

## ПРИОРИТЕТНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ П.8.

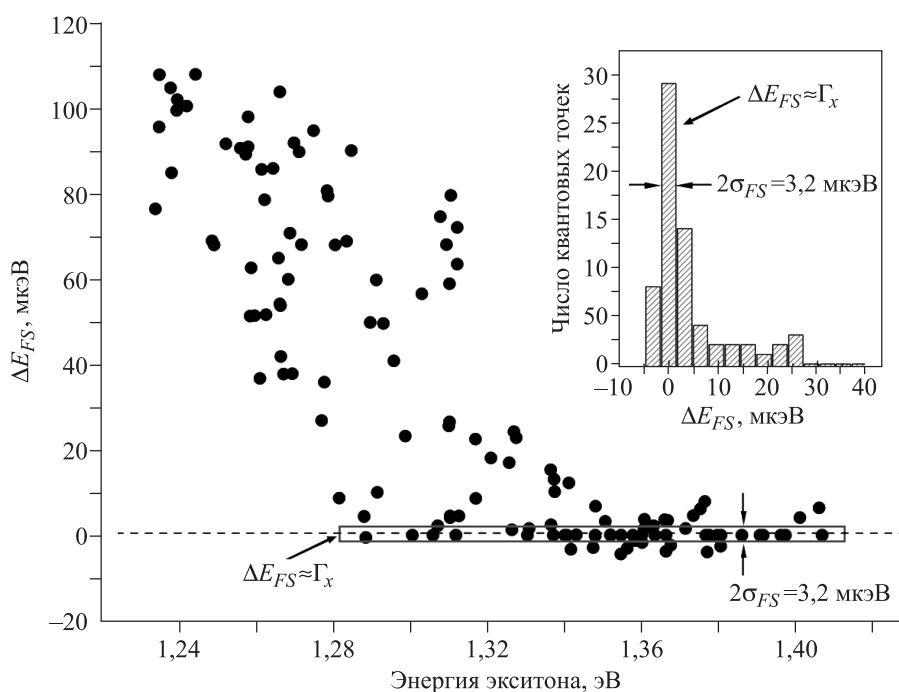
### АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД, В ТОМ ЧИСЛЕ КВАНТОВОЙ МАКРОФИЗИКИ, МЕЗОСКОПИКИ, ФИЗИКИ НАНОСТРУКТУР, СПИНТРОНИКИ, СВЕРХПРОВОДИМОСТИ

#### Программа П.8.1. Физические явления и квантовые эффекты в полупроводниковых наноструктурах (координатор акад. А. Л. Асеев)

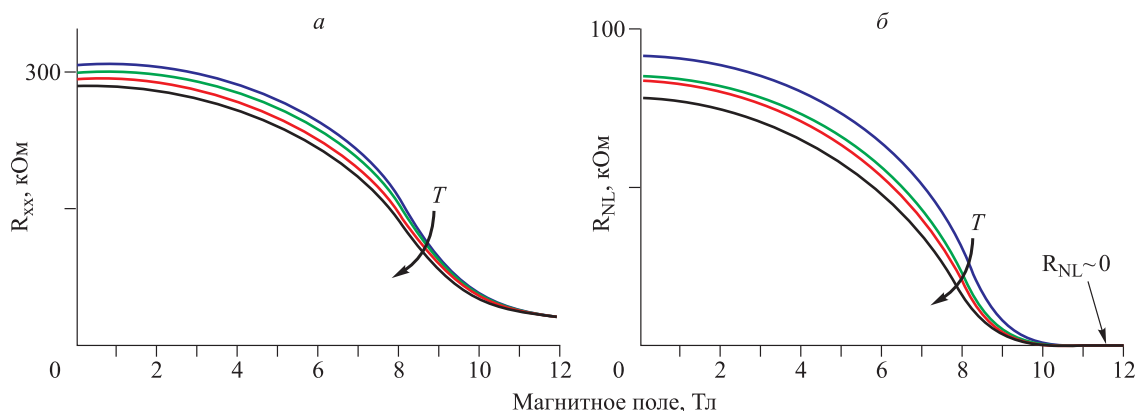
В Институте физики полупроводников им. А. В. Ржанова методом криогенной микрофлуоресценции исследована тонкая структура экситонных состояний InAs квантовых точек, выращенных по механизму Странского–Крастанова с малым временем прерывания роста, что обеспечивает очень низкую плотность квантовых точек на уровне  $10^6 \text{ см}^{-2}$ . Показано, что в интервале энергий экситонов 1,3–1,4 эВ величина расщепления экситонных состояний сравнима с естественной шириной экситонных линий. Это представляет большой интерес для разработки излучателей пар запутанных фотонов на основе InAs квантовых точек. На рис. 1 приведены экспериментальные

значения параметра  $\Delta E_{FS}$  для 135 исследованных одиночных InAs квантовых точек.

В этом же Институте проведено экспериментальное и теоретическое исследование перехода «двумерный топологический изолятор – двумерный металл» в HgTe квантовых ямах с инвертированным спектром. В отсутствие магнитного поля в экспериментальных образцах наблюдается локальный и нелокальный транспортный отклик, вызванный переносом заряда вдоль краевых токовых состояний. При приложении продольного магнитного поля обнаружено монотонное уменьшение локального сопротивления до некоторого конечного значения и практически полное подавление



**Рис. 1.** Расщепление экситонных состояний  $\Delta E_{FS}$  для 135 InAs квантовых точек. В прямоугольной рамке выделены экспериментальные точки, для которых  $\Delta E_{FS}$  сравнимо с естественной шириной экситонных состояний. На вставке приведена гистограмма распределения числа квантовых точек от  $\Delta E_{FS}$  для интервала  $\Delta E_{FS}$  от -10 до 40  $\mu\text{eV}$ , ширина столбца равна удвоенной погрешности измерений 3,2  $\mu\text{eV}$ , сравнимой с естественной шириной экситонных уровней  $\Gamma_x$ .



**Рис. 2.** Зависимость от магнитного поля локального  $R_{xx}$  и нелокального  $R_{NL}$  сопротивления двумерного топологического изолятора в HgTe квантовой яме толщиной 8 нм в диапазоне температур  $T = 1,5-4,2$  К.

нелокального сопротивления (рис. 2). Показано, что подобное поведение связано с фазовым переходом двумерный топологический изолятор–двумерный металл, индуцированным продольным магнитным полем. Построена теория данного явления, в соответствии с которой переход возникает в результате действия продольного магнитного поля на объемную щель топологического изолятора. Это воздействие трансформирует двумерный изолятор в обладающую металлическими свойствами двумерную бесщелевую дираковскую систему.

В этом же Институте разработаны и изготовлены длинноволновые фотодиодные матрицы формата  $320 \times 256$  по усовершенствованной технологии на основе ГЭС КРТ МЛЭ новой архитектуры с широкозонным высокопроводящим слоем *n*-типа проводимости. Использование усовершенствованной технологии позволяет понизить влияние структурных дефектов типа «шип» на параметры получаемых фотоприемных устройств (ФПУ). Величина темнового тока фотодиодов с длинноволно-

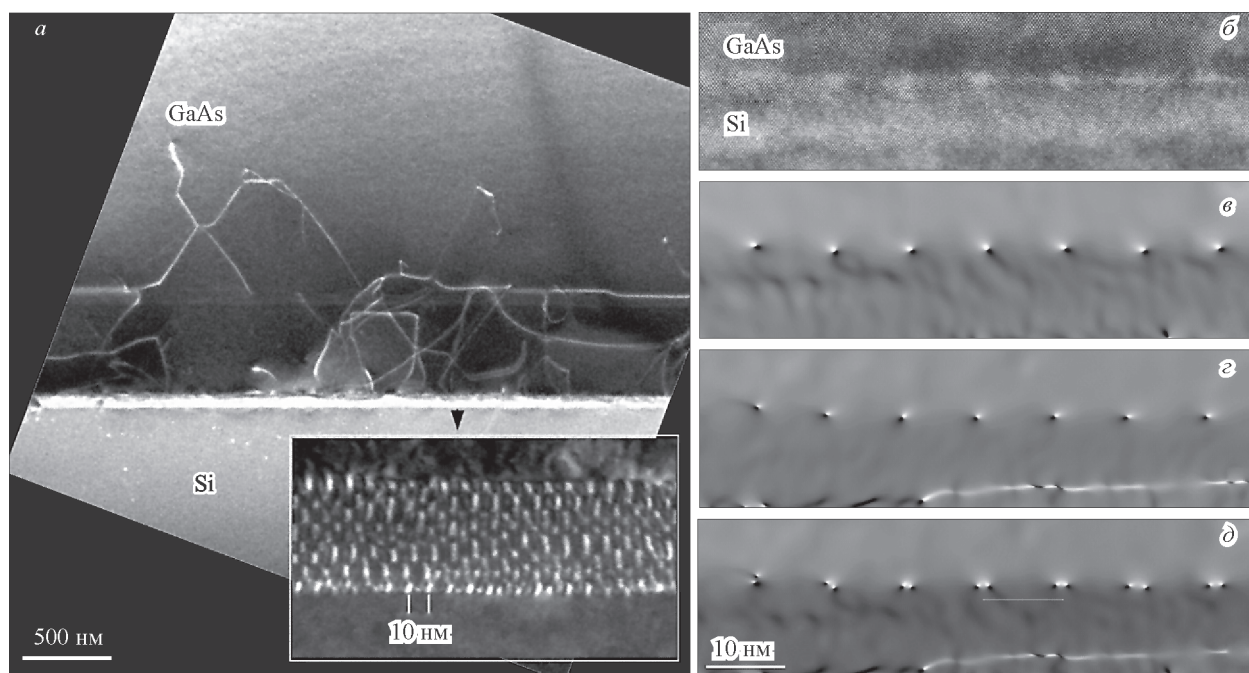
вой границей  $\lambda_{1/2} = (9,2-9,6)$  мкм составляет  $0,25-0,45$  нА, величина произведения  $R_0 A - (0,9-1,8) \times 10^2$  Ом  $\cdot$  см<sup>2</sup>. Вольтовая чувствительность, пороговая облученность и среднее значение NETD в максимуме чувствительности ФПУ составляют  $11,8 \times 10^8$  В/Вт,  $3,7 \times 10^{-8}$  Вт/см<sup>2</sup> и  $26,8$  мК соответственно. Доля дефектных не работающих элементов составляет  $0,05$  % от общего количества.

В этом же Институте разработана технология пассивации поверхности InAs сверхтонкими окисными пленками ( $\sim 3$  нм) в плазме тлеющего разряда. Исследован диапазон от темного таунсендовского разряда с напряжением разряда 320 В до аномального разряда с напряжением разряда 800 В. При использовании удаленной плазмы впервые для МДП-структур на основе InAs при температуре жидкого азота наблюдались безгистерезисные зависимости емкости от смещения в широком диапазоне полей от  $-7 \times 10^6$  до  $+5 \times 10^6$  В/см. Плотность состояний на границе раздела оксид/InAs составляет  $< 4 \times 10^{10}$  см<sup>-2</sup> эВ<sup>-1</sup>.

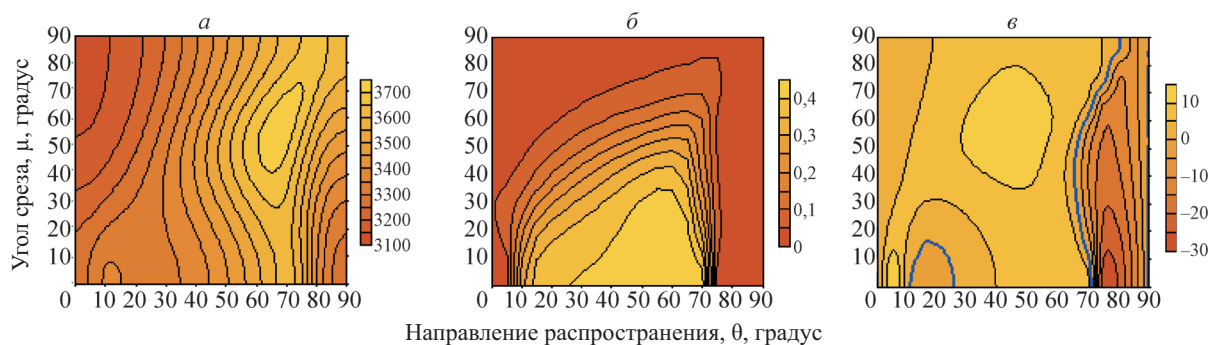
### Программа П.8.2. Фундаментальные основы твердотельных устройств микро- и нанoeлектроники (координатор член-корр. РАН И. Г. Неизвестный)

В Институте физики полупроводников им. А. В. Ржанова с помощью высокоразрешающей электронной микроскопии исследована структура пленок GaAs, выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии на подложках Si, отклоненных от плоскости (001) на  $6^\circ$  в направлении [110] (рис. 3). Показано, что плотность прорастающих дислокаций (ПД) максимальна вблизи границы пленка–подложка и по мере удаления от границы уменьшается

более чем на два порядка. Уменьшение плотности ПД связано с аннигиляцией дислокаций разного знака в процессе скольжения. Период залегания дислокаций несоответствия (ДН) составляет 10 нм, что указывает на полную релаксацию гетероэпитаксиальных напряжений в этих объектах. Атомная структура ДН была изучена в режиме высокого разрешения (см. врезку на рис. 3, а).



**Рис. 3.** Темнопольное ПЭМ-изображение в условиях «слабого пучка» (2–20) поперечного сечения (110) гетеросистемы GaAs/Si (001) (а). На врезке увеличенный фрагмент изображения гетерограницы, полученного при повороте образца вокруг оси [110] на 18°. б – экспериментальное ВРЭМ-изображение границы раздела GaAs–Si и результаты его цифровой обработки; в – карта распределения межплоскостных расстояний (111); г – карта распределения межплоскостных расстояний (1–11); д – суммарное в + г.

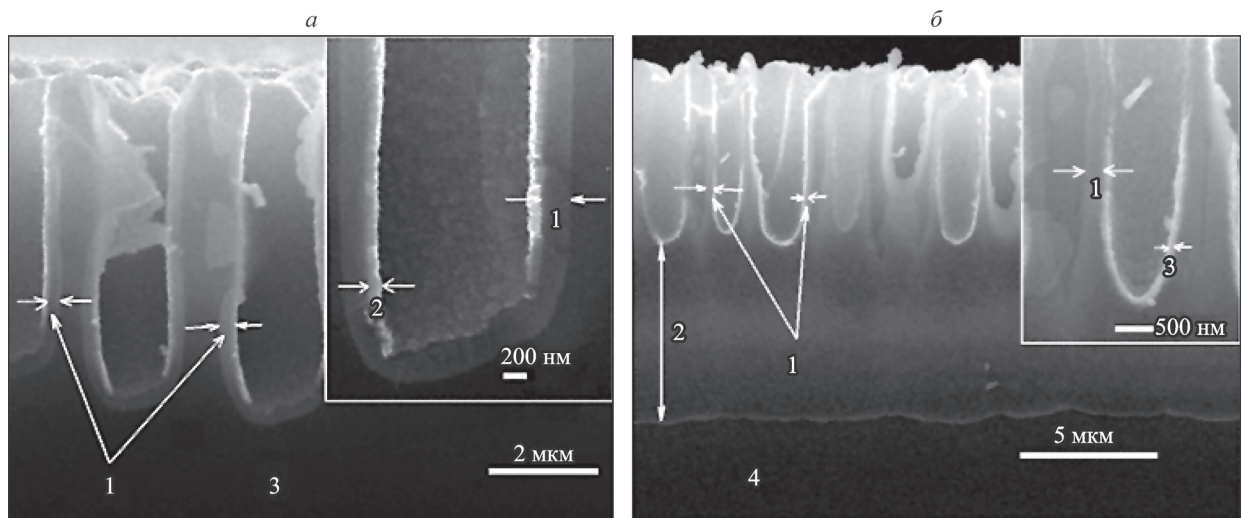


**Рис. 4.** Фазовая скорость, м/с (а), коэффициент электромеханической связи, % (б) и угол отклонения потока энергии волны от волновой нормали (градусы) (в) в различных срезах КТА.

В этом же Институте проведены численные исследования свойств поверхностных акустических волн в различных срезах кристалла титанил арсената калия  $\text{KTiOAsO}_4$  (КТА), который является одним из представителей широкого изоструктурного семейства типа титанил фосфата калия  $\text{KTiOPO}_4$  (КТР). КТА и КТР широко используются в устройствах нелинейной оптики, в частности, для удвоения частоты излучения. Показано, что для срезов кристалла, определяемых углами  $0 < \mu < 40$  и  $10 < \theta < 70$ , поверхностные акустические вол-

ны имеют сравнительно большой коэффициент электромеханической связи до 0,4 % (рис. 4, б). В этой же области углов  $\mu$ ,  $\theta$  имеются ориентации с нулевыми значениями потока энергии волны (рис. 4, в).

В Омском научном центре созданы многослойные нанокompозитные слои на основе окисленного макропористого кремния и оксида олова с захороненным изолирующим слоем  $\text{SiO}_2$  (рис. 5). Толщина захороненного слоя  $\text{SiO}_2$  определяется режимами получения верхнего макропористого кремния и нижнего слоя



**Рис. 5.** РЭМ-изображение композита макропористого Si/SnO<sub>x</sub>: 1 – SiO<sub>2</sub> на поверхности макропор, 2 – SnO<sub>x</sub> на окисленной поверхности макропор, 3 – монокристаллическая кремниевая подложка (а). РЭМ-изображение композита на основе двухслойного пористого Si/SnO<sub>x</sub>. 1 – SiO<sub>2</sub> на поверхности макропор; 2 – SiO<sub>2</sub>, полученный после окисления мезопористого слоя; 3 – SnO<sub>x</sub> на окисленной поверхности макропор; 4 – монокристаллическая кремниевая подложка (б).

мезопористого кремния. Установлено, что полученные структуры и нанокompозиты обладают высокой чувствительностью к химическим реагентам, в частности, к диоксиду азота

(~0,5 ppm). Полученные структуры являются базовыми для создания семейства селективных интегрированных газовых сенсоров.