

## Projekty strategiczne Samodzielnego Laboratorium Długości Głównego Urzędu Miar

### Strategic projects of the Length Laboratory of the Central Office of Measures

Dariusz Czulek (Główny Urząd Miar)

Omówiono dwa projekty strategiczne realizowane w Samodzielnym Laboratorium Długości: „Udział w projekcie wykorzystania mikroukładów elektromechanicznych do zapewnienia wzorców wymiarów dla użytkowników mikroskopów bliskich oddziaływań i mikroskopów elektronowych” oraz „Udział w projekcie opracowania polskiego kompaktowego laserowego wzorca długości/częstotliwości – elementu składowego interferometru dla celów przemysłowych”.

Two strategic projects realized in the Length Laboratory was discussed: “Participation in the project of using MEMS to provide dimensional standards for users of atomic force microscopes” and “Participation in the project of developing a Polish compact laser length / frequency standard – a part of the interferometer for industrial purposes”.

### Wprowadzenie

Działania Samodzielnego Laboratorium Długości Głównego Urzędu Miar na rzecz zagwarantowania zdolności pomiarowych niezbędnych dla zapewnienia rozwoju gospodarki oraz odpowiedniego poziomu jakości życia w Polsce zmierzają m.in. w kierunku podejmowania prac nad tworzeniem nowych wzorców pomiarowych. Nowe stanowiska pomiarowe oraz wzorce odniesienia pozwalają osiągnąć mniejszą niepewność, a tym samym poprawiają dokładność pomiaru.

### Konsultacyjne Zespoły Metrologiczne

Z inicjatywy Prezesa Głównego Urzędu Miar, w roku 2017, w celu zapewnienia stałego dialogu z zewnętrznymi środowiskami gospodarczymi i eksperckimi w określaniu strategicznych priorytetów działania GUM oraz identyfikacji potrzeb polskiego państwa i gospodarki narodowej, oraz określenia zadań stojących przed nowoczesnie zorganizowaną krajową instytucją metrologiczną, powołane zostały Konsultacyjne Zespoły Metrologiczne. Są to ciała doradcze, w skład których wchodzi osoby związane zarówno z przemysłem, jak i ze światem nauki. Główne oczekiwania, związane z powołaniem zespołów, dotyczy nie tylko ich zaangażowania w powstanie strategii rozwoju polskiej metrologii, ale też wymiany doświadczeń i integracji środowiska metrologicznego, a przede wszystkim korzyści dla polskiej gospodarki.

Przywołane w streszczeniu tematy realizowanych projektów powstały w wyniku prac Konsultacyjnego Zespołu Metrologicznego ds. infrastruktury i zastosowań

specjalnych, w szczególności grupy roboczej ds. nanotechnologii (poruszane zagadnienia: m.in. wzorce dla mikroskopów bliskich oddziaływań i mikroskopów elektronowych) oraz ds. technologii laserowych (poruszane zagadnienia: m.in. laserowe wzorce dla interferometrii, pomiary i stanowiska interferometryczne).

### Udział w projekcie wykorzystania mikroukładów elektromechanicznych do zapewnienia wzorców wymiarów dla użytkowników mikroskopów bliskich oddziaływań i mikroskopów elektronowych

Rosnąca miniaturyzacja, a tym samym liczba użytkowników mikroskopów bliskich oddziaływań, powoduje konieczność udoskonalenia, a nawet wynalezienia oraz wytworzenia nowych wzorców odniesienia w skali nano.

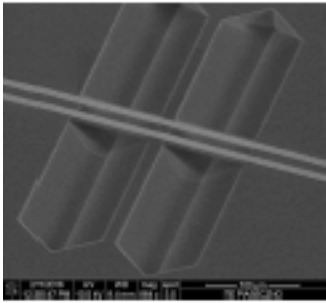
Projekt, którego głównym inicjatorem, a zarazem liderem jest Politechnika Wrocławska, a wykonawcą Instytut Technologii Elektronowych, przewiduje zastosowanie nowej koncepcji dla wzorców mikroskopów bliskich oddziaływań. Wzorec odniesienia oparty będzie na strukturze MEMS [1, 2]. Zasada działania oraz zastosowania polega na umieszczeniu mikromostka w stałym polu magnetycznym  $B$ . Podczas przepływu prądu o natężeniu  $I$  przez mikromostek wygenerowana zostanie siła Lorentza:

$$\vec{F}_L = \vec{I}(l \times \vec{B})$$

Efekt ten spowoduje ugięcie się belki mikromostka prostopadle do jej długości  $l$  o kierunku działającego pola magnetycznego. W takim przypadku możliwe jest



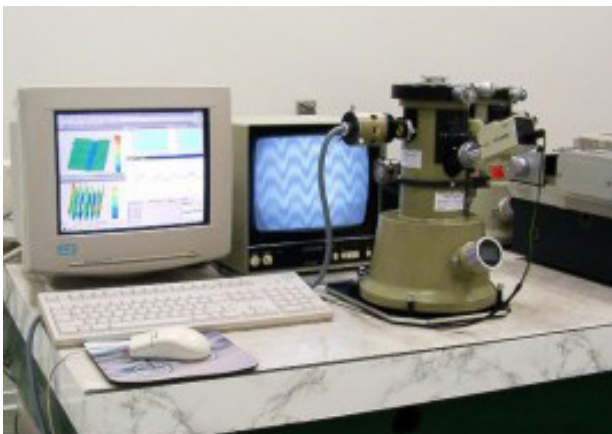
przewidywanie oraz kontrola odkształcenia mikromostka, a tym samym zastosowanie go jako wzorca odniesienia (rys. 1).



Rys. 1. Badania mikromostka produkowanego przez ITE

Do wstępnego eksperymentu zastosowano Mikrointerferometr MII-4, który w Samodzielnym Laboratorium Długości pełni funkcję wzorca odniesienia jednostki miary chropowatości powierzchni. Stanowisko pomiarowe służy do odtwarzania i przekazywania jednostki miary, zgodnie ze schematem spójności pomiarowej oraz do zapewnienia spójności z wzorcami międzynarodowymi, przy porównaniach międzynarodowych. Zautomatyzowany mikrointerferometr dwupromieniowy Linnika (typ MII-4) bazuje na zasadzie działania interferometru Michelsona, lecz jest zaprojektowany i dostosowany do pomiarów w dużym powiększeniu (ok. 500 razy). Stanowisko pomiarowe umożliwia pomiar głębokości nierówności/wysokości schodka oraz następujących parametrów chropowatości:  $Ra$ ,  $Rp$ ,  $Rv$ ,  $Rm$  (odpowiednik  $Ry$ ),  $Rz$  oraz  $RSm$ . Średnica pola widzenia przyrządu, a co za tym idzie maksymalna długość odcinka pomiarowego zastosowanego do pomiaru, wynosi 0,3 mm.

Układ pomiarowy pokazany został na rys. 2 i składa się z mikrointerferometru MII-4 oraz kamery CCD połączonej z komputerem wraz z systemem akwizycji danych. System pomiarowy docelowo stosowany jest do wzorcowania następujących wzorców:

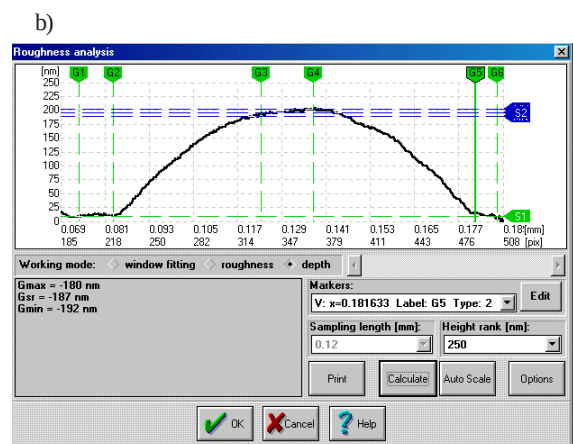
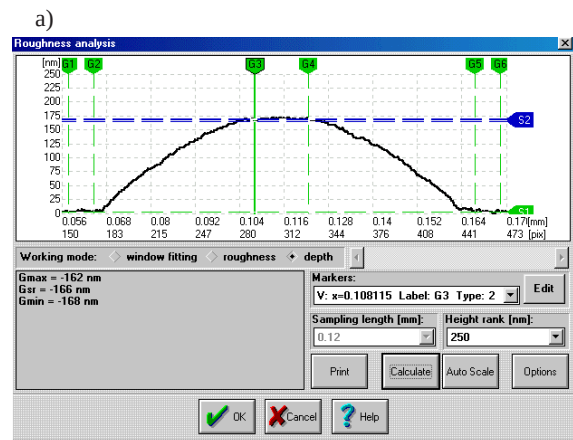


Rys. 2. Mikrointerferometr MII-4

- głębokości nierówności lub wysokości schodka (wzorców typu A1 i A2 wg PN-EN ISO 5436-1) w zakresie wysokości nierówności wysokości  $h \leq 1$  mm,
- stanu ostrza (np. wzorców chropowatości typu B1, należących do grupy B wg PN-EN ISO 5436-1) w zakresie parametru  $d \leq 1$  mm,
- geometrycznych (wzorców typu C1, C2, C3 i C4 w PN-EN ISO 5436-1, zwanych inaczej wzorcami odstępów).

Podczas pomiaru zastosowano ww. układ pomiarowy z wzorcową długością fali  $\lambda = 536,9$  nm oraz zakresem pomiarowym  $1 \mu\text{m}$ . Pomiary zostały wykonane poprzez zarejestrowanie pięciu obrazów interferencyjnych przesuniętych względem siebie w fazie o  $\pi/2$ . Przesunięcie realizowane było za pomocą automatycznie kontrolowanego elementu piezoelektrycznego. Zarejestrowany obraz 3D został przeanalizowany za pomocą dedykowanego oprogramowania komputerowego. Poniżej zaprezentowano wstępne wyniki pomiarów.

Otrzymane wyniki pomiarów pozwalają zaobserwować różnicę w ugięciu belki mikromostka przy różnym natężeniu przepływającego prądu (rys. 3). Pokazują też jednak duży wpływ efektu termicznego w zastosowanej



Rys. 3. Wyniki pomiarów dla:  $I = 0$  mA (a),  $I = 3$  mA (b)

metodzie pomiarowej. Efekt ten może zostać zminimalizowany za pomocą odpowiedniej optymalizacji konstrukcji mikromostka.

### Udział w projekcie opracowania polskiego kompaktowego laserowego wzorca długości/częstotliwości – elementu składowego interferometru dla celów przemysłowych

Z listy rekomendowanych źródeł promieniowania świetlnego najbardziej rozpowszechnione w praktyce i stosowane, przy realizacji jednostki długości, są lasery gazowe He-Ne o długości fali promieniowania 633 nm i He-Ne o długości fali promieniowania 532 nm, lampy kadmowe  $^{114}\text{Cd}$  (stosowane w pomiarach interferencyjnych), a obecnie również syntezery (grzebień) częstotliwości optycznych [3].

Tendencja rozwoju nowych opracowań podąża w kierunku wykorzystania i rozpowszechnienia syntezerów częstotliwości, w celu realizowania szerokiej gamy pomiarów w pracach badawczych instytucji metrologicznych, a dotyczących pomiarów kwantowych źródeł promieniowania oraz realizowania usług metrologicznych dla wielu dziedzin gospodarki, jak medycyna, wojsko, przemysł telekomunikacyjny, spektroskopia itp.

Rosnące zapotrzebowanie przemysłu wymusza na producentach tworzenie kompaktowych, wytrzymałych oraz przyjaznych dla użytkowników stabilizowanych laserów metrologicznych nowej generacji. Z inicjatywy polskiej firmy Lasertex Sp. z o.o. oraz przy współudziale Wojskowej Akademii Technicznej powstał pomysł stworzenia nowego wzorca odniesienia. Celem projektu jest opracowanie autonomicznego, zasilanego bateryjnie

źródła laserowego dla interferometru pomiarowego do badania geometrii maszyn. Do realizacji wybrane zostanie źródło promieniowania laserowego, pracujące w paśmie 532 nm. Elementem projektu jest również opracowanie narzędzi dla technologii fotonicznych w paśmie 532 nm, w celu umożliwienia rozwoju tej techniki. W ramach projektu opracowane zostaną: system wzorcowy do wzorcowania częstotliwości pracy lasera oraz autonomiczne źródło dla interferometru laserowego w paśmie 532 nm. Oczekiwana stabilność częstotliwości opracowanego źródła będzie na poziomie  $10^{-10}$ , a moc rzędu pojedynczych mW. Dzięki autonomicznemu zasilaniu i małemu poborowi energii możliwe będzie mocowanie lasera bezpośrednio w przestrzeni roboczej badanej maszyny i wykorzystanie prostej konfiguracji pomiarowej. Opracowana głowica interferometru wyznaczy nową jakość na rynku precyzyjnych urządzeń pomiarowych do badań geometrii maszyn.

Podstawowym zadaniem Samodzielnego Laboratorium Długości GUM w ramach projektu będzie stworzenie stanowiska pomiarowego do badań stabilizowanych laserów w paśmie 532 nm, w początkowej fazie projektu o stabilności częstotliwości  $10^{-7}$ , a w końcowej na poziomie  $10^{-10}$ . Układ pomiarowy stworzony zostanie na bazie państwowego wzorca jednostki miary długości, synteza częstotliwości optycznych.

Opracowany układ oraz metoda pomiaru częstotliwości w paśmie 532 nm umożliwi wielokrotne badania laserowego wzorca częstotliwości dla podanej długości fali. W Laboratorium Długości wyznaczona zostanie stabilność częstotliwości i mocy, odtwarzalność długości fali, czas stabilizacji po włączeniu, czas stabilnej pracy (w warunkach laboratoryjnych oraz w warunkach zbliżonych do przemysłowych). Wykonane zostaną badania krótko-



Rys. 4. Syntezator częstotliwości optycznych (pierwotny wzorzec długości)

oraz długoterminowe, w wyniku których potwierdzone zostaną charakterystyki metrologiczne nowego wzorca.

## Podsumowanie

Zadania poszczególnych Laboratoriów Głównego Urzędu Miar zostały opisane w czteroletnim planie strategicznym na lata 2018–2021. Laboratorium Długości GUM stara się aktywnie uczestniczyć w pracach badawczych, wynikających z inicjatywy środowisk polskiej gospodarki, co pokazuje zaangażowanie w opisane powyżej projekty naukowe. Udział w projektach naukowych umożliwia dodatkowo rozwój istniejących stanowisk pomiarowych, zwiększenie zdolności pomiarowych oraz poprawienie jakości oferowanych usług.

## Literatura

- [1] Dziomba T., Koenders L., Wilkening G., Standardization in dimensional nanometrology: development of a calibration guideline for Scanning Probe Microscopy. Proc. SPIE 5965, Optical Fabrication, Testing, and Metrology II, 59650C (October 19, 2005);
- [2] Moczala M., Majstrzyk W., Sierakowski A., Dobrowolski R., Grabiec P., Gotszalk T., Metrology of electromagnetic static actuation of MEMS microbridge using atomic force microscopy. Micron 84 (2016), s. 1-6.
- [3] Quinn T. J., Practical realization of the definition of the meter, including recommended radiations of the other optical frequency standards (2001) – international report. Metrologia 40 (2003), s. 103-133.

Powyższy artykuł jest tekstem referatu (ze zmianami redakcyjnymi) przedstawionego na XIII konferencji naukowo-technicznej PPM'18, która odbyła się w dniach od 4 do 6 czerwca 2018 roku w Szczyrku.