

文章编号: 1001-3806(2006)01-0076-02

# 1.06 $\mu\text{m}$ 连续激光辐照 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ 薄膜元件的损伤效应研究

周维军, 袁永华\*, 张大勇, 桂元珍, 江继军  
(中国工程物理研究院 流体物理研究所, 绵阳 621900)

摘要: 用 1.06 $\mu\text{m}$  连续激光辐照  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  薄膜元件, 在不同强度下测量了激光辐照  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  薄膜元件引起反射信号幅度随时间的变化, 并观察到薄膜从基体材料表面起泡、膜层脱落的现象。研究表明,  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  薄膜的反射光信号变化是连续激光辐照薄膜元件产生的热效应引起的; 在激光辐照过程中, 薄膜元件基体材料产生的热变形差别是基体起泡、脱落的主要原因。

关键词: 连续激光; 薄膜; 热效应; 损伤效应

中图分类号: O484.5 文献标识码: A

## Research on damage of $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ film induced by 1.06 $\mu\text{m}$ CW laser

ZHOU Weijun, YUAN Yonghua, ZHANG Dayong, GUI Yuanzhen, JIANG Jijun  
(Institute of Fluid Physics CAEP, Mianyang 621900, China)

**Abstract** When  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  film is irradiated by different 1.06 $\mu\text{m}$  CW Nd:YAG laser radiation, the time history of the signal reflected from the  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  film is measured till a number of foam and pull off phenomenon on the  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  film surface is observed. The test results indicate the variation of the reflected signal is caused by thermal effect due to laser irradiation and during the laser irradiation, the difference of thermal deformation of the  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  film and substrate is the main cause of the foam and pull off phenomenon.

**Key words** CW laser; thin film; thermal effect; damage effect

## 引 言

光电装置主要由光学元件、探测器和信号测量电路等组成<sup>[1,2]</sup>。光学系统是由不同的光学元件组成。光学元件主要包括: 反射镜、透镜、增透膜、减反膜、滤光膜和分光膜等, 它们在光电系统中的主要作用是收集、会聚目标的辐射能量, 是影响光电系统成像质量的重要部件。薄膜元件是光电系统中容易被激光损伤、破坏的, 其损伤和破坏将导致光电系统功能失效。国内外许多研究人员都在开展这方面的研究工作, 现已有不少文献报道<sup>[3-7]</sup>。

典型光电装置中探测器位于光学系统的焦面附近, 入射激光在探测器位置的辐照强度最高, 激光辐照容易使探测器损伤或破坏。本文中研究的  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  薄膜元件靠近探测器前表面, 探测器未被激光损伤的情况下, 激光对  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  薄膜元件的损伤或者破坏同样可以使光电系统失效。因此, 开展不同强度下连续激光辐照  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  薄膜元件引起的损伤效应是激

光对抗典型光电装置的重要研究内容。

## 1 实验系统

连续激光辐照  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  薄膜元件的损伤、破坏效应实验光路如图 1 所示。实验中  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  薄膜元

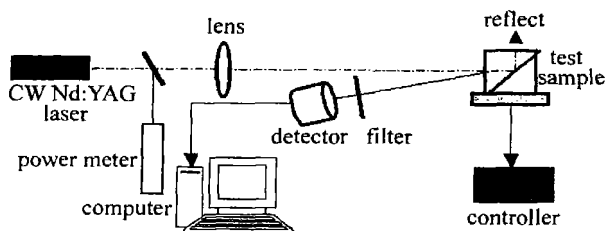


Fig 1 Experimental setup

件是一个具有拼接多个探测器像元和实现光谱滤波功能的滤光片, 膜厚为 28.98 $\mu\text{m}$ 。其作用是能够实现所需波长光到达探测器, 消除其它光的干扰, 图 1 中, 激光器是波长 1.06 $\mu\text{m}$  Nd:YAG 连续激光器, 激光束发散角大约为 2.5mrad, 平板玻璃用来分出一束弱激光对激光器输出功率进行实时监测。通过改变激光器输出功率实现连续激光对  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  薄膜元件的不同强度辐照, 光电管用于实时监测不同强度下连续激光辐照薄膜元件产生反射光(或散射光)信号强度随时间的变化过程。滤光片透过中心波长为 1.06 $\mu\text{m}$ , 用于

作者简介: 周维军(1979-), 男, 硕士研究生, 主要从事激光对抗以及激光与材料相互作用研究。

\* 通讯联系人。E-mail: yuanyh7693@sina.com

收稿日期: 2004-10-18 收到修改稿日期: 2004-12-13

消除杂散光对探测信号的影响。旋转控制器用来模拟薄膜元件在光电装置中的运动状态。

在透镜焦距 2026mm、光斑直径 5.065mm 和辐照时间 10s 的条件下,通过改变激光器输出功率,实现不同强度激光对实验元件的辐照,用光电管测量不同强度下 1.06 $\mu\text{m}$  连续激光辐照实验元件产生反射光信号幅度随时间的变化曲线,如图 2 所示。

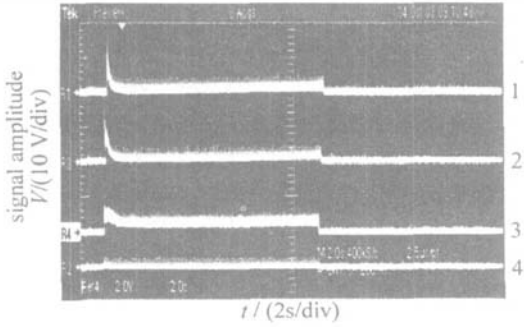


Fig 2 Variation of the signal reflected from an optical component surface  
1— $P = 50\text{W}$ , intensity is  $248\text{W}/\text{cm}^2$  2— $P = 30\text{W}$ , intensity is  $148\text{W}/\text{cm}^2$  3— $P = 20\text{W}$ , intensity is  $99\text{W}/\text{cm}^2$  4— $P = 10\text{W}$ , intensity is  $49\text{W}/\text{cm}^2$

从图 2 中可以看出:在整个激光辐照过程,当辐照强度较低(如辐照强度小于  $49\text{W}/\text{cm}^2$ )时,  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  薄膜元件表面产生的反射光信号幅度没有明显变化,说明激光没有对元件表面  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  薄膜产生任何损伤。当辐照强度较高时,表面  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  薄膜产生的反射光信号幅度在激光辐照期间发生跳变(如辐照强度大于  $99\text{W}/\text{cm}^2$ ),激光辐照期间形成的反射光信号幅度从最大值变化到稳定值的时间就是激光对  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  薄膜元件的损伤时间。随着激光强度的增加,反射光信号幅度随着增高,损伤时间也随着减少,反射信号幅度从最大值跳变到稳定值后一直没有明显变化。如图中 2 所示,当功率大于  $99\text{W}/\text{cm}^2$  时,反射信号发生跳变,表明激光对表面  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  膜层已经损伤。激光功率继续增大,损伤时间也越短,薄膜破坏也愈严重。

透镜焦距 2026mm,利用旋转控制器模拟  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  薄膜元件在实际光电系统中的运动状态,进行 1.06 $\mu\text{m}$  连续激光辐照  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  薄膜元件的动态损伤效应研究。 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  薄膜元件安装在旋转装置上,装置以  $0.4^\circ/\text{s}$  的速度旋转,表 1 中列出不同强度下 1.06 $\mu\text{m}$  激光辐照薄膜元件引起表面薄膜动态损伤的实验数据。

Table 1 Dynamic damage date of special optical component with different laser irradiation

laser power/W	time/s	intensity / ( $\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$ )	speed of rotation	damage effect
30	5	148	$0.4^\circ/\text{s}$	foam
50	5	248	$0.4^\circ/\text{s}$	film and pull off

图 3 中给出光学显微镜放大 20 倍情况下的不同强度激光  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  薄膜元件引起表面薄膜损伤的典型形貌。从图 3 中可以看出:在连续激光辐照强度  $148\text{W}/\text{cm}^2$  条件下,激光辐照已经引起表面  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  薄膜的轻微损伤。当激光强度增加到  $248\text{W}/\text{cm}^2$  时,激光辐照  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  薄膜元件可以导致表面薄膜的膜层脱落,也就是说激光辐照  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  薄膜元件造成了表面薄膜的严重破坏,如图 3b 光斑中心的暗区。



Fig 3 Damaged pattern of the thin film on the surface of a special component dynamic is  $0.4^\circ/\text{s}$ , irradiation time is 5s  
a— $148\text{W}/\text{cm}^2$ , damage diameter is 3.8mm b— $248\text{W}/\text{cm}^2$ , damage diameter is 5.5mm

利用光学显微镜放大 40 倍观察图 3 中连续激光辐照区  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  薄膜元件表面薄膜损伤的细微结构。图 4 是所拍摄的表面薄膜损伤的典型形貌。在强度  $148\text{W}/\text{cm}^2$  下,观察到  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  薄膜元件在激光辐照区内膜层的大量气泡,气泡的出现说明激光已对薄膜元件表面产生了轻微的损伤,如图 4a 所示。当强度增加到  $248\text{W}/\text{cm}^2$  时,观察到薄膜元件表面膜层被激光辐照中心出现了膜层从基体表面脱落的现象,说明激光辐照已经对  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  薄膜元件表面膜层产生了严重的破坏,如图 4b 所示。

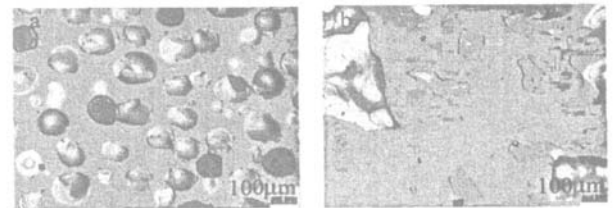


Fig 4 Damaged thin film of a special optical component irradiated by 1.06 $\mu\text{m}$  laser dynamic is  $0.4^\circ/\text{s}$  irradiation time is 5s  
a— $148\text{W}/\text{cm}^2$  b— $248\text{W}/\text{cm}^2$

## 2 讨论和结论

激光辐照  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  薄膜元件,薄膜内吸收一部分能量,使光能转化为热能,形成激光对薄膜的热破坏源。因此,连续激光辐照  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  薄膜元件引起薄膜损伤的主要机理是热效应。

光学薄膜的损伤阈值与薄膜厚度、基体材料、杂质缺陷以及薄膜的制备工艺有密切的关系。为了提高薄膜的抗激光性能,可以对薄膜、基体材料进行有效的处理,如除去基体材料或薄膜的杂质缺陷。杂质的存在,

(下转第 81 页)

胞株 BU-87 细胞凋亡的分子机制还有待今后探讨。

该研究得到了中国人民解放军北京军区总医院肿瘤科刘爱琴博士、四川省泸州医学院康复科余茜博士、第三军医大学新桥医院唐建民教授、第三军医大学基础部物理教研室的邓玲副教授、陈仕国讲师以及第三军医大学西南医院感染科邓国宏博士的大力帮助,在此深表感谢!

### 参 考 文 献

- [ 1 ] CHEN Zh L, ZHANG LM, SUN J *et al*. The photodynamic and chemotherapeutic effect of porphyrin nitrogen mustard on liver cancer cell SMMC7721 [ J ]. Academic Journal of Second Military Medical University, 2001, 22( 3 ): 271 ~ 273( in Chinese ).
- [ 2 ] XU Ch S, YU Q, WU Sh M *et al*. Leukemia cell purging through photodynamic therapy with oligonucleotide modified by photosensitizer [ J ]. Laser Technology, 2002, 26( 2 ): 159 ~ 160( in Chinese ).
- [ 3 ] WANG R P, LIY X. Application of photodynamic therapy in management of tumors [ J ]. Biomedicine and Engineering of Foreign Medical Sciences, 1999, 22( 6 ): 355 ~ 358( in Chinese ).
- [ 4 ] WANG T Y, MA J Sh. As the light took effect the symptoms vanished — introduction of photodynamic therapy [ J ]. Nature Journal, 2001, 22( 5 ): 276 ~ 281( in Chinese ).
- [ 5 ] THOMPSON H J, STRANGE R, SCHEDN P J *et al*. Apoptosis in the

- genesis and prevention of cancer [ J ]. Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention, 1992, 1( 1 ): 597 ~ 603.
- [ 6 ] GUO D Y, CHEN Y Sh, BIAN X W *et al*. Study of nordihydroguaiaretic acid induced apoptosis in human malignant glioma cell line [ J ]. Cancer, 2001, 20( 11 ): 1246( in Chinese ).
- [ 7 ] HETTS SW. To die or not to die: an overview of apoptosis and its role in disease [ J ]. Journal of the American Medical Association, 1998, 279( 4 ): 300 ~ 307.
- [ 8 ] FEUS L, SZONDY Z, URA Y I. Probing the molecular program of apoptosis by cancer chemotherapeutic agents [ J ]. Journal of Cell Biochemistry, 1995, 22( suppl 1 ): 151 ~ 161.
- [ 9 ] ORMEROD M G. The study of apoptotic cells by flow cytometry [ J ]. Leukemia, 1998, 12( 7 ): 1013 ~ 1025.
- [ 10 ] PENG L M. Contrastive study of six assays for apoptosis [ J ]. Chinese Journal of Pathology, 1999, 28( 1 ): 55 ~ 57( in Chinese ).
- [ 11 ] LU A Q, LIU D Q, GU Y *et al*. Effects of copper vapor laser irradiation on apoptosis and proliferation inhibiting of vascular smooth muscle cells [ J ]. Laser Journal, 2002, 23( 6 ): 71 ~ 72( in Chinese ).
- [ 12 ] GUPTA S, HUSSIAN T, MUKHTAR H. Molecular pathway for cepi galloatedin-3 galate induced cell cycle arrest and apoptosis of human prostate carcinoma cells [ J ]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 2003, 4( 1 ): 177 ~ 185.
- [ 13 ] GAVRIELIY, SHERMAN Y, BEN-SASSON S A. Identification of programmed cell death in situ via specific labeling of nuclear DNA fragment [ J ]. Journal of Cell Biology, 1992, 119( 3 ): 493 ~ 501.

(上接第 77 页)

增加了薄膜对入射激光能量的热吸收,使产生的温度场分布不均匀,有利于激光对薄膜元件的损伤或破坏。

激光辐照  $TiO_2/SiO_2$  薄膜元件出现薄膜起泡、膜层脱落现象可能与元件镀膜的制备工艺有关。薄膜起泡、膜层脱落可能意味着在薄膜制备工艺中形成膜层与基体材料之间的附着力较差。此外,激光辐照  $TiO_2/SiO_2$  薄膜元件形成薄膜与基体材料的热变形差别也是薄膜起泡、脱落的主要原因之一。

通过实验,得到  $1.06\mu m$  连续激光在不同激光强度下辐照  $TiO_2/SiO_2$  薄膜元件产生反射光信号随时间的变化过程,为确定  $TiO_2/SiO_2$  薄膜元件激光损伤阈值和破坏时间提供了依据。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] GAO Zh Y, GAO Y, ZHANG K H. Military photoelectricity system

- [ M ]. Beijing: Beijing Institute of Science and Technology Press, 1996, 7( in Chinese ).
- [ 2 ] LI Zh Y, LI F Ch, GUO J P *et al*. Wavelength effects on laser induced optical thin film damage [ J ]. Chinese Journal of Lasers, 1991, 18( 1 ): 31 ~ 33( in Chinese ).
- [ 3 ] HU J P, CHEN M, FU X Y *et al*. Relation between and defects of  $H_2O_2/SiO_2$  HR coating [ J ]. High Power Laser and Particle Beams, 2001, 13( 5 ): 529 ~ 532( in Chinese ).
- [ 4 ] LI Zh Y, DENG H, FANG Zh X.  $1.06\mu m$  laser induced damage of  $TiZr$  thin-film optical coating [ J ]. Chinese Journal of Lasers, 1988, 16( 7 ): 413 ~ 416( in Chinese ).
- [ 5 ] PAN Y J, FENG J. Damage mechanism of optical films by high-power laser [ J ]. Semiconductor Optoelectronics, 1997, 18( 1 ): 62 ~ 65( in Chinese ).
- [ 6 ] XIA J J, LI Zh Y, CHENG L.  $532nm$  laser induced damage to optical film [ J ]. Laser Technology, 1996, 20( 3 ): 378 ~ 379( in Chinese ).
- [ 7 ] SUN Ch W. Laser irradiation effect [ M ]. Beijing: National Defense Industry Press, 2002, 310 ~ 312( in Chinese ).