

STRESZCZENIE

Rozwój optycznych grzebieni częstotliwości, bazujących na laserach impulsowych z synchronizacją modów w rezultacie pozwolił na stworzenie urządzeń służących jako wzorce kalibracyjne, elementy precyzyjnych zegarów optycznych czy źródła światła stosowane w precyzyjnej i szerokopasmowej spektroskopii laserowej. Mimo upływu ponad 60 lat od pierwszych demonstracji zjawiska synchronizacji modów, cieszą się one niesłabnącym zainteresowaniem naukowców wielu dziedzin. Początkowo wyzwaniem była stabilizacja częstotliwości przesunięcia obwiednia-nośna, jednak na przełomie wieków XX i XXI zaproponowano układ interferometru pozwalający na jej detekcję. Umożliwiło to rozpoczęcie ery precyzyjnych grzebieni częstotliwości optycznych, w których każdy z modów (zębów) ma ściśle zdefiniowaną pozycję w generowanym widmie. Ponadto ze względu na szerokość pasma jakie można uzyskać z takiego rezonatora, możliwym jest realizacja np. sensorów pozwalających na realizację spektroskopii absorpcyjnej wielu różnych gazów jednocześnie. Wyzwaniem związanym z budową takich układów jest konieczność odzyskania informacji o widmie, przez co niezbędnym staje się stosowanie różnych technik np. filtracji wnęką optyczną wraz ze spektrometrem (spektroskopia Verniera). W ramach doktoratu zbudowano trzy eksperymentalne układy spektroskopowe wykorzystujące autorskie źródła laserowe.

Praca doktorska przedstawia przegląd różnych metod synchronizacji modów w laserach światłowodowych. Omówiono szczegółowo nasycalne absorbery sztuczne i rzeczywiste, w tym nanomateriały takie jak grafen. Przedstawiono różne metody regulacji częstotliwości repetycji i przesunięcia obwiednia-nośna, wraz z przybliżeniem punktu mocowania (z ang. fix-point) dla każdego z nich. Uwzględniono także zagadnienia związane z szumem fazowym i intensywności (RIN), przedstawiając zależności pomiędzy nimi. W ramach pracy zbudowano pięć egzemplarzy laserów wykorzystujących kompozyt grafen/PMMA jako nasycalny absorber. Kolejne konstrukcje umożliwiły opracowanie technik ich precyzyjnej i równomiernej dystrybucji ciepła poprzez integrację w niewielkich komorach termicznych wykonanych w technologii druku 3D. Opracowano i przebadano techniki wytwarzania modulatorów piezoelektrycznych dedykowanych regulacji częstotliwości repetycji oraz rozwiązania pozwalające na stabilizację temperatury budowanych rezonatorów. Zbudowane lasery posłużyły do realizacji dwóch systemów spektroskopii Verniera, których optymalizacja ukierunkowana była na maksymalne uproszczenie układu z zachowaniem parametrów spektroskopowych zarezerwowanych typowo dla optycznych grzebieni częstotliwości. W jednym z nich zastosowano także szybki spektrometr bazujący na rotującej przesłonie, pozwalający na detekcję widma absorpcyjnego z częstotliwością przemiatania do 100 Hz. Zademonstrowano także możliwość rezygnacji z aktywnej stabilizacji częstotliwości repetycji, bez pogorszenia parametrów systemu pomiarowego. Opracowany laser sygnałowy został także wykorzystany w źródle częstotliwości różnicowej (DFG) pracującym w zakresie spektralnym średniej podczerwieni, które stworzono do celów spektroskopii laserowej. W ramach pracy opracowano także kompletny grzebień częstotliwości optycznych bazujący na autorskim laserze, który zsynchronizowano zarówno do wzorcowej częstotliwości optycznej jak i elektrycznej. Do jego wytworzenia zoptymalizowano tor wzmacniający ultrakrótkie impulsy światła, które następnie poszerzono spektralnie do szerokości przekraczającej jedną oktawę, umożliwiając tym samym detekcję częstotliwości przesunięcia obwiednia-nośna. Ponadto w ramach pracy stworzono szereg dedykowanych układów elektronicznych, pozwalających na budowę pętli synchronizacji fazowej, stabilizacji temperatury oraz sterowania. Wyniki prac bezpośrednio związanych z tematyką poruszoną w pracy doktorskiej opublikowano w sześciu artykułach w czasopiśmie z listy JCR oraz zaprezentowano w trakcie siedemnastu krajowych i międzynarodowych konferencji naukowych.

Aleksander Głuszek