

STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Study of solitonic steering of femtosecond pulses in soft glass dual-core optical fibers (Badanie solitonowego sterowania impulsami femtosekundowymi w światłowodach dwurdzeniowych wykonanych ze szkła wieloskładnikowych)

Niniejsza rozprawa doktorska zawiera badania sterowanego energią solitonowego przełączania impulsów femtosekundowych w dwurdzeniowych światłowodach o wysokiej nieliniowości optycznej. Praca dotyczy zagadnień nieliniowej, światłowodowej optyki ultraszybkiej oraz ogólnie do teorii solitonów w sprzężonych falowodach i zawiera duży potencjał aplikacyjny w dziedzinie całkowicie optycznego przetwarzania sygnałów. Celem rozprawy jest dowiedzenie, że specjalnie zaprojektowane światłowody dwurdzeniowe ze szkła miękkich mogą posłużyć jako ośrodki do sterowanego energią przełączania impulsów femtosekundowych. Światłowód jest wykonany z pary szkła o dopasowanych właściwościach temperaturowych: jest to szkło ołowiowo-krzemianowe (silnie nieliniowe) oraz szkło borokrzemianowe, użyte do wytworzenia odpowiednio rdzeni optycznych oraz płaszcza światłowodowego. Szkła mają bardzo duży kontrast współczynników załamania na poziomie 0,4 w zakresie spektralnym bliskiej podczerwieni. U podstaw fizycznych obserwowanych zjawisk przełączania leży mechanizm samopułapkowania solitonów wysokiego rzędu, które jest wymuszane przez nieliniowy efekt Kerra w szkłe rdzeni optycznych.

Pierwsza część rozprawy została poświęcona badaniom teoretycznym (symulacjom numerycznym) optymalizacji struktury światłowodów w kontekście ich dyspersji i właściwości sprzęgania. Badane były dwa rodzaje światłowodów: w pełni szklany fotoniczny światłowód dwurdzeniowy oraz światłowód dwurdzeniowy z jednorodnym płaszczem szklanym. Następnie zaprezentowane zostały wyniki symulacji propagacji nieliniowej impulsów femtosekundowych o energii w zakresie piko dżuli. Celem prac było określenie długości fali oraz czasu trwania impulsów o kształcie secansa hiperbolicznego dla osiągnięcia optymalnego przełączania. Otrzymano jako optymalne wyniki dla impulsów w zakresie widma 1400 – 1800 nm oraz długości 75-150 fs. Optymalne przełączania definiowano przy pomocy kryterium najwyższego kontrastu przełączania, które wskazuje na możliwość zmiany rdzenia, w którym propaguje się impuls. Optymalne przełączanie zostało przewidziane w symulacjach dla 43 mm długości całkowicie szklanego, dwurdzeniowego światłowodu z jednorodnym płaszczem oraz odstępem pomiędzy rdzeniami wynoszącym 3,2 μm . Rozważane impulsy wprowadzane do światłowodu miały środkową długość fali 1500 nm i czas trwania 75 fs, a energia wprzęgnięta do włókna jest na poziomie 20 pJ. Największy kontrast przełączania 46 dB jest obliczony w oknie czasowym ultrakrótkich impulsów. Ponadto, osiągnięta sprawność przełączania pozostaje utrzymana w zakresie spektralnym 200 nm. Następnie, w rozprawie przedstawiono zwięzły opis procesu wytwarzania światłowodu o zoptymalizowanej strukturze dwurdzeniowej. Proces ten wykorzystuje metodę mozaikową. W kolejnej części rozprawy analizowana jest struktura wytworzonego włókna w kontekście asymetrii dwurdzeniowej, związanej z różnicą rozmiarów pomiędzy rdzeniami. Niewielkie różnice w symetrii włókna dwurdzeniowego są zawsze obecne

po procesie technologicznym w wyniku nieodłącznych fluktuacji warunków termodynamicznych podczas procesu wyciągania włókna. W dalszej części pracy badany został wpływ tych zjawisk na właściwości sprzęgania we włóknie, na propagację impulsów ultraszybkich oraz na sprawność przełączania.

Druga część rozprawy zawiera wyniki prac eksperymentalnych związanych z obserwowaniem samoprzełączania, tj. przełączania nieliniowego sterowanego energią, przy użyciu impulsów femtosekundowych o środkowej długości fali 1560 nm oraz 1700 nm. Do badań wykorzystane zostały dwa w pełni szklane światłowody dwurdzeniowe o zoptymalizowanych parametrach struktury oraz o różnym stopniu asymetrii dwurdzeniowej. Zademonstrowano dwa efekty: 1) odwracalne przełączanie impulsów 1560 nm o energii poniżej 1 nJ, zachowujące charakter solitonu (potwierdzone wynikami symulacji numerycznych); 2) przełączanie na długości fali 1700 nm impulsów o energii wejściowej 1-3 nJ, które wykazuje możliwość dwukrotnego przełączenia pomiędzy rdzeniami z maksymalnym kontrastem przełączania 16,7 dB w zakresie spektralnym o szerokości 150 nm. W badaniach wpływu długości światłowodu na sprawność przełączania, największy kontrast, na poziomie 20,1 dB, osiągnięto dla włókna o długości 35 mm i na środkowej długości fali 1560 nm. Przełączanie obserwowane było w zakresie spektralnym od 1450 nm do 1650 nm. W przypadku pobudzenia na długości fali 1700 nm, największy kontrast osiągnięto na poziomie 20,6 dB na długości włókna 40 mm. Towarzyszy temu wielokrotna zmiana prowadzącego rdzenia, co stanowi silne wskazanie na proces o charakterze solitonowym. Wyniki zostały uzyskane dla jednorodnego włókna o mniejszej dwurdzeniowej asymetrii, niż w przypadku standardowych włókien fotonicznych z płaszczem szklano-powietrznym, które były badane we wcześniejszych pracach.

W ostatniej części rozprawy zostało opisane nowatorskie podejście do przełączania wykorzystujące dwie długości fali. Oparte jest ono na skrośnym oddziaływaniu dwóch zsynchronizowanych impulsów na różnych długościach fali: sygnałowej (1560 nm) i sterującej (1030 nm). Zmiana energii impulsu sterującego umożliwia przełączenie impulsu sygnałowego pomiędzy rdzeniami światłowodu. Zaobserwowany został kontrast przełączania powyżej 25 dB przy jednoczesnej zmianie środkowej długości fali o zaledwie 3 nm w światłowodach o zoptymalizowanej długości 20 mm. Wyniki zostały potwierdzone również w pomiarach widm na wyjściu światłowodu.

Dzięki poprawionej symetrii dwurdzeniowej, światłowód bez mikrostruktury i wytworzony w przy zastosowaniu jednorodnego płaszcza, pozwala na wydajne przełączanie impulsów optycznych o cechach solitonu. Otrzymane wyniki mogą mieć zastosowania praktyczne w komunikacji optycznej do budowy kompaktowych światłowodowych całkowicie optycznych przełączników o niewielkim zapotrzebowaniu na moc.