

Stabilizacja częstotliwości obwiednia-nośna impulsów lasera Cr:ZnS

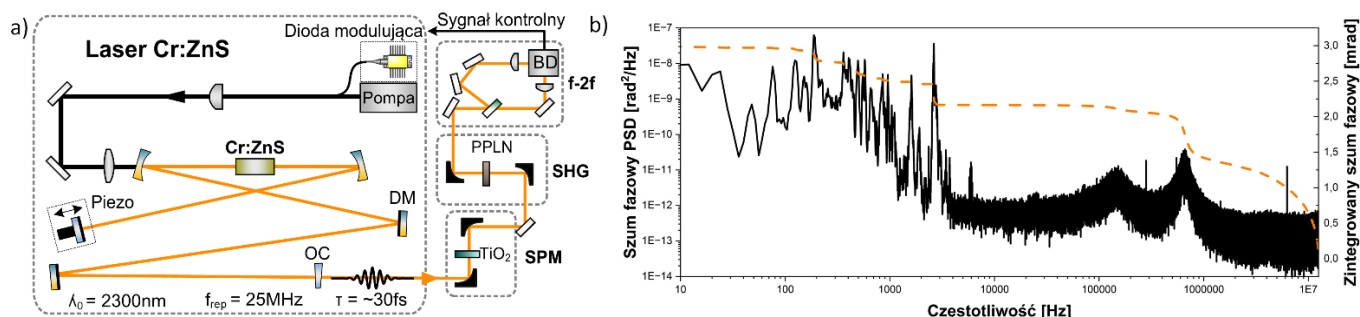
J. Jaworski, M. Kowalczyk[†]

Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów, Politechnika Wrocławska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

[†]email: maciej.kowalczyk@pwr.edu.pl

Lasery ciała stałego, których ośrodkiem aktywnym są domieszkowane chromem (Cr) kryształy siarczku cynku (ZnS) lub selenku cynku (ZnSe) mogą generować ultrakrótkie impulsy laserowe o czasie trwania ~ 30 fs w zakresie spektralnym średniej podczerwieni ($\sim 2.3\mu\text{m}$) [1]. Lasery tego typu mogą być wykorzystywane np. w spektroskopii, gdzie często wymagana jest stabilizacja źródła do grzebienia częstotliwości. W tym przypadku kluczowa jest technologia stabilizacji częstotliwości obwiednia-nośna (f_{ceo}) generowanych impulsów. Zostało pokazane, że oscylatory Cr:ZnS/Se mogą być bardzo stabilne i charakteryzować się szumem fazowym f_{ceo} rzędu 5.9 mrad [2], a uzyskana stabilność lasera zależy głównie od wybranego źródła pompującego [2-4].

W tej pracy przedstawiamy eksperymentalny układ lasera Cr:ZnS z możliwością detekcji i stabilizacji f_{ceo} generowanych impulsów. Schemat układu przedstawia Rys. 1a. Sygnał z lasera jest poszerzany spektralnie w płytce wykonanej z TiO_2 . Detekcję f_{ceo} umożliwiło wykorzystanie interferometru typu $f-2f$ z generacją drugiej harmonicznej (SHG) w kryształach PPLN. Stabilizacja sygnału f_{ceo} została zrealizowana w pętli synchronizacji fazowej z użyciem regulatora PID poprzez modulację mocy lasera pompującego.



Rysunek 1: (a) Układ eksperymentalny wykorzystany do detekcji oraz stabilizacji częstotliwości obwiednia-nośna laser Cr:ZnS (DM – zwierciadło dyspersyjne, OC – sprzęgacz wyjściowy, SPM – poszerzanie spektralne, SHG – generacja drugiej harmonicznej, BD – detektor zbalansowany); (b) Szum fazowy (linia ciągła) oraz zintegrowany szum fazowy (linia przerywana) lasera Cr:ZnS.

Fluktuacje częstotliwości obwiednia-nośna zostały zmierzone przy użyciu oddzielnego (*out-of-loop*), interferometru $f-2f$, wykorzystującego wiązkę lasera po poszerzeniu spektralnym. Wyniki pomiaru szumu fazowego przedstawia Rys. 2b. Otrzymano szum fazowy na poziomie 3 mrad zintegrowany w przedziale od 10 Hz do 12.5 MHz (częstotliwość Nyquista). Uzyskana stabilność lasera dwukrotnie poprawia najlepszy wcześniej prezentowany wynik dla laserów Cr:ZnS/Se [2]. Uzyskanie tak wysokiej stabilności było możliwe poprzez minimalizację fluktuacji amplitudowych lasera. To z kolei zostało zapewnione poprzez wykorzystanie ultra-niskoszumnego lasera pompującego na bazie erbowego wzmacniacza światłowodowego [5].

Podziękowania i źródła finansowania

Narodowa Agencja Wymiany Akademickiej (BPN/PPO/2022/1/00028); Max-Planck-Gesellschaft (Max Planck Partner Group Programme); Projekt „Ultrastabilne lasery impulsowe pokrywające zakres spektralny od bliskiej do dalekiej podczerwieni” jest realizowany w ramach działania First Team FNP współfinansowanego przez UE ze środków 2. Priorytetu Programu Fundusze Europejskie dla Nowoczesnej Gospodarki 2021–2027 (FENG).

Literatura

- [1] S. B. Mirov et al., “Frontiers of mid-IR lasers based on transition metal doped chalcogenides,” *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* **24**, 1601829 (2018).
- [2] M. Kowalczyk et al., “Ultra-CEP-stable single-cycle pulses at $2.2\mu\text{m}$,” *Optica* **10**, 801-811 (2023).
- [3] A. Barh et al., “High-power low-noise 2-GHz femtosecond laser oscillator at $2.4\mu\text{m}$,” *Opt. Express* **30**, 5019–5025 (2022).
- [4] S. Vasilyev et al., “Ultra-Low Noise Cr:ZnS Laser Source for High Performance Dual Comb Spectroscopy,” in *CLEO 2024* (Optica Publishing Group, 2024), paper SM1H.4.
- [5] M. Kowalczyk et al., “SESAM-assisted Kerr-lens mode-locked Cr:ZnS laser,” *Opt. Lett.* **49**, 5184-5187 (2024).