

文章编号: 1001-3806(2005)02-0132-03

准分子激光直刻横向影响区实验研究

柳海鹏, 周月豪, 熊良才, 史铁林*

(华中科技大学 机械科学与工程学院, 武汉 430074)

摘要: 采用 248nm KrF 准分子激光直接刻蚀金属和半导体, 在加工后的试件表面上观察到了横向影响区。将其定义为两个部分, 通过各部分的大小和颜色变化情况来描述横向影响的程度, 研究了它们与激光参数之间的关系。在实验结果的基础上, 提出了减小横向影响区的措施和方法。

关键词: 准分子激光; 直刻; 横向影响区; 脉冲激光参数

中图分类号: TG665 **文献标识码:** A

Experimental study on transverse affect zone in excimer laser direct etching

LIU Hai-peng, ZHOU Yue-hao, XIONG Liang-cai, SHI Tie-lin

(School of Mechanical Science and Engineering HUST, Wuhan 430074, China)

Abstract The experiments of micro machining metal and semiconductor pieces by 248nm KrF excimer laser direct etching are carried out. Transverse affect zone is observed on the machined samples' surface. It includes two regions which are described by their dimension and color. The relationship between the regions and the parameters of the laser are studied. The measures to reduce the transverse affect zone are also provided based on the results of the experiments.

Key words excimer laser; direct etching; transverse affect zone; parameters of pulse laser

引 言

准分子激光波长短, 光子能量大, 脉冲宽度窄, 脉冲能量密度高, 发散角小^[1,2], 其直接刻蚀(简称直刻)工艺具有刻蚀分辨高, 热影响区小等优点。目前已有大量准分子激光直刻各种材料的研究^[3-8], 重点主要集中在刻蚀的纵向特性上, 即刻蚀深度或刻蚀速度与各种工艺参数之间的关系。然而, 准分子激光刻蚀过程中的热效应和光效应还对加工试件表面及内部产生一定的横向影响, 例如, 残留的热量会在试件上形成热影响区, 光效应引起的冲击作用会使试件上产生横向裂纹^[5]。这些横向影响都在一定程度上反映为加工试件表面图像的改变。为了有效控制横向影响, 加工出高质量的微结构, 有必要研究其与各种工艺参数之间的关系, 以达到通过调节工艺参数来减小横向影响的目的。基于这一点, 作者采用 248nm KrF 准分子激光直接刻蚀金属和半导体, 利用高倍显微镜和计算机图像采集系统对加工后试件表面的横向影响区进行观

察分析, 通过区域大小和颜色深度两个指标来描述横向影响的程度, 研究它们与各种工艺参数之间的关系, 对实验现象进行分析和解释, 并在实验结果的基础上, 提出如何通过调节工艺参数来减小横向影响区的措施和方法。

1 实验条件与过程

主要实验设备: Lumonics 公司的 PM-848 型准分子激光器, 工作介质为 KrF, 缓冲气体为氖气, 激光波长 248nm, 脉冲能量实验取 60mJ~250mJ, 脉冲频率实验取 5Hz 和 50Hz, Resonetics 公司的准分子激光加工工作台, 高倍光学显微镜, 计算机图像采集系统。实验材料: 紫铜片, 厚度 110 μ m; 不锈钢片, 厚度 200 μ m; 硅片, 厚度 430 μ m; 丙酮溶液, 用来清洗试件表面。

准分子激光透过掩模, 经过反射镜和聚焦透镜照射到加工试件上, 试件固定在三自由度工作台上, 工作台可由与之相连的计算机来控制其 x , y 方向的平动和绕 z 轴方向的转动, 在实验中根据刻蚀加工的要求, 通过它来调整刻蚀光斑在试件上的加工位置。刻蚀光斑的形状和大小由掩模和透镜成像比例来决定, 实验中采用圆形直径为 140 μ m 的刻蚀光斑。用高倍显微镜和计算机图像采集系统对加工后试件表面进行观察和分析, 影响区的大小用其最小覆盖圆的直径来衡量。整个实验在空气的环境中进行, 刻蚀加工前后用丙酮

基金项目: 国家高技术研究发展计划(八六三计划)资助项目(2002AA421190)

作者简介: 柳海鹏(1980), 男, 硕士研究生, 研究方向为微制造加工工艺。

* 通讯联系人。E-mail: tlsh@public.wh.hh.cn

收稿日期: 2004-03-30 收到修改稿日期: 2004-05-09

溶液清洗试件表面。

2 实验结果与讨论

2.1 横向影响区的基本形貌

铜、不锈钢和硅刻蚀表面的横向影响区如图 1 所示。从图中可以看到,它们刻蚀表面的基本形貌虽有所差别,但均可分为两大部分,如图 2 所示。刻蚀光斑



Fig 1 Images of transverse affect zone on the surfaces of copper stainless steel and silicon

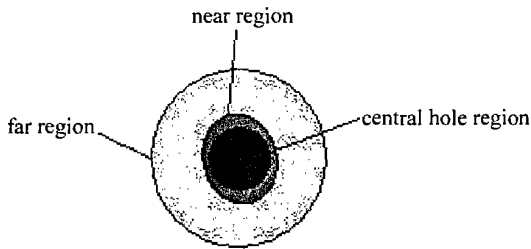


Fig 2 Schematic of transverse affect zone

直接作用的区域定义为“中心孔区 (central hole region)”,其形状与刻蚀光斑一致,呈规则的圆形;中心孔区外面,非刻蚀光斑直接作用的区域,定义为“横向影响区 (transverse affect zone)”,它由两个区域组成,其中,紧靠近中心孔区呈类似椭圆形的区域定义为“近区 (near region)”,近区形状可归结为准分子激光光强分布的特殊性,准分子激光在相互垂直的两个方向上的光强分别为高斯形 (或准高斯形) 和高帽 (tophat) 形,在近区内可明显看到材料由于热效应而被烧蚀的痕迹;近区的外面,基本上呈圆形的区域定义为“远区 (far region)”,远区的形成可解释为残留热量在试件上的传播,远区中看不到材料被烧蚀的痕迹,但热量的传播,使得试件表面温度升高,在一定区域内使加工试件表面氧化,从而导致远区内试件表面的颜色变深。这说明,如果工艺参数控制不好,准分子激光直刻加工也并非是人们通常认为的单纯“冷加工”过程,其伴随的热效应影响仍不可忽视。

2.2 横向影响区与脉冲数的关系

图 3 是准分子激光脉冲能量为 220mJ 脉冲频率为 5Hz 直接刻蚀不锈钢表面影响区随激光脉冲数的变化图,从图中可以看出,随着脉冲数的增加影响区内的颜色逐渐由浅变深,这说明试件表面的氧化程度在加深。这一现象可解释为:在有氧气的环境中加工,随着激光脉冲数的增加,横向影响区内积累的热量也增多,使得试件表面的温度也相应增高,生成的氧化物也随之增多,从而影响区内的颜色也随之逐渐变深。

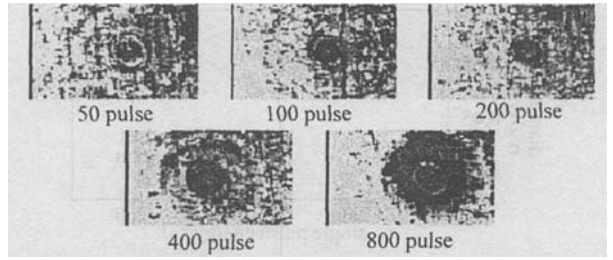


Fig 3 The relationship between transverse affect zone and laser pulses 在铜和硅的直刻加工中,也有类似的规律。为了减小试件表面的氧化程度,可在加工过程中通入辅助气体 (如氮气),一方面,可加速试件表面的散热;另一方面,使试件与空气中的氧气隔离。

2.3 横向影响区与脉冲频率的关系

图 4 是准分子激光脉冲能量为 200mJ 时,直接刻

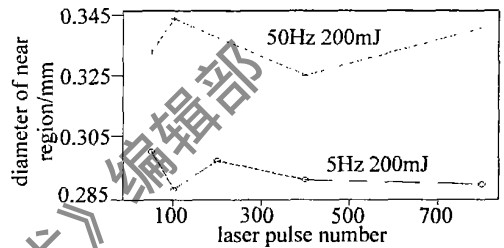


Fig 4 The relationship between near region and laser pulse frequency 蚀铜表面影响区 (近区) 大小与脉冲数的折线图,其中近区大小用其最小覆盖圆直径来衡量。从图中可以看出,近区大小随脉冲数的变化不明显,变化量在 6% 左右。但在不同的脉冲频率下,近区大小有较明显的差别,高的脉冲频率对应着大的近区尺寸,这一现象可解释为刻蚀过程中由热效应产生的热量和由光效应产生的冲击,需要一定的时间来消散,脉冲频率越高,脉冲之间的间隔时间越短,加工过程中积累的这些横向影响效应越不容易消散,从而加剧了对试件的横向影响,造成较大的近区尺寸。在不锈钢和硅的刻蚀加工中,也有类似的规律。为了减小近区的尺寸,可在满足加工的情况下,采用较低的脉冲频率。

2.4 横向影响区与脉冲能量的关系

图 5 是准分子激光脉冲频率为 50Hz 时,铜和不锈钢近区大小与脉冲能量的折线图,其中刻蚀铜的激光脉冲能量为 150Q 刻蚀不锈钢的激光脉冲能量为 50Q,

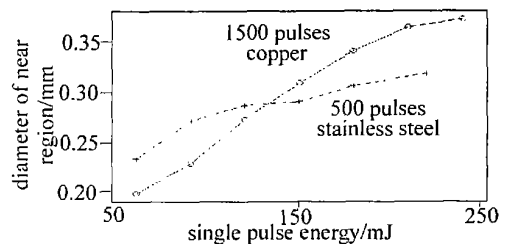


Fig 5 The relationship between near region of metals and laser pulse energy 图 6 为相同脉冲频率条件下硅的表面横向影响区 (包括近区和远区) 与脉冲能量的折线图,激光脉冲的用

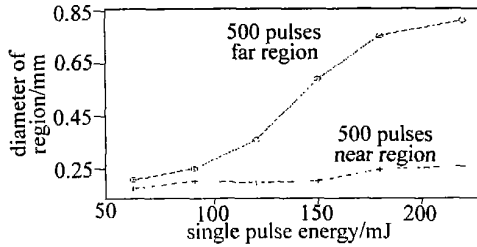


Fig 6 The relationship between regions of silicon and laser pulse energy

量为 50Q。同样,影响区的大小用其最小覆盖圆直径来衡量,从图中可以看出,金属铜、不锈钢和半导体硅的近区随着脉冲能量的增加而增大,这可解释为激光脉冲能量越大,单脉冲产生的横向影响也越大,从而近区的尺寸也越大。将图 5和图 6结合起来,可以发现相同条件下,半导体硅的近区尺寸比金属不锈钢的小;同时,在远区尺寸随脉冲能量变化的规律上,金属与半导体也有较大的区别,金属的远区尺寸随脉冲能量变化不明显(图中未标出),而半导体硅的远区尺寸随脉冲能量增加显著增大。这些差别可归结为材料本身特性的差异,金属是热的良导体,一方面,加工过程中积累的热量在金属试件上更容易传播,这使得金属不锈钢相比半导体硅有较大的近区尺寸;另一方面,在金属材料上,热量也更容易消散,这就导致金属的远区尺寸随脉冲能量变化不明显。加之,半导体硅是脆性材料,在响应光效应引起的冲击作用时会产生横向裂纹^[5],这也一定程度上加剧了对它的横向影响。上述的差别说明,准分子直刻加工过程的横向影响不仅与激光的参数有关,而且与加工试件本身材料特性也有密切的关系。

(上接第 125 页)

速度较高,热量来不及扩散,热影响区相对小,因此对线宽的影响较小,表现在曲线上就是变化较平稳;扫描速度继续增大,则电阻浆料膜层上吸收的热量不够熔融玻璃,形成电阻,故清洗后出现空洞。

3 小 结

通过对陶瓷基板上激光直写电阻的实验研究,可以得出如下结论:(1)通过激光扫描、多道搭接的形式可获得不同形状的电阻,其线条清晰均匀、外观平整光滑,电阻的形状与尺寸完全取决于布线设备的 CAD/CAM 功能,不需要掩模,图形可控,精确度高;(2)电阻的激光单道扫描线宽受扫描速度、激光功率以及预置膜层厚度的影响,扫描速度增加,激光功率减小以及膜层厚度增加,均使电阻线宽度减小;但都存在一个极

3 结 论

248nm KrF 准分子激光直接刻蚀金属和半导体的实验研究表明:刻蚀过程中的横向影响与激光脉冲能量、脉冲频率、脉冲数,以及试件的材料特性和加工环境均有密切关系,横向影响的程度随着脉冲能量、脉冲频率、脉冲数的增加而增大,为了控制刻蚀过程中的横向影响必须适当调节上述工艺参数,例如,在满足加工的条件下,采用小的脉冲能量和低的脉冲频率有利于减小横向影响区;另外,在刻蚀的过程中通入辅助气体(如氮气)可以减少刻蚀过程中氧化物的生成和加快热量的消散,从而,也有利于减小横向影响区。

参 考 文 献

- [1] BRANNON JH. Excimer laser ablation and etching [J]. IEEE Circuits & Devices 1990, 6: 16~24.
- [2] LAUDE L D. Excimer lasers [M]. Dordrecht Kluwer Academic 1994.
- [3] 范永昌,戴尔 P E,凯奕 P H. KrF 准分子激光烧蚀氧化镁单晶的实验研究 [J]. 激光技术, 1995, 19(5): 283~285.
- [4] 林振能,沈建新,廖文和. 193nm 准分子激光切削角膜的研究 [J]. 激光技术, 2003, 27(6): 510~513.
- [5] 马炳和,苑伟政,李铁军 *et al*. 准分子激光直接刻蚀单晶硅研究 [J]. 西北工业大学学报, 2000, 18(3): 491~495.
- [6] 李呈德,万盈,陈涛 *et al*. 准分子激光微加工用 Schwarzschild 物镜设计 [J]. 应用激光, 2001, 21(1): 13~15.
- [7] 江超,王又青,胡少六 *et al*. 248nm KrF 准分子激光精密加工 Al_2O_3 的实验研究 [J]. 激光杂志, 2002, 23(2): 59~61.
- [8] 江超,王又青. KrF 准分子激光精密加工 K9 光学玻璃的实验研究 [J]. 电加工与模具, 2003(2): 33~35.

限值,超过或低于此值,将严重影响电阻的质量(很容易清洗掉或者被烧损)。

参 考 文 献

- [1] 李耀霖. 厚膜电子元件 [M]. 广州:华南理工大学出版社, 1991, 2~4.
- [2] 刘敬伟,曾晓雁. 激光直写布线技术的现状与展望 [J]. 激光杂志, 2001, 22(6): 15~18.
- [3] 刘敬伟. 基于有机导电浆料的激光直写技术工艺和机理研究 [D]. 武汉:华中科技大学, 2002, 1~12.
- [4] 祁晓敬. 基于玻璃基底的激光直写布线技术研究 [D]. 武汉:华中科技大学, 2003, 1~10.
- [5] 李著,肖爱武. 国内厚膜电子浆料的发展与应用 [J]. 电子元件与材料, 1999, 18(1): 25~28.
- [6] 夏仁麟. 电子元件材料手册 [M]. 北京:电子工业出版社, 1989, 488~490.
- [7] 陈章其. 钇系厚膜电阻阻值受烧结温度影响的机理初探 [J]. 四川真空, 1992(1): 62~65.