Матричные ИК фотоприемники на основе гетероструктур узкозонных полупроводников

М.В. Якушев, В.С. Варавин, В.В. Васильев, С.А. Дворецкий, В.Г. Ремесник,
И.В. Сабина, Г.Ю. Сидоров, Ю.Г. Сидоров, А.В. Латышев
Институт физики полупроводников им. А.В.Ржанова СО РАН,
Новосибирск, 630090, пр. Ак. Лаврентьева, 13

DOI 10.34077/RCSP2019-19

В настоящее время твердые растворы $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ (кадмий-ртуть-теллур, КРТ) занимают лидирующее положение среди материалов, на основе которых разрабатываются инфракрасные фотоэлектрические детекторы излучения. Благодаря тому, что HgTe обладает инвертированной зонной структурой или, иначе, «отрицательной» шириной запрещенной зоны, в твердом растворе $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ можно получить произвольную ширину запрещенной зоны от 0 до 1.6 эВ и настроить детектор на выбранное окно прозрачности атмосферы.

Использование подложек из CdZnTe позволяет выращивать эпитаксиальные структуры CdHgTe с низкой плотностью прорастающих дислокаций. Однако, несмотря на затраченные гигантские усилия и средства, подложки большой площади из CdZnTe остаются дорогим и эксклюзивным изделием с невоспроизводимыми характеристиками. В связи с этим повсеместно разрабатываются технологии создания гетероструктур CdHgTe на альтернативных подложках, таких как Si , GaAs , Ge . Использование подложек из кремния позволяет получать матричные фоточувствительные элементы, согласованные по коэффициенту термического расширения с кремниевой интегральной микросхемой считывания сигнала (мультиплексором).

Большое различие параметров кристаллических решеток, химическая и структурная несогласованность КРТ на Si делает задачу разработки и изготовления ИК ФП на основе гетероструктур КРТ/ Si , с параметрами, не уступающими параметрам ИК ФП на основе структур КРТ на согласованных подложках CdZnTe , чрезвычайно сложной.

В ИФП СО РАН разработано и изготовлено уникальное российское оборудование для выращивания КРТ методом МЛЭ. Проведены комплексные исследования всех этапов выращивания гетероэпитаксиальных структур CdTe и CdHgTe на подложках из арсенида галлия и кремния ориентацией (013) диаметром до 100 мм. Подложки, ориентированные по плоскости (013) выбраны нами, так как они позволяют выращивать слои КРТ с высокими параметрами в более широком диапазоне условий роста по сравнению с наиболее часто используемыми подложками (211). Исследованы механизмы формирования гетеропереходов $\text{A}^{\text{IV}}\text{B}^{\text{VI}}/\text{GaAs}$ и $\text{A}^{\text{IV}}\text{B}^{\text{VI}}/\text{Si}$ и кинетика роста слоев CdZnTe и CdHgTe на высокоиндексных поверхностях. В результате разработана технология, позволяющая создавать на альтернативных подложках нелегированные и легированные In пленки CdHgTe с низкой плотностью морфологических и структурных дефектов.

Установлено, что в пленках МЛЭ КРТ/ Si вне зависимости от состава наблюдаются магнетопольные зависимости проводимости и коэффициента Холла в диапазоне магнитных полей $0,05 \div 1 \text{ Тл}$ при 77К. Эти зависимости хорошо описываются с привлечением двух типов электронов: с высокой и с низкой подвижностью, различающимися на порядок величины.

Установлено, что в гетероструктурах КРТ/ Si (013) доминирующим генерационно-рекомбинационными уровнями являются уровни, связанные с вакансиями в подрешетке металла. Заполнение вакансий приводит к снижению вклада рекомбинации Шокли-Рида и к возрастанию времени жизни неосновных носителей заряда в несколько раз до величин ограниченных фундаментальными межзонными механизмами рекомбинации.

На полученных структурах изготовлены матричные фотоприемники различного формата на диапазоны длин волн 1-3, 3-5 и 8-14 мкм, работающие как при 77К, так и повышенных температурах, с параметрами не уступающими зарубежным аналогам. Впервые изготовлен фотоприемник формата 2000×2000 элементов для средневолнового спектрального диапазона.