

# CO 激光器助力通孔加工和晶片剥离技术

## CO Lasers Benefit Via Drilling And Wafer Debonding

波长为5~6 μm的一氧化碳 (CO) 激光器在微电子制造的未来应用中将起着重要作用。

文：Peter Rosenthal Coherent 公司技术开发经理  
Dirk Müller Coherent 公司营销总监  
George Oulundsén Coherent 公司产品营销总监

二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) 激光器与广泛使用的二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) 激光器几乎同时出现，都是以气体作为工作介质产生激光输出，但是 CO 激光器直到最近才引起工业领域的广泛关注。本文重点关注 CO 激光器在微电子制造领域的重要潜力，尤其是针对 40 μm 以下的 PCB 微孔钻头和正在发展的激光硅片剥离领域的重要应用。

### CO激光器背景

与 CO<sub>2</sub> 激光器输出的远红外波段 (10.6 μm) 相比，光谱范围在 5~6 μm 之间的 CO 激光在某些应用中具有两大重要优势。一方面，多种金属、薄膜、聚合物、PCB 电介质、陶瓷和复合材料在较短的波长上吸收率有显著增高。而吸收率高则意味着更低的功率便可以实现更高的加工效率，同时也能更有效降低热影响区 (HAZ) 面积；另一方面，很多材料在较短波长上的透射率会更高，光便可以穿透到材料的更深处，这对加工也是有利的。

短波长的另一个优点是衍射效应更小，衍射效应与波长的长短几乎成线性关系，更小的衍射意味着激光的光斑可以聚焦到更小。例如，在同一标准配置下，在工业应用中 CO<sub>2</sub> 激光器可聚焦最小光斑的尺寸在 70~80 μm 之间，而 CO 激光器则能将

最小光斑聚焦至 30~40 μm 范围。这意味着功率给定时，CO 激光焦点处的功率密度 (通量) 要比 CO<sub>2</sub> 激光高 4 倍。再加上一些材料对 5 μm 激光有更强的吸收，更低功率的 CO 激光器便能实现同样的加工能力。

尽管 CO 激光器具备这样的优点，CO 激光器还是没有实现大规模商业化。原因主要有两点：首先，CO 激光

此外，在陶瓷划片，切割和钻孔方面同样有着成功的经验。

### PCB钻孔

钻孔是一种重要的激光应用，CO 激光器在这方面具有独特的优势。通孔是在电子印刷电路板 (PCB) 上钻的小洞，其作用是连接 PCB 层与层之间的电信号 (在通孔上镀金属)。

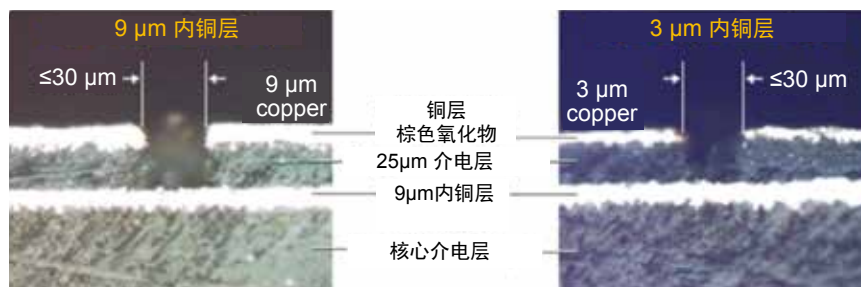


图1. CO激光器在FR4上面钻孔后的横截面。在9 μm铜外层材料中，激光器脉冲波形是：1Kw峰值功率，3 μsec FWHM脉冲，4个550W的峰值功率，以及0.5 μsec FWHM脉冲。在3 μm铜外层材料中，激光器脉冲波形是：950 Kw峰值功率，2 μsec FWHM脉冲，2个400W的峰值功率，以及0.4 μsec FWHM脉冲。

以前只能在低温下保持高效率运行；其次，如果封装不慎，CO 激光器的功率会迅速衰减，这是对封装技术的极大考验。所幸，Coherent 相干公司的工程师解决了这些问题。2015 年，Coherent 相干公司推出了一系列工业密封 CO 激光器，它们能在室温下高效运转，运行寿命可与 CO<sub>2</sub> 激光器媲美。

目前，CO 激光器已经在玻璃划片 (切割)、以及裂片工艺 (SmartCleave 基于 filamentation 技术的成丝玻璃切割技术) 取得了成功。

与集成电路的发展一样，PCB 板的电路密度也在不断提高，因此，孔径小型化成为市场的必然需求。

传统的通孔是用机械钻取的，这种方法仍然广泛用于电路密度较低的 PCB 板。而在九十年代中期，CO<sub>2</sub> 激光钻孔系统实现了孔径 100 μm 以下的 PCB 通孔的批量生产，这是机械钻孔系统难以实现的。目前，CO<sub>2</sub> 激光钻孔系统常用于生产孔径在 50~100 μm 间的通孔。

现在，在更高封装密度需求

的推动下，通孔直径也逐步趋向20~40 $\mu\text{m}$ 间。如前文所述，由于CO激光器的聚焦光斑更小，加上相对较高的可用输出功率，使之CO激光器成为该应用的良好候选方案。

Coherent 相干公司进行了多次试验证明了CO激光器在钻孔应用上的可行性和实用性。图1显示了FR4中最新的钻孔横截面。FR4是一种常用的PCB材料，介电层由25 $\mu\text{m}$ 厚的玻璃纤维/环氧树脂复合材料和直径4 $\mu\text{m}$ 的编织纤维组成。外部铜层经过棕色氧化物表面处理，以增加激光吸收，从而降低打穿铜层所需的功率。这是一种用于CO<sub>2</sub>激光器通孔钻孔工艺中的标准表面处理方式。Coherent 相干公司用CO激光器对9 $\mu\text{m}$ 和3 $\mu\text{m}$ 铜外层材料进行打孔。详细的信息如下图。如图所示，两种材料都实现了直径低于30 $\mu\text{m}$ 的干净通孔，且锥度极小，并且内层铜没有遭到损坏。

图2是一个直径为40 $\mu\text{m}$ 通孔的俯视图。该通孔具有非常干净的内壁和铜底层，基本上没有玻纤残留物。CO激光器的5 $\mu\text{m}$ 波长可使孔径缩小至25 $\mu\text{m}$ 。该样品是采用台面峰值功率1kW进行加工的。目前已经正在使用更高功率的CO激光器进行测试，这将大幅提高打孔速度并提供出色的过程控制，实现在各种材料（包括不同厚度的顶部铜层）上的打孔一致性的要求。

## 硅片剥离

除了传统的PCB外，提高电路密度还会采用“先进封装”技术，即将多个集成电路封装在单个单元中，形成一个包含逻辑、内存及传感器的功能单元。

半导体器件的集成通常需要处理

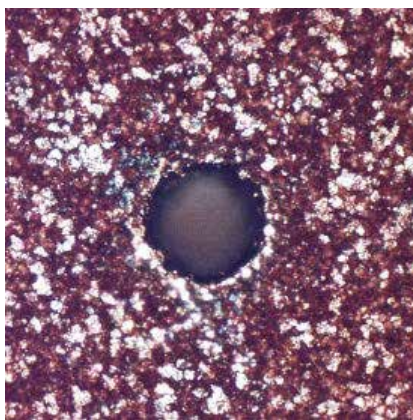


图2. CO激光器在PCB材料上钻出的干净通孔，直径为40 $\mu\text{m}$ 。

厚度小于100 $\mu\text{m}$ 的多个组件，为方便稀释、处理、转移这些组件，通常将其临时键合在较厚的衬底上。

玻璃和硅都可作为这种临时键合处理的衬底。虽然玻璃处理技术成熟并可达到高度的工业应用标准，但随着对封装工艺和材料的要求越来越严格，加上硅的物理特性（更高的导热性、更匹配的热膨胀、翘曲更少、与现有的半导体设备广泛兼容）为其提供了诸多工艺技术优势，使继续采用硅来作为临时键合的衬底仍然是行业重点。

在临时键合后的剥离上，由于热应力和机械应力的限制，热滑动和机械剥离方法不如光学剥离方法有吸引力。但当前缺乏实用和低成本的光学剥离技术，这是广泛推广以硅作为临时衬底的关键障碍。

目前用于玻璃衬底的剥离设备采用紫外激光，但不幸的是，紫外波段对硅而言是不透明的，而且目前没有基于激光的玻璃设备匹配硅的波长透过率窗口。工业中非金属材料加工的主力——CO<sub>2</sub>激光器所发的远红外波

段也在硅的波长透过率窗口之外。然而，室温下的激光硅片剥离技术是一个有吸引力的概念，它将成为硅作临时衬底的重要推动力量。

图3表明，在典型的衬底厚度下，硅在CO输出波长处是透明的。此外，CO激光器有多种配置和功率范围，可实现从纳秒脉冲到连续波的输出，功率级别达400W。这使得CO激光器很适合处理各种释放层和粘合剂，并与纺丝涂层和气相沉积材料兼容。从设备集成的角度来看，CO激光器与更成熟的CO<sub>2</sub>激光器接近，二者具有大量的接口共通性，从而为生产有价值的剥离系统提供了一条相对低风险的开发路径。

图3. 5mm厚的硅透射谱。蓝线

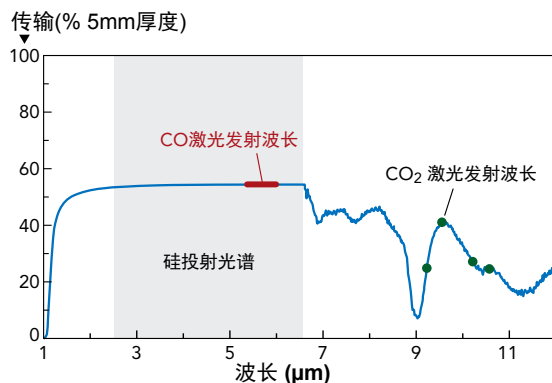


图3. 5mm厚的硅透射谱。蓝线指示的是商用CO激光器的典型发射光谱；绿点表示商用CO<sub>2</sub>激光器的波长（硅传输数据由Thorlabs提供；www.thorlabs.com）

指示的是商用CO激光器的典型发射光谱；绿点表示商用CO<sub>2</sub>激光器的波长（硅传输数据由Thorlabs提供；www.thorlabs.com）

## 结论

CO激光器提供了中红外输出，这是一种过去极难获得的光谱范围。CO激光器的潜在应用正在探索 and 开发中。除了各种玻璃和陶瓷加工，它在钻孔和硅片剥离的应用中也显示出了巨大潜力。（杨瑾译）■