# УДК 621.375.026

# РАЗРАБОТКА МНОГОПРОХОДНОГО ЛАЗЕРНОГО УСИЛИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ТОНКОГО ДИСКА YB:YAG

***Разуваева И.С., Патлан В.И.***

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

В последнее время лазеры стали привлекательными и мощными инструментами в различных применениях науки и техники. Ключевыми параметрами лазера являются средняя мощность, энергия и длительность импульса, а также пиковая мощность, достижимые границы которых непрерывно расширяются. Из-за сложности эффективного охлаждения объема активной среды увеличение выходной мощности приводит к ухудшению качества излучения лазера. Для решения задачи повышения оптической мощности с требуемыми параметрами качества пучка предлагается использовать усилитель. При данном подходе параметры качества пучка определяются характеристиками лазера - задающего генератора, а усилитель является ответственным только за уровень выходной мощности.

Одной из основных проблем при разработке твердотельных лазерных усилителей является необходимость уменьшения термомеханических и термооптических искажений, вызванных выделением тепла в процессе генерации, приводящих к эффекту термической линзы, механическим напряжениям и другим эффектам. Последствиями таких эффектов могут быть: ухудшение качества луча, снижение мощности лазера и возможное разрушение материала среды. Особое влияние на качество луча оказывают температурные градиенты, перпендикулярные оси лазерного луча.

Распространенные конфигурации активных сред - стержни или слэбы, очень чувствительны к таким 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, вызванного внутренними напряжениями.

Лазерные усилители на тонких дисках хорошо подходят для генерации импульсов, как с высокой энергией, так и с большой частотой повторения из-за возможности создания больших апертур и маленькой толщины активного слоя, что имеет решающее значение для эффективного управления температурой усилителя. Еще одним преимуществом дискового усилителя является его масштабируемость в широком диапазоне средних мощностей путем изменения размера диска и/или количества дисков в усилителе.

Наиболее часто используемым материалом активной среды, благодаря своим физическим и механическим характеристикам, является алюмоиттриевый гранат (YAG), легированный редкоземельными металлами. Алюмоиттриевые гранаты, легированные ионами иттербия, считаются более подходящими для накачки, чем традиционные легированные неодимом кристаллы благодаря тепловым свойствам и характеристикам усиления. По сравнению с Nd:YAG кристаллами, кристаллы Yb:YAG обладают более широкой полосой поглощения, а время жизни верхнего уровня () составляет порядка 1,2 мкс. Для лазерной генерации длительное время жизни верхнего уровня дает возможность достижения большей инверсии населенности и позволяет материалу накапливать больше энергии. Пиковые сечение поглощения на 940 нм и сечение излучения на 1030 нмпоказаны на рисунке 1. Ниже приведена сравнительная таблица с характеристиками кристаллов Yb:YAG и Nd:YAG.

Т а б л и ц а 1

**Сравнение характеристик активных сред Yb:YAG и Nd:YAG**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметры активной среды** | **Yb:YAG** | **Nd:YAG** |
| Длина волны накачки, мкм | 0.941 | 0.808 |
| Ширина полосы поглощения, нм | 8 | 2 |
| Сечение поглощения, 10-20 см2 | 0.75 | 6.7 |
| Длина волны излучения, мкм | 1.03 | 1.064 |

П р о д о л ж е н и е т а б л и ц ы 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Сечение излучения, 10-20 см 2 | 2.2 | 28 |
| Время жизни рабочего уровня, мс | 1.2 | 0.23 |
| Энергия насыщения, Дж/см2 | 9.2 | 0.67 |
| Интенсивность насыщения (кВт/см2) | 9.7 | 2.9 |

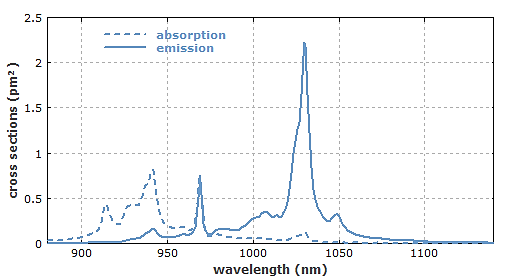


Рис. 1. Сечения поглощения и излучения Yb3+:YAG кристалла (при температуре 20) [1]

Усилитель, как и лазер, представляет собой квантрон, состоящий из системы подачи излучения накачки, активной среды и системы охлаждения, но в отличие от лазерного квантрона к усилителю подключается лазер - задающий генератор. Квантрон обеспечивает накачку активной среды - тонкого диска алюмоиттриевого граната легированного ионами иттербия. Поскольку диск достаточно тонкий, то двукратное поглощение энергии накачки будет низким, поэтому реализуется схема с многократным проходом накачки через активный элемент. На рисунке ниже показана эффективность поглощения излучения диском толщиной 350 мкм в зависимости от количества проходов.

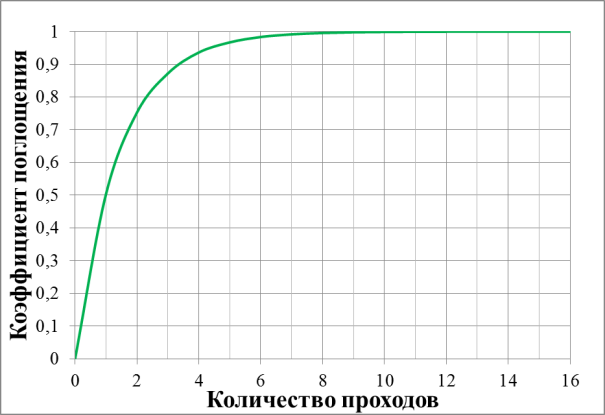


Рис. 2. Зависимость коэффициента поглощения от количества проходов

В предложенной схеме параллельный лазерный пучок от источника накачки фокусируется на диск с помощью параболического зеркала. Энергия излучения частично поглощается в объеме диска, а остальная часть снова направляется на параболическое зеркало и распространяется далее. Затем при помощи трех отражательных призм и плоского зеркала этот пучок направляется на не засвеченный участок параболического зеркала. Прохождение пучка накачки, его поглощение, фокусировка и коллимация продолжаются до того момента, пока вся рабочая поверхность параболического зеркала не будет задействована, а затем с помощью зеркала пучок перенаправляется по тому же оптическому пути в обратном направлении. Таким образом, в усилителе реализуется схема с 16 проходами излучения накачки через активную среду (8 отражений от задней поверхности диска).

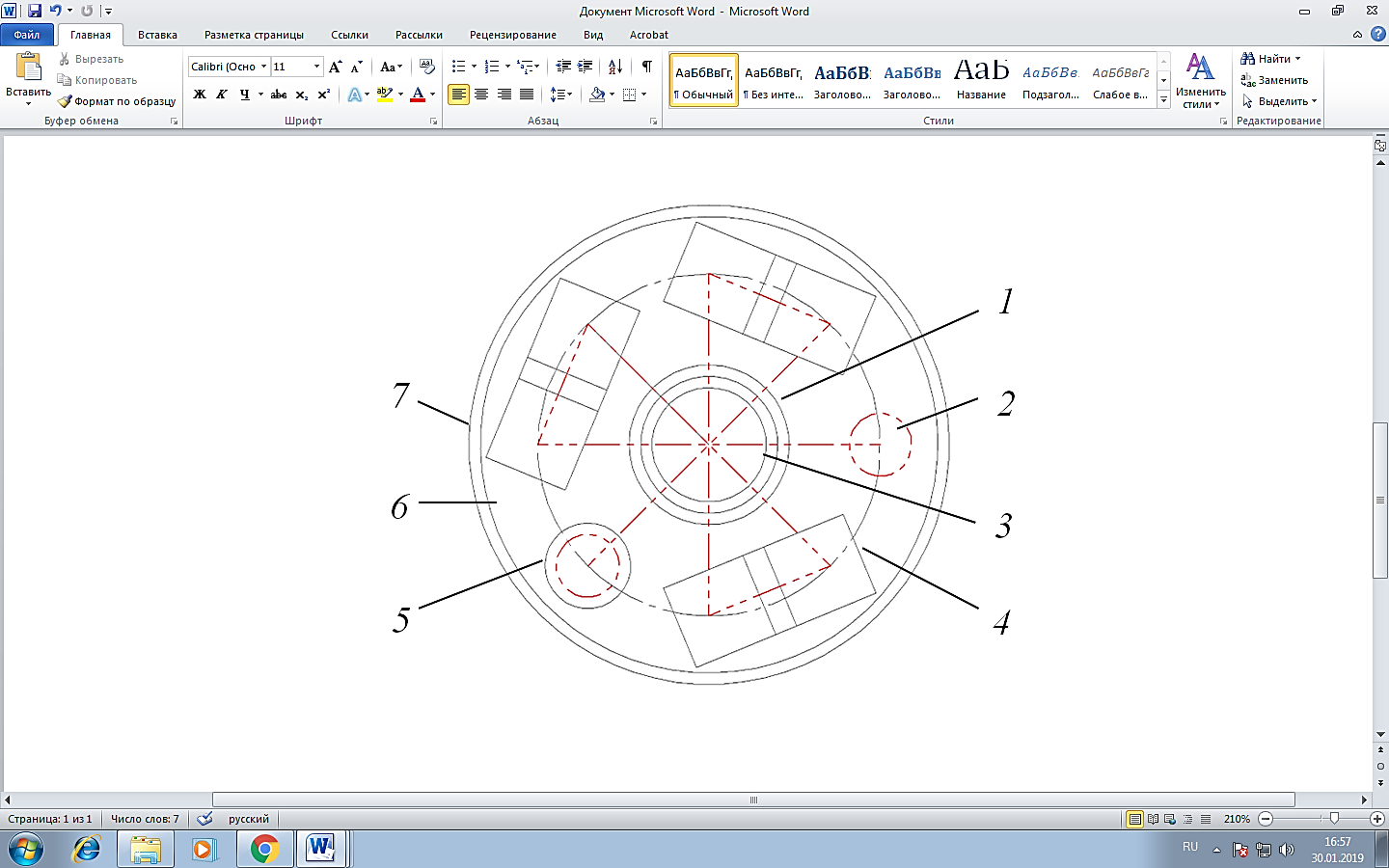


Рис. 3. Схема многопроходной накачки дискового усилителя: вид сверху. 1 – Отверстие для ввода излучения задающего генератора; 2 – пятно излучения накачки; 3 – диск Yb:YAG; 4 – оптическая призма; 5 – плоское зеркало; 6 – параболическое зеркало; 7 – основание.

Исходя из известных оптических и физических свойств активного элемента, энергетических свойств излучения накачки и задающего генератора, можно рассчитать параметры усилителя. В качестве задающего генератора выбран иттербиевый пикосекундный волоконный лазер с длиной волны 1030 нм, средней выходной мощностью 20 Вт и длительностью импульса 45 пс [2]. Источниками накачки приняты 9 непрерывных высокомощных лазерных модулей мощностью 350 Вт каждый, с длиной волны 940 нм [3].

|  |  |
| --- | --- |
| *,* | (1) |

где:  – вероятность поглощения фотона;  – плотность потока фотонов; – сечение поглощения.

|  |  |
| --- | --- |
| *,* | (2) |

где:  – концентрация фотонов накачки;  – энергия накачки;  – коэффициент поглощения за m-ый проход;  – энергия фотона;  – площадь пятна;  – длина оптического пути (толщина диска).

|  |  |
| --- | --- |
| , | (3) |

где:  – показатель усиления;  – количество ионов иттербия;  – сечение излучения.

|  |  |
| --- | --- |
| , | (4) |

где:  – коэффициент усиления.

По теоретическим расчетам, полученным с помощью выше приведенных формул коэффициент усиления составил 85. В результате усиления средняя мощность излучения возросла с 20 Вт до 1,7 кВт. Внешний вид разработанного усилителя показан на рисунках 4, 5 (ход лучей накачки и усиливаемого излучения показаны условно).

|  |  |
| --- | --- |
| https://pp.userapi.com/c854324/v854324576/743a/rkAnwjDRKUA.jpg  Рис. 4. Внешний вид разработанного усилителя в разрезе без системы охлаждения | https://pp.userapi.com/c854324/v854324576/7430/H1dJZVTvi0E.jpg  Рис. 5. Разработанный усилитель: вид сверху |

**Библиографический** **список**

1. Jochen Speiser. Thin Disk Lasers – History and Prospects. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1117/12.2231529>, свободный.
2. GENKI 10 – пикосекундный лазер с низким уровнем шума. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sphotonics.ru/catalog/pikosekundnyelazeryotonefive/genki10, свободный.
3. Азимут фотоникс – оптоэлектронные компоненты [Электронный ресурс]: Мощные лазерные диоды в диапазоне 900-2000 нм, 2017-2018 – Режим доступа: <http://azimp.ru/catalogue/Powerful-laser-modules-with-optical-output1/60/>, свободный.
4. Звелто О. Принципы лазеров / Пер. под науч. ред. Т. А. Шмаонова. – 4-е изд. – СПб.: Лань, 2008. – 720 с.