

# 用 Nomarski 干涉仪与数字相机研究 光学材料的破坏\*

陈飞 於海武 孟绍贤

(中国科学院上海光机所 上海 201800)

**提要** 介绍自行研制的一台新型光学材料破坏的测量装置,它由数字相机与 Nomarski 偏光干涉仪组成,并与计算机接口,从而实现光学材料破坏测量过程中的数字化,并用它对光学材料破坏进行初步测量和分析,实验结果与分析相符。

**关键词** 数字相机, Nomarski 偏光干涉仪, 数据处理

## 1 引言

激光引起光学透明材料的破坏研究,从激光发明以来就广泛进行了<sup>[1~3]</sup>。但至今还没有给出一个完整的理论解释,测量方法目前仍然停留在主观以及半定量的测量上,采用的激光脉冲宽度从毫秒量级直到 150 fs<sup>[4~6]</sup>。光学元件的激光破坏最终限制了激光系统的性能,因而光学元件的激光破坏研究,对发展高功率激光系统具有重大意义。

LLNL<sup>[5]</sup>和我们采用 Nomarski 干涉显微技术,它具有干涉仪和显微镜的双重优点,原则上  $\lambda/10$  的光程变化都可以观察到,因而可以观察最小的破坏光斑,这是其它方法所不能做到的。破坏是指用 Nomarski 干涉仪观察到任何可见的永久变形,我们采用了近年发展起来的数字相机技术<sup>[7,8]</sup>,与 Nomarski 干涉显微技术结合,并与计算机接口,使光学材料破坏的研究达到自动化和数字化。

本文介绍我们研制的新型光学材料破坏的测量装置系统,并给出初步的测量结果。

## 2 基本原理

到目前为止,光学元件的激光破坏基本上分为雪崩和多光子离化引起的本征破坏<sup>[4,5]</sup>及与杂质吸收相关的非本征破坏<sup>[6]</sup>。光学材料破坏的实质是在强激光电场作用下,物质的原子和分子结构的改变,这种改变可以是原子和分子在原来位置的微小振动或偏离原有位置大的移动,或者由于电子吸收光子跃迁到高能态形成自由电子,这个电子在激光场中进一步加速,获得能量,进而产生更多自由电子,当碰撞离化或雪崩倍增电子数达到一定程度后,自由电子强烈吸收光能量,并通过电子-声子相互作用加热晶格,形成热弹应力以及一些不可逆的相变过程(比

\* 国家高技术 863 基金资助项目。

收稿日期: 1996-06-26; 收到修改稿日期: 1996-10-17

如熔化), 从而形成材料破坏。在这个过程中, 必然引起通过光的位相或光程的变化。而干涉仪对光程的变化是十分灵敏的, 即使  $\lambda/10$  的变化都可以观察到。Nomarski 干涉仪是一种偏振的等光程干涉仪, 并具有放大特性, 因而它能对微小的变形或破坏给出显示。

以往我们采用照像记录技术来拍摄干涉图<sup>[9,10]</sup>, 然后再用测微光密度计扫描。由于照像技术的信噪比低、灵敏度低、动态范围小, 有不可忽略的背景噪声和测微光密度计扫描过程产生的噪声, 而且分辨率低、信息量少、处理过程麻烦、费时费力、误差大, 不能对激光进行实时测量和显示, 因而限制了方法的有效性。

数字相机是以高灵敏的 CCD 作为接收器件的相机。CCD 摄像器件不仅具有尺寸小、重量轻、功耗小、工作电压低、长寿命等优点, 而且在分辨率、动态范围、灵敏度、实时传输和电子自扫描等方面的优越性, 也是其它摄像器件无法比拟的。加之无图像扭曲, 信息便于处理, 而且便于与计算机接口实现各种图像处理。

### 3 实验装置

实验装置如图 1 所示。用于材料破坏的是一台  $F_{21}:\text{LiF}$  色心晶体调 Q 的 Nd:YAG 激光器, 它可以获得脉宽为 20 ns, 能量为 50 mJ 的稳定输出。

光学破坏的测量装置包括一台 He-Ne 激光器的照明光源, 一台 Nomarski 干涉仪, 一台 Casio QV-10 CCD 摄像机和一台 486SX 计算机。

Nomarski 干涉仪是由两个偏振片和两块 Wollaston 棱镜组成。Wollaston 棱镜是把两个双折射棱镜使其光轴相互垂直地胶合起来, 所以入射光线被分成寻常光线和非寻常光线。因此 Wollaston 棱镜是一个分光镜, 由图 1 可以看出, 入射光经过起偏镜和第一块 Wollaston 棱镜(起偏镜的透光轴方向和 Wollaston 棱镜的两个垂直的光轴方向的夹角平分线

平行)后被分成强度相等、偏振方向互相垂直的两束线偏振光, 经过透镜会聚(第一块 Wollaston 棱镜的中心位置近似于透镜的焦点处)后变成平行光, 然后经过待测物体, 再经过后面对称放置的透镜和 Wollaston 棱镜, 则两束光能精确地重叠, 最后由检偏镜投影, 即可形成偏振光的干涉条纹。

干涉条纹的记录装置是一台与 486 计算机相接的数字相机。用面阵 CCD, 靶面大小为 0.5 cm, 像元数为  $512 \times 512$ 。响应波长范围为 400~1100 nm。灵敏度(S/N Ratio)为 48 dB。空间分辨率为 13  $\mu\text{m}$ 。

记录装置如图 2 所示。入射光源经透镜组成的光束直径匹配装置对光斑进行压缩, 最后到达 CCD 摄像器件, CCD 接收的光信号, 由图像卡进行快速 A/D 转换及采集存储, 由计算机进行数据处理, 可用监视器实时显示干涉条纹。在实验中我们发现, 高强度的脉冲氙灯和 He-Ne 光源的漏光对数字相机有很大影响。因此在数字相机前加上一个干涉滤光片, 防止了杂散光的干扰。

我们建立了一套测量激光干涉能量分布的分析软件, 可对材料破坏进行初步研究。系统软

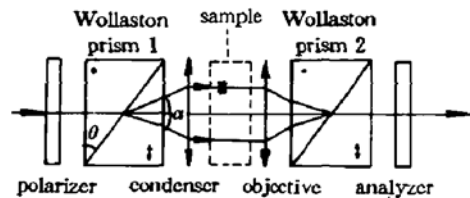


图 1 Nomarski 偏光干涉仪结构框图

Fig. 1 Scheme of a Nomarski polarized light interferometer

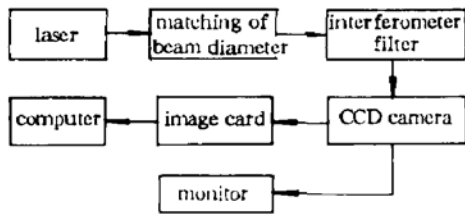


图 2 CCD 测量系统结构框图  
Fig. 2 CCD measurement system

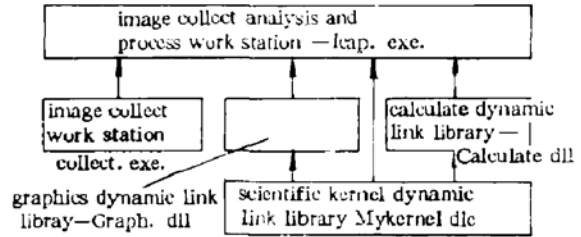


图 3 图像分析处理程序结构框图  
Fig. 3 The structure of image analysis and process software

件包括两部分内容：一部分是测量控制软件，包括数据采集、图像存取、图像转换等功能。另一部分是能量分析软件，记录下干涉条纹的空间能量分布信息，并对测量结果进行分析处理。该软件可对测量结果进行多种数学运算处理，利用空间频率分析方法(二维傅里叶正变换、反变换等)对干涉条纹的空间能量分布进行分析，求出其原始等高图、立体图、频谱分布图等。软件框图如图 3 所示。

该软件在中文 WINDOWS 环境下，可处理 512×512 点阵的二维图像，而且绝大部分操作仅用鼠标的左、右按钮就可以完成。

### 4 实验结果及分析处理

光学材料的早期破坏表现为内部变形的积累，虽然这种变形对通过它们的光的强度或能量没有影响，但是会影响光束传输质量，因为它们改变了光学波前，所以也就改变了光束的横向空间分布，这在对光束传输质量要求很高的激光聚变研究中是不允许的。实验装置如图 4 所示。

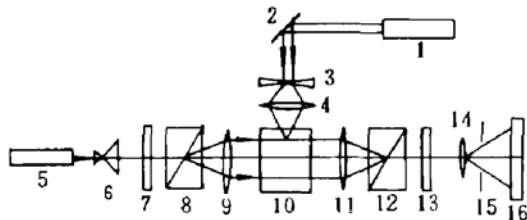


图 4 用 Nomarski 偏光干涉仪测量光学玻璃材料的破坏

- 1: Nd:YAG 激光器; 2: 反射镜; 3: 凹透镜; 4: 凸透镜; 5: He-Ne 激光器; 6: 扩束镜; 7: 起偏器; 8, 12: Wollaston 棱镜; 9, 11: 透镜; 10: 探测样品; 13: 检偏器; 14: 目镜; 15: 针孔; 16: 数码相机

Fig. 4 Damage measurements with a Nomarski polarized light interferometer

- 1: Nd:YAG laser; 2: mirror; 3: negative lens; 4: positive lens; 5: He-Ne laser; 6: expanding lens; 7: polarizer; 8, 12: Wollaston prism; 9, 11: lens; 10: test sample; 13: analyzer; 14: objective; 15: pinhole; 16: digital camera

还要注意微小破坏斑点的出现。通常当出现眼睛可以观察到的破坏斑点或痕迹时，破坏点已表现出对 He-Ne 光的较强的吸收。

实验过程如下，首先拍得 Nd:YAG 激光照射玻璃样品之前的干涉条纹。虽然详细计算可以知道 Nomarski 偏光干涉仪是严格等光程的，但放上样品之后，通常样品的前后表面不可能做到绝对光滑和平行，所以会有表征样品等厚特性的干涉条纹出现如图 5。将 Nd:YAG 激光通过一对正负透镜紧聚焦之后照射玻璃样品内部，并且使其焦点和从 Wollaston 棱镜分出来的一束光重合；实验过程中可以边打靶边通过监视器观察干涉条纹的变化，记下打靶次数，发现干涉条纹有轻微变化时就将其拍摄下来，送入计算机进行处理，观察其干涉条纹的空间能量分布。继续打靶，注意条纹的演变并拍摄，因为是紧聚焦打靶，所以在打靶过程中

以下是该软件采集、分析、处理打靶前、打靶后得到的干涉图的结果样例。

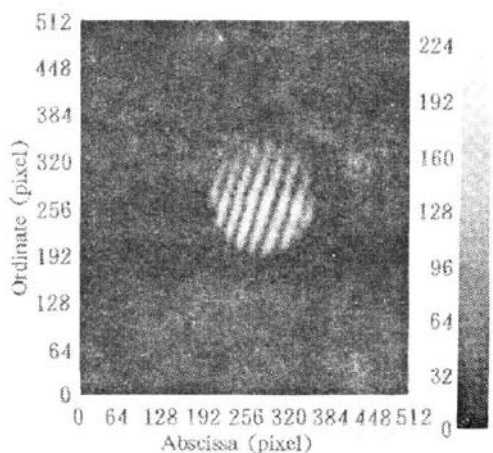


图 5 干涉条纹的原始平面分布图(打靶前)

Fig. 5 Original 2D profile of an interferogram

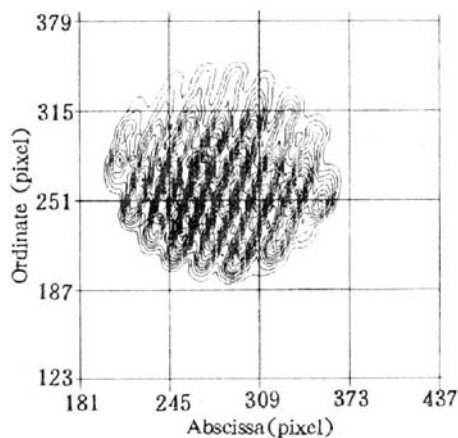


图 6 原始等高图(打靶前)

Fig. 6 Original 2D isohypse profile

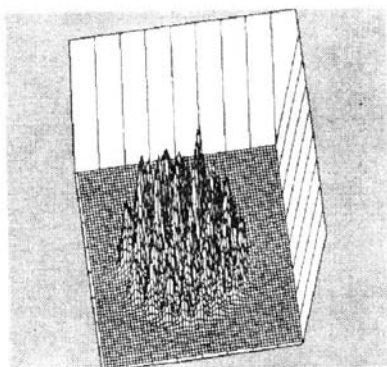


图 7 干涉条纹的原始立体分布图(打靶前)

Fig. 7 Original 3D profile of the interferogram

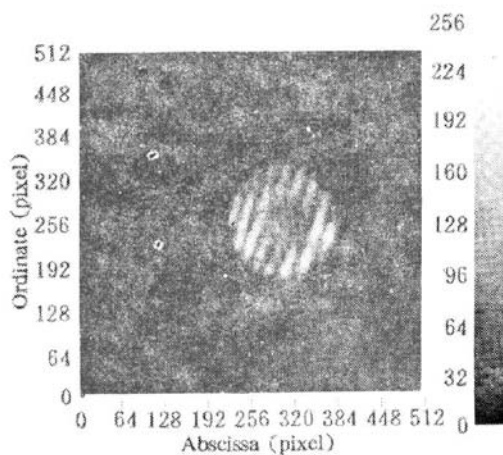


图 8 干涉条纹的原始平面分布图(打靶后)

Fig. 8 2D profile of the damaged interferogram

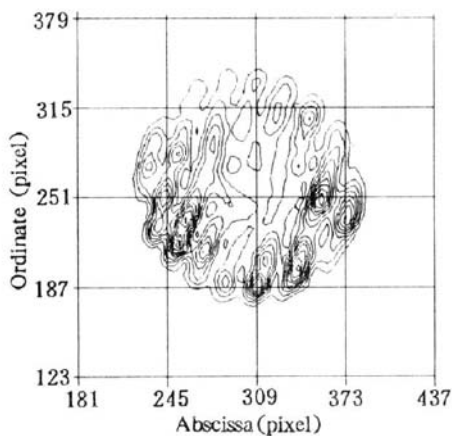


图 9 原始等高图(打靶后)

Fig. 9 2D isohypse profile of the damaged interferogram

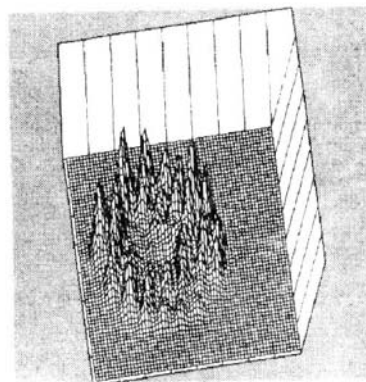


图 10 干涉条纹的原始立体分布图(打靶后)

Fig. 10 3D profile of the damaged interferogram



图 5 为打靶前 CCD 拍摄的干涉图样的原始分布图,图 6 和图 7 分别是经软件分析、处理后的等高图和立体图。可以看出图 5 和图 6 是表征样品等厚的干涉条纹。

破坏后的光学材料的干涉图的强度分布如图 8 所示。图 9 和图 10 分别是经软件分析、处理后的等高图和立体图。从图 9 可以看出中心区域已表现出破坏斑点对 He-Ne 光的吸收。

我们给出了打靶后与打靶前的干涉图样数据相减后的立体图,如图 11 所示。因此我们可以更直接地确定光学材料是否被破坏。

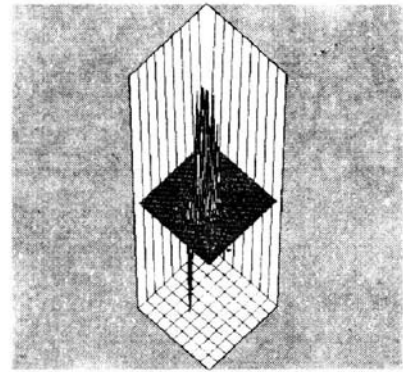


图 11 打靶前的干涉条纹图像与打靶后的图像相减后的立体分布图

致 谢 在此感谢凌鸣逸、金洪厚、王志娟老师的帮助。 Fig. 11 Original 3D profiles of subtract image

### 参 考 文 献

- 1 Laser Induced Damage in Optical Materials. *Proceeding of the Boulder Damage Symposium*, 1969, 1~27 : 95
- 2 N. Bloembergen. Laser induced electric breakdown in solid. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1974, QE-10 : 375
- 3 M. F. Koldunov, A. A. Manenkov, I. L. Pokitilo. Theoretical analysis of the condition for a thermal explosion and of a photoionization instability of transparent insulators containing absorbing inclusions. *Sov. J. Quant. Electr.*, 1988, 18(3) : 343
- 4 D. Du, X. Liu, G. Korn *et al.*. Laser induced breakdown by impact ionization in with pulse widths from 7 ns to 150 fs. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, 64(23) : 3071
- 5 B. C. Stuart, M. D. Feit, A. M. Rubenchik *et al.*. Laser induced damage in dielectrics with nanosecond to subpicosecond pulse. *Phys. Rev. Lett.*, 1995, 74(12) : 2248
- 6 М. Ф. Колднов, А. А. Маненков, И. Л. Покотило. Зависимость от длительности импульса порога лазерного разрушения прозрачных твердых тел, содержащих поглощающие включения. *Изв. АН, Серия Физическая*, 1995, 59(12) : 72
- 7 Yu Haiwu, Meng Shaoxian. Wollaston prism design and working parameters in the Nomarski polarized light interferometer. *Opt. Engineering*, 1996, 35(8) : 2310~2312
- 8 S. J. Sternferg. CCD advances simplify scientific camera design. *Laser Focus World*, 1996, 32(1) : 101
- 9 孟绍贤,江志明,徐志展等. 激光等离子体探针及应用研究. *核聚变与等离子体物理*, 1989, 9(2) : 102
- 10 Meng Shaoxian, Gu Zhongmin Yang Jingxin *et al.*. 315 nm optical sounding for laser produced plasma. *SPIE*, 1992, 1801 : 514

## Nomarski Interferometer and Digital Camera Application in the Investigation of Optical Materials Damage Processes

Chen Fei Yu Haiwu Meng Shaoxian

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

**Abstract** In this paper, a new detecting system for the study of damage of optical materials is described, which consists of a digital camera and a Nomarski polarize interferometer. The automatization of the detecting process is realized by interfacing the system with a computer. The analysis is in good agreement with the experimental data.

**Key words** digital camera, Nomarski interferometer, data processing