

基于 F-P 腔的极化聚合物的纵向电光调制*

陈开鑫 衣茂斌 张大明 侯阿临

(集成光电子学国家重点联合实验室吉林大学实验区,长春 130023)

(1999 年 12 月 30 日收到,2000 年 2 月 22 日收到修改稿)

利用 Fabry-Perot 腔实现了置于腔内的极化聚合物电光薄膜的纵向电光调制,此模型中极化电场方向、调制电场方向均与通光方向平行.腔的精细因子大约为 18(对 1.3 μm 的光),膜厚度为 1 μm.实验所得调制深度在调制电场为 1 V/μm 时为 0.012%.其结果证实了利用 Fabry-Perot 腔实现纵向电光调制并利用其研究极化聚合物薄膜的可能.

关键词:电光效应,激光束调制,光学聚合物,光学设备

PACC:7820J,4260F,4270J,4280K

1 引 言

极化聚合物非线性电光薄膜材料具有许多优点,例如较大的非线性光学系数、较高的响应速度和较好的可加工性能,这使得它在光通讯和光电集成领域具有较高的应用价值和诱人的研究前景^[1-3].其中大量的研究集中在极化聚合物的电光调制方面,这是因为通过电光调制的研究可以分析薄膜的电光系数等特征^[4,5],同时它也是高速电光调制器^[6,7]及利用极化聚合物薄膜实现外部电光采样的基础^[8].实现极化聚合物薄膜的电光调制的方法主要是利用 Mach-Zehnder 干涉仪或利用 Fabry-Perrot (F-P)干涉仪,其中基于 F-P 腔的高分辨率实现极化聚合物的电光调制具有较大的应用潜力,相应的研究已经取得相当的进展^[4,9],并实现了聚合物单晶 NPP 的横向电光调制^[10].本文在此基础上,进一步研究实现了极化聚合物薄膜的纵向电光调制,测定了调制深度并与理论值进行了比较.

2 理论分析

利用多光束干涉理论可得出 F-P 腔的透过率为

$$T = \frac{1}{1 + F \sin^2 \delta}, \quad (1)$$

式中 F 为腔的精细因子, δ 为光线在腔内的单程相

移.因为对于极化聚合物薄膜,其光轴方向就是极化方向,故对于纵向电光调制而言,其极化电场、调制电场都沿光轴方向且均与通光方向平行.根据极化聚合物薄膜的电光张量的如下形式^[3]:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & \gamma_{13} \\ 0 & 0 & \gamma_{13} \\ 0 & 0 & \gamma_{33} \\ 0 & \gamma_{13} & 0 \\ \gamma_{13} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

当对薄膜加上调制电场后,其折射率椭球变为

$$\left(\frac{1}{n_o^2} + \gamma_{13} E_z\right)x^2 + \left(\frac{1}{n_o^2} + \gamma_{13} E_z\right)y^2 + \left(\frac{1}{n_e^2} + \gamma_{33} E_z\right)z^2 = 1, \quad (2)$$

式中 n_o, n_e 分别是聚合物薄膜的寻常光折射率与非常光折射率.在新的主轴坐标系下可得到

$$\begin{aligned} n'_x &= n_o - \frac{1}{2} n_o^3 \gamma_{13} E_z, \\ n'_y &= n_o - \frac{1}{2} n_o^3 \gamma_{13} E_z, \\ n'_z &= n_e - \frac{1}{2} n_e^3 \gamma_{33} E_z. \end{aligned} \quad (3)$$

由于 $n'_x = n'_y$, 因此将没有双折射效应产生,光线通过厚度为 l 的聚合物薄膜后的相移为

$$\delta = \frac{2\pi n_o l}{\lambda} - \frac{\pi}{\lambda} n_o^3 \gamma_{13} E_z l. \quad (4)$$

*国家自然科学基金(批准号 69876014)资助的课题.

这样光线通过聚合物薄膜后相位将获得调制,而从(1)式可知,利用 F-P 腔的干涉特性便可将这一相位调制转换为强度调制.若对 F-P 腔加上偏压,使透射率在无调制电压时为 50%,则用一个较小调制电压就可对透射光强进行强烈调制.透射曲线在半透射率点的斜率为^[11]

$$\left(\frac{dT}{d\delta}\right)_{\frac{1}{2}} = \frac{F}{\pi}. \quad (5)$$

从而透射光束的调制深度为

$$\Delta = F \frac{V_m}{V_{\pi}}, \quad (6)$$

式中 V_m 为调制电压, $V_{\pi} \left(= \frac{\lambda}{n_o^3 \gamma_{13}} \right)$ 为半波电压.

3 实验与结论

在 ITO 玻璃基片上旋涂一层本实验室合成的聚合物 EPNAC^[12] ($n = 1.63$, $\gamma_{13} = 2.4$),将薄膜在 60℃ 下烘 30 min 并置于干燥器内 12 h 以除去残留溶剂,然后在 90℃ 下以 10 kV 的极化电压和 5 μ A 的极化电流极化 30 min 后,在保持极化电压不变的条件下让薄膜自然冷却至室温.装上另一片 ITO 玻璃作为电极并将整个样品装入实验所用的 F-P 腔,腔的具体结构如图 1 所示.实验光路及电路安排如图 2 所示.用 1.3 μ m 的半导体激光器作为光源,经准直、聚焦后射入样品.作用在样品上的调制电压由一信号发生器提供,输出频率为 1 kHz,出射光束经透镜聚焦后由光电探测器检测,并经锁相放大器放大后由存储示波器记录.

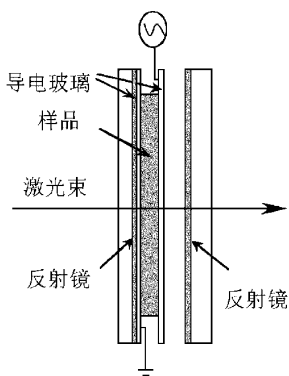


图 1 置放好样品的 F-P 腔

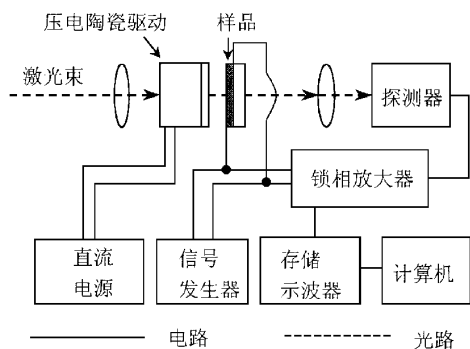


图 2 实验光路及电路安排

实验时先利用直流电源调节 F-P 腔的腔长使透射光强处于半极大值附近,再加上调制电场信号进行实验.在此需要说明,由于压电效应产生的调制,其频率为调制电场频率的 2 倍^[4],利用锁相放大器或带通滤波器均可排除它的影响.实验对同一样品在不同的调制电压、调制频率及探测器的频率响应范围(1.0—4.0 kHz)内可较好地重复.实验所得调制信号如图 3 所示.

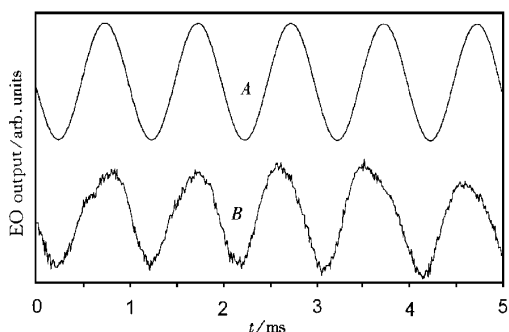


图 3 曲线 A 为调制电场信号;曲线 B 为光电调制信号

调制深度可这么测定,先测得未加调制电场时的透射光强,再测得加上调制电场后的光电调制信号的强度,用这一强度去除以透射光强就可得到调制深度.由于受到激光功率漂移及检测手段的影响,用这种方法单次测量所得的值并不太精确.本实验中经多次测定,得调制深度的最大值为 0.012%,这与利用(5)(6)两式计算所得的值 0.014% 比较符合.显然,如果用更高精细因子的 F-P 腔和具有更大的电光系数的极化聚合物,那么其调制深度将增加许多倍.

- [1] S. T. Kowel , L. X. Ye , Y. X. Zhang , *Opt. Eng.* , **26** (1987) , 107.
- [2] C. A. Eldering , S. T. Kowel , *Appl. Opt.* , **29**(1990) , 1142.
- [3] P. P. Van Daele , R. G. Baets , *IEEE J. Quantum Electr.* , **27**(1991) , 778.
- [4] C. A. Eldering , A. Knoesen , S. T. Kowel , *J. Appl. Phys.* , **69**(1991) , 3676.
- [5] H. Ono , T. Kikuchi , Y. Harato , *Appl. Phys.* , **B68**(1999) , 207.
- [6] L. R. Dalton , *Chem. and Indu.* , **7**(1997) , 510.
- [7] L. R. Dalton , A. W. Harper , M. Ziari , A. K. Y. Jen , Y. Shi , K. J. Shea *et al.* , *Chem. Mater.* , **7**(1995) , 1081.
- [8] J. L. Thackara , D. M. Bloom , B. A. Auld , *Appl. Phys. Lett.* , **59**(1991) , 1159.
- [9] Ph. Pretre , L. M. Wu , R. A. Hill , A. Knoesen , *J. Opt. Soc. Am.* , **B15**(1998) , 379.
- [10] J. J. Xu , L. G. Zhou , M. Thakur , *Appl. Phys. Lett.* , **72** (1998) , 153.
- [11] A. Yariv , P. Yeh , *Optical Waves in Crystals* (John Wiley & Sons , Inc. 1984) , Chap. 8.
- [12] D. M. Zhang , J. Z. Sun , M. B. Yi , J. C. Shen , *Chem. J. Chinese Universities* , **20**(1999) , 1637 (in Chinese) [张大明、孙景志、衣茂斌、沈家骢, 高等化学学报, **20**(1999) , 1637] .

LONGITUDINAL ELECTRO-OPTIC MODULATION USING POLED POLYMER FILMS IN A FABRY-PEROT CAVITY*

CHEN KAI-XIN YI MAO-BIN ZHANG DA-MING HOU A-LIN

(State Key Laboratory on Integrated Optoelectronics , Jilin University Region , Changchun 130023 , China)

(Received 30 December 1999 ; revised manuscript received 22 February 2000)

ABSTRACT

Longitudinal Electro-optic modulation has been demonstrated using poled electro-optic polymer films placed in a Fabry-Pero(F-P) cavity , in which the directions of the poling electric field , the applied electric field and the light traveling are parallel with each other , and perpendicular to the surface of the polymer film. The F-P cavity used here had a fineness of about 18. The thickness of polymer films is about $1\mu\text{m}$. The modulation depth about 0.012% , was achieved , in a low ac field of $1\text{V}/\mu\text{m}$. The results demonstrate that it is possible to achieve electro-optic modulation of poled polymer films and to study the films using F-P cavity.

Keywords : electro-optical effects , laser beam modulation , optical polymers , optical devices

PACC : 7820J , 4260F , 4270J , 4280K

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 69876014).