

一种单次超快成像的新方法

毛宏伟 张雨东 吴柏昌 陈创天

(中国科学院福建物质结构研究所, 福州 350002)

提要 本文报道了一种单次超快成像的新方法, 该方法的时间分辨率仅由投影光的脉宽决定。我们用这种方法记录了有机玻璃中激光辐照损伤的全过程。

关键词 时间分辨, 单次成像, 投影光

A new method for ultrafast imaging in a single shot

MAO Hongwei, ZHANG Yudong, WU Baichang, CHEN Chuangtian

(Fujian Institute of Research on the Structure of Matter, Fuzhou 350002)

Abstract A new method for ultrafast imaging in a single shot is reported. The time resolution of the image depends on the duration of laser pulse. A whole process of laser induced damage in organic glass has been recorded by this method.

Key words time resolution, imaging in a single shot, projecting beam

1 引言

为了研究激光诱导损伤的规律, Shank 小组和 Dlotl 小组提出了高速显微摄影技术, 采用该技术可以得到亚皮秒时间分辨的优质像^[1]。但该技术最明显的不足是无法对损伤的全过程单次成像。为了充分了解损伤机制, 对损伤的全过程进行单次记录是必要的。

本文提出一种改进技术, 可以对损伤进行单次全过程记录。并完成了一个演示实验, 以阐明该技术的原理。

2 原理

为了实现一次成像, 我们采用多路具有不同延时, 并具有不同波长或不同偏振态光作为投影光。这些投影光以波长或偏振态进行编码, 通过编码这些投影光的延时被标定, 而延时时不同的投影光所成的像又可以用色散元件或检偏器进行解码。

原理图如图 1 所示。一光脉冲由分束器 S_1 分成两路, 一路作为损伤泵浦光, 另一路聚入由喇曼池或非线性晶体构成的频率变换器, 以得到不同波长的光, 用色散元件将这些光在空间上

分开,然后将具有不同延迟长度的光学延迟线引入这些投影光路。这些投影光束经准直后照射到样品上。成像光学系统则由置于样品后方的望远镜系统构成。样品置于望远系统的物镜前焦面,记录面与目镜后焦面重合。在目镜与记录面之间放一色散元件,这样不同波长的投影光所成的像在空间再次分开,实现了不同时间通道的记录面空间分离,从而单次记录下各个不同延迟时刻的像。这种方法的时间分辨率由投影光的脉宽决定,以现有技术可达飞秒时间分辨。

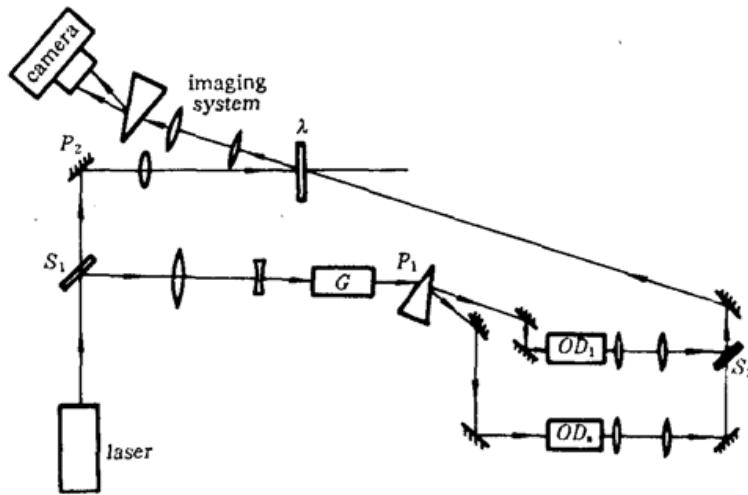


Fig. 1 Arrangement for ultrafast imaging

where $OD_1, \dots, OD_n \rightarrow$ Optical delay line; $G \rightarrow$ Ramen cell or NLO crystal;

$P_1, \dots, P_n \rightarrow$ Prisms; $A \rightarrow$ Sample; $S_1, S_2 \rightarrow$ Beam splitters

3 演示实验结果及讨论

我们用调 Q 的 Nd:YAG 激光器完成了演示。为了获得脉宽窄的投影光,用受激喇曼背向散射来压缩投影光的脉宽。为此,光斑直径为 $\phi 2$ mm 的 $0.532 \mu\text{m}$ 的绿光(已经由一望远镜聚束),由一焦距为 70 cm 的透镜聚焦,用以泵浦 H_2 气体产生受激喇曼散射。喇曼管长 45 cm,气压 3 MPa。一阶 Stocks 背向散射光脉宽,用二次谐波自相关法测得约为 520 ps,自相关强度与延迟时间关系如图 2 所示。以同样方法测得前向喇曼散射光脉宽约为 2.1 ns。本实验中,脉宽为 520 ps 的一阶背向 Stocks 光,一阶前向 Stocks 光(脉宽为 2.1 ns),和二次谐波绿光(脉宽 5 ns)被用于投影光。投影光之间,投影光与损伤泵浦光的相对延迟时间如图 3 所示。实验中以波长为 $0.532 \mu\text{m}$ 的绿光用焦距为 65 cm 透镜聚焦于样品上作为损伤光,在样品表面的损伤光强度为 $2.5 \text{ GW}/\text{cm}^2$;投射至样品上的投影光的光斑直径为 $\phi 3$ mm,远大于损伤光的直径,所以整个损伤区域都被照明。投影光经成像系统所成的像由色散元件分开后,用 21° 的黑白胶片记录。结果如图 4(a~c) 所示。图 4(a) 对应的投影光延时为 0 ps,由照片可见样品此刻尚未损伤;图 4(b) 为前向喇曼光经延迟 3.2 ns 后所成的像,从照片上可以看出有一模糊的斑点(由箭头标出),这一结果表明损伤已发生,样品表面开始融化。图 4(c) 为延迟时间为 15.5 ns 的绿光投影所成的像,照片中有明显的带有蒸发拖尾的黑孔,这表明融化层向深部扩展,熔融层被激光进一步加热后,材料被分解、碳化并最后被蒸发掉。这些实

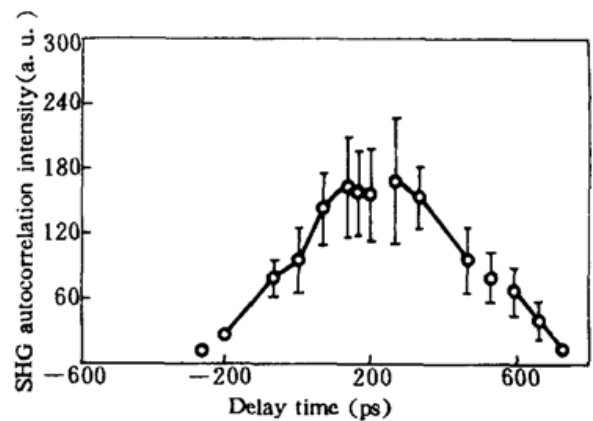


Fig. 2 Autocorrelation intensity of BSRS versus delay time

验结果可用热熔模型说明, 损伤是由多光子吸收引起的, 接着样品中分子的键断裂, 样品开始熔化, 热冲击波形成并向样品深层传播, 使得损伤区域扩大。

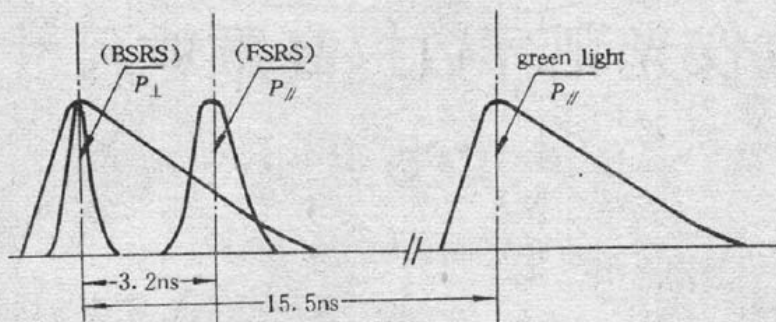


Fig. 3 Relative positions between the projecting beams and the damage beam in temporal domain

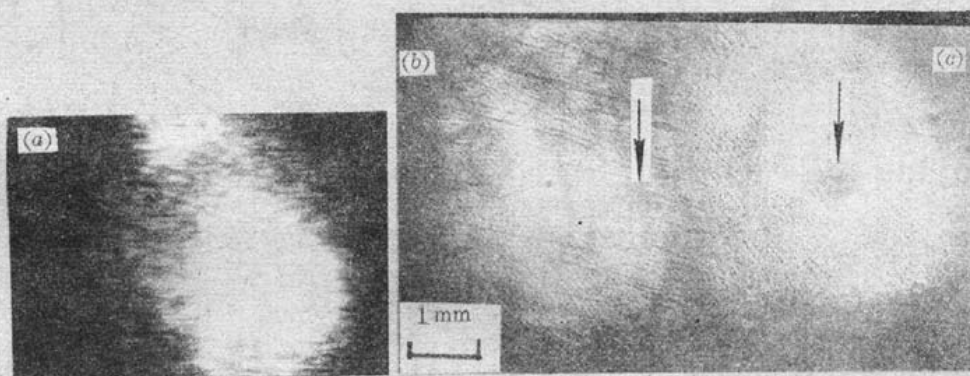


fig. 4 Images of damaged areas

(a) delay time $T_d = 0$ ps; (b) delay time $T_d = 3.2$ ns; (c) delay time $T_d = 15.5$ ns

该实验因条件所限不够完善, 实验中照片也不够理想, 在进一步的研究中应改进成像系统。在实验中用棱镜作为色散元件, 会给成像系统引入像散、慧差、球差、色差等像差, 由于像方孔径角较小, 主要是像散引入的像模糊。若采用光栅作为色散元件, 则有光栅色散和能量损失较大的问题, 所以宜改用闪耀光栅, 并且在能分开不同波长光通道的前提下, 光栅常数 d 应尽量取大, 以减小色散引起的像模糊。与棱镜相比, 光栅引入的像差较小, 在实验条件允许的情况下, 应采用光栅作为色散元件。利用闪耀光栅, 增强 +1 级或 -1 级的光强, 以保证单脉冲曝光强度。

参 考 文 献

- 1 Doumer M. C., Fork R. L. et al., *J. Opt. Soc. Am.*, B2(4), 595~599(1985)