Zdolność obrazowania nanostruktur pełni kluczową rolę w dynamicznie rozwijających się dziedzinach nanoelektroniki, biologii molekularnej czy badań zasadniczych. Rozdzielczości mikroskopii bliskich oddziaływań pozwalają na realizację tych zadań, jednak osiągane zostają kresy fizycznych możliwości tych metod. Podobnie, jak w przypadku mikroelektroniki, która zbliża się do kresu obowiązywania prawa Moore'a, konieczne jest eksplorowanie metod pomiarowych wykorzystujących jeszcze bardziej czułe zjawiska fizyczne. Należy do nich tunelowanie pojedynczych elektronów w tranzystorze z kropkami kwantowymi (ang. QDT).

Projekt pt. „*Tranzystor z kropkami kwantowymi na sondzie: nowe ścieżki badania systemów kwantowych metodami mikroskopii bliskich oddziaływań – SQTMet*" ma na celu opracowanie nowatorskiej techniki pomiarowej w postaci skaningowej mikroskopii z tranzystorem jednoelektronowym w roli czujnika pola elektrycznego (ang. *scanning quantum dot transistor microscopy*, SQTM). Kluczowe dla realizacji tego zadania jest wykazanie działania tranzystora z kropkami kwantowymi w temperaturze pokojowej umieszczonego na sondzie pomiarowej.

Technika SQTM będzie charakteryzować się rozdzielczością pomiaru odległości oraz ładunku z rozdzielczościami nieosiągalnymi wcześniej przez urządzenia pomiarowe pracujące w temperaturach pokojowych. Przewidywane są rozdzielczości odległości poniżej 10 pm oraz ładunku poniżej 0,05 ładunku elementarnego *e*.

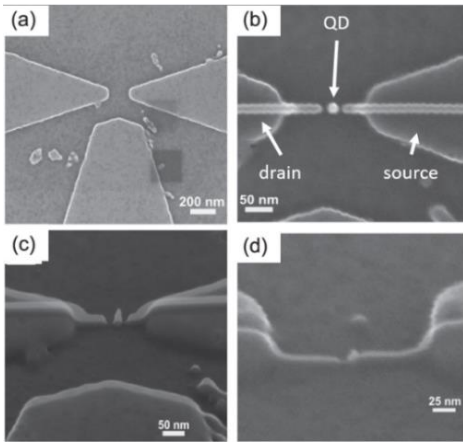
W literaturze zaprezentowane zostały rozwiązania mikroskopów z tranzystorem jednoelektronowym (ang. SSETM), które jednak wymagały złożonych procesów technologicznych do wytworzenia sondy oraz temperatur kriogenicznych do działania. Proponowane rozwiązanie przełamuje możliwości pomiarowe osiągane przez dotychczas stosowane metody mikroskopowe. Do tego celu zostanie opracowana nowatorska – odporna na szumy otoczenia i pomiarowe – konstrukcja mikroskopu bliskich oddziaływań. Zostanie on umieszczony w środowisku próżniowym, według podejścia *SPM-in-SEM*.

W badaniach przeprowadzone zostanie udoskonalenie procesu wytwarzania tranzystorów z kropkami kwantowymi za pomocą metody osadzania zogniskowaną wiązką elektronów (ang. FEBID) w celu wytwarzania urządzeń bezpośrednio na ostrzu aktywnych dźwigni piezorezystywnych (Rys. 1-I). Skonstruowane w ten sposób urządzenia będą obsługiwane wyłącznie elektrycznie, z wychyleniem dźwigni ustalanym i odczytywanym elektrycznie podobnie jak sygnałem z tranzystora z kropkami kwantowymi. Eliminuje to konieczność stosowania układów optycznych.

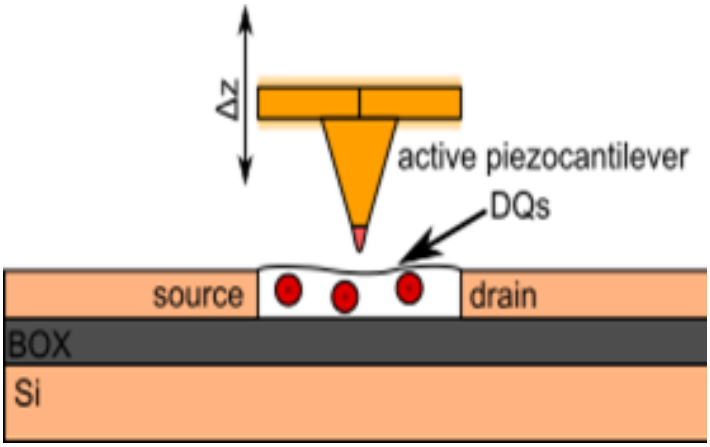
Walidacja działania urządzenia zostanie przeprowadzona przez pomiary próbek testowych – planarnych mikroukładów elektronicznych w technologii CMOS oraz planarnych tranzystorów z kropkami kwantowymi (Rys. 1-II). Rozdzielczość SQTM pozwoli na uwidocznienie położenia pojedynczych kropek kwantowych przez wykrycie pola elektrycznego uwięzionych w nim nośników ładunku.

Dowód działania układu pomiarowego SQTM będzie pikometrologicznym przełomem w technice pomiarowej nowoczesnych układów kwantowych. Jednym z głównych ograniczeń rozwojowych nanotechnologii oraz technologii kwantowej jest brak narzędzi pomiarowych dostosowanych do weryfikacji i walidacji działania tych układów. Udowodnienie działania skanowania powierzchni za pomocą tranzystora z kropkami kwantowymi w temperaturach pokojowych będzie przełomem nie tylko metrologicznym, lecz również technologicznym.

I



II



Rys. 1. Wykonanie techniczne układu złączy tunelowych do konstrukcji skaningowego mikroskopu z tranzystorem jednoelektronowym pracującego w temperaturze pokojowej: I – układ podwójnego złącza tunelowego z wyspą ładunku w kształcie ostrza wytworzony techniką FEBID (Durrani et al, Nanotechnology, 2017), II – schemat ideowy pomiaru urządzenia jednoelektronowego za pomocą SQTM.