

Аннотация

Интерес к исследованиям элементарных процессов в системе Ge/Si(100) вызван необходимостью решения задачи по созданию плотного и однородного массива островков. Декорация ступеней островками делает возможным управление центрами зарождения и получение упорядоченного массива германиевых hut островков. В частности, представляет интерес вопрос об образовании островков вблизи ступеней различного типа. Как известно, на вицинальной реконструированной поверхности Si(100) могут присутствовать как моноатомные ступени двух типов – А и В, террасы которых имеют различные сверхструктурные домены (2×1) и (1×2) (двухдоменная поверхность), так и двойные ступени, разделенные террасами с одним типом сверхструктурного домена (однодоменная поверхность). Переход от однодоменной к двухдоменной поверхности изучался экспериментальными методами ДБЭ и СТМ. В выпускной квалификационной работе изучается динамика доменной структуры вицинальной поверхности Si(100) и поверхности смачивающего слоя Ge в процессе эпитаксиального роста на подложке Si(100). Представленные результаты атомно-силовой микроскопии, показывают, что островки Ge на поверхности Si(100) имеют тенденцию зарождаться у краев ступеней.

Исполнитель (Ф.И.О.): Есин Михаил Юрьевич

Наименование ВКР: Формирование двухатомных ступеней в процессе молекулярно-лучевой эпитаксии кремния и германия на поверхности Si(100)

Объект исследования: Доменная структура вицинальной поверхности Si(100) и поверхности смачивающего слоя Ge осажденного на поверхность Si(100), формирование островков Ge на ступенчатой поверхности Si(100).

Цель: Установление механизмов упорядочения островков Ge путем их зарождения на краях ступеней различного типа поверхности Si(100) при молекулярно-лучевой эпитаксии в системе Ge-Si.

Методы исследования: Дифракция быстрых электронов, атомно-силовая микроскопия, сканирующая туннельная микроскопия.

Теоретическая/практическая значимость исследования: высокая поверхностная плотность, размер и форма являются определяющими параметрами для успешного применения квантовых точек в нанoeлектронике и фотоники. Неоднородность в геометрическом размере массива островков приводит к ухудшению оптических и электрофизических характеристик. Становится необходимым решение задачи по

созданию плотного и однородного массива островков. Декорация ступеней островками делает возможным управление центрами зарождения и получение упорядоченного массива германиевых островков. Различными авторами были проведены попытки осуществления этого, но желаемого результата не достигнуто и поэтому работа требует дальнейшего развития. Возможно, это было связано с отсутствием глубокого понимания элементарных процессов при эпитаксиальном росте Ge и Si на ступенчатой поверхности Si(100). А количество экспериментальных работ недостаточно для полного представления кинетической модели роста и оценки активационных барьеров элементарных процессов. Полученные результаты прольют свет в понимании кинетических моделей элементарных процессов и заполнят недостатки знаний по влиянию характеристик террас при эпитаксиальном росте Ge и Si на подложке Si(100).

Новизна результатов: Научная новизна исследований заключается в создании упорядоченного массива квантовых точек на ступенчатой поверхности, где в качестве центров зарождения могут выступать ступени. В частности, представляет интерес вопрос об образовании островков вблизи ступеней различного типа. Как известно, в зависимости от угла отклонения, поверхность Si(100) может состоять как из моноатомных ступеней двух типов – А и В (двухдоменная поверхность $2 \times 1 + 1 \times 2$), так и двойных ступеней (однодоменная поверхность). Молекулярно-лучевая эпитаксия это не равновесный рост, имеющий высокое пересыщение адатомов на поверхности. Движущей силой распространения ступеней является градиент концентрации адатомов на террасах. Количество потока атомов в эпитаксиальном росте оказывает влияние на движение ступеней, что приводит к формированию ступеней одного типа 2×1 на вицинальной поверхности Si(100). На начальных стадиях роста смачивающего слоя Ge на поверхности Si(100) происходит формирование домена 1×2 и, следовательно, ступени А типа, что обусловлено изменением типа излом на данной ступенчатой поверхности.

Область применения: Нанoeлектроника, оптоэлектроника и фотоника.

Список ключевых слов: Дифракция быстрых электронов, атомно-силовая микроскопия, сканирующая туннельная микроскопия, молекулярно-лучевая эпитаксия, поверхность Si(100), квантовые точки, hut островки Ge, вицинальная поверхность, ступенчатая поверхность, доменная структура.

Апробация работы:

Результаты работы докладывались и обсуждались на лабораторных и институтских семинарах, а так же на следующих конференциях:

Международной научной студенческой конференции МНСК-2015, Россия, Новосибирск, (2015); XII Российская конференция по физике полупроводников, Россия, Звенигород,

(2015); Международный симпозиум «нанофизика и нанoeлектроника», Россия, Нижний Новгород, (2016, 2017); Всероссийская молодёжная конференция по физике полупроводников и наноструктур, полупроводниковой опто- и нанoeлектронике, Россия, г. Санкт-Петербург, (2016); Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы радиофизики», Россия, г. Томск (2015, 2017); Российская научная студенческая конференция по физике твердого тела «ФТТ-2018», Россия, г. Томск, (2018).

Публикации по теме диссертации:

Статьи в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК:

1. Есин, М.Ю. «Влияния ступенчатой поверхности Si(100) на процесс зарождения островков Ge» // М.Ю. Есин, А.И. Никифоров, В.А. Тимофеев, В.И. Машанов, А.Р. Туктамышев, И.Д. Лошкарев, О.П. Пчеляков. // Известия Вузов. Физика, 2017, Т.60, №11, С. 13.
2. Есин, М.Ю. Формирование ступенчатой поверхности Si(100) и ее влияние на рост островков Ge. / М.Ю. Есин, А.И. Никифоров, В.А. Тимофеев, А.Р. Туктамышев, В.И. Машанов, И.Д. Лошкарев, А.С. Дерябин, О.П. Пчеляков // ФТП, 2018, Т. 52, вып. 3, С. 409.

Тезисы докладов:

3. Есин М.Ю., Никифоров А.И., «Исследование изменения периода осцилляций интенсивности зеркального рефлекса ДБЭ в процессе осаждения Ge на поверхность Si(100)» в материалах 53-й Международной научной студенческой конференции МНСК-2015: Квантовая физика / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2015 11-17 апреля.
4. Есин М.Ю., Никифоров А.И., Тимофеев В.А., Машанов В.И., Туктамышев А.Р., Пчеляков О.П. «Анализ дефектности пленок GeSn и GeSiSn полученных методом МЛЭ на подложках Si(100)» тезисы докладов международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы радиофизики», 5 – 10 октября 2015 года, г. Томск.
5. А.И. Никифоров, В.А. Тимофеев, А.Р. Туктамышев, В.И. Машанов, С.А. Тийс, М.Ю. Есин. «Влияние Sn на морфологию поверхности при росте соединений Si-Ge-Sn на Si(100) методом МЛЭ» Тезисы докладов XII Российской конференции по физике полупроводников, 21-25 сентября 2015 г., Звенигород, с. 161.
6. М.Ю. Есин, А.И. Никифоров, В.А. Тимофеев, В. И. Машанов, А. Р. Туктамышев, О. П. Пчеляков. Влияние фонового содержания Sn на формирование Ge островков на

- поверхности Si(100). Тезисы докладов XX симпозиума «Нанофизика и нанoeлектроника», 14-18 марта 2016 г., г. Нижний Новгород ННГУ, Том 2 с. 579
7. М.Ю. Есин, А.И. Никифоров, В.А. Тимофеев, В. И. Машанов, А. Р. Туктамышев, И.Д. Лошкарев, А.С. Дерябин, О. П. Пчеляков. «Исследование механизма упорядочения массива островков Ge на ступенчатой поверхности Si(100)». Тезисы докладов XXI симпозиума «Нанофизика и нанoeлектроника», 13-16 марта 2017 г., г. Нижний Новгород ННГУ, Том 2 с. 588
 8. М.Ю. Есин, В.А. Тимофеев, А.Р. Туктамышев, А.И. Никифоров, И.Д. Лошкарев. «Упорядочение островков Ge на ступенчатой поверхности Si(100)». Тезисы докладов 18-ой всероссийской молодежной конференции по физике полупроводников и наноструктур, полупроводниковой опто- и нанoeлектронике 28 ноября - 2 декабря 2016 г., г. Санкт-Петербург, с. 23
 9. М.Ю. Есин, А.И. Никифоров, В.А. Тимофеев, В.И. Машанов, А.Р. Туктамышев, И.Д. Лошкарев, О.П. Пчеляков. «Влияния ступенчатой поверхности Si(100) на процесс зарождения островков Ge». Тезисы докладов международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы радиофизики», 18 – 22 сентября 2017 года, г. Томск.
 10. Есин М.Ю., Тимофеев В.А., Никифоров А.И. «Изучение формирования ступенчатой поверхности Si(100) при молекулярно-лучевой эпитаксии». Тезисы докладов Российской научной студенческой конференции по физике твердого тела «ФТТ-2018», 17 – 20 апреля 2018 года, г. Томск.