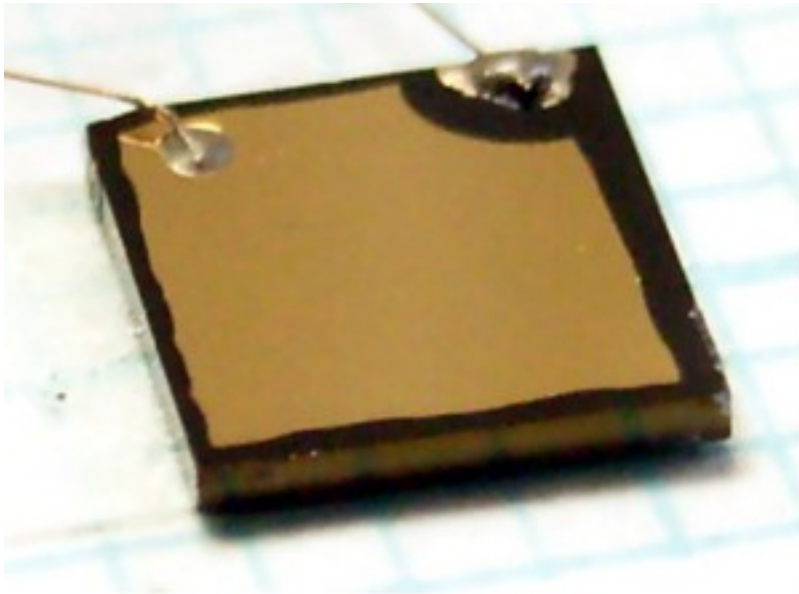


Być może brzmi to bardzo tajemniczo dla laika, ale dla fizyków zajmujących się jedną z klas materiałów przyszłości, tzw. rozcieńczonymi półprzewodnikami ferromagnetycznymi, problem zachowania pewnych charakterystyk typowych dla stanu ferromagnetycznego przy zaniku zdolności do przewodzenia prądu elektrycznego (oni nazywają to lokalizacją nośników prądu) stanowił do niedawna centralną oś sporu na temat źródła samego ferromagnetyzmu tych materiałów.

Odpowiedzi udzielili w opublikowanym w styczniowym numerze prestiżowego miesięcznika „Nature Physics” doc. Maciej Sawicki i prof. Tomasz Dietl z Instytutu Fizyki PAN wraz ze współpracownikami z Uniwersytetu Warszawskiego i Uniwersytetu Tohoku w Japonii. Przeprowadzili oni, pionierskie w skali światowej, superczułe pomiary magnetyczne „kanapek”, w których podstawę stanowił (Ga,Mn)As - arsenek galowo-manganowy, taki właśnie półprzewodnik o doskonałych własnościach ferromagnetycznych, a wierzch stanowiła cienka warstwa złota, tzw. bramka elektryczna (na fotografii). Sercem tej „kanapki” jest bardzo cienka warstwa tlenku dielektrycznego nadająca całości strukturę kondensatora, a więc umożliwiającą zwiększanie lub redukcję całkowitej ilości nośników ładunku w badanym półprzewodniku w zależności od znaku i wartości przykładanego napięcia. Sam (Ga,Mn)As jest jednym z najintensywniej badanych związków tej klasy. Jest to półprzewodnik, arsenek galu, zawierający niewielką procentowo domieszkę elementu magnetycznego, w tym przypadku manganu. Uporządkowanie ferromagnetyczne wprowadzonych jonów manganu zapewnione jest poprzez swobodnie poruszające po całym kryształce nośniki dodatniego ładunku (w języku fizyków - „dziury”). Podstawowe charakterystyki magnetyczne zależą od ich ilości i możliwości przenoszenia informacji magnetycznej pomiędzy jonami. Naturalnie zatem oczekiwano, że zlokalizowanie się „dziur”, a więc uwieszenie w jednym wycinku przestrzeni, uniemożliwiają transfer informacji w obrębie całego materiału, powinno zniszczyć uporządkowanie ferromagnetyczne jonów Mn tak, jak niszczy przewodnictwo elektryczne. Doświadczenie jednak temu w dużym stopniu zaprzeczało. Ze względu na to, że wyniki pomiarów próbek o różnym stopniu lokalizacji, wykonywane na fizycznie różnych próbkach, nie mogły być rozstrzygające, doc. Sawicki ze współpracownikami jako pierwsi w świecie wykonali odpowiednie do tych pomiarów kondensatory, umożliwiające w takt przykładanego do nich napięcia płynną zmianę stopnia lokalizacji tych „dziur”. Badacze pokazali, że zarówno tzw. temperatura Curie, powyżej której cały materiał przestaje być ferromagnetykiem, jak i namagnesowanie spontaniczne maleją wraz z obniżaniem się gęstości nośników. Rosnącej w ten sposób lokalizacji nośników (przejawiającej się wzrostem oporu) towarzyszy powstawanie nowej fazy magnetycznej. W fazie tej porządek ferromagnetyczny jest zachowany tylko lokalnie, w skali pojedynczych nanometrów, a nie w skali całej próbki, tak jakby to miało miejsce wtedy, gdyby „dziury” były całkowicie swobodne. Pokazano więc, że lokalizowanie się nośników będących przekaźnikiem informacji magnetycznej nie prowadzi od razu do kompletnego zaniku oddziaływań, przeciwnie - oddziaływania są zachowane w obszarach odpowiadających stopniowi ograniczenia ich ruchu. Co więcej, badacze wiążąc spadek namagnesowania i temperatury Curie z odpowiednią zmianą profilu rozkładu dziur w bramkowanym (Ga,Mn)As pokazali, że za właściwości ferromagnetyczne tej klasy materiałów odpowiedzialne są nośniki pochodzące z pasma

utworzonego przez elektrony, które uczestniczą w budowie wiązań energetycznych rodzimego GaAs, a nie, jak chcieli niektórzy z drugiej strony sporu, o źródle ferromagnetyzmu w tych materiałach, z pasma uformowanego przez wprowadzone do GaAs domieszki manganu.



Zdjęcie jednego z badanych w tej pracy kondensatorów („kanapek”: półprzewodnik ferromagnetyczny – izolujący tlenek dielektryczny –warstwa metaliczna). Widoczne są również kontakty elektryczne, jak i (w tle) papier milimetrowy oddający rzeczywistą wielkość struktury. Tak duże rozmiary, rzędu 10 mm², wymuszone były koniecznością uzyskania wystarczająco silnego sygnału magnetycznego.

Kontakt

Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk, al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa

1. doc. dr hab. Maciej Sawicki, tel. 228436601 w. 3145, e-mail: mikes@ifpan.edu.pl
2. prof. dr hab. Tomasz Dietl, tel. 228436601 w. 3264, e-mail: dietl@ifpan.edu.pl