

# Исследование структурных и излучательных свойств Ge(Si) квантовых точек, упорядоченных на поверхности Si(001)

© Ж.В. Смагина<sup>1</sup>, В.А. Зиновьев<sup>1</sup>, Г.К. Кривякин<sup>1,2</sup>, Е.Е. Родякина<sup>1,2</sup>, П.А. Кучинская<sup>1</sup>,  
Б.И. Фомин<sup>1</sup>, А.Н. Яблонский<sup>3</sup>, М.В. Степихова<sup>3</sup>, А.В. Новиков<sup>3</sup>, А.В. Двуреченский<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук, 630090 Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Новосибирский государственный университет, 630090 Новосибирск, Россия

<sup>3</sup> Институт физики микроструктур Российской академии наук, 603950 Нижний Новгород, Россия

E-mail: smagina@isp.nsc.ru

(Получена 8 февраля 2018 г. Принята к печати 15 февраля 2018 г.)

Разработан метод создания Ge/Si-структур с пространственно упорядоченными наноструктурами при гетероэпитаксии на структурированных подложках Si(001) с квадратной решеткой ямок травления. Исследовано влияние глубины и периода расположения затравочных областей (ямки травления) на зарождение и рост Ge(Si)-наноструктур. Показано, что при изменении глубины ямок формируются как отдельные наноструктуры внутри ямок, так и упорядоченные группы островков по их периметру. Обнаружено, что размеры наноструктур, формирующихся внутри ямок, увеличиваются с ростом расстояния между ямками от 1 до 4 мкм. Ярко выраженный сигнал фотолюминесценции от структур с пространственно упорядоченными квантовыми точками с периодом 1 мкм и больше наблюдается в диапазоне энергий 0.9–1.0 эВ.

DOI: 10.21883/FTP.2018.09.46151.8841

## 1. Введение

Значительный интерес привлекают к себе полупроводниковые гетероструктуры, выращенные на специально подготовленных (структурированных) подложках, содержащих центры в виде ямок или канавок для зарождения трехмерных самоформирующихся наноструктур (квантовых точек) [1–4]. Рост на структурированных подложках является одним из способов контроля мест зарождения самоформирующихся нанобъектов и их упорядочения в пространстве. Упорядочение квантовых точек (КТ) в свою очередь является ключевым фактором для их практического применения в микро- и наноэлектронных устройствах, которые включают в себя запоминающие устройства, лазеры и транзисторы [5,6]. Так, например, рост GeSi-структур на структурированных подложках позволил получить отдельные наноструктуры, встроенные в фотонно-кристаллические микрорезонаторы [6–8], что привело к значительному увеличению интенсивности сигнала фотолюминесценции (ФЛ) и сужению линий ФЛ в спектрах отдельных КТ. Существуют различные способы создания структурированной поверхности полупроводниковых подложек [9–12]. Одним из самых популярных среди них является электронно-лучевая литография с последующим плазмохимическим травлением [1–3,7,13]. На основе этого метода можно получать поверхность с рельефом различной конфигурации. Рост структур на специально подготовленных подложках в основном осуществляется двумя методами: химическим осаждением из газовой фазы и молекулярно-лучевой эпитаксией. Как показывают экспериментальные данные, зарождение наноструктур может происходить как внутри затравочных мест (ямки или канавки), так и на их

периферии [2–4,14]. На зарождение наноструктур существенно влияют форма затравочных областей, период их расположения, введение дополнительных деформаций, а также условия роста: скорость осаждения материала и температура подложки.

Установление закономерностей формирования пространственно упорядоченных наноструктур при гетероэпитаксии на структурированных подложках позволит создать структуры с заданными параметрами, определяющими их электронные и оптические свойства. В данной работе методами атомно-силовой и сканирующей электронной микроскопии, комбинационного рассеяния света и микрофотолюминесценции исследовано влияние глубины затравочных областей (ямки травления) и периода их расположения на условия зарождения, геометрические размеры и излучательные свойства самоформирующихся наноструктур Ge(Si)/Si(001).

## 2. Методика эксперимента

Ge/Si-наноструктуры с массивами пространственно упорядоченных КТ формировались в два этапа. На первом этапе с помощью электронно-лучевой литографии (ЭЛЛ) и плазмохимического травления (ПХТ) создавалась поверхность с наноразмерным рельефом (структурированная поверхность). Для этого на подложку Si(001) методом центрифугирования наносился слой позитивного резиста ПММА-5-950К толщиной ~ 200 нм. Затем с помощью острогофокусированного электронного пучка (ускоряющее напряжение 20 кВ, ток пучка 50 пА) в резисте создавался рисунок в виде локальных экспонированных областей, упорядоченных в двумерную