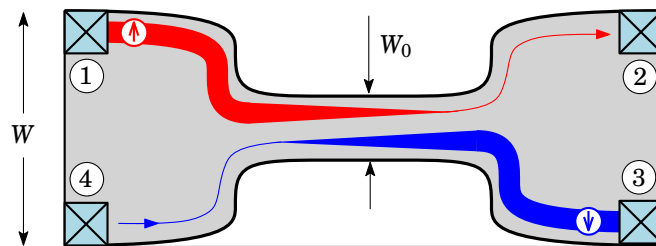


Jeszcze do niedawna w fizyce materii skondensowanej wszystkie znane ciała stałe dzielono na *metale* i *izolatory*. Ta fundamentalna klasyfikacja jest oparta na zdolności materiału do przewodzenia prądu elektrycznego, nawet w temperaturze zera bezwzględnego. Wydawało się, że zdolnością tą dysponują wyłącznie metale. Jednak ostatnio okazało się, iż listę znanych ciał stałych należy uzupełnić o nową klasę materiałów – tzw. *izolatory topologiczne*.

W materiałach tego typu prąd elektryczny – również w temperaturze absolutnego zera – może jednak płynąć, lecz wyłącznie *po powierzchni* kryształu. W związku z tym kryształ w swojej objętości zachowuje się jak izolator, a na powierzchni jak metal. Zjawisko przewodnictwa powierzchniowego *zwykłych* izolatorów jest znane od dawna i to na tyle dobrze, że jest ono podstawą działania wielu przyrządów elektronicznych. Jednak pochodzenie i własności prądów płynących na granicy pomiędzy próżnią, a wewnątrz izolatora *topologicznego*, są tak wyjątkowe i nieoczekiwane, że ich badania rozwijają się w nowy kierunek fizyki ciała stałego, nazwany niedawno w literaturze *Topotroniką*.

Przepis na 2-wymiarowy izolator topologiczny jest następujący: cienką warstwę kryształu (o grubości ok. 100 \AA) zamykamy w formie swoistej kanapki między dwoma warstwami izolatora o większej przerwie energetycznej. Struktura tego typu nazywana jest studnią kwantową, ponieważ energia jej pasm elektronowych zależy nie tylko od masy efektywnej, lecz również od grubości warstwy d . Dobieramy wartość d tak, aby pasmo walencyjne znalazło się *powyżej* pasma przewodnictwa. Za pomocą litografii wykonujemy z przygotowanej w ten sposób studni kwantowej kanał przewodzący o długości L i szerokości W , zakończony kontaktami elektrycznymi. Na brzegach kanału, jak pokazano na rysunku, powstaną stany powierzchniowe o liniowej dyspersji, które w tym przypadku nazywamy *prądami krawędziowymi*.

Powyższy przepis wydaje się prosty, ale dotychczas udało się go zrealizować jedynie dla kryształów telurku rtęci (HgTe) i podwójnej studni kwantowej z arsenku indu i antymonku galu (InAs/GaSb). Potwierdzono obecność stanów powierzchniowych, ale ich własności elektryczne wykazują znaczne odstępstwa od przewidywań teoretycznych. Konieczne są zatem dalsze prace nad ulepszeniem przepisu, ale niezbędnymi do tego technologiami dysponują jedynie nieliczne laboratoria na świecie. W tym gronie są dwa polskie ośrodki naukowe – Uniwersytet Rzeszowski (studnie HgTe) oraz Instytut Technologii Elektronowej w Warszawie (studnie InAs/GaSb). Było to bezpośrednią motywacją do podjęcia badań w naszym projekcie, zmierzających w pierwszym etapie do optymalizacji technologii wytwarzania 2-wymiarowych struktur *topotronicznych*.



Rys. 1 Przykład struktury *topotronicznej*, która będzie przedmiotem badań. W kanale o szerokości W wykonano przewężenie o rozmiarze $W_0 \ll W$. Prądy krawędziowe są tutaj tak blisko siebie, że kierunek momentu magnetycznego nośników ładunku może ulec zmianie wyłącznie na skutek słabych oddziaływań z siecią krystaliczną. Dzięki temu, przepuszczając prąd między kontaktami (1) i (3), możemy dokonać *operacji logicznej* na spinie elektronu, odwracając go o 180 stopni.

Proponowane badania mają przede wszystkim charakter podstawowy. Studia eksperymentalne i teoretyczne zostaną poświęcone analizie mechanizmów fizycznych zaburzających przewodnictwo elektryczne nośników ładunku o zerowej masie efektywnej. Jak pokazuje rysunek 1, na każdym z brzegów kanału przewodzącego płyną w *przeciwnych kierunkach* dwa prądy krawędziowe, niosące elektrony z przeciwnymi znakami momentu magnetycznego (tzw. *spinu*). Aby zmienić kierunek prądu przy *tej samej* krawędzi, należy obrócić spin elektronu o 180 stopni, ale do tego potrzebna jest obecność pola magnetycznego. A zatem, bez udziału silnych oddziaływań magnetycznych, elektron nie może się rozproszyć do tyłu, podlega bowiem tzw. *ochronie topologicznej*. Ochrona może być jednak nieskuteczna, gdy na skutek defektów w strukturze studni kwantowej elektron rozproszy się *do przeciwległej* krawędzi kanału przewodzącego. Mechanizmy tego typu będą, między innymi, przedmiotem naszych badań.

Odporność prądów topologicznych na obecność defektów i domieszek sprawia, że nasz projekt ma również aspekt aplikacyjny. Optymalizacja przepisu na wytworzenie 2-wymiarowego izolatora topologicznego pozwoli myśleć o wykorzystaniu chronionych topologicznie prądów krawędziowych do konstrukcji szybkich tranzystorów polowych i nowych struktur spintronicznych. Przykład takiego urządzenia pokazano na rysunku.