

文章编号: 0258-7025(2003)10-0953-03

紫外激光刻蚀多层线路板初步研究

凌 磊, 楼祺洪, 叶震寰, 董景星, 魏运荣

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘要 描述了固体倍频紫外激光在 355 nm 和 266 nm, 不同聚焦透镜实验条件下, 对多层电路板的微刻蚀实验, 进行了其传热一维模型的理论推导, 并得到了在实验条件下最佳的理论参数为波长 266 nm, 峰值功率大于 2×10^6 J/s, 聚焦透镜焦距为 200 mm, 为激光修复多层线路板的工业应用提供了一定的实验依据。

关键词 激光技术; 紫外激光; 刻蚀; 多层线路板

中图分类号 TN 249 **文献标识码** A

Ablation of Circuit Board by Pulsed UV Laser

LING Lei, LOU Qi-hong, YE Zheng-huan, DONG Jing-xing, WEI Yun-rong

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

Abstract A technique using pulsed UV laser to process or correct the circuit boards was studied. The influences of the laser wavelenghtes, pulse energy and lens focus length on the circuit ablation were investigated, and the optimal parameters were got.

Key words laser technique; UV laser; ablation; circuit board

在传统的半导体行业中, 2~8 层电路板被广泛应用。传统的故障修复方法是采用微钻头钻孔, 但是当错误出在夹层里时, 由于精确定位困难, 会使废品率提高。采用激光为工具, 则可以先用小能量、低重复率脉冲进行精确定位, 然后在最佳工作条件下高效工作, 减小了出错的可能性。

紫外激光波长短, 可进行微细刻蚀, 并能实现材料的“冷加工”。通过计算, 可以知道用紫外光不会由于刻蚀产生的局部高温而烧毁板上元件。本实验选择了波长 355 nm, 266 nm 的固体倍频激光器, 在不同焦距的聚焦透镜条件下, 对三层线路板进行了刻蚀试验, 得出在此条件下的最佳实验参数为, 波长为 266 nm, 峰值功率大于 2×10^6 J/s, 聚焦透镜焦距为 200 mm 时, 可达到较佳的效果, 为工业应用提供实验参考。

1 传热理论

对于金属靶材来说, 其温度由注入能量和传热

过程决定。在激光脉冲能量与靶材的热交换过程中, 激光能量被金属中的自由电子吸收, 根据文献 [1], 其吸收的能量被转化为声子吸收和等离子体等物质逸出。

本实验的目的是给出一种修复多层印刷电路板中间层损坏的新方法。由于印刷电路层在板基体环氧层之间, 而环氧材料的导热系数小, 在紫外冷光源的加工条件下, 可基本视为绝热。为了在加工时不损坏电路板上其他元器件, 要考虑加工处周围温度不可过高。由于导线周围绝热条件的限制, 所以只要考虑铜导线的一维传热方程。并且, 一般激光的光斑为非标准高斯分布, 聚焦后更复杂, 为简单起见, 用均匀场 I 代替

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{c} \frac{\partial T}{\partial t} \\ -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = \eta I; \quad T \Big|_{|x|=l} = T_0 \\ T(x, 0) = T_0 \end{cases} \quad (1)$$

其中, 取激光入射点为 $x=0$, 控制体长 $2l$, 激光开始

收稿日期: 2002-06-20; 收到修改稿日期: 2003-03-20

作者简介: 凌磊 (1979—), 男, 湖北武汉人, 中国科学院上海光学精密机械研究所研究实习员, 主要从事激光应用技术研究工作。E-mail: linglei@siom.ac.cn

入射时为初始时刻 $t = 0$ 。计算中涉及参数见表 1 (注:其中注入能量一项是按照实际实验中,单脉冲

能量 20 mJ,聚焦光斑直径 0.44 mm 计算得出)。用傅里叶级数法计算得其解为

$$T(x,t) = \frac{T_0}{l^2}x^2 + \frac{\eta I}{\lambda l}x^2 - \frac{\eta I}{\lambda}x + e^{-\frac{\pi^2 c}{4l^2}t} \left[-4 \frac{c}{l} \left(\frac{T_0}{l} + \frac{\eta I}{\lambda} \right) e^{\frac{\pi^2 c}{4l^2}t} + 2T_0 \right] \cos\left(\frac{\pi}{2l}x\right) + \sum_{k=1}^{\infty} e^{-\frac{(k+\frac{1}{2})^2 \pi^2 c}{l^2}t} (-1)^k \left[\frac{4 \frac{c}{l} \left(\frac{T_0}{l} + \frac{\eta I}{\lambda} \right) e^{\frac{(k+\frac{1}{2})^2 \pi^2 c}{l^2}t} + \frac{2T_0}{(k+\frac{1}{2})\pi}}{\left(k+\frac{1}{2}\right)\pi} \right] \cos\left[\frac{\left(k+\frac{1}{2}\right)\pi}{l}x\right] \quad (2)$$

表 1 数值计算中使用的参数

Table 1 Parameters used in numerical calculation

Parameter	Symbol	Value
Material	Cu	copper
Thermal conductivity	λ	401 W/mK
Mass density	ρ	$8.933 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
Specific heat	c_p	385 J/kgK
Thermal diffusion rate	$c = \lambda/\rho c_p$	$1.17 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$
Melting temperature	T_m	1356 K
Vaporization temperature (1 atm)	T_v	2868 K
Absorption rate	η	0.57
Energy of input	I	$5.26 \times 10^9 \text{ W/cm}^2$
Time for pulse persist	t	$1 \times 10^{-8} \text{ s}$
Circumstance temperature	T_0	300 K

由(2)式计算可知:在 l 取大于 100 μm 的任意数值,在激光脉冲结束时 ($t = 10 \text{ ns}$),激光注入点 ($x = 0$) 温度为 603 K,与文献[2]数据基本相符。此时注入点温度小于铜的熔点温度 (T_m),这也证明了准分子激光照射在材料表面尚不能使材料发生

熔融等过程,而仅能产生大梯度的温度场,但对于最先接触激光的材料最外层,也可能通过多光子吸收等一系列复杂的物理化学过程产生局部的高温,使之迅速蒸发并等离子体化。在试验中也观察到在激光的聚焦点有大量的等离子体喷出,并形成等离子羽。此理论推导也证明了,用紫外激光加工材料,其热传导范围可以控制在很小范围内(不大于 100 μm),不至于由于高温的扩散影响到电路板上的其他半导体元件,为激光加工、修复提供了可能性。

2 实验装置

实验装置如图 1 所示。其中,激光器使用 SL454G 固体倍频激光器,输出 266 nm 和 355 nm 紫外激光,圆形光斑直径 7 mm,脉宽 10 ns,脉冲重复频率为 30 Hz,各个波长有各自相对应的衰减器。聚焦透镜焦距为 200 mm,400 mm,1000 mm,样品板放在透镜焦点略靠后处,以便刻蚀出孔壁较直的孔。为了便于观察实验结果,样品板以三层板为主,厚度为 1.6 mm,其中铜层厚度为 0.06 mm。

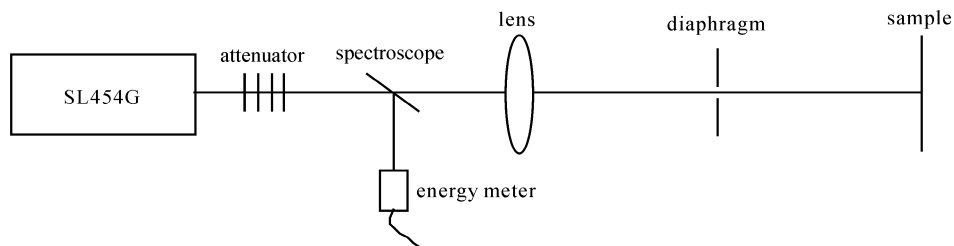


图 1 实验装置

Fig. 1 Experiment equipment

3 实验现象、结果及其讨论

当紫外激光入射到环氧夹层时,会看到大量、明显的等离子体从激光的聚焦点喷射而出,并形成等离子羽,其直观感觉就是有火焰从孔中喷出,而当激光入射在铜上时,则看到明亮的亮点,且在短时间内

(1~2 s)铜被击穿。

对于不同的波长(266 nm,355 nm),不同的聚焦透镜(200 mm,400 mm,1000 mm),在不同的激光脉冲峰值功率条件下,测量击穿样品板所用时间,其实验结果如图 2 所示。

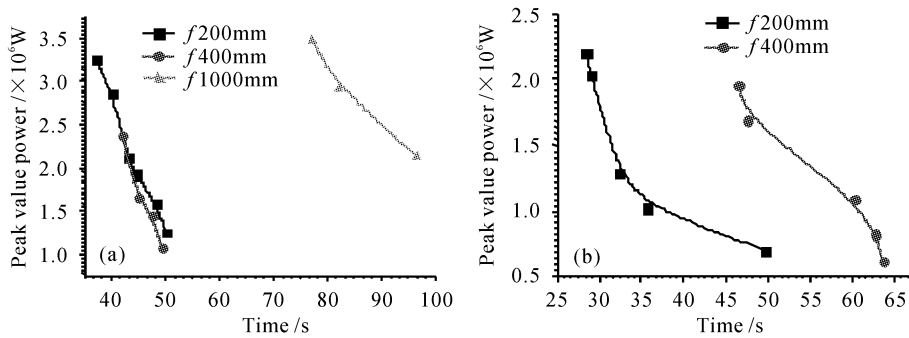


图 2 不同聚焦透镜时的实验结果
 Fig.2 Experimental results by using different lens
 (a) $\lambda = 355 \text{ nm}$; (b) $\lambda = 266 \text{ nm}$

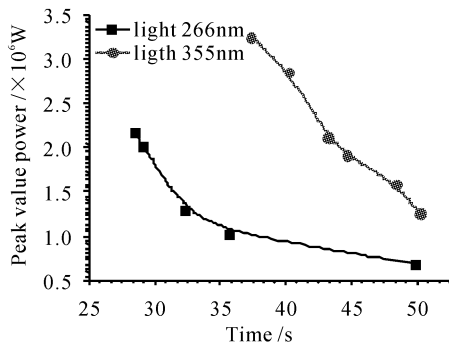


图 3 355 nm 和 266 nm 实验曲线比较
 Fig.3 Comparison of values by 355 nm and 266 nm

由图 2 可以看出,总的变化趋势是激光峰值功率越高,所用聚焦透镜焦距越短,其击穿线路板所用时间越少,即刻蚀效率越高。但曲线不是按严格的线性变化,而是按类双曲线变化,表明注入激光能量并非与刻蚀速率成正比。对于工业应用,则是要找出最佳的投入产出比。在我们的实验条件下,对于 355 nm 激光而言,其最快的刻蚀速度出现在透镜焦距为 200 mm,耗时 40 s 左右。而对于 266 nm 激光而言,其最快的刻蚀速度也出现在透镜焦距为 200 mm 时,耗时小于 30 s,并由图可以看到,在图示变化趋势下,再用提高峰值功率密度的方法来减小刻蚀时间的效果已不是很大。图 3 是在聚焦透镜焦距为 200 mm 时,355 nm 和 266 nm 实验曲线比较,也可以看到 266 nm 解决方案优于 355 nm 解决方案。

图 4 为用数码相机拍摄的实际刻蚀效果图片,激光由环氧一侧入射。可以看到,激光能够击穿环氧夹层并击断板背面的铜连线,达到预期效果。

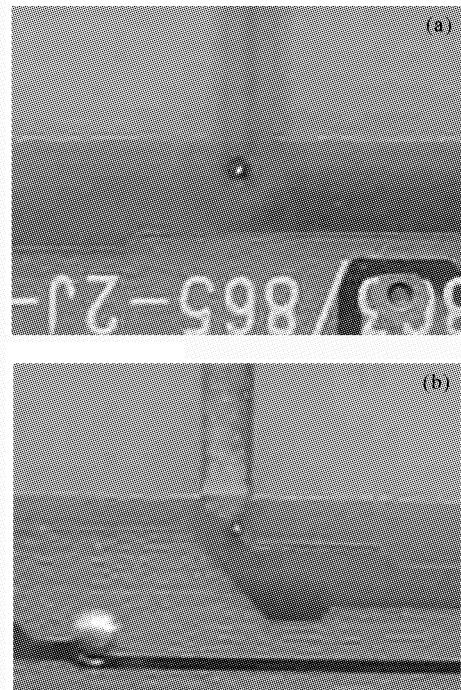


图 4 刻蚀线路板效果图
 (a) 正面;(b) 背面
 Fig.4 Result of ablation
 (a) front; (b) back

参 考 文 献

- 1 J. M. Hicks, L. E. Urbach, E. W. Plummer *et al.*. Can pulsed laser excitation of surfaces be described by a thermal model [J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1988, **61**(22): 2588~2591
- 2 Zheng Jun, Lou Qihong, Dong Jingxing *et al.*. Research on the dynamics of formation of nanometer-size materials by excimer laser ablation [J]. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1997, **A24**(1):83~86 (in Chinese)