

Materiały warstwowe, czyli takie, które możemy łatwo eksfoliować do postaci pojedynczych warstw atomowych, już od kilkunastu lat cieszą się zainteresowaniem badaczy ze względu na ich niezwykle i różnorodnie właściwości. W dwuwymiarowej formie mogą zyskiwać zupełnie inne cechy niż w przypadku materiału objętościowego, co czyni z nich idealnych kandydatów do rozwoju nowych koncepcji nanotechnologii. Co więcej, płatki kryształów warstwowych można na siebie nakładać, w wyniku czego powstają tzw. heterostruktury. Tworzące je materiały wzajemnie na siebie oddziałują, umożliwiając badanie procesów zachodzących w systemach warstwowych o pożądanym funkcjonalnościach.

**W naszym projekcie łączymy ze sobą dwie rodziny materiałów warstwowych: heksagonalny azotek boru (h-BN) i dwuwymiarowe materiały magnetyczne.** Przeprowadzając szereg pomiarów optycznych, badamy wpływ bliskości dwuwymiarowych magnesów na emisję światła z h-BN.

Heksagonalny azotek boru zyskał niezwykłą popularność wśród kryształów warstwowych ze względu na swoją stabilność, wytrzymałość i dużą przerwę energetyczną (~6 eV). Bywa niekiedy nazywany „białym grafenem” ze względu na swoją heksagonalną strukturę złożoną jednak nie z atomów węgla jak w przypadku grafenu, a z naprzemiennie ułożonych atomów boru i azotu. W heterostrukturach pełni rolę izolatora, a także warstwy zabezpieczającej inne materiały przed czynnikami środowiskowymi. Może także poprawiać własności optyczne stykających się z nim płatków kryształów dwuwymiarowych.

Co jednak interesujące w kontekście naszego projektu, **h-BN przejawia także emisję światła w obszarze energii poniżej przerwy energetycznej związanej ze stanami defektowymi.** Odpowiednio pobudzany (np. za pomocą światła laserowego) może emitować pojedyncze fotony, które są podstawą działania technologii kwantowych (kwantowe regeneratory, komputery, przesył danych).

Podstawą naszego projektu jest możliwość wykorzystania epitaksjalnych warstw h-BN, hodowanych przez naszą grupę badawczą metodą epitaksji z fazy gazowej z użyciem związków metaloorganicznych (MOVPE). Pozwala to na dobór właściwości materiału takich jak liczba warstw, poziom domieszkowania oraz koncentracja pożądanym defektów macierzystych odpowiedzialnych za emisję pojedynczych fotonów.

Niedawne potwierdzenie istnienia uporządkowania magnetycznego w ultracienkich warstwach wybranych materiałów warstwowych otwiera nowe możliwości badania wpływu pola magnetycznego na właściwości h-BN. Nasze unikatowe podejście zakłada stworzenie heterostruktur zawierających dwuwymiarowe magnesy (w szczególności materiały z rodziny trihalogenków chromu o ogólnym wzorze  $\text{CrX}_3$ , gdzie  $X=\text{Cl, Br, I}$ ). Kryształy te przejawiają różne możliwości kierunkowego porządkowania spinów (czyli momentów magnetycznych zlokalizowanych na węzłach sieci krystalicznej) względem warstw atomowych, co ostatecznie pozwala na badania w polu magnetycznym skierowanym zarówno prostopadle jak i równoległe do warstwy. Różne trihalogenki przejawiają odmienny sposób porządkowania spinów, co w efekcie przejawia się uporządkowaniem ferro-, lub antyferromagnetycznym, którym można sterować poprzez zmianę liczby warstw danego materiału lub przykładanie zewnętrznego pola elektrycznego.

Możliwość kontroli i szeroki wachlarz własności magnetycznych pozwala na wykorzystanie dwuwymiarowych trihalogenków chromu, jako lokalnych sond magnetycznych wpływających na emisję światła z h-BN. Eksperymenty z wykorzystaniem  $\text{CrBr}_3$  wykazują aktywację dodatkowej emisji w h-BN w temperaturach poniżej przejścia do fazy ferromagnetycznej. Jest to bardzo obiecujący rezultat dający nadzieję na wykorzystanie magnetycznych materiałów warstwowych do sterowania właściwościami emisyjnymi emiterów pojedynczych fotonów w h-BN oraz poznania właściwości magnetycznych centrów defektowych w tym materiale.

W przeprowadzanych badaniach posługujemy się głównie metodami spektroskopowymi: fotoluminescencją i rozpraszaniem ramanowskim. Eksperymenty przeprowadzamy w niskich temperaturach (<30 K), ponieważ dopiero wtedy materiały zyskują magnetyczne uporządkowanie.

Przedstawiony projekt pozwoli na lepsze zrozumienie fundamentalnych mechanizmów rządzących oddziaływaniem dwuwymiarowych magnesów na właściwości h-BN i może wnieść nowe elementy do rozwoju technologii kwantowych i spintronicznych.