

Odkrycie grafenu w 2004 roku, pierwszego materiału warstwowego zbudowanego z atomów węgla ułożonych w sześciokątną strukturę przypominającą plaster miodu, zapoczątkowało rozwój nowej klasy materiałów warstwowych. Grafen otrzymano w bardzo prosty sposób, poprzez rozdzielanie sąsiednich warstw grafitu przy użyciu taśmy klejącej. Tą metodę nazwano eksfoliacją mikromechaniczną. Później okazało się, że ma ona również zastosowanie przy produkcji pojedynczych warstw innych materiałów warstwowych takich jak dichalkogenki metali przejściowych. Pojedyncza warstwa dichalkogenu metalu przejściowego składa się z trzech pojedynczych warstw (tzw. monowarstw): jednej warstwy atomów molibdenu lub wolframu otoczonych przez monowarstwy siarki, selenu lub telluru. Zaletą takich materiałów w porównaniu z grafenem, który jest półmetalem, jest istnienie przerwy energetycznej, niezerowej odległości w skali energii pomiędzy pasmem przewodnictwa i walencyjnym. Kryształy objętościowe takich materiałów to półprzewodniki o skośnej przerwie energetycznej natomiast w formie dwuwymiarowej przerwa energetyczna staje się prosta co pozwala im efektywnie emitować światło z zakresu widzialnego.

Podstawowe właściwości optyczne dichalkogenków metali przejściowych takich jak dwusiarczki molibdenu (MoS_2), diselenki molibdenu (MoSe_2), dwusiarczki wolframu (WS_2), diselenki wolframu (WSe_2) i ditelureki molibdenu (MoTe_2) są już dość dobrze zbadane. W ostatnich latach zaczęto wytwarzać i badać stopy różnych dichalkogenków metali przejściowych np. $\text{WS}_x\text{Se}_{2-x}$ czy $\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{Se}_2$, ale ich właściwości optyczne nie zostały jeszcze dokładnie poznane. Główną zaletą stopów dichalkogenków metali przejściowych jest możliwość zmiany zakresu spektralnego, w którym występuje emisja oraz pochłanianie (absorpcja) światła modyfikując względne stosunki pierwiastków występujących w danym stopie (x). Otwiera to nowe możliwości zastosowania takich materiałów przy produkcji urządzeń optoelektronicznych takich jak tranzystory czy ogniwa fotowoltaiczne, pracujących w konkretnym zakresie długości fali.

Celem tego projektu jest zbadanie podstawowych właściwości optycznych monowarstw różnych stopów dichalkogenków metali przejściowych zamkniętych w heksagonalnym azotku boru (hBN) o których wiedza na chwilę obecną jest w literaturze dość ograniczona. Właściwości optyczne tych materiałów są zdeterminowane przez istnienie w quazi-cząstek zwanych ekscytonami. Ekscyton to para elektron-dziura związana na skutek działania siły Coulomba. W materiałach dwuwymiarowych występują nie tylko pojedyncze pary elektron-dziura, ale również kompleksy składające się z pary elektron-dziura oddziałująca dodatkowo z elektronem lub dziurą czy też drugą parą elektron-dziura. Ze względu na strukturę elektronową monowarstw dichalkogenków metali przejściowych obserwuje się wiele różnych kompleksów ekscytonowych.

W ramach projektu będą wytwarzane próbki monowarstw stopów dichalkogenków metali przejściowych zamykane w hBN. Tak przygotowane struktury będą charakteryzowane przy użyciu mikroskopu optycznego oraz fotoluminescencji. Następnie będzie badana odpowiedź optyczna przygotowanych struktur wykorzystując eksperymenty absorpcyjne i emisyjne w funkcji temperatury oraz pola magnetycznego przyłożonego w płaszczyźnie próbki i prostopadle do niej. Zamykanie monowarstw w heksagonalnym azotku boru sprawia, że jest możliwe badanie kompleksów ekscytonowych w takich materiałach w postaci wąskich linii w widmach emisyjnych oraz rezonansów w widmach absorpcyjnych. Taka spektroskopia optyczna pozwala na wgląd w strukturę ekscytonów. W zewnętrznym polu magnetycznym energia ekscytonów zmienia się, co objawia się przesunięciem pików w zmierzonych widmach. Tak zwane g-czynniki, opisujące efekt Zeemana są wielkościami charakteryzującymi to przesunięcie. W stopach dichalkogenków metali przejściowych parametry te osiągają niespotykane dotąd wartości, co stymuluje obecne badania eksperymentalne i teoretyczne. Zrozumienie tych zależności ma fundamentalne znaczenie dla badań tych materiałów i ich zastosowań technologicznych.

Najważniejszym spodziewanym efektem tego projektu jest identyfikacja kompleksów ekscytonowych występujących w monowarstwach stopów dichalkogenków metali przejściowych, które determinują ich właściwości optyczne. Taka wiedza jest konieczna jeśli chcemy zastosować materiały z tej nowej klasy materiałów stopów dichalkogenków metali przejściowych w produkcji laserów i detektorów na pożądane długości fali.