

## ОТЗЫВ

на автореферат кандидатской диссертации Чернова Михаила Юрьевича «Метаморфные гетероструктуры InSb/InAs/In(Ga,Al)As на подложках GaAs для оптоэлектроники среднего инфракрасного диапазона 2.0–4.5 мкм», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Диссертация Чернова М.Ю. посвящена разработке дизайна и технологии выращивания метаморфных гетероструктур с активной областью InSb/InAs/InGaAs/InAlAs методом молекулярно-лучевой эпитаксии на подложках GaAs (001). Такие гетероструктуры предназначены для создания на их основе источников излучения среднего ИК диапазона (2.0–4.5 мкм).

Исследуемые образцы были сформированы одним из самых прецизионных, технологически сложных и наукоёмких методов – молекулярно-лучевой (молекулярно-пучковой) эпитаксией. Для выявления свойств сформированных образцов и раскрытия протекающих в них процессов был использован богатый набор методов исследования, оптимальных для изучения подобных объектов: атомно-силовая микроскопия; высокоразрешающая просвечивающая электронная микроскопия; высокоразрешающая рентгеновская дифрактометрия; спектроскопия фотолюминесценции при разных температурах и при разной мощности оптической накачки; спектроскопия фотоотражения и электролюминесценции; моделирование зонной структуры. Результаты работы довольно многочисленны, из их числа самые важные, на мой взгляд, следующие:

- Методом МПЭ на подложках GaAs(001) с использованием МБС InAlAs с корневым профилем изменения состава реализованы квантоворазмерные гетероструктуры с уникальной сбалансированной по упругим напряжениям активной областью, представляющей собой субмонослойную вставку InSb/InAs типа II, расположенную в КЯ InAs/InGaAs типа I, излучающей в среднем ИК диапазоне 2.0–4.5 мкм с внутренней квантовой эффективностью  $90\pm 5\%$  при 10 К.
- Установлено, что максимальное значение внутренней квантовой эффективности метаморфных гетероструктур InSb/InAs/In(Ga,Al)As/GaAs(001), излучающих в среднем ИК диапазоне 2.0–4.5 мкм, составляет  $5.0\pm 0.5\%$  при комнатной температуре и достигается при значении обратной ступени  $\Delta x_{In} = 0.08–0.10$ .
- На подложках GaAs:Zn *p*-типа методом МПЭ реализованы метаморфные светодиодные гетероструктуры InSb/InAs/In(Ga,Al)As, демонстрирующие электролюминесценцию в диапазоне 3.1–3.8 мкм, интенсивность которой при комнатной температуре меньше, чем при температуре жидкого азота, в 17 раз.
- На полуизолирующих подложках GaAs(001) методом МПЭ получены метаморфные гетероструктуры InSb/InAs/In(Ga,Al)As со сверхрешёточным волноводом InGaAs/InAlAs, демонстрирующие стимулированное излучение в среднем ИК диапазоне

(2.8–3.0 мкм) вплоть до 60 К с пороговой плотностью мощности оптической накачки ~ 5 кВт/см<sup>2</sup>.

Наряду с достоинствами, следует отметить следующие недостатки автореферата.

1. Присутствует некоторое злоупотребление использованием многочисленных аббревиатур, что затрудняет восприятие текста автореферата. Редко используемые в тексте аббревиатуры можно было бы и не вводить (ДЭВО – дифракция электронов от выделенной области, ПД – протяжённые дефекты, НЗ – носители заряда, ВКЭ – внутренний квантовый эффект, ФО – фотоотражение).

2. Из автореферата остаётся неясным, исследовался ли линейный метаморфный буфер на предмет наличия обоих механизмов релаксации (через сетку дислокаций несоответствия и через разориентацию относительно подложки), и каково соотношение вкладов этих механизмов в релаксацию для линейного метаморфного буфера? Также не хватает численной оценки соотношения этих вкладов для метаморфного буфера с корневым профилем состава (доля упругой энергии метаморфного буфера, освобождаемая каждым из механизмов).

Диссертационная работа Чернова М.Ю. хорошо апробирована. Её результаты опубликованы в 14 статьях из рекомендованного списка ВАК, 12 трудах конференций и неоднократно докладывались на международных и российских конференциях.

На основании автореферата и приведённого списка публикаций можно заключить, что работа «Метаморфные гетероструктуры InSb/InAs/In(Ga,Al)As на подложках GaAs дляptoэлектронники среднего инфракрасного диапазона 2.0–4.5 мкм» полностью соответствует требованиям ВАК, а её автор, Чернов Михаил Юрьевич, заслуживает присуждения ему искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Доктор физико-математических наук,  
Главный научный сотрудник ИСВЧПЭ РАН

Галиев Галиб Бариеевич

Подпись Галиева Г.Б. заверяю  
Ученый секретарь ИСВЧПЭ РАН, к. ф.-м. н.

Хабибуллин Рустам Анварович