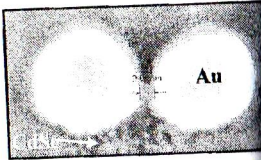


### СОЗДАНИЕ УПОРЯДОЧЕННЫХ НАНОСТРУКТУР С ХАРАКТЕРНЫМИ РАЗМЕРАМИ МЕНЕЕ 100 НМ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ЛИТОГРАФИИ

Упорядоченные металлические наноструктуры с контролируемой пространственной плотностью и размерами используются в качестве чувствительных элементов нано- и биосенсоров, усилителей поверхностного плазмонного резонанса и гигантского комбинационного рассеяния оптических фононов [Rep. Prog. Phys. Vol. 75, 036501(2012)]. Широко используемая технология создания металлических наноструктур заключается в формировании маски с заданными параметрами на подложке методом электронно-лучевой литографии (ЭЛЛ), нанесении металла с последующим удалением маски. При создании наноструктур критическим является точность соблюдения в маске размеров и формы отверстий заданным или однородность по размеру для массивов отверстий. Авторами работы ранее созданы массивы однородных по размеру металлических наноструктур методом ЭЛЛ, которые успешно используются для усиления сигнала гигантского комбинационного рассеяния света (ГКРС) от органических плёнок CoPc, нанокластеров CuS и CdSe, нанесённых методом Ленгмюра-Блоджетт [J. of Phys. Chem. C, 118 (40), 23409–23414 (2014)].

В данной работе на поверхности кремния методом ЭЛЛ созданы различной формы одиночные наноструктуры золота толщиной 40 нм и массивы упорядоченных наноструктур с вариацией размеров и периодов. Одной из основных задач было получение структур, расположенных на предельно малых расстояниях (от 100 нм до 10 нм). Это позволяет увеличить перекрытие электрических полей от наноструктур при облучении и усилить сигнал ГКРС. Структурированная поверхность кремния исследовалась методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Оптимизированы условия подготовки подложек, процесса ЭЛЛ и нанесения металла. Определено, что однородность размеров отверстий в маске увеличивается при уменьшении размеров поля рисования без перемещения стола. Получены зависимости размеров наноструктур в массиве от дозы экспонирования и периода. Минимальные размеры металлических наноструктур (порядка 20 нм) и минимальные расстояния между структурами (порядка 10 нм) были получены при экспонировании с ускоряющим напряжением 20 кВ и апертурой 7,5 мкм. Характерное СЭМ-изображение пары наноструктур, расположенных на минимальном расстоянии, с нанесённым слоем наночастиц CdSe представлено на рисунке.



Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №16-38-00851). Авторы являются членами научной школы (НШ-10211.2016.8). Исследования свойств полупроводниковых нанокластеров с использованием полученных наноструктур выполняется в группе д.ф.-м.н. Милехина А.Г. (ИФП СО РАН).

### УПОРЯДОЧЕНИЕ ОСТРОВКОВ Ge НА СТУПЕНЧАТОЙ ПОВЕРХНОСТИ Si(100)

Проявление самоорганизации в системе Ge – Si позволило получать квантовые точки нанометровых размеров с плотностью  $10^{10} - 10^{11} \text{ см}^{-2}$  [1, 2]. Система квантовых точек имеет большой потенциал в применениях нанoeлектроники и фотоники [2, 3]. За последнее десятилетие наблюдается быстрый прогресс в исследовании по высокопроизводительным фотодетекторам Ge на Si. По причине их уникальных оптоэлектронных свойств, которые включают в себя высокую чувствительность в ближней инфракрасной области длин волн, высокую пропускную способность и совместимость с кремневыми комплементарными схемами металл-оксид-полупроводник [4].

В работе [5] были представлены результаты, в которых кластеры предпочтительно декорируют края ступенек в виде ожерелья, что указывает на возможность создания упорядоченных массивов квантовых точек. В работе [5] автор не акцентирует внимание на конкретные характеристики разоригации пластины и на характеристики ступенек. В данной работе проведены исследования по зарождению островков Ge на поверхности Si(100) которая отжигалась, чтобы получить двухатомные ступеньки.

Были исследованы образцы с Ge островками на поверхности Si(100). В образце №1 поверхность отжигалась 2 часа при температуре 600°C, потом 30 мин при 700°C и 800°C в течение 10 минут. И по завершению отжига выращивалась пленка Ge с эффективной толщиной 10 Å и при температуре 450°C. В образце №2 поверхность кремния отжигалась при температуре 1000°C в течение 10 минут в слабом потоке Si ( $10^{13}$  атомов/с  $\text{см}^2$ ). По завершению отжига выращивалась пленка Ge с эффективной толщиной 9 Å и при температуре 400°C. Как видно из полученных результатов на образце №1 двухатомные ступеньки не образовались. На образце №2 по дифракции быстрых электронов было видно, что рефлексы от двух подрешеток становятся не равными друг другу, что появляется вследствие разных ширины террас, принадлежащих этим подрешеткам. На двух таких поверхностях наблюдалось, что островки имеют тенденцию зарождаться на краях ступенек.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 14-29-07153, 16-29-03292, 16-32-00003, 16-32-00039), РНФ (проект 16-12-00023).

1. О.П. Пчеляков, Ю.Б. Болховитянов, А.В. Двуреченский, Л.В. Соколов, А.И. Никифоров, А.Н. Якимов, В. Voigtlander, 2000 *ФТИ*. Т. 34 вып. 11
2. Wang K., Cha D., Liu J., Chen C., 2007 *Proc. IEEE*, 95, 1866
3. Michel J., Liu J., Kimmerling C., 2010 *Nature photonics*, pp. 527-534
4. Goldhaber I. Hayden P. T. Owen J. H. G. Briggs G. A. D. 1997 *Phys. Rev. Lett.* V. 78, № 20
5. J.H. Neave, P.J. Dobson, B.A. Joyce, Zhang J. 1985 *Appl. Phys. Lett.* 47 (2)