

文章编号: 0258-7025(2004)01-0029-04

# La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub> 晶体电光 Q 开关的研究

尹 鑫, 王继扬, 张少军

(山东大学晶体材料研究所晶体材料国家重点实验室, 山东 济南 250100)

**摘要** 模拟旋光晶体在激光腔中作为电光 Q 开关使用时的工作状态, 建立了研究旋光晶体电光效应的实验装置。通过对旋光晶体在正交偏光和平行偏光干涉实验中干涉现象的研究, 得到了旋光晶体在激光腔中作为电光 Q 开关使用时的最佳构图, 并将典型的旋光晶体 La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub> 成功地制作成了电光 Q 开关。

**关键词** 物理光学; 旋光性; 电光效应; 偏光干涉; 电光 Q 开关

中图分类号 TN 243 文献标识码 A

## Study on Electro-optic Q Switch of La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub> Single Crystal

YIN Xin, WANG Ji-yang, ZHANG Shao-jun

(National Key Laboratory of Crystal Materials, Institute of  
Crystal Materials, Shandong University, Jinan, Shandong 250100, China)

**Abstract** By simulating the Q-switch process of the optical activity crystals in the laser cavity, the experiment setup for studying the electro-optic effect of the optical activity crystals is designed. The phenomenon of interference of the optical activity crystals in the perpendicular polarized light and the parallel polarized light is studied. The optimum configuration for the optical activity crystals to be used as the electro-optic Q-switch in the laser cavity is obtained, and the electro-optic Q-switch is made by using the typically optical activity crystal La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub> successfully.

**Key words** physical optics; optical activity; electro-optic effect; polarized light interference; electro-optic Q-switch

## 1 引 言

旋光性是指单色平面偏振光沿光轴方向通过晶体后, 其偏振面会发生转动, 转动的角度与晶片的厚度成正比。旋光晶体中光的偏振面的旋转是相对于波矢量  $k$  而言的, 迎着光线看去, 一束光沿波矢量  $k$  方向传播了一定距离后, 其偏振面转过了角度  $\phi$ , 如被反射, 沿  $-k$  方向回到出发点, 其偏振面旋转的角度为  $\phi + (-\phi) = 0^{\circ[1,2]}$ 。利用这一原理, 在 La<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>SiO<sub>14</sub> (简称 LGS)<sup>[3,4]</sup> 单晶的  $x$  方向加电场,  $z$  方向通光, 将典型的旋光晶体 LGS 单晶制作成了电光 Q 开关, 用于 Nd:YAG 激光器的激光腔中作调 Q 使用, 成功地实现了调 Q 的目的。

## 2 LGS 电光 Q 开关的工作原理

### 2.1 实验 (1)

研究旋光晶体的电光效应实验装置 (1) 如图 1 所示。通过起偏器的一束平面偏振光由分光板分成两束, 一束被分光板反射掉, 另一束则通过分光板和有旋光性的电光晶体 LGS。由全反镜反射回后, 又一次通过 LGS 晶体, 再由分光板反射为与入射光成  $90^{\circ}$  角方向传播的光, 经过检偏器后, 光信号由光电二极管转变成电信号。在此实验中, 由于平面偏振光来回两次通过旋光晶体 LGS, 该晶体的旋光性引起偏振面旋转的角度为零。因此, 此装置可以用来模拟旋光晶体在激光腔中作为电光 Q 开关使用时的工作状态。

连续转动检偏器, 测得的最大光强信号与最小

收稿日期: 2002-08-19; 收到修改稿日期: 2002-12-27

基金项目: 国家 973 项目 (G1998061403) 和教育部博士点基金 (20020422007) 资助课题。

作者简介: 尹鑫 (1951—), 男, 山东省莱州市人, 山东大学晶体材料研究所高级工程师, 主要从事晶体物理性能的研究。

E-mail: yinxin@u.cn

万方数据

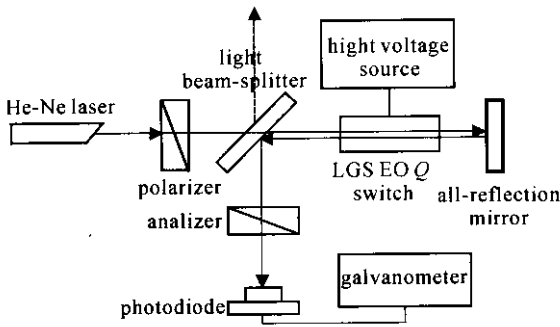


图1 研究旋光晶体电光性能实验装置(1)

Fig. 1 Experiment setup (No. 1) for studying the electro-optic property of optical activity crystals

光强信号之比,称为晶体的静态消光比。例如,一块  $x \times y \times z = 8 \text{ mm} \times 9 \text{ mm} \times 55 \text{ mm}$  LGS 单晶的静态消光比为 1:130。

调整检偏器和起偏器正交时,在晶体加半波电压  $V_{\pi}$  时测得的光强信号,与晶体上未加电压时测得的光强信号之比称为电光晶体在正交偏光下的动态消光比。上面提到的 LGS 单晶在正交偏光下的动态消光比为 1:60。

调整检偏器和起偏器平行,晶体上未加电压时测得的光强信号,与晶体上加半波电压  $V_{\pi}$  时测得的光强信号之比称为电光晶体在平行偏光下的动态消光比。那块 LGS 单晶在平行偏光下的动态消光比仅为 1:5。

测量结果表明,用旋光晶体 LGS 作为电光 Q 开关,在激光腔中最好采用正交偏光干涉原理。

检偏器和起偏器仍然保持平行,在旋光晶体 LGS 和全反镜之间插入一块无旋光性的电光晶体 LN,在 LN 晶体上加半波直流电压,这时出射光强信号最小。再在 LGS 单晶上加电压至半波电压,这时,出射光强信号最大。LGS 单晶这时的动态消光比为 1:55,和正交偏光下的动态消光比差不多。

由实验结果可知,用旋光晶体 LGS 作为电光 Q 开关,在激光腔中的旋光晶体 LGS 和全反镜之间插入  $\lambda/4$  波片,可将平行偏光干涉转变为正交偏光干涉。

以上实验说明,光束来回两次通过旋光晶体,其偏振面旋转的角度为零,宏观上看,和无旋光性的电光晶体并无多大差别,实际上,有旋光性的电光晶体和无旋光性的电光晶体还是有很大差别的。由于光束来回反射的次数太多,实验中未观察到旋光晶体的锥光干涉图。因此用另一实验装置(2)进行观察。

## 2.2 实验(2)

实验装置(2)如图 2 所示。

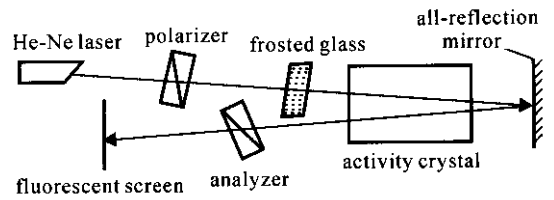


图2 研究旋光晶体电光性能的实验装置(2)

Fig. 2 Experiment setup (No. 2) for studying the electro-optic property of optical activity crystals

经过起偏器的 He-Ne 激光束,通过一块毛玻璃后成为一束锥光,入射至旋光晶体。沿光轴方向通过旋光晶体的激光束,由全反镜反射回来,又一次通过旋光晶体以及检偏器。转动检偏器,使其偏振方向分别与激光束的偏振方向垂直或平行。在荧光屏上可观察到其锥光干涉图,如图 3 所示。

图 3 说明光束来回两次沿光轴方向通过旋光晶体,虽然其偏振面旋转的角度为零,但和沿光轴方向通过无旋光性晶体的锥光干涉图并不一样。就晶体的旋光性而言,光束一次通过和来回两次通过旋光晶体,其锥光干涉图没有本质的差别。所以,对光束一次通过旋光晶体锥光干涉图的研究结果同样适用于光束来回两次通过旋光晶体。

## 2.3 实验(3)

旋光晶体 LGS 和非旋光晶体 LN 的正交偏光锥光干涉图如图 4 所示。从图 4(b)可以看出, LN 晶体锥光干涉图的中心是一黑十字花。图 4(a)显示 LGS 晶体锥光干涉图中心是一黑斑,且面积较小。LN 晶体黑十字花的黑色部分大一些。这是因为目前发现的旋光晶体大多数是正单轴晶体,其双折射比较小的原因(LGS 晶体在  $\lambda = 1.083 \mu\text{m}$  时,  $\Delta n = n_e - n_o = 1.89156 - 1.88021 = 0.01135$ )<sup>[5]</sup>。如果用正交偏光干涉作为旋光晶体电光 Q 开关的关门状态,晶体应力引起的光学不均匀性和晶体加工定向误差对消光效果的影响比非旋光晶体更小一些。

当光束一次通过旋光晶体 LGS 和非旋光晶体 LN 时,晶体上加半波电压,其平行偏光锥光干涉图如图 5 所示。

从图 5(b)可以看出,当样品上加半波电压时, LN 晶体锥光干涉图的中心是两组双曲线围成的黑色部分,而图 5(a)显示,样品上加半波电压时, LGS 晶体锥光干涉图的中心是两个圆相切的黑色部分,其面积较 LN 的黑色部分小一些。如果用平行偏光

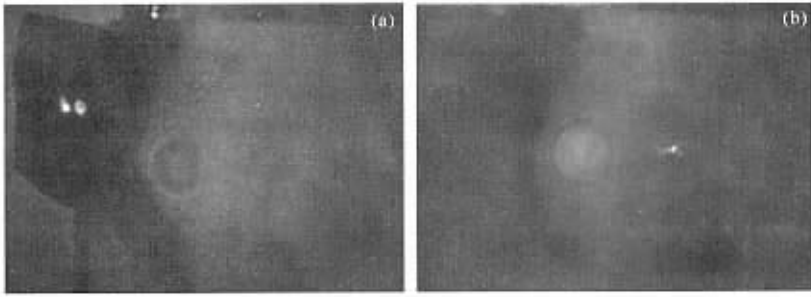


图 3 He-Ne 激光束来回两次通过旋光晶体的锥光干涉图

(a) 检偏器和激光束的偏振方向垂直; (b) 检偏器和激光束的偏振方向平行

Fig. 3 Cone light interferogram of the optical activity crystal for He-Ne laser two times passing through the crystal

(a) the analyzer is perpendicular to the polarized direction of the laser;

(b) the analyzer is parallel to the polarized direction of the laser

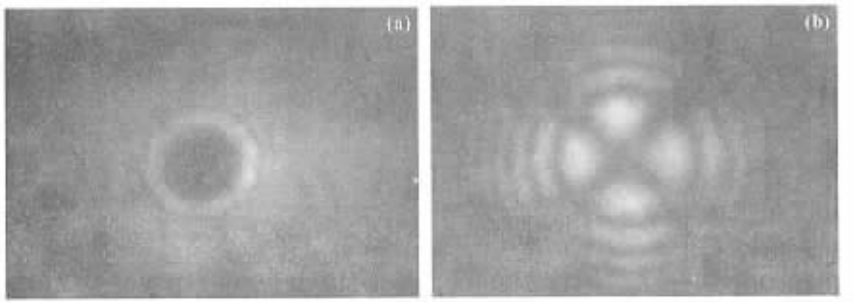


图 4 旋光晶体 LGS(a)和非旋光晶体 LN(b)的正交偏光锥光干涉图

Fig. 4 Cone light interferogram of optical activity crystal LGS in perpendicular polarized light (a) and

non optical activity crystal LN in parallel polarized light (b)

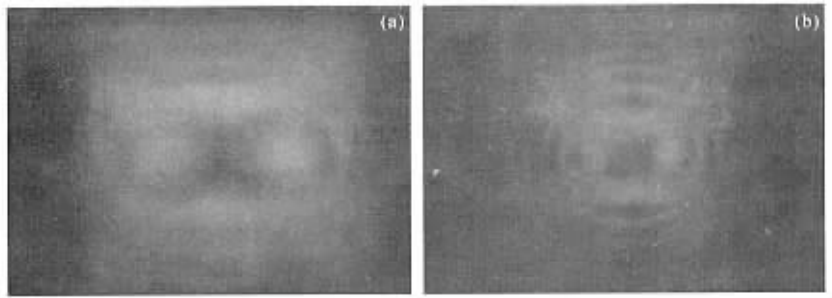


图 5 晶体上加半波电压时,旋光晶体 LGS(a)和非旋光晶体 LN(b)的平行偏光锥光干涉图

Fig. 5 Cone light interferogram of optical activity crystal LGS (a) and non optical activity crystal LN (b) in

parallel polarized light when the half-wave voltage is applied on the sample

干涉作为旋光晶体电光 Q 开关的关门状态,晶体应力引起的光学不均匀性和晶体加工定向误差对消光效果的影响比非旋光晶体更大一些。

通过以上分析得出如下结论:用旋光晶体在激光腔中实现电光调 Q,采用正交偏光干涉,作为旋光晶体 LGS 电光 Q 开关的关门状态,不加电压,效果更好。其优点是避免了电光效应对 LGS 单晶旋光性的影响,保障了光束来回两次沿光轴方向通过旋光晶体后,仍然为一束平面偏振光。也充分利用了旋光晶体 LGS 自然双折射比较小的特点,使其加

工定向误差和光学不均匀性对器件的影响减少到最低程度。同时,也使其动态消光比近似等于静态消光比,降低了器件对晶体光学质量的要求。在系统消光比为 700:1 的图 1 所示的实验装置中, LGS 晶体的静态消光比为 130~220:1,动态消光比为 55~100:1 即可用来制作电光 Q 开关。

当 Q 开关处于开门状态,在 LGS 单晶加电场后,电光效应与晶体旋光性的交互作用会对器件产生一些影响,但这些因素对 Q 开关开门状态的影响并不大, Q 开关仍然能正常工作。如果在激光腔中的

旋光晶体和全反镜之间插入一  $\lambda/4$  波片, 可以将正交偏光干涉转变为平行偏光干涉, 这是实现 LGS 晶体电光调 Q 的最理想的方案。

### 3 LGS 晶体的电光 Q 开关

图 6 为 LGS 单晶在 Nd:YAG 激光器的激光腔中作为电光 Q 开关使用的构图。

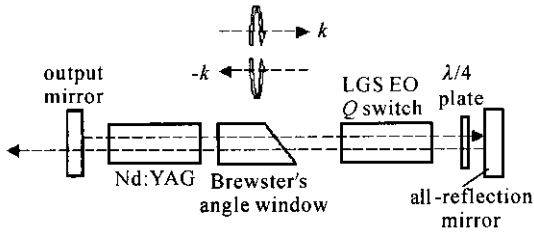


图 6 LGS 单晶在 Nd:YAG 激光器的激光腔中作为电光 Q 开关使用的构图

Fig. 6 Schematic diagram of Nd:YAG laser cavity with the electro-optic Q-switch of LGS single crystal

用一块  $x \times y \times z = 8 \text{ mm} \times 8 \text{ mm} \times 37.5 \text{ mm}$  的 LGS 单晶制作成一电光 Q 开关,  $z$  方向通光,  $x$  方向加电场。LGS 单晶的电光系数  $\gamma_{11}$  用干涉法测得<sup>[6]</sup>  $\gamma_{11} = 2.3 \times 10^{-12} \text{ m/V}$ 。由掺 Nd 的 YAG 单晶产生的波长为  $1.064 \mu\text{m}$  的激光束, 经布儒斯特窗后成为一平面偏振光, 其偏振的方向与晶体的  $x$  轴方向一致, 经 LGS 电光 Q 开关后, 其偏振方向旋转了角度  $\phi$ 。通过  $\lambda/4$  波片, 经全反镜反射回来后, 又一次通过  $\lambda/4$  波片后, 合成为一束平面偏振光, 其偏振方向与入射前相同(即出射 LGS 电光 Q 开关时的偏振方向相同), 只是位相改变了  $\pi/2$ 。再返回 LGS 晶体, 由于 LGS 电光 Q 开关处于关门状态, 晶体上未加电压, 左旋和右旋圆偏振光的旋转方向分别与进入 LGS 电光 Q 开关时的旋转方向相反, 出射 LGS 晶体后, 合成的平面偏振光的振动方向与入射 LGS 晶体时相同, 只是位相改变了  $\pi/2$ 。这就相当于将激光腔中的平行偏光干涉转换为正交偏光干涉。Q 开关处于关门状态时, 可正常工作。

当 LGS 晶体上加上半波电压  $V_{\pi}$  时, LGS 电光 Q 开关处于开门状态, 虽然电光效应与晶体旋光性的交互作用会对器件产生一些影响, 但 Q 开关仍然能正常工作。

当电压升至半波电压  $V_{\pi} = 3600 \text{ V}$  时, 用升压方式成功地实现了电光调 Q。在 Nd:YAG 激光器本振输出能量为  $350 \text{ mJ}$ , 重复频率为  $5 \text{ Hz}$  的状态

下, 激光输出光斑如图 7 所示。

用快速光电管和高频示波器测量脉冲宽度为  $7.8 \text{ ns}$ , 同样条件下 DKDP 电光 Q 开关脉冲宽度为  $8 \text{ ns}$ 。动静比  $G = 70.4\%$ , 插入损耗  $\delta = 1.92\%$ 。用 EPM-1000 型能量计智能取样统计功能, 连续取样 100 个脉冲, 测量输出激光的稳定度为  $0.2\%$ 。在激光器本振输出能量为  $350 \text{ mJ}$ , 重复频率为  $5 \text{ Hz}$  的状态下, 工作  $2 \text{ h}$  未发现晶体损伤。

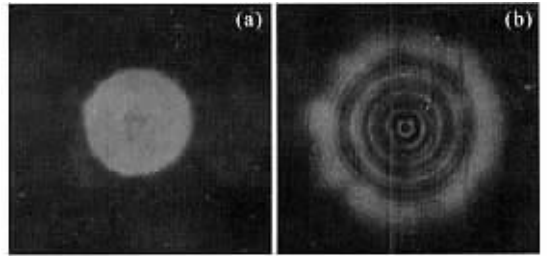


图 7 用 LGS 单晶作电光 Q 开关时激光器的输出光斑  
(a) 近场; (b) 远场

Fig. 7 Light spot of emitted laser using the electro-optic Q-switch of LGS single crystal  
(a) near field; (b) far field

## 4 结 论

通过对旋光晶体在正交偏光和平行偏光干涉实验中干涉现象的研究, 得到了旋光晶体在激光腔中作为电光 Q 开关使用时的最佳构图, 即在激光腔中的全反镜和 LGS 电光晶体 Q 开关之间插入一  $\lambda/4$  波片, 将平行偏光干涉转变为正交偏光干涉, 用正交偏光干涉(即升压式)、晶体上不加电压时作为 LGS 晶体电光 Q 开关的关门状态, 晶体上加电压时作为电光 Q 开关的开门状态, 成功地实现了用旋光晶体 LGS 制作电光 Q 开关的目的。

### 参 考 文 献

- 1 Xiao Ding-quan, Wang Min. Crystal Physics [M]. Chengdu: Sichuan University Press, 1989. 150 (in Chinese)
- 2 Jiang Min-hua. Crystal Physics [M]. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 1982. 349 (in Chinese)
- 3 A. A. Kaminskii, B. V. Mill, G. G. Khodzhabagyan *et al.*. Investigation of trigonal  $(\text{La}_{1-x}\text{Nd}_x)_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$  crystal [J]. *Phys. Stat. Sol. (a)*, 1983, **80**:387~398
- 4 A. A. Kaminskii, I. M. Silvestrova, S. E. Sarkisov *et al.*. Investigation of trigonal  $(\text{La}_{1-x}\text{Nd}_x)_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$  crystal [J]. *Phys. Stat. Sol. (a)*, 1983, **80**:607~620
- 5 J. Stadel, L. Bohaty, M. Hengst *et al.*. Electro-optic, piezoelectric and dielectric properties of Langasite  $(\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14})$ , Langasite  $(\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_{14})$  and Langasite  $(\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{14})$  [J]. *Cryst. Res. Technol.*, 2002, **37**(10): 1114~1120
- 6 Yin Xin, Wang Xinqiang, Lü Mengkai *et al.*. Measurement of electro-optic coefficients of  $\text{ZnCd}(\text{sCN})_4$  crystal [J]. *Phys. Stat. Sol. (a)*, 2002, **191**(1):267~271