

# Miniaturowy spektrometr na zakres mid-IR do zastosowań w systemach detekcji gazów

**F. Łabaj<sup>1,2†</sup>, J. Kalwas<sup>1</sup>, S. Stopiński<sup>1,2</sup>, K. Anders<sup>1,2</sup>,**

**R. Ciechański<sup>1</sup>, K. Machałowski<sup>1</sup>, R. Piramidowicz<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>VIGO Photonics S.A., ul. Poznańska 129/133, 05-850 Ożarów Mazowiecki, Polska

<sup>2</sup>Politechnika Warszawska, Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki, ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, Polska

†email: [flabaj@vigo.com.pl](mailto:flabaj@vigo.com.pl)

Miniaturyzacja spektrometrów, polegająca m.in. na znaczącej redukcji ich rozmiarów i masy, jak również zapotrzebowania energetycznego, przy zachowaniu podstawowych parametrów funkcjonalnych, takich jak czułość i specyficzności detekcji, jest kluczowa dla rozwoju sieci czujnikowych, urządzeń ubieralnych (*wearables*) czy autonomicznych platform mobilnych. Wykorzystanie spektrometrii w zakresie średniej podczerwieni (mid-IR, 2–20  $\mu\text{m}$  [1]), w szczególności w tzw. zakresie daktyloskopowym, pozwala na szybkie i dokładne pomiary *in-situ*, bez konieczności dodatkowego transportu i przygotowywania próbek do analizy laboratoryjnej. Tego typu systemy czujników fotonicznych mogą zostać rozmieszczone w formie sieci pokrywającej duże obszary, pozwalając np. na szybką reakcję w przypadku wykrycia zanieczyszczeń środowiska. Realizacja systemów spektrometrycznych w tym zakresie spektralnym jest problematyczna w porównaniu do zakresów ultrafioletu (UV), widzialnego (VIS) czy bliskiej podczerwieni (NIR), z uwagi na konieczność wykorzystywania niestandardowych materiałów optycznych oraz komponentów optoelektronicznych.

W niniejszej pracy zostały przedstawione wyniki prac badawczych nad opracowaniem miniaturowego, przenośnego układu spektrometrycznego pracującego w zakresie 3–12  $\mu\text{m}$ , służącego jako element składowy systemu detekcji gazów. Sercem układu jest spektralnie selektywny fotoniczny układ scalony (*photonic integrated circuit* - PIC), bazujący na platformie Ge-on-Si ([2]). Falowody wyjściowe fotonicznego układu scalonego są sprzęgnięte krawędziowo z linijką detektorów. W ramach prac przetestowane zostały dwa rodzaje odczytu, chłodzona 16-kanalowa linijka supersieciowych detektorów kaskadowych InAs/InAsSb [3] i niechłodzona 32-kanalowa linijka detektorów HgCdTe [4]. Sygnały z linijek były przetwarzane i zbierane za pomocą dedykowanego układu elektronicznego, składającego się z dwustopniowego wzmacniacza 16/32-kanalowego i multipleksowanego przetwornika analogowo-cyfrowego. Układ pozwala na detekcję obecności i stężenia badanego gazu na podstawie zmian sygnału na poszczególnych detektorach.

Układ PIC został zaprojektowany w dwóch konfiguracjach, w obu przypadkach zawierających (*arrayed waveguide grating*), pozwalających na pracę w dwóch zakresach spektralnych, obejmujących pasma absorpcyjne analizowanych gazów, tzn. 3–5  $\mu\text{m}$  i 7–12  $\mu\text{m}$ , dla gazów testowych - metanu (ok. 3,3  $\mu\text{m}$ ), formaldehydu (ok. 3,57  $\mu\text{m}$  oraz acetaldehydu (ok. 9  $\mu\text{m}$ ).

## Finansowanie

Prace zostały sfinansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w projektach MIRPIC (TECHMATSTRATEG-III/0026/2019-00) i HyperPIC (FENG.02.10-IP.01-0005/23, IPCEI ME/CT).

## Literatura

- [1] Smith JG (2011). Chapter 13 Mass Spectrometry and Infrared Spectroscopy in Organic chemistry (3rd ed.); Hodge T, Nemmers D, Klein J Eds.; New York, NY: McGraw-Hill. pp. 463–488
- [2] Photonic Integrated Circuits technologies for MIDIR (MIRPIC) <https://vigophotonics.com/about-us/rd-projects/techmatstrateg/>
- [3] J. Jureńczyk, Ł. Kubiszyn, K. Michalczewski, and J. Piotrowski, Commercialization readiness of HOT LWIR detectors based on InAs/InAs<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub> T2SL at VIGO System SA in Physics and Simulation of Optoelectronic Devices XXIX, vol. 11680 (SPIE, 2021), pp. 202–210.
- [4] Multielement detectors and modules – MCT / InAsSb <https://vigophotonics.com/products/product-development/multielements-devices/>