

Streszczenie

Rozprawa doktorska: Wzrost metodą epitaksji z wiązek molekularnych (MBE) oraz badania techniką kątowno-rozdzielczej spektroskopii fotoelektronów (ARPES) materiałów topologicznych: $Pb_{1-x}Sn_xSe$ oraz $\alpha-Sn$.

Niniejsza rozprawa doktorska koncentruje się na cienkowarstwowych materiałach topologicznych: $Pb_{1-x}Sn_xSe$ oraz $\alpha-Sn$ (szarej cynie), które należą odpowiednio do klasy topologicznych izolatorów krystalicznych (ang. Topological crystalline insulator, TCI) oraz półmetali Luttingera. Unikalną właściwością materiałów topologicznych jest obecność topologicznie chronionych stanów powierzchniowych o zamkniętej przerwie energetycznej, przy jednoczesnym zachowaniu zwyczajnej przerwy energetycznej w części objętościowej. Wpływ zewnętrznych zaburzeń na stany powierzchniowe jest wyjątkowo interesujący. W szczególności zrozumienie struktury pasmowej na granicy TCI i materiałów magnetycznych (MM) kryje w sobie potencjał do realizacji egzotycznych właściwości elektronicznych i do utworzenia drogi dla nowych urządzeń spinowo-orbitronicznych. Naprężenia lub pole magnetyczne mogą być użyte do manipulowania topologicznymi fazami $\alpha-Sn$, co otwiera drogę do możliwych zastosowań w elektronice topologicznej.

Podczas badań do niniejszej rozprawy, w celu wyhodowania materiałów topologicznych, zastosowana została metoda epitaksji z wiązek molekularnych (ang. molecular beam epitaxy, MBE). Z jej użyciem wytworzono wysokiej jakości cienkie warstwy TCI $Pb_{1-x}Sn_xSe$, a także naprężone ściskająco cienkie warstwy $\alpha-Sn$, w fazie półmetal Diraca (ang. Dirac semimetal, DSM), wyhodowane na izolujących, hybrydowych podłożach CdTe/GaAs (001). Charakteryzację strukturalną warstw epitaksjalnych przeprowadzono z wykorzystaniem odbiciowej dyfrakcji wysokoenergetycznych elektronów (ang. Reflection High-Energy Electron Diffraction, RHEED), dyfrakcji rentgenowskiej (ang. X-ray diffraction, XRD), skaningowej mikroskopii elektronowej (ang. scanning electron microscopy, SEM) i mikroskopii sił atomowych (ang. atomic force microscopy, AFM).

Struktura elektronowa oraz polaryzacja spinowa stanów powierzchniowych w $Pb_{1-x}Sn_xSe$ zostały zbadane za pomocą kątowno-rozdzielczej spektroskopii fotoelektronów (ang. angle-resolved photoelectron spectroscopy, ARPES) i spinowo rozdzielczej ARPES (SR-ARPES). Badania te nie tylko poddały eksperymentalnej weryfikacji przewidywania teoretyczne dotyczące otwierania przerwy pasmowej w wyniku z wprowadzenia domieszek magnetycznych na powierzchni TCI, ale ujawniły również istnienie rozszczepionych stanów powierzchniowych Rashby (ang. Rashba-split surface states, RSS) indukowanych przez osadzenie na powierzchni TCI metalu przejściowego (ang. transition metal, TM), w ilości mniejszej niż jedna warstwa. Uzyskane wyniki udowodniły także możliwość dostrajania współczynnika Rashby w zakresie od 0 do $3,5 \text{ eV}\cdot\text{\AA}$. Co więcej, wykazano również niewystępowanie otwierania przerwy energetycznej stanów powierzchniowych ze względu

Warszawa, 25.09.2023

na efekty magnetyczne. Badania SR-ARPES przeprowadzone przy wyższych energiach fotonów pobudzających ujawniły spiralną polaryzację spinową w $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}$ zarówno w fazie TCI, jak i normalnego izolatora (NI), z polaryzacją spinową w płaszczyźnie (ang. in-plane) sięgającą aż 30%. Co ciekawe, zaobserwowane zostało przejście fazowe TCI-NI, wywołane zmianami składu powierzchni w wyniku osadzania TM, a nie magnetyzmem powierzchniowym pochodzącym od domieszek magnetycznych na powierzchni TCI.

Struktura elektronowa naprężonej ściskająco szarej cyny również została zbadana za pomocą ARPES. Przeprowadzone badania ujawniły obecność topologicznych stanów Dyakonova-Khaetskigo i potwierdziły obecność fazy DSM w naprężonej ściskająco $\alpha\text{-Sn}$, wyhodowanej na hybrydowych izolujących podłożach CdTe/GaAs (001).

Ta rozprawa stworzyła także podstawy do dalszych optycznych i transportowych badań materiałów topologicznych poprzez istotny wkład w uruchomienie technologii wzrostu takich materiałów z użyciem metody MBE oraz przez dostarczenie odpowiednich struktur. W pracy wykazano również, że $\alpha\text{-Sn}$ wyhodowana na izolacyjnym podłożu hybrydowym jest atrakcyjnym materiałem do badań z zakresu fizyki relatywistycznej, obejmujących anomalie chiralną.

Bartłomiej Turkowski