

单频可调谐 $\text{Cr}^{3+} : \text{LiSrAlF}_6$ 激光器的进展

赵卫疆 于俊华 张 华 赵旭光 周更夫
(哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 哈尔滨, 150001)

摘要: 概述了近红外可调谐激光器的发展过程, 对单频可调谐 $\text{Cr}^{3+} : \text{LiSrAlF}_6$ 激光器的发展现状进行了综述, 并对其进一步的发展做了简要分析, 展望了其广泛的应用前景。

关键词: $\text{Cr}^{3+} : \text{LiSrAlF}_6$ 二极管激光器 斜坡效率

Development of single frequency tunable $\text{Cr}^{3+} : \text{LiSrAlF}_6$ laser

Zhao Weijiang, Yu Junhua, Zhang Hua, Zhao Xuguang, Zhou Gengfu
(Institute of Opto-Electronics, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001)

Abstract: This paper summarized the development of near infrared lasers, reviewed the present situation of single frequency tunable $\text{Cr}^{3+} : \text{LiSrAlF}_6$ laser, and briefly analyzed the future development. Finally, it points out that the single frequency $\text{Cr}^{3+} : \text{LiSrAlF}_6$ laser has wide application prospect.

Key words: $\text{Cr}^{3+} : \text{LiSrAlF}_6$ diode laser slope efficiency

引 言

1989 年, 美国劳伦斯利弗莫尔国家实验室首先发现了 $\text{Cr}^{3+} : \text{LiSrAlF}_6$ 晶体, 并研究了它的激光特性^[1]。 $\text{Cr}^{3+} : \text{LiSrAlF}_6$ 晶体属 colquirite 结构, 此类晶体的辐射与吸收光谱较宽。在近红外光谱区的辐射光谱范围为 760nm~1010nm; 在红光区, 宽吸收带的峰值位置与二极管激光器 ($\text{GaInP}/\text{AlGaInP}$) 的 670nm 输出波长相重合, 适于用二极管激光器直接泵浦。 $\text{Cr}^{3+} : \text{LiSrAlF}_6$ 晶体一经出现就受到普遍关注, 在许多条件下已经实现了激光振荡, 包括: 闪光灯^[2]、二极管^[3]泵浦激光器, 超短脉冲激光器^[4], 单频可调谐振荡器^[5], 调 Q 激光器^[6]等。对二极管激光器泵浦可调谐 $\text{Cr}^{3+} : \text{LiSrAlF}_6$ 激光器的研究, 国内起步较晚。目前, 只有西安光机所报道了脉冲式二极管激光器泵浦的 $\text{Cr}^{3+} : \text{LiSrAlF}_6$ 激光器^[7]。

- 13 毛 义, 张以谟. 天津大学学报, 1993; 2: 15~ 20
- 14 郑 刚, 张志伟, 蔡小舒 *et al.* 中国激光, 1998; 25(3): 285~ 288
- 15 Koo J H, Dan Hirlman E. Appl Opt, 1992; 31(12): 2130~ 2140
- 16 Nefedov A P, Petrov O F, Vaulina O S. Appl Opt, 1997; 36: 1357~ 1366
- 17 Coil M A, Farrell P V. Appl Opt, 1995; 34(33): 7771~ 7786

* * *

作者简介: 戴 兵, 男, 1964 年 12 月出生。硕士研究生。从事大学物理的教学和激光微粒测试技术的研究工作。

1 近红外可调谐激光器的发展过程

对于近红外可调谐激光器来说,最早被普遍使用的是染料激光器,它通常采用 Ar^+ 激光器作泵浦源,体积较大,成本也比较高,同时由于染料的安全性等原因,使此类激光器在使用与维护上很不方便。因此,一种染料的替代介质应运而生,这就是掺钛蓝宝石 ($\text{Ti: Al}_2\text{O}_3$) 激光晶体,它与现有染料激光器的泵浦源相适应,也可以采用 Ar^+ 激光器泵浦,这使得将液态基质过渡到固态基质只是将染料池更换为激光晶体即可。 $\text{Ti: Al}_2\text{O}_3$ 在 650~1180nm 有宽的荧光谱区,是一种近理想的红外连续可调谐激光介质。可调谐激光器消除了染料之后,更进一步的发展是减小泵浦源的尺寸与成本,于是,不能直接用半导体激光器泵浦就成为 $\text{Ti: Al}_2\text{O}_3$ 激光晶体不利的方面。虽然有人采用半导体激光器泵浦的 Nd: YAG 激光器作为 $\text{Ti: Al}_2\text{O}_3$ 的泵浦源,研制成全固化的 $\text{Ti: Al}_2\text{O}_3$ 激光器,但是,这样做的缺点是使激光器的整体效率下降,且整体结构复杂。

近年来,由于半导体激光技术的迅猛发展,使直接用半导体激光泵浦的固体激光器受到广泛的关注,半导体激光泵浦固体激光器的体积小、效率高、热负荷小,较易实现单纵模和稳频输出。因此,人们又在努力地寻找可直接用半导体泵浦的固体激光介质, $\text{Cr}^{3+}: \text{LiSrAlF}_6$ 激光晶体正是在这种背景下出现的。此类激光晶体有与 $\text{Ti: Al}_2\text{O}_3$ 晶体相似的荧光发射范围,它在红光波段有较宽的吸收带,其吸收带峰值波长与半导体激光器 (AlGaInP) 的输出波长 (670nm) 相匹配,可直接用半导体泵浦,且上能级寿命远比 $\text{Ti: Al}_2\text{O}_3$ 晶体长,即使在使用闪光灯泵浦和调谐运行时也存在优势,同时还可用作放大介质,是一种良好的全固化近红外可调谐激光材料。

除了半导体激光器直接泵浦的固态可调谐激光器外,另一种更加小型高效的可调谐激光器是本身可调谐的半导体激光器。目前,此类激光器的波长覆盖范围在 780~1060nm,单管波长调谐范围较小,在 10~20nm 左右,其输出线宽及热稳定性也有待于进一步的改善。尽管如此,它仍旧显示出了旺盛的生命力,是近红外可调谐激光器未来的发展方向。

但就现有的技术条件来看,采用半导体激光器泵浦的 $\text{Cr}^{3+}: \text{LiSrAlF}_6$ 激光器来产生近红外单频可调谐激光输出,仍是目前最可行的选择方案。

2 单频可调谐 $\text{Cr}^{3+}: \text{LiSrAlF}_6$ 激光器的发展现状

$\text{Cr}^{3+}: \text{LiSrAlF}_6$ 激光晶体作为一种新型近红外可调谐固体激光材料,有其显著的优势,也存在一定的不足。与其它固体激光材料 ($\text{Ti: Al}_2\text{O}_3$, Nd: YAG 等) 相比^[8],虽然其发射截面较小 (峰值为: $4.8 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$),但荧光寿命较长 (67 μs),连续增益大约是 $\text{Ti: Al}_2\text{O}_3$ 的 2.6 倍,即峰值有效发射截面与荧光寿命之积的比约为 2.6。尽管如此,其仍属于低增益激光介质,要制成低阈值高效率的激光系统,要求有非常低的腔内损耗和高的泵浦光亮度。如果在腔内插入调谐元件,就会使腔内损耗增加,将显著增加激光器的阈值和减小激光器的效率。因此,在 1992 年^[9], Zhang Q 等人首次报道的半导体激光器泵浦 Cr: LiSrAlF_6 单频可调谐激光器中采用了主振荡耦合腔加反馈辅助腔结构,将调谐元件 (干涉滤光片) 放置在辅助腔中,使其产生的腔内损耗大大降低,实现了低阈值、高效率的可调谐激光运转。其结构如图 1a 所示,调谐范围为 858~920nm,在 870nm 处获得最大输出 4.3mW。在以后报道的 Cr: LiSrAlF_6 单频可调谐激光器大多数都是采用这种带有辅助腔的调谐结构,只是采用的调谐元件不同,在调谐性能上做了进一步的改善。1995 年, Ihara M 等人^[10] 采用光栅辅助腔结构的 Cr: LiSrAlF_6 宽带可调谐

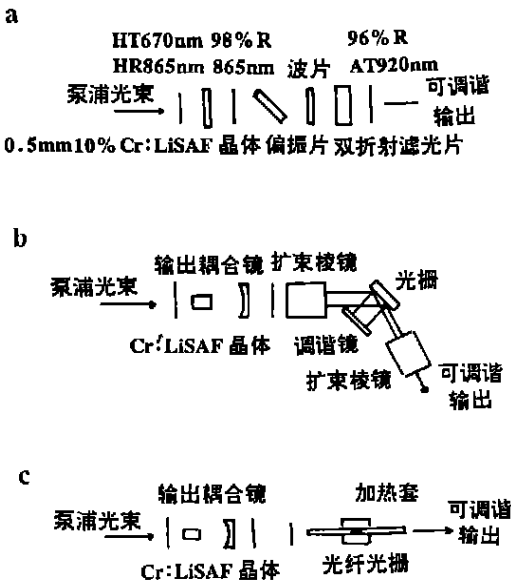


图 1 辅助腔结构 Cr³⁺:LiSAF₆ 激光器结构方案

激光器,其结构如图 1b 所示,在 823nm 获得最大输出为 25mW,同时在辅助腔内加入扩散棱镜对,使单频输出线宽小于 0.002nm。1996 年, Vasa N J 等人^[11]采用光纤光栅做反馈辅助腔结构的 Cr:LiSrAlF₆ 单频可调谐激光器,其结构如图 1c 所示,采用温度调谐在 810~840nm 产生可调谐激光输出,温度调谐系数为 17pm/K。

另一种实现单频可调谐 Cr:LiSrAlF₆ 激光输出的方案是采用环型腔结构,与 Ar⁺ 泵浦的 Ti:Al₂O₃ 环型激光器相比较,由于半导体激光在 Cr:LiSrAlF₆ 晶体内泵浦功率密度比 TEM₀₀ 模 Ar⁺ 激光器在 Ti:Al₂O₃ 晶体内的泵浦功率密度小得多,因此,实现半导体泵浦 Cr:LiSrAlF₆ 环型激光器比实现 Ar⁺ 泵浦的 Ti:Al₂O₃ 环型激光器困难得多。它对泵

浦用半导体激光器、泵浦聚焦光学系统、腔内插入元件的要求均很高。1995 年, Zenzie H H 等人^[12]首次报道了半导体激光器泵浦的 Cr:LiSrAlF₆ 环型激光器,他们证明,内插元件的损耗主要来自于光学单向器,占光学谐振腔总损耗的 50% 以上,无论使用 SF-2 型玻璃制作法拉第元件还是光连接的左旋右旋石英晶体做光学单向器,都无法得到高功率 (> 15mW) 的激光输出。只有在使用 4mm 厚布儒斯特切割的 TGG 斜方六面体做法拉第材料和 0.264mm 厚石英晶体薄片做补偿光学旋转器时,在 862~874nm 范围内实现单频可调谐激光输出,最大输出功率为 32mW,线宽 40MHz。

1995 年, Sutherland J M 等人^[13]报道了一种使人感兴趣的产生单频可调谐激光的新方案,它采用了二重增益区复合腔结构,其结构如图 2a 所示。两增益区之间的石英隔离圈同时起着压缩线宽和频率调谐的作用,实现了输出功率小于 1mW,线宽小于 20MHz 的单频激光输出。当输出功率大于 1mW 时,产生多纵模激光输出,通过改变温度可在 847~875nm 范围内实现可调谐激光输出。由于采用温度调谐响应较慢、调谐灵敏度不高,文章中提到可采用压电陶瓷代替石英晶体做隔离圈来改善这一弱点。该方案的优点是结构紧凑、可靠性好、调谐响应灵敏高,是实现 Cr:LiSrAlF₆ 单频可调谐激光输出的理想选择。1997 年, Knappe R 等人^[14]进一步发展了此结构激光器,其结构如图 2b 所示,获得了 800~970nm 宽范围的可调谐激光输出,线宽 1.2MHz,在 890nm 处获得最大输出功率

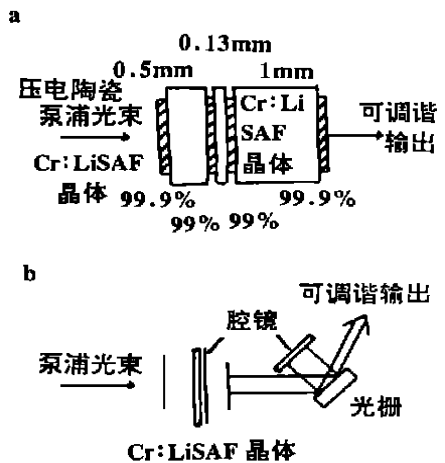


图 2 复合腔结构 Cr³⁺:LiSAF₆ 激光器结构方案

激光技术 jgjs@sina.com

16mW, 该结果是当前报道的 Cr: LiSrAlF₆ 单频可调谐激光器的最佳结果。

3 发展前景展望

由现有的 Cr: LiSrAlF₆ 单频可调谐激光器的研究可以看出, Cr: LiSrAlF₆ 是一种良好的近红外可调谐激光材料, 但也有两个因素制约了其进一步的发展。一方面是材料本身一些不利因素的影响, 与其它掺 Cr 的固体激光介质一样, Cr: LiSrAlF₆ 也存在着激发态吸收和荧光猝灭效应; 另一方面是受到泵浦用半导体激光器的限制, AlGaInP 红光半导体激光器的光束质量和输出功率都有待于进一步提高, 这就使得半导体激光器泵浦的 Cr: LiSrAlF₆ 激光器难以获得较大功率的激光输出。目前, 半导体激光器泵浦的 Cr: LiSrAlF₆ 连续激光器的输出功率可达到瓦级^[15], 脉冲运行的峰值功率可达到几十瓦的量级, 重复频率可达几万赫兹^[16]。随着晶体生长技术和半导体激光技术的进一步发展, 该类器件的输出功率水平会进一步得到提高。这样, 该类激光器就将在需要中等平均功率和高光束质量激光应用的竞争中占据优势, 例如: 计量学、遥感、医学诊断、激光通讯、激光雷达、数据存储、显示技术、光谱应用和泵浦其它激光器等领域。

4 结 论

就现有的实验结果来看, 制成包括一高光束质量的单频可调谐 Cr: LiSrAlF₆ 激光振荡器和一级或多级放大器的系统, 产生峰值输出功率在几百瓦乃至上千瓦量级的高重复频率、高光束质量的单频可调谐激光输出是完全可以实现的。我们认为, 由小型 Cr: LiSrAlF₆ 振荡器产生优质种子光, 再经过放大器后获得高光束质量的高功率激光输出, 是该类激光器走向实用化的必由之路。

参 考 文 献

- 1 Payne S A, Chase L L, Smith L K *et al.* J A P, 1989; 66(3): 1051
- 2 Weber B C, Hirth A. Opt Commun, 1996; 128: 158~ 165
- 3 Kopf D, Keller U, Aemanuel M *et al.* Opt Lett, 1997; 22(2): 99
- 4 Miller A, Likamwa P, Chai B H T *et al.* Opt Lett, 1992; 17(3): 195
- 5 Ihara M, Tsunekane M, Taguchi N *et al.* Electron Lett, 1995; 31(11): 888
- 6 Balembois F, Druon F, Falcoz F *et al.* Opt Lett, 1997; 22(6): 387
- 7 杜戈果, 毛艳丽, 阮双琛. 中国激光, 1998; A25(3): 209~ 212
- 8 Panye S A, Smith L K, Beach R J *et al.* Appl Opt, 1994; 33(24): 5526
- 9 Zhang Q, Chai B H T, Kean P N *et al.* Opt Lett, 1992; 17(1): 43
- 10 Ihara M, Tsunekane M, Taguchi N *et al.* Electron Lett, 1995; 31(11): 888
- 11 Vasa N J, Okada T, Maeda M. Opt Lett, 1996; 21(18): 1472
- 12 Zenie H H, Finch A, Moulton P F. Opt Lett, 1995; 20(21): 2207
- 13 Sutherland J M, Ruan S, Mellish R *et al.* Opt Commun, 1995; 113: 458
- 14 Knappe R, Bitz G, Boller K J *et al.* Opt Commun, 1997; 143: 42
- 15 Kopf D, Keller U. Opt Lett, 1997; 22(2): 99
- 16 Balembois F, Druon F, Falcoz F *et al.* Opt Lett, 1997; 22(6): 387

作者简介: 赵卫疆, 男, 1971年5月出生。博士生。现从事可调谐激光技术研究。

收稿日期: 1999-06-15 收到修改稿日期: 1999-10-13