

共束声光可调滤光器研究

黄庚辰 方丽华

(中国科学院上海硅酸盐所, 上海 200050)

陈锦泰 秦长松

(香港中文大学)

摘要 声光可调滤光器(AOTF)具有独特的光波长调谐功能,可望用于光通信的波分复用(WDM)技术。而共束声光滤光器(CB-AOTF)兼顾了共线和非共线AOTF的优点。给出CB-AOTF的工作原理和设计方法。获得了在20 mW下98%的衍射效率,旁瓣抑制优于33 dB和线宽0.8 nm的结果。

关键词 声光滤光器, 光通信

1 引言

声光可调滤光器(AOTF)具有非常吸引人的光波长电调谐功能,如输出波长的快速随机选取、光强的反馈控制以及多波长并行工作模式等^[1~4]。因此,各国科研人员对AOTF的研究非常重视,现已研制出可见光、紫外和红外光谱范围的大孔径角、共线、非共线等多种类型的AOTF器件。近年来,随着光纤通信的飞速发展和信息量的迅猛增加,光纤通信的波分复用(WDM)技术已成为势在必行的趋势^[5]。但由于终端用户所必需的光波解复用器一直未能得到很好的解决,因此严重阻碍了该技术的进一步发展。与现行的各种光波解复用器研究方案相比较,AOTF的优点是非常明显的。但是由于原有各类AOTF的射频驱动功率高、调谐输出光波长的线宽不够精细而无法实用。采用独特的共束声光相互作用模式设计成的新颖共束声光滤光器(CB-AOTF^[6])可使射频驱动功率有数量级的下降,而同时又使谱分辨率得到大幅度的提高。因此,CB-AOTF有望成为实用的光波解复用器。

2 共束声光滤光器的工作原理

基于各向异性介质中声光相互作用的反常布拉格衍射原理,AOTF波长调谐特性的一般表达形式为:

$$\lambda = \Delta n(\lambda) V(\theta_s) (\sin^2 2\theta_i + \sin^4 \theta_i)^{1/2} / f \quad (1)$$

式中 λ 为调谐输出光波长, f 为射频驱动频率, $\Delta n(\lambda)$ 为声光介质双折射率, $V(\theta_s)$ 为声速, θ_i 为入射光极角, θ_s 为超声波极角。当 $\theta_i = \theta_s = \pi/2$ 时,上式简化为:

$$\lambda = \Delta n(\lambda) V(\theta_s) / f \quad (2)$$

(2)式为共线声光相互作用AOTF的波长调谐关系。此时,入射光波矢 K_i ,衍射光波矢 K_r 和声波矢 K_s 在声光相互作用的动量守恒原则下组成的闭合三角形(相对于(1)式非共线情况)退化成为

共线同向或反向相互作用的直线(相对于(2)式共线情况)。共线 AOTF 具有分辨率高、孔径角大、声光相互作用时间长等优点,但却不适用于具有 422 点群对称关系的高品质因数的 TeO_2 晶体,而且其输出光要依靠附加偏振装置才能与非调谐光区分开来。光插入损耗大,结构复杂。CB-AOTF 巧妙地利用各向异性介质中超声波束的群速与相速的离轴异向特点,使其具有共线和非共线型

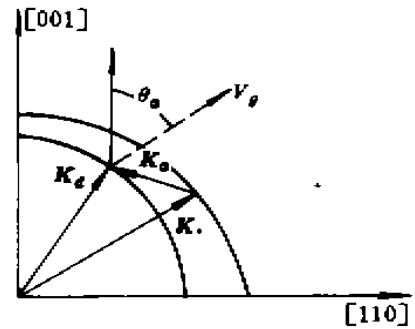


Fig. 1 K-vector diagram for CB-AOTF

声光相互作用的双重优点。其波矢相互作用关系示于图 1。假设光入射角为 θ_i , 而超声波的群速方向为 θ_s , 在共束的情况下应有 $\theta_i = \theta_s$ 。因而在三方或四方晶系晶体中, 声波的方向可描述为

$$\tan\theta_s = (C_{14} - C_{44}\tan\theta_i)/(C_{14}\tan\theta_i - C_{66}) \quad (3)$$

式中 C_{14} , C_{44} , C_{66} 均为介质的弹性劲度系数矩阵的分量, 根据声光相互作用时动量守恒的波矢三角形闭合条件

$$K_d = K_i - K_s \quad (4)$$

可以推导出大孔径角非共线声光相互作用下 AOTF 设计时光入射角与声入射角的相互制约关系

$$\tan(\theta_i - \theta_s)\tan\theta_s = 2 \quad (5)$$

此时, 由于非共线相互作用, 衍射光将与入射光束在空间位置上被区分开来。其夹角应为:

$$\alpha = \Delta\lambda \sin^2\theta_s \tan(\theta_i - \theta_s) \quad (6)$$

同样, 可以推导出在共束相互作用时若要获得 100% 的衍射效率所需的射频驱动功率

$$P_s = \lambda_0^3 A / 2M_2 L^2 \quad (7)$$

其中 M_2 为声光介质品质因数, A 为声束面积, L 为声光相互作用长度。可以看出, 由于共束作用时 L 可大大增加, 而 P_s 又与 L^2 成反比, 因此, 同样衍射效率时所需的声功率将会有数量级的降低。另外, 从共束相互作用时调谐光谱线宽的表达式

$$\Delta\lambda = 1.8\pi\lambda_0^3/bL\sin^2\theta_s \quad (8)$$

亦可看出, 随着声光相互作用长度的加大, 其输出光谱的线宽也将会得到显著改善。

3 器件设计和性能特点

对于共束 AOTF 的设计, 不但要使其满足动量匹配波矢三角形的平行正切条件(4), 而且要使超声波群速方向 V_g 与入射光同向。考虑到制作工艺等的要求, 较为理想的设计结构是使超声波经反射后与入射光形成共束相互作用。为要使 $\theta_i = \theta_s$, 需要仔细设计光入射面 A 的取向。由于在面 A 上超声波将发生有效的模式转换, 其声波矢的正切分量即平行于反射表面的分量对入射和反射模式是连续的, 即有

$$1/V_p \cdot \sin\alpha = 1/V_p \cdot \sin\beta \quad (9)$$

由此可以确定面 A 的夹角

$$\tan\alpha = V_s(\theta_s)\sin(\theta_i - \theta_s)/[V_s(\theta_i) - V_s(\theta_s)\cos(\theta_i - \theta_s)] \quad (10)$$

由(10)和(5)式即可求得 CB-AOTF 的几个最重要的设计参数。在研究过程中, 首先设计了工作在可见光谱范围的 CB-AOTF。图 2 给出 CB-AOTF 的结构图。其换能器孔径为 $2 \times 3 \text{ mm}^2$; 相互作用长度 $L = 25 \text{ mm}$, 中心频率为 46 MHz。在 632.8 nm 下对器件初步测试获得的结果非常理

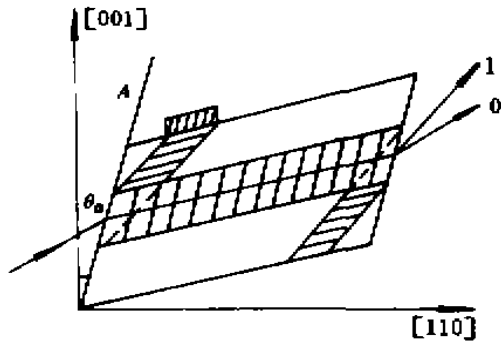


Fig. 2 Schematic of CB-AOTF

想。衍射效率高达 98%，射频驱动功率仅为 20 mW。如若进行精心阻抗匹配，其驱动功率还可大幅下降。该器件的 3 dB 线宽约为 0.8 nm，旁瓣抑制优于 33 dB。

4 结 语

利用各向异性声光介质中超声波的群速与相速的离轴异向特性巧妙设计的 CB-AOTF 最显著的特征在于有可能放宽声光相互作用长度，从而使共线声光相互作用时的窄通带和低驱动功率的双重优点得以兼顾，同时又能满足非共线 AOTF 的动量守恒波矢三角形闭合条件的设计规则，使具有调谐输出光与入射光可空间分离的优点。免去了共线 AOTF 必不可少的偏振装置，从而使器件的结构大为简化。CB-AOTF 的线宽和驱动功率的明显改善使其可能成为光纤多波长通信中真正实用的光波解复用器。

参 考 文 献

- 1 Jieping Xu. Acousto-optic devices. USA New York, John Wiley & Sons Inc. . 1992. 405~424
- 2 黄庚辰, 戴元超, 童乃柱等. TeO₂ 声光可调滤光器. 无机材料学报, 1986, 1(4): 300~308
- 3 黄庚辰, 戴元超. 新型电调谐分光元件——AOTF. 物理, 1988, 17(1): 37~40
- 4 周书铨, 李 铿, 黄庚辰等. 光电倍增管光谱特性新测试方法研究. 光学学报, 1994, 14(10): 1092~1095
- 5 C. S. Qin, G. C. Huang, K. T. Chang *et al.*, Low drive power sidelobe free acousto-optic tunable filters/switches. *Electr. Lett.*, 1995, 31(15): 1237~1238
- 6 Kwok-wai Cheung. Acoustooptic tunable filter in dense WDM networks; system issues and network applications. *IEEE J. Selected Areas in Commun.*, 1990, 8: 1015~1025

Collinear-beam Acoustic Optical Tunable Filter

Huang Gengcen Fang Lihua

(Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050)

K. T. Chen C. S. Qin

(The Chinese University of Hong Kong Shatin, Hong Kong)

Abstract APTF possesses a unique function of optical wavelength tuning for the use of the optical communication WDM technique. BC-AOTF has advantages of both collinear and noncollinear AOTFs at the same time. Operational principle and design method have been presented. A 98% diffraction efficiency at 20 mW, 33 dB side-lobes suppression and a 0.8 nmA spectral line width have been achieved.

Key words AOTF (acousto-optical tunable filter), optical communication