

Interferometr Linnika – praktyczne możliwości w QPI

M. Jóźwik^{1,†}, P. Zdańkowski, M. Cywińska, E. Wdowiak, M. Trusiak

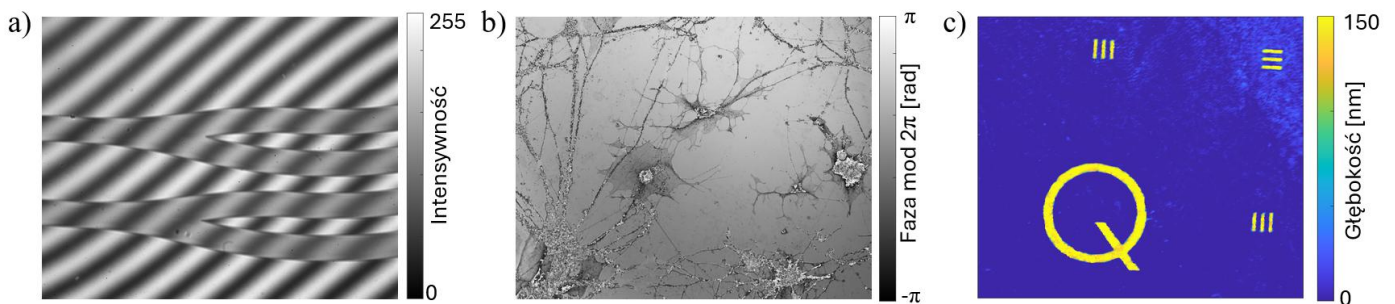
¹Wydział Mechatroniki, Politechnika Warszawska, ul. św. A. Boboli 8, 02-525 Warszawa

†email: michal.jozwik@pw.edu.pl

Ilościowa mikroskopia fazowa (QPI) [1] opiera swoje działanie na rejestracji i przetwarzaniu obrazów interferencyjnych/hologramów niosących informację o badanym obiekcie. W zależności od możliwości rejestracji i konfiguracji układu pomiarowego obraz lub seria obrazów jest poddawana dalszej demodulacji fazy z wykorzystaniem różnych technik analizy interferogramów: jednoramkowych (np. transformacji Fouriera (FT) [2]) lub wieloramkowych (np. czasowej dyskretnej zmiany fazy (TPS) [3]).

Interferometr Linnika jest jednym z klasycznych systemów metrologicznych do precyzyjnych, bezkontaktowych pomiarów topografii powierzchni obiektów technicznych, który ponownie zyskuje zainteresowanie [4]. Wyróżnia się on symetryczną budową ramion – w torze pomiarowym i referencyjnym znajdują się identyczne obiektywy mikroskopowe. Zapewnia to podobne warunki propagacji światła w obu ramionach i umożliwia pracę w dużych powiększeniach. Dodatkowo, dzięki swojej symetrii, zapewnia wyższą rozdzielczość przestrzenną w porównaniu do innych interferometrów [4]. Nie bez znaczenia jest też praktyczny aspekt: łatwa modyfikacja powiększenia poprzez zmianę pary obiektywów. Drugą istotną cechą jest możliwość zastosowania w nim źródeł światła o niskiej koherencji, (lampy halogenowe, diody LED), co przekłada się na zwiększony stosunek sygnału do szumu w rejestrowanych interferogramach (eliminuje problem plamkowania i interferencji niezwiązanych z badaną próbką) [6]. Symetryczna konstrukcja niweluje aberracje chromatyczne i w rezultacie pozwala na uzyskanie wysokiego kontrastu interferencji i minimalizację artefaktów. Zapewnia to wysoką globalną jakość wyników i nieosiągalną dla źródeł laserowych rozdzielczość poosiową pomiaru [7].

Niniejsza praca przedstawia własną konstrukcję interferometru Linnika opartą na źródle LED ($\lambda=635\text{nm}$, $\Delta\lambda=15\text{nm}$) i obiektywach NIKON PLAN APO λD 40x/0.95. Zaprezentowane wyniki demonstrują potencjał interferometru Linnika w ilościowej mikroskopii fazowej oraz jego praktyczne zastosowania w badaniu różnych powierzchni, od nanostruktur technicznych po komórki biologiczne. W odróżnieniu od klasycznych podejść QPI, interferometr Linnika pozwala na wysokorozdzielcze pomiary w trybie odbiciowym (dla pomiaru płaskiego obiektu referencyjnego bez filtracji danych: min-max w profilu = 8,5 nm, średnie arytmetyczne odchylenie od linii średniej = 1,19 nm) stając się konkurentem dla metod detekcji konfokalnej. Poza tym urządzenie służy jako eksperymentalna platforma testowa do prowadzenia pomiarów na trudnych obiektach i badań zastosowania zaawansowanych algorytmów przetwarzania obrazów prążkowych.



Rysunek 1: Przykładowe wyniki pomiarów: a) interferogram z pomiaru falowodów, b) faza mod 2π obiektu biologicznego, c) pomiar fazowego testu rozdzielczości (sekcja Q, 3,88 μm) o głębokości 140 nm.

Podziękowania i źródła finansowania

Projekt nr WPC3/2022/47/INTENCITY/2024 finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach III konkursu na wspólne projekty badawcze w ramach współpracy polsko-chińskiej (2022).

Literatura

- [1] T. L. Nguyen, S. Pradeep, R. L. Judson-Torres, J. Reed, M. A. Teitell, T. A. Zangle, *ACS Nano* **16** (8), 11516 (2022).
- [2] M. Takeda, H. Ina, S. Kobayashi, *J. Opt. Soc. Am.* **72**, 156 (1982).
- [3] R. Juarez-Salazar, C. Mendoza-Rodriguez, J.E. Hernandez-Beltran, C. Robledo-Sanchez, *Eur. J. Phys.* **39** (6), 065302 (2018).
- [4] S. V. Anishchik, M. Dantus, *J. Opt.* **26** 115602 (2024).
- [5] P. Kühnhold, W. Xie, P. Lehmann, *Proc. SPIE* 8788, 87882G (2013).
- [6] A. Ahmad, P. Gocłowski, V. Dubey, M. Trusiak, B.S. Ahluwalia, *Scientific Reports* **14**, 9191 (2024).
- [7] M. Rogalski, M. Cywińska, A. Ahmad, K. Patorski, V. Micó, B.S. Ahluwalia, M. Trusiak, *Optics Letters* **47**, 5793 (2022).