

Struktury półprzewodnikowe o grubości pojedynczych warstw atomowych mogą znaleźć zastosowanie przy budowie urządzeń dla informatyki i kryptografii kwantowej. Dwuwymiarowa warstwa materiału może mieć inne własności niż wielowarstwowy, trójwymiarowy kryształ. Przełomowym eksperymentem, który to pokazał, było wyizolowanie i przebadanie płatków grafitu o grubości jednej warstwy atomowej (grafenu). Andre Geim i Konstantin Novoselov m. in. za te badania otrzymali Nagrodę Nobla w 2010 r.

Wadą grafenu, jako materiału o niezwykłych własnościach z punktu widzenia zastosowań w elektronice, jest to, że w czystej postaci nie jest on półprzewodnikiem. Jednakże to właśnie materiały półprzewodnikowe są pożądane w elektronice z uwagi na łatwość kontrolowania ich własności elektrycznych podczas budowy i samej pracy urządzeń elektronicznych. Co więcej grafen słabo nadaje się do zastosowań w elektronice spinowej (spintronice), a to z uwagi na bardzo słaby występujący w nim wpływ ruchu elektronu na jego spin (tzw. sprzężenie spin-orbita, sterowane zewnętrznym polem elektrycznym). Aktualnie poszukuje się takich modyfikacji struktury grafenu by zminimalizować te ograniczenia. Innym wyjściem jest poszukiwanie atomowo cienkich warstw innych materiałów posiadających zalety grafenu, a nieposiadających wymienionych wad.

Najbardziej obiecującymi są monowarstwy dwusiarczku molibdenu, dwuselenku wolframu i innych chalcogenków metali przejściowych. Są one nowoczesnymi materiałami o ciekawych własnościach elektrycznych i optycznych. W przeciwieństwie do grafenu mają skończoną prostą przerwę energetyczną—są półprzewodnikami, więc dużo łatwiej uwięzić w nich nośniki informacji kwantowej (elektrony bądź dziury) w tzw. elektrostatycznej kropce kwantowej. Dla nas najważniejsze jest to, że materiały te posiadają gigantyczną wartość sprzężenia spin-orbita, co więcej dwa jego rodzaje: wewnętrzne i elektrycznie sterowane. To nie koniec ciekawych własności. Dzięki specyficznej budowie sieci atomowej, w materiałach tych elektron i dziura posiadają dodatkowy (oprócz spinu) „dolinowy” dyskretny stopień swobody, na którym także możemy zdefiniować jednostkę informacji kwantowej.

Tematem badań realizowanych podczas stażu będzie zbudowanie ilościowych modeli numerycznych opisujących transport pojedynczych elektronów bądź dziur w dwuwymiarowych kryształach chalcogenków metali przejściowych. Modele te będą następnie wykorzystane do zaprojektowania nanourządzeń zawierających atomowo cienką warstwę takiego materiału. Poprzez przykładanie elektrod bramkowych uzyskamy w takiej monowarstwie strukturę kropki kwantowej w której uwięzione będą nośniki, na których zdefiniujemy jednostki informacji kwantowej—kubity. Przebadamy różne sposoby definiowania kubitu, wykorzystujące nowe własności tych materiałów: kubity spinowe, dolinowe, bądź mieszane. Przedstawimy realistyczne komputerowe symulacje czasowe działania nanourządzenia, podczas których wykonamy operacje logiczne na pojedynczych kubitach.

Badania te będą wkładem w dynamicznie rozwijający się dział nauki na styku informatyki kwantowej, fizyki ciała stałego i elektroniki jakim jest spintronika, oraz alternatywny jej kierunek znany jako dolinotronika. Proponowane przez nas bardzo realistyczne modelowanie nanourządzeń, wykorzystujące komputery o dużej mocy obliczeniowej, stoi na pograniczu teorii i eksperymentu, ale od prawdziwego eksperymentu jest znacznie tańsze.