

文章编号: 1001-3806(2005)01-0072-02

空气隙偏光镜空气层厚度的优化设计

马建玲¹, 李国华²

(1. 泰山学院 物理系, 泰安 271021; 2 曲阜师范大学 激光研究所, 曲阜 273165)

摘要: 棱镜偏光镜的空气隙对其透射比同样具有影响, 对空气隙的厚度进行优化设计对提高棱镜的透射比很具实际意义。以格兰-泰勒棱镜为例, 利用菲涅耳公式和多光束干涉理论, 给出空气隙棱镜 e 光透射比的计算公式, 分析了 e 光透射比随其空气隙厚度的变化规律, 提出了为提高透射比棱镜空气隙厚度的最佳取值, 从而实现棱镜的优化设计。

关键词: 偏光镜; 透射比; 空气隙; 多光束干涉

中图分类号: O734 文献标识码: A

Optimum thickness of air gap of air-spaced polarizing prism

MA Jian-ling¹, LI Guo-hua²

(Department of Physics Taishan University Taian 271021, China 2 Institute of Laser Research, Qufu Normal University Qufu 273165 China)

Abstract The air gap of polarization prism is influential to the transmissivity of this type of polarizer. Optimized design of the thickness of air gap is very useful to improve e-ray transmissivity in polarization prism. By means of the Glan-Taylor prism, based on the theory of Fresnel formula and multiple-beam interference, the calculation formula of e-ray transmissivity in air-spaced prism is put forward. The law of the e-ray transmissivity varying with the air gap thickness is analyzed so that the optimum air gap thickness can be obtained to design an optimum polarizing prism.

Key words polarizing prism; transmissivity; air gap; multiple-beam interference

引 言

格兰-泰勒棱镜是最具代表性的空气隙偏光镜, 这类偏光镜因具有高抗光损伤能力, 在激光偏光技术中被广泛采用, 其结构特点是偏光棱镜的两半块棱镜之间用空气隙替代光学胶层。空气隙偏光镜的两种典型设计是: 格兰-付科棱镜的结构特点是光轴与切面平行。另一类设计是格兰-泰勒棱镜, 其结构特点是: 光轴与切面法线共面。就其设计形式而言, 格兰-泰勒型结构虽然只是光轴方向相对切割转动了 90°, 却使得透光性能大大改善, 所以, 当今激光偏光技术中应用最普遍的是格兰-泰勒棱镜。透射比是偏光镜的一个非常重要的光学技术参数, 空气隙结构替代光学胶结构, 这种折射率的相对变化, 必然影响到棱镜的透射比, 本文中以格兰-泰勒棱镜为例, 从菲涅耳公式和多光束干涉理论出发, 给出了(不考虑棱镜材料的吸收作用)偏光棱镜对 e 光的透射比与空气隙厚度的关系式^[1], 并利用计算机作图给出了格兰-泰勒的透射比随空气隙厚度的变化曲线。从而为确定空气隙厚度的合理取

值, 实现棱镜的优化设计提供可靠的理论指导。

1 e光透射比分析

为方便起见, 首先设: (1) 入射光为纯单色自然光; (2) 光正入射于棱镜; (3) 研究限定在冰洲石晶体无吸收的光谱范围。

格兰-泰勒棱镜的结构光路如图 1 所示, 偏光镜

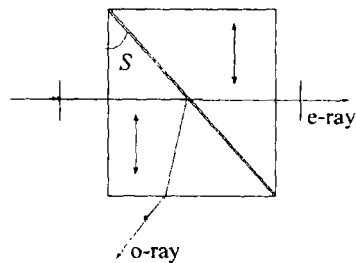


Fig 1 Configuration and ray path of a Glan-Taylor prism

是由两半晶体棱镜组成, 图中双箭头表示晶体光轴方向, S 是棱镜的结构角, 两个晶体的结合面间留有空气隙。自然光垂直棱镜前通光面入射, o 光在空气隙界面被全反射, e 光透过空气隙垂直于后端面出射。由于空气隙膜层极薄, e 光将在空气隙两表面上发生振荡反射, 从而产生多光束干涉, 见图 2。根据菲涅耳公式和多光束干涉理论知 e 光在前后端面的透射比为^[2]:

$$T_1 = T_2 = 4n_e / (1 + n_e)^2 \quad (1)$$

式中, n_e 为冰洲石晶体中 e 光的主折射率; e 光在空气

作者简介: 马建玲 (1966-), 女, 副教授, 主要从事基础物理等方面的教学与研究工作。

E-mail: mjb78@sohu.com

收稿日期: 2003-12-29; 收到修改稿日期: 2004-03-15

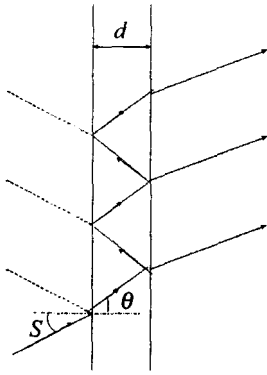


Fig 2 The reflection and refraction of light in the air gap
隙处的透射比为^[3]:

$$T_3 = \frac{(1 - \rho)^2}{(1 - \rho)^2 + 4\rho \sin^2 \frac{2\pi d \cos \theta}{\lambda}} \quad (2)$$

式中, ρ 为 e 光线以 S 角斜入射到冰洲石晶体、空气界面上的反射比; d 为空气隙厚度; λ 为真空中的光波长; θ 为 e 光线在空气隙内的折射角, 且 $\theta = \sin^{-1}(n_e \sin S)$ 。在 ρ 较小的情况下, 因为透射光束的光强以 ρ^2 的比值按等比数列递减, 所以空气隙内的多次反射可忽略不计, 干涉可近似看作双光束干涉^[4], 于是 (2) 式可近似写为^[3]:

$$T_3 \approx (1 - \rho)^2 \left[1 + \rho^2 + 2\rho \cos \frac{4\pi d \cos \theta}{\lambda} \right] \quad (3)$$

由 (1) 式 ~ (3) 式可知, 空气隙棱镜对出射 e 光的透射比为:

$$T_e = T_1 T_2 T_3 = \frac{16n_e^2}{(1 + n_e)^4} (1 - \rho)^2 \times \left[1 + \rho^2 + 2\rho \cos \frac{4\pi d \cos \theta}{\lambda} \right] \quad (4)$$

式中, 当 $\rho = r_p^2 = \left[\frac{n_e \cos \theta - \cos S}{n_e \cos \theta + \cos S} \right]^2$ 时, T_e 为格兰-泰勒棱镜的 e 光透射比;

同理: 当 (4) 式中 $\rho = r_s^2 = \left[\frac{n_e \cos S - \cos \theta}{n_e \cos S + \cos \theta} \right]^2$ 时, T_e

为格兰-付科棱镜的 e 光透射比。

2 计算实例与讨论

根据以上的理论分析, 利用计算机作图给出了结构角 S 为 38.83° , 38.78° 、空气隙厚度 d 为 $15\mu\text{m}$, $24\mu\text{m}$ 、 $n_e = 1.485$ 、 $\lambda = 632.8\text{nm}$ 的两只格兰-泰勒棱镜的透射比随其空气隙厚度变化的关系曲线, 见图 3, 其中实线表示结构角为 38.83° 棱镜的透射比随空气隙厚度变化的分布, 虚线表示结构角为 38.78° 棱镜的透射比随空气隙厚度变化的分布。

从图 3 看出, 格兰-泰勒棱镜的空气隙厚度只与透射比 T_e 有关, 透射比 T_e 随空气隙厚度 d 按余弦规律

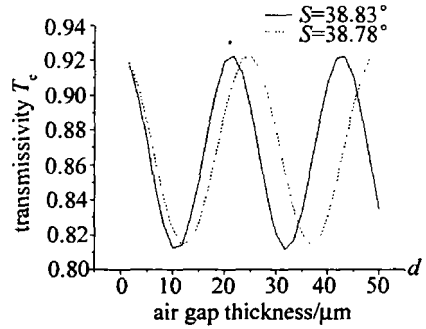


Fig 3 Curve about transmissivity and air gap thickness

变化, 由此可知, d 对偏光镜的透射比是有影响的, 恰当选择 d 的厚度, 可以使偏光镜的透射比 T_e 达到最佳值。因此, 通常制作棱镜时, 应选取一定厚度的垫层以保证一定的空气隙厚度。另外, 利用图 3 不但可以从透射比的优化来确定棱镜的最佳空气隙厚度, 而且还可采集并预测棱镜在一定空气隙厚度区间的透射比, 从而为优化棱镜设计提供理论指导。

任取两只结构角 S 分别为 38.83° , 38.78° 的格兰-泰勒棱镜, 用由中国科学院对 632.8nm 定标的 LM-5 型激光功率计对其透射比进行了测量, 对所测量的两只棱镜的结构角 S 均经过精确测量 (测角仪的可读精度为 $1'$), 其透射比分别为 84% , 87% 。图 3 中透射比随空气隙厚度变化的关系曲线均根据实测的 S 值计算。则理论计算 (或从图 3 中查出) 两只棱镜的透射比分别为 85% , 89% 。被测试的棱镜所用的垫层是固定厚度的夹层, 分别为 $15\mu\text{m}$ 和 $24\mu\text{m}$ 。其空气隙厚度没有采用文中所述的最佳值, 这里仅以此作为文中结论的佐证, 可以看出, 除去实验误差及制作因素的影响, 两只棱镜的透射比的实测值 (对 632.8nm) 与理论计算值之差小于 2% , 故可认为理论数据与测量数据相符得比较好, 这说明关于格兰-泰勒棱镜透射比的理论分析和计算过程是正确的, 采用这种方法可以实现格兰-泰勒起偏棱镜的透射比优化。

3 结论

综上所述, 空气隙棱镜的空气隙厚度对其透射比有一定的影响, 所以, 在制作棱镜时, 在一定的使用波谱范围内, 恰当选择空气隙的厚度, 对改善棱镜的透射比是有意义的。

参考文献

- [1] 高宏刚, 裴庆魁. Glan-Taylor 偏光镜的设计 [J]. 激光技术, 1994, 18(3): 185~189.
- [2] 波恩 M, 沃耳夫 E. 光学原理 (上册) [M]. 北京: 科学出版社, 1985: 61~66.
- [3] 波恩 M, 沃耳夫 E. 光学原理 (上册) [M]. 北京: 科学出版社, 1985: 421~429.
- [4] 祁胜文, 张春平, 张连顺 *et al*. 多光束点光源干涉的研究 [J]. 南开大学学报, 2002, 35(4): 60~65.