

УДК 535.15

## Характеризация широкозонных слоев в лазерных гетероструктурах на основе HgCdTe

Ружеви́ч М.С. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Мынбаев К.Д.  
(Университет ИТМО)

В работе представлены результаты исследования оптических и структурных свойств широкозонных (состав  $x \approx 0,7$ ) волноводных слоев в лазерных гетероструктурах с квантовыми ямами на основе  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ , а также тестовых эпитаксиальных пленок аналогичного состава. В силу специфики ростовых условий существует необходимость контроля качества и определения особенностей такого материала. Структурные исследования подтвердили высокое качество образцов, однако в результате оптических измерений были обнаружены нетипичные для такого материала акцепторные состояния, а также разупорядочение твердого раствора, отражающееся на положении пиков фотolumинесценции и их температурных сдвигах.

### Введение.

Гетероструктуры (ГС) с квантовыми ямами на основе  $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$  (КРТ) перспективны для создания полупроводниковых лазеров дальнего (длина волны  $\lambda > 20$  мкм) и среднего ( $\lambda = 2-6$  мкм) инфракрасного диапазонов. При изготовлении таких ГС важно сформировать широкозонные (состав  $x \approx 0,7$ , ширина запрещенной зоны при 300 К  $E_g \sim 1$  эВ) слои с точно заданным составом и уровнем легирования, так как эти слои выполняют волноводные и барьерные функции и при правильном соотношении составов в барьерах и ямах способствуют подавлению оже-рекомбинации и эффективной генерации лазерного излучения. Технология КРТ долгое время развивалась и хорошо адаптирована для «малых» составов ( $x \approx 0,2-0,3$ ), а не для широкозонного материала. Кроме того, выращивание лазерных структур происходит в условиях, оптимальных для формирования квантовых ям (изготавливаемых на основе чистого  $\text{HgTe}$ ), что означает, что барьерные и волноводные слои растут не в оптимальных условиях. В связи с этим стоит задача определения характеристик подобных слоев, и выращиваемых для тестирования режимов роста эпитаксиальных пленок на основе КРТ с аналогичными составами. Для этого нами был проведен ряд исследований, включавший как оптические, так и структурные методы.

### Основная часть.

Исследовались лазерные ГС с множественными квантовыми ямами с широкозонными слоями состава  $x \approx 0,70-0,74$  и тестовые эпитаксиальные пленки аналогичных составов. Структуры были выращены на подложках  $(013)\text{GaAs}$  с буферными слоями  $\text{ZnTe}$  и  $\text{CdTe}$  в ИФП им. А.В. Ржанова СО РАН. Состав и толщины слоев определялись с помощью *in situ* эллипсометрии и контролировались с использованием метода энерго-дисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДРС). Исследования, в которых использовались методы рентгеновской дифракции (РД) и электронной микроскопии, позволили убедиться в высоком структурном качестве материала. Пики РД соответствовали табличным значениям для КРТ состава  $x \approx 0,7$ , видимые макродефекты обнаружены не были. Спектры оптического пропускания (ОП) всех структур при 300 К характеризовались резкими краями пропускания и ярко выраженными интерференционными полосами при малых волновых числах. При этом спектры ОП лазерных ГС характеризовались сложной формой края пропускания, что было связано с наличием в них слоев различного состава, в то время как спектры эпитаксиальных пленок имели «классический» вид. Состав твердого раствора, определенный по краю ОП, хорошо соответствовал данным эллипсометрии и ЭДРС. Спектры ФЛ были получены в

широком диапазоне температур  $T=4,2-300$  К. Спектры при температуре жидкого гелия (4,2 К) содержали пики ФЛ, соответствующие рекомбинации экситонов, локализованных на флуктуациях состава, и, для ряда образцов, – полосы, соответствующие переходам на мелкие ( $\sim 15$  мэВ) и/или глубокие ( $\sim 70$  мэВ) акцепторные состояния. Положение «краевых» пиков ФЛ слабо зависело от температуры во всем исследованном температурном диапазоне, что характерно для КРТ данных составов, но не вполне соответствовало данным по химическому составу, полученным методами эллипсометрии, ОП и ЭДРС.

### **Выводы.**

В работе были проведены результаты исследования оптических и структурных свойств широкозонных слоев в лазерных структурах на основе КРТ. Помимо этого, исследованы эпитаксиальные пленки аналогичного состава, также выращенные молекулярно-лучевой эпитаксией. Различными методами было подтверждено соответствие химического состава структур заявленному. Однако при исследовании ФЛ было обнаружено разупорядочение твердого раствора, влияющее на положение пиков ФЛ и их температурные сдвиги. Помимо этого, обнаружены акцепторные состояния, как мелкие, так и глубокие, нетипичные для твердых растворов КРТ иных составов ( $x \approx 0,3-0,4$ ), выращенных на подложке (013)GaAs. Предполагается, что появление данных состояний может быть связано с условиями роста, а не с дефектами, вызванными рассогласованием параметров кристаллической решетки слоя и подложки. Влияние разупорядочения и присутствия этих состояний на энергетический спектр носителей в лазерных структурах требует дальнейшего изучения.