

采用光热失调技术的光学薄膜吸收均匀性测量系统

郝宏刚^{1,2}, 周 翱¹, 饶 敏¹, 阮 巍¹

- (1. 重庆邮电大学 光电工程学院, 重庆 400065;
2. 重庆高校光纤通信技术重点实验室, 重庆 400065)

摘 要: 由于大口径光学薄膜的应用越来越广泛, 其吸收损耗的均匀性测量越来越重要。文中首次根据光热失调技术的基本原理, 使用 Visual Basic 6.0 编写控制程序, 搭建一套采用连续激光作为加热光源的光热失调技术的实验系统, 实现了样品表面各点光热信号的自动采集与处理, 并根据测量结果绘制出用于相对吸收均匀性研究的图像。结果表明该实验系统实现了自动控制, 运行稳定、测量准确, 能够用于光学薄膜相对吸收均匀性的分析。该系统的建立为光热失调技术的进一步应用提供了实验基础。

关键词: 光学薄膜; 吸收; 均匀性; 光热失调技术

中图分类号: O484.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2013)10-2842-04

System for absorption uniformity measurement of optical thin films based on photothermal detuning technique

Hao Honggang^{1,2}, Zhou Ao¹, Rao Min¹, Ruan Wei¹

- (1. College of Optoelectronic Engineering, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China;
- (2. Key Laboratory of Optical Fiber Communication Technology, Chongqing Education Commission, Chongqing 400065, China)

Abstract: The uniformity of optical thin films has become quite vital because large diameter optical devices are used widely. In this paper, according to the basic theory of photothermal detuning technique, with Visual Basic 6.0 to write control program, the experiment system for measuring the absorption uniformity of optical films was designed and built for the first time. Absorptions at the different points on the sample surface were measured, and the surface absorption image of the sample was made. The result shows that the designed experimental system which is stable and accurate can be used to absorption uniformity measurement of optical thin films, and the automated measurement in the whole system is achieved. The designed system which provides experimental foundation for the advancing application of the photothermal detuning technique is feasible.

Key words: optical thin film; absorption; uniformity; photothermal detuning technique

收稿日期: 2013-02-07; 修订日期: 2013-03-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(60907041, 61205149)

作者简介: 郝宏刚(1977-), 男, 副教授, 博士, 主要从事光学测量等方面的研究。Email: haohg@cqupt.edu.cn

0 引言

随着薄膜技术在信息存储、电子元器件、航天技术以及光学仪器等方面越来越广泛的应用,光学薄膜已经成为所有光学系统中不可或缺的基本元件。薄膜元件光学性能的改善是提高光路系统整体性能的关键。吸收损耗是衡量光学薄膜性能的重要参数,特别是在高功率激光系统中,它的存在,已成为限制高功率激光技术发展的重要因素^[1-2]。近年来,随着大口径光学薄膜元件的广泛应用,对光学薄膜吸收损耗均匀性研究已成为重要的研究课题。光热偏转技术^[3]和表面热透镜技术^[4-6]已用于测量光学薄膜的吸收均匀性。近年来,有学者提出了一种新的光热技术-光热失调技术,该技术利用样品温度变化引起的光谱漂移现象,可用于光学薄膜吸收损耗的测量^[7-9]。文中以高反射光学薄膜为样品,设计并搭建一套采用连续激光作为加热光源的光热失调技术的实验系统,通过计算机的自动控制,实现样品表面各点光热信号的测量及相对吸收的成像,用于光学薄膜吸收均匀性的分析,为光学薄膜性质的检测提供一种有效方法。

1 基本原理

光热失调技术基本原理为:受温度变化的影响,薄膜系统的反射光谱带发生漂移,特定波长下的反射率会发生改变,其中在光谱带边缘斜率较大的波长范围反射率变化最大。选择合适波长和入射角的探测激光束照射在温度变化区域,其反射光的强度发生变化。在一定条件下,反射光强度的变化随温度变化呈线性变化,而薄膜系统的温升与薄膜的吸收率成正比,因此根据此探测光强的变化可以间接分析样品对加热光能量的吸收。其信号定义为^[7]:

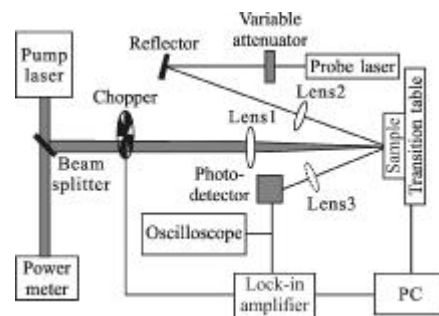
$$S(r) = \frac{1}{R_0} \frac{dR}{dT} \cdot \Delta T(r) \propto \frac{1}{R_0} \frac{dR}{dT} A_0 P \quad (1)$$

式中: R_0 为初始温度 T_0 时薄膜元件在探测波长的反射率; dR/dT 为初始温度 T_0 时薄膜元件在探测波长的反射率温度系数; $\Delta T(r)$ 为薄膜样品薄膜层内温度分布; A_0 为样品对加热光的吸收率; P 为加热光的功率。根据公式(1),光热失调信号幅值与样品的吸收成正比。假设其他值不改变,光热失调信号的强度值会随着 A_0 的增大而变。假如在样品某一点吸收率比

较大,该点所得到的信号强度要比周围的大。通过样品台的二维平移对样品表面的扫描,可以准确描绘出样品表面各点的相对吸收情况,实现样品吸收的均匀性分析。

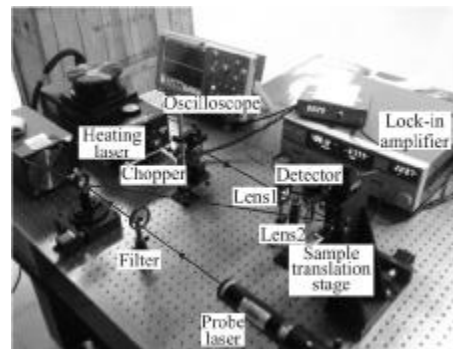
2 实验系统设计

图 1 是根据光热失调技术的基本原理所设计的实验系统的示意图(a)及实物图(b)。加热光束由连续激光器(35-LAP-431-230, Melles Griot)提供,输出波长为 514 nm,输出功率为 130 mW。实验中采用



(a) 示意图

(a) Sketch map



(b) 实物图

(b) Picture

图 1 实验系统

Fig.1 Experimental system

光学斩波器 (SR540, Stanford Research Systems),该斩波器除了能对光源进行强度调制外,还同时输出与调制频率同步的参考电压方波,作为锁相放大器的参考信号。加热光经机械斩波器强度调制后又经透镜(焦距 150 mm)聚焦照射在光学薄膜样品上,在样品表面的光斑半径大小约为 125 μm 。探测光束由氦氖激光器(25-LHR-151-230, Melles Griot)提供,工作波长为 632.8 nm,输出功率约为 5 mW。探测光

束经过光强衰减器,由透镜(焦距 100 mm)聚焦后以最佳的入射角(实验测量时为 28°)照射到加热光照射区域,光斑半径大小约为 $40\ \mu\text{m}$,其反射光经透镜(焦距 70 mm)聚集到光电探测器(DET36A, Thorlabs)的接收面上。为了提高实验的抗干扰能力,保证测量结果的可靠性,在光电探测器接收面上安装了滤光片,用于滤去非探测光(主要为加热光)波长下的光信号。光电探测器输出信号的交流和直流部分分别由锁相放大器(SR830, Stanford Research Systems)和数字存储示波器(TDS2012, Tektronix)直接读出和记录。光热失调信号通过交流部分与直流部分的比值来确定。由于实验是要研究光学薄膜的吸收均匀性,而吸收率和交流部分成正比,所以扫描过程中只需记录信号的交流部分。样品被固定在电控平移台(TSA50-C, Zolix; 两个组合搭建成二维移动平台)上,电控平移台由控制箱(SC300, Zolix)驱动。样品上加热光斑和探测光斑的相对位置及大小可以通过调节固定在三维调节架上的聚焦透镜 Lens1 和 Lens2 来调整。探测光束的入射角度可以通过移动探测光路中反射镜的位置和旋转它的角度来改变。计算机控制电控平移台在垂直于加热光束的平面内二维移动,并且采集锁相放大器测得的信号值。

该实验系统是在 Windows 环境下,使用 Visual Basic 6.0 开发程序。利用 Visual Basic 6.0 开发语言可以实现不同系统之间的通信^[9]。图 2 为所设计的实验系统控制程序的流程图。实验系统中需要控制的下位机为 SR830 锁相放大器和 SC300 步进电机控制箱,可以通过 RS-232 串口将仪器连接到计算机上。首先,上位机(计算机)直接反应到正确的接口,向各下位机发送握手指令,下位机收到握手指令并返回相应代码,以表示上下位机通讯正常。其次,要对各下位机进行初始化,需要初始化的参数包括锁相放大器的参考频率类型及大小、时间常数、灵敏度以及步进电机扫描间隔和停顿时间等。然后,从起始位置开始自动采集被测点锁相放大器的信号值。根据所设置的采样次数,可以对该值进行多次采样,取平均值。步进电机每移动一步,自动停顿一段时间以充分消除电机停止后的振动所带来的影响。最后,以此类推每移动 1 个单位的距离自动采集 1 组数据,待系统扫描完毕后,将扫描的所有数据写入到表格文件中。所编写的控制程序集成了电机控制、锁相放大器参数设定、数据采集

等功能,在 Visual Basic 6.0 编译环境下运行通过,实现了计算机对实验仪器的远程控制,代替了仪器前置面板上的按键操作,操作简单快捷,方便了人机交互,便于实时观测和控制,具有很好的实时性和直观性。同时也提高了测量精度,稳定性和效率。使得实验测量过程趋于智能化和快捷化。如图 3 所示,为锁相放大器参数设定界面。图 4 所示为步进电机扫描参数设定界面,其中设定了扫描的起始位置、结束位置、扫描间隔、停顿时间和采样次数。

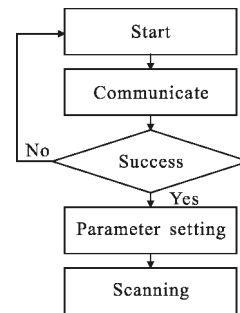


图 2 控制程序的流程图

Fig.2 Program flow diagram

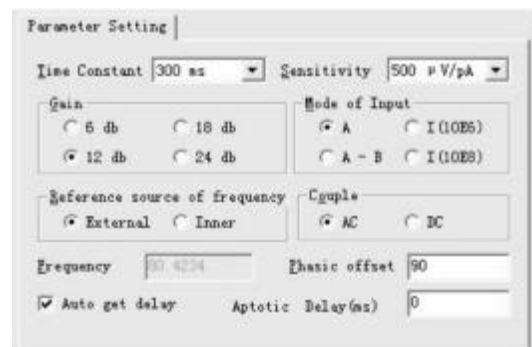


图 3 锁相放大器参数设置程序界面

Fig.3 Program interface of lock in amplifier parameter setting



图 4 扫描参数设置程序界面

Fig.4 Program interface of scanning parameter setting

3 实验结果

实验在室温约为 $25\ ^\circ\text{C}$ 的实验室中进行。实验样品为 $514\ \text{nm}$ 波段高反射光学薄膜,其结构为 $[\text{Sub}/(\text{HL})^{10}\text{H}/\text{Air}]$ 的四分之一波长堆,采用电子束蒸发的方式镀制,高折射率材料为 TiO_2 ,低折射率材料为

SiO₂, 衬底为熔融石英, 厚度为 2.5 mm, 正入射时, 对 514 nm 光波的反射率约为 99.8%, 膜层材料的光学、热学参数详见参考文献[7]。设置仪器的各参量为: 锁相放大器的灵敏度为 500 $\mu\text{V}/\text{Pa}$ 。斩波器调制频率为 80 Hz。步进电机扫描间隔为 200 μm , 停顿时间为 500 ms。扫描行程 X 为 1 cm, Y 为 1 cm, 在该区域内测量 50 \times 50 个点。根据公式(1), 光热失调信号幅值与样品的吸收成正比, 所以归一化采取 $n=m/S_{\text{max}}$ 的办法, m 和 n 分别为转换前后的值, S_{max} 为样本的最大值。这样就把所有数据归一到(0, 1]的区间内。图5是根据实验所测量的结果绘制的样品吸收均匀性图像。图中所测得的光热失调信号的最大值约为最小值的 2.5 倍, 并且在图中绝大部分区域内, 光热失调信号幅值在很小的区间内波动。可见该样品的吸收均匀性较好, 该样品的镀制较为均匀。

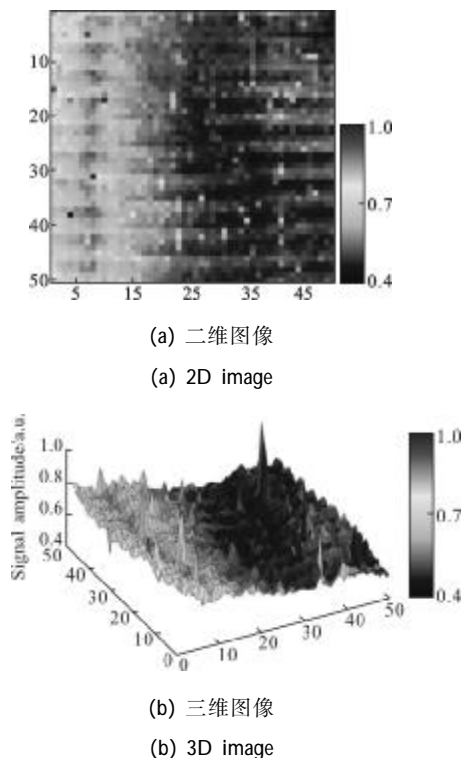


图 5 样品的吸收均匀性图像

Fig.5 Absorption uniformity measurement of sample

4 结 论

文中建立了计算机控制的基于光热失调技术的光学薄膜吸收均匀性测量实验系统。实现了光学薄膜吸收均匀性的成像, 结果清晰直观, 为光学薄膜吸收均匀性的分析提供了一种有力便捷的工具, 为进

一步计划开展薄膜吸收均匀性研究和镀膜工艺对成品的影响等工作提供实验技术平台和技术储备。同时, 研究内容丰富了光热技术在光学薄膜吸收均匀性研究领域的理论和实验方法, 有望用于高功率激光系统光学薄膜质量的评价中。

参 考 文 献:

- [1] Ji Yiqin, Cui Yuping, Liu Huasong, et al. Test and analysis of optics thin film loss[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, 37(3): 505-508. (in Chinese)
- [2] Jin Tao, Jiang Shaoji. Laser damage issues of optical coating for the mid-infrared [J]. *Acta Physica Sinica*, 2007, 36(5): 680-683. (in Chinese)
- [3] Wu Zhouling, Tang Jinfa, Shi Boxuan. Measurement of weak absorption of optical coatings by collinear photothermal deflection technique [J]. *Acta Optica Sinica*, 1990, 10(2): 134-138. (in Chinese)
- [4] Tao Chunxian, Li Xia, Li Dawei, et al. Research of modulation frequency in surface thermal lens technique for coatings weak absorption measurement [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, 30(2): 609-612. (in Chinese)
- [5] Wang Yanru, Li Bincheng, Liu Mingqiang. Measurement of thermal deformation using surface thermal lens technique[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2010, 22(8): 1805-1809. (in Chinese)
- [6] Chen Xiaoxiao, Lin Bincheng, Yang Yapei. Theory of surface thermal lens signal in optical coating with cw modulated top-hat beam excitation [J]. *Acta Physica Sinica*, 2006, 55(9): 4673-4676. (in Chinese)
- [7] Hao Honggang, Li Bincheng. Photothermal detuning for absorption measurement of optical coatings [J]. *Applied Optics*, 2008, 47(2): 188-194.
- [8] Hao Honggang, Rao Min, Zhou Ao, et al. Novel method of measuring absolute absorption loss of optical coatings [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2012, 41(6): 1490-1493. (in Chinese)
- [9] Hao Honggang, Li Bincheng, Liu Mingqiang. Sensitivity comparison for absorption measurement of optical coatings between surface thermal lens and photothermal detuning techniques [J]. *Chinese Journal of Laser*, 2009, 36(2): 467-471. (in Chinese)
- [10] Xu Xiaoguang. Research and design of communication system based on VB[J]. *Journal of Anhui University of Technology and Science*, 2004, 19(3): 54-58. (in Chinese)