

Skalowalna, niskotemperaturowa synteza dwuwymiarowych półprzewodników do nowatorskich zastosowań w elektronice.

Aby utrzymać obecny światowy trend miniaturyzacji urządzeń elektronicznych, fonicznych i sensorycznych, potrzebne są nowe technologie materiałowe. Prawo Moore'a (liczba tranzystorów upakowanych na chipie), któremu światowy przemysł elektroniczny chce dotrzymać kroku, wymaga nowego podejścia i nowych materiałów o grubości pojedynczych nanometrów. Za nowy kierunek rozwoju w tym aspekcie uważa się materiały dwuwymiarowe (2D). Na przykład monowarstwy dwusiarczku molibdenu (MoS₂) i diselenku wolframu (WSe₂) są obecnie aktywnie badane pod kątem przyszłych tranzystorów w skali nano, w ramach tak zwanego podejścia „z krzemem” – materiały 2D są głęboko zintegrowane z klasycznymi obwodami elektronicznymi. Niedawno światowi giganci Intel i TSMC zademonstrowali swoje pierwsze tranzystory zbudowane z półprzewodników 2D, potwierdzając, że materiały te odegrają kluczową rolę w przyszłości nowoczesnych zastosowań elektronicznych.

Obecnie wysokotemperaturowe chemiczne osadzanie z fazy gazowej (CVD, również z wykorzystaniem substancji metaloorganicznych, MOCVD) jest najbardziej dojrzałą metodą bezpośredniej syntezy materiałów 2D, która będzie w przyszłości stosowana w przemyśle. Obecnie jej największą przeszkodą jest wysokotemperaturowa synteza, znacznie przekraczająca akceptowany w branży limit 400°C, co uniemożliwia integrację materiałów 2D z obecną technologią CMOS i narzuca inne drogi integracji, często problematyczne i nieopłacalne. Ostatnio w Europie zaczęto kwestionować procesy wysokotemperaturowe w kontekście przyszłych technologii, od których oczekuje się, że będą bardziej „odpowiedzialne”, co oznacza wykorzystanie procesów mniej energochłonnych. Zatem inwestowanie w nowe podejście do technologii materiałowych motywowane jest nie tylko nowym rozwojem naukowym.

Projekt ten ma na celu rozwiązanie problemu syntezy materiałów 2D w wysokich temperaturach i zaproponowanie alternatywnej strategii ‘odpowiedzialnego’ wzrostu, spełniającej nowe potrzeby naukowe i technologiczne. Chcemy opracować niskotemperaturową technologię opartą na MOCVD, która może dostarczyć różne półprzewodniki 2D na podłożach kompatybilnych z wymogami przemysłu, w tym elastycznych, o jakości dorównującej tym wytwarzanym w procesach wysokotemperaturowych. Głębsze zrozumienie procesu syntezy w korzystnych temperaturach termodynamicznych można następnie przenieść na technologię o niskim budżecie termicznym stosowaną w całej branży. Zrozumienie mechanizmów wzrostu pozwoli nam lepiej kontrolować procesy wzrostu, co ostatecznie doprowadzi do ulepszonych protokołów syntezy i materiałów o wyższej jakości. Ich połączenie zaowocuje lepszymi urządzeniami elektronicznymi, odblokowaniem obecnie niedostępnych aplikacji i zmniejszeniem zużycia energii podczas produkcji elektroniki.

Projekt zostanie podzielony na dwie główne, przeplatające się części – technologiczną i naukową, zakończony odpowiednią demonstracją praktycznego zastosowania. Część technologiczna projektu ma na celu wytworzenie warstw półprzewodnikowych 2D metodą MOCVD w temperaturach poniżej 400°C. W ramach tej części doktorat zmodernizuje system CVD do pracy z prekursorami metaloorganicznymi, ustali procedurę początkowego wzrostu, zoptymalizuje ją tak, aby mieściła się w limicie temperatury i zbada odpowiedni układ podłoże-warstwa. W tej części student opracuje również odpowiednie metody i protokoły charakteryzacji, umożliwiające krytyczną ocenę jakości warstw. Część naukowa skupi się na badaniu mechanizmów wzrostu w niskiej temperaturze. Aby osiągnąć ten cel, doktorant opanuje kilka metod charakteryzacji: Raman, PL, AFM, SEM, transport elektryczny i inne bardziej zaawansowane techniki. Metody te pozwolą zbadać najważniejsze cechy syntetyzowanych kryształów, takie jak jakość krystalograficzna, jednorodność warstw, wielkość kryształów, skład chemiczny oraz poziomy odkształcenia i domieszkowania. Dodatkowo zastosowane zostaną bardziej zaawansowane technologie HRTEM, XPS i LEED.