

Abstract for The General Public: (Polish version)

Nadprzewodnictwo jest fantastyczną właściwością materiałów, które przewodzą prąd elektryczny z zerowym oporem dla przepływu elektronów, a więc bez generowania niepożądanego ciepła z powodu efektów grzewczych Joule'a. Dodatkowo, gdy materiał znajduje się w stanie nadprzewodzącym, pole magnetyczne jest wypychane z jego objętości. Wszystkie te niezwykle zjawiska występują poniżej pewnej temperatury krytycznej (T_c), która zwykle jest znacznie poniżej 0°C (273 K), a to bardzo utrudnia praktyczne zastosowania. W 1911 roku Kamerling Onnes odkrył nadprzewodnictwo, gdy schłodził rtęć do temperatury 4,2 K, tzn. tylko 4,2 stopnia powyżej zera absolutnego (-269°C). Materiały nadprzewodnikowe charakteryzują się trzema podstawowymi parametrami: temperaturą krytyczną T_c , górnym polem krytycznym H_{c2} i krytyczną gęstością prądu J_c . Te dwa ostatnie są na ogół ważniejsze dla aplikacji niż temperatura. Niedawne odkrycie nadprzewodników z T_c w temperaturze pokojowej otrzymanych technikami wysokich ciśnień (HPT) wzbudziło znacznie większe zainteresowanie tą dziedziną.

Przedstawiony tu projekt koncentruje się na jednej z najnowszych rodzin nadprzewodników o wysokim T_c (HTS) - nadprzewodnikach na bazie żelaza (FBS), odkrytych w 2008 roku. Wcześniejsze modele teoretyczne przewidywały, że żelazo, z powodu dużego momentu magnetycznego, jest szkodliwe dla pojawienia się nadprzewodnictwa. Dziś w ramach tej rodziny dostępnych jest ponad 100 związków o licznych nowatorskich właściwościach, które dają wyjątkową okazję do zrozumienia mechanizmu nadprzewodnictwa.

Wyjątkową właściwością FBS jest ich wysokie krytyczne pole magnetyczne H_{c2} , często sięgające 100 T. Wartość ta znacznie przewyższa możliwości tak zwanych konwencjonalnych nadprzewodników, NbTi i Nb₃Sn (z $H_{c2} \sim 25$ T), które są obecnie stosowane w komercyjnych urządzeniach. Istnieją inne nadprzewodniki o podobnie wysokim H_{c2} , takie jak REBCO (REBa₂Cu₃O_x; RE = metale ziem rzadkich), które są jednak bardzo trudne i drogie w produkcji na dużą skalę. Niemniej jednak rekordowe stabilne pole magnetyczne 45 T zostało osiągnięte za pomocą cewki nadprzewodzącej REBCO umieszczonej wewnątrz tradycyjnej cewki miedzianej - pierwszej produkującej 33 T. Dzięki FBS wydaje się być możliwe osiągnięcie tej wartości lub wyższych pól magnetycznych bez użycia miedzianych cewek – to w dużej mierze zwiększyłoby dostępność takich urządzeń.

Aby opracować materiał o takich możliwościach, potrzebne są obecnie dalsze badania podstawowe. Temperatura krytyczna T_c FBS mieści się w zakresie od 5 do 60 K i silnie zależy od subtelnych zmian w strukturze krystalicznej. Efekty te nie tylko informują o podstawowych właściwościach materiałów, ale także określają ich przydatność. W chwili obecnej T_c co najmniej 30 K jest oczekiwane przez branżę. Ponadto wysoki prąd krytyczny przy wysokich polach magnetycznych jest niezbędny, szczególnie do produkcji magnesów nadprzewodzących. J_c jest maksymalną gęstością prądu elektrycznego, który może przepływać przez materiał nadprzewodzący w określonej temperaturze i polu. FBS ma fantastyczną właściwość – ich wysoka gęstość prądu krytycznego J_c nie zmniejsza się znacząco wraz ze wzrostem pola magnetycznego. Ogólnie rzecz biorąc, dynamika wiru kontroluje całą odpowiedź elektromagnetyczną tych materiałów nadprzewodzących, w tym ich aktualną „nośność prądową”. Jednak fizyka wirów HTS jest nadal niejasna. Ze względu na te problemy nie można było zaprojektować próbek o dobrych właściwościach przenoszenia prądu – jest to wyzwaniem technologicznym dla niedawno odkrytych związków.

Nasz projekt badawczy ma unikalną cechę – metody syntezy wysokociśnieniowej i wysokotemperaturowej (HP-HTS). Odróżnia nas to od innych grup na całym świecie, które najczęściej wykorzystują przetwarzanie pod normalnym ciśnieniem. Technika wysokociśnieniowa jest unikalną, rzadką i wyrafinowaną techniką. Nieliczne raporty z badań technologicznych wykorzystujących wysokie ciśnienia przy wytwarzaniu FBS udowodniły, że technika ta jest bardziej korzystna w porównaniu z konwencjonalnymi metodami. Wprowadzona tu kontrolowana ciśnieniowa modyfikacja diagramu fazowego, zwiększona reaktywność komponentów czy zapobieganie parowaniu, dodatkowo poprawia własności nadprzewodzące. Do pełnego poznania i wykorzystania właściwości FBS potrzebne są szczegółowe i systematyczne badania serii próbek.

Projekt ten ma na celu skupienie się na wewnętrznych własnościach materiałów FBS, wpływających na mechanizmy kotwiczenia wirów, wytwarzanych z pomocą technik wysokiego ciśnienia. Dwie ważne rodziny: 1111 (REFeAsO) (jako struktura domieszkowana) and 1144 (AeAF₄As₄; Ae = Ca, Eu; A = K, Rb) (jako struktura stechiometryczna) będą zasadniczym celem badawczym tego projektu. Zaprojektujemy i skonfigurujemy technikę HP-HTS, a także system pomiarowy z uchwycem na próbki do charakteryzacji transportowej próbek w warunkach niskich temperatur i w wysokim polu magnetycznym. Zoptymalizujemy różne parametry syntezy, aby wyhodować wysokiej jakości monokryształy i cienkie warstwy metodą HP-HTS. Przygotowane próbki mają być charakteryzowane w szerokim zakresie pomiarów potwierdzających wysoką jakość próbek oraz pozwolić analizować właściwości nadprzewodzące i różne parametry kotwiczenia. Wyniki tego projektu dostarczą głębszego zrozumienia wewnętrznego mechanizmu unieruchomienia wirów i krytycznych właściwości prądowych FBS w aspekcie efektów chemicznych i stosowanego ciśnienia, które zostaną opublikowane w uznanych ważnych międzynarodowych czasopismach. Wreszcie, sukces tego projektu pozwoli wiarygodnie przewidzieć właściwości elektromagnetyczne rzeczywistych materiałów nadprzewodzących. Projekt ten pozwala również na zbudowanie i rozwój skutecznego zespołu badawczego, który skoncentruje się na badaniach podstawowych poprzez HPT w Polsce. Projekt ten wzmocni również polską współpracę w tej dziedzinie badań i wykaże, że przy użyciu unikalnych technologii, można spodziewać się unikatowych rezultatów. Będziemy również współpracować z różnymi polskimi grupami i będziemy dzielić się wiedzą i próbkami przeznaczonymi do bardziej zaawansowanych charakteryzacji fizykochemicznych.