

Obrazowanie mikroskopowe pomiędzy ośrodkami rozpraszającymi

M. Rogalski^{1†}, YS. Baek², HB. de Aguiar², S. Gigan², M. Trusiak¹

¹Instytut Mikromechaniki i Fotoniki, Politechnika Warszawska, Św. A. Boboli 8., Warszawa 02-525, Polska

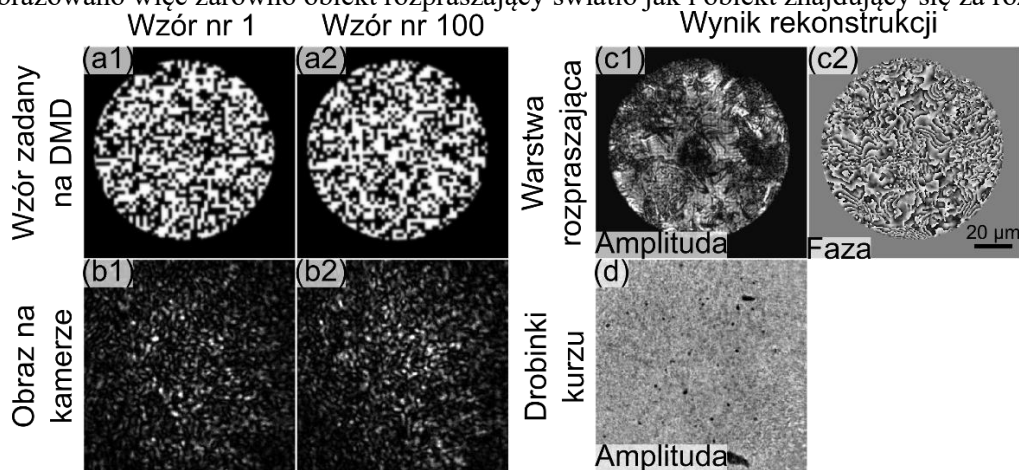
²Laboratoire Kastler Brossel, ENS–Université PSL, CNRS, Sorbonne Université, Collège de France, 24 Rue Lhomond, F-75005 Paris, France

†email: mikolaj.rogalski@pw.edu.pl

Mikroskopia optyczna jest techniką pozwalającą na zobrazowanie badanej próbki ze zwiększoną rozdzielczością i powiększeniem względem obrazowania ludzkim okiem. Jednym z największych wyzwań stojących obecnie przed obrazowaniem mikroskopowym jest obrazowanie obiektów znajdujących się wewnątrz ośrodków silnie rozpraszających światło (lub obiektów będących takimi ośrodkami). Spośród technik mikroskopowych umożliwiających obrazowanie takich obiektów można wymienić, m.in., optyczną tomografię koherencyjną (OCT) [1] czy mikroskopię dwufotonową [2]. Techniki te są jednak ograniczone, m.in., pod względem rozdzielczości obrazowania (OCT) czy konieczności znakowania fluorescencyjnego (mikroskopia dwufotonowa).

Wraz z rozwojem mocy obliczeniowej komputerów narodziła się nowa gałąź mikroskopii – mikroskopia obliczeniowa. Bazuje ona na wykorzystaniu zaawansowanych algorytmów w celu poprawy dokładności, kontrastu czy rozdzielczości obrazowania. Mikroskopia obliczeniowa zaczyna znajdować też zastosowanie do obrazowania wewnątrz ośrodków silnie rozpraszających [3].

Niniejsza praca przedstawia metodę pozwalającą na obrazowanie próbki znajdującej się za warstwą silnie rozpraszającą światło. W zaproponowanym układzie badaną próbką jest warstwa rozpraszająca – matowa szklana płytką wytworzona przy pomocy piaskowania. Próbka wstawiona jest około 250 μm poza płaszczyznę ostrości układu mikroskopu a następnie oświetlana przy pomocy 100 różnych wzorów wytworzonych przy pomocy matrycy DMD (Rys. 1(a)) oraz lasera ($\lambda = 532 \text{ nm}$). Zebrane obrazy zawierają tzw. wzory plamkowe, które pozornie wydają się nie zawierać żadnej wartościowej informacji (Rys. 1(b)). Wzory te wynikają jednak ściśle z wyświetlanych wzorów na matrycy DMD, zespolonego pola optycznego próbki, a także funkcji przenoszenia układu optycznego. Znając więc rozkład wyświetlanych wzorów oraz geometrię układu optycznego można w pełni odzyskać zespolone pole optyczne warstwy rozpraszającej (Rys. 1(c)) – w niniejszej pracy zostało to osiągnięte przy pomocy algorytmów rekonstrukcji ptychograficznej [4]. Co ciekawe, algorytm ten pozwala na zobrazowanie różnych płaszczyzn wewnątrz objętości próbki. Dla zebranych danych zrekonstruowano również płaszczyznę oddaloną o 88 μm od płaszczyzny ostrości zawierającą drobinki kurzu znajdujące się na jednym z elementów optycznych (Rys. 1(d)). W ten sposób zobrazowano więc zarówno obiekt rozpraszający światło jak i obiekt znajdujący się za rozpraszaczem.



Rysunek 1. Wzory zadane na DMD (a), zarejestrowane obrazy na kamerze (b), wynik rekonstrukcji warstwy rozpraszającej (c) oraz wynik rekonstrukcji warstwy obiektu (d)

Podziękowania i źródła finansowania

Praca była finansowana z projektu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (LIDER14/0329/2023)

Literatura

- [1] D. Huang, et al., *Science* 254, 1178 (1991).
- [2] F. Helmchen and W. Denk, *Nat. Methods* 2, 932 (2005).
- [3] O. Haim, J. Boger-Lombard, and O. Katz, *Nat. Photonics* 19, 44 (2025).
- [4] J. Rodenburg and A. Maiden, in *Springer Handbook of Microscopy*, P. W. Hawkes and J. C. H. Spence, eds. (Springer International Publishing, 2019), pp. 819–904.