

PACS: 74.76.Bz, 74.60.Ge

А.И. Коссе¹, А.Ю. Прохоров¹, В.А. Хохлов¹, П.Н. Михеенко²,
Г.Г. Левченко¹

ВЛИЯНИЕ РЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ ПЛЕНКИ НА КРИТИЧЕСКИЙ ТОК ГЕТЕРОСТРУКТУР YBCO–STO–LCMO

¹Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины
ул. Р. Люксембург, 72, г. Донецк, 83144, Украина

²Department of Physics, The University of Birmingham, UK

Статья поступила в редакцию 30 мая 2008 года

Проведены исследования комплексной дифференциальной восприимчивости пленки YBaCuO (YBCO) и структур YBCO–SrTiO₃ (STO)–La_{0.7}Ca_{0.3}MnO₃ (LCMO) с различной толщиной STO (0; 2; 7 нм). Обнаружены немонотонные зависимости критического тока и температуры начала диамагнитного отклика от толщины изолирующего слоя. Наблюдаемое поведение определяется конкурирующим вкладом эффектов рассеивания и создания дополнительных центров пиннинга вихрей.

Влиянию ферромагнитного слоя (F), нанесенного непосредственно на сверхпроводник (S) или на изолирующую прослойку (I), в последнее время уделялось большое внимание. При этом рассматривалось три основных фактора влияния ферромагнитного слоя на сверхпроводящую пленку. При непосредственном контакте F–S наличие в ферромагнетике сильного обменного поля благодаря эффекту близости подавляет параметр порядка сверхпроводника. При этом должна понижаться температура сверхпроводящей пленки T_c [1,2]. В гетероструктурах F–I–S наблюдается самоиндукция квазичастиц из сверхпроводника в ферромагнетик [3]. Благодаря большой протяженности волновой функции куперовских пар при наличии не очень толстого изоляционного слоя должно также наблюдаться понижение T_c и уменьшение плотности критического тока j_c [3,4]. Тонкая ферромагнитная пленка, нанесенная на сверхпроводник, разбивается на домены. Поля рассеяния от доменной структуры в ферромагнитной пленке способны или разрушать сверхпроводимость в области порядка ширины доменной стенки, или создавать в сверхпроводящей пленке области, которые могут быть источниками зарождения под доменами противоположной намагниченности пар вихрь–антивихрь [5].

С целью выяснения влияния вышеперечисленных факторов на сверхпроводящие свойства YBCO-пленок были проведены измерения диамагнитного

отклика четырех образцов. YBCO-пленки одновременно напыляли методом лазерной абляции на подложки STO. Один образец YBCO оставался контрольным, а на другие наносили слои изолятора STO и манганита LCMO, являющегося ферромагнетиком и обладающего почти 100%-ной поляризацией спинов.

В работе проведены измерения дифференциальной комплексной магнитной восприимчивости в поле Земли при возбуждающих полях H_{ac} в диапазоне $5 \cdot 10^{-3}$ –0.8 Oe. Используя выражение $j_c(T_m) = 1.03H_{ac}/D$ из [6], где T_m – температура максимума мнимой части восприимчивости, получили значения $j_c(0)$ и $j_c(77)$. Толщина слоев изучаемых гетероструктур, а также результаты исследования приведены в таблице. Из таблицы видно, что в случае отсутствия изолирующего слоя происходит понижение j_c и температуры начала диамагнитного отклика T_{onset} . В образце № 3 наблюдается повышение T_{onset} и рост j_c почти в два раза по сравнению с образцом № 1. В образце № 4 j_c понижается до минимального значения, а T_{onset} несущественно увеличивается.

Таблица

Толщина слоев сверхпроводника, изолятора и ферромагнетика, значения критического тока и температуры начала диамагнитного отклика T_{onset} в исследованных гетероструктурах

№ пленки	Толщина, nm			$j_c(0)$	$j_c(77)$	T_{onset} , К
	YBCO	STO	LCMO	10^{-6} A/cm ²		
1	100	–	–	9.7	4.7	89.20
2	100	0	100	8.1	3.7	88.75
3	100	2	100	15.8	8.2	89.62
4	100	7	100	5.6	2.8	89.70

Уменьшение j_c и T_{onset} в структуре № 2 по сравнению с пленкой чистого YBCO можно объяснить частичным разрушением сверхпроводящих корреляций обменным полем LCMO, которое велико из-за отсутствия изолирующего слоя. Повышение T_{onset} для гетероструктур № 3 и 4 по сравнению с пленкой чистого YBCO связано с уменьшением влияния LCMO за счет изолирующего слоя. Кроме того, пленка YBCO после напыления при контакте с воздухом частично теряет кислород. Если же на пленку нанести изолятор STO, то такие потери отсутствуют (или резко уменьшаются) и T_c соответствует тому значению, которое получается в камере напыления.

Повышение критического тока при высоких температурах в гетероструктуре № 3 по сравнению с пленкой чистого YBCO можно объяснить тем, что изолирующий слой в этой структуре составляет всего 2 nm, причем он не сплошной, а сетчатый. Это легко можно продемонстрировать с помощью схематического изображения сечения многослойной структуры S–I–F (рисунок). На рельеф поверхности сверхпроводящей пленки YBCO, взятый из

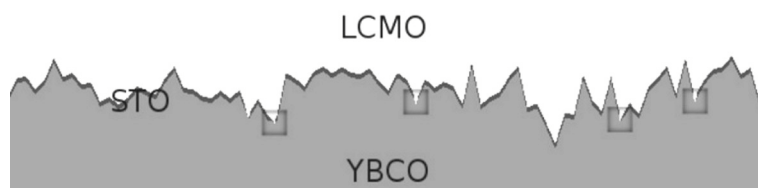


Рис. Схематическое изображение сечения гетероструктуры. Темными зонами обозначены места отсутствия изолятора и игольчатые соприкосновения слоев YBCO и LCMO

данных атомной силовой микроскопии, с помощью компьютерного моделирования нанесены слои изолятора STO и ферромагнетика LCMO. Понятно, что уровень «сплошности» покрытия зависит как от шероховатости пленки, так и от толщины слоя STO и условий роста. На рисунке выделены те места, где слой изолятора практически отсутствует. Проникший через поры STO ферромагнетик LCMO может создавать поля рассеяния достаточно малых размеров, способные пиннинговать вихри. То есть влияние ферромагнитного слоя сводится к двум противоположным явлениям: уменьшению энергии распаривания и увеличению центров пиннинга. Похожая картина наблюдалась в [6] при напылении на пленку Pb ферромагнитных капель диаметром 0.4 μm .

В случае, когда изолирующая прослойка между LCMO и YBCO составляет 7 nm (образец № 4), слой STO уже сплошной и отсутствуют диффузия LCMO и проникающие ферромагнитные «иголки» в пленку YBCO. В таком случае наблюдаются непосредственное влияние обменного поля LCMO на сверхпроводящие свойства пленки YBCO и уменьшение j_c даже по сравнению со структурой № 2.

Таким образом, в результате проведенных исследований с гетероструктурами обнаружены немонотонные зависимости критического тока и температуры начала диамагнитного отклика от толщины изолирующего слоя в гетероструктурах S–I–F. Наблюдаемое поведение является следствием конкуренции двух механизмов: разрушения сверхпроводимости YBCO обменным полем ферромагнетика и возникновением дополнительных центров пиннинга в результате проникновения ферромагнитных «игол» через сетчатый слой изолятора в пленку YBCO.

1. B.Y. Jin, J.B. Ketterson, *Adv. Phys.* **38**, 189 (1989).
2. Ю.А. Изюмов, Ю.Н. Прошин, М.Г. Хусейнов, *УФН* **172**, 113 (2002).
3. N.C. Yen, R.P. Vasquez, C.C. Fu, A.V. Samoilov, Y. Li, K. Vakili, *Phys. Rev.* **B60**, 10522 (1999).
4. M. Johnson, R.H. Silbce, *Phys. Rev. Lett.* **55**, 1970 (1985); *Phys. Rev.* **B35**, 4957 (1987).
5. Ю.И. Безмятных, В. Василевский, А.И. Будин, Л.Н. Булаевский, *Adv. Phys.* **34**, 176 (1985); *ЖЭТФ* **94**, № 3, 256 (1988).
6. Q. Lu, C.C. Chen, A. Lozanne, *Science* **276**, 2006 (1997).

A.I. Kosse, A.Yu. Prokhorov, V.A. Khokhlov, P.N. Mikheenko, G.G. Levchenko

INFLUENCE OF THE FILM SURFACE RELIEF ON CRITICAL CURRENT OF HETEROSTRUCTURES YBCO-STO-LCMO

The complex differential susceptibility of a pure YBaCuO (YBCO) film and YBCO–SrTiO₃ (STO)–La_{0.7}Ca_{0.3}MnO₃ (LCMO) structures with different STO width (0; 2; 7 nm) is studied. Non-monotonic dependences of critical current density and temperature of diamagnetic response beginning on the insulator thickness are found. Such a behavior is determined by the competition of contributions from the dissipation effect and that of additional pinning centers creation.

Fig. Schematic picture of cross-section of the heterostructure. Dark areas correspond to the sites of insulator absence and needle-shaped contacts between YBCO and LCMO layers