

掺铬六氟铝酸铯锂可调谐激光器的进展

魏世道

(中国科学院安徽光学精密机械研究所, 合肥, 230031)

摘要: Cr : LiSAF 是一种高效率、宽发射光谱及寿命时间长的激光晶体。Cr : LiSAF 激光器发展极快, 现已提供从可见到近红外区域全固体化宽带可调谐激光及超短脉冲激光。

关键词: 掺铬六氟铝酸铯锂 可调谐激光器

Progress of Cr : LiSAF tunable laser

Wei Shidao

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract: Cr : LiSAF is a kind of laser crystal with high efficiency, broad emission spectrum, and long lifetime. Cr : LiSAF laser has been developing very fast and now all-solid state tunable or ultrashort-pulse laser have been offered from the visible to the near infrared.

Key words: LiSrAlF₆ : Cr³⁺ tunable laser

一、引言

可调谐固体激光器近十年来发展很快, 成为市场上最热门的技术。倍受人们重视, 是因为与染料可调谐激光器相比, 更具有无可比拟的优越性, 如可调谐的波长范围更宽, 系统结构紧凑, 调整方便, 无流动部分, 稳定性好, 工作寿命长, 易于处理等, 使其更适合于航天、遥感、测距、雷达及光通讯等方面的应用。

最近, 美国劳伦斯·利弗莫尔国家实验室相继发现一组室温工作、高效率、掺铬的氟化物晶体激光材料。分子式为 LiMM'M'F₆, M 和 M' 分别为二价及三价金属阳离子。比较成熟的有: Cr³⁺ : LiCaAlF₆ (Cr : LiCAF)^[1], Cr³⁺ : LiSrAlF₆ (Cr : LiSAF)^[2], Cr³⁺ : LiSrGaF₆ (Cr : LiSGF)^[3], LiSrCrF₆ (Lichrom)^[4]。其中掺铬的六氟铝酸铯锂(简称 Cr : LiSAF)具有激光综合特性比较好, 见附表所示, 因此最引人注目, 现已成为继钛宝石(Ti : Al₂O₃)之后, 又一性能优异的固体激光材料。A. Payne 于 1989 年首次报道了这种晶体的激光特性^[2]。随后, Cr : LiSAF 激光器研究活跃, 发展迅速, 目前它已成为近红外区域性能最好的全固体化宽带可调谐激光器, 开始由实验室逐步进入实际应用。

二、Cr : LiSAF 的晶体化学及光谱特性

Cr : LiSAF 是单轴晶体,呈祖母绿色,属氟铝钙锂石结构^[5],三方晶系,空间群(P3̄1C),密度 3.45g/cm³,热传导系数小,稳定性好,熔点 783℃,在晶体结构中,Cr³⁺离子置换具有三次旋转对称轴的 4d 位置的 Al³⁺离子,位于畸变的八面体中心,Cr³⁺离子有 3d³ 电子组态及五重简并轨道,当 Cr³⁺离子作为激活离子进入基质晶格中,由于与基质晶格的电子相互作用而使简并解除,同时这种相互作用将 Cr³⁺电子能级发生分裂,产生四重态→四重态自旋允许跃迁: 4A_{2g}→4T_{2g}, 4A_{2g}→4T_{1g(4F)}, 4A_{2g}→4T_{1g(4F)}及四重态→二重态自旋禁阻跃迁: 4A_{2g}→2E_g。又由于 Cr³⁺离子具有 D₃ 对称性的低晶格场,这就减少了上能级的激发态吸收,使其荧光谱呈现宽带发射,从而形成四能级激光运转系统。

Cr : LiSAF 是一种高效率、宽荧光辐射范围的激光晶体。常温下吸收光谱及发射光谱如附图所示^[2]。双吸收峰位于红、蓝色区,适合于多种光源泵浦,附表表示这类氟化物晶体的重要的激光特性,同时与 YAG、钛宝石进行了比较^[6,3]。从表中我们可以看出,Cr : LiSAF 的上能级存储寿命时间比钛宝石约大 20 倍,因此它很容易用闪光灯泵浦,而它的机械强度比较小、易脆,使用时必须注意,由于结构上的原因,Cr : LiSAF 具有偏振吸收及偏振辐射现象,与 σ 光相比,π 光的受激辐射截面及吸收截面都比较大。而且 π 偏振的近红外光能以较小的损耗通过晶体^[7]。

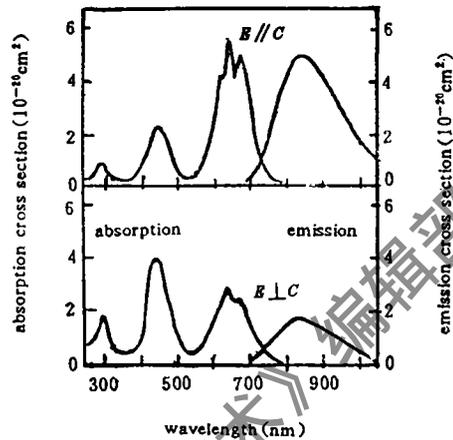


Fig. Absorption and emission spectra of LiSAF : Cr³⁺

Table Summary of the laser properties of solid state materials

host name	tuning range (nm)	peak emission cross section (× 10 ⁻²⁰ cm ²)	storage lifetime (μs)	refractive index	nonlinear index (× 10 ⁻¹³ esu)	thermal diffusivity (cm ² /s)	dn/dT (× 10 ⁻⁶ /°C)
Nd : YAG	1064	40	230	1.82	2.7	0.05	8.9
Ti : Al ₂ O ₃	660~1100	30	3.2	1.76	1.3	0.15	12.6
LiCAF	700~900	2.4	170	1.39	0.45	0.018	-4.6 //C -4.2 ⊥C
LiSAF	750~1000	4.8	67	1.4	0.5	0.019	-40 //C -2.5 ⊥C
LiSGF	800~950	3.3	88				
Lichrom	780~990	3.2	67				

Cr : LiSAF 晶体最初由劳伦斯·利弗莫尔国家实验室以 LiF, SrF₂, AlF₃ 及 CrF₃ 为原料,用区熔法合成出来,这种方法生长的晶体尺寸小,微观缺陷多,损耗大,不能用于激光实验。佛罗里达大学采用提拉法,生长出高质量的晶体。通过技术转让,Lightning 公司现已掌握该晶体的商业化生产技术^[6],成为美国九二年度光子项 25 项优秀产品之一。在国内,中国科学院安徽

光学精密机械研究所率先在 1993 年 6 月生长出高质量的 Cr : LiSAF 晶体。

三、宽带可调谐激光器

A. Payne 首先用 Kr 离子 647nm 激光器泵浦, 实现了 Cr : LiSAF 激光运转, 确定了调谐区域 780~920nm, 中心波长 825nm, 使用 4.8% 输出耦合器获得斜率效率 36%, 推断出最大效率 53%, 量子效率 78%, 短波限归结于 Cr^{3+} 离子基态吸收, 长波限归结于 Cr^{3+} 离子激发态吸收^[2]。接着 Stader 报道了由闪光灯抽运, 既能长脉冲模式又能 Q 开关模式运转的 Cr : LiSAF 激光器的性能, 斜率效率 5%, 总效率 3%, 调谐区域 780~1010nm^[8]。J. Marter 使用金绿宝石 ($\text{BeAl}_2\text{O}_4 : \text{Cr}^{3+}$) 的 750~737nm 调谐激光, 泵浦含铬 2%~7% 的 LiSAF 晶体, 获得 Q 开关振荡放大, 能量 200mJ、脉宽 50ns^[9]。Payne 用 488nm 的氩离子激光激励, 进行高掺杂 (含铬 15%~33%) 的晶体实验, 得到斜率效率 32%, 量子效率 81%^[10]。

Cr : LiSAF 晶体具有宽的增益带, 长的荧光寿命和足够的发射截面结合在一起的优势, 用各种二极管激光器作泵浦源, 实现全固体化宽带可调谐激光器是它目前发展的方向。Scheps 报道了高功率 (265mW), 发射波长 667nm 的激光二极管泵浦含铬 2% 的 LiSAF 激光器, 其最大输出功率 78mW, 斜率效率 45%^[11]。Zhang 使用发射波长 670nm 的二极管激光器泵浦含铬 10% 的 LiSAF 激光器, 确定了阈值低于 10mW, 波长可调谐区域 858~920nm^[12]。Payne 介绍了 AlGaAs 二极管发射波长 750~780nm, 光谱边带泵浦掺铬 15%~33% 的 LiSAF 的激光性能, 输入功率 300mW, 输出功率 30mW, 阈值 65mW, 斜率效率 12.8%^[10]。青岛绅一郎宣布, 他们已研制成功世界上第一台波长连续可调, 宽度达 100nm 以上的全固体化的 Cr : LiSAF 激光器。该器件是由主谐振腔和副谐振腔构成的双谐振腔结构, 用副谐振腔对波长进行选择 and 纯化后, 将光反馈到主谐振腔。这种方法叫做波长选择同步法。897nm 处最大输出光强 41mW, 调谐区域 821.8~922.5nm, 短波长端 (821.8nm) 和长波长端 (922.5nm) 的输出光强分别为 9.4mW 和 28.2mW。这种激光器既实现高输出, 窄线宽, 宽带调谐, 又由于主振荡器经常振荡, 具有调整简单的优点^[13]。

四、超短脉冲激光器

利用 Cr : LiSAF 晶体产生超短脉冲的研究目前也十分活跃。Miller 用 647nm 的 Kr 离子激光器泵浦, 采用主动锁模技术, 声光调制器, 晶体含铬 2%, 长 15mm, 已得到重复频率 82MHz, 脉宽 150fs, 脉冲调谐区域 800~880nm^[14]。Rizvi 从连续波 Cr : LiSAF 激光器获得 48fs 的超短脉冲^[15]。该激光器由氩离子激光器 488nm 谱线泵浦, 使用腔内可饱和吸收器被动锁模技术。晶体长 23mm, 铬含量 15%, 新的发展在腔内由 SF-10 玻璃构成的布儒斯特棱镜组合, 用于内腔群速色散补偿, 输入功率 1.3W, 平均输出功率 135mW, 脉冲调谐区域 819~844nm。Miller 又采用自锁模技术, 获得 33fs 的脉冲。预期新的锁模 Cr : LiSAF 激光器将把脉宽压窄到 10fs 以下^[16]。

Cr : LiSAF 晶体具有 67 μs 的能量存储时间, 是线性调频脉冲放大器使用的好材料。Perry 已研制了一个由闪光灯泵浦的 Cr : LiSAF 环形反馈放大器, 用来接收从锁模的钛宝石振荡器产生 10nJ, 100fs 的脉冲, 把它们放大一千万倍, 在 10Hz 的重复频率下产生能量 10mJ、脉宽 150fs^[6]。Balembois 报道了用 Kr 离子激光器泵浦的 Cr : LiSAF 高重复再生放大器, 该放大器

把钛宝石的飞秒级脉冲放大,得到 5kHz 下,10 μ J,7ns 的脉冲。激励光强 3.6W,该放大器也可能在 15kHz 下运转^[17]。While 开发了钛宝石/Cr:LiSAF 组合型放大器,初级钛宝石放大器产生 10Hz 的重复频率、45mJ 的脉冲注入到由闪光灯泵浦的 Cr:LiSAF 第二级单通道放大器,晶体尺寸为 $\varnothing 9.5\text{mm} \times 120\text{mm}$,这两级放大的结果,最终得到 1Hz,150mJ,120fs,1.2TW $> 10^{18}\text{W/cm}^2$ 的光脉冲^[18]。

五、Cr:LiSAF 激光器的应用前景

由二极管激光器直接泵浦 Cr:LiSAF 晶体可以组成全固体化可调谐激光系统,这种激光系统结构紧凑,具有高效率,高可靠性及长寿命等特性,非常适用于高灵敏激光雷达,照明器,遥感及星载/机载系统。这种近红外激光经倍频,产生最佳蓝色激光,这是海下通信及探测的最佳“海水”窗口,美国海军技术局正在进行这方面的应用研究工作。现在美国劳伦斯·利弗莫尔国家实验室,佛罗里达大学光电激光中心,英国伦敦帝国学院飞秒研究组,相继开展了 Cr:LiSAF 超短脉冲的研究工作。迄今,台面大小的极紧凑线性调频脉冲放大光源已达兆瓦峰值功率,这种激光器被用来研究超强光场中的物理现象和产生真空紫外的超高次谐波^[19]。由于 Cr:LiSAF 激光器能提供 800~900nm 范围束质优良的高功率激光束,可以作为砷化镓为基的数字处理器阵列的荧光激发,诸如多量子阱 SEED 逻辑元件和其它的空间调制器。还可用于高速数字系统的高一体性同步脉冲领域的其它应用。在长途光通讯相兼容的超快开关和孤立子传输方法的长波长下^[15],在电-光取样,计量计测领域中,都需要 Cr:LiSAF 这种高效率的超短脉冲光源^[13]。全固体化 Cr:LiSAF 激光器,由于不存在浓度荧光猝灭现象,性能稳定,体积小,重量轻,可以取代现存的毫微秒中的 Nd:YAG/染料和 Nd:YAG/钛宝石激光系统^[19]。

Cr:LiSAF 晶体在结构和物化性能方面与 Nd:LiYF₄ 不同,但在生长方法及厌氧怕湿方面完全相同。Cr:LiSAF 激光器在调谐方法上可借鉴染料及钛宝石激光技术,而目前,Nd:LiYF₄ 生长工艺及钛宝石激光器的调谐技术已相当成熟,这为 Cr:LiSAF 激光器的发展奠定了良好的基础,可以预计,随着晶体质量的提高及各种激光技术的改进,Cr:LiSAF 这种全固体化、小型化,高效率宽调谐激光器将取得不断的发展,成为主要的可调谐激光和超短脉冲光源并应用于更多的领域。

参 考 文 献

- 1 Payne S A, Chase L L, Newkirk H W *et al.* IEEE J Q E, 1988; 24: 2243
- 2 Payne S A, Chase L L, Smith L K *et al.* J A P, 1989; 66: 1051
- 3 Smith L K, Payne S A, Kway W L *et al.* IEEE J Q E, 1992; 28: 2612
- 4 Smith L K, Payne S A, Krupke W F *et al.* Opt Lett, 1993; 18: 200
- 5 Kathleen B, Schaffers J, Keszler D A. Acta Cryst, 1991; C47: 18
- 6 Perry M D. L F World, 1991; 11: 69
- 7 Payne S A, Chase L L, Wilke C D. Journal of Luminescence, 1989; 44: 167
- 8 Stalder M, Chai B H T, Bass M. A P L, 1991; 58: 216
- 9 Hærtter D, Squier J, Mourou G. Opt Lett, 1992; 17: 1512
- 10 Payne S A, Krupke W F, Smith L K *et al.* IEEE J Q E, 1992; 28: 1188
- 11 Scheps R, Mvers J F, Serreze H B *et al.* Opt Lett, 1991; 16: 820
- 12 Zhang Q, Dixon C J, Chai B H T *et al.* Opt Lett, 1992; 17: 43

Glan-Taylor 偏光棱镜的设计

高宏刚 裴庆魁

(应用光学国家重点实验室, 长春, 130022)

摘要: 本文介绍的 Glan-Taylor 棱镜是一种重要的 Glan 型冰洲石偏光棱镜, 广泛用于各种光学系统中。本文从半视场角与棱镜切割角的关系入手, 分析了影响 Glan-Taylor 棱镜结构的若干参量, 并介绍了一种棱镜设计方法, 可以用于任一波段起偏的这种棱镜实现结构的优化设计。

关键词: 棱镜 偏振器件

The design of Glan-Taylor polarizing prism

Gao Honggang, Pei Qingkui

(State Key Laboratory of Applied Optics)

Abstract: The Glan type iceland spar prism is a widely used as the polarizers. Based on the semifield angle and cut angle of prism, this paper introduces a set of principle parameters and a design method for Glan-Taylor prism. With the help of the method, the structure of Glan-Taylor prism can be optimized in any wavelength.

Key words: prism polarizer

一、引言

Glan 型棱镜是目前较常见的一类冰洲石偏光棱镜, 具有偏振度高、机械稳定性好、透过率高等特点, 是优秀的起偏器件, 广泛用于各种光学系统中。Glan-Taylor 棱镜是一种重要的 Glan

- 13 青岛绅一郎, O Plus E, 1992, 12: 102
14 Miller A, Likamwa P, Chai B H T *et al.* Opt Lett, 1992, 17: 195
15 Miller A, Likamwa P, Chai B H T, Optics & Photonics news, 1992, 3: 39
16 Rizvi N H, French P M W, Taylor J R. Opt Lett, 1992, 17: 877
17 Balembois F, Georges P, Salin F *et al.* Technical digest of ultrafast phenomena, Postdeadline Papers, FC 28. 1992
18 White W E, Hunter J R, Woerkon L V *et al.* Opt Lett, 1992, 17: 1067
19 Chase L L, Payne S A. Optics & Photonics, 1990, 8: 16

* * *
作者简介: 魏世道, 男, 1946 年出生。工程师。现主要从事激光、非线性光学及可调谐激光晶体的研究工作。

收稿日期: 1993-11-24