

文章编号: 0253-2239(2003)01-89-06

双通偏振干涉滤光片的研究*

贺银波¹ 熊静懿¹ 吴国忠² 郑伟¹ 曾广杰¹ 余飞鸿^{1*} H S Kwok³

1 浙江大学光电系现代光学仪器国家重点实验室, 杭州 310027

2 浙江大学电气学院电力电子技术研究所, 杭州 310027

3 香港科技大学显示技术研究中心, 香港, 九龙

摘要: 研究了等厚度双通偏振干涉滤光片, 在此基础上提出了新型双通偏振干涉滤光片, 并分析了单通、双通以及新型双通偏振干涉滤光片的光谱特性。结果表明, 新型双通偏振干涉滤光片不仅具有更好的光谱特性, 而且能进一步减少延迟片数目, 具有非常重要的实用价值, 可望在基于硅片的液晶投影仪分/合色系统中得到广泛应用。

关键词: 应用光学; 双通偏振干涉滤光片; 新型双通偏振干涉滤光片; 延迟片数目; 光谱特性

中图分类号: O436 文献标识码: A

1 引 言

由多块双折射晶体串接而成的偏振干涉滤光片(PIF)广泛应用于波长信号分离、传感器保护、机载水文探测、遥感、光通信等多个领域。通常, 利用输出反向传递法^[1]来设计偏振干涉滤光片。研究表明, 偏振干涉滤光片光谱特性与延迟片(双折射晶体)数目有着密切的关系, 延迟片数目越多, 偏振干涉滤光片光谱特性越接近于理想情况, 这是因为可以用更高阶次期望输出 $C(\omega)$ 来逼近理想光谱。但是, 延迟片数目的增多又会增加整个光学系统的尺寸、损耗以及对准误差等不利因素。况且在实际的偏振干涉滤光片中, 每个延迟片后面都要放置补偿器, 同样, 延迟片数目的增多也会使补偿器数目随之增多^[2]。因此, 通常在这两者之间取一个折衷, 即在输出光谱特性可以满足实际要求的情况下, 采用尽量少的延迟片数目来设计偏振干涉滤光片。这样, 在延迟片数目给定的情况下, 要进一步改善偏振干涉滤光片光谱特性就显得非常困难。

于是, 本文提出了如图 1 所示的偏振干涉滤光片。光脉冲从偏振片入射, 第一次通过延迟片堆, 经镜面反射后再次通过该延迟片堆, 这种基于光路折叠的偏振干涉滤光片称为双通偏振干涉滤光片。相

比之下, 常规的偏振干涉滤光片中, 光脉冲都是从起偏器入射, 从检偏器出射, 光线在每个延迟片中只经过一次, 为了加以区分, 我们称之为单通偏振干涉滤光片。

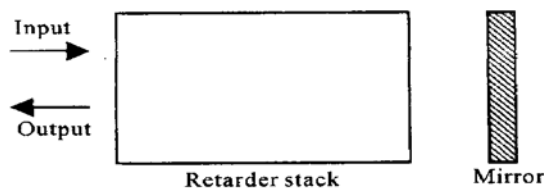


Fig. 1 Sketch map of double pass PIF

在双通偏振干涉滤光片中, 光线两次通过延迟片堆, 每块延迟片相当于单通偏振干涉滤光片中两块延迟片的作用, 因而能大大减少延迟片数目, 输出光谱特性却不会因此而变差。若采用偏振分光棱镜, 可实现入射光与出射光分离以及正交的入射与出射关系。

本文首先研究了等厚度双通偏振干涉滤光片性质, 然后在此基础上, 结合新型偏振干涉滤光片^[3]特性, 推导出新型双通偏振干涉滤光片的可行性。这种新型双通偏振干涉滤光片由第一块旋转角度为 45° , 厚度为 L , 后面串接偶数个厚度为 $2L$ 的延迟片和一个反射镜面构成。通过分析比较各种偏振干涉滤光片的光谱特性, 可以发现, 新型双通偏振干涉滤光片明显地改善了常规的单通偏振干涉滤光片的光谱特性, 不仅光谱特性更好, 还能进一步减少延迟片数目, 降低制造成本和系统尺寸, 而且角度特性^[5]也很好, 非常具有实用价值, 现已尝试在 LCOS

* 国家自然科学基金(60177013)、宁波市科委-浙江大学专项合作基金资助课题。

** 通讯联系人。E-mail: feihong@zju.edu.cn

收稿日期: 2001-09-10; 收到修改稿日期: 2002-03-18

投影系统的分/合色系统中应用。本文以蓝/黄偏振干涉滤光片为例予以说明。

2 双通偏振干涉滤光片

在双通偏振干涉滤光片中,光线第一次通过延迟片堆,经镜面反射后再次通过该延迟片堆,可以形象地认为光在延迟片堆中走了一个来回,其结构如图 2(a)所示。为研究特性,对双通偏振干涉滤光片做一些等价变换。首先去掉延迟片堆后面的反射镜,用与原延迟片堆对称的延迟片堆代替原反射镜,如图 2(b)所示。显然,变换前后的输出应该是完全一样的,此时的双通偏振干涉滤光片就转变成常规的单通偏振干涉滤光片。

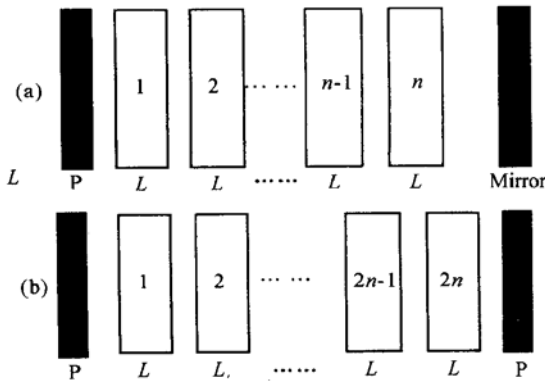


Fig. 2 Layout of two equivalent PIF. (a) Double pass;
(b) Single pass

如果原双通偏振干涉滤光片中有 n 块等厚度延迟片,将其转变成单通偏振干涉滤光片后,延迟片数目就应该为 $2n$ 。设偏振片透光轴在 x 轴方向上,那么根据对称关系,图 2(b)中各延迟片旋转角度之间应该满足如下关系:

$$\phi_p = 0^\circ, \phi_{2n} = \phi_1, \phi_{2n-1} = \phi_2, \dots, \phi_j = \phi_{2n+1-j}, \quad (1)$$

为了推导方便,通常用相对旋转角度($\theta_j = \phi_j - \phi_{j-1}, j = 1, 2, \dots, n$)代替绝对角度,因此上式的关系又可以写成

$$\theta_p = -\theta_1, \theta_{2n} = -\theta_2, \theta_{2n-1} = -\theta_3, \dots, \quad (2)$$

众所周知,如果延迟片相对旋转角度满足 $\theta_1 = -\theta_p \pm 90^\circ, \theta_2 = -\theta_n, \theta_3 = -\theta_{n-1}, \dots$ 的关系,其偏振干涉滤光片的输出 $C(\omega)$ 表达式中各系数之间则存在着如下关系^[4]:

$$C_0 = -C_n, C_1 = -C_{n-1}, C_2 = -C_{n-2}, \\ C_3 = -C_{n-3}, \dots, \quad (3)$$

不难发现,在图 2(b)中单通偏振干涉滤光片延迟片

旋转角度之间的关系与上述条件很相像,唯一的差别是 θ_p 和 θ_1 之间有一个 90° 旋转。其实,偏振干涉滤光片都有两个相互正交的输出,一个是沿检偏器透光轴方向的输出 $C(\omega)$,另一个是与其正交方向上的输出 $D(\omega)$,两者光谱分布是互补的。如果原来输出为 $C(\omega)$,那么检偏器旋转 90° 后,该偏振干涉滤光片输出就应该是 $D(\omega)$ 。

如果将图 2(b)中偏振干涉滤光片的检偏器旋转 90° ,则其延迟片之间的相对旋转角度就会满足 $\theta_1 = -\theta_p \pm 90^\circ, \theta_2 = -\theta_n, \theta_3 = -\theta_{n-1}, \dots$ 的关系。根据偏振干涉滤光片性质,此时的输出应该为 $D(\omega)$,且其系数之间应该存在这样的关系:

$$D_0 = -D_{2n}, D_1 = -D_{2n-1}, D_2 = -D_{2n-2}, \dots, \quad (4)$$

因此,在设计图 2(b)所示的单通偏振干涉滤光片时,给定的期望输出因该是 $D(\omega)$,而不是原来的 $C(\omega)$ 。

最后,将此单通偏振干涉滤光片再折叠为图 2(a)所示的双通偏振干涉滤光片。可以发现,在光线返回到偏振片前同样有两个输出,一个是在偏振片透光轴方向上的输出 $C(\omega)$,另一个是与其正交方向上的输出 $D(\omega)$,在双通偏振干涉滤光片前加上一块偏振分光棱镜,就很容易地将两束光分开,达到分光目的。

虽然在设计双通偏振干涉滤光片时,对期望输出 $D(\omega)$ 的系数有一定约束,但其实这个要求是很容易达到的,只要对给定的理想光谱曲线用正弦函数来逼近,(4)式条件会自然满足。

3 新型双通偏振干涉滤光片

考虑这样的偏振干涉滤光片,第一块和最后一块延迟片旋转角度为 45° ,厚度为 L ,中间有 m (m 为 4 的整数倍)块厚度为 $2L$ 的延迟片。该偏振干涉滤光片的结构如图 3(a)所示。

现将前后两块旋转角度为 45° 的延迟片去掉,剩下 m 块厚度均为 $2L$ 的等厚度延迟片构成的延迟片堆,其输出矩阵为^[4]

$$H_1 = \begin{bmatrix} C'(2\omega) & \exp(-i2m\alpha)D'(-2\omega) \\ -D'(2\omega) & \exp(-i2m\alpha)C'(-2\omega) \end{bmatrix}$$

为要保证能满足双通偏振干涉滤光片的特性,这 m 块延迟片的旋转角度应该沿中心对称分布,即绝对角度应该满足

$$\phi_p = 0^\circ, \phi_m = \phi_1, \phi_{m-1} = \phi_2, \dots, \phi_i = \phi_{m+1-j}.$$

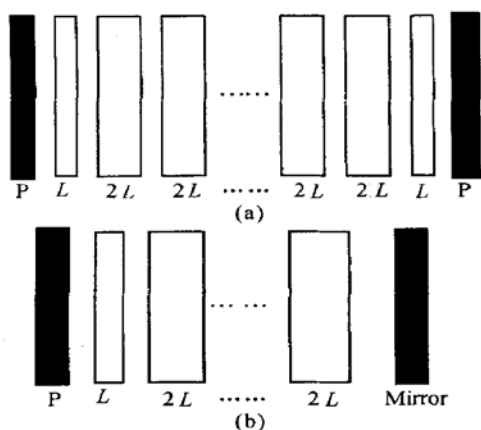


Fig. 3 Layout of new type PIF. (a) Single pass;
(b) Double pass

如果用相对角度表示, 它们之间关系为

$$\theta_p = -\theta_1, \theta_m = -\theta_2, \theta_{m-1} = -\theta_3, \dots$$

现将检偏器旋转 90° , 那么各延迟片相对角度

之间就会满足前述关系, 即

$\theta_p = -\theta_1 \pm 90^\circ$, $\theta_m = -\theta_2$, $\theta_{m-1} = -\theta_3, \dots$,
此时的输出为 $D'(2\omega)$ 而非 $C'(2\omega)$ 。根据性质, D' ;
应该满足

$$D'_0 = -D'_m, D'_1 = -D'_{m-1},$$

$$D'_2 = -D'_{m-2}, D'_3 = -D'_{m-3}, \dots$$

再将两块旋转角度为 45° , 厚度为 L 的延迟片分别
加到延迟片堆的最前面和最后面。第一块 45° 延迟
片的琼斯矩阵为

$$H_0 = \begin{bmatrix} \exp(-i\alpha) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & \sin \theta_1 \\ -\sin \theta_1 & \cos \theta_1 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

最后一块延迟片的琼斯矩阵为

$$H_{2m+1} = \begin{bmatrix} \cos \theta_p & \sin \theta_p \\ -\sin \theta_p & \cos \theta_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \exp(-i\alpha) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

式中: $\theta_1 = 45^\circ$, $\theta_p = -45^\circ$ 。根据偏振干涉滤光片的
结构, 可以写出总的输出矩阵为

$$H = H_{2m+1} \times H_1 \times H_0 =$$

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} \cos \theta_p & \sin \theta_p \\ -\sin \theta_p & \cos \theta_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{-i\alpha} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C'(2\omega) & e^{-i2m\alpha} D'(-2\omega) \\ -D'(2\omega) & e^{-i2m\alpha} C'(-2\omega) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{-i\alpha} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & \sin \theta_1 \\ -\sin \theta_1 & \cos \theta_1 \end{bmatrix} = \\ & \frac{1}{2} \begin{bmatrix} e^{-i\alpha} & -1 \\ e^{-i\alpha} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C'(2\omega) & e^{-i2m\alpha} D'(-2\omega) \\ -D'(2\omega) & e^{-i2m\alpha} C'(-2\omega) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{-i\alpha} & e^{-i\alpha} \\ -1 & 1 \end{bmatrix} = \\ & \frac{1}{2} \begin{bmatrix} e^{-i\alpha} C'(2\omega) + D'(2\omega) & e^{-i(2m+1)\alpha} D'(-2\omega) - e^{-i2m\alpha} C'(-2\omega) \\ e^{-i\alpha} C'(2\omega) - D'(2\omega) & e^{-i(2m+1)\alpha} D'(-2\omega) + e^{-i2m\alpha} C'(-2\omega) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{-i\alpha} & e^{-i\alpha} \\ -1 & 1 \end{bmatrix}, \quad (8) \end{aligned}$$

将上式重写为

$$H = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C(\omega) & e^{-i(m+2)\alpha} D(-\omega) \\ -D(\omega) & e^{-i(m+2)\alpha} C(-\omega) \end{bmatrix}, \quad (9)$$

其中

$$A = [e^{-i2\alpha} C'(2\omega) + e^{-i\alpha} D'(2\omega) - e^{-i(2m+1)\alpha} D'(-2\omega) + e^{-i2m\alpha} C'(-2\omega)]/2, \quad (9a)$$

$$B = [e^{-i2\alpha} C'(2\omega) + e^{-i\alpha} D'(2\omega) + e^{-i(2m+1)\alpha} D'(-2\omega) - e^{-i2m\alpha} C'(-2\omega)]/2, \quad (9b)$$

$$C = [e^{-i2\alpha} C'(2\omega) - e^{-i\alpha} D'(2\omega) - e^{-i(2m+1)\alpha} D'(-2\omega) - e^{-i2m\alpha} C'(-2\omega)]/2, \quad (9c)$$

$$D = [e^{-i2\alpha} C'(2\omega) - e^{-i\alpha} D'(2\omega) + e^{-i(2m+1)\alpha} D'(-2\omega) + e^{-i2m\alpha} C'(-2\omega)]/2, \quad (9d)$$

$$C'(2\omega) = C'_0 + C'_1 e^{-i2\alpha} + C'_2 e^{-i4\alpha} + \dots + C'_m e^{-i2m\alpha},$$

$$D'(2\omega) = D'_0 + D'_1 e^{-i2\alpha} + D'_2 e^{-i4\alpha} + \dots + D'_m e^{-i2m\alpha},$$

将(9a)展开, 可以得到 $C(\omega)$:

$$\begin{aligned} C(\omega) = & [C'_0 e^{-i2\alpha} + C'_1 e^{-i4\alpha} + \dots + C'_{m-1} e^{-i2m\alpha} + C'_m e^{-i(2m+2)\alpha} + \\ & D'_0 e^{-i\alpha} + D'_1 e^{-i3\alpha} + \dots + D'_{m-1} e^{-i(2m-1)\alpha} + D'_m e^{-i(2m+1)\alpha} - \\ & D'_0 e^{-i(2m+1)\alpha} - D'_1 e^{-i(2m-1)\alpha} - \dots - D'_{m-1} e^{-i3\alpha} - D'_m e^{-i\alpha} + \\ & C'_0 e^{-i2m\alpha} + C'_1 e^{-i(2m-2)\alpha} + \dots + C'_{m-1} e^{-i2\alpha} + C'_m]/2, \quad (10) \end{aligned}$$

将(10)式按降幂排列:

$$\begin{aligned} C(\omega) = & [C'_m + (D'_0 - D'_m) e^{-i\alpha} + (C'_0 + C'_{m-1}) e^{-i2\alpha} + \\ & (D'_1 - D'_{m-1}) e^{-i3\alpha} + \dots + (D'_{m-1} - D'_1) e^{-i(2m-1)\alpha} + \\ & (C'_{m-1} + C'_0) e^{-i2m\alpha} + (D'_m - D'_0) e^{-i(2m+1)\alpha} + C'_m e^{-i(2m+2)\alpha}]/2 \end{aligned}$$

此时,也可以得到与其正交方向上的输出 $D(\omega)$:

$$D(\omega) = [-e^{-i2\alpha\omega}C'(2\omega) + e^{-i\alpha\omega}D'(2\omega) + e^{-i(2m+1)\alpha\omega}D'(-2\omega) + e^{-i2m\alpha\omega}C'(-2\omega)]/2$$

将上式展开:

$$\begin{aligned} D(\omega) = & - [C'_0 e^{-i2\alpha\omega} + C'_1 e^{-i4\alpha\omega} + \dots + C'_{m-1} e^{-i2m\alpha\omega} + C'_m e^{-i(2m+2)\alpha\omega} - \\ & D'_0 e^{-i\alpha\omega} - D'_1 e^{-i3\alpha\omega} - \dots - D'_{m-1} e^{-i(2m-1)\alpha\omega} - D'_m e^{-i(2m+1)\alpha\omega} - \\ & D'_0 e^{-i(2m+1)\alpha\omega} - D'_1 e^{-i(2m-1)\alpha\omega} - \dots - D'_{m-1} e^{-i3\alpha\omega} - D'_m e^{-i\alpha\omega} - \\ & C'_0 e^{-i2m\alpha\omega} - C'_1 e^{-i(2m-2)\alpha\omega} - \dots - C'_{m-1} e^{-i2\alpha\omega} - C'_m] / 2, \end{aligned} \quad (11)$$

将(11)式按降幂排列:

$$\begin{aligned} D(\omega) = & [C'_0 + (D'_0 + D'_m) e^{-i\alpha\omega} + (-C'_0 + C'_{m-1}) e^{-i2\alpha\omega} + \\ & (D'_1 + D'_{m-1}) e^{-i3\alpha\omega} + \dots + (D'_1 + D'_{m-1}) e^{-i(2m-1)\alpha\omega} + (C'_0 - C'_{m-1}) e^{-i2m\alpha\omega} + \\ & (D'_0 + D'_m) e^{-i(2m+1)\alpha\omega} - C'_m e^{-i(2m+2)\alpha\omega}] / 2, \end{aligned} \quad (11a)$$

根据前面讨论的性质,将 D'_i 满足的关系代入到(11a)中,就可以得到如下的关系:

$$\begin{aligned} D(\omega) = & [C'_m + (-C'_0 + C'_{m-1}) e^{-i2\alpha\omega} + (-C'_1 + C'_{m-2}) e^{-i2\alpha\omega} + \dots + \\ & (-C'_{m-1} + C'_0) e^{-i2m\alpha\omega} - C'_m e^{-i(2m+1)\alpha\omega}] / 2, \end{aligned}$$

其中

$$D_0 = C'_m/2, \quad D_1 = 0, \quad D_2 = (-C'_0 + C'_{m-1})/2, \quad \dots, \quad D_{2m+2} = -C'_m/2.$$

根据 D_j 的系数关系,我们可以知道该图 3(a) 所示的单通偏振干涉滤光片延迟片旋转角度关系:

$$\theta_p = -\theta_1 \pm 90^\circ, \quad \theta_{2m+2} = -\theta_2, \quad \theta_{2m+1} = -\theta_3, \quad \dots$$

如果将检偏器的角度旋转 $\mp 90^\circ$, 那么延迟片堆旋转角度关系就会满足双通偏振干涉滤光片的旋转角度要求。

因此,只要取延迟片堆左半部分并在最后面加上一个反射镜面[如图 3(b)所示],即可实现期望的光谱输出。这种延迟片堆中首片旋转角度为 45° , 厚度为 L , 后面串接偶数块厚度为 $2L$ 延迟片的双通偏振干涉滤光片,我们称其为新型双通偏振干涉滤光片,以区别于前述的等厚度双通偏振干涉滤光片。

4 特性分析

至此,前面提到了三种偏振干涉滤光片,即常规的单通偏振干涉滤光片、双通偏振干涉滤光片和新型双通偏振干涉滤光片,都是基于偏振光的干涉而形成两个方向正交,光谱互补的共路输出,其设计方法是相同的。然而,由于结构上的重大差异,使得这些偏振干涉滤光片的光谱特性有了很大的不同,从而得到所期望的光谱分布。

双通偏振干涉滤光片延迟片可以看成是单通偏振干涉滤光片光路或结构上的折叠,因此延迟片数目可以减少一半。由 n 块等厚度延迟片构成的双通偏振干涉滤光片,其光谱特性与 $2n$ 块延迟片构成的

单通偏振干涉滤光片的输出特性相当。新型双通偏振干涉滤光片是对双通偏振干涉滤光片的进一步改进,是目前为止,在给定延迟片数目下光谱输出最为理想的偏振干涉滤光片。如果用一块旋转角度为 45° , 厚度为 L , 后面串接 m (偶数) 块厚度为 $2L$ 的延迟片堆构成双通偏振干涉滤光片,其光谱特性与 $4m+2$ 块厚度均为 L 的延迟片堆构成的单通偏振干涉滤光片光谱特性相当。

为说明问题,分别设计了由三块延迟片构成的蓝/黄单通、双通和新型双通三种偏振干涉滤光片。图 4 给出了这三种偏振干涉滤光片的光谱分布。其中,图 4 虚线(曲线 1)表示常规的单通偏振干涉滤光片光谱曲线,其过渡带宽达到了 130 nm , 通带带宽也相当窄。若将此单通偏振干涉滤光片应用于投影仪分色系统,尽管蓝色饱和度可以达到要求,但其低效光谱输出势必降低整个光学系统的性能,实不可取。当然可以通过增加延迟片数目来改善光谱输出,通常采用 $5\sim 6$ 块延迟片,但是光学系统尺寸、材料损耗以及对准误差等不利因素又会随之增加,真是得不偿失。如果采用光路折叠的双通偏振干涉滤光片,则输出光谱将得到很大的改善,如图 4 中实线(曲线 2)所示。在延迟片数目不变的情况下,光谱特性得到了质的改善,过渡带宽减小到 90 nm 以下,通带波纹和阻带旁瓣小于 3% 。可以想象,由此双通偏振干涉滤光片构成的分色/合色系统在色度、饱和度以及光学效率方面都应该是令人满意的。

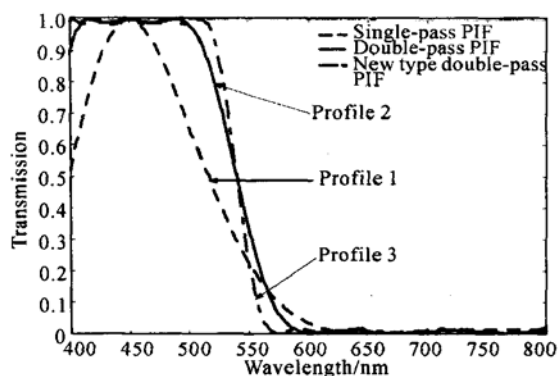


Fig. 4 Comparison of spectral property. 1: single-pass PIF; 2: double pass PIF; 3: new type double pass PIF

在延迟片数目不变的情况下,要进一步改善光谱特性,则必须采用新型偏振干涉滤光片。图4中点划线(曲线3)表示三块延迟片构成的新型偏振干涉滤光片光谱分布,过渡带宽仅为50 nm左右,通带波纹和旁瓣也相当小。根据特性,其光谱特性可与由10块延迟片构成的单通偏振干涉滤光片光谱特性相媲美。因此,要实现高性能的光谱分布,新型双通偏振干涉滤光片是最理想的选择,不仅光谱特性非常好,而且延迟片数目大大降低。将其应用到对分色/合色要求很高的基于硅片的液晶投影光学系统是非常理想,不仅色度、饱和度和光学效率提高,而且整个投影仪的价格和体积也将大大减小,具有非常广阔的市场前景。

以上分析均为正入射下的设计结果,然后,实际的入射光束常有一定的孔径角,为充分利用光能,该光束的孔径往往达到 $F2$ 左右,如果仍利用传统的琼斯矩阵法进行分析,将产生很大的误差。为此,利用扩展 2×2 琼斯矩阵对行将采用的新型双通偏振干涉滤光片角度特性做了进一步分析。图5给出在入射角 θ 分别为 0° 、 5° 、 10° 、 25° 及 40° 分析结果,发现入射角 $\theta = 5^\circ$ 时的光谱曲线和正入射条件下($\theta = 0^\circ$)的光谱曲线几乎是完全重合。即使斜入射角度增大到 $\theta = 10^\circ$,该新型双通偏振干涉滤光片的光谱曲线与正入射光谱曲线差别也很小。只在大角度入射情况下,例如 $\theta = 25^\circ$ 和 $\theta = 40^\circ$,该偏振干涉滤光片光谱特性才逐渐变差。因此,只要在 $-20^\circ \sim +20^\circ$ 入射范围内,本文所设计的新型双通偏振干涉滤光片都可以保证稳定的输出。在实际应用中,只要能保证入射角在 $-10^\circ \sim +10^\circ$ 范围内偏振干涉滤光片光谱变化较小,就能满足宽角度的光学特性。这说明该新型双通偏振干涉滤光片能适应实际的角度变化,具有非常好的角度特性。

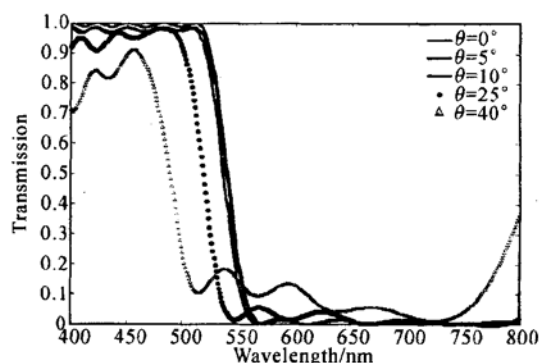


Fig. 5 Spectrum of double pass PIF at different incidence angle θ

结论 通过本文研究,知道了双通偏振干涉滤光片具有延迟片数目少,且光谱特性好等优点。对于普通的双通偏振干涉滤光片,延迟片数目相对于单通偏振干涉滤光片减少了一半,而光谱特性却不会变差。在此基础上,本文提出的新型双通偏振干涉滤光片,进一步减少了延迟片数目并改善了光谱特性。由 n 块延迟片构成的新型双通偏振干涉滤光片的光谱特性与由 $4n+2$ 块单通偏振干涉滤光片的光谱特性相当。这样,整个光学系统结构可以更加紧凑,光学效率可以进一步提高,系统的费用也将大大降低。

考虑到实际应用,一并分析了新型双通偏振干涉滤光片的角度特性。结果表明,新型双通偏振干涉滤光片具有非常好的宽角度特性,即使斜入射角度达到 $\pm 20^\circ$,其输出光谱也不会有很大改变,光谱性能相当稳定。正是由于新型双通偏振干涉滤光片的诸多优点,目前,已开始尝试将其应用于基于硅片的液晶投影的分/合色系统中,并已取得初步成效。通过以上研究,人们有理由确信双通偏振干涉滤光片一定能得到广泛应用。

参 考 文 献

- 1 Harris S E, Ammann E O, Chang I C. Optical network synthesis using birefringent crystals. I. Synthesis of lossless network of equal length crystals. *J. Opt. Soc. Am.*, 1964, **54**(10): 1267~ 1279
- 2 Ammann E O. Optical network synthesis using birefringent crystals. IV. Synthesis of lossless double pass network. *J. Opt. Soc. Am.*, 1966, **56**(7): 952~ 955
- 3 He Yinbo, Xiong Jingyi et al.. Application of Jones Matrix in the design of polarization interference filter. *Acta Photonica Sinica (光子学报)*, 2002, **31**(4): 507~ 512 (in Chinese)
- 4 Ammann E O. Optical network synthesis using birefringent crystals. III. Some general properties of lossless birefringent

networks. *J. Opt. Soc. Am.*, 1966, **56**(7):943~ 951
 5 Yu F H, Kwok H S. Comparison of extended Jones matrices
 for twisted nematic liquid crystal displays at oblique angles of

incidence. *J. Opt. Soc. Am. (A)*, 1999, **16**(11): 2772~
 2780

Research of Double-Pass Polarization Interference Filters

He Yinbo¹ Xiong Jingyi¹ Wu Guozhong² Zheng Wei¹ Zen Guangjie¹
 Yu Feihong¹ Kwok H S³

1 State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation, Optical Engineering Department,
 Zhejiang University, Hangzhou 310027

2 Power Electronics Research Institute, Zhejiang University, Hangzhou 310027

3 Center for Display Research, Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong

(Received 10 September 2001; revised 18 March 2002)

Abstract: On the basis of research of the ordinary double-pass polarization interference filter with identical thickness retarders, the new type double-pass polarization interference filter is deduced in theory. The spectral and angle characteristics of three types of polarization interference filters are analyzed. The result shows that the new type double-pass polarization interference filter has better spectral characteristics in practice can reduce the number of retarders, and is expected to be used extensively in color separation and recombination system of liquid crystal on silicon projector.

Key words: applied optics; double-pass polarization interference filter (PIF); new double-pass polarization interference filter; number of retarders; spectrum property

【编者的话】

本刊加入“万方数据——数字化期刊群”的声明

为了实现科技期刊编辑、出版发行工作的电子化,推进科技信息交流的网络化进程,本刊现已入网“万方数据——数字化期刊群”,所以,向本刊投稿并录用的稿件文章,将一律由编辑部统一纳入“万方数据——数字化期刊群”,进入因特网提供信息服务。凡有不同意见者,请别投它刊。本刊所付稿酬包括刊物内容上网服务报酬,不再另付。

“万方数据——数字化期刊群”是国家“九五”重点科技攻关项目,截止2000年6月已有1500种期刊全文上网(网址: <http://www.chinainfo.gov.cn/periodical>)。本刊全文内容按照统一格式制作编入“万方数据——数字化期刊群”,读者可上因特网进入“万方数据——数字化期刊群”查询浏览本刊内容,也欢迎各界朋友通过“万方数据——数字化期刊群”向我刊提出宝贵意见、建议,或征订本刊。

《光学学报》编辑部

2003年1月