

Nanometrologia prowadzona operacyjnymi przyrządami MEMS

mgr. inż. Bartosz Pruchnik

Promotor: prof. dr hab. inż. Teodor Gotszalk

Nanometrologia jest jakościowo odmienną częścią Metrologii. Jej zadaniami są obserwacje zjawisk występujących w nanoskali oraz poszukiwania wielkości im adekwatnym. Ambicje te powiązane są ze sobą, a znajdują połączenie w specjalizowanych narzędziach do badań w nanoskali, którymi są i powinny być mikrosystemy elektromechaniczne – MEMS-y.

Celem działań opisanych w rozprawie jest opracowanie technologii operacyjnych przyrządów MEMS, których funkcję pomiarową ustalałaby zagnieżdżona i mierzona struktura. Potrzeba rozwoju takich technologii wynika z faktu, że makroskopowe rozwiązania metrologiczne nie zapewniają wglądu w szereg zjawisk kwantowych. Należą do nich m.in. wszelkiego typu zjawiska tunelowania nośników w nanostrukturach, które mogą mieć nadzwyczaj atrakcyjny wymiar aplikacyjny. Do zjawisk takich należy m. in. efekt Nottinghama, czyli zmiany termiczne w katodzie towarzyszące emisji polowej.

W pracy proponowane jest wprowadzenie opMEMS-a jako uniwersalnego przyrządu do pomiarów nanometrologicznych. opMEMS składa się z ruchomej platformy MEMS tak ukształtowanej, żeby łączyć sygnałowo, ale separować w dowolnym innym znaczeniu umieszczoną wewnątrz niego nanostrukturę. Obszar umieszczenia nanostruktury musi być uformowany odpowiednio do jej wymiarów oraz posiadać kontakty elektryczne – a nazywany jest obszarem zainteresowania.

Opisany został pełen cykl projektowy i produkcyjny opMEMS-ów, poczynając od założeń, przez syntezę kinematyczną i dynamiczną po technologię wykonania MEMS. Przedstawiono metodykę pomiarów właściwości platform opMEMS. Opisano kluczowe metody wytwarzania obszaru zainteresowania oraz precyzyjnej kontroli odległości. Przedstawiono metody umieszczania nanostruktur w obszarze zainteresowania. Całość zabiegów została spisana jako technologia opMEMS.

Integralnym elementem technologii opMEMS było zastosowanie bezpośredniej syntezy nanostruktur za pomocą osadzania wspomaganego zogniskowaną wiązką elektronów bądź jonów (FEBID bądź FIBID). Struktury FEBID/FIBID stosuje się najczęściej pomocniczo np. w wytwarzaniu lameli dla transmisyjnej mikroskopii elektronowej. Sam materiał FEBID/FIBID, który jest kompozytem nanoziaren Pt w osnowie węglowej, ma z racji swojej struktury nadzwyczaj atrakcyjne właściwości. Eksperymenty opisane w rozprawie pokazują, że osiągnięto biegłość w wytwarzaniu nanostruktur w postaci nanodrutów o średnicach od 20 nm i długościach do 2 μm . Opisano wpływ opMEMS-ów na eliminację pewnych wad FEBID-u, przede wszystkim obszarowego efektu aureoli, który lokalnie zwiększa przewodność powierzchniową i utrudnia pomiary elektryczne struktur wolnostojących.

Użyteczność opMEMS-ów została dowiedziona przez szereg pomiarów nanostruktur wytworzonych w technice FEBID. Zmierzono właściwości mechaniczne, w tym wytrzymałość na rozciąganie nanodrutów umieszczonych wewnątrz opMEMS-a. Wykonano pomiary rezystancji – dwu i czteropunktowe – oraz wyznaczono rezystywność materiału Pt(C). Ponadto wykazano brak zasadniczego wpływu rezystancji mocowania do podłoża materiału Pt(C) i – przez ekstrapolację – FEBID-u, czym rozwiązano toczoną w środowisku międzynarodowym dyskusję na ten temat.

Najistotniejszy wynik eksperymentów opisanych w rozprawie dotyczy pomiaru efektu Nottinghama, do tej pory niepokazany eksperymentalnie. Efekt ten, związany z emisją polową, polega na subtelnej zmianie ciepła emitera polowego w wyniku zmiany równowagi obsadzenia stanów elektronowych. Efekt zaobserwowano minimalizując pojemność cieplną emitera, wykonując jego i układ termistorowy w technice FEBID. Dzięki zaproponowanemu przez autora układowi pomiarowemu, dokonano pomiaru, w którym wykazano jednoczesność zmiany temperatury z prowadzeniem emisji polowej.

Przeprowadzone badania pokazują wszechstronność technologii opMEMS. Uważam, że wejdzie ona na stałe do praktyki laboratoryjnej ośrodków nanometrologicznych przez swoją uniwersalną naturę oraz wprowadzenie wysokiej skali integracji narzędzi pomiarowych i badanych nanostruktur.

Bartosz Pruchnik