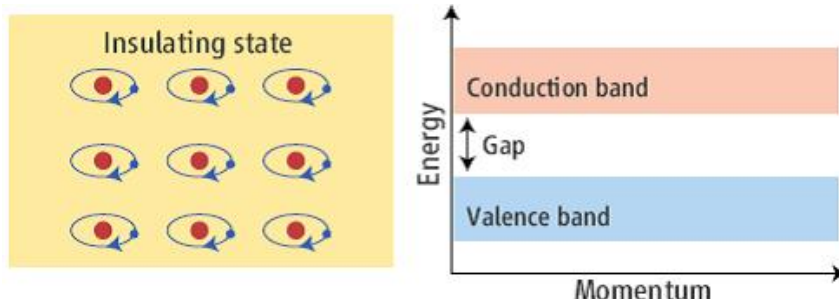


Istnieje egzotyczna klasa izolatorów wykazujących silne przewodnictwo elektryczne na powierzchni. Stany te są formowane przez efekty topologiczne powodujące, że poruszające się ładunki elektryczne są nieczułe na defekty. Zjawiska występujące w tych izolatorach pozwalają na generowanie nowych faz i cząstek mogących potencjalnie zastosowanie w spintronice i komputerach kwantowych.

Do niedawna podział materiałów ze względu na ich własności elektryczne związany był z wartością przerwy energetycznej  $E_g$  między pasmem walencyjnym i obejmował cztery grupy: izolatory ( $E_g > 3$  eV), półprzewodniki ( $0 < E_g < 3$  eV) i przewodniki ( $E_g = 0$  eV). Dokładnie opisuje to teoria pasmowa przewodnictwa elektrycznego. Izolatory można podzielić na kilka podgrup ze względu na zjawiska fizyczne odpowiedzialne za brak przewodnictwa elektrycznego. Są to: izolatory Motta, Andresona oraz izolatory „kwantowe” związane z kwantowym efektem Halla (ang. Quantum Spin Hall Effect Insulator - QSHEI). Obrazowo izolator można przedstawić jako układ elektronów silnie związanych z jądrem atomowym.

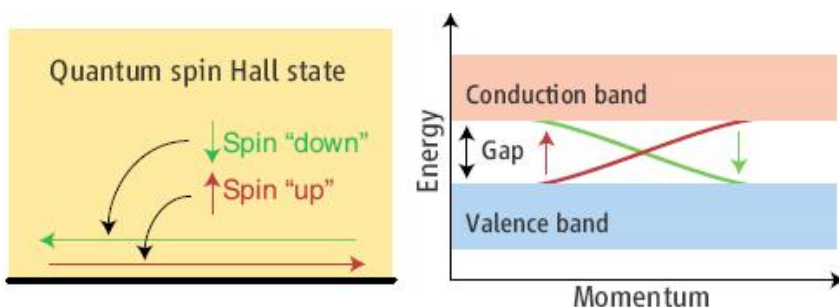


Rys. 1. Model pasmowy izolatora klasycznego (Science 314, 1692 (2006)).

Transport ładunku w izolatorach topologicznych posiada interesujące cechy – nie jest rozpraszany na defektach, chyba, że są to defekty magnetyczne. Powstało więc pytanie, czy są jakieś inne czynniki wpływające na proces transferu ładunku (sygnału elektrycznego)? Badany przez nas izolator topologiczny wykazuje doskonale własności termoelektryczne. Transport ciepła w ciele stałym związany jest z propagacją fononów akustycznych (kolektywnych drgań sieci krystalicznej). Czy zatem fonony te mogą również wpływać na transport ładunku elektrycznego? Innymi słowami, czy można zaobserwować sprzężenie elektron-fonon akustyczny?

W naszym projekcie planujemy zweryfikować hipotezę i takie sprzężenie istnieje. Ponieważ stany brzegowe izolatora topologicznego związane są z jego powierzchnią, zatem powinniśmy obserwować sprzężenie elektron-akustyczny fonon powierzchniowy. Sprzężenie takie zostało teoretycznie przewidziane przez P. Thalmeira (Phys. Rev. B 83, 125314, 2011)

W celu weryfikacji powyższej hipotezy będziemy obserwować, przy użyciu wysokorozdzielczego spektrometru Brillouina, fonony na powierzchni izolatora topologicznego oraz zależność ich energii (czyli częstotliwości) od wektora falowego czyli tzw. zależność dyspersyjną  $\omega(q)$ . W zakresie wektorów falowych dostępnych w naszym eksperymencie rozpraszania światła zależność  $\omega(q)$  jest prawie liniowa dla „normalnych” izolatorów i przewodników. Na rysunku 3 przedstawiamy wstępne wyniki naszych badań zależność dyspersyjnej izolatora topologicznego Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> dwóch wzbudzeń powierzchniowych (SAW 1 i 2). Linie ciągłe to klasyczne zależności  $\omega(q)$  wyliczone metodą elementów skończonych (FEM) dla badanego układu. Jak widać, fakt istnienia na powierzchni stanów „up” and „down” (Rys. 3) silnie modyfikuje zależność dyspersyjną, co wyjdzie być związane z postulowanym sprzężeniem elektron –fonon powierzchniowy.



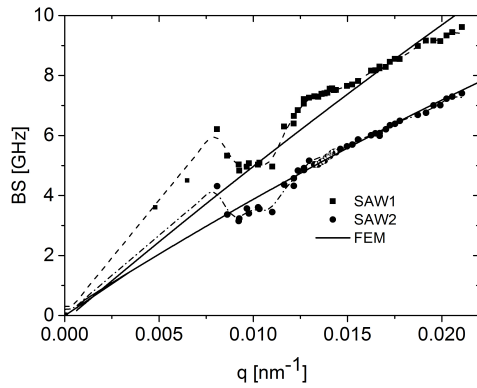
Rys. 2. Model pasmowy materiału wykazującego QSHE (Science 314, 1692 (2006)).

Transport ładunku w izolatorach topologicznych posiada interesujące cechy – nie jest rozpraszany na defektach, chyba, że są to defekty magnetyczne. Powstało więc pytanie, czy są jakieś inne czynniki wpływające na proces transferu ładunku (sygnału elektrycznego)? Badany przez nas izolator topologiczny wykazuje doskonale własności termoelektryczne. Transport ciepła w ciele stałym związany jest z propagacją fononów akustycznych (kolektywnych drgań sieci krystalicznej). Czy zatem fonony te mogą również wpływać na transport ładunku elektrycznego? Innymi słowami, czy można zaobserwować sprzężenie elektron-fonon akustyczny?

W naszym projekcie planujemy zweryfikować hipotezę i takie sprzężenie istnieje. Ponieważ stany brzegowe izolatora topologicznego związane są z jego powierzchnią, zatem powinniśmy obserwować sprzężenie elektron-akustyczny fonon powierzchniowy. Sprzężenie takie zostało teoretycznie przewidziane przez P. Thalmeira (Phys. Rev. B 83, 125314, 2011)

W celu weryfikacji powyższej hipotezy będziemy obserwować, przy użyciu wysokorozdzielczego spektrometru Brillouina, fonony na powierzchni izolatora topologicznego oraz zależność ich energii (czyli częstotliwości) od wektora falowego czyli tzw. zależność dyspersyjną  $\omega(q)$ . W zakresie wektorów falowych dostępnych w naszym eksperymencie rozpraszania światła zależność

$\omega(q)$  jest prawie liniowa dla „normalnych” izolatorów i przewodników. Na rysunku 3 przedstawiamy wstępne wyniki naszych badań zależności dyspersyjnej izolatora topologicznego Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> dwóch wzbudzeń powierzchniowych (SAW 1 i 2). Linie ciągłe to klasyczne zależności  $\omega(q)$  wyliczone metodą elementów skończonych (FEM) dla badanego układu. Jak widać fakt istnienia na powierzchni stanów „up” and „down” (Rys. 3) silnie modyfikuje zależność dyspersyjną, co wydajecie by związane z postulowanym sprzężeniem elektron – fonon powierzchniowy.



Rys. 3. Zależność dyspersyjna dwóch fononów powierzchniowych dla izolatora topologicznego Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>. BS – częstotliwość fononu, q - wektor falowy)

Drugim ważnym celem projektu jest zbadanie jak zmodyfikowanie powierzchni izolatora topologicznego przez naniesienie na nią periodycznej nanostruktury (tzw. fononika) wpłynie na sprzężenie elektron – fonon. Poprzez odpowiedni dobór okresu nanostruktury oraz jej rozmiaru (masy) można wytworzyć przerwy energetyczne o danej wartości. Jeżeli postawiona wyżej hipoteza jest prawdziwa, to sprzężenie elektron-akustyczny fonon powierzchniowy nie powinno być obserwowane w zakresie energii fononów pokrywających się z przerwami energetycznymi.

W przypadku gdy nanostruktura będzie wykonana z metalu szlachetnego (Au lub Ag) spodziewamy się możliwości obserwacji plazmonów, czyli kolektywnych ruchów elektronów na powierzchni izolatora topologicznego.