

НАМАГНИЧИВАНИЕ ПЛАНАРНОЙ СТРУКТУРЫ СВЕРХПРОВОДНИК (II) – ФЕРРОМАГНИТНЫЙ ПОЛУПРОВОДНИК

А.С.Борухович, В.Г.Бамбуров, Е.А.Антонова,
В.А.Сухов, Б.П.Хрусталева

Исследовано намагничивание планарной контактной структуры жесткий сверхпроводник – ферромагнитный полупроводник (СП–ФП) в легком направлении. Установлено существование открытой петли гистерезиса и близких к пороговым переключений на ней в частных циклах. Обнаружена зависимость хода низкотемпературного участка кривой $M(T)$ от условий намагничивания контакта.

Контактная планарная структура сверхпроводник–ферромагнитный полупроводник (С–ФП) представляется интересным физическим объектом. Результаты работ ^{1, 2} свидетельствуют о том, что сверхпроводник в подобном контакте испытывает действие "эффективного" магнитного поля, составленного из внешнего поля H и собственного магнитного H^* пленки ФП, индуцированного внешним полем. Это обстоятельство должно сказаться, в первую очередь, на магнитном поведении контакта ФП с жестким сверхпроводником второго рода СП, имеющим сильный пиннинг, что приводит к необратимым процессам при перемагничивании такого сверхпроводника. Например, имеют место частные гистерезисные явления при $H < H_{c2}$ ³). Подобные планарные структуры СП–ФП могут быть использованы в качестве элементов приборов криоэлектроники, что также требует изучения процессов их перемагничивания. Однако до сих пор сведений о магнитном поведении контактов типа СП–ФП в литературе не сообщалось.

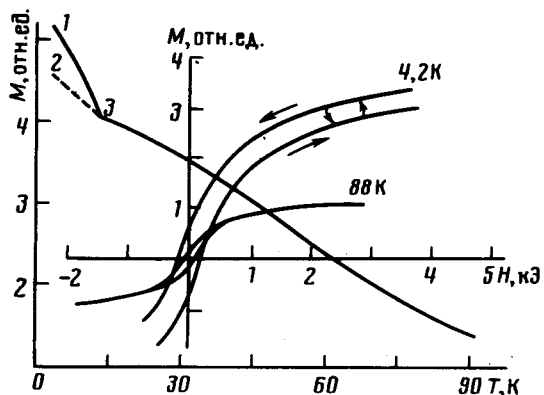
В настоящей работе исследованы планарные структуры СП–ФП, в которых сверхпроводником является нитрид ниобия с $T_c = 15 \div 16,5$ К, а в качестве ФП выступает монооксид европия (собственные характеристики пленок EuO и NbN приведены в ⁴ и ⁵ соответственно). Измерения зависимостей $M(H, T)$ выполнены на вибрационном магнитометре с использованием сверхпроводящего соленоида в полях до 70 кЭ вдоль оси легкого намагничивания планарной структуры при ориентации $\mathbf{n} \perp \mathbf{H}$, где \mathbf{n} – нормаль к плоскости образца. Измерения проведены как в автокомпенсационном, так и в режиме прямого усиления. Полученные результаты представлены на рисунке.

Особенностью зависимости $M(H)$ в данном случае является наличие открытой петли гистерезиса и отсутствие частных петель перемагничивания вплоть до полей $H \approx 70$ кЭ при $T = 4,2$ К. Эффективная величина коэрцитивной силы контакта СП–ФП при $T = 4,2$ К составляет $H_k \approx 100$ Э, что близко к значению H_c пленки NbN и в 1,6 раза превышает коэрцитивную силу пленки EuO . Составляющие контур петли гистерезиса кривые намагничивания и размагничивания существенно отстоят друг от друга и сближаются лишь в достаточно большом поле $H \approx 70$ кЭ. При попытках получить частные петли перемагничивания контакта наблюдается переход между кривыми при изменении знака приращения внешнего магнитного поля ΔH : – с нижней на верхнюю при уменьшении поля соленоида $\Delta H < 0$, и обратный переход с верхней кривой на нижнюю при $\Delta H > 0$. Причем, это изменение намагниченности контакта носит, практически, пороговый характер и воспроизводится при движении по любому частному замкнутому контуру петли. В случае повышения температуры до $T > T_c$ пленки NbN кривая намагничивания СП–ФП-контакта приобретает типичный для ферромагнетика вид, вырождаясь по $H_k(T)$. На рисунке приведена еще заметная петля гистерезиса контакта при $T = 88$ К, характеризующая, естественно, только пленку EuO и указывающая на то, что ее температура Кюри находится в области ~ 90 К.

Другая особенность намагничивания СП–ФП-контакта связана с ее температурной зависимостью. Если при $T > T_c$ пленки NbN поведение $M(T)$ типично для ферромагнетика,

то в области температур $T < T_c$ поведение намагниченности контакта определяется условиями его намагничивания. Так в случае намагничивания контакта из исходного (ненамагниченного) состояния большим полем ($H \approx 50 \div 70$ кЭ) с последующим его уменьшением и фиксированием зависимости $M(T)$ в поле 20 кЭ (см. рис.) ход низкотемпературного отрезка этой зависимости соответствует участку 1–3. Если же намагничивать контакт путем постепенного увеличения внешнего поля от 0 до 20 кЭ, то низкотемпературная часть зависимости $M(T)$ пойдет по участку 2–3. Точка 3 кривой соответствует температуре $\sim 10 - 12$ К, что отвечает величине T_c пленки NbN в магнитном поле $30 \div 40$ кЭ⁵. В данном случае такая величина "эффективного" поля в контакте создается по-видимому за счет пленки ФП – EuO.

Разность ΔM , соответствующая ординатам точек 1 и 2 кривых зависимости $M(T)$ при 4,2 К, связана с толщиной сверхпроводящей пленки. В случае малых и сравнимых между собой толщин пленок NbN и EuO в контакте $\Delta M = 0$ и сверхпроводящие свойства контакта при намагничивании подавлены. Это по-видимому связано с глубиной проникновения магнитного потока в пленку СИ.



Петли гистерезиса и зависимость $M(T)$ планарной контактной структуры NbN–EuO ($H \perp n$)

Таким образом, результаты магнитного изучения планарного контакта СИ–ФП свидетельствуют о достаточно необычных его свойствах, обязанных тому, что ФП пленка способствует "замораживанию" вошедшего в достаточно толстый слой жесткого сверхпроводника магнитного потока при сохранении его сверхпроводимости. При этом сверхпроводящая пленка находится в условиях действия на нее "эффективного" поля, вызванного наличием ФП в контакте. Исходя из установленной экспериментально разности ΔM при 4,2 К и ΔT_c пленки нитрида ниобия, величину такого добавочного поля можно оценить в $1 \div 2$ тесла.

Литература

1. Ефимова Л.В., Борухович А.С. Магнитные примеси в сверхпроводящем туннельном переходе. Деп. ВИНТИ, 1985, № 7968-В.
2. Tedrow P.M., Tkaczyk J.E., Kumar A. Phys. Rev. Lett., 1986, 56, 1746.
3. Сан-Жан Д., Сарма Г., Томас Е. Сверхпроводимость второго рода. М.: Мир, 1970, с. 364.
4. Borukhovich A.S., Vamburov V.G. JMMM, 1985, 53, 80.
5. Антонова Е.А., Сухов В.А. ФММ, 1983, 56, 712.

Институт физики им. Л.В. Киренского
Сибирское отделение Академии наук СССР

Московский институт стали и сплавов

Институт химии УНЦ
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
16 марта 1987 г.
После переработки
26 октября 1987 г.