

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0497-03

波长 1550 nm 水晶波片增透膜

宋永香 李庆国 王英剑 张 蕾 王 靖

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

提要 水晶波片是一种双折射率的晶片,因此,在镀制增透膜时,不但要考虑其双折射率的增透效果,而且需满足晶体 o 光及 e 光的位相角延迟问题。从优化膜系设计,选择膜料,改变工艺来镀制增透膜,目前已基本满足水晶波片的使用要求,并形成小批量生产。

关键词 水晶波片, 增透膜, 位相延时角

中图分类号 O484.1 **文献标识码** A

The Anti-Reflection Films Coated on Quartz Plates at 1550 nm

SONG Yong-xiang LI Qing-guo WANG Ying-jian ZHANG Lei WANG Jing

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

Abstract Considering the birefringence character, an anti-reflection films coated on quartz plates were prepared by changing the coating technique, such as optimizing thin film design, selecting coating material etc.

Key words quartz plate, anti-reflection thin film, phase retarder

1 引 言

随着 20 世纪 90 年代后期因特网的蓬勃发展,对通信容量及传输速率提出无止境的要求,造就了 DWDM 系统的极大成功。光纤通讯器件跟电子器件初期发展一样,是从分立元件开始,元件的两面一般是要镀膜的,这些元件的薄膜种类很多,本文介绍的水晶波片增透膜就是其中之一。为使此元件在流水线作业上安装及校正的方便、可靠,要求镀制好增透膜的波片不仅有良好的光学性能,即满足波长

1530 nm~1570 nm 波段处的剩余反射率小于千分之二,而且要求镀好的波片 o 光和 e 光的位相角差的正负误差范围控制在一定的界限内。

2 水晶波片的性能

水晶波片是由六种单形晶面通过对称要素互相关联起来的平行平板,其表面与光轴平行。从红外到紫外的波段都有良好的透过率,它的一些基本物理性能如表 1^[1]。

表 1 石英的物理性能

Table 1. The physical properties of quartz

Density /g/cm ³	2.65
Elastic modulus /10 ⁶ P _S	14.1//c 11.1⊥c
Transmission range /μm	0.147~4.5
Melting point /℃	<1470
Thermal conductivity (10 ⁻⁴ cal·cm ⁻¹ ·s ⁻¹ ·℃ ⁻¹)	255//c 148⊥c
Thermal expansion (10 ⁻⁶ ·℃ ⁻¹)	7.97//c 13.37⊥c
Index of refraction (1550 nm)	N _o =1.52781 N _e =1.53630
Specific heat (cal/g·℃)	0.188
Solubility (g/100g H ₂ O)	0

从表 1 可以看出,水晶波片在光轴两个方向上的热膨胀系数差别较大,随着温度的升高, X 轴方

向的伸展比 Z 轴方向要大,使 Si-O 四面体结晶方位和结晶形态也有所改变,可能导致各族晶面方位的

相对位移。导热性也是具有各向异性, Z 轴方向导热系数比垂直于 Z 轴方向有明显增加, 它与膨胀系数正好相反, 随着温度的增加而下降。因此, 温度因素对水晶波片的影响较大, 同时, 水晶波片属于三方晶系, 它的应力与应变的关系也较为复杂。

3 膜系的设计及膜料的选择

虽然水晶波片具有 N_o 和 N_e 二个折射率, 但它们非常的接近, 在设计膜系的时候, 可以把基底的 N_s 近似为 $(N_o + N_e)/2$, 即 $N_s = 1.5335$ 。一般的单层增透膜受膜料的限制, 即膜料的折射率为基板和入射媒质折射率相乘积的平方根, 很难找到合适的膜料, 因此, 需选择双层或多层增透膜, 取它们的等效折射率, 而简单的两层增透膜, 只在一个波长处具有零反射率, 且低反射区是有限的。三层或四层膜系, 虽然理论的增透效果很好, 但由于实际操作时, 增透效果受膜料的折射率及控制精度的影响较大, 而且作为批量生产太复杂, 考虑到工艺的简化及可能, 我们选用了非四分之一双层膜系 $G[H/3.2L]A$, 此膜系不仅能保持足够的带宽, 同时, 也能满足理论的增透效果^[2]。

根据计算, 当高折射率 $N_h = 2.0$ 、低折射率 $N_L = 1.46$ 时, 增透效果最好。我们分别用 TiO_2 , HfO_2 , ZrO_2 , Ta_2O_5 等多种膜料, 通过改变烘烤温度、控制氧分压及蒸发速率等工艺条件, 尽量使高折射率膜料的折射率接近 2, 经过多次试验后, 发现 TiO_2 由于膜料本身的吸收问题, 增透效果一值不佳, 而 HfO_2 , ZrO_2 虽满足了光学性能, 但片的位相角变化, 最后选用了 Ta_2O_5 作为高折射率材料。

4 镀膜工艺及测量

镀膜机型号为 ZZSX-500, 采用电子枪蒸镀 (270° 偏转), 膜厚控制采用极值法光学监控, 工艺条件为: 镀制前基板温度加热到 $250^\circ C$; 充入高纯氧 (99.99%), 对 Ta_2O_5 和 SiO_2 氧分压分别为 3.0×10^{-2} Pa 和 1.4×10^{-2} Pa; 淀积速率: Ta_2O_5 为 0.1 nm/s, SiO_2 为 $0.3 \sim 0.5$ nm/s。膜厚控制采用透射法, 用短波控制长波, 以解决较长波长的控制问题。

薄膜透过曲线的测量是用美国 PEKIN-ELMER 公司制造的 Lambda-900UV/UIS/NIR 光谱测量仪。图 1 是双面增透膜的透过曲线。由图可见镀制的双面增透的水晶波片在波长 $1530 \sim 1570$

nm 范围内透过率在 99.7% 以上, 满足了波片的光学性能。

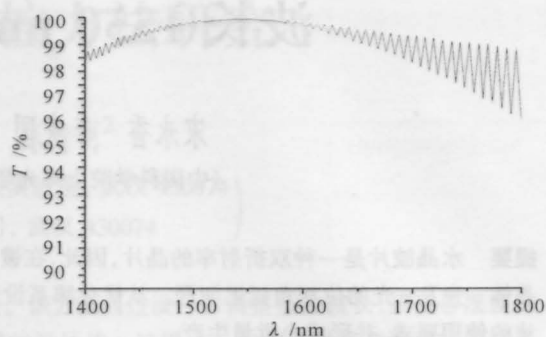


图 1 双面增透膜透过曲线

Fig. 1 The transmission curve of anti-reflection films coated on quartz plate

5 位相角的测试及分析

由于水晶波片是双折射晶体, 主要用作位相延时片。在实际使用时, 不但要考虑波片的光学性能好不好, 还需考虑位相角延时的问题。位相延时是指当一束平行光正入射到波晶片时, 分解成的 o 光和 e 光传播方向虽然不变, 由于折射率 N_o , N_e 的不同, 导致它们在波晶片内的传播速度 V_o , V_e 不同。

设晶片的厚度为 d , 则 o 光, e 光同一时刻两束光在出射界面上的位相比入射界面上分别落后

$$\delta_o = -2\pi N_o d / \lambda, \quad \delta_e = -2\pi N_e d / \lambda$$

两束光通过波晶片后, o 光的位相相对于 e 光多延时了

$$\Delta = \delta_o - \delta_e = 2\pi(N_o - N_e)d / \lambda$$

Δ 与 $(N_o - N_e)$, d 成正比, 与波长成反比, 因为折射率差值是固定的, 适当地选择厚度 d , 能够使两束光之间产生任意数值的相对位相延时 Δ 。

在镀制增透膜时, 位相延时角的测量不尽如人意。同一批波片, 在相同的条件下会有不同的结果。表 2 是对 10 片波片的相位延时角的测量。结果只有 3 片符合条件, 5 片三个点符合, 另外 2 片不符合要求。这样的结果重复了数次, 我们认为位相角延时主要跟镀膜后晶片的厚度有细微的变化及晶体的光轴变形有关。对于第一个因素, 可以认为是薄膜的厚度误差引起的, 因为在实际控制过程中, 薄膜的厚度总是或多或少的偏离理想厚度, 造成位相的变化, 这主要靠提高控制精度来改进。第二个因素, 即波片由于受各种应力的影响, 而使光轴发生变形。分析起来, 应力可能有两方面的原因: 一是波片的受热不均匀, 在烘烤阶没有镀膜时就存在, 二是来自薄膜的应力。

薄膜应力是指薄膜受外力作用,其内部状态不均衡而产生的一种相互作用力。如果应力过高,在过应力情况下的弹性瞬变效应,就会使薄膜面形产生扭曲,

从而使波片的光轴发生变形。因此,在薄膜的制备中,应力的控制和消除是非常重要的^[3]。

表 2 波片的位相延时角

Table 2 Phase retarder of quartz plate

Measurement No.	1	2	3	4	5 (center)
1	67	65	64	66	67
2	68	64.5	63.5	62.5	68
3	66.5	68	64	65	66
4	64	65	64.5	63	65
5	63	65	63	63	63.5
6	64	65	62.5	64	63.5
7	61.5	61	63	63	62
8	64.5	67	63	66	63
9	65.5	64	66.5	66.5	68
10	63	63.5	64	62.5	63.5

注:波片未镀膜时的位相角为 63.43°

由上述可知,在镀膜时尽量减少人为因素,提高控制精度,使波片各方位均匀受热。加热和冷却时要缓慢进行,以避免热应力集中;蒸镀时,控制每层膜的蒸发速度,以避免薄膜内应力集中。镀膜结束后,进行热处理,可有效避免波片位相延时角误差较大的问题。

经过一系列的摸索,目前镀制的波片,基本能够

满足客户的使用要求。

参 考 文 献

- 1 仲维卓等. 人工水晶. 北京: 科学出版社, 1983, 388
- 2 宋永香, 王英剑, 李庆国等. 波长 1315 nm 的石英窗口增透膜. 强激光与离子束, 2000, 12(s0): 80~82
- 3 王英剑, 李庆国, 宋永香等. 关于制备 1315 nm 45° 入射高反射镜的实验研究. 强激光与离子束, 2000, 12(s0): 83~86