

Ostatnio heksagonalny azotek boru (hBN) wzbudził duże zainteresowanie jako kandydat do wielu zastosowań związanych z atomowo cienkimi układami zwanymi czasem NanoLego. Ostatnio wykazano również, że hBN jest znakomitym materiałem-gospodarzem dla optycznie aktywnych defektów spinowych, czego najlepszym przykładem jest ujemnie naładowana luka borowa ( $V_B^-$ ). Elektronowy spin tego defektu jest niezwykle wrażliwy na zaburzenia, takie jak pole magnetyczne i elektryczne, ciśnienie i temperatura. Odczyt jest możliwy dzięki silnej, spinowo zależnej fotoluminescencji, co czyni go doskonałą platformą sensorów kwantowych. Te nowe systemy mają potencjał, by konkurować z najlepiej rozwiniętą platformą kwantowych sensorów wykorzystujących centra defektowe azot-luka (NV) w diamentcie. Wykazano, że mają one ogromny potencjał w zaspokojeniu rosnącego zapotrzebowania na precyzyjne czujniki lokalnego pola magnetycznego stosowane w fizyce materii skondensowanej, geofizyce i innych naukach przyrodniczych. Jednak napotyka one na przeszkody, wynikające głównie z trójwymiarowej natury diamentu, takich jak ograniczona odległość między czujnikiem kwantowym a badanym obiektem oraz trudność w uzyskaniu elastycznych, ultracienkich struktur, które mogłyby być przenoszone na powierzchnię badanej próbki. Ostatnio, wykazano, że warstwy hBN zawierające defekty spinowe  $V_B^-$  mogą służyć jako atomowo cienka kwantowa folia sensorowa oferująca bliskość do badanego obiektu w skali atomowej. Te eksperymenty zostały jednak wykonane tylko przy użyciu płatków eksfoliowanych z małych, wzbogaconych w izotop boru  $^{10}\text{B}$ , objętościowych kryształów h-BN napromieniowanych neutronami termicznymi. Nie ma wątpliwości, że praktyczne zastosowanie kwantowych czujników spinowych opartych na hBN można zrealizować tylko przy użyciu technologii, która oferuje wysokiej jakości warstwy wielkopowierzchniowe hodowane na podłożach dostępnych na rynku. Wymagania te można spełnić wykorzystując technologię MOVPE (Metalorganic Vapor Phase Epitaxy). Ostatnie postępy w technologii MOVPE w naszym laboratorium pozwoliły uzyskać wysokiej jakości epitaksjalne warstwy hBN na podłożach szafirowych o średnicy 2 cali. Opracowaliśmy skuteczne metody delaminacji naszych warstw hBN z podłoży 2", co jest kluczowe z punktu widzenia budowania różnych heterostruktur van der Waalsa. Naturalny azotek boru składa się z dwóch izotopów:  $^{11}\text{B}$  (~80%) i  $^{10}\text{B}$  (~20%). Wiadomo, że przekrój czynny na wychwytywanie neutronów termicznych dla  $^{11}\text{B}$  jest o około trzy rzędy wielkości mniejszy niż dla  $^{10}\text{B}$ . Zatem napromieniowanie  $h^{10}\text{BN}$  efektywnie tworzy defekty związane z luką borową poprzez transmutację jądrową. W przeciwieństwie do tego, oczekuje się, że materiał  $h^{11}\text{BN}$  będzie prawie przezroczysty dla neutronów.

W tym projekcie proponujemy zbadanie wzbogaconego izotopem  $^{10}\text{B}$  epitaksjalnego azotku boru hodowanego metodą MOVPE na 2-calowych podłożach szafirowych. Celem tych badań jest weryfikacja możliwości uzyskania skalowalnej platformy do efektywnego tworzenia luk borowych poprzez reakcję jądrową z neutronami produkowanymi w Narodowym Centrum Badań Jądrowych (Świerk, Polska). Zaawansowana charakteryzacja, w tym XRD, SEM/TEM, AFM, STM, spektroskopia optyczna (pomiar transmisji/odbicia, efekt Ramana, luminescencja, katodoluminescencja), EPR dostarczy informacji o materiale wzbogaconym izotopowo przed i po naświetlaniu neutronami. Uzyskane dane zostaną skorelowane z wynikami, czulej na obecność luk w materiale, Spektroskopii Anihilacji Pozytonów (PAS) we współpracy z Uniwersytetem w Helsinkach, a ostatecznie przebadane z wykorzystaniem Optycznej Detekcji Rezonansu Magnetycznego (ODMR), we współpracy z Uniwersytetem Montpellier. Teoretyczne modelowanie różnych defektów i ich oczekiwanego sygnału w EPR i ODMR zostanie przeprowadzone we współpracy z Centrum Badawczym Fizyki Wignera w Budapeszcie. Ponadto izotopowo czysty hBN zostanie wykorzystany jako „marker spektroskopowy” oraz jako warstwa bogata w defekty spinowe, m.in. w stosach warstw o różnym składzie izotopowym. To „znakowanie” warstw posłuży jako narzędzie do badań podstawowych właściwości i defektów w hBN wzbogaconym izotopowo, w tym dekoherencji defektu spinowego  $V_B^-$ , co jest ważne dla rozwoju sensorowych technologii kwantowych. Eksperymenty z różnymi składami izotopowymi i strumieniami neutronów zostaną wykorzystane do oceny skuteczności tworzenia pożądanych defektów spinowych w porównaniu z innymi defektami. Pomimo dużego zainteresowania tematem, jak dotąd nie ma systematycznych badań dotyczących naświetlania hBN neutronami termicznymi i procesów związanych z powstawaniem defektów spinowych. Wiedza ta jest jednak kluczowa dla zrozumienia podstawowych właściwości defektów spinowych w epitaksjalnym h-BN oraz jego potencjalnych zastosowań jako atomowo cienkiej, elastycznej platformy dla technologii kwantowych. Tylko deterministyczne dostrajanie właściwości hBN pozwoli na głębsze zrozumienie defektów spinowych i wykorzystanie pełnego potencjału aplikacyjnego hBN dla lokalnego obrazowania magnetycznego i technologii informacyjnych.