

Dopants, non-stoichiometry and defects versus topologically non-trivial surface electronic states in Bi_2Se_3 and Bi_2Te_3

mgr inż. Kamil Nowak

Streszczenie

Mimo, że izolatory topologiczne (ang. topological insulators, TI) takie jak monokrystaliczne Bi_2Se_3 i Bi_2Te_3 posiadają unikalne właściwości metalicznych stanów powierzchniowych posiadających strukturę stożka Diraca, które otwierają drogę do zaawansowanych technologii, ich praktyczne zastosowania są wciąż słabo rozwinięte. Jednym z czynników ograniczających jest niedostateczna kontrola detali struktury elektronowej takich jak położenie poziomu Fermiego względem stanów elektronowych powierzchni i objętości. Prowadzi to do niepożądanego przewodnictwa objętościowego, które dominuje właściwości powierzchniowe TI.

W pracy zaproponowano kilka metod oddziaływania na strukturę elektronową TI w celu poprawy ich charakterystyk. Wpływ wprowadzonych zmian na szereg parametrów zbadano technikami charakteryzującymi się wysoką czułością powierzchniową takimi jak skaningowa mikroskopia i spektroskopia tunelowa (STM/STS), kątowno-rozdzielcza spektroskopia fotoelektronów (ARPES), dyfrakcja elektronów o niskiej energii (LEED) czy spektroskopia elektronów Auger'a (AES). Pomiar eksperymentalne zostały skonfrontowane z obliczeniami według teorii funkcjonału gęstości (DFT). Badania uzupełniły pomiary magnetotransportu w temperaturach poniżej 1 K umożliwiające obserwacje oscylacji kwantowych Shubnikov–de Haas'a.

Badania Bi_2Se_3 domieszkowanego atomami Mg i Fe wykazały, że obie domieszki modyfikują stany powierzchniowe o strukturze stożka Diraca, co powoduje zmianę takich parametrów jak promień powierzchni Fermiego czy masa efektywna nośników. Wykazano, że domieszkowanie atomami Fe powoduje znaczące przesunięcie poziomu Fermiego w głąb objętościowego pasma przewodnictwa. Topologiczne stany na powierzchni okazały się odporne na wprowadzenie domieszek Mg i Fe. W szczególności na magnetyczną domieszkę Fe, gdyż domieszki magnetyczne mogą mieć tendencję

do niszczenia nietrywialnej topologii układu.

Odstępstwa od idealnej stechiometrii związku Bi_2Te_3 okazały się mieć istotny wpływ na charakter przewodnictwa materiału jak i dystrybucję występujących w związku defektów strukturalnych. Seria próbek zsyntetyzowana w funkcji warunków koncentracji Te wykazuje zmianę przewodnictwa typu p występującego dla związku stechiometrycznego na typ n dla wyraźnie nad-stechiometrycznych koncentracji Te. Najważniejszym uzyskanym wynikiem jest wykazanie, że zmiana charakteru przewodnictwa odbywa się poprzez płynne przesuwanie położenia poziomu Fermiego w funkcji stężenia Te, od objętościowego pasma walencyjnego, poprzez przerwę dla stanów objętości aż do objętościowego pasma przewodnictwa. Wykazano ponadto, że powierzchniowe stany o liniowej dyspersji są obecne we wszystkich próbkach o zawartości Te z badanego zakresu. Oznacza to, że istnieją takie stężenia Te, w których poziom Fermiego może być położony w przerwie dla stanów objętości, gdzie występują wyłącznie topologicznie chronione stany powierzchni.

Jednym z wyników uzyskanych w pracy jest zależność właściwości stanów elektronowych powierzchni od statystycznego rozkładu defektów w sieci krystalicznej Bi_2Te_3 . Obróbka termiczna Bi_2Te_3 została zastosowana jako metoda wzbudzania dyfuzji defektów strukturalnych materiału mogącej prowadzić do znacznych zmian w statystyce ich rozkładu w próbce, jak na przykład aglomeracji w warstwach przypowierzchniowych. W pomiarach bezpośrednio zaobserwowano wspomnianą dyfuzję, jednak stwierdzono, że finalnie nie prowadzi ona do drastycznych zmian statystyki defektów przy powierzchni, ani tym samym struktury elektronowej. Po przekroczeniu określonej temperatury zaobserwowano powstawanie nowej fazy pokrywającej fragmenty powierzchni Bi_2Te_3 o lokalnie innej strukturze elektronowej niż powierzchnia wyjściowego materiału, nawet po wygrzewaniu. Globalny charakter przewodnictwa próbki, której duże obszary powierzchni pokryte są nową fazą okazuje się niezaburzony. Co więcej uzyskano potwierdzenie, że topologiczne stany powierzchni są odporne na częściowe pokrycie powierzchni inną fazą i są obecne na wygrzewanej próbce w obszarach, których konfiguracja atomowa nie uległa zmianie.

Kamil Wójcik