Полный цикл разработки и производства современных охлаждаемых ИК ФПУ на основе КРТ в ИФП СО РАН

Ю.Г. Сидоров¹, М.В. Якушев¹, И.В. Сабина¹, **Г.Ю. Сидоров¹**, В.В. Васильев¹, Д.В. Марин¹, С.А. Дворецкий¹, Н.Н. Михайлов¹, В.С. Варавин¹, Д.Г. Икусов¹, А.В. Зверев¹, Ю.С. Макаров¹, А.В. Предеин¹, И.В. Марчишин¹, А.В. Вишняков¹, В.Г. Ремесник¹, Д.В. Горшков¹, А.В. Латышев¹, П.А. Сысоев², К.С. Лопаткин²

¹ ИФП СО РАН, Новосибирск, 630090, Лаврентьева, 13

² Филиал 46 ЦНИИ МО РФ, Мытищи МО, 141006

тел: (383)330-89-60, факс: (383)333-27-71, эл. почта: george@isp.nsc.ru

DOI 10.34077/RCSP2021-15

Охлаждаемые детекторы ИК излучения являются незаменимыми в широком поле различных применений, включающих промышленное оборудование, военную и спецтехнику, аэрокосмические и метеорологические средства наблюдения. Приборы с наилучшими характеристиками изготавливаются на основе тройного раствора $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ (КРТ), позволяющего за счет состава реализовать чувствительность во всем ИК диапазоне. Таким образом способность осуществлять разработку и создание приборов на основе КРТ является одним из критических условий для обеспечения государственной безопасности и технологического лидерства.

В последние десятилетия на базе ИФП СО РАН шло последовательное формирование пакета технологий, который на данный момент позволяет реализовать полный цикл разработки и изготовления охлаждаемых фотоприемных устройств (ФПУ) на основе КРТ для всех ключевых диапазонов ИК-спектра. В докладе рассказано об основных элементах данного цикла: выращивании гетероэпитаксиальных структур (ГЭС) КРТ на подложках из арсенида галлия и кремния методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ), технологии изготовления матриц фотодиодов различной топологии, проектировании современных кремниевых схем считывания, технологии гибридной сборки, разработки и изготовлении интегрально стыкуемых вакуумных криостатов, измерительных стендах.

Технология выращивания ГЭС КРТ методом МЛЭ развивалась в ИФП первой, в результате чего были созданы полностью отечественные ростовые установки, оснащенные эллипсометрическим контролем состава и источниками оригинальной конструкции. Достигнутый в данный момент уровень позволяет выращивать ГЭС КРТ на подложках из кремния или арсенида галлия с любым, заранее заданным профилем состава и легирования, что позволяет выращивать не только фоточувствительный материал под любой спектральный диапазон и конфигурацию фотодиодов, но и квантово-размерные структуры: топологические изоляторы и квантовые ямы.

Комбинация разработанных процессов мокрого и сухого типов позволяет создавать массивы фоточувствительных элементов на основе ГЭС КРТ практически любого формата с минимальным на данный момент размером пиксела 15x15 мкм. В зависимости от задачи диоды могут иметь разную полярность, а также изготавливаться по планарной или меза-технологии. В комбинации с гибкостью имеющейся технологии МЛЭ создается возможность создания практически любого типа фоточувствительных элементов на основе КРТ, включая высокотемпературные и двухцветные.

Одним из ключевых элементов фотоприемника является интегральная схема считывания сигнала (ИСС). В данный момент в ИФП сформирована группа специалистов по разработке ИСС, способная создавать современные схемы считывания, обладающие радиационной стойкостью, высокой кадровой частотой и соотношением сигнал/шум с шагом до 15 мкм. В докладе приводятся характеристики разработанных ИСС.

Технология гибридизации ИСС и фоточувствительного элемента, разработанная в институте, позволила решить проблемы непланарности крупных кристаллов и точности их соединения, что позволило успешно создать фотоприемники форматом до 2000x2000 с шагом 20 мкм, а также приемники с шагом до 15 мкм. Перспективным является также переход к гибридизации кристаллов с малым боковым зазором для мозаичных приемников, 3D-stacking и шаг элементов менее 15 мкм.

Завершающим этапом создания ФПУ является размещение в вакуумном криостатируемом корпусе (ВКК). В ИФП разработана универсальная линейка ВКК интегрально сопряженных с МКС разных типов – линейных, роторных и пульсационных. Это позволяет подбирать комбинацию МКС и криостата практически под любую задачу и применение.

В заключительной части доклада приведены параметры ФПМ форматов 4x288, 320x256, 384x288, 640x512, 1024x1024, 1500x1500 и 2000x2000 изготовленных на основе ГЭС КРТ МЛЭ на подложках из кремния.