

高效率 $\text{Cr}^{3+} \cdot \text{LiSrAlF}_6$ 激光器的研究*

徐 瑶 陶世平 孔羽飞 徐秀俐 房晓俊 许祖彦

(中国科学院物理研究所光物理实验室 北京 100080)

魏世道 陶德节 韩奇阳 王爱华 杭 寅

(中国科学院安徽光机所 合肥 230031)

提要 研究了用有机染料进行抽运光光谱转移提高抽运效率的可能性。氙灯脉冲宽度从 181 μs 降到 118 μs , 激光输出斜效率提高了 17%。采用 R-640 染料光谱转移实现光谱匹配, 斜效率提高了 10%, 采用 120 μs 的脉冲抽运光及用有机染料 R-640 对氙灯抽运光进行光谱转移, 抽运 Cr^{3+} 浓度为 5(at-%), 尺寸为 $\phi 6 \text{ mm} \times 45 \text{ mm}$ 的 $\text{Cr}^{3+} \cdot \text{LiSAF}_6$ 激光晶体, 中心波长为 830 nm, 获得 1 J 的激光能量输出。

关键词 $\text{Cr}^{3+} \cdot \text{LiSAF}_6$, 氙灯抽运, 光谱转移

1 引 言

掺铬氟化铝锶锂($\text{Cr}^{3+} \cdot \text{LiSrAlF}_6$, 以下简称 LiSAF) 是一种继钛宝石之后新的优秀的可调谐激光晶体, 具有长的上能级寿命。LiSAF 激光上能级寿命为 67 μs , 远大于钛宝石激光上能级寿命(3 μs), 适合于氙灯抽运, 即可用成熟的廉价抽运源。氙灯脉冲宽度影响激光抽运效率。LiSAF 也可用红光二极管激光(LD)抽运, 做成小型全固化激光器。

LiSAF 吸收谱和发射谱有明显的偏振特性, 吸收谱有三个吸收峰^[1], 中心波长在 280 nm, 440 nm 和 670 nm, 可设计抽运光匹配 LiSAF 的吸收谱以提高抽运效率。LiSAF 发射谱在 700 ~ 1100 nm 处, π 偏振辐射截面达 $5 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$, 具有高转换效率。LiSAF 晶体在红光区有宽的吸收峰, 适合用红光二极管激光或氙灯抽运, LiSAF 激光器是造价低而又具有高效率、宽调谐的近红外激光器。本文在研究 LiSAF 晶体特性的基础上研究提高氙灯抽运的 LiSAF 激光输出特性。采用形成网络使氙灯光脉冲变窄, 以匹配 LiSAF 激光上能级寿命, 并用光谱转移手段, 将短波长的抽运光部分转移到 LiSAF 吸收谱处, 使转移的抽运光谱匹配 LiSAF 的吸收光谱。短脉冲氙灯和高能量输入氙灯谱将向短波长方向移动——即波长蓝移, 光谱转移就更有意义。

T. Ditmire 和 M. D. Perry 报道^[2]的实验结果是当氙灯脉冲宽度从 200 μs 压缩到 140 μs 时, 抽运效率可提高 18%。用 R-6G 的 LiCAF 的抽运光光谱转移效果^[3]可提高斜效率 9%。LiSAF 的光谱转移的抽运效果未见报道。我们对 LiSAF 激光用 R-640 染料进行光谱转移的实验, 获得了斜效率相对提高 10% 的激光输出增长效果。

* 国家九五 863 计划重点资助项目。

收稿日期: 1998-11-16; 收到修改稿日期: 1999-01-14

2 实验及实验结果

本文研究氙灯抽运的 LiSAF 激光器, 其腔长为 750 mm, 闪光灯尺寸为 $\phi 7 \text{ mm} \times 72 \text{ mm}$, LiSAF 晶体棒尺寸为 $\phi 6 \text{ mm} \times 45 \text{ mm}$, Cr^{3+} 掺杂浓度为 5% (at-%), 灯和棒采用全腔水冷。

采用平行平面腔研究氙灯的脉冲宽度匹配效果和研究氙灯光谱转移匹配效果。

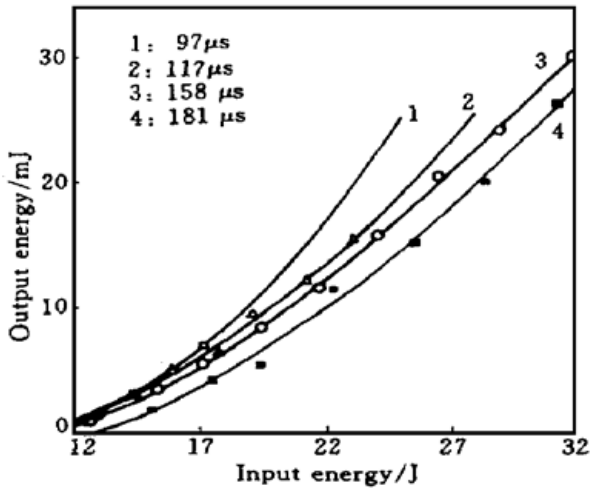


图 1 不同抽运脉宽时激光输出与输入的关系

Fig. 1 Laser output vs input energy with different pump pulse duration

(1) LiSAF 激光上能级寿命为 $67 \mu\text{s}$, 而 YAG 激光用脉冲宽度为 $200 \mu\text{s}$ 的常规氙灯, 这种氙灯脉冲与 LiSAF 上能级寿命匹配不好, 形成能量浪费, 同时过宽的脉冲能量将转化成热能而引起不利的热效应。为解决这一问题, 我们采用成形网络电路 (pulse-forming network), 其实验结果见图 1。

图 1 为不同氙灯脉冲宽度下输出激光相对于输入能量的曲线, 脉宽从 $181 \mu\text{s}$ 降到 $118 \mu\text{s}$, 斜效率提高 17%。可以看到脉冲变短激光输出的斜效率增高。短脉冲放电将衰减氙灯寿命, 一般采用一适当值, 约为 $120 \sim 140 \mu\text{s}$, 以后的实验采用 $120 \mu\text{s}$ 氙灯脉冲宽度作为固定条件。

(2) LiSAF 的吸收谱线在氙灯发射谱线区域内, 因此氙灯可有效抽运 LiSAF 激光, 但氙灯发射谱与 LiSAF 吸收谱不完全匹配。本研究对抽运光进行光谱转移, 即用有机染料吸收氙灯光谱, 有机染料吸收氙灯光后再发射光 (荧光) 的光谱在 LiSAF 的吸收光谱区域, 形成光谱转移匹配, 以提高抽运效率。

图 2 (a) 为氙灯光谱, 图 2 (b) 为 LiSAF 的吸收谱^[1], LiSAF 的吸收谱不完全覆盖氙灯谱,

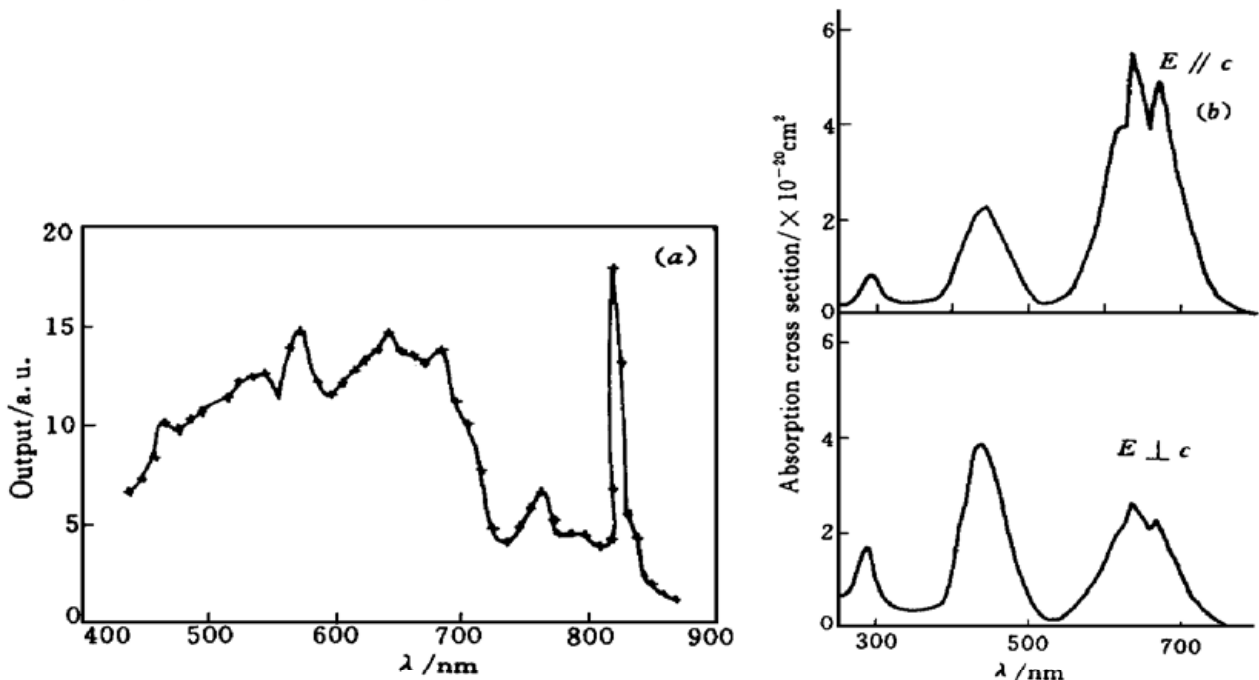


图 2 (a) 闪光灯光谱; (b) LiSAF 吸收谱线

Fig. 2 (a) Spectrum of flashlamp; (b) Absorption spectrum of LiSAF

氙灯光中有一部分光谱不被吸收而影响抽运效率,同时剩余光也会转换成不利的热效应。

图 3 为 R-640 染料的吸收谱和荧光发射谱。从图上可以看到, R-640 染料可吸收短波长的氙灯光谱而使发射谱转移至 LiSAF 的吸收光谱区,使抽运光谱与 LiSAF 吸收光谱匹配。

图 4 为输入能量 70 J,用 R-640 染料转移光谱时,输出激光与 R-640 染料浓度的关系(输出 $T = 5\%$),由于染料的自吸收问题,存在一个最佳的染料浓度值,为 $3.5 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$ 。

有机染料使用不同溶剂可引起吸收和发射谱的变化,影响到光谱转移效果,本实验分别用水和酒精作 R-640 的溶剂,比较发现酒精溶剂溶解 R-640 可以得到较好的光谱转移效果。

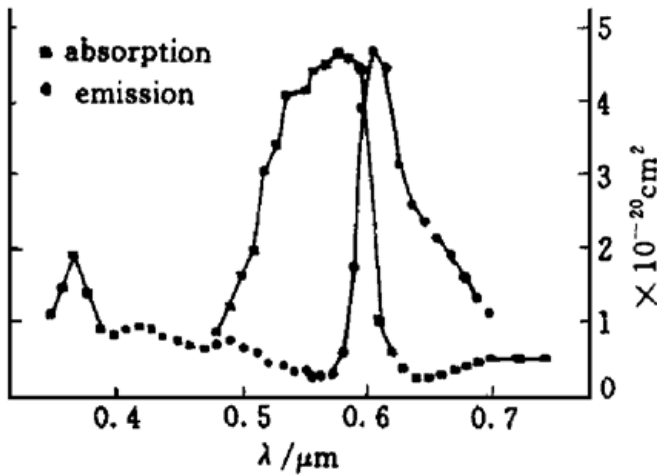


图 3 染料 R-640 的吸收光谱和发射光谱

Fig.3 Absorption spectrum and emission spectrum of R-640

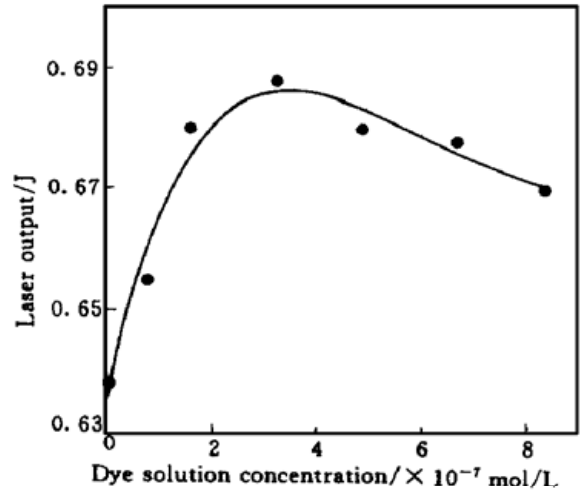


图 4 染料浓度与激光输出的关系

Fig.4 Laser output energy vs dye concentration

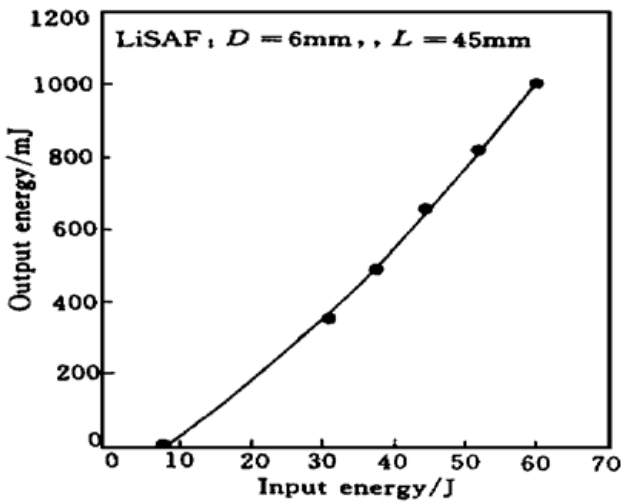


图 5 光谱转移后抽运能量与输出能量的关系

Fig.5 Output energy vs pump energy with the spectrum transformation

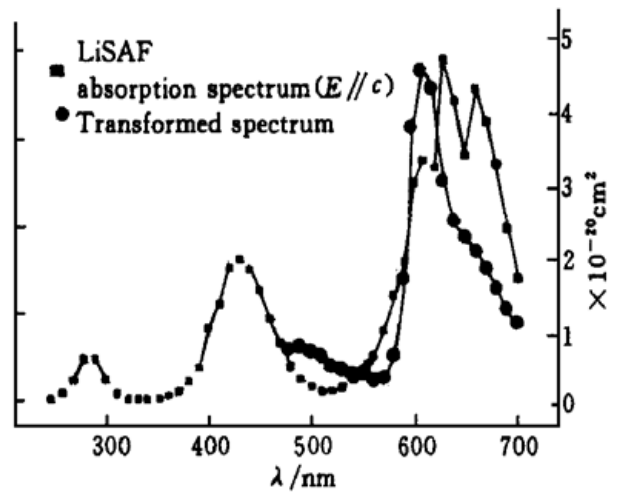


图 6 采用染料后的闪光灯转移谱线及 LiSAF 吸收谱线

Fig.6 Absorption spectrum of LiSAF and flashlamp transformed spectrum by R-640

图 5 为用酒精溶剂的 R-640 光谱转移效果。在最佳浓度下,用 $\phi 6 \text{ mm} \times 45 \text{ mm}$ 的 LiSAF 棒,输入能量为 61 J ($T = 80\%$),抽运光光谱转移后的激光输出能量达 1 J。

图 6 为经光谱转移后的抽运光光谱,可以看到转移后的抽运光与 LiSAF 吸收谱匹配较好。

图 7 为光谱不转移和经过光谱转移的抽运输入和激光输出的特性曲线,经光谱转移后输出激光斜效率提高约 10%。

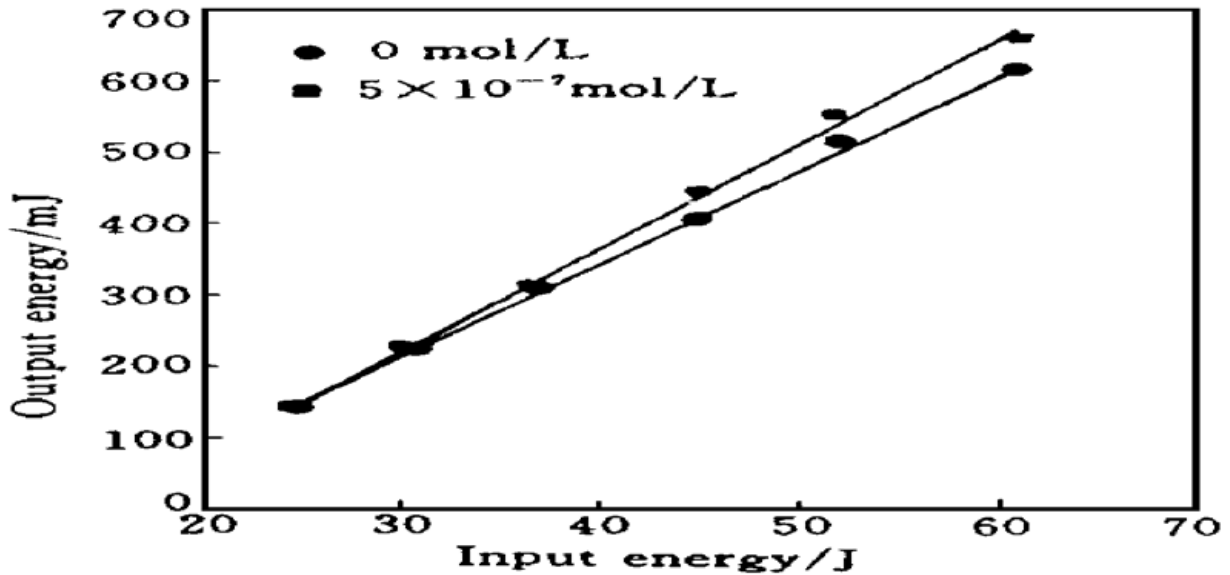


图 7 不同染料浓度下抽运能量与输出能量的关系

Fig. 7 Output energy vs pump energy for different dye solution concentration

3 讨 论

氙灯抽运的 LiSAF 激光已经被证明具有优秀的激光特性。运用抽运光脉冲宽度匹配和光谱转移匹配是提高激光输出的方法。抽运光谱转移可以用其他方法,但氙灯抽运的 LiSAF 激光用有机染料比较成功。特别是用 R-640 染料,由于它的吸收谱和发射谱与氙灯谱及 LiSAF 的吸收谱比较匹配,有比较好的光谱转移效果。

参 考 文 献

- 1 Stephen A. Payne, L. L. Chase, L. K. Smith *et al.*. Laser performance of $\text{LiSrAlF}_6 \cdot \text{Cr}^{3+}$. *J. Appl. Phys.*, 1989, **66**(3): 1051~ 1056
- 2 T. Ditmire, M. D. Perry. Terawatt $\text{Cr} \cdot \text{LiSrAlF}_6$ laser system. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(6): 426~ 429
- 3 Stephen, A. Payne, L. L. Chase *et al.*. Flashlamp-pumped laser performance of $\text{LiCaAlF}_6 \cdot \text{Cr}^{3+}$. *Opt. and Quantum Electron.*, 1990, **22**: S259~ S268

Investigation of High Efficiency $\text{Cr}^{3+} \cdot \text{LiSrAlF}_6$ Laser

Xu Yao Tao Shiping Kong Yufei Xu Xiuli Fang Xiaojun Xu Zhuyan

(Laboratory of Optical Physics, Institute of Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Wei Shidao Tao Dejie Han Qiyang Wang Aihua Hang Yin

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031)

Abstract In this paper, a improved performance of the $\text{Cr}^{3+} \cdot \text{LiSAF}_6$ laser is reported. The slope efficiency is increased by 10%, when using the shotened pulse pump and matching spectrum pump transformed by organic dye. In the case of the pumping pulse duration of 120 μs and the spectrum transformed by R-640 dye, the pulse energy of 1 J at 830 nm central wavelength from 5(at-%) doped, $\phi 6 \text{ mm} \times 45 \text{ mm}$ $\text{Cr}^{3+} \cdot \text{LiSAF}_6$ crystal is obtained.

Key words $\text{Cr}^{3+} \cdot \text{LiSAF}_6$, flashlamp-pump, spectrum transformation