

# 用横向光热偏转技术测量光学薄膜 的微弱光吸收

吴周令\* 唐晋发 施柏煊

(浙江大学光仪系)

## 提 要

用横向光热偏转技术(TPDS)测量光学薄膜的弱吸收,灵敏度达 $10^{-5}$ 。因为薄膜样品在调制频率较低时属热薄试样,本文基于这一原理实现了 TPDS 的精密定标。

关键词: 光热偏转光谱术, 薄膜弱光吸收。

## 一、引 言

光学薄膜弱吸收的存在,是限制高能激光技术发展的一个主要因素。为了改善光学薄膜的质量,提高其损伤阈值,需要精确测量薄膜的弱吸收率。传统的光度法<sup>[1]</sup>是测量薄膜吸收的常用手段,然而它的应用由于灵敏度低以及无法区分吸收损耗与散射损耗而受到限制。近年来发展起来的激光量热技术是测量薄膜弱吸收的较理想方法<sup>[2]</sup>,但其实验装置通常过于复杂。横向光热偏转技术<sup>[3]</sup>是一种新型热波探测技术,它具有灵敏度高、对光散射不敏感、实验装置简单稳定、可区分体吸收与面吸收等许多突出的优点,有可能发展成为薄膜弱吸收测量和薄膜激光损伤机理研究的有力工具。

本研究建立了一套横向光热偏转光谱术(TPDS)实验装置,把它用于光学薄膜弱吸收率的测量,灵敏度达 $10^{-5}$ 。并与激光量热法做了比较。此外,薄膜样品在调制频率较低时属热薄试样,本文基于这一原理实现了 TPDS 的精密定标。

## 二、基本原理及定标方法

样品受强度调制的激光束(泵浦光束)照射时,光吸收的存在将在样品内部产生热波,从而在样品及其周围介质内形成周期性梯度折射率分布。当另一束激光束(探测光束)通过这一梯度折射率区域时,其方向将发生相应的周期性偏转。使用位置探测器可探测这一偏转,分析所得结果即可获得关于样品光吸收的信息。

TPDS 是指探测光与泵浦光近似垂直的情形,如图 1 所示。根据横向光热偏转技术的一般理论<sup>[3]</sup>,考虑在较低调制频率下弱吸收光学薄膜属所谓热薄试样<sup>[4]</sup>( $l < \mu_s < \mu_e$ , 式中  $l$

收稿日期: 1987年10月12日; 收到修改稿日期: 1987年12月14日

\* 现在中国科学院上海光学精密机械研究所作

为样品厚度,  $\mu_h$  为样品热扩散长度,  $\mu_a$  为样品光吸收长度) 且有  $1 - e^{-\alpha l} \approx \alpha l$  (式中  $\alpha$  为样品光吸收系数) 可得探测光束偏转角  $\phi$  的近似表达式如下:

$$\phi \approx \frac{1}{n} \frac{dn}{dT} C_1 \alpha l P_1 \quad (1)$$

式中  $n$ ,  $\frac{dn}{dT}$  依次为样品表面附近耦合介质(本文中为空气)的折射率和折射率温度系数;  $C_1$  决定于样品周围介质(本文中为空气和薄膜基底)热参数、探测光路径及泵浦光束束腰尺寸, 在确定的实验条件下是一常数;  $P_1$  为待测样品中的光能量。

实验中用一象限探测器来检测探测光束偏转角, 则有<sup>[3]</sup>

$$\frac{\Delta V}{V} = C_2 \phi \quad (2)$$

式中  $\Delta V$  为象限探测器的差动输出信号;  $V$  为象限探测器两象限输出之和;  $C_2$  为象限探测器响应函数, 它在实验条件确定的情况下是常数。

把(1)式代入(2)式可得:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{1}{n} \frac{dn}{dT} C_1 C_2 \alpha l P_1 = CP \quad (3)$$

式中  $C = \frac{1}{n} \frac{dn}{dT} C_1 C_2$  是一常数,  $P = \alpha l P_1$  是样品所吸收的光能量。

为获得样品的绝对吸收率, 必须对实验系统进行定标。本研究以真空镀制的碳

膜为定标样品进行定标。其原理是: 只要实验条件不变, (3)式对定标样品同样适用, 故有

$$\left(\frac{\Delta V}{V}\right)_c = CP_c \quad (4)$$

把(3)式与(4)式相除并整理可得:

$$P = \left[ \left(\frac{\Delta V}{V}\right) / \left(\frac{\Delta V}{V}\right)_c \right] \cdot P_c \quad (5)$$

上式两边同时除以泵浦光入射功率  $P_i$ , 即得待测样品吸收率表达式:

$$A = \left[ \left(\frac{\Delta V}{V}\right) / \left(\frac{\Delta V}{V}\right)_c \right] \cdot A_c \quad (6)$$

式中  $A_c$  为定标样品的吸收率, 它由光度法<sup>[4]</sup>进行精密测定而得。

### 三、实验装置及测量结果

图2为本文建立的 TPDS 实验装置示意图。泵浦光束 A(He-Ne, 最大输出功率为 120 mW) 经斩波器 9 后由反射镜 1, 2 确定方向, 然后经透镜 3 聚焦并入射至样品 4 的表面。B 为探测光束(He-Ne, 最大输出功率为 2 mW), 它由反射镜 5 确定方向, 经透镜 6 聚焦后通过样品表面附近周期性变化的梯度折射率区域, 其偏转信号由象限探测器 7 接收后输入锁相放大器进行相关检测。分束镜 B.S. 分出的激光束用于监测泵浦光功率的漂移(8 为功率计), 以便在数据处理时对相关项进行修正。

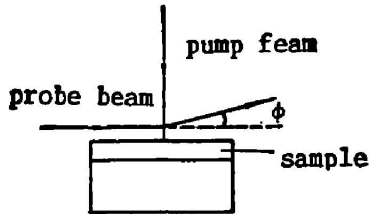


Fig. 1 Geometry of TPDS

实验中用上述装置测量了几种单层膜的吸收率( $\lambda=6328 \text{ \AA}$ ),并由此计算<sup>[4]</sup>出了相应材料在薄膜状态的消光系数,其结果与激光量热法的比较列于表 1。

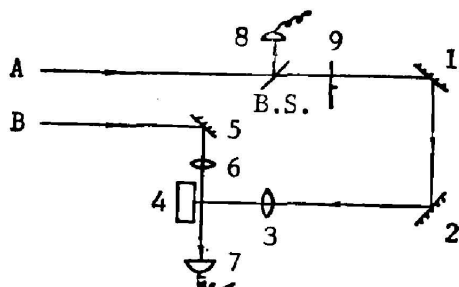


Fig. 2 Experimental system of TPDS

必须指出的是,本文报道的实验装置目前尚未采取良好的气流屏蔽与隔震措施,稳定性受到一定影响。表 1 所列结果,是在夜间实验室全密封的情况下获得的。在这种条件下,系统稳定性,重复性良好(实验中我们分别对 Au 膜、 $ZrO_2$  膜进行了十次重复测量,最大重复误差为 8.5%)。

测得金膜样品(A~30%)的信号为 70 mW 左右。此时挡住泵浦光束,锁相输出波动  $\leq 1 \mu V$ ,此即为系统在相应实验条件下总噪声的有效值,由它可推算该测量系统的检测限为  $A_{\min} \sim 10^{-5}$ 。此时测量误差约为 10%。

Table 1 Experimental results by TPDS and their comparison with those by laser-calorimeter-method(LC)

thin film sample	$SiO_2$	$ZrO_2$	$MgF_2$	Au
A(TPDS)	$1.73 \times 10^{-4}$	$5.29 \times 10^{-4}$	$5.94 \times 10^{-4}$	30.58%
K(TPDS)	$2.83 \times 10^{-5}$	$1.05 \times 10^{-4}$	$9.53 \times 10^{-5}$	/
K(LC)*	$3.10 \times 10^{-5}$	$1.21 \times 10^{-4}$	$1.10 \times 10^{-4}$	32.41%**

光热偏转技术中,光热信号在饱和之前与泵浦光入射功率成正比。因此,如果加大泵浦光入射功率,并对整个实验装置采取良好的隔震与气流屏蔽措施,以降低系统有效噪声总值可望将 TPDS 测光学薄膜弱吸收率的灵敏度再做进一步提高。

#### 四、结 束 语

通过实验装置的建立和定标研究,我们用简单的超高灵敏的 TPDS 技术测量了常见光学薄膜的弱吸收率。系统检测灵敏度达  $10^{-5}$ ,已可满足一般光学薄膜的要求。下一步工作,重点拟放在提高 TPDS 测量系统的空间分辨率,以实现光学薄膜弱吸收分布的测量,从而为光学薄膜的损耗及损伤机理研究提供有力的工具。

本系董太和教授和包正康老师为本研究提供了象限探测器及许多光学元件;中科院上海光机所范正修副研究员在整个工作过程中给予了热情关怀和指导;此外,作者还得到上海光机所范瑞英工程师,华东工学院应用物理系胡凯同志,本系何捷、吕中良等同志的帮助,一并致谢。

\*  $\lambda=5145 \text{ \AA}$

\*\* 为吸收率值、Au 膜为特制的不透明样品( $T \approx 0$ )。

## 参 考 文 献

- [1] T. F. Dtsch; *J. Electron. Mater.*, 1975, 4, No. 3 (Mar), 663.
- [2] Jin Shangzhon, Tang Jinfa; *Appl. Opt.*, 1987, to be published.
- [3] W. C. Jackson *et al.*: *Appl. Opt.*, 1981, 20, No. 8 (Apr), 1333.
- [4] 私人通讯。
- [5] H.E. Bennet *et al.*; *J. Opt. Soc. Am.*, 1980, 70, No. 3 (Mar), 268.

## Measurement of Weak Absorptions of Optical Coatings By Transverse Photothermal Deflection Technique

WU ZHOULING TANG JINFA SHI BAIXUAN

(Department of Optical Instruments, Zhejiang University, Hangzhou)

(Received 12 October 1987; revised 14 December 1987)

### Abstract

Weak absorptions of optical coatings are measured by transverse photothermal deflection spectroscopy (TPDS) with a sensitivity of as high as  $10^{-5}$ . The experimental results are in good agreement with those measured by a laser calorimeter.

**Key words:** phototherma deflection spectroscopy; weak absorption.