

Wykorzystanie algorytmów wnioskowania Bayesowskiego w jednoramkowych interferometrycznych pomiarach nanometrowych struktur półprzewodnikowych

D. Suski^{1,†}, M. Cywińska², J. Winnik², P. Zdańkowski², M. Józwik², M. Trusiak^{2,†}

¹Instytut Automatyki i Robotyki, Wydział Mechatroniki, Politechnika Warszawska,
ul. Św. Andrzeja Boboli 8, 02-525 Warszawa

²Instytut Mikromechaniki i Fotoniki, Wydział Mechatroniki, Politechnika Warszawska,
ul. Św. Andrzeja Boboli 8, 02-525 Warszawa

†email: damian.suski@pw.edu.pl, maciej.trusiak@pw.edu.pl

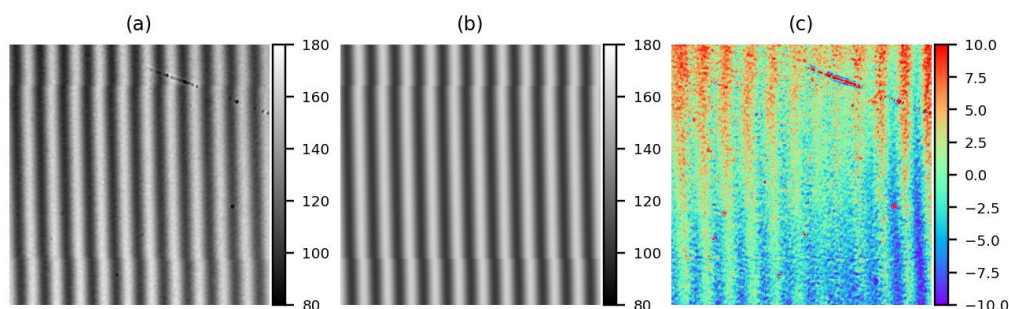
Nanometrologia stanowi kluczowe narzędzie w kontroli procesów produkcji struktur półprzewodnikowych. Techniki interferometrii o szerokim polu widzenia stanowią opłacalną, nieniszczącą metodę pomiarów geometrii takich struktur, tworząc atrakcyjną alternatywę dla tradycyjnych technik pomiarów takich jak mikroskopia sił atomowych czy mikroskopia elektronowa [1-3].

W ramach prowadzonych prac zaproponowano wykorzystanie algorytmów wnioskowania Bayesowskiego w pomiarach geometrii obiektów o rozmiarach rzędu nanometrów (np.: falowody), na podstawie pojedynczego interferogramu zarejestrowanego w szerokim polu widzenia. Takie podejście eliminuje konieczność stosowania w pomiarach czasochłonnego i kosztownego skanowania takiego jak w mikroskopii sił atomowych.

Wykorzystany algorytm wnioskowania Bayesowskiego wyznacza nie tylko optymalne wartości parametrów geometrycznych obiektu (np.: wysokość, szerokość, orientacja struktury schodkowej), ale także rozkłady prawdopodobieństwa tych parametrów [4,5]. Pozwala to na łatwą ocenę niepewności pomiarów i wyznaczenie przedziałów ufności pomiarów bezpośrednio na podstawie wyników działania algorytmu. Danymi wejściowymi dla zastosowanego algorytmu wnioskowania Bayesowskiego są model geometryczny obiektu wraz z zakładanymi tolerancjami (np.: wynikającymi z projektu struktury) oraz pojedynczy interferogram stanowiący wynik pomiaru. Wartość prawdopodobieństwa przypisywana wektorom parametrów zależy od stopnia dopasowania teoretycznego obrazu prążkowego generowanego przez obiekt o zadanych parametrach i zarejestrowanego obrazu prążkowego.

Dotychczasowe wyniki badań wskazują na wysoką czułość metody, odporność na szумы pomiarowe i inne błędy wynikające ze specyfiki pomiaru (np.: nieczystość optyki rejestrującej) oraz nieciągłości obrazu prążkowego, charakterystyczne dla schodkowych struktur półprzewodnikowych.

Na Rysunku 1 przedstawiono wyniki dopasowania obrazu prążkowego zarejestrowanego dla testowego obiektu schodkowego o certyfikowanej wysokości $15 \pm 1 \text{ nm}$. Optymalne wartości parametrów zostały obliczone jako średnie z rozkładów prawdopodobieństwa parametrów, wyznaczonych przez algorytm wnioskowania Bayesowskiego. Zmierzona wysokość schodka wynosi $14.89 \pm 0.14 \text{ nm}$ i mieści się w zadanej tolerancji.



Rysunek 1: Wyniki dopasowania obrazu prążkowego dla testowego obiektu schodkowego o certyfikowanej wysokości $15 \pm 1 \text{ nm}$ (a) zarejestrowany obraz prążkowy w skali szarości, (b) dopasowany obraz prążkowy w skali szarości, (c) mapa różnic pomiędzy dopasowanym a zarejestrowanym obrazem prążkowym.

Podziękowania i źródła finansowania

Źródło finansowania badań: Projekt Preludium BIS 2022/47/O/ST7/02360 finansowany przez Narodowe Centrum Nauki (Polska)

Literatura

- [1] W. Osten, R. Kowarschik, Y. Bai, *Light: Advanced Manufacturing* **3**(4) 627 (2022).
- [2] C. Zuo, J. Qian, S. Feng, W. Yin, Y. Li, P. Fan, J. Han, K. Qian, Q. Chen, *Light: Science & Applications* **11**, 39 (2022).
- [3] P. de Groot, *Advances in Optics and Photonics* **7**, 1 (2015).
- [4] E. Higson, W. Handley, M. Hobson, A. Lasenby, *Statistics and Computing* **29**, 891 (2018).
- [5] J.S. Speagle, arXiv:1904.02180 (2020).