

学校编码: 10384

分类号_____密级

学号: 200324026

UDC

厦门大学

硕士学位论文

LD 泵浦全固体蓝光激光器

LD Pumped All-Solid-State Blue Laser

汪玉树

指导教师姓名: 蔡志平 教授

专业名称: 光学

论文提交日期: 2006 年 5 月

论文答辩时间: 2006 年 6 月

学位授予日期: 2006 年 7 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2006 年 6 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。
本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以
明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

- 1、保密（ ），在 年解密后适用本授权书。
- 2、不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名：

日期： 年 月 日

导师签名：

日期： 年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘 要

利用 LD 泵浦掺 Nd^{3+} 激光介质，腔内倍频产生蓝光的方法是目前获得蓝光的一个热点，具有输出功率较高，光束质量好，成本较低的优点，但目前瓦级全固体蓝光激光仍不成熟。本论文为福建省重大专项(2002F011 ,2004HZ012123)资助项目，通过理论设计和实验研究，对其做了一些探索。

首先，对准三能级系统进行分析，得出了优化激光运转的条件；利用数值计算，分析了模式叠加效应对激光阈值、斜效率和输入输出特性的影响，为实际优化设计激光器提供了依据；分析计算了最佳晶体长度。

其次，对倍频原理进行简单的介绍，总结出腔内倍频需要遵循的要点；介绍了相位失配的影响和相位匹配的方法，并对几种倍频晶体进行比较，选取较合适的倍频晶体 LBO，并对 LBO 物理、化学、光学性质进行介绍，对与 LBO 的使用起指导作用。

第三，为了使得泵浦光的光斑大小能满足最优化条件，本文利用 ABCD 传输定律进行相关计算，指明了如何耦合通过改变耦合透镜的参数来调整泵浦光斑半径并据此设计出耦合透镜组。

最后，对腔体进行分析，得出平凹腔测量热焦距的方法，并测得 Nd:YAG 在不同泵浦电流下的热焦距；提出用于简化腔体分析的反光程概念；对腔体稳定性进行分析，对实验中各参数的变化起指导作用；算出腔内光腰的位置，及其随腔体参数的变化情况，以确定倍频晶体 LBO 的位置；画出了腔内光斑随热焦距、耦合输出镜曲率半径的变化情况。

根据前面分析计算得出的参数，设计出 LD 泵浦全固体蓝光激光器，最高功率达到 1.2 瓦，为同类腔型中，目前已知的最高功率水平。

关键词：端面泵浦；蓝光激光器；LBO；

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Abstract

A laser-diode- (LD) pumped solid state quasi-three-level Nd^{3+} laser with intracavity frequency-doubling has proved to be an efficient way to achieve the blue laser emission and has attracted more and more attention at present. It is due to its inherent advantages, which are characterized by its high output power, high quality of laser beam and low price. So far, however, the development is still not perfect in multiwatt level all-solid state blue laser. In this thesis, we perform some theoretical and experimental researches and gain some valuable results.

Firstly, we analyze the theory of quasi-three-level system and demonstrate some parameters for optimizing the laser operation. Using numerical calculation, we analyze the influence of mode overlapping on the threshold pump power, slope efficiency and relationship between input and output power in order to provide a good testimony for the actual work. As a result, we calculate and obtain the optimization length of the laser crystal.

Secondly, we introduce the principle of the frequency doubling technic and point out the points that must be noticed while using this technic. We also introduce the influence of phase-mismatch and the ways of achieving phase-match. After comparing some crystals we choose the LBO as the frequency doubling crystal in our design and introduce the attributes of it.

Thirdly, the coupling lenses are designed using the ABCD theory. There is an optimization radius of pumping beam while laser operating. But the radius of pumping beam is divergent out of the fiber, so the pumping beam must cross a group of lenses and refocus before it enter laser crystal. We use the ABCD theory to analyze the coupling system, and point out how to adjust the parameters of the lenses to make the radii of pumping beam optimized.

Analysing the cavity, we propose a method of measuring the focus length of thermal lens. The thermal lens focus lengths of the Nd:YAG crystal with different pump power are measured by this way. In order to simplify cavity analysing, a new concept, inverse optical distance, is brought forward in this thesis. The stability of laser cavity is analysed to guide the variation of the cavity parameters. The position of the beam waist where the LBO will be placed is obtained. We also obtain the variation of the beam radii in the cavity with the thermal lens focus length and the curvature radii of the output mirror.

According to the upper Analysis, we design out a LD pumped all-solid-state blue laser, with 1.2W/473nm maximal output power. As far as we known, it is the highest output power at present in the line cavity.

Key Words: LD-pumped; Blue Laser; LBO

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目 录

第一章	绪 论	1
1.1	蓝光激光器的研究背景	1
1.2	实现全固态蓝色激光光源的途径	2
1.3	LD 泵浦全固体蓝光激光器发展简史	5
1.4	本论文主要工作	7
第二章	激光材料和准三能级系统分析	9
2.1	激光材料	9
2.2	准三能级系统分析	13
2.2.1	运转模型	13
2.2.2	模式匹配因子的影响	16
2.2.3	最佳晶体长度	18
2.3	本章小结	20
第三章	倍频原理介绍和倍频晶体选择	21
3.1	二次谐波产生	21
3.1.1	平面二次谐波的产生	21
3.1.2	高斯光束的二次谐波产生	23
3.2	相位匹配	24
3.2.1	单轴晶体的相位匹配	24
3.2.2	双轴晶体的相位匹配	25
3.2.3	温度相位匹配——非临界相位匹配	26
3.2.4	位相匹配宽度	26
3.3	倍频晶体	28
3.4	本章小结	32
第四章	泵浦耦合方式概述和耦合系统设计	33
4.1	半导体泵浦的优势	33
4.2	激光二极管的泵浦耦合方式概述	34
4.3	耦合透镜组的设计	38
4.4	本章小结	42
第五章	热效应与腔体设计	43
5.1	热透镜效应理论分析	43
5.2	热焦距的实验测量	46
5.3	减小热透镜效应的方法	48
5.4	腔体分析	49
5.5	本章小结	55
第六章	瓦级全固体蓝光激光器	57
6.1	实验装置	57

6.2	实验结果	62
6.3	总结和展望	63
参考文献:		67

厦门大学博硕士论文摘要库

Content

Chapter 1	General Review	1
1.1	Research Background of Blue Laser	1
1.2	Ways of Achieving Blue Laser	2
1.3	History of LD pumped All-Solid-State Blue Laser	5
1.4	Work of the Thesis	7
Chapter 2	Laser Material and Quasi-Three-Level System	9
2.1	Laser Material	9
2.2	Quasi-Three-Level System	13
2.2.1	Mode of Operation	13
2.2.2	Matching of Modes	16
2.2.3	Optimization Length of Laser Crystal	18
2.3	Summary	20
Chapter 3	SHG Principle and SHG Crystal	21
3.1	Second Harmonic Generation (SHG)	21
3.1.1	SHG of Plane Wave	21
3.1.2	SHG of Gaussian Wave	23
3.2	Phase-match	24
3.2.1	Phase-match in Uniaxial Crystal	24
3.2.2	Phase-match in Biaxial Crystal	25
3.2.3	Temperature Phase-match	26
3.2.4	Width of Phase-match	26

3.3 SHG Crystal	28
3.4 Summary	32
Chapter 4 Summarization and Design of Pumping System	33
4.1 Advantages of LD Pumping	33
4.2 Summarization of LD Pumping	34
4.3 Design of Coupling lenses	38
4.4 Summary	42
Chapter 5 Thermo-lens Effect and Cavity Design	43
5.1 Theoretic Analyse of Thermo-lens Effect	43
5.2 Measurement of Thermal Focus	46
5.3 Ways of Weakening Thermo-lens Effect	48
5.4 Cavity Analyse	49
5.5 Summary	55
Chapter 6 Watt-Level All-Solid-State Blue Laser	57
6.1 Experiment Setup	57
6.2 Experiment Result.....	62
6.3 Summary and Expectation	63
References:	67

第一章 绪论

1.1 蓝光激光器的研究背景

目前激光行业中对于绿色和红色激光的获得已有了相当成熟的技术。绿光和红光的功率及光束质量可满足诸多不同行业的应用需要。自然地，人们提出了对更短波长的蓝色激光的需求。蓝色激光的应用越来越广泛^[1,14]：

(1) 彩色激光显示

高亮度的蓝色激光系统完全可以和发展相对成熟的红色 LD、内腔倍频的全固化绿激光器一起，作为彩色显示的全固体标准三基色光源。这种新型的低功耗、长寿命、高光束质量的激光光源，不仅效率高(与荧光光源相比)，而且更加忠实于自然光，能够消除白炽光源产生的黄影和荧光光源产生的绿影，实现三基色的平衡。

(2) 高密度光存储

与目前常用作光源的 780nm LD 相比较，蓝色激光的优点是波长短，光点面积小，若再利用存储介质对短波长激光更加敏感的特点，采用新的编码技术，则可以提高存储密度近 1 个量级。按目前的蓝光光盘计划，可以在一张 12cm 的光盘上实现 27GB 的存储量，它是现有技术的六倍，可以实现所有数字信息的存储（包括音频、视频、电视、照片等应用）。

(3) 数字视频技术

全固体蓝激光器最令人鼓舞的应用是用作数字视频领域中 CD-ROM、CD 及 DVD 等的光源。据东芝公司多媒体实验室的 Akito Iwamoto 宣称，将推出以蓝激光为光源的只读数字视盘 (DVD-ROM)，在适当改善光学系统数值孔径和数字处理电路的性能后，其容量能够达到目前以 635nm 红光 LD 为光源的 CD-ROM 的 7 倍以上。

(4) 海洋水色和海洋资源探测

400~450nm 之间的蓝色激光光源是感知系海洋水色的有力武器，可用于探测海洋渔业资源。

(5) 激光制冷

蓝色激光可用于捕获和阻尼铯原子的热振动，消除因热振动而引起的多普

勒加宽，为光谱线的精确计量提供保证。

此外，全固态蓝色激光光源还有望在数模转换器件、激光印刷术、激光医学、生化技术、材料科学和光通信等许多领域得到广泛的应用。

1.2 实现全固态蓝色激光光源的途径^[1,14,56]

1、蓝光激光二极管

1999年 Nichia 公司生产出第一台蓝光半导体激光器^[66]，标志着下一代光存储的应用已经为期不远了。2002年出台了命名为“蓝光光盘”(Blue-ray Disc)的计划。具体讲，蓝光 LD 可以在一张 12cm 的光盘上实现 27GB 的存储量，它是现有技术的六倍，可以实现所有数字信息的存储(包括音频、视频、电视、照片等应用)，大大方便了数字产品走进家庭和人们的办公室。例如，利用蓝光光盘可以记录两小时的高标准的数字视频或者 13 小时的标准电视。此外双面存储以及扩大光盘尺寸可以最终获得 50-100GB 的存储容量。

关于蓝光 LD 最先的研究主要集中在 II-IV 族材料，尤其是 ZnSe。这种材料禁带宽度约 2.7eV，发射波长相应于深蓝色 480nm，且其栅格间距非常接近于常用的 GaAs，看起来非常适合于蓝光 LD。1990 年，利用 ZnSe/ZnCdSe 应变量子阱技术首先获得了蓝色激光输出。1996 年日本索尼公司采用 ZnCdSe/ZnSSe/ZnMgSSe 单量子阱激活层分别限制双异质结构实现了在 20℃ 下、输出 1mW 并且可连续工作 100 小时的蓝-绿(515nm)LD。然而生长过程中 p-n 结内形成的缺陷在高阈值电流、高结温环境下会迅速扩散，使得其寿命的进一步提高十分困难，距离商品化 10000 小时的目标还有很长一段距离。

在此同时，日本 Nichia 化学工业公司的 Shuji Nakamura^[2]另辟蹊径，致力于 III-V 族 GaN 材料的研究。他在充氮环境下，借助双束气流反应技术，在 15% 失配的石英基底上，采用 MOCVD 方法生长出了 InGaN 多量子阱结构的 408.6nm 蓝光 LD。97 年初的时候其室温寿命为 35 小时，同年秋季通过侧向外延生长技术将室温寿命提高到了 1000 小时^[57]。目前该公司已经有几款输出功率达到 30mW，线宽小于 1nm，输出波长为 400-415nm 的商品化器件。还有其他一些波长的工程样机推出。然而，考虑到半导体材料本身的缺陷难于克服，使得蓝色激光二极管的发展仍相对缓慢，离实用化还有一段距离。

2、LD 直接倍频蓝光激光器

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库