

Отзыв официального оппонента

на работу Пашкеева Дмитрия Александровича по диссертации «Оптические свойства эпитаксиальных слоев твердого раствора $\text{Pb}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Te}$ ($0 \leq x \leq 1$)», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 — физика конденсированного состояния

Известно, что на основе полупроводниковых соединений типа A^4B^6 разрабатываются и применяются инжекционные лазеры и приемники излучения для средней ИК области спектра. Основными областями их применения являются молекулярная спектроскопия высокого разрешения и высокочувствительный спектральный газоанализ. Существенное улучшение характеристик приборов удастся получить благодаря использованию гетеропереходов. Так использование гетероструктур на основе тройного твердого раствора $\text{Pb}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Te}/\text{EuTe}$ позволяет резко увеличивать ширину запрещенной зоны и уменьшать величину показателя преломления материала даже при незначительном изменении содержания Eu. Поэтому изучение свойств данного материала является актуальной задачей.

Диссертационная работа Пашкеева Д. А. посвящена изучению оптических свойств эпитаксиальных слоев твердого раствора $\text{Pb}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Te}$ в широкой области составов ($0 \leq x \leq 1$) и различных гетероструктур на его основе. Для исследования материала первоначально была разработана методика получения качественных эпитаксиальных слоев и гетероструктур методом молекулярно-пучковой эпитаксии и в дальнейшем с использованием широкого спектра методик получен большой объем новых экспериментальных данных.

Диссертация содержит четыре главы. В главе 1 описана методика создания качественных эпитаксиальных слоев твердого раствора $\text{Pb}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Te}$ ($0 \leq x \leq 1$) и гетероструктур на их основе, получаемых методом молекулярно-пучковой эпитаксии, а также методика характеристики материала, включая определения толщины, состава и морфологии поверхности слоев.

В главе 2 рассмотрены энергетический спектр и излучательная рекомбинация твердых растворов $\text{Pb}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Te}$, приведены результаты измерений интегральной интенсивности и спектров излучения в зависимости от состава x , уровня возбуждения и температуры. На основе полученных результатов предложена схема изменения зонной структуры твердого раствора в зависимости от содержания Eu.

В главе 3 рассматриваются оптические свойства твердого раствора $\text{Pb}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Te}$ ($0 \leq x \leq 1$). Приводится методика определения дисперсии показателя преломления ниже края поглощения по спектрам пропускания эпитаксиальных слоев. Дается описание метода

матрицы переноса, позволяющего численно рассчитывать спектры пропускания и отражения для многослойных структур. Приводятся основные результаты измерения дисперсии показателя преломления твердого раствора в зависимости от содержания Eu и температуры. Проводится сравнение экспериментально измеренных спектров пропускания с модельными, при расчете которых использовались полученные зависимости $N(\omega)$.

Глава 4 посвящена разработке и созданию на основе твердого раствора $\text{Pb}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Te}$ ($0 \leq x \leq 1$) четвертьволновых брэгговских зеркал и микрорезонаторов для области спектра 4 – 5 мкм. Представлены результаты анализа спектров пропускания таких структур методом матрицы переноса. Описано создание одномодовых лазеров с вертикальным выводом излучения при оптической накачке. Определены их основные характеристики: зависимости интегральной интенсивности излучения от уровня возбуждения, спектры излучения и перестройка длины волны излучения с температурой.

В качестве основных новых научных результатов работы можно выделить следующие:

1. Определены оптимальные технологические параметры эпитаксиального роста слоев $\text{Pb}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Te}$ ($0 \leq x \leq 1$), в частности, температура роста кристаллических слоев.
2. Определены дисперсия показателя преломления и положение края поглощения в твердом растворе $\text{Pb}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Te}$ для всей области составов $0 \leq x \leq 1$ при 80 К и 295 К. Для составов $x \leq 0,11$ измерения спектров фотолюминесценции проведены при температурах от 7,5 К до 250 К.
3. На основе данных по фотолюминесценции предложена схема перестройки валентной зоны и зоны проводимости твердого раствора $\text{Pb}_{1-x}\text{Eu}_x\text{Te}$ в зависимости от содержания Eu (x). В частности, показано, что в области составов с $x \sim 0,1$ минимум дна зоны проводимости изменяется с L -точки на X -точку зоны Бриллюэна, а в области с $x \sim 0,85$ абсолютный максимум валентной зоны изменяется с L -точки на Γ -точку.
4. На спектральный диапазон 4 – 5 мкм установлен оптимальный состав гетеропары для создания эффективных брэгговских зеркал и микрорезонаторов на их основе. Продемонстрирована работоспособность лазера с вертикальным выводом излучения на гетеропаре $\text{Pb}_{0,94}\text{Eu}_{0,06}\text{Te}/\text{EuTe}$.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием современной измерительной техники (фурье-спектрометры фирмы Брукер), обработка результатов проводилась с использованием современного программного обеспечения, а

также согласием с результатами, полученными другими авторами, в тех случаях, когда сравнение возможно.

По диссертационной работе можно высказать следующие замечания:

1. Для построения схемы изменения зонного спектра твердого раствора $Pb_{1-x}Eu_xTe$ в зависимости от состава (x) диссертантом использована линейная аппроксимация для энергии d -состояний Pb, что требует обоснования.
2. Представляется несколько завышенным, полученное автором, значение температурного коэффициента для ширины запрещенной зоны, равное $dE_g/dT = 4,7 \cdot 10^{-4}$ эВ/К.
3. Целесообразно было бы дополнить, выполненные автором исследования, Холловскими измерениями высокочастотных слоев с высоким содержанием Eu.

Отмеченные недостатки носят частный характер и не снижают общей положительной оценки диссертации. Диссертация хорошо оформлена и содержит небольшое количество опечаток и стилистических погрешностей.

Научные положения, выдвинутые на защиту, представляются вполне обоснованными. Автореферат правильно и достаточно полно отражает содержание диссертации. Основные результаты опубликованы в 8 работах, в том числе 3 в журнале «Физика и техника полупроводников» из перечня рецензируемых научных журналов.

Диссертационное исследование «Оптические свойства эпитаксиальных слоев твердого раствора $Pb_{1-x}Eu_xTe$ ($0 \leq x \leq 1$)» является завершенной научно-квалификационной работой и удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к работам на соискание научной степени кандидата физико-математических наук, а ее автор Пашкеев Дмитрий Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 — физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук,
профессор кафедры технологии и
исследования материалов Института
металлургии, машиностроения и
транспорта ФГАОУ ВО «СПбПУ»,
Лауреат Государственной премии РФ



Немов С. А.

