

Szerokopasmowa spektroskopia strat we wnęce optycznej z efektem Verniera wykorzystująca międzypasmowe lasery kaskadowe

Łukasz A. Sterczewski^{1,2,3,*}, Tzu -L. Chen³, Charles. R. Markus³, Douglas. C. Ober^{2,3}, Chadwick L. Canedy⁴, Igor Vurgaftman⁴, Clifford Frez², Jerry R. Meyer⁴, Mitchio Okumura³, Mahmood Bagheri²

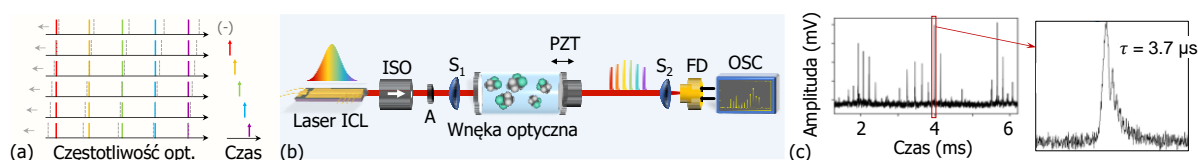
¹Grupa Elektroniki Laserowej i Światłowodowej, Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów, Politechnika Wroclawska, Wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław;

²Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, CA 91109, USA;

³Division of Chemistry and Chemical Engineering, California Institute of Technology, Pasadena, CA, 91125, USA; ⁴Optical Sciences Division, Naval Research Laboratory, Washington, DC 20375, USA.

* e-mail: lukasz.sterczewski@pwr.edu.pl

Międzypasmowy laser kaskadowy (ang. ICL) jest półprzewodnikowym źródłem promieniowania laserowego w zakresie średniej podczerwieni, które zostało użyte do detekcji metanu na Marsie [1]. W ostatnich latach, dzięki optymalizacji struktury półprzewodnikowej, uzyskano szerokopasmową emisję laserową o strukturze optycznego grzebienia częstotliwości [2,3] w zakresie 3–4 μm , gdzie cząsteczki organiczne posiadają silne linie absorpcyjne. Gdy takie źródło wprowadzone jest do wnęki optycznej o wolnym zakresie widmowym różnym od częstotliwości repetycji lasera, możliwe jest uzyskanie transmisji tylko jednego zęba grzebienia naraz, co umożliwia budowę prostego wysokorozdzielczego spektrometru z drogą optyczną rzędu dziesiątek lub setek metrów. Efekt ten jest analogiczny do noniusza w suwmiarce i umożliwia pomiary spektroskopowe poszerzone wnęką zwane techniką Verniera [4] (Rys. 1a). Układ eksperymentalny o liniowej geometrii ukazany na Rys. 1b może być użyty do pomiaru intensywności linii w reżimie adiabatycznym. Jednakże, aby pomiary absorpcji były nieczułe na fluktuacje intensywności lasera, proponujemy mierzenie czasu zaniku światła we wnęce o wysokiej dobroci, jak zaprezentowano na Rys. 1c.



Rys. 1. (a) Idea selekcji zębów optycznego grzebienia częstotliwości przez wnękę optyczną (linie przerywane) o przestrajalnym wolnym odstępem widmowym. (b) Układ eksperymentalny: ISO – izolator optyczny, S – soczewka, PZT – aktuator piezoelektryczny, FD – fotodetektor, OSC – oscyloskop. (c) Przykładowe widmo Verniera z widocznym zanikiem światła dla jednego zęba. Do eksperymentu użyto optycznego grzebienia częstotliwości na środkowej długości fali 3.3 μm .

Podziękowania: Prace badawcze były przeprowadzane częściowo w Laboratorium Napędu Odrzutowego (Jet Propulsion Laboratory, JPL) w ramach kontraktu z NASA. Część badań prowadzonych przez Ł. A. Sterczewskiego otrzymała wsparcie w ramach stażu doktorskiego zarządzanego przez Universities Space Research Association (USRA) oraz stypendium Marie Skłodowska-Curie z programu Unii Europejskiej Horyzont 2020. Autorzy NRL dziękują za wsparcie dla Office of Naval Research (ONR). Charles R. Markus jest wdzięczny za wsparcie dla Arnold and Mabel Beckman Foundation.

Źródła finansowania: NASA PICASSO (106822 / 811073.02.24.01.85), PDRDF; Universities Space Research Association, NASA Postdoctoral Program, Office of Naval Research, Horyzont 2020 Grant Marii Skłodowskiej-Curie nr 101027721.

Literatura:

- [1] P. R. Mahaffy et al., "The Sample Analysis at Mars Investigation and Instrument Suite," *Space Sci. Rev.* **170**, 401–478 (2012).
- [2] M. Bagheri et al., "Passively mode-locked interband cascade optical frequency combs," *Sci. Rep.* **8**, 3322 (2018).
- [3] L. A. Sterczewski et al., "Interband cascade laser frequency combs," *J. Phys. Photonics* **3**, 042003 (2021).
- [4] L. A. Sterczewski et al., "Cavity-Enhanced Vernier Spectroscopy with a Chip-Scale Mid-Infrared Frequency Comb," *ACS Photonics* **9**, 994–1001 (2022).