

## ***Hybrydowe heterostruktury van der Waalsa. Synteza i badanie własności elektronowych oraz mechanicznych w skali nanometrowej z wykorzystaniem do klasyfikacji danych algorytmów uczenia maszynowego***

Projekt skupia się na syntezie i badaniu właściwości materiałów dwuwymiarowych połączonych ze sobą w układy warstwowe jedynie poprzez oddziaływania sił van der Waalsa. Każdy taki układ stanowi hybrydę, której właściwości nie są prostą sumą części składowych. Na styku tych materiałów występują bowiem często niespotykane nigdzie indziej zjawiska fizyczne. Obecnie duże nadzieje wiąże się z zastosowaniem struktur hybrydowych w elektronice, optoelektronice oraz spintronice. Początek nowej dziedziny badań dało odkrycie grafenu, atomowo-cienkiej warstwy węgla. Dwuwymiarowość tego materiału wiąże się z jego niezwykłymi elektronowymi i mechanicznymi własnościami, które nie występują w żadnym innym układzie. Odkrycie grafenu pociągnęło za sobą narastające lawinowo zainteresowanie innymi materiałami dwuwymiarowymi, które obecnie tworzą dużą rodzinę układów o szczególnych właściwościach obejmujących dwuwymiarowe metale, izolatory i półprzewodniki. W ostatnich latach wykazano, że prawdziwy potencjał posiadają nie tyle same materiały niskowymiarowe, ale ich układy. Nakładając na siebie dwie atomowo cienkie warstwy różnych substancji, otrzymujemy hybrydę o bardziej złożonych i unikalnych właściwościach. Z tego powodu układy te są trudne do opisanie i w szczególności do modyfikowania na potrzeby poszczególnych zastosowań. Kluczem do zrozumienia i dostosowywania właściwości materiałów hybrydowych, złożonych z dwuwymiarowych warstw jest osiągnięcie pełnej kontroli nad ich wytwarzaniem. Obecnie większość układów hybrydowych wytwarza się poprzez mechaniczne nakładanie poszczególnych warstw na siebie. Technologia ta, mimo, że wyszukana i trudna, nie zapewnia pełnej czystości powierzchni łączonych warstw, a dodatkowo nie jest powtarzalna i skalowalna przemysłowo. Uzyskane układy wykazują unikalne właściwości fizyczne, natomiast są one zaburzone przez procesy utleniania bądź uszkodzenia poszczególnych warstw w trakcie łączenia. Rozwiązaniem problemów budowania wielowarstwowych układów hybrydowych jest ich bezpośrednia synteza metodami epitaksji z wiązek molekularnych (MBE) lub chemicznego osadzania z fazy gazowej (CVD). Jednakże, taka synteza w przypadku układów dwuwymiarowych jest niezwykle złożona, a droga do jej optymalizacji przy wykorzystaniu tradycyjnej metodologii jest bardzo długa. Przedstawiony projekt ma na celu pokonanie występujących trudności poprzez zmianę podejścia do syntezy i charakteryzacji materiałów. Układy hybrydowe będą wytwarzane w warunkach laboratoryjnych w układzie eksperymentalnym, stanowiącym unikalne połączenie metod MBE i CVD. Jednocześnie, do optymalizacji syntezy, którą cechuje mnogość parametrów, wykorzystana będzie kompleksowa charakteryzacja podstawowych własności elektronowych i mechanicznych, prowadzona w skali nanometrowej bez ekspozycji próbki na warunki zewnętrzne. Ponadto do analizy tych pomiarów użyte zostaną metody klasyfikacji i redukcji danych z obszaru uczenia maszynowego. Pozwoli to na systematyczną analizę danych pochodzących w szczególności z badań spektroskopowych, a także stanowiących zbiór parametrów syntezy, których eksploracja nie była do tej pory możliwa w pełny i systematyczny sposób metodami tradycyjnymi. Dzięki temu możliwe będzie uzyskanie informacji, które z parametrów są kluczowe dla procesu optymalizacji wzrostu struktur hybrydowych. Tego typu kontrolowane podejście umożliwi opracowanie odpowiednich metod syntezy oraz udzieli odpowiedzi na wiele pytań związanych z własnościami tego typu struktur. Projekt ma charakter interdyscyplinarny, ponieważ przenikają się w nim koncepcje z dziedziny wytwarzania materiałów, fizyki oraz informatyki. Umożliwia to dokonanie postępu w pracach związanych z syntezą nowych materiałów z uwagi na płynną adaptację i optymalizację wzrostu opartą o wypracowane przez każdą z tych dziedzin rozwiązania.