

ДЖОЗЕФСОНОВСКИЕ КОНТАКТЫ С ФЕРРОМАГНИТНЫМИ ВСТАВКАМИ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ

А.Ю. Кузин
НИУ ВШЭ,

департамент электронной инженерии
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

Целью изучения данной работы является количественное исследование вольт - амперных характеристик (ВАХ) переходов SFIFS (диффузионный сверхпроводник / ферромагнетик / изолятор / ферромагнетик / сверхпроводник в туннельных джозефсоновских переходах). Представлена теоретическая модель SFIFS-контакта с основными геометрическими параметрами.

Введение

На данный момент одной из самых актуальных проблем в мире является поиск альтернативных путей развития современных технологий для частичной или полной замены современных полупроводниковых интегральных микросхем и приборов [1]. Большой вклад в данное направление могут внести гибридные сверхпроводящие структуры с ферромагнитными вставками: SIFS [2] и SFIFS [3] контакты. SFIFS-контакты на сегодняшний день имеют большую область применения в электронике и связанных с ней отраслях. Уже существуют экспериментальные работы, демонстрирующие электрические характеристики сверхпроводящих ферромагнитных транзисторов [4]. Поэтому данная технология привлекла большое внимание исследовательского сообщества, но, похоже, ранее не предпринималось попыток исследовать вольт - амперные характеристики переходов SFIFS (сверхпроводник / ферромагнетик / изолятор / ферромагнетик /), что и будет представлено в данной работе.

Модель

Модель SFIFS контакта изображена на рис.1. Она состоит из двух сверхпроводящих слоёв по оси x и двух ферромагнитных прослоек. Нас будет интересовать квазичастица DOS между слоями F в окрестности туннельного барьера ($x = 0$). В случае сильного туннельного барьера ($\gamma_{B2} \gg 1$), левый S/F-бислой и правый F/S-бислой на рис. 1 отсоединены. Поэтому рассчитывается DOS в бислоях F/S и S/F на свободной границе ферромагнетиков [5]. После этого используется метод численного интегрирования (метод трапеций) для нахождения ВАХ через посчитанные DOS.

γ_{B1} γ_{B2} γ_{B3}

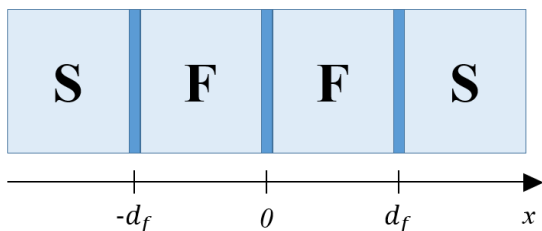


Рис.1. Модель гибридной структуры сверхпроводник/ ферромагнетик/ топологический изолятор/ ферромагнетик/ сверхпроводник. Толщина ферромагнитных прослоек равна d_f . Прозрачность левого интерфейса S / F характеризуется γ_{B1} , а прозрачность правого интерфейса F / S характеризуется γ_{B3} . Прозрачность между левым и правым интерфейсами характеризуется γ_{B2}

Результаты

С помощью численного расчета было получено семейство ВАХ для допустимых значений SFIFS-контакта при фиксированном значении внешнего обменного поля ($h=1$) в отсутствие спин переворота для разных толщин ферромагнетиков в S/F и F/S-бислоях при температуре $T=0,1T_c$ (T_c – критическая температура сверхпроводника).

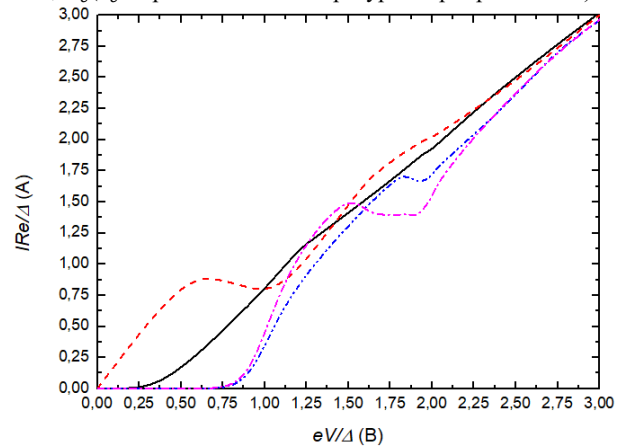


Рис.2. Численно полученное семейство ВАХ для допустимых значений SFIFS-контакта для $h>0$ в отсутствие спин переворота для разных толщин F в бислоях: $d_f=1, -d_f=3$ (чёрная сплошная линия), $d_f=2, -d_f=2$ (красная пунктирная линия), $d_f=0,5, -d_f=3$ (синяя штрихпунктирная линия с двумя точками) и $d_f=0,5, -d_f=2$ (пурпурная штрихпунктирная линия)

Из рис.2 можно заметить, что ВАХ SFIFS-контакта имеют различное поведение в зависимости от изменения ширины ферромагнетиков в S/F и F/S-бислоях: начиная от прямой из закона Ома и заканчивая флуктуациями на определённых участках. Данное поведение позволяет использовать джозефсоновские контакты с ферромагнитными вставками в качестве высокочастотного генератора для применения в СВЧ-электронике.

Заключение

Таким образом планируется на основе полученной модели SFIFS-перехода продолжить изучение ВАХ, изменяя геометрические параметры структуры, а также внося коррективы в температуру, внешнее обменное поле и спин переворот. Дальнейшее исследование возможно будет способствовать нахождению новых эффектов в семействе ВАХ SFIFS-перехода, что позволит расширить сферу применения джозефсоновских контактов с ферромагнитными вставками в электронике.

Список литературы:

1. Igor I. Soloviev. Beyond Moore's technologies: operation principles of a superconductor alternative / Igor I. Soloviev [et al.] // Beilstein J. Nanotechnol. – 2017 – Vol 8 – P. 2689-2710.
2. A. S. Vasenko. Properties of tunnel Josephson junctions with a ferromagnetic interlayer / A. S. Vasenko, A. A. Golubov, M. Yu. Kupriyanov, and M. Weides // Physical Review B 77. – 2008.
3. A.A. Golubov. Critical current in SFIFS junctions / A.A. Golubov, M. Yu. Kupriyanov, and Ya.V. Fominov // ETP Letters. – 2002.
4. Ivan P. Nevirkovets. Electrical Characteristics of Superconducting Ferromagnetic Transistors in CVC Superconductivity news forum / [et al.] // IEEE Transactions on Applied Superconductivity. – 2014 – Vol 24.
5. A. S. Vasenko. Current-voltage characteristics of tunnel Josephson junctions with a ferromagnetic interlayer / A. S. Vasenko, S. Kawabata, A. A. Golubov, M. Yu. Kupriyanov, C. Lacroix, F. S. Bergeret, and F. W. J. Hekking // Phys. Rev. B 84. – 2011.