

Streszczenie pracy w języku polskim

Światłowody antyrezonansowe z pustym rdzeniem (ang. antiresonant hollow-core fiber – ARHCF) są rodzajem włókien, które pozwalają na szerokopasmową i jednomodową transmisję światła w wielu zakresach spektralnych jednocześnie. Ze względu na strukturę bazującą na pustym rdzeniu powietrznym, ARHCF mogą być wykorzystane jako niskoobjętościowe, jednoprzejściowe komórki absorpcyjne w układach laserowej spektroskopii gazów. ARHCF pozwalają na niskostratną transmisję światła w średniej podczerwieni, umożliwiając detekcję silnych linii absorpcyjnych wielu gazów w tym właśnie zakresie. Ze względu na wyżej wymienione cechy są one potencjalną alternatywą do szeroko wykorzystywanych komórek wieloprzejściowych. Jednym z interesujących zagadnień pod względem użycia tego typu włókien w układach spektroskopowych jest ich napełnianie. ARHCF cechują się niewielkimi przekrojami rdzeni powietrznych (o wymiarach zazwyczaj rzędu kilkudziesięciu mikrometrów), co sprawia, że proces ten staje się nietrywialnym zagadnieniem, wymagającym odpowiedniej optymalizacji. Niniejsza praca została poświęcona implementacji tych niezwykle ciekawych struktur fonicznych w układach laserowej spektroskopii gazów. Główny nacisk położony został na wykorzystaniu ARHCF w układach spektroskopowych przeznaczonych do detekcji śladowych stężeń gazów w więcej niż jednym zakresie spektralnym, na detekcji gazów w zakresie średniej podczerwieni oraz na analizie problematyki napełniania ARHCF.

Rozdział pierwszy rozprawy opisuje teoretyczne zagadnienia związane z laserową spektroskopią gazów, takie jak występujące rodzaje wzbudzenia molekuly, pojęcie linii absorpcyjnej czy możliwe do obserwacji efekty oddziaływania światła z gazem, pozwalające na określenie jego stężenia. W rozdziale tym przedstawione zostały także techniki wydłużenia drogi optycznej w układach spektroskopowych, w tym przez wykorzystanie włókien ARHCF, będących tematem przewodnim opisywanej pracy. W drugim rozdziale opisane zostały metody określania możliwości detekcyjnych badanych układów oraz podstawy wybranych technik spektroskopii laserowej gazów, ze szczególnym uwzględnieniem tych, które zostały wykorzystane w ramach zrealizowanych prac badawczych.

Rozdział trzeci pracy skupiał się na przeprowadzonych badaniach dotyczących problematyki napełniania ARHCF docelową próbką gazową. Przedstawione zostały dwa podstawowe sposoby napełniania włókien z pustym rdzeniem: metoda dyfuzyjna oraz metoda oparta na przepływie wymuszonym ciśnieniowo. Przedstawione zostały mechanizmy transportu gazu oraz klasyfikacje obserwowanych przepływów. W ramach prac dotyczących napełniania ciśnieniowego zaprezentowane zostały pierwsze na świecie badania dotyczące dynamiki napełniania ARHCF typu bezwężłowego. Wskazano w nich, iż w przypadku modelowania przepływów w bezwężłowych ARHCF – w przeciwieństwie do pozostałych rodzajów światłowodów z pustym rdzeniem, w których obszar rdzenia jest otoczony zwartą strukturą foniczną – dokładny model geometryczny jest niezbędny do uzyskania poprawnych

charakterystyk występujących w nich przepływów. Dodatkowo w pracy pokazano, iż w przypadku długiego odcinka bezwęzłowego ARHCF (14,73 m) i zakresu nadciśnień pozwalających na relatywnie szybkie napełnienie światłowodu (1,5 – 5 bar), zastosowanie modelu ściśliwego gazu jest niezbędne do poprawnego odtworzenia charakterystyki napełniania światłowodu. Druga z omówionych prac w rozdziale trzecim, dotyczyła optymalizacji napełniania dyfuzyjnego ARHCF poprzez fabrykację mikrootworów w ich strukturze. Dzięki tej technice uzyskano 65-krotne obniżenie czasu napełniania ARHCF. Wskazano też, iż model obliczeniowy bazujący na II prawie Fick'a pozwala na szybkie modelowanie dynamiki dyfuzyjnego napełniania bezwęzłowych ARHCF. W obu pracach pokazano możliwość wykorzystania darmowego pakietu obliczeniowego OpenFOAM® do symulacji przepływów gazów w strukturach fonicznych.

W czwartym rozdziale przedstawione zostały zrealizowane prace eksperymentalne dotyczące implementacji ARHCF w formie komórek absorpcyjnych w układach laserowej spektroskopii gazów. Zrealizowano i scharakteryzowano 5 układów pomiarowych, wykorzystujących techniki: 2f-WMS, LITES oraz CLaDS. W każdym z układów jako komórka absorpcyjna został wykorzystany ARHCF. W eksperymentach przeprowadzono detekcję CO₂, N₂O, CH₄ i C₂H₆. Wykorzystane zostały 2 różne modele włókna ARHCF, dla obu zaprezentowano możliwość dwupasmowej detekcji gazów w bliskiej i średniej podczerwieni. Przeanalizowano parametry opracowanych układów i porównano je do tych, które zostały uzyskane w analogicznych systemach pomiarowych prezentowanych w literaturze. W przypadku każdego z układów osiągane limity detekcji kolejnych molekuł były na poziomie niższym aniżeli ich średnia koncentracja w atmosferze. NEA zbudowanych układów było w zakresie od $1,7 \times 10^{-6} \text{ cm}^{-1}$ (CO₂ - detekcja LITES w bliskiej podczerwieni) do $3,5 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-1}$ (C₂H₆ - detekcja CLaDS w średniej podczerwieni). Uzyskane limity detekcji w niemal każdym ze zrealizowanych układów były na poziomie podobnym bądź lepszym niż dla analogicznych systemów wykorzystujące inne metody wydłużania drogi optycznej, co wskazuje na duży potencjał w stosowaniu włókien ARHCF w laserowej spektroskopii gazów.

Wyniki zaprezentowane w pracy zostały opublikowane w siedmiu artykułach naukowych z listy JCR (w trzech Autor jest autorem wiodącym), oraz zostały przedstawione przez Autora pracy na sześciu konferencjach krajowych i międzynarodowych.

Piotr Bojarski