

Dzięki swoim wyjątkowym właściwościom fizycznym, takim jak wysoka stabilność chemiczna, doskonała przewodność cieplna i szeroka przerwa energetyczna (~ 6 eV), azotek boru (BN) jest bardzo obiecującym kandydatem do szerokiej gamy zastosowań. Bardzo obiecujące jest wykorzystanie azotku boru w połączeniu z innymi azotkami (AlN, GaN) na potrzeby detektorów i źródeł światła w zakresie głębokiego ultrafioletu (DUV). Ostatnio pojawiły się pojedyncze raporty pokazujące uzyskanie istotnie lepszych parametrów elektrycznych BN typu p, w porównaniu do AlN typu p, wskazujące na wielki potencjał tego materiału dla rozwiązania ważnego problemu urządzeń optoelektronicznych na zakres DUV – dobrej elektrycznej i optycznej jakości kontaktu typu p.

Rosnące zainteresowanie azotkiem boru po roku 2010, a w szczególności jego formą o heksagonalnej strukturze warstwowej (h-BN) analogicznej do grafitu, związane jest między innymi z rozwojem badań hybrydowych struktur (tzw. heterostruktur van der Waals'a) otrzymywanych na bazie pojedynczych warstw atomowych, z wykorzystaniem materiałów o diametralnie różnych właściwościach, w których poszczególne warstwy pełnią rolę przewodnika (np. grafen), półprzewodnika (np. WSe₂) i izolacyjnej bariery. Do tej ostatniej roli h-BN jest idealnym kandydatem ze względu na swoją strukturę krystaliczną, kompatybilną z pozostałymi wykorzystywanymi materiałami, gładką powierzchnię i szeroką przerwę energetyczną. Wykorzystanie h-BN jako podłoża do grafenu zwiększyło o ponad rząd wielkości ruchliwość elektronów w grafenie w porównaniu z „klasycznymi” strukturami odkładanymi na amorficznym SiO₂. Bardziej złożone struktury van der Waals'a, zwane czasem NanoLego, otwierają szerokie możliwości między innymi dla elastycznej elektroniki, ultraszybkich tranzystorów, czy też źródeł pojedynczych fotonów wykorzystywanych w kryptografii kwantowej. Aktualnie technologia wzrostu objętościowego h-BN pozwala na otrzymywanie małych (rzędu pojedynczych milimetrów) kryształów o wysokiej jakości. Umożliwiły one zaprezentowanie wielu interesujących zjawisk fizycznych oraz wytworzenie obiecujących, testowych urządzeń, w których wykorzystano płatki eksfoliowane z takich kryształów.

Nie ma wątpliwości, że praktyczne zastosowanie BN zależy od opanowania technologii wzrostu epitaksjalnego wysokiej jakości, dużych warstw powierzchniowych na dostępnych komercyjnie podłożach (np. szafirowych). Warstwy epitaksjalne uzyskane przy użyciu MOVPE (epitaksja metaloorganiczna z fazy gazowej) są nadal niższej jakości niż kryształy objętościowe, ale dają wielką nadzieję na poprawę jakości w skali makroskopowej. Epitaksja BN jest wciąż na wczesnym etapie rozwoju i napotyka wiele problemów. Ostatnie wyniki uzyskane na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego z wykorzystaniem MOVPE pozwoliły na uzyskanie epitaksjalnych warstw BN o parametrach zbliżonych do najlepszych raportowanych w literaturze. Badania te wskazują jednak, że proces wzrostu BN jest niezwykle złożony, wciąż niedostatecznie opisany w literaturze, i wymaga szczegółowej analizy, która ma kluczowe znaczenie dla zrozumienia podstawowych właściwości strukturalnych i elektronicznych h-BN, wymaganych dla nowych struktur van der Waalsa opartych na epitaksji BN.

Celem tego projektu jest zrozumienie wzrostu i podstawowych właściwości fizycznych epitaksjalnych warstw BN hodowanych z wykorzystaniem technologii MOVPE i dostosowanie ich właściwości do wymagań stawianych nowatorskim strukturom van der Waalsa. Projekt obejmuje badanie zarodkowania i uporządkowania warstw BN przy użyciu MOVPE, co jest kluczowe dla procesu eksfoliacji i skuteczności enkapsulacji materiałów 2D. Proponujemy zbadanie możliwości domieszkowania warstw BN, które jest kluczowe dla zastosowania epitaksjalnego BN jako przezroczystej elektrody przewodzącej w obszarze IR-VIS-UV. Chcielibyśmy też zbadać proces eksfoliacji epitaksjalnych warstw BN i ich transferu na różne podłoża, jak również do struktur van der Waalsa. Planujemy przetestować warstwy epitaksjalne BN hodowane z wykorzystaniem MOVPE jako substratów do wzrostu innych materiałów 2D przy użyciu technologii MBE (Epitaksja z wiązek molekularnych) dostępnej na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, co w naszej opinii jest najbardziej innowacyjną częścią projektu. Ważną częścią projektu jest optymalizacja warstw BN i warunków wzrostu struktur BN pod kątem potencjalnych zastosowań, w tym w strukturach van der Waalsa oraz urządzeniach optoelektronicznych w zakresie głębokiego UV. Zaawansowana charakterystyka obejmująca między innymi dyfrakcję rentgenowską, skaningową i transmisyjną mikroskopię elektronową, mikroskopię sił atomowych, skaningową mikroskopię tunelową, spektroskopię optyczną (pomiar transmisji i odbicia, efekt Ramana, luminescencję, katodoluminescencję), EPR zapewni podstawę fenomenologicznego opisu poszczególnych faz wzrostu i ich wpływ na właściwości warstwowego BN. Wiedza ta jest kluczowa z punktu widzenia zrozumienia podstawowych właściwości strukturalnych, optycznych i elektrycznych epitaksjalnego h-BN, a także potencjalnych zastosowań tego materiału w heterostrukturach van der Waalsa.