

Nie taka daleka podczerwień – sięgając fal terahercowych

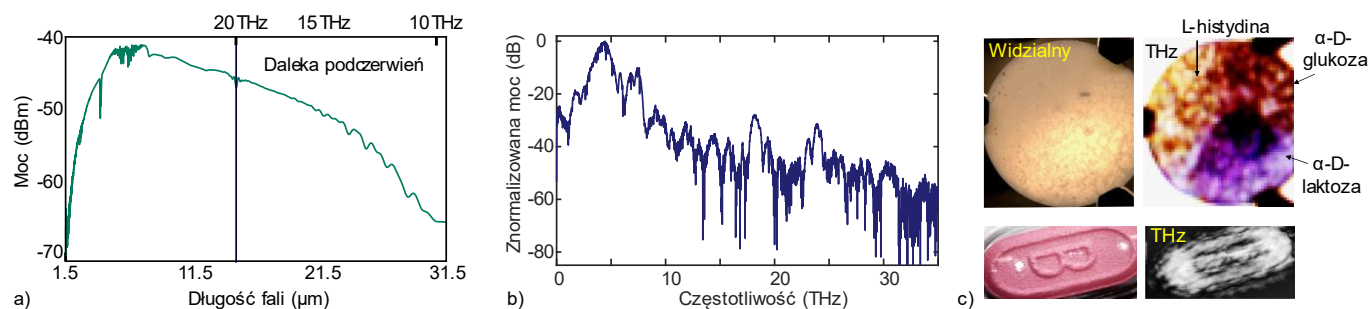
Ł. A. Sterczewski^{1,†}

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

†email: lukasz.sterczewski@pwr.edu.pl

Daleka podczerwień zwana jest również regionem fal terahercowych i obejmuje zakres długości fal elektromagnetycznych między 1000 μm a 15 μm , co odpowiada częstotliwościom optycznym od 300 GHz do 20 THz. Fale te coraz częściej stosuje się w badaniach nieniszczących, w wykrywaniu przemian fazowych farmaceutyków oraz w spektroskopii atmosferycznej. Niestety, pomimo dekad badań i rozwoju technologii, dostęp do tego fragmentu widma w temperaturze pokojowej jest nietrwały i daleki od masowego użycia.

W trakcie wystąpienia zostaną omówione praktyczne techniki wytwarzania i detekcji ultra-szerokopasmowego promieniowania terahercowego o charakterze zarówno grzebieni częstotliwości, jak i termicznym. Rozwijane są one w ramach projektu TeraERC, którego misją jest stworzenie systemu spektroskopowego dalekiej podczerwieni opartego o źródła i detektory wielkości czipa kompatybilne z zasilaniem bateryjnym. Wizja takiego systemu, wykorzystującego miniaturowy emiter podczerwieni z małym poborem mocy, doczekała się już pierwszej realizacji [1] i oferuje pokrycie widmowe od bliskiej podczerwieni (1,5 μm /300 THz) do 30 μm /10 THz (Rys. 1a). Równolegle, rozwijane są techniki wykorzystujące kompaktowe źródła ultrakrótkich impulsów o telekomunikacyjnych długościach fali. Widma dalekiej podczerwieni wytwarzane przez organiczne kryształy nieliniowe są mierzone przy pomocy detektora InGaAs pracującego na długości fali 1,5 μm . Pokrywają one zakres 1–30 THz i już dzisiaj są ograniczone właściwościami materiałów optycznych w torze spektrometru (Rys. 1b).



Rysunek 1: Dostęp do regionu fal terahercowych przez (a) źródło termiczne [1], (b) organiczny kryształ nieliniowy PNPA [2]. (c) Przykładowe zastosowania obejmują obrazowanie farmaceutyków z przestrzennym rozkładem składników niewidocznym w zakresie widzialnym oraz badanie tabletek w oryginalnym opakowaniu [3].

Ostatnią, najmniej konwencjonalną techniką dostępu do regionu fal terahercowych jest nieliniowa konwersja częstotliwości w międzypasmowych laserach kaskadowych (ang. *interband cascade laser*, ICL) emitujących promieniowanie w zakresie średniej podczerwieni w temperaturze pokojowej. Duża wewnętrzna nieliniowość drugiego rzędu prowadzi do samo-podwojenia częstotliwości optycznej (wytwarzania drugiej harmonicznej) i oczekuje się, że może też posłużyć do wytwarzania częstotliwości różnicowej jeśli spełni się wymóg dopasowania fazowego. Takie źródła mogłyby potencjalnie zastąpić kriogeniczne terahercowe grzebienie częstotliwości oparte o kwantowe lasery kaskadowe (ang. *quantum cascade laser*, QCL). Wiadomo, że wielokolorowe źródła QCL z emisją w rejonie 3 THz znakomicie nadają się do obrazowania hiper- i multi-spektralnego materiałów farmaceutycznych (Rys. 1c), jednak temperatura pracy rzędu 30–40 K utrudnia ich wykorzystanie praktyczne.

Podziękowania i źródła finansowania

Ł. A. Sterczewski dziękuje za finansowanie Unii Europejskiej (ERC Starting Grant, TeraERC, 101117433). Wyrażone poglądy i opinie są wyłącznie poglądami autorów i niekoniecznie odzwierciedlają poglądy Unii Europejskiej lub Agencji Wykonawczej Europejskiej Rady ds. Badań Naukowych. Ani Unia Europejska, ani organ przyznający finansowanie nie ponoszą za nie odpowiedzialności. Autor dziękuje za możliwość korzystania z infrastruktury Narodowego Laboratorium Fotoniki i Technologii Kwantowych (NPLQT), która jest finansowana z Funduszy Europejskich w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój.

Literatura

1. J. Mnich, J. Kunsch, M. Budden, T. Gebert, M. Schossig, J. Sotor, and Ł. A. Sterczewski, *Opt. Express* **32**, 45801 (2024).
2. Ł. A. Sterczewski, J. Mnich, and J. Sotor, *Advanced Physics Research* **4**, 2400105 (2025).
3. Ł. A. Sterczewski, J. Westberg, Y. Yang, D. Burghoff, J. Reno, Q. Hu, and G. Wysocki, *Optica* **6**, 766 (2019).