

Heksagonalny azotek boru (h-BN) jest dwuwymiarowym półprzewodnikiem z szeroką przerwą energetyczną. Jego struktura krystaliczna przypomina grafen – atomy boru i azotu są ułożone w płaszczyznach, których kształt przypomina strukturę plastra miodu. Kolejne płaszczyzny są ułożone jedna nad drugą. Atomy znajdujące się w jednej płaszczyźnie są połączone przy pomocy silnych wiązań kowalencyjnych zaś płaszczyzny oddziałują ze sobą jedynie poprzez słabe siły van der Waals'a. Dzięki temu możliwe jest otrzymywanie cienkich warstw h-BN (nawet o grubościach rzędu rozmiarów pojedynczych atomów), które są powszechnie wykorzystywane przez naukowców w tzw. heterostrukturach van der Waals'a. Przerwa energetyczna w h-BN wynosi ok. 6 eV co odpowiada emisji światła w zakresie głębokiego ultrafioletu (UV). Z tego względu z materiałem tym wiąże się duże nadzieje w kontekście opracowania wydajnych emiterów światła w tym zakresie.

h-BN, podobnie jak wszystkie inne kryształy, posiada w swojej strukturze pewne defekty (np. brak jednego atomu w sieci krystalicznej lub obecność atomów innych niż B i N). **Defekty mogą skutkować powstaniem dodatkowych stanów wewnątrz przerwy energetycznej.** Kilka lat temu odkryto, że **niektóre z takich stanów defektowych w h-BN mogą być emiterami pojedynczych fotonów w temperaturze pokojowej.** Oznacza to, że tylko jeden foton (kwant światła) o konkretnej energii może być emitowany w pewnym przedziale czasowym. To odkrycie zwiększyło zainteresowanie naukowców h-BN, ponieważ pojedyncze fotony mogą być użyte jako tzw. qubity (kwantowe bity) w kryptografii kwantowej i w konstrukcji komputerów kwantowych. Rozwój tych dziedzin zwiększy bezpieczeństwo przesyłu danych, ponieważ informacja zaszyfrowana przy pomocy metod mechaniki kwantowej jest niemożliwa do odszyfrowania przy pomocy metod klasycznych. Na rozwoju kwantowych technologii mogą skorzystać również nauki takie jak, chemia czy biologia, gdyż wykorzystanie komputerów kwantowych znacząco zmniejszy czas wykonywania symulacji numerycznych, które są wykorzystywane w tych dziedzinach.

Najnowsze doniesienia wskazują na znaczącą rolę zniekształceń w warstwach h-BN takich jak zmarszczki czy bąble. **W miejscach gdzie powierzchnia h-BN jest silnie zakrzywiona, emiterzy pojedynczych fotonów mogą zostać aktywowane** dzięki obecności potencjału deformacyjnego, który pułapkuje nośniki. Okazuje się również, że naprężenie pojawiające się w h-BN może zmieniać energię emitowanych fotonów. Zatem naprężenie generowane wskutek deformacji h-BN może nie tylko aktywować emisję pojedynczych fotonów, ale również dostroić jej energię. Tematem emiterów pojedynczych fotonów w h-BN zajmuje się wielu naukowców, ale większość z nich pracuje z płatkami h-BN otrzymywanymi na drodze eksfoliacji z komercyjnego materiału objętościowego lub z h-BN w formie proszku. Niestety komercyjnie dostępne kryształy h-BN mogą znacząco różnić się między sobą pod kątem ich właściwości. Naukowcy, pracujący z takim materiałem, mogą sprawdzać, czy dana deformacja h-BN aktywuje emisję pojedynczych fotonów w ich konkretnej próbce, ale nie mogą precyzyjnie ustalić jaki sposób aktywacji emisji pojedynczych fotonów w h-BN jest najlepszy. Porównywanie różnych metod aktywacji na próbkach h-BN o różnych właściwościach nie pozwala na zebranie wiarygodnych danych.

Podczas realizacji tego projektu **chcemy deterministycznie kreować deformacje w h-BN w celu aktywacji emisji pojedynczych fotonów.** Odkształcenia mogą być wytwarzane na wiele sposobów. Jednym z podejść jest naświetlanie warstw h-BN wiązką elektronów co prowadzi do powstawania bąbli. Nasze wstępne wyniki pokazują, że możemy na żądanie wytwarzać bąble i zmieniać ich kształt poprzez zmianę ciśnienia otoczenia. Możemy również badać rozkład naprężeń na wytworzonych bąblach przy pomocy spektroskopii Ramana. Innym możliwym podejściem jest użycie litografii do wytwarzania zaprojektowanych wcześniej struktur h-BN. Oczywiście różne metody generowania zniekształceń można ze sobą łączyć. Co więcej, jesteśmy w stanie wytwarzać matryce powtarzających się deformacji. Jest to istotne ze względu na potencjalne, przyszłe zastosowania przemysłowe. W przeciwieństwie do wielu innych grup naukowych, pracujemy z h-BN hodowanym na 2-calowych podłożach na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego metodą epitaksji z fazy gazowej z użyciem związków metaloorganicznych. Te same warunki wzrostu warstw h-BN skutkują otrzymaniem identycznego materiału. To pozwala nam badać przy pomocy spektroskopii optycznej, jak różne zniekształcenia wpływają na emisję pojedynczych fotonów z próbek o takich samych właściwościach. **Parametry opisujące własności generowanych zniekształceń** (np. rozmiar bąbli lub odległość między nimi) **mogą być optymalizowane**, aby uzyskać emisję pojedynczych fotonów o konkretnych, ustalonych właściwościach. Realizacja niniejszego projektu może stanowić krok w kierunku kontroli właściwości i energii emiterów pojedynczych fotonów w dużych warstwach epitaksjalnego h-BN. Jest to kluczowe w kontekście integracji z dedykowanymi strukturami fonicznymi w przyszłości.