

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: 23120100154038

UDC _____

厦 门 大 学

博 士 学 位 论 文

Pr:YLF 晶体光谱特性与激光性能研究

**Research on Spectroscopic Properties and Laser
Performance of Pr:YLF Crystal**

刘 哲

指导教师姓名: 蔡志平 教授

专业名称: 电路与系统

论文提交日期: 2013 年 7 月

论文答辩时间: 2013 年 8 月

学位授予日期: 2013 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2013 年 8 月

学校编码: 10384
学号: 23120100154038

分类号 _____ 密级 _____
UDC _____

厦门大学

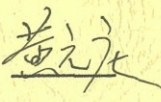
博士学位论文

Pr:YLF 晶体光谱特性与激光性能研究

Research on Spectroscopic Properties and Laser
Performance of Pr:YLF Crystal

刘哲

指导教师姓名: 蔡志平 教授
专业名称: 电路与系统
论文提交日期: 2013 年 7 月
论文答辩时间: 2013 年 8 月
学位授予日期: 2013 年 月

答辩委员会主席: 
评阅人: _____

2013 年 8 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈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其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范（试行）》。

另外，该学位论文为（ ）课题（组）的研究成果，获得（ ）课题（组）经费或实验室的资助，在（ ）实验室完成。（请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。）

声明人（签名）：刘哲

2013年8月29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

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

() 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

() 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：刘哲

2013年8月29日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘要

三价镨离子 (Pr^{3+}) 在可见光波段存在丰富的跃迁。利用蓝光泵浦, 掺 Pr 材料可以实现蓝色、绿色、橙色、红色和深红色的下转换激光输出。与采用光学非线性过程如倍频、混频方式相比, 利用下转换直接获得可见光激光的方式避免了非线性光学晶体的使用, 其激光器结构紧凑、转换效率高、光束质量好, 并且不需要严格的温控。掺 Pr 可见光激光器在显示、水下通信、生物医学、量子信息等领域有广阔的应用前景。在众多的掺 Pr 激光材料中, 掺镨氟化钇锂 ($\text{Pr}:\text{LiYF}_4$, 或 $\text{Pr}:\text{YLF}$) 晶体由于具有优良的激光特性而受到国际上的广泛重视。然而, 由于泵浦源缺乏、材料生长等方面的原因, 国内关于掺 Pr 材料的激光特性的研究开展得很少。本论文从研究 $\text{Pr}:\text{YLF}$ 晶体特性入手, 较为系统的进行了该晶体的光谱特性与激光性能的研究。主要内容和贡献概括为:

1. 不同温度下的光谱特性的研究。当前对于 $\text{Pr}:\text{YLF}$ 晶体常温下的光谱特性已有较多研究, 而温度对光谱变化的影响却鲜有报道。本文测量计算了 $\text{Pr}:\text{YLF}$ 晶体在 12-300K 温度范围内的吸收谱、发射谱, 从实验和理论上分析了温度对吸收截面、受激发射截面、光谱加宽与位移的影响。

2. 构建了高效的 $\text{Pr}:\text{YLF}$ 可见光固体激光器。分别采用蓝光激光二极管(LD)和蓝光光泵半导体激光器(OPSL)作为泵浦源, 实现了半导体泵浦 $\text{Pr}:\text{YLF}$ 红光、绿光、橙光固体激光器。利用 OPSL 泵浦获得的红光($\sim 640\text{nm}$)、绿光($\sim 523\text{nm}$)和橙光($\sim 607\text{nm}$)功率分别为 914mW、831mW 和 524mW, 其光-光转换效率分别为 60%、51%和 36%。524mW 的橙光功率为掺 Pr 材料 $^3\text{P}_0 \rightarrow ^3\text{H}_6$ 跃迁已报道实现的最高功率。利用单个 LD 泵浦获得的红光、绿光、橙光功率分别为 304mW、193mW 和 199mW, 其光-光转换效率分别为 40%、26%和 27%。研究发现采用低浓度掺杂的 $\text{Pr}:\text{YLF}$ 晶体有助于获得更高性能的橙光激光输出。

3. 实验和理论上研究了 $\text{Pr}:\text{YLF}$ 红、绿双波长固体激光器。利用 OPSL 作为泵浦源, 采用简单的平凹腔获得了红、绿双波长 ($640\text{nm}+523\text{nm}$) 激光输出, 每种颜色激光连续输出功率大于 100mW。在准连续泵浦条件下, 获得的红、绿激光平均输出功率分别为 121mW 和 61mW (对应峰值功率分别为 242mW 和

122mW)。实验通过将谐振腔失准、调制泵浦功率来降低模式竞争对激光性能的影响。通过调制泵浦功率观察到双波长激光的增益切换,并实现了两色激光的切换输出。理论研究表明两个波长阈值的相对关系是影响双波长激光运转的重要因素,而在固定输出镜透射率的情况下影响阈值相对关系的关键是腔内损耗。研究表明,利用泵浦功率调制或腔内损耗调制可实现双波长的切换输出。

4. 针对 Pr:YLF 晶体较少研究的深红光 $^3P_0 \rightarrow ^3F_3$ 跃迁谱线展开研究。利用 LD 和 OPSL 作为泵浦源,获得了 π 偏振方向上的 698nm 深红激光,连续输出功率分别为 215mW 和 547mW,将此前用 Ar 离子激光器泵浦获得的 698nm 激光功率提高了数倍。利用偏硼酸钡 (BBO) 晶体腔内倍频,在 LD 泵浦方式下首次获得了 33mW 的 349nm 紫外连续激光输出。利用 BBO 的双折射特性选择偏振,首次获得了 σ 偏振方向上的 696nm 激光,输出功率为 51mW。

镀膜质量对激光性能尤为重要。本论文实验中使用的绝大多数激光腔镜为自行设计,并利用偏转等离子体溅射工艺自行镀制。本文部分内容将对 Pr:YLF 激光器膜系设计与制备进行简要描述。

关键词: Pr:YLF 晶体; 低温吸收谱; 低温发射谱; 固体激光器; 可见光激光器; 双波长激光; 紫外激光器; 反应溅射工艺

Abstract

The trivalent Praseodymium ion (Pr^{3+}) offers various fluorescence transitions in the visible spectral range. Pumping with blue light sources, down-conversion blue, green, orange, red and deep red lasers can be realized based on the Pr-doped materials. Compared with visible lasers obtained by nonlinear optical processes (e.g. frequency doubling or mixing), the down-conversion visible lasers don't rely on the nonlinear optical crystal, and thus have more compact structures, higher conversion efficiencies and better beam quality. In addition, the down-conversion lasers don't need accurate control of temperature. Pr-doped visible lasers have wide application prospects in the fields of display, underwater communication, medical biology, quantum information science, etc. Among the various Pr-doped laser materials, the Lithium-Yttrium-Fluoride ($\text{Pr}:\text{LiYF}_4$ or $\text{Pr}:\text{YLF}$) crystal has been paid widely attention from the international researchers because of its excellent laser performance. However, due to the lack of the pumping source and the difficulty of the crystal growth, there are only few domestic researches on the laser performance of Pr-doped materials. This thesis focuses on the characteristics of the $\text{Pr}:\text{YLF}$ crystal, including the relatively systemic investigation on its spectroscopic properties and laser performance. The main contents and the contributions are as follows:

1. Spectroscopic properties under different temperatures are investigated. At present the room-temperature spectroscopic properties of $\text{Pr}:\text{YLF}$ are well reported, whereas there are only few reports about the temperature effects on the spectra. In this thesis we measured and calculated the absorption and emission spectra of $\text{Pr}:\text{YLF}$ under a temperature range from 12 to 300 K. The temperature effects on the absorption cross-sections, stimulated emission cross-sections, line broadening and line shifts are studied theoretically and experimentally.

2. High-efficiency $\text{Pr}:\text{YLF}$ visible lasers are achieved. Using a blue laser diode (LD) and a blue optically pumped semiconductor laser (OPSL) as the pump source,

we realized the semiconductor-pumped Pr:YLF solid-state-lasers emitting in red (~640 nm), green (~523 nm) and orange (~607 nm). With the OPSL as the pump source, output powers of the red, green and orange lasers are 914 mW, 831 mW and 524 mW, respectively, corresponding to the optical-to-optical conversion efficiencies of 60%, 51% and 36%, respectively. To the best of our knowledge, 524 mW of the orange laser power is the highest one obtained upon the ${}^3P_0 \rightarrow {}^3H_6$ transition of Pr-doped materials. With a single LD as the pump source, output powers of the red, green and orange lasers are 304 mW, 193 mW and 199 mW, respectively, corresponding to the optical-to-optical conversion efficiencies of 40%, 26% and 27%, respectively. The research shows that the low-doping crystal is more suitable to get better performance for the orange laser.

3. The red-green dual-wavelength laser is investigated theoretically and experimentally. Using the OPSL as the pump source and a simple plano-concave cavity, simultaneous generation of red and green continuous-wave lasers is obtained with output powers of more than 100 mW for each beam. Under the quasi-cw pump condition, average output powers of 121 mW (242 mW peak power) and 61 mW (122 mW peak power) are achieved in green (~523 nm) and red (~640 nm), respectively. In the experiments, the influence of mode competition is reduced by misalignment of the laser cavity and modulation of the pump power. By the modulation of the pump power, we investigated the gain switching between two laser wavelengths and obtained the switchable laser operation. The theoretical calculation shows that the relation between the laser thresholds of the two wavelengths is an important factor for dual-wavelength laser operation. When the output couplings are fixed, the account of the intracavity losses is the main impact factor of the relative thresholds. The research indicates that the switchable operation between the two wavelengths can be obtained by modulation of the pump power or intracavity losses.

4. Some investigations are carried out focusing on the seldom-reported deep red ${}^3P_0 \rightarrow {}^3F_3$ transition of Pr:YLF. Using the LD and the OPSL as the pump source, the

698 nm deep red laser in π -polarization is obtained. The output powers are 215 mW and 547 mW, respectively, which are several times more than the highest output power of the Pr:YLF 698 nm laser in the previous reports. With a beta barium borate crystal (BBO) as the nonlinear medium and a LD as the pump source, 33 mW of output power at 349 nm is achieved the first time to our knowledge. Using BBO as the polarization selective component, first Pr:YLF laser emitting at 696 nm in σ -polarization is realized.

The quality of the optical coating is very important to the laser performance. Most of the cavity mirrors in the experiments of the thesis are designed by us then prepared by us using the Remote Plasma Sputtering process. Part of the thesis briefly describes the designs and preparations of the mirrors for the Pr:YLF laser.

Keywords: Pr:YLF crystal; low-temperature absorption spectra; low-temperature emission spectra; solid-state lasers; visible lasers; dual-wavelength lasers; ultra-violet lasers; reactive sputtering process.

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目录

摘要.....	I
Abstract.....	III
第一章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 掺镨固体激光器的研究进展	9
1.3 本论文的工作	18
第二章 Pr:YLF 晶体光谱测试与分析.....	21
2.1 晶体与能级结构	21
2.1.1 晶体结构与特性.....	21
2.1.2 能级分布.....	23
2.2 光谱测试条件	24
2.2.1 吸收谱测试.....	24
2.2.2 发射谱测试.....	25
2.3 吸收谱计算与分析	26
2.3.1 吸收截面.....	26
2.3.2 J-O 理论分析.....	32
2.4 发射谱计算与分析	37
2.5 光谱热加宽、热位移与线型	43
2.6 本章小结	52
第三章 Pr:YLF 激光腔镜的设计与制备	55
3.1 膜系设计简述	55
3.1.1 光谱特性的求得.....	55
3.2.2 计算机辅助设计与优化.....	57
3.2 膜系制备条件	59
3.3 制备结果	63

3.4 本章小结	66
第四章 Pr:YLF 红光、绿光、橙光固体激光器	67
4.1 激光器性能分析	67
4.2 实验条件	73
4.3 LD 泵浦激光实验结果	76
4.3.1 红光 (${}^3P_0 \rightarrow {}^3F_2$ 跃迁, ~640nm)	76
4.3.2 绿光 (${}^3P_1 \rightarrow {}^3H_5$ 跃迁, ~523nm)	78
4.3.3 橙光 (${}^3P_0 \rightarrow {}^3H_6$ 跃迁, ~607nm)	81
4.4 OPSSL 泵浦激光实验结果	83
4.4.1 红光 (${}^3P_0 \rightarrow {}^3F_2$ 跃迁, ~640nm)	83
4.4.2 绿光 (${}^3P_1 \rightarrow {}^3H_5$ 跃迁, ~523nm)	84
4.4.3 橙光 (${}^3P_0 \rightarrow {}^3H_6$ 跃迁, ~607nm)	85
4.5 红、绿双波长激光理论与实验研究	87
4.5.1 实验条件及结果	88
4.5.2 理论分析	96
4.6 本章小结	104
第五章 Pr:YLF 晶体深红光激光性能研究	107
5.1 698nm(π 偏振)深红光激光器	107
5.1.1 阈值条件	107
5.1.2 实验与结果	110
5.2 LD 泵浦 349nm 紫外倍频激光器	114
5.2.1 掺镨紫外倍频激光研究进展	114
5.2.2 倍频参数及结果	115
5.3 LD 泵浦 696nm(σ 偏振)激光器	120
5.4 本章小结	122
第六章 总结与展望	123
6.1 已研究的内容	123

6.2 本论文创新点	124
6.3 待研究的问题	125
附录 Pr ³⁺ 在 YLF 晶体中的能级位置	127
参考文献	129
读博期间发表的论文和申请专利	143
致谢.....	145

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学博硕士学位论文摘要库

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.

厦门大学博硕士学位论文摘要库