

全反射棱镜在多通道双折射滤光器中的应用

王敬山, 艾国祥, 邓元勇

中国科学院北京天文台, 100080

提要

本文讨论了全反射棱镜产生的相移(即位相变化)及其与入射光的波长、入射角度的关系和它的偏振特性。在多通道双折射滤光器中使用全反射棱镜时,我们对相移及其消色差性加以利用,从而消除了它对滤光器性能带来的不利影响。

一、引言

多通道双折射滤光器的发明使太阳仪器及太阳物理的研究进入了一个新的阶段。多通道双折射滤光器的设计可分为垂直式和平行式两种类型(艾国祥等,1986)。考虑到滤光器的恒温和接收的要求,我国自行研制的多通道太阳磁场望远镜中的滤光器,采用的是平行式设计,这种设计方案必然要用到全反射棱镜(简称AR),以使光路调整到同一方向(王敬山等,1995,见本文集)。全反射棱镜在滤光器中的位置一般如图1所示,PB是偏振光束分离器,从它出射的光都是偏振光(如果其偏振度不够高,通常在其后加一个补偿偏振片)。PB、旋转 $1/2$ 波片、 $1/4$ 波片、双折射晶体 b_2 及偏振片 P_2 构成一可调级,全反射棱镜AR夹在中间,起到改变光线传播方向的作用。在多通道双折射滤光器的调试过程中,发现 b_2 级的凹槽光谱几乎没有,旋转 $1/2$ 波片时,也几乎看不到有凹槽光谱的任何变化。经过分析,

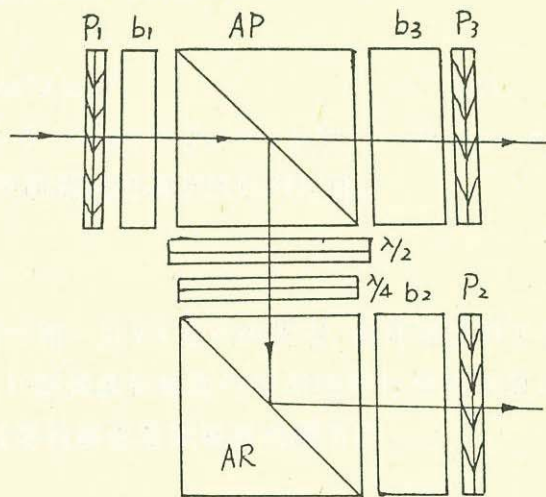


图1. 多通道滤光器中的全反射棱镜

断定可能是全反射棱镜产生了附加相移,从而导致了以上现象的发生。在本文中,我们先从一般的光学理论角度讨论全反射棱镜产生的位相差及其特性,再讨论多通道双折射滤光器中出现的异常现象的两种解决办法。

二、光在全反射时产生的附加位相差

我们知道,当光从光密介质入射到光疏介质时,入射角如果大于临界角,便会产生全反射现象。我们用的全反射棱镜由两块三角棱镜组成(材料是K9玻璃),光线入射的那块棱镜的斜面已经抛光成镜面,另一块三角棱镜的斜面的中间挖出一个椭圆槽(以作空气槽),把两块

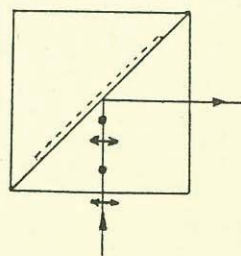


图2. 全反射棱镜结构图

三角棱镜光胶起来,便制成了全反射棱镜(如图2所示)。

光线在两三角棱镜的斜面处是从玻璃进入空气(槽),设入射光的波长为 λ ,该光在K9玻璃中的折射率为 n_λ ,入射角 i 大于临界角 i_c ,其中 i_c 满足公式

$$\sin i_c = \frac{n_{\text{空气}}}{n_\lambda} = \frac{1}{n_\lambda}$$

光的电矢量 \vec{E} 可分为垂直入射面的s分量 E_s 和平行于入射面的p分量 E_p ,用 δ_s 表示反射光s分量对入射光s分量的位相变化, δ_p 表示反射光p分量对入射光p分量的位相变化,那么 δ_s 和 δ_p 满足下列两式(赵凯华等,1984):

$$\tan \frac{\delta_s}{2} = - \frac{\sqrt{n_\lambda^2 \sin^2 i - 1}}{n_\lambda \cos i} \quad (2.1)$$

$$\tan \frac{\delta_p}{2} = - \frac{n_\lambda \sqrt{n_\lambda^2 \sin^2 i - 1}}{\cos i} \quad (2.2)$$

若设全反射后,两个分量之间的位相差为 $\delta = \delta_p - \delta_s$,则有:

$$\tan \frac{\delta}{2} = \frac{\cos i \sqrt{n_\lambda^2 \sin^2 i - 1}}{n_\lambda \sin^2 i} \quad (2.3)$$

顺便说一下,以上公式中有无正负号很重要,它影响到两个分量的位相哪一个超前,哪一个落后的问题。某些教科书(如梁铨廷,19)中在(2.1)、(2.2)、(2.3)中都有一负号,这会导致错误的结论。

下面我们根据各种光在K9玻璃中的折射率,计算反射光s、p两分量的位相差。某些单色光的折射率及临界角列于表1中。

表1. K9玻璃的折射率与临界角

波长(A)	折射率	临界角 i_c
6562.8	1.51389	40° 20'
5892.9	1.51630	41° 16'
5460.7	1.51829	41° 12'
4861.3	1.52195	41° 05'
4358.3	1.52626	40° 56'
4046.6	1.52982	40° 49'

根据(2.3)式,可以得到 δ 随波长、入射角的变化(如图3所示)。

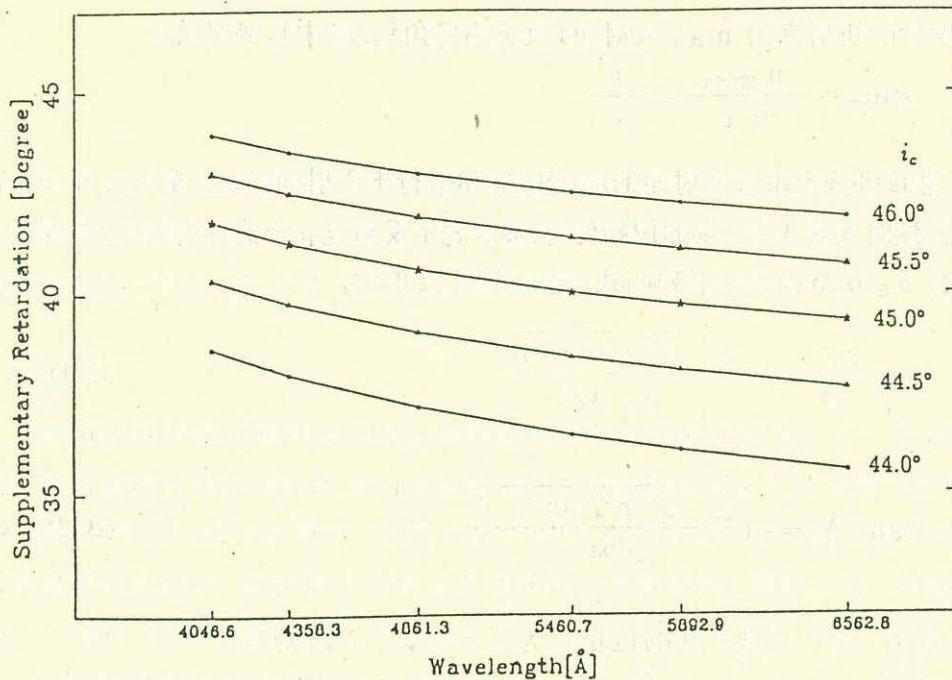


图3. 附加位相差随波长、入射角的变化

从图3中可以明显看出, 在同一入射角度下, δ 随波长的增大而减小; 在同一波长下, δ 随入射角度的增大而增大。另外一个很重要的特性就是 δ 具有较好的消色差性, 对于同一个入射角, 波长在 4000\AA 至 6600\AA 的范围内, 位相差的相对误差 $<4\%$ 。因为多通道滤光器中的很多级都是消色差的, 所以我们可以利用这一特性, 消除 δ 对滤光器的影响。

三、多通道滤光器中附加相移的消除及应用

消除全反射棱镜的附加位相差, 一般来说有两种办法。其一, 就是把全反射棱镜排除在干涉级之外, 也就是说可把旋转 $1/2$ 波片和 $1/4$ 波片放在全反射棱镜之后。同时在旋转 $1/2$ 波片之前放置一偏振片, 这样全反射棱镜对滤光器的干涉级的影响就完全消除了。但是, 这种方法需要加偏振片, 会降低滤光器的透过率。

第二种办法就是把 $1/4$ 波片变成位相差为 50° 左右的延迟片, 和全反射棱镜合起来, 可以成为一个消色差 $1/4$ 波片, 这样即消除了附加位相差的不利影响, 又把 δ 的消色差特性利用了起来。实践证明, 这种方法效果很好!

在这里再强调一下, 寻常光(o光)和非寻常光(e光)的位相超前问题。因消色差 $1/4$ 波片是由正晶体水晶和 MgF_2 组成, 在其里面寻常光比非寻常光传播得快。而全反射棱镜中的p分量的振动方向与 $1/4$ 波片中的寻常光相同, s分量对应于 $1/4$ 波片中的非寻常光, 因此 40° 左右的附加位相差加上一 50° 左右的延迟片, 就可组成一波长调节

装置中的1/4波片。

参考文献

- 艾国祥, 胡岳风, 中国科学A辑, 8 (1986) 889.
Evans, J. W., J. Opt. Soc. Amer., 39 (1949) 229.
梁铨廷, 《物理光学》
王敬山, 艾国祥, 邓元勇, 天体物理学报, 11 (1991) 388.
王敬山, 艾国祥, 何凤宝等, (1995) 见本文集.
赵凯华, 《光学》上册, 北京大学出版社, 1984, 254.

Application of Total Reflection Prism in Multichannel Birefringent Filter

Wang Jingshan, Ai Guoxiang, Deng Yuanyong
Beijing Astronomical Observatory
Chinese Academy of Sciences
Beijing 100080

Abstract

This paper discuss the characters of the supplementary retardation δ (i. e. phase shift) of the total reflection prism (TRP) in the multichannel filter (MBF) and the relation among the δ , the wavelength λ and the angle of incidence of the light. In the multichannel birefringent filter, we use the supplementary retardation as part of the 1/4 wavelength in the wavelength-adjusting apparatus to eliminate the influence of it.