

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.231.01 НА БАЗЕ
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института
радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 09 октября 2015 г. № 8

О присуждении **Клочкову** Алексею Николаевичу, гр. России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Электронный спектр в модулированно-легированных гетероструктурах InGaAs/InAlAs на подложках GaAs и InP» по специальности 01.04.10 «Физика полупроводников» принята к защите 10 июня 2015 г., протокол № 3, диссертационным советом Д 002.231.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (125009, Москва, ул. Моховая, Д. 11, корп. 7) (приказ Рособнадзора о создании совета № 2397-1776 от 07.12.2007 г.; приказ Минобрнауки России о продлении деятельности совета № 75/нк от 15.02.2013 г.).

Соискатель, Клочков Алексей Николаевич, 1986 года рождения, в 2009 году окончил Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. С 01.03.2009 г. по 29.02.2012 г. проходил обучение в аспирантуре Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

Работает младшим научным сотрудником в лаб. № 101 «Исследования процессов формирования низкоразмерных электронных систем в наногетероструктурах соединений АЗВ5» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаб. № 101 «Исследования процессов формирования низкоразмерных электронных систем в наногетероструктурах соединений АЗВ5» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники Российской академии наук.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Галиев Галиб Бариевич, заведующий лабораторией № 101 «Лаборатория исследования процессов формирования низко-размерных электронных систем в наногетероструктурах соединений АЗВ5» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

- **Капаев Владимир Васильевич** – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Теоретического сектора Отделения физики твердого тела ФГБУН Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук.

- **Кытин Владимир Геннадьевич** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики низких температур и сверхпроводимости Физического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова», дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет информационных технологий, радиотехники и электроники» (факультет электроники) (г. Москва) в своем положительном заключении, подписанном зав.лаб. фемтосекундной оптики для нанотехнологий д.ф.-м.н., проф. Мишиной Еленой Дмитриевной, зав.каф. физики конденсированного состояния, академиком РАН, проф., д.ф.-м.н. Сиговым Александром Сергеевичем, ученым секретарем, к.ф.-м.н. Юрасовым Алексеем Николаевичем и утвержденном проректором по научной работе, д.т.н., проф. Соловьевым Игорем Владимировичем, указала, что диссертация А.Н. Клочкова является законченной научно-квалификационной работой и содержит решение задач в области электронных свойств наногетероструктур InGaAs/InAlAs, имеющих важное значение для развития физики полупроводников. Новизна и достоверность полученных результатов не вызывает сомнений, они могут быть практически использованы в организациях, занимающихся исследованием, разработкой и эпитаксиальным ростом гетероструктур InGaAs/InAlAs, а также разрабатывающих приборы на основе данной системы полупроводников (ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН, ФТИАН, ИПФ СО РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, МИФИ, Академический университет, МИРЭА, АО «НИИПП», НПП «Пульсар», «Светлана-Рост» и др.).

Опубликованные по теме диссертации работы.

Соискатель имеет **14** опубликованных научных работ, в том числе **13** - по профилю диссертации, из них - **7** научных статей в журналах и изданиях, вошедших в **Перечень**, определенный Высшей аттестационной комиссией, **1** статья в зарубежных журналах, включенных в систему цитирования Web of Science и **5** публикаций в сборниках трудов конференций. Общий объем опубликованных по теме диссертации работ составил 70 мп. страниц.

Научные работы, опубликованные соискателем, обладают самостоятельной научной ценностью, а основные положения, выносимые на защиту, изложены в них полно и достаточно обоснованы.

Вклад соискателя состоит в непосредственном проведении исследований, анализе результатов и подготовке материалов для публикации статей и представления докладов на конференциях.

Наиболее значительными работами являются следующие:

1. Г.Б. Галиев, А.Л. Васильев, И.С. Васильевский, Р.М. Имамов, Е.А. Климов, А.Н. Клочков и др. Структурные и электрофизические свойства НЕМТ-наногетероструктур $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}/\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}/\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}/\text{InP}$ с различной комбинацией нановставок InAs и GaAs в квантовой яме // Кристаллография. – 2015. – Т. 60 (3) – С. 459 – 468.
2. Г.Б. Галиев, Е.А. Климов, А.Н. Клочков, Д.В. Лаврухин, С.С. Пушкарев и др. Фотолюминесцентные исследования метаморфных наногетероструктур $\text{In}_{0.7}\text{Al}_{0.3}\text{As}/\text{In}_{0.75}\text{Ga}_{0.25}\text{As}/\text{In}_{0.7}\text{Al}_{0.3}\text{As}$ на подложках GaAs // Физика и техника полупроводников. – 2014. – Т. 48 (5). – С. 658 – 666.
3. G.B. Galiev, I.S. Vasilevskii, E.A. Klimov, S.S. Pushkarev, A.N. Klochkov et al. Effect of (1 0 0) GaAs substrate misorientation on electrophysical parameters, structural properties and surface morphology of metamorphic HEMT nanoheterostructures InGaAs/InAlAs // Journal of Crystal growth. – 2014. – V. 392. – P. 11 – 19.

4. Г.Б. Галиев, И.С. Васильевский, Е.А. Климов, А.Н. Клочков, Д.В. Лаврухин и др. Особенности фотолюминесценции НЕМТ-наногетероструктур с составной квантовой ямой InAlAs/InGaAs/InAs/InGaAs/ InAlAs // Физика и техника полупроводников. – 2015. – Т. 49 (2). – С. 241 – 248.
5. Г.Б. Галиев, Е.А. Климов, А.Н. Клочков, П.П. Мальцев, С.С. Пушкарёв и др. Электрофизические и структурные характеристики метаморфных НЕМТ наногетероструктур $\text{In}_{0.38}\text{Al}_{0.62}\text{As}/\text{In}_{0.37}\text{Ga}_{0.63}\text{As}/\text{In}_{0.38}\text{Al}_{0.62}\text{As}$ // Кристаллография. – 2013. – Т. 58 (6). – С. 916 – 921.
6. Г.Б. Галиев, И.С. Васильевский, Е.А. Климов, А.Н. Клочков, Д.В. Лаврухин и др. Применение спектроскопии фотолюминесценции для исследования метаморфных наногетероструктур $\text{In}_{0.38}\text{Al}_{0.62}\text{As}/\text{In}_{0.38}\text{Ga}_{0.62}\text{As}/\text{GaAs}$ // Физика и техника полупроводников. – 2014. – Т. 48 (7). – С. 909 – 916.

На автореферат диссертации поступили положительные отзывы из:

- ФГАОУ ВПО Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» от д.ф.-м.н., проф. Ковалева Алёксея Николаевича (замеч.: 1. На стр. 17 автореферата сказано, что при увеличении длительности отжига подложки происходит смещение и увеличение интенсивности полосы люминесценции, происходящей от границы между буфером структуры и подложкой. К сожалению, не указана величина сдвига этой полосы. 2. На рис. 2 и 4 с результатами моделирования зонной структуры не указано положение уровня Ферми).

- АО «НИИ полупроводниковых приборов» от д.т.н., нач. лаб. Айзенштата Геннадия Исааковича (замеч.: недостатком работы является отсутствие исследований низкотемпературного электронного транспорта в выращенных структурах, например, экспериментальных данных измерений эффекта Шубникова-де Гааза).

- ФГУП НИИ Физических проблем им. Ф.В.Лукина от д.ф.-м.н., вед. научн. сотр. Ильичева Эдуарда Анатольевича (замеч.: Однако в автореферате, утверждение автора об эффективности использования обсуждаемых материалов в технических приложениях (в приборах СВЧ электроники и полупроводниковой оптики) не подкреплены данными как об абсолютных значениях подвижностей и скоростях насыщения электронов, так и об интенсивностях спектров фотолюминесценции. Это затрудняет при знакомстве только с авторефератом дать оценку качества разрабатываемого материала. По-видимому, в диссертации этот недостаток отсутствует, однако, в автореферате он, к сожалению, есть.)

- ФГБУН Физического ин-та им. П.Н.Лебедева РАН, от д.ф.-м.н., зав.лаб. Молекулярно-пучковой эпитаксии Казакова Игоря Петровича (замеч. нет).

Обоснование выбора официальных оппонентов и ведущей организации.

Назначенные советом официальными оппонентами по кандидатской диссертации А.Н. Клочкова ученые являются специалистами, широко известными своими достижениями в данной отрасли науки, имеющими научные труды в рецензируемых научных журналах в соответствующей сфере исследования, способными определить научную и практическую ценность оппонируемой диссертации.

Московский государственный университет информационных технологий, радиотехники и электроники (МИРЭА) - один из ведущих ВУЗов страны по подготовке специалистов для радиоэлектроники, занимающийся исследованием и разработкой материалов и приборов в области твердотельной электроники. Факультет электроники оснащен современным аналитическим оборудованием для

исследования микроструктуры и электронных свойств полупроводниковых гетероструктур. Многочисленные работы сотрудников МИРЭА в областях науки, близких к теме диссертации, свидетельствуют об их способности дать научную оценку результатов, представленных автором к защите.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Предложен оригинальный способ независимого управления спектром и областью локализации тяжёлых и лёгких дырок в наногетероструктурах с квантовой ямой InGaAs/InAlAs при помощи нанометровых слоёв-вставок GaAs и InAs.

Доказаны:

- 1) Зависимость положения линии фотолюминесценции составной квантовой ямы InGaAs/InAlAs, содержащей центральную вставку InAs, от толщины слоя InAs.
- 2) Возможность получения инверсного порядка подзон легких и тяжелых дырок в квантовой яме InGaAs/InAlAs путем введения слоев-вставок GaAs.
- 3) Универсальный характер зависимости энергий состояний электронов и дырок в квантовых ямах односторонне-легированных гетероструктур InAlAs/InGaAs от концентрации электронов, толщины квантовой ямы и содержания In в квантовой яме при отсутствии параллельной проводимости по легирующему барьерному слою.
- 4) Смещение в сторону меньших энергий, увеличение ширины и интенсивности спектров фотолюминесценции от гетерограницы подложки InP и слоя InAlAs в зависимости от температуры и длительности отжига подложки InP в атмосфере As₄.
- 5) Линейная зависимость полуширины пика фотолюминесценции квантовой ямы In_{0.7}Ga_{0.3}As/In_{0.7}Al_{0.3}As от слоевой концентрации электронов. Форма и положение полосы фотолюминесценции от метаморфного буфера In_xAl_{1-x}As определяются профилем химического состава в нем.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

Изучены факторы, определяющие спектр электронных состояний и оптические свойства модулированно-легированных гетероструктур InGaAs/InAlAs на подложках GaAs и InP и зависимость этих свойств от конструкции (толщин и состава слоя) и технологических условий получения структур. Представленные результаты способствуют развитию физических принципов управления электронными свойствами гетероструктур InGaAs/InAlAs.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

Определены перспективы практического использования напряженных слоев-вставок InAs и GaAs для управления спектром и областью локализации легких и тяжелых дырок в наногетероструктурах с квантовой ямой InGaAs/InAlAs для разработки активной области приборов на межзонных и межподзонных переходах.

Определены перспективы практического использования спектроскопии фотолюминесценции для послеростового контроля слоев модулированно-легированных гетероструктур InGaAs/InAlAs: толщины и состава квантовых ям InGaAs/InAlAs, двумерной плотности электронов, качества гетерограницы подложки InP и буфера InAlAs, химического состава в метаморфном буфере InAlAs, толщины слоев-вставок InAs в квантовую яму InGaAs/InAlAs.

Рассчитанные зависимости характера квантовых состояний и спектра электронов от толщин и состава слоев модулированно-легированных гетероструктур

InGaAs/InAlAs значимы для развития методов совершенствования и оптимизации конструкции гетероструктур InGaAs/InAlAs для полевых транзисторов с высокой подвижностью электронов.

Полученные в работе результаты рекомендуются к использованию в организациях: ФТИ им.А.Ф.Иоффе РАН, ФИ им.П.Н.Лебедева РАН, ФТИ РАН, ИФП СО РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, МИФИ, Академический университет, МИРЭА, АО "НИИПП", НПП "Пульсар", "Светлана-Рост" и др.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Экспериментальная работа выполнена на сертифицированном оборудовании, представлено обоснование калибровок роста гетероструктур, проведена оценка погрешности экспериментальных данных. Теория построена на известных моделях, опубликованных в рецензируемых источниках, и согласуется с опубликованными экспериментальными данными по электронным свойствам гетероструктур InGaAs/InAlAs. В работе наблюдается совпадение полученных теоретических выводов и предсказаний с экспериментальными результатами. Установлено качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике.

Личный вклад соискателя состоит в следующем:

Непосредственно соискателем проведены теоретические расчеты электронного спектра гетероструктур, анализ и интерпретация экспериментальных данных. Соискатель принимал участие при планировании и проведении экспериментальных работ по эпитаксиальному росту гетероструктур, а также внес определяющий вклад в измерения концентрации и подвижности электронов, спектров фотолюминесценции гетероструктур. Тексты опубликованных научных статей и докладов подготовлены при непосредственном участии соискателя, большинство докладов на конференциях по материалам диссертации было представлено лично соискателем.

Диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация соответствует специальности 01.04.10 – физика полупроводников и представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней Российской Федерации.

На заседании 09 октября 2015 г. диссертационный совет принял решение присудить **Клочкову** Алексею Николаевичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 8 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из **25** человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени - 19, против присуждения учёной степени - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Зам. Председателя диссертационного совета

Ученый секретарь диссертационного совета



Никитов
Сергей Аполлонович
Кузнецова
Ирен Евгеньевна

«19» октября 2015 г.