

Streszczenie popularnonaukowe

Badania materiałów dwuwymiarowych (2D) zostały zapoczątkowane przez odkrycie grafenu, warstwy atomów węgla tworzących sieć heksagonalną. Zainspirowało to wytwarzanie innych kryształów 2D, w tym mono- i multi-warstw heksagonalnego azotku boru (ang. *hexagonal boron nitride*, hBN), dichalkogenków metali przejściowych (ang. *transition metal dichalcogenides*, TMD) takich jak diselenek wolframu (WSe_2), tlenki, i inne. Ich rozmaite własności oferują szerokie spektrum zastosowań w elektronice, mechanice i spintronice.

Urządzenia łączące różne własności można otrzymać w heterostrukturach powstałych przez układanie warstw różnych materiałów jedna na drugiej. Takie struktury są często porównywane do układania Lego, gdzie każdy klocek reprezentuje jedną lub kilka warstw kryształu 2D. Wyobraźmy sobie, że każdy klocek można układać pod dowolnym kątem. Nie da się tego zrobić z Lego, ale w świecie materiałów 2D nie ma takiego ograniczenia i dodatkowo możemy otrzymać jeszcze bardziej egzotyczne własności: na przykład dwie warstwy grafenu ułożone pod kątem ok. 1.1° mogą stać się nadprzewodnikiem.

Naszym celem jest badanie heterostruktur utworzonych głównie z grafenu, hBN i TMD. TMD są półprzewodnikami mającymi silne sprzężenie spin-orbita (ang. *spin-orbit coupling*, SOC), podczas gdy w grafenie jest ono bardzo słabe. Jednak naniesiony na podłoże z TMD grafen poprzez efekt bliskości zyskuje znaczące sprzężenie spin-orbita. W ten sposób grafen, materiał atrakcyjny dla zastosowań w elektronice, może dodatkowo zyskać własności przydatne w spintronice. Gdy sieci krystaliczne TMD i grafenu są skrócone pod niewielkim kątem, SOC uzyskuje nowe składowe, co zwiększa potencjał w zastosowaniach spintronicznych. Jednym z naszych celów jest badanie heterostruktur jako platformy do manipulacji spinem.

Kolejnym zjawiskiem występującym w skróconych warstwach są wzory moiré. Łączenie dwóch sieci skróconych pod małym kątem tworzy supersieci moiré o okresie rzędu dziesiątek nanometrów, znacznie większym niż w przypadku naturalnych sieci o okresach rzędu ułamków nanometra. Powstałe przez złożenie przewodzącego materiału 2D, takiego jak grafen, z innymi kryształami, sztuczne supersieci odkrywają przed nami wiele interesujących zjawisk fizycznych. Na przykład przewidziano, że w zewnętrznym polu magnetycznym na tyle silnym, by strumień przez komórkę elementarną sieci był rzędu h/e , kwantu strumienia magnetycznego, można zaobserwować wiele zjawisk, takich jak motyl Hofstadtera czy oscylacje Browna-Zaka. Jednak ich obserwacja w naturalnych sieciach wymagałaby pola magnetycznego rzędu 10^4 T, niemożliwego do uzyskania w laboratoriach. W supersieciach natomiast wystarczające jest pole magnetyczne rzędu ≈ 10 T, co jest znacznie łatwiej osiągalną wartością. Nie jesteśmy ograniczeni do wzorów moiré. Supersieci można otrzymać w grafenie także elektrostatycznie, przy pomocy periodycznych bramek, co stwarza możliwości projektowania dowolnych geometrii supersieci.

W naszych badaniach skupimy się na teoretycznym opisie urządzeń łączących grafen i inne materiały, poprzez symulacje elektrostatyki i przewodności, co pozwoli zrozumieć ich fundamentalne własności fizyczne oraz zaproponować zastosowania napędzające postęp w elektronice i spintronice.