

Nieustanna miniaturyzacja w elektronice osiągnęła skalę kilku nanometrów – mikroelektronika zmienia się w nanoelektronikę. Kiedy zmniejszamy skalę długości, fizyka zaczyna być mniej klasyczna, a bardziej kwantowa. W nano-świecie zjawiska podlegają innym regułom, mogą być zaskakująco nieintuicyjne, bardzo delikatne, albo... wręcz przeciwnie - niesamowicie trwałe. Doskonałym przykładem tego ostatniego są tak zwane materiały topologiczne, w których właściwości mogą zmieniać się tylko w skokowo, a nie w sposób ciągły. Z tego powodu zjawiska w takich strukturach są bardzo stabilne. I, co niezwykle - materiały topologiczne mogą na przykład być izolatorami wewnątrz, ale przewodzić jak metale na powierzchni. Co więcej, taki prąd płynie tylko w jednym kierunku na danej krawędzi i bardzo często elektrony płynące w jednym kierunku mają tylko jeden określony kierunek spinu, czyli swojego wewnętrznego momentu magnetycznego. Jednak najbardziej unikalną cechą materiałów topologicznych jest to, że nie zachodzi w nich rozpraszanie, a zatem nie mają oporności. Efekty te nie są zakłócane przez małe niedoskonałości kryształu ani wzrost temperatury. W ten sposób materiały topologiczne są nie tylko areną nadzwyczajnych, fundamentalnych zjawisk, ale posiadają również ogromny potencjał dla zastosowań w nowoczesnych dziedzinach fizyki i technologii, w tym wysokowydajnej elektroniki, spintroniki, czy jako elementy komputerów kwantowych.

Z punktu widzenia fizyki teoretycznej i stosowanej kluczowe jest poszukiwanie i badanie różnych materiałów, które wykazują fazy topologiczne. Tutaj szczególnie interesujące są nanostruktury niskowymiarowe, na przykład hybrydowe struktury złożone z kilku warstw dwuwymiarowych (2D) kryształów o różnych właściwościach. Stale rosnący wysiłek eksperymentalny i teoretyczny ma na celu opracowanie nowatorskich materiałów dwuwymiarowych (2D), w szczególności wykorzystujących grafen jako podstawowy składnik przyszłych urządzeń nanoelektronicznych. Grafen jednowarstwowy sam w sobie nie jest materiałem topologicznym. Faza topologiczna może być jednak w nim indukowana, na przykład przez zewnętrzne pola magnetyczne (tak zwany kwantowy efekt Halla) lub przez sąsiedztwo innego materiału, takiego jak tak zwane dichalkogenki metali przejściowych, które zawierają atomy metali ciężkich.

Ochrona topologiczna - stabilność pewnych właściwości materiału - jest ściśle związana z symetriami w strukturze materiału. Symetrie te mogą być łamane przez określone kształty brzegów i złącz, które bezpośrednio wpływają na zachowanie topologicznych stanów granicznych. Projekt TIGHT ma na celu pogłębienie naszego zrozumienia tych właściwości, badając granice odporności topologicznej oraz kluczową rolę symetrii i cech strukturalnych, które nadają materiałom ich unikalne właściwości topologiczne. Głównym celem projektu jest stworzenie jasnych ram klasyfikacji i opisu warunków brzegowych w grafenowych kryształach 2D opartych na grafenie, ze szczególnym uwzględnieniem ich interfejsów. Podejście to zostanie również rozszerzone w celu zbadania, w jaki sposób właściwości objętościowe i zachowania graniczne są połączone - i jak silne jest to połączenie - w strukturach 2D, również poza grafenem. Jednocześnie, projekt będzie poszukiwał materiałów z fazami topologicznymi i przeanalizuje ich symetrie, zarówno wewnątrz materiału, jak i na jego krawędziach lub interfejsach. Aby sprostać tym wyzwaniom, projekt będzie poszukiwał stabilnych sposobów układania warstwowych materiałów na bazie grafenu, które zachowują ochronę topologiczną na krawędziach i złączach. Zbadane zostaną również najlepsze warunki do wspierania tych materiałów podczas produkcji. Porównując przewidywania teoretyczne z rzeczywistymi eksperymentami, projekt ma nadzieję odkryć nowe spojrzenie na interakcje między symetrią, strukturą i właściwościami topologicznymi.