

文章编号 : 0253-2239(2002)08-1011-04

采用电光效应实现双折射切趾的集成光学 声光可调谐滤波器*

陈 坚¹⁾ 胡鸿璋¹⁾ 耿 凡²⁾

(1), 天津大学理学院应用物理系, 天津 300072)
(2), 津航技术物理研究所, 天津 300192

提要: 声光可调谐滤波器(AOTF)是密集波分复用系统(DWDM)中的关键器件之一。影响该器件性能的一个主要因素是透过率曲线中旁瓣的存在。基于双折射切趾的原理,提出了利用LiNbO₃晶体的电光效应来实现切趾的新方案。对该方法进行了理论和实验两方面的研究,实验结果与理论基本相符。

关键词: 声光可调谐滤波器;波分复用网络;电光效应;双折射切趾

中图分类号:TB851+.7 文献标识码:A

1 引 言

声光可调谐滤波器(AOTF)是密集波分复用系统(DWDM)中的关键器件之一。影响该器件性能的一个主要因素是透过率曲线中旁瓣的存在^[1],它会引起信道间的串音,严重损害了器件的性能。因此,如何抑制旁瓣,即切趾,是滤波器研制过程中的一个关键问题。

实验表明透过率曲线中的旁瓣是不对称的,这主要是由于e光和o光折射率之差沿光波导的分布不均匀引起的^[2]。如果有意识地改变这一分布,就可以让旁瓣发生相应的变化,这正是双折射切趾的出发点。在本文中,我们提出可以利用LiNbO₃晶体的电光效应来改变沿光波导的双折射率分布以实现切趾。该方法具有制作工艺简单、可以在线调节等优点。我们将从理论和实验两方面对该方法进行详尽的探讨。

2 理论分析

采用电光双折射切趾的器件的结构如图1所示。我们用x切、y传的LiNbO₃晶体作为基底。声光作用区的长度L为17mm,电极1和2的长度L₁

和L₂分别是2142μm和1520μm。每一对电极之间的距离为140μm。根据LiNbO₃晶体的电光效应,沿z轴施加电场后e光和o光的折射率之差改变为

$$\delta n' = (n_e - n_o) + \frac{1}{2}(n_o^3 r_{13} - n_e^3 r_{33})E_z, \quad (1)$$

其中r₁₃、r₃₃为LiNbO₃晶体的线性电光系数(1)式右边第二项是由电场引起的双折射率变化,它只与电场强度有关。我们采用有限元法来计算电场的分布^[3]。在得到确定的电场分布后,由(1)式可得出新的双折射率分布δn'(x,z),而它在波导横截面上的平均值 $\overline{\delta n'}$ 由下式给出

$$\overline{\delta n'} = \frac{\iint \delta n'(x,z) \epsilon_{TE}(x,z) \epsilon_{TM}(x,z) dx dz}{\iint \epsilon_{TE}(x,z) \epsilon_{TM}(x,z) dx dz}, \quad (2)$$

其中ε_{TE}(x,z)和ε_{TM}(x,z)分别是TE模和TM模的光场分布,这可以利用光束传播法(BPM)得出^[4]。由于每一对电极之间的电场是近似平行的,所

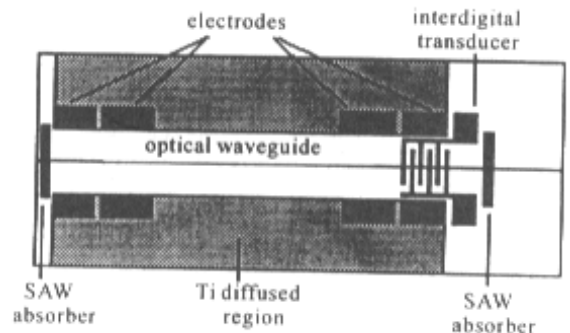


Fig. 1 Schematic diagram of the tunable wavelength filter

* 国家自然科学基金(10084001)和集成光电子国家重点实验室资助课题。

E-mail: Michael_chenjian@263.net

收稿日期 2001-07-17; 收到修改稿日期 2001-10-29

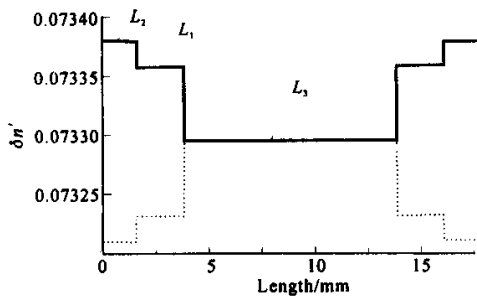


Fig.2 The variation of birefringence indexes

以电极之间的 $\overline{\delta n'}$ 可以看作是均匀的。这样我们得到了沿光波导新的双折射率分布,如图2所示。其中实线对应反向电压,虚线对应正向电压。

当电极1和2上施加电压分别为 ± 120 V和 ± 150 V时,对于 $\lambda = 1.523$ μm 的光波,

$$\overline{\delta n'_1} - \overline{\delta n'_3} = \mp 0.00006,$$

$$\overline{\delta n'_2} - \overline{\delta n'_3} = \mp 0.00008.$$

式中 $\overline{\delta n'_i}$ 分别是与图2中 L_i 段对应的 $\overline{\delta n'}$ 。

确定了双折射率分布以后,就可以求解耦合模方程获得新的透过率曲线。耦合模方程如下^[5]:

$$\left. \begin{aligned} (d/dz)A_1(z) &= i\kappa \exp(i\Delta\beta z)A_2(z), \\ (d/dz)A_2(z) &= i\kappa \exp(-i\Delta\beta z)A_1(z), \end{aligned} \right\} (3)$$

其中 $A_1(z)$ 和 $A_2(z)$ 分别为TE模和TM模的复振幅, κ 为声光耦合系数,由 $\kappa^2 = \eta_0 P_i / H$ 给出^[6], P_i 为输入的声功率, H 为光波和声波相互作用的宽度, η_0 为正比于声波和光波的重叠积分的转换常数。 $\Delta\beta$ 为相位失配因子,由下式给出:

$$\Delta\beta = \frac{2\pi}{\lambda}\Delta n - \frac{2\pi}{\Lambda}, \quad (4)$$

其中 λ 为真空中光波波长, Λ 为声表面波波长, $\Delta n = |n_{\text{TE}} - n_{\text{TM}}|$ 为模折射率差,它近似等于 $|n_e - n_o|$ 。当 n_e 和 n_o 变化很小, $|n'_{\text{TE}} - n'_{\text{TM}}| \approx |n'_e - n'_o|$ 仍然成立。如图2所示,整个声光作用区分成了5个部分,每个小区内 $\overline{\delta n'}$ 是常数,因此(3)式有数值解

$$\left. \begin{aligned} A_1(L_i) &= \exp[i(\Delta\beta/2)z] \left\{ \left[\cos(sz) - i\frac{\Delta\beta}{2s}\sin(sz) \right] A_1(z_0) + i\frac{\kappa}{s}\sin(sz)A_2(z_0) \right\}, \\ A_2(L_i) &= \exp[-i(\Delta\beta/2)z] \left\{ i\frac{\kappa^*}{s}\sin(sz)A_1(z_0) + \left[\cos(sz) + i\frac{\Delta\beta}{2s}\sin(sz) \right] A_2(z_0) \right\}, \end{aligned} \right\} (5)$$

式中 $i = 1, 2, 3$; z_0 是声光作用区始端的坐标; $A_1(z_0)$ 和 $A_2(z_0)$ 为TE模和TM模在入射处的复振幅; $A_1(L_i)$ 和 $A_2(L_i)$ 为它们在每一段声光作用区末端的复振幅; $s = [\kappa^2 + (\Delta\beta/2)^2]^{1/2}$ 。我们采用分步计算的方法,首先让 $A_1(z_0) = 1, A_2(z_0) = 0$,利用(5)式求得 $A_1^{(1)}(L_1)$ 和 $A_2^{(1)}(L_1)$,并把它作为第二段作用区的入射模,以此类推,计算所得的透过率曲线如图3和图4所示。

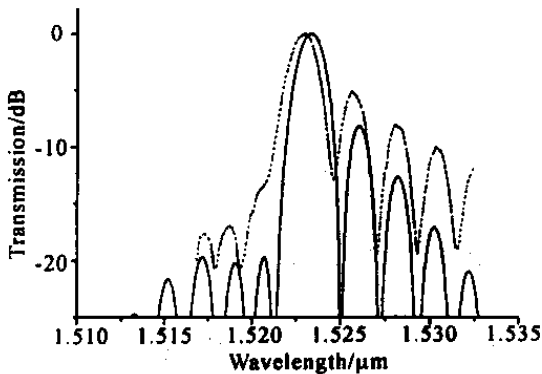


Fig.3 The transmission spectra of the single-stage filter imposed positive voltage (real line: theoretical; dotted line: experimental)

向电压的情形,可见其中心波长左侧和右侧的旁瓣分别得到了抑制。如果将这样的两个器件级联,那么中心波长两侧的旁瓣都被抑制,理论计算表明,两级级联的滤波器的旁瓣抑制达到了 -25 dB。

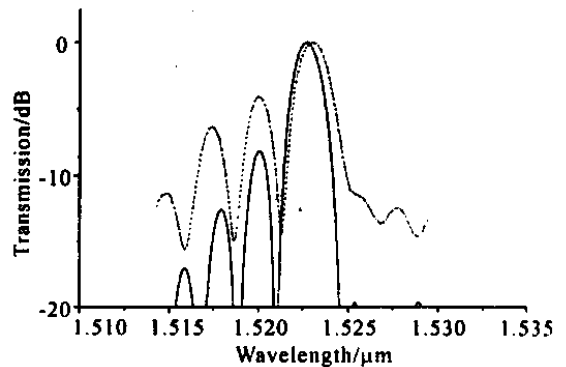


Fig.4 The transmission spectra of the single-stage filter imposed negative voltage (real line: theoretical; dotted line: experimental)

3 实 验

3.1 滤波器的制作

我们采用 x 切、 y 传的 LiNbO_3 晶体作为基底。光波导和声波导采用钛扩散的制作方法。

图3和图4中实线分别对应施加正向电压和反

首先,在基底上溅射两条 140 nm 厚,220 μm 宽的钛条,它们之间的距离是 130 μm 。然后在 1045 $^{\circ}\text{C}$ 通湿氧的情况下扩散 31 h。由于声波在扩钛的 LiNbO_3 中的折射率比未扩散部分低,因此两钛条之间的通道构成声波导。

再在声波导中间溅射一条 65 nm 厚,7 μm 宽的钛条,在 1045 $^{\circ}\text{C}$ 通湿氧的情况下扩散 9 h,制成光波导,在这样的条件下制成的光波导中的导模远离

截止并能保证是单模状态。第三步,制作叉指换能器。它有十对叉指,由在基底上溅射 140 nm 厚的铝膜制成。叉指的周期是 20.8 μm 。最后,在构成声波导的钛条上溅射 4 对金电极。详细的结构如图 1 所示。

3.2 滤波器性能测试

我们对单级滤波器的性能进行了测试。测试装置如图 5 所示。

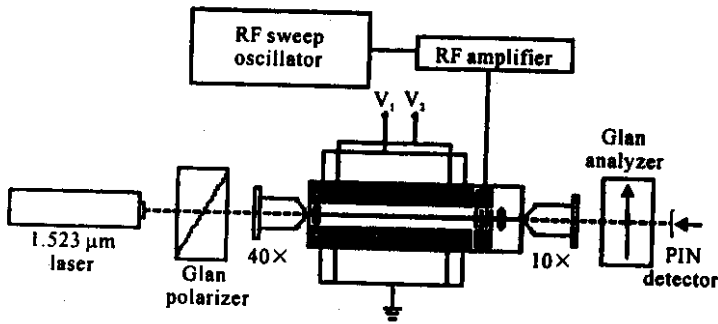


Fig.5 Experimental setup

波长为 1.523 μm 的氦氖激光经过格兰棱镜产生平面偏振光,用 40 倍物镜耦合入滤波器,输出光波经检偏器后由光电二极管探测器接收。用 HP8656A 型高频发生器产生高频正弦波,经高频功率放大器放大后输出到已经达到阻抗匹配的叉指换能器上。首先我们对未切趾时器件的透过率曲线进行了测量。当信号发生器输出功率为 35 mW 时,模式转换效率达到 99% 以上,最高旁瓣达到 -9 dB。然后,加上直流电压。首先施加低电压,随后逐渐升高,可以发现一侧的旁瓣会相应的降低,而另一侧的旁瓣相应的抬高。这与理论计算的结果相符。当电极 1 和 2 上分别施加 120 V 和 150 V 电压,滤波器的透过率曲线如图 3 中虚线所示。中心波长左侧的一级旁瓣达到了 -17 dB。改变电压方向,透过率曲线如图 4 中虚线所示,中心波长右侧的一级旁瓣达到了 -14 dB。而且,我们发现施加电场对滤波器的驱动功率和半波带宽几乎没有什么影响,与未施加电场时几乎一致。此外,实验中我们还发现施加电压后,滤波器的中心波长会发生漂移,电压越高,漂移越大,如图 6 所示。

这是由于电场所引起的光波导的 e 光与 o 光折射率之差的变化实际并不只局限于电极对之间的区域内,其他区域也有,这会对中心波长产生影响,并对滤波器的实际应用带来不利的因素。关于如何克服这一难点,我们正在进行进一步的研究。此外,激起声表面波所产生的温度梯度和波导本身的不均匀

性也会引起双折射率分布的不均匀,导致实验结果与理论值的不一致。

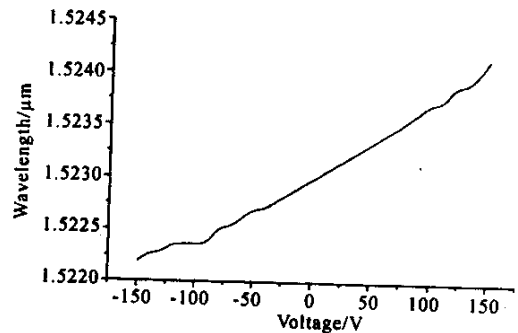


Fig.6 The shifts of central wavelength with regard to the imposed voltage

结论 我们基于双折射切趾的原理,提出了利用 LiNbO_3 晶体的电光效应来实现旁瓣抑制。对该方法从理论和实验两方面进行了研究。实验结果与理论值基本相符,证明这种方法是可行的。

参 考 文 献

- [1] Trutna W R, Dolfi D W, Flory C A. Anomalous sidelobes and birefringence apodization in acousto-optic tunable filters. *Opt. Lett.*, 1993, **18**(1): 28~30
- [2] Smith D A. Source of sidelobe asymmetry in integrated acousto-optic filters. *Appl. Phys. Lett.*, 1993, **62**(8): 814~816
- [3] Liu W, Tang D Q, Hu H Z *et al.*. Analysis of electric field of traveling-wave electrodes in integrated M-Z

- modulator design with finite element method. *Chinese J. Quant. Electron*(量子电子学报), 2001, **18**(2):136 ~ 139(in Chinese)
- [4] Bersiner L, Hempelmann U, Strake E. Numerical analysis of passive integrated-optical polarization splitters: Comparison of finite-element-method and beam-propagation-method results. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1991, **8**(2):422 ~ 433
- [5] Yariv A, Yeh P. *Optical Wave in Crystal*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1984. 186
- [6] Hu Hongzhang, Dai Heyi, Zhao Qi *et al.*. Integrated optical TE/TM mode converter based on collinear acoustooptic coupling. *Acta Photonica Sinica*(光子学报), 1997, **26**(4):340 ~ 344(in Chinese)

Electrooptical Birefringence Apodization of Integrated Optical Acoustooptic Tunable Filters

Chen Jian¹⁾ Hu Hongzhang¹⁾ Geng Fan²⁾

(1), Department of Applied Physics, Tianjin University, Tianjin 300072)

(2), Jinhang Institute of Technical Physics, Tianjin 300192

(Received 17 July 2001; revised 29 October 2001)

Abstract: Acoustooptic tunable filter (AOTF) is one of the most important devices in the high-densified WDM system. One significant limitation of AOTF's performance is the presence of sidelobes in the transmission spectra. It is proposed that the apodization can be accomplished by use of the electrooptical effect of LiNbO₃ crystal based on the principle of the birefringence apodization. This method is analyzed and discussed theoretically. The experimental results are consistent with the theoretical results on the whole.

Key words: acoustooptic tunable filter; DWDM network; electrooptical effect; birefringence apodization