

利用 BSO 晶体实现光强的非线性调制

张建忠 董孝义 盛秋琴 杨明涛 施海洋

(南开大学现代光学研究所, 天津 300071)

提要 利用 BSO 晶体的电光效应和光电导效应实现了光强的非线性调制, 在 0~25 mW Ar⁺ 激光入射情况下得到了类似于饱和吸收体的非线性透过率。

关键词 非线性光调制, BSO 晶体, 电光效应, 光电导效应

Nonlinear optical modulation realized in BSO crystals

Zhang Jianzhong, Dong Xiaoyi, Sheng Qiujin, Yang Mingtao, Shi Haiyang

(Institute of Modern Optics, Nankai University Tianjin 300071)

Abstract Nonlinear modulation of optical intensity is realized in BSO crystal using electro-optical effect and photo conductive effect. The nonlinear transmission similar to the saturated absorption is obtained with a Ar⁺ laser of 25 mW.

Key words nonlinear modulation, BSO crystal, electro-optical effect, optical conductive effect

1 引言

BSO 晶体是具有电光效应、光电导效应、磁光效应、光折变效应等多种光效应的晶体, 具有良好的光学特性, 因此被广泛应用于光纤传感器^[1]、光放大^[2]及空间光调制器^[3]等研究领域。最近, 我们利用该晶体具有的电光效应和光电导效应, 实现了光的非线性调制, 这种非线性调制方法同介质的饱和吸收等方法相比, 所需的入射光强要小得多。

2 非线性调制原理

2.1 BSO 晶体的电光效应

BSO 晶体由于具有自然旋光, 因此具有不同于普通电光晶体的电光特性^[4,5], 检偏方向与起偏方向消光情况下的电光装置的透过率为

$$T = (A \sin \varphi - B(\Gamma/\theta) \cos \varphi)^2 + [(2\varphi/\theta) B \sin(2\theta + \varphi)]^2 \quad (1)$$

$$A = \cos(\theta/2) \quad B = \sin(\theta/2)$$

这里, φ 为晶体的自然旋光, Γ 为晶体的电光相移, θ 为起偏方向与晶体轴的夹角, θ 为由 Γ 、 φ 确定的量, 即

$$\theta = \sqrt{4\varphi^2 + \Gamma^2} \quad (2)$$

2.2 光电导效应

BSO 晶体受蓝、绿光照射时, 产生光生载流子, 使晶体中载流子浓度增加, 晶体电导率增大。在入射光强较小时, 晶体光电导与入射光强成正比, 此时可以证明晶体的光电导与入射光斑尺寸无关, 即

$$G = \alpha I_i \quad (3)$$

这里, α 为线性导电率。

2.3 光电导非线性调制原理

使用图 1 所示装置, 起偏器 P_1 、BSO 晶体、检偏器 P_2 构成电光调制器, 其中晶体外加电压 V 由晶体等效电阻 R 与偏置电阻 R_1 分压得到, 即

$$V = V_0 \frac{R}{R + R_1} = \frac{V_0}{1 + R_1 G} \quad (4)$$

由于 BSO 晶体存在电光效应, 因此其输出光强受晶体外加电压控制(参见(1)式), 即

$$I_0 = I_i f(V) \quad (5)$$

对于普通电光晶体, 晶体外加电压 V 与入射光强 I_i 无关, 因此在电压一定的情况下, 将得到线性的透过率(即 I_0 与 I_i 成正比); 对于 BSO 晶体, 由于其晶体光电导与入射光强 I_i 有关, 因此外加电压 V 受入射光强 I_i 控制, 此时我们可以得到非线性的透过率。

结合(3)~(5)式, 可得

$$I_0 = I_i f\left(\frac{V_0}{1 + R_1 \alpha I_i}\right) \quad (6)$$

这里 $f(V)$ 的形式由(1)式给出。

利用(6)式, 我们计算了 $I_0 - I_i$, 即非线性透过率函数的理论曲线。图 2(a) 给出了 $V_0 = 2.0$ kV, 不同偏置电阻 R_1 下的 $I_0 - I_i$ 理论曲线, 可以看出 R_1 越大, $I_0 - I_i$ 曲线的非线性越强, 但最大输出光强变小, 实验中 R_1 的选取要综合考虑这两方面的因素。

图 2(b) 为偏置电阻 $R_1 = 20$ M Ω 情况下, 取不同电源电压时, $I_0 - I_i$ 的理论曲线。 V_0 越大, 输出光强也越大, 因此在电极允许的情况下 V_0 应尽可能取大一些。

3 实验装置及结果

使用图 1 所示实验装置, P_1 、BSO 晶体、 P_2 构成电光调制器, 其中 BSO 晶体沿(001)方向切割, 晶体两面镀有透明电极。改变衰减片 A , 可以改变入射光强。测量 R_1 两端的电压, 可以测量

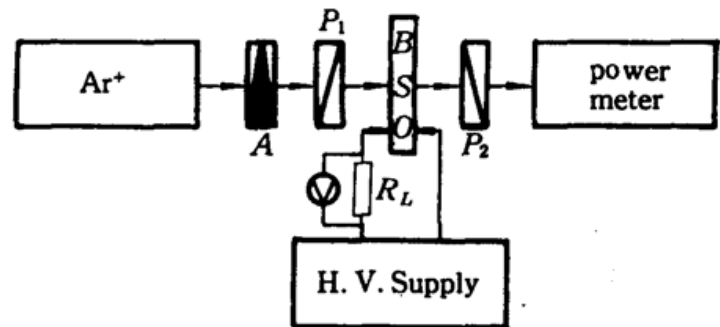


Fig. 1 Experimental setup

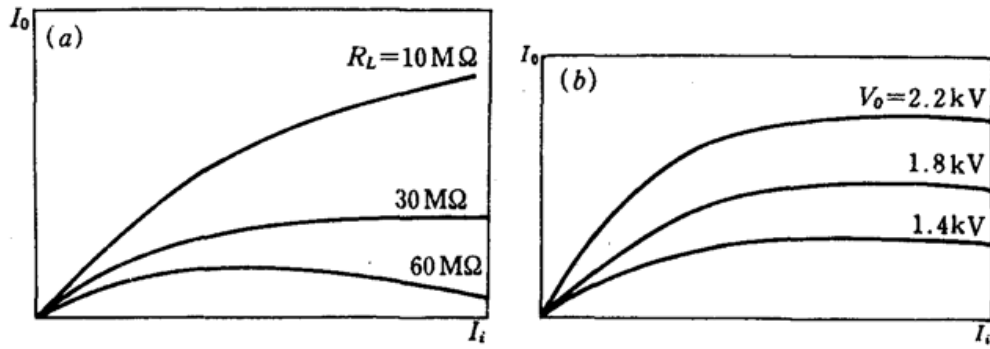


Fig. 2 Theoretical curve of nonlinear optical modulation

出电路中的光电流,进而算出晶体的光电导。

3.1 BSO 晶体的电光效应

将 R_1 短路,电压直接加在 BSO 晶体上,选取不同的起偏角 θ ,测量了其电光效应的实验曲线(见图 3),可以看出当 $\theta = 30^\circ$ 时电光效应最强。

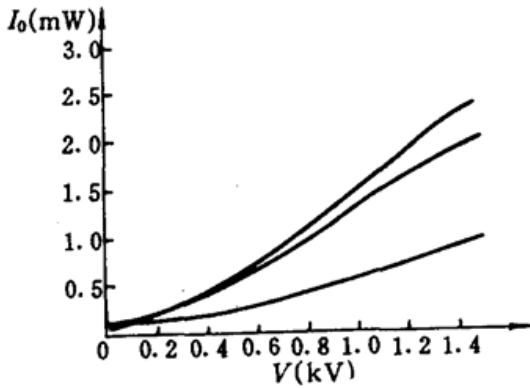


Fig. 3 Experimental curve of electro-optic effect

利用自然旋光与电光相移相补偿法和调制度函数法^[6]两种方法,我们还测量了晶体的半波电压, $V_\pi = 4.2 \text{ kV}$ 。

3.2 光电导效应的测量

取 $R_1 = 6 \text{ M}\Omega$,在不同入射光强下,改变高压电源电压,测量出晶体的光电导。图 4 给出了不同入射光强下晶体的欧姆特性曲线。

3.3 非线性调制实验数据

根据图 3、图 4 所得实验数据,适当选取起偏角、偏置电阻、电源电压(见表 1),我们测量了输出光强随输入光强变化的关系曲线,绘于图 5,图中点为实验数据点,曲线为根据(6)式并考虑器件损耗计算出的理论曲线,从图 5 可以看出,当入射光强较小时,输出光强与输入光强成线性关系,当输入光强较大时,输出光强与输入光强成非线性关系,呈现饱和吸收现象。

了输出光强随输入光强变化的关系曲线,绘于图 5,图中点为实验数据点,曲线为根据(6)式并考虑器件损耗计算出的理论曲线,从图 5 可以看出,当入射光强较小时,输出光强与输入光强成线性关系,当输入光强较大时,输出光强与输入光强成非线性关系,呈现饱和吸收现象。

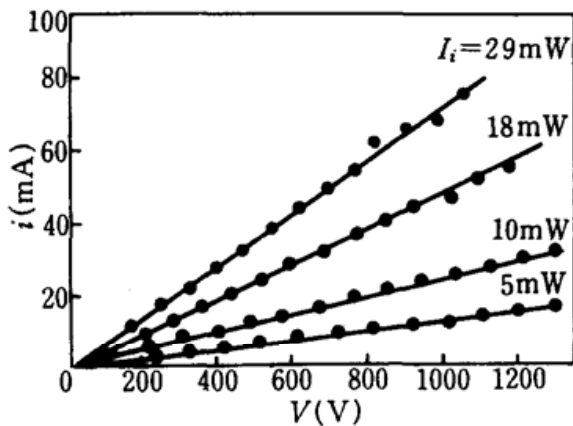


Fig. 4 Experimental curve of photoconductivity

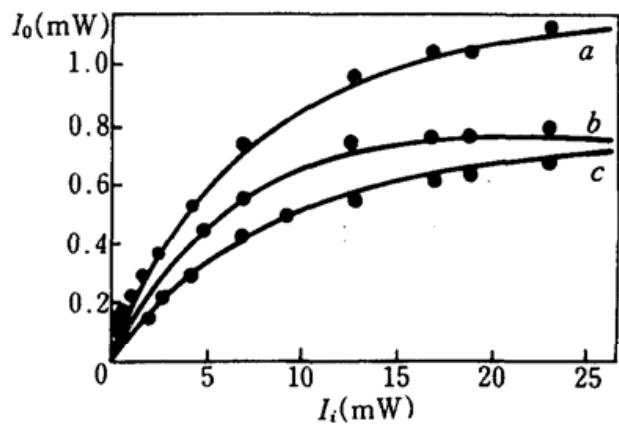


Fig. 5 Experimental curve of nonlinear optical modulation

以上曲线在小光强情况下,可以由下式近似

$$I_0 = kI_i - \rho I_i^2 \quad (7)$$

其调制度为

$$M = k - 2\rho I_i, \quad (8)$$

这里 k 为线性透过率, ρ 为二阶非线性透过系数。

由图 5,得到了我们所使用的实验装置的线性透过率和二阶非线性透过系数的实验值(列于表 1)。表中的编号即为图 5 曲线编号。

理论分析(参见(5)式)和实验还表明,这种非线性调制特性只与入射光功率有关,而与入射光斑尺寸无关,这是与其它非线性调制方式不同之处。

Table 1

No.	R_1 (M Ω)	V_0 (kV)	k	ρ (mW $^{-1}$)
a	19	1.8	0.14	0.046
b	29	1.8	0.11	0.037
c	19	1.4	0.08	0.025

4 讨 论

以上我们仅讨论了一种电光构型下的非线性调制曲线,适当改变起偏方向、检偏方向与晶体晶轴夹角,则可以得到其它构型的电光装置,因此可以预知其非线性透过函数的形式将是丰富多样的,由于这种改变以及电阻 R_1 、电源电压 V_0 的改变都可以人为地控制,因此可以人为地控制非线性透过函数的形式,这对于激光锁模、光开关等应用具有重要意义。

参照以上实验,我们还可以在输出光束上加入半反镜,引入适当的光反馈以调节晶体上的外加电压,则可以利用该非线性调制特性实现电光双稳态,它同普通电光双稳态相比,反馈要简单得多。由于 BSO 晶体电极可以做成阵列,因此可望实现双稳态阵列,并实现各种逻辑运算。

参 考 文 献

- 1 董孝义 *et al.*, 压电与声光, 10(3), 12(1988)
- 2 P. D. Foote, T. J. Hall, *Opt. Commun.*, 57(3), 201(1986)
- 3 W. L. Baillie, *Proc. IEEE*, 134(6), 326(1987)
- 4 土井康雄, 偏光与结晶光学, 其立出版株式会社, 1975年, 第一章
- 5 张建忠 *et al.*, , 中国激光, 18(4), 262(1991)
- 6 张建忠 *et al.*, 中国激光, 18(7), 531(1991)