

## POPULARNONAUKOWE STRESZCZENIE PROJEKTU

Klasyczna technologia półprzewodnikowa opiera się na tworzeniu mniej lub bardziej złożonych aktywnych hetero nanostruktur warstwowych na płaskim podłożu krzemowym, które zazwyczaj nie jest częścią aktywną przyrządu półprzewodnikowego. Okazuje się, że możliwym jest tworzenie hetero nanostruktur warstwowych w innej geometrii – cylindrycznie wokół monokrystalicznego rdzenia, w postaci otoczek. Taki cylinder nosi nazwę nanodrutu, a jego rdzeń otrzymany w procesie epitaksji z wiązek molekularnych (MBE), (lub inną metodą np. epitaksją z fazy gazowej przy użyciu metallorganicznych związków chemicznych) może mieć długość kilku mikronów i średnicę rzędu kilkudziesięciu nanometrów, a także dobrze wykształcone krystalograficzne ściany boczne, na których mogą zostać wytworzone warstwy analogicznie jak w przypadku hetero nanostruktur płaskich. Dzięki takiej architekturze nanodrutu typu rdzeń-powłoka posiadają duży stosunek powierzchni aktywnej do całej objętości. Z tego względu świetnie nadają się jako elementy aktywne do produkcji wydajniejszych ogniw słonecznych, czulszych sensorów czy efektywniejszych emiterów światła. Z drugiej strony ciągle poszukuje się materiałów, które pozwolą na przetwarzanie informacji nie za pomocą przepływu elektronów (elektronika), a dzięki przełączaniu samych spinów elektronów (spintronika), co jest procesem znacznie mniej energochłonnym. Znalezienie takich materiałów łączących w sobie własności elektryczne i magnetyczne w temperaturze pokojowej pozwoli na budowę bardzo szybkich i energooszczędnych układów przełączających.

Dotychczasowe badania nad rozcieńczonymi półprzewodnikami magnetycznymi (Dilute Ferromagnetic Semiconductors - DFS), których reprezentantem jest (Ga,Mn)As, pokazują że materiał ten, z pewnych względów możliwy do otrzymania jedynie w postaci epitaksjalnych warstw o grubości od kilku do kilkuset nanometrów w najlepszym razie osiąga temperaturę Curie ( $T_c$ )  $\sim 190\text{K}$  (temperaturę poniżej, której ferromagnetyk traci swoje własności magnetyczne). Jednym z pomysłów na podwyższenie temperatury Curie urządzeń spintronicznych jest połączenie materiałów półprzewodnikowych z magnetycznymi intermetalikami, których temperatura Curie jest znacznie wyższa. Są to tak zwane materiały hybrydowe półprzewodnik-metal, które można wytworzyć np. na drodze przemiany fazowej, tj. w przypadku dobrze udokumentowanego w literaturze procesu wygrzewania wydzielania kubicznego GaMnAs, przez co w jego strukturze wydzieliła się ferromagnetyczna, heksagonalna faza MnAs o  $T_c > 40^\circ\text{C}$ . Okazuje się, że w procesie MBE możliwe jest otrzymanie nanodrutów o powłokach składających się z GaMnAs o nierównowagowej dla tego materiału heksagonalnej strukturze wurcytu oraz bezpośrednio wytworzenie powłok zbudowanych z ferromagnetycznych metali MnAs czy MnGa. Połączenie trójwymiarowej geometrii i silnej anizotropii struktury heksagonalnej umożliwi stworzenie hybrydowych nanodrutów o nowych, nieznanym obecnie własnościach. Należy spodziewać się, że ze względu na nierównowagową strukturę krystaliczną (wurcyt zamiast struktury siarczku cynku) proces wydzielania fazy metalicznej z GaMnAs będzie przebiegał inaczej. Między innymi spodziewamy się niższych energii aktywacji takiego procesu i mniejszych wydzieleni.

Transmisyjna mikroskopia elektronowa (TEM) pozwala na obrazowanie próbki w czasie rzeczywistym z rozdzielczością atomową. Dzięki zastosowaniu specjalistycznych uchwytów przeprowadzimy eksperyment *in-situ*, w którym będziemy precyzyjnie regulować temperaturę nanodrutów podczas badań TEM, a także prześledzimy procesy transformacji morfologii i struktury zachodzące wewnątrz i na granicach powłok pojedynczych nanodrutów. W szczególności chcielibyśmy sprawdzić, jakie zmiany zachodzą w materiale pod wpływem temperatury i pola magnetycznego wykorzystując tryb mikroskopii Lorentza, który daje możliwość zmiany wartości i kierunku pola magnetycznego w obszarze badanego preparatu. Spodziewamy się, że będziemy w stanie bezpośrednio zaobserwować i ilościowo opisać proces przegrupowania atomów prowadzący do powstania hybrydowych otoczek nanodrutów, zmiany w morfologii, tworzenia się defektów. Do tej pory nigdy nie były prowadzone tego typu badania w tej klasie nanoobjektów. Oczekujemy, że po zajściu przemiany fazowej w silnym polu magnetycznym uda się uporządkować momenty magnetyczne nano-wydzieleni i wytworzyć strukturę o własnościach ferromagnetyka, w przeciwieństwie do obecnie uzyskiwanych - superparamagnetycznych. Unikalną cechą projektu jest to, że będziemy mogli powiązać strukturę wybranych nanodrutów z ich własnościami magnetycznymi wykorzystując holografię elektronową oraz technikę DPC (Differential Phase Contrast) do pomiarów lokalnych momentów magnetycznych. Spodziewamy się również że w przypadku uporządkowania momentów magnetycznych, hybrydowe nanodrutu metal-półprzewodnik będą wykazywały specyficzne własności magneto-plazmonowe (plazmony objętościowe i powierzchniowe) prawdopodobnie uda się zbadać dzięki analizie widm strat energii elektronów (EELS) oraz widm emitowanego światła (katodoluminescencji w TEM).