

# 利用 BSO 晶体实现光电光调制\*

张建忠 董孝义 盛秋琴  
(南开大学现代光学研究所, 300071)

贾玉坤 戚 斌  
(电子部第46研究所, 300080)

**摘要:** 本文研究了 BSO 晶体的电光效应和光电导效应, 并利用这两种效应实现了光-电-光调制。

**关键词:** BSO 晶体, 电光效应, 光调制

## Opto-electro optical modulation realized in BSO crystals

Zhang Jianzhong, Dong Xiaoyi, Sheng Qiujin  
(Institute of Modern Optics, Nankai University, Tianjin)

Jia Yukung, Qi Bin  
(The 46th Institute, Ministry of Electronics Industry)

**Abstract:** Electro-optical effect and optical conductive effect of BSO crystals is studied in this paper. The opto-electro optical modulation is realized using these two kinds of optical effects.

**Key words:** BSO crystal, electro-optical effect, optical modulation

BSO( $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ )是近年来研制出来的一种新型光学材料,它同时具有电光、磁光、光电导等多种光效应,因此被广泛应用于传感器、空间光调制器等研究领域<sup>[1]</sup>。我们利用该晶体具有的电光效应和光电导效应,实现了光电光转换,进而实现了光对光的调制。

### 一、BSO 晶体的电光效应及光电导效应

BSO 晶体属于立方晶系 23 点群,其电光系数只有  $\gamma_{41} = \gamma_{52} = \gamma_{63}$ , 加(001)方向外电场后,沿纵向应用时,产生的电光延迟为<sup>[2]</sup>

$$\Gamma = \frac{2\pi}{\lambda} n_0^3 \cdot \gamma_{41} \cdot V, \quad (1)$$

其中,  $\lambda$  为入射光波长,  $n_0$  为晶体折射率,  $V$  为晶体外加电压。考虑到 BSO 晶体存在自然旋光, BSO 晶体在光路中的琼斯矩阵可写为<sup>[3]</sup>

收稿日期: 1989年1月25日。

\* 国家自然科学基金资助项目。

$$D = \begin{vmatrix} \cos \frac{\Theta}{2} + i \frac{\Gamma}{\Theta} \sin \frac{\Theta}{2} & -\frac{2\varphi}{\Theta} \sin \frac{\Theta}{2} \\ \frac{2\varphi}{\Theta} \sin \frac{\Theta}{2} & \cos \frac{\Theta}{2} - i \frac{\Gamma}{\Theta} \sin \frac{\Theta}{2} \end{vmatrix}, \quad (2)$$

其中,  $\varphi$  为晶体的自然旋光角,  $\Theta$  为

$$\Theta = \sqrt{\Gamma^2 + 4\varphi^2}, \quad (3)$$

利用琼斯矩阵计算方法, 不难算出起偏器  $P_1$ 、BSO 晶体、检偏器  $P_2$  构成的电光装置的输出光强:

$$I = I_i \left| \begin{pmatrix} -\sin \theta & \cos \theta \\ \cos \theta & \sin \theta \end{pmatrix} D \begin{pmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{pmatrix} \right|^2 \\ = \frac{I_i}{\Theta^2} \sin^2 \frac{\Theta}{2} [4\varphi^2 + \Gamma^2 \sin^2 2\theta], \quad (4)$$

其中  $\theta$  为起偏器  $P_1$  与 BSO 晶体晶轴夹角,  $P_2$  与  $P_1$  正交。

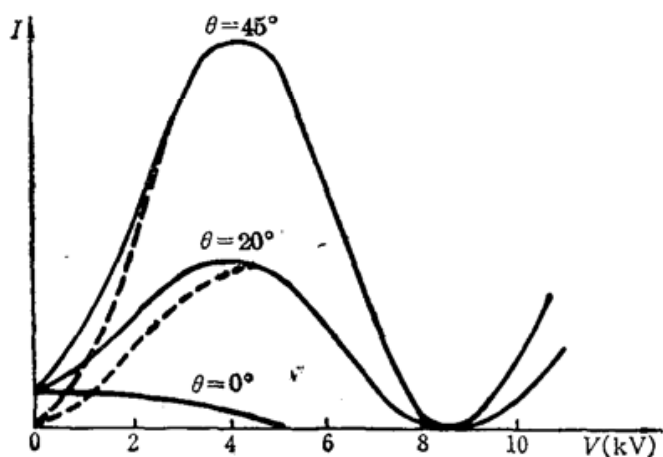


Fig 1. Theoretical curve of electro-optical effect

图 1 是根据 (4) 式给出的 BSO 晶体电光效应的理论曲线, 图中虚线为没有自然旋光情况下的电光效应理论曲线, 两者有一定差别, 而且当起偏器起偏方向沿晶轴 ( $\theta = 0^\circ$ ) 时, 仍存在电光效应, 这是同一般电光晶体不同之处。

当 BSO 晶体被光照射, 而且光子的能量大于禁带宽度时, 晶体中的电子可以吸收光子的能量由价带上升到导带, 使载流子增多, 电导率增加, 称之为光电导效应。晶体的光电导不仅与入射光强有关, 还与晶体外加电压有关。

## 二、光电光调制原理

BSO 晶体同时具有电光效应和光电导效应, 因此可以设想, 如果用  $\text{Ar}^+$  激光照射通着 He-Ne 光的 BSO 晶体电光调制器, 则由于  $\text{Ar}^+$  激光对 BSO 晶体的光电导作用, 晶体的光电导发生变化, 从而使晶体的外加电压发生变化, 这样通过电光效应就可实现对 He-Ne 光束的调制, 或者说,  $\text{Ar}^+$  激光所载信息将转移到 He-Ne 光束上, 即光光调制。图 2 为实验装置原理图。

图 3 为光电光调制信号示意图, 图 3(a) 为电光调制曲线,  $I_R$  为 He-Ne 输出光强,  $V$  为晶体外加电压。图 3(b) 为 BSO 晶体的欧姆特性曲线,  $i$  为晶体中的光电流,  $I_G$  为入射  $\text{Ar}^+$  光强, 图中直线为负载线,  $V_0$  为高压电源电压,  $\text{tg} \beta = 1/R_L$ 。

从图 3 可以看出, 为了使 He-Ne 输出信号幅度较大, 负载电阻  $R_L$  不能太大或太小, 此外还应选择角  $\theta$ , 使电光调制曲线幅度较大。

由图 1 可知, 当  $\theta = 45^\circ$  时, 电光调制曲线幅度最大, 此时由 (4) 式可得到 He-Ne 输出光强。

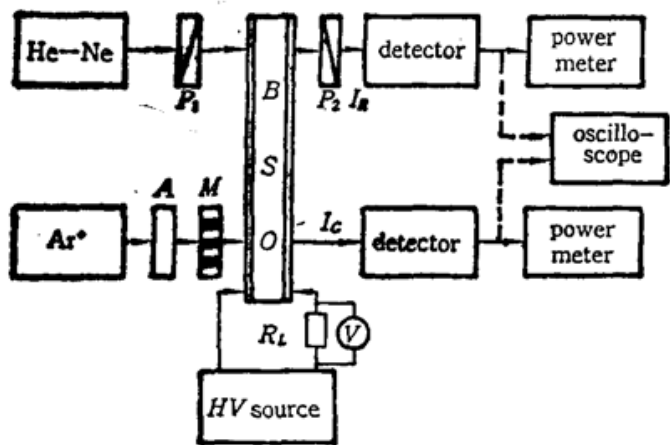


Fig. 2 Experimental setup of opto-electro optical modulation

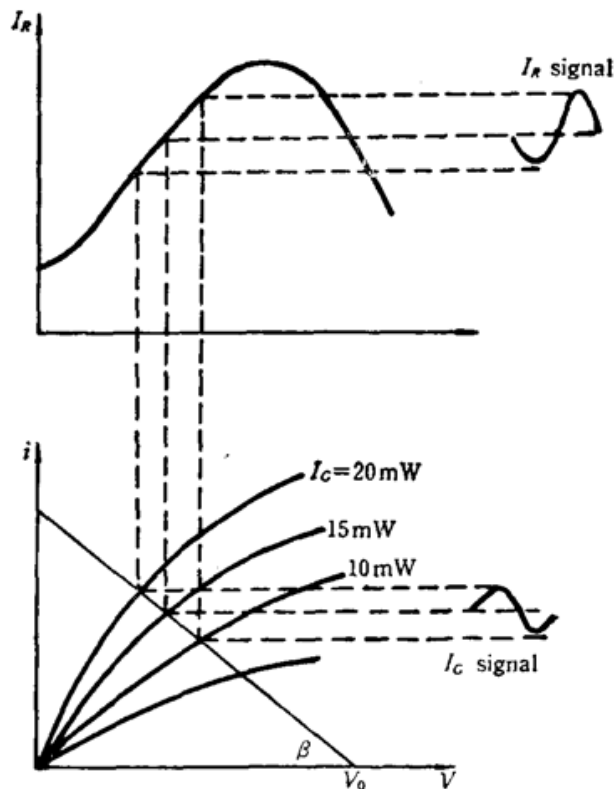


Fig. 3 Signal illustration of opto-electro optical modulation

$$I_R = I_i \cdot \sin^2 \frac{\Theta}{2} = I_i \cdot \sin^2 \left[ \frac{1}{2} \sqrt{4 \varphi^2 + (\pi V / V_\pi)^2} \right], \quad (5)$$

其中,  $V_\pi$  为晶体半波电压,  $V$  为晶体外加电压, 由晶体电阻  $R$  与电阻  $R_L$  分压得到

$$V = \frac{R}{R + R_L} V_0 = \frac{1}{1 + R_L \cdot G} V_0 \quad (6)$$

测量出 BSO 电导  $G$  随入射  $Ar^+$  激光光强  $I_G$  变化曲线, 结合(5)、(6)式可得到  $I_R \sim I_G$  关系曲线, 即光电光调制的静态工作曲线。

### 三、实验结果

#### 3.1 电光调制曲线

在图 2 所示装置中, 去掉  $Ar^+$  光束, 取  $R_L = 0$ , 改变高压电源电压  $V$ , 测得不同电压下的输出光强  $I_R$  (参见图 4)。

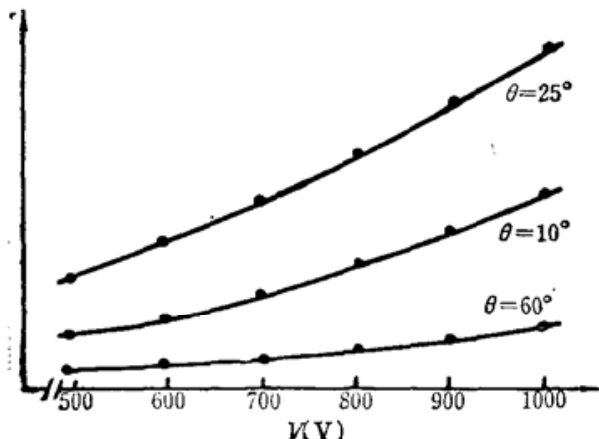


Fig. 4 Experimental curve of the electro-optical effect

#### 3.2 光电导曲线

去掉 He-Ne 光束, 取  $R_L = 5 \text{ M}\Omega$ , 改变入射  $Ar^+$  光强及高压电源电压, 测出电阻  $R_L$  上的电压, 即可算出晶体中的光电流及晶体上的电压, 从而可算出晶体的光电导。图 5 给出不同光强下的欧姆特性实验曲线。图 6 是在固定电压下电导随入射光强变化的关系曲线, 可以看出, 当入射光强较小时, 光电导随光强线性变化, 实验测量的关系式为

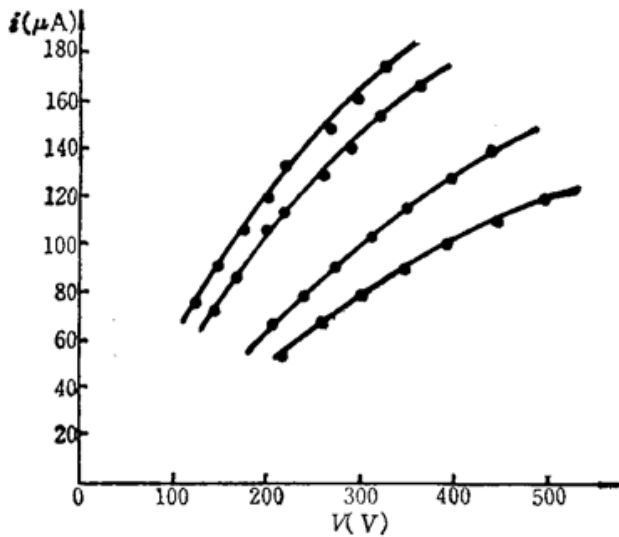


Fig. 5 Ohmic curve of the BSO crystal

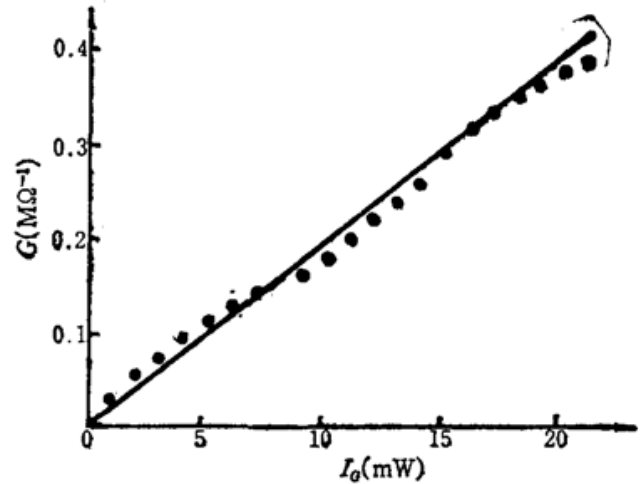


Fig. 6 Experimental curve of photoconductive effect in the BSO crystal

$$G = 0.02 I_G (\text{M}\Omega^{-1} \cdot \text{mW}^{-1}), \quad (7)$$

(7)式没有考虑光电导与外加电压的关系,考虑到此,还应对(7)式加以修正。

### 3.3 光调制静态曲线

使用图 2 所示装置,固定电源电压为 1000 V。由图 4 和图 5 确定取  $\theta = 45^\circ$ ,  $R_L = 7 \text{ M}\Omega$ 。改变入射  $\text{Ar}^+$  光强  $I_G$ , 测得  $\text{He-Ne}$  光束输出光强  $I_R$ , 绘于图 7。图中的点为实验测得的数据点,图中的曲线为根据(5)~(7)式算出的理论曲线,二者有一定的偏差,这是因为(7)式没有考虑光电导  $G$  与外加电压  $V$  的关系。

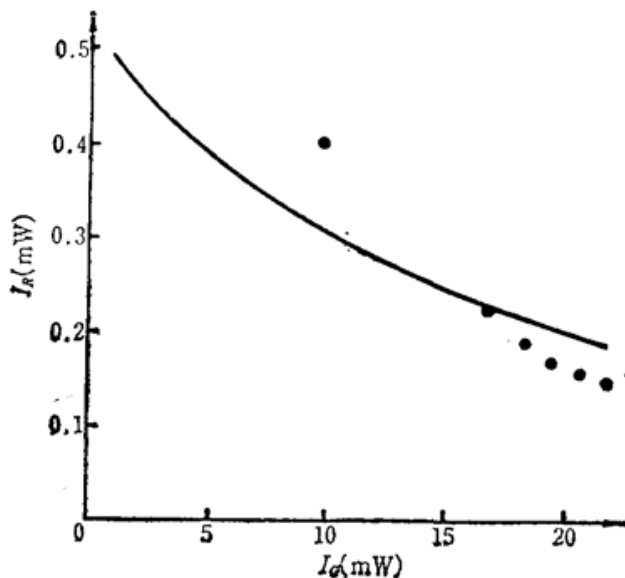


Fig. 7 Static curve of opto-electro optical modulation

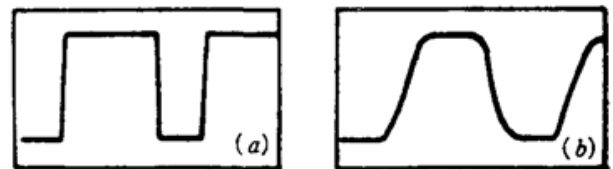


Fig. 8 Waveform of opto-electro optical modulation

### 3.4 光调制动态波形

在图 2 所示装置中,使用斩波器,频率为 300 Hz,图 8(a)为输入  $\text{Ar}^+$  激光波形,图 8(b)为  $\text{He-Ne}$  激光输出波形,其信号上升时间为  $3 \times 10^{-4} \text{ s}$ ,由 BSO 晶体中的光生载流子寿命、光生载流子渡越时间及电路的响应时间决定。

当去掉检偏器  $P_2$  或取  $R_L=0$ , 都得不到图 8(b) 所示的信号, 证明该信号确实是通过光电光转换得到的。

#### 四、讨 论

上述实验中的  $Ar^+$  激光完全可以由白光代替, 这样就可实现非相干光信号向相干光信号的实时转换, 有利于信号在光纤中的传播。利用 BSO 晶体的二波混频效应同样可以实现光调制, 但上面光电光调制方法同二波混频方法相比不受角度的限制, 具有易调节的优点。

如果在上述实验中, 去掉  $Ar^+$  光路, 并且将 He-Ne 光束用  $Ar^+$  激光代替, 这样在  $Ar^+$  光束中的 BSO 电光调制器中同时存在光电导效应和电光效应, 适当选取起偏角、检偏角、电阻  $R_L$  及高压电源电压, 则在这两种效应共同作用下, 可以得到非线性透过率。同一般介质的非线性相比, 所需光强要小得多。

另外, 若将 BSO 晶体上的透明电极作成阵列, 可实现空间光调制、编码以及光信号的多路复用。由于立方晶体不存在自然双折射, 因此, 同其它晶体相比, BSO 晶体光调制器的稳定性较好。但其半波电压较高, 使应用受到一定限制。

#### 参 考 文 献

- 1 Takumi Minemoto *et al.*, *Appl. Opt.*, **24** (14), 2055 (1985)
- 2 董孝义 *et al.*, 中国激光, **16** (1), 32 (1989)
- 3 土井, 康弦, 偏光と结晶光学(其立出版株式会社, 1975), 第一章

## 阿是穴激光镇痛拔牙术

我们采用以阿是穴为主穴, 合谷穴为配穴的激光镇痛拔牙法, 取得良好的效果。

采用由单芯光导纤维输出的 He-Ne 激光, 波长 632.8 nm, 光纤端输出功率  $>10\text{ mW}$ 。根据针灸阿是穴和拔牙浸润麻醉原理, 在操作时, 先将光纤输出头伸入口内, 尽可能垂直地直接压在患牙腭、舌面各根根端龈部, 光照时间每根 4~6 min, 再将光纤输出头尽可能垂直地直接压在患牙颊、唇面各根根端龈部, 光照时间不变。然后, 将光纤输出头移照合谷穴 2 min, 开始拔牙, 激光对合谷穴的照射持续到手术结束。在操作前, 为了避免光纤输出端被口腔污物污染而减弱激光功率, 并防止患者间的交叉感染, 必须先用 75% 酒精消毒。照射时应注意光纤输出头要轻压龈部, 否则, 将引起患者牙龈的不必要的疼痛。

我们采用上述方法拔牙 180 例, 其中恒牙优良率为 73%, 乳牙为 92.5%。

临床表明激光镇痛与上下牙无关, 但却与患牙部位、松动程度、手术难易、手术时间长短有关。激光镇痛单根前牙比多根后牙效果要好, 激光功率愈大, 镇痛效果愈好。照射时间 4~6 min 镇痛效果为佳, 对于较难拔除的患牙, 颊唇面可照射 10 min。我们采用该法拔牙一般在 10 分钟内完成手术, 对于一些手术时间长、难度大的患牙效果不太理想。

(福州市仓山医院口腔科, 350007, 林正德

福建师范大学激光所 陈 荣 谢树森 周川钊

1990年9月3日收稿)