

# 关于LiF:F<sub>2</sub><sup>-</sup>晶体调Q的若干问题

张贵芬

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海)

**摘要:** 本文讨论了F<sub>2</sub><sup>-</sup>的寿命及不同工作参数对调Q性能的影响, 实验结果和理论计算结果有很好的 consistency。

## Some problems of LiF:F<sub>2</sub><sup>-</sup> crystal passive Q-switch

Zhang Guifen

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

**Abstract:** This paper discusses the lifetime of F<sub>2</sub><sup>-</sup> centers in LiF crystal and effect of different operating parameters on characteristics of Q-switching lasers. The experimental results are in reasonable agreement with the values given by theory model.

### 一 引 言

自从LiF:F<sub>2</sub><sup>-</sup>色心晶体被动Q开关问世以来, 多年的实践证明, 对于Nd激光器确实是一种理想的调Q元件。它不但具有寿命长, 操作简单等特点, 而且调Q效率很高。它既可以应用在高功率、高重复频率Nd激光系统, 也可以用来产生几十千赫兹重复率的巨脉冲序列; 既可以用来在连续Nd激光中产生调Q脉冲, 也可以用来实现锁模。因此, 它有着广阔的应用前景。本文报导了关于LiF:F<sub>2</sub><sup>-</sup>晶体调Q的一些新结果。目的在于获得更理想的使用条件。

光方位的关系曲线, 测量表明图3中的起偏镜旋转一周, 分束比的最大起伏<0.2dB。

### 参 考 文 献

- [1] Azzam R. Appl Opt, 1986; 5(23): 4225
- [2] Dearson R, Sullivan T, Frekel L. J Mol Spectrosc, 1970; 34: 440
- [3] Amiot C, Guelachvili G. J Mol Spectrosc, 1974; 51: 475
- [4] Baumeiter P. Opt Acta, 1961; 8: 105
- [5] Hirschfeld T. Appl Spectrosc, 1975; 29: 192
- [6] 小川智哉. 应用晶体物理学. 北京: 科学出版社, 1985: 71

收稿日期: 1991年4月6日。收到修改稿日期: 1991年6月24日。

## 二、关于 $F_2^-$ 心的稳定性估计

色心晶体调Q和其它调Q元件一样,使用寿命是一个关键问题。没有足够长的使用寿命,就很难谈得上它的应用前途。影响色心稳定性的因素主要有两个:一个是由于热激励引起色心退色,即所谓的热稳定性;另一个因素是由于光辐照引起色心退色,即所谓稳定性问题。特别是在强激光作用下,存在所谓二步电离问题。例如,LiF晶体中的 $F_2^-$ 心,在Nd激光二次谐波光作用下离化成 $F_2^{2+}$ 心。用LiF: $F_3^-$ 心对红宝石激光调Q,发现 $F_3^-$ 心退色,在参考文献[1]中我们曾经讨论过 $F_2^-$ 心的稳定性问题。现在我们用时间效应估计 $F_2^-$ 心的寿命。方法是用同一块晶体在不同时间测试其调Q性能,讨论其稳定性问题。所用晶体在1982年着色。在室温条件下放置,其间曾间断用于调Q实验。实验结果如表1所示。

表1 LiF: $F_2^-$ 晶体调Q性能与时间的关系

实验时间	实验条件	自由振荡阈值 (J)	调Q泵浦能量 (J)	静态输出能量 (mJ)	调Q输出能量 (mJ)	动静比	单脉冲能量域 (J)	脉冲宽度 (ns)
1982.2	$\phi 4 \times 100\text{mm}$ Nd:YAG 电容量 $C = 100\mu\text{f}$ 平凸不稳定腔 $L = 50\text{cm}, M = 3.8$ 输出镜 $R = 8\%$	27	50	100	49.5	0.5	12	10
1986.7	$\phi 4 \times 80\text{mm}$ Nd:YAG 电容量 $C = 100\mu\text{f}$ 平凸不稳定腔 $L = 25\text{cm}, M = 2.6$ 输出镜 $R = 8\%$	21	42	107	60	0.56	10	7
1991.4	$\phi 4 \times 90\text{mm}$ Nd:YAG 电容量 $C = 40\mu\text{f}$ 平面腔 $L = 52\text{cm}$ 输出镜 $R = 8\%$	65	15.5	96	56	0.58	7.5	15

三次实验条件虽然不同,但从表1可以看出,在着色后的九年期间,调Q激光的输出能量,动静比及单脉冲能量范围都没有什么变化。仍有很好的调Q功能。该晶体着色后的透过率为 $T = 12\%$ 。现在从我们器件上测试出 $T = 15\%$ 。如果色心退色按 $n = n_0 \exp(-t/\tau)$ 形式衰变,可以估算出色心退化半衰期 $\tau$ 为82年。因此,保守一点说,在常温下一块晶体使用20年或30年是没有任何问题的。

从 $F_2^-$ 心的光离化实验可知,  $1.06\mu\text{m}$ 及 $0.53\mu\text{m}$ 强激光共同作用下可以使色心离化,也就是 $F_2^-$ 心的离化能在 $3.7\text{eV}$ 左右,即使高功率 $1.06\mu\text{m}$ 激光,双光子能量也不足以使 $F_2^-$ 心离化。这也和实验观测到的结果一致。

## 三、不同参数对LiF: $F_2^-$ 晶体调Q的影响

从调Q理论可知 $n_1/n_2$ 是决定调Q性能的一个关键参数, $n_1$ 是初始反转粒子数, $n_2$ 是阈值

处反转粒子数。粗略可近似认为 $n_i/n_f = E_{\text{泵}}/E_{\text{阈}}$ 。输出能量、脉冲宽度及动静比直接和该值有关系,特别是对 $n_i/n_f$ 从1.5~3之间变化更灵敏。在给定泵浦腔结构条件下,增大 $n_i$ 的方法是提高泵浦速率以加快 $n_i$ 的积累,也可以降低晶体初始透过率使 $E_{\text{泵}}$ 增大。降低 $n_i$ 的方法是增加输出镜的反射率。这其中有一最佳匹配值。表2列出了不同参数对调Q性能的影响。

表2 LiF: F<sub>2</sub><sup>-</sup>晶体调Q与工作参数的关系

测 试 参 数	电容量	电容量		电容量	电容量
	C = 30μf R = 8%	C = 40μf R = 8%	R = 50%	C = 80μf R = 8%	C = 120μf R = 8%
光泵浦脉冲半宽 (μs)	30	36	36	50	70
自由振荡阈值 (J)	6	6.2	1.8	8.3	8.5
调Q泵浦能量 (J)	15	15.5	10.6	16.4	17.5
$E_{\text{泵}}/E_{\text{阈}}$	2.5	2.5	5.9	1.98	2.05
自由振荡能量 (mJ)	84	96	57	89	92
调Q输出能量 (mJ)	50	56	27	37	40
动 静 比	0.59	0.58	0.47	0.42	0.43
单脉冲能量阈 (J)		7.8		5	4.8

从表2可以看出,随着电容器容量的减少使光泵浦脉冲变窄,同样输入能量相应使泵浦速率增加,有利于 $n_i$ 的快速积累,可提高调Q性能。另一方面,增加输出镜反射率虽然降低了 $n_i$ ,但使输出性能变坏。这是因为腔内耗 $L$ 起了作用。因为贮能利用系统 $\eta = \ln(1/R) / [\ln(1/R) + L]$ ,增大 $R$ 使 $\eta$ 下降。对 $L=0.1$ ,当 $R=8\%$ 时, $\eta \sim 0.96$ ,而当 $R=0.5$ 时, $\eta = 0.87$ 。所以为了更好地提取贮能,应尽量降低反射率 $R$ 值。

#### 四、实验结果和理论计算结果的比较

通过实验和理论计算结果的比较,可以了解Q开关理论的适用性程度,为设计合理的腔参数提供理论根据。

从快速Q开关理论已得到了有关输出能量 $E$ ,脉冲宽度 $\Delta t$ ,峰值功率 $P$ 及脉冲建立时间 $t_D$ 等一系列参数,其结果为<sup>[2]</sup>

$$E = \eta \left( \frac{n_i - n_f}{2} \right) h\nu V \quad (1)$$

$$\Delta t = t_c \frac{n_i - n_f}{n_i - n_f [1 - \ln(n_i/n_f)]} \quad (2)$$

$$P = E / \Delta t \quad (3)$$

$$t_D = \frac{t_c}{n_i/n_f - 1} \ln(q_b/10) \quad (4)$$

$$q_b = V \cdot n_i [n_i/n_f - \ln(n_i/n_f) - 1] \quad (5)$$

式中, $n_f$ 为巨脉冲终了时反转粒子数, $t_c$ 为光子寿命, $V$ 为增益介质体积。可以直接和实验比较的参数是输出能量 $E$ 及脉冲宽度 $\Delta t$ ,表3给出了比较结果。

表3 实验值与理论计算值的比较

实 验 参 数	$n_i/n_f$	贮 能 $E$ (mJ)	静 态 输 出 能 (mJ)	调 Q 输 出 能 (mJ)	动 静 比	脉 冲 宽 度 (ns)	脉 冲 建 立 时 间 (ns)
$R = 8\%$ 理论计算值	2.46	99.8	97	43.8	0.45	6	18
$R = 8\%$ 实验值	2.5		96	56	0.58	15	
$R = 50\%$ 理论计算值	5.9	71	64	32	0.5	9.3	19.5
$R = 50\%$ 实验值	5.9		58	27	0.46	20	
$R = 8\%$ 理论计算值	1.97	82	79.5	35.8	0.45	8	18
$R = 8\%$ 实验值	1.97		89	37	0.42	15	

计算应用中 $E_{贮} = n_i h\nu V$ 及 $E_{静} = E_{贮}\eta$ 和从公式 $n_f = n_i \exp[-n_i/n_f(n_i/n_f - 1)]$ 所绘曲线中查出当 $n_i/n_f = 2.0$ 时,  $x = (n_i - n_f)/n_i = 0.83$ , 当 $n_i/n_f = 2.5$ 时,  $x \approx 0.9$ ,  $n_i/n_f = 3$ 时,  $x = 1$ 。

从表3可知, 静输出能量及动静比二者符合得很好。这说明Q开关理论可以适用于LiF:F<sub>2</sub><sup>-</sup>晶体调Q。实验得出动静比大于0.5, 其原因是理论计算假定脉冲宽度远小于Nd离子的终态寿命(~30ns), 所以只能有一半反转粒子能利用。而实验结果是脉冲宽度和终态寿命相近, 在脉冲发展期间, 有一部分终态能级上粒子弛豫到基态, 从而提高了反转粒子的利用率。

典型的调Q脉冲波形如1所示, 因为 $n_i/n_f = 2.5$ , 正如理论所预言的, 脉冲波形基本上是对称的。脉冲宽度之所以大于理论计算值, 是因为在平面腔情况下多模振荡引起的不同模的不同发展时间加宽了脉冲宽度。当用不稳定腔选出单模振荡时, 二者基本一致。另外从脉冲建立时间来看是比较长的, 偏离快开关条件, 也是造成差别的一个原因。

图1 LiF:F<sub>2</sub><sup>-</sup>晶体调Q脉冲波形

综上所述, 快Q开关理论可用来计算获得最佳工作条件的理论基础。因LiF:F<sub>2</sub><sup>-</sup>晶体调Q属于被动型开关, 初始透过率决定了 $n_i$ 值。要想得到更大的 $n_i$ 以获得更多输出能量, 须进一步降低LiF:F<sub>2</sub><sup>-</sup>晶体初始透过率。由于该晶体Q开关有着良好的稳定性, 使用简便及高效率等特点, 可以预期将得到更广泛的应用。

## 参 考 文 献

- [1] 张贵芬, 激光与红外, 1984; (4): 28

# MAIN CONTENTS

Reflection and attenuation of laser radiation propagating in ocean water .....	(1)
The development of laser rangefinding technology for military of use .....	(7)
Cooperative effect of atomic interactions in a single-photon laser.....	(12)
Investigation of the 2.5kW transverse flow CO <sub>2</sub> (helium-free) laser.....	(18)
Polarization characteristics of external cavity He-Ne lasers.....	(21)
The experimental study on the change of diffraction beam position caused by a small angle variation of grating.....	(29)
The theoretical analysis and experiment of diffraction intensity distribution of Gauss laser beam.....	(32)
Design and application of electronic speckle pattern interferometer.....	(37)
The depolarization characteristics of scattering light of invisible multi-crystal minerals.....	(42)
The degree of polarization and model of a CO <sub>2</sub> laser .....	(46)
Analysis of dynamic process of modelocked laser based on a novel nonlinear mirror.....	(50)
The use of Nd:YAP laser irradiation at Ashi point for analgesia in drawing-tooth .....	(55)
Polarization-independent beam-splitter made of bireingent crystal .....	(58)
Some problems of LiF:F crystal passive Q-switch.....	(61)

---

[ 2 ] Svelto O. Principles of laser. Second edition, Plenum Press,  
1982: 177

\*

\*

\*

作者简介: 张贵芬, 1938年9月出生。副研究员。长期从事固体激光器的研究工作。

收稿日期: 1991年5月3日。