

文章编号: 1001-3806(2004)04-0401-03

薄膜偏光分束镜的设计与性能测试

郝殿中, 吴福全, 孔伟金

(曲阜师范大学 激光研究所, 曲阜, 273165)

摘要: 基于 MacNeille 薄膜偏光分束镜的设计原理, 以 LaK_2 (1.64) 玻璃为基底, 采用 ZrO_2 和 SiO_2 为高低膜料进行膜系设计。对制作的棱镜进行测试, 结果表明, 透射 p 光偏振特性优良, 其消光比高达 2.1×10^{-4} , 同时发现其消光比受视场角的影响比较大, 入射角越小其消光比越高。

关键词: 薄膜偏光分束镜; 消光比; 视场角; 光学性能测试

中图分类号: O484.4 **文献标识码:** A

The design and test of thin film polarizing beam splitting prism

HAO Dianzhong, Wu Furuquan, KONG Weijin

(Institute of Laser Research, Qufu Normal University, Qufu 273165, China)

Abstract: The thin film polarizing beam splitting prism is designed based on MacNeille type by using LaK_2 substrate and ZrO_2 , SiO_2 thin film material. The test show that the prism has excellent polarizing character, the splitting character is good at the range of 550nm~750nm, the extinction ratio is 2.1×10^{-4} , the extinction ratio turns big when the incident angle change small.

Key words: thin film polarizing beam splitting prism; extinction ratio; incident angle; the test of optic character

引 言

在现代光学测试和光学应用中, 偏振光作为信息的载体得到了广泛的应用, 常用的起偏器件和检偏器件是利用晶体的双折射特性设计而成^[1,2], 但由于通常使用的冰洲石晶体是一种天然晶体, 透明无色, 纯净的晶体很少, 且不易得到大块, 所以, 晶体起偏镜不容易做成大口径。另外, 加工工艺复杂。薄膜偏振分光镜是基于薄膜内光的干涉作用和布氏角的特点研制而成^[3,4]。其优点是: 口径大、损耗低、系统设计灵活, 因此, 广泛应用于光学仪器、激光技术、光电显示和光学存储等领域。

薄膜偏光分束镜的性能主要由带宽、视场角、透射比和消光比等指标来描述^[5]。应用于液晶显示的薄膜偏光分束镜其消光比对成像的对比度和色彩亮度有很大影响, 因此, 研制高消光比的薄膜偏光分束镜有重要的应用价值。基于 MacNeille 的设计原理, 通过优化基底和膜料的组合, 镀制了高消光比薄膜

偏光分束镜, 并对其性能进行了实验测试。

1 薄膜偏光分束镜的基本原理

薄膜偏光分束棱镜的基本结构和分光光路见图 1, 它是在光学玻璃棱镜的体对角面上镀制多层介质膜, 再将两块棱镜的分光面胶合起来, 并在通光面上镀制增透膜, 以降低光通过棱镜时的反射损耗。

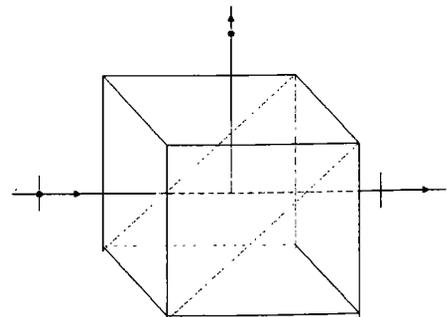


Fig. 1 The structure of the prism and beam path

其基本原理是: 对于折射率不同的两种材料的交界面, 总可以找到一个入射角, 使之满足布儒斯特角条件, 在这样一个条件下, 激光由棱镜左侧入射后, 在右侧透射的光为 p 分量光, 在侧面反射的光为 s 分量光^[5~7]。偏光分束镜的膜系设计要求 p 光全透过, 而 s 光全部反射, 为满足这个要求, 就必须选择折射率满足一定的关系的膜料和基底材料。

作者简介: 郝殿中(1963-), 男, 讲师, 现从事薄膜光学及光电测试方面的研究。

E-mail: dzhhao@eyou.com

收稿日期: 2003-07-15; 收到修改稿日期: 2003-09-11

由菲涅耳原理可知:对于折射率为 n_h 和 n_l 的两种材料和基底折射率 n_0 以及膜层和玻璃基底之间的入射角 θ_0 ,这4个量要满足如下关系:

$$n_0 \sin \theta_0 = n_h n_l / (n_h^2 + n_l^2)^{1/2} \quad (1)$$

对于垂直于入射面方向的振动,各个层中的光学导纳是不同的;由于相临两层导纳的跃变,因此, s 分量的光存在反射。将膜系设计成 $\lambda/4$ 形式,选择适当的膜厚(s 分量的反射率随层数的增加而增加),使 s 分量的反射光相长干涉,在具有适当的层数后,入射光束的 s 分量基本上被反射。

2 膜系的设计和样品的镀制

根据薄膜的光学特性和膜系的设计原理,在制作薄膜偏光分束镜的过程中选用了 ZrO_2 和 SiO_2 两种膜料,以 LaK_2 为基底恰好满足(1)式。利用 Auto-film 膜系设计软件进行优化设计,给出优化后的膜系为 $G/0.5HL(HL)^{13}H0.5LH/G$ 。其中 G 表示基底玻璃的折射率 1.64, H 表示 ZrO_2 的折射率 1.92, L 表示 SiO_2 的折射率 1.46。优化后 p 光和 s 光的透射比随波长变化的理论曲线如图 2 所示,可以看出:其性能是非常优良的,在中心波长处的消光比很高,设计时所使用的控制波长为 880nm。

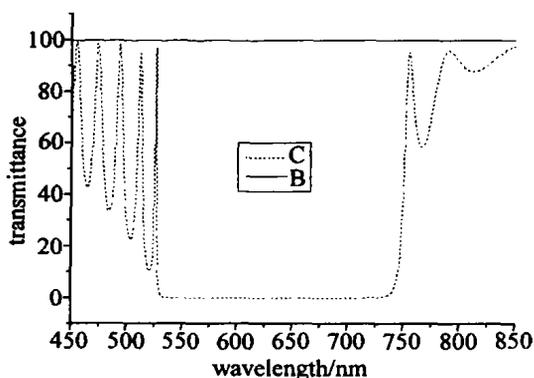


Fig. 2 The splitting character of $G/0.5HL(HL)^{13}H0.5LH/G$

在实际镀制过程中采用高级次镀制的方法,即用 440nm 的两个 $\lambda/4$ 极值来控制 880nm 的 $\lambda/4$ 极值,这是为了避免直接用 880nm(红外光)来控制膜厚有较大的误差^[9,10]。薄膜的镀制是在南光产 ZZS630 真空镀膜机上完成的,该机采用油扩散泵,

Table 1 The deposition parameters of polarizing prism

vacuum / Pa	index temperature / °C	the power of E-beam gun / mA	reference wavelength / nm
2.5×10^{-3}	200	50(SiO_2) 100(ZrO_2)	440

反射光和透射光两种控制方式,实验中采用透射光方式。其实验条件见表 1。

3 样品棱镜的性能测试与分析

薄膜偏光分束镜的性能由透射比、消光比和带宽以及视场角等指标来标定。由于该棱镜是基于 MacNeille 的设计,其视场角非常小,在 $\pm 1^\circ$ 范围内。本文中搭建了 3 个实验系统对样品的偏振性能、透射比以及棱镜的消光比等进行了测试,并对测试结果给出了相应的分析。

3.1 偏振特性的测试

利用偏振分析系统搭建的测试光路如图 3 所示。所使用的激光器为氦氖激光器(633nm),样品为中心波长在 633nm 附近的薄膜偏光分束镜,检偏器为格兰-汤姆逊棱镜(对入射角不敏感,其消光比在 10^{-6} 左右),探测器探测到的信号输入计算机。检偏器装在步进马达的旋转支架上,检偏器在马达的驱动下可以绕光线轴旋转。

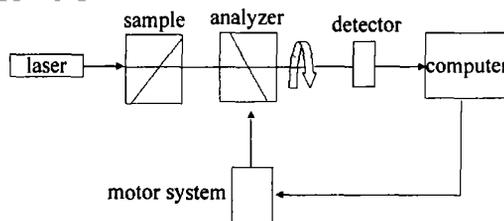


Fig. 3 The polarizing character test system

首先调整检偏器使通过它的光强信号最小,然后使步进马达开始旋转。棱镜旋转 1 周得到的相对光强变化曲线如图 4 所示。由图可以看出:该样品在检偏器旋转 360° 的情况下,其曲线完全遵守马吕斯定律,且最小光强基本为 0;两个光强峰值对称,这说明样品棱镜的起偏振性能非常优良。

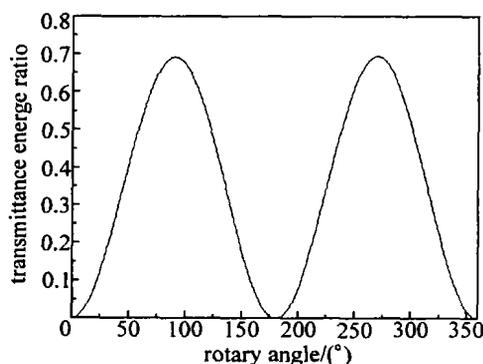


Fig. 4 The polarizing graph of the sample

3.2 透射光谱特性分析

薄膜偏光分束镜的透射比在光学技术应用中有重要的意义,理想的偏光器件应该有接近 100% 的

透射,为此,作者设计了以下实验对样品的透射比进行测量。在实验中,主要设备为 Agilent 8453 紫外-可见分光光度计,采用双光路形式。实验前在光路中放入格兰-泰勒棱镜,调整棱镜的方位角,使其透射光为垂直于地面的偏振光。先扫描基线,然后在格兰-泰勒棱镜后面放入样品,调整样品使入射的偏振光完全为样品中的 p 光,探测到的数据为 p 偏振光的透射比;这时旋转格兰-泰勒棱镜 90° ,使透射光为平行于地面的 s 偏振光,探测到的数据为样品 s 偏振光透射比。

建立的系统和测试到透射比曲线分别如图 5 和图 6 所示:其中 B 和 C 分别表示 p 光和 s 光的透射曲线透射。由图可以看出:所设计制作的薄膜偏光分束镜有 200nm 的带宽,理论曲线和实际测试曲线基本吻合。其透射比在 630nm 偏低的原因是在该区间膜料折射率不匹配的原因所致。

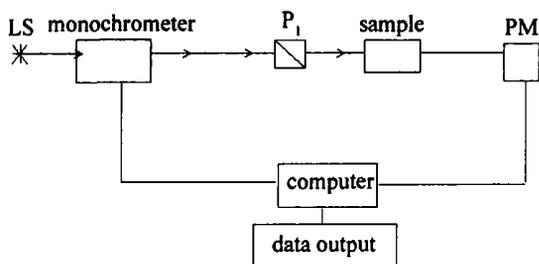


Fig. 5 The setup of test system

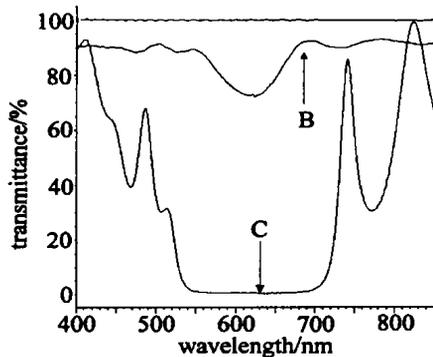


Fig. 6 The splitting graph of the sample

3.3 样品消光比的测试

在光盘存储技术中,出射光束的偏振度对整个系统的灵敏度和信噪比有很大的影响。而在大型液晶显示系统中,薄膜偏光分束镜的消光比则影响显示系统的对比度、亮度和色彩的分辨等^[11]。因此,消光比是薄膜偏光分束镜的一个重要参数。

棱镜的消光比 ρ 一般定义为透射光束中 s 分量 T_s 和 p 分量 T_p 的比值,即:

$$\rho = T_s / T_p \quad (2)$$

由于所关心的是透射 p 光的消光比,为此搭建了如

图 7 所示的系统来测量薄膜偏光分束镜透射光束的消光比。其中 A,B,C,D,E,F 和 G 分别为 He-Ne 激光器,1/4 波片,薄膜偏光分束镜样品,格兰-泰勒棱镜,衰减片组,光电倍增管和高压电源及显示器。

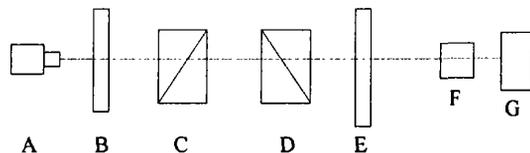


Fig. 7 The test system of extinction ratio

由于 He-Ne 激光器发出的光具有部分偏振特性且不稳定,为了使探测到的光强信号稳定,在 He-Ne 激光器后面加了 1/4 波片,以改善光束的稳定性^[12]。样品透射的 p 光经格兰-泰勒检偏镜调制(偏振面旋转)后其光强在 360° 范围内出现两次光强极大值 (T_p) 和两次极小值 (T_s),然后由 (2) 式即可计算出透射 p 光的消光比。另外,在光强极大时,可在光路中插入经中国计量科学院对 633nm 定标的标准衰减片,以防止探测器的饱和以及探测器的非线性对测量精度的影响。

利用多次测量取平均的方法,测得两只样品透射光的消光比分别为 2.1×10^{-4} 和 2.5×10^{-4} 。

3.4 样品消光比对入射角的变化关系

由于 MacNeille 设计其 s 光和 p 光的偏振特性在膜层面上是 45° 入射的,当入射角改变时,其分光特性和消光比都要受到影响。为此,在图 7 的实验系统中放样品的平台上加入一个测角仪,对样品透射光束随入射角的变化关系进行了测试,其结果如图 8 所示,图中横坐标轴表示的角度为入射光与棱镜体对角线的夹角(设为 θ)。

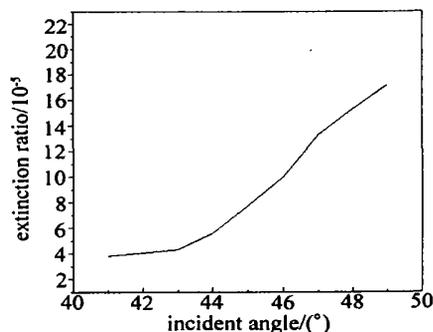


Fig. 8 The extinction ratio change with incident angle

由测试结果可以看出:入射角 θ 对薄膜偏光分束镜的透射光的消光比有一定的影响,入射角向角度小的方向变化时其消光比呈变优趋势,入射角向角度大的方向变化时其消光比变差。

(下转第 423 页)

渊散射强度和角度分布的理论上的分析和探讨,有待于实验验证。

4 结论

(1)对于准弹性散射布里渊散射过程,用经典的电磁场理论描述和用量子电动力学理论描述结论一致。原因在于量子电动力学理论描述的经典极限就是电磁场理论描述,实际海水中的布里渊散射实质上可以用经典的电磁场理论描述。(2)激光在水体中的布里渊散射强度角分布表现为:前向散射和后向散射对称且远大于侧向散射,较瑞利散射而言有较弱的角度选择性。

参考文献

- [1] LEONARD D A, CAPUTO B, HOGE F E. Remote sensing of subsurface water temperature by Raman scattering [J]. Appl Opt, 1979, 18 (11): 1732~1745.
- [2] COLLINS D J, BELL J A, ZANONI R *et al.* Recent progress in the measurement of temperature and salinity by optical scattering [J]. SPIE, 1984, 489: 247~258.
- [3] HIRSCHBERG J G, BYRNE J D, WOUTERS A W *et al.* Speed of sound and temperature in the ocean by Brillouin scattering [J]. Appl Opt, 1984, 23 (15): 2624~2628.
- [4] HICKMAN G D, HARDING J M, KATTAWAR G W *et al.* Aircraft laser sensing of sound velocity in water: Brillouin scattering [J]. Sensing of Sound Velocity in Water, 1991, 36: 165~177.
- [5] LEONARD D A, SWEENEY H E. Remote sensing of ocean physical properties: a comparison of Raman and Brillouin techniques [J]. SPIE, 1988, 925: 407~414.
- [6] HIRSCHBERG J G, BYRNE J D. Rapid underwater ocean measurements using Brillouin scattering [J]. SPIE, 1984, 489: 270~273.
- [7] FRY E S, EMERY Y. Accuracy limitations on Brillouin lidar measurements of temperature and sound speed in the ocean [J]. Appl Opt, 1997, 36 (27): 6887~6894.
- [8] 虞福春, 郑春开. 电动力学 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1991. 351~356.
- [9] 郭硕鸿. 电动力学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1978. 328~331.
- [10] 余寿绵. 高等量子力学 [M]. 济南: 山东科技出版社, 1985. 418~422.
- [11] MARMIER P, SHELDON E. Physics of nuclei and particles [M]. New York: Academic Press, 1969. 106~108.
- [12] 郎道, 栗弗席兹. 连续媒介电动力学 [M]. 北京: 人民教育出版社, 1963. 526~547.
- [13] 程光煦. 喇曼-布里渊散射——原理及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2001. 580~585.
- [1] LEONARD D A, CAPUTO B, HOGE F E. Remote sensing of subsurface water temperature by Raman scattering [J]. Appl Opt, 1979, 18 (11): 1732~1745.
- [2] COLLINS D J, BELL J A, ZANONI R *et al.* Recent progress in the measurement of temperature and salinity by optical scattering [J]. SPIE, 1984, 489: 247~258.
- [3] HIRSCHBERG J G, BYRNE J D, WOUTERS A W *et al.* Speed of sound and temperature in the ocean by Brillouin scattering [J]. Appl Opt, 1984, 23 (15): 2624~2628.
- [4] HICKMAN G D, HARDING J M, KATTAWAR G W *et al.* Aircraft laser sensing of sound velocity in water: Brillouin scattering [J]. Sensing of Sound Velocity in Water, 1991, 36: 165~177.
- [5] LEONARD D A, SWEENEY H E. Remote sensing of ocean physical properties: a comparison of Raman and Brillouin techniques [J]. SPIE, 1988, 925: 407~414.
- [6] HIRSCHBERG J G, BYRNE J D. Rapid underwater ocean measurements using Brillouin scattering [J]. SPIE, 1984, 489: 270~273.
- [7] FRY E S, EMERY Y. Accuracy limitations on Brillouin lidar measurements of temperature and sound speed in the ocean [J]. Appl Opt, 1997, 36 (27): 6887~6894.
- [8] 虞福春, 郑春开. 电动力学 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1991. 351~356.
- [9] 郭硕鸿. 电动力学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1978. 328~331.
- [10] 余寿绵. 高等量子力学 [M]. 济南: 山东科技出版社, 1985. 418~422.
- [11] MARMIER P, SHELDON E. Physics of nuclei and particles [M]. New York: Academic Press, 1969. 106~108.
- [12] 郎道, 栗弗席兹. 连续媒介电动力学 [M]. 北京: 人民教育出版社, 1963. 526~547.
- [13] 程光煦. 喇曼-布里渊散射——原理及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2001. 580~585.

(上接第403页)

4 结论

基于 MacNeille 薄膜偏光分束镜的设计原理,利用 TFCalc 软件对 LaK₂(1.64) 玻璃为基底, ZrO₂ 和 SiO₂ 为高低膜料进行膜系设计;根据优化设计方案在南光产 ZZS630 真空镀膜机上进行了镀制。最后对样品的偏振特性、*p* 光和 *s* 光的光谱特性、*p* 光的消光比以及消光比随入射角的变化关系等性能进行了测试。测试结果表明,薄膜偏光分束镜的偏振特性优良;*p* 光和 *s* 光在 550nm~750nm 范围内有较好分光特性;透射 *p* 光的消光比高达 2.1×10^{-4} ;同时发现入射角向角度小的方向变化时其消光比呈变优趋势。

参考文献

- [1] 李景镇, 苏世学, 赵俊民 *et al.* 光学手册 [M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1985. 500~502.
- [2] 金国藩, 李景镇. 激光测量学 [M]. 北京: 科学出版社, 1998. 221

- [3] MAcNEILLE S M. Beam splitter [P]. U S Patent: 2403731, 1946-06-06.
- [4] BUCHMAN W W. Singles wavelength thin-film polarizers [J]. J O S A, 1997, 61: 1604~1606.
- [5] 胡海洋, 范正修. 大尺寸宽带偏振薄膜的制备与测试 [J]. 中国激光, 2000, A27(2): 117~122.
- [6] 顾培夫. 一种棱镜分光膜的设计和制备 [J]. 光学技术, 1981 (4): 17~20.
- [7] 何孟权, 郑颖君. 激光偏振分光镜的设计和测试 [J]. 光学技术, 1983 (6): 21~26.
- [8] 强西林, 高明. 棱镜偏振分光膜研究 [J]. 西安工业学院报, 2000, 20(2): 106~109.
- [9] 吴自勤, 王兵. 薄膜生长 [M]. 北京: 科学出版社, 2001. 188~213.
- [10] 田民波, 刘德令. 薄膜科学与技术手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1991. 263~380.
- [11] LI H F, HUANG H C. Broadband, large acceptance angle polarizing beam splitter for reflective LCD projectors [J]. Proc SPIE, 2000, 3954: 186~196.
- [12] 王召兵, 李国华, 陆书龙 *et al.* 高消光比自动测试系统的研究 [J]. 中国激光, 2000, A27(5): 415~417.