

利用光热偏转技术实施光学薄膜 弱吸收的多波长测量

胡文涛 范正修 刘立明

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

提 要

介绍了光热表面形变光束偏转技术用于测量光学薄膜弱吸收的基本原理, 简述多波长吸收测量装置的建立和测试过程, 最后给出简单的测量实例.

关键词 光热偏转, 薄膜吸收.

1 引 言

在大功率的激光应用中, 光学薄膜的吸收损耗能导致激光损伤, 从而限制激光系统的输出. 为减少薄膜吸收, 以制备高性能的光学薄膜, 有必要通过精确、快速、实时、无接触的测试来确定吸收损耗, 1983年 Olmstead 等人提出的“光热表面形变光束偏转技术”^[1], 具有上述优点. 该技术的基本原理是: 当样品受强度经过调制的激光束(泵浦光)照射时, 光吸收的存在使样品内部产生热波, 由于材料的热膨胀, 使样品表面发生周期性形变, 当另一束光(探测光)入射到这一形变区域上时, 其反射方向将发生相应的周期性偏转, 利用位置探测器接收偏转信号, 从而获得关于样品的信息. 本文引入了三种不同波长的泵浦光, 对同一样品在不同泵浦光下的吸收进行测量, 以便考察样品吸收的波长效应, 另外, 对不同的样品根据其实际应用情况选择合适的波长测量吸收.

2 薄膜弱吸收测量的基本原理

从薄膜吸收引起的样品内部温升分布着手解热弹方程, 可以得到样品表面形变的斜率的表达式^[2], 探测光偏转角的大小正比于形变斜率, 这就把探测器接收的信号与薄膜吸收联系起来. 光学薄膜在低频调制下属热薄试样(样品厚度 < 样品热扩散长度 < 光吸收长度), 此时, 光热偏转信号(用探测器输出的交直流电压表示直流电压 V 对应于无泵浦光时的信号, 交流电压 ΔV 对应于加泵浦光后的交变信号, 两者比值反映样品吸收的相对大小)对弱吸收的待测样品满足如下关系:

$$(\Delta V/V)_{\omega} = A_{\omega} P F_{\omega} C$$

式中 F_{ω} 是光热表面形变响应函数, 它与样品周围介质及基底的热性质, 泵浦光束腰半径等因素有关; A_{ω} 是待测薄膜的吸收率; P 是泵浦光的功率; C 是与实验条件有关的参数.

薄膜弱吸收的绝对测量需用大吸收样品(吸收率可通过光度法测得)定标,对于大吸收样品,在低频调制下同样满足以下关系:

$$(\Delta V/V)_{\text{标}} = A_{\text{标}}PF_{\mu}C$$

只要定标样品的基底和待测样品相同,对同一功率的泵浦光,测量时样品表面处于同一位置,则定标样品和待测样品的 $PF_{\mu}C$ 是一致的,比较两个关系式可得:

$$A_{\text{测}} = (\Delta V/V)_{\text{测}}A_{\text{标}}/(\Delta V/V)_{\text{标}} = R(\Delta V/V)_{\text{测}}$$

在确定定标系数 R 后,只要测出待测样品的交直流电压信号 ΔV 和 V ,就可得吸收率 $A_{\text{测}}$.

3 实验装置的建立和测试过程

实验装置如图 1 所示,泵浦光有三束:1) 为连续 YAG 激光,输出波长为 $1.06 \mu\text{m}$,最大输出功率为 1.5 W ; 2) 为 He-Ne 激光,输出波长为 632.8 nm ,最大输出功率 50 mW ; 3) 为 Ar^+ 离子激光,输出波长为 488 nm ,最大输出功率为 100 mW . 三束泵浦光分别由相应波长的声光调制器作强度调制,然后通过光学薄膜系统(图中,8 对 $1.06 \mu\text{m}$ 高反,9 对 $1.06 \mu\text{m}$ 增透,对 632.8 nm 高反; 10 对前二者高透,对 488 nm 高反)调成共轴,再经透镜聚焦在样品表面. 另外,泵浦光还通过分束镜分出一路,用功率计对其功率进行实时检测,以消除泵浦光功率的漂移对测量结果的影响.

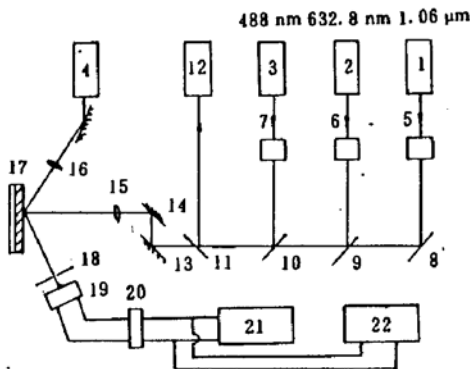


Fig. 1 Schematic of experimental arrangement

1—YAG laser. 2—He-Ne laser. 3— Ar^+ laser. 4—He-Ne laser. 5, 6, 7—A-O modulator. 8, 9, 10—optical film system. 11—beam splitter. 12—power meter. 13, 14—mirror. 15, 16—lens. 17—sample. 18—diaphragm. 19—position detector. 20— $1/V$ translator. 21—lock-in amplifier. 22—oscilloscope

探测光是波长为 632.8 nm 的 He-Ne 激光,功率为 0.8 mW ,由反射镜转向后,经透镜聚焦在样品表面,探测光与泵浦光的夹角为 30° 左右,并使探测光斑小于泵浦光斑.

经样品表面反射的探测光被位置探测器接收,探测器前设一光阑,用于消除杂散的泵浦光.探测器输出两路光电流信号,经过电流/电压转换输入锁相放大器进行相关检测,同时取一模拟电压信号输出到示波器上,以便观察信号波形和直流信号 V 的检测.

整套装置建立在防震平台上以削弱外界干扰.泵浦光与探测光的相对位置通过泵浦光束的移动来调整,为了保持移动中泵浦光束的光学特性不变,在泵浦光的聚焦透镜前加了两块金属膜宽带反射镜,使光路发生横向平移,其中一块反射镜(图中的 14)与透镜固定在同一微调架上,调节微调架,泵浦光可对样品表面进行扫描.

测试开始时先挡住泵浦光,调整系统使探测光光斑落在探测器接收窗的中心,这时,示波器显示的两路直流信号重合,记录该直流电压幅值 V . 然后选通一路泵浦光,调节两光斑在样品表面的相对位置,直到锁相检测到的信号为最大,此信号即为交流电压信号 ΔV . 对于定标样品,先用光度法测出吸收率,然后在该装置上测 V 和 ΔV .

4 测量实例

实验用 632.8 nm 和 1.06 μm 两种波长的泵浦光测试一块以 K_9 玻璃为基底的 $\text{ZrO}_2, \text{Y}_2\text{O}_3$ 混合料的单层膜样品,测得参数如下:

泵浦光波长为 632.8 nm 时, $V = 215 \text{ mV}$; $\Delta V = 1.25 \mu\text{V}$; 泵浦光功率 $P = 33.0 \text{ mW}$

泵浦光波长为 1.06 μm 时, $V = 215 \text{ mV}$; $\Delta V = 0.90 \mu\text{V}$; 泵浦光功率 $P = 44.0 \text{ mW}$

实验没有用大吸收样品定标测出样品的实际吸收系数,仅对两种泵浦光下的测量结果作一比较,前文提到 ΔV 表征吸收的相对大小,由于两泵浦光的功率不等,按比例进行调整后,得到样品在 632.8 nm 和 1.06 μm 处的吸收系数之比为 1 : 0.54. 此外,实验还对泵浦光在样品表面的光斑大小作了测量. 根据光热信号表达式,用计算机作模拟计算的结果表明: 当泵浦光和探测光的中心相对距离为泵浦光半径的 1.1 倍时,光热信号有最大值. 根据这一点,移动泵浦光在样品表面作微区扫描,测出两次信号最大值之间泵浦光移动的距离,该距离等于泵浦光半径的 2.2 倍. 实验测得 632.8 nm 泵浦光的半径为 52 μm ; 1.06 μm 泵浦光的半径为 45 μm . 利用计算机作模拟计算可知,在其他条件一致的前提下,对应于泵浦光半径 52 μm 和 45 μm , 信号最大值之比为 1 : 1.30, 将这一点考虑在内,最后得到 $\text{ZrO}_2, \text{Y}_2\text{O}_3$ 混合料单层膜在 632.8 nm 和 1.06 μm 处的吸收系数之比为 1 : 0.42.

参 考 文 献

- [1] M. A. Olmstead, N. M. Amer, S. Kohn, Photothermal displacement spectroscopy: An optical probe for solids and surfaces. *Appl. Phys. (A)*, 1983, 32(3): 141~154
- [2] 范正修, 苏 星, 吴周令, 光学薄膜的光热偏转信号分析. *光学学报*, 1991, 11(2): 166~171

Measurements of weak absorption of optical coatings for multi-wavelength. by photothermal deflection technique

HU Wentao FAN Zhengxiu LIU Liming

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

(Received 16 March 1992; revised 25 August 1992)

Abstract

The basic principle of weak absorption measurements performed with photothermal deflection technique is described. An experimental setup with multiple pumping lasers has been constructed, the testing procedure and the results of a simple measurement example are presented.

Key words photothermal optical beam deflection, absorption of coatings.