

Kształtowanie wiązek w terahercowych układach optycznych użytych do konkretnych zastosowań

M. Kaluża¹, M. Surma¹, P. Komorowski², A. Nieradka¹, A. Siemion^{1,†}

¹Wydział Fizyki, Politechnika Warszawska, Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

² Instytut Optoelektroniki, Wojskowa Akademia Techniczna, gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa

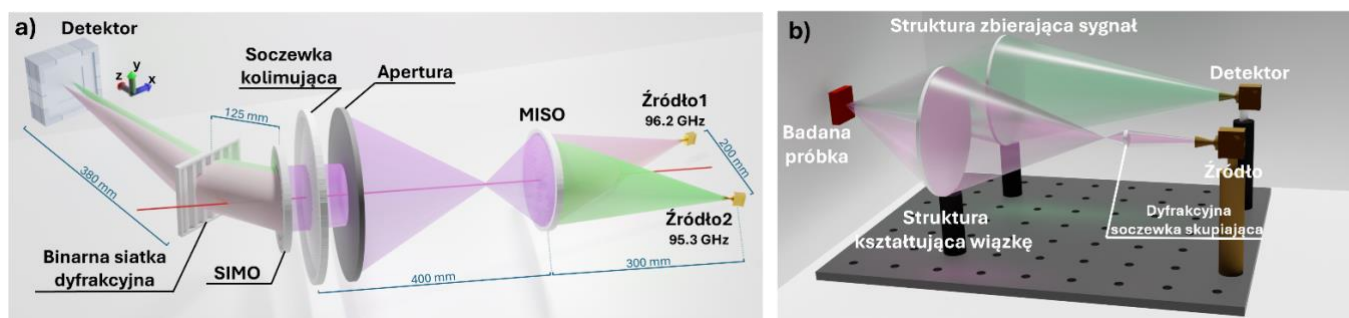
†email: agnieszka.siemion@pw.edu.pl

W ostatnich latach technologie terahercowe (THz) znajdują najbardziej obiecujące zastosowania w dziedzinach takich jak telekomunikacja czy diagnostyka medyczna [1,2]. Zastosowania te wymagają precyzyjnego kształtowania wiązek optycznych, co możliwe jest dzięki dedykowanym dyfrakcyjnym elementom optycznym (DOE), które umożliwiają formowanie THz frontów falowych i realizację zaawansowanych układów optycznych [3].

Projektowanie zaawansowanych DOE odbywa się przy użyciu algorytmów iteracyjnych oraz metod opartych na sieciach neuronowych, co umożliwia dowolne kształtowanie rozkładu natężenia i fazy sygnału THz [4]. Dzięki technologii druku przestrzennego, takich jak FDM (*ang. fused deposition modeling*) czy SLS (*selective laser sintering*), możliwe jest wytwarzanie DOE w wysokiej rozdzielczości względem długości fali THz. Wykorzystanie odpowiednich materiałów polimerowych zapewnia właściwości optyczne wytworzonych struktur porównywalne z komercyjnie dostępnymi soczewkami THz [5].

W niniejszej pracy przedstawiono THz układy optyczne, oparte na DOE, dedykowane konkretnym zastosowaniom w telekomunikacji i obrazowaniu biomedycznym. W pierwszym przypadku DOE realizują przestrzenną multipleksację i demultipleksację sygnałów THz w systemach typu MIMO (*ang. multiple-input multiple-output*). DOE łączą promieniowanie z wielu źródeł w pojedynczy kanał optyczny oraz separują je w wolnej przestrzeni, co zwiększa pojemność łączny telekomunikacyjnych. Połączenie funkcjonalności multipleksacji przestrzennej i częstotliwościowej umożliwia efektywne przesyłanie sygnałów w pojedynczym kanale optycznym nawet przy separacji spektralnej sygnałów rzędu 0,9 GHz [6]. Wdrożenie tego typu rozwiązań pozwoli na dalszy rozwój przyszłych technologii telekomunikacyjnych, takich jak sieci 6G. Schemat układu do multipleksacji i demultipleksacji przestrzennej promieniowania THz do zastosowań telekomunikacyjnych zaprezentowano na Rysunku 1a.

Inny projekt DOE posłużył do zbudowania systemu skanującego do diagnostyki medycznej, do obrazowania nowotworów skóry [7]. Technologia THz umożliwia bezinwazyjną analizę struktur tkankowych, co pozwala na wykrywanie zmian nowotworowych. Precyzyjna manipulacja wiązką promieniowania THz za pomocą DOE gwarantuje optymalizację procesu obrazowania, zmniejszając rozmiary układu optycznego jednocześnie zachowując odpowiedni kontrast uzyskiwanych obrazów. Na Rysunku 1b zilustrowano schemat układu skanującego do obrazowania nowotworów skóry.



Rysunek 1: a) Schemat układu do multipleksacji i demultipleksacji przestrzennej promieniowania THz; b) schemat układu do obrazowania nowotworów skóry.

Literatura

- [1] A. Shafie, N. Yang, C. Han, J. M. Jornet, M. Juntti, and T. Kurner, *IEEE Network* **37**, 162 (2023).
- [2] Z. Yan, L.-G. Zhu, K. Meng, W. Huang, and Q. Shi, *Trends in Biotechnology* **40**, 816 (2022).
- [3] A. Siemion, *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves* **40**, 477 (2019).
- [4] P. Komorowski, M. Kurowska, M. Kaluza, P. Czerwińska, P. Zagrajek, and A. Siemion, *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology* **14**, 228 (2024).
- [5] M. Kaluza, M. Surma, P. Komorowski, M. Walczakowski, and A. Siemion, in *2022 47th International Conference on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves (IRMMW-THz)*, (2022).
- [6] M. Kaluza, P. Komorowski, A. Nieradka, P. Zagrajek, and A. Siemion, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, (2025), Early Access.
- [7] A. Siemion, P. Komorowski, M. Surma, I. Ducin, P. Sobotka, M. Walczakowski, and E. Czerwińska, *Optics Express* **28**, 715 (2020).