

Izolatory topologiczne stanowią ciekawą fazę materii skondensowanej. Wykazują one własności izolujące w swoim wnętrzu, a przewodzące na powierzchni. Co jednak najważniejsze, to przewodnictwo powierzchniowe jest samoistną własnością danego materiału i nie zależy od defektów i domieszek. Okazuje się, że w przypadku bardzo cienkich warstw taki układ może stanowić dwuwymiarowy izolator topologiczny, w którym w trzech płaszczyznach jest izolujące, a przewodzi tylko krawędzie. Badania teoretyczne pokazały, że te prądy krawędziowe powinny wykazywać bardzo szczególne własności. Jedną z nich jest taka, że kierunek ruchu elektronu wzdłuż krawędzi jest ściśle związany z kierunkiem jego wewnętrznego momentu pędu, zwanego spinem. Jeżeli założymy, że symetria odwrócenia w czasie ruchu elektronu jest zachowana (a tak jest w nieobecności zewnętrznego pola magnetycznego i domieszek magnetycznych), to elektrony krawędziowe nie mogą zostać rozproszone do tyłu. W ten sposób poruszają się one ruchem balistycznym i przewodnictwo stanów krawędziowych powinno być skwantowane w jednostkach $2e^2/h$.

Badany w tym projekcie układ jest dwuwymiarowym izolatorem topologicznym, który stanowi bardzo cienką warstwę (o grubości rzędu pojedynczych nanometrów) półprzewodnika tellurku rtęci, HgTe, umieszczoną pomiędzy warstwami innego półprzewodnika HgCdTe. Już w 2007 roku grupa naukowców z Würzburga opublikowała pracę, w której stwierdzono, że we wspomnianym wyżej układzie faktycznie obserwuje się stan izolatora topologicznego. Pomiarów wskazywały na przewodnictwo przez kanały krawędziowe. Niestety tylko dla kilku mniejszych próbek wyniki w przybliżeniu zgadzały się z przewidywaną wartością oporu, jednak ich dokładność nie była dostatecznie zadowalająca. Wtedy też pojawiło się pytanie: co powoduje odchylenia od teorii? Dlaczego nie jesteśmy w stanie uzyskać przewidzianej wartości oporu elektrycznego? Na te pytania starano się odpowiedzieć przez ostatnie lata, jednak bez skutku. Podejrzewano kilka różnych przyczyn, między innymi jako wyjątkowych próbek.

Nasza grupa stara się przede wszystkim odpowiedzieć na pytanie, czy przyczyną problemów może być sposób przygotowania próbek do pomiarów. Należy bowiem brać pod uwagę to, że materiały zawierające rtęć są bardzo wrażliwe na temperaturę. W wyższych temperaturach atomy rtęci zaczynają się poruszać wewnątrz materiału, co może powodować w naszym wypadku mieszanie się ze sobą sąsiednich warstw i zniszczenie cieniutkiej warstewki czystego tellurku rtęci. Przez to własności próbki mogą się zmieniać. Problem w tym, że większość metod pozwalających na wytworzenie mikrostruktur niezbędnych do pomiarów elektrycznych, takich jak lutowanie, wygrzewanie, naświetlanie wiązką elektronów, wymaga wysokich temperatur.

Jednym z celów naszego projektu ma być udoskonalenie rozwijanej przez nas aktualnie niskotemperaturowej technologii przetwarzania studni kwantowych tellurku rtęci. Dzięki temu będziemy w stanie wytworzyć próbki wysokiej jakości, o nie pogorszonych własnościach. Drugim i głównym celem projektu jest zbadanie własności topologicznych kanałów brzegowych w tym układzie poprzez przeprowadzenie pomiarów elektrycznych w bardzo niskich temperaturach, poniżej 1 K.