

Streszczenie

Dwa z najbardziej istotnych parametrów w mikroskopii to uzyskiwane powiększenie i rozdzielczość. Szacunkowe wartości rozdzielczości oka to $100 \mu m$, mikroskopii optycznej $1 \mu m$, a elektronowej – nawet subnanometrowe. Wraz z powiększeniem rośnie jednak stopień złożoności, wymagania warunków pracy i cena przyrządu. Na tym tle dużą przewagę mają mikroskopy bliskich oddziaływań umożliwiając pracę z rozdzielczością atomową nawet w tzw. warunkach normalnych. Niezależnie od trybu działania i rodzaju mierzonych wartości, dane o próbce pozyskuje on jednak punkt po punkcie zazwyczaj za pomocą jednej sondy (skan rastrowy), czego konsekwencją jest kompromis między szybkością a jakością skanu.

Postęp elektroniki pozwala udoskonalać metody mikroskopii bliskich oddziaływań, jednocześnie stanowiąc dla niej nowe wyzwania: mierzone struktury mają coraz mniejsze wymiary i detale, a ilość zastosowań mikroskopii rośnie. Aby temu sprostać autor proponuje zastosowanie systemu typu „Human in the loop”, czyli zmianę interfejsu użytkownika i zaangażowanie operatora bezpośrednio w proces skanowania. Możliwe to jest przez wykorzystanie ludzkich zmysłów i zdolności do wykrywania obiektów, jako konsekwencji instynktu samozachowawczego i ostrożności przed zagrożeniami.

W pracy opracowano technikę skanowania z użyciem interfejsu haptycznego. W jej ramach zaprojektowano algorytm sterowania skanu nierastrowego, selektywnego, zgodnie z którym użytkownik operuje sondą bezpośrednio wskazując jej przesuw i odczuwając oddziaływania między sondą a próbką. Na jej potrzeby skonstruowano w pełni funkcjonalny manipulator haptyczny o 6 stopniach swobody i wielu typach oddziaływań oraz zintegrowano go z opracowanym sterownikiem mikroskopu bliskich oddziaływań. Oferuje on stosunek sygnału do szumu danych pomiarowych na poziomie do 133 dB , a cały system wraz z optyczną detekcją ugięcia do 128 dB (co przekłada się na szum na poziomie $1,29 V_{RMS}$). System funkcjonuje z zachowaniem cech pomiaru metrologicznego – pracuje w zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego i jest kalibrowany z użyciem wibrometru laserowego. Dodatkowo, w pracy zastosowano aktywne dźwignie aktuowane elektromagnetycznie (siłą Lorentza), dzięki którym możliwa jest precyzyjna kontrola siły kontaktu sondy pomiarowej.

W pracy zdefiniowane zostały założenia dla idealnego manipulatora, odpowiednika testu Turinga dla systemów haptycznych. W porównaniu do wcześniejszych realizacji prezentowanych w literaturze autor przedstawia odmienne podejście realizując w pełni sprzętowo implementację efektów haptycznych, co pozwala na ich symulację z częstotliwością 1 kHz i opóźnieniem maksymalnie 1 ms . Opracowany system może stanowić rozwinięcie mikroskopii bliskich oddziaływań znacząco zwiększając przepustowość tego typu systemów przy zachowaniu ich możliwości pomiarowych.

Bartosz Świątkowski