

Recenzja rozprawy doktorskiej
„Nonlinearity shaping in specialty tellurite glass optical fibers ”
autorstwa mgr Tanvi Karpate

Rozprawa doktorska Pani mgr Tanvi Karpate została przygotowana pod kierunkiem promotora dr. hab. Mariusza Klimczaka oraz kopromotora dr. Adama Filipkowskiego. Poświęcona ona jest tematyce układów światłowodowych. W szczególności, Doktorantka skoncentrowała się na mikro- i nano-strukturalnych światłowodach zbudowanych z wykorzystaniem szkieł tellurowych. Badane włókna zostały zaprojektowane i wytworzone w celu badania nieliniowej propagacji impulsów femtosekundowych wewnątrz nich. Następnie zostały one scharakteryzowane pod kątem kształtowania ich własności nieliniowych, co miało na celu uzyskanie szerokiego odstrojenia solitonu w zakresie krótkofalowych fal podczerwonych, generowania superkontinuum wykazującego niski poziom szumów a także przekształcania ultrakrótkich impulsów światła laserowego w dziedzinie czasu.

Przedstawiona, licząca ponad 150 stron dysertacja składa się z siedmiu rozdziałów, dwujęzycznego streszczenia, dwóch dodatków zawierających kody programów, spisów tabel i rysunków oraz obszernej, liczącej 175 pozycji bibliografii. Jeśli idzie o tę ostatnią, to można tam znaleźć przede wszystkim odnośniki do oryginalnych artykułów związanych z tematyką rozprawy, w znakomitej większości opublikowanych w wiodących czasopismach fizycznych. Co istotne, w bibliografii pojawiają się nie tylko najnowsze pozycje literatury światowej, ale też klasyczne i fundamentalne prace dotyczące omawianej w rozprawie tematyki. Znajdują się tam też odnośniki do specjalistycznych pozycji książkowych dotyczących tematyki rozprawy. W spisie literatury można też znaleźć, co jest oczywiste, pozycje, których współautorką jest Doktorantka. W tym miejscu należy podkreślić, że prace te nie są jedynymi, których Pani mgr Karpate jest współautorką. Według bazy danych Web of Science, jest ona współautorką 11-u doniesień naukowych, z czego mamy tam 6 artykułów opublikowanych we wiodących czasopismach związanych z tematyką optyki oraz zastosowania układów nanostrukturalnych. Ponadto, 5 wymienionych w bazie WoS pozycji dotyczy wydawnictw pokonferencyjnych.

Rozdział pierwszy dysertacji ma charakter wprowadzający do dalszych części rozprawy. Autorka przedstawia tam skrótowo treść poszczególnych rozdziałów, postawione tam tezy badawcze oraz sposoby w jaki zostały one potwierdzone. Wyjaśnia też jaki był jej udział w poszczególnych etapach prac nad opracowaniem badanych światłowodów i ich badaniem. Znalazła się tam też informacja na temat grantów finansujących prace Kandydatki.

W rozdziale drugim Doktorantka przedstawia podstawy teorii światłowodów oraz opisuje ich budowę i zasady działania. Zapoznaje czytelnika z elementami teorii dyspersji oraz prezentuje układ doświadczalny jakim posługiwała się przy pomiarach dyspersji chromatycznej (niezbalansowany interferometr Macha-Zehndera). Opisuje też krótko metodę pomiaru tłumienności włókien oraz stosowaną przez nią metodę pomiaru dwójłomności. W dalszej części rozdziału mgr Karpate zajmuje się zagadnieniami związanymi z nieliniowym rozchodzeniem się impulsu świetlnego w światłowodach. W szczególności, jest tam mowa o modulacji fazy, efekcie mieszania czterech fal, rozpraszaniu Ramana, wytwarzaniu solitonów, czy też optycznym łamaniu fali. Osobno są omawiane zagadnienia generacji supekontinuum w kontekście czasu trwania impulsu wzbudzającego i rodzaju dyspersji pojawiającej się w omawianych tu zjawiskach. Na końcu rozdziału omawiane są metody FROG (ang. *frequency-resolved optical gating*) oraz dyspersyjna transformata Fouriera.

Na początku rozdziału trzeciego Pani mgr Tanvi Karpate zapoznaje czytelnika z elementami procesu projektowania włókien światłowodowych związanych z kontrolą dyspersji, propagacji nieliniowej oraz doбором odpowiednich materiałów do budowy włókna. W dalszej kolejności Doktorantka prezentuje własności szkieł tellurowych, w tym ich własności optyczne. Jest to na tyle istotne, że w dalszych częściach rozprawy prezentowane są wyniki badań Kandydatki związane właśnie ze światłowodami zbudowanymi na bazie takich szkieł. W dalszej części tego rozdziału prezentowane są informacje dotyczące procesu wytwarzania światłowodów, w szczególności światłowodów posiadających określoną, wcześniej zaprojektowaną strukturę. Zaprezentowane tu specjalne typy włókien zostały przez Autorkę użyte w dalszych badaniach, omówionych w kolejnych rozdziałach rozprawy.

Kolejna, czwarta część dysertacji rozpoczyna część rozprawy, w której zostały omówione wyniki badań Doktorantki. Przedstawia ona tam zaprojektowany, wykonany oraz scharakteryzowany przez nią światłowod z włóknem strukturalnym z zawieszonym rdzeniem. Włókno zostało wykonane ze szkła tellurowego i zaprojektowane w taki sposób, by uzyskać możliwie płaską dyspersję anomalną. W efekcie, można za jego pomocą uzyskać szerokopasmowe (68,5 THz) odstrojenie solitonu w przypadku włókien 10 razy krótszych niż dla standardowych włókien zbudowanych na bazie związków krzemu. Co ciekawe, mechanizm uzyskanej odstrajalności solitonów jest oparty na zmianach mocy sygnału wejściowego w zakresie widma pompowania od 1560 nm do 2400 nm, przy pompowaniu 90 fs impulsami laserowymi. Należy tu

podkreślić, że solitonowe źródło światła oparte na opisanym tu mechanizmie może zostać wykorzystane do konstrukcji źródeł w systemach wzmacniaczy fal SWIR niemożliwych do zbudowania z użyciem komercyjnych ultraszybkich laserów. Jak podkreśla to Doktorantka, jest to pierwszy z głównych wyników rozprawy.

W rozdziale piątym Pani mgr Tanvi Karpati koncentruje się na procesie generacji superkontinuum. Omawia ona włókna zachowujące polaryzację (ang. polarization maintaining – PM), jak i takiej polaryzacji nie zachowujące (non-PM). Włókna zostały zaprojektowane w taki sposób by uzyskać całkowicie normalną dyspersję. Uzyskano ten efekt poprzez zoptymalizowanie fotonicznej sieci heksagonalnej włókna. Właśnie ten etap projektowania układu wydaje mi się najciekawszy, gdyż pozwala on na uzyskanie nietrywialnej charakterystyki konstruowanych włókien. Przykładowo, wprowadzenie dodatkowego układu otworów w heksagonalnej strukturze rdzenia pozwala na uzyskanie założonej dwójłomności. Jak wykazała Doktorantka, włókna takie pozwalają na zwiększenie stopnia koherencji oraz zmniejszenie pojawiających się tam szumów kwantowych. W rozdziale tym pokazano, że rzeczywiste, badane włókno pozwala na uzyskanie zwiększonej stabilności i mniejszych szumów w procesie generacji solitonów. Również interesująca jest zaprezentowana tam metoda pomiaru szumu wykorzystującej dyspersyjną transformatę Fouriera.

W kolejnym, szóstym rozdziale dysertacji Kandydatka zaprezentowała swoje wyniki związane z nieliniowym rozchodzeniem światła we włóknach wielomodowych, w których współczynnik załamania zmienia się gradientowo. Tak jak w omawianych poprzednio przypadkach, włókna zostały wykonane ze szkła tellurowego. Doktorantka zbadła włókno pod kątem dynamiki czasoprzestrzenno-spektralnej femtosekundowych impulsów lasera wejściowego. Uzyskane przez nią wyniki wskazują na fakt, naprzemiennego wpływu ujemnej dyspersji prędkości grupowej i samomodulacji fazy z dodatnią dyspersją prędkości grupowej. Mechanizm ten różni się od tego, odpowiadającego długim impulsom, gdzie istotne znaczenie miały efekty samooczyszczania modów. W efekcie, badane włókno może działać jak zwykły kompresor siatkowy impulsów. Równie ważnym rezultatem jest pokazanie, że opracowane i badane włókno gradientowe może być użyte do wytwarzania impulsów o charakterze superkontinuum (o szerokości pełnej oktawy). Tak więc, omawiane włókno gradientowe może mieć zastosowanie w różnego rodzaju układach laserowych o dużej mocy, wymagających szerokopasmowych źródeł światła. Przedstawione w tym rozdziale wyniki stanowią kolejną grupę rezultatów wymienionych przez Autorkę rozprawy i jednocześnie są potwierdzeniem trzeciej z tez badawczych przez nią przedstawionych.

Ostatni rozdział dysertacji ma charakter podsumowania i zawiera sugestie odnośnie przyszłych badań. Zostały tam przedstawione wyniki badań Kandydatki, omówionych w rozdziałach 4-6. Wykazano, że stanowią one potwierdzenie postawionych przez nią trzech tez badawczych. Stwierdza tam, że cztery opracowane, wykonane na bazie szkła tellurowego i zbadane

światłowodowy mogą zostać wykorzystane w wysoce wyspecjalizowanych zastosowaniach, w których istotną rolę pełnią efekty nieliniowe oraz w sytuacjach gdy stosujemy pompowanie femtosekundowe. Mogą one być użyte w układach pełnowłóknowych źródeł światła pracujących w zakresie bliskiej i średniej podczerwieni oraz w układach wzmacniających. Autorka wskazała też, na przykładowe zastosowanie generowanego spójnego światła typu superkontinuum w mikroskopii konfokalnej.

Podsumowując, mogę z pełnym przekonaniem stwierdzić, że przedstawione w dysertacji wyniki są bardzo ciekawe. Są one interesujące z różnych względów gdyż mogą zainteresować nie tylko czytelników zajmującymi się zagadnieniami fizycznymi związanymi z efektami pojawiającymi się podczas rozchodzenia się światła w układach światłowodowych, ale też specjalistów z dziedziny dotyczącej możliwych praktycznych aplikacji związanych z tematyką rozprawy. Właśnie to stanowi o wartości uzyskanych przez Kandydatkę rezultatów. Uzyskując, a co najważniejsze, dojrzałe interpretując zaprezentowane w swojej dysertacji wyniki, Pani mgr Tanvi Karpate pokazała, że potrafi zastosować do rozwiązywania postawionych przed nią problemów odpowiedni aparat obliczeniowy i techniki doświadczalne. Wykazuje się ona znaczną intuicją fizyczną oraz potrafi wykorzystać różne koncepcje i modele fizyczne, czyniąc to z dużą biegłością i wyczuciem stosowanych metod.

Do obowiązków recenzenta należy też wspomnieć o niedociągnięciach znalezionych dysertacji. Dotyczą one przede wszystkim usterek edytorskich znalezionych w dysertacji. Niestety, Kandydatka nie podała wyraźnie listy publikacji i komunikatów konferencyjnych, w których zaprezentowano jej własne wyniki omawiane w rozprawie. Co prawda, w podanym przez nią spisie literatury znajdują się prace jej współautorstwa, jednak ze względu na fakt, że w przypadku gdy lista autorów pracy zawierała więcej niż dwie osoby, podawała ona *explicite* nazwisko tylko pierwszego autora. Jeśli idzie o wspomniany spis publikacji, to można w nim znaleźć też pewne usterki. Na przykład, pozycja [3] jest niekompletna, pozycje [173] oraz [175] dotyczą tej samej pracy. Wspominając o usterkach edytorskich, można wskazać, że, akronim OCT pojawia się po raz pierwszy na stronie 29, podczas gdy jego znaczenie zostało wyjaśnione dopiero na stronie 71. Jeśli idzie o akronimy, to Autorka używa ich zbyt intensywnie. Rozumiem, że są one powszechnie używane w artykułach związanych z tematyką rozprawy, jednak ta ostatnia, przedstawiona w formie osobnej publikacji, ma inny charakter niż artykuły w czasopismach naukowych czy też branżowych. Dysertacja doktorska przygotowana w formie osobnego i obszernego opracowania powinna również posiadać walory dydaktyczne. Przeładowanie jej dużą liczbą akronimów takie walory znacznie redukuje. W tym kontekście chciałbym jednak pochwalić Doktorantkę za przygotowanie pierwszych rozdziałów wprowadzających do tematyki rozprawy, które bardzo ułatwiają zrozumienie treści zawartych w jej części poświęconej prezentacji wyników mgr Karpati. Ponadto, w pełni rozumiejąc fakt, że Doktorantka nie posługuje się językiem polskim, chciałbym

zwrócić uwagę, że streszczenie przygotowane w języku polskim zawiera szereg niezręczności językowych a pewne tłumaczenia są zbyt dosłowną kalką językową. Chciałbym jednak podkreślić, że wymienione tu niedociągnięcia w niczym nie umniejszają mojej pozytywnej oceny rozprawy.

Podsumowując, mogę z przyjemnością stwierdzić, że recenzowana rozprawa autorstwa Pani mgr Tanvi Karpate spełnia z nawiązką wszystkie ustawowe oraz zwyczajowe wymagania stawiane takim dysertacjom. Omawiane w niej wyniki są oryginalne, interesujące i wartościowe z punktu widzenia przyszłych badań w zakresie optyki i fotoniki, w szczególności związanych z budową i zastosowaniem włókien optycznych. Sposób prezentacji i dyskusji uzyskanych przez Doktorantkę rezultatów jest jasny i czytelny, czyniąc ocenianą rozprawę pomocnym źródłem informacji przy poznawaniu tematyki poruszanej w dysertacji. Dlatego też wnioskuję o wyróżnienie złożonej przez nią rozprawy.

Na koniec z pełnym przekonaniem wnioskuję o dopuszczenie Doktorantki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Wiesław Leoński