Разупорядочение кристаллической решетки и точечные дефекты в слоях HgCdTe, выращенных методом МЛЭ на подложках Si и GaAs

К.Д. Мынбаев^{1,2)}, Н.Л. Баженов²⁾, Д.А. Андрищенко¹⁾, В.С. Варавин³⁾, Н.Н. Михайлов³⁾,
Д.В. Марин³⁾, С.А. Дворецкий³⁾, В.Г. Ремесник³⁾, М.В. Якушев³⁾

¹ Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Кронверкский пр., 49

² ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 194021, Политехническая ул., 26

³ ИФП им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск, 630090, пр. Ак. Лаврентьева, 13

тел: +7 (812) 292-7182, факс: +7 (812) 247-1017, эл. почта: karim.mynbaev@niuitmo.ru

DOI 10.34077/RCSP2019-112

Твердые растворы HgCdTe являются важным материалом для изготовления фотоприемников, работающих в инфракрасной области спектра. В силу существенной ионности химических связей, для HgCdTe характерно значительная плотность дефектов кристаллической решетки, – в том числе, протяженных, связанных с разупорядочением твердого раствора (см., например, [1]), а также точечных. Концентрация подобных дефектов может возрастать в материале, выращенном неравновесными методами, включая широко используемый метод молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Причины возникновения дефектов, параметры процесса изготовления материала, влияющие на их концентрацию, и возможность снижения этой концентрации пост-ростовой обработкой до сих пор остаются предметом исследований и дискуссий.

Нами были проведены исследования макроскопических дефектов, связанных с разупорядочением кристаллической решетки, а также точечных дефектов, в гетероэпитаксиальных слоях твердых растворов HgCdTe, выращенных МЛЭ на подложках GaAs и Si. Исследования проводились методами фотолюминесценции (ФЛ) и оптического пропускания (ОП). Для исследований были выбраны образцы $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ с составами (молярной долей CdTe) фоточувствительной области гетероэпитаксиальных структур $x=0.35\text{--}0.40$, актуальными для создания фотоприемников, работающих в диапазоне длин волн 3–4 мкм. Образцы были выращены в Институте физики полупроводников им. А.В. Ржанова (Новосибирск, Россия) с буферными слоями ZnTe и CdTe. Общая толщина гетероэпитаксиальных слоев составляла от 5 до 9 мкм. Сигнал ФЛ возбуждался полупроводниковым лазером с длиной волны 1.03 мкм и регистрировался охлаждаемым фотоприемником на основе InSb. Спектры ФЛ записывались с использованием решеточного монохроматора в диапазоне температур 4.2–300 К. Спектры ОП записывались при температуре 300 К с использованием FTIR-спектрометра Shimadzu 8400.

Непосредственно после выращивания часть исследованных образцов продемонстрировала значительную степень разупорядочения твердого раствора. Это выражалось в существенном отличии положения края ОП и максимума спектра ФЛ от значений, которых можно было бы ожидать, исходя из номинального химического состава исследуемого материала, а также в аномально большом значении полуширины (ширины на половине высоты) линии межзонной (экситонной) ФЛ. Однако после термических отжигов, проведенных в диапазоне температур 260–300 °С в течение 2–6 ч в атмосфере гелия при малом (10^{-5} ат) давлении паров ртути, оптические свойства этих образцов оказались близки к таковым, характерным для отожженных образцов, не выказывавших аномального разупорядочения после выращивания, а также для образцов, выращенных равновесным методом – жидкофазной эпитаксией. В работе будет проанализирована возможная связь наблюдавшихся эффектов с различными типами дефектов, характерными для твердых растворов HgCdTe, выращенных методом МЛЭ (в частности, с так называемыми V-дефектами [2]), и причины способности этих твердых растворов к «восстановлению» дальнего порядка кристаллической структуры в результате различных видов термических отжигов. Также будут рассмотрены вероятные причины формирования в слоях, выращенных на подложках из Si, точечных дефектов, ответственных за формирование акцепторных состояний, глубина залегания которых может колебаться в пределах от 10 до 90 мэВ при отсчете от потолка валентной зоны. В частности, будет рассмотрена возможная связь подобных дефектов со структурными дефектами, формирующимися в гетероэпитаксиальных композициях со значительным рассогласованием параметров кристаллической решетки составляющих композицию слоев.

Литература

- [1] П.А.Бахтин, В.С. Варавин, С.А. Дворецкий и др. // ФТП. 2003. Т.37, вып.11. С.1369-1373.
- [2] Yu.G. Sidorov, A.P. Anciferov, V.S. Varavin, et al., Molecular Beam Epitaxy of $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, chapter 12 in *Advances in Semiconductor Nanostructures: Growth, Characterization, Properties and Applications*. Amsterdam: Elsevier; 2017, p. 297–323.