



# 印制电路板制作中激光钻孔应注意的问题

林其水

(福建省农业科学院情报所, 福建 福州 350003)

**摘要** 文章探讨激光钻孔特点及在印制电路板(PCB)制作中的应用,对激光钻孔中常见的问题也提出解决的方法。

**关键词** 印制电路板;激光;钻孔

中图分类号: TN41 文献标识码: A 文章编号: 1009-0096(2009)9-0015-04

## Important Problems in Laser Drilling for Printed Circuit Board Manufacturing

LIN Qi-shui

**Abstract** This text study laser drills a hole the characteristics and in printed circuit board manufacturing of application, to the method that the laser drills a hole to also put forward resolve in the familiar problem.

**Key words** Printed Circuit Board(PCB); laser; drill a hole

与计算机、原子能、半导体并称为20世纪人类四大发明之一的激光技术,已经在印刷领域中发挥着重大的作用。激光全息图像、激光打印、照排、直接制版、网纹辊激光雕刻、清洗等等。如今,激光的应用也向印制电路板(PCB)制作领域扩展,具有代表性的是激光钻孔。由于近年来随着微电子技术的飞速发展,大规模和超大规模集成电路的广泛应用,微组装技术的进步,使印制电路板的制造向着积层化、多功能化方向发展,使印制电路图形细微导线化、微孔化及窄间距化,加工中所采用的机械方式钻孔工艺技术已不能满足要求,能胜任这种微孔加工方式的新型技术就是激光钻孔技术。下面简单介绍激光钻孔的工艺特点和操作技术要领。

### 1 激光钻孔的特点

钻孔是线路板制作中一个主要工艺。随着现代电子产品日益向便携式、小型化、高集成、高性能的趋势发展,对线路板小型化提出了越来越高的需求,提高电路板小型化水平的关键就是越来越窄的线宽和不同层面线路之间越来越小的微型过孔和盲孔。传统的机械钻孔(最小的尺寸仅为100 μm)显然已不能满足要求,取而代之的是一种新型的激光微型过孔加工方式。激光是一种频率高、亮度高、方向性强、单色性好的人造光源。它是20世纪60年代中发展最活跃的科学技术之一。当前激光技术已成为普及和实用化的高新技术,近年来又取得了关键性的发展,如可以根据需要选择输出的光波长,研发出高效率的紫激光等,这些都给科学研究和应

用创造了极为有利的条件。在国外,目前激光在线路板微孔制作和线路板直接成型方面的研究成为激光加工应用的热点,利用激光制作微孔及电路板直接成型与其它加工方法相比其优越性更为突出,具有极大的商业价值。此外,由于激光具有高亮度、高方向性、高单色性和高相干性等特性,给激光钻孔带来了机械钻孔无法比拟的优势。激光钻孔是无接触加工,对工件无直接冲击,不存在机械变形;激光钻孔不使用机械钻孔中的刀具,无切削力等作用于工件;由于激光钻孔中激光束能量密度高,加工速度快,并且是局部加工,对非激光照射部位没有或影响极小。因此,热影响区域小,工件热变形小后续加工最小;激光束易于导向、聚焦、实现方向变换,极易与数控系统配合、对复杂工件进行加工因此它是一种极为灵活的加工方法;生产效率高,加工质量稳定可靠。目前用于电路板钻孔的激光主要有CO<sub>2</sub>激光、紫外线(UV)钕-钇铝石榴石(Nd-YAG)激光,以及兼具CO<sub>2</sub>和UV的激光等。

在激光钻孔中,激光是激发的一种强力光束,其中红外光或可见光者拥有热能,紫外光另具有化学能。对板材所产生的作用可分为光热烧蚀、光化裂蚀、脉冲能量等。

### 1.1 光热烧蚀

某激光光束在其红外光与可见光中所夹帮的热能,被板材吸收后出现熔融、气化与气浆等分解物,而将之去除成孔的原理,称为光热烧蚀。此烧蚀的副作用是在孔壁上的有被烧黑的碳化残渣(甚至孔缘铜箔上也会出现一圈高熟造成的黑氧化铜屑),需经后续清除处理,才可完成牢固的盲孔铜壁。

### 1.2 光化裂蚀

紫外领域所具有的高光子能量,可将长键状高分子有机物的化学键予以打断,于是在众多碎粒造成体积增大与外力抽吸之下,使板材被快速移除而成孔。它的特点是反应是不含熟烧的冷作,故孔壁上不至产生碳化残渣。

### 1.3 脉冲能量

实用的激光成孔技术,是利用断续式光束而进行的加工,以其能量打击板材,每个(俗称为一枪)所拥有的能量,又有多种模式,如单光束所成光点的能量较易聚焦集中,故多用于钻孔。多束光点需均匀化但又不易集中成为小光点,就不适于钻孔。

## 2 常见的激光钻孔工艺

目前在PCB制作中应用的激光钻孔工艺,主要

包括以下几种。

### 2.1 开铜窗法

先在内层板上复压一层涂树脂铜箔(RCC),通过光化学方法制成窗口,然后进行蚀刻露出树脂,再采用激光烧除窗口内基板材料即形成微盲孔。例如,先做FR-4的内层核心板,使其两面具有已黑化的线路与底垫,然后再各压贴一张涂树脂铜箔。此种RCC中铜箔厚约17 μm,胶层厚约80 μm~100 μm(3 mil~4 mil)。然后利用CO<sub>2</sub>激光光束,根据蚀铜底片的座标程式去烧掉窗内的树脂和残渣,再对钻孔进行修正,即可挖空到底垫而成微盲孔。

### 2.2 开大铜窗法

开铜窗法成孔的孔径与所开的窗口直径相同,如果操作稍有不慎就可能与所开窗口的位置产生偏差,而一旦窗口位置偏差,就会导致成孔的盲孔位置走位致使与底垫中心失准的问题。该铜窗口的偏差产生的原因有可能与基板材料涨缩和图像转移所采用的底片变形有关,大板面上不太容易彻底解决。为解决这个问题,可采取开大铜窗口的工艺方法,就是将铜窗口直径扩大到比底垫还大0.05 mm左右(通常按照孔径的大小来确定,如当孔径为0.15 mm时,底垫直径应在0.25 mm左右,其大窗口直径为0.30 mm),然后再进行激光钻孔,即可烧出位置精确对准底垫的微盲孔。开大铜窗法的主要特点是选择自由度大,也就是在大窗口备有余地的情况下,让孔位获得较多的弹性空间。进行激光钻孔时可选择另按内层底垫的程式去成孔。于是激光光束得以另按内层底垫的程式去成孔,而不必完全追随窗位去烧制明知已走位的孔。这就有效的避免由于铜窗口直径与成孔直径相同时造成的偏位而使激光点无法对准窗口,使批量大的大拼板面上会出现许多不完整的半孔或残孔的现象。

### 2.3 树脂表面直接成孔法

此方法中包含了几种不同的方法。例如,按开铜窗法在内层板上压涂树脂铜箔的方法进行,但却不开铜窗而将铜箔全部蚀刻去掉,若就制程本身而言此法反倒便宜。之后可用CO<sub>2</sub>激光在裸露的树脂表面直接烧蚀成孔,再继续按照电镀覆孔工艺进行孔微化处理成孔与成线。这种方法由于树脂上已有铜箔压出的众多微坑,故其后续成垫成线之铜层抗撕强度比感光成孔板类(靠高锰酸钾对树脂的粗化)要好得多,但成孔仍不如真正铜箔来得更为结实牢靠。这种方法虽可避免影像转移的成本与工程

问题,但也要在高锰酸钾除胶渣等方面解决不少难题,其最大的难处仍是焊垫附着可靠度的不足。

此外直接成孔法还可采用FR-4半固化片和铜箔以代替涂树脂铜箔的相类似制作工艺方法、涂布感光树脂后续层压铜箔的工艺方法、采用干膜作介质层与铜箔的压贴工艺方法、涂布其它类型的温膜与铜箔覆压的工艺方法等进行。

#### 2.4 超薄铜箔皮直接烧穿法

内层芯板两面压贴涂树脂铜箔后,可采半蚀法将其原来约17 μm的铜皮咬薄到只剩5 μm左右,然后进行黑氧化处理,就可采用CO<sub>2</sub>激光直接成孔。这种方法的基本原理就是经黑氧化处理的表面会强烈吸光,并且有超薄铜层,在提高CO<sub>2</sub>激光的光束能量的前提下,就可以直接在超薄铜箔与树脂表面成孔。但要确保半蚀方法能获得厚度均匀一致的铜层还是比较困难的,所以制作时要格外小心。鉴于此,已有铜箔业者在此可观的商机下,提供特殊的背制式可撕性材料(UTC)的超薄铜箔,其铜箔厚度大约只有5 μm(如日本三井之可撕性UTC)。其做法是将UTC棱面压贴在核心板外的两面胶层上,再撕掉厚支持用的背铜层,即可得到具有超薄铜箔的半成品。随即在续做黑化的铜面上完成激光盲孔,并还可洗掉黑化层进行PTH化铜与电铜。此法不但可直接完成微孔,而且在细线制作方面,也因基铜之超薄而大幅提升其优良率。

### 3 CO<sub>2</sub>激光钻孔的应用

CO<sub>2</sub>激光是目前PCB钻孔中应用最广泛的一种激光,它可加工直径40 μm的微孔。CO<sub>2</sub>激光钻孔的基本原理是:CO<sub>2</sub>气体在增加功率及维持放电时间下,产生波长9 400 nm~10 600 nm的实用脉冲式红外激光,它具有能够穿透绝大多数的有机物材料表面到内部的特性。常用的CO<sub>2</sub>激光器使用效果较理想的波长是9 400 nm,这种CO<sub>2</sub>激光器可钻孔径40 μm~200 μm的微孔(但根据实用经验,大于100 μm孔用CO<sub>2</sub>激光钻合算,小于100 μm孔用紫外激光好),孔深比可达1:1,钻孔速度可达3孔/秒。对钻孔的激光束要整形,一般一个孔要钻2次~3次,以保证孔底平整。

绝大多数有机物材料具有强烈吸收红外线波长的特点,有机材料分子吸收红外线波长而提高能量,这就体现了红外线的热效应特性。CO<sub>2</sub>激光钻机就是应用红外线的这种光热效应对有机物进行烧蚀,形成连通性盲孔。CO<sub>2</sub>激光钻机的加工原理为:激光源发射出激光光束,经光束整形装置整形,通过光栅孔来确定光束直径,再通过光学系统折射,由电流计式反射

镜本身的X、Y定位,及机台的X、Y台面定位两种系统合作而成。其具体原理为:X定位系统将大板面划为许多小区域(最大为50 mm×50 mm,为提高加工精度,一般采用30 mm×30 mm),在各区域局部采用特殊的镜面,微调反射进行区域内各加工孔的X、Y定位。一个区域内的孔全部加工完毕后再移动到下一个区域继续加工,因其区域内采用镜面微调反射定位,对温、湿度变化要求很严格,一般室温应控制在(22±1)℃,湿度控制在(50±10)%。RCC材料易吸收红外线激光能量,在激光钻孔中一般采用分步激光脉冲的加工技术,一般采用三次脉冲能量逐步降低的加工方法进行钻孔,根据实践,它比三次脉冲能量相等的加工方法更容易加工出质量优良的盲孔。

CO<sub>2</sub>激光是利用红外线的热效应来完成盲孔的加工。不同物质(材料)对CO<sub>2</sub>激光波长吸收或吸收率是不同的,绝大多数有机树脂材料都能强烈吸收红外线波长,并转化为热能。由于不同的钻孔材料其要求的温度有所差异,因此操作时要注意控制好激光的峰值功率。由于金属铜和玻璃纤维对红外线波长吸收率很低,要得到品质优良的红外线激光微盲孔,最好是采用不含增强玻璃纤维的粗糙材料,以免影响钻孔金属化的质量,甚至影响到盲孔的可靠性。但有时为了提高印制电路板的硬度或满足客户对介质厚度的要求,必须采用有增强玻璃纤维的材料。用CO<sub>2</sub>激光加工有增强玻璃纤维的介质层时,当激光光束能量不够大时,往往会显露出玻璃纤维头突出,所以增大盲孔孔壁数的选取及控制尤为重要。而当激光光束能量加大时,又可能造成内层铜表面炭化或介质层分层现象。目前常用CO<sub>2</sub>激光钻孔的介质材料是涂树脂铜箔。对于CO<sub>2</sub>激光不适于铜箔钻孔,只能使用紫外线(UV)Nd-YAG(钕-钇铝石榴石)激光。Nd-YAG两种固态晶体共同激发出的UV激光。最近多采用的二极管脉冲激励的激光束,它可以制成有效的激光密封系统,不需要水冷。这种激光钻孔的最大特点是属于紫外光谱区,而覆铜箔层压板所组成的铜箔与玻璃纤维在紫外光区域内吸光度很强,加上此类激光的光点小能量大,故能强力的穿透铜箔与玻璃布而直接成孔。由于这种类型的激光热量较小,不会象CO<sub>2</sub>激光钻孔后生成残渣,对孔壁后续工序提供了很好的处理表面。此外,目前国际上激光打孔的设备常把CO<sub>2</sub>激光和UV激光组合在一起,这样能使其能发挥各自的特点,相得益彰。

#### 4 激光钻孔中常见故障的处理

影响激光钻孔质量的主要因素有:材料(包

括铜箔厚度、树脂类型、绝缘层厚度、增强材料类型)和激光系统能力(包括导通孔分布、导通孔间距、激光波长、激光脉冲宽度、不同材料的钻孔适应性)等。在激光过程中,最容易出现的故障主要是钻孔位置失准和孔形不正确。

#### 4.1 钻孔位置与底靶标位置失准的解决方法

这是开铜窗法的CO<sub>2</sub>激光钻孔最常见的故障之一。在激光钻孔中,光束定位系统对于孔径成形的准确性至关重要。尽管采用光束定位系统的精确定位,但因受其它因素的影响,会产生孔形变形,而造成钻孔位置与底靶标位置失准。究其原因,主要有以下几点:

(1) 制作内层芯板焊盘与导线图形的底片,与涂树脂铜箔增层后开窗用口的底片,由于两者都有因湿度与温度而影响尺寸增大与缩小的潜在因素。解决的方法是缩小排版尺寸,多数厂家采取450 mm × 600 mm或525 mm × 600 mm的尺寸,但对于加工导线宽度为0.10 mm与盲孔孔径为0.15 mm的手机板,最好采用排版尺寸为350 mm × 450 mm上限。

(2) 芯板制作导线焊盘图形时基材本身的尺寸的涨缩,以及高温压贴涂树脂铜箔增层后,内外层基板材料又出现尺寸的涨缩因素存在所至。解决的方法是加大激光直径,其目的就是增加对铜窗口被罩住的范围。激光光束直径=开窗口直径/蚀刻的孔径+(基板开窗口位置误差+基板开窗口介质层直径)+激光光束位置误差。具体使用中一般采用激光光束直径的经验值[即光束直径=孔径+(90 μm~100 μm)]来进行,能量密度不足时可多打一两次加以解决。

(3) 蚀刻所开铜窗口尺寸大小与位置也都会产生误差。对于这个问题,可采取开大铜窗口工艺方法处理。此时只是铜窗口尺寸变大而孔径却未改动,因此激光成孔的直径已不再完全由窗口位置来决定,使得孔位可直接根据芯板的上的底垫靶标位置去烧孔。

(4) 激光机本身的光点与台面位移之间的所造成的误差。解决的方法是,由光化学成像与蚀刻开窗口改成YAG激光开窗口:就是采用YAG激光光点按芯板的基准孔首先开窗口,然后再用CO<sub>2</sub>激光就其窗位去烧出孔来,解决成像所造成的误差。

(5) 由于二阶盲孔对准难度就更大,更易引起位置误差。解决的方法是采用积层两次再制作二阶微盲孔法,其目的就是同一块积层板面上的

二阶盲孔与一阶盲孔,同时呈现以方便对比。具体方法是,当芯板两面各积层一层涂树脂铜箔后,若还需再积层一次RCC与制作出二阶盲孔(即积二)者,其积二的盲孔的对位,就必须按照瞄准积一去成孔。而无法再利用芯板的原始靶标。也就是当积一成孔与成垫时,其板边也会制作出靶标。所以积二的RCC压贴上市后,即可通过X射线机对积一上的靶标而另钻出积二的四个机械基准孔,然后再成孔成线,采取此法可使积二尽量对准积一。

#### 4.2 孔形不正确的解决方法

激光钻孔中出现孔形不正确的主要原因是所采用的基材成型所存在的质量问题,其主要质量问题是涂树脂铜箔经压贴后介质层的厚度难免有差异,在相同钻孔的能量下,对介质层较薄的部分的底垫不但要承受较多的能量,也会反射较多的能量,因而将孔壁打成向外扩张的壶形。这将对积层多层板层间的电气互连品质产生较大的影响。

由于孔形不正确,对积层多层印制电路板的高密度互连结构的可靠性会带来一系列的技术问题。所以,必须采用工艺措施加以控制和解决。目前主要采用以下几种工艺方法解决孔形不正确的问题。

(1) 严格控制涂树脂铜箔压贴时介质层厚度差异,一般控制在5 μm~10 μm之间。

(2) 改变激光的能量密度与脉冲数(枪数),可通过试验方法找出批量生产的工艺条件。

(3) 彻底清除孔底胶渣与孔壁残渣。

孔形不正确的质量问题是线路板钻孔中最容易发生的问题,稍微控制不当就可能产生。特别是对于处理大拼版上多孔类型的积层板,所加工的大拼板上的微盲孔数量太多(平均约6万~9万个孔),不可能完全保证无质量问题。由于介质层厚度不同,采取同一能量的激光钻孔时,底垫上所残留的胶渣的厚薄也就不相同,经除钻污处理就不可能确保全部残留物彻底干净,如再加上检查手段不到位,一旦有缺陷时,常会造成后续镀铜层与底垫与孔壁的结合力。因此,要保证选用的材料有优良的质量和 技术指标,控制介质层的厚度差异要在允许的范围(5 μm~10 μm)内。因为只有确保涂树脂铜箔基材的介质厚度的均匀性,在同样的激光能量的作用下,才能确保孔形的准确性和孔底部的干净。同时还需要在后续工序中,采用最佳的除钻污工艺条件,确保激光成孔后盲孔底部的干净无残留物,对盲孔化学镀和电镀层的质量产生良好的作用。 [PCI]