

Wiele aspektów naszego codziennego życia wymaga stosowania technik precyzyjnego określania składu ciał stałych, płynów lub gazów, są to m. in. ochrona środowiska, medycyna, przemysł czy zastosowania militarne. Historycznie w tym celu wykorzystywano drogie, skomplikowane i czasochłonne metody chromatografii lub spektroskopii mas. Jedną z najprężniej rozwijanych alternatywnych metod selektywnej i dokładnej analizy składu próbek jest spektroskopia laserowa (SL). Metoda ta wymaga stosowania źródeł promieniowania koherentnego o częstotliwościach optycznych odpowiadających widmom absorpcyjnym mierzonej próbki. Po oświetleniu próbki zmieniają się właściwości fizyczne próbki oraz parametry wiązki laserowej, co w metodach spektroskopii laserowej wykorzystywane jest w celu określenia stężenia tejże próbki. Metody laserowe pozwalają na osiągnięcie niebywałej selektywności pomiaru oraz dużej rozdzielczości (rzędu pojedynczych cząstek na trylion). W ostatnim dziesięcioleciu zauważyć można ogromny postęp w rozwoju technik SL, który zawdzięczany jest opracowaniu laserów generujących promieniowanie w paśmie średniej podczerwieni (typu QCL oraz ICL), gdzie odnaleźć można najbardziej intensywne linie absorpcyjne wielu lotnych związków. Pomimo ogromu pracy i niezliczonej liczby publikacji dokumentujących nowe konfiguracje SL, opracowanie selektywnego i zarazem czułego detektora gazu jest w dalszym ciągu zadaniem niezwykle skomplikowanym. Dużym wyzwaniem przy projektowaniu SL jest uzyskanie wymaganej czułości. Zgodnie z prawem Beera-Lamberta, na czułość układów spektrometrów laserowych składa się kilka czynników. Jednym z takich czynników jest długość drogi interakcji wiązki lasera z cząsteczkami mierzonego gazu, a jej zwiększenie bezpośrednio przekłada się na amplitudę rejestrowanego sygnału absorpcyjnego. Szeroko stosowana metoda pozwalająca na zwielokrotnienie drogi interakcji laser-gaz polega na wykorzystaniu wieloodbiciowej komórki absorpcyjnej. Standardowa komórka wieloodbiciowa składa się z delikatnego szklanego cylindra do którego dostarczany jest gaz i zestawu zwierciadeł pomiędzy którymi następuje wielokrotne odbicie wiązki laserowej (w zależności od konfiguracji komórki liczba odbić dochodzić może do kilkuset). Ta metoda jest z powodzeniem stosowana w połączeniu z większością metod laserowej detekcji gazów, tj. metodami: absorpcyjnymi, dyspersyjnymi, fototermicznymi oraz w układach wykorzystujących efekt rotacji Faradaya. Niestety, komórki wieloodbiciowe pozwalające na rozsądne zwiększenie drogi interakcji laser-powietrze posiadają szereg poważnych wad: są drogie, nieporęczne, duże i ciężkie. Ponadto, komórki wieloodbiciowe są znanym źródłem szumu mechanicznego i termicznego oraz wymagają okresowej regulacji optyki sprzęgającej wiązkę laserową. Ciekawą alternatywą jest wykorzystanie włókien z rdzeniem powietrznym (ang. hollow-core fiber – HCF). W tego typu włóknach wiązka laserowa prowadzona jest wewnątrz pustego rdzenia, który następnie wypełniany jest próbką powietrza poddanego analizie z wykorzystaniem metod spektroskopii laserowej. Włókna HCF posiadają szereg zalet w porównaniu do komórek wieloodbiciowych: są kompaktowe i lekkie, ich długość można dowolnie modyfikować a poprawnie zaprojektowany układ wprowadza mniej szumów mechanicznych i nie wymaga okresowej regulacji optyki. W literaturze odnaleźć można doniesienia o preliminarnych eksperymentach z wykorzystaniem włókien HCF w układach laserowej detekcji gazów w różnych konfiguracjach. Jednakże, komercyjnie dostępne włókna HCF posiadają kilka wad, które w znaczącym stopniu ograniczają ich komercyjne zastosowania w układach SL. Obecna generacja krzemionkowych włókien HCF pozwala na nisko-stratne transmitowanie promieniowania laserowego o długościach fali krótszych niż 3.5 μm . Tym samym znacząco ograniczając zakres pomiarowy skonstruowanego spektrometru laserowego. Ponadto, struktura włókna HCF nieoptymalizowana pod względem zastosowań w układach SL cechuje się dużymi stratami na zgięciach oraz wielomodową transmisją promieniowania laserowego o dłuższych falach, co objawia się niekorzystną modulacją sygnału użytecznego.

Zasadniczym celem tego projektu będzie opracowanie nowych konfiguracji tzw. antyrezonansowych włókien fotonicznych z rdzeniem powietrznym (AR-HCF) o parametrach ściśle dobranych do zastosowań w układach czułej SL. Z uwagi na nowatorską konstrukcję włókna posiadać będą rekordowo niskie straty transmisyjne dla promieniowania z pasma średniej podczerwieni (3 – 5 μm) oraz umożliwiać będą transmitowanie wiązki laserowej w modzie podstawowym. Zoptymalizowane konfiguracje włókien AR-HCF znaczącym stopniu przyczyną się do poprawy parametrów oraz funkcjonalności spektrometrów konstruowanych na ich bazie. Projekt przewiduje również prace badawcze nad układami spektrometrów laserowych, w których nowe typy włókien AR-HCF wykorzystane zostaną jako alternatywa dla nieporęcznych komórek wieloodbiciowych (plan badawczy przewiduje eksperymenty z szeregiem technik detekcji: absorpcyjne, dyspersyjne i fototermiczne). Parametry skonstruowanych układów porównane zostaną ze spektrometrami wykorzystującymi tradycyjne komórki wieloodbiciowe. Uzupełnieniem badań będą eksperymenty z układami laserów na zakres średniej podczerwieni, w których wypełnione gazem (np. CO₂) włókna AR-HCF służyć będą jako pompowany optycznie ośrodek wzmacniający.