Характеризация кристаллического совершенства слоев гетероструктур (013)HgCdTe/CdTe/ZnTe/GaAs методом генерации второй гармоники

С.А. Дворецкий^{1,4}, М.Ф. Ступак², Н.Н. Михайлов^{1,3}, С.Н. Макаров², А.Г. Елесин², А.Г. Верхогляд²

¹ Институт физики полупроводников СО РАН), Новосибирск, 630090, пр. Акад. Лаврентьева, 13

² Конструкторско-технологический институт научного приборостроения СО РАН,
Новосибирск, 630058, Русская, 41

³ Новосибирский государственный университет (НГУ), Новосибирск, 630090, Пирогова, 2

⁴ Томский государственный университет (ТГУ), 634050, Томск, пр. Ленина, 36
тел.: +7(383) 330-4967, факс: +7(383) 330-4967, эл. почта: dvor@isp.nsc.ru

DOI 10.34077/RCSP2021-75

Представлены результаты по исследованию структурного состояния и его изменениям в гетероструктурах (013)HgCdTe/CdTe/ZnTe/GaAs, выращенных методом МЛЭ, с помощью генерации второй гармоники (ГВГ). Метод ГВГ является одним из наиболее эффективных, экспрессных и чувствительных методов неразрушающего оптического контроля фазово-структурных свойств приповерхностных слоев данных структур [1]. Осуществлена модернизация стенда нелинейно-оптической диагностики, что позволило более чем на порядок снизить шумы и, тем самым, повысить чувствительность. Это было достигнуто в основном за счет частотной селекции и усиления полезного сигнала после фотоумножителя. Для анализа экспериментальных результатов азимутальных зависимостей ГВГ проводилось сравнение с расчетными данными, полученными при численном моделировании идеального кристалла для заданной ориентации (013). Толщина лазерного луча для ГВГ составляла ~ 200 мкм. Были проведены исследования структурного состояния подложек GaAs, буферных слоев CdTe на подложке ZnTe/GaAs и $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ на подложке CdTe/ZnTe/GaAs. Толщины буферных слоев $d_{\text{ZnTe}} \approx 30$ нм и $d_{\text{CdTe}} \approx 5,5$ мкм. Слои КРТ были варизонными на гетерограницах с плавно изменяющимся составом X_{CdTe} от 0,45 до рабочего 0,22: толщина двар $n \approx 1,5$ мкм, толщина рабочего состава $d_{\text{КРТ}} \approx 6$ мкм и от рабочего слоя к поверхности двар $v \approx 0,5$ мкм.

Напряжения в подложке и слоях проявлялись по наличию на экспериментальных графиках ГВГ ярко выраженной асимметрии минимумов азимутальной зависимости и изменения их уровней по сравнению с идеальным кристаллом. Было определено, что подложка и слои в гетероструктуре имеют остаточные напряжения. При выращивании эпитаксиальных слоев на вицинальных поверхностях подложки наблюдается разворот плоскости ориентации от плоскости подложки, что обычно определяют с помощью рентгеновской дифрактометрии. Разворот плоскости (013) для слоев CdTe составил от 3 до 8 угловых градусов. Было проведено исследование разворота слоев HgCdTe при послойном сравнении. Наблюдалось немонотонное изменение разворота слоев по толщине. Последовательно, в варизонном слое на гетерогранице с подложкой CdTe/ZnTe/GaAs разворот плоскости продолжал увеличиваться быстрее, чем в слое постоянного состава, и уменьшался в варизонном слое на поверхности. Было замечено увеличение шума экспериментальных графиков азимутальной зависимости ГВГ от структуры слоев HgCdTe при травлении, превышающее уровень шумов всего приборного тракта. Анализ результатов появления шума позволяет связать этот факт с присутствием слабо разориентированных конгломератов.

Зарегистрированная большая амплитуда сигнала ГВГ от HgCdTe связана с большой величиной нелинейной восприимчивости $\chi_{xyz}(\omega)$, превосходящей более чем на порядок аналогичную величину для CdTe и GaAs.

Работа поддержана частично за счет средств гранта РФФИ № 18-29-20053 и в рамках ГЗ Минобрнауки России в части проекта АААА-А20-120102190007-5.

Литература

- [1] М.Ф. Ступак, Н.Н. Михайлов, С.А. Дворецкий, М.В. Якушев, Д.Г. Икусов, С.Н. Макаров, А.Г. Елесин, А.Г. Верхогляд. ФТТ, 62 (2), 214 (2020).