

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики полупроводников

**Разработка коллимированной лазерной диодной решетки
квазинепрерывного режима работы с повышенной плотностью упаковки
лазерных кристаллов**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 2 курса 202 группы
направления 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»
факультета nano- и биомедицинских технологий

Старынина Михаила Юрьевича

Научный руководитель (руководитель)
Заведующий кафедрой физики полупроводников СГУ,
д.ф.-м.н., профессор _____ А.И. Михайлов
должность, место работы, уч. степень, уч. звание подпись, дата инициалы, фамилия

Консультант

Главный инженер
ООО «НПП «ИНЖЕКТ» _____ А.П. Буничев
должность, место работы, уч. степень, уч. звание подпись, дата инициалы, фамилия

Зав. кафедрой
Заведующий кафедрой физики полупроводников СГУ,
д.ф.-м.н., профессор _____ А.И. Михайлов
должность, место работы, уч. степень, уч. звание подпись, дата инициалы, фамилия

Саратов, 2016 год

Актуальность темы. Данная работа посвящена исследованию фундаментальных факторов, ограничивающих возможность достижения высокой выходной оптической мощности лазерных диодов, линеек лазерных диодов и лазерных диодных решеток и дальнейшему поиску путей повышения выходной оптической мощности. Также работа посвящена изучению раздела микрооптики для линеек лазерных диодов и технологий юстировки и фиксации микрооптических линз.

Актуальность данного исследования заключается в том, что в настоящее время в промышленности требуются лазерные диоды, линейки лазерных диодов и лазерные диодные решетки с высокой выходной оптической мощностью и оптимальной для конкретного применения геометрией пучка. Благодаря высокому коэффициенту полезного действия (КПД) преобразования электрической энергии в оптическую, компактности, малым габаритам и весом, надежности, мгновенной готовности к работе, отсутствию высокого напряжения питания и высокому уровню развития технологии изготовления мощные лазерные диоды (ЛД), линейки лазерных диодов (ЛЛД) и решетки нашли широкое применение в системах накачки твердотельных и волоконных лазеров и оптических усилителей, оборудовании для обработки материалов, в метрологии, полиграфии, медицине, системах оптической локации, робототехнике и других отраслях.

Одним из вариантов повышения выходной оптической мощности является конструктивное изменение лазерной диодной решетки. Новое поколение лазерных диодных решеток с минимальным расстоянием между линейками открывает новые области их применения. Уменьшение расстояния между линейками и микрооптическое формирование пучка позволит создать мощные, компактные и надежные лазерные диодные решетки с высоким КПД, улучшенными характеристиками расходимости излучения, широким диапазоном применения и простым обслуживанием.

Целью дипломной работы является повешение оптической плотности мощности лазерной диодной решетки квазинепрерывного режима работы.

Для достижения данной цели был решен ряд задач:

1. Изучение механизмов, ограничивающих выходную мощность лазерного излучения;
2. Исследования путей повышения мощности лазерного излучения;
3. Изучение раздела микрооптики для полупроводниковых линеек лазерных диодов;
4. Изучение технологий юстировки и фиксации линз;
5. Разработка конструкции лазерной диодной решетки квазинепрерывного режима работы с повышенной плотностью упаковки лазерных кристаллов;
6. Коллимирование лазерной диодной решетки квазинепрерывного режима работы с повышенной плотностью упаковки лазерных кристаллов.

Научная новизна работы:

1. Разработана коллимированная лазерная диодная решетка квазинепрерывного режима работы с повышенной плотностью упаковки лазерных кристаллов с углом расходимости лазерного излучения 2,5 градусов в плоскости перпендикулярной плоскости *p-n*-перехода.
2. В связи с заменой медной контактной пластины на проводящий GaAs, уменьшился шаг между линейками лазерных диодов. Шаг между линейками удалось уменьшить на 29 % по сравнению со стандартным шагом в решетке с матричными линейками.
3. Конструктивное изменение лазерной диодной решетки в режимах эксплуатации $f = 10-50$ Гц и $\tau = 50-250$ мкс не повлияло на ее основные параметры.

Научно-практическая значимость

Выявлены и решены проблемы, связанные с уменьшением шага между линейками при коллимировании линеек лазерных диодов, что позволило повысить плотность упаковки лазерных кристаллов при разработке коллимированной лазерной диодной решетки квазинепрерывного режима работы. Уменьшение шага позволит увеличить количество линеек на

основании решетки лазерных диодов, вследствие чего возможно применять для таких решеток более щадящие параметры эксплуатации, что в свою очередь увеличит срок службы решеток лазерных диодов с плотной упаковкой.

Структура и объем работы. Данная работа состоит из Введения, Главы 1 «Механизмы, ограничивающие выходную мощность лазерного излучения», Глава 2 «Технологии юстировки и фиксации микрооптических линз», Глава 3 «Разработка коллимированной лазерной диодной решетки квазинепрерывного режима работы с повышенной плотностью упаковки лазерных кристаллов», Заключение и Списка использованных литературы, включающего 56 источников. Общий объем работы составляет 68 страниц, включая 40 рисунков.

Основное содержание работы.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи, а также содержатся основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава «Механизмы, ограничивающие выходную мощность лазерного излучения» является обзорной и посвящена исследованию фундаментальных факторов, ограничивающих возможность достижения высокой выходной оптической мощности, причины и типы деградации лазерных диодов, линеек лазерных диодов и лазерных диодных решеток и дальнейшему поиску путей повышения выходной оптической мощности.

Фундаментальным фактором, ограничивающим возможность достижения высокой выходной оптической мощности в инжекционном гетеролазере, является предельно допустимая плотность электромагнитной энергии внутри активной области. Напряженность электрического поля E в световой волне связана с объемной плотностью электромагнитной энергии ρ и величиной вектора Пойтинга S , которая определяет среднюю по времени плотность мощности излучения. Средняя плотность мощности излучения для арсенида галлия при напряженности электрического поля $E = 10^7$ В/м

равняется 1 Вт/мкм^2 . Это означает, что предельно допустимый энергии, которую можно получить с полоскового ДГС-лазера с поперечными размерами активной области (волноводного слоя) $0,2 \text{ мкм} \times 5 \text{ мкм}$ составляет $\sim 1 \text{ Вт}$ [1].

Для расчета предельного значения напряженности поля в реальном лазере с активной областью, содержащей дефекты и неоднородности, с напряженностью поля в световой волне равной $0,4 \cdot 10^7 \div 0,6 \cdot 10^7 \text{ В/м}$, что соответствует средней плотности световой мощности на выходе лазерного диода на уровне $0,2 \text{ Вт/мкм}^2$. Это означает, что для лазера с активной областью $100 \times 1 \text{ мкм}^2$ выходная мощность ограничивается 20 Вт . Данный предел нецелесообразно превышать в связи с неизбежными необратимыми изменениями в объеме активного материала и на гетерограницах [1].

Стоит отметить, что полупроводниковые лазеры работают в экстремальных режимах. В следствии чего в активной области плотность энергии электромагнитного поля очень велика. В таких условиях возможны различные необратимые процессы, приводящие к ухудшению рабочих характеристик лазера во время его работы, то есть к деградации. Деградация в основном приводит к увеличению порогового тока накачки и снижению мощности излучения [1].

Лазерный диод, работающий в экстремальных условиях, чувствителен как к качеству материалов активной и прилегающей к ней областей, так и к тщательности изготовления прибора и его эксплуатации [1].

Проведен обзор основных путей, направленных на повышение выходной оптической мощности:

1. Защита выходных зеркал;
2. Улучшение отвода тепла из активной области;
3. Модификации конструкции лазерных излучателей;
 - 3.1 Оптимизация конструкции гетероструктуры;
 - 3.2 Вертикально-интегрированные лазерные диоды;
4. Лазерная диодная решетка с повышенной плотностью упаковки [2,3].

Вторая глава «Технологии юстировки и фиксации микрооптических линз» посвящена изучению раздела микрооптики для ЛЛД и технологий юстировки и фиксации микрооптических линз.

Проведен сравнительный анализ сферических и асферических линз. Выявлены достоинства и недостатки микрооптических линз. Проведен обзор технологий юстировки, для которых общим правилом является центрирование элементов, т.е. их установка на одной оптической оси. Также проведен обзор способов фиксации микрооптических линз, таких как:

1. Склеивание с помощью оптоотверждаемого клея;
2. С помощью винтового соединения;
3. С помощью пайки.

Фиксация с помощью винтового соединения требует увеличения габаритов конструкции. Также такое крепление не выдерживает вибраций. Фиксация линз с помощью пайки требует большого термического нагрева. Из-за термического расширения возникает линейное удлинение линзы, что приводит к ухудшению сфокусированного излучения. Для качественного соединения линзы с контактной пластиной диодной линейки, с помощью пайки, нужна хорошая адгезия металла со стеклом. Самая простая и прочная фиксация линзы осуществляется с помощью оптоотверждаемого клея [4-12].

Третья глава «Разработка коллимированной лазерной диодной решетки квазинепрерывного режима работы с повышенной плотностью упаковки лазерных кристаллов» посвящена разработке конструкции лазерной диодной решетки квазинепрерывного режима работы с повышенной плотностью упаковки (далее - решетка) лазерных кристаллов, выбору оптического элемента для коллимирования решетки, сборке и наладке комплекса для коллимирования решетки, коллимированию решетки, а также измерению основных параметров решетки.

Необходимо отметить, что расстояние между линейками лазерных диодов (шаг) определяется в первую очередь толщиной теплоотвода, на который припаяна линейка. Для того чтобы повысить плотность упаковки

лазерных кристаллов, необходимо уменьшить шаг между ЛЛД. В работе медный теплоотвод заменятся проводящим GaAs («спейсером»). В конечном итоге сборка из 5 спаянных ЛЛД между которыми распложен «спейсер» называется матричный блок.

Перед началом сборки матричных блоков специальную оснастку предварительно прогревается. Далее между медными выводами фиксируют прижимной керамикой 5 кристаллов лазерных диодных линеек, помещенных в оснастку вакуумным пинцетом, таким образом, что над каждой ЛЛД расположен проводящий GaAs. Затем нагревается весь сборочный узел при подобранном температурном режиме в среде водорода до расплавления AuSn припоя.

Проводящий GaAs выбран в качестве «прослойки» между линейками лазерных диодов ввиду следующих особенностей:

1. Конструктивная целесообразность. Дальнейшая обработка медной контактной пластины (уменьшения ширины) не позволяет добиться такого качества поверхностей, которые имели бы прямоугольную форму и являлись ровными и полированными. При этом уменьшение ширины «спейсера» до 175 мкм не усложнит процесс коллимирования 125 мкм линейки лазерных диодов с помощью 200 мкм асферической линзы.

2. Экономическая целесообразность. Использование GaAs, на который осаждены контактная металлизации, позволяет использовать структуру, неподходящую для изготовления (брак) линеек лазерных диодов.

Ход линзы с каждой стороны составляет 50 мкм. Для удобства фиксации линз скальваются и наклеиваются упоры из непроводящего GaAs.

Установка для юстировки микрооптических линз на матричных блоках собирается из оптико-механических изделий компании «Standa» (угловые скобы и подвижные части по координатам X, Y, Z). Вся установка юстировки собирается на виброустойчивом столе.

Линзы скальваются таким образом, чтобы их длина позволяла доставать до упоров. Для удобства коллимирования напряжение питания

подается на один матричный блок. Пропорции двух клеевых составов «Bohle» «В 682-Т» и «Dymax» «OP-61LS» подбираются таким образом, чтобы был достигнут определенный уровень вязкости, который позволяет эффективно фиксировать линзы на упорах лазерной диодной решетки.

Для контроля и фокусировки излучения лазерной диодной решетки требуется дополнительное технологическое оборудование. Источник питания для лазерной диодной решетки должен иметь следующие параметры: $f = 10-50$ Гц, $I = 10-30$ А, $\tau = 150-300$ мкс. Контроль тока осуществляется с помощью осциллографа *TEKTRONIX TDS 2012C*. Для визуального просмотра излучения используется монитор с внешним выходом на видеокамеру Sony KRC S190S (черно-белая), с возможностью работы с ИК подсветкой. Для улучшения изображения излучения на камеру прикреплен светофильтр НС-10. Перемещение линзы контролируется с помощью микроскопа МБС-10.

Для измерения угла расходимости на расстоянии 2 м смонтирован экран с расчерченными линиями. Расстояние между линиями соответствует углу расходимости в 1 градус. Контроль ширины излучения на экране осуществляется с помощью прибора ночного видения ПНВ-57.

В процессе коллимирования максимальное разрешение полос оптического излучения добивается расположением линзы от лазерной линейки на расстояние равной фокусному расстоянию линзы, что достигается движением линзы относительно лазера с помощью направляющих по координате X, Y, Z. Далее необходимо добиться сведения всех полос оптического излучения в одну максимально четкую полосу с шириной, соответствующей не более 5 градусов. Это обеспечивается установкой линзы и ЛЛД параллельно друг другу с помощью подвижек по координатам X и Y.

После проверки полосы излучения линза отодвигается от линейки с помощью подвижек по координате Z. Наносится клей на упоры лазерной диодной решетки с помощью деревянной палочки. Линза подвигается к линейке с помощью подвижек. Затем проверяется положение линзы, полоса должна оставаться максимально четкой. При удовлетворительном результате

клей освещается ультрафиолетовой лампой в течении 10 мин, при этом постоянно контролируется сведенная полоса излучения на мониторе.

Перед процессом коллимирования был измерен и сравнен ряд параметров стандартной лазерной диодной решетки и решетки с повышенной плотностью упаковки лазерных кристаллов при $T = 25^{\circ}\text{C}$, $I = 0-43\text{A}$, $f = 10-100$ Гц, $\tau = 50-250$ мкс: выходная мощность; длина волны излучения; расходимость лазерного излучения в плоскости перпендикулярной плоскости $p-n$ -перехода. Охлаждение решеток осуществлялось при помощи медного микроканального радиатора. Стоит отметить, что типичные вольт амперные характеристики и ватт амперные характеристики лазерных диодных решеток из лазерных диодных линеек и матричных блоков не отличаются.

Типовые параметры стандартной лазерной диодной решетки и решетки с повышенной плотностью упаковки лазерных кристаллов:

- выходная мощность – 530 Вт;
- длина волны излучения – 808 нм;
- КПД – 56%;
- расходимость излучения в плоскости, перпендикулярной относительно плоскости $p-n$ перехода – 40° .

После коллимирования снова были измерены параметры лазерной диодной решетки с повышенной плотностью упаковки лазерных кристаллов при $T = 25^{\circ}\text{C}$, $I = 0-43$ А, $f = 10-100$ Гц, $\tau = 50-250$ мкс: выходная мощность; длина волны излучения; расходимость лазерного излучения в плоскости перпендикулярной плоскости $p-n$ -перехода. Заданные параметры остаются прежними.

- выходная мощность – 520 Вт;
- длина волны излучения – 808 нм;
- КПД – 55%;
- расходимость излучения в плоскости, перпендикулярной относительно плоскости $p-n$ перехода – $2,5^{\circ}$.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы, полученные в ходе выполнения диссертационной работы.

Основные результаты и выводы.

Разработана колиммированная лазерная диодная решетка квазинепрерывного режима работы с повышенной плотность упаковки лазерных кристаллов. Достигнут необходимый угол расходимости излучения лазерной диодной решетки, равный $2,5^0$. Уменьшен шаг между линейками лазерных диодов, что в свою очередь повысило плотность упаковки лазерных кристаллов.

В связи с заменой медной контактной пластины на проводящий GaAs, уменьшен шаг между линейками лазерных диодов на 29 % по сравнению со стандартным шагом в решетках с линейками лазерных диодов, выпускаемых на предприятии «ООО «НПП «Инжент». Конструктивное изменение решетки не повлияло на ее основные параметры (при $F=10-50$ Гц, $\tau=50-250$ мкс).

Оптическая плотность мощности решетки с повышенной плотностью упаковки лазерных кристаллов примерно в 1,4 раза выше, чем у решетки, собранной стандартным методом. В результате, решетка повышенной плотности, использующая линейки мощностью 53 Вт, имеет такую же оптическую плотность мощности, как и решетка со стандартным 400 мкм шагом, использующая линейки мощностью 73 Вт.

В результате проделанной работы, можно сделать следующие выводы:

1. Разработана конструкция лазерной диодной решетки квазинепрерывного режима работы с повышенной плотностью упаковки лазерных кристаллов;

2. Конструктивное изменение лазерной диодной решетки в режимах эксплуатации ($F = 10-50$ Гц, $\tau = 50-250$ мкс) не влияет на основные параметры: выходная мощность, длина волны излучения.

3. Оптическая плотность мощности решетки с повышенной плотность упаковки лазерных кристаллов примерно в 1,4 раза выше, чем у решетки, собранной стандартным методом;

4. Разработана технология колимирования решетки лазерных диодов с повышенной плотностью упаковки лазерных кристаллов с помощью асферических микрооптических линз;
5. Собрана установка для юстировки и фиксации микролинз на лазерных диодных линейках;
6. Достигнут необходимый угол расходимости лазерного излучения в плоскости перпендикулярной плоскости *p-n*-перехода, равный $2,5^{\circ}$;
7. Для отдельной линейки лазерных диодов достигнуто значение расходимости $0,5^{\circ}$.
8. Опробована технология сборки на AuSn припой.

Положение, выносимое на защиту:

Разработана колимированная лазерная диодная решетка квазинепрерывного режима работы с повышенной плотностью упаковки лазерных кристаллов, которая отвечает производственным и коммерческим требованиям «ООО «НПП «Инжект»»: угол расходимости оптического излучения в плоскости, перпендикулярной относительно плоскости *p-n* перехода – $2,5^{\circ}$, шаг между линейками – 300 мкм, что на 29 % меньше, чем в стандартных лазерных диодных решетках, выпускаемых на предприятии «ООО «НПП «Инжект»».

Список цитированной литературы.

1. Пихтин, А.Н. Оптическая и квантовая электроника [Текст] / А.Н. Пихтин. - М.: «Высшая школа». - 2001. – 575 с.
2. Демидов, Д.М. Мощные лазерные диоды с длиной волны излучения 808 нм. III. Пути повышения мощности излучения [Текст] / Д.М. Демидов, А.Л. Тер- Мартиросян, К.А. Булашевич, О.В. Хохлев, С.Ю. Карпов // Научное приборостроение. - 2013. - Т. 23. № 2. - С. 129-138.
3. Feeler, R. High-density pulsed laser diode arrays for SSL pumping [Text] / R. Feeler, E. Stephens // SPIE Proc. - 2010. - V. 7686-19.

4. Ландсберг, Г. С. Оптика [Текст] / Г.С. Ландсберг // М.: ФИЗМАТЛИТ. – 2003. – 848 с.
5. Заказнов Н. П. Теория оптических систем [Текст] / Н.П. Заказнов // М.: Машиностроение. – 1992. – 488 с.
6. Бегунов Б. Н. Геометрическая оптика [Текст] / Б.Н. Бегунов // Изд-во МГУ. – 1966. – 212 с.
7. Шрёдер Г. Техническая оптика [Текст] / Г. Шрёдер // М.: Техносфера. - 2006. – 424 с.
8. Стафеев С.К. Основы оптики [Текст] / С.К. Стафеев // СПб: Питер. - 2006. – 336 с.
9. Hentschel R. Advanced optics using aspherical elements [Text] / R. Hentschel, V. Braunecker, H. J. Tiziani //SPIE Press Book. - 2008. - Vol. PM173. - p. 434.
10. Погарев Г.В. Юстировка оптических приборов [Текст] / Г.В. Погарев // Л.: Библиогр. – 1968. - с. 288—290.
11. Гришин Б. С. Юстировка сложных оптических систем приборов [Текст] / Б.С. Гришин // Изд.: Машиностроение. - 1976. - 205 с.
12. Фукс-Рабинович Л.И. Оптико-электронные приборы: Учебное пособие для оптико-механических и приборостроительных техникумов [Текст] / Фукс- Л.И. Рабинович, М.В. Елифанов // Л. – Машиностроение. - 1979. - 362 с.