

Напряженные многослойные структуры с псевдоморфными слоями GeSiSn

© В.А. Тимофеев⁺, А.И. Никифоров^{+,*}, А.Р. Туктамышев⁺, М.Ю. Есин⁺, В.И. Машанов⁺,
А.К. Гутаковский⁺, Н.А. Байдакова[▲]

⁺ Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук, 630090 Новосибирск, Россия

^{*} Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050 Томск, Россия

[▲] Институт физики микроструктур Российской академии наук, 607680 Нижний Новгород, Россия

E-mail: Vyacheslav.t@isp.nsc.ru

(Получена 27 апреля 2016 г. Принята к печати 10 мая 2016 г.)

Изучены температурные и композиционные зависимости критической толщины 2D–3D перехода для пленки GeSiSn на поверхности Si(100). Впервые исследованы закономерности формирования многослойных структур, содержащих псевдоморфные слои GeSiSn непосредственно на Si без релаксированных буферных слоев. Методом просвечивающей электронной микроскопии показана возможность создания многослойных структур на основе псевдоморфных пленок GeSiSn и определены параметры кристаллической решетки. Выращенные структуры продемонстрировали фотолуминесценцию для содержания Sn в слоях GeSiSn от 3.5 до 5%.

1. Введение

В последние годы соединения на основе материалов Ge–Si–Sn привлекли к себе особое внимание в связи с возможностью их применения в интегральной кремниевой фотонике, микро- и наноэлектронике, фотовольтаике, термофотовольтаике, а также в области телекоммуникаций и инфракрасного обнаружения [1–6]. При добавлении Sn в Ge становится возможным управление постоянной решетки, напряжением, энергетической диаграммой, подвижностью носителей, эффективной массой носителей заряда и дефектами. Вдобавок, минимум зоны проводимости для L- и Г-долины уменьшается с увеличением содержания Sn, причем, уменьшение в Г-точке происходит быстрее. В результате, GeSn может стать прямозонным полупроводником при содержании Sn 10% для релаксированных слоев и 6% для пленок с деформацией растяжения [7,8]. Успехи в области роста эпитаксиальных слоев GeSn, GeSiSn [9–11] открывают путь в направлении модификации зонной структуры путем управления напряжениями и составом. Помимо изменения электронных и оптических свойств, присутствие Sn на поверхности увеличивает поверхностную диффузию адатомов [12], а также влияет на появление серии сверхструктур, которые не наблюдаются в системе GeSi [13]. Основные проблемы синтеза эпитаксиальных пленок GeSn и GeSiSn, связанные с низкой равновесной растворимостью Sn в Ge и Si (< 1%), сегрегацией и преципитацией, решаются с помощью неравновесных методов роста, таких как молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ), магнетронное распыление, твердофазная эпитаксия, перекристаллизация и газофазная эпитаксия (ГФЭ) [14–16]. Эпитаксиальные слои на основе материалов Ge–Si–Sn получены вплоть до 25% Sn путем понижения температуры роста, контроля несоответствия

решеток и напряженного состояния [17]. В большинстве работ, посвященных росту соединений GeSn, GeSiSn, демонстрируются структуры с толстыми релаксированными слоями Ge, GeSn или GeSiSn. Главными недостатками таких структур являются прорастающие дислокации, ухудшающие структурные и оптические свойства материала.

В представленной статье предлагается использовать взамен релаксированных слоев псевдоморфные упруго-напряженные пленки GeSiSn, выращенные прямо на Si. Основное преимущество псевдоморфных пленок над толстыми слоями заключается в том, что они не содержат дислокаций и когерентны с подложкой. Сами пленки GeSiSn термически стабильнее в сравнении с GeSn [18] и имеют независимую регулировку параметра решетки и ширины запрещенной зоны. Нами получены напряженные многослойные структуры с псевдоморфными слоями GeSiSn, демонстрирующие фотолуминесценцию для содержания Sn в слоях GeSiSn от 3.5 до 5%.

2. Эксперимент

Методом молекулярно-лучевой эпитаксии в условиях сверхвысокого вакуума были получены многослойные структуры, содержащие псевдоморфные слои GeSiSn различного состава (содержание Sn от 0 до 10%) и толщины (от 2 до 3.5 нм). Температура и скорость роста слоев GeSiSn, в многослойной структуре, варьировалась в диапазоне 100–150°C и 0.075–0.43 МС/с (1МС Sn на поверхности Si(100) равен 0.184 нм) соответственно. Слои GeSiSn зарастивались Si при температуре 500°C. Изменение морфологии и структуры поверхности при росте пленок GeSiSn и Si контролировалось с помощью дифракции быстрых электронов (ДБЭ). Энергия