

Федеральное Государственное Унитарное Предприятие  
Научно-Исследовательский Институт  
“Полюс” им. М.Ф.Стельмаха

На правах рукописи

**ЧЕЛЬНЫЙ** Александр Александрович

Исследование влияния легирования эмиттерных слоев на параметры  
диодных лазеров на основе твердых растворов AlGaAs и AlGaInP

05.27.03 – квантовая электроника

**А в т о р е ф е р а т**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва-2005

Работа выполнена в ФГУП НИИ "Полюс" им. М.Ф.Стедьмаха

Научный руководитель- Лауреат Ленинской премии, доктор технических наук, профессор ШВЕЙКИН В.И.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор БОГАТОВ А.П.

Лауреат Государственной премии, доктор технических наук ДУРАЕВ В.П.

Ведущая организация: НИИ «Радиоэлектроника и лазерная техника» МГТУ им. Н.Э.Баумана

Защита состоится « » 2005 г. в час. На заседании диссертационного совета Д.409.003.01 в ФГУП НИИ «ПОЛЮС» им. М.Ф.Стедьмаха по адресу: 117342, Москва, ул. Введенского, д.3

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГУП НИИ «ПОЛЮС» им. М.Ф.Стедьмаха

Автореферат разослан « » 2005 г.

Ученый секретарь совета

Д.409.003.01:

Кротов Ю.А.

2006-4  
7756

215113

## Общая характеристика работы

**Актуальность проблемы.** Создание мощных полупроводниковых диодных лазеров (ДЛ) является актуальной и перспективной проблемой, имеющей большое научное и практическое значение. Такие лазеры находят широкое применение в различных областях науки и техники, начиная от записи-считывания и передачи информации, спектроскопии, военного дела и заканчивая обработкой материалов и медициной. При этом все большее значение приобретают такие параметры ДЛ как внешняя эффективность и КПД, а также характеристическая температура порогового тока, причем в подавляющем большинстве случаев эти параметры должны быть максимальными. Поставленной цели достигают путем оптимизации конструкции ДЛ и, в частности, конструкции лазерной гетероструктуры (ГС). Обычно основное внимание уделяется составам и толщинам выращиваемых слоев. Гораздо меньшее внимание уделяется таким параметрам ГС, как уровни легирования эмиттеров.

Постоянно расширяющиеся применения ДЛ требуют расширения спектра возможных длин волн излучения и, следовательно, создания ГС на новых материалах. В частности, для систем записи и считывания информации, целеуказателей, накачки твердотельных сред, легированных хромом, а также для медицины, необходимо создание мощных ДЛ на основе твердых растворов  $\text{AlGaInP/GaInP/GaAs}$ . Такие приборы излучают в диапазоне длин волн 690-630 нм.

Качество и параметры ДЛ существенным образом определяются качеством ГС. Для выращивания гетероструктур ДЛ широко применяется газофазная эпитаксия из металлоорганических соединений и гидридов (МОС-гидридная эпитаксия). Технология легирования материалов  $\text{AlGaInP}$  и  $\text{AlGaAs}$  имеет свои особенности. Установка МОС-гидридной эпитаксии представляет собой сложный и разветвленный трубопровод, в котором при переключении газовых потоков могут развиваться переходные процессы (ПП).

Эти ПП можно классифицировать по своей природе как гидравлические, тепловые и химические. ПП приводят к неконтролируемому росту пленок как по составу, так и по толщине, что существенным образом сказывается на качестве и параметрах изготавливаемых приборов, зачастую искажая или даже делая невозможным выявление зависимостей параметров ДЛ от состава, геометрии и электрофизических характеристик слоев ГС. Поэтому изучение ПП в установках эпитаксии, особенно при выращивании квантоворазмерных ГС и ГС на основе многокомпонентных твердых растворов, изопериодичных подложке, является важной задачей. Таким образом, выбранная тема работы является актуальной.

**Цель данной работы** состоит в исследовании зависимости параметров диодных лазеров от соотношения и уровней легирования эмиттерных слоев квантоворазмерных лазерных ГС и, на основе этих исследований, оптимизация конструкции ГС для создания мощных полупроводниковых ДЛ на основе материалов AlGaInP/GaInP/GaAs и AlGaAs/GaAs.

Методологически это требовало предварительной разработки технологии выращивания пленок и ГС на основе материалов AlGaInP/GaInP/GaAs и AlGaAs/GaAs методом МОС-гидридной эпитаксии, исследования особенностей выращивания и легирования слоев в этих системах, а также исследования ПП, имеющих место в установке и препятствующих контролируемому росту слоев с наперед заданным составом, толщиной и высоким кристаллическим совершенством.

В соответствии с методологией достижения цели данной работы, предполагающей два направления исследований: первое, связанное с исследованием роста и легирования пленок и ГС на основе AlGaInP/GaInP/GaAs и AlGaAs/GaAs; второе, связанное с исследованием зависимости параметров ДЛ от уровня легирования эмиттерных слоев и оптимизацией конструкции ГС,

**в задачу работы входило:**

1. исследование влияния уровня легирования эмиттеров лазерных гетероструктур на параметры изготавливаемых из них диодных лазеров;

2. исследование особенностей роста и легирования слоев на основе системы AlGaInP/GaInP/GaAs и AlGaAs/GaAs, разработка технологии выращивания лазерных гетероструктур МОС-гидридным методом;

**Научная новизна работы** состоит в том, что в ней впервые:

1. выявлена и изучена зависимость внутренних параметров лазерных квантоворазмерных гетероструктур: плотности тока инверсии, коэффициента дифференциального усиления и внутреннего квантового выхода, а также внешней квантовой эффективности и характеристической температуры порогового тока от соотношения легирования эмиттерных слоев;
2. предложена и реализована конструкция излучателя с сильнолегированным P-эмиттером;
3. экспериментально обнаружено, что с повышением уровня легирования P-эмиттера диодные лазеры с малой шириной полоска имеют тенденцию к более устойчивой работе на одной продольной моде.

**Практическая значимость работы** состоит в том, что в ней:

1. продемонстрирована возможность управления внутренними параметрами лазерной гетероструктуры, внешней квантовой эффективностью, характеристической температурой порогового тока простым изменением соотношения легирования в эмиттерных слоях P/N, что открывает новые пути создания диодных лазеров с наперед заданными свойствами;
2. в системе твердых растворов AlGaAs/GaAs созданы диодные лазеры с сильнолегированным P-эмиттером и высоким отношением  $P/N > 5$ , излучающие на длине волны 850 нм оптическую мощность более 3 Вт при внешней эффективности 1,33 Вт/А в непрерывном режиме генерации при ширине области излучения 100 мкм;
3. в системе твердых растворов AlGaAs/GaAs созданы диодные лазеры с сильнолегированным P-эмиттером и высоким отношением  $P/N > 4$ , излучающие на длине волны 780 нм оптическую мощность более 100 мВт; диодные лазеры работали в одномодовом режиме на одной продольной моде;
4. в системе твердых растворов AlGaInP/GaInP/GaAs созданы диодные лазе-

- ры с высоким отношением  $P/N > 3$ , излучающие на длине волны 680 нм оптическую мощность более 1 Вт при внешней эффективности 1,45 Вт/А в непрерывном режиме генерации, при ширине области излучения 100 мкм;
5. в системе твердых растворов AlGaInP/GaInP/GaAs созданы диодные лазеры с высоким отношением  $P/N = 3$ , излучающие на длине волны 650 нм оптическую мощность более 5 мВт в одномодовом режиме при температуре +70°C; значение характеристической температуры порогового тока составило 190° в диапазоне температур +20 ÷ +45°C.
6. разработана технология выращивания гетероструктур на основе AlGaInP/GaInP/GaAs, пригодная для изготовления диодных лазеров красного диапазона спектра, а также диапазона 1,06-0,78 мкм для замены традиционной системы AlGaAs/GaAs;

**На защиту выносятся следующие научные положения:**

1. Основные внутренние параметры квантоворазмерных лазерных гетероструктур зависят от соотношения концентрации дырок  $P$  и электронов  $N$  в эмиттерных слоях: при увеличении  $P/N$  плотность тока инверсии и коэффициент дифференциального усиления увеличиваются.
2. Диодные лазеры с сильнолегированным  $P$ -эмиттером имеют более высокую дифференциальную квантовую эффективность и характеристическую температуру порогового тока.
3. При введении в  $P$ -эмиттер лазерной гетероструктуры нелегированного подслоя, примыкающего к активной области, становится возможным сильное легирование  $P$ -эмиттера акцепторными примесями до концентрации дырок на уровне  $4 \div 6 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ .
4. Диодные лазеры с узким полоском, изготовленные из гетероструктур с сильнолегированным  $P$ -эмиттером, имеют тенденцию к более устойчивой работе в одномодовом режиме.

**Апробация работы и публикации по теме работы.** Основные результаты диссертации опубликованы в 10 печатных работах, включая 1 патент, список которых приведен в конце автореферата, а также докладывались на

Международной конференции «Photonic West Optoelectronic Integrated Circuit Materials, Physics and Devices», 1995, Сан-Хосе, США и научно-технических семинарах ФГУП НИИ «Полюс» им. М.Ф.Стельмаха.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Общий объем диссертации - 131 страница, в том числе 46 рисунков и 5 таблиц. Список литературы содержит 98 наименований.

## Содержание работы

Во **ВВЕДЕНИИ** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель работы и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, изложены основные положения, выносимые на защиту.

**ПЕРВАЯ** глава носит обзорный характер. В ней проведен анализ литературных данных, относящихся к теме диссертации.

В первом параграфе изложены основные принципы МОС-гидридной эпитаксии. Показана важность решения проблемы переходных процессов в газоподготовительной системе установки, особенно при выращивании тонких квантоворазмерных слоев и многокомпонентных твердых растворов.

Во втором параграфе обсуждаются проблемы, которые возникают при выращивании пленок и лазерных ГС в системе AlGaAs/GaAs. Рассмотрены зависимости скорости роста пленок от основных параметров технологического процесса: температуры выращивания, концентрации металлоорганических компонентов газовой фазы, отношения V/III. В подавляющем большинстве случаев рост гетероструктур стараются проводить в так называемом квазиравновесном режиме. Основной проблемой при выращивании твердого раствора AlGaAs является кислород, который образует глубокие уровни, являющиеся центрами безызлучательной рекомбинации. Рассмотрены типы лазерных ГС, выращиваемые МОС-гидридным методом.

В третьем параграфе рассмотрены работы, связанные с ростом твердых растворов  $\text{AlGaInP/GaInP/GaAs}$ . При работе с этим материалом было обнаружено явление упорядочения твердого раствора, когда в пленках присутствуют домены упорядоченной фазы, состоящей из чередующихся моноатомных слоев сверхрешетки  $(\text{AlGa})\text{P/InP}$ . Степень упорядочения твердого раствора сильно влияет на ширину запрещенной зоны пленок полупроводника и на показатель преломления. Отмечается трудность получения пленок с высокой концентрацией дырок при легировании акцепторными примесями. Последний момент становится принципиальным при изготовлении ДЛ, поскольку величина разрывов зон в этой системе сравнительно невелика, что приводит к низкому значению характеристической температуры порогового тока  $T_0$  из-за сильных утечек носителей из активной области через гетеробарьер.

В первом параграфе **ВТОРОЙ** главы рассмотрены конструктивные особенности установки МОС-гидридной эпитаксии, которая использовалась в настоящей работе. Обсуждаются сырье и материалы, применявшиеся для выращивания пленок твердых растворов и гетероструктур на основе систем  $\text{AlGaAs/GaAs}$  и  $\text{AlGaInP/GaInP/GaAs}$ .

Во втором параграфе рассмотрены гидравлические переходные процессы, имеющие место в установках газофазной эпитаксии при переключениях потоков газов. Предложена модель возникновения данного ПП. На основе данной модели сформулированы требования к конструкции установки газофазной эпитаксии, учет которых позволяет свести к минимуму влияние ПП на качество слоев и ГС.

В третьем параграфе рассмотрены тепловые и химические ПП. Первые обусловлены изменением условий теплоотдачи в реакторе при включении в него больших газовых потоков или при смене потоков компонентов с разными тепловыми характеристиками. Вторые обусловлены химическими реакциями в газовой фазе между компонентами парогазовой смеси, а также адсорбцией компонентов на стенках трубопроводов и реактора. Предложены



приемы, позволяющие свести к минимуму влияние тепловых и химических ПП на качество слоев и ГС.

В четвертом параграфе рассмотрены вопросы легирования пленок твердых растворов AlGaInP/GaInP/GaAs и AlGaAs/GaAs донорными и акцепторными примесями. Отмечено, что легирование пленок донорными приме-

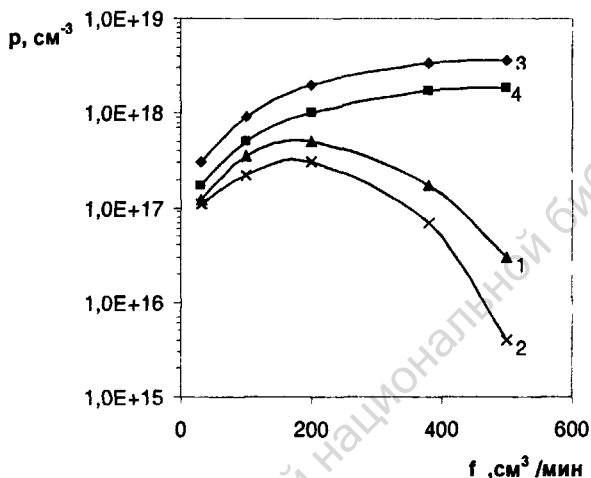


Рис.1 Зависимость концентрации дырок в пленках AlGaInP от расхода водорода-носителя через диэтилцинк.

1. скорость роста 3 мкм/час, без отжига;
2. скорость роста 1,6 мкм/час, без отжига;
3. скорость роста 1,6 мкм/час; отжиг в атмосфере азота при 600°C, 30 мин.
4. скорость роста 3 мкм/час; отжиг в атмосфере азота при 600°C, 30 мин.

сями не встречает особых трудностей. В тоже время, получение в пленках GaInP и AlGaInP концентраций дырок более  $p=5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  затруднительно, особенно для слоев AlGaInP с высоким содержанием алюминия. Кривые зависимости концентрации дырок в твердых растворах от содержания акцепторной примеси в газовой фазе имеют специфический вид (рис.1, кривые1,2). Концентрация дырок с ростом концентрации диэтилцинка в газовой фазе вначале растет, а затем падает. В результате отжига образцов в атмосфере азота при 600°C концентрация дырок в сильнолегированных образцах заметно повысилась, а кривые приобрели вид, близкий к линейному. Подобное по-

ведение акцепторной примеси в пленках полупроводников может быть объяснено эффектом пассивации мелкой акцепторной примеси атомами водорода.

В пятом параграфе описана постростовая технология изготовления исследуемых диодных лазеров, а также указан комплекс методов, примененных для исследования выращенных образцов.

В первом параграфе ТРЕТЬЕЙ главы рассмотрено влияние легирования эмиттерных слоев лазерных ГС на параметры ДЛ с широким полоском, изготовленных в системе AlGaInP/GaInP/GaAs. Выращивался ряд гетероструктур типа РОДГС с тремя квантовыми ямами. ГС отличались уровнем легирования эмиттерных слоев донорной и акцепторной примесями. Другой важной особенностью ГС было наличие прилегающего к волноводу нелегированного подслоя в Р-эмиттере. Толщина подслоя составляла 0,15-0,25 мкм. На рис.2а представлены зависимости внутренних параметров ДЛ с широким контактом ( $w=100\text{мкм}$ ) от концентрации дырок в Р-эмиттере при одинаковой концентрации электронов в N-эмиттере. Видно, что плотность тока инверсии  $J_0$  и

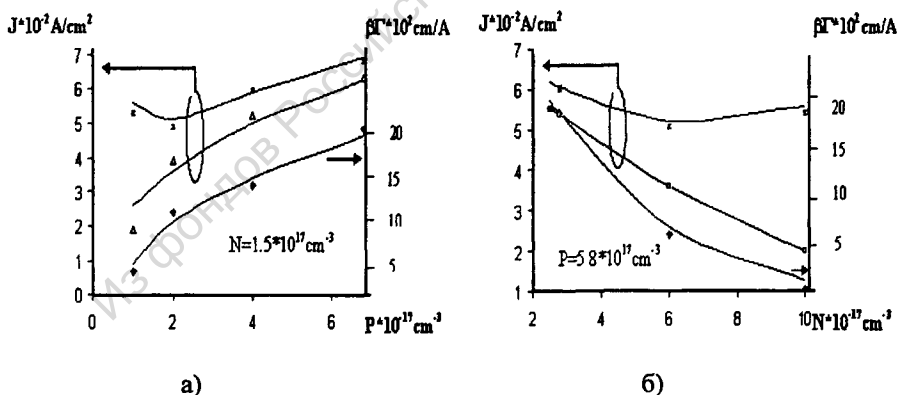


Рис.2 а) зависимость  $J$ (\*) ,  $J_0$ ( $\Delta$ ) и  $\beta$ ( $\blacksquare$ ) от концентрации дырок в Р-эмиттере;

б) зависимость  $J$ (\*) ,  $J_0$ ( $\square$ ) и  $\beta$ ( $\blacksquare$ ) от концентрации дырок в N-эмиттере.

коэффициент дифференциального усиления  $\beta$  растут с ростом концентрации дырок. На рис.2б представлены аналогичные зависимости от концентрации

электронов в N-эмиттере. Видно, что  $J_0$  и  $\beta$  уменьшаются при увеличении концентрации электронов в N-эмиттере. Зависимость плотности порогового тока  $J$  имеет при этом минимум. Зависимости внутреннего квантового выхода  $\eta_0$  и коэффициента характеристической температуры порогового тока  $T_0$  от отношения P/N представлены на рис.3.

Оптимизация концентраций носителей в эмиттерах ГС позволила изготовить ДЛ с мощностью излучения до 1 Вт на длине волны 670 нм. Коэффициент внутренних оптических потерь во всех ГС был на уровне  $2 \text{ см}^{-1}$ . Необходимо отметить, что введение нелегированного подслоя не привело к сколь угодно заметному увеличению последовательного сопротивления диодов.

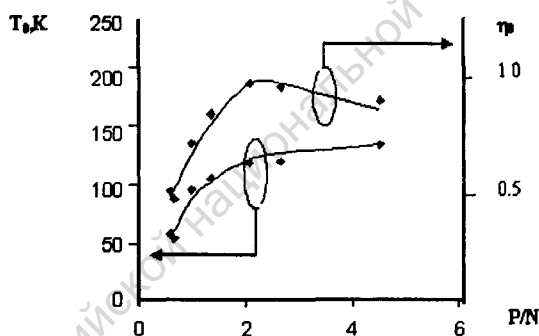


Рис.3 Зависимости внутреннего квантового выхода  $\eta_0$  и  $T_0$  от отношения P/N.

Во втором параграфе обсуждаются параметры ДЛ с узкой мезой, изготовленных из гетероструктур с высоким отношением P/N. ДЛ излучали в одномодовом режиме на длине волны 650 нм. Пороговый ток при длине резонатора 400 мкм составлял 32 мА. Рабочая мощность 5 мВт достигалась при токе 38 мА. ДЛ демонстрировали устойчивую работу вплоть до температуры  $+70^\circ\text{C}$ . Значение  $T_0$  в диапазоне температур  $20 \div 45^\circ\text{C}$  составило  $190^\circ\text{K}$ . Приводятся данные по ресурсным испытаниям при температуре  $60^\circ\text{C}$  в течение 2000 часов

. Представляло несомненный интерес исследование аналогичных зави-

симостей для системы AlGaAs/GaAs, что и было сделано в **ЧЕТВЕРТОЙ** главе. В первом параграфе обсуждается конструкция РОДГС с нелегированным подслоем и высокой концентрацией дырок в Р-эмиттере. Нелегированный подслоем с одной стороны предотвращал проникновение атомов Zn в волновод и активную область за счет диффузии, а с другой – уменьшал поглощение на свободных носителях той части световой волны волновода, которая распространяется в Р-эмиттере. Концентрация дырок в Р-эмиттере выращенной ГС с двумя квантовыми ямами составляла  $p=4 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Изготовленные ДЛ с шириной полоска  $w=100$  мкм и длиной резонатора  $L=800$  мкм имели плотность порогового тока  $480 \text{ А/см}^2$ . Внешняя дифференциальная квантовая эффективность составила 84% (1,2 Вт/А). Мощность диода достигала 3,5Вт и ограничивалась разогревом кристалла. При этом, расходимость излучения в плоскости, перпендикулярной рп-переходу, составила  $40^\circ$ , т.е. сравнительно высокая мощность излучения достигалась в условиях сильного ограничения световой волны в волноводе. На рис.4 представлен спектр излучения ДЛ при мощности 1 Вт. Ширина спектра на половине высоты составила менее 0,5 нм.

Работа ДЛ с узким полоском, изготовленных из ГС с сильнолегированным Р-эмиттером, обсуждается во втором параграфе. Сравнивались ДЛ, изготовленные из двух ГС с двумя квантовыми ямами, излучающие на длине волны 780нм. В одной из них Р-эмиттер легировался до уровня  $p=4 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , в другой – до  $p=1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Толщина нелегированного подслоя составляла 0,2мкм. ДЛ с сильнолегированным Р-эмиттером демонстрировали более высокую эффективность (1Вт/А против 0,7 Вт/А) и мощность (120-140 мВт против 30-40 мВт) в одномодовом и одночастотном режиме. Высокая мощность достигалась при сильном оптическом ограничении световой волны.

Расходимость излучения составляла  $37^\circ$  в плоскости, перпендикулярной р-п-переходу. Спектр излучения таких ДЛ при мощности 80 мВт представлен на рис.4. Видно, что излучение происходит на одной продольной моде с коэффициентом подавления соседних мод 15 дБ. В противоположность

этому в спектре ДЛ с обычным легированием наблюдалось несколько продольных мод. Аналогичные результаты были получены для ГС без алюминия

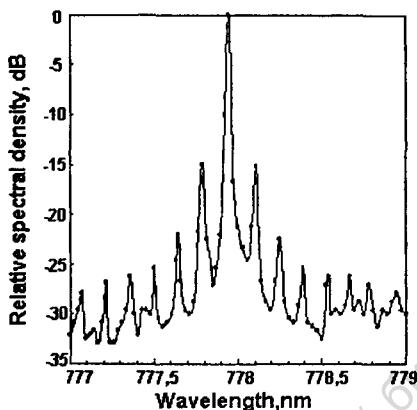


Рис.4 Спектр излучения одномодового ДЛ при мощности  $P=80$  мВт

в активной области, излучающих на длине волны 840нм.

В третьем параграфе рассмотрены зависимости внутренних параметров квантоворазмерных лазерных ГС от уровня легирования Р-эмиттера. Выращивалась серия ГС с отдельным ограничением с активной областью в виде двух квантовых ям. Состав и геометрия ГС были одинаковыми, различался лишь уровень легирования Р-эмиттера. Толщина нелегированного подслоя в Р-эмиттере составляла 0,3 мкм. В табл.1 представлены основные параметры ДЛ, изготовленных из указанных ГС.

Таблица 1 Основные параметры исследуемых ГС

№ п.п.	№ пар тии	$P$ $см^{-3}$	$I_{пор}$ $A/см^2$ $l=800$	$2\eta$ Вт/А	$\lambda_{ген}$ нм	$T_0$ град	$\alpha_0$ $см^{-1}$	$\eta_0$ %	$I_0$ $A/см^2$	$\beta \cdot 10^2$ $см/А$
1	253	$4 \cdot 10^{17}$	370	0,71	835	147	1.6	0,5	90	5,1
2	254	$1 \cdot 10^{18}$	337	0,8	848	160	1.9	0,63	95	6,5
3	354	$1,5 \cdot 10^{18}$	387	1,05	845	180	2.4	0,78	197	8.5
4	540	$4,5 \cdot 10^{18}$	481	1,2	845	230	1.2	0,87	353	11.7
5	541	$6,5 \cdot 10^{18}$	612	1,33	848	250	1.4	0,98	512	15.8

На рис.5 представлены зависимости  $1/\eta_0$  от длины резонатора для партий с наиболее сильно легированным эмиттером. Внутренний квантовый выход был близок к единице для структуры с концентрацией дырок в Р-эмиттере  $6,5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Коэффициент внутренних оптических потерь  $\alpha_0$  не превышал  $2 \text{ см}^{-1}$  для всех ГС. Из табл.1 видно, что с ростом легирования Р-эмиттера и, следовательно, с ростом отношения P/N растут плотность тока

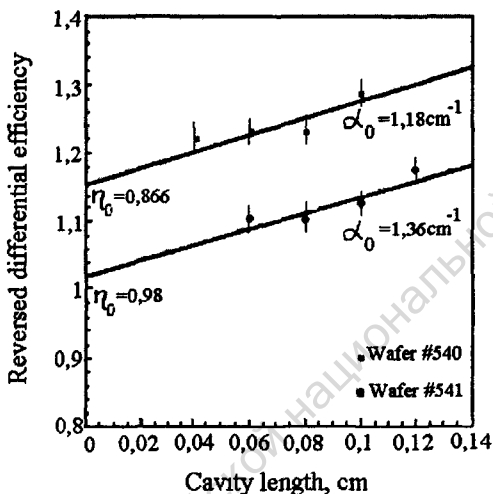


Рис.5 Зависимость  $1/\eta_0$  от длины резонатора для партий №540 и 541.

инверсии  $J_0$  и коэффициент дифференциального усиления  $\beta$ . Кроме того, с ростом P/N увеличиваются внутренний квантовый выход стимулированного излучения  $\eta_0$ , а также значение коэффициента характеристической температуры порогового тока  $T_0$ .

В четвертом параграфе обсуждаются возможные причины, приводящие к зависимости параметров квантоворазмерных ДЛ от уровня легирования эмиттеров. Отмечено, что рост эффективности и характеристической температуры порогового тока с повышением уровня легирования Р-эмиттера можно объяснить снижением дрейфовой и диффузионной компонент тока утечки

электронов из активной области. В тоже время зависимость внутренних параметров ДЛ от отношения P/N можно объяснить, если предположить, что в активной области в условиях сильной инжекции не сохраняется общая электронейтральность и один из двух видов носителей превалирует над другим. Рассмотрена физическая модель, качественно объясняющая причины отклонения от электронейтральности в активной области. Указанная модель адекватно коррелирует с экспериментальными результатами.

**В ЗАКЛЮЧЕНИИ** сформулированы основные результаты и выводы работы:

1. В квантоворазмерных лазерных структурах на основе AlGaInP/GaInP/GaAs и AlGaAs/GaAs исследованы зависимости основных параметров диодных лазеров от соотношения уровней легирования P и N эмиттеров. Показано, что плотность тока инверсии и коэффициент дифференциального усиления, а также внутренний квантовый выход вынужденного излучения, увеличиваются при увеличении отношения P/N. Показано, что характеристическая температура порогового тока также возрастает при увеличении отношения P/N. Предложена качественная модель, объясняющая полученные экспериментальные результаты.

2. Предложена и реализована конструкция гетероструктуры, в которой часть P-эмиттера, примыкающая к активной области, выполнена нелегированной. Это позволяет предотвратить попадание диффундирующей акцепторной примеси в активную область прибора на этапах его изготовления. С другой стороны это уменьшает взаимодействие световой волны, распространяющейся в волноводе, с носителями в P-эмиттере и снижает внутренние потери; указанная конструкция позволяет изготовить диодные лазеры с сильно, более  $1,5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , легированным P-эмиттером без существенного увеличения внутренних оптических потерь.

3. Оптимизация легирования эмиттеров позволила в системе твердых растворов AlGaAs/GaAs изготовить диодные лазеры, излучающие на длине волны

850 нм оптическую мощность более 3 Вт при внешней эффективности 1,33 Вт/А в непрерывном режиме генерации при ширине области излучения 100 мкм, а в системе твердых растворов AlGaInP/GaInP/GaAs изготовить диодные лазеры, излучающие на длине волны 680 нм оптическую мощность более 1 Вт при внешней эффективности 1,45 Вт/А в непрерывном режиме генерации при ширине области излучения 100 мкм.

4. На основе проведенных исследований изготовлены одномодовые ДЛ на основе системы AlGaInP/GaInP/GaAs мощностью до 5 мВт, устойчиво работающие до температуры +70°C и имеющие ресурс более 2000 часов при температуре +60°C.

5. Экспериментально найдено, что одномодовые диодные лазеры имеют тенденцию к более устойчивой работе на одной продольной моде при увеличении легирования Р-эмиттера. Полученные результаты позволили воспроизводимо изготавливать излучатели с мощностью до 100 мВт, работающие на одной продольной моде в системе AlGaAs/GaAs.

4. Разработана технология выращивания слоев четверных твердых растворов AlGaInP/GaInP/GaAs и лазерных гетероструктур на их основе. Показано, что качество и однородность слоев определяются, в частности, наличием переходных процессов при переключениях больших потоков гидридных газов арсина и фосфина. Разработаны технологические приемы легирования слоев твердых растворов донорными и акцепторными примесями. Показано, что результирующая концентрация дырок в слоях р-типа AlGaInP определяется балансом противоположных эффектов при выращивании этих слоев. С одной стороны, она определяется концентрацией акцепторной примеси (Zn,Mg), а с другой стороны - эффективностью пассивации мелкой акцепторной примеси водородом.



**Основные материалы диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. Отчет по ОКР Каркас; ФГУП НИИ Полюс Гл.конструктор Чельный А.А.- №Г36417.-уч.2203.-М.-1999.
2. Chelny A., Eliseev P., Konyaev V., Krichevsky V., Polyakov A. AlGaInP/GaInP visible LD with extremely high characteristic temperature  $T_0$ // Proceeding Optoelectronic Integrated Circuit Materials, Physics and Devices.-1995.- San Jose, California, SPIE.- V.2379.-P.69-77.
3. Отчет по НИР Калина; ФГУП НИИ Полюс Научн.руковод. Горбылев В.А., №2110, УДК 621.385.2.- М.-1990.Зам.научн.руковод. Чельный А.А.
4. Чельный А.А., Алуев А.В., Маслов С.В. Оптимизация легирования эмиттеров в лазерных гетероструктурах AlGaInP/GaInP// Квантовая электроника.- 2004.-т.34.-№1.-С.2-4.
5. Алуев А.В., Морозюк А.М., Кобякова М.Ш., Чельный А.А. Мощные непрерывные 2,5Вт диодные лазеры, изготовленные в системе AlGaAs/GaAs// Квантовая электроника.- 2001.-Т.31.-№7.-С.627-628.
6. Журавлева О.В., Киселева Н.Н., Курносков В.Д., Малашина О.Ю., Чельный А.А., Шишкин В.А. Одночастотные GaAlAs/GaAs-лазеры //Квантовая электроника.-1994.-Т.21.-№3.-С.205-208.
7. Eliseev P.G., Chelny A.A., Aluev A.V., Davydova E.I, Kobyakova M.Sh. and Morozyuk A.M. Single-Mode Laser Diode at 778-nm Wavelength:Effect of p-Doping//IEEE Photonics Technology Letters.-2002.-v.14.-N1.-P.15-17.
8. Крюкова И.В., Мармалюк А.А., Матвеев Е.В., Поповичев В.В., Симаков В.А., Чельный А.А., Чуковский Н.Н. Перспективные полупроводниковые лазеры с мощностью излучения до 200 мВт для межспутниковых оптических линий связи//Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана Сер."Приборостроение".- 2002.-№3.-С.18-33.
9. Инжекционный лазер, Елисеев П. Г., Кобякова М. Ш., Симаков В. А., Чельный А. А.// Изобретения. Бюллетень Российского Агентства по патентам и товарным знакам,- № 15-2000 001,- пат. № 2168249,-2000.
10. Chelny A.A., Kobyakova M.S., Eliseev P.G. Effect of the Doping Level of a p-

Cladding Layer on the Performance of GaAs-AlGaAs Multi-quantum-Well Lasers//IEEE Journal of Quantum Electronics.-2004.-v.40.-N2.-P.113-117.

Из фондов Российской национальной библиотеки

Типография ордена «Знак почета» издательства МГУ  
117234, Москва, Ленинские горы  
Заказ № 222 Тираж 100 экз.

Из фондов Российской национальной библиотеки

№ 1 0 4 2 1

РНБ Русский фонд

2006-4

7756

Из фондов Российской национальной библиотеки