

Tak zwane związki Heuslera metali przejściowych to rozległa klasa materiałów o szerokiej gamie właściwości fizykochemicznych, które mogą być szeroko stosowane w spintronice i odnawialnych źródłach energii. Były one intensywnie badane przez wiele lat i wykazały gigantyczny magnetoopór, wyróżniające się właściwości fotowoltaiczne, pamięć kształtu, efekty magnetokaloryczny i termoelektryczny oraz silne korelacje elektronowe. Mogą one być półprzewodnikami magnetycznymi, semimetalami lub półmetalami, materiałami z uporządkowaniem magnetycznym lub nadprzewodnikami. Te multifunkcjonalne właściwości można łatwo regulować niewielkimi modyfikacjami ich składu lub różnymi parametrami zewnętrznymi.

Odkrycie trójwymiarowych układów topologicznych zapoczątkowało w pierwszej dekadzie obecnego stulecia niezwykle dynamiczny rozwój nowej gałęzi fizyki zajmującej się materiałami topologicznymi. Obecnie liczne izolatory i półmetale o nietrywialnych stanach metalicznych, chronionych przed chaotycznymi zaburzeniami przez więzy wynikające z topologii ich stanów elektronowych, są intensywnie badane za pomocą zaawansowanych metod eksperymentalnych i teoretycznych fizyki, chemii i badań materiałowych.

Intensywne badania prowadzone przez nas i inne grupy w ciągu ostatnich dziesięciu lat wykazały, że wiele związków należących do podklasy faz Heuslera o strukturze typu $MgAgAs$, zawierających pierwiastki ziem rzadkich, jest izolatorami lub półmetalami topologicznymi, a jednocześnie posiada wiele z wyżej wymienionych właściwości multifunkcjonalnych. Takie połączenie topologicznej nietrywialności z wielofunkcyjnymi właściwościami może zaowocować multifunkcyjnym materiałem topologicznym, takim jak topologiczny nadprzewodnik, układ z anomalnym zjawiskiem Halla, układ dynamicznych aksjonów czy topologiczny układ ciężkofermionowy. Zamierzymy modyfikować takie fazy Heuslera poprzez domieszkowanie (przygotowanie roztworów stałych, także takich gdzie atomy niemagnetyczne zastępowane są magnetycznymi, i na odwrót), albo otrzymanie ich w postaci cienkich warstw. Takie modyfikacje pozwolą nam regulować, ulepszać, a nawet generować nowe multifunkcjonalne właściwości topologiczne.

Aby przewidzieć wpływ zmian strukturalnych na stan elektronowy posłużymy się wynikami obliczeń struktury elektronowej z zasad pierwszych, zarówno wykonanych samodzielnie, jak też już opublikowanych. Połączenie naszych uzupełniających się szerokich doświadczeń w obszarze wzrostu monokryształów (z topników) i przygotowania cienkich warstw (metodami *co-sputtering*, naparowania lub osadzania za pomocą lasera impulsowego) takich faz Heuslera, pomiarów własności elektronowych (magnetooporu, zjawiska Halla, oscylacji kwantowych) i własności magnetycznych, dogłębnej charakterystyki stanu nadprzewodzącego w bardzo niskich temperaturach (opór elektryczny, podatność magnetyczna, ciepło właściwe), umożliwi nam pogłębione zrozumienie i skuteczne regulowanie multifunkcyjnych właściwości topologicznych wynikających z korelacji struktury, składu chemicznego i objętościowego magnetyzmu ze strukturą elektronową i sprzężeniem spinowo-orbitalnym. Zamierzymy zbudować i scharakteryzować urządzenia oparte na zoptymalizowanych, multifunkcyjnych topologicznych cienkich warstwach

Szczególny wysiłek zostanie poświęcony charakterystyce topologicznego nadprzewodnictwa obserwowanego w takich związkach Heuslera w bardzo niskich temperaturach, a nawet współistniejącego ze stanem uporządkowania magnetycznego. W niemagnetycznym $YPtBi$ odkryto nowy, mieszany typ stanu parowania nadprzewodzącego: mieszaninę singletu spinowego typu s i kwintetu spinowego typu d , indukowanych przez sprzężenie spinowo-orbitalne, nawet przy braku symetrii inwersji, gdzie elektrony posiadają efektywny "spin- $3/2$ ". Topologiczne nadprzewodnictwo jest niezwykle interesującym stanem materii kwantowej, ze względu na możliwość pojawienia się z fascynujących wzbudzeń kwazicząstkowych: fermionów Majorany.

Spróbujemy zaobserwować i potwierdzić wpływ siły sprzężenia spinowo-orbitalnego na objętościową strukturę pasmową takich faz Heuslera. Zamiast metod czułych powierzchniowo, takich jak kątowno-rozdzielcza spektroskopia fotoemisyjna i skaningowa spektroskopia tunelowa, użyjemy spektroskopii magnetycznego rezonansu jądrowego czułego na objętość próbki, aby śledzić izotropowe przesunięcia widm ^{209}Bi i ich zachowanie względem siły sprzężenia spinowo-orbitalnego i średnich liczb atomowych.

Nasze uzupełniające się doświadczenia umożliwią powstanie silnego i wszechstronnego zespołu, posiadającego wszystkie umiejętności i urządzenia wymagane, by sprostać wyzwaniom proponowanego planu badań. Projekt ten będzie miał szerokie konsekwencje zarówno dla badań podstawowych, jak i potencjalnych zastosowań i będzie stymulować przyszłe wspólne przedsięwzięcia. Rezultatem projektu będzie zainicjowanie nowych oryginalnych ścieżek badawczych w fizyce materiałów topologicznych. Badanie i dogłębne zrozumienie roli, jaką magnetyzm odgrywa w magnetycznych izolatorach topologicznych i półmetalach, w szczególności jego oddziaływanie z nadprzewodnictwem, nie tylko znacznie poszerzy naszą wiedzę, ale potencjalnie przyniesie nowe zastosowania takich materiałów w projektowaniu i wytwarzaniu jednostek pamięci, czujników i innych urządzeń spintronicznych, a być może także innowacyjne urządzenia do obliczeń kwantowych.