

9. ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННЫХ СОСТОЯНИЙ ВЕЩЕСТВА

Программа 9.1. Физика полупроводников и диэлектриков, полупроводниковые, композитные, нанокристаллические и фотонно-кристаллические материалы и структуры, твердотельные системы пониженной размерности, атомные и молекулярные кластеры (Координатор член-корреспондент РАН А. Л. Асеев)

Учеными Института физики полупроводников обнаружены многочастичные корреляции в транспорте дырок вдоль двумерных слоев квантовых точек Ge/Si, исследована температурная и магнитополевая зависимости проводимости, обусловленной транспортом дырок вдоль двумерных массивов квантовых точек Ge/Si(001) с различным значением фактора заполнения точек дырками ν . При понижении температуры обнаружен переход от закона Эфроса—Шкловского для температурной зависимости прыжковой проводимости к закону Аррениуса с энергией активации, равной 1,0—1,2 мэВ. Энергия активации низкотемпературной проводимости возрастает с увеличением магнитного поля и насыщается в полях более 4 Тл от 1,2 до 1,5 мэВ (рис. 1).

В том же Институте изготовлен и испытан фотоприемный модуль (ФПМ) на основе многослойных структур с квантовыми ямами GaAs/AlGaAs (рис. 2).

В Институте физики полупроводников впервые установлены два различных канала электронной фотоэмиссии в вакуум из p -GaN(Cs, O) вакуумного GaN-фотодиода (рис. 3): с участием оптических переходов из валентной зоны и из заполненных локализованных состояний в запрещенной зоне. Показано, что на низкоэнергетическом пороге внешнего фотоэффекта доминирующим механизмом эмиссии является фототермическое возбуждение электронов из локализованных состояний в запрещенной зоне p -GaN(Cs, O), лежащих ниже уровня Ферми.

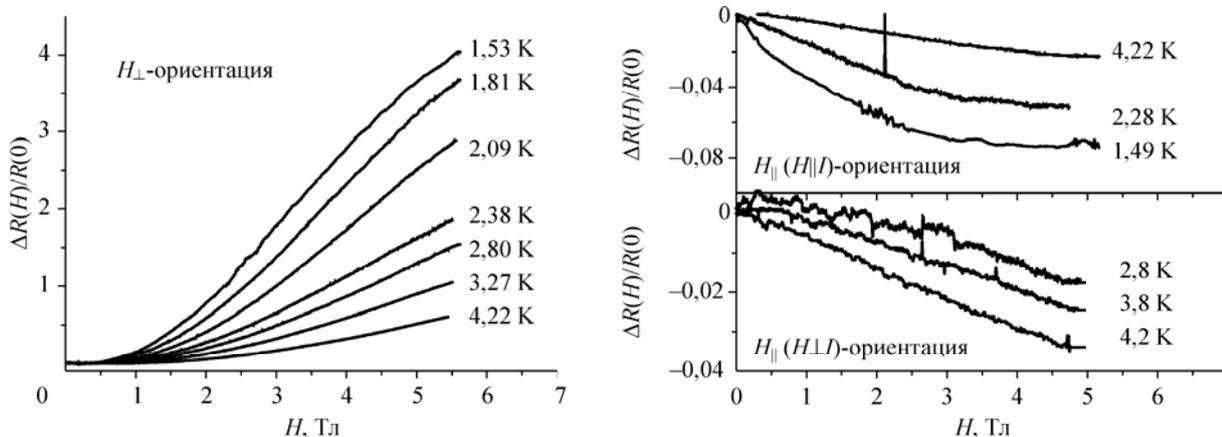
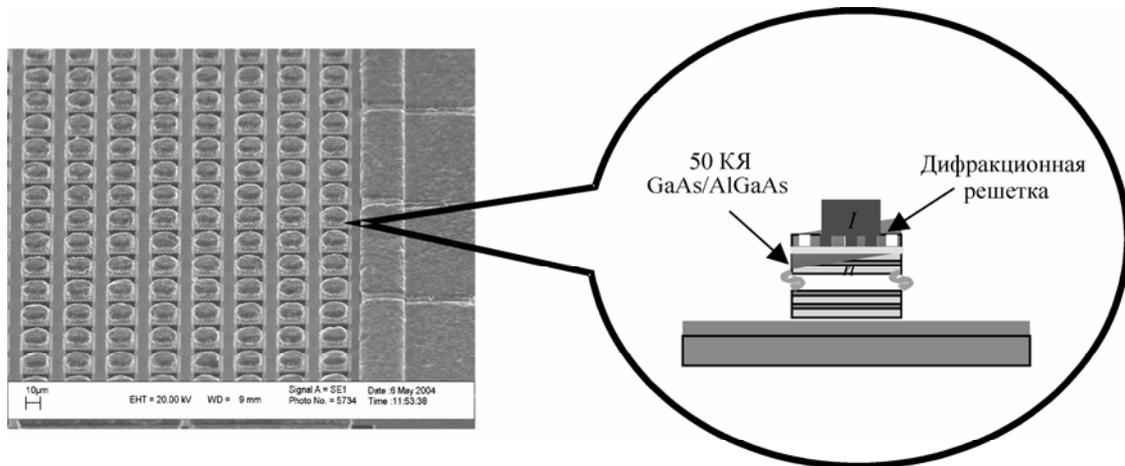


Рис. 1. Относительное изменение сопротивления в магнитном поле при различных температурах и различной ориентации магнитного поля относительно двумерного слоя точек и направления электрического тока для фактора заполнения квантовых точек $\nu = 2,8$.

Fig. 1. Relative resistance change in the magnetic field at various temperatures and different magnetic field orientations relative to a 2D dot layer and electric current direction for the filling factor of quantum dots $\nu = 2.8$.



Фрагмент фотоприемной матрицы 320×256 с индиевыми столбцами

Рис. 2. Матричный ИК-фотоприемник на основе многослойной структуры с квантовыми ямами (КЯ).

Fig. 2. IR photodetector array on GaAs/AlGaAs multilayer structure with quantum wells.

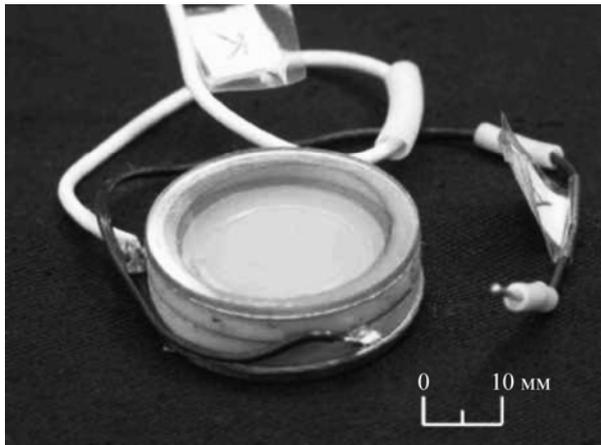


Рис. 3. Вакуумный GaN-фотодиод.

Fig. 3. Vacuum GaN photodiode.

**Программа 9.2. Кристаллофизика, структурные фазовые переходы.
Физика магнитных явлений, магнитные материалы и структуры
(Координатор академик К. С. Александров)**

Учеными Института физики им. Л. В. Киренского построен низкоэнергетический гамильтониан для описания высокотемпературной сверхпроводимости, учитывающий трехцентровые коррелированные перескоки между ближайшими ионами меди и спиновые корреляции в состоянии спиновой жидкости ($t-J^*$ -модель). Обнаружена сильная зависимость электронной структуры от концентрации электронов n (рис. 4). Расчет критической тем-

пературы сверхпроводимости T_c показал, что магнитный механизм сверхпроводимости позволяет получить величину критической температуры перехода в сверхпроводящее состояние T_c , согласующуюся с экспериментом для $Nd_{2-x}Ce_xCuO_4$ без привлечения подгоночных параметров. Все параметры эффективного гамильтониана получены из *ab initio* расчета электронной структуры.

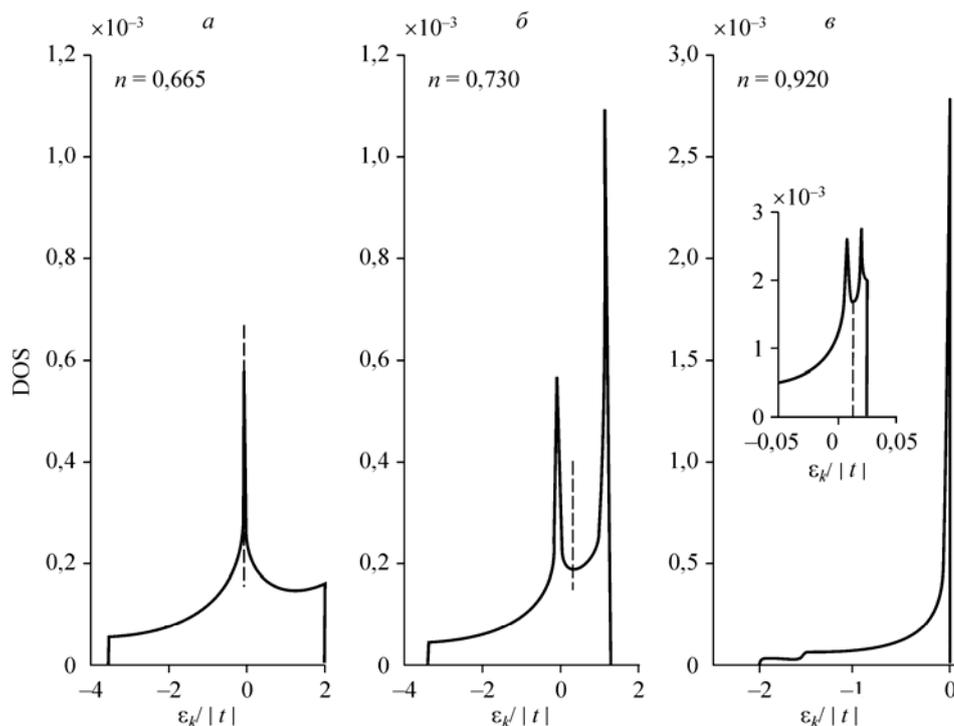


Рис. 4. Эволюция зависимости плотности электронных состояний (DOS) от энергии электронов в t - J^* -модели при изменении концентрации электронов n (а–в). На вставке показана структура плотности вблизи потолка зоны. Штриховая линия соответствует расчетному положению химического потенциала.

Fig. 4. The evolution of the electron density of states (DOS) dependence on the electron energy in the t - J^* model at different electron concentrations n (а–в). The inset shows the DOS near the top of the band. Dotted line denotes the calculated value of the chemical potential.

В этом же Институте в монографии академика К. С. Александрова и канд. физ.-мат. наук Б. В. Безносикова «Перовскиты. Настоящее и будущее» (Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2004, 231 стр.) подведены итоги многолетних исследований, посвященных кристаллохимическому анализу известных каркасных и слоистых структур, родственных перовскиту, а также возможностям синтеза новых соединений.

Авторами предложено 245 новых типов слоистых структур, а также многих родственных перовскитам семейств среди карбидов, нитридов и боридов, таких как эльпасолиты и антиперовскиты.

Результаты работы открывают перед материаловедами широкое поле деятельности по синтезу новых материалов, в которых можно ожидать проявления таких практически важных свойств, как пьезо- и сегнетоэлектричество, высокотемпературная сверхпроводимость, магнетизм и т. д.

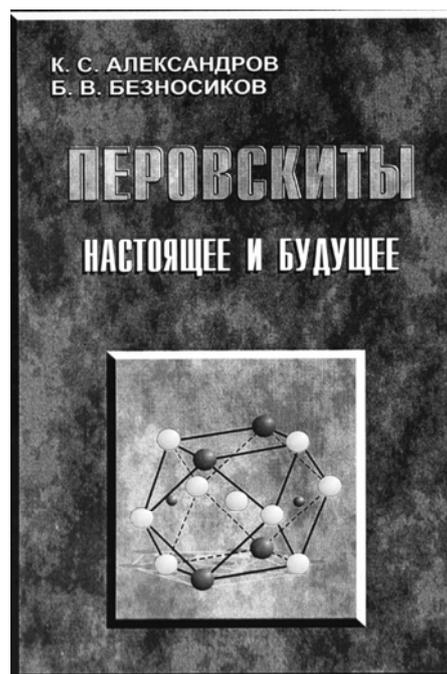


Рис. 5. Внешний вид монографии.

Fig. 5. Outer view of monograph.

**Программа 9.3. Твердотельные устройства и приборы для микро- и нанoeлектроники, микрофотoeлектроники, медицины и экологии
(Координатор член-корреспондент РАН И. Г. Неизвестный)**

В Институте физики полупроводников показано, что при формировании ансамблей квантовых точек методом молекулярно-лучевой эпитаксии на окисленной поверхности кремния образуются упругонапряженные островки с латеральным размером менее 10 нм, высотой $d = 0,3$ нм и плотностью $2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$ (рис. 6, а). Продемонстрирована возможность формирования массива трехслойных островков Ge на сингулярной поверхности Si(111) по многослойному механизму роста. При пяти-слойном росте размеры островков увеличиваются до 200 нм и высоты $d = 0,7$ нм (рис. 6, б). Полученные объекты проявляют квантовые свойства при температурах, близких к комнатной, и пригодны для создания приборов микро-, нано- и оптоэлектроники.

В рамках междисциплинарного проекта сотрудниками Института физики полупроводников в кооперации с сотрудниками Института неорганической химии им. А. В. Николаева, Института автоматизации и электротехники, Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН разработан новый низковольтный быстродействующий элемент памяти на основе нитрида кремния с использованием в качестве блокирующего слоя диэлектриков ZrO_2 и Al_2O_3 (рис. 7). Альтернативные диэлектрики с вы-

сокой диэлектрической проницаемостью ($\varepsilon = 10\text{—}50$), такие как ZrO_2 , HfO_2 , Ta_2O_5 , Al_2O_3 , BaSrTiO_3 , в настоящее время рассматриваются как кандидаты на замену двуокиси кремния в полевых транзисторах и конденсаторах оперативных запоминающих устройств. Получено положительное решение по патенту на разработанный элемент.

Показано, что применение альтернативных диэлектриков позволяет на два порядка повысить быстродействие ФЛЭШ-памяти и существенно уменьшить напряжение перепрограммирования, что приводит к уменьшению стоимости и повышению надежности.

Учеными этого же Института создан сверхминиатюрный излучатель на основе InGaAs квантовых точек. В отличие от большинства предыдущих схем однофотонных излучателей, где используется оптическое возбуждение квантовых точек внешним источником, данная конструкция является полностью полупроводниковой и представляет собой $p\text{—}i\text{—}n$ -диод, в котором осуществляется токовое возбуждение квантовых точек через оксидную апертуру субмикронного размера (рис. 8). При концентрациях квантовых точек $\sim 10^8 \text{ см}^{-2}$ конструкция излучателя позволяет осуществлять возбуждение малого числа, в

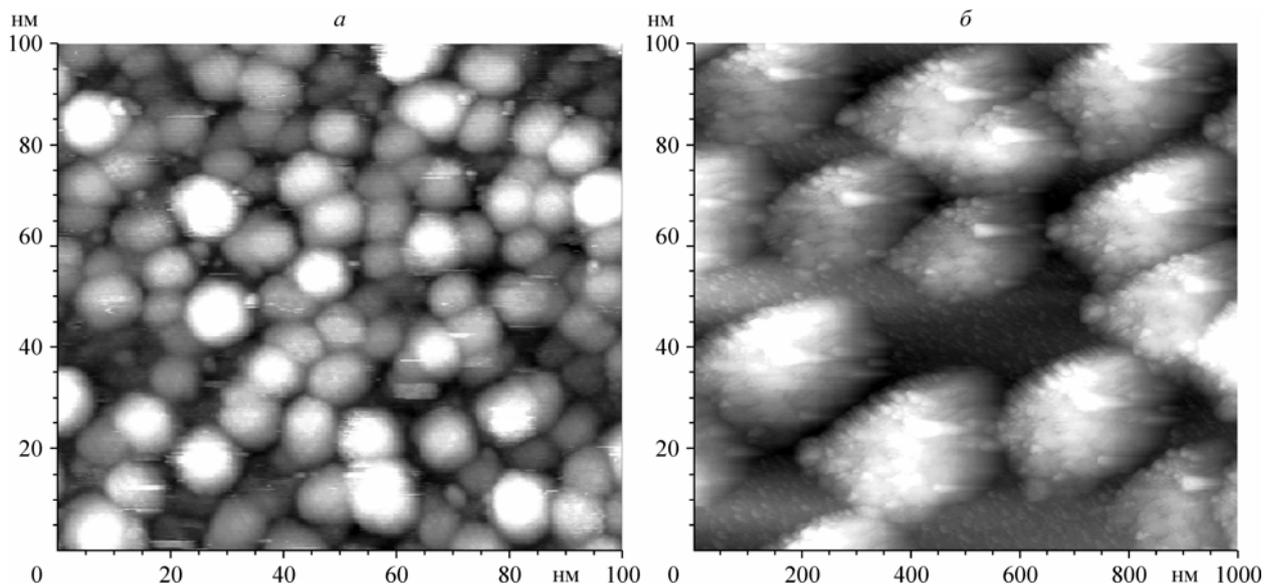


Рис. 6. СТМ-изображение массива островков Ge на поверхности окиси кремния. $d_{\text{Ge}} = 0,3$ нм (а), $d_{\text{Ge}} = 0,7$ нм (б).

Fig. 6. STM image of Ge islands on the oxidized silicon surface. $d_{\text{Ge}} = 0.3$ nm (a), $d_{\text{Ge}} = 0.7$ nm (b).

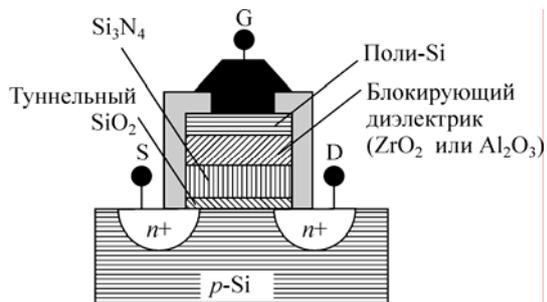


Рис. 7. Принципиальная схема элемента памяти на основе Si_3N_4 с блокирующим слоем диэлектрика ZrO_2 и Al_2O_3 .

Fig. 7. SONOS structure based on Si_3N_4 using an alternative dielectric.

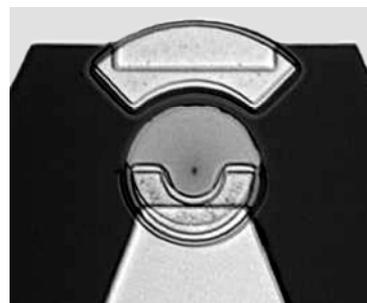


Рис. 8. Диод с токовой апертурой $A \leq 1 \mu\text{м}$ (точка в центре). Плотность InAs квантовых точек $\leq 10^8 \text{ см}^{-2}$.

Fig. 8. A diode with current aperture $A \leq 1 \mu\text{м}$ (the point at the center). The density of InAs quantum dots $d \leq 10^8 \text{ см}^{-2}$.

частности, одной квантовой точки, что является необходимым условием создания однофотонного излучателя. Разработан эпитаксиальный дизайн структуры и схема построения

технологии, изготовлены первые образцы $p-i-n$ -диодов (совместно с Институтом физики твердого тела, г. Берлин).