

文章编号: 0258-7025(2005)05-0694-03

硅酸镓镧晶体电光调制器

魏爱俭^{1,2}, 袁多荣², 李宇飞¹, 祁海峰¹

¹ 山东大学信息学院光学系, 山东 济南 250100
² 山东大学材料学院晶体材料国家重点实验室, 山东 济南 250100

摘要 用新型非线性材料硅酸镓镧(LGS)晶体制作了电光调制器,研究了单晶硅酸镓镧晶体的电光效应。利用极值法和倍频法测定了硅酸镓镧晶体的半波电压值,计算出电光系数 γ_{11} 分别为 1.85 pm/V 和 1.90 pm/V,对比发现倍频法比极值法实用、快速、方便。测定了在 0.3~0.6328 μm 波长内硅酸镓镧单晶的旋光率为 21.1°~2.6°/mm。利用自制的高压调制电源进行了调制实验,实验结果表明:有旋光性非线性材料硅酸镓镧晶体是一种新型电光晶体,可用作电光调制器,调制信号稳定。

关键词 材料; 电光调制器; 高压调制电源; 旋光性; 电光系数; 线性调制

中图分类号 O734 **文献标识码** A

Electro-Optic Modulator Fabricated Using Langasite Crystal

WEI Ai-jian^{1,2}, YUAN Duo-rong², LI Yu-fei¹, QI Hai-feng¹

¹ Department of Optics, School of Information Science and Engineering, Shandong University,
Jinan, Shandong 250100, China

² State Key Laboratory of Crystals Materials, Institute of Material, Shandong University, Jinan, Shandong 250100, China

Abstract A new electro-optic modulator is fabricated using langasite (LGS, $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$) crystal, and the electro-optic effect of langasite single crystal is studied. The half-wave voltage and the corresponding electro-optic coefficient γ_{11} are determined by the extreme method as well as the double frequency method. It is shown that it is relatively easy, convenient to measure γ_{11} by the double frequency method compared with the extreme method. The specific optical activity of 21.1°~2.6°/mm in the range of 0.3~0.6328 μm of langasite is determined by using a new method. The electro-optic modulating experiment of langasite crystal has been completed with home-made high-voltage modulating power. The results show that langasite crystal having optical activity is a kind of new electro-optic crystal and suitable for fabricating electro-optic modulator.

Key words material; electro-optic modulator; high-voltage modulating power; optical activity; electro-optic coefficient; linear modulation

1 引 言

硅酸镓镧($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$, 简称 LGS)晶体是前苏联激光专家 A. A. Kaminskii 等^[1]1983 年首次报道的。此后德国、日本、韩国和我国科学家都进行了广泛研究。据报道,硅酸镓镧晶体是一种性质优良的压电材料,介电、弹性和压电常数明显高于石英,机电耦合系数是石英的 2~3 倍,具有零温度系数切型,声波传播速度低,是新代表面声波(SAW)和体声波

(BAW)器件材料^[2,3]。可应用在卫星定位、识别定位、导航系统、电视接收机等方面。2003 年王继扬等^[4]首次报道硅酸镓镧晶体的电光 Q 开关^[5]。我们制作了硅酸镓镧晶体横向调幅电光调制器与高压调制电源,对调制器电光系数 γ_{11} 进行了测量^[6,7]。

通过测量硅酸镓镧晶体透过率极值的新方法^[8]研究了硅酸镓镧晶体的旋光性,发现硅酸镓镧晶体为右旋体。

收稿日期: 2004-06-11; 收到修改稿日期: 2004-10-20

基金项目: 国家自然科学基金(50372034)和山东大学晶体材料国家重点实验室基金(11170005240303)资助项目。

作者简介: 魏爱俭(1950—),女,河南省南乐人,山东大学副教授,主要从事基础教学与光学测试研究。

E-mail: weiaijian@sdu.edu.cn

用高压信号调制电源对硅酸镓镧晶体调制器和磷酸二氢钾(KD*P)调制器进行实验比较,发现这两种调制器调制输出信号稳定,波形基本一致。

2 理论分析

硅酸镓镧单晶属三方晶系,32 点群结构,只有两个独立的线性电光系数 γ_{11} 和 γ_{41} ,根据电光效应理论,横向电光效应引起的双折射为 $\Delta n = n_0^3 \gamma_{11} E_x / 2$,作为调制器使用时,只与 γ_{11} 有关。当 x 方向加电压,引起的相位延迟为 π 时,称为半波电压 V_π

$$V_\pi = \frac{\lambda}{2n_0^3 \gamma_{11} (l/d)}, \quad (1)$$

式中 l 为 x 方向长度, d 为 z 方向长度。令 $V = V_0 + V_m \sin \omega_m t$, V_0 为直流偏压, $V_m \sin \omega_m t$ 为正弦波信号调制,线性调制时 $V_0 = V_\pi / 2$,其相位延迟为^[9]

$$\delta = \frac{\pi}{2} + \frac{V_m \pi \sin(\omega_m t)}{V_\pi}, \quad (2)$$

经硅酸镓镧晶体调制器后系统的透射率为

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \sin \left[\frac{\pi \cdot V_m}{V_\pi} \cdot \sin(\omega_m t) \right] \right\}, \quad (3)$$

式中 I_0, I 分别表示入射和出射光强。若 $V_m \ll V_\pi$, 则(3)式可写为

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \left[\frac{\pi \cdot V_m}{V_\pi} \cdot \sin(\omega_m t) \right] \right\}. \quad (4)$$

由(4)式看出输出光强与调制电压呈线性关系。若 $V_0 = V_\pi$ 时输出光强度将产生倍频失真,有

$$I \approx I_0 - \frac{1}{8} I_0 \left(\frac{\pi V_m}{V_\pi} \right)^2 [1 - \cos(2\omega_m t)], \quad (5)$$

由(5)式看出输出光强变化频率是调制信号的 2 倍,但是光强却减小。

3 实 验

采用全息干涉计量法检测了硅酸镓镧晶体材料内部缺陷和表面不平度及折射率不均匀性,并用 CCD 摄像机直接拍摄干涉条纹。测量计算出折射率不均匀性 $\delta n \leq 6 \times 10^{-6}$,表明硅酸镓镧晶体材料

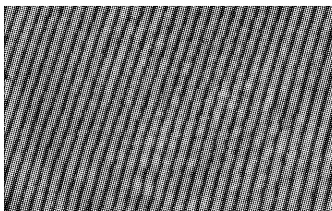


图 1 硅酸镓镧晶体全息干涉图

Fig. 1 Holographic interference of LGS crystal

内部基本无缺陷,表面平滑,折射率均匀性很好,如图 1 所示。

3.1 γ_{11} 的测量

实验装置如图 2 所示。取硅酸镓镧晶体样品尺寸为 $5.96 \text{ mm} \times 6.04 \text{ mm} \times 19.98 \text{ mm}$ 。 $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$, $n_0 = 1.8997$ ^[1]。用极值法测量半波电压,反复测量多遍,取平均值,实验曲线见图 3。得出半波电压 $V_\pi = 3820 \text{ V}$,代入(1)式,计算出 $\gamma_{11} = 1.85 \text{ pm/V}$ 。同样的装置采用倍频法测量,加上调制信号,无需反复测量,只要观察输出波形倍频时,直流偏压值就是半波电压,即 $V_\pi = 3700 \text{ V}$,得出 $\gamma_{11} = 1.90 \text{ pm/V}$ 。实验结果与文献[10]完全吻合。

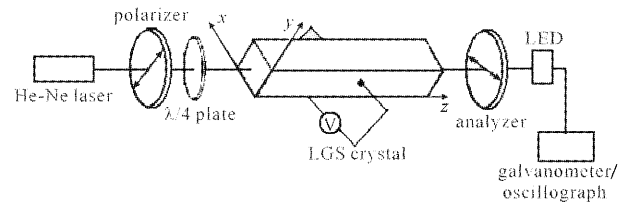


图 2 实验装置图

Fig. 2 Setup of the experiment

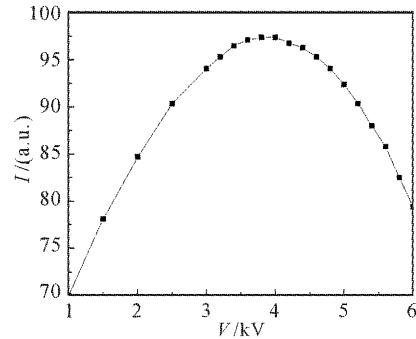


图 3 I-V 实验曲线

Fig. 3 Experimental curves of intensity-voltage

3.2 硅酸镓镧晶体横向调幅实验

当直流偏压 $V_0 = 1850 \text{ V}$ 时,调制信号频率为 26.99 kHz ,经硅酸镓镧晶体调制器调制后输出信号

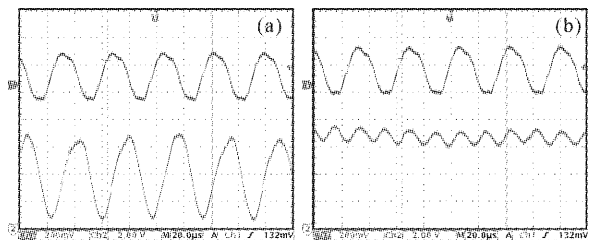


图 4 硅酸镓镧晶体调制器输出信号

(a) 线性调制; (b) 倍频失真

Fig. 4 Output signal of LGS modulator

(a) Linear modulation; (b) double-frequency distortion

为线性调制,见图 4(a)。当直流偏压 $V_0=3700$ V 时,调制信号频率为 26.99 kHz 时出现倍频失真,如图 4(b)所示,输出光强变化频率是调制信号的 2 倍,但输出光幅度变小。实验同时用磷酸二氧钾调制器进行比较,输出信号基本一致。而硅酸镓镧晶体调制器又克服了磷酸二氧钾调制器的半波电压不可调、晶体在空气中易潮解、电光系数随温度变化大等缺陷。

4 结果与讨论

由于硅酸镓镧晶体存在旋光($\lambda=632.8$ nm 时 $\rho=2.6^\circ/\text{mm}$),利用文献[8]的方法测定了硅酸镓镧晶体的旋光率如表 1 所示,与文献[1]吻合。

表 1 旋光率
Table 1 Optical rotation

| $\lambda / \mu\text{m}$ | $\rho / [^\circ/\text{mm}]$ | $\rho / [^\circ/\text{mm}]$ | Ref. [1] |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------|
| 0.30 | 21.1 | 21.4 | |
| 0.35 | 13.1 | 12.6 | |
| 0.40 | 8.9 | 9.6 | |
| 0.45 | 6.4 | 7.2 | |
| 0.50 | 4.8 | 5.8 | |
| 0.55 | 3.7 | 4.0 | |
| 0.60 | 3.0 | 3.6 | |
| 0.6328 | 2.6 | 3.3 | |

制作横向调制器时,为了减小半波电压值,通常采取增加比值 l/d 的方法,这样又增加了旋光性。可使光线两次通过硅酸镓镧晶体^[4],或利用旋转检偏器消除旋光,计算出通光方向的旋光度,当起偏与检偏正交,电压为零时硅酸镓镧晶体与磷酸二氧钾干涉图如图 5 所示,从图 5(a)中看出硅酸镓镧晶体旋光很大,按实验条件,旋光角为 51.948° ,因此黑十字中心不重合。而图 5(b)中磷酸二氧钾无旋光,表现为典型的单轴晶会聚光干涉。

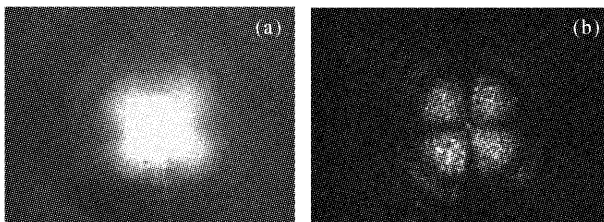


图 5 硅酸镓镧晶体(a)和磷酸二氧钾(b)干涉图
Fig. 5 Interferogram of LGS (a) and DKDP (b)

当硅酸镓镧晶体作为调制器使用时,利用极值法和倍频法测出的电光系数与文献[10]一致,这两种方

法的测量误差仅为 2.6%。优点是光路调节容易,其中倍频法更快,更实用。而作为调 Q 开关使用时,干涉法效果很好^[4]。将文献[4,6]的结果与我们的实验结果比较发现,利用干涉法测出的电光系数与用极值法及倍频法测量出的误差为 19.6%,在文献[4]分析的误差范围内。影响电光系数误差的主要原因是不同的晶体,折射率有差别,测试波长不同,系统中 $\lambda/4$ 波片和检偏器引起的相位偏移,以及由于加电场时晶体受压引起逆压电效应未考虑。加电场时,硅酸镓镧晶体旋光率的变化,有待进一步研究。

参 考 文 献

- 1 A. A. Kaminskii, B. V. Mill, G. G. Khodzhabayyan *et al.*. Investigation of trigonal $(\text{La}_{1-x}\text{Nd}_x)_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ crystals I. Growth and optical properties [J]. *Phys. Stat. Sol. (A)*, 1983, **80**, 387~397
- 2 J. Stade, L. Bohaty, M. Hengst *et al.*. Electro-optic, piezoelectric and dielectric properties of Langasite ($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$), Langanite ($\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Nb}_{0.5}\text{O}_{14}$) and Langtaite ($\text{La}_3\text{Ga}_{5.5}\text{Ta}_{0.5}\text{O}_{14}$) [J]. *Cryst. Res. Technol.*, 2002, **37**(10): 1113~1120
- 3 Wu Anhua, Xu Jiayao. Growth, properties and SAW application of $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ single crystals [J]. *J. Synthetic Crystals*, 2002, **31**(6): 559~564
武安华,徐家跃. $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ 单晶的生长、性能及 SAW 应用 [J]. *人工晶体学报*, 2002, **31**(6): 559~564
- 4 Jiyang Wang, Xin Yin, Rongjiang Han *et al.*. Growth, properties and electrooptical applications of single crystal $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ [J]. *Opt. Mater.*, 2003, **23**: 393~397
- 5 Yin Xin, Wang Jiyang, Zhang Shaojun. The study of the electrooptic effect of the optical active crystals in the polarized light interferometric experiment [J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(12): 1484~488
尹鑫,王继扬,张少军. 旋光晶体在偏光干涉实验中电光效应的研究 [J]. *光学学报*, 2003, **23**(12): 1484~488
- 6 Yin Xin. Improvement of experimental setup of interferometric method for measuring electro-optic coefficients of crystals [J]. *Acta Optica Sinica*, 1989, **9**(4): 353~356
尹鑫. 干涉法测量晶体电光系数实验装置的改进 [J]. *光学学报*, 1989, **9**(4): 353~356
- 7 Xu Jiandong, Yang Kun, Liu Shutian *et al.*. Ellipsometry techniques in polymer electrooptic coefficients measurements [J]. *Chinese J. Lasers*, 1995, **A22**(9): 661~665
徐建东,杨昆,刘树田等. 椭圆偏法测量极化聚合物的电光系数 [J]. *中国激光*, 1995, **A22**(9): 661~665
- 8 Wei Aijian, Qi Haifeng, Yuan Duorong *et al.*. Study of optical activity of $\text{Sr}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ piezoelectric crystal [J]. *J. Synthetic Crystals*, 2004, **33**(2): 205~208
魏爱俭,祁海峰,袁多荣等. $\text{Sr}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ 压电晶体旋光性质研究 [J]. *人工晶体学报*, 2004, **33**(2): 205~208
- 9 Li Zhineng, Ye Xujiong. The Disposal System of Photoelectric Information [M]. Hangzhou: Zhejiang University Publishing, 1999. 146~148
李志能,叶旭同. 光电信息处理系统 [M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1999. 146~148
- 10 Xin Yin, Jiyang Wang, Huaijin Zhang *et al.*. A new method for measuring electro-optical coefficients of the optically active crystals [J]. *Optics & Laser Technol.*, 2004, **36**: 591~593