

НАНОФИЗИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

**Материалы XX Международного
симпозиума**

14–18 марта 2016 г., Нижний Новгород

Том 1

Секции 1, 2, 4, 5

Нижний Новгород
Издательство Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского
2016

ходе
Рос-
16).

Нуклеация доменов в тонкой сверхпроводящей пленке, входящей в состав слабой связи джозефсоновской 0- π -гетероструктуры

С.В. Бакурский^{1,3, §}, И.И. Соловьев^{1,3}, Н.В. Кленов^{1,3}, М.Ю. Куприянов^{1,3}, А.А. Голубов^{3,4}

1 МГУ им. М.В. Ломоносова, НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына, Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.

2 МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.

3 МФТИ ГУ, 141700, Московская область, Долгопрудный, Институтский пер., 9.

4 МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.

§r4zz@mail.ru

В рамках квазиклассического подхода мы теоретически исследовали токовые свойства джозефсоновской S-F/N-s-I-S структуры. Структура состоит из двух сверхпроводящих электродов (S) и области слабой связи, включающей туннельный слой (I) и металлическую (N / F) прослойку из продольно ориентированных нормального и ферромагнитного слоев. Мы продемонстрировали нарушение пространственной однородности параметра порядка в центральном s-слое, приводящее к разделению слоя на домены с разностью фаз π . Этот эффект чувствителен к толщине s-слоя, а также к поперечным размерам F и N пленок. Предсказано существование режима работы, при котором структура может находиться как в однородном, так и доменном состоянии. Предложен способ записать произвольное состояние системы с помощью джозефсоновских токов, инжектируемых в систему, а также неразрушающим образом считать его.

Введение

Джозефсоновские контакты, содержащие ферромагнитные F-слои внутри области слабой связи, представляют немалый интерес [1-3] в связи с возможностью их использования в качестве управляющих элементов в ячейках сверхпроводниковой памяти [4-5]. Однако вопрос поиска оптимального логического базиса для такой структуры в настоящее время все еще актуален. Элемент памяти может функционировать за счет переключения системы между 0- и π -состоянием, изменения критического тока при смене направления взаимной намагниченности ферромагнитных слоев или управления эффективной критической температурой сверхпроводящих слоев за счет обратного эффекта близости. В данной работе предложен иной механизм организации элемента памяти, не требующий перемагничивания ферромагнитного слоя.

Домены сверхпроводящей фазы

Мы теоретически изучили свойства S-F/N-s-I-S туннельных структур в рамках квазиклассических уравнений Узаделя. Структура состоит из двух сверхпроводящих электродов (S) и области слабой связи, включающей туннельный слой (I) и метал-

лическую (N / F) прослойку из продольно ориентированных нормального и ферромагнитного слоев. Также внутри области слабой связи присутствует тонкая сверхпроводящая s-прослойка. Толщина F-слоя выбрана так, что соответствующий SFs-контакт находится в π -состоянии. Предполагается, что все материалы грязные, а полный размер структуры гораздо меньше джозефсоновской глубины проникновения.

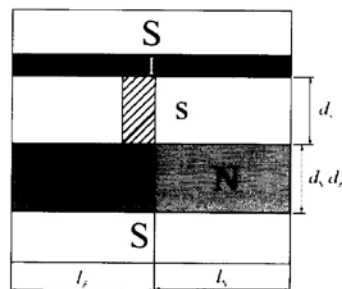


Рис. 1. Эскиз S-F/N-s-I-S-структуры. Область возможного разрушения сверхпроводимости и формирования доменной стенки обозначена штриховкой

Свойства этой системы определяются наличием внутри области слабой связи двух конкурирующих

и по-
на и
ского

sen-
Enss,

ncy-
cting
ature

ары-
тель-
ник-
за и

каналов: ферромагнитного и нормального. В данном случае от соотношения их критических токов зависит значение фазы параметра порядка, устанавливающейся в s -слое. Обычно она может принимать значения 0 и π . Однако в случае достаточно тонкой s -пленки возможна и другая ситуация – сверхпроводимость в пограничной области s -слоя может разрушиться, что разделит его на две части, фаза каждой из которых может принимать энергетически выгодное значение.

Проведенное численное моделирование подтверждает эту модель. Для достаточно больших толщин центрального s -слоя ($d_s = 4$ и $d_s = 5$) s -слой во всем своем объеме имеет постоянную фазу, в то время как при меньших толщинах ($d_s = 3$ и $d_s = 3.5$) он разделяется на домены сверхпроводящей фазы. Более того, показано, что в области критических толщин формируется двумный потенциал, и оба состояния (разделенное на домены и нет) могут сосуществовать при одних и тех же параметрах структуры.

Элемент памяти: запись и считывание

Таким образом, данная структура с толщиной сверхпроводящей s -прослойки в окрестности критической может быть использована в качестве управляющего элемента ячейки памяти. Чтобы продемонстрировать это, мы предлагаем способ, как записать систему в произвольное состояние, а также считать его неразрушающим образом.

Для записи необходимо инжектировать сверхток между s -пленкой и соединяющим ее с нормально-ферромагнитной частью S -электродом. Распределение плотности тока по структуре будет серьезным образом отличаться для системы в доменном и однородном по фазе состоянии. Это во многом связано с тем, что токи через N и F слои будут протекать в противоположном направлении. При инжекции тока в 0 -домен s -пленки состояние с постоянной фазой s -слоя оказывается более выгодным, в то время как в случае инжекции тока в π -домен наиболее выгодным оказывается состояние со сформированными доменами. Таким образом, при достижении критического тока система перейдет в наиболее энергетически выгодное состояние, в ко-

тором и останется после выключения инжектируемого тока.

Неразрушающее считывание может быть реализовано инжекцией тока между двумя основными S -электродами. В этом случае область слабой связи локализована на туннельном барьере, который и определяет критический ток при считывании. В случае отсутствия доменов плотность тока через туннельный барьер распределена равномерно. В случае существования доменов сверхпроводящей фазы ток через разные части туннельного барьера течет в разные стороны (это происходит из-за разницы фаз π между разными доменами s -электрода), что приводит к уменьшению полного критического тока. Более того, поскольку критический ток туннельного барьера гораздо меньше, чем у нормально-ферромагнитной части, то система защищена от переключения внутренней части в процессе считывания.

Важным преимуществом такого подхода к организации памяти является то, что он не требует перемагничивания ферромагнитного слоя при проведении операции записи. Таким образом, для системы не требуется приложение внешних полей или инжекция сильного спин-поляризованного тока. Все процессы управляются джозефсоновскими токами, а переключение происходит на характерных временах, определяемых характеристиками сверхпроводящего материала.

Работа проводилась при поддержке гранта Президента РФ № МК-5813.2016.2, РФФИ 15-32-20362-мол_а_вед, а также Министерства образования и науки – грант No. 14Y.26.31.0007.

Литература

1. Blamire *et al.* // *J. Phys.: Condens. Matter*, V. 26, 453201 (2014).
2. Eschrig // *Reports on Progress in Physics*, V. 78, 104501 (2015).
3. Linder *et al.* // *Nature Physics*, V. 11, 307 (2015).
4. Bell *et al.* // *Appl. Phys. Lett.*, V. 84, 1153 (2004).
5. Niedzielski *et al.* // *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, V. 24, 1800307 (2014).