

文章编号: 1001-3806(2013)01-0082-03

## 基于两次衰减全反射结构的激光偏振控制器

余志核, 肖平平

(宜春学院 物理科学与工程技术学院, 宜春 336000)

**摘要:** 为了实现激光偏振态的控制和提高两偏振态消光比, 用由各向异性材料加工而成的耦合棱镜并采用两次衰减全反射方法, 使具有相同入射角的 TE 和 TM 偏振态的共振激发条件不同, 即当 TE 偏振态满足共振激发条件能量耦合进波导时, TM 偏振态却不满足共振激发条件而被反射来实现其在空间上的分离。同时将电光系数较大、光学性能和热稳定性好的聚合物材料作为波导层, 利用其电光效应来改变共振条件来实现输出光束偏振态的调谐。结果表明, 反射型结构插入损耗小于 0.2 dB, 器件的消光比高达 27 dB, 驱动电压为 19 V。该方案预计在光信息存储、光路由、光开关以及图像处理等光学系统里有着极其广泛的应用。

**关键词:** 激光技术; 光波导; 偏振控制器; 电光效应; 聚合物

中图分类号: O436.3

文献标识码: A

doi: 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2013.01.020

## Controllable laser polarizer based on twice attenuation total reflection structures

YU Zhi-he, XIAO Ping-ping

(College of Physics Science and Engineering Technology, Yichun University, Yichun 336000, China)

**Abstract:** In order to control the polarization states and increase the extinction ratio of the TE and TM output beam, a novel tunable polarization controller was proposed and demonstrated by introducing birefringent material into the coupling prism and polymer acted as the guiding layer of symmetrical metal cladding waveguide (SMCW). In this structure, the guide mode resonance can not simultaneously be excited by TE and TM polarizations at the same incident angle. The incident laser beam energy of the polarization which excites guide mode resonance is coupled into the SMCW, while that of the polarization which does not excite guide mode resonance is almost reflected. As a result, the TE and TM polarization beams can be separated. Moreover, the polarization selector can be tuned assisted by changing the resonance condition of the guiding mode via applying direct-current voltage on the guiding-layer. The research indicates the inset loss is smaller than 0.2 dB and the driving voltage is up to 19 V and the extinction ratio is larger than 27 dB due to the twice attenuation totally reflected technique. This method is valuable in many potential applications, such as optical information processing, optical routing, optical switch and image processing.

**Key words:** laser technique; optical waveguide; polarizer; electro-optic effect; polymer

### 引言

激光偏振态的控制 (polarization beam control, PBC)<sup>[1]</sup> 是利用某种装置改变互相垂直的两偏振光束的传播方向实现其在空间的分离, 即偏振控制。偏振控制在光信息存储、光路由、光开关以及图像处理等光学系统里有着极其广泛的应用。现有的偏振态控制方法主要有偏振片法<sup>[2]</sup> 和利用晶体双折射特性的渥拉斯顿棱镜、格兰汤普森棱镜和罗歇棱镜等<sup>[3]</sup>。其中偏振片控制是利用机械办法使平行开缝方向的光通过,

垂直其方向的光就被限制来实现光束偏振态的控制, 这种方法好处是两种偏振态的消光比高, 缺点是转换速率低; 另一类结构是利用晶体的双折射特性, 将具有不同折射率的 TE 和 TM 两偏振态的光, 在晶体分界面处有不同的反射或折射来实现其传播方向的改变, 其优点是受可控于人, 缺点是晶体生长过程复杂<sup>[4-6]</sup>。作者在长期研究金属包覆波导的基础<sup>[7-9]</sup>上, 提出一种两次衰减全反射结构的偏振模式可控器, 研究表明, 该结构选择出的光束偏振态消光比很高, 而且器件具有性能稳定、可靠、制备简单和插入损耗低等诸多优点。

### 1 工作原理

本文中提出的两次衰减全反射 (twice attenuated totally reflected, TART) 结构的偏振控制器结构如图 1 所示。它主要包含耦合棱镜和金属包覆波导。耦合棱

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61168002); 区域光纤国家重点实验室开放基金资助项目 (2011GZFO31105)

作者简介: 余志核 (1955-), 男, 教授, 主要从事导波光电子器件、光纤通信及其应用领域研究。

E-mail: yuzhihe907@163.com

收稿日期: 2012-03-20; 收到修改稿日期: 2012-03-26

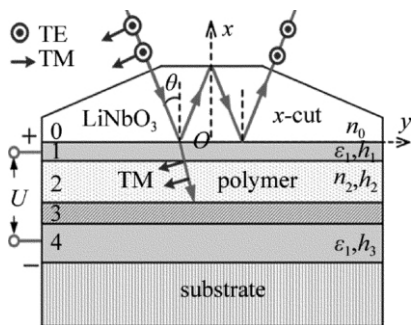


Fig. 1 Schematic diagram of the polarization beam controller of TATR structures

镜是由具有各向异性的  $x$  切  $\text{LiNbO}_3$  晶体制成, 其横截面为一等腰梯形。导波层由稳定性和电光系数大的聚合物构成。由衰减全反射理论可以计算出反射率随入射角的关系曲线, 即衰减全反射谱如图 2 所示。图中反射率最小处对应的入射角  $\theta$  称为共振角。最小反射率  $R_{\min}(\theta)$  的大小与波导结构、聚合物的成膜质量以及两金属薄膜的平行度密切相关。作者所在实验室现有技术最小反射率  $R_{\min}(\theta)$  一般可以做到 5% 左右, 这就是说在这种参量下有 95% 的光能耦合进波导中, 仍有 5% 光被反射, 造成输出光束中两偏振态的消光比不高。如果采用本文中所述的两次衰减全反射结构, 两次衰减全反射反射率  $R_2(\theta)$  与单次衰减全反射结构的反射率  $R_1(\theta)$  之间有如下关系式:

$$R_2(\theta) = R_1(\theta)^2 \quad (1)$$

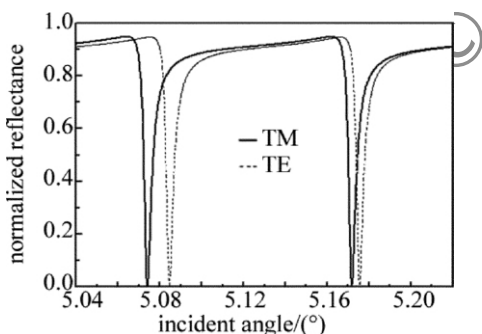


Fig. 2 Spectrum of TATR of the TE and TM polarizations

从 (1) 式容易计算出这种两次衰减全反射结构的最小反射率一般小于 3%, 使这种结构衰减全反射谱的消光比可以与机械挡光板相比。

在棱镜中, 由于 TE 和 TM 偏振光的折射率不同, 由导模的传播常数  $\beta = k_0 n_{\text{prism}} \sin\theta$  ( $k_0$  为真空中的波数,  $n_{\text{prism}}$  为耦合棱镜的折射率,  $\theta$  为入射角) 可知, 有相同入射角的 TE 和 TM 偏振光束将不会有相同的传播常数, 即某一偏振光束共振激发导模能量耦合进波导, 而另一偏振态光束就一定不会激发导模能量将全部反射, 实现输出光束的偏振态的控制。在保持某一偏振态导模共振激发条件下, 利用导波层中聚合物的电光效应来改变波导参量即改变导模共振激发条件, 就可

以实现输出光束偏振态的调谐。

## 2 器件的制备

为了保证金膜成膜质量, 需要将耦合棱镜光学端面抛光处理后再清洗干净。先用丙酮浸泡超声清洗 30min, 取出后反复用去离子水冲洗, 然后放入恒温干燥箱中 100℃ 干燥 1h 后冷却至室温。将样品放入真空溅射机的样品室中, 当真空达到  $6.65 \times 10^{-4}$  Pa 时, 连续通入氩气 1h 左右来进一步排出样品室内的空气。缓缓关闭主伐调节真空室内气压到 6.65Pa, 用 100W 溅射功率溅靶材 1min ~ 2min 去除靶材表面的氧化杂质后, 打开挡板开始溅射金膜。薄膜厚度是通过溅射时间来控制的。金膜厚度对结构的衰减全反射谱的半宽度会产生很大的影响, 为获得较为精确的薄膜厚度与时间的关系, 需要采用相同的条件多次溅射一块顶角较小的棱镜, 用双波长法<sup>[10]</sup> 测量金膜的厚度和介电系数, 建立该溅射条件下金膜厚度与溅射时间的函数关系。根据溅射时间在棱镜的底面淀积一层 20nm 左右的金膜; 接着用旋转涂膜机在金膜表面涂上一层有机聚合物薄膜, 通过调节甩胶机转速来控制膜厚约为 2.5μm; 再采用电晕极化的方法使薄膜具有 2 阶非线性效应, 具体是让薄膜加温到聚合物材料的玻璃化转变温度 160℃ 左右, 并在薄膜上方 20mm 的针尖上施加 4.3kV 左右的直流电压产生气体放电, 经过 25min 后, 等薄膜中的发色团有效地取向且继续维持极化电压, 冷却样品至室温让发色团分子的取向被冻结于聚合物中; 为了防治电击穿, 可以在极化聚合物上涂上一层厚度约为 2μm 的缓冲层。最后在薄膜上面溅射一层约 300nm 的金膜作为波导的包覆层。用波长为 832nm 激光测量得到该电光聚合物的电光系数  $\gamma_{33} = 30\text{pm/V}$ 。

## 3 实验测量

实验测量如图 3 所示, 激光器出射的波长为  $\lambda = 860\text{nm}$  的光束经过准直小孔 1、偏振控制器和小准直孔 2 准直后, 由反射镜反射后入射到偏振控制器耦合棱镜的底面, 出射的反射光用光电探测器进行探测。偏振控制器用于改变入射光的偏振态, 使其在 TE 和 TM 偏振之间转换。为了扫描衰减全反射谱, 选择合适的工作点, 实验中还用到了  $\theta/2\theta$  仪,  $\theta/2\theta$  仪包含内外两个旋转转盘, 偏振选择器置于内转盘, 探测反射光的探测器固定在外转盘上, 装置由计算机程序驱动步进电机, 当步进电机驱动转盘旋转时外转盘转动角速率为内转盘的两倍, 从而确保探测器始终能同步

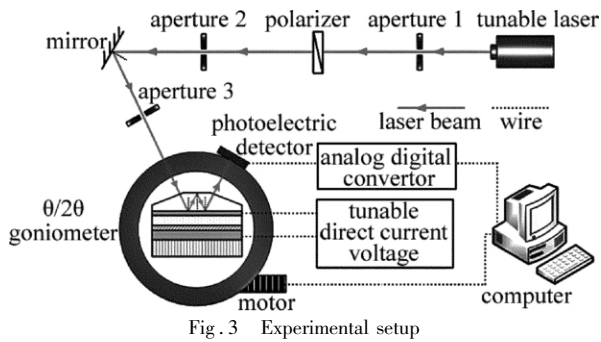


Fig. 3 Experimental setup

探测到反射光。

实验中首先将激光偏振控制器选择 TM 模准直后入射到棱镜的底面,通过计算机扫面出角度衰减全反射谱,选择工作点在其中一个衰减全反射谱的最小吸收峰处,这时光电探测器探测到反射光的光强  $P_{TM\ out1}$ ,同时测量出入射到棱镜前的激光的光强  $P_{TM\ in1}$ ,利用消光比计算公式  $I = -10\lg(P_{TM\ out1}/P_{TM\ in1})$ ,计算出器件消光比为 27dB。工作点选在  $R_{min}(\theta)$  处,表明 TM 偏振态在这种结构中发生了导模共振激发,激光能量耦合到波导中形成导模。由前面的分析可知,在上述条件下,TE 偏振态就不会产生共振激发,激光能量将反射。在保证上述条件不变的前提下,把偏振控制器的输出光调成 TE 偏振态,发现光电探测器探测到的反射光强最大。接着用一个电压可调的直流电源在两金属膜之间施加电压,在缓缓增加电压过程中注意观察光电探测器探测到的反射光强变化,当光强变为最小时,记下该直流电压的值,这一电压值也是该偏振控制

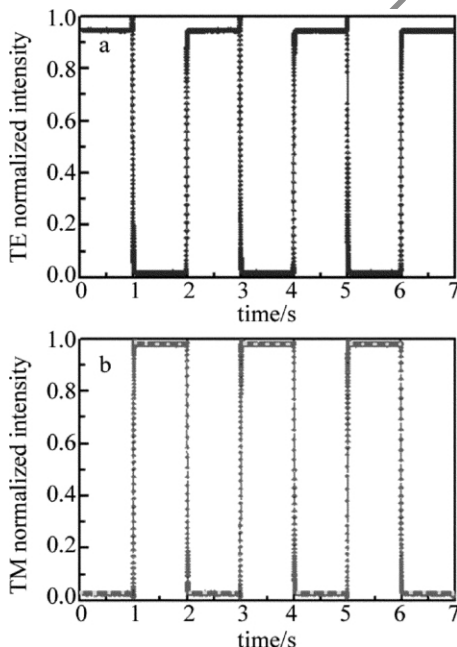


Fig. 4 Measured results of the polarizations of output beam controlled squarewave signal

器的驱动电压,该样品的实验测量值为 19V。为了测量器件的插入损耗,这时又把输入光选为 TM 偏振并测量,此时输入输出光束的光强分别为  $P_{TM\ in2}$  和  $P_{TM\ out2}$ ,利用损耗计算公式  $L = -10 \times \lg(P_{TM\ out2}/P_{TM\ in2})$ ,计算出样品的插入损耗小于 0.2dB。最后把入射光选成两种偏振都有,在两电极上加上一周期性的方波电压,输出光的偏振态将被周期性的方波信号调制,实现偏振光束偏振态的人工可控输出。实验测量的结果如图 4 所示,从图 4 可以看出,TE 和 TM 两种偏振态随方波信号而交替输出。

## 4 结论

将双面金属包覆波导结构中的耦合棱镜选用各项异性材料,波导导波层选用电光系数较大聚合物材料,使 TM 和 TE 两偏振光束在这种结构中的输出光束偏振态实现了人工可控。研究表明,在该结构中一种偏振态耦合进波导形成导模并发生两次衰减全反射,而另一种偏振态的光可以几乎全部被反射,出射的偏振态纯度高,而且具有插入损耗小、可靠性能高、驱动电压低和转换速率快等诸多优点,将在光学领域中有极其广泛的应用前景。

## 参考文献

- [1] LI X P, YI X J. A micro polarized beam splitter for DWDM[J]. *Laser Technology*, 2006, 30(4): 377-380 (in Chinese).
- [2] ZHAO K H, ZHONG X H. *Optics* [M]. Beijing: Peking University Press, 1984: 235-245 (in Chinese).
- [3] SALEH B E, TEICH M C. *Fundamentals of photonics* [M]. 2nd ed. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons Inc., 2007: 243-288.
- [4] SCHONBRUN E, WU Q, PARK W. Polarization beam splitter based on a photonic crystal heterostructure [J]. *Optics Letters*, 2006, 31(21): 3104-3106.
- [5] WU L J, MAZILU M, GALLET J F, *et al.* Planar photonic crystal polarization splitter [J]. *Optics Letters*, 2004, 29(14): 1620-1622.
- [6] MOCELLA V, DARDANO P, MORETTI L, *et al.* A polarizing beam splitter using negative refraction of photonic crystals [J]. *Optics Express*, 2005, 13(19): 7699-7707.
- [7] XIAO P P, DENG M L. Study on electro-optic variable optical attenuator based on two attenuated total reflections configurations [J]. *Optical Communication Technology*, 2011, 35(3): 49-51 (in Chinese).
- [8] XIAO P P, QI M. Research of electro-optic switches based on twice attenuated total reflections configurations [J]. *Laser Technology*, 2012, 36(1): 84-86 (in Chinese).
- [9] XIAO P P, YUAN R. The study of the multi-channel electro-optic modulators based on the free space based on the free space coupling technology [J]. *Laser Journal*, 2010, 31(3): 8-9 (in Chinese).
- [10] CHEN W P, CHEN J M. Use of surface plasma waves for determination of the thickness and optical constants of thin metallic films [J]. *Journal of the Optical Society of America*, 1981, 71(2): 189-191.