

[8] Д а в ы д к и н В.А., З о н Б.А. // Оптика и спектроскопия. 1982. Т. 52. В. 4. С. 600.

Институт  
теплофизики  
СО АН СССР

Поступило в Редакцию  
18 июля 1990 г.  
В окончательной редакции  
16 февраля 1991 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 9

12 мая 1991 г.

05.4

© 1991

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ВЛИЯНИЯ  
ПОЛЕЙ РАССЕЯНИЯ МАГНИТНЫХ ДОМЕНОВ  
ПЛЕНКИ ФЕРРИМАГНЕТИКА НА СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ  
ПРИЛЕГАЮЩЕЙ К НЕЙ ПЛЕНКИ СВИНЦА

С.О. Ф р е г а т о в

Интерес к изучению пленочной системы сверхпроводник-ферромагнетик связан с предположением, что поля рассеяния магнитных доменов могут быть использованы для локального изменения свойств сверхпроводника. Насколько известно автору статьи, экспериментальных исследований этого вопроса не проводилось, хотя имеется публикация теоретической оценки полей рассеяния доменов с точки зрения их влияния на сверхпроводимость [1].

Целью настоящей работы является экспериментальное обнаружение и исследование ожидаемого эффекта на пленке свинца, нанесенной на поверхность пленки магнетика. Использовались феррит-гранатовые эпитаксиальные пленки, выращенные на подложке из гадолиний-галиевого граната. Они имели толщину 5.4–5.6 мкм. Намагниченность насыщения при комнатной температуре составляла  $4\pi M_s = 170$  Гс. Ось легкого намагничивания была перпендикулярна поверхности. Домены шириной 5.4–5.7 мкм образовывали лабиринтную структуру, которая с помощью внешнего магнитного поля преобразовывалась в полосовую.

Понижение температуры магнитной пленки приводит к росту коэрцитивной силы. Благодаря этому доменная структура при охлаждении не изменялась, а монодоменное состояние магнитной пленки при низких температурах сохранялось в отсутствие внешнего поля.

Предварительные оценки показали, что поля рассеяния магнитных доменов выбранной пленки должны оказывать заметное влияние на сверхпроводимость свинца.

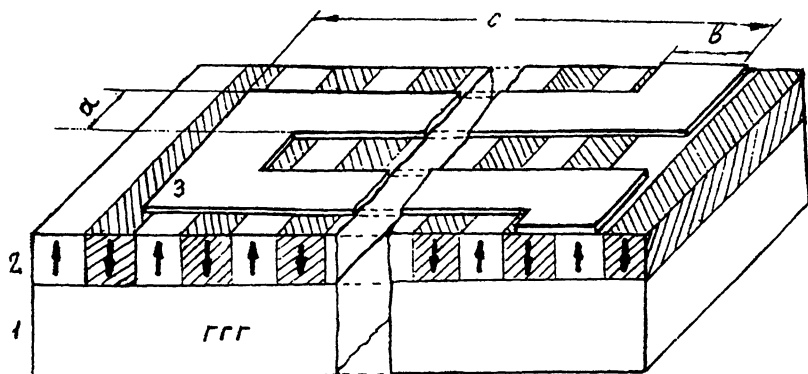


Рис. 1. Пленочная система: 1 - подложка гадолиний-галиевого граната, 2 - магнитная пленка, 3 - пленка свинца. Стрелками указаны направления намагниченности в полосовых доменах.  $a=10$  мкм;  $b=10$  мкм;  $c=1000$  мкм.

Пленки свинца напылялись в вакууме на поверхность магнитных пленок, и из них с помощью фотолитографии изготовлялся проводник в виде меандра (рис. 1), содержащий 25 периодов. Для исследований были подготовлены пленки трех толщин: 300, 2000 и 4000 Å. Скорость напыления была высокой, последующего отжига не производилось. С этим, по-видимому, связана некоторая размытость сверхпроводящих переходов - у пленок толщиной в 300 Å температурный интервал перехода составил  $\sim 1^\circ$ .

Поиск и исследование предполагаемого эффекта осуществлялись путем сравнения температурных зависимостей сопротивления пленки свинца в условиях, когда магнитная пленка имела полосовую доменную структуру и находилась в монодоменном состоянии. На рис. 2 приведены такие зависимости, полученные для пленок толщиной в 2000 Å. Отсчет температуры производился от произвольной точки вблизи сверхпроводящего перехода ( $\sim 7$  К). Из рисунка видно, что наличие доменов в магнитной пленке приводит к смещению сверхпроводящего перехода в сторону низких температур на  $\sim 0.2$  К. На пленках свинца других толщин наблюдался аналогичный сдвиг с той разницей, что при 300 Å он составил только 0.05 К и не было заметно изменений в форме кривой. Переход с кривой (2) рис. 2 на кривую (1) можно было осуществить в любой точке исследованной области температур посредством кратковременного воздействия внешним магнитным полем, переводящим магнитную пленку в монодоменное состояние. Это подтверждает прямую связь изменений в фазовом переходе с наличием доменов в магнетике. Во всех описанных экспериментах кривые снимались в отсутствии внешнего поля. Влияния ориентации полосовых доменов на эффект замечено не было.

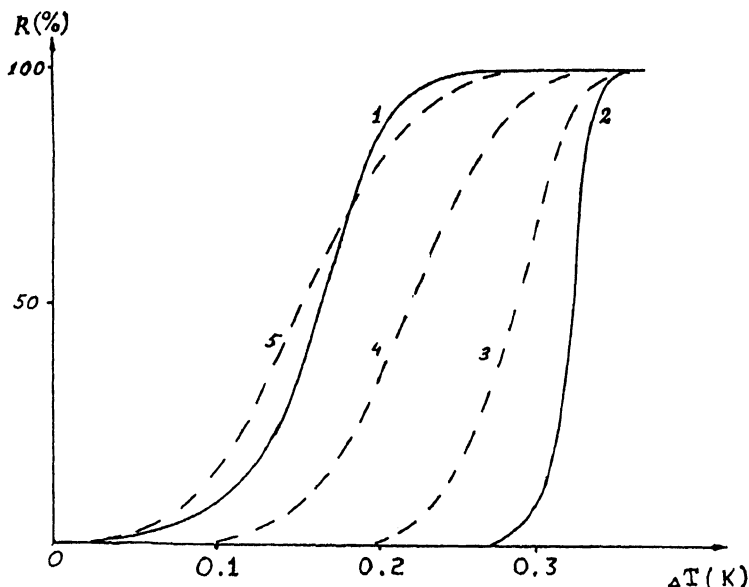


Рис. 2. Температурные зависимости сопротивления пленки свинца толщиной в 2000 Å при наличии полосовых доменов и  $H=0$  (1); при монодоменном состоянии магнитной пленки и  $H$ , равном: (2) — 0 Э, (3) — 24 Э, (4) — 56 Э, (5) — 70 Э.

Эксперименты с пленками свинца разной толщины показали, что влияние доменов на температурную зависимость их сопротивления приблизительно эквивалентно действию магнитного поля  $\sim 70$  Э. Магнитное поле при этом прикладывалось перпендикулярно поверхности, а магнитная пленка находилась в монодоменном состоянии.

К существенно иному эффекту приводит приложение внешнего перпендикулярного магнитного поля при наличии полосовых доменов. Температурные зависимости сопротивления, снятые при параллельной и перпендикулярной ориентации полосовых доменов относительно длинных участков меандра, приведены на рис. 3, а, б. Величина внешнего магнитного поля при этом была недостаточна для того, чтобы вызвать перестройку доменной структуры.

Изменения в форме кривой находят простое объяснение. Внешнее поле над одной половиной общего числа полосовых доменов совпадает с нормальной составляющей поля рассеяния, а над другой — направлено навстречу. Поэтому результирующее поле над доменами с противоположной ориентацией намагниченности имеет разное значение, и температуры перехода в сверхпроводящее состояние для областей свинца, прилегающих к доменам разной полярности, должны отличаться.

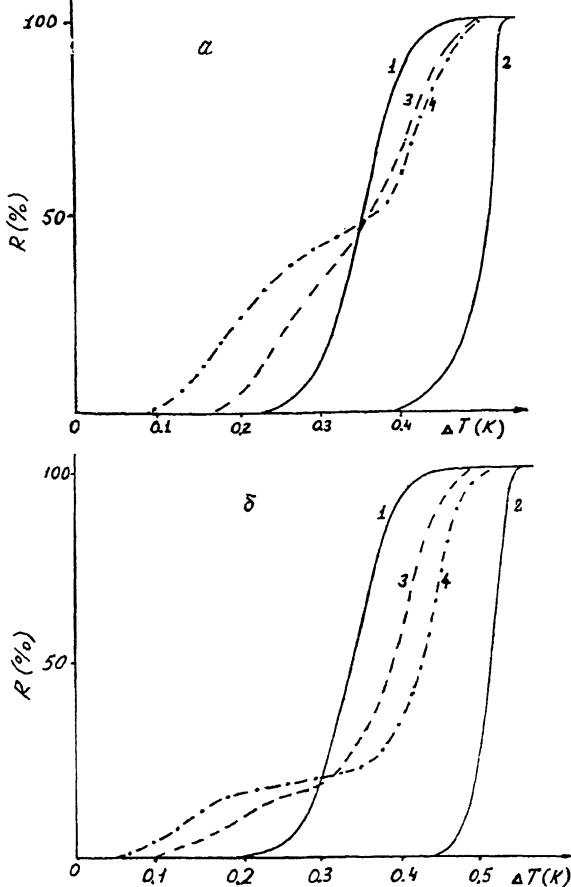


Рис. 3. Температурные зависимости сопротивления пленки свинца толщиной в  $4000 \text{ \AA}$  при наличии в магнитной пленке полосовых доменов, которые а - перпендикулярны проводнику (внешнее поле равно: (1) - 0 Э, (3) - 42 Э, (4) - 70 Э, б) параллельны проводнику (внешнее поле равно: (1) - 0 Э, (3) - 46 Э, (4) - 70 Э; и в условиях монодоменного состояния пленки при  $H=0$  (2).

Если полосовые домены перпендикулярны длинным участкам меандра, то перегиб кривой происходит на уровне, близком к половине от начального сопротивления. Это объясняется тем, что в пленке свинца области с разной температурой перехода соединены, чередуясь, последовательно друг с другом и примерно одинаковы по протяженности. Если же ориентация полосовых доменов по отношению к длинным участкам меандра близка к параллельной, то области с разной температурой перехода оказываются включенными параллельно. Переход в сверхпроводящее состояние областей

с более высокой температурой перехода приводит к шунтированию областей с низкой температурой перехода на значительной длине полосы проводника. Тем не менее, перегиб на кривой температурной зависимости сопротивления сохраняется, смещаясь к меньшим его значениям. Это связано с тем, что пересечения участков меандра полосовыми доменами полностью не исключаются и, следовательно, нет непрерывного сверхпроводящего канала для тока.

Автор благодарен В.В. Леманову за поддержку представленного здесь направления исследований, В.А. Бокову за обсуждение результатов экспериментов и помощь в подготовке статьи и А.П. Смирнову за многочисленные консультации.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] С о н и н Э.Б. Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. Вып. 12. С. 1640-1644.

Физико-технический  
институт им. А.Ф. Иоффе  
АН СССР,  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
5 апреля 1991 г.