

脉冲激光重复烧蚀石墨的反应性光声谱

沈瑞琪* 叶迎华

(南京理工大学化工学院 南京 210094)

张淑仪

(南京大学声学研究所 南京 210093)

提要 利用脉冲 Nd·YAG 激光器对石墨进行重复性烧蚀。在一定的激光能量下, 激光光声强度随重复次数增加而衰减。表明烧蚀坑对能量和质量从样品中流出有抑制作用。

关键词 激光烧蚀, 光声谱, 光声检测, 石墨, 烧蚀坑作用

1 引 言

反应性光声谱能清楚地反映出激光对物质的热损伤、烧蚀、解离和快速的化学反应过程^[1-4]。应用反应性光声谱技术对激光的烧蚀问题进行研究, 结果表明烧蚀的反应性光声谱与烧蚀程度有密切关系^[4], 也暗示了烧蚀的反应性光声谱与烧蚀坑相关。为了进一步认识这一相关性, 本文利用定容和变容光声测试系统研究石墨的烧蚀坑对光声谱的影响规律和烧蚀坑对激光烧蚀的影响。

2 实验装置

实验装置和光声腔的原理及结构分别见图 1 和图 2。脉冲 Nd·YAG 激光通过光衰减器并

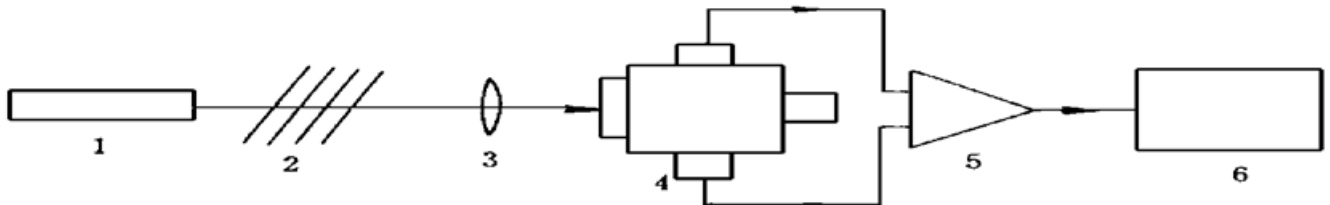


图 1 光声检测系统框图

1: 脉冲 Nd·YAG 激光; 2: 光衰减器; 3: 聚焦透镜; 4: 光声腔; 5: 放大器; 6: 数据采集及分析系统

Fig. 1 Experimental setup of the photoacoustic detection system

1: pulsed Nd·YAG laser; 2: optical attenuator; 3: focusing lens;

4: photoacoustic cell; 5: amplifier; 6: data acquisition and analysis system

由透镜聚焦到样品表面上。透镜焦距为 4 cm。激光脉冲宽度约为 400 μ s。光声腔气室尺寸为 ϕ 10×10 mm, 样品杆可以固定也可以自由滑动。当样品杆固定时, 光声腔气室的容积不变, 光声

* 南京大学声学研究所访问学者。

腔为定容光声腔。当样品杆可以自由滑动时, 光声腔气室容积在声强较强时会变化, 光声腔为变容光声腔。

3 实验结果分析

采用不同能量的激光对石墨片样品进行烧蚀。在样品表面上的光斑直径为 1.0 mm, 石墨的烧蚀坑直径为 0.3 mm。图 3 (a) 和 (b) 分别描述了在激光能量不变的条件下, 激光对石墨同一点烧蚀的次数对定容光声腔和变容光声腔的烧蚀光声谱的影响。图 4 (a) 和 (b) 则分别描述了在激光能量不同的条件下, 烧蚀次数对定容光声腔和变容光声腔烧蚀光声强度的影响。

从图 3 和图 4 的实验结果可以得出下面的结论:

在一定能量的激光作用下, 石墨的烧蚀光声谱强度随烧蚀次数提高而减弱, 激光能量大则随烧蚀次数减弱的程度也大。烧蚀坑的深度与烧蚀次数和烧蚀光能都有直接关系。当烧蚀光能量大于烧蚀阈值 ($\sim 4.3 \times 10^7 \text{ W}$) 时, 烧蚀坑的深度随烧蚀次数的增加和激光能量增大而加深。这种关系表明了烧蚀坑会削弱烧蚀光声的强度, 烧蚀坑越深, 这种削弱的的能力越强。另外除了激光对声有贡献外, 被烧蚀的石墨与环境中的氧反应对声也有贡献, 体现在光结束后声强继续增加, 见图 3 (a), 而图 3 (b) 中的第二声峰与可滑动样品杆的滑动关系。

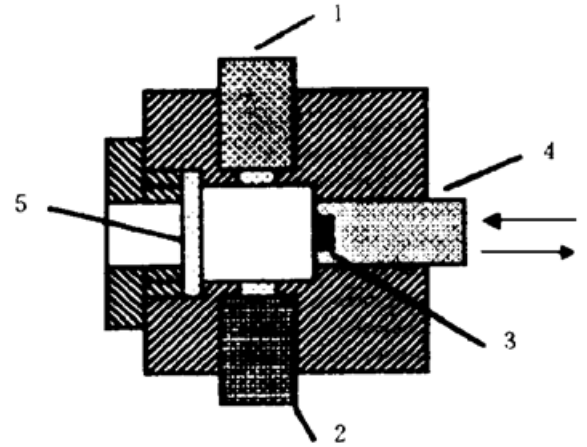


图 2 光声腔结构图

1: PZT 微音器; 2: 光电传感器; 3: 测试样品;
4: 可滑动样品杆; 5: 玻璃透窗

Fig. 2 Diagram of the photoacoustic cell

1: PZT microphone; 2: photoelectric sensor; 3: sample;
4: movable sample bar; 5: glass windows

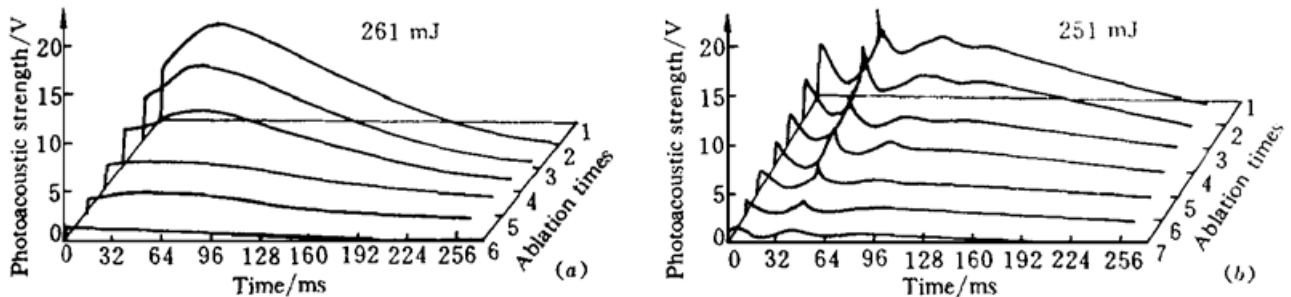


图 3 定容光声腔 (a) 和变容光声腔 (b) 的烧蚀光声谱

Fig. 3 Ablation PAS of the constant volume cell (a) and of the variable volume cell (b)

光声技术是一种灵敏的量热技术。光声谱可以衡量从样品流入光声腔的能量和质量。能流和物质流对光声谱的贡献^[5]可以表示为

$$\frac{\partial P}{\partial H} > 0 \quad \frac{\partial P}{\partial M} > 0 \quad (1)$$

其中 P , H 和 M 分别为声压、流入光声腔气室的焓和物质质量。

反应性光声的强度表征流入光声腔或流出样品的能量和物质质量的大小。烧蚀坑对烧蚀光声的强度有抑制作用, 表明烧蚀坑也对因激光烧蚀而从烧蚀坑流出的能量和质量有抑制作用。

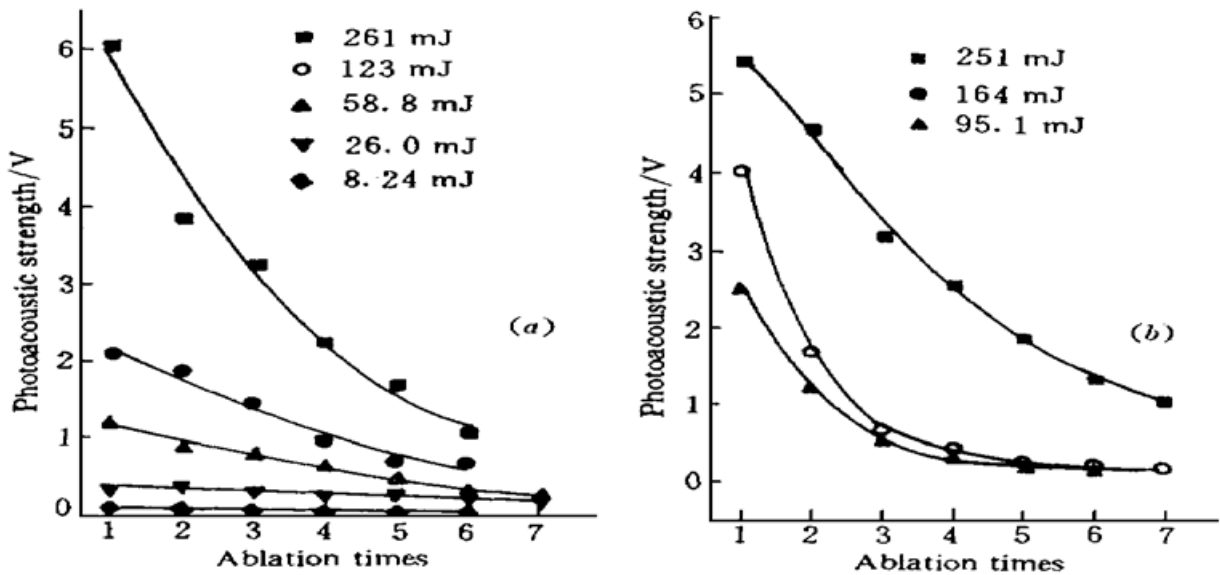


图 4 烧蚀次数对定容光声腔 (a) 和变容光声腔 (b) 的烧蚀光声强度的影响

Fig. 4 Effect of ablation times on ablation photoacoustic strength of the constant volume cell (a) and of the variable volume cell (b)

参 考 文 献

- 1 Shen Ruiqi, Dai Shizhi, Ye Yinghua. Frequency spectrum characteristic of photoacoustic wave of thermal damage of homogeneous solid propellant. *Initiators and Pyrotechnics* (火工品), 1995, 2: 5~ 7 (in Chinese)
- 2 Shen Ruiqi, Sun Tongju, Dai Shizhi. Photoacoustic spectrum of silicon dissociation by 1.06 μm laser. *Applied Laser Technique* (应用激光), 1995, 15(6): 253 (in Chinese)
- 3 Shen Ruiqi, Ye Yinghua, Dai Shizhi. Photoacoustic detection for chemical reaction process of lead azide decomposition. *Applied Laser Technique* (应用激光), 1993, 13(6): 264~ 266 (in Chinese)
- 4 Shen Ruiqi, Ye Yinghua, Dai Shizhi. Study of reactivity photoacoustic spectrums of graphite in ablation by pulsed Nd:YAG laser. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1998, A25(5): 437~ 440 (in Chinese)
- 5 Shen Ruiqi, Sun Tongju, Dai Shizhi. Photoacoustic model of solid chemical reaction. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1994, A21(10): 821~ 826 (in Chinese)

Reactivity Photoacoustic Spectrum of Graphite Ablated Repetitively by a Pulsed Laser

Shen Ruiqi Ye Yinghua

(College of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094)

Zhang Shuyi

(Institute of Acoustics and Lab of Modern Acoustics, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract A graphite target was ablated repetitively by a pulsed Nd:YAG laser. At the constant laser energy, laser photoacoustic strength decreases with the increase of the repetitive times, which indicates that the ablation caused hole plays an inhibitive role in the reduction of flows of energy and of the mass from the sample.

Key words laser ablation, photoacoustic spectrum, photoacoustic detection, graphite, effect of ablation hole