

文章编号: 0253-2239(2006)12-1777-4

# 基于单通道反射型电光调制器实现不同路光同时调制的方法\*

杨艳芳<sup>1</sup> 印 杰<sup>1</sup> 曹庄琪<sup>2</sup> 沈启舜<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 上海交通大学化学化工学院, 上海 200240)  
(<sup>2</sup> 上海交通大学物理系, 上海 200240)

**摘要:** 提出了一种利用单通道反射型聚合物电光调制器同时调制不同路光的方法。衰减全反射结构的电光调制器,其每一个衰减全反射(ATR)峰的位置分别对应于一个导波共振模式。实验系统中利用衰减全反射导膜峰作为调制通道,使其每一路光路的入射角分别对应于不同导波共振模式的工作角,就可以实现利用单通道的电光调制器同时调制不同路光。提出了三种实现两路光同时调制的模式,并给出了三种模式的调制结果。结果表明,作为调制通道的导模阶数越低,调制效率越高。在 832 nm 光波波长下,采用最低阶导模进行调制时可以获得 42.9% 的调制效率。

**关键词:** 集成光学器件; 电光调制器; 导模; 衰减全反射

中图分类号: TN256 文献标识码: A

## Simultaneous Modulation of Different-Channel Light Based on Single-Channel Electrooptic Modulator

Yang Yanfang<sup>1</sup> Yin Jie<sup>1</sup> Cao Zhuangqi<sup>2</sup> Shen Qishun<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Department of Chemistry and Chemical Technology, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240)  
(<sup>2</sup> Department of Physics, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240)

**Abstract:** A new method by which several light beams can be synchronously modulated based on attenuated total reflection (ATR) polymer electrooptic modulator with single pair of electrodes is proposed. Absorption peaks of ATR are corresponding to waveguide resonance modes, respectively. In the experimental system, the absorption peaks of ATR are used as the modulation channels. Several light beams can be modulated simultaneously through that every incident angle is related to a work angle of different waveguide resonant modes, respectively. Double-channel modulation results using three modulation types have been demonstrated. Results show that the lower guide mode acting as the modulation channel is, the larger modulation index can be obtained. 42.9% modulation efficiency can be obtained when the lowest guide mode acts as the modulation channel at the 832 nm wavelength.

**Key words:** integrated optical devices; electrooptic modulator; guide modes; attenuated total reflection (ATR)

## 1 引 言

近年来,随着有机电光材料的快速发展,有机电光调制器的研制取得了很大的进步<sup>[1~5]</sup>。不仅如此,两种结构的多通道聚合物电光调制器也已有报道<sup>[6~8]</sup>:波导传输型的马赫-曾德尔(Mach-Zehnder)结构和衰减全反射结构。马赫-曾德尔干涉型或其

改进型结构的电光调制器是当今世界上光调制器的主流,它的优点是调制带宽高,但这类波导结构的调制器普遍存在插入损耗大,制作工艺复杂的缺点。对多通道马赫-曾德尔型电光调制器来说,它的制作工艺更为复杂。不管是 Tomas 等<sup>[6]</sup>提出的垂直集成的双通道马赫-曾德尔电光调制器,还是 Suntak

\* 国家自然科学基金(60237010)资助课题。

作者简介: 杨艳芳(1973~),上海交通大学材料科学与工程学院博士后,主要从事有机聚合物材料和导波光学、集成光学的研究。E-mail: yangyangzhaoyb@yahoo.com.cn

收稿日期: 2005-12-12; 收到修改稿日期: 2006-04-10

and Jung<sup>[7]</sup>报道的依靠 16 对电极在一个马赫-曾德尔调制器上平面集成的 16 通道电光调制器,由于它们高精密的制作工艺过程,使得制备高性能的马赫-曾德尔多通道电光调制器在工艺上有很大的困难。而我们研制的反射型有机聚合物电光调制器与现有的同类反射型调制器比较有许多新的发展<sup>[9,10]</sup>,如用导模共振代替了表面等离子体共振,大大降低了调制器的工作电压、提高了调制效率。同时我们还实现了集成多通道聚合物波导电光调制器<sup>[8]</sup>,它不需要增加任何工艺制作难度,只要在波导薄膜衬底上制备多个电极就可以实现多路信号的同时调制。

本文提出了一种新的方法来实现单信号、多路光的同步调制。这种技术利用波导能承载多个模式,不同波长具有不同同步角的性质,使其实验系统中每一路光的入射角分别对应于不同的工作角,从而可通过三种方式实现对多路光的调制:1)同一波长、不同导波共振模式方式;2)不同波长、相同导波共振模式方式;3)不同波长、不同导波共振模式方式。

## 2 工作原理

我们制作的衰减全反射电光调制器的结构和波导参量如图 1 所示,从上到下依次为棱镜、上层银膜、电光聚合物、缓冲层和下层金电极。由衰减全反射理论可知,调制器工作时,经准直的线偏振入射光入射至棱镜底面上反射,用硅光探测器探测反射光强随入射角的变化曲线衰减全反射(ATR)谱,如图 2 所示。该谱线上每一个吸收峰对应于一个共振模式。吸收峰的最低点对应的角度是该模式的同步角。在同步角处,对极化聚合物层施加电场,由于泡克耳斯(Pockels)效应,折射率随外加电压发生微小变化: $\Delta n = -n_3^3 \gamma E / 2$ ,其中  $n_3$  是没加电场时聚合物

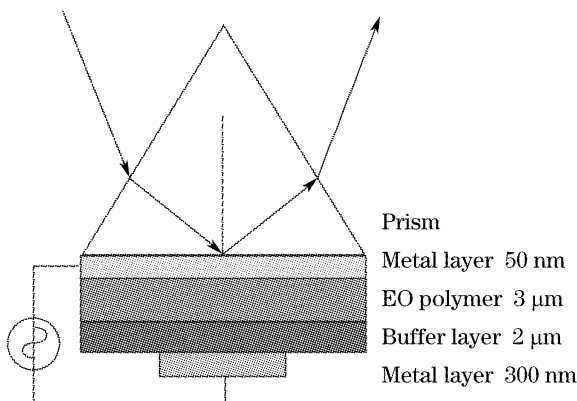


图 1 衰减全反射结构电光调制器的结构

Fig. 1 Configuration of attenuated total reflection electrooptic modulator

的折射率,  $\gamma$  是电光系数,  $E$  是外加电场强度,  $\Delta n$  是外加电场引起的折射率变化。由于同步角的位置对波导结构的参量变化极为敏感<sup>[11]</sup>,当极化聚合物的折射率有微小变化时,将引起整个衰减全反射谱的平移,如图 3 所示。在本文中,我们让两束单色偏振光入射至棱镜底面,使这两束光的入射角  $\theta_1$  和  $\theta_2$  分别对应于如图 3 所示的两个衰减全反射吸收峰线性较好的下降沿的中点处。这时在电极上施加电信号,由于电光聚合物材料的电光效应,整个衰减全反射谱产生平移,引起反射光强随电信号的变化,两束反射光强将同时被调制,从而实现多路光调制的设想。

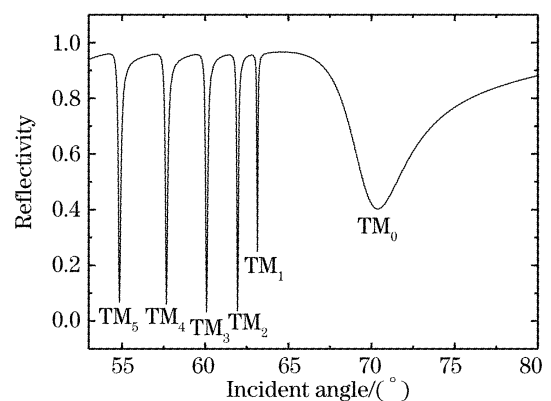


图 2 棱镜-聚合物波导结构的衰减全反射谱

Fig. 2 Attenuated total reflection spectrum of the prism-polymer waveguide system

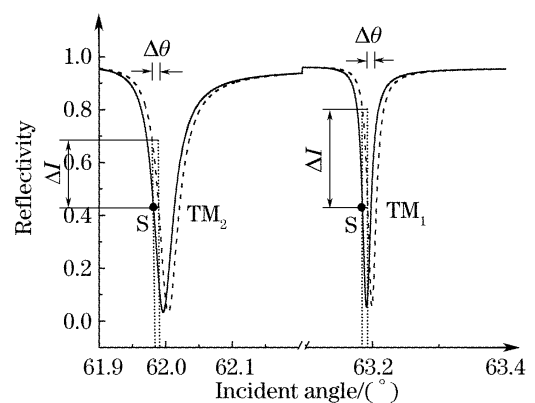


图 3 电场作用下引起衰减全反射谱的移动

Fig. 3 Shift of attenuated total reflection spectrum when electrical field is applied

## 3 样品制备

棱镜材料选用高折射率 ZF7 玻璃,其折射率  $n=1.784$ 。上层金属材料采用银。电光介质采用聚酰亚胺偶氮类染料分子交联型有机聚合物,其折射率  $n=1.68$ ,经极化后电光系数  $\gamma_{33}$  可达  $42 \text{ pm/V}$ 。缓冲层采用聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA),折射率  $n=1.49$ 。下层金属电极材料采用金。以上数据对应

的激光波长为 832 nm。

首先,采用溅射的方法在棱镜的下表面淀积一层约 50 nm 厚的银膜,银膜既是光的耦合层,同时又作为调制器的上电极。接着,采用甩胶法将电光聚合物涂在银膜之上,调节甩胶机转速来控制膜厚为 3.0  $\mu\text{m}$  左右,这时单面金属聚合物波导能承载多个模式。调制器可选择其中一个模式或多个模式同时进行工作。然后采用电晕极化使聚合物材料具有电光特性,极化温度:聚合物材料的玻璃化转变温度 170  $^{\circ}\text{C}$  附近;极化电压:4000 V;极化电流:控制小于 3  $\mu\text{A}$ 。再在聚合物上用甩胶法涂上一厚度约为 2.0  $\mu\text{m}$  的 PMMA 作为缓冲层。缓冲层作为聚合物波导的包覆层,同时也用来防止聚合物的电击穿。最后采用溅射方法在薄膜下方制作一层约 300 nm 厚的金膜,作为调制器的下电极。

#### 4 实验及结果

实验装置如图 4 所示。所采用的激光光源为半导体激光器,其入射角为  $\theta_1$  和  $\theta_2$ ,这两个角分别对应于两个导模衰减全反射吸收峰下降沿的中点。样品被置于  $\theta/2\theta$  仪的内盘上, $\theta/2\theta$  仪由内盘和外盘组成,当内盘旋转  $\theta$  角时,外盘旋转  $2\theta$  角,这样,置于外盘上的硅光电池探测器始终能与样品同步。

在本实验中,选取激光器 1 和 2 的波长均为 832 nm,输出光偏振方向均为 P 偏振,两个导波共

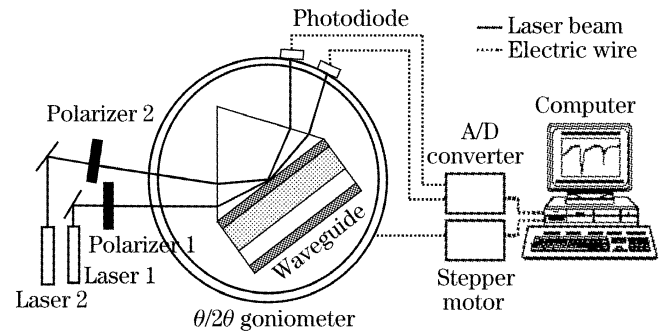


图 4 实验装置图

Fig. 4 Layout of experiment

振模式分别为 TM1 和 TM2,其同步角分别是  $\theta_{\text{ATR}}$  和  $\theta_{2\text{ATR}}$ 。用探测器 1 和 2 分别接收从激光器 1 和 2 出射的光束。开始工作时,使  $\theta/2\theta$  仪转动并停在光束 1 的 TM1 模吸收峰的下降沿中点处,以此作为光束 1 的工作角  $\theta_1$ 。然后保持  $\theta/2\theta$  转台不动,调节光束 2 与棱镜底面所成的入射角为  $\theta_2$ ,使其位于 TM2 模吸收峰的下降沿中点处。然后在调制器的上下电极间加一个 20 V 的交流电信号,由于聚合物的电光效应,可得到两路如图 5(a)所示的调制光信号。

利用相同的原理和步骤我们同样实现了方式 2) 和方式 3) 的两路光的调制。方式 2) 中实现的是不同波长(780 nm 和 980 nm)、同一导波共振模式(TM1)的两路光的调制。方式 3) 中实现的是不同波长、不同导波共振模式(832 nm, TM1 模; 1064 nm, TE2 模)的两路光的调制。

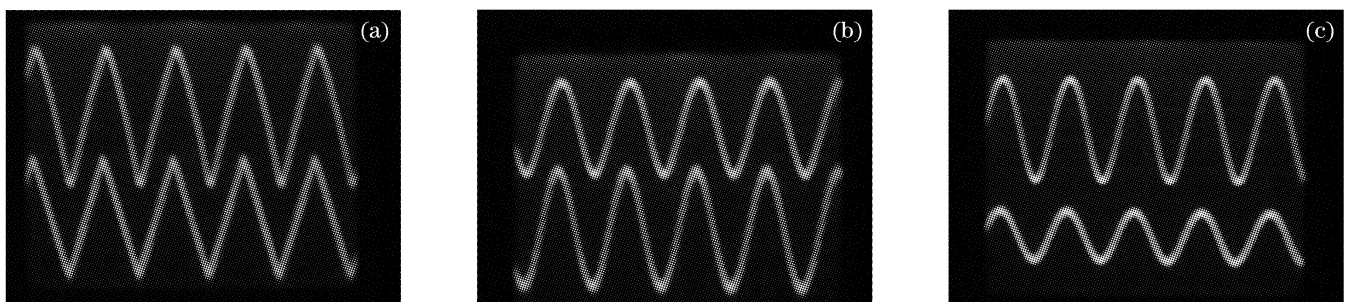


图 5 三种调制方式的调制效果图

Fig. 5 Modulation results of three different styles

表 1 工作电压 20 V 下三种调制方式的参量

Table 1 Modulation parameters of three different types at modulation voltage 20 V

Electrooptic coefficient / (Pm/V) @ 20 V	Modulation type	Angle $\theta_1, \theta_2 / (^{\circ})$	Light signal @ 20 V	Modulation efficiency
	$r_{33} = 30.98$ @ 780 nm	TM1 @ 832 nm	62.52	2.5 V
$r_{33} = 24.62$ @ 832 nm	TM2 @ 832 nm	61.38	2.2 V	43%
$r_{33} = 16.13$ @ 980 nm	TM1 @ 780 nm	63.25	3.2 V	50%
$r_{13} = 3.2$ @ 1064 nm	TM1 @ 980 nm	61.28	1.9 V	26%
	TM1 @ 832 nm	62.52	2.5 V	45%
	TE2 @ 1064 nm	57.22	0.8 V	8%

图 5(b)和图 5(c)中分别给出了方式 2)和方式 3)调制后的两路不同的光信号。表 1 给出了三种调制方式在工作电压 20 V 下的测得的参量。

上述仅给出了两路光的调制,对于多路光的调制,只需找到不同波长下所对应的各个不同导波共振模式的同步角,然后采用多个激光光源,利用相同的原理,使其每一个光源在棱镜底部的入射角对应所选共振模式的同步角,然后在棱镜的另一侧同时采用和激光器相同个数的探测器接收反射的光束,就可以实现对多路光的调制。

## 5 结 论

本文中,我们描述了利用单通道反射型电光调制器实现多路光同时调制的方法。这种方法的优点是该结构仅有一对电极,施加同一电信号就能实现多路光的调制,因而没有电串扰。同时该器件成本低廉,调节简单,不仅可以应用于将信号同时传输到多个不同的地点的无线光通信中,另外还可用于其它需要对多路激光或多路光束参量同时进行控制的情况,如精密测量、测距、全息检测、分析仪器等领域。

## 参 考 文 献

- 1 Chen D, Fetterman H R, Chen A *et al.*. Demonstration of 110 GHz electro-optic polymer modulators [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1997, **70**(25): 3335~3357
- 2 Song H-C, Oh M-C, Ahn S-W *et al.*. Flexible low-voltage electro-optic polymer modulators[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2003, **82**(25): 4432~4434
- 3 Teng C C. Traveling-wave polymeric optical intensity modulator with more than 40 GHz of 3-dB electrical bandwidth[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1992, **60**(13): 1538~1540
- 4 Yang Jianyi, Jiang Xiaoqing, Wang Minghua. Study of polymer-based electrooptic modulators using contact poling [J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(4): 422~425 (in Chinese)  
杨建义,江晓清,王明华. 采用接触式极化法研制有机聚合物电光波导调制器[J]. *光学学报*, 2003, **23**(4): 422~425
- 5 Zhang Daming, Chuai Xiaohong, Chen Kaixin *et al.*. An electrooptic modulator utilizing polar polymer film [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2003, **24**(2): 147~151 (in Chinese)  
张大明,揣晓红,陈开鑫等. 新型极化聚合物薄膜电光调制器研究[J]. *发光学报*, 2003, **24**(2): 147~151
- 6 Thomas A. Tumolillo Jr., Paul R. Ashley. Multilevel registered polymeric Mach-Zehnder intensity modulator array [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1993, **62**(24): 3068~3070
- 7 Suntak Park, Jung Jin Ju, Jung Yun Do *et al.*. 16-aryaded electrooptic polymer modulator [J]. *J. Photon. Technol. Lett.*, 2004, **16**(8): 1834~1836
- 8 Zhang Zhaowei, Li Honggen, Shen Qishun *et al.*. Double-channel polymer electro-optic modulators with attenuated total reflection configuration [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2001, **28**(4): 54~56 (in Chinese)  
张兆伟,李红根,沈启舜等. 衰减全反射结构的双通道聚合物电光调制器[J]. *光电工程*, 2001, **28**(4): 54~56
- 9 Y. Jiang, Z. Cao, Q. S. Shen *et al.*. Low voltage electro-optic polymer light modulator using attenuated total internal reflection [J]. *Optics & Laser Technology*, 2001, **33**: 417~420
- 10 Y. Jiang, Z. Cao, Q. S. Shen *et al.*. Improved attenuated-total-reflection technique for measuring the electro-optic coefficients of nonlinear optical polymers [J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 2000, **17**(5): 805~808
- 11 Bock H, Christian S, Knoll W *et al.*. Determination of the glass transition temperature of nonlinear optical planar polymer waveguides by attenuated total reflection spectroscopy [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1997, **71**(25): 3643~3645