

光学薄膜吸收损耗的研究

吴周令 范正修

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

唐 晋 发

(浙江大学光仪系)

提 要

用横向光热偏转技术研究光学薄膜的吸收损耗。结果表明:对 ZrO_2 、 MgF_2 、 ZnS 等单层膜,薄膜-基底界面吸收、空气-薄膜界面吸收以及薄膜体内吸收三者处于同一量级,而对 TiO_2 、 Ta_2O_5 、 SiO_2 等样品,薄膜-基底界面吸收远大于空气-薄膜界面吸收及薄膜体内吸收,是吸收损耗的主要来源。

关键词: 薄膜吸收损耗;光热偏转光谱术。

一、引 言

低损耗光学薄膜在激光技术中有着广泛的应用。为降低薄膜的光学损耗,有必要研究薄膜的损耗机理^[1,2]。

薄膜的光学损耗包括吸收与散射二部分,本文报道我们近期研究吸收损耗的实验方法和实验结果。利用超高灵敏的横向光热偏转技术测量样品的弱吸收测量^[3,4]。根据 P. A. Temple 提出的楔板法制备样品^[5]。采用直流反应磁控溅射、电阻热蒸发及电子枪热蒸发三种工艺。文章给出了镀制在 K_9 玻璃基底上的 ZrO_2 、 MgF_2 、 ZnS 、 TiO_2 、 Ta_2O_5 、 SiO_2 等单层介质膜的空气-薄膜界面吸收、薄膜体内吸收、薄膜-基板界面吸收的实测值,并对它们进行了分析讨论。

二、实验方法及理论分析

1. 样品制备

样品镀制在 K_9 玻璃基底上,做成楔板状,如图 1 所示。采用这种形状的主要优点在于:可以通过对同一块样品沿直径方向进行扫描测量而直接获得光滑基板吸收率与不同膜厚时的吸收率,从而避免因使用不同基板,进行多次蒸镀等而引入的误差,提高测量结果的可靠性。各种样品具体制备工艺列于表 1,表中折射率值系根据样品光谱透过率计算而得。

2. 实验方法及理论分析

镀制在玻璃基底上的单层光学薄膜的总吸收损耗 A 由四部分组成:空气-薄膜界面吸收 A_{0f} 、薄膜体内吸收 A_f 、薄膜-基板界面吸收 A_{fs} 以及基板吸收 A_s , 亦即有^[6]

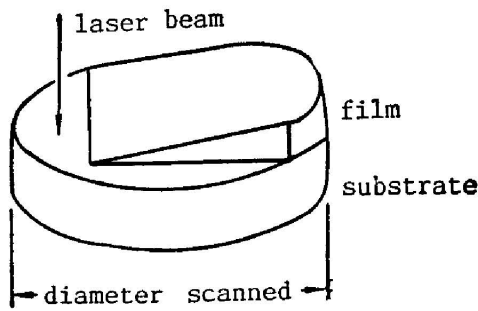


Fig. 1 Sample configuration showing a thin wedge of material which has been deposited on the entrance surface of the substrate. The bare region to the left is used to measure a_s and the step in the foreground is used to determine the film thickness profile

$$A = A_{af} + A_f + A_{fs} + A_s, \quad (1)$$

$$A = P_{af} a_{af} + \bar{P}_f \bar{\alpha}_f d_f + P_{fs} a_{fs} + \bar{P}_s \bar{\alpha}_s d_s, \quad (2)$$

式中: a_{af} (a_{fs}) 是空气-薄膜界面 (薄膜-基板界面) 比吸收, 定义为界面所吸收的光功率与界面光功率的比值; $\bar{\alpha}_f$ ($\bar{\alpha}_s$) 是薄膜体内 (基板) 吸收系数在样品厚度方向上的平均值; P_{af} (P_{fs}) 是空气-薄膜界面 (薄膜-基板界面) 相对光功率密度, 其定义式:

$$P_{af} = \frac{n_a + n_f}{2n_a} \cdot \frac{|\bar{E}_{af}|^2}{|\bar{E}_a|^2};$$

$$P_{fs} = \frac{n_f + n_s}{2n_a} \cdot \frac{|\bar{E}_{fs}|^2}{|\bar{E}_a|^2}.$$

\bar{P}_f (\bar{P}_s) 是薄膜体内 (基板内部) 相对光功率密度平均值, 其定义式:

$$\bar{P}_f = \frac{1}{d_f} \int_0^{d_f} \frac{n_f}{n_a} \frac{|\bar{E}_f(x)|^2}{|\bar{E}_a|^2} dx; \quad \bar{P}_s = \frac{1}{d_s} \int_0^{d_s} \frac{n_s}{n_a} \frac{|\bar{E}_s(x)|^2}{|\bar{E}_a|^2} dx.$$

Table 1 Deposition method and refractive index (n) of the different thin films ($\lambda = 6328 \text{ \AA}$, substrate-K₉ glass)

sample	deposition method	n
No. 1 ZrO ₂	ZrO ₂ tablet EB evaporation	1.90
No. 2 MgF ₂	MgF ₂ powder R evaporation	1.38
No. 3 ZnS	ZnS tablet R evaporation	2.30
No. 4 TiO ₂	bulk TiO ₂ EB evaporation	2.40
No. 5 Ta ₂ O ₅	bulk Ta ₂ O ₅ EB evaporation	2.00
No. 6 Ta ₂ O ₅	DC reactive magnetron sputtering	2.00
No. 7 SiO ₂	fused silica EB evaporation	1.46

* $p = (4 \sim 5) \times 10^{-3}$ Torr (with 60% Ar and 40% O₂) for No. 6; $p = (2 \sim 3) \times 10^{-5}$ Torr for others.

实验中, 为区分 a_{af} , $\bar{\alpha}_f$, a_{fs} 以及 $\bar{\alpha}_s$, 采取如下步骤。第一步: 测基板吸收系数 $\bar{\alpha}_s$, 此项数据可通过直接测量楔板样品上光滑基板部分吸收率而获得。第二步: 测量薄膜的体内吸收系数 $\bar{\alpha}_f$ 。在楔板状样品上选择两个光学厚度为 $\lambda/2$ 整数倍的区域, 测得它们的吸收率值 A_1 , A_2 。由于在这两个区域内 P_{af} , P_{fs} 都保持不变, 由方程 (2) 易得:

$$\bar{\alpha}_f = \frac{1}{P_f} \frac{A_2 - A_1}{d_2 - d_1} = \frac{1}{P_f} \frac{\Delta A}{\Delta d}. \quad (3)$$

实验中为保证精确度, 可多选择几个光学厚度为 $\lambda/2$ 整数倍的区域, 分别测得结果后取平均值。第三步: 测量空气-薄膜界面吸收 a_{af} 、薄膜-基板界面吸收 a_{fs} 。

在楔板状样品上选择区域 1 ($n_f d_f^{(1)} = \frac{\lambda}{4}$) 及区域 2 ($n_f d_f^{(2)} = \frac{\lambda}{2}$), 分别测得它们的吸收率

可通过提高基板表面清洁度、降低基板表面粗糙度等来实现。

3. 样品 No. 1~No. 3 与 No. 4, No. 5, No. 7 的制备条件基本相同, 然而吸收分布差别很大。由此可以看出, 薄膜材料不仅影响薄膜体内吸收, 也影响薄膜界面吸收。

4. 样品 No. 5 与 No. 6 材料相同, 二者的主要差别在于制备工艺的不同。由表 2 实验结果可以看出: 直流反应磁控溅射工艺对 Ta_2O_5 吸收损耗的改善, 主要表现在薄膜-基板界面吸收的减小。

四、结 束 语

我们根据 P. A. Temple 提出的楔板法, 利用超高灵敏的横向光热偏转技术, 研究了 ZrO_2 、 MgF_2 、 ZnS 、 Ta_2O_5 、 SiO_2 等单层光学薄膜在不同工艺条件下的吸收损耗, 得到了一些初步的结论。然而必须指出的是, 要真正认清光学薄膜的损耗机理, 彻底地解决问题, 这些初步结论尚待进一步验证和完善。

作者感谢王平、施柏熿、吕中良、高扬、何捷、胡凯等同志的有益帮助和讨论。

参 考 文 献

- [1] H. E. Bennet *et al.*; *J. O. S. A.*, 1980, **70**, No. 3 (Mar), 268.
- [2] A. Kalb; *Opt. News*, 1986, **12**, No. 8 (Aug), 13.
- [3] W. C. Jackson *et al.*; *Appl. Opt.*, 1981, **20**, No. 8 (Apr), 1333.
- [4] 吴周令等;《光学学报》, 待发表。
- [5] P. A. Temple; *Opt. Eng.*, 1984, **23**, No. 3 (May/Jun), 326.

Absorption losses in single layer optical coatings

WU ZHOULING AND FAN ZHENGXIU

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

TANG JINFA

(Department of Optical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou)

(Received 9 May 1988; revised 21 December 1988)

Abstract

Absorption measurements performed by means of transverse photothermal deflection technique for wedge-shaped ZrO_2 , MgF_2 , ZnS , TiO_2 , Ta_2O_5 and SiO_2 single-layer films at $\lambda=6328 \text{ \AA}$ permits a separation of bulk and interface absorption. Experimental results show that for ZrO_2 , MgF_2 and ZnS films investigated, the film-substrate interface absorption and the air-film interface absorption are nearly the same, while for TiO_2 , Ta_2O_5 and SiO_2 films, the film-substrate interface absorption dominates over the air-film interface absorption, being the main source of the total absorption loss.

Key words: absorption; optical coating; photothermal deflection.