

ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ II.7.

ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ: НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СТРУКТУРЫ, В ТОМ ЧИСЛЕ ФУЛЛЕРЕНЫ, НАНОТРУБКИ, ГРАФЕНЫ, ДРУГИЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ, А ТАКЖЕ МЕТАМАТЕРИАЛЫ

Программа II.7.1. Кристаллофизика. Физика магнитных явлений, магнитные материалы и структуры (координатор докт. физ.-мат. наук В. И. Зиненко)

В Институте физики им. Л. В. Киренского создан теоретический метод ЛАНА (lowest angular harmonics approximation), позволяющий с помощью ограниченного набора параметров и без привлечения сложных расчетов описать спаривание в сверхпроводниках на основе железа как при малом допировании, так и в случаях экстремального допирования электронами или дырками.

Для нового класса высокотемпературных сверхпроводников с $T_c \sim 52$ К на основе железа учеными Института физики им. Л. В. Киренского развит подход, позволяющий описать спин-флуктуационное сверхпроводящее спаривание при произвольном допировании. Следующая из такого подхода фазовая диаграмма пниктидов (рис. 8) хорошо согласуется с различными экспериментальными данными. Предсказан переход от симметрии s_{\pm} к щели s_{++}

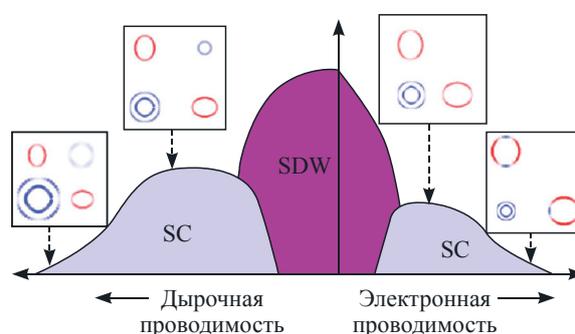


Рис. 8. Схематическая фазовая диаграмма пниктидов, где параметр порядка показан на ферми-поверхности в четвертинке зоны Бриллюэна (красный цвет — «+», синий — «-»).

при конечной концентрации немагнитных примесей.

Программа II.7.2. Новые материалы и технологии для оптоэлектроники, спинтроники и СВЧ-электроники (координатор акад. В. Ф. Шабанов)

В Институте физики им. Л. В. Киренского создана новая конструкция эффективного устройства защиты приемника от мощного радиоимпульса на основе пары невзаимодействующих микрополосковых резонаторов, связь между которыми в рабочей полосе частот осуществляется через третий резонатор с пленочным элементом из высокотемпературного сверхпроводника, находящегося в сверхпроводящем состоянии (рис. 9).

В этом же Институте впервые обнаружены: магниторезистивный эффект (рис. 10, а) в гибридных структурах на основе Fe/SiO₂/p-Si (рис. 10, б) со специальной топологией ферромагнитных электродов, управляемый ток

смещения; гигантский магнитоимпеданс в выделенной частотной области и магнитоиндуцированный фотоэлектрический эффект. Установлено, что наблюдаемые эффекты обусловлены наличием перехода металл—диэлектрик—полупроводник (МДП) с барьером Шоттки, формирующегося на границе раздела SiO₂/p-Si. Чувствительность транспортных свойств к магнитному полю определяется несколькими механизмами, которые включают процессы, имеющие место при протекании тока в объеме полупроводника (p-Si) и в тонком инверсионном слое, который формируется вблизи границы SiO₂/p-Si. Показано, что при определенных условиях спин-зависимое туннелирование элект-

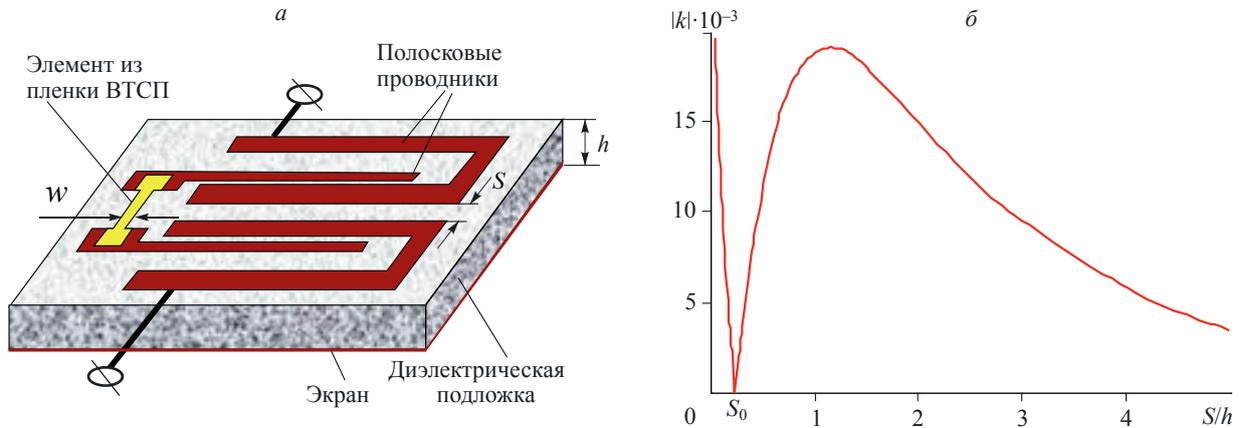


Рис. 9. Конструкция микрополоскового защитного устройства (а) и зависимость коэффициента связи от зазора между сонаправленными шпильковыми резонаторами (б).

S_0 — точка компенсации.

ронов через интерфейс $\text{SiO}_2/p\text{-Si}$ также дает вклад в магнитозависимые эффекты. Последнее открывает перспективы для построения принципиально новых устройств спинтроники.

В Институте физики им. Л. В. Киренского впервые обнаружены участки с отрицательным дифференциальным сопротивлением на вольт-амперных характеристиках (ВАХ) замещенных манганитов лантана в широком интервале температур и магнитных полей. Эти участки ВАХ наблюдаются выше некоторого порогового значения плотности критического тока j , который вызван неравновесным разогревом газа носителей из-за малой теплопроводности материала манганита.

В рамках неэмпирической модели методом функционала плотности исследовано влия-

ние замещения двухвалентного иона стронция трехвалентным металлом (Sc^{+3} , In^{+3} , La^{+3} , Bi^{+3}) на сегнетоэлектрическую неустойчивость в кристалле SrTiO_3 . В результате расчета получено, что примесь приводит к энергетической выгоды сегнетоэлектрической фазы во всех рассматриваемых составах. Наиболее важным результатом расчета является непрерывный минимум на энергетической поверхности (рис. 11), полученный для некоторых рассмотренных соединений: SrTiO_3 , допированного ионами La^{3+} и образованием вакансии на позиции титана, и SrTiO_3 , допированного ионами In^{3+} и образованием вакансии на позиции стронция при концентрации $x = 0,25$. Наличие такого энергетического минимума может приводить к безбарьерному вращению вектора поляризации

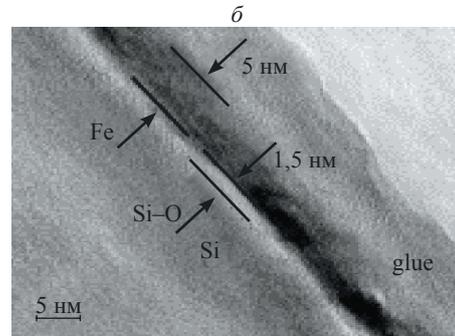
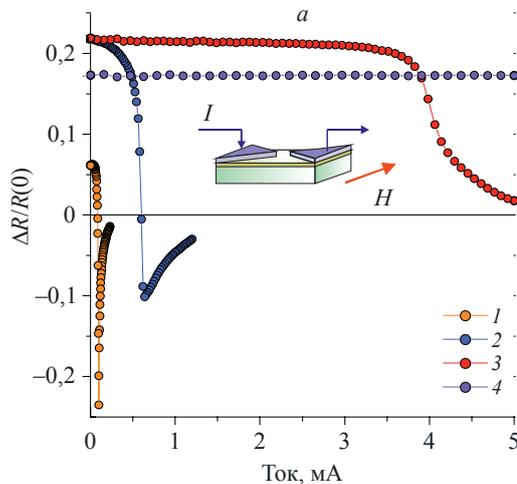


Рис. 10. Зависимость магниторезистивного эффекта гибридной структуры $\text{Fe}/\text{SiO}_2/p\text{-Si}$ от температуры, тока смещения (а) и фото структуры $\text{Fe}/\text{SiO}_2/p\text{-Si}$ (б).

$H = 90$ кЭ, T , К: 225 (1), 250 (2), 275 (3), 300 (4).

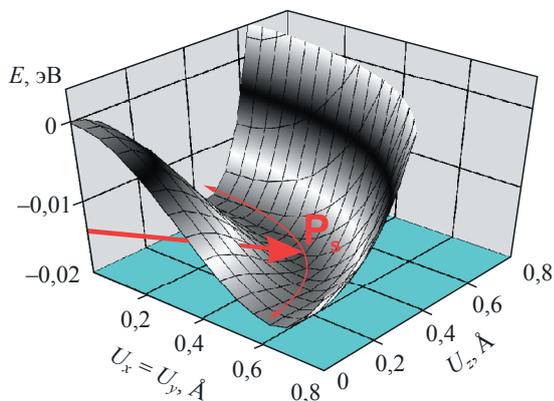


Рис. 11. Непрерывный минимум на энергетической поверхности соединений SrTiO₃.

в сегнетоэлектрической фазе, что может иметь важное значение для практического применения сегнетоэлектрических материалов.

В этом же Институте обнаружено, что при квантовом транспорте спин-поляризованного электрона через спиновые наноструктуры включение магнитного поля индуцирует дополнительные окна прозрачности в энергетической

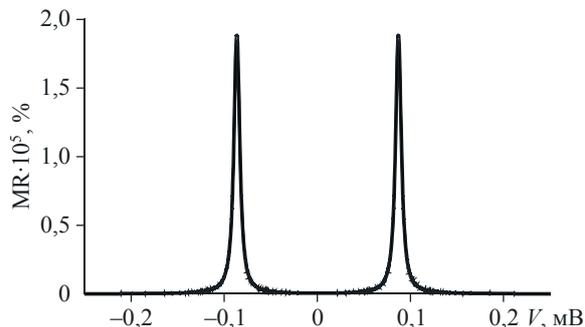


Рис. 12. Зависимость величины магнитосопротивления спиновой наноструктуры от напряжения смещения.

ческой зависимости коэффициента прохождения. Это происходит из-за интерференции состояний непрерывного энергетического спектра и расщепленных в магнитном поле квазилокализованных магнитных состояний спиновой наноструктуры. Возникающие при этом резонансы и антирезонансы Фано приводят к реализации аномально высоких значений магнитосопротивления (рис. 12).

Программа П.7.3. Перспективные полупроводниковые материалы нанoeлектроники и нанoфотоники (координатор член-корр. РАН А. В. Двуреченский)

В Институте физики полупроводников им. А. В. Ржанова предложен новый подход к управлению процессом зарождения и роста квантовых точек путем формирования кольцевых цепочек, составленных из квантовых точек, и последующим формированием SiGe-

нанометровых структур в форме колец (рис. 13). Расчет энергетического спектра носителей заряда показал, что подобные структуры могут быть использованы в качестве рабочих элементов приемников терагерцевого и инфракрасного излучения.

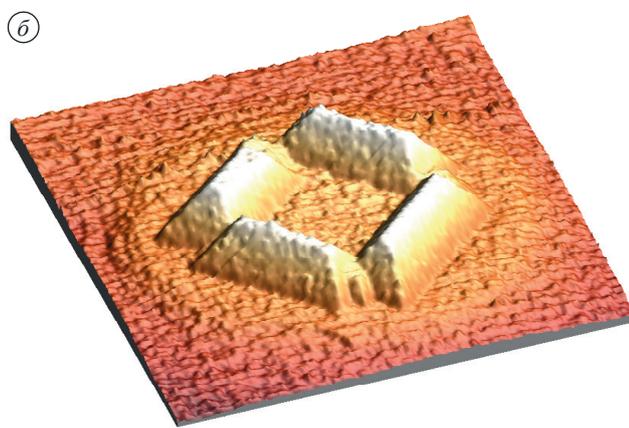
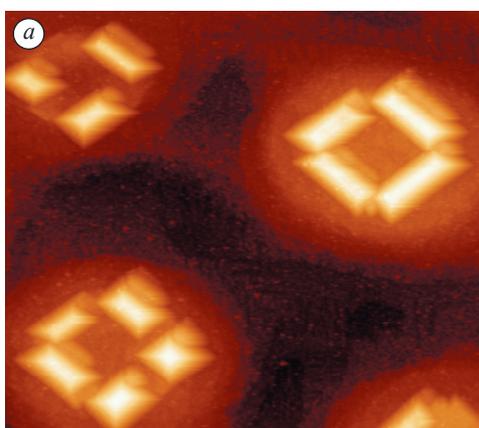


Рис. 13. СТМ-изображение трехмерных островков Ge, выращенных поверх SiGe-наноконца. *a* — вид сверху (0,5 × 0,5 мкм); *б* — трехмерный вид структуры (0,3 × 0,3 мкм).

В этом же Институте созданы новые электромагнитные метаматериалы с трехмерными резонаторами, в том числе: киральные изотропные и анизотропные, высокочастотные магнитные, трубчатые с геликоидальной проводимостью, с подвешенными элементами и помещенными в полимер (рис. 14, *a—e*), обладающие гигантской оптической активностью (вращение плоскости поляризации на 36° при толщине материала в десять раз меньше длины

волны излучения) и отрицательным коэффициентом преломления (рис. 14, *ж*). Показано, что изменение частоты излучения всего на 0,5 % изменяет угол поворота плоскости поляризации прошедшего излучения на 19° . Наличие резких зависимостей упрощает управление поляризацией, ее сверхбыструю модуляцию и открывает новые возможности в передаче информации и формировании «умных» метаматериалов.

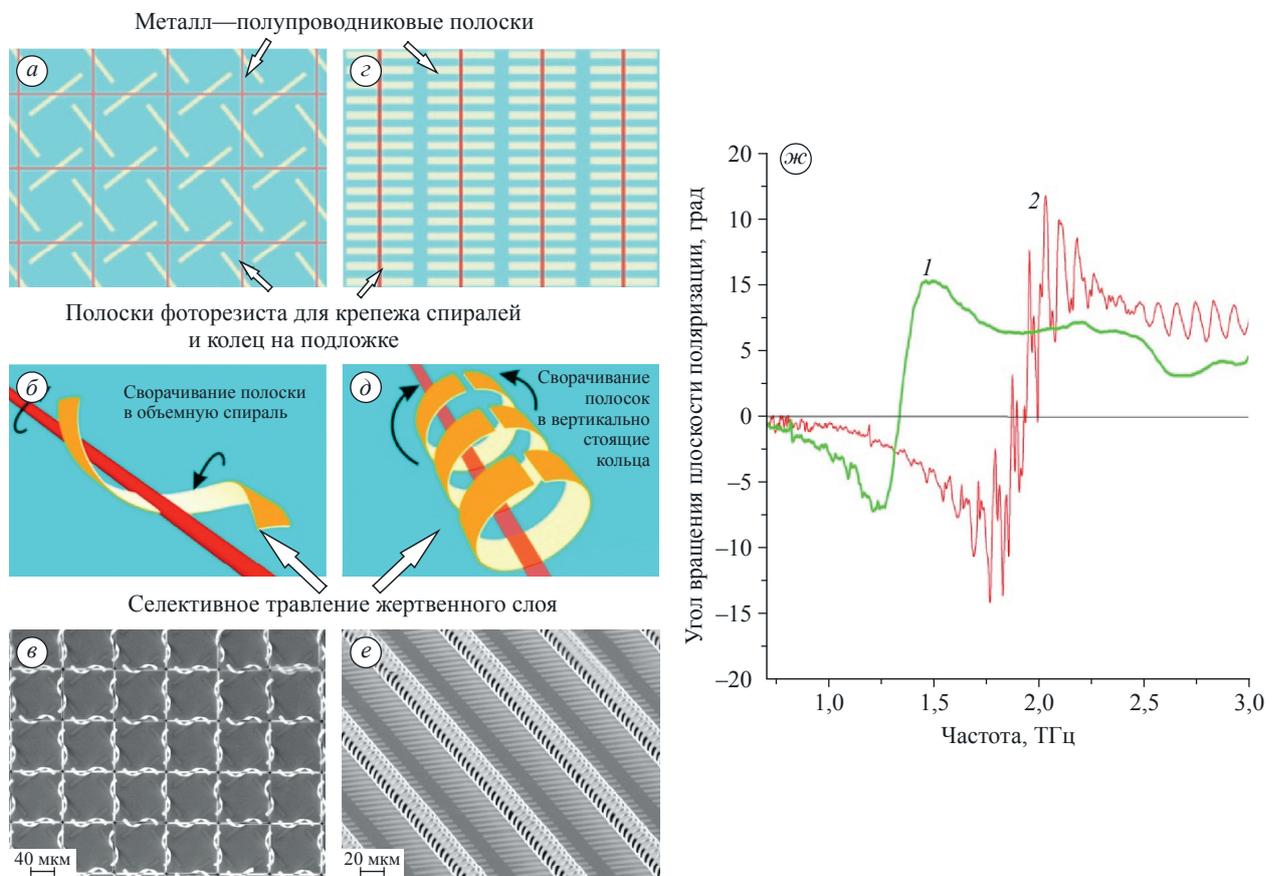


Рис. 14. Примеры формирования терагерцевых метаматериалов (*a—e*) и результаты измерений спектров вращения поляризации кирального метаматериала (*1*) и киральной системы (*2*) (*ж*). При изменении частоты излучения на 1 % можно изменить поляризацию на 20° .