

Ar⁺ 激光器用于电阻微调的研究

秦水介 张正平

(贵州大学物理系, 贵阳, 550025)

摘要: 本文讨论并研究了 Ar⁺ 激光器用于电阻微调的优越性。结果表明, 在比常用的 Nd:YAG 激光功率小得多的情况下, 可得到与之相当的刻线宽度和阻值稳定性。

关键词: Ar⁺ 激光器 电阻微调

Utilization of Ar⁺ laser for resistance trimming

Qin Shuijie, Zhang Zhengping

(Department of Physics, Guizhou University, Guiyang, 550025)

Abstract: The resistance trimming often use a CO₂ laser or Nd:YAG laser as a light source. And the Ar⁺ laser has shorter wavelength than Nd:YAG and CO₂ laser. The reflection index of melt film is smaller for 514.5nm wavelength and it is easy to build a better optical system to provide precise resistance trimming. This paper described the trimming system and summarized much practical data.

Key words: Ar⁺ laser resistance trimming

4. 采用大光斑激光加热烧结工艺合成的 Al₂O₃/Ti 系梯度功能材料显微硬度呈梯度分布, 大体满足线性复合法则; 且随激光最高输出功率提高, 照射时间加长, 远离激光照射面的梯度层显微硬度值提高。

5. 在大气环境下, 仅靠氩气屏蔽保护进行激光加热合成 Al₂O₃/Ti 系梯度功能材料难以完全避免钛金属的氧化问题。

参 考 文 献

- 1 渡边龙三, 川崎亮. 粉体および粉末冶金, 1992; 39(4): 229
- 2 李克平. 激光加热合成 Al₂O₃/Ti 系梯度功能材料的研究及有限元分析. 华中理工大学硕士论文. 1995: 3
- 3 Watanabe R, Kawasaki A. Recent development of functionally gradient materials for special application to space plane. In: Composite materials, 1992; 39(4): 197
- 4 结成正弘, 川崎亮. 粉体および粉末冶金, 1990; 37(7): 21
- 5 新野正之. 宇宙² 原子力の融合領域を目指して (FGM パース (E) の展望). 第五回傾斜機能材料ミール講演集. 日本傾斜機能材料研究会, 东京: 1992: 11
- 6 Matsunawa A, Katayama S. Laser welding machining and materials processing, Proceedings of the international conference on applications of the lasers and electro-optics-ICALEO85, San Francisco, CA USA, 1985: 205
- 7 李克平, 张同俊, 胡镇华 *et al.* 激光与光电子进展, 1996(增刊): 118

* * *

作者简介: 李克平, 男, 1967 年出生。硕士。现从事激光与梯度功能材料作用和有限元分析等研究。

收稿日期: 1996-02-26 收到修改稿日期: 1996-05-28



一、引言

随着微电子工业的飞速发展,激光微调技术已得到广泛应用。

一般激光微调电阻值有两种方案:一种是对电阻进行无损伤照射,使膜的结构发生变化,从而达到改变阻值的目的;另一种是用强光照射,将部分电阻膜气化,以减小电阻膜的截面来增加阻值。目前的激光微调机常使用后一种微调方案,并以 CO₂ 激光或 Nd:YAG 激光作为光源。由于 Nd:YAG 激光器功率大,波长比 CO₂ 激光短,现几乎独占这一领域。而功率较大,波长更短的 Ar⁺ 激光器却未见报道。本文将对 Ar⁺ 激光器用于电阻微调的可行性进行讨论。

二、激光微调对激光器的要求

为了保证高质量的电阻微调,需正确选择激光参数,如激光强度、激光波长等。这些参数的选取和大功率激光与材料相互作用的物理过程有关。下面将详细讨论这些问题。

1. 激光强度

薄膜的激光加工一般包括以下几个过程:(1)激光束经聚焦后照射至薄膜表面;(2)薄膜吸收激光能量;(3)薄膜被加热、熔化或气化;(4)在表面张力或喷射作用下,材料去除;(5)通过热传导,热量散失。

若激光脉冲宽度不太窄,即 $t > 10^{-9} \text{s} \sim 10^{-10} \text{s}$,薄膜加工理论分析可按经典热传导理论进行,分为两种有代表性的情况:

(1)“热薄性薄膜”,它代表十分薄的膜层,激光脉冲宽度相对膜厚而言较长,此时薄膜厚度 d 小于热扩散长度,则热薄性薄膜的温升由衬底的热传导率决定,薄膜仅起吸收热能的作用。

(2)“热厚性薄膜”,它代表激光脉冲宽度很短的情况,或就热扩散长度而言,膜较厚,此时激光脉冲能量全部用于加热薄膜,传递到衬底的能量可略去不计。

为避免衬底破坏,微调中不希望激光能量传递到衬底,因而激光参数的选取应尽量接近于“热厚性薄膜”。

激光作用强度包括脉冲宽度和单位面积上的光强度两方面,后者与激光输出功率和光学系统的聚焦能力有关。目前用于电阻微调的激光脉宽通常控制在 200ns~500ns,光强度在 $10^6 \sim 10^9 \text{W/cm}^2$ 的数量级之间。这对于 Ar⁺ 激光器是容易满足的。

2. 激光波长

激光波长对薄膜加工有两方面的影响。首先激光波长直接影响聚焦后可达到的最小光斑尺寸,光斑的大小又决定刻线的宽度。在其它条件相同的情况下,聚焦后可达到的最小光斑大小与激光波长成正比。Ar⁺ 激光辐射波长(0.5145 μm)只有常用的 Nd:YAG 激光波长(1.06 μm)的 1/2,因而使用前者得到的最小聚焦光斑只有后者的一半。从这一点看,Ar⁺ 激光器更适合于对集成度较高的电阻网络进行精密微调。

另一方面,不同的激光波长,材料表面的反射率不一样。对微调加工来说,金属表面反射率 R 是一个重要参数,因为由 $(1-R)$ 确定材料对投射到表面的光能的吸收,吸收的能量用于对材料的气化。因而反射率 R 越小,对光能的利用率则越高。

所有金属的反射率都随入射光波长的减短而减小,但不同金属的反射率随波长变化的情况各不相同。图 1 给出块状金属金、银、镍的反射率随入射波长 λ 的变化,图 2 给出薄膜状金属金、银、镍的反射率随 λ 的变化。

由图可见,薄膜的反射率与块状金属的反射率有一定差异,但差别不大,可以看出,金对可见光谱中的蓝光具有低的反射率;银在整个光谱中具有相当均匀的高反射率;而黑色金属镍在整个光谱区内反射率都较低。

Ar⁺激光器的光谱范围为 0.4545μm ~ 0.5145μm,

其中最强的两条谱线为 0.4880μm 和 0.5145μm,金属薄膜对 Ar⁺激光的反射率仅有对 Nd:YAG 激光(波长 1.06μm)的反射率的 2/3~ 1/2,对用于电阻微调有着明显的优越性。

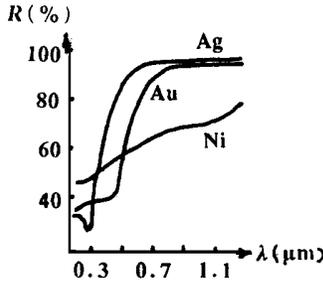


Fig. 1 The reflectivity of cubical metal varying with the wavelength of incident light

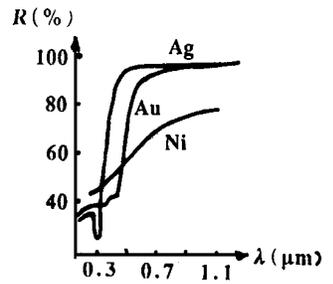


Fig. 2 The reflectivity of filmy metal varying with the wavelength of incident light

三、Ar⁺激光器的性能特点及实验结果

上述分析可知,Ar⁺激光器用于电阻微调的显著优点是其波长短。一方面,能使光束聚焦到很小的尺寸上,对同一光学系统,可以获得更小的激光刻线宽度,而对相同输出功率的激光则可达到更高的功率密度;另一方面,金属薄膜对短波段的低反射率是 Nd:YAG 激光器和 CO₂ 激光器所达不到的。反射率高除使能量利用率降低外,还有可能对操作人员的安全和健康产生不利影响,应努力避免。

目前,微调应用中常使用中等功率的 Nd:YAG 激光器,微调厚膜元件时激光功率的典型值是 10W (连续波),微调薄膜元件时典型激光功率是 3W ~ 5W (连续波);刻线宽度为 8μm ~ 27μm。Ar⁺激光器未见报道。

我们实验所用微调系统包括激光器、光束扫描及控制系统、测量系统三部分。激光器为美国光谱物理公司(Spectra-Physics Inc.)生产的 Model 2020/2025 型 Ar⁺激光器,功率连续可调,多线输出时最大功率达 5.6W,波长为 0.4579μm ~ 0.5145μm;光束扫描系统由一个美国通用扫描器公司(General-Scanning Inc.)的 G320 型振镜扫描器和一焦距为 $f = 100\text{mm}$ 的 $f \cdot \theta$ 透镜组成,使光束作一维扫描,完成激光刻划功能,扫描位置和扫描速度由一台 286 微机控制;测试系统采用四探针法测量,配以美国 Solatron 公司的 7075 数字多用表作为测量仪器。

Table 1 The width of cut line varying with scanning speed

	thin film 1	thin film 2	thick film 1	thick film 2
power of laser	2.8W	2.8W	5.0W	5.0W
scanning speed	20mm/s	10mm/s	2mm/s	0.5mm/s
width of cut line	6μm	10μm	16μm	23μm
depth of cut line	the film has been pierced		21μm	82μm

微调时采用 I 型(又称直线型)切割。因本文主要讨论 Ar⁺激光器用于微调电阻的可行性,即 Ar⁺激光经聚焦后在电阻膜上刻线的质量及调后阻值稳定性等问题。虽然 I 型切口调整精度低,但因其简单易行,切割速度

快,切割的线条单纯,仍不失为一种好的实验方法。

实验所用样品为电子部第 4433 厂生产的微调前的电阻产品。采用不同的扫描速度,得到不同的线宽及对阻值的影响见表 1。

改变不同的切割深度以测量阻值的漂移见表 2,表 3。

由上述表中数据可知:

(1) 最小刻线宽度为 6 μm , 最大也可控制在二十几微米范围内。表 1 表明, 在功率一定的情况下, 刻线宽度与扫描速度有关。

(2) 切割深度对 N⁺Cr 电阻的稳定性影响不大, 500h 后的阻值漂移不大于 0.03%。但对 Cr-SiO 电阻的稳定性影响很大, 500h 后的阻值漂移达 0.3%。这与电阻膜的成分及微观结构有关, 是激光调阻过程难以消除的, Nd: YAG 激光微调 Cr-SiO 电阻的稳定性也比对 N⁺Cr 电阻的稳定性差。

如果采用 L 型切割, 并在微调前预先对电阻膜进行老化处理, 则阻值的稳定性可有较大提高。

(3) 在刻线宽度与 Nd YAG 激光微调机的刻线宽度相当的情况下, 所需的 Ar⁺ 激光器功率仅有 2.8W (薄膜) 和 5.0W (厚膜), 比所需的 Nd: YAG 激光功率小得多 (分别为 5W 和 10W)。

综上所述, 功率较大、波长较短的 Ar⁺ 激光器, 作为其中一种光源用于激光微调, 有其独特的优越性, 为激光微调机的发展提供了一片新天地。

参 考 文 献

- 1 竺佩芳. 激光与红外, 1987; 17(5): 20
- 2 竺佩芳, 阎吉祥. 激光与红外, 1987; 17(7): 12
- 3 王家金. 激光加工技术, 第一版. 北京: 中国计量出版社, 1992: 514
- 4 Cohen M G, Robert A K. Micromaterials processing, Proc of the IEEE, 1992; 70(6): 545~ 555

作者简介: 秦水介, 女, 1963 年 10 月出生。讲师, 系副主任。近年来从事近代光学及激光应用等方面的教学和研究工作。

收稿日期: 1996-11-04

Table 2 The influence of cut line depth on N⁺Cr resistance

resistance	depth of cut line(μm)	resistance value on 0 hour	resistance value on 504 hours	$\Delta R/R(\%)$
R1(Ω)	24	8582.06	8584.18	0.0247
R2(Ω)	49	9175.93	9177.81	0.0205
R3(Ω)	63	8748.10	8749.08	0.0112
R4(Ω)	89	10459.32	10461.09	0.0169

Table 3 The influence of cut line depth on Cr-SiO resistance

resistance	depth of cut line(μm)	resistance value on 0 hour	resistance value on 504 hours	$\Delta R/R(\%)$
R5(Ω)	25	9871.72	9892.32	0.208
R6(Ω)	47	10189.26	10214.73	0.249
R7(Ω)	65	8407.74	8433.26	0.302
R8(Ω)	90	9015.29	9046.94	0.350

