

УДК 621.315.592

DOI: 10.17223/00213411/63/2/104

К.А. ЛОЗОВОЙ¹, А.П. КОХАНЕНКО¹, Н.Ю. АКИМЕНКО², В.В. ДИРКО¹, А.В. ВОЙЦЕХОВСКИЙ¹

РОСТ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ГЕРМАНИЯ НА ОКИСЛЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ *

Рассматривается эпитаксиальный рост квантовых точек германия на окисленной поверхности кремния. Предложена кинетическая модель зарождения и роста трехмерных островков по механизму Фольмера – Вебера в этой системе. Получены зависимости среднего размера и поверхностной плотности квантовых точек от параметров их синтеза. Предложенная теоретическая модель может быть легко перенесена и на другие материальные системы, в которых реализуется рост островков по механизму Фольмера – Вебера.

Ключевые слова: квантовые точки, кремний, германий, оксид кремния, наногетероструктуры, молекулярно-лучевая эпитаксия, критическая толщина, механизм Фольмера – Вебера, поверхностная плотность, функция распределения по размерам.

Введение

Материальная система германий/кремний является в настоящее время одной из самых перспективных для развития полупроводниковой электроники и фотоники. Структуры с квантовыми точками германия в кремнии представляют интерес с точки зрения создания быстродействующих транзисторов, фотодетекторов и солнечных элементов [1, 2]. Основным способом создания наноструктур является их самоорганизация при молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) германия на кремниевую подложку [3]. Несмотря на то, что процессы эпитаксиального формирования квантовых точек в этой системе исследуются уже в течение продолжительного времени, в этом вопросе до сих пор много белых пятен, особенно касающихся теоретического описания процессов, происходящих на различных стадиях роста наноструктур. Постоянно появляются и новые экспериментальные работы, обнаруживающие неожиданные эффекты при эпитаксии в системе германий/кремний [4, 5].

Особый интерес представляет рост германия на окисленной поверхности кремния [6–8]. Именно в этой системе были получены островки с рекордно (предельно) высокой плотностью до 10^{12} – 10^{13} см⁻² и размерами меньше 10 нм [8]. Однако до сих пор закономерности формирования и последующего роста наноструктур германия на поверхности оксида кремния исследованы слабо. Отсутствуют физико-математические модели, позволяющие рассчитать поверхностную плотность, средний размер и функцию распределения островков по размерам в этой материальной системе. Даются лишь порядковые оценки поверхностной плотности квантовых точек, полученные в рамках феноменологических теорий скоростей реакции [8]. Тем не менее для успешного применения структур с квантовыми точками высокой плотности необходимо иметь возможность предсказывать зависимости всех перечисленных параметров массива наноструктур от условий их синтеза методом МЛЭ: температуры и скорости роста, количества осажденного материала.

Трудности с моделированием формирования квантовых точек германия на окисленной поверхности кремния связаны, прежде всего, с тем, что на этой поверхности реализуется механизм роста, принципиально отличный от случая чистой поверхности кремния, – по Фольмеру – Веберу, без образования смачивающего слоя. Второй особенностью образования германиевых островков на поверхности оксида кремния является иная форма островка – полусферическая вместо пирамидальной. И наконец, в зависимости от температуры роста возможно образование островков германия на поверхности оксида кремния (при низких температурах) или в образующихся за счет десорбции атомов ямках, оголяющих чистую поверхность кремниевой подложки (при высоких температурах) [6–8].

Целью настоящей работы является построение кинетической модели зарождения и роста трехмерных островков германия на поверхности оксида кремния по механизму Фольмера – Вебера.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-32-20082.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://www.elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>