

# 扫描式光热显微镜测量光学薄膜吸收率的分布

黄学波 陈文斌

(浙江大学光仪系, 310027)

**提要:** 基于光热偏转光谱术建立起来的扫描式光热显微镜, 测量了激光损伤薄膜的吸收率分布。其检测灵敏度为  $2.5 \times 10^{-6}$ , 测量准确度为 18%。

**关键词:** 光热显微镜, 吸收率分布, 光学薄膜

## Measurement of absorption distribution on optical thin film by scanning photothermal microscopy

Huang Xuebo, Chen Wenbin

(Optical Eng. Department, Zhejiang University, Hangzhou)

**Abstract:** A scanning photothermal microscopy based on photothermal deflection spectroscopy is used to measure the absorption distribution of laser damaged films. Its detecting sensitivity and detecting accuracy is  $2.5 \times 10^{-6}$  and 18% respectively.

**Key words:** photothermal microscopy, absorption distribution, optical thin film

### 一、引言

随着高能激光器的发展,人们对于用在大功率激光器中的光学薄膜提出了更高的要求。这种要求包括样品的弱吸收率和吸收率的均匀性。因为在大功率激光的照射下,光学薄膜上任何局部吸收较大的点都可能导致光学膜层的损坏。所以,准确地测量出薄膜吸收率的分布,将给薄膜的镀制提供可靠的信息。测量薄膜弱吸收率的技术已有多种<sup>[1]</sup>,但大多是单点测量,且很难测量整个表面的分布。八十年代初出现的扫描式光热显微镜不但能利用简单的装置高灵敏而快速地测出薄膜局部点的吸收,而且还可通过对样品表面的扫描,测出整个表面的吸收率分布。

### 二、基本原理与测量方法

当薄膜样品被强度周期性调制的激光束(泵浦光束)辐照时,若有吸收,则样品表面呈现周期性温度起伏。这又在样品表面附近的介质(空气、薄膜基板)内形成调制的折射率梯度。当另一束激光(探测光束)经过此梯度区域时,光束方向将发生周期性偏转。用像限探测器可以探测到这一偏转量。其偏转程度与样品吸收成正比。

根据纵向探测的一般理论<sup>[2]</sup>, 考虑到置于空气中的薄膜样品为热薄样品, 对光束的偏转作用可忽略。而气体的折射率梯度比固体小一个数量级。所以, 对光束偏转起主要作用的是基板的折射率梯度。当样品为弱吸收时, 可取吸收公式中的  $1 - e^{-\alpha l} \approx \alpha l$  ( $\alpha$ ——样品吸收系数,  $l$ ——样品厚度), 此时, 光束偏转角 ( $\phi$ ) 的近似表达式为<sup>[3]</sup>

$$\phi \approx \frac{1}{n_0} \frac{dn}{dT} H_t(\beta_0, \beta_b, K_0, K_b, S, w_0, w_p) I \alpha l \quad (1)$$

式中,  $n_0, \frac{dn}{dT}$ ——样品表面附近耦合介质(本文为基板)的折射率和折射率温度系数;  $H_t$ ——取决于耦合介质的热参数和光参数的函数(实验条件确定时为常数);  $\beta_0, K_0$ ——空气的热波数和热传导率;  $\beta_b, K_b$ ——基板的热波数和热传导率;  $S$ ——探测光路径;  $w_0, w_p$ ——探测光和泵浦光半径;  $I$ ——泵浦光入射光强。

本实验装置中, 用二像限探测器来检测光束的偏转角, 可得到探测器的输出<sup>[3]</sup>:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \frac{\pi w_0 n_0}{\lambda} \phi \quad (2)$$

式中,  $\Delta V$ ——探测器的差动输出信号;  $V$ ——探测器两像限输出之和。将(1)式代入(2)式可得

$$\Delta V/V = C I \alpha l \quad (3)$$

其中,  $C = \frac{1}{n_0} \frac{dn}{dT} H_t \frac{4}{\sqrt{\pi}} \frac{\pi w_0 n_0}{\lambda}$  (实验条件确定时为常数)。利用已知吸收率且吸收率在线性范围内的定标样品进行定标<sup>[3]</sup>, 可获得样品的绝对吸收率:

$$A_s = (\Delta V/V)_s (V/\Delta V)_c \cdot A_c = (\Delta V/V)_s R_c \quad (4)$$

式中,  $(\Delta V/V)_s, (V/\Delta V)_c$ ——分别为样品与定标片的归一化光热信号;  $A_c$ ——定标片的吸收率;  $R_c$ ——定标常数 [=  $(V/\Delta V)_c \cdot A_c$ ]。

### 三、实验结果

图1为  $TiO_2/SiO_2 + \lambda/2 SiO_2$  保护层对  $1.06 \mu m$  光全反射的激光反射镜被脉冲 Nd:YAG 激光(功率密度为  $22.5 MW/mm^2$ ) 损伤后所摄的显微照片。图2为用实验装置所测得的该样品的吸收率分布图。对照两张图, 可见其损伤斑的分布形状基本相同。

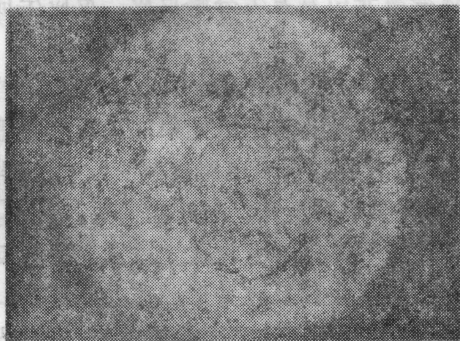


图1 激光损伤膜的显微照片

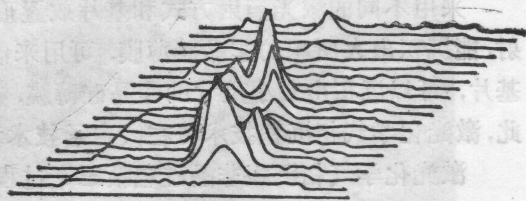


图2 激光损伤膜的吸收率分布图

(下转第 174 页)



图 10 图 1(b)枝晶底部点状析出物(□处)的 TEM 像

### 3.3 合金元素对熔渗层的影响

合金元素主要通过影响 Cr 和 C 的扩散系数、扩散过程、材料的热物理参数,以及形成合金碳化物来影响熔渗层的厚度、组织形态和性能。例如 45、40Cr、40CrNiM。由于导热系数的差异引起相同工艺参数条件下获得的枝晶层厚度和 Cr 浓度不同;40CrNiMo 的枝晶层与白亮层交界处还出现点状析出物(图 10)。其相结构及对性能的影响有待进一步探讨。

### 参 考 文 献

- 1 安世民,王茹,王书明,兵器激光,2(1986)
- 2 王茹,安世民,王书明,应用激光,9(6),273(1989)
- 3 M. C. Flemings,凝固过程,冶金工业出版社,1981

(上接第 163 页)

### 四、结 束 语

通过实验装置的建立和计算机闭环采样方法的研究,解决了探测光束和泵浦光束相对位置对测量的影响问题。用本实验装置测量光学薄膜的吸收率分布,其灵敏度为  $2.5 \times 10^{-6}$ ,测量准确度为 18%。进一步的工作是解决激光光束的方向漂移问题以及提高横向分辨率问题。

### 参 考 文 献

- 1 A. Hordvik, *Appl. Opt.*, **16**(11), 2827(1977)
- 2 W. B. Jackson, *Appl. Opt.*, **20**(8), 1333(1981)
- 3 陈文斌 *et al.*, 浙江大学学报, **23**(4), 532(1989)