

# 氟化锂晶体 $F_2$ 心光致电离及 $F_2$ 和 $F_2^+$ 心激光特性研究

顾洪恩

(天津大学物理系, 天津)

**摘要:** 室温下利用337nm脉冲激光照射着色LiF晶体, 有效地将 $F_2$ 心转变成 $F_2^+$ 心, 其浓度高于 $10^{16} \text{cm}^{-3}$ 。利用消象散三镜折叠腔, 研究了LiF晶体 $F_2$ 和 $F_2^+$ 心激光特性。实际工作表明, 利用氮分子激光作为处理光束, 可获得较长时间稳定的 $F_2^+$ 心激光输出。

## Study on photoionization of $F_2$ centers and laser performance of $F_2$ and $F_2^+$ centers in LiF

Gu Hongen

(Department of Physics, Tianjin University)

**Abstract:** High density (greater than  $10^{16} \text{cm}^{-3}$ )  $F_2^+$  centers can be effectively created in a colored LiF crystal irradiated with a nitrogen laser ( $\lambda = 337 \text{nm}$ ) at room temperature. The performance of  $F_2$  and  $F_2^+$  centers LiF crystal laser has been investigated by using a three-mirror optical cavity to compensate the astigmatism. The experiments show that the stable  $F_2^+$  center laser operation can be obtained by using a nitrogen laser as a processing beam.

### 一、前 言

色心激光器是一种新型的激光器, 由于它具有优良的光学特性, 近年来发展很快<sup>[1]</sup>。特别是LiF晶体, 因其色心的光热稳定性在碱卤晶体中是最高的, 易于在室温下实现激光运转, 所以对LiF晶体色心激光的研究引起众多学者的关注。在LiF晶体中,  $F_2^+$ 心激光波长位于900nm附近, 有较高的实用价值。因 $F_2^+$ 心在室温下是不稳定的, 有实用性的激光器大多工作于低温, 限制了其应用范围。解决这一问题的较好方法是利用光致电离技术, 使 $F_2$ 心转变成 $F_2^+$ 心, 弥补激光运行时 $F_2^+$ 心的减少<sup>[2]</sup>。在我们近期工作中, 相继报导了LiF晶体 $F_3^+$ 心及其混合色心激光运转<sup>[3-5]</sup>, 利用两步法产生高浓度 $F_3^+$ 心<sup>[6,7]</sup>, 并对该色心的超辐射特性及非线性光学特性作了进一步研究<sup>[8,9]</sup>。本文进一步报导我们新近对LiF晶体的研究结果, 利用消象散三镜折叠腔, 对室温LiF晶体 $F_2$ 和 $F_2^+$ 心激光进行了实验研究。

## 二、着色LiF晶体色心光致电离

实验中所用LiF晶体先沿解理面切成一定厚度的薄片,经研磨和抛光后,在室温下用 $\gamma$ 射线辐照或电子束轰击使之着色。照射后避光保存一段时间,晶体中会产生大量的F<sub>2</sub>心(见图1曲线1,吸收谱由UV-240型分光光度计在室温下测得),观测不到明显的F<sub>2</sub><sup>+</sup>心(吸收峰值640nm)。

在室温下用氮分子激光(波长337nm,单脉冲能量10mJ,重复频率2Hz)照射上述着色晶体3~5个脉冲后,晶体被照部位即呈海兰色,测得其吸收谱如图1曲线2所示。可见照射后R带、N带(540nm)及部分F带被打掉,产生了大量的F<sub>2</sub><sup>+</sup>心(浓度在10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>以上)。随着时间的增加,F<sub>2</sub><sup>+</sup>带逐渐下降。衰减是非线性的,开始较快,后来则越来越慢,

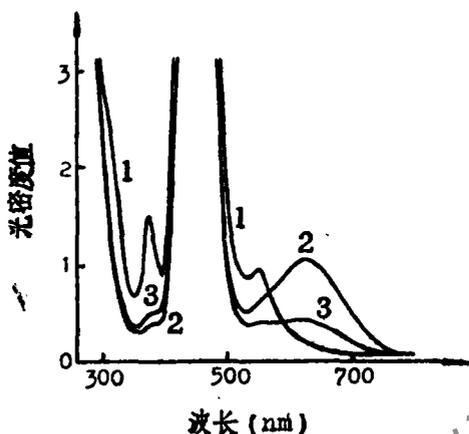
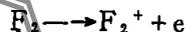


图1 室温下经氮分子激光照射后着色LiF晶体的吸收谱

1—照射前 2—照后立即测 3—照后3h

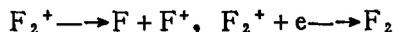
大约经6~7h才能消失。在F<sub>2</sub><sup>+</sup>带衰减的同时,M带在上升,因F带太强,不易观察到其变化情况。

用氮分子激光照射着色LiF晶体,F<sub>2</sub><sup>+</sup>心主要由F<sub>2</sub>心光致电离产生:



由于337nm波长并不位于M带,F<sub>2</sub>心光致电离似乎不应发生。对此,我们作了进一步光谱分析。从F<sub>2</sub>心的激发谱看<sup>[7]</sup>,在310nm附近有一较强激发带,337nm波长刚好位于带中,其发射谱属于F<sub>2</sub>心位置。所以激发谱中310nm带很有可能和F<sub>2</sub>心的M<sub>F</sub>吸收带相对应,氮分子激光能有效地被F<sub>2</sub>心吸收而产生自身的电离<sup>[7]</sup>。

F<sub>2</sub><sup>+</sup>心在室温下是不稳定的,会发生分解和退电离反应:



使F<sub>2</sub><sup>+</sup>带下降,而M和F带上升(图1)。经几小时后,F<sub>2</sub><sup>+</sup>心基本衰减完毕。

以上光致电离过程可重复下去,用氮分子激光持续地照射LiF晶体,可将F<sub>2</sub><sup>+</sup>心浓度保持在某一定值。

此外,我们还用YAG激光的二倍频光(530nm)照射着色LiF晶体,也能产生大量F<sub>2</sub><sup>+</sup>心,情况类似,这里不再作进一步描述。

## 三、F<sub>2</sub>和F<sub>2</sub><sup>+</sup>心激光实验

### 1. F<sub>2</sub>心激光

F<sub>2</sub>心激光实验采用自行设计的消象散三镜折叠腔<sup>[8-9,10,11]</sup>,以氮分子激光泵浦的香豆素1染料激光(波长460nm)为泵源,实验中未加入调谐元件。光路简图如图2所示,F<sub>2</sub>心激光实验中不加处理光束。

图中M<sub>1</sub>对460nm波长透射率为90%,对F<sub>2</sub>心激光的反射率为99.5%;M<sub>2</sub>对F<sub>2</sub>心激光反射率为99.5%;M<sub>3</sub>对F<sub>2</sub>心激光透射率为10%。晶体厚度为1.79mm,采用电子束轰击着

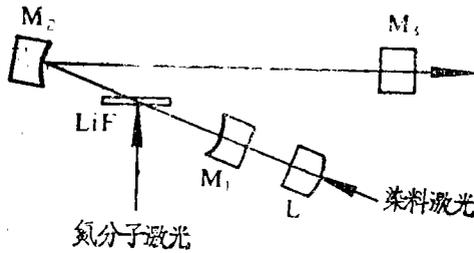


图2 F<sub>2</sub>和F<sub>2</sub><sup>+</sup>心激光实验光路简图

M<sub>1</sub>—输入镜 M<sub>2</sub>—折叠镜  
M<sub>3</sub>—输出镜 L—聚焦透镜

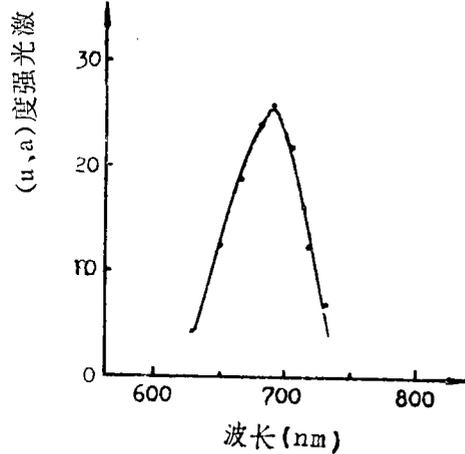


图3 F<sub>2</sub>心激光光谱

色, M带中心波长的吸收系数为35cm<sup>-1</sup>, 晶体呈红色。

激光器输出端用滤光片滤去残余的泵光, 以便于观测色心激光光谱和测量能量。用激光能量计 (Rj-7200型) 测量激光能量, 用单色仪 (WDG500-1A型)、光电倍增管 (R456型) 和示波器 (Tex-466型) 记录激光光谱。

实验中, 入射到LiF晶体上的染料激光单脉冲能量约1mJ, 获得F<sub>2</sub>心宽带激光单脉冲输出能量约50μJ。测得激光束发散角约为1.2mrad, 激光输出波长从650nm至720nm(见图3)。F<sub>2</sub>心激光的红色输出光斑在几米以外墙上清晰可见。

在重复频率为1Hz的泵浦光激励下, F<sub>2</sub>心激光可以工作几百个脉冲, 之后输出能量逐渐下降, 直至停止振荡。从外观上看, 晶体中泵光聚焦点附近的红色消失, 变成海兰色, 由吸收谱可知(图4), 晶体中产生了大量的F<sub>2</sub><sup>+</sup>心。F<sub>2</sub><sup>+</sup>心的出现, 一方面减少了晶体中F<sub>2</sub>心的浓度, 另一方面产生了自吸收(F<sub>2</sub><sup>+</sup>心吸收了一部分F<sub>2</sub>心的发光), 从而导致F<sub>2</sub>心激光振荡停止。用滤光片滤去可见及紫外光, 借助红外-可见光转换器, 可以观察到F<sub>2</sub><sup>+</sup>心吸收F<sub>2</sub>心发光后所发出的近红外光。F<sub>2</sub>心光致电离对F<sub>2</sub>心激光不利, 但对F<sub>2</sub><sup>+</sup>心激光大有益处, 可较方便地产生大量F<sub>2</sub><sup>+</sup>心。

此外, 限于条件, 我们目前未对电子束轰击着色的LiF晶体F<sub>2</sub>心激光特性进行优化, 有关提高F<sub>2</sub>心激光运转稳定性研究已见报道<sup>[12]</sup>。

### 2. F<sub>2</sub><sup>+</sup>心激光

在F<sub>2</sub><sup>+</sup>心激光实验中, 换成另一组腔镜。这时图2中M<sub>1</sub>对646nm波长透射率为85%, 对色心激光的反射率为99.1%; M<sub>2</sub>对色心激光反射率为99.1%; M<sub>3</sub>对色心激光的透射率为2.5%, 晶体厚度为1.79mm, F<sub>2</sub><sup>+</sup>心由前边

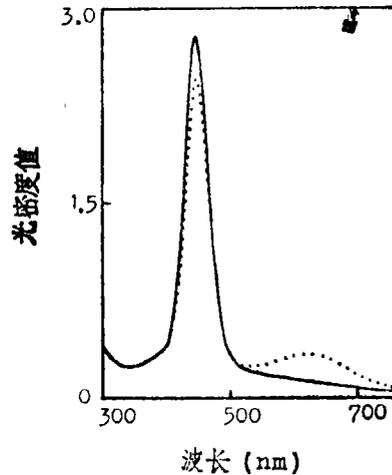


图4 泵浦一段时间后F<sub>2</sub>心激光晶体的吸收谱  
.....泵光照射后 ——照射前

描述的方法产生,浓度约为 $2 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 。作为处理光束的氮分子激光单脉冲能量约10mJ,重复频率1~5Hz可调,按图2中方式从侧面照射在晶体中泵光聚焦点附近。以氮分子激光泵浦的DCM染料激光(波长646nm)为泵源,重复频率为0.5Hz,实验中未加调谐元件。

实验中,入射到LiF晶体上的染料激光单脉冲能量约1.5mJ。不加处理光束,我们观测到较强的 $F_2^+$ 心激光输出,但输出下降很快,几个脉冲便停止振荡。加上处理光束,使作为处理光束的氮分子激光重复频率大于泵浦光的重复频率(本实验中采用两台氮分子激光器),为1~5Hz,这时观测到 $F_2^+$ 心激光输出能量无明显下降。几百个脉冲后,测得 $F_2^+$ 心浓度无大的变化,有些晶体略有下降,有些反而略有增加,与处理光束的重复频率有关。测得 $F_2^+$ 心宽带激光单脉冲输出能量约45 $\mu\text{J}$ ,激光输出波长从910nm至965nm,峰值在935nm处。

为了提高 $F_2^+$ 心激光在室温下的稳定性,除了加处理光束外,还利用了小型半导体致冷器,将晶体温度降至3~5 $^{\circ}\text{C}$ ,以利于晶体散热,减缓 $F_2^+$ 心的衰减。采取这些措施后,经几百个脉冲泵浦, $F_2^+$ 心激光器仍能正常运转。

在本实验中,由于所用泵光能量有限, $F_2^+$ 心激光输出亦受到限制。从我们初步分析比较看,YAG激光的二倍频光(532nm)是一较好泵源。一方面它可以作为 $F_2$ 和 $F_2^+$ 心激光的泵浦源,另一方面利用它还可以将 $F_2$ 心光致电离成 $F_2^+$ 心<sup>[13,14]</sup>,这方面工作有待进一步研究。

#### 四、结 论

从我们初步工作得出以下结论:

1. 利用氮分子激光或YAG激光二倍频光,皆能将着色LiF晶体中 $F_2$ 心光致电离成 $F_2^+$ 心,所产生的 $F_2^+$ 心浓度达到了激光振荡浓度。
2. 用M带波长激光为泵源,实现了LiF晶体 $F_2$ 心激光运转。同时观测到 $F_2$ 心的漂白现象,主要生成物为 $F_2^+$ 心。这一现象对 $F_2$ 心激光不利,但对 $F_2^+$ 心激光是一种可行的提高运转稳定性措施。
3. 用 $F_2$ 心光致电离方法产生的 $F_2^+$ 心,实现了LiF晶体 $F_2^+$ 心激光运转。实验中采用了强化致冷和增加处理光束等措施,获得较长时间稳定的近红外激光输出。

作者感谢万良风教授在 $F_2$ 心激光研究中给予的热情指导。

#### 参 考 文 献

- [1] Basiev T T, Mirov S B, Osiko V V. IEEE J Q E, 1988, 24(6): 1052
- [2] Mollenauer L F. A P L, 1978; 33(6): 506
- [3] Gu H E, Guo S Z, Ruan Y F *et al.* Chinese Phys Lett, 1988; 5(6): 241
- [4] Gu H E, Qi L, Wan L F. Opt Commun, 1988; 67(3): 237
- [5] Gu H E, Qi L, Wan L F. A P L, 1988; 52(22): 1845
- [6] Gu H E, Qi L, Wan L F. Opt Commun, 1989; 70(2): 241
- [7] 顾洪恩, 戚蓝, 万良风 *et al.* 光学学报, 1989; 9(4): 346
- [8] 顾洪恩, 陈范欣. 中国激光, 1991; 18(1): 75
- [9] Gu H E, Qi L, Wan L F. A P L, 1989; 54(13): 1191

