

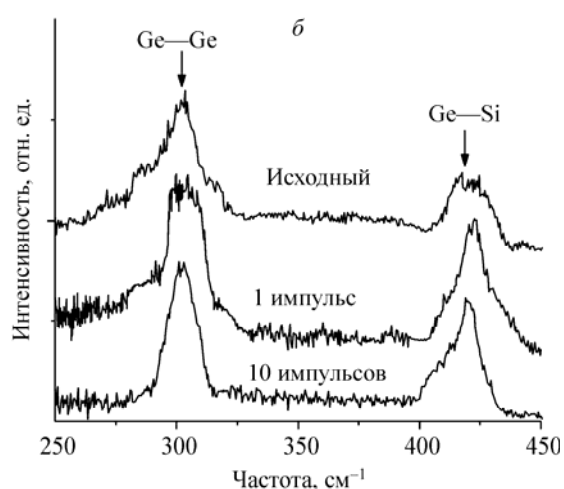
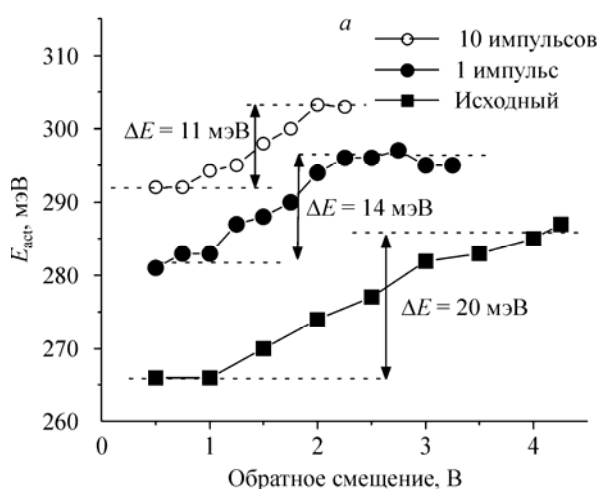
**ИССЛЕДОВАНИЯ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ.
ПРОЕКТ № 186**

Координаторы: д-р физ.-мат. наук Двуреченский А. В., канд. физ.-мат. наук Ивлев Г. Д.
Исполнители: ИФП СО РАН, ИЭЛ НАНРБ

Разработаны физические основы, позволяющие решить проблему однородности распределения размеров квантовых точек, полученных в результате эпитаксии упругонапряженных гетеросистем. Дисперсия размеров неизбежно приводит к разбросу энергетических уровней носителей заряда в массиве квантовых точек, в результате чего дискретный электронный спектр, необходимый для приборных применений наноструктур с квантовыми точками, может трансформироваться в квазинепрерывный с потерей основных преимуществ, обеспечиваемых явлением трехмерного размерного квантования в нуль-мерных электронных системах. Основная физическая идея, инициирующая проводимые в работе исследования, заключалась в следующем. В оп-

ределенных режимах импульсное лазерное воздействие может стимулировать плавление областей германия в кремнии, находящегося в твердой фазе. При этом мелкие нанокластеры Ge будут растворяться в Si, а крупные оставаться, что способствует повышению однородности размеров квантовых точек в ансамбле.

Для исследования элементного состава и механических напряжений в наноструктурах Ge/Si применялась спектроскопия комбинационного рассеяния света (ИФП СО РАН). Энергетический спектр носителей заряда в массивах квантовых точек до и после импульсного лазерного воздействия *ex situ* изучался с помощью применения спектроскопии комплексной проводимости диодов Шоттки со встроенными слоями квантовых точек Ge (ИФП СО



Зависимость энергии активации темпа эмиссии дырок из квантовых точек Ge в валентную зону Si от обратного смещения в кремниевом диоде Шоттки с квантовыми точками (а). Спектры комбинационного рассеяния света до и после импульсного лазерного воздействия (б).

Bias dependent activation energies of hole emission rate before and after pulsed laser processing (а). Raman spectra of Ge QD samples before and after pulsed laser annealing (б).

РАН). Наносекундные лазерные обработки наноструктур и численное моделирование динамики лазерного нагрева проводились в Институте электроники НАН Беларуси. Плотность энергии моноимпульсного излучения составляла 1 Дж/см^2 и соответствовала порогу плавления поверхности монокристалла Si, длительность импульса 80 нс. Порог плавления определялся методами *in situ* по динамике отражательной способности Si и пиковой температуре поверхности. Применялись обработки одним и десятью импульсами рубинового лазера ($\lambda = 694 \text{ нм}$). Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что импульсное лазерное воздействие приводит к уменьшению доли Ge в нанокластерах и частичной релаксации механических напряжений в системе. При этом уменьшается слоевая плот-

ность германиевых островков и увеличиваются их размеры. Наиболее важным результатом является обнаружение увеличения степени однородности параметров квантовых точек в ансамбле после наносекундного лазерного облучения, чего не наблюдается после термического отжига в течение секунд. Так, например, обработка образца со средним диаметром квантовых точек 8 нм десятью лазерными импульсами приводит к уменьшению ширины пика комбинационного рассеяния света на колебаниях связей Ge—Ge в полтора раза и к двукратному уменьшению дисперсии энергетических уровней дырок в нанокластерах Ge, обусловленной флуктуацией размеров квантовых точек в ансамбле нанокластеров (см. рисунок).

Основные публикации

1. Yakimov A. I., Dvurechenskii A. V., Volodin V. A., Efremov M. D., Nikiforov A. I., Mikhalyov G. Yu., Gatskevich E. I., Ivlev G. D. Effect of pulsed laser action on hole-energy spectrum of Ge/Si self-assembled quantum dots// Phys. Rev. B. 2005. V. 72, N 11. P. 115318.
2. Володин В. А., Якимов А. И., Двуреченский А. В., Ефремов М. Д., Никифоров А. И., Гацкевич Е. И., Ивлев Г. Д., Михалев Г. Ю. Модификация квантовых точек в наноструктурах Ge/Si импульсным лазерным облучением// Физика и техника полупроводников. 2006. Т. 40, вып. 2. С. 207.
3. Dvurechenskii A. V., Yakimov A. I., Volodin V. A., Gatskevich E. I., Efremov M. D., Ivlev G. D., Nikiforov A. I. Effects of pulsed laser action on Ge/Si quantum dot array to tune homogeneity// 13th International Symposium «Nanostructures: Physics and Technology». St. Peterburg, Russia, June 20—25, 2005. P. 244.
4. Володин В. А., Якимов А. И., Двуреченский А. В., Ефремов М. Д., Никифоров А. И., Гацкевич Е. И., Ивлев Г. Д., Михалев Г. Ю. Наноимпульсное лазерное воздействие на квантовые точки в Ge/Si наноструктурах// 5-й Белорусско-Российский семинар «Полупроводниковые лазеры и системы на их основе». Минск, Беларусь, 1—5 июня, 2005. С. 181.
5. Якимов А. И., Двуреченский А. В., Володин В. А., Никифоров А. И., Ефремов М. Д., Гацкевич Е. И., Ивлев Г. Д., Михалев Г. Ю. Энергетический спектр дырок в квантовых точках Ge/Si, модифицированных импульсным лазерным облучением// VII Росс. конф. по физике полупроводников. Звенигород, 18—23 сентября, 2005. С. 254.