecności modów płaszczowych nie uwzględnionych w symulacjach oraz ograniczonej dokładności wyznaczenia efektywnej powierzchni modu.

W pełni zgadzam się z opinią autora, że przedstawione wyniki badań doświadczalnych potwierdzają pierwszą tezę pracy, zakładającą, że „Możliwe jest zaprojektowanie i wykonanie całoszklanego włókna fotonicznego z normalną charakterystyką dyspersji, wykonanego ze szkła wieloskładnikowych i umożliwiającego generację widma superkontinuum o szerokości ponad oktawy przy pompowaniu długością fali z zakresu bliskiej podczerwieni.”

Ważną częścią pracy jest przedstawiona w rozdziale 6 analiza spójności i stabilności widm superkontinuum otrzymywanych w światłowodzie zaprojektowanym do pompowania impulsami o centralnej długości fali 1550 nm, który w poprzednich rozdziałach nazywany był referencyjnym. Spójność czasowa widm badana jest przez symulacje numeryczne i pomiary interferencji. Stabilność natężenia badana jest metodą dyspersyjnej transformaty Fouriera. Analiza dynamiki procesów nieliniowych oraz wpływu kształtu czasowego impulsu pompującego na stabilność widma została przeprowadzona za pomocą spektralnych map korelacyjnych. Badania potwierdziły możliwość generacji widm o wysokiej stabilności natężenia oraz zadowalającej spójności czasowej. Widma generowane w światłowodzie z dyspersją normalną zostały porównane z widmami otrzymanymi w światłowodzie szklano-powietrznym pracującym w zakresie dyspersji anomalnej. Zwraca uwagę różnorodność zastosowanych metod badawczych i interesujące wnioski dotyczące na przykład dynamiki procesów nieliniowych oraz wpływu nachylenia zbocza impulsu pompującego jednocześnie na spójność czasową i szerokość spektralną widma.

Wyniki przedstawione w rozdziale 6 potwierdzają drugą tezę rozprawy, że: „możliwe jest wygenerowanie widma superkontinuum o szerokości ponad oktawy w całoszklanym włóknie fotonicznym z normalną charakterystyką dyspersji z użyciem źródeł o sub-pikosekundowych impulsach, przy zachowaniu wysokiego stopnia spójności czasowej impulsów superkontinuum i wysokiej stabilności spektralnej widma.”

Do zachowania spójności tego rozdziału z poprzednimi brakuje moim zdaniem wyjaśnienia, dlaczego opisane badania dotyczyły tylko falowodów referencyjnych.

Pracę kończy zawarte w rozdziale 7 podsumowanie, w którym oprócz dość szczegółowego streszczenia otrzymanych wyników podkreślone są ich elementy nowatorskie oraz zaproponowane dalsze kierunki badań.

Cała rozprawa zredagowana jest starannie, ale pojawiają się w niej drobne niedociągnięcia. Jako przykład można podać stosowanie nazwy „światłowód fotoniczny” do układu, w którym światło prowadzone jest w obszarach o wyższym współczynniku załamania, a nie w defekcie struktury periodycznej. Nieco zbyt dużym uproszczeniem są stosowane kilkakrotnie określenia, takie jak „wypłaszczona część dyspersji” - zamiast płaska część charakterystyki dyspersyjnej; „szerokość generacji widma” (str.72) – zamiast szerokość generowanego widma; „charakterystyka dyspersji” - zamiast charakterystyka dyspersyjna światłowodu; „Pomiary generacji” - zamiast „pomiarów właściwości generowanego widma”. Nieprecyzyjne jest wytłumaczenie, że „Efekt SPM polega na samowzbudzeniu się przesunięcia fazy, któremu podlega pole optyczne” (str. 29). Zdarza się, że brakuje informacji o źródłach danych (Tabela 3.1.) lub autorach zdjęć (rozdział 3). Brakuje też wyjaśnienia, dlaczego badania w rozdziale szóstym są ograniczone do rodziny światłowodów referencyjnych, która traktowana jest w rozdziale czwartym jako punkt wyjścia do projektowania światłowodów zoptymalizowanych, a w rozdziale piątym jako jeden z dwóch przedmiotów badań.

Negatywnie na styl pracy wpływa zbyt częste powtarzanie tych samych informacji. Na przykład w rozdziale, który w całości dotyczy generacji superkontinuum w zakresie dyspersji normalnej, powtarzający się kilkakrotnie w jednym akapicie (str.45): zestaw słów „widmo superkontinuum w zakresie dyspersji normalnej” (zamiast w skrócie „widmo”) niepotrzebnie go wydłuża utrudniając zrozumienie.

Wyżej wymienione uwagi krytyczne w niczym nie umniejszają wartości rezultatów badań opisanych w recenzowanej rozprawie. Jest to bardzo dobra praca, zawierająca dużo ciekawych wyników i wnosząca istotny wkład w badania nad generacją superkontinuum w zakresie bliskiej podczerwieni. Zaletą pracy jest jej metodyczność i kompleksowość. Autor opisuje badania obejmujące projektowanie światłowodów i modelowanie propagacji światła, wytworzenie zaprojektowanych włókien, pomiary ich właściwości dyspersyjnych oraz generację i analizę widm superkontinuum.

Wyniki badań opisane w rozprawie mają duży potencjał aplikacyjny. Pokazują, że na bazie badanych światłowodów możliwe jest stworzenie stosunkowo taniego, spójnego i stabilnego źródła superkontinuum o szerokim zakresie spektralnym przeznaczonego do zastosowań medycznych i technicznych. Oświadczy o tym wykonany w ITME, we współpracy z zespołem z Politechniki Wrocławskiej, prototyp generujący bardzo stabilne widmo obejmujące cały zakres bliskiej podczerwieni.

Część z przedstawionych w pracy wyników została opublikowana w sześciu publikacjach o zasięgu międzynarodowym, przy czym w trzech z nich autor rozprawy jest pierwszym ze współautorów. Warto przy tym zauważyć, że jedna z publikacji w Journal of Optics została wymieniona przez wydawców w grupie wyróżniających się prac z roku 2014 (JOPT highlights of 2014).

Uważam, że cel rozprawy został zrealizowany, a jej autor wykazał umiejętność formułowania i rozwiązywania problemów badawczych z zastosowaniem zarówno symulacji numerycznych jak pomiarów doświadczalnych. Zajmował się też zaawansowanymi technologicznie procesami wytwarzania światłowodów mikrostrukturalnych.

Podsumowując, stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia warunki przewidziane w ustawie o tytule i stopniach naukowych i wnoszę o dopuszczenie pana magistra inżyniera Bartłomieja Siwickiego do publicznej obrony.

Ze względu na interesującą i ważną tematykę oraz szeroki wachlarz stosowanych metod badawczych proponuję wyróżnienie przedstawionej przez niego rozprawy.

