

# LiF:F<sub>2</sub><sup>-</sup> 色心晶体在 Nd<sup>3+</sup>:YAG 激光器中的锁模特性研究

裘佩霞 周福新 于虹

李胜华

(中国科学院上海光机所)

(上海交通大学理化分析中心)

## Study on mode locking characteristics of Nd:YAG lasers with LiF:F<sub>2</sub><sup>-</sup> color center crystals

Qiu Peixia, Zhou Fuxin, Yu Hong

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

Li Shenghua

(Center of Physical-Chemical Analysis, Shanghai Jiaotong University, Shanghai)

**提要:** 研究了用 LiF:F<sub>2</sub><sup>-</sup> 色心晶体作为可饱和吸收体的 Nd:YAG 激光器的锁模特性。

**关键词:** LiF:F<sub>2</sub><sup>-</sup> 色心晶体, 锁模, 饱和吸收体

由于 LiF:F<sub>2</sub><sup>-</sup> 色心晶体在室温条件下光化学性能稳定, 破坏阈值高, 光学质量均匀, 热导率高以及使用方便等多方面的优点, 作为激光激活介质和调 Q 元件已进行了广泛的研究<sup>[1,2]</sup>。作为锁模元件也有报道<sup>[3]</sup>。最近我们利用高增益的 LiF:F<sub>2</sub><sup>-</sup> 色心晶体调 Q 过程中出现的脉冲分裂现象配以主动声光调制器进行了锁模特性研究, 获得了单个脉冲宽度为 1.5 ns 的稳定的锁模脉冲序列。

### 一、实验装置

实验装置示于图 1。实验中 Nd<sup>3+</sup>:YAG 激光器以每秒一次的重复率工作, 声光调制器的驱动频率为  $48.916 \times 10^6$  Hz, 对应的腔

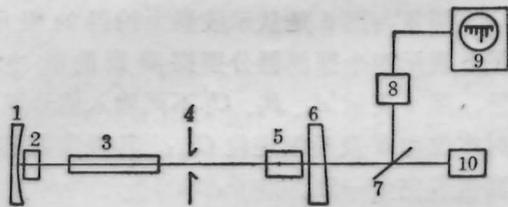


图 1 实验装置简图

1—R 为 5m 的全反射镜; 2—LiF:F<sub>2</sub><sup>-</sup> 色心晶体; 3—Nd:YAG 激光介质; 4—选横模光阑; 5—声光调制器; 6—楔形输出镜; 7—分光平板; 8—快响应光探测器; 9—快响应示波器; 10—卡计

长为 153.324 cm。腔长的调整精度为 0.01 mm, 可调范围为 20 mm。光探测器的响应时间为 300 ps, 用 GHz 示波器观察锁模波形。为了消除子腔, 腔内所用的光学件的通

收稿日期: 1987 年 12 月 30 日。

光面法线均与腔轴成  $1^\circ$  至  $2^\circ$  的夹角。

## 二、LiF:F<sub>2</sub> 色心晶体的制备及其性能<sup>[1]</sup>

F<sub>2</sub> 色心的构型是: 在 LiF 晶体中  $\langle 110 \rangle$  方向上两个邻近的阴离子空位共同占有三个电子, 是一个负性的电子色心。为了得到优异性能的 LiF:F<sub>2</sub> 色心, 要选择对近红外的吸收和散射损耗含量小的 LiF 晶体作为基质材料, 沿晶体解理面 {100} 方向劈裂成所需要的尺寸, 进行光学加工; 其次是选择有效的着色方法与确定最佳的辐射剂量, 通常是采用穿透本领强的 Co<sup>60</sup>- $\gamma$  射线作为辐射源, 剂量为  $2 \times 10^8$  Rad。用上述方法获得的 LiF:F<sub>2</sub> 色心晶体, 其色心均匀性好, 密度高, 室温条件下色心十分稳定, 抗损伤能力强, 破坏阈值为  $4 \text{ GW/cm}^2$ , 适合在高功率系统中应用。

LiF:F<sub>2</sub> 色心的吸收带覆盖波段范围为  $0.83 \sim 1.13 \mu\text{m}$ , 吸收峰位于  $0.96 \mu\text{m}$ 。在  $1.06 \mu\text{m}$  强光作用下, F<sub>2</sub> 心具有饱和吸收效应。因此可以对 Nd:YAG 等  $1.06 \mu\text{m}$  固体激光器实现调 Q 和锁模作用。

## 三、实验结果

1. 实验中在声光调制器不工作时, 观察到的激光波形如图 2(a) 所示, 是一列调制波形, 调制周期为  $2L/c$  (其中  $L$  为腔长,  $c$  为光速)。但其调制深度不稳定。启动声光调制器后, 得到的输出是一列稳定的锁模脉冲, 如图 2(b, c) 所示。每列脉冲的个数与 LiF:F<sub>2</sub> 色心晶体的初始透过率有关。图 2(b) 所示的波形包络半高处的脉冲个数为 4 个, 对应的 LiF:F<sub>2</sub> 色心晶体的初始透过率为 12%; 当氟化锂色心晶体的初始透过率为 40% 时, 波形包络半高处的脉冲个数为 10 个, 单个脉冲宽度约为  $1.5 \text{ ns}$ 。

2. 锁模序列能量的稳定特性见图 3。用

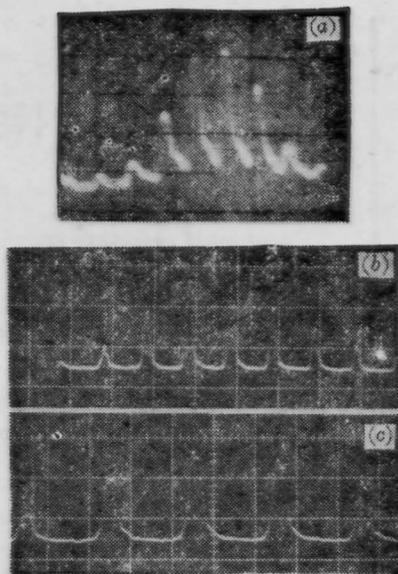


图 2

(a) Nd:YAG 激光器插入氟化锂 F<sub>2</sub> 色心晶体后的输出调制波形, 示波器扫速为  $10 \text{ ns/div}$ ; (b) 锁模脉冲序列, 示波器扫速  $10 \text{ ns/div}$ ; (c) 锁模脉冲序列, 示波器扫速  $5 \text{ ns/div}$

透过率为 12% 的氟化锂色心晶体作为可饱和吸收体时, 脉冲序列能量的起伏不超过  $\pm 4\%$ , 其中起伏  $\pm 1\%$  的几率占 50%; 而使用透过率为 40% 的 LiF:F<sub>2</sub> 色心晶体时, 能量分布比较离散, 最大起伏在  $\pm 10\%$  范围内。

3. 为了获得高的锁模几率和稳定的锁模输出, 在 LiF:F<sub>2</sub> 色心晶体的锁模实验中, 除了需要满足通常的主被动锁模器件的运转要求外<sup>[2]</sup>, 还要求谐振腔的调整精度更高, 其调节范围不大于  $20''$ , 否则只能输出调制波形, 但对阈值和输出能量却影响不大。

4. 光泵超过阈值后再继续增加输入能量, 锁模序列脉冲的总数并不增加, 总的能量输出略有增加, 但远低于输入能量增加的比例。当输入能量高于阈值 23% 时, 输出能量增加 3%, 当输入能量高于阈值 40% 时, 输出能量增加 5%。但是, 随着输入能量的增加, 脉冲波形的光滑性越来越差。当输入能量高于阈值 50% 以上时, 就出现多列脉冲, 此时输出能量将成倍地增长。

5. 用格兰棱镜测量锁模脉冲的偏振特性,发现输出光是椭圆偏振的。能量之比为10:1。没有观察到偏振面跳变现象。

#### 四、结 论

用  $\text{LiF:F}_2$  色心晶体作为可饱和吸收体的主被动锁模激光器已获得了脉宽为  $1.5 \text{ ns}$  的脉冲序列,其锁模几率为  $100\%$ ,长期稳定性也很好,工作8个月后, $\text{LiF:F}_2$  色心晶体的性能未见变化。通常用调Q方法产生的脉冲宽度一般在  $10 \text{ ns}$  左右,用五甲川染料产生的锁模脉冲宽度在几十  $\text{ps}$  范围内,在用 F-P 标准具选纵模后可展宽成几百  $\text{ps}$ 。因此,用  $\text{LiF:F}_2$  色心晶体作为可饱和吸收体的主被动锁模激光器填补了  $\text{ns}$  脉宽的空白。

最后需要指出的是除了用  $\text{LiF:F}_2$  色心晶体作为可饱和吸收体的主被动锁模外,我们也曾用 BDN 染料片和多掺杂 YAG 晶体作为可饱和吸收体进行了实验,它们都具有较长的上能级弛豫时间,所产生的锁模脉宽均在  $1 \text{ ns}$  左右,与  $\text{LiF:F}_2$  色心晶体的锁模结果相类似,锁模的优劣与腔的参数密切相关。对于这类形式的锁模机理,有待于深入研究。

#### 参 考 文 献

- 1 张贵芬 *et al.*, 应用激光, **6**(6), 5(1986)
- 2 谷正太 *et al.*, 兵器激光, (4), 27(1986)
- 3 L. S. Kornienko *et al.*, *Sov. J. Quant. Electr.*, **15**, 1566(1985)

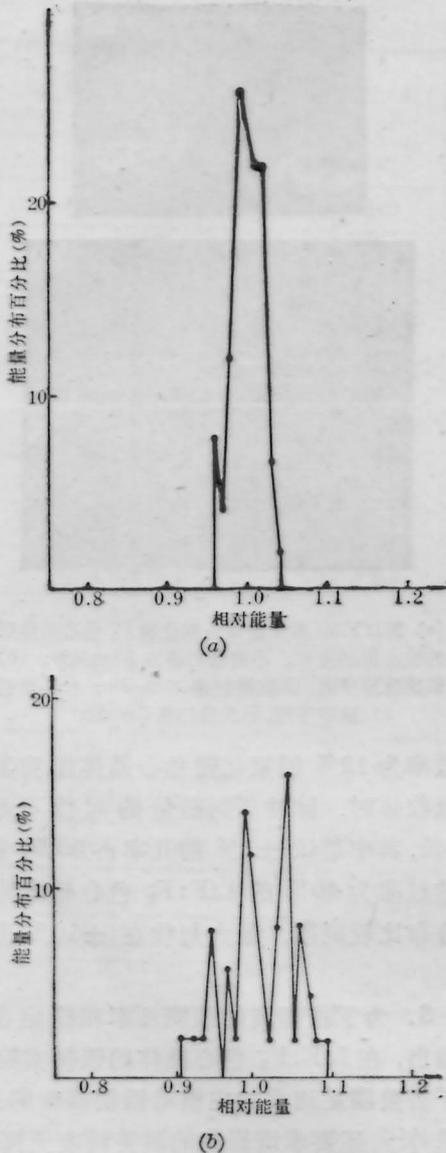


图3 不同初始透过率的  $\text{LiF:F}_2$  色心晶体作可饱和吸收体时的锁模能量的稳定性

- (a) 初始透过率为  $12\%$  的  $\text{LiF:F}_2$  色心晶体  
 (b) 初始透过率为  $40\%$  的  $\text{LiF:F}_2$  色心晶体