

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: 23120091152693

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

1270nm 级联掺磷光纤拉曼激光器的研究

Studies on 1270nm Cascaded Phosphosilicate Raman Fiber

Lasers

刘鹏

指导教师姓名: 黄朝红 副教授

专业名称: 光学工程

论文提交日期: 2012 年 5 月

论文答辩时间: 2012 年 6 月

学位授予日期: 2012 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2012 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

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）：

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）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘 要

世界卫生组织报告显示,近几年来,全球癌症新增患者以及癌症的死亡人数急剧上升,癌症已经成为威胁人类健康和生命的“头号杀手”。近年兴起的应用到光动力疗法中的直接光激发法因其不需光敏剂、副作用小、治疗周期短、对其他生物组织损伤小和剂量可以准确评估等特点而受到关注。根据氧分子及其双聚物的吸收光谱和光吸收特征,1270nm 波长具有最强的吸收且作用深度深,因而1270nm 光纤激光器成为了最近用于光动力疗法的激光器中的一大研究热点。

本论文基于光纤中受激拉曼散射的基本原理,对不同结构的1270nm 二级级联掺磷光纤拉曼激光器(Raman Fiber Laser, RFL)进行了实验研究。

(1) 对光纤环形镜(Fiber Loop Mirror, FLM)作为掺磷 RFL 腔镜时的激光输出特性进行了实验研究。结果表明,FLM 做高反镜可以有效减少 Stokes 光从窄带光纤布拉格光栅(FBG)端口的泄露,提高激光器的光-光转换效率和斜效率。

(2) 结合掺磷光纤拉曼增益谱,创新性地设计了混合利用 1330cm^{-1} 频移和 197cm^{-1} 频移的1270nm 二级级联掺磷 RFL 结构并进行了详细的实验研究。实验使用1064nm 掺镜双包层光纤激光器,分别以前向和后向方式对基于 FBG 的对称腔结构和基于 FLM 的非对称腔结构的1270nm 二级级联掺磷 RFL 进行泵浦。实验结果表明,非对称腔结构因为有效减少了腔内 Stokes 光的泄露,因而具有更低的激光阈值、更高的光-光转换效率和斜效率。同时前向泵浦方式比后向泵浦方式具有更好的激光输出参数。

基于 FLM 做高反镜时的宽带反射特性,对非对称腔结构进行了一定的改进,采用前向泵浦方式,获得了最优的实验结果。改进型结构的激光阈值为2.83W,在泵浦功率为8.6W 时,获得了2.468W 的激光输出,斜效率为37.4%,光-光转换效率为28.7%。

关键词: 受激拉曼散射; 光纤环形镜; 光纤布拉格光栅; 掺磷光纤拉曼激光器

厦门大学博硕士学位论文摘要库

ABSTRACT

Reports from World Health Organization show that the number of global new cancer patients and cancer deaths have risen sharply in recent years. Cancer has become the NO.1 killer with grave threat to human health and life. Recently, the direct optical excitation method used in the current photodynamic therapy(PDT) with advantages of no need of photosensitizer, weak side effects, short treatment cycle, little damage to other biological tissue and accurate assessment of the dose, is highly concerned. According to the dual polymer absorption spectra and optical absorption characteristics of oxygen molecule and its dual polymer, the wavelength of 1270nm has the strongest absorption and very deep treat depth. As a result, 1270nm fiber laser used in PDT is becoming a hot topic.

Based on the basic principles of Stimulated Raman Scattering(SRS), 1270nm two-cascaded phosphosilicate Raman fiber laser(RFL) with different structures are investigated experimentally.

(1) Features of output laser are researched experimentally while fiber loop mirrors(FLM) are used as cavity mirrors of RFL. Results show that FLM used as a highly-reflective mirror can effectively reduce the leakage of Stokes wave from the narrow band FBG, improving optical to optical conversion efficiency and slope efficiency.

(2) Combined with Raman gain spectra of phosphosilicate fiber, an innovative design of 1270nm two-cascaded phosphosilicate RFL is presented and studied experimentally in detail with a mixed use of 1330cm^{-1} Raman shift and 197cm^{-1} Raman shift. Symmetric cavity structure based on FBG and asymmetric cavity structure based on FLM are pumped by 1064nm ytterbium-doped double-clad fiber laser, forward and backward respectively. Results show that asymmetric structure demonstrates a lower Raman threshold, higher slope and conversion efficiency for the effective reduction of optical leakage from the cavity. Simultaneously in comparison

with backward pump configuration, forward pump one shows better laser output parameters.

Some improvements are made based on the broadband reflective features while FLM is used as a highly-reflective mirror. In the forward pump configurations mentioned above, improved structure exhibits the best results. Raman threshold of phosphosilicate RFL with improved structure is 2.83W, output power is 2.468W with pump power of 8.6W, the slope efficiency is 37.4% and the conversion efficiency is 28.7%.

Keyword: Stimulated Raman Scattering, Fiber Loop Mirror, Fiber Bragg Grating, Phosphosilicate Raman Fiber Laser

目 录

摘 要.....	I
ABSTRACT.....	II
第一章 绪 论	1
1.1 光纤激光器的发展	1
1.2 光纤激光器的分类	2
1.2.1 单晶光纤激光器.....	3
1.2.2 塑料光纤激光器.....	3
1.2.3 光子晶体光纤激光器.....	3
1.2.4 稀土类掺杂光纤激光器.....	4
1.2.5 非线性效应光纤激光器.....	6
1.3 光纤激光器的特点及其应用	7
1.4 本论文研究的背景和内容	10
1.4.1 研究背景.....	10
1.4.2 研究内容.....	13
第二章 光纤拉曼激光器的原理和结构.....	15
2.1 自发和受激拉曼散射	15
2.1.1 自发拉曼散射.....	15
2.1.2 受激拉曼散射.....	17
2.2 拉曼增益系数	18
2.3 典型拉曼增益介质及其特性	19
2.4 光纤拉曼激光器的原理、结构类型和发展现状	23
2.4.1 光纤拉曼激光器原理和结构类型.....	23
2.4.2 光纤拉曼激光器的发展现状.....	27
2.5 小结.....	29
第三章 光纤环形镜做掺磷光纤拉曼激光器腔镜的特性研究.....	29
3.1 光纤布拉格光栅简介	29
3.2 光纤环形镜简介	31
3.3 实验原理和装置	32
3.4 实验结果与分析	34
3.5 小结.....	37
第四章 1270nm 级联掺磷光纤拉曼激光器的实验研究	38

4.1 基于 FBG 的对称级联拉曼腔结构	38
4.1.1 前向泵浦结构.....	38
4.1.2 实验结果与分析.....	39
4.1.3 后向泵浦结构及结果分析.....	44
4.2 基于 FLM 的非对称级联拉曼腔结构	46
4.2.1 前向泵浦结构.....	46
4.2.2 实验结果与分析.....	47
4.2.3 后向泵浦结构及结果分析.....	50
4.2.4 基于 FLM 的非对称级联拉曼腔的改进型结构	51
4.3 小结.....	53
第五章 总结与展望	55
5.1 总结.....	55
5.2 研究展望.....	56
参考文献.....	57
攻读硕士学位期间发表的论文	64
致 谢.....	65

Contents

Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Development of Fiber Lasers	1
1.2 Types of Fiber Lasers.....	2
1.2.1 Crystal Fiber Laser.....	3
1.2.2 Plastic Fiber Laser.....	3
1.2.3 Photonic Crystal Fiber Laser	3
1.2.4 RE-doped Fiber Laser	4
1.2.5 Nonlinear Fiber Effect Laser.....	6
1.3 Characteristics and Applications of Fiber Laser	7
1.4 Backgrounds and Contents of the Project	10
1.4.1 Backgrounds of the Project.....	10
1.4.2 Contents of the Project.....	13
Chapter 2 Fundermental Principles and Structures of Raman Fiber Lasers	15
2.1 Spontaneous and Stimulated Raman Scattering.....	15
2.1.1 Spontaneous Raman Scattering.....	15
2.1.2 Stimulated Raman Scattering.....	17
2.2 Raman Gain Coefficient	18
2.3 Typical Raman Gain Mediums and their Characteristics.....	19
2.4 Principles, Structures and Developments of Raman Fiber Laser	23
2.4.1 Principles and Structrues of RFL	23
2.4.2 Developments of RFL.....	27
2.5 Summary.....	29
Chapter 3 Researches on Characteristics of FLM as Cavity Mirrors of Phosphosilicate RFL.....	29
3.1 Brief Introduction of Fiber Bragg Grating.....	29
3.2 Brief Introduction of Fiber Loop Mirror.....	31
3.3 Experimental Principles and Configuration	32
3.4 Results and Disucssions	34
3.5 Summary.....	37
Chapter 4 Experimental Studies on 1270nm Cascaded Phosphosilicate RFL	38

4.1 Symmetric Cascaded Raman Cavity Structures Based on FBG	38
4.1.1 Forward Pump Configuration	38
4.1.2 Results and Discussions	39
4.1.3 Backward Pump Configuration and Analysis of Results	44
4.2 Asymmetric Cascaded Raman Cavity Structures Based on FLM.....	46
4.2.1 Forward Pump Configuration	46
4.2.2 Results and Discussions	47
4.2.3 Backward Pump Configuration and Analysis of Results	50
4.2.4 Improved Asymmetric Cascaded Raman Cavity Based on FLM	51
4.3 Summary	53
Chapter 5 Conclusions and Prospects.....	55
5.1 Conclusions	55
5.2 Future Works.....	56
References	57
Published Paper	64
Acknowledgements	65

第一章 绪论

自从 1960 年美国科学家 T.H. Maiman 发明了世界上第一台激光器——红宝石激光器以来，激光器已经走过了半个多世纪。在这段时间里，激光技术作为一门新技术获得了长足的发展和进步。各种不同类型的激光器渐渐出现在世人面前，例如半导体激光器、固体激光器、气体激光器、染料激光器、光纤放大器和激光器、光学参量振荡及放大器等，与此同时，各种科学和技术领域纷纷应用激光并形成了一系列的交叉学科和应用科学领域，包括信息光电子技术、激光制造、激光医学与生物光子学、激光检测与计量、非线性光学、超快光子学、激光制导、激光武器等。基于激光的重大科学工程已经成为探索自然界奥秘的重要平台，例如我国的神光系列装置、美国的国家点火装置、欧洲的超强激光基础设施等。激光技术正深刻的影响着当代科技、经济和社会生活的发展与变革[1]。

1.1 光纤激光器的发展

作为激光器的一个大类别，光纤激光器也几乎是伴随着第一台红宝石激光器一起成长的。早在 1964 年，C.J. Koester 和 E. Snitzer 等人报道了在玻璃基质中掺激活钕离子(Nd^{3+})所制成的第一台光纤激光器[2]。但是，受到低损耗光纤制作技术和泵浦光源的制约，在接下来的时间里光纤激光器的研究进展缓慢。1966 年，华裔科学家高锟(Charles K. Kao)发表了一篇名为《Dielectric-fibre surface waveguides for optical frequencies》的论文[3]，开创性地提出光导纤维在通信上应用的基本原理，并预言了制造通信用的超低耗光纤的可能性，他也因此与美国科学家 Willard Boyle 和 George Smith 共同获得了 2009 年的诺贝尔物理学奖。1970 年，美国康宁(Corning)公司研制成功损耗为 20dB/km 的低损耗石英光纤[4]，宣告光纤进入低损耗时代，发展到现在石英光纤已经可以设计到接近理论损耗极限值 0.1dB/km。1985 年，英国南安普顿大学的 S.B. Poole 等验证了用化学气相沉积法可以将任何稀土离子掺入光纤纤芯 [5]。同年，R.J. Mears 等人首次报道了镓铝砷半导体激光器泵浦的掺钕单模光纤连续激光器[6]。到 1986 年，R.J. Mears 等人研制成功第一台可调谐调 Q 掺铒(Er^{3+})光纤激光器[7]，在 1.55 μm 波段获得了 25nm 的调谐范围，在调 Q 模式下获得了超过 2W 的峰值功率。1988 年，E.

Snitzer 等人首次描述了包层泵浦光纤激光器[8], 使得高功率的光纤激光器和高功率的光放大器的制作成为了可能, 这也是光纤激光器发展过程中的一个重大转折点。

1993 年, H. Po 等人报道了输出功率为 5W 的掺钕双包层光纤激光器, 输出波长为 1064nm, 激光斜效率为 51%[9]。1999 年, SDL 公司的 V. Dominic 等人首次研制成功超过 100W 的掺镱(Yb^{3+})双包层光纤激光器, 以总功率为 180W 的 4 个半导体激光二极管为泵浦源, 在 1120nm 处获得了 110W 的激光输出, 转换效率为 58%[10]。2003 年, 英国南安普顿大学报道了 272W 单模激光输出的掺镱双包层光纤激光器, 输出波长为 1080nm, 激光斜效率为 85%, 同时报道了 103W 波长为 1565nm 的钕镱共掺双包层光纤激光器[11]。IPG 公司于 2002 年公布了 2000W 的高功率多模光纤激光器 [12], 2005 年报道了输出功率为 1960W 的准单模掺镱光纤激光器, 输出波长为 1075nm[13], IPG 生产的掺镱光纤激光器先后运用于德国不莱梅的 BIAS 公司(17kW)和柏林的 RAM 公司(20kW), 自身也报道了 30kW 的高功率输出光纤激光器[14], 2010 年申请了不同波长的 20kW 级的光纤激光器系统专利[15]。可以预见, 光纤激光器将成为长时间连续输出功率最大的激光器。

1.2 光纤激光器的分类

经过长期发展, 光纤激光器已形成了众多的类别。依据不同的标准, 可对光纤激光器进行大致的分类, 如下表 1.1 所示:

表 1.1: 光纤激光器的分类

分类方法	种类
增益机制	离子掺杂型光纤激光器 非线性光学效应光纤激光器
光纤类别	单晶光纤激光器、塑料光纤激光器、光子晶体光纤激光器、稀土类掺杂光纤激光器、非线性效应光纤激光器等
谐振腔结构	F-P 腔、环形腔、复合腔等
输出方式	脉冲激光器、连续激光器
输出波长	单波长、多波长、可调谐

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