

УДК 538.62, 548:537.611.46

М.Ю. ЕСИН¹, А.И. НИКИФОРОВ^{1,2}, В.А. ТИМОФЕЕВ¹, В.И. МАШАНОВ¹,
А.Р. ТУКТАМЫШЕВ¹, И.Д. ЛОШКАРЕВ¹, О.П. ПЧЕЛЯКОВ^{1,2}

ВЛИЯНИЕ СТУПЕНЧАТОЙ ПОВЕРХНОСТИ Si(100) НА ПРОЦЕСС ЗАРОЖДЕНИЯ ОСТРОВКОВ Ge*

Проведены исследования зарождения островков Ge на ступенчатой поверхности Si(100). По дифракции быстрых электронов показано, что при температуре 600 °С при неизменном потоке Si со скоростью осаждения 0.652 Å/с происходит полное исчезновение серии рефлексов от сверхструктуры 1×2 при предварительном нагреве до 1000 °С подложки Si(100), отклоненной к плоскости (111) на угол 0.35°. Исчезновение рефлексов сверхструктуры 1×2 обусловлено переходом поверхности от моноатомных к двухатомным ступеням. Исследования роста островков Ge проводились на поверхности Si(100), которая предварительно отжигалась при температурах 800 и 1000 °С. Показано, что островки имеют тенденцию зарождаться на краях ступенек.

Ключевые слова: дифракция быстрых электронов, молекулярно-лучевая эпитаксия, атомно-силовая микроскопия, островки Ge, поверхность Si(100).

Проявление самоорганизации в системе Ge–Si позволило получать квантовые точки нанометровых размеров с плотностью 10^{10} – 10^{11} см⁻² [1, 2]. Вследствие уникальных оптоэлектронных свойств, таких, как высокая чувствительность в ближней инфракрасной области длин волн, высокая пропускная способность и совместимость с кремневыми комплементарными схемами металл – оксид – полупроводник, структуры с квантовыми точками имеют большой потенциал в применении наноэлектроники и фотоники [3]. Приборы, основанные на квантовых точках, могут быть монолитно интегрированы со схемами считывания данных на базе кремния с невысокой стоимостью и низким энергопотреблением [3]. В работе [4] показана возможность создания моделированием 9-нанометрового канала из квантовых точек полевого транзистора. Характеристики транзистора с квантовыми точками в канале позволяют делать дизайн компактной двухбитной многозначной логической микросхемы [4].

В работе [5] методом сканирующей туннельной микроскопии впервые показано, что стороны hut-островков Ge расположены под углом 45° по отношению к направлению димерных рядов, при этом поверхностные деформации и анизотропия диффузии не влияют на форму островков. Также в [5] высказано предположение, что ступени <100> (расположенные под углом в 45° по отношению к направлению димерных рядов), формирующиеся на поверхности смачивающего слоя Ge, действуют как позиции зарождения. Экспериментально это было подтверждено также методом сканирующей туннельной микроскопии: авторами работы [6] были представлены экспериментальные результаты, в которых кластеры предпочтительно декорируют края ступеней в виде ожерелья, что указывает на возможность создания упорядоченных квантовых точек. Декорация ступеней островками происходит локально и не по всей поверхности.

Целью данной работы является получение упорядоченных германиевых hut-островков по всей поверхности и установление механизмов упорядочения островков Ge путем их зарождения на краях ступеней. Научная новизна исследований заключается в создании упорядоченного массива квантовых точек на ступенчатой поверхности, где в качестве центров зарождения могут выступать двухатомные ступени. Предполагая, что барьер Эрлиха – Швобеля больше у двухатомных ступеней, чем у моноатомных, адатомы, достигшие края ступени, будут не перескакивать, а встраиваться в них. Таким образом, упорядочение германиевых островков будет происходить вдоль края ступени.

Рост проводился в установке молекулярно-лучевой эпитаксии «Катунь-С», оснащенной электронно-лучевыми испарителями для Si и Ge. Аналитическая часть камеры состоит из квадрупольного масс-спектрометра, кварцевого измерителя толщины и дифрактометра быстрых электронов с энергией 20 кэВ. Исследования проводились на подложке Si(100), которая предварительно подвер-

* Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 16-32-60005, 16-29-03292.