

## ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ П.9.

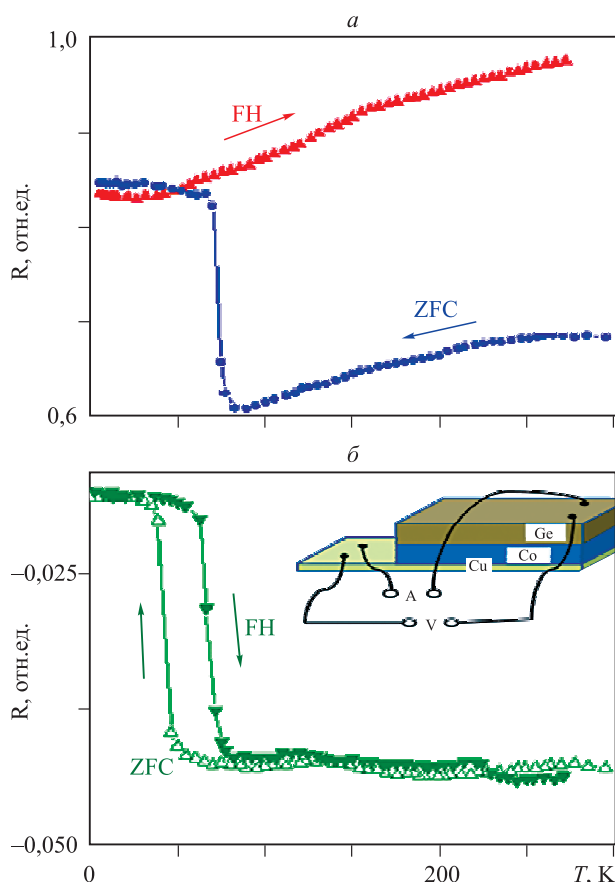
### ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ: НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СТРУКТУРЫ, В ТОМ ЧИСЛЕ ФУЛЛЕРЕНЫ, НАНОТРУБКИ, ГРАФЕНЫ, ДРУГИЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ, А ТАКЖЕ МЕТАМАТЕРИАЛЫ

#### Программа П.9.1. Физика новых магнитных и сверхпроводящих материалов, низкоразмерных магнитных и гибридных структур (координатор докт. физ.-мат. наук Н. В. Волков)

В Институте физики им. Л. В. Киренского в многослойных пленках системы  $(\text{Co}/\text{Ge})_n$  обнаружено новое магнитное состояние, формирующееся на границе раздела кобальт–германий и представляющее собой сплав исходных элементов. При малых толщинах магнитного слоя этот промежуточный слой определяет особенности магнитного поведения (ширина гистерезиса, поле обменного смещения и пр.). Наличие новой фазы ведет к необычному поведению транспортных свойств. Были про-

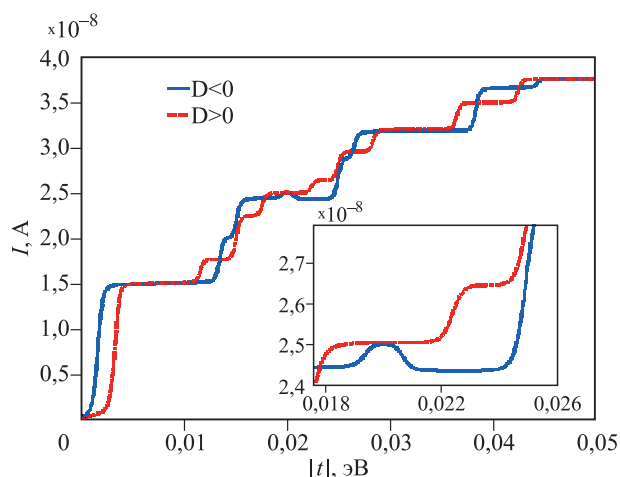
ведены исследования электрических свойств двухслойных пленок четырехзондовым методом (рис. 6). Установлено, что при повышении температуры электросопротивление ( $R$ ) сначала слабо уменьшается, а при  $T_K \geq 80$  К показывает металлический характер. Поведение  $R$  имеет вид, подобный тому, что наблюдается на переходах металл–полупроводник с барьером типа Шоттки. В области  $T_K$  на температурной зависимости электросопротивления наблюдается особенность.

В этом же Институте на основе неравновесной диаграммной техники Келдыша при учете процессов многократного рассеяния носителей тока построена теория спин-зависящего транспорта через структуры атомного масштаба с большим числом неэквидистантных уровней энергии. Получены выражение для тока и система кинетических уравнений для неравновесных чисел заполнения состояний структуры. В туннельном режиме вольт-амперные характеристики содержат ступенчатые особенности, а также участки с отрицательной

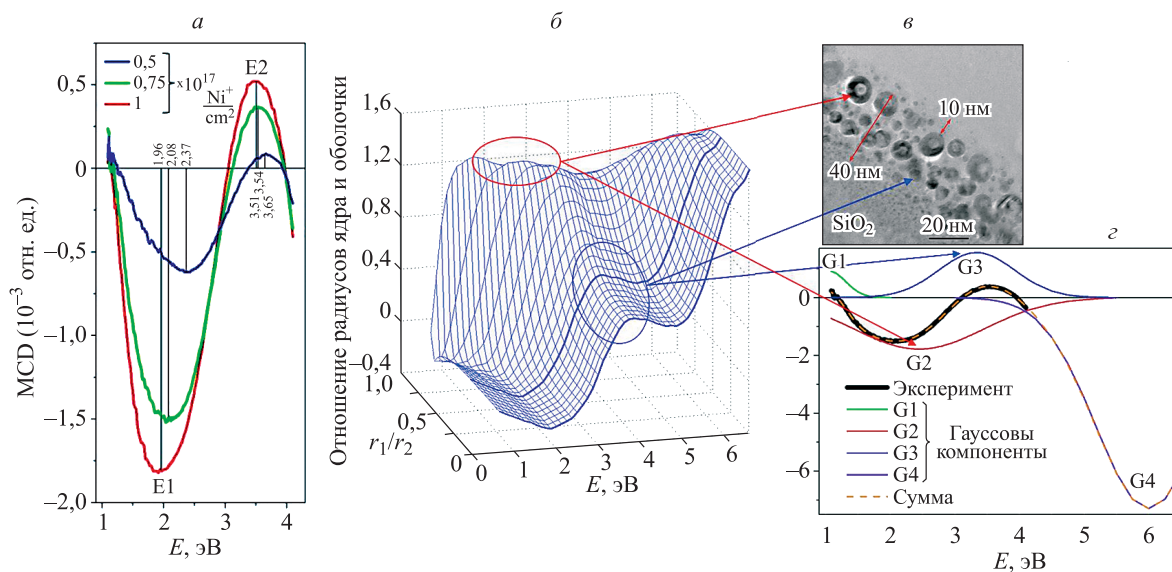


**Рис. 6.** Температурные зависимости сопротивления пленки с  $t_{\text{Co}} = 10$  нм.

*a* – ток в прямом направлении, *b* – в обратном направлении. ZFC – без поля, FH – в поле  $H = 1600$  Э. Ток измерения  $I_{\text{dc}} = 3$  мА.



**Рис. 7.** Вольт-амперная характеристика магнитной примеси. На врезке: участок с отрицательной дифференциальной проводимостью.



**Рис. 8.** Спектры МКД для разных доз имплантации (*a*); электрическое поле в центре частицы в зависимости от отношения радиусов ядра и оболочки (*b*); электронно-микроскопическое изображение частиц (*в*); разложение спектра МКД на гауссовы (G1–G4) компоненты (*г*).

дифференциальной проводимостью (рис. 7). Показано, что процессы неупругого рассеяния электронов на спиновых структурах атомного масштаба приводят к реализации в их транспортных характеристиках эффекта Фано. Резонанс Фано проявляется только при учете спин-флип-процессов. Приложение к таким системам внешнего магнитного поля и электрического поля затвора изменяет условия реализации эффекта Фано и индуцирует гигантское магнитосопротивление.

В этом же Институте совместно с Физико-техническим институтом им. Е. К. Завойского РАН (г. Казань) впервые исследованы

магнитооптические эффекты в наночастицах никеля типа ядро–оболочка, синтезированных с помощью имплантации ионов  $\text{Ni}^+$  в пластины оксида кремния. Обнаруженные резонансы в спектрах магнитного кругового дихроизма (МКД) объяснены возбуждением в частицах поверхностного плазмонного резонанса с различными энергиями для сплошных частиц и частиц ядро–оболочка (рис. 8). В первом случае энергия резонанса выше и, практически, не зависит от диаметра частиц, во втором случае энергия резонанса значительно ниже и изменяется при изменении отношения радиусов ядра и оболочки.

### Программа П.9.2. Диэлектрические, микро- и нанокompозитные материалы с уникальными физическими свойствами (координатор акад. В. Ф. Шабанов)

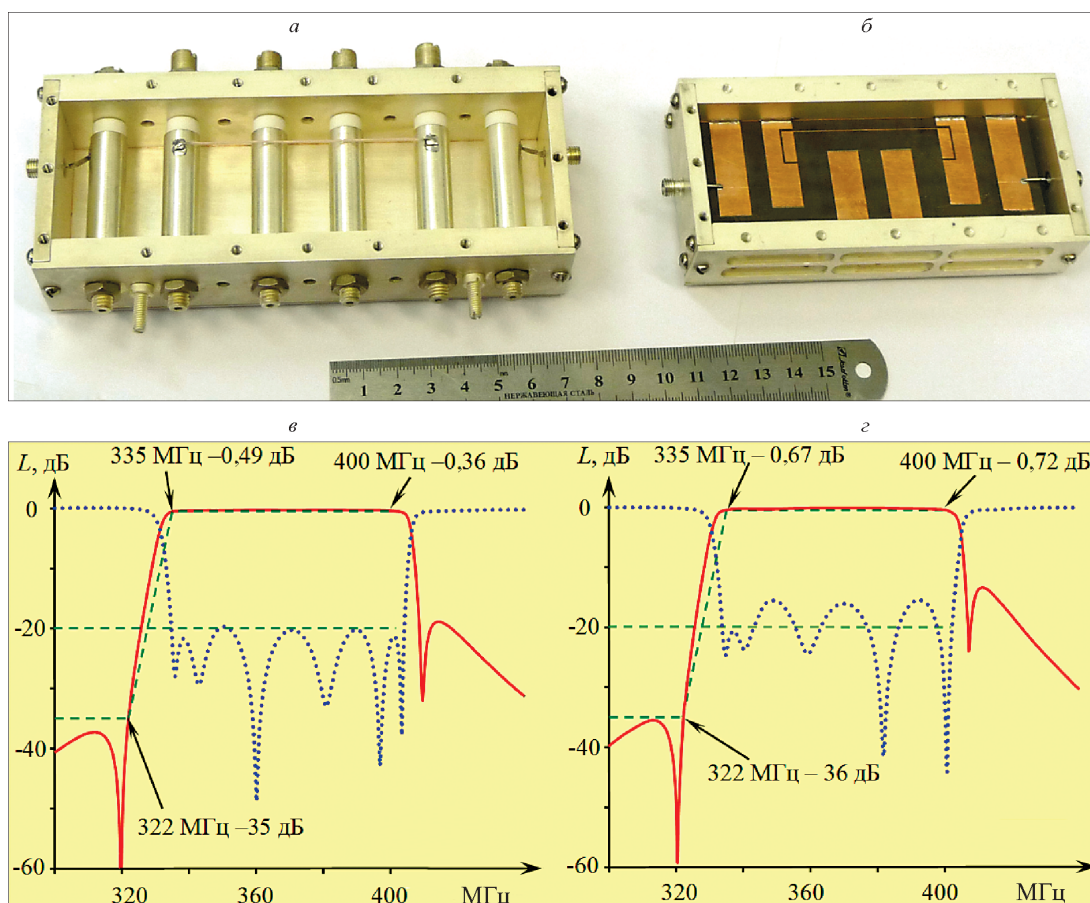
В Институте физики им. Л. В. Киренского разработаны фильтры на миниатюризованных коаксиальных резонаторах и резонаторах на подвешенной подложке с двухсторонним рисунком полосковых проводников. Опытные образцы фильтров изготовлены на ОАО НПП

«Радиосвязь» (г. Красноярск) (рис. 9, *a*, *г*). Габариты фильтров почти на порядок меньше аналогов, при этом устройства обладают не только малыми потерями СВЧ-мощности в полосе пропускания, но и высокими частотно-селективными свойствами (рис. 9, *в*, *г*).

### Программа П.9.3. Полифункциональные наноструктурированные композитные материалы, развитие технологий их получения (координатор докт. техн. наук А. П. Семенов)

В Институте физического материаловедения в рамках предложенного подхода, основанного на принципе получения паров титана электродуговым испарением титана, паров

меди ионным распылением меди и атомарного азота диссоциацией молекулярного азота в газоразрядной плазме, разработаны новый процесс и устройство формирования покры-



**Рис. 9.** Опытные образцы полосно-пропускающих фильтров на миниатюризованных коаксиальных резонаторах (а) и на резонаторах на подвешенной подложке (б). Измеренные частотные зависимости прямых (сплошная линия) и обратных (точки) потерь СВЧ-мощности опытных образцов фильтров (в, г).

тий композитных наноструктур, в частности, TiN–Cu. Режимы согласованного управляемого горения разных типов разрядов апробированы их компоновкой в общем объеме вакуумной камеры серийной вакуумной установки (рис. 10).

В этом же Институте предложено использовать электронный пучок в качестве инициатора процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) и теплового источника для электронно-лучевой наплавки СВС-продуктов. При воздействии импульсного электронного пучка на реакционные обмазки ( $V_2O_3+B+C$ ) синтезированы покрытия  $VB_2$  толщиной 200 мкм (рис. 11). Микротвердость покрытия составила 28 ГПа. Определены химический и фазовый составы полученных покрытий, исследованы микроструктура и морфология. Изучены прочностные характеристики (микротвердость) и свойства (износостойкость в условиях сухого трения и абразивного износа) покрытий. Определены оптимальные технологические параметры формирования покрытий с максимальными эксплуатационными свойствами.

В этом же Институте разработан новый физический способ создания наночастиц ядро–оболочка  $Cu@SiO_2$  (рис. 12, а), обладающих плазмонным резонансом. Данный способ использует метод газофазного синтеза с учетом влияния давления насыщенных паров, бинарной фазовой диаграммы и поверхностного натяжения. Получены гибридные наноструктуры янусподобных наночастиц металл–полупроводник  $TaSi_2/Si$  (рис. 12, б), обладающих наноконтактом Шоттки. Композитные  $Cu/Si$ -порошки получались с использованием электронного ускорителя прямого действия ЭЛВ-6.

Там же предложен новый способ выращивания покрытий карбина. Воздействие пучком электронов секундной длительности на аморфные покрытия углерода, выращенные распылением графита ионным пучком, приводит к твердофазному превращению графита в карбин с высоким содержанием углеродных фаз с *sp*-валентной гибридизацией электронов. Предложенный способ выращивания покрытий карбина характеризуется возможностью получения покрытий с приемлемыми для ряда технологических применений условиями роста.





Рис. 10. Общий вид модернизированной установки ВУ-1Б.

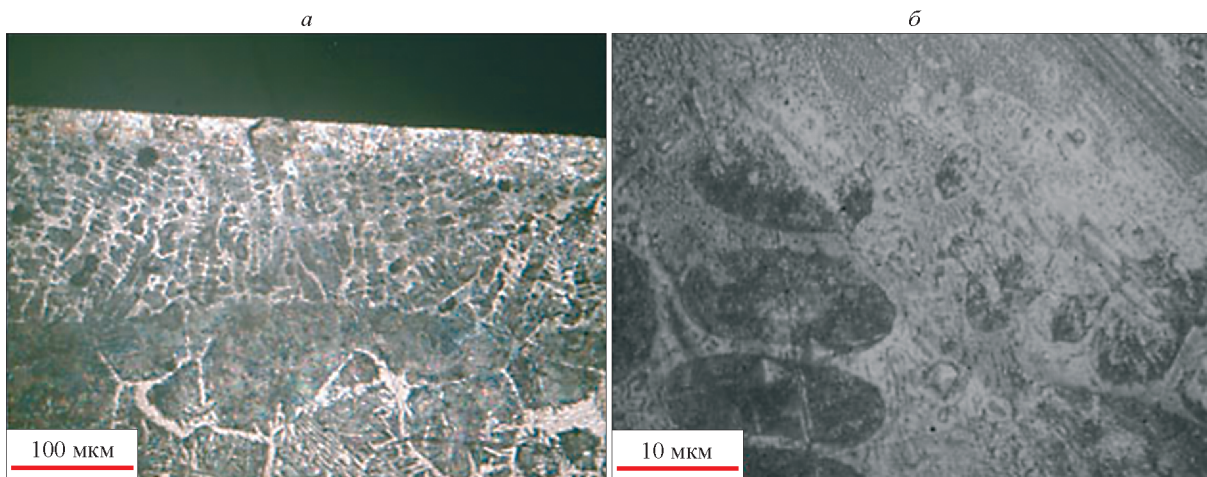


Рис. 11. Структура слоя на основе  $\text{VB}_2$ , сформированного при электронно-лучевой наплавке продуктов СВС из реакционной обложки  $\text{V}_2\text{O}_3 + \text{B} + \text{C}$ , на углеродистой стали Ст3.

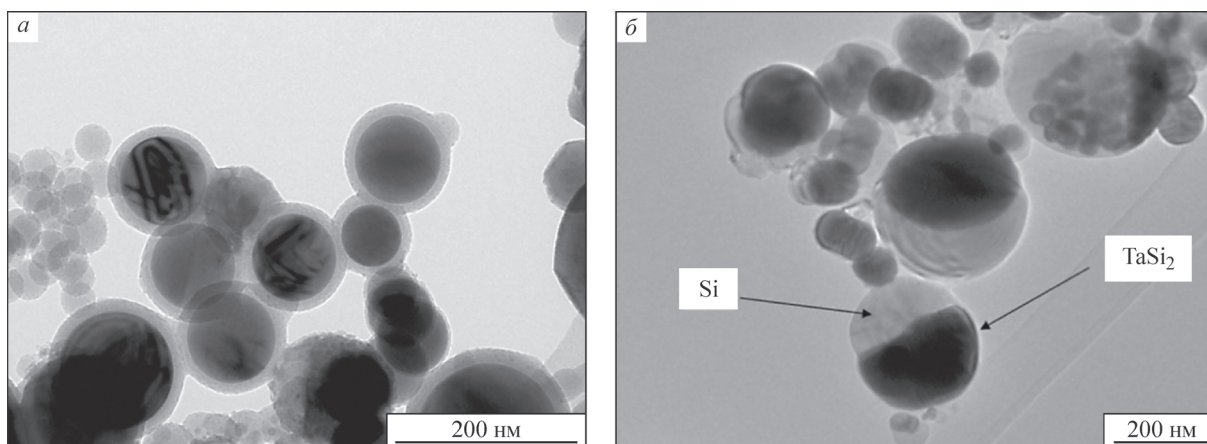


Рис. 12. Изображение просвечивающей электронной микроскопии наночастиц  $\text{Cu}@\text{SiO}_2$  (а) и янусподобных наночастиц  $\text{TaSi}_2/\text{Si}$  (б).