

Technologia optycznych włókien światłowodowych poddawana jest ciągłemu rozwojowi w celu opracowania włókien, które zapewnią możliwość transmisji promieniowania laserowego z niskimi stratami, przy zachowaniu wysokiej jakości wiązki i w szerokim zakresie widma optycznego, co jest spowodowane pojawiającymi się w szybkim tempie nowymi zastosowaniami. Do tej chwili opracowano wiele rodzajów światłowodów, z których w szczególności światłowody z „pustym” rdzeniem, tzw. antyrezonansowe włókna typu hollow-core (ARHCF) przyciągają znaczącą uwagę. Światłowody ARHCF charakteryzują się unikatową możliwością transmisji promieniowania laserowego w powietrzu (pustym rdzeniu), a nie w szkle. Ta wyjątkowa cecha pozwala na przewyższenie ograniczeń jakie obecne są w standardowych światłowodach wykonanych całkowicie z krzemionki, czyli niskiego progu zniszczenia w wyniku transmisji wysokoenergetycznych impulsów laserowych i znaczącego poziomu nieliniowości. A co najważniejsze, pozwalają na efektywną transmisję światła w zakresie średniej podczerwieni, gdzie krzemionka w standardowym światłowodach powoduje bardzo wysokie tłumienie. Ponadto, ze względu na to, że rdzeń w światłowodzie ARHCF jest pusty, to może on zostać w łatwy sposób wypełniony cieczą lub gazem, co otwiera szereg nowych zastosowań dla włókien światłowodowych, między innymi w laserowej spektroskopii gazów.

Laserowa spektroskopia gazów polega na wykorzystaniu zjawiska absorpcji promieniowania laserowego przez molekuly gazów. Jeśli molekuly danego gazu zostaną oświetlone promieniowaniem laserowym, którego długość fali ściśle odpowiada linii absorpcyjnej tego gazu, to zostanie ono przez te molekuly pochłonięte. Poziom absorpcji z jakim dane molekuly pochłaniają promieniowanie laserowe jest ściśle uzależniony od ich stężenia oraz drogi optycznej, czyli dystansu, na którym zachodzi oddziaływanie pomiędzy światłem a gazem. W przypadku laserowych czujników gazu oznacza to, że ich czułość może zostać w prosty oraz efektywny sposób zwiększona poprzez wydłużenie w nich drogi optycznej. W związku z tym, rozwiązanie pozwalające na uzyskanie długiej drogi interakcji w nieskomplikowany sposób jest silnie pożądane, a obecnie stosowane układy wykorzystujące np. optyczne komórki wieloprzejściowe znacząco komplikują budowę czujnika. Światłowody ARHCF z odpowiednią długością mogą zapewnić rozwiązanie dla tego problemu. Kolejną zaletą włókien ARHCF jest ich bardzo szerokie pasmo transmisji (rzędu kilkuset nanometrów) w zakresie średniej podczerwieni, gdzie większość gazów charakteryzuje się najsilniejszymi liniami absorpcyjnymi, co otwiera możliwość ich zastosowania w szerokopasmowych sensorach gazów, z wykorzystaniem tzw. źródeł Optycznych Grzebieni Częstotliwości (OGC), które są obecnie obiektem intensywnych badań. Połączenie włókien ARHCF z OGC w zakresie średniej podczerwieni może otworzyć drogę do nowych, kompaktowych, czułych i wszechstronnych czujników do np. monitorowania obecności gazów cieplarnianych, które są obecnie niedostępne. Jednakże ich efektywna integracja nie jest prosta i wymaga przeprowadzenia szeregu badań, które pozwolą określić mechanizmy transmisji szerokopasmowego promieniowania laserowego w tych włóknach oraz opracować źródła OGC w paśmie średniej podczerwieni, z parametrami dopasowanymi do charakterystyki danego światłowodu ARHCF, co jest głównym celem naukowym niniejszego projektu.

W ramach projektu planujemy przeprowadzić badania nad opracowaniem nowych źródeł OGC w zakresie średniej podczerwieni, których parametry (głównie widmo optyczne) będą dopasowane do okna transmisji światłowodów ARHCF, które zostały dostarczone (są dostępne na PWr) przez Partnerów projektu – Grupę Prof. Fei Yu z Szanghajskiego Instytutu Optyki i Mechaniki Precyzyjnej (SIOM). OGC będą generowane w wyniku procesów nieliniowych, np. nieliniowej konwersji częstotliwości optycznej w kryształach niobianu litu ze strukturą periodyczną (PPLN), poprzez oświetlanie go jednocześnie ultrakrótkimi impulsami laserowymi o różnych długościach fali. Planujemy przeprowadzenie szeregu eksperymentów, które pozwolą precyzyjnie określić wpływ parametrów włókien ARHCF, m.in. mechanizmu transmisji światła, kształtu pasma transmisji, jednorodności struktury, strat związanych z gięciem oraz sprzęgania światła do rdzenia włókna na transmisję szerokopasmowych OGC w średniej podczerwieni w tych włóknach. Następnie, wygenerowane OGC zostaną wprowadzone do wypełnionego gazem włókna ARHCF w celu zweryfikowania możliwości detekcji gazów w takiej konfiguracji. Badania te pozwolą nam określić, jak parametry nowych źródeł szerokopasmowego promieniowania laserowego w średniej podczerwieni oraz włókien ARHCF mają zostać zoptymalizowane względem siebie, aby możliwe było wykorzystanie ich połączenia do jednoczesnej i efektywnej detekcji wielu różnych gazów. Pozyskane dane pomiarowe pozwolą Partnerowi z SIOM na optymalizację w trakcie projektu włókien ARHCF. W końcowym etapie planujemy opracowanie zupełnie nowych źródeł OGC w zakresie średniej podczerwieni w oparciu o wzbudzenie optyczne falowodu PPLN przy użyciu jednego lasera pompującego. Nowe źródło zostanie zintegrowane bez użycia elementów optycznych z włóknem ARHCF o długości kilkudziesięciu metrów, wypełnionym mieszkanką gazów, co pozwoli na określenie, czy takie połączenie umożliwi uzyskanie wyższej detekcyjności w porównaniu z użyciem komórek wieloprzejściowych.

Niniejszy projekt umożliwi zrozumienie mechanizmów generacji OGC w zakresie średniej podczerwieni w materiałach nieliniowych oraz ich transmisji we włóknach ARHCF. Pozwoli to na opracowanie nowych, zintegrowanych ze światłowodem czujników pozwalających na jednoczesną detekcję wielu gazów, w szczególności tych, które charakteryzują się szerokimi spektralnie liniami absorpcyjnymi. Wyniki projektu zostaną opublikowane w czasopiśmie naukowych oraz przedstawione na międzynarodowych konferencjach.