

SBN:60 晶体的电光诱导 光波导及其调制器

张 迪 扬

(中国科学院长春物理研究所)

提 要

本文首次报道了在 SBN:60 ($\text{Sr}_{0.6}\text{Ba}_{0.4}\text{Nb}_2\text{O}_6$) 单晶上观察到 DC (直流) 电光诱导光波导的形成, 以及当反转上述 DC 极性时光由电极间隙下低折射率区折向衬底的现象, 并根据上述现象演示了一种不同于以光相位调制为基础的新的低压高调制度的电光光强调制器。

关键词: 电光调制器, SBN:60 晶体, 光波导。

一、引 言

到目前为止, 集成光学的电光调制器绝大部分都是制做在 LiNbO_3 或 LiTaO_3 衬底上, 也有把具有高线性电光系数材料用于光集成领域^[1,2]。

最近由于生长技术的改进已成功地长成高光学质量的 SBN:60 ($\text{Sr}_{0.6}\text{Ba}_{0.4}\text{Nb}_2\text{O}_6$) 大单晶^[3], 它的线性电光系数 γ_{33} 在室温下大约是 LiNbO_3 的 10 倍、 KNbO_3 的 5 倍, 因而成为具有吸引力的材料之一。

本文报道了在 SBN:60 晶体上首次观察到 DC 电光诱导光波导的形成, 以及在反转 DC 极性时光由电极间隙下低折射率区折向衬底现象, 并演示了一种不同于以光相位调制为基础的新的低压电光光强调制器。

二、实 验

用于本实验的 SBN:60 晶体样品为 [010] 方向切割, 单面抛光, 尺寸是: $5\text{mm} \times 5\text{mm} \times 2\text{mm}$ 。众所周知, 此晶体属于点群 $4mm$, 有三个非零电光系数, 其中 γ_{33} 最大^[4]。为了利用 γ_{33} , 把一个带有 $8\mu\text{m}$ 间隙的 Al/Cr 电极用真空蒸发方法沉积在抛光后的样品 [010] 面上; 电极边缘平行于晶体 [100] 方向, 晶体二端被仔细抛光作端面偶合用, 器件构造如图 1。

测量装置如图 2 所示, 把一束 TE 模偏振 $\lambda = 0.6328\mu\text{m}$ 的 He-Ne 激光用端面耦合方法耦合进入电光诱导光波导。用作输入、输出耦合的是两个显微镜物镜。电光诱导光波导输出端面的近场经物镜放大后, 分别用 CCPD (电荷耦合器件) 测量近场光强分布, 用光电二极管 (photodiode) 测量电光调制特性。

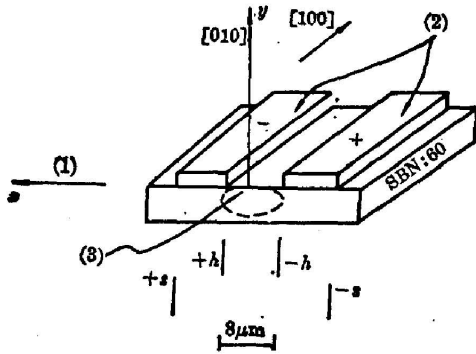


Fig. 1 Electro-optic induced waveguide in SBN:60/construction of modulator

- (1) electro-optic induced waveguide;
(2) electrodes; (3) optical axis

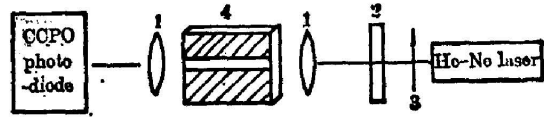


Fig. 2 Schematic diagram of set up for measurement

- (1) microscope lens; (2) attenuator; (3) direction of polarization; (4) electro-optic induced waveguide

三、结果和讨论

1. 电光诱导光波导的形成

如图 1 所示器件的电极间隙为 $2h(8\mu\text{m})$, 电极宽度为 $s-h$, 当电极上加电压 V 时, 在电极间隙下 晶体内部 x, y 方向上的电场分量可写成^[5]:

$$E_x = -\frac{V}{2K(k)} \operatorname{Re}\left(\frac{dW}{dZ}\right),$$

$$E_y = \left(\frac{\epsilon_x}{\epsilon_y}\right)^{1/2} \frac{V}{2K(k)} \operatorname{Im}\left(\frac{dW}{dZ}\right).$$

此处 $Z = x + iy$; $k = h/s$ 。 $K(k)$ 是第一类完全椭圆积分, ϵ_x, ϵ_y 为 SBN:60 分别沿 x, y 方向上的自由介电常数^[8]

$$\frac{dW}{dZ} = \frac{h}{[(h^2 - k^2 Z^2)(h^2 - Z^2)]^{1/2}}.$$

电场在光轴方向(x 方向)所产生的折射率增加可按下式计算:

$$\Delta n_e(x, y) = \frac{1}{2} n_e^3 \cdot \gamma_{33} \cdot E_x(x, y).$$

n_e 为非寻常光折射率, γ_{33} 为电光系数, E_x 为电场水平分量, Δn_e 为折射率的改变。由于晶体的 γ_{33} 较 γ_{13} 大, 很多^[9] 电场在电极间隙之间晶体内部所形成的水平分量又大于垂直分量 E_y ^[5, 6], 当在 x 方向加电压使折射率增加时, 由电场垂直分量所引起的折射率改变可忽略, 因而在低压下只应观察到 TE 模, 在本实验条件下未观察到 TM 模的电光诱导光波导的形成。

图 3 示出 CCPD 的测量结果, 它显示了平行于器件表面在加电压前后输出端近场光强分布的改变。下部曲线是未加电压时衬底模光强分布, 上部曲线为 $DC = 16\text{V}$ 时输出端导模的光强分布。曲线高度随电压由零增大而增大, 在 16V 以上呈现饱和, 曲线为对称形分布。这表明由于电光效应而产生的在电极间隙区折射率的增加使传输光受到侧向限制形成导模。

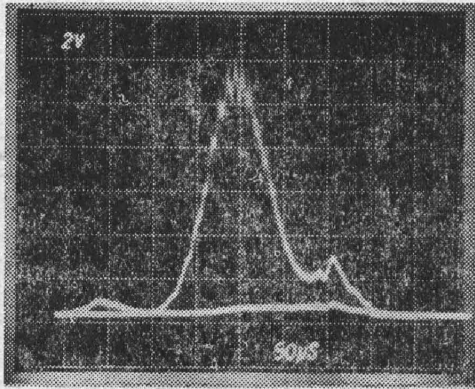


Fig. 3 Profile of light intensity in horizontal direction

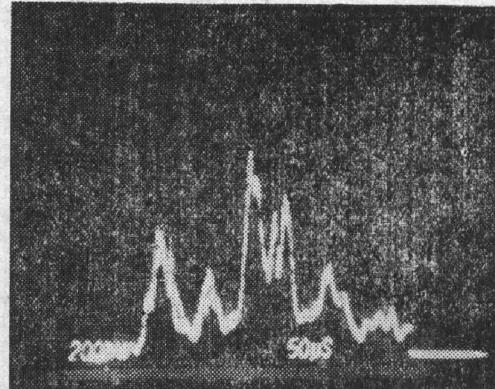


Fig. 4 Profile of substrate mode in vertical direction ($V=0$)

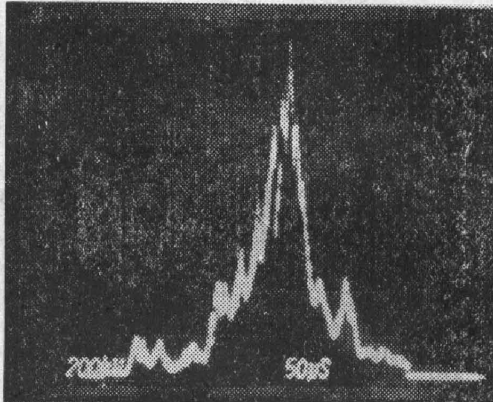


Fig. 5 Profile of guide mode of electro-optic induced waveguide in vertical direction. (DC=16 V)
(1) air; (2) substrate

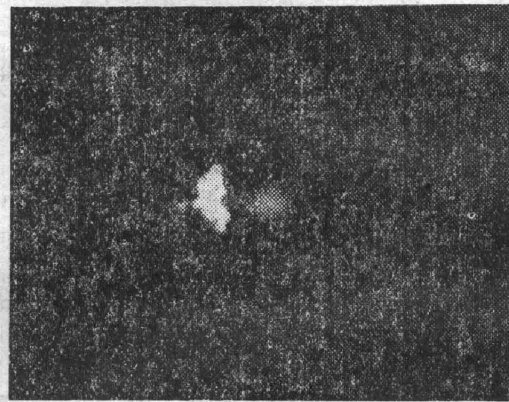


Fig. 6 A dark spot was induced in low refractive index region
(1) air; (2) substrate

图 4、5 是垂直于晶体表面方向在加电压前后输出端近场光强分布的变化。图 4 为零电压时衬底模分布，其中光强变化的起伏来源于衬底模及输出端面上的散射。图 5 为加电压 DC=16 V 后的导模，曲线为非对称，其迅速衰减一侧为空气，另一侧为 SBN:60 衬底，光强分布的改变表明在晶体中传输的光在垂直方向上由于折射率增加受到限制而形成导模。电光诱导光波导的传输损耗取决于晶体本身，实验中未观察到通常高损耗波导所表现出来的光传输轨迹。

2. 反转 DC 电场极性时的研究

当把产生电光诱导光波导 DC 电场极性反转时，可观察到在电极间隙下晶体内传输的光被折射向衬底现象。

图 6 为输出端近场经物镜放大后的照片，A 线位置为空气与晶体的分界面，光色与 A 线界面处的黑洞缺口对应于光在电极间隙下被折向衬底的低折射率区域。

图 7 为用 OCPD 所测在平行于晶体表面方向上近场光强分布曲线，其中凹陷部分对应于光被折射后黑洞区。

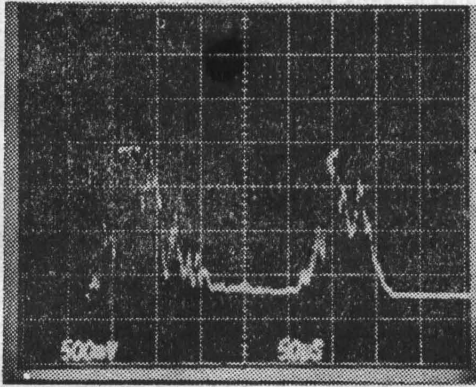


Fig. 7 Profile of light intensity at dark spot in horizontal direction

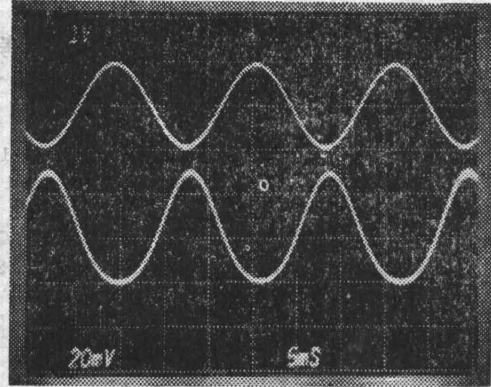


Fig. 8 Observed intensity modulation behaviour top curve: sinusoidal modulation signal Frequency: 65Hz, 2V (peak-peak voltage) bottom curve: modulated light intensity signal

此现象可解释为,当反转形成电光诱导光波导的电场极性时,在电极间隙下晶体内形成了一条折射率低于衬底的沟道,由端面偶合进入晶体并在此区域传输的平面波按照折射率规则^[7]将会折向具有较高折射率的衬底一侧,因而在输出端近场光强分布曲线上出现凹陷部分。

3. 电光调制特性

当在此种结构的器件上加以交变电场时就形成一个电光光强调制器,图8为调制曲线,上部曲线为调制信号,下部曲线为被调制的光强信号,调制由两种过程所构成,当电场极性使电极间隙下晶体折射率增大时形成电光诱导光波导,此时输出端光强大于零电压时透射过晶体的光强,对应于图中被调制的光强信号正半周。当反转电场极性使晶体折射率降低时,在电极间隙下晶体内传输的光会由低折射率区折向衬底,输出端光强低于零电压时透射过晶体的光强,对应于被调制信号的负半周。此处引用调制度概念^[8] $[|I_{(最大最小)} - I_{0(零电压时光强)}| / I_{0(零电压时光强)}]$ 来描述这种由两种不同调制机理所形成的调制器的特性,在一个正弦 65 Hz, 2 V (峰-峰电压)的调制信号下,所测被调光强相应于正半周的调制度为 83%, 负半周的调制度为 60%, 因此这是一种不同于利用光的相位调制为基础的低压电光光强调制器。

四、结 论

本文首次报道了利用 SBN:60 晶体的高线性电光系数 γ_{33} 可以形成电光诱导光波导的实验,及反转电场极性时所观察到的光由电极间隙下的低折射率区折向衬底的现象,并演示了一种新的低压电光光强调制器,该调制器具有结构简单,传输损耗低的特点。这种器件的工作原理同样也应该能适用于其它具有高线性电光系数的材料。

本工作是在美国 UCI 完成,在此对 Prof. C. S. Tsai 的支持, Prof. R. R. Newrgaonkar (Rockwell International Science Center) 提供晶体, Dr. R. T. Chen 的协助表示感谢。

参 考 文 献

- [1] J. C. Baumert; *Appl. Phys. Lett.*, 1985, **46**, No. 1 (Jun), 1018.
- [2] O. Eknoyan; *Appl. Phys. Lett.*, 1986, **48**, No. 1 (Jan), 13.
- [3] R. R. Newrgaonkar; *Ferroelectrics*, 1984, **56**, 31.
- [4] P. V. Lenzo; *Appl. Phys. Lett.*, 1967, **11**, No. 1 (Jul), 23.
- [5] O. G. Ramer; *IEEE. J. Quant. Electron.*, 1982, **QE-18**, No. 3 (Mar), 386.
- [6] D. Marcuse; *IEEE. J. Quant. Electron.*, 1982, **QE-18**, No. 3 (Mar), 393.
- [7] P. K. Tien; *Revs. Modern Phys.*, 1977, **49**, No. 2 (Apr), 365.

Electro-optic induced optical waveguide and modulator in SBN:60

ZHANG DIYANG

(Changchun Institute of Physics, Academia Sinica)

(Received 31 July 1986; revised 10 October 1986)

Abstract

The first observation of electro-optic induced waveguide and dark spot phenomena in SBN:60 is reported in this paper and a new electrooptic modulator with lower driven voltage, high modulation factor of amplitude modulation is demonstrated.

Key Words: electro-optic modulator; integrated optics; ferroelectric material.