

W ostatnich dziesięcioleciach podjęto zwiększone wysiłki w celu rozszerzenia funkcjonalności urządzeń elektronicznych poza tradycyjną manipulację prądami ładunku. Jedną z dróg do osiągnięcia tego celu jest wykorzystanie czysto kwantowej właściwości mechanicznej elektronu – spinu. Spin jest wykrywalny jako słaba energia magnetyczna, i manipulacja spinem wymaga mniej energii niż manipulacja ładunkiem elektronu, co może prowadzić do bardziej wydajnych, potężniejszych i mniejszych urządzeń oferowanych przez elektronikę spinową – spintronikę. Każdy elektron charakteryzuje się jedną z dwóch możliwych orientacji spinu, przeciwnych do siebie, a różna koncentracja elektronów o różnych orientacjach spinu, polaryzacja spinu, jest kluczowym parametrem w spintronice. Wiele urządzeń spintronicznych, powstałych w wyniku postępów w spintronice opartej na metalach, znalazło już drogę do zastosowań komercyjnych w przechowywaniu i odczycie danych. Tradycyjna elektronika, wykorzystywana np. do przetwarzania danych, bazuje jednak na półprzewodnikach. Bardzo duże postępy poczyniono w spintronice półprzewodnikowej, ale nadal nie skonstruowano urządzenia spintronicznego, które mogłoby konkurować z koniem pociągowym współczesnej elektroniki – tranzystorem polowym (FET).

Kluczowym zadaniem w spintronice półprzewodnikowej jest wygenerowanie w półprzewodniku elektronów spolaryzowanych spinowo, a następnie ich transfer, manipulacja i detekcja, procesy uosobione w przykładowym urządzeniu spintronicznym – spinowym FET. W tym projekcie chcemy zbadać ten problem w nowatorskich dwuwymiarowych (2D) półprzewodnikach, a mianowicie w dichalkogenkach metali przejściowych (TMDC). Należą one do nowej klasy materiałów 2D, które są stabilne nawet w postaci jednowarstwowej, i szturmem podbiły społeczność naukową w ciągu ostatniej dekady, wnosząc również powiew nowości do spintroniki. Warstwowy charakter tych materiałów 2D, ze słabymi siłami van der Waalsa (vdW) wiążącymi warstwy, umożliwia układanie ich pojedynczo jak klocki Lego, tworząc heterostruktury vdW. Ponieważ odkryto wiele rodzajów materiałów 2D, od izolatorów, poprzez półprzewodniki po metale, w tym materiały ferromagnetyczne i antyferromagnetyczne, można z tych elementów budować złożone heterostruktury vdW o ekscytujących funkcjach spintronicznych.

W projekcie planujemy zbadać dwie ścieżki prowadzące do generowania polaryzacji spinowej w TMDC. Ścieżka bezpośrednia obejmuje tak zwane elektryczne wstrzykiwanie spinu, w którym prąd elektryczny jest kierowany przez złącze pomiędzy metalem ferromagnetycznym a półprzewodnikiem, przenosząc polaryzację spinu z magnesu na półprzewodnik. Metoda ta została dobrze ugruntowana w przypadku konwencjonalnych półprzewodników objętościowych, ale nie przyniosła dotąd satysfakcjonujących rezultatów w tych nowatorskich materiałach. Druga ścieżka jest bardziej subtelna i ściśle związana z atomową naturą cienkich warstw w heterostrukturach vdW. Przewiduje się, że tak cienkie warstwy mogą czerpać pewne właściwości fizyczne z sąsiednich warstw poprzez tzw. efekty zbliżeniowe. Daje to fascynującą możliwość inżynierii również właściwości spintronicznych w strukturach vdW. Możliwe powinno być, np., zapożyczenie przez półprzewodnik umieszczony w bliskim sąsiedztwie magnesu właściwości magnetycznych tego drugiego, co powinno prowadzić do skończonej polaryzacji spinu, którą można później odczytać i sterować nią za pomocą metod elektrycznych lub optycznych. Wysokiej jakości interfejsy między odpowiednimi warstwami są absolutnie niezbędne dla obserwacji tych efektów, i w naszym projekcie chcemy zwrócić szczególną uwagę na przygotowanie takich interfejsów.

Zrozumienie mechanizmów determinujących generowanie i kontrolę polaryzacji spinowej w dwuwymiarowych półprzewodnikach otworzyłoby nowe fascynujące możliwości w inżynierii nie tylko funkcjonalności spintronicznych, ale także tych związanych z valleytroniką, kolejną nowatorską koncepcją w elektronice półprzewodnikowej. Może nas to przybliżyć do realizacji funkcjonalnych półprzewodnikowych urządzeń spintronicznych i valleytronicznych.