

文章编号: 0253-2239(2001)02-192-06

# 偏振干涉成像光谱仪通量的分析与计算\*

张淳民<sup>1,2)</sup> 赵葆常<sup>2)</sup> 相里斌<sup>2)</sup> 杨建峰<sup>2)</sup>

1), 西安交通大学理学院, 西安 710049

2), 中国科学院西安光学精密机械研究所空间光学研究室, 西安 710068

**摘要:** 论述了自行研制的偏振干涉成像光谱仪的剪切分光机理和干涉成像原理。对偏振干涉成像光谱仪的通量进行了分析和计算, 推导了偏振器偏振化方向偏离理想方向时通量随偏角的变化关系, 给出了最大调制度情形下的通量数值。这种偏振干涉成像光谱仪结构简单、无运动部件、能量通过率高, 充分显示了超小型、稳态、大视场、高通量、高调制度的优点, 更加适合于航空航天遥感、野外环境操作和微弱信号探测。

**关键词:** 偏振干涉成像光谱仪; 偏振化方向; 稳态; 大视场; 高通量

中图分类号: O433 文献标识码: A

## 1 引 言

建立在迈克耳孙干涉仪基础上的普通傅里叶变换光谱仪已经在工业和科学研究中得到了广泛的应用, 其光谱分布为由干涉仪的两臂变化而形成的程差而产生的干涉图的傅里叶变换。傅里叶变换光谱仪与色散型光谱仪比较, 主要优点是有更大的光通量。在相同分辨率的情况下, 建立在迈克耳孙干涉仪基础上的傅里叶变换光谱仪比色散型光谱仪的光通量至少要大 190 倍<sup>[1]</sup>。但傅里叶变换光谱仪的主要缺点是需要一套高精度的动镜驱动系统且对动镜倾斜要求严格, 这种依靠动镜扫描的所谓“时间调制干涉光谱仪”极不适合航空航天及野外环境条件下的操作<sup>[2,3]</sup>。

80 年代以来, 在克服时间调制干涉光谱仪缺点的基础上, 又发展成为空间调制干涉光谱仪<sup>[4-6]</sup>, 这种光谱仪形成的干涉图在空间域而不是在时间域, 从而消除了时间调制干涉光谱仪对运动部件的需要, 且具有稳定性好、光谱测量的实时性和高通量等优点, 越来越受到国际光谱界的重视, 在军事、民用方面得到了广泛的应用<sup>[7-9]</sup>。

空间调制干涉光谱仪主要有两类, 即萨尼亚克(Sagnac)型和偏振型<sup>[11,12]</sup>。与萨尼亚克型比较, 偏振型体积更小、费用更低、稳定性好、能量利用率高, 同时解决了航天遥感器中普遍存在的探测器对不同

偏振度的偏振光响应效率不同的缺点。20 世纪 90 年代后期, 在空间调制干涉光谱仪基础上, 又出现了干涉成像光谱仪, 它的主要优点是可获得目标的二维空间信息和一维光谱信息, 同时得到的是目标的干涉图和像, 这种仪器同时具备了光谱仪和高分辨率照像机的双重功能。

本文在简要介绍我们研制的新型偏振干涉成像光谱仪(PIIS)原理的基础上, 着重就它的通量进行了分析和计算, 因为成像光谱仪通量的高低, 决定着它的应用前景。

## 2 原 理

图 1 是基于萨瓦偏光镜横向剪切干涉仪的新型偏振干涉成像光谱仪原理图。它主要由前置光学系统  $L_1$ 、 $L_2$ 、起偏器  $P_1$ 、萨瓦偏光镜、分析器(检偏器)  $P_2$ 、成像镜  $L_3$ 、面阵探测器(置于  $L_3$  焦面上)及数据处理系统组成。

萨瓦偏光镜由两块厚度均为  $t$  的单轴负晶(或正晶)板组成, 其光路如图 2 所示。二板的光轴均与系统光轴( $z$  轴)成  $45^\circ$  角, 左板光轴在纸平面( $xz$  平面)内且与  $x$ 、 $z$  轴正向成  $45^\circ$  角; 右板光轴在水平面( $yz$  平面)内且与  $yz$  轴正向成  $45^\circ$  角。 $P_1$ 、 $P_2$  的偏振化方向均与  $x$ 、 $y$  轴正向成  $45^\circ$  角, 这样可使剪切量达到最大<sup>[10]</sup>。

自然光经过前置光学系统射入  $P_1$  后, 出射光成为沿  $P_1$  偏振化方向振动的线偏振光入射到萨瓦偏光镜的左板上, 进入双折射晶体后即分为寻常光(o

\* 国家科委 863 高科技项目; 陕西省自然科学基金资助项目。

收稿日期: 2000-02-17; 收到修改稿日期: 2000-04-14

光) 和非寻常光(e 光), o 光沿原方向传播, e 光偏折; 射入右板后, 原 o 光变为 e 光偏折, 经右板后表面再次偏折后, 成为平行于入射光方向传播的 oe

光; 原 e 光在进入右板后变为 o 光, 经右板左表面偏折后成为平行于原入射光方向传播的 eo 光, 从右表面射出。

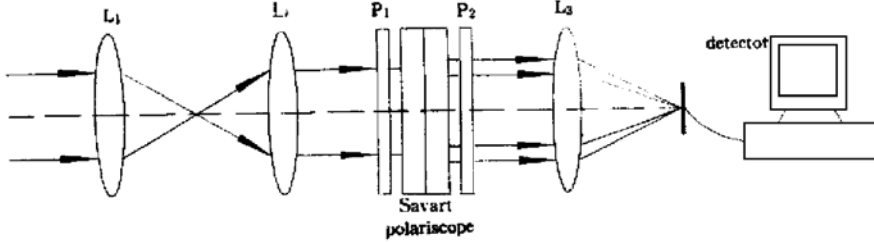


Fig. 1 Optical diagram of the PIIS

二线偏振光 oe .eo 振动面相互垂直, 传播方向相同, 经 P<sub>2</sub> 后均成为沿 P<sub>2</sub> 偏振化方向振动的两束线偏振光, 经成像镜后在探测器平面上形成干涉图和目标像。干涉图经系统分析处理(傅里叶变换)后, 即可复原出入射光的光谱信息。

常光折射率,  $t$  为萨瓦偏光镜的厚度,  $i$  为视角(入射角),  $d$  实际为二虚光源之间的距离。  $\gamma$  为入射面与左板主平面之间的夹角, 为了计算简单, 通常使二面重合,  $\gamma$  为零。

从这里可以看到这种偏振干涉成像光谱仪必须要用二维面阵 CCD 作为探测器, 同时被探测目标与干涉成像光谱仪之间必须要有相对匀速运动, 这在卫星对地侦察的实际应用中, 由卫星平台的自推扫(卫星运动)完成, 模拟卫星推扫的原理如图 4 所示。对位于轴上的点,  $i = 0$ , 光程差  $\Delta = 0$ , 它产生零光程差时的最大干涉强度值, 随着目标对干涉成像光谱仪的相对运动,  $i = i_1, i = i_2, \dots, i = i_n$ , 通过(2)式可计算出相应的光程差  $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$ , 理论上要求光程差的采样是等间隔的, 所有按(2)式计算光程差与理想值有一定的偏差。

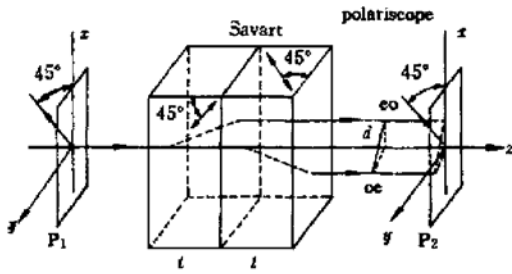


Fig. 2 Savart polariscope

图 1 的等效光路如图 3 所示, 其横向剪切量为<sup>[13]</sup>

在满足采样定律的前提下, 当入射角  $i$  为几度时, 这种误差是可以允许的, 此时若采用过采样, 则可进一步减小由于  $i$  与  $\sin i$  之间的非线性误差对复原光谱的影响。

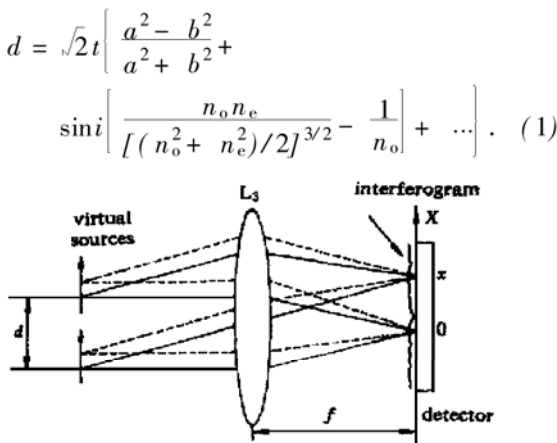


Fig. 3 Schematic diagram equivalent to Fig. 1

光程差为<sup>[13]</sup>

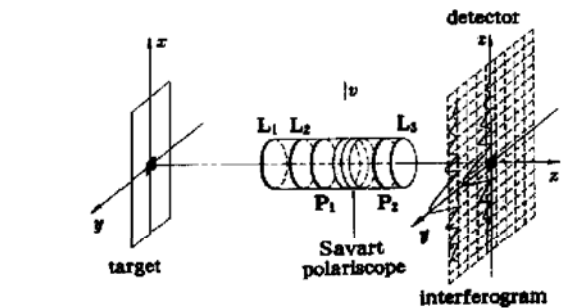


Fig. 4 Principle diagram of simulating satellite pushbroom

由双光束干涉原理可知, 干涉强度为<sup>[11]</sup>

$$\Delta = t \left[ \frac{a^2 - b^2}{a^2 + b^2} (\cos \gamma + \sin \gamma) \sin i \right], \quad (2)$$

$$I(\Delta) = \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} B(\gamma) \cos(2\pi\gamma\Delta) d\gamma. \quad (3)$$

式中  $a = \frac{1}{n_e}$ ,  $b = \frac{1}{n_o}$ ,  $n_o$  和  $n_e$  分别为寻常光和非寻

光谱强度则为

$$B(\nu) = \int_{-L}^L I(\Delta) \cos(2\pi\nu\Delta) d\Delta, \quad (4)$$

式中  $\nu$  为波数, 单位为  $\text{cm}^{-1}$ ;  $\Delta$  为光程差,  $L$  为最大光程差. 光谱信息经系统处理后, 即可复原出目标的复色光(彩色) 图像.

### 3 偏振干涉成像光谱仪通量的分析与计算

由干涉成像光谱仪原理, 偏振干涉成像光谱仪的通量  $E$  为<sup>[4]</sup>

$$E = T(\lambda)B(\lambda)\Omega A, \quad (5)$$

式中  $B(\lambda)$  为入射光源的光谱强度,  $T(\lambda)$  为系统的透过率,  $A$  为成像光谱仪的孔径,  $\Omega$  为光源对孔径中心所张的立体角.

在实际应用中, 立体角常常受到光谱分辨率  $R = \left[ \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = \frac{\nu}{\Delta\nu} \right]$  的限制, 二者满足<sup>[1]</sup>

$$R\Omega = 2\pi. \quad (6)$$

将(6)式代入(5)式得

$$E = \frac{T(\lambda)B(\lambda)2\pi A}{R} = \frac{I(\lambda)2\pi A}{R}, \quad (7)$$

式中  $I(\lambda) = T(\lambda)B(\lambda)$ .

通常情况下, 成像光谱仪的孔径及由最大光程差  $L$  所决定的分辨率  $R$  由设计均已确定, 所以, 偏振干涉成像光谱仪的通量完全由  $I(\lambda)$  决定. 对偏振干涉成像光谱仪来说,  $I(\lambda)$  主要由  $P_1$ 、 $P_2$  偏振化方向和透过率决定, 波长对其影响是微不足道的, 所以略去波长的影响, 本文将着重分析  $I$  与  $P_1$ 、 $P_2$  的偏振化方向和透过率之间的关系.

设  $P_1$ 、 $P_2$  是两个完全相同的偏振器, 其透射比为  $T$  (透射光强与入射光强之比). 如果把  $P_1$  (或  $P_2$ ) 放入偏振光束中, 在理想情况下, 当偏振光束的振动方向与  $P_1$  (或  $P_2$ ) 的偏振化方向平行时, 则完全通过 (100%); 当二者方向正交时, 则完全不通过 (0). 实际上, 由于二向色性材料及制作工艺的限制, 任何偏振片都不可能达到理想状况. 所以, 当把偏振片放入非偏振光束中时, 会产生电矢量主要在一个平面内的振动, 而只有一小部分在与此平面垂直的平面内振动的光束. 如果起偏器置于线(平面) 偏振光束中, 以平行于光束的轴线为轴, 转动起偏器, 则透射比由下式决定<sup>[14]</sup>:

$$T = (T_1 - T_2)\cos^2\beta + T_2, \quad (8)$$

式中  $T_1$ 、 $T_2$  分别为主透射比的最大值和最小值,  $\beta$

为主透射比  $T_1$  的平面与入射光束振动面之间的夹角. 当起偏器被置于非偏振光束中时, 其透射比为

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2}. \quad (9)$$

可见, 从理论上讲, 一个完全偏振器仅能透过入射的非偏振光强度的 50% (在一定条件下, 一个完全偏振器可以透过大于入射的非偏振光强度的 50%<sup>[14]</sup>).

设振幅为  $E_{00}$  的自然光垂直入射到  $P_1$  上, 自然光通过  $P_1$  后主要成为沿  $P_1$  偏振化方向振动的线偏振光, 设其振幅为  $E_1$ , 则其强度为

$$E_1^2 = 0.5E_{00}^2 = 0.5I_{00}, \quad (10)$$

式中  $I_{00} = E_{00}^2$  为入射自然光的强度.

各类傅里叶变换光谱仪的通量原则上都可由(5)式得到, 但偏振干涉成像光谱仪具有不同于其他傅里叶变换光谱仪的显著特点, 这就是偏振器的偏振化方向决定了能量的通过率. 所以下面在考虑偏振器、萨瓦板透过率等因素的情况下, 着重就偏振化方向对通量的影响进行分析和计算.

设  $P_1$  的偏振化方向与理想方向 ( $x$ 、 $y$  轴正向夹角平分线方向) 成  $\theta$  角 (见图 5), 则通过  $P_1$  的线偏振光进入偏振干涉成像光谱仪左板后即分解为二束线偏振光, 垂直于主平面方向 ( $y$  轴方向) 振动的  $o$  光和在主平面内 ( $x$  轴方向) 振动的  $e$  光, 其振幅分别为

$$E_o = E_1 \cos(45^\circ - \theta), \quad (11)$$

$$E_e = E_1 \sin(45^\circ - \theta). \quad (12)$$

二线偏振光进入偏振干涉成像光谱仪右板, 二电矢量振动方向不变, 因左、右二板的主平面互相垂直, 则原  $o$  光变为  $e$  光, 原  $e$  光变为  $o$  光.

$$E_{oe} = E_o = E_1 \cos(45^\circ - \theta), \quad (13)$$

$$E_{eo} = E_e = E_1 \sin(45^\circ - \theta). \quad (14)$$

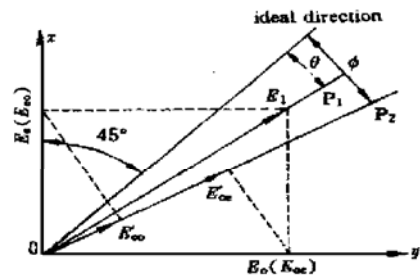


Fig. 5 Electrical vector's analysis and combination of ordinary and extraordinary rays

设  $P_2$  的偏振化方向偏离理想方向  $\varphi$  角, 在理想情况下, 从  $P_2$  出射的沿  $P_2$  偏振化方向的两线偏振光分别为

$$E'_{oe} = E_{oe} \cos(45^\circ - \varphi) = E_1 \cos(45^\circ - \theta) \cos(45^\circ - \varphi), \quad (15)$$

$$E'_{eo} = E_{eo} \sin(45^\circ - \varphi) = E_1 \sin(45^\circ - \theta) \sin(45^\circ - \varphi). \quad (16)$$

在实际情况下, 考虑到透射比

$$T = \frac{E'^2_{oe}}{E^2_{oe}} = (T_1 - T_2) \cos^2(45^\circ - \varphi) + T_2, \quad (17)$$

其中  $(45^\circ - \varphi)$  为主透射比  $T_1$  的平面 (即  $P_2$  的偏振化方向) 与入射光束  $E_{oe}$  振动面之间的夹角。则

$$E'^2_{oe} = E^2_{oe} [(T_1 - T_2) \cos^2(45^\circ - \varphi) + T_2] = E^2_1 \cos^2(45^\circ - \theta) [T_1 \cos^2(45^\circ - \varphi) + T_2 \sin^2(45^\circ - \varphi)]. \quad (18)$$

对偏振光  $E_{eo}$  来说, 有

$$T = \frac{E'^2_{eo}}{E^2_{eo}} = (T_1 - T_2) \cos^2(45^\circ + \varphi) + T_2, \quad (19)$$

$$E'^2_{eo} = E^2_{eo} [(T_1 - T_2) \cos^2(45^\circ + \varphi) + T_2] = E^2_1 \sin^2(45^\circ - \theta) [T_1 \sin^2(45^\circ - \varphi) + T_2 \cos^2(45^\circ - \varphi)], \quad (20)$$

$(45^\circ + \varphi)$  为  $E_{eo}$  与  $P_2$  偏振化方向 (即主透射比  $T_1$  的平面) 之间的夹角。在理想情况下,  $T_1 = 1, T_2 = 0$ , 则 (18) 式、(20) 式即分别变为 (15) 式、(16) 式。

下面我们来计算合成光强: 设入射光位于萨瓦偏光镜左板的主平面内, 则由萨瓦偏光镜产生的二线偏振光  $E'_{oe}, E'_{eo}$  的光程差可由 (2) 式得到

$$\Delta = t[(n_o^2 - n_e^2) \sin i / (n_o^2 + n_e^2)]. \quad (21)$$

$E'_{oe}, E'_{eo}$  满足同方向、同频率、有固定相位差的干涉条件, 则在探测器平面上其干涉强度 (能量) 为

$$I = E'^2_{oe} + E'^2_{eo} + E'_{oe} E'_{eo} \cos \left[ \frac{2\pi \Delta}{\lambda} \right]. \quad (22)$$

将 (15) 式、(16) 式、(18) 式、(20) 式、(21) 式代入 (22) 式, 并由 (7) 式得探测器系统接收到的通量为

$$E = \frac{2\pi A I}{R} = I_0 [T_1 \{ \cos^2(\varphi - \theta) - \frac{1}{2} \cos 2\theta \cos 2\varphi \} + T_2 \{ \cos^2(\varphi + \theta) - \frac{1}{2} \cos 2\theta \cos 2\varphi \} + \frac{1}{2} \cos 2\theta \{ (T_1^2 + T_2^2) \cos^2 2\varphi + 4T_1 T_2 (1 - \frac{1}{2} \cos^2 2\varphi) \}^{1/2} \times \cos \left[ \frac{2\pi t (n_o^2 - n_e^2) \sin i}{\lambda (n_o^2 + n_e^2)} \right]], \quad (23)$$

式中  $I_0 = \frac{\pi A I_{00}}{R} = 0.5 I_{00} A \Omega$ ,  $A, \Omega$  均由设计确定, 且  $A \Omega \leq 1$ 。

## 4 讨 论

1) 当  $T_1 = 1, T_2 = 0$  时, 由 (23) 式可得到理想情况下系统的能量为

$$E = I_0 \left[ \cos^2(\theta - \varphi) - \frac{\cos 2\theta \cos 2\varphi}{2} + \frac{\cos 2\theta \cos 2\varphi \cos(2\pi \Delta / \lambda)}{2} \right].$$

2) 实验中所用的萨瓦偏光镜由方解石材料制作, 其单板厚度  $t = 6 \text{ mm}$ , 总体积为  $25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$ 。用白光 (波长范围为  $0.4 \mu\text{m} \sim 1 \mu\text{m}$ ) 和激光 (波长为  $0.6328 \mu\text{m}$ ) 均进行了干涉成像实验, 获得了较好的干涉图和目标像。图 6 是用白光进行实验所获得的干涉条纹和目标像, 图中左下方到右上方的斜线为一条彩带。由于双折射材料的折射率与波长有关, 故我们可取一波长来进行计算。

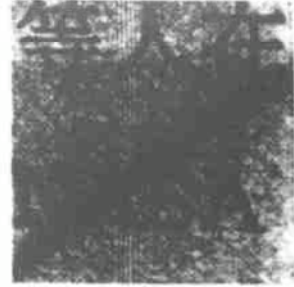


Fig. 6 Interferogram and image of polychromatic light source

设  $\lambda = 0.643 \mu\text{m}$ , 则  $n_o = 1.65504, n_e = 1.48490$ , 则  $\Delta / \lambda = 1008.3$ 。当光射入萨瓦偏振光镜时, 除大部分能量透射外, 尚有少部分能量被反射而损失。按常规考虑, 设每个面透射、反射入射光能量比分别为 98% 和 2%, 两块萨瓦板共 4 个面, 则透射光强为入射光强的  $(0.98)^4 = 92\%$ 。

$P_1, P_2$  虽然也存在着反射, 但透射系数  $T_1, T_2$  中已考虑了反射能量损失, 故不再考虑其反射的能量损失。方解石材料在  $0.4 \mu\text{m} \sim 1 \mu\text{m}$  区域内, 其对  $o, e$  光的吸收系数为 0, 故无能量被吸收。所以, 系统的通量为

$$E = 0.92 I_0 \left[ T_1 \left\{ \cos^2(\varphi - \theta) - \frac{\cos 2\theta \cos 2\varphi}{2} \right\} + T_2 \left\{ \cos^2(\varphi + \theta) - \frac{\cos 2\theta \cos 2\varphi}{2} \right\} + \frac{1}{2} \cos 2\theta \left\{ (T_1^2 + T_2^2) \cos^2 2\varphi + 4T_1 T_2 (1 - \frac{1}{2} \cos^2 2\varphi) \right\}^{1/2} \times \cos(2\pi \times 1008.3 \sin i) \right]. \quad (24)$$

3) 偏振干涉成像光谱仪的最佳使用方案是大

调制度和能量透过率。在某些情况下虽然有高的能量通过率,但调制度小,这是成像光谱仪所不需要的。所以在保障最大调制度的前提下,来进行通量分析。偏振干涉成像光谱仪的调制度为<sup>[15]</sup>

$$V = \left| \frac{\cos 2\theta \cos 2\varphi}{1 + \sin 2\theta \sin 2\varphi} \right|. \quad (25)$$

由(25)式知,当  $\theta = \varphi = 0, \pm \frac{\pi}{2}$  或  $\theta = -\varphi$  ( $\theta = \pm \frac{\pi}{4}, \varphi = \mp \frac{\pi}{4}$  除外), 调制度最大,  $V = 1$ , 称其为全对比。

以下列举最大调制度时通量分析计算实例

当  $\theta = \varphi = 0$  时,  $V = 1$ :

在理想条件下,  $T_1 = 1, T_2 = 0$ ; 设视场角  $i$  为零, 此时  $E = 0.92I_0$ ; 当  $i = \pm 10^\circ$  时,  $E = 0.86I_0$ 。当

$T_1 = 0.99, T_2 = 0.01$ :

$i = 0, E = 0.92I_0$ ;  $i = \pm 10^\circ, E = 0.86I_0$ 。

$T_1 = 0.98, T_2 = 0.02$ :

$i = 0, E = 0.92I_0$ ;  $i = \pm 10^\circ, E = 0.86I_0$ 。

可见, 当  $\theta = \varphi = 0$  时, 不论  $T_1, T_2$  值如何, 只要  $i$  相同, 则通量相等。在视场角等于  $\pm 10^\circ$  的大视场条件下, 出射光强  $I$  仍可达到入射光强的 43%, 充分显示了偏振干涉成像光谱仪高通量的特性。

当  $\theta = \varphi = \pm \frac{\pi}{2}$  时,  $V = 1$ :

$T_1 = 1, T_2 = 0$ :

$$i = 0, E = 0.92I_0 \left[ \frac{1}{2} - \frac{(-1)^{1/2}}{2} \right] = 0.46I_0(1 - g)$$

$$i = \pm 10^\circ, E = 0.92I_0 \left[ \frac{1}{2} - \frac{(-1)^{1/2} \cdot 0.846}{2} \right] = 0.46I_0(1 - 0.846g),$$

这里  $g = (-1)^{1/2}$ 。可见当  $\theta = \varphi = \pm \frac{\pi}{2}$  时,  $E$  为复数, 无物理意义。

当  $\theta = -\varphi$  ( $\theta = \pm \frac{\pi}{4}, \varphi = \mp \frac{\pi}{4}$  除外),  $V = 1$ :

设  $T_1 = 1, T_2 = 0$ , 当

$i = 0, E = 0.92I_0 \cos^2 2\theta = 0.92I_0 \cos^2 2\varphi$ 。

$i = \pm 10^\circ, E = 0.86I_0 \cos^2 2\theta = 0.86I_0 \cos^2 2\varphi$ 。

可见, 当  $\theta = -\varphi$  时, 在  $\theta$  (或  $-\varphi$ ) 接近 0 或  $\theta$  (或  $-\varphi$ ) 接近  $\pm \frac{\pi}{2}$  (或  $\mp \frac{\pi}{2}$ ) 时, 通量  $E$  都趋于最大值

$0.46I_0$ ; 而当  $\theta$  (或  $-\varphi$ ) 接近  $\pm \frac{\pi}{4}$  (或  $\mp \frac{\pi}{4}$ ) 时,  $E$  趋

于零。 $\theta$  (或  $-\varphi$ ) =  $\pm \frac{\pi}{4}$  (或  $\mp \frac{\pi}{4}$ ) 时,  $E = 0$ 。

## 5 结 论

1) 在各类傅里叶变换光谱仪中, 影响通量的因素有光源强度、系统透过率、仪器孔径和光源对孔径所张的立体角。而在偏振干涉成像光谱仪中, 通量除受上述各类光谱仪共存的因素影响外, 偏振器的偏振化方向对通量的影响占绝对主导地位, 这是其他光谱仪所不存在的。

2) 偏振干涉成像光谱仪为时空调制成像光谱仪, 在分辨率相同的情况下, 其通量较色散型大 200 倍左右, 与其他空间光谱仪比较, 偏振干涉成像光谱仪的调制度主要由偏振化方向决定。在保障最大调制度的情况下, 偏振干涉成像光谱仪的通量主要由视场角决定。

在入射角为 0 时, 通量  $E = 0.92I_0$ ; 在大视场 ( $i = \pm 10^\circ$ ) 条件下, 仍可得到  $E = 0.86I_0$ 。

3) 偏振干涉成像光谱仪克服了迈克耳孙干涉仪、萨尼亚克型干涉仪中光线在反射面和分束膜上的多次反射、透射造成的能量损失。

4) 偏振干涉成像光谱仪结构简单, 只需要起偏器、分析器、成像镜及探测器等部件。具有直线光路、小型化(长 200 mm、直径 60 mm)、费用低等特点。使用波长范围广, 从可见到近红外 ( $0.4 \sim 1 \mu\text{m}$ ) 都可使用。特别适合航空、航天遥感领域和微弱信号探测。

## 参 考 文 献

- [1] Bell R J. *Introductory Fourier Transform Spectroscopy*. New York: Academic, 1972. ? ~ ?
- [2] Persky M J. A review of spaceborne Fourier transform spectrometer for remote sensing. *Rev. Sci. Instrum.*, 1995, **66**(10): 4763~ 4793
- [3] Vaughan A H. Imaging Michelson spectrometer for Hubble space telescope. *Proc. SPIE*, 1988, **1036**: 2~ 14
- [4] Junttila M L, Kauppinen J, Ikonen E. Performance limits of stationary Fourier transform spectrometers. *J. Opt. Soc. Am. (A)*, 1991, **8**(9): 1457~ 1462
- [5] Junttila M L. Stationary Fourier transform spectrometer. *Appl. Opt.*, 1992, **31**(21): 4106~ 4112
- [6] Möller K D. Wave-front-dividing array interferometer without moving parts for real-time spectroscopy from the IR to the UV. *Appl. Opt.*, 1995, **34**(9): 1493~ 1501
- [7] 张淳民, 王 炜, 相里斌等. 利用干涉成像光谱技术测量大气风场. *光学学报*, 2000, **20**(2): 243~ 249
- [8] 张淳民, 赵葆常, 相里斌. 高稳态大视场大气风场测量新方法. *光学学报*, 2000, **20**(5): 697~ 700
- [9] 张淳民, 相里斌, 赵葆常. 用法布里-珀罗干涉仪(FPI)测量上层大气风场的速度和温度. *西安交通大学学报*,

- 2000, **34**(4): 97~ 99
- [10] Rafert J B, Sellar R G, Blatt J H. Monolithic Fourier transform imaging spectrometer. *Appl. Opt.*, 1995, **34**(31): 7228~ 7230
- [11] Courtial J, Patterson B A, Harvey A R *et al.*. Design of a static Fourier transform spectrometer with increased field of view. *Appl. Opt.*, 1996, **35**(34): 6698~ 6702
- [12] Patterson B A, Antoni M, Courtial J *et al.*. An ultra-compact static Fourier transform spectrometer based on a single birefringent component. *Opt. Commun.*, 1996, **130**(1~ 3): 1~ 6
- [13] Francon M, Mallick S. *Polarization Interferometers*, New York: Wiley, 1971. 22~ 23, 144~ 145
- [14] 李景镇主编. 光学手册. 西安: 陕西科技出版社, 1985, 491~ 492
- [15] 张淳民, 赵葆常, 相里斌. 偏振干涉成像光谱仪中偏振化方向对调制制度的影响. 光学学报, 2000, **20**(8): 1077~ 1083

## Analysis and Calculation of Throughput of the Polarization Interference Imaging Spectrometer

Zhang Chunmin<sup>1,2)</sup> Zhao Baochang<sup>2)</sup> Xiangli Bin<sup>2)</sup> Yang Jianfeng<sup>2)</sup>

- 1), *The Science School, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049*  
 2), *Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068*  
 (Received 17 February 2000; revised 14 April 2000)

**Abstract:** Shearing and imaging principle of the polarization interference imaging spectrometer (PIIS) are presented. Throughput of the PIIS is analyzed and calculated, the changing relation of throughput with deviation is derived under polarizer's polarized direction deviating from the ideal direction. Throughput value in the maximum modulation depth is given. The PIIS has simple structure and no moving parts, high pass through rate of energy. It shows the advantages of ultra-compact, stationary, wide view of field, high throughput and modulation depth. It is more suitable for remote sensing of aviation and aerospace, field operation and weak signal detection.

**Key words:** polarization interference imaging spectrometer; polarized direction; stationary; wide view of field; high throughput