

STRESZCZENIE

Rozwój nowoczesnych układów światłowodowych coraz częściej wymaga lokalnego kształtowania ich geometrii już po procesie wytwarzania włókna. Szczególnym wyzwaniem jest mikroobróbka światłowodów mikrostrukturalnych i z pustym rdzeniem, w których niewielkie wymiary elementów wewnętrznych, zakrzywiona powierzchnia oraz obecność cienkościennych kapilar znacząco ograniczają możliwość zastosowania klasycznych metod obróbki. Głównym celem niniejszej rozprawy było opracowanie powtarzalnej metodyki kontrolowanej mikroobróbki takich struktur przy zachowaniu ich integralności geometrycznej oraz funkcjonalności optycznej. W pracy szczegółowo przeanalizowano dwie technologie ubytkowe: obróbkę zogniskowaną wiązką jonów (FIB) oraz ablację ultrakrótkimi impulsami lasera femtosekundowego.

Szczególną uwagę poświęcono technologii FIB, obejmując zarówno fizyczne podstawy oddziaływania wiązki jonowej z materiałem dielektrycznym, jak i praktyczne zagadnienia związane z pozycjonowaniem próbek, doбором parametrów wiązki, strategią skanowania oraz ograniczaniem efektów ładowania i redepozycji. Zastosowanie plazmowego źródła jonów ksenonu umożliwiło precyzyjne i powtarzalne wykonywanie mikrokanałów w złożonych strukturach światłowodowych oraz ich bezpośrednią weryfikację metodami obrazowania elektronowego i przekrojów poprzecznych. Równolegle opracowano procedury mikroobróbki laserem femtosekundowym dla promieniowania o długości fali 1030 nm oraz 343 nm. Badania wykazały, że obie technologie mają odmienny charakter i powinny być traktowane jako komplementarne: FIB zapewnia najwyższą kontrolę geometrii i jakość wykonywanych struktur, natomiast obróbka femtosekundowa oferuje znacznie większą szybkość procesu i potencjalnie łatwiejsze skalowanie do modyfikacji większych objętości materiału.

Możliwość wykorzystania opracowanych metod do nadania światłowodowi nowej funkcjonalności zweryfikowano na przykładzie antyrezonansowego światłowodu z pustym rdzeniem (ARHCF) przeznaczonego do spektroskopowej detekcji gazów. W płaszczu włókna wykonano boczne mikrokanały łączące otoczenie bezpośrednio z pustym rdzeniem, przy zachowaniu geometrii cienkościennych elementów antyrezonansowych. W zastosowanej konfiguracji mikrokanały nie pełniły jedynie funkcji przyspieszającej napełnianie włókna, lecz stanowiły podstawową drogę doprowadzania analizowanego medium do rdzenia w sondzie z zamkniętym czołem i mikrozwierciadłem umieszczonym wewnątrz włókna. Demonstracja pomiarów z wykorzystaniem spektroskopii modulacji długości fali 2f-WMS w zakresie bliskiej i średniej podczerwieni potwierdziła możliwość wykorzystania zmodyfikowanej struktury do detekcji metanu.

Przeprowadzone badania wykazały, że kontrolowana mikroobróbka może być skutecznie wykorzystana nie tylko do lokalnej zmiany geometrii światłowodów, lecz również do tworzenia konfiguracji funkcjonalnych niedostępnych w strukturach niemodyfikowanych. Opracowane procedury FIB oraz ablacji femtosekundowej tworzą komplementarny zestaw narzędzi do mikrostrukturyzacji złożonych elementów szklanych, a ich zastosowanie w światłowodach ARHCF potwierdza potencjał tych technologii w rozwoju zminiaturyzowanych układów fotonicznych i czujnikowych.