

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра материаловедения, технологии  
и управления качеством

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ НА  
ТЕПЛОПЕРЕНОС В ТЕПЛООТВОДЕ ЛАЗЕРНОГО ДИОДА**

**АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ**

студента магистратуры 2 курса 2291 группы  
направления 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов»,  
профиль «Нанотехнологии, диагностика и синтез современных материалов»  
института физики

Перова Алексея Олеговича

Научный руководитель,  
доцент, к.ф.-м.н., доцент  
\_\_\_\_\_

должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Д. В. Терин

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой,  
профессор, д.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_

должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_

подпись, дата

С.Б. Вениг

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

**Введение.** За годы развития устройство лазерных диодов претерпело множество изменений. Их конструкция совершенствовалась, во многом благодаря появлению высокотехнологичного оборудования и новых технологий изготовления полупроводниковых кристаллов. Мощные лазерные диоды и лазерные диодные решетки, излучающие световую мощность от единиц до десятков и сотен ватт в непрерывном режиме, требуют интенсивного отведения тепла от активной области полупроводниковой гетероструктуры. Одной из главных задач является понижение рабочей температуры излучающей области лазерных диодов с целью увеличения срока службы изделий. Для таких целей разрабатывается комплекс мероприятий, одним из которых является разработка и внедрение оптимальных конструктивных решений.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка, исследование и выбор перспективного варианта 3D модели теплоотвода решетки лазерных диодов в связи с необходимостью увеличения долговечности изделия и обеспечения наиболее равномерного старения материалов при возникновении необходимости в повышении мощности излучения решетки лазерных диодов. Также целью работы является исследование поведения охлаждающей жидкости в перспективной модели теплоотвода решетки лазерных диодов.

На основе поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) дать определение понятиям "лазерный диод", "решетка лазерных диодов";
- 2) провести патентный поиск по лазерным диодам и устройствам на их основе;
- 3) построить 3D модели теплоотводов решетки лазерных диодов в программном комплексе САПР SolidWorks;
- 4) провести термические исследования влияния типа теплоотвода на рабочую температуру излучающей области 3D модели;
- 5) проанализировать выявленные преимущества и недостатки каждой исследованной 3D модели теплоотвода решетки лазерных диодов;

6) выбрать на основе анализа перспективный прототип теплоотвода решетки лазерных диодов;

7) провести исследование поведения охлаждающей жидкости в полости теплоотвода решетки лазерных диодов;

8) провести поиск граничных условий исследования.

Дипломная работа занимает 50 страниц, имеет 28 рисунков и 10 таблиц.

Обзор составлен по 22 информационным источникам.

Во введении рассматривается актуальность работы, устанавливается цель и выдвигаются задачи для достижения поставленной цели.

Первый раздел представляет собой краткую характеристику исследуемого изделия.

Во втором разделе работы проводится обзор баз данных патентов, проводится патентный поиск по объектам, соответствующим теме работы, проводится анализ патентного поиска.

В третьем разделе проводится термическое исследование моделей теплоотводов решетки лазерных диодов, рассматриваются преимущества и недостатки каждой отдельной модели, выбирается перспективная модель теплоотвода.

В четвертом разделе проводится исследование поведения охлаждающей жидкости в полости теплоотвода решетки лазерных диодов, определяется оптимальное количество наборов решеток лазерных диодов в системе.

В пятом разделе проводится поиск граничных значений исследования.

### **Основное содержание работы**

**1 Лазерные диоды, их устройство и виды.** Лазерный диод – лазерный активный элемент полупроводникового лазера с электрической накачкой [1]. Принцип работы такого лазера строится на том, что после того, как в диод были инжектированы носители заряда в зоне p-n - перехода возникает инверсия населенностей.

Решетка лазерных диодов (РЛД) относится к полупроводниковым лазерам. Она представляет собой набор лазерных диодов, соединенных по

определенной электрической схеме и собранных в единую конструкцию [2]. РЛД используется для накачки твердотельных или газовых лазеров, для использования в инфракрасных лазерных осветителях, в лазерных медицинских системах, для обработки материалов, для контроля и управления аппаратами и т.д. [3].

**2 Патентный поиск.** Объектом для патентного исследования в соответствии с темой магистерской работы выбран лазерный диод (полупроводниковый лазерный диод).

Исследование проводилось по двум крупным базам данных ФИПС и PATENTSCOPE с использованием следующих ключевых слов и словосочетаний: лазерный диод, полупроводниковый лазерный диод, лазерный диод накачки. Патентный поиск велся по патентам, опубликованным с 1998 года по настоящее время. Глубина поиска составила 20 лет.

В базе данных ФИПС по ключевым словам был найден 121 патент. Из них 102 патента по словосочетанию «лазерный диод», 10 патентов по словосочетанию «лазерный диод накачки», 9 патентов по словосочетанию «полупроводниковый лазерный диод».

Был проведен анализ полученных данных по следующим параметрам: динамика по годам, динамика по странам, поиск по ключевым словам.

Наибольшее развитие промышленности по разработке лазерных диодов и устройств на их основе приходится на последние 5 лет. Именно в этот период приходится большее количество разработок в сфере лазеров, лазерных диодов, полупроводниковых лазерных диодов.

Наибольшее количество патентов принадлежит России. Это говорит о том, что в последние годы в России всё больше развивается область приборостроения, в частности разработки и изготовления мощных лазерных диодов, предназначенных для использования во многих сферах. Также высокое количество патентов, принадлежащих России, обуславливается тем, что основной патентный поиск проводился в крупнейшей российской базе данных ФИПС. Второе место занимает США.

Используя полученные данные, все патенты были распределены по определенным признакам. Наибольшее количество патентов относится к устройствам на основе лазерного диода. На втором месте находятся патенты со способами и методами получения лазерных диодов. На третьем месте находятся патенты лазерных диодов и оборудования для них. На последнем месте находятся патенты со схемами для лазерных диодов.

**3 Термическое исследование моделей теплоотводов решетки лазерных диодов.** Моделирование теплоотводов лазерных диодов и их исследование проводилось в программном комплексе САПР SolidWorks [4].

Общая модель сборки решетки лазерных диодов состоит из теплоотвода, кристалла, изоляторов, контактов. В некоторых случаях теплоотвод является сборочной единицей и состоит из корпуса и крышки.

Все рассматриваемые варианты теплоотвода имеют одинаковые крепежные отверстия, входное и выходное отверстие под охлаждающую жидкость.

Неизменные параметры для всех термических исследований указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры термических исследований

Температура окружающей среды	20 °С
Коэффициент конвективной теплопередачи воздуха	25 Вт/(м <sup>2</sup> *К)
Температура охлаждающей жидкости (вода)	20 °С
Коэффициент конвективной теплопередачи воды	5000 Вт/(м <sup>2</sup> *К)
Тепловая мощность одного элемента кристалла	2,6 Вт

В первом случае термическому исследованию подвергалась модель теплоотвода решетки лазерных диодов №1 (рисунок 1). Для реализации термического исследования в программном комплексе SolidWorks были спроектированы детали, входящие в сборку; была создана сборка путем сопряжений деталей, входящих в сборку. Суммарная тепловая мощность, воздействующая на теплоотвод решетки лазерных диодов, составляла 104 Вт.

Данная модель отличается от остальных конструкцией теплоотвода решетки лазерных диодов, в которой полость для циркуляции охлаждающей жидкости образуется двумя отверстиями, выполненными под определенным углом так, что точка пересечения осей этих отверстий максимально приближена к кристаллу.

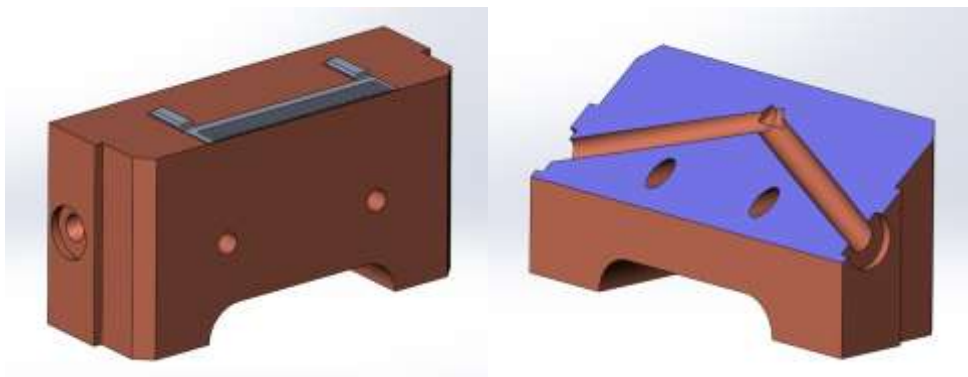


Рисунок 1 – Модель сборки решетки лазерных диодов №1

Центральные элементы кристалла 17-23 имеют максимальную температуру 33,8 °С. Крайние элементы кристалла 1 и 40 имеют минимальную температуру 29,2 °С. Такое распределение температуры объясняется тем, что нагрев центральных элементов происходит в совокупности с окружающими их соседними элементами, в то время как крайние элементы получают нагрев от соседних элементов только с одной стороны.

Преимуществом данного образца является простота изготовления полости в теплоотводе под охлаждающую жидкость.

Недостатком данного образца является отсутствие возможности изготавливать приборы повышенной мощности в связи превышением допустимой рабочей температуры равной 34 °С.

Во втором случае термическому исследованию подвергалась модель теплоотвода решетки лазерных диодов №2 (рисунок 2).

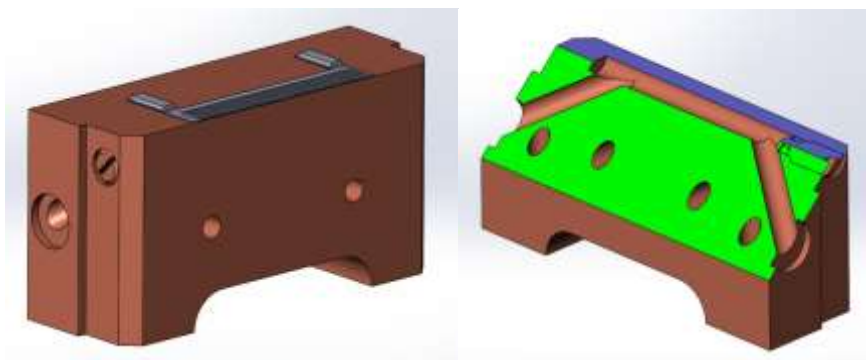


Рисунок 2 – Модель сборки решетки лазерных диодов №2

Полость для циркуляции охлаждающей жидкости в теплоотводе модели №2 образуется тремя отверстиями, два из которых изготовлены под определенным углом так, чтобы оси этих отверстий могли пересекаться с осью третьего глухого отверстия. Данная конструкция предусматривает изготовление дополнительной заглушки отверстия с резиновым уплотнительным кольцом.

Центральные элементы кристалла 15-26 имеют максимальную температуру 30,5 °С. Крайние элементы кристалла 1 и 40 имеют минимальную температуру 26,5°С. Такое распределение температуры объясняется так же, как и в предыдущем случае. В отличие от первой модели, здесь температура распределена более равномерно в связи с тем, что расстояние между кристаллом и горизонтальным глухим отверстием под охлаждающую жидкость неизменно.

Преимуществами данного образца являются простота изготовления полости в теплоотводе под охлаждающую жидкость, увеличенный параметр долговечности, а также возможность изготовления на основе данного теплоотвода приборов повышенной мощности. Так тепловую мощность элемента кристалла можно повысить с 2,6 Вт до 3 Вт, то есть на 15%, достигнув при этом максимально допустимой температуры 34 °С.

Недостатком данной модели является использование заглушки, что повышает вероятность выхода из строя в случае разгерметизации системы охлаждающей жидкости.

В третьем случае термическому исследованию подвергалась модель теплоотвода решетки лазерных диодов №3 (рисунок 3).

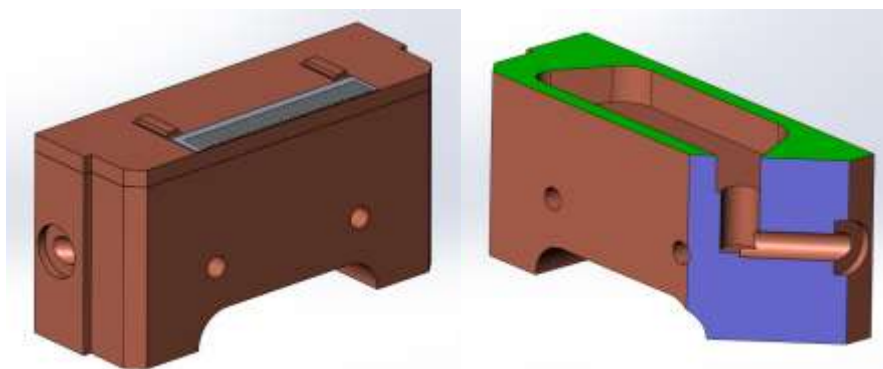


Рисунок 3 – Модель сборки решетки лазерных диодов №3

Теплоотвод модели №3 является сборочной единицей, включающей в себя корпус теплоотвода и крышку. Пространство для циркуляции охлаждающей жидкости в теплоотводе модели №3 образуется двумя отверстиями под ввод и вывод охлаждающей жидкости и полостью, расположенной в верхней части корпуса теплоотвода.

Крышка корпуса теплоотвода также имеет углубление для максимального приближения охлаждающей жидкости к кристаллу для эффективного охлаждения.

Центральные элементы кристалла 14-27 имеют максимальную температуру 26,8 °С. Крайние элементы кристалла 1 и 40 имеют минимальную температуру 24,4 °С. Такое распределение температуры объясняется так же, как и в предыдущих случаях. Как и в модели №2, температура распределена более равномерно, по сравнению с моделью №1.

Преимуществами данного образца являются увеличенный параметр долговечности, а также возможность изготовления на основе данного теплоотвода приборов повышенной мощности. Так тепловую мощность элемента кристалла можно повысить с 2,6 Вт до 4,6 Вт, то есть на 75%, достигнув при этом максимально допустимой температуры 34 °С.

Недостатком данной модели является сборочный теплоотвод решетки лазерных диодов, что повышает вероятность выхода из строя изделия в случае разгерметизации системы охлаждающей жидкости, а также увеличение



стоимости изготовления в результате большего количества операций по механической обработке деталей и их сборке.

Вывод. При возникновении необходимости изготовления приборов с увеличенной мощностью излучения решетки лазерных диодов до 15% от номинальной мощности, рекомендуется использовать теплоотвод модели №2, так как он надежен и прост в изготовлении, обеспечивает равномерный отвод тепла от активной области в процессе работы решетки. Если необходимо повысить мощность прибора от 15% до 75%, рекомендуется использовать теплоотвод модели №3, так как его конструкция позволяет обеспечивать максимальный отвод тепла от активной области в сравнении с теплоотводом других моделей. Также в моделях №2 и №3 отвод тепла проходит равномернее, чем в модели №1, поэтому старение материала происходит для всех элементов с одинаковой скоростью, что уменьшает вероятность выхода из строя одного из элементов кристалла. Разница температур элементов кристалла в решетке лазерных диодов модели №1 составляет 4,6 °С, а в модели №2 и №3 - 4 °С и 2,4 °С соответственно.

**4 Исследование поведения охлаждающей жидкости в полости теплоотвода решетки лазерных диодов, её перемещение и нагрев.** В данном разделе приведено исследование поведения охлаждающей жидкости в полости теплоотвода, её перемещение и нагрев. Для этого использовалась модель теплоотвода решетки лазерных диодов №3. Набор решеток лазерных диодов состоит из 5 решеток лазерных диодов, охлаждаемых параллельно. Также для исследования принимался максимально возможный расход охлаждающей жидкости 50 л/мин, а постоянная температура охлаждающей жидкости – 20 °С.

Исследование проводилось в системе, состоящей из 5 параллельно охлаждаемых цепочек наборов решеток лазерных диодов, каждая из которых включает в себя 10 наборов РЛД, подключенных друг к другу последовательно. Суммарное количество наборов РЛД 50 шт.

На входе теплоотвода охлаждающая жидкость имела минимальную начальную температуру  $T_{вх}=20$  °С. До максимальной температуры

$T_{max}=21,72$  °С жидкость нагревалась при приближении к излучающей области. На выходе средняя температура жидкости составляла  $T_{вых}=20,73$  °С. Такое распределение температуры объясняется неравномерным нагревом охлаждающей жидкости при приближении к излучающей области. Так, часть охлаждающей жидкости в полости, максимально приближенная к излучающей области, имела температуру выше, чем другая часть жидкости, удаленная от излучающей области. Ближе к выходу происходило смешение потоков, вследствие чего температура охлаждающей жидкости усреднялась.

После было проведено исследование для последовательно установленных наборов РЛД. Для этого при каждом исследовании за начальную температуру охлаждающей жидкости принималась температура жидкости на выходе предыдущего набора РЛД. Показания исследований внесены в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты исследования поведения охлаждающей жидкости в системе наборов РЛД

№ набора	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_{вх},$ °С	20	20,73	21,46	22,19	22,91	23,63	24,35	25,07	25,78	26,49
$T_{max},$ °С	21,72	22,37	23,06	23,76	24,45	25,13	25,81	26,5	27,18	27,87
$T_{вых},$ °С	20,73	21,46	22,19	22,91	23,63	24,35	25,07	25,78	26,49	27,2

Используя температуру охлаждающей жидкости на входе в теплоотвод  $T_{вх}$  из таблицы 2, было проведено термическое исследование каждого набора РЛД в цепочке для определения их рабочей температуры. Для этого применялось добавление SolidWorks Simulation. Полученные данные внесены в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты термического исследования

№ набора	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_{вх},$ °С	20	20,73	21,46	22,19	22,91	23,63	24,35	25,07	25,78	26,49
$T_{и.о.max},$ °С	26,8	27,52	28,25	28,98	29,71	30,44	31,17	31,9	32,63	33,36

Далее была проверена возможность последовательного подключения еще по одному набору РЛД в каждую цепочку. Проведено термическое исследование, где за начальную температуру принималась  $T_{вых.1.10} = 27,2$  °С.

При такой начальной температуре охлаждающей жидкости максимальная температура излучающей области составила  $T_{и.о.1.11} = 34,09$  °С. Так как максимально допустимая рабочая температура излучающей области равна  $T_{и.о. max} = 34$  °С, то возможность добавления дополнительно по одному набору РЛД в цепочку исключается. Таким образом, оптимальное количество наборов РЛД в цепочке равно 10 шт.

**5 Поиск граничных значений исследования.** Создание сетки – очень важный этап в анализе конструкций. На ранних этапах исследования, где могут подойти приблизительные результаты, можно задать больший размер элемента для более быстрого решения. Для более точного решения может потребоваться меньший размер элемента.

При построении сетки с параметром глобального размера выше 1,9 мм наблюдается сбой в построении и дальнейшее термическое исследование модели невозможно. Такой сбой связан с компонентами сборки модели, размер которых много меньше глобального размера элемента сетки. В таблице 4 указаны параметры построения сетки.

Таблица 4 – Начальные параметры сеток

	Грубая сетка	Сетка высокой точности
Глобальный размер, мм	1	0,2
Допуск, мм	0,05	0,01
Время построения, мин	2	14

Для исследования поведения модели при различных параметрах тепловой мощности диодов, были использованы значения, значительно превышающие ранее указанные. Была найдена критическая тепловая мощность, при которой дальнейшее исследование модели невозможно. Так, при параметре тепловой мощности одного диода  $Q=160$ Вт в диалоговом окне исследования появлялось предупреждение о том, что достигается температура  $T=1150$  °С, при котором твердое тело (модель) расплавляется.

**Заключение.** В связи с развитием лазерных технологий и повышения мощности устройств на основе лазерных диодов, возникает потребность в

использовании систем охлаждения для продления срока службы таких изделий, увеличения срока старения материалов, поддержания оптимальной допустимой температуры в рабочем состоянии. Для этого разрабатываются такие конструкции изделий, которые позволяют эффективно и равномерно отводить тепло от активной области изделия, увеличивая срок службы изделий, предотвращая неравномерное старение материала.

Также оптимальные решения, направленные на снижение рабочей температуры устройств на основе лазерных диодов позволяют увеличивать количество приборов в системе без изменения дорогостоящего технологического оснащения.

Современные комплексы САПР позволяют не только спроектировать модели теплоотводов решеток лазерных диодов, но и провести их комплексный анализ, включающий в себя термические исследования, поведение охлаждающей жидкости внутри теплоотводов.

В ходе проделанной работы:

- 1) дано определение лазерному диоду, решетке лазерных диодов;
- 2) проведен патентный поиск по лазерным диодам и устройствам на их основе;
- 3) построены 3D модели теплоотводов решетки лазерных диодов в программном комплексе САПР SolidWorks;
- 4) проведены термические исследования влияния конструктивных решений в теплоотводе решетки лазерных диодов на рабочую температуру излучающей области 3D модели;
- 5) проанализированы выявленные преимущества и недостатки каждой исследованной 3D модели теплоотвода решетки лазерных диодов;
- 6) выбран перспективный прототип теплоотвода решетки лазерных диодов;
- 7) проведено исследование поведения охлаждающей жидкости в полости теплоотвода решетки лазерных диодов;
- 8) проведен поиск граничных условий исследования.

## Список использованных источников

1 ГОСТ 15093-90. Лазеры и устройства управления лазерным излучением. Термины и определения. – М. : Министерство электронной промышленности СССР, 1991. – 27с.

2 Патент 2396654 Российская Федерация. Решетка лазерных диодов и способ ее изготовления / Г. Т. Микаелян, В. А. Панарин, Т. Б. Жиздюк, А. П. Буничев, С. Н. Порезанов. – Заявка №2008147669/28 от 02.12.2008 ; опубл. 10.08.2010, Бюл. №22.

3 ЛЛДИИ-70-940-1 [Электронный ресурс] // ООО "НПП "Инжект" [Электронный ресурс]: [сайт]. – URL : <https://nppinject.ru/product/lldii-70-940-1/>(дата обращения 12.05.2020). – Загл. с экрана. – Яз. рус.

4 Решения SolidWorks [Электронный ресурс] // SolidWorks [Электронный ресурс] : [сайт]. – URL : <https://www.solidworks.com/ru/choosing-solidworks> (дата обращения 12.05.2020). – Загл. с экрана. – Яз. рус.