

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

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ
СОЗДАНИЯ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ QСW ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
ИНЖЕКЦИОННЫХ ЛАЗЕРОВ, ИЗОЛИРОВАННЫХ ОТ
ТЕПЛОТВОДА**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 204 группы

направления 22.04.01 «Материаловедение и технологии новых материалов»

факультета Нано- и биомедицинских технологий

Кулиева Сергея Анатольевича

Научный руководитель

Канд. физ. мат. наук,

доцент

Зав. кафедрой

Д-р, физ.мат. наук

профессор

подпись, дата

Е. М. Ревзина

инициалы, фамилия

подпись, дата

А. И. Михайлов

инициалы, фамилия

Саратов 2016

Структура магистерской работы:

ВВЕДЕНИЕ

ГЛАВА 1. ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ЛАЗЕРЫ С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ И
КВАЗИНЕПРЕРЫВНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ЛАЗЕРНОГО ДИОДА

1.1. Твердотельные лазеры с диодной накачкой

1.2 Квазинепрерывный режим работы лазерного диода

ГЛАВА 2. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ЛАЗЕРНОГО МОДУЛЯ И
ПОНЯТИЕ С - МАССИВОВ

2.1. Принципиальная схема лазерного модуля

2.2. Особенности конструкции сборки

2.3. Понятие С – массивов

2.4. Массив с одной лазерной линейкой

2.5. Области применения для С-массивов

ГЛАВА 3. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗОЛИРОВАННОЙ
ЛИНЕЙКИ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГИИ
ИМПУЛЬСА ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

3.1. Технология изготовления изолированной линейки

3.2. Методика измерения энергии импульса лазерного излучения

3.3. Результаты измерений

3.4. Методика измерения мощности импульса лазерного излучения

3.5. Результаты измерений

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

ВЕДЕНИЕ

Оптоэлектроника – одна из наиболее активно развивающихся областей науки и техники. Важнейшей ее частью является полупроводниковая оптоэлектроника, исследующая и применяющая эффекты взаимодействия оптического излучения с полупроводниковыми материалами. Значительный прогресс в технологии создания полупроводниковых оптоэлектронных приборов, достигнутый за последние десять лет, привел к широкому проникновению в повседневную жизнь оптических линий связи и Интернет-технологий, оптических методов хранения, записи и обработки информации. Наметившийся переход к повсеместному использованию высокоэффективных источников освещения на основе белых светоизлучающих диодов должен привести в масштабах планеты к экономии более 10 млрд долларов в год, что особенно актуально в свете необходимости внедрения энергосберегающих технологий.

Прогресс в полупроводниковой оптоэлектронике не мог бы быть достигнут без широкого применения полупроводниковых твердых растворов и гетероструктур на их основе. Использование гетеропереходов арсенид галлия и алюминий галлий арсеник (GaAs/AlGaAs) позволило многократно увеличить срок службы полупроводникового излучателя за счет снижения пороговой плотности тока и высокой эффективности накачки.

1.1. Твердотельные лазеры с диодной накачкой

Твердотельные лазеры с диодной накачкой (Diode-pumped solid-state laser, DPSS лазеры) широко используются в промышленности, а также в научных и военных целях, включающих резку, сварку, и многое другое. Твердотельный лазер с диодной накачкой - разновидность твердотельного лазера, в которой в качестве источника оптической накачки используется лазерный диод. Такие лазеры характеризуются высокой эффективностью и компактностью по сравнению с газовыми и другими твердотельными лазерами. Каждое из этих применений диктует специфические требования к вышеуказанному виду лазера, с большими вариациями в энергии импульса, его длительности, и качества луча.

Исторически высокоэнергетические импульсные твердотельные лазеры с диодной накачкой были получены путем модуляции добротности лазерных сред, таких, как Nd: YAG стержень, которые накачиваются сборками лазерных диодов. Под сборками следует понимать совокупность лазерных линеек. Однако есть много преимуществ, которые могут быть получены с помощью системы, которая использует квазинепрерывные линейки лазерных диодов. Квазинепрерывные линейки лазерных диодов могут работать при более высоких пиковых мощностях, чем непрерывные линейки. Кроме того, несколько квазинепрерывных линеек могут быть упакованы в том же объеме, что и одна линейка непрерывная, в связи с низким средним тепловыделением. В совокупности эти факторы позволяют создавать компактные лазерные диодные сборки очень большой мощности при работе в квазинепрерывном режиме.

Кроме того, квазинепрерывная накачка может снизить тепловую нагрузку на средний коэффициент усиления лазера, который ведет к уменьшению эффектов тепловых линз и, следовательно, улучшения качества лазерного луча.

Основным недостатком квазинепрерывной накачки в прошлом была короткая жизнь лазерныхборок. Сегодня непрерывные лазерные диодные

сборки со временем жизни более 10000 часов легко доступны в отрасли. Это соответствует до 416 суток непрерывной работы и рассматривается как ориентир для надежности, которому должны соответствовать или превышать все системы твердотельных лазеров с диодной накачкой. Квазинепрерывные сборки, работающие на больших уровнях пиковой мощности делают их перспективными для накачки твердотельных лазеров (обычно 2-3х кратное превышение мощности их непрерывных аналогов).

1.2. Квазинепрерывный режим работы лазерного диода

Термин квазинепрерывный режим работы лазерного диода означает, что лазерный источник накачки находится в состоянии «включено» в течение коротких интервалов времени. Их длительность является настолько короткой, насколько это необходимо для снижения эффектов, связанных с выделением тепла в структуре, но все же достаточно длительными для стабильного излучения, близкого к непрерывному режиму работы. Обычно коэффициент заполнения (отношение длительности импульса к периоду его следования, выраженное в процентах) соответствует нескольким процентам, что значительно снижает нагрев и связанные с этим тепловые эффекты, такие как и выход из строя в результате перегрева. Поэтому работа в квазинепрерывном режиме приводит к повышению пиковой мощности за счет падения средней мощности. Таким образом, модуль охлаждения квазинепрерывного массива диодов обычно разрабатывается для небольших тепловых нагрузок. Источники могут располагаться более близко к модулю охлаждения с целью получения высокой мощности излучения благодаря более компактному расположению. Такое решение оказывается более выгодным в сравнении с массивами, где используется микроканальное охлаждение.

Квазинепрерывные лазерные линейки и массивы широко используются во многих сферах: в промышленности, медицине, науке, космосе, обороне, включая дальнометрию, целеуказание. В зависимости от решаемых задач энергия и длительность импульса могут варьироваться в широком диапазоне, в соответствии с ними меняются и характеристики луча. Требования к мощности излучения, частоте повторения импульсов и коэффициенту заполнения существенно зависят от применения. Появились новые задачи, решения которых требуют более продолжительного времени службы, компактности, повышения длительности импульса, работы при повышенных температурах при наличии слабого охлаждения или даже при его отсутствии. Для этих целей есть специальные квазинепрерывные массивы,

обладающие компактностью и надежностью, возможностью варьирования числа лазерных линеек в массиве, габаритов, материала подложки, а также ее конфигурации для совмещения с системой охлаждения.

ПОНЯТИЕ С - МАССИВОВ

2.1. Принципиальная схема лазерного модуля

На рисунке 1 представлена схема сборки, состоящей из линеек лазерных диодов, излучающих в квазинепрерывном режиме.



Рисунок 1. Схема сборки линеек лазерных диодов квазинепрерывного режима работы (15 лазерных линеек установлены на керамической подложке, закрепленной для отвода тепла на медном блоке радиатора) и иллюстрация размера аналогичной линейки.

Ключевая особенность данной конструкции – заданное (по индивидуальному проекту) число лазерных полупроводниковых кристаллов (на рисунке отмечены голубым цветом), вставленных между двумя слоями вольфрамата меди (выделены оранжевым цветом), обладающих схожим температурным коэффициентом расширения. Данные полупроводниковые кристаллы расположены на электроизолирующей керамической подложке (выделена серым цветом) со специальным контактным слоем (выделен желтым цветом) с использованием легкоплавкого припоя. Заданные размер и форма керамической подложки позволяют легко адаптировать массив под различные активные и пассивные элементы охлаждения (выделены

коричневым цветом). Важным преимуществом разработанной конструкции является улучшенное охлаждение через заднюю часть керамической подложки. Миниатюрные элементы, расположенные по бокам упаковки лазерных модулей, являются термисторами (термистор – полупроводниковый прибор, у которого при повышении температуры происходит изменение сопротивления) для контроля изменения температуры во время работы. На фотографии (см. рисунок 1) показан квазинепрерывный массив в натуральную величину с одним лазерным полупроводниковым кристаллом и немного измененной формой подложки, состоящей из аналогичного материала.

2.2. Особенности конструкции сборки

Конструкция сборки обеспечивает ее надежную работу в квазиимпульсном режиме при длительной эксплуатации и повышенной температуре подложки. Эти достоинства обеспечены благодаря следующим особенностям сборки.

Полупроводниковые лазерные кристаллы, помещенные на поверхность из меди, разделены между собой определенным воздушным промежутком. Это позволяет изолировать их друг от друга и механически, и термически.

Слой меди работает как теплорассеиватель (теплоотвод), при этом каждая линейка термически соединена с керамической подложкой. Выделяемое тепло (в результате движения зарядов в гетероструктуре и безызлучательной рекомбинации) удаляется более эффективно, так как оно рассеивается на большие площади, что приводит к снижению температуры р-п перехода. Как результат – повышение надежности и увеличение времени допускаемой длительности работы в более широком интервале температур.

Отдельные контакты для каждой лазерной линейки спроектированы специально для минимизации электрического сопротивления. Это ведет к снижению выделения тепла по сравнению с другими конструкциями.

В сравнении с массивами с плотной упаковкой без дополнительных теплоотводных слоев между лазерными излучателями, в данной конструкции каждую лазерную линейку, состоящую из лазерного излучателя (кристалла) и двух боковых медных слоев, можно отдельно протестировать перед припайванием к контактной площадке.

Каждая лазерная линейка в массиве расположена между двумя слоями меди, обладающими одинаковой величиной коэффициента теплового расширения, что позволяет снизить эффекты механического напряжения в структуре, а также уменьшить эффект расхождения центров лазерных модулей друг относительно друга. Эффект расхождения центров лазерных стержней друг относительно друга влияет на качество луча. Чем больше данный эффект,

тем труднее качественно сколлимировать излучение от массива лазерных стержней.

3.1. Первый экспериментальный способ сборки изолированной линейки.

3.1.1. Сборка лазерного диода на медном основании согласно рисунку 1.

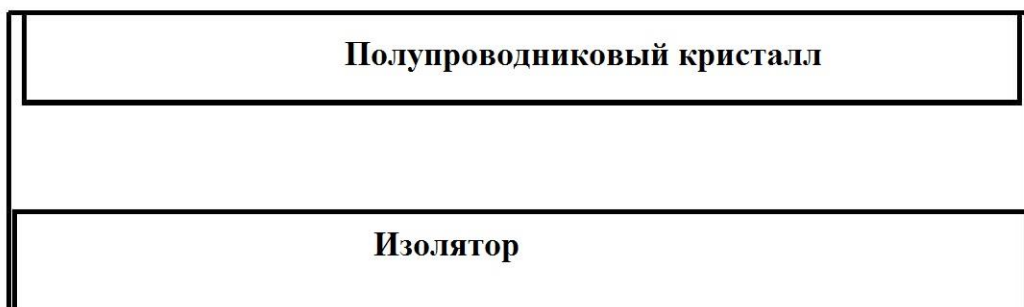


Рисунок 1. Собранный диод. Вид сверху.

У этой технологии были выявлены недостатки, а именно: во время эксплуатации, при температуре 65-75 °С клей под медным основанием нагревался и размягчался и контакты утягивали вверх медное основание, лишая лазерную диодную линейку теплоотвода. В связи с этим существенно изменялись параметры изолированной линейки, вплоть до выхода ее из строя (Рисунок 4, Рисунок 5).

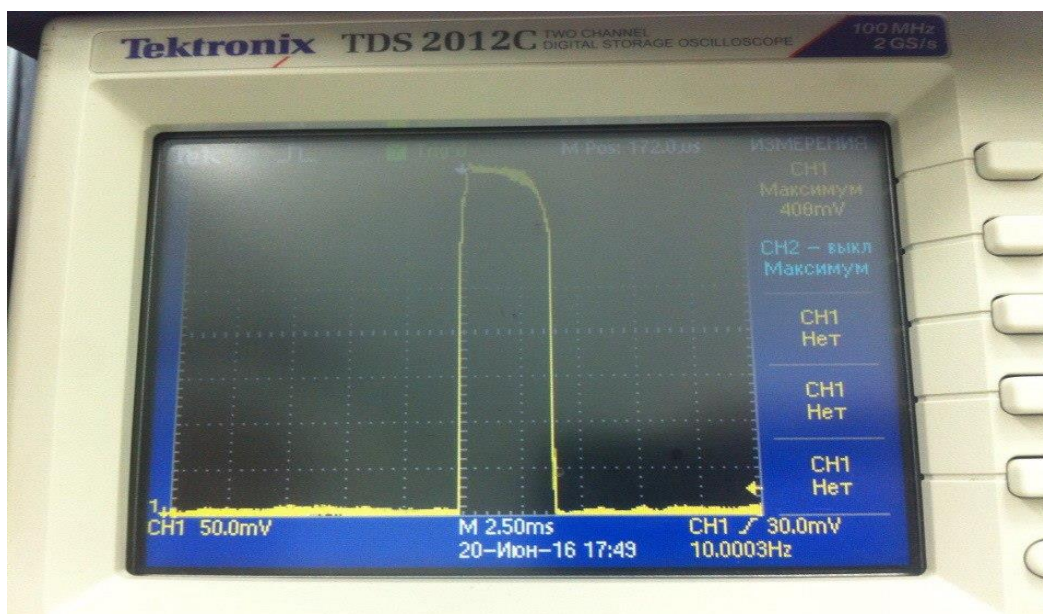


Рисунок 4. Осциллограмма импульса мощности лазерной изолированной диодной линейки, собранной первым способом.

Из осциллограммы видно, что в течении импульса мощность падает на 14 %. Это объясняется тем, что в начальный момент импульса медная контактная пластина нагревается. То есть работает ее теплоемкость. Выделившееся тепло в течении импульса плохо отводится через слой клея, что приводит к падению мощности к концу импульса. Так же этот перегрев приводит к уширению спектра, который снят интегрально в течении импульса(Рисунок 5) (для данного типа лазерных структур имеет место смещение длины волны от температуры (0,23-0,3) нм/К.) Такой режим работы ведет к снижению эффективности работы лазерной изолированной диодной линейки, а так же к уменьшению ресурса работы.

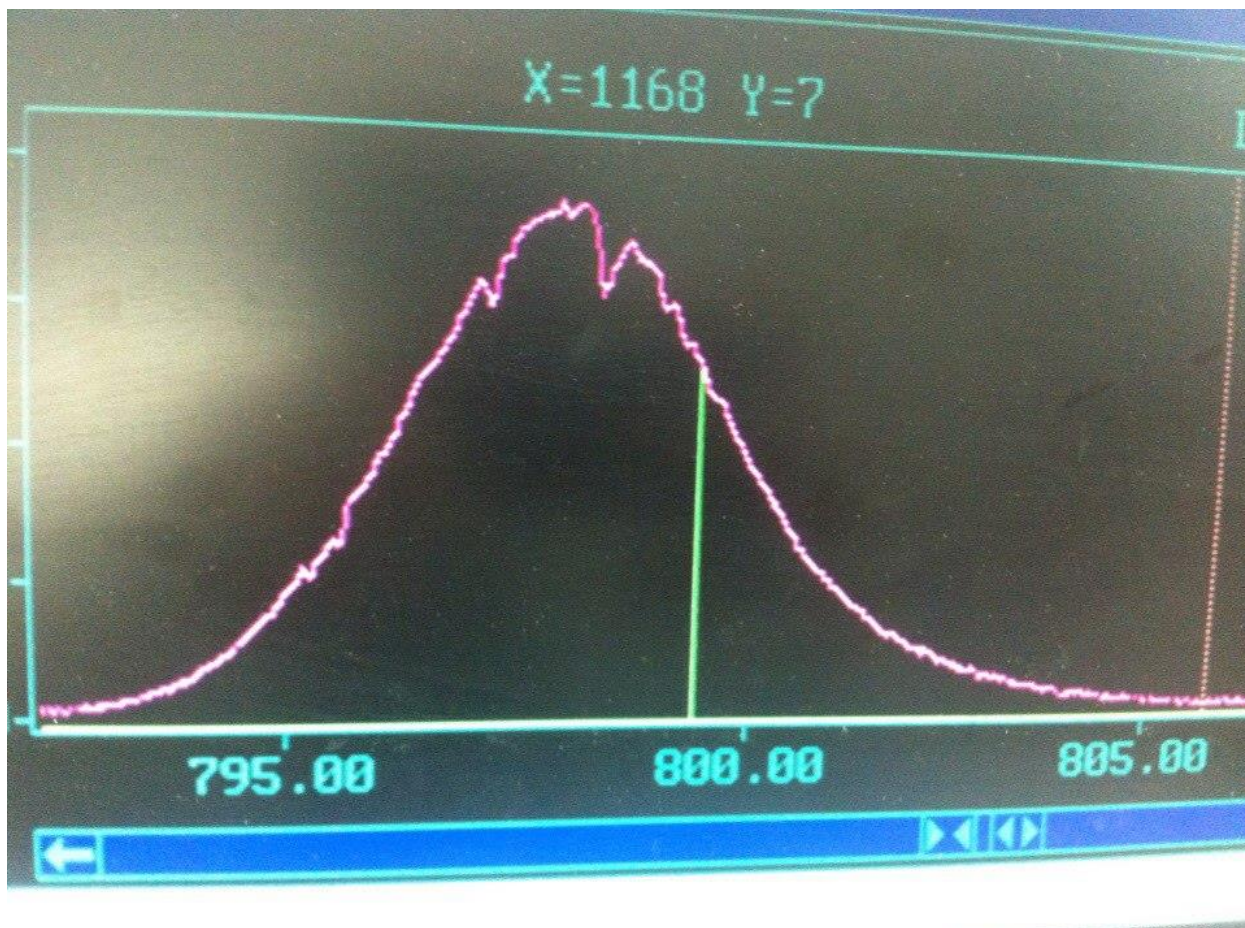


Рисунок 5. Оптический спектр лазерной изолированной диодной линейки собранной первым способом.

3.2.9 Сплавление полупроводникового кристалла на керамическом основании. В этом случае не хватает начального растекания тепла от кристалла к теплоотводу, на осциллограмме видно падение мощности в течение импульса тока накачки. (Рисунок 8, Рисунок 9)

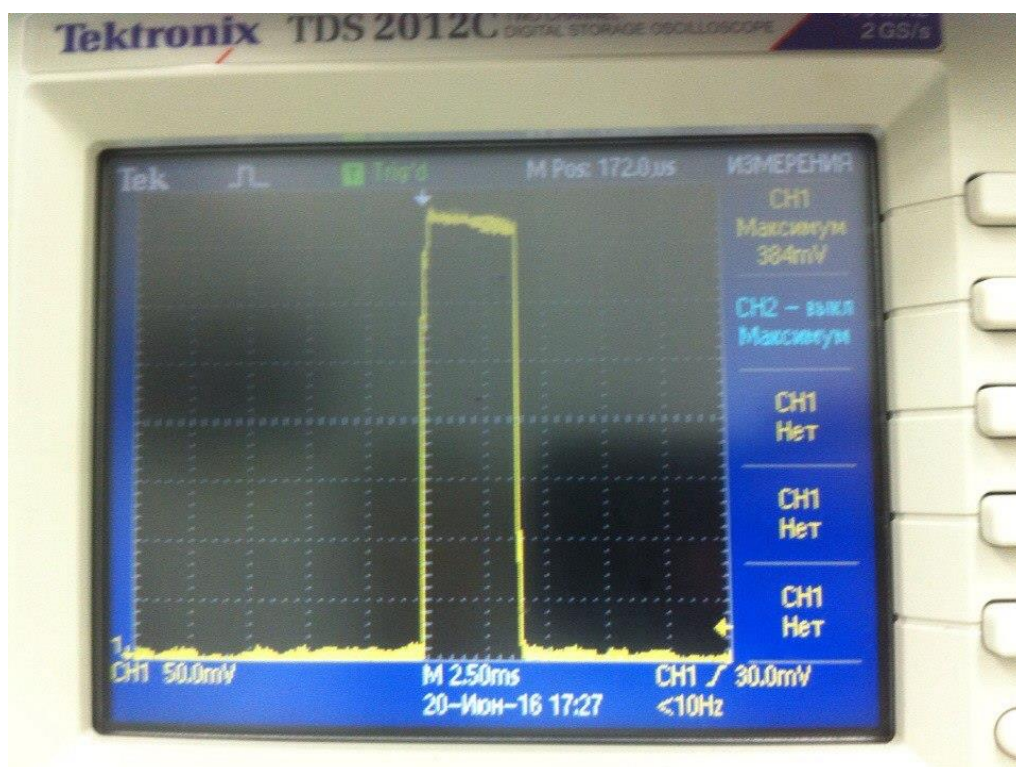


Рисунок 8. Осциллограмма импульса мощности лазерной изолированной диодной линейки, собранной вторым способом.

Из осциллограммы видно, что в течении импульса мощность падает на 7%, что объясняется худшей теплопроводностью керамики, относительно меди. В данном случае керамика не обеспечивает достаточного растекания тепла по подложке, к которой припаяна лазерная изолированная диодная линейка. Плохое растекание тепла по керамической подложке в течении импульса объясняет уширение спектральной характеристики. Такая конструкция достаточно эффективна, но на более коротких импульсах до 1 мкс.

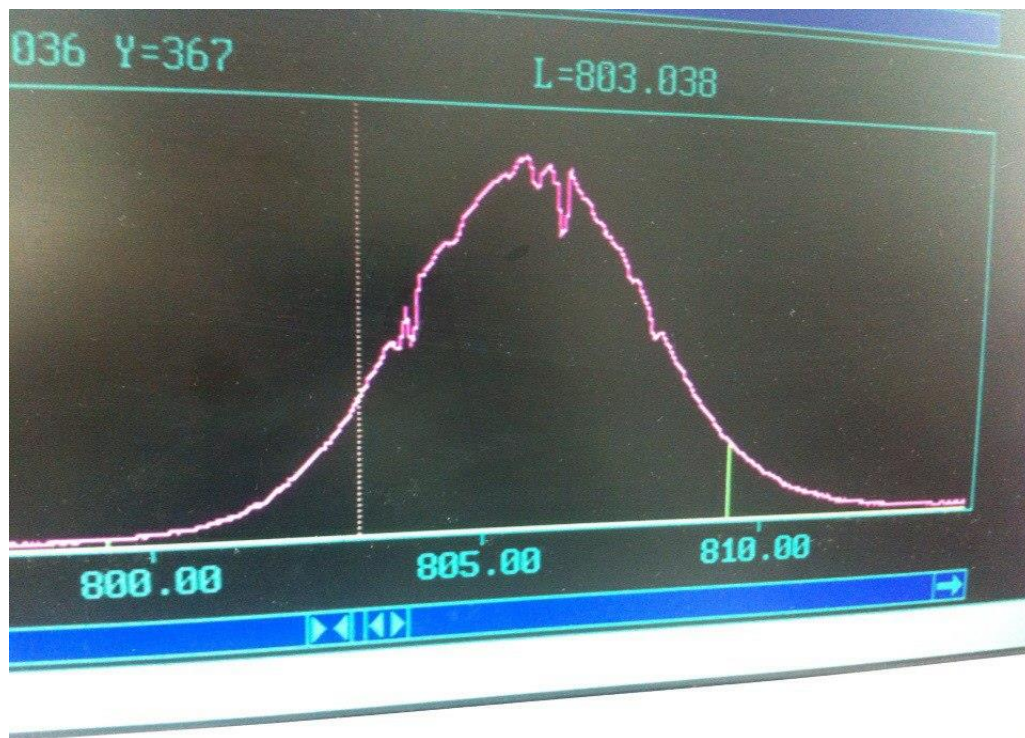


Рисунок 9. Оптический спектр лазерной изолированной диодной линейки, собранной вторым способом.

3.3. Технология изготовления изолированной линейки

Подготовка керамической подложки по пунктам 3.2.1-3.2.8

3.3.1 Гальваническое покрытие медного основания.

3.3.2. Сборка изолированной линейки.

Рисунок 10. Вид собранной изолированной линейки.

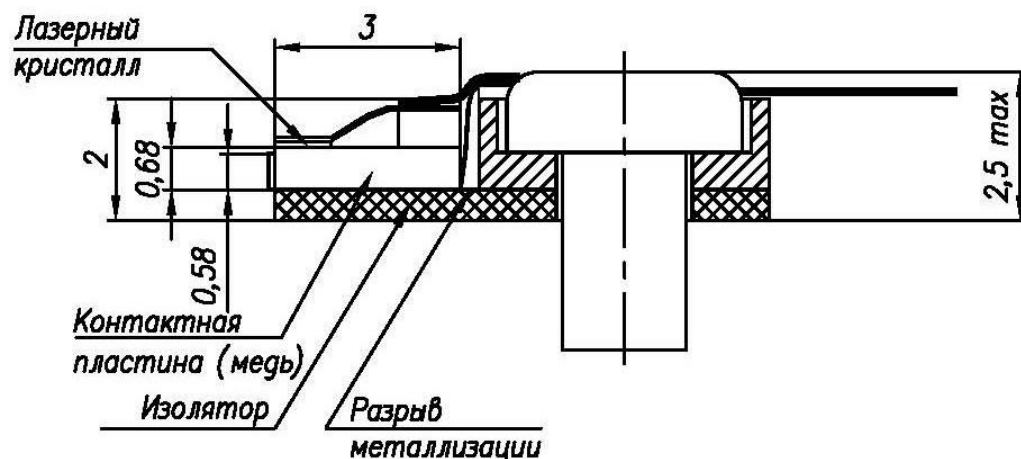


Рисунок 10 а. Вид сбоку слева

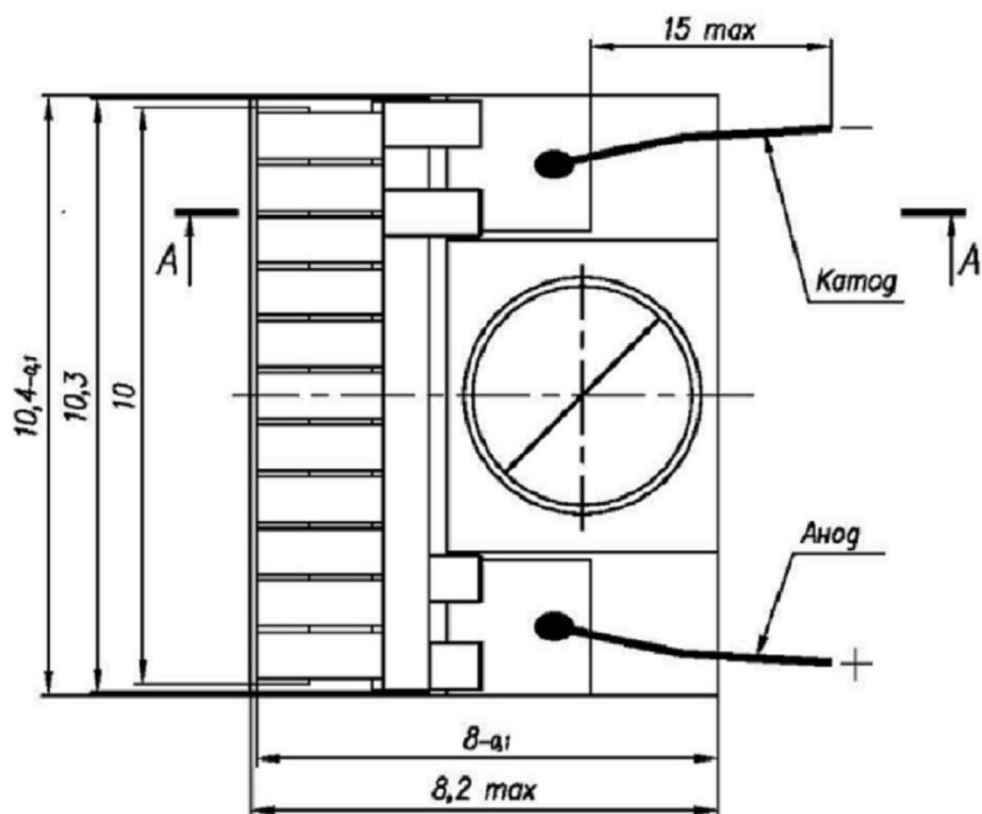


Рисунок 10 б. Вид сверху.

3.3.3 Пайка контактов и пьедесталов.

3.3.4 Измерение параметров (Рисунок 11, Рисунок 12).

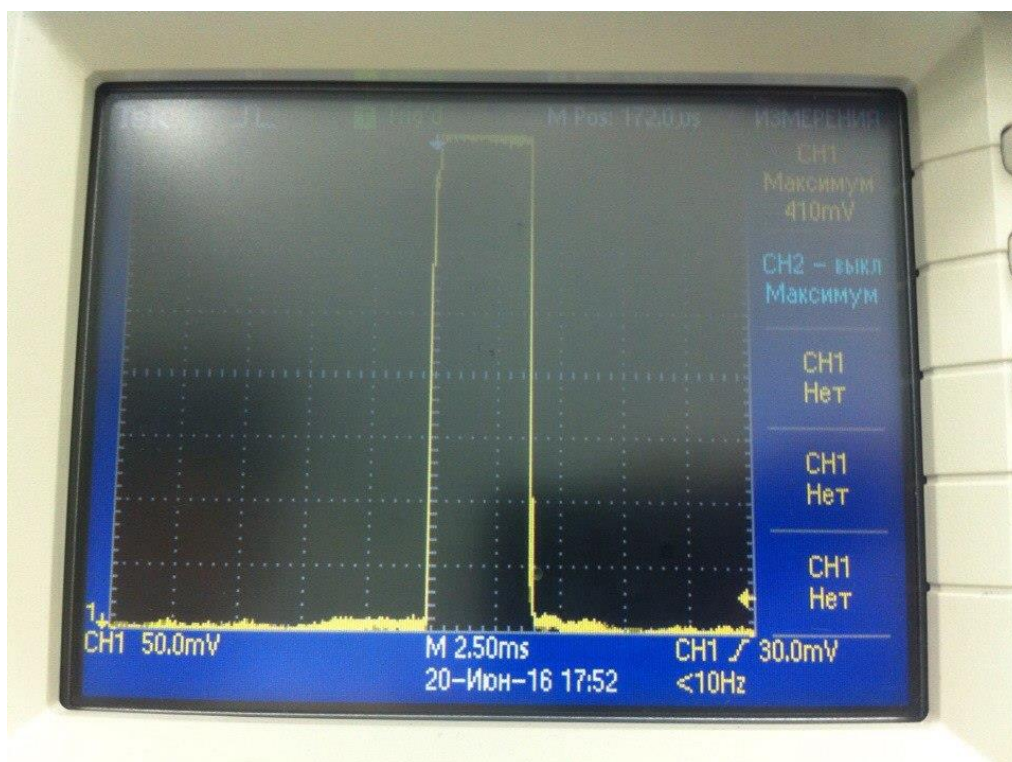


Рисунок 11. Осциллограмма импульса мощности лазерной изолированной диодной линейки, собранной третьим способом.

Из осциллограммы видно, что лазерная изолированная диодная линейка для третьего варианта сборки работает без спада мощности в течении импульса и имеет узкую спектральную характеристику (уже на 2-3 нм, чем в предыдущих вариантах). В данной конструкции медная контактная пластина обеспечивает хорошее растекание тепла на большую площадь. Пластина присоединена к керамики при помощи пайки. Так как теплопроводность припоя приблизительно в 40 раз лучше, чем клея не возникает перегрева структуры лазера такого, как в первом варианте сборки. Далее тепло передается с большой площади на керамику. В данном случае, за счет большей площади передачи тепла удастся обеспечить хороший теплоотвод.

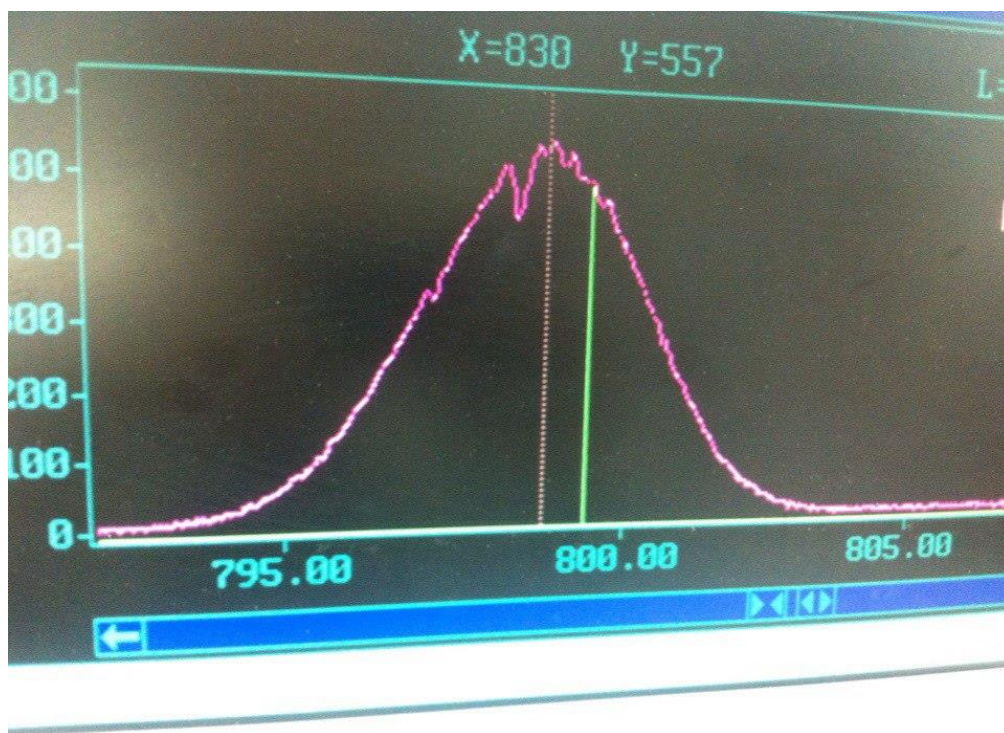


Рисунок 12. Оптический спектр лазерной изолированной диодной линейки, собранной третьим способом.

3.5. Результаты измерений

Номер лазерной диодной линейки	Параметры до распайки контактов		Параметры после распайки контактов	
	Мощность, Вт	λ , нм	Мощность, Вт	λ , нм
1	70	940	76	939,2
2	72	940,6	79	941
3	70	940,4	78	940,2
4	72	941	78	940,6
5	74	939	75	939,3
6	72	938,9	71	939,2
7	72	939,2	70	939,2
8	72	938,9	73	939,6
9	76	938,7	74	939,7
10	72	938,5	72	938,7

11	72	938,2	77	939,9
12	72	940	74	940
13	72	939,4	74	940,2
14	74	940	74	940

Измерение параметров для контроля (мощность и длина волны) до распайки контактов проводились при длительности импульса 250 мс, температуре теплоотвода 25°C, при токе 70 А и частоте следования импульсов 10 Гц.

Измерение параметров (мощность, длина волны,) после распайки контактов проводились при длительности импульса 4мс, температуре теплоотвода 20°C, при токе 80 А и частоте следования импульсов 5 Гц.

Заключение

Работа проводилась по трем направлениям технологии. В процессе работы были исследованы 3 варианта конструкции изолированных лазерных линеек. Проведен сравнительный анализ этих конструкций. Выявлены недостатки и достоинства конструкции лазерной изолированной диодной линейки. Собрана установка измерения Лазерной изолированной диодной линейки. Опробованы различные варианты технологии сборки (непосредственно на керамике и сборка 4-х элементов конструкции пайкой в одном процессе).