

室温下运转的 $\text{LiF} : \text{F}_2^+$ 色心可调谐激光器

李 鸿 郭绍章 陈范欣* 周定文** 万良凤

(天津大学物理系, 天津 300072)

提要 本文给出了室温下运转的 $\text{LiF} : \text{F}_2^+$ 色心可调谐激光器的实验结果和激活色心的动态分析, 采用 $\text{Nd} : \text{YAG}$ 倍频 532 nm 脉冲激光作为泵浦源, 用闪耀光栅作调谐元件, 得到波长范围为 850~1050 nm, 峰值在 930 nm 的脉冲可调谐激光, 斜率效率为 1.5%。

关键词 $\text{LiF} : \text{F}_2^+$ 色心, 可调谐激光器, F_2^+ 心的动态平衡

在已知的各种形式的色心激光器中, F_2^+ 色心激光器由于 F_2^+ 心具有很高的光-光转换效率, 可能是最有吸引力的一种。但由于 F_2^+ 色心在室温下热稳定性差, 通常要在液氮温度下储存和运转, 这就使它难以推广使用。

我们研制的 $\text{LiF} : \text{F}_2^+$ 色心激光器是工作在室温下, 在近红外波段可连续调谐的固体激光器, 它免除了低温和真空设备, 结构简单。

使 F_2^+ 心在室温下达到相对稳定的动态平衡, 是利用 F_2 和 F_2^+ 之间的相互转换。其基本原理如下: 因为 F_2 心的第一激发态距离其基态和导带的距离相近, 容易在激发态再吸收一个光子而产生两步电离, 使 F_2 心转型为 F_2^+ 心。但在室温下 F_2^+ 正电中心又会吸引一个电子而退电离至中性的 F_2 心, 半衰期约为 10 h。我们称上述现象为 F_2 心的光不稳定性和 F_2^+ 心的热不稳定性。 F_2^+ 心的吸收带与 F_2 心的吸收带有一段交迭区, $\text{Nd} : \text{YAG}$ 倍频 532 nm 激光正处在这段交迭区内。这样, 用 532 nm 光作为泵浦源既可不断地使 F_2 心电离为 F_2^+ 心, 又可作为 F_2^+ 心激光运转的泵浦光^[1]。而 F_2^+ 心的光稳定性很好, 这就保证了 F_2^+ 心的浓度达到一种动态平衡的稳定值。

F_2^+ 心退电离必引起 F_2 心的增加。但在吸收谱中因 F_2 心的吸收峰与 F_2^+ 的吸收峰非常接近, 所以无法判断并说明 F_2 心浓度的增加。我们作了激发光为 450 nm 的 F_2 和 F_2^+ 的荧光谱, 确切地证明了在 F_2^+ 退电离过程中, F_2 增加、 F_2^+ 减少。

我们采用提拉法和坩埚下降法两种方法生长的 LiF 晶体, 作为基质材料。利用 γ 射线辐照使晶体着色。在 10^7 rad 左右有一范围最为合适, 即各种色心浓度使两步电离转换效率和激光运转效率都最佳。在 10^7 rad 附近这一区域内, 从吸收光谱分析, LiF 晶体可只具有 F 和 F_2 心, 也可具有 $\text{F}, \text{F}_2, \text{F}_3, \text{F}_4$ 心。实验中发现这两种情况均可获得较好的激光运转效果。前者为 F_2 电

* 天津市技术物理所。

** 天津大学精仪中心。

收稿日期: 1993 年 3 月 22 日, 收到修改稿日期: 1993 年 5 月 19 日

离成 F_2^+ 。后者为 F_3, F_4 分解后与 F_2 同时电离成 F_2^+ 。 F_2^+ 退电离为 F_2 ，部分聚合为 F_3 ，但 F_4 心不再恢复。

对于 $\text{LiF}:\text{F}_2^+$ 心这种荧光谱带宽(760~1100 nm)的色心，实现可调谐输出是很有意义的。利用闪耀光栅作为调谐元件，我们实现了 F_2^+ 激光连续可调谐输出。

实验装置如图 1。

泵浦光源 Nd:YAG 倍频脉冲光的频率为 10 Hz，激光谐振腔的输入镜(2)为平面镜，在 850~1050 nm 处反射率近 100%，对 532 nm 透过率为 90%。全反射镜(4)的反射率与输入镜相同。通过旋转全反镜使得光栅(5)的一级衍射光反射振荡，零级衍射光输出，光栅常数为 600 /mm，闪耀角为 $17^\circ 27'$ ，衍射效率在 950 nm 处为 61%，利用一台棱镜单色仪，测出激光输出波长为 850~1050 nm，峰值为 930 nm(见图 2)。

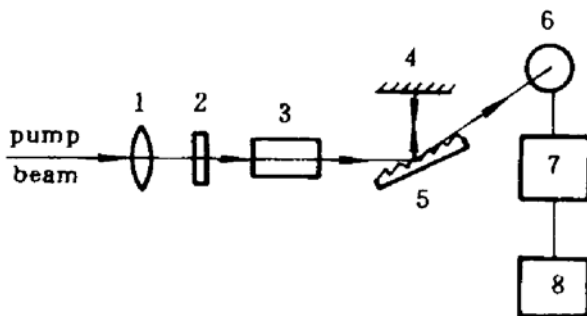


Fig. 1 Experimental setup of $\text{LiF}:\text{F}_2^+$ tunable laser
1—Focusing lense; 2—Input cavity mirror;
3—Crystal; 4—Cavity mirror; 5—Blized grating;
6—Monochrometer; 7—Photo-diode or
radiomicrometer; 8—Oscillosope

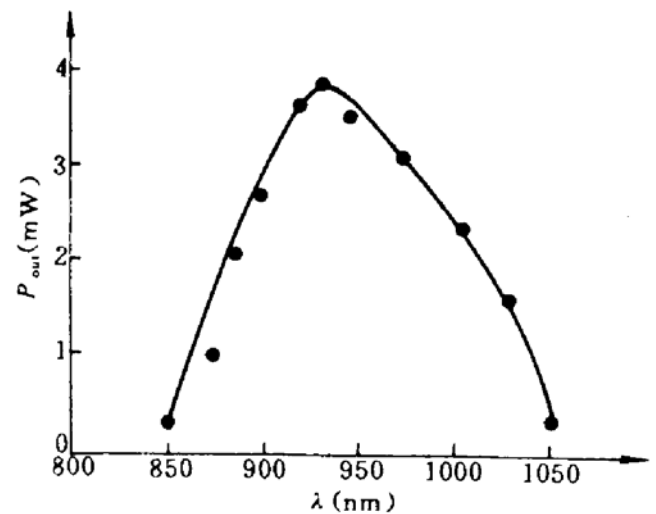


Fig. 2 Tuning curve of $\text{LiF}:\text{F}_2^+$ laser

利用 LPE-I 型功率能量计(7)测得输出输入平均功率曲线，见图 3 曲线(a)。这条曲线的形状不仅与产生 F_2^+ 激光有关，而且与使 F_2 转型为 F_2^+ 的两步电离有关。所以在某一通道泵浦时，第一次所测曲线应为两步电离所需的与泵浦光强度平方成正比^[2]的 F_2^+ 心浓度的变化曲线(b)再附加上一项激光泵浦项，而其后同一通道所测之曲线，由于通道内还保留有 F_2^+ 心而趋于线性关系，如直线(c)。

曲线(b)的测量是利用与 F_2^+ 吸收峰波长相同的 He-Ne 激光通过激光泵浦通道，随着 F_2^+ 心浓度的增加，He-Ne 激光的透射能量减小而得到的 F_2^+ 相对浓度变化。在图 4 中我们用此方法进一步测量了 F_2^+ 心浓度在激光运转的动态下浓度随时间的变化。其中(b),(c),(d)曲线表示在不同泵浦功率下 F_2^+ 心浓度随时间变化到饱和值的过程。这饱和值对应着曲线(a)中相应的点。曲线(a)中的其它点也是利用同样方法得到的。

利用 PIN 光电二极管(7)和 LP1727 型存储示波器(8)测得 F_2^+ 激光的脉宽为 11 ns，泵浦光脉宽为 10 ns。并测得泵浦阈值为 20 mJ，斜率效率为 1.5%。见图 3 曲线(e)。这里提到的泵浦阈值 20 mJ 为 F_2 电离为 F_2^+ 所需最低能量， F_2^+ 激光运转能量可小于此值。

由于泵浦光泵浦前晶体中只有 F_2 心，所以首先是 F_2 心发射红色激光，红色激光持续数分钟后消失。说明 F_2 心被电离为 F_2^+ 心。继而出现红外激光，用能量转换片可观察到红光点转变为黄绿光点。 F_2^+ 激光稳定性很好，我们曾使 F_2^+ 激光连续运转一小时，未见不稳定现象。由于 F_2^+ 可退电离至 F_2 ，因此同一激光通道可重复多次使用。 F_2 心在室温下是相当稳定的。在我们

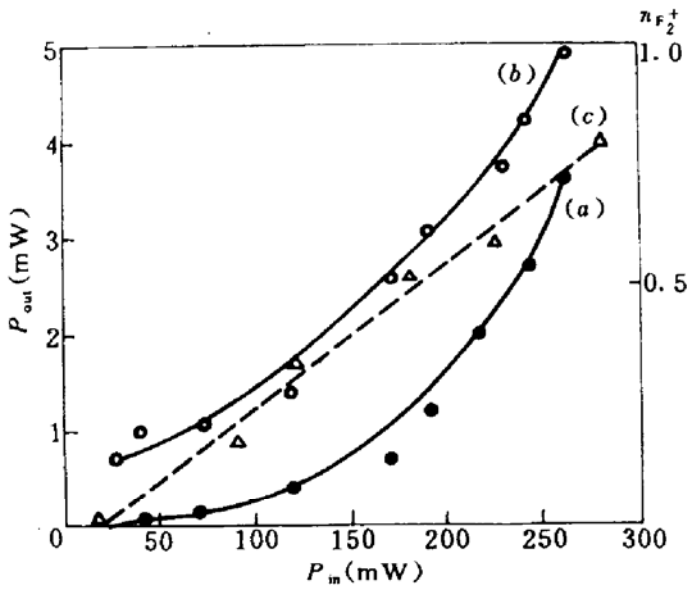


Fig. 3

(a), (c) Output versus input of LiF : F_2^+ laser;
 (b) Concentration of F_2^+ in LiF versus input power of pump

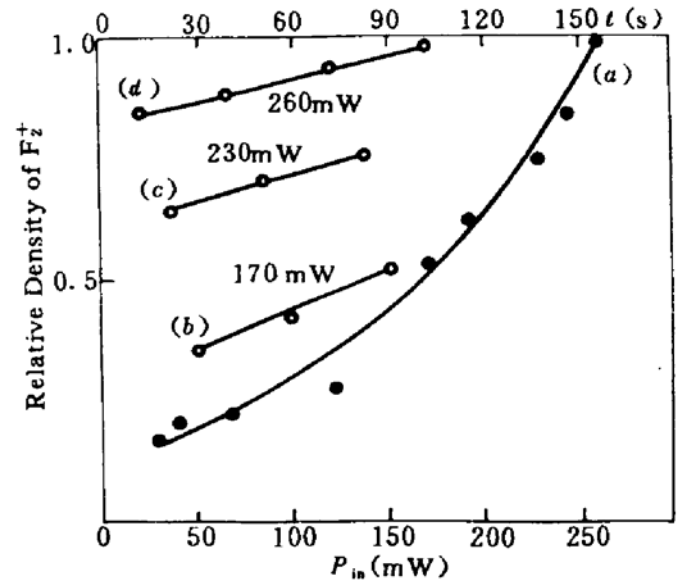


Fig. 4 Concentration of F_2^+ in LiF versus: (a) pump power; (b), (c), (d) pump time under different pump power

的实验中,激光晶体储存一年半后仍运转正常。我们也发现如辐照剂量偏低, F_2 心浓度较小,激光运转多次且放置一年后,激光效率降低。但通过 γ 射线的再次辐照后可完全恢复 F_2 心浓度,激光效率如前。

通过本实验研究,我们认为此系统利用 F_2, F_2^+ 心的光、热特性可使 F_2^+ 激光室温下调谐运转。如晶体材料性能提高和加工工艺上进一步完善,可望提高激光效率。

参 考 文 献

- 1 T. T. Basiev. *IEEE J. of Quant. Electr.*, 1988, 24(6): 1052
- 2 [西德] W. 戴姆特瑞德, 激光光谱学的基础和技术, 北京: 科学出版社, 1980: 186~189

LiF : F_2^+ Color Center Tunable Laser Operated at Room Temperature

Li Hong Guo Shaozhang Chen Fanxin Zhou Dingwen Wan Liangfeng

(Department of Physics, Tianjin University, Tianjin 300072)

Abstract In this paper, the experimental results of LiF : F_2^+ color center tunable laser and the dynamic analysis of activated centers in the lasing process were reported. The laser is pumped by a pulsed SHG. Nd : YAG laser at room temperature. A brazed diffraction grating is used as tuning element. Laser output in wavelength range from 850 nm to 1050 nm with a peak at 930 nm is obtained. The slope efficiency is about 1.5%.

Key words LiF : F_2^+ color center, tunable laser, dynamic equilibrium of F_2^+ color centers