

文章编号: 0253-2239(2006)09-1397-3

基于三波导耦合的聚合物电光可调光衰减器*

吴永红 胡国华 崔一平**

(东南大学电子工程系, 东南大学先进光子学中心, 南京 210096)

摘要: 可调光衰减器(VOA)是密集波分复用(DWDM)网络中的重要器件之一, 它的一个重要应用是实现多通道间的功率均衡。提出了一种基于三波导耦合结构的聚合物电光可调光衰减器的设计方案, 即利用两个旁侧波导耦合掉主通道波导中的光, 从而达到衰减的目的。并运用束传播法(BPM)对该器件进行了相关性能的模拟、分析及优化, 使得该结构衰减达到 60 dB, 驱动电压为 11.3 V, 插入损耗为 0.48 dB。该结构有效的降低了驱动电压, 并使该结构的高衰减可调光衰减器得以实现。

关键词: 光学器件; 可调光衰减器; 耦合模; 束传播法; 电光效应

中图分类号: TN715 文献标识码: A

Coupling-Based Electro-Optic Polymer Variable Optical Attenuator Using Three Waveguides

Wu Yonghong Hu Guohua Cui Yiping

(Electrical Department of Southeast University, Advanced optics center of Southeast University, Nanjing 210096)

Abstract: Variable optical attenuator (VOA) is one of the key devices in Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) network. This paper proposes a method of designing a coupling-based VOA. The VOA uses three channel waveguides and utilizes the electro-optic effects of polymer. The Beam Propagation Method (BPM) analyzes and simulates the qualities of this device. The results show that the VOA achieves nearly 60 dB loss with a low insert loss (0.48 dB) and the drive voltage is 11.7 V. This design reduces the drive voltage effectively, and realizes a large loss.

Key word: optical devices; variable optical attenuator; couple mode; beam propagation method (BPM); electro-optic effect

1 引 言

随着光网络的发展, 密集波分复用(DWDM)技术在光通信中的地位日益重要。可调光衰减器是密集波分复用技术中的重要器件之一。光源功率、传输损耗和光放大器增益均存在着波动, 为消除这些恶化网络信号传输和导致总体性能下降的不良因素, 需要在每个相应信道上进行动态功率调整。可调光衰减器(VOA)可以在密集波分复用网络中进行多信道间的功率均衡, 并且可以对光放大器进行增益控制和增益展开。在进行密集上/下路操作的节点处运作的可调光衰减器元件必须满足紧凑、可靠、节能和低成本的要求。根据光衰减器的工作原

理, 可将光衰减器分为: 位移型光衰减器、直接镀膜型光衰减器、衰减片型光衰减器、离子交换型光衰减器^[1]及液晶型光衰减器^[2]。目前在光网络中应用的光衰减器主要有传统的机械位移式法拉弟旋转型及微电机机械型(MEMS)^[3]。与传统机械式可调光衰减器相比, 集成型可调光衰减器具有体积小、重量轻、结构紧凑坚固、抗干扰能力强、稳定可靠、寿命长等优点。与微电机机械型光衰减器相比, 聚合物可调光衰减器具有价格便宜, 易于制作等优点。由于有机聚合物的合成、加工、器件制备方面相对容易、价格低廉, 而且它们具有非线性光学系数较大、介电常数相对较低、容易与半导体器件和光纤集成等优良性

* 教育部重点项目(104196)资助课题。

作者简介: 吴永江(1981~), 男, 江苏如皋人, 硕士研究生, 主要从事集成光学方面的研究。E-mail: boonyxy@163.com

** 通信联系人。E-mail: cyp@seu.edu.cn

收稿日期: 2005-10-24; 收到修改稿日期: 2006-03-15

能,可以用于制备更高的调制频率和更低驱动功率的光调制器^[4,5]、光开关^[6]和可谐器件^[7]、激光器、阵列波导光栅^[8]、滤波器^[9]等。因此,聚合物电光型可调光衰减器具有广阔的市场前景和应用前景。

本文根据耦合模理论,提出了一种利用三波导耦合的电光型可调光衰减器,并用束传播法算法对其进行了模拟,得到了理想的结果。

2 耦合模理论

在两条相邻的波导之间通常都存在光能耦合的现象。在弱耦合条件下,两相邻波导的耦合模方程

$$\begin{cases} A_1(z) = -iA_2(0) \frac{K}{(K^2 + \delta^2)^{1/2}} \sin[(K^2 + \delta^2)^{1/2} z] \exp(-i\delta z), \\ A_2(z) = A_2(0) \cos[(K^2 + \delta^2)^{1/2} z] - \frac{i\delta}{(K^2 + \delta^2)^{1/2}} \sin[(K^2 + \delta^2)^{1/2} z] \exp(-i\delta z), \end{cases} \quad (2)$$

其中 $2\delta = \beta_2 - \beta_1$, K 是耦合系数。

由上式可知道,两相同的相邻波导的在传播方向上发生 100% 的周期性功率交换,并且光强在传输方向以正弦形式分布,其周期与耦合系数成正比关系。当波导 1 的折射率有微弱减小时,即 $\Delta n \ll n$, (2)式、(3)式仍然近似成立。由于引进了一个 δ ,即引进了一个相位差 $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\Delta n}{n} L$,当相位差达到 $\pi/2$ 时,输出功率将由最大值降到最小值。因此,只要控制折射率变化,就可以达到改变波导 1 出射光功率大小的目的。同时只要 δ 足够小,我们仍然能得到很大的光耦合效率。

3 器件结构及设计原理

本文提出的三波导耦合结构的可调光衰减器具有低插入损耗、尺寸小、衰减范围大等优点(如图 1、图 2 所示)。该器件由一根直波导 1 作为输入输出波导(主波导),两根对称的弯曲波导 2、3(旁侧波导)作为耦合波导把从主波导耦合出来的光导出去。在波导 2、3 的两侧加载电极,电压的加载方式

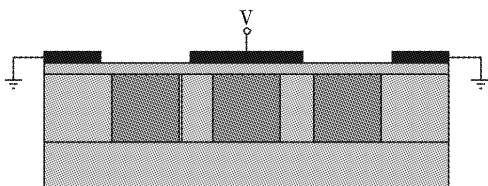


图 1 光衰减器的切面图

Fig. 1 Cross-section of the VOA

可以写为^[10]

$$\begin{cases} \frac{dA_1(z)}{dz} = iA_2(z)K_{21} \exp[i(\beta_1 - \beta_2)z], \\ \frac{dA_2(z)}{dz} = iA_1(z)K_{12} \exp[i(\beta_2 - \beta_1)z], \end{cases} \quad (1)$$

其中 z 为光在两波导中的传播方向; $A_1(z)$ 、 $A_2(z)$ 分别为波导 1、2 中传输光的振幅; K_{12} 、 K_{21} 分别是 \mathbf{E}_2 、 \mathbf{H}_2 场对 \mathbf{E}_1 、 \mathbf{H}_1 场 \mathbf{E}_1 和 \mathbf{H}_1 场对 \mathbf{E}_2 、 \mathbf{H}_2 场的耦合系数; β_1 、 β_2 分别是波导 1、2 中传输光的传播常量。

当光场只从波导 2 输入,即 $A_1(0) = 0$,由此我们可以解上述的耦合模方程,其解的形式如下

如图 1 所示。

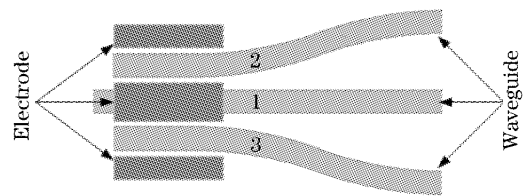


图 2 光衰减器的剖面图

Fig. 2 Longitudinal-section of the VOA

我们以 APC/CPW^[11]作为芯层材料,其中 APC 是基质,CPW 是生色团,其电光系数,在波长为 1550 nm 时为 55 pm/V^[11]。由于 APC/CPW 是有机材料,其折射率与曝光时间有关,我们选取曝光 6 h 的折射率 1.539^[12]。此外,我们选取其吸收损耗为 0.3 dB/cm。以 UV-15LV 作为上包层和下包层,折射率为 1.52,Si 晶片为衬底。以光通信中常采用的 1550 nm 的光纤光源作为入射光源,并将其耦合进条形波导。为了得到较小的耦合损耗及与现阶段通常采用的集成工艺相匹配,我们采用了 $6 \mu\text{m} \times 6 \mu\text{m}$ 口径的条形波导,通过数值模拟计算,此时的耦合损耗仅为 0.156 dB。加上材料的吸收损耗,器件的插入损耗为 0.483 dB。我们假设在波导内,电场的分布是均匀的,其值为电势差与电极间距的比值。只要加载不同的电压,波导 1 中传输的光很容易得到不同程度的衰减(如图 3 所示)。

由图 3 可以看出,该结构的光衰减器输出光强衰减量与电压的关系为正弦曲线,与马赫-曾德尔型光衰减器相似。输出损耗在 0~25 dB 之间衰减很平

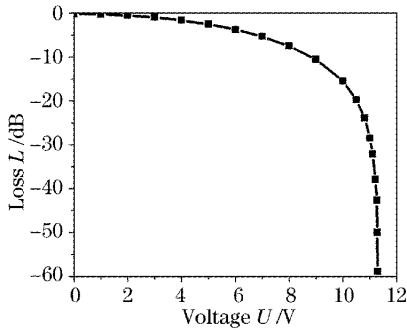


图3 波导1中光的衰减随施加电压的关系

Fig. 3 Loss in waveguide 1 versus voltage

缓,在高衰减区则变得很陡峭,最高损耗近 60 dB,达到了光通信的要求。在 11.3 V 处达到最大衰减,此时折射率变化小于 0.00015,改变量仅为 0.01%,很好的满足了 $\Delta n \ll n$ 的要求。与马赫-曾德尔型光衰减器相比,其结构较简单,尺寸小(1.1 cm),更易制作成型,可以制成低串扰可调光衰减器阵列。

设计成三波导结构的好处在于可以有效的降低驱动电压,从而使折射率的改变量较小。我们也将该结构与两波导结构及只在中间波导加电极的情况进行了对比,发现这两种情况都需要加载很高电压(约 23 V)才能得到 10 dB 左右的衰减。这是因为当电压升高到一定值时,由于折射率差过大,光不能完全耦合入旁侧波导。此外,耦合系数变得更小,器件的尺寸也相应的变大,对整个的器件设计很不利。

4 结 论

提出了一种新型的基于三波导耦合型的聚合物电光可调光衰减器,该衰减器由三支波导组成,中间波导作为光的主通道,两边的弯曲波导作为耦合光波导,把衰减的光耦合出去。其插入损耗仅为 0.483 dB,衰减动态范围近 60 dB,其最大衰减处的电压为 11.3 V。与两根波导的结构相比,驱动电压大为降低,同时使这种结构的可调光衰减器得以实

现。如能进一步降低电压,未来有希望应用于光通信系统。

参 考 文 献

- 1 T. Hurvitz, S. Ruschin, D. Brooks *et al.*. Variable optical attenuator based on ion-exchange technology in glass[J]. *J. Lightwave Technology*, 2005, **23**(5): 1918~1922
- 2 J. J. Pan, Wu Haiming, Wu Yousheng *et al.*. Power handling capability of liquid crystal variable optical attenuator[J]. *Optical Fiber Communication Conference*, 2005. 109~111
- 3 H. Cai, X. M. Zhang, C. Lu *et al.*. Linear MEMS variable optical attenuator using reflective elliptical mirror[J]. *Photonics Technology Letters, IEEE*, 2005, **17**(2): 402~404
- 4 Kim SeongKu, K. Geary, T. Azfar *et al.*. Low loss photo-bleaching induced electro-optic polymer modulator in a guest-host system[C]. *Lasers and Electro-Optics*, 2004
- 5 Liu Zilong, Zhu Daqing. Electro-optic polymer modulators modulated only in cladding and its theoretical analysis[J]. *Acta Optica Sinica*, 2004, **4**(11): 1156~1520 (in Chinese)
- 6 Ki-Hong Kim, Min-Suk Kwon, Sang-Yung Shin *et al.*. Vertical digital thermo-optic switch in polymer[J]. *Photonics Technology Letters, IEEE*, 2004, **16**(3): 783~785
- 7 Xie Xiaoqiang, Dai Xuhan, Zhao Xiaolin *et al.*. Research on an offset-type micro mechanical variable optical attenuator[J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(5): 717~718 (in Chinese)
- 8 C. J. Leo, P. V. Ramana, K. Sudharsanam. Design of polymer arrayed waveguide gratings for access networks and CWDM applications[C]. *Electronics Packaging Technology*, 2003 5th Conference, 2003. 647~651
- 9 H. Takase, K. Tamaki, Y. Maeda *et al.*. Polysiloxane based optical splitters with low insertion loss fabricated through direct photolithography[C]. *Optical Fiber Communication Conference*, 2004.
- 10 Zhao Cezhou. *Semiconductor Guided-Wave Optical Devices Theory and Technology* [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1998. 2~7 (in Chinese)
- 11 W. H. Steier, A. Szep, Y. H. Kuo *et al.*. *Polymeric optical waveguide modulators and their applications*[C]. *Lasers and Electro-Optics*, 2002.
- 12 Kim SeongKu, K. Geary, H. R. Fetterman *et al.*. Photo-bleaching induced electro-optic polymer modulators with dual driving electrodes operating at 1.55 μm wavelength [J]. *Electronics Letters*, 2003, **39**(18): 1321~1322