

LiF 晶体中 F_2^+ 色心在室温下的激光运转 及可调谐输出

傅永来* 阮永丰 万良风

(天津大学物理系, 天津 300072)

提要 本文把纯 LiF 晶体中 F_2^+ 色心激光宽带输出的转换效率提高到 11%, 得到了 F_2^+ 色心激光的宽带输出与温度的变化曲线。实现了 F_2^+ 色心激光的波长从 0.86~1.02 μm 的可调谐输出, 并对泵浦光作用下 LiF 晶体中的各种色心动力学机制进行了分析。

关键词 色心, 可调谐, 退电离, 二步电离

1 引 言

色心激光最引人注目特点就是它的波长在相当宽的范围内连续可调谐^[1~3]。在现有的几种色心激光器中, 绝大多数工作在液氮温度之下, 这就限制了它的广泛使用。

LiF 晶体为碱卤晶体, 属立方晶系。LiF 晶体在室温下, 经 γ 射线一定量的辐照, 产生大量的 F 心、 F_2 心和 F_2^+ 心。 F_2 心在强 YAG 倍频光的作用下, 发生二步电离, 生成 F_2^+ 心。LiF 晶体中的 F_2^+ 色心是一种性能优越的激光激活心, 它有非常高的量子效率, 但它的唯一缺点是热不稳定, 它极易捕获一个电子而消电离, 形成 F_2 心。实现 F_2^+ 心在室温下激光稳定运转, 有两种可能的途径: 1) 在 LiF 晶体中掺入 O^{2-} 或 OH^- 离子, 以增加 F_2^+ 心在室温下的寿命^[3~5]。此方法会带来不良的后果; 2) 另一种方法是 T. T. Basiev 最先提出的^[6], 它是利用在 YAG 倍频光的作用下, F_2 和 F_2^+ 心之间的动力学平衡, 来获得稳定的 F_2^+ 浓度。但实际情况可能比上述过程还要复杂。因为 LiF 晶体中的 F 心和 F_2^+ 心也将影响 F_2^+ 心的浓度。

本文报道实现 LiF 晶体中 F_2^+ 心室温下宽带输出及其随温度变化的特性, 以及实现激光可调谐输出的结果, 同时, 对其动力学过程进行初步的探讨。

2 实验步骤及结果

首先把几根纯 LiF 晶体棒进行处理和光学加工, 并在室温下用 γ 射线进行辐照, 制成激光棒。 γ 射线的辐照剂量为 10^7 rad。

本实验用的泵浦源为 YAG : Nd 脉冲激光器。它带有调 Q 和倍频等功能。色心发出的光的

* 现在工作单位为天津 707, 天津市 63 号信箱 710 分箱, 300131。

收稿日期: 1993 年 1 月 25 日, 收到修改稿日期: 1993 年 4 月 16 日

波长和能量分别用单色仪和能量计测量。

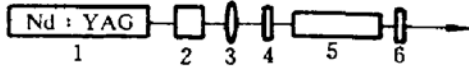


Fig. 1 Block-diagram of F_2^+ color centers laser

2.1 F_2^+ 心宽带激光输出

图 1 中 1 为泵浦源, 2 为倍频晶体, 3 为聚焦镜, 4 为输入镜, 对泵浦光的透过率为 87%, 5 为 LiF 晶体, 6 为输出镜, 它对 F_2^+ 心激光的透过率为 10~20%, 对泵浦光的反射率为 99.7%。用转

换片进行观察, 得到如下结果: 首先是中心波长为 $0.63 \mu\text{m}$ 红光宽带激光出现, 几十秒钟之后, 红外光出现, 大约几分钟之后, 只有红外光存在, 经 1 h 观察, 没有衰减。经分析红光为 F_2 心发出的, 红外光为 F_2^+ 心发出的。

在温度为 21°C , 泵浦光能量为 150 mJ 时, 得到 17 mJ 的输出, 转换效率从原先的 1%^[7] 提高到 11%。阈值为 80 mJ。

2.2 F_2^+ 心的激光输出与温度的关系

用半导体制冷片对晶体温度进行控制, 为了使晶体温度均匀, 把晶体用铝箔包好, 并采取升温的办法来进行实验。实验结果如图 2 所示, 温度越高, 输出的能量越低。 p_0 为 4°C 时 F_2^+ 心激光的输出功率。

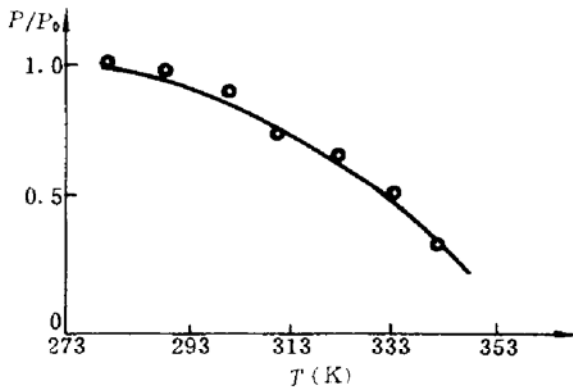


Fig. 2 Wide band laser output power of F_2^+ versus active element temperature

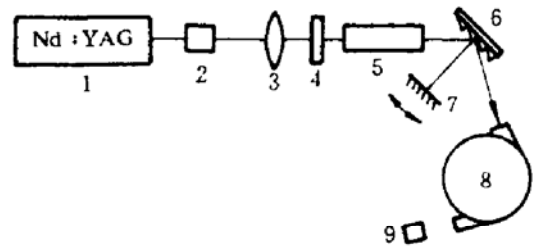


Fig. 3 Block-diagram of F_2^+ color centers tunable laser

2.3 F_2^+ 心激光的可调谐输出

我们采用光栅扩束和衍射, 转动反射镜进行调谐的腔体, 如图 3 所示, 图中 6 为闪耀光栅, 闪耀角为 $17^\circ 27'$, 每毫米 600 条刻线。7 为全反镜, 8 为单色仪, 9 为能量计(其余元件与图 1 相同)。

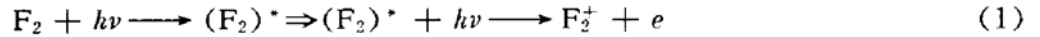
采取纵向泵浦, 把光栅的一级光作为振荡光, 零级光作为输出光。当泵浦光能量为 100 mJ 时, 得到波长从 $0.86 \sim 1.02 \mu\text{m}$ 的可调谐激光输出, 调谐曲线如图 4 所示, 中心波长 $0.918 \mu\text{m}$ 处的输出为 0.8 mJ, 效率为 0.8%。实验过程中, 也观察到 F_2 心的红光出现。图中 p_0 为中心波长的输出能量。

3 讨论与分析

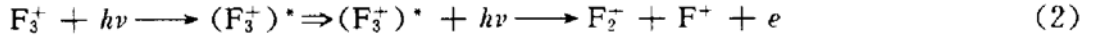
室温下, LiF 晶体中的 F_2^+ 心的寿命大约为 1 到 2 h, 而我们在室温下却得到它的稳定激光输出, 其原因分析如下:

室温下, 经 γ 射线辐照 LiF 晶体, 含有大量的 F 心、 F_2 心、 F_2^+ 心和少量的 F_3 心。如图 5 所

示,谱线(1)是 $0.53 \mu\text{m}$ 光作用以前的 LiF 晶体的吸收谱,谱线(2)是 $0.53 \mu\text{m}$ 作用以后的吸收谱,在泵浦光作用下, F_2 和 F_3^+ 心将发生电离,其中主要是 F_2 心, F_2 心二步电离过程可用下列方程表示:



F_3^+ 心电离过程可用下列方程表示:



其中 $(F_2)^*$ 和 $(F_3^+)^*$ 心为 F_2 心和 F_3^+ 心的激发态。电离后谱线如图 5(2) 曲线。

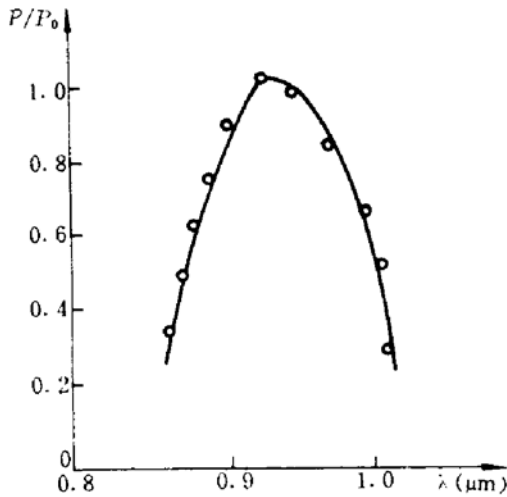


Fig. 1 F_2^+ color centers laser tuning curves

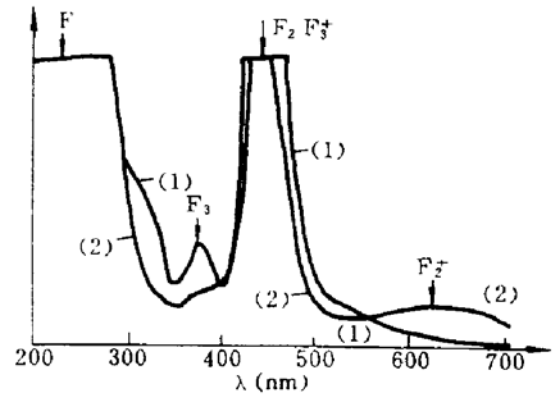


Fig. 5 Absorption spectra of color centers in LiF Crystals

(1) Before the influence of second harmonics of the YAG laser

(2) After the influence of second harmonics of the YAG laser

F_2 心和 F_3^+ 心电离的同时, F_2^+ 心也不断迁移和运动,它与 F 心组合生成 F_3^+ 心,反应过程用下式表示:



F_2^+ 心捕获一个电子生成 F_2 心,即发生退电离,退电离过程可用下式表示:



(1),(2),(3)和(4)式都影响着 F_2^+ 心最后的饱和浓度,所以说,是利用各种色心动力学平衡来得到稳定浓度的 F_2^+ 心。

在 F_2^+ 心可调谐激光输出的实验中,还出现了 F_2 心的红光,用单色仪测量其波长为 $0.61 \sim 0.65 \mu\text{m}$,中心波长为 $0.63 \mu\text{m}$ 左右,这是由于 F_2 心的增益系数很大,出现了超辐射现象。 F_2 心在 $0.53 \mu\text{m}$ 强光作用下是不稳定的,可电离成 F_2^+ 心,当 F_2 心部分电离成 F_2^+ 心时,由于 $0.53 \mu\text{m}$ 的光位于 F_2 心和 F_2^+ 心吸收带的交叠处,所以在实验中同时观察到 F_2 心和 F_2^+ 心激光存在。当 F_2 心电离到一定程度时,就只有 F_2^+ 心的激光存在。

实验表明温度越高, F_2^+ 心的激光输出能量越低,起因于温度的升高,(3)式和(4)式反应速度增大,使 F_2^+ 心饱和值降低,从而降低了 F_2^+ 心激光输出功率。

F_2^+ 心宽带激光输出功率从 1% 提高到 11% 的原因是: 1) 采取纵向泵浦; 2) 把泵浦光焦点放在晶体中心。以前 1% 的效率的结果是采取斜泵浦,而且焦点没有放在晶体中。

LiF 晶体中 F_2^+ 心实际发光波长范围为 $0.84 \sim 1.10 \mu\text{m}$,由于镜片介质膜的限制,我们从实验中得到 F_2^+ 心可调谐激光波长范围为 $0.86 \sim 1.02 \mu\text{m}$ 。

致谢 本文得到天津大学精仪中心周正文副教授的大力支持,在此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 Knlinski. T., *Opt. Commun.*, 1979, **8**(1): 101
- 2 Schneider I., *Opt. Lett.*, 1982, **7**(6): 271
- 3 张 涛,万良风等. *物理学报*, 1987, **36**(3): 401
- 4 阮永丰等. *激光与红外*, 1986, (10): 48
- 5 阮永丰等, *天津大学学报*, 1986, (2): 17
- 6 T. T. Basiev *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, 1988, **QE-24**(6): 1052

Laser Operation and Tunable Output of F_2^+ Color Centers in LiF Crystal at Room Temperature

Fu Yonglai* Ruan Yongfeng Wan Liangfeng

(*Department of Physics, Tianjin University, Tianjin 300072*)

Abstract In this paper, the efficiency of wide band laser output of pure LiF crystals with F_2^+ color centers is improved up to 11%. The curve of output power visus temperature is made. The tunable laser output in the range of the 0.86~1.02 μm is obtained, and the kinetics behavior of various color centers in pure LiF crystals under pump light is discussed.

Key words color center, tunalbe, de-ionization, two-step ionization

* Now address : Tianjin Navigation Instruments Reserarch Institute.