

斜入射消色差相位延迟器的优化设计

王霞^a 魏玉花^b 吴福全^b

(^a中山大学超快速激光光谱学国家重点实验室, 广州, 510275)

(^b曲阜师范大学激光研究所, 曲阜, 273165)

摘要: 探讨了斜入射型的消色差相位延迟器的全内反射角随折射率的变化规律, 从而得出斜入射型的消色差相位延迟器的延迟量受折射率及全内反射角变化的复合影响, 为设计斜入射时的高精度消色差相位延迟器提供了新理论依据。

关键词: 相位延迟 消色差 全内反射

Optimized oblique incidence achromatic phase retarder

Wang Xia^a, Wei Yuhua^a, Wu Fuquan^b

(^a State Key Laboratory of Ultrafast Laser Spectroscopy, Zhongshan University, Guangzhou, 510275)

(^b Laser Institute, Qufu Normal University, Qufu, 273165)

Abstract: The influence of the total internal reflection angle and refractive on the phase retardation is discussed in the paper. Based on this theory, oblique incidence achromatic phase retarder is optimized.

Key words: phase retardation achromatic total internal reflection

引 言

菲涅耳菱体^[1]及其它一些常规相位延迟器有一个共同的特点, 即光线是正入射到入射端面上的, 其内部反射角是确定的, 相位延迟量 δ 只是折射率 $n(\lambda)$ 的函数。但在 70 年代, Shklayarevskii^[2] 等人首次提出了一种不同的设计方案, 即让光线斜入射到器件的入射端面上, 所设计的器件是直角棱镜, 光束只经历一次全内反射, 见图 1。然而, 此器件未得到应用的原因是延迟量太小, 只有 25° 左右, 而且他没有作完善的理论分析, 没有考虑斜入射时, θ 角不再是常量, 而是随着折射率 $n(\lambda)$ 的变化而变化^[3, 4]。对此问题, 下面我们给出较为详细的讨论。

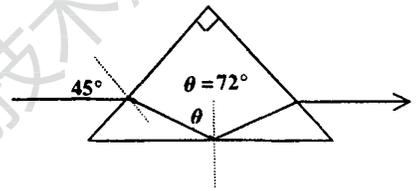


Fig. 1 The original structure of oblique incidence phase retarder

1 斜入射时内反射角随折射率的变化

如果光在界面处是斜入射, 则在入射面内, 当入射光的波长 λ 改变时, 折射角 t 将随折射率的改变而变化, 故全内反射角 θ 不再是常数。当入射角 $i \neq 0$ 时, 器件结构光路有图 2 两种

5 Papayannis A, Ancellet G, Pelon J *et al.* Appl Opt, 1990; 29(4): 467~ 476

* * *

作者简介: 胡顺星, 男, 1966 年 11 月生。博士研究生。现从事激光雷达、大气探测研究。

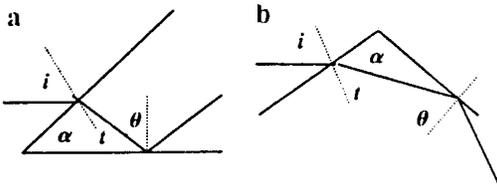


Fig. 2 The structure of oblique-incidence phase retarder
 $a-\theta = \alpha + t$ $b-\theta = \alpha - t$

所以,斜入射时,一次全内反射产生的相位延迟量可表示为如下式的函数关系:

$$\begin{cases} \delta = 2 \tan^{-1} [\cos \theta (n^2 \sin^2 \theta - 1)^{1/2} / n \sin^2 \theta] \\ \delta = f_1(n, \theta), \theta = f_2(n), n = f_3(\lambda) \end{cases} \quad (3)$$

上面讨论了在斜入射的情况下,材料的折射率的变化(或光波长的变化)对全内反射角的影响,下面再进一步分析全内反射角的变化对相位延迟量的影响。

2 斜入射时 θ 的变化对消色差的影响

对于某一给定的光学材料,在所设计的波长折射率为定值,延迟量 δ 是全内反射角 θ 的函数,如图 3 所示。

图 3 给出了 $n = 1.50, 1.60$ 和 1.70 的相位延迟量 δ 与全内反射角 θ 的关系曲线。 θ 随着 n 的变化由方程(1), (2) 给出,它将从不同的方面影响消色差性。

其一是利用图 3 曲线中上升的一段。若采用图 2a 的器件结构形式, θ 随着 n 的增大而减小,这种情况 n 增大导致 δ 增大,

型式所示。图中, α 是器件结构角, t 是折射角,由图 2a 中的角度关系有:

$$\theta = \alpha + t = \alpha + \sin^{-1}(\sin i/n) \quad (1)$$

易知, θ 随着 n 的增大而减小; 由图 2b 中的角度关系有:

$$\theta = \alpha - t = \alpha - \sin^{-1}(\sin i/n) \quad (2)$$

在这种情况下, θ 随着 n 的增大而增大。

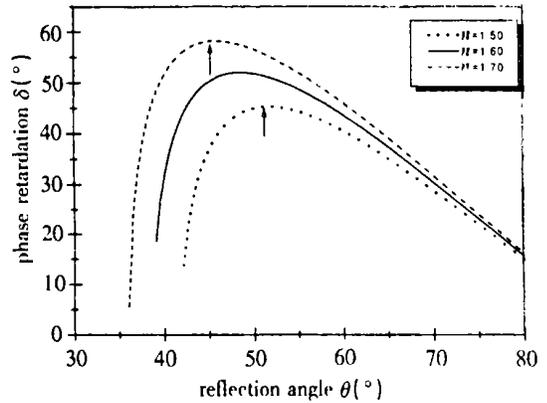


Fig. 3 Retardant δ versus total internal reflection angles θ for refractive index values n

而因 n 变大使得 θ 的减小又将使 δ 减小,两个过程对 δ 的影响相反,按理说应能够提高消色差性,然而,在此上升段, n 的变化直接引起的 δ 变化势陡, θ 的变化(由 n 的变化引起)太弱,很难有合适的光谱范围器件有好的消色差性,因此,制作消色差相位延迟器一般避开 $(\delta-\theta)$ 曲线上升段。其二是利用图 3 曲线下落的一段。可分两种情况讨论。

2.1 若器件采用 $\theta = \alpha + t$ 的结构形式,消色差性降低

若器件采用图 2a 的结构形式,结合方程

(1), 当 n 增大, θ 减小, 则 δ 因 n 变大而变大, 同时又因 θ 减小而变大, 两种变化相叠加, 则延迟量的变化将沿图 4 中 $a'c'e'g'$ 的趋向所示, 消色差性减弱(图中虚线表示的是正入射 $\theta =$ 常数时, δ 随 n 的变化)。

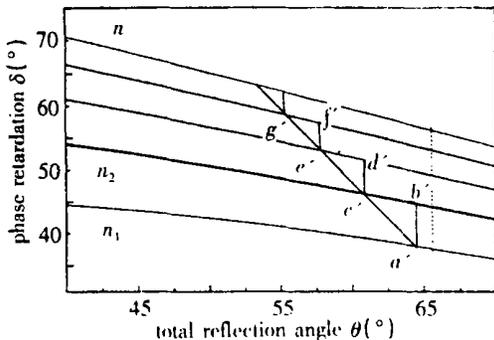


Fig. 4 The sketch of phase retardation trend for the condition of $\theta = \alpha + t$

2.2 器件采用 $\theta = \alpha - t$ 的结构形式, 消色差性提高

器件采用图 2b 的结构形式, 结合方程(2) 可知, θ 随着 n 的增大而增大。相位延迟量 δ 随着 θ 的这种变化将削弱 δ 随 n 的变化, 在此情况下, 选择合适的界面入射角 i , 反射角 θ 及材料, 就能使消色差性改善提高。参见图 5, n 从 n_1 到 n_2 , 将使 δ 从 a 到 b , 同时, 反射角 θ 的增大将使 δ 降低到 c , 这个过程将随 n 的再一次增大而继续, 则延迟量将沿实线 $ac\epsilon g$ 。

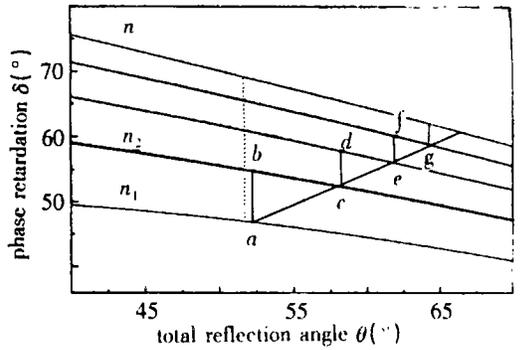


Fig. 5 The sketch of phase retardation trend for the condition of $\theta = \alpha - t$

为分析讨论消色差原理过程, 我们也可由方程(3) 得到:

$$\begin{cases} \Delta \delta = (\partial \delta / \partial n) \Delta n + (\partial \delta / \partial \theta) \Delta \theta \\ \Delta \theta \approx (d\theta / dn) \Delta n \end{cases} \quad (4)$$

$$\Delta \delta / \Delta n = (\partial \delta / \partial n) + (\partial \delta / \partial \theta) (d\theta / dn) \quad (5)$$

因为 $\partial \delta / \partial n$ 总是正的(见图 3), 而 $\partial \delta / \partial \theta$ 在 δ - θ 曲线上升段是正的, 在下降段是负的, 如要求消色差性好, 即令 $\Delta \delta / \Delta n \approx 0$, 则 $d\theta / dn$ 必须在 δ - θ 曲线的上升段是负的($n \uparrow, \theta \downarrow$, 应采用 $\theta = \alpha + t$ 的器件结构型式); 在下降段是正的($n \uparrow, \theta \downarrow$, 采用 $\theta = \alpha - t$ 的器件结构型式)。

3 光矢量方位角的修整

还有一点必须提到的是, 由于光在入射端面上是斜入射的, 根据菲涅耳公式^[5], 光矢分量 p, s 的振幅将有不同的传播系数 t_p, t_s 为:

$$\begin{cases} t_p = 2 \sin t \cos i / \sin(i + t) \cos(i - t) \\ t_s = 2 \sin t \cos i / \sin(i + t) \end{cases} \quad (6)$$

在椭圆测量术中, 必须考虑因斜入射而产生的附加椭圆率。如果延迟器紧跟在起偏器后, 并且要求出射光束是圆偏振的, 则入射偏振光的方位角需作调整, 以使 p 分量与 s 分量透射后强度一致, 设入射偏振光的振幅为 A , 方位角设置为 θ , 则 θ 应满足:

$$\begin{cases} t_p A \sin \theta = t_s A \cos \theta \\ \theta = \arctan(t_s / t_p) \end{cases} \quad (7)$$

这种修正并不影响相位延迟量变化。

参 考 文 献

- 1 李景镇, 苏世学, 赵俊民. 光学手册. 西安: 陕西科学技术出版社, 1986: 562~ 568
- 2 Filinski I, Skettrup T. Appl Opt, 1984; 23: 1024~ 1029
- 3 Nagib N N, El Bahrawy M S, Appl Opt, 1994; 33: 1218~ 1222
- 4 Nagib N N. Appl Opt, 1997; 36: 1547~ 1552
- 5 波恩 M, 沃耳夫 E. 光学原理(上册). 2 版, 北京: 科学出版社, 1985: 58~ 77

* * *

作者简介: 王 霞, 女, 1972 年 11 月出生。博士研究生。主要从事激光技术与器件等方面的研究工作。