文章编号: 1001-3806(2005)06-0639-02

一种新的 Lyot型双折射调谐滤光片

张 剑,李国华*
(曲阜师范大学 激光研究所,曲阜 273165)

摘要: 石英晶体波片的延迟量对入射倾角有很大的敏感性,利用波片的这一特性,从普通的 Lyot型双折射滤光片的基本原理出发,设计了一种新的 Loyt型双折射调谐滤光片。调谐的方法是使石英波片绕平行于光轴的轴向转动。理论和实验证明这一设计有较好的可调性,可调范围比较宽。比普通的加入 λ/4波片和 λ/2波片的 Lyot型双折射调谐滤光片简化了结构、降低了成本。

关键词: Lyot可调滤光片;透射比;延迟量;双折射
中图分类号: O734 **文献标识码**: A

The theory of correcting the devation of retardation of wave-plate

ZHANG Jian, LI Guo-hua
(Institute of Laser Research, Qufu Normal University, Qufu 273165, China)

Abstract: Because of the retardation of wave-plate sensitive to the incident angle, a new kind of tunable Lyot filter is designed. The method of tuning is rotating the wave-plate by the axial direction parallel to the optical axis. It is proved that this kind of tunable Lyot filter has the properties of favorable tunability, wide tunable range and so on.

Key words: tunable Lyot filter; retardation; transmittance; birefringence

版权所有©《激光技术》编辑部

引 言

Lyot型滤光片是法国物理学家 LYOT为了天文研究的需要,特别是为了观察太阳的日珥和日冕而发明的单色双折射滤光片。由于双折射滤光片可被设计成具有大视场角、窄通带、良好的抗光损伤能力等独特的光学特性的器件,因此,在许多领域仍有其它滤光片不可替代的作用。Lyot滤光片是根据晶体的双折射效应和偏振光的干涉原理而设计的[1]。对它调谐的方法有很多种[2],可以用改变温度的方法,使滤光片中的每块晶片的厚度和双折射率发生变化,从而引起透射波长的变化;为了获得一个更宽的调谐范围,可以用两块楔形晶体代替滤光片中的每一块双折射晶体,当楔形板相对于另一块滑动时,晶体的厚度就发生变化,从而引起透射波长的变化; TITLE和 ROSENGERG在 Lyot滤光片中插入了 λ/4波片和 λ/2波片,从而使调谐变得简单可行了。这些方法都是从 Lyot滤光片的原理出发,达到对光的调谐,但是需要控制温度,或对晶体进行重新加工,或加入新的器件,且对于温控的方法可调谐的范围不大。本文中同样从普通的 Lyot型双折射滤光片的基本原理出发,利用波片延迟量对入射倾角的敏感性[3],使波片绕平行于光轴的轴向转动,从而实现对光的调谐,简化了结构,降低了成本,具有调谐范围宽、调谐方便等优点。利用石英晶体晶片延迟量对入射倾角的敏感性作调谐滤光片的设计迄今尚未见报道。

1 Lyot型双折射滤光片的原理

Lyot滤光片是根据晶体的双折射效应和偏光干涉原理而设计的。它的结构原理如图 1所示。图中, P_1

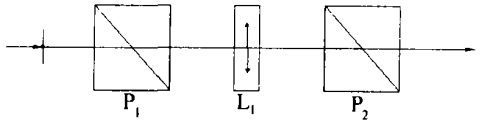

Fig. 1 Schematic diagram of the Lyot filter

和 P_2 是偏光镜, L_1 是光轴平行于晶体表面切割的石英晶片,两偏光镜 P_1 和 P_2 的偏振面是互相平行的, L_1 的光轴方向与两偏光镜 P_1 和 P_2 的偏振面成 45°。非线偏振光经过 P_1 后成为线偏振光,垂直入射到石英晶片 L_1 表面上,由于 L_1 是平行于光轴切割的双折射片,所以,入射光在进入石英片后,产生平行于光轴振动的非常光(e光)与垂直于光轴振动的寻常光(o光),它们再沿同一方向传播,但由于两光在晶体内的传播速度不同,所以从石英片出射后, o光和 e光的相位是不同的,其延迟量为: $\Delta\delta = 2\pi(n_e - n_o)d/\lambda$,此时,虽然

作者简介:张 剑(1978-),男,硕士研究生,主要从事偏光器件的设计工作。
* 通讯联系人。E-mail: ghli@163169.net
收稿日期: 2004-07-29;收到修改稿日期: 2004-09-09

o光和 e光是来自同一条光线,且沿同一方向传播,但振动方向却相互垂直,故不能发生干涉。当它们通过 P_2 后,o光和 e光二振动方向平行,因而能产生干涉。滤光片的透射比由下式决定[3]:

$$T = \cos^2(\delta/2) \tag{1}$$

可见,对一定波长的光 λ,对应一定的 δ值,若使 δ取某一相应的值,T便可取得最大值;对于不同的波长的光,要使其透射最大,则必须改变 δ,因此达到调谐性能。当 $d=5$mm时,Lyot滤光片的理论透射曲线见图 2。

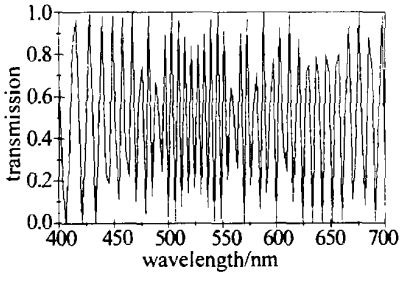

Fig 2 Transmittance versus wavelength

2 绕平行于光轴的轴向转动波片

下面从理论上讨论绕平行于光轴的轴向转动波片,o光和 e光位相差 δ的变化情况。

图 3是厚度为 d、波片晶体光轴垂直纸面时,绕平行于光轴的轴向转动波片的情况。在此情况下,光线由空气斜入射到波片,o光和 e光都满足菲涅耳定律[4]: $\sin\theta = \sin\theta_o n_o = \sin\theta_e n_e$,式中,$n_o$ 和 n_e 为晶体的主折射率。

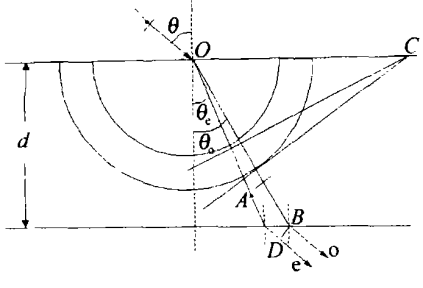

Fig 3 Optical axis vertical to the incident plane

通过计算,可得 o光和 e光的光程差为:

$$\delta = (2\pi/\lambda)d\left(\sqrt{n_e^2 - \sin^2\theta} - \sqrt{n_o^2 - \sin^2\theta}\right) \tag{2}$$

对 (2)式做泰勒展开,并略去 θ^4 以上的高阶小项,得[5]:

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)d + \frac{2\pi}{\lambda}\frac{n_e - n_o}{2n_o n_e}\cdot d\theta^2 = \delta_0 + \Delta\delta \tag{3}$$

式中,$\delta_0 = (2\pi/\lambda)(n_e - n_o)d$为光正入射时 o光和 e光的相位延迟,$\Delta\delta = \frac{2\pi}{\lambda}\frac{n_e - n_o}{2n_o n_e}\cdot d\theta^2$,(3)式说明绕平行于光轴的轴向转动波片,引起延迟量的增加。

3 可调谐滤光片

从 Lyot调谐滤光片的基本原理出发,结合石英波片绕平行于光轴的轴向转动使相位延迟的变化,设计调谐滤光片的结构见图 4。

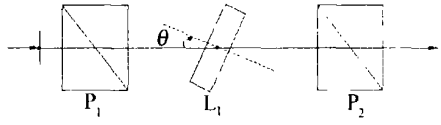

Fig 4 Schematic diagram of the tunable Lyot filter

由 (1)式、(3)式得可调谐滤光片的透射比为:

$$T = \cos^2[(\delta_0 + \Delta\delta)/2] = \cos^2\left[\frac{\frac{2\pi}{\lambda}(n_e - n_o)d + \frac{2\pi}{\lambda}\frac{n_e - n_o}{2n_o n_e}\cdot d\theta^2}{2}\right] \tag{4}$$

从公式可以看出,对一定波长的光 λ,对应一定的 δ值,若使 δ取某一相应的值,T便可取得最大值;对于不同的波长的光,要使其透射比最大,则必须改变 θ,因此达到调谐性能。

以石英晶体为例,其厚度为 5mm,图 5是滤光片透射曲线,其中实线为 θ=0°时滤光片透射曲线,虚线为 θ=12°时滤光片透射曲线。从图可以看出,当 θ发生变化时透射光的波长也随之而改变,从而达到调谐的目的。

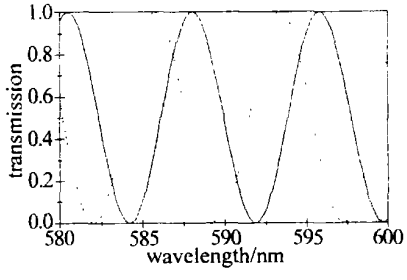

Fig 5 Solid is the transmittance versus wavelength with θ=0°, dot is the transmittance versus wavelength with θ=12°

为了检验理论的正确性,采用岛津 UV-3101PC型分光光度计对该结构的双折射调谐滤光片进行了测试。测试中使用的波片的厚度为 322.8μm,在 1064nm处是 λ/2的石英波片。测试得到的调谐滤光片的透射曲线见图 6,其中实线为 θ=0°时滤光片透射曲线,虚线为 θ=14°时滤光片透射曲线。由结果可以看出实验与理论符合得很好。

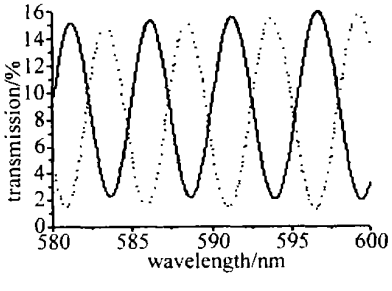

Fig 6 Solid is the transmittance versus wavelength with θ=0°, dot is the transmittance versus wavelength with θ=14°

(下转第 648页)

《激光技术》编辑部

图 4和图 5是用 0.35μm～0.8μm波长范围内的激光抽运喇曼盒中的高压 H_2 气,产生受激喇曼散射,在喇曼频移产生的抽运光/一阶斯托克斯光,抽运光/一阶反斯托克斯光,一阶斯托克斯光/一阶反斯托克斯光组合,仰角为 20°和 90°的情况下,计算出波长优数随抽运光波长的变化。从图 5中可以看出,在基波为 0.4μm左右,选用一阶斯托克斯光/一阶反斯托克斯光的波长组合具有最大的波长优数 12。主要是因为此波长处于紫外波段,有较大的大气色散值,且这种波长组合有较大的色散差,但目前还没有合适的基波在 0.4μm的激光器用于激光测距中。当用 Nd:YAG的二倍频光 0.532μm去抽运喇曼盒中的高压 H_2 气时,3种波长组合中一阶斯托克斯光/一阶反斯托克斯光的波长组合有较大的波长优数,是较好的选择。从图中可以看出,3种波长组合都是在 0.5μm附近有较大的波长优数,因此,对于采用 Nd:YAG倍频光 (0.53μm)作为抽运光、单光子雪崩二极管 SPAD作为接收器件的卫星激光测距系统来说,喇曼技术是一种十分有前途的选择方案。

比较倍频和喇曼频移两种非线性光学技术产生的波长组合的优数,当仰角 $E = 90°$时,对于常用的 Nd:YAG激光器 (其基波波长为 1.064μm),其各种谐波的波长组合的优数大约从 3.5～16,对于采用 Nd:YAG倍频光 (0.53μm)作为抽运光的喇曼频移产生的波长所组成的波长组合的优数为 6.5～11.6左右。喇曼频移出的波长和抽运光波长分开较小,其色散差异不大,故波长优数略小,但综合测距能力等因素考虑,喇曼技术是一种十分有前途的选择方案。

3 结 论

在双波长卫星激光测距中,波长组合的选择是关键,对于双波长激光测距的精度提高有直接的影响。计算表明,倍频技术产生的波长组合具有较大的波长优数,但综合测距能力等因素考虑,喇曼技术是一种十分有前途的选择方案。在所有的波长选择原则中,应综合考虑各个因素,并结合测站的实际设备情况,选出最佳的波长组合。

参 考 文 献

[1] OWENS J C. Optical refractive index of air dependence on pressure [J]. Temperature and Composition, 1967, 6(1): 51～58.
[2] GREENE B A. Multiple wavelength laser ranging [J]. Proceedings of the 9th International Workshop on Laser Ranging Instrumentation, 1994, 3: 581～591.
[3] ABSHIRE J B. Pulsed multi-wavelength laser ranging system for measuring atmospheric delay [J]. Appl Opt, 1980, 19(20): 3436～3440.
[4] 克希耐尔 W, LOTSCH H. 固体激光工程 [M]. 5版,北京:科学出版社, 2002. 564～572.
[5] 蓝信钜,姚建铨,宁继平 *et al* 激光技术 [M]. 北京:科学出版社, 1999. 252～259.
[6] NOOMEN R, KLOSKO S, NOLL C. Multi-wavelength tracking [M]. Washington: International Laser Ranging Service, 2002. 18～20.
[7] DEGNAN J J. Optimum wavelengths for two color ranging [M]. Maryland: International Laser Ranging Service, 1992. 7-1～7-14.

(上接第 640页)

4 结 论

利用波片延迟量对入射倾角的敏感性所设计的 Lyot双折射滤光片具有较好的可调性,可调范围比较宽。对于单级 Lyot可调滤光片来说,它的通带半宽度较大,这是其最大的缺憾,如果希望得到较窄的带宽,必须采用多级的办法来实现。

感谢宋连科老师和郝殿中老师在实验和数据处理中给予的帮助。

参 考 文 献

[1] 庞岩涛,李国华,梁志霞. Lyot型双折射调谐滤光片特性研究 [J]. 光电子·激光, 2000, 11(4): 167～169.
[2] 梁志霞. 双折射滤光片特性参数研究与优化设计 [D]. 曲阜:曲阜师范大学, 1999. 4～7.
[3] 云茂金. 液晶调谐滤光片的设计与测试 [D]. 曲阜:曲阜师范大学, 2002. 3～5.
[4] 赵建林. 高等光学 [M]. 北京:国防工业出版社, 2003. 106～107.
[5] 李国华,肖胜安. 波片的相位推迟对入射角的依赖关系 [J]. 曲阜师范大学学报, 1988(4): 58～62.

版权所有 © 《激光技术》编辑部