**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

**«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**

**(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | |  |  | ДОПУСКАЕТСЯ К ЗАЩИТЕ: | | | | | | | | | | | | | | |
| Факультет | И | |  | Заведующий кафедрой | | | | | |  | | | | И1 | | | | | | |
|  | индекс факультета | |  |  | | | | |  | | | | | | индекс кафедры | | |
| Выпускающая кафедра | И1 | |  | | Борейшо А.С. | | |  | | | |  | | | | | | | |
|  | индекс кафедры | |  | | Фамилия ИО | |  | | | | подпись | | | | | | | | | | |
| Группа | И1М31 | |  | « 25 » | | марта | | | | | | | | | | 2019 г. | | |
|  | индекс группы | |  |  | |  | | | | | | |  | | | |

**отчет**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **о прохождении** | | | производственной | | | | | | | | | | | | | | **практики** | | | | | | | |
| наименование практики | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Разуваевой Ирины Сергеевны | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Фамилия, имя, отчество обучающегося | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **обучающегося по**  **направлению/специальности** | | | | | | 12.04.05 | | |  | | Лазерная техника и лазерные | | | | | | | | | |
| нужное подчеркнуть | | | | | | код | | | |  | | полное наименование направления/специальности | | | | | |
| технологии | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Руководитель практики:** | | | | | Киселев И.А., к.т.н., доцент | | | | | | | | | | | | | | |
|  | | Фамилия ИО, ученая степень, ученое звание, должность | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Срок прохождения практики:** | | | | с | | 15.03.2019 | | | | | | г. |  | по | 26.03.2019 | | | г. | | | |
| **Должность обучающегося на практике:** | | | | | | | **магистрант** | | | | | | | | | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Руководитель практики:** | | | |  | | |  |  | | | | |  | | | | | |
|  | | |  | Киселев И.А. | | |  | |  | | |  | |  | | | | |
| Подпись | | |  | Фамилия ИО | | |  | |  | | | |  | |  | | |
| « 25 » |  | марта | | |  | 2019 г. |  |  | |  |  | | | | |  |  | | |

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2019 г.

Содержание

[Введение 3](#_Toc9968697)

[1. Сравнение основных типов геометрий активной среды 4](#_Toc9968698)

[2. Выбор материала активной среды 4](#_Toc9968699)

[3. Тепловой расчет 5](#_Toc9968700)

[Заключение 12](#_Toc9968701)

[Используемые источники 13](#_Toc9968702)

# Введение

Одной из основных проблем, возникающих при разработке мощных твердотельных лазеров и усилителей, является тепловыделение в активной среде. Термомеханические и термооптические искажения, формирующиеся в процессе генерации, приводят к эффекту термической линзы, механическим напряжениям и другим нежелательным эффектам. Последствиями таких эффектов могут быть ухудшение качества луча, снижение мощности излучения и возможное разрушение материала среды. Особое влияние на качество луча оказывают температурные градиенты, перпендикулярные оси лазерного луча. Поэтому выбор геометрии активной среды является важнейшей задачей в процессе разработке эффективного усилителя.

В ходе данной работы требуется провести термический расчет для активного элемента и радиатора в различных конфигурациях, проанализировать полученные результаты и определить наилучшую из них.

## Сравнение основных типов геометрий активной среды

Существует несколько видов геометрии активного элемента, каждый из которых используется в конструкциях лазеров и занимает определенную нишу в области выходных характеристик. Распространенные конфигурации активных сред - стержни или слэбы, очень чувствительны к тепловым воздействиям из-за невозможности эффективного охлаждения по всему объему среды. В усилителях, основанных на тонком диске, поперечные температурные градиенты уменьшаются, поскольку отработанное тепло снимается с усиливающей среды в направлении, параллельном оси лазерного луча. Благодаря этой особенности дисковые усилители обладают низкой восприимчивостью к эффекту термической линзы и двулучепреломлению, вызванному внутренними напряжениями. На Рис. 1 продемонстрированы активные элементы в форме стержня, слэба и тонкого диска, красными стрелкми показано направление распространения излучения, а синими – направления отводимого тепла. Исходя из перечисленных достоинств, в качестве геометрии активного элемента предлагается использовать тонкий диск.

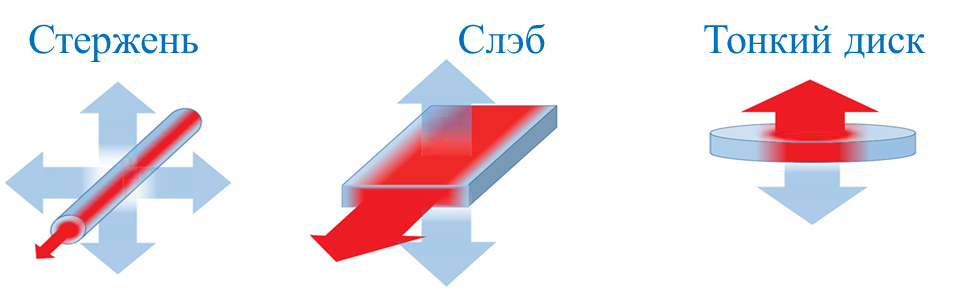


Рисунок 1 - Геометрии активных сред для мощных лазеров

## Выбор материала активной среды

Существует много разных видов кристаллов, которые могут применяться в качестве материала тонкого диска, наиболее часто используемые материалы и их свойства приведены в таб.1.

Таблица 1 - Сравнение характеристик различных лазерных сред

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Активная среда | Yb:YAG | Nd:YAG | Nd:YVO4 | Tm:YAG | Yb:KYW |
| Длина волны излучения, нм | 1030 | 1064 | 1064 | 2020 | 1025 |
| Длина волны поглощения, нм | 941 | 808 | 808,5 | 785 | 981 |
| Квантовый дефект, % | 8,6 | 24,6 | 24,5 | 61,1 | 4,3 |
| Квантовая эффективность, % | 91,4 | 78,4 | 78,5 | 38,9 | 95,7 |
| Схема лазера | Квази 3-х ур. | 4-х ур. | 4-х ур. | Квази 3-х ур. | Квази 3-х ур. |
| Время жизни верхнего уровня, мкс | 1200 | 230 | 90 | 10000 | 600 |
| Сечение поглоще-ния, 10-20 см2 | 0,8 | 7,7 | 114 | 0,75 | 13,3 |
| Сечение излуче-ния, 10-20 см2 | 2,2 | 28 | 250 | 2,9 | 3 |
| Ширина полосы генерации, нм | 9 | 0,6 | 0,96 | 400 | 16 |
| Ширина полосы поглощения, нм | 18 | 2 | 4 | 4 | 3,5 |
| Теплопроводность, Вт/мК | 14 | 14 | 5,2 | 11,2 | 3,4 |

Важными характеристиками кристаллов, применяемых для работы с высокой оптической мощностью, являются квантовая эффективность, время жизни верхнего уровня, сечения поглощения и излучения, теплопроводность. Благодаря большому значению теплопроводности, высокой квантовой эффективности и длительному времени жизни верхнего уровня кристалл Yb:YAG был выбран в качестве среды усиления.

## Тепловой расчет

Был произведен термический расчет активного элемента в форме тонкого диска Yb:YAG, закрепленного в медном радиаторе, при воздействии оптической мощности с использованием программного пакета SolidWorks Simulation. Моделирование термического воздействия проводилось для трех конфигураций: 1) активный элемент в форме тонкого диска Yb:YAG с толщиной 0,35 мм, 2) тонкий диск с алмазной пластинкой толщиной 1,2 мм, 3) две алмазные пластинки и диск между ними. Алмазная пластинка обеспечивает хороший теплоотвод, т.к. теплопроводность этого материала достигает 2000 Вт/м\*К. В качестве входных параметров в термическом исследовании задавались температура радиатора 20°С и тепловая мощность излучения, приходящая на диск - 367 Вт, сконцентрированная в пятне, диаметром 6 мм.

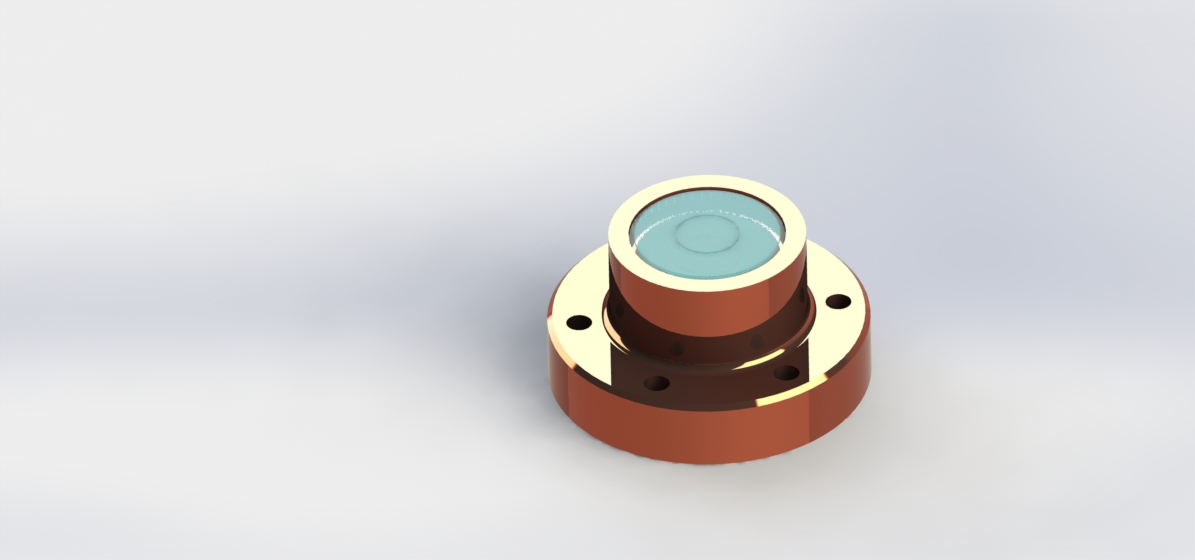


Рисунок 2 – Модель радиатора с диском Yb:YAG

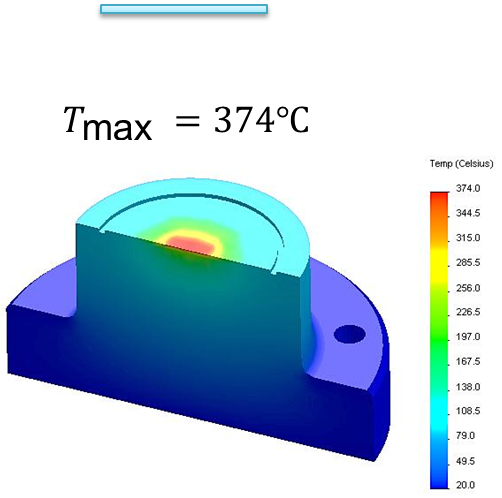


Рисунок 3 – Термический расчет для первой конфигурации

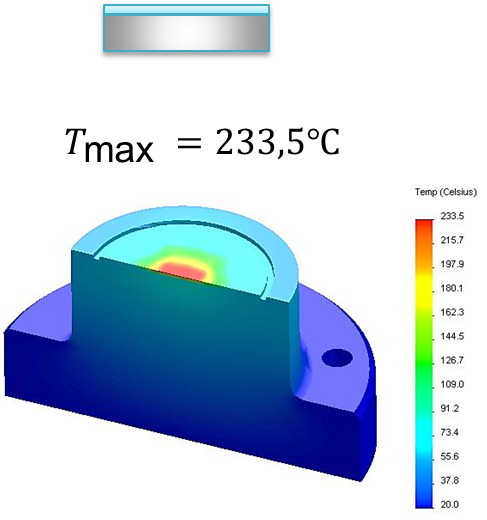


Рисунок 4 – Термический расчет для второй конфигурации

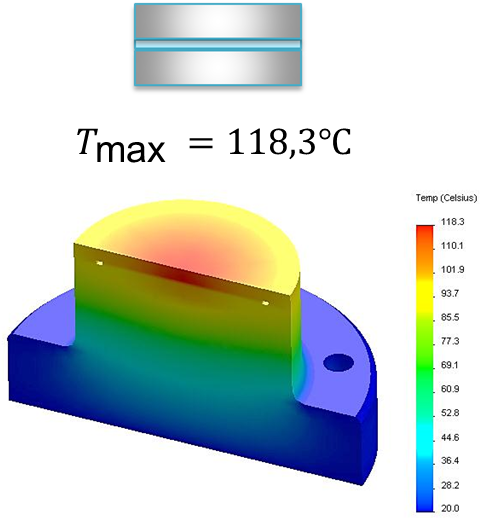
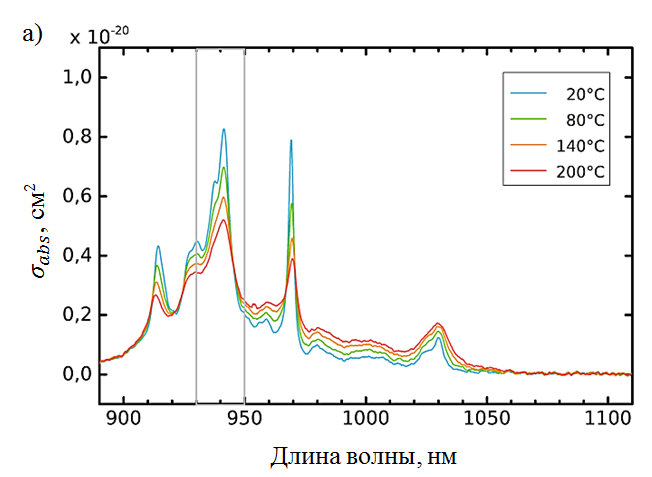


Рисунок 5 – Термический расчет для третьей конфигурации

По результатам термических расчетов видно, что конфигурация с двумя пластинками и диском лучше всего справляется с задачей теплоотвода. Но даже в этом случае, температура диска остается достаточно высокой и эффективность кристалла, как среды усиления, значительно снижается (рис. 6). На графиках 6,а и 6,б для кристалла Yb:YAG показано, что при повышении температуры сечения поглощения и излучения значительно снижаются.



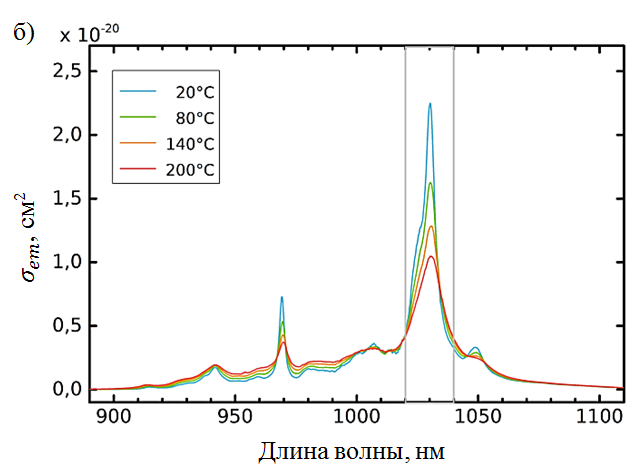


Рисунок 6 – а) сечение поглощения и б) сечение вынужденного излучения кристалла Yb:YAG

Для того чтобы понять, существует ли оптимальная конфигурация, были произведены термические расчеты для тех же трех конфигураций, но уже с варьируемыми толщинами диска и пластинки. С помощью функции «Исследование проектирования» в программном пакете SolidWorks Simulation были заданы начальные значения толщины, конечные и шаг. Ограничением для исследования считалась максимальная температура сборки Tmax=100 ̊С. Оптимальным результатом расчета для 1-й сборки (радиатор и диск Yb:YAG) считался тот, при котором наибольшая температура не превышала бы Tmax. Для 2-й и 3-й сборок оптимальным считался тот случай, при котором наибольшая температура не привышала бы Tmax, масса диска была максимальной (в пределах от 200 до 500 мкм, с щагом 50 мкм), а масса пластинки – минимальной (в пределах от 1 до 3 мм, с шагом 0,5 мм).

Рисунок 7 – Результаты термического расчета для 1-й конфигурации

По результатам расчета для радиатора с тонким диском Yb:YAG, приведенным на графике, видно, что при всех толщинах диска температура превышает Tmax, а значит – оптимального результата нет. Такой же вывод можно сделать и для второй конфигурации (рис. 8).

Рисунок 8 – Результаты термического расчета для 2-й конфигурации

Для третьей же конфигурации результаты, полученные после термического расчета, демонстрируют, что есть оптимальный результат, удовлетворяющий поставленным в начале исследования условиям. Таковым является сценарий, при котором толщина диска составляет 0,5 мм, толщина алмазных пластинок – 3 мм, а максимальная температура – 96,97 ̊С. Таким образом, конфигурация сборки радиатора с двумя алмазными пластинками и диском Yb:YAG является предпочтительной для использования в конструкции усилителя.

Рисунок 9 – Результаты термического расчета для 3-й конфигурации

Из графика, поученного на основе результатов расчета видно, что оптимальными являются конфигурации с алмазной пластинкой, толщиной 3 мм и двумя тонкими дисками, с любой толщиной из диапазона 0,3-0,5мм, т.к. для всех случаев максимальная температура нагрева составила примерно 97 ̊С.

# Заключение

В ходе проделанной работы был обоснован выбор геометрии активной среды лазерного усилителя, рассмотрены основные характеристики кристаллов, наиболее часто используемых в каческтве активной среды и выбран материал среды усиления. С помощью программного пакеты SolidWorks Simulation и функции «Исследование проектирования» были произведены термические расчеты для различных конфигираций сборок радиатора и активного элемента и выявлены наилучшие варианты сборки, обеспечивающие хороший теплоотвод и эффективную работу усилителя.

# Используемые источники

1. Кузнецов И. И. Лазеры с высокой средней мощностью на основе Yb:YAG элементов перспективных геометрий [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. физ.-мат. наук (01.04.21) /Кузнецов Иван Игоревич. – Нижний Новгород, 2016. – 102 с.
2. Лазеры на тонких дисках: принцип работы и применение. Часть 1 [Текст] / М. Ларионов // Фотоника. – 2009. -№4. – С. 1-7.
3. Omar R. Rodriguez. Characterization and Modeling of a High Power Thin Disk Laser. [Текст] / Omar R. Rodriguez. – 2010. – С. 16-25.
4. High energy high brightness thin disk laser / M. D. Nixon, M. C. Cates // Proc. of SPIE. - 2012. - Т. 8547. - С. 85470D.
5. Mukhin I. B., Palashov O. V., Khazanov E. A. Laser and thermal characteristics of Yb : YAG crystals in the 80 — 300 K temperature range [Текст] / I. B. Mukhin, O. V. Palashov, E. A. Khazanov, A. G. Vyatkin, E. A. Perevezentsev // Quantum Electronics. - 2011. - Т. 41. - №11. - С. 1045–1050.
6. Вадимова О. Л., Мухин И. Б., Кузнецов И. И. Расчет коэффициента усиления в криогенно охлаждаемых Yb : YAG-дисках в условиях сильного тепловыделения [Текст] / О. Л. Вадимова, И. Б. Мухин, И. И. Кузнецов, О. В. Палашов, Е. А. Перевезенцев, Е. А. Хазанов // Квантовая Электроника. - 2013. - Т. 43. - №3. - С. 201-206.