



# LiF 晶体色心超辐射的实验研究

顾洪恩                      陈范欣  
(天津大学, 300072)      (天津技术物理所, 300192)

## Observation of superradiance from $F_2^-$ - and $F_3^+$ -centers in LiF crystals

*Gu Hongen*  
(Department of Physics, Tianjin University, Tiajin)

*Chen Fanxin*  
(Tianjin Institute of Physics and Technology, Tianjin)

**Abstract:** The multi-direction superradiances of  $F_3^+$  centers,  $F_2^-$  centers and  $F_3^+ + F_2^-$  centers in LiF crystals were observed using a pulsed dye laser as the pumping source.

**Key words:**  $F_2^-$  and  $F_3^+$  centers, multi-direction superradiance

在众多的碱卤色心晶体中, LiF 晶体色心的光热稳定性是较高的, 其室温  $F_2^-$  色心和  $F_3^+$  色心激光运转已实现<sup>[1,2]</sup>。  $F_2^-$  色心和  $F_3^+$  色心吸收带高度重叠, 形成了一个单峰的吸收带(室温下测量), 用单一波长泵浦, 在同一块晶体中实现了  $F_3^+$  色心和  $F_2^-$  色心激光运转<sup>[3]</sup>。文献[4]报道了所观测到的 LiF 晶体  $F_3^+$  色心放大的自发辐射现象, 对  $F_3^+$  色心的光学增益系数进行了相应的测量。本文中, 对 LiF 晶体  $F_3^+$  色心和  $F_2^-$  色心超辐射现象作了进一步的实验研究。

### 一、晶体制备

LiF 晶体尺寸为  $10 \times 10 \times 6 \text{ mm}^3$ , 表面经抛光后用  $\text{Co}^{60}$  的  $\gamma$  射线辐照着色, 剂量为  $10^7$

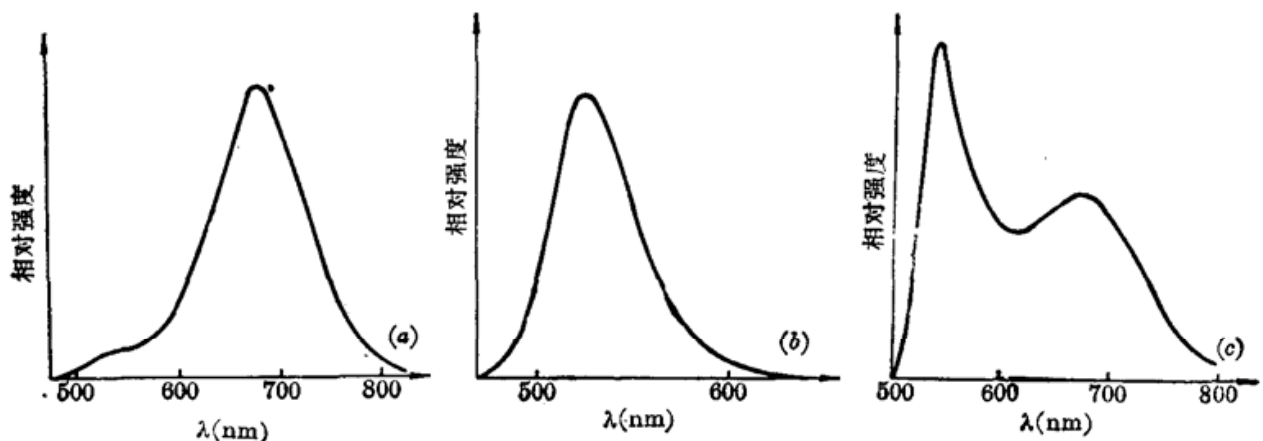


图1 450 nm 激发时, (a)  $F_2^-$  色心的荧光谱, (b)  $F_3^+$  色心的荧光谱, (c)  $F_2^-$  和  $F_3^+$  色心的荧光谱

伦琴。着色后的 LiF 晶体为黄色透明体, 标志出  $F_2$  色心的大量生成(浓度约  $10^{17} \text{ cm}^{-1}$ , 荧光谱见图 1(a))。

将着色的 LiF 晶体置于液氮温度下经氮分子激光照射(单脉冲能量 10 mJ, 功率密度 25 MW/cm<sup>2</sup>, 照射 10 分钟), 能生成荧光强度占绝对优势的  $F_2^+$  色心<sup>[5]</sup>。照后晶体由黄色转成黄绿色, 用 450 nm 光激发时  $F_2^+$  色心的荧光谱(图 1(b))指出有  $F_2^+$  色心的大量出现。利用这种方法, 能在较厚晶体中产生均匀性相当好的  $F_2^+$  色心。如果将氮分子激光器输出能量降至约 5 mJ, 照射时间控制在 3 分钟左右,  $F_2^+$  色心荧光强度略占优势(见图 1(c)), 则可在同一块晶体中获得具有恰当浓度比的  $F_2$  和  $F_2^+$  色心(可从相对荧光强度上来判断两者的比例关系)。

## 二、实验结果

以氮分子激光泵浦的染料(coumarin 460)激光为泵浦源, 垂直入射到晶体的大平面([100]平面)上。激光中心波长 460 nm, 不调谐。光斑直径为 1 mm, 单脉冲能量为 3 mJ, 重复频率为 5 Hz。实验装置如图 2 所示。

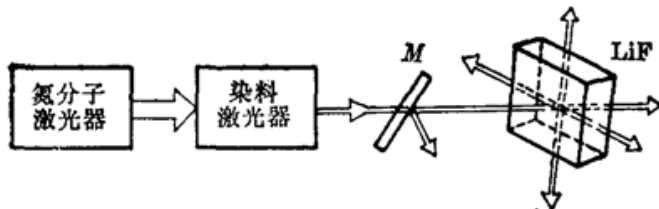


图 2 LiF 晶体超辐射实验装置简图

当泵浦光照射到含有  $F_2$  色心的 LiF 晶体上时, 观察到具有高度方向性的红色超辐射光从晶体侧面和前方射出。利用双色反射镜  $M$  (对泵浦光  $T \sim 90\%$ , 对红光  $R \sim 100\%$ ), 可以观察到入射方向也有红色光发射。沿 [001] 方向观看, 晶体中有明显的“+”型红色亮线([100]和[010]方向两亮线交叉)。测得侧面发射光束发散角为 10 mrad, 中心波长为 690 nm, 半宽度为 22 nm。从强度上看, 侧面发射光较强, 而沿泵光方向弱些。经  $10^3$  脉冲后, 发射强度未见明显降低, 也未观测到  $F_2$  色心的漂白现象。晶体被照部位也无异样出现。

将含  $F_2$  色心 LiF 晶体放置在液氮温度下, 利用氮分子激光照射一段时间后, 可产生高浓度的  $F_2^+$  色心。在泵浦激光照射下, 可以观察到明亮的绿色超辐射光发射。经测量, 侧面发射光束发散角约 7 mrad, 中心波长 535 nm, 光谱半宽度约 18 nm。经  $10^3$  个脉冲照射后,  $F_2^+$  色心的多方向发射光强度无明显降低, 未见  $F_2^+$  色心的漂白。

在液氮温度下, 用较低能量的氮分子激光短时间照射含  $F_2$  色心的 LiF 晶体, 能产生恰当比例的  $F_2^+$  色心和  $F_2$  色心。利用单一波长泵浦激光照射这种混合色心晶体, 可观察到同时含有红、绿色成分的多方向超辐射光发射。利用纸屏观察, 发射光近场为橙色的光斑, 远场为绿色镶有红边, 这是因为  $F_2^+$  色心和  $F_2$  色心超辐射光的发散角不同形成的。用滤色片和单色仪, 分别测得混合超辐射光束中的红色和绿色成分的发散角、中心波长及光谱半宽度与各自单独发射情况相近, 只是各自强度都有所降低。

实验中发现, 逐渐降低泵浦光能量, 超辐射光的方向性变坏, 过渡到各个方向都有一定强度的超辐射光发射, 和文献[4]中情况相同。

## 三、分析与讨论

在 LiF 晶体中,  $F_2^+$  色心由 [111] 平面内三个负离子空位自陷两个电子形成, 三个空位构

成一个等边三角形(见图 3(a)), [111]方向为三度旋转对称轴。 $F_3^+$ 色心的电子组态可以用三原子氢分子离子  $H_3^+$  的模型来描写。最低的几个状态为  $^1A_1$ 、 $^3E_1$ 、 $^1E$  和  $^3A_2$ ,  $^1A_1$  表示能量最低的单重态基态,  $^1E$  为双简并的单重态第一激发态, 而  $^3E$  和  $^3A_2$  为三重态, 能级结构简图如图 3(b) 所示。弛豫使得 LiF 晶体中  $F^-$  离子空位之间距离和它们的振动态发生变化, 并因斯托克斯(Stokes)位移刚好使荧光带相对吸收带产生 0.36 eV 的移动, 防止了两者的重迭, 形成了四能级系统(见图 3(b)), 458 nm 吸收带就是由于电子从  $^1A_1$  跃迁到  $^1E$  形成的。有泵光作用时, 正常基态中的电子吸收光子跃迁到正常激发态。从正常激发态到弛豫激发态是一个无辐射跃迁过程, 从弛豫激发态到弛豫基态为荧光发射, 从弛豫基态到正常基态为无辐射跃迁过程。

$F_2$  色心是由 [110] 方向两个负离子空位分别自陷一个电子形成的(见图 4(a)), 其能级很象  $H_2$  分子被埋进连续介质的能级。弛豫使得  $F_2$  色心形成如图 4(b) 所示的四能级系统。445 nm 吸收带是电子从  $\Sigma_g^+$  跃迁到  $\Sigma_u^+$  形成的, 荧光发射产生于两弛豫态间跃迁。由于  $F_3^+$  色心和  $F_2$  色心的吸收带高度重迭, 形成了单峰的吸收区(室温下)。利用该吸收区的单色光激发同时含有  $F_3^+$  色心和  $F_2$  色心的 LiF 晶体, 可以获得相当宽的荧光带(见图 1(c))。利用这一现象, 可以获得  $F_3^+$  和  $F_2$  混合色心超辐射光和可调谐激光。

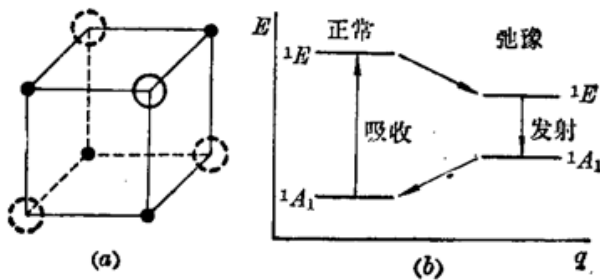


图 3  $F_3^+$  色心结构和能级简图  
虚线圆-空位, 空心圆- $F^-$ , 实心圆- $Li^+$

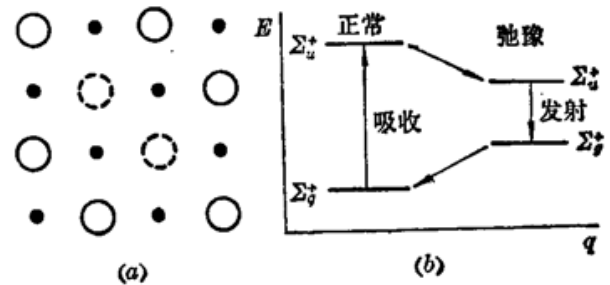


图 4  $F_2$  色心结构和能级简图  
(虚线圆-空位, 空心圆- $F^-$ , 实心圆- $Li^+$ )

### 参 考 文 献

- 1 Gusev Yu. L. *et. al.*, *Sov. J. Quant. Electr.*, **8**(8), 960(1978)
- 2 顾洪恩 *et. al.*, *中国激光*, **16**(4), 362(1989)
- 3 顾洪恩 *et. al.*, *光学学报*, **10**(2), 176(1990)
- 4 Zheng L. X. *et. al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **48**(6), 381(1986)
- 5 顾洪恩 *et. al.*, *光学学报*, **9**(4), 346(1989)

(收稿日期: 1989 年 1 月 9 日)