

文章编号: 0258-7025(2007)09-1297-06

# 金属玻璃飞秒激光烧蚀特性

王新林<sup>1,2</sup>, 戴能利<sup>1</sup>, 李玉华<sup>1</sup>, 廖常锐<sup>1</sup>, 杨光<sup>1</sup>, 郑启光<sup>1</sup>, 陆培祥<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 华中科技大学光电子科学与工程学院, 武汉光电国家实验室(筹), 湖北 武汉 430074)

<sup>2</sup> 南华大学电气工程学院, 湖南 衡阳 421001

**摘要** 采用飞秒激光对 Zr 基金属玻璃在空气中进行了表面烧蚀、微打孔与微细切割等过程的研究。通过扫描电镜(SEM)、能量弥散 X 射线(EDX)能谱分析与透射电镜(TEM)及电子衍射等方法,分析了飞秒激光烧蚀金属玻璃的表面形貌与加工区域发生的相关效应。实验与分析表明加工区域周围无熔融和液滴溅射现象,热影响区极小,并且无晶化现象发生,但飞秒激光微细加工金属玻璃时存在极薄的表面氧化现象。研究结果表明,在适当选择参数的条件下,飞秒激光烧蚀是一种极有前途的金属玻璃无晶化微细加工方法。

**关键词** 激光技术;飞秒激光烧蚀;金属玻璃;无晶化

**中图分类号** TN 249;TG 139.8 **文献标识码** A

## Ablation of Metallic Glasses by Femtosecond Laser Pulses

WANG Xin-lin<sup>1,2</sup>, DAI Neng-li<sup>1</sup>, LI Yu-hua<sup>1</sup>, LIAO Chang-rui<sup>1</sup>,  
YANG Guang<sup>1</sup>, ZHENG Qi-guang<sup>1</sup>, LU Pei-xiang<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, School of Optoelectronics Science and Engineering,  
Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China  
<sup>2</sup>School of Electrical Engineering, Nanhua University, Hengyang, Hunan 421001, China)

**Abstract** Femtosecond laser ablation of Zr-based metallic glasses in air, including micro-drilling, trenching and cutting, has been investigated. The surface profile of the ablated glass and the associated effect in the ablation area were examined by means of scanning electron microscope (SEM), energy dispersive X-ray (EDX) analysis, transmission electron microscope (TEM) and electron diffraction. These studies indicate that slight oxidation occurs at the machined region. Molten trace, spatter and crystallization are not found in the vicinity of machined area. The result shows that femtosecond laser ablation with selected parameters is a promising method for micromachining metal glasses without crystallization.

**Key words** laser technique; femtosecond laser ablation; metallic glasses; noncrystalline

## 1 引言

非晶合金,特别是块体金属玻璃材料,由于其独特的力学、热学、磁学以及耐磨与耐蚀等性能,已引起相关研究领域的极大关注,并展示出极大的应用前景<sup>[1,2]</sup>。其微观结构的长程无序导致的力学等方性与组织均匀性,使得其在被加工到很小尺寸时不

会产生尺寸效应与结构缺陷,在当前发展极快的微光机电系统(MEMS)领域,被认为是新的、极具前途的材料<sup>[3]</sup>。由于非晶合金的性能依赖于其微观组织结构,且非晶合金处于亚稳态,其物理、化学和力学性能会随着非晶合金的结构弛豫和晶化发生变化,一旦在加工过程中发生晶化,其独特性能将消失,所以高效的、无晶化的加工技术对非晶合金的应

收稿日期:2007-01-09;收到修改稿日期:2007-03-28

基金项目:国家重点基础研究发展计划(2006CB806006)资助项目。

作者简介:王新林(1970—),男,湖南人,南华大学副教授,华中科技大学博士研究生,目前主要从事飞秒激光与物质相互作用及超快激光微细加工技术的研究。E-mail: wxl\_ly000@yahoo.com.cn

导师简介:陆培祥(1965—),男,浙江人,华中科技大学长江学者特聘教授,博士生导师,目前主要研究方向为超快激光及其与物质的相互作用。E-mail: lupeixiang@mail.hust.edu.cn

用至关重要。而对于非晶合金在微光机电系统及微传感系统中的应用,极小尺度范围内材料的晶化就可能引起微小零件失效,因而无晶化微细加工技术尤为重要。对传统的机械加工而言,加工过程中,加工材料往往处于高温或高应力状态。对连续与长脉冲( $>10$  ps)激光加工,热效应及热应力也不可避免。这些因素都将引起非晶合金加工过程中产生晶化以及溅污、毛刺等缺陷,这将极大影响块体金属玻璃的应用性能<sup>[4,5]</sup>。

近年来,基于飞秒激光烧蚀的精密微细加工技术引起了广泛的关注,研究表明,飞秒激光烧蚀具有超越长脉冲激光加工的显著优势,其烧蚀过程中热影响可以忽略,烧蚀阈值精确,烧蚀形状精确可控以及微细加工精度与效率高等<sup>[6,7]</sup>。飞秒激光可烧蚀加工的材料也极为广泛,包括介电材料、半导体材料与金属材料<sup>[8~13]</sup>。本文采用飞秒激光对金属玻璃材料进行了烧蚀阈值、微打孔与微细切割研究,对飞秒激光烧蚀金属玻璃的相关现象与效应进行了扫描电镜(SEM)与透射电镜(TEM)分析,实现了对非晶合金的无晶化微细加工。

## 2 实验材料与方法

实验材料是一种直径为3 mm的棒状 Zr 基金属玻璃,其成分(原子数分数)为:65% Zr-17.5% Cu-10% Ni-7.5% Al。在实验中,先采用电火花线切割将棒状金属玻璃切成300  $\mu\text{m}$ 和100  $\mu\text{m}$ 的圆薄片,再用水磨金相砂纸在水冷下进行打磨抛光,在保证材料微观组织不受破坏的条件下,制成200  $\mu\text{m}$ 与80  $\mu\text{m}$ 厚的飞秒激光烧蚀实验用试样。试样在飞秒激光烧蚀前后均在超声清洗器中用丙酮进行清洗。

实验装置示意图如图1所示。实验采用中心波长为800 nm,脉冲宽度为50 fs,重复频率为1 kHz和最大单脉冲能量为2 mJ的掺钛蓝宝石飞秒激光器。

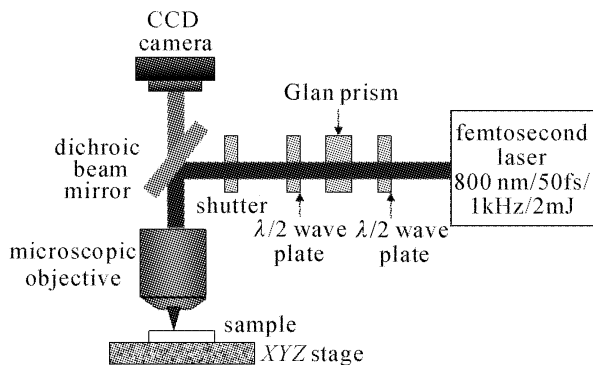


图1 飞秒激光烧蚀实验装置示意图

Fig. 1 Schematic setup of femtosecond laser ablation

烧蚀脉冲能量可通过一个 $\lambda/2$ 波片与偏振器进行调节,采用光学快门来控制曝光脉冲数。实验试样放置在三维数控精密移动工作台上,飞秒激光束经折反镜反射和显微物镜聚焦后垂直照射在试样表面。聚焦采用 $4\times(0.10\text{NA})$ 或 $10\times(0.25\text{NA})$ 的显微物镜,焦斑半径分别为5  $\mu\text{m}$ 和2  $\mu\text{m}$ 。

烧蚀实验在空气中进行,通过与显微目镜相连的 CCD 实时观测飞秒激光烧蚀过程。采用 Sirion200 型场发射扫描电镜对烧蚀后试样进行微观形貌分析,并用扫描电镜附件 GENESIS 能谱仪进行能量弥散 X 射线(EDX)能谱分析,检测其表层成分变化。采用 JEM-2100F 型透射电子显微镜进行烧蚀区域的微观精细结构分析,并用透射电镜附件电子衍射仪对烧蚀区周围是否发生晶化进行电子衍射图样分析。透射电镜试样采用抛光后的80  $\mu\text{m}$ 金属玻璃薄片,用 $10\times(0.25\text{NA})$ 显微物镜聚焦飞秒激光束进行微细打孔后,再用聚焦离子束减薄到透射电镜观测与电子衍射所需厚度,为避免离子束减薄中发生微观组织改变,采用较低的离子束密度进行试样加工<sup>[14]</sup>。

## 3 实验结果与讨论

### 3.1 烧蚀阈值

对激光强度为高斯分布的飞秒激光束,利用烧蚀面积与激光强度近似成对数关系的方法确定材料破坏阈值。通过测定烧蚀区直径  $D$  及与之对应的人射到试样上的脉冲峰值能量密度  $F$  确定其烧蚀阈值能量密度  $F_{\text{th}}$ <sup>[15]</sup>:  $F_{\text{th}} = F \exp(-D^2/2\omega_0^2)$ , 式中  $\omega_0$  为焦斑半径,  $F = 2E_p/\pi\omega_0^2$ ,  $E_p$  为入射脉冲能量。当  $D = 0$  时的人射能量密度  $F$  即为烧蚀阈值  $F_{\text{th}}$ 。

在测定烧蚀阈值的实验中采用 $4\times(0.10\text{NA})$ 聚焦物镜,焦斑半径 $\omega_0 = 5 \mu\text{m}$ ,在200  $\mu\text{m}$ 厚的金属玻璃试样上进行,烧蚀孔的直径用光学显微镜测量,对应每个激光脉冲能量值进行3次打孔,取其平均值。图2(a)为单脉冲烧蚀阈值实验结果,表示飞秒激光烧蚀孔直径的平方与入射能量密度的关系,显示出烧蚀孔直径的平方与入射激光能量密度(对数值)成很好的线性关系。采用50 fs脉宽的飞秒激光,由实验结果测得,此种 Zr 基金属玻璃的单脉冲烧蚀阈值为210  $\text{mJ}/\text{cm}^2$ 。图2(b)为多脉冲烧蚀的结果,实验研究了四种脉冲数(33, 125, 500, 1000)在不同能量密度时的烧蚀情况。结果显示,在多脉冲烧蚀情况下,烧蚀孔直径的平方与入射激光能量密度

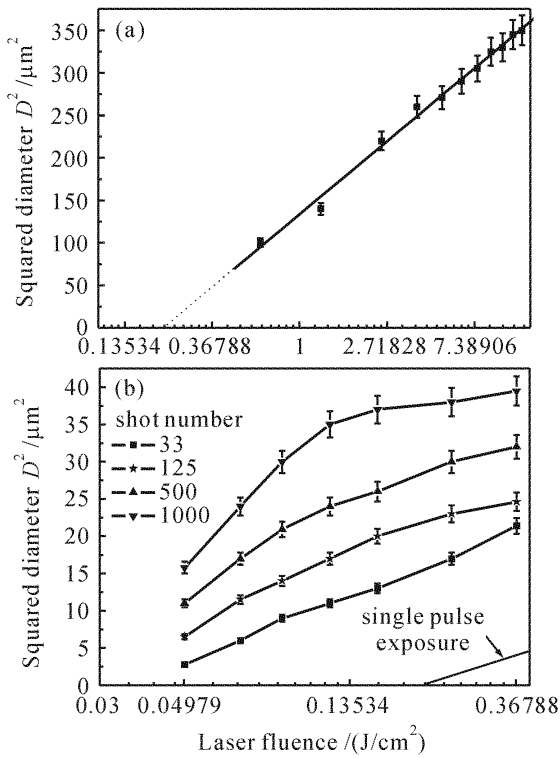


图 2 飞秒激光烧蚀孔直径的平方与入射能量密度的关系

(a) 单脉冲烧蚀；(b) 多脉冲烧蚀

Fig. 2 Squared diameters  $D^2$  of ablated regions correlated with the applied laser fluence

(a) single-pulse ablation; (b) multi-pulse ablation

对数值不再呈线性关系，且烧蚀阈值随脉冲数目的增多而依次减小。这与飞秒激光烧蚀其他材料时的情况类似<sup>[7,8,15]</sup>，多脉冲烧蚀与单脉冲烧蚀的阈值差异可用飞秒激光烧蚀过程中的累积效应来解释。

### 3.2 烧蚀区形貌与材料成分变化分析

#### 3.2.1 微细打孔

通过 CCD 实时观测飞秒激光烧蚀金属玻璃的过程表明，当飞秒脉冲能量密度在 5~30 J/cm<sup>2</sup> 时能同时得到较好的表面烧蚀质量与烧蚀效率，这样的能量密度远高于烧蚀阈值。图 3 显示的是在脉冲能量密度为 30 J/cm<sup>2</sup> 的较高脉冲能量下，飞秒激光在金属玻璃上经 2000 个脉冲(作用时间为 2 s)形成通孔的烧蚀形貌与烧蚀区能量弥散 X 射线能谱分析图。试样烧蚀孔表面直径约为 50 μm，略呈锥型。光学显微镜与扫描电镜表面形貌观测(因为扫描电镜照片可能不是正对样品表面观察的，为了观察到孔壁形貌，观察角度有一定倾斜)表明，飞秒激光烧蚀金属玻璃中未见熔融状形貌与液滴溅射痕迹；烧蚀孔的周围有明显的尘灰状物质与絮状表面形貌，如图 3(a)所示；图 3(b)表明经超声清洗后，表面絮状形貌仍在，而绝大部分尘灰状物质可清除，证明其

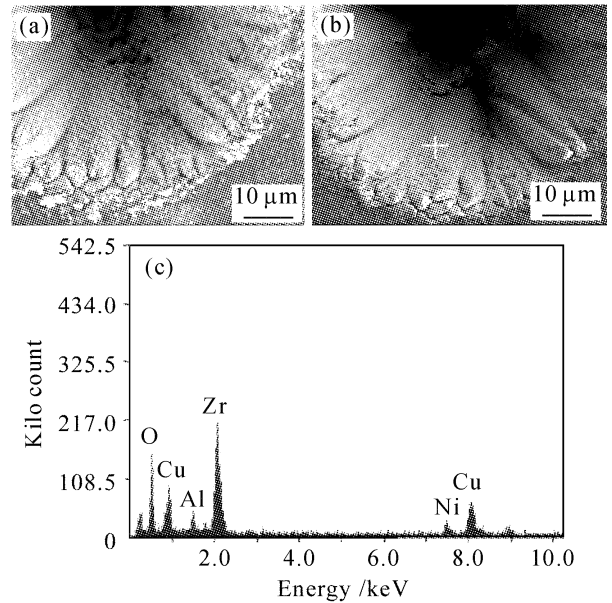


图 3 微细打孔的烧蚀形貌与烧蚀区能量弥散 X 射线能谱分析

(a) 加工后未经超声清洗；(b) 超声清洗后的形貌；  
(c) 图(b)中标十字处的能量弥散 X 射线能谱图

Fig. 3 SEM images and EDX analysis of the ablation region by femtosecond laser micro-drilling

(a) without ultrasonic cleaning; (b) with ultrasonic cleaning; (c) EDX analysis of the area signed with cross in (b)

与表面结合不强，并非液滴溅射沉积而成。图 3 (a),(b)中都显示，孔壁均呈周期性波纹结构，这与飞秒激光烧蚀其他金属材料微观形貌相似，为 800 nm 入射线偏振光与散射光的干涉效应所形成<sup>[10]</sup>；能量弥散 X 射线能谱分析表明，在略高于阈值能量密度烧蚀时，飞秒激光烧蚀区域成分基本不变，当激光能量密度增大时，发现表面有氧元素存在，且能量密度越大，表面氧含量越高，图 3(c)是图 3(b)中划十字区域的能量弥散 X 射线能谱分析图，可见烧蚀表面有较高的氧含量。这是由于尽管烧蚀激光脉冲宽度在飞秒量级，但在大能量多脉冲、大气条件下烧蚀时，在烧蚀累积效应与等离子体弛豫过程中，在烧蚀材料表面发生了氧化反应。

#### 3.2.2 微细刻线与切割

微细刻线与切割实验表明，同样在脉冲能量密度为 5~30 J/cm<sup>2</sup> 时，飞秒激光对金属玻璃的表面微细刻线与切割能同时得到较好的表面烧蚀质量与烧蚀效率，相应的激光扫描速度为 50~150 μm/s。微细刻线与切割的表面形貌与微细打孔一样，也呈现出尘灰状物质与絮状表面及周期性波纹结构，在脉冲能量密度较高时表面也存在氧化现象。

图 4 是飞秒激光对金属玻璃表面在较低能量密

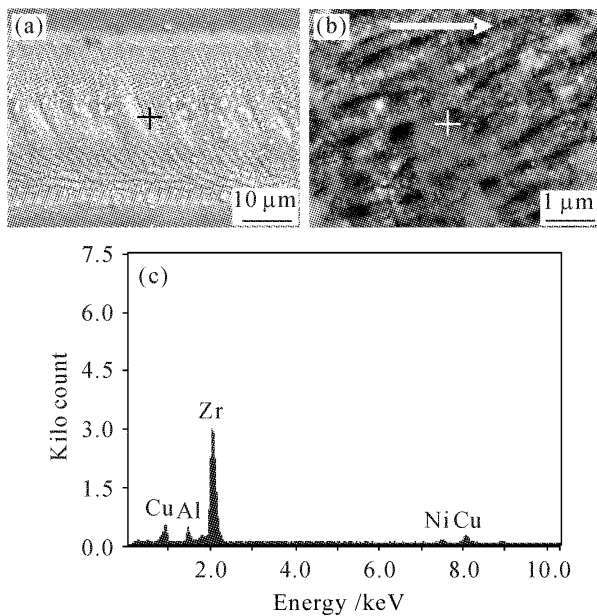


图 4 微细刻线的烧蚀形貌与烧蚀区能量弥散 X 射线能谱分析

(a) 较低能量密度、单道扫描、超声清洗后的烧蚀形貌；(b) 图(a)中标十字处的高倍放大图；(c) 图(b)中标十字处的能量弥散 X 射线分析图

Fig. 4 SEM images and EDX analysis of the ablation region by femtosecond laser micro-trenching

(a) morphology of the area trenched with low laser fluence and a single path scanning, followed by ultrasonic cleaning; (b) magnification of the area signed with cross in (a); (c) EDX analysis of the area signed with cross in (b)

度下微细刻线后,再经超声清洗的烧蚀形貌与烧蚀区能量弥散 X 射线能谱分析图,所选实验参数为脉冲能量密度  $1 \text{ J/cm}^2$ ,激光扫描速度为  $100 \mu\text{m/s}$ ,单道扫描,图中箭头方向代表激光束的扫描方向。图 4(a)的扫描电镜图显示了周期性波纹图案,在刻线的中央部分是与激光束扫描方向平行的极细小的条纹结构,经高倍放大后,如图 4(b)所示,条纹粗细在  $100 \text{ nm}$ 量级;这些极细小的条纹在刻线中央又构成了数微米大小的排列方向与激光束扫描方向垂直的周期性波纹结构;在刻线的边缘部分则是由极细小条纹组成的与扫描方向垂直或成某一角度的  $1 \mu\text{m}$ 粗细的较粗条纹。除条纹排列的方向性外,局部条纹的形貌与飞秒激光固定点烧蚀其他金属相似<sup>[7, 16]</sup>,这是入射激光束与散射光干涉造成的。在图 4(b)中同样也可看到絮状表面形貌。图 4(c)是刻线中央表面的能量弥散 X 射线能谱分析图,表明在相对较低的能量密度烧蚀时基本没有发生氧化现象,但同时从图 4(a)还可看出,此时的烧蚀深度极小,表明烧蚀效率低。

图 5 是飞秒激光对金属玻璃进行微细切割后,未经超声清洗的烧蚀区形貌与能量弥散 X 射线能谱分析图,激光脉冲能量密度为  $20 \text{ J/cm}^2$ ,扫描速度为  $100 \mu\text{m/s}$ ,共进行了 7 道扫描,切缝宽  $30 \mu\text{m}$ 。图 5(a)可见明显的尘灰状物质与絮状表面形貌及周期性波纹结构,图 5(b)为图 5(a)中划十字区域的放大图,有典型的絮状表面形貌。图 5(c)为图 5(b)中划十字区域的能量弥散 X 射线能谱分析图,表明该区域表面已有氧化现象发生。

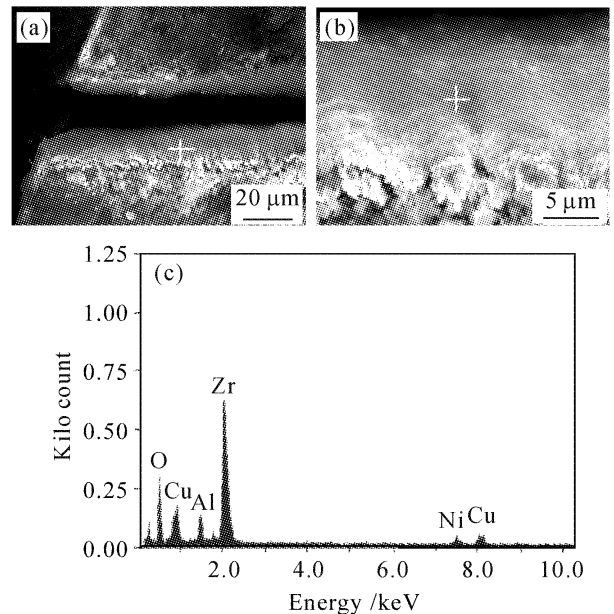


图 5 微细切割的烧蚀形貌与烧蚀区能量弥散 X 射线能谱分析

(a) 未超声清洗的切割区形貌；(b) 图(a)中“+”的放大图；(c) 图(b)中“+”的能量弥散 X 射线分析图

Fig. 5 SEM images and EDX analysis of the ablation region by femtosecond laser micro-cutting

(a) morphology of micro-cutting region without ultrasonic cleaning; (b) magnification of the area signed with cross in (a); (c) EDX analysis of the area signed with cross in (b)

研究表明,飞秒激光烧蚀材料存在非热烧蚀与热烧蚀两种主要机制<sup>[17~19]</sup>,这两种机制可依烧蚀脉冲能量密度与脉冲宽度的组合不同而转换。较低的能量密度与较窄的脉冲宽度依从非热烧蚀机制,对一定的烧蚀能量密度,存在临界脉冲宽度,能量密度越高,临界脉冲宽度越小。而本文在采用相对较高的能量密度参数下,未见熔融与液滴溅射的痕迹,说明在这种参数条件下飞秒激光烧蚀的热影响仍然极低。

### 3.3 飞秒激光烧蚀金属玻璃微观精细结构的透射电镜分析

能量弥散 X 射线能谱分析表明,在飞秒激光烧

蚀金属玻璃过程中,在较高能量密度下存在表面氧化现象,而氧化层的厚度及烧蚀区域周围是否发生晶化是飞秒激光烧蚀方法是否适宜于微细加工金属玻璃的关键。采用透射电镜及电子衍射方法对飞秒激光烧蚀金属玻璃的微观精细结构进行了进一步的分析。

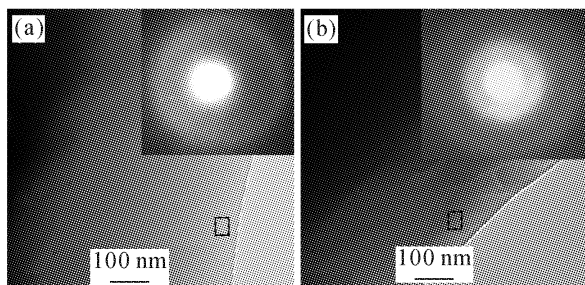


图 6 飞秒激光烧蚀金属玻璃的透射电镜分析及电子衍射图

(a) 未烧蚀区域;(b) 烧蚀孔周围区域

Fig. 6 TEM images and electron diffraction diagrams of femtosecond laser ablated metal glass

(a) non-ablated region; (b) region very close to drilled hole

图 6 是飞秒激光烧蚀金属玻璃的透射电镜及相应标记点的电子衍射图,图 6(a)显示的是未经飞秒激光烧蚀的区域,可以看到典型的无定形均匀结构和典型非晶结构电子衍射图,这也说明在透射电镜试样制备过程中,离子束减薄没有破坏试样的微观组织结构。图 6(b)显示的是采用脉冲能量密度为  $10 \text{ J/cm}^2$ ,曝光脉冲数为 2000 时烧蚀的孔的边缘区域,与图 6(a)比较未见明显结构改变,电子衍射图显示未发生晶化现象,图中也未看到明显的氧化层,说明烧蚀区域表面的氧化层应在极薄的纳米量级。而对某些加工质量与精度要求极高的金属玻璃微细加工,可采用较低的飞秒激光能量密度进行烧蚀,不过,烧蚀效率会降低。同时烧蚀表面氧化层问题也可采用惰性气体屏蔽或在真空中烧蚀的方法来避免。

## 4 结 论

实验研究了飞秒激光烧蚀 Zr 基金属玻璃材料的特性与相关现象。测定其单脉冲烧蚀阈值为  $210 \text{ mJ/cm}^2$ ;实现了微米级的微细打孔与微细切割;扫描电镜与能量弥散 X 射线能谱分析显示飞秒激光烧蚀金属玻璃的微观形貌与烧蚀其他金属相似,但在较高脉冲能量密度下,发现烧蚀表面存在氧化现象,且脉冲能量密度越高,表层含氧量越高;透

射电镜及电子衍射图分析显示,在选择合适参数条件下,烧蚀区域周围无晶化现象发生,而且烧蚀区域表面的氧化层厚度应在极薄的纳米量级。研究表明通过选择合适的烧蚀参数,飞秒激光烧蚀将是一种极有前途的无晶化微细加工金属玻璃材料的方法。

## 参 考 文 献

- Susanne Schneider. Bulk metallic glasses [J]. *J. Phys.: Condens. Matter.*, 2001, **13**(34):7723~7736
- Akihisa Inoue, Akira Takeuchi. Recent progress in bulk glassy, nanoquas icrystalline and nanocrystalline alloys [J]. *Mater. Sci. and Eng. A*, 2004, **375-377**:16~30
- Takashi Fukushige, Seiichi Hata, Akira Shimokohbe. A MEMS conical spring actuator array [J]. *J. Microelectromech. Systems*, 2005, **14**(2):243~253
- Mustafa Bakkal, Albert J. Shih, Samuel B. McSpadden *et al.*. Light emission, chip morphology, and burr formation in drilling the bulk metallic glass [J]. *International J. Mach. Tools and Manuf.*, 2005, **45**(7-8):741~752
- M. Sorescu. Comparative characterization of the irradiation effects induced in metallic glasses by pulsed laser and alpha particle beams [J]. *J. Alloys and Compounds*, 1999, **284**(1):232~236
- X. Liu, D. Du, G. Mourou. Laser ablation and micromachining with ultrashort laser pulses [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1997, **33**(10):1706~1716
- P. T. Mannon, J. Magee, E. Coyne *et al.*. The effect of damage accumulation behaviour on ablation thresholds and damage morphology in ultrafast laser micro-machining of common metals in air [J]. *Appl. Surf. Sci.*, 2004, **233**(1-4):275~287
- M. Lenzner, J. Krüger, S. Sartania *et al.*. Femtosecond optical breakdown in dielectrics [J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1998, **80**(18):4076~4079
- A. Borowiec, H. K. Haugen. Femtosecond laser micromachining of grooves in indium phosphide [J]. *Appl. Phys. A: Mater. Sci. and Proc.*, 2004, **79**(3):521~529
- S. Nolte, C. Momma, H. Jacobs *et al.*. Ablation of metals by ultrashort laser pulses [J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1997, **14**(10):2716~2722
- Yoichi Hirayama, Minoru Obara. Heat effects of metals ablated with femtosecond laser pulses [J]. *Appl. Surf. Sci.*, 2002, **197-198**:741~745
- Hu Xiao, Zhao Quanzhong, Jiang Xiongwei *et al.*. Inscripting diffraction grating by femtosecond laser ablation of metal film on glass substrate [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(1):17~20  
胡 晓,赵全忠,姜雄伟 等. 飞秒激光烧蚀玻璃基质金属薄膜直写衍射光栅[J]. *中国激光*, 2006, **33**(1):17~20
- Li Ping, Wang Yu, Feng Guojin *et al.*. Study of silicon micro-structuring using ultra-short laser pulses [J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(12):1688~1691  
李 平,王 煜,冯国进 等. 超短激光脉冲对硅表面微构造的研究[J]. *中国激光*, 2006, **33**(12):1688~1691
- Jimmy Jia, Ming Li, Carl V. Thompson. Amorphization of silicon by femtosecond laser pulses [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2004, **84**(16):3205~3207
- J. Bonse, P. Rudolph, J. Krüger *et al.*. Femtosecond pulse laser processing of TiN on silicon [J]. *Appl. Surf. Sci.*, 2000, **154-155**:659~663
- S. E. Kirkwood, A. C. Van-Popta, Y. Y. Tsui *et al.*. Single and multiple shot near-infrared femtosecond laser pulse ablation

- thresholds of copper [J]. *Appl. Phys. A: Mater. Sci. and Proc.*, 2004, **81**(4):729~735
- 17 S. Amoroso, X. Wang, C. Altucci *et al.*. Thermal and nonthermal ion emission during high-fluence femtosecond laser ablation of metallic targets [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2000, **77**(23):3728~3730
- 18 J. Yang, Y. Zhao, X. Zhu. Transition between nonthermal and thermal ablation of metallic targets under the strike of high-fluence ultrashort laser pulses [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2006, **88**(9):094101-1~094101-3
- 19 Hatem Dachraoui, Wolfgang Husinsky. Thresholds of plasma formation in silicon identified by optimizing the ablation laser pulse form [J]. *Phys. Rev. Lett.*, 2006, **97**(10):107601-1~107601-4

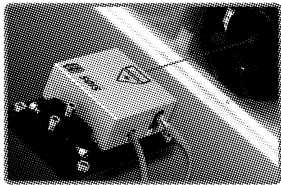
## · 广告 ·



## 天津微纳制造技术有限公司

Tianjin MicroNano Manufacturing Tech Co., Ltd.

天津微纳制造技术有限公司, 2005年11月成立于天津经济技术开发区, 公司将先进制造技术中前沿的光学非球面与自由曲面、脆性材料复杂曲面、超精密及微纳元器件的制造技术的研究与开发作为发展方向, 以生产光学仪器、生物医疗仪器、日用及计算机外围设备中微小精密关键器件为发展目标。同时公司将引进微纳领域的海外先进仪器设备作为主要业务之一, 目前是德国SIOS Messtechnik GmbH (SIOS) 和Piezosystem Jena GmbH (PSJ) 公司的中国总代理, 为国内引进了SIOS公司的纳米级精度激光干涉仪和PSJ公司的纳米级压电致动与定位系统。这两类产品为微纳技术领域提供了纳米级测量与驱动的手段。



- 特点: 1. 纳米级精度激光干涉仪;  
2. 分辨率优于0.01 nm;  
3. 干涉头与电器箱分离;  
4. 采用氦-氖稳频激光光源。

- 应用: 1. 超高精度长度、角度测量;  
2. 构建多维工作台, 应用于显微、定位、坐标测量系统及精密机床装备;  
3. 振动模态分析。



- 特点: 1. 压电陶瓷多维微纳致动系统;  
2. 行程高达1500 um;  
3. 分辨率优于0.01 nm;  
4. 具有高谐振频率、高稳定性、高负载能力。

- 应用: 1. 微电子、分子生物领域显微定位系统;  
2. 超精密加工领域微纳定位系统;  
3. 激光加工领域光束方向精密调节系统。

地址: 天津经济技术开发区第四大街  
80号A2座三层 (300457)

电话: 022-59813868

传真: 022-59813870

E-mail: chenjinping@tju.edu.cn