

LiF 色心晶体—红宝石激光器被动 Q 开关*

张 贵 芬

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

用着色 LiF 晶体中的色心做红宝石激光器的被动 Q 开关,得到了能量为 50mJ, 脉冲宽度为 30ns (FWHM)的巨脉冲输出,并和隐花青(cryptocyanine)等染料调 Q 作了比较。

一、引 言

在文献[1]中提出用色心实现红宝石调 Q,采用的是 SrF₂ 中的 F₂ 心。用这种晶体虽然得到了兆瓦级的输出功率,但色心很易漂白。一次开关作用后,因色心漂白而变成脉冲列输出,峰值功率也下降到 0.2MW。几次 Q 开关作用后,色心大部分被漂白,开关作用也随之消失。因此,这种色心晶体没有实际应用的价值。

本文在研究着色 LiF 晶体用于 Nd³⁺ 激光器调 Q 的同时,发现在 6943 Å 处同样存在着吸收,因此可用作红宝石激光器调 Q,并且通过实验得到了预期的结果。

此外, LiF 晶体的优良性质使它适宜于做高功率激光元件。它有高的热导率(0.104 W/cm·°C),特别适合做高重复率激光器 Q 开关元件;有高的破坏阈值(1.7GW/cm², 1ns 脉宽, 1.06 μ),在高功率激光作用下不易损伤;晶体硬度低,易于光学加工;在空气中不易潮解,易于保存。

二、简单原理及实验结果

1. 原理

被动式调 Q 的一个重要作用在于透过率是光强的函数。从光谱学的观点来看,色心就等效于染料分子。当把这种晶体放入激光共振腔内时,如果吸收和激光发射线重叠,那么当光强达到特征值时,由于亚稳态的贮存,可以呈现出饱和吸收现象,介质的透过率发生突然变化,从而实现调 Q。

2. 实验结果

实验用的红宝石棒为 φ6×100mm,端面为平行平面,未镀增透膜。双灯泵浦,供电电容为 270μf,指数放电。由于棒质量比较差,用平面腔时,光泵阈值很高,输出很弱,光斑呈月牙状,本文改用近半共焦腔,曲面镜 R=100cm 的全反射膜,输出平面镜反射率为 66%,腔长 55cm。实验结果如图 1 所示。图中曲线 1 为自由振荡的输出特性,曲线 2 为 LiF 色

收稿日期: 1983 年 9 月 10 日

* 本文在 '83 ICL (中国,广州)上张贴

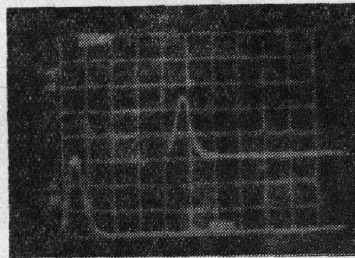
心晶体调 Q 的动态输出特性; 呈现出被动 Q 开关所特有的阶梯状结构。每增高一阶, 脉冲冲也增加一个。光泵能量越高, 阶梯宽度越窄。

实验测出 LiF 色心晶体在波长为 0.69μ 的初始透过率 $T_0 \approx 72\%$ 时, 输出单脉冲电压范围为 $70 \sim 80\text{ V}$, 开关效率(即动静比)大约为 27% 。用 LCA 高灵敏度能量卡计配以 AC-15/3 直流复射式检流计测量输出能量, 最高达 50 mJ , 多次测量均在仪器误差范围内, 重复性好。

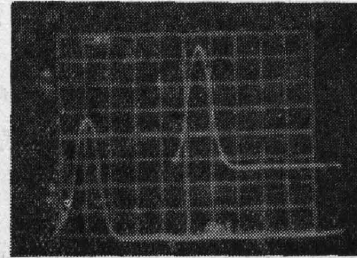
图 2(a) 为 LiF 输出脉冲波形。使用的 7904 示波器配以 SI108 强流二极管接收, 响应时间分别为 0.6 ns 和 0.4 ns 。脉冲宽度大约为 30 ns (FWHM)。巨脉冲输出功率大约为 1.5 MW 。

用初始透过率 $T_0 \approx 75\%$ (在 0.6μ 处) 的隐花菁(cryptocyanine)染料, 溶剂为甲醇, 在同样条件下, 输出能量为 $35 \sim 40\text{ mJ}$, 起伏比较大。输出脉冲波形如图 2(b) 所示。半宽度约为 40 ns , 脉冲电压区约为 100 V 。这些结果说明两种 Q 开关有相近的性能。

用 Hilger-Watts 的 F-P 标准具测量谱宽, 标准具厚 3.13 mm 。自由振荡的输出谱宽为 0.15 \AA , LiF 调 Q 谱宽为 0.07 \AA , 而隐花菁的谱宽为 0.1 \AA 。引起这种谱线增宽的原因, 一方面可能是由于共焦腔存在大量简并模, 它们的损失差别很小, 另一个可能的原因是由红宝石棒端面构成的子腔引起的。详细过程有待进一步分析。



(a)



(b)

图 2 输出脉冲波形

Fig. 2 Wave shapes of output for two types of Q-switching

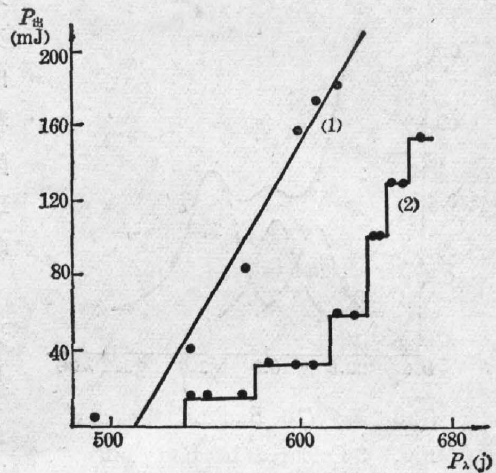


图 1 红宝石激光器静态(1)及动态(2)输出性能

Fig. 1 Output of the ruby laser (1) static state; (2) dynamic state

三、讨 论

首先分析哪一种色心对红宝石起开关作用。为此, 测量了着色 LiF 的吸收谱, 如图 3 所示。吸收谱主要呈现三个吸收区, 每个区相应一种或几种色心吸收的叠加。按照已知的 Mollow-Ivey 经验公式, 短波吸收区主要由 F_2^- 心(中心波长 4450 \AA), R^+ 心(4580 \AA)产生。 F_2^- 心吸收虽处在 6400 \AA , 因 F_2^- 在室温很不稳定, 半衰期只有十几个小时, 所以不会有 F_2^-

心存在。长波吸收区是由 F_2^- 心 (0.95μ) 引起的。这些吸收区都远离红宝石的发射线,不会对调 Q 产生影响。从辐射实验知道,随着剂量的增大,短波区吸收向长波扩展, 7900 \AA 吸收峰增强,由文献[2]可知, 7900 \AA 的吸收峰是由 R_2^- 产生的,同时在 6800 \AA 处还有 R_1^- 的吸收峰,这些吸收峰宽度都在 1000 \AA 以上,重叠在红宝石的激光发射线上。因此可以认为对红宝石起调 Q 作用的色心是 R^- 心。 R^- 心的吸收如图 3 中虚线所示。实线是各种色心吸收的迭加。

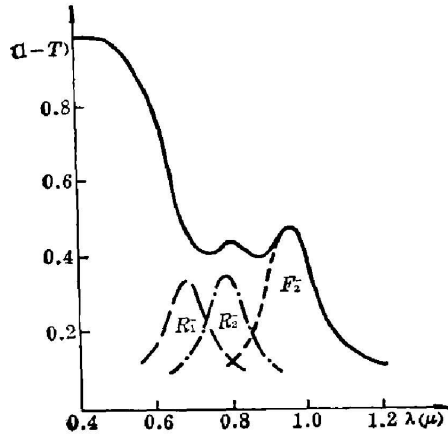


图 3 着色 (10^8 Rad) LiF 吸收谱
Fig. 3 Coloured (10^8 Rad) LiF
absorption spectrum

R^- 心是三个 F 心在 $\langle 111 \rangle$ 平面上结合而成的聚集心,可以多俘获一个电子。它的形成过程可能是由 F_2^- 心和 F 心结合而成的。从辐射动力学过程可知,增加辐照剂量, F_2^- 心吸收峰增加很小,而 R^- 心吸收峰却增加较快,这说明在形成 R^- 心时消耗了部分 F_2^- 心。因为 R^- 心 $\propto [F] \times [F_2^-]$,只有在足够剂量时,才能成形一个定量的 R^- 心。实验中用 2×10^7 Rad 辐照剂量的样品,只能实现调 Q 脉冲列,不能得到单个峰,只有在 10^8 Rad 以上剂量时,才能产生高功率调 Q 脉冲。

R^- 心由于缺乏象 F 心那样好的对称性,所以可以产生几个吸收带,而发射带却是一个,相应从最低激发态到基态跃迁^[3],我们用 PZM-Q3 荧光光度计测量其荧光谱,当用 6900 \AA 激发时,在 7550 \AA 处有一发射带,其强度要比 F_2^- 的荧光弱得多。它可能就是 R^- 的荧光谱,说明 R^- 心浓度较 F_2^- 心低得多。

实验用的晶体经 X 光定向, (100) 面几乎垂直激光轴,红宝石输出是线偏振光。虽然 R^- 心不对称,但改变晶体方向,对激光输出没有明显影响。

为了研究 LiF 调 Q 性能,在腔外测量了非线性透过率的变化,如图 4 所示。可以看到,透过率的变化比较缓慢。这可能说明还存在着其它的吸收机构。

最后,有关 LiF 色心晶体的使用寿命,在文献[2]中报导了 R^- 的室温时不稳定,作者是用 X 射线着色,辐照剂量较低。我们的 LiF 是用 γ 射线辐照,剂量在 10^8 Rad 以上。一块晶体在室温下自然放置达九个月,在 6943 \AA 处透过率从 40% 增加到 70%,仍有显著的调 Q 作用。另有一块晶体,在室温下放置三个月,透过率几乎没有变化。影响 R^- 心稳定性的因素更深入的工作有待进一步研究。

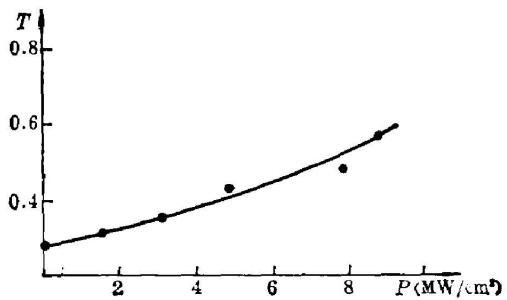


图 4 LiF 色心晶体的非线性透过率
Fig. 4 Nonlinear transmission coefficient
in LiF crystal with colour centres

参 考 文 献

[1] R. Hultsch; *Phys. Stat. Sol. (a)*, 1978, 47, No. 2, 415.

- [2] J. Nahum; *Phys. Rev.*, 1967, **158**, No. 3 (Jun), 814.
[3] F. Abele's; *Optical Properties of Solids*, (North-Holland Publish Company, Amsterdam-London, 1972), 653.

Colour centres in LiF crystal-passive Q-switching in ruby laser*

ZHANG GUIFEN

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

(Received 10 September 1982)

Abstract

Using a LiF crystal with colour centres as passive Q-switch in ruby laser, a giant pulse laser output of 50 mJ with pulse duration of 30 ns (FWHM) is obtained. It is compared with that of using cryptocyanine dye as Q-switch.

* This paper was posted at '83 ICL (Guangzhou, China)