

波导型集成声光器件的研究进展

王兆宏,唐天同,陈 时

(西安交通大学 电信学院 电子科学与技术系,陕西 西安 710049)

摘要:集成声光器件作为波分复用网络中关键的无源器件,能够实现开关、滤波、调制等功能。声光器件由于其固有的高速度、宽频带和可能多波长同时工作的特点而成为研究重点。文章对已有的集成声光器件进行了分类,简要介绍了波导型集成声光器件的工作原理和发展状况,比较了当前研究广泛的两大类波导型集成声光器件的优缺点,指出了目前需要解决的重要课题及其发展趋势。

关键词:光集成器件;声光相互作用;模式转换;布拉格衍射;声表面波

中图分类号: TN256 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005—8788(2006)03—0064—03

Resent progress in the research on waveguide integrated acoustooptic devices
WANG Zhaohong, TANG Tiantong, CHEN Shi
(Dept. of Electronic Science and Technology, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: As key passive devices in WDM networks, integrated acoustooptic devices can help realize such functions as switching, filtering and modulation. They have become the focal point of the research for their characteristics of high speed, wide bandwidth and the capability of simultaneous multi-wavelength operation. The existent integrated acoustooptic devices are classified and the operating principle and development of waveguide integrated acoustooptic devices described and the merits and demerits of two much-researched types compared. In addition, the key technical problems to be solved at present are pointed out and the trend of their development anticipated.

Key words: optical integrated devices; acoustooptic interaction; mode conversion; Bragg diffraction; acoustic surface wave

由于可以利用声波对光波进行调制、开关以及对光束传播方向进行控制,因此利用声波对光波的控制作用而实现的集成声光器件可以广泛应用到光通信、光信息处理、光传感及显示等领域。集成声光器件可分为波导型和全光纤型两类。由于波导型集成声光器件具有易于与其他集成光学器件单片集成的优点,我们在此仅介绍波导型集成声光器件。

波导型集成声光器件根据声波(通常利用声表面波)与光波作用的形态,可以大致分为共线模式转换型和非共线布拉格衍射型两类。本文将简要介绍这两类波导型集成声光器件的工作原理、器件基本结构和研究现状,并指出集成声光器件今后的发展方向。

1 共线 TE/TM 模式转换型集成声光器件

声波和光波的“共线”相互作用,导致了光波导中不同的导光波模之间的耦合与转换。利用这一现象构成的模式转换型集成声光器件可分为横电(波)/横磁(波)(TE/TM)转换与奇模/偶模转换两种类型,这两种模式转换型声光器件的工作原理类似,我们以共线 TE/TM 模式转换型集成声光器件

为例进行介绍。

共线 TE/TM 模式转换型集成声光器件实现 TE/TM 模之间有效的模式转换的工作原理是:光波 TE 与 TM 模数之间的波数差异必须用声表面波(SAW)的波数来补偿,这就是相位匹配关系。只有满足相位匹配条件的光波长才能实现模式转换。通过改变 SAW 的频率,可以实现光波长调谐(选择)的功能。如果同时激励不同频率的几个声波,就可能对多个不同波长的光波同时进行转换,这是共线型集成声光器件的独特优势^[1]。但同时进行多波长选择会产生附加串音,而且滤波特性也会存在一定的波动,这是目前需要攻克的重要课题^[2]。

共线模式转换型集成声光器件的基本结构单元是偏振模分束器和声光 TE/TM 模式转换器,如图 1 所示。偏振模分束器用于分离或合并 TE 和 TM 模分量光波;声光模式转换器在声表面波作用下实现光波导的 TE/TM 模之间的波长选择性耦合,其中,声表面波是利用在压电材料上制作的叉指换能器(IDT)通过电—声转换激励产生的。通过将 TE/TM 模式转换器和偏振模分束器组合,可以制作波长分波器、滤波器、波长选择开关和分/插复用器等光无源波长选择器件。

收稿日期:2005—09—08
基金项目:西安交通大学自然科学基金资助项目
作者简介:王兆宏(1976—),女,山东菏泽人,讲师,硕士,主要从事集成光无源器件的理论工艺研究。

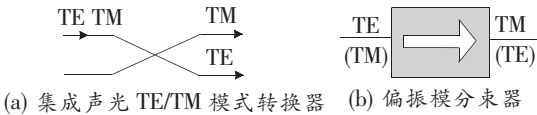


图 1 共线型集成声光器件的基本结构单元

共线模式转换型集成声光器件的声表面波通常在声波导中传播,以使声表面波限制在所要求的特定有限区域内,使得即使在电/声转换效率不高的条件下,也能产生较大的声学功率密度。早期的声波导多采用简单的均匀声波导结构,构成的声光器件的频率响应曲线的旁瓣较大。为抑制旁瓣,研究人员采用声定向耦合器或弯曲结构的叉指电极,实现了声表面波与光波相互作用的强度在起始部分逐渐加强,末端部分逐渐减弱的加权相互作用。利用叉指电极、声定向耦合器和光偏振分束器实现的一个声光可调谐滤波器如图 2(a)所示。利用弯曲结构的叉指电极和光偏振分束器实现的滤波器如图 2(b)所示。比较图 2(a)和(b)可以发现:图 2(b)中的制作过程简化了声波导的制作,工艺过程相对简单;但其声场幅度的纵向分布随叉指电极曲率半径的变化而变化,对叉指电极设计和微细加工的要求较高。

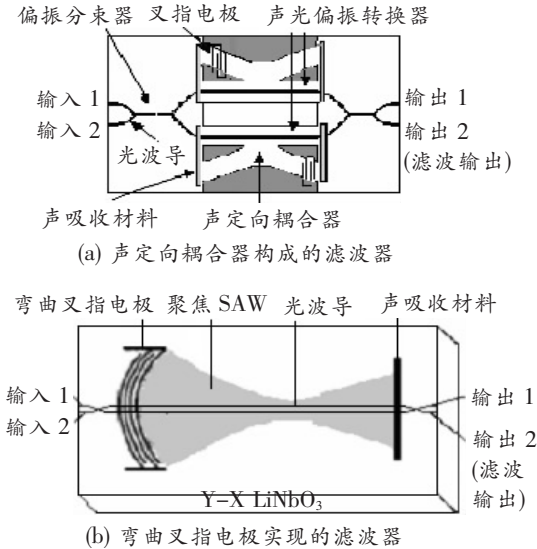


图 2 共线型集成声光可调谐滤波器

以上器件结构的缺点是驱动功率高、集成度低、声光相互作用的效率较低。为降低声表面波的驱动功率,并提高声光相互作用的效率,以实现更快的调谐速度、更宽的调谐范围以及构成新原理的器件,目前,有关声波导的研究热点已经转移到薄膜加载型声波导结构^[4]。利用薄膜加载型声波导结构构成的共线型集成声光器件如图 3 所示,它由金属/电介质/衬底材料组成。我们比较图 2 与图 3 可以看出:

图 2 所示的结构比较紧凑,工艺过程相对简单。图 3 所示的三明治结构要求各层材料间的热膨胀系数匹配,附着力强,其工艺过程相对复杂。

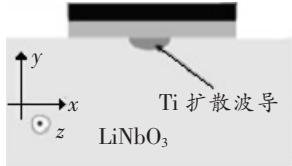


图 3 薄膜加载型声波导构成的共线型集成声光器件

研究比较成熟,其器件的波长选择性及旁瓣压缩效果较好。但由于器件利用偏振分束器实现模式分离,因此器件对偏振态敏感,器件长度较大,难以实现高集成度,开关路数也受到限制。

2 非共线布拉格衍射型集成声光器件

设有一束波长为 λ 的光波,以 θ_i 角入射到波长为 λ_a 并以 v_a 速度运动的声波条纹面上,此时满足布拉格衍射条件的表达式是

$$\theta_i = \theta_r = \theta_B = \arcsin(\lambda/2\lambda_a) \approx \lambda/2\lambda_a, \quad (1)$$

式中, θ_r 为衍射波与条纹面的夹角; θ_B 称为布拉格角。在布拉格衍射条件下,衍射波的强度较大,衍射效率接近于 1。根据式(1)可以知道,改变声波的频率即可改变光束的出射方向,利用这个原理可以实现开关和调制等功能。此外,通过改变声表面波的功率可以控制衍射效率,通过改变声表面波的频率可以调整衍射的偏转角,这些原理可用于制作光调制器、光偏转器、光开关等器件和频谱分析仪。这些器件之间其实没有本质上的差异,它们的区别仅在于其各自的用途及目的不同。

通常情况下,共线模式转换型声光器件的声波和光波均在具有横向限制作用的条形波导中传播,而非共线布拉格衍射型声光器件中的声波和光波均在没有横向限制作用的平板波导中传播。非共线布拉格衍射型集成声光器件的基本结构如图 4 所示^[5],当入射光 I_{in} 传输到声表面波波阵面处时,它将在声表面波的作

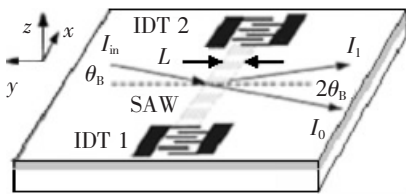


图 4 非共线布拉格衍射型集成声光器件的基本结构

用下分成一束衍射光 I_1 和一束未衍射光 I_0 。声表面波通过压电薄膜表面的叉指电极激励。

为实现非共线布拉格衍射型声光器件的高频、宽带工作特性,研究人员提出了各种研究方案,这些研究方案主要是基于压电衬底材料以及叉指换能器的结构和理论研究等方面。目前通常采用多层介质膜来实现高频声波工作特性,利用各种叉指换能器包括变迹换能器、多级换能器阵列、弯曲叉指换能器等结构实现宽带工作特性^[5~6]。

在非共线声光布拉格衍射器件的理论分析与设计中,一般假定声表面波在传输过程中声光相互作用的范围保持不变,即等于叉指电极的数值孔径。然而实际上,声表面波随着传输距离的增加会逐渐展宽,导致实际输出的衍射光偏离理论上的布拉格衍射角的位置。由于难以确定衍射光波的输出位置,光开关和光调制器的性能将受到影响。此外,非共线布拉格衍射型声光器件是在平面内自由传导光波和声波,光不易循迹和控制,器件—光纤对接耦合难度大,导致其难以实用化。但其具有对偏振不敏感、器件尺寸较小、易于实现高集成度的优点。

3 波导型集成声光器件需要解决的重要课题及其发展趋势

在波分复用系统中,需要低驱动功率、高集成度、高性能的波导型集成声光器件。为进一步完善器件理论和设计,获得低驱动功率、高集成度的器件,需要进行以下工作:

(1) 有关物理机制的研究。集成声光器件中的声表面波的传输和激励、电—声耦合、声光相互作用等有关机理和材料的研究是开发新型集成声光器件的基础。

(2) 最佳制作工艺的研究,包括光波导、声波导、叉指换能器等制作工艺的研究。

(3) 尽可能实现更高集成度、低驱动功率、低偏振相关性的集成声光器件。

(4) 提高同时多波长选择的能力,尽可能抑制旁瓣,减小串音。

(5) 器件设计概念研究。如能实现更高声波频率的声表面波与光波的相互作用,缩短声光相互作用的时间,提高响应速度的设计概念;实现波长可调谐的共线声光布拉格衍射器件的设计概念;实际叉指换能器包括弯曲叉指换能器的设计与计算方法研究和薄膜加载型声波导的设计与计算方法研究。实现这一飞跃,将引起材料、器件结构、设计方法、制造

工艺和测试计量手段等发生一系列的根本性改变。

(6) 有关声光集成器件的数值计算方法的研究,例如实际声波导、实际叉指换能器包括弯曲叉指换能器的设计计算方法研究和薄膜加载型声波导的设计与计算方法研究。

利用特殊材料的外延薄膜,已可能激励出波长非常短而且可调的声表面波,其波长可以与导光波的波长相比拟^[5]。因此,在解决一些技术问题以后,有可能构成共线的布拉格衍射型声光器件。这种器件兼有前述两大类型的优点,可能发展出多种多样的新型波导型集成声光器件,推进集成光学的发展。

4 结束语

波导型声光器件由于具有高速度、宽频带和可能多波长同时工作的特点,对于集成光学的发展具有重大意义。波导型集成声光器件可以分为共线模转换型与非共线布拉格衍射型两大类。本文论述了这两类波导型声光器件的工作原理、器件结构、技术特点、发展趋势和发展中的一些有待研究、解决的问题。

参考文献:

- [1] Wehrmann F. Integriert akustooptische 2×2 schaltmatrizen in LiNbO_3 für Wellenlängen- multiplexsysteme [D]. Dissertation, Aachen: Shaker-Verlag, 1999.
- [2] Raisi M, Ahderom S, Alameh K, *et al.* Electronic Design, Test and Applications [C]. Australia: Second IEEE International Workshop on DELTA, 2004.
- [3] Mailis S, Riziotis C, Wellington I T, *et al.* Direct ultraviolet writing of channel waveguides in congruent lithium niobate single crystals [J]. Optical Letters, 2003, 28(16): 1433-1435.
- [4] Peverini O A, Herrmann H, Orta R. Film-loaded SAW waveguides for integrated acousto-optical polarization converters [J]. IEEE Trans. on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 2004, 51(10): 1298-1307.
- [5] Bu G, Shur M S, Eiplys D, *et al.* Guided-wave acousto-optic diffraction in $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ epitaxial layers [J]. Applied Physics Letters, 2004, 85(12): 2157_1-2157_3.
- [6] Mughal M J, Riza N A. Compact acoustooptic high-speed variable attenuator for high-power applications [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2002, 14(4): 510-512.