

W świecie nowoczesnych technologii trwa nieustanny wyścig o tworzenie coraz szybszych, mniejszych i bardziej energooszczędnych urządzeń elektronicznych. Jednym z kierunków, który może przynieść prawdziwą rewolucję, jest spintronika – dziedzina, która oprócz klasycznego ładunku elektrycznego wykorzystuje również spin elektronu, czyli jego wewnętrzny moment pędu. Jeśli uda się go kontrolować, można znacznie zwiększyć możliwości przesyłania i przechowywania informacji.

W projekcie badawczym skupimy się na stworzeniu złącz p-n, które działają nie tylko jak tradycyjna dioda, ale także jako element opto-spintroniki – czyli układ reagujący zarówno na światło, jak i na spin. Złącza będą zbudowane z materiałów dwuwymiarowych, składających się z jednej lub zaledwie kilku warstw atomów. Główne komponenty złącz to tzw. dichalkogenki metali przejściowych (TMDC) – materiały, które łączą w sobie doskonałe właściwości optyczne i elektroniczne. Mają one naturalną zdolność do tworzenia obszarów typu „p” (z przewagą dziur, czyli dodatnich nośników ładunku) i „n” (z przewagą elektronów), co umożliwia budowę złącza p-n. Nowością w projekcie jest to, że jedna ze stron złącza będzie spinowo spolaryzowana, czyli jej elektrony będą miały uporządkowane spiny. Ten efekt osiąga się nie przez bezpośrednie domieszki magnetyczne, lecz dzięki tzw. efektowi zbliżeniowemu (proximity effect) – wystarczy położyć w pobliżu cienką warstwę materiału magnetycznego, by wpłynęła ona na zachowanie elektronów w sąsiedniej warstwie TMDC.

Badania będą prowadzone w trzech głównych etapach:

1. Budowa i charakterystyka złącz p-n: pierwszym etapem będzie fabrykacja złącz, polegająca na nakładaniu na siebie cienkich warstw różnych materiałów – niczym „kanapkę” złożoną z atomowych płatków. Wykorzystane zostaną zarówno naturalne właściwości p i n półprzewodników TMDC, jak i techniki elektrycznego domieszkowania za pomocą zewnętrznego pola elektrycznego, by uzyskać różne typy nośników ładunku. Złącza będą badane pod kątem ich właściwości elektrycznych i optycznych.
2. Badanie magnetycznego efektu zbliżeniowego po jednej stronie złącza: kolejnym krokiem będzie dodanie warstwy magnetycznej i obserwacja zmian właściwości optycznych warstwy TMDC będącej w kontakcie z materiałem magnetycznym. Zjawisko to będzie analizowane za pomocą badania stopnia spolaryzowania kołowego emisji luminescencyjnej. Te pomiary potwierdzą istnienie magnetycznego efektu zbliżeniowego na złączu.
3. Testowanie funkcjonalności opto-spintronicznych: w ostatnim etapie wytworzone magnetyczne złącza zostaną przetestowane w dwóch trybach działania. Pierwszy – jak zmienia się emitowane światło (elektroluminescencja), gdy przez złącze płynie prąd. Szczególnie interesujące będzie, czy światło to ma określoną polaryzację, związaną ze spinem. Drugi – jaki prąd lub napięcie generuje złącze po poświeceniu na nie światłem o różnych polaryzacjach. Celem będzie zaobserwowanie klasycznego efektu fotowoltaicznego, ale również jego spinowego odpowiednika.

Do realizacji projektu wykorzystane zostaną zaawansowane metody technologiczne, m.in. praca w specjalnych, beztlenowych komorach (by zapobiec utlenieniu materiałów magnetycznych), pomiary w niskich temperaturach i polach magnetycznych, oraz zaawansowana spektroskopia.

Projekt porusza się na styku trzech nowoczesnych dziedzin – materiałów 2D, optoelektroniki i spintroniki. Choć wcześniej badano zjawiska związane ze spinem w materiałach dwuwymiarowych, nikt do tej pory nie zbudował złącza p-n, w którym jeden z jego elementów uzyskuje właściwości magnetyczne wyłącznie przez zbliżenie do warstwy ferromagnetycznej. Spodziewamy się zaobserwować polaryzację spinową w złączu p-n, wygenerowaną poprzez magnetyczny efekt zbliżeniowy. Ten efekt powinien być widoczny w stopniu polaryzacji kołowej elektroluminescencji oraz fotodetekcji zależnej od polaryzacji padającego światła. Uda się tu zatem pokazać nie tylko nowe efekty fizyczne, ale również zaproponować pierwsze kroki w kierunku urządzeń, które mogłyby znaleźć zastosowanie w przyszłych komputerach spintronicznych, detektorach światła czy energooszczędnych komponentach elektronicznych.