Наногетероэпитаксиальные структуры HgCdTe. Рост, квантовые эффекты и приборы

Якушев М.В., Варавин В.С., Васильев В.В., Дворецкий С.А., Михайлов Н.Н.,
Сабина И.В., Сидоров Г.Ю., Сидоров Ю.Г., Латышев А.В.

ИФП СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13

DOI 10.34077/Semicond2019-71

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. Гетероструктуры с квантовыми ямами (КЯ) на основе HgTe/CdTe предоставляют возможность управлять энергией межзонных переходов и спектром носителей за счет регулировки ширины ямы. При некотором критическом значении ширины квантовой ямы, зависящем от состава твердого раствора в яме и барьерных слоях ширина запрещенной зоны обращается в ноль. Спектр носителей при этом становится «графеноподобным», т.е. наблюдается линейный закон дисперсии как для электронов, так и для дырок.

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. Исследованы механизмы формирования гетеропереходов $\text{AlB}^{\text{VI}}/\text{GaAs}$ и AlBVI/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.

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.

Разработана технология выращивания $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}/\text{HgTe}/\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ квантовых ям (КЯ) методом молекулярно-лучевой эпитаксии с прецизионным контролем толщины нанослоев HgTe и широкозонных спейсеров и состава (x) эллипсометрическим методом.

В одиночных HgTe КЯ показано существование двумерного электронного газа с высокой подвижностью более 5×10^5 см/В×с. При низком уровне легирования КЯ впервые обнаружен новый электронно-дырочный газа без пространственного разделения носителей. Проведены исследования по изучению свойств с 2D и 3D топологическими состояниями. Обнаружено, что ширина щели при критической температуре $T_c = 90$ К обращается в нуль, что соответствует возникновению безмассовых дираковских фермионов вблизи Г точки зоны Бриллюэна. Полученные данные открывают большое поле деятельности для исследования новых физических явления.

В одиночных и множественных (до 30) $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}/\text{HgTe}/\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ КЯ наблюдался большой фотогальванический эффект для линейно- и циркулярно-поляризованного излучения в диапазоне от 6 мкм до 400 мкм при комнатной температуре. Вольтовая чувствительность для одиночной HgTe КЯ достигает величины, соответствующей детекторам на фотонном увлечении (photon drag effect).

На структурах с множественными HgTe КЯ (от 5 до 10), встроенными в широкозонную волноводную часть наблюдалось стимулированное излучение в зависимости от толщины КЯ в области от 2,8 до 20 мкм при температурах 20 К и в области от 3 до 5 мкм при температурах вблизи комнатной.