

一种新型非线性调 Q 元件——LiF:F₂ 晶体

张贵芬 舒美冬 蔡希洁
(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

实验上首次发现一种新型非线性调 Q 元件——LiF:F₂ 晶体。它综合了晶体及染料调 Q 的优点,是一种理想的调 Q 及锁模元件。

一、引 言

调 Q 和锁模是广泛应用的一项激光技术。就目前常使用的 KDP 类晶体及五甲川类染料来说,都存在着各自的缺点。KDP 类晶体有易潮解的缺点,使用时要干燥密封。这样插入腔内元件多,不但增加了腔内损耗,还会引起腔内的寄生振荡,并且工作时还要附加一套高压供电系统及延迟触发系统,这给使用带来了困难。对五甲川类染料来说,虽然使用简单,但长期使用稳定性差,通常使用几天就要更换,而且液体动态光学质量差,输出光束有较大的畸变,特别在重复频率条件下使用时更为严重。

本文报导的 LiF:F₂ 饱和吸收晶体,既具有染料那种使用简单的优点,又具有 KDP 类晶体那种长期稳定性好,光学质量好的特点,是一种有发展前途的新型饱和吸收材料。

二、晶体的制备和工作原理

经过辐照着色的 LiF 晶体是一种优质红外可调谐激光介质。它的最大特点是可以在室温下运转,调谐范围宽和输出谱线窄,我们曾用经过 γ 射线辐照的 LiF 晶体获得了 F₂ 及 F₂⁻ 色心的激光输出。并从实验得知,不同的辐照条件可以产生不同的色心。

图 1 给出了用 SP-700 分光光度计测得的各种辐照条件下 LiF 的吸收谱。曲线 (a) 是纯 LiF 的吸收曲线,它从紫外到红外有着良好的透过性能。曲线 (b) 是用 10^7 röntgen 辐照后样品的吸收谱,吸收峰处在 4500 \AA 附近,主要是 F 心和 F₂ 心的吸收。曲线 (c) 是用 10^8 röntgen 辐照后样品的吸收谱。除去从 $4000 \sim 5500 \text{ \AA}$ 几乎全吸收外,在 0.96μ 处还出现一个强吸收峰,半宽度大约 1500 \AA ,很明显,它和 Nd³⁺ 的发射谱线相重迭。这是 F₂⁻ 心的吸收峰, F₂⁻ 有四能级机构^[1]。它在强光泵浦下可以出现饱和吸收,其作用类似染料。因此可以用来实现调 Q 和锁模。

对一定厚度样品,可通过变化辐照剂量来实现改变晶体的透过率,这对应于改变染料的浓度。图 1 曲线 (d) 是用 3×10^8 röntgen 辐照后样品的吸收谱, 0.96μ 处的峰明显增大,即

F₂⁻ 心浓度在增加。

根据吸收系数可以从 Smukula 方程^[2]估计出色心的浓度。该公式为:

$$Nf = \frac{amc}{2e^2} \frac{n}{(n^2+2)^2} \alpha_{\max} W$$

$$\approx 1.29 \times 10^{17} \frac{n}{(n^2+2)^2} \alpha_{\max} W,$$

式中 N 为色心浓度, f 为振子强度, n 为介质折射率, α_{\max} 为最大吸收系数, W 是以电子伏为单位的吸收半宽度, 取 $f \sim 0.5$, $W \sim 0.2$ eV, $\alpha_{\max} \sim 1.1$, 代入上式求得 $N \sim 10^{16}/\text{cm}^3$, 也就是说用 10^8 rad 辐照后 F₂⁻ 心的浓度约为 $10^{16}/\text{cm}^3$ 。

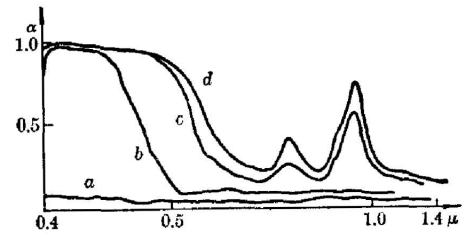


图 1 不同辐照条件下 LiF 的吸收光谱曲线
(a) 纯 LiF; (b) $10^7 R$; (c) $10^8 R$;
(d) $3 \times 10^8 R$; 样品厚度 5 mm

Fig. 1 Absorption spectrum of LiF
at different irradiation condition
(a) pure LiF; (b) $10^7 R$; (c) $10^8 R$;
(d) $3 \times 10^8 R$; sample thickness 5 mm

三、实验装置和结果

用经过 γ 射线辐照后的 LiF 晶体得到了调 Q 脉冲, 并且观察到锁模脉冲序列。采用平凸型不稳定腔结构, 基本达到单横模输出。实验装置如图 2 所示。凸面镜曲率半径为 100 cm, 镀 1.06μ 全反射膜。前腔板为平行平板, 由 8% 的非涅耳反射提供耦合反馈, 腔长为 50 cm, 放大倍率 $M = 3.8$ 。输出球面波经准直透镜校成平面波后进行测量。

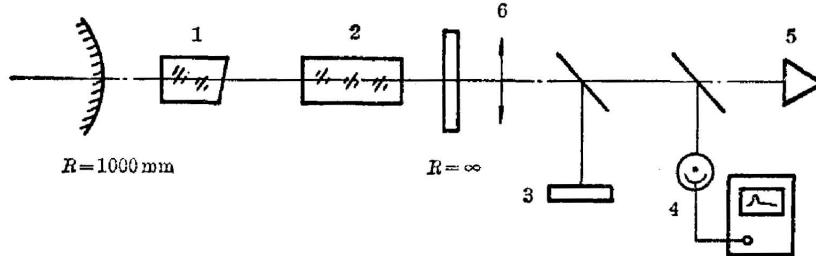


图 2 实验装置示意图

1—LiF:F₂⁻ 晶体; 2—YAG:Nd³⁺ 棒; 3—F-P 标准具; 4—485 示波器; 5—炭斗; 6—准直透镜
Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

1—LiF:F₂⁻ crystal; 2—YAG:Nd³⁺ rod; 3—F-P etalon; 4—Tektronix 485 oscilloscope;
5—energy calorimeter; 6—collimation lens

实验结果和 KDP 晶体调 Q 及 BDN 染料调 Q 作了比较。

1. 输出能量的测量

实验在单次工作条件下进行, 测量了输出和输入的关系, 由于腔内插入元件少, 所以从静态到动态转化效率较高, 如图 3 所示。静态指腔内不放任何元件, 即在自由振荡条件下工作, 动态指插入调 Q 元件后的工作状态。图 3 的其它曲线是不同辐照剂量及样品厚度下的输出。可以看出, 随着辐照剂量的增大, F₂⁻ 心浓度提高, 振荡阈值也提高。但上升斜率变陡, 说明“漂白”时的透过率比较高, BDN 染料的效果比较差。

2. 输出谱宽的测量

由于这种材料调Q的原理和染料相似,主要由非线性饱和吸收效应引起,所以也应具有选择纵模的作用。为此测量了输出谱宽。图4(a)为KDP晶体调Q的二次谐波的F-P干涉图,从图中可以看出明显的多纵模结构,线宽大约为 0.2 \AA 。图4(b)为LiF:F₂⁻晶体调Q的二次谐波F-P干涉图,虽曝光6~7个脉冲,仍是单一的同心环结构。测得线宽约为 0.05 \AA 。图4(c)为BDN染料调Q的二次谐波的F-P干涉图,和LiF:F₂⁻晶体一样,为单一的同心环结构。这表明在选纵模方面,LiF:F₂⁻晶体和BDN染料有相同的性能。

3. 输出时间特性测量

用485示波器配以S1018 PIN强流二极管,测量了LiF:F₂⁻晶体调Q的脉冲宽度如图5(a)所示,照片是经过10个脉冲重迭曝光拍得的。半功率点之间的宽度约为8~9 ns。同时测得该条件下的输出能量在35~40 mJ之间,相应输出功率在3~5 mW之间。和同台器件用KDP调Q的输出水平不相上下,图5(b)是KDP调Q脉冲波形,是用7904示波器配以同一强流管拍摄的。测得半宽度为8 ns,输出能量为30 mJ。脉冲包络线不平滑是由多纵模竞争引起的。LiF:F₂⁻晶体调Q脉冲包络线平滑,这是由于选择纵模效应引起的。

最后,用5 mm厚度的LiF:F₂⁻晶体进行了锁模现象观察,在485示波器上看到了规则的锁模脉冲序列,调制深度大于90%,图6是从示波器上描下的锁模脉冲波形。

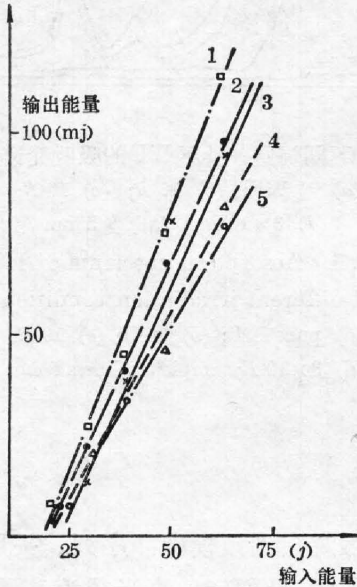


图3 不同辐照条件下的输出能量
1—自由振荡; 2— $10^8 R$, 3 cm; 3— $3 \times 10^8 R$, 3 cm; 4— $2 \times 10^8 R$, 5 cm; 5—BDN染料
Fig. 3 Output energy under different irradiation conditions
1—free oscillation; 2— $10^8 R$, 3 cm; 3— $3 \times 10^8 R$, 3 cm; 4— $2 \times 10^8 R$, 5 cm; 5—BDN dye

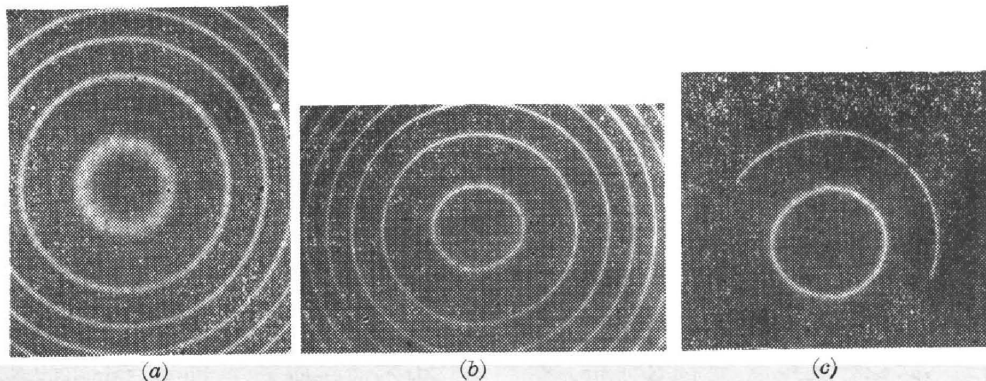


图4 二次谐波的F-P干涉图

(a) KDP晶体调Q; (b) LiF:F₂⁻晶体调Q; (c) BDN染料调Q

Fig. 4 F-P interference pattern of second harmonic wave

(a) KDP crystal Q-switch; (b) LiF:F₂⁻ crystal Q-switch; (c) BDN dye Q-switch

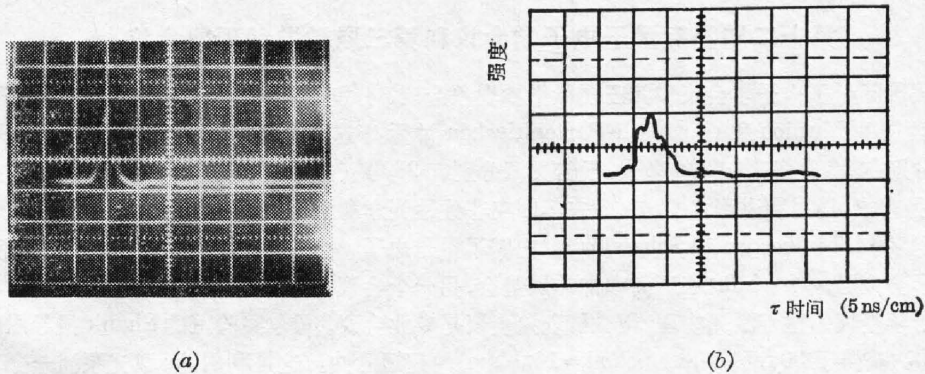
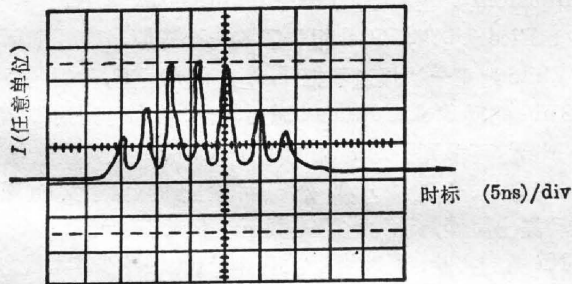


图 5

(a) LiF:F₂⁻ 晶体调 Q 波形 (20 ns/div); (b) KDP 晶体调 Q 波形 (半宽度 6 ns)

Fig. 5

(a) wave shape of output laser at LiF:F₂⁻ crystal Q-switch (20 ns/div.);
 (b) wave shape of output laser at KDP crystal Q-switch (half width 6 ns)

图 6 LiF:F₂⁻ 锁模中的脉冲序列输出Fig. 6 Pulse train output in LiF:F₂⁻ lock-mode

关于 LiF:F₂⁻ 晶体的稳定性问题, 到目前为止使用近三个月, 未见输出性能的变化。详细的性能研究正在继续进行。

本实验所用的 LiF 晶体是由上海光学仪器研究所范福昌同志提供, 深表感谢。

参 考 文 献

- [1] Ю. А. Гусев и др.; «Кван. Элек», 1978, 5, № 8, 1685.
 [2] J. H. Schulman et al.; «Color Center in Solides», (Pergamon Press, 1962).

A new non-linear Q-switch element——LiF:F₂⁻ crystal

ZHANG GUIFEN SHU MEIDONG AND CHAI XIJIE

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

(Received 21 January 1982)

Abstract

A new non-linear Q-switch was discovered first in our experiment. It synthesizes advantage of crystal and dye Q-switch, and is one kind of ideal Q-switches and lock mode elements.