

Ce³⁺ : LiCaAlF₆ 紫外激光器的研究*

曾 峰 杜晨林 阮双琛**

(深圳大学工程技术学院, 深圳 518060)

摘 要 报道了利用 Nd : YAG 四倍频 266 nm 脉冲激光端面泵浦 Ce : LiCAF 晶体, 采用平凹谐振腔, 输出 296 nm 波长紫外激光. 当输出镜透过率为 20%, 入射泵浦能量为 13.5 mJ 时, 获得最大输出激光脉冲能量为 270 μJ, 脉冲宽度为 3.4 ns, 输出激光峰值功率为 79.4 kW, 光-光转换效率为 2%, 斜效率为 1.6%.

关键词 全固态激光器; Ce³⁺ : LiCaAlF₆ 晶体; 紫外激光

中图分类号 TN248.4 **文献标识码** A

0 引言

可调谐紫外激光器在生物学、医学、物理学、化学、环境遥测及军事等领域有着十分重要的应用, 近十年来, 已成为国际上激光器的研究热点^[1~7].

理论研究和实验表明: 泵浦掺有稀土元素离子的激活晶体是获得可调谐紫外以及真空紫外激光输出的最简单方法, 其中最合适的稀土元素离子是铈离子 (Ce³⁺)^[8,9]. 早期人们采用 Ce³⁺ : LiYF₄, Ce³⁺ : LiLuF₄ 等激光晶体由于激光晶体的光化学性质不稳定以及激发态吸收的影响, 只实现了固态紫外激光器在窄范围内的调谐运转. 当时采用的泵浦源是准分子 (KrF 或 ArF) 激光器. 近年来, 人们又研制了一批新的固体可调谐紫外激光晶体, 这些晶体都是掺有 Ce³⁺ 的氟化物晶体, 其中掺铈的氟化铝酸钙锂 (Ce³⁺ : LiCaAlF₆, 简称 Ce : LiCAF) 晶体是一种新型而优良的紫外可调谐激光晶体. 1993 年俄罗斯喀山大学 M. A. Dubinskii 等人首先报道了 Ce : LiCAF 晶体的激光特性, 并利用 Nd : YAG 激光器四倍频 266 nm 脉冲激光泵浦晶体得到了 288 nm 的激光输出^[1], 成为首台采用 Ce : LiCAF 的全固态可调谐紫外激光器. 1994 年 C. D. Marshall 等对 Ce : LiCAF 特性进行了更进一步的研究^[2].

本文报道了采用平凹谐振腔利用 Nd : YAG 激光器四倍频 266 nm 脉冲激光端面泵浦 Ce : LiCAF 晶体获得 296 nm 波长紫外激光, 并对实验数据进行了分析和讨论.

1 实验装置

实验所用的 Ce : LiCAF 激光晶体样品尺寸为 5×5×5 mm³, Ce³⁺ 掺杂浓度为 1%. 晶体的前后两

个通光表面都没有镀膜. 为了去除激光晶体在抽运下产生的大量热量, 减小激光晶体的热效应, Ce : LiCAF 晶体侧面用铝箔包裹置于紫铜块内, 但实验中没有采用相应的制冷装置来控制晶体的温度.

实验装置如图 1. 实验中采用的激光谐振腔是平凹腔结构, 简单且易于调整. 整个谐振腔长约为 64 mm. 实验中将 Nd : YAG 四倍频激光器输出的 266 nm 脉冲激光作为泵浦光源, 其偏振方向为竖直偏振, 重复频率为 30 Hz, 脉冲宽度约为 7.3 ns. M₁ 和 M₂ 均为平面镜, 表面均镀 266 nm 全反膜. L 为焦距 160 mm 的双凸透镜, 前后表面均没有镀膜. D 为可调光阑. M₃ 和 M₅ 为平面双色镜, 表面均镀 266 nm 高透膜和 280~320 nm 全反膜. M₄ 为平凹耦合输出镜, 凹面曲率半径为 250 mm, 在 280~320 nm 波段的透过率为 20%. 根据 ABCD 定律, 计算激光晶体处的腔模半径为 98 μm.

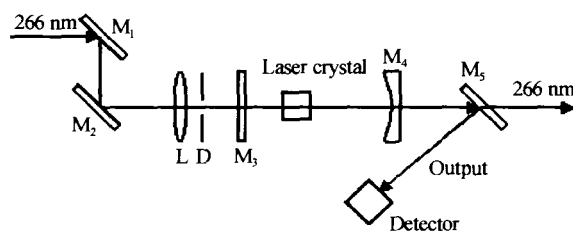


图 1 实验装置

Fig. 1 The schematic of the experimental setup

根据端面泵浦的模匹配条件, 266 nm 泵浦光输出通过双凸透镜聚焦到 Ce : LiCAF 晶体上, 通过可调光阑 D 调整泵浦光斑的大小, 达到最佳匹配效果.

2 实验结果和分析

图 2 为输出激光脉冲能量与泵浦能量的变化关系. 激光器的泵浦阈值功率小于 3.4 mJ. 从图中可以看到, 在从阈值上升到 7.9 mJ 的过程中, 激光器的输出能量基本成线性增长. 当输入能量继续增加, 激光器输出能量增长趋缓. 这可能是由晶体的热效应和晶体的掺杂浓度过高等因素所引起的, 从

* 固体激光技术国防科技重点实验室项目资助 (00JS08. 3. 1. QT5101)

** Tel: 0755-26536215 Email: scruan@szu.edu.cn

收稿日期: 2004-09-27

而使谐振腔逐步从稳定腔向非稳腔过渡,激光器的输出能量增长逐渐趋缓.当入射泵浦能量为 13.5 mJ 时,获得了最大输出激光脉冲能量为 270 μ J,光-光转换效率为 2%,斜效率为 1.6%.

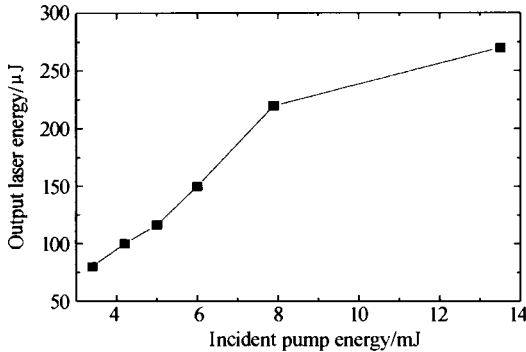


图 2 输出激光能量与泵浦能量的关系
Fig. 2 Laser output energy as function of incident pump energy

利用 WDG30 型光栅单色仪(北京光学仪器厂产,光栅刻线密度为 600 线/mm)测量输出激光的波长,测得输出激光的波长为 296 nm.

图 3 为输出激光脉冲宽度随泵浦能量的变化关系.从图中可以看出,当泵浦能量从 3.4 mJ 增大到 13.5 mJ 时,输出激光的脉冲宽度也从 1.8 ns 增加到 3.4 ns.随着泵浦能量的增加,脉冲宽度也在不断的增加.而且,随着泵浦能量的增加,脉冲宽度的变化趋于缓慢.图 4 为在泵浦能量为 7.9 mJ 时的输出激光脉冲波形图.

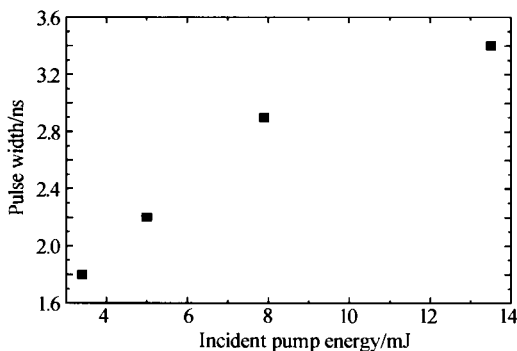


图 3 输出激光脉冲宽度与泵浦能量的关系
Fig. 3 Laser output pulse width as a function of incident pump energy

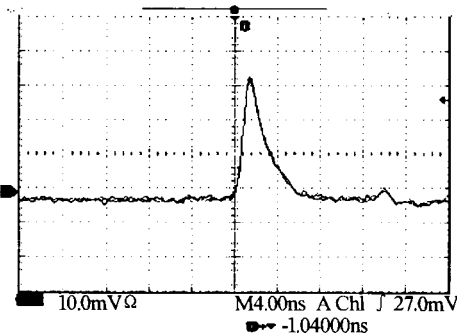


图 4 输出激光脉冲波形
Fig. 4 Pulse profile of the output laser

图 5 为输出激光的峰值功率随泵浦能量的变化关系.当入射泵浦能量为 13.5 mJ 时,获得了最大输出激光峰值功率为 79.4 kW.从图中可以看出,峰值功率随着泵浦能量的增加而增加,几乎是线性关系.

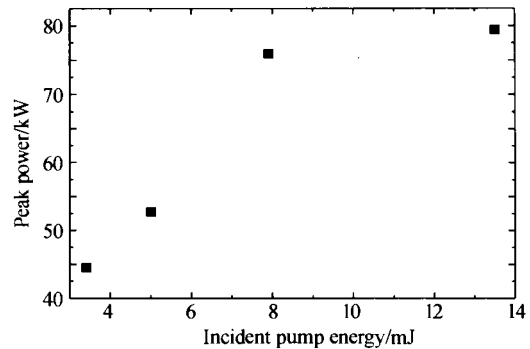


图 5 峰值功率与泵浦能量的关系
Fig. 5 Laser peak power as a function of incident pump energy

与已有的实验结果相比^[1,3],本文报道的结果输出能量较小、效率较低,主要原因有:1)由于实验所用 Ce : LiCAF 晶体的前后两个表面都没有镀膜,从而影响输出激光的光束质量和模式;2)实验所用的晶体掺杂浓度过高以及晶体没有采取相应的冷却措施,所以导致晶体的热效应比较明显;3)Nd : YAG 四倍频泵浦光的光束质量不好;此外,谐振腔镜的镀膜和光学耦合系统的设计,也都影响实验结果.总之,减小晶体的热效应以及改善泵浦系统,从而提高输出功率和效率是今后研究的主要内容.

3 结论

利用 Nd : YAG 四倍频 266 nm 脉冲激光端面泵浦掺杂浓度为 1% 的 Ce : LiCAF 晶体,采用平凹谐振腔,获得波长为 296 nm 的激光输出.当输出镜透过率为 20%,入射泵浦能量为 13.5 mJ 时,输出激光脉冲能量为 270 μ J,脉冲宽度为 3.4 ns,输出激光峰值功率为 79.4 kW,光-光转换效率为 2%,斜效率为 1.6%.同时,对实验数据进行了分析和讨论,为我们今后可调谐紫外激光器的实验研究奠定了基础.

参考文献

- 1 Dubinskii M A, Semanshko V V, Naumov A K, *et al.* A new concept of all-solid-state tunable ultraviolet laser. *J Mod Opt*, 1993, **40**(1):1~5
- 2 Marshall C D, Speth J A, Payne S A, *et al.* Ultraviolet laser emission properties of Ce³⁺-doped LiSrAlF₆ and LiCaAlF₆. *J Opt Soc Am B*, 1994, **11**(10):2054~2065
- 3 Pinto J F, Rosenblatt G H, Esterowitz L. High performance Ce³⁺ : LiSrAlF₆/LiCaAlF₆ UV lasers with extended tunability. *Electron Lett*, 1995, **31**(23):2009~

- 2011
- 4 Sarukura Nobuhiko, Liu Zhenlin, Segawa Yusaburo, *et al.* Ce : LiLuF₄ as a broadband ultraviolet amplification medium. *Opt Lett*, 1995, **20**(3):294~296
 - 5 Sarukura Nobuhiko, Liu Zhenlin, Ohtake Hideyuki, *et al.* Ultraviolet short pulses from an all-solid-state Ce : LiCAF master-oscillator-power-amplifier system. *Opt Lett*, 1997, **22**(13):994~996
 - 6 Rambaldi P, Moncorge R, Wolf J P, *et al.* Efficient and stable pulsed laser operation of Ce : LiLuF₄ around 308 nm. *Opt Commun*, 1998, **146**(1):163~166
 - 7 McGonigle A J S, Coutts D W, Girard S, *et al.* A 10 kHz Ce : LiSAF laser pumped by the sum-frequency-mixed output of a copper vapour laser. *Opt Commun*, 2001, **193**(6):233~236
 - 8 巨养锋, 阮双琛. Ce^{3+} 可调谐固体紫外激光器研究进展. 光子学报, 2000, **29** (Z1):161~165
 - Ju Y F, Ruan S C. *Acta Photonica Sinica*, 2000, **29** (Z1):161~165
 - 9 巨养锋, 罗烽, 姜连勃, 等. 可调谐紫外激光器研究进展. 深圳大学学报(理工版), 2001, **18**(3):13~18
 - Ju Y F, Luo F, Jiang L B, *et al.* *J Shenzhen University (Science & Engineering)*, 2001, **18**(3):13~18

The Research on $\text{Ce}^{3+} : \text{LiCaAlF}_6$ Ultraviolet Laser

Zeng Feng, Du Chenlin, Ruan Shuangchen

School of Engineering and Technology, Shenzhen University, Shenzhen, Guangdong 518060

Received date: 2004-09-27

Abstract A Ce : LiCAF ultraviolet laser at 296 nm end-pumped by the fourth harmonic of Nd : YAG laser with plano-concave resonator is reported. With the 20% transmission output coupler, the maximum output pulse energy of 270 μJ , the pulse width of 3.4 ns and the peak power of 79.4 kw are obtained at the incident pump energy of 13.5 mJ. The corresponding optical conversion efficiency and the average slope efficiency are calculated to be 2% and 1.6%, respectively.

Keywords Solid-state lasers; $\text{Ce}^{3+} : \text{LiCaAlF}_6$; UV lasers



Zeng Feng was born on Oct. 1, 1980, in Hunan Province, China. He received the B. S. degree in optical engineering from Changchun University of Science and Technology (CUST) in 2003. He is currently working toward the M. S. degree in the School of Engineering and Technology, Shenzhen University. His main research interest covers solid-state lasers and nonlinear optics.