

## 采用绿光皮秒激光器切割系统级封装 (SiP) 材料

系统级封装 (SiP) 是一种芯片封装方法, 可通过增大晶体管密度来进一步提高计算能力。随着半导体特征尺寸收缩速度的放缓, 半导体加工尺寸 (纳米 - 微米) 和印刷电路板 (PCB) 尺寸 (微米 - 毫米) 之间存在的差距 (空间尺度约跨越三个数量级) 为该行业的发展提供了新的契机。得益于如此大的尺度差距, 技术人员可以通过多种方法来实现进一步微型化。从功能上讲, SiP 通过将历来离散和隔离的元件, 如内存、逻辑、射频 (RF) 芯片等, 集成到共享印刷电路板 (PCB) 基板上的单一封装 (通常称为异构集成) 中, 并设计必要的相互连接, 来实现性能的提升。SiP 技术已广泛应用于移动消费电子产品, 例如智能手机, 手表、耳机等可穿戴设备以及许多其他设备。

紫外光和绿光波长的纳秒激光器非常适合用于分离 SiP 器件。然而, 如果此类激光器无法承受过多的热量, 则实际运用效果可能会大打折扣, 特别是考虑到这些器件的密度会变得越来越大。为了应对这一挑战, 人们倾向于在加工过程中使用更短的脉冲持续时间, 以便减小热影响区 (HAZ)。如果封装使用热敏粘合介质, 如焊料或粘合剂, 就会出现这种情况, 因为这些材料在过多的热负荷下可能会失效。此外, 由于 SiP 层压板内存在铜线, 可能需要使用超短脉冲 (USP) 激光器进行加工, 这可能会产生过多热量, 从而导致出现分层现象。考虑到这些因素, 我们使用 MKS

Spectra-Physics IceFyre® GR50 高功率绿光皮秒激光器进行了大量实验, 目的是优化 SiP 相关材料的切割工艺。

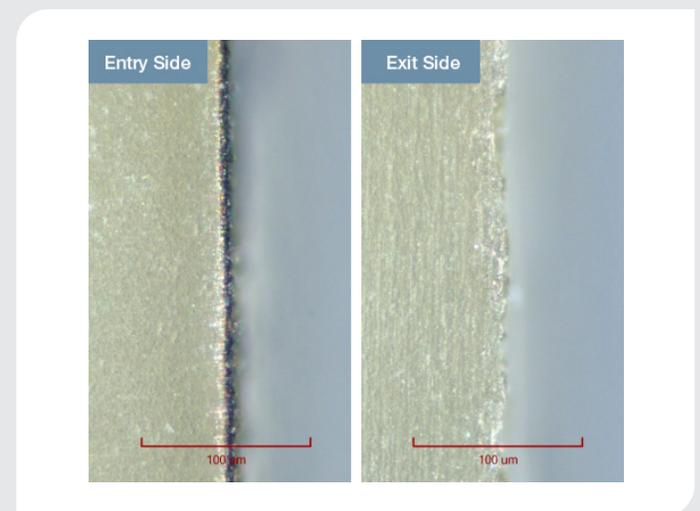


图 1. 用绿光皮秒脉冲切割的 FR4 板 (厚度为 200 µm) 的入射面 (左) 和出射面 (右) 视图。

SiP 板的主要组成部分是薄型 (或 “超薄型”) 玻璃纤维增强环氧层压材料 (FR4), 厚度通常为 100-250 µm。由于 FR4 中的玻璃纤维和环氧树脂成分不均匀, 且具有不同的光学和热学特性, 因此对 FR4 进行激光切割是一项极具挑战性的工作。当用激光器加工较厚的 FR4 时, 通常须注意避免过度加热和熔化, 这可能导致碳化不良。对于较薄的 FR4, 当使用皮秒脉冲宽度时, 过度加热相对容易避免。图 1 显示使用 IceFyre GR50 激光器切割 FR4 (厚度为 200 µm) 后的入射面和出射面。

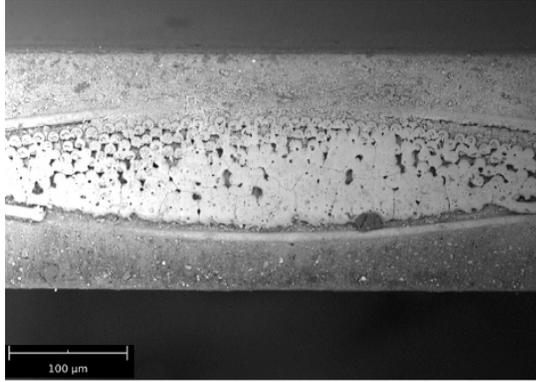


图 2. 图 1 中切口的 SEM 侧壁视图，显示纤维端面仅有轻微熔化。

利用激光器在 500 kHz 脉冲重复频率 (PRF) 下的 50 W 额定输出, 以及在 4 m/s 的扫描速度下优化的高速多次工艺, 可使有效切割速度达到 83 mm/s。入射面显示仅有少量的碎片沉积, 并形成了一个约 10 μm 的明显热影响区 (HAZ)。通过 SEM 成像查看横截面 (图 2) 时, 图像显示出这是一次高质量的切割, 可清楚地看到每一根纤维, 且只有轻微的熔化迹象。

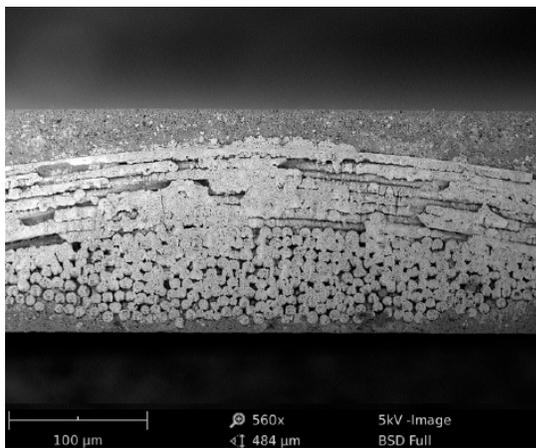


图 3. FR4 切口的 SEM 侧壁视图, 显示出卓越的切割质量, 且纤维熔化程度非常低。

对于使用 USP 激光器进行的许多工艺, 通常可以对高质量结果进行进一步的改善, 以达到更高的质量水平。例如, 如果打算在切割 FR4 时进一步减少玻璃纤维的熔化量, 那么进行诸如降低激光脉冲能量和 / 或 PRF、增大光束扫描速度等调整, 可以达到理想的预期效果, 如图 3 所示。

这一结果清楚地表明, USP 激光器可以在敏感材料中产生出色的切割效果, 而且热化程度非常低。

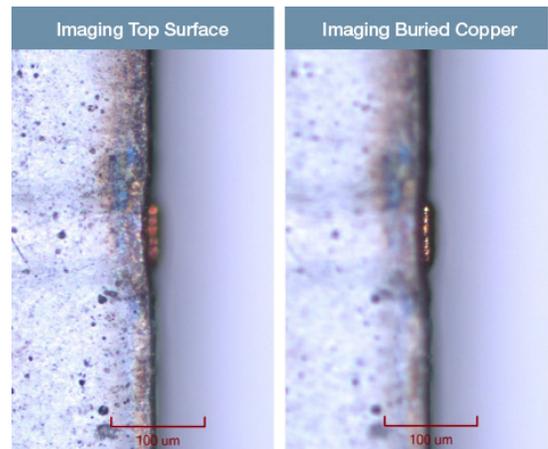


图 4. 较高速切割结果的激光入射面显微镜图像, 显示表面切割质量出色, 但在埋入铜线的周围存在发热现象。

在展示出卓越的薄型 FR4 切割能力并确定可实现的产量后, 该激光器随后被用于切割薄型 SiP PCB 基板材料。该材料由超薄型 FR4 (约 100 μm 厚) 和聚合物阻焊保护层组成, 两面均层压, 并包括沿预定切割路径分层的间歇性内嵌铜线。所有层的总厚度为 200 μm。由于存在包含内嵌铜线的多个层, 预计对一些工艺进行微调将有助于实现最佳质量结果。因此, 在确定以实现高产量为目标的工艺后, 对参数进行了调整, 以专注于提高质量结果。

结果表明，这样的做法颇有成效。在全功率运行激光器以进行高速加工的情况下，切割入射面的俯视显微镜照片（图 4）表明，内嵌铜线确实对切割质量有一定的影响。虽然表面质量总体优秀，切边质量良好，并且仅有一个小的碎片区，但有证据表明，铜层周围的过度加热导致其周围的聚合物 /FR4 材料被轻微侵蚀，从而导致铜线从侧壁轻微突出。该工艺的有效切割速度为 57 mm/s。

因此，尽管以产量为中心的工艺通常能实现良好的质量，但仍有改进的空间。将激光功率水平调低 50%，并对其他各种参数进行调整，使质量得到了进一步改善，如图 5 所示。该结果是在净切割速度为 38 mm/s 的情况下实现的。因此，在充分利用功率的情况下（例如，使用双光束分光配置），整体的综合切割速度相当于 76 mm/s，比单光束在全功率下的速度快 33%。

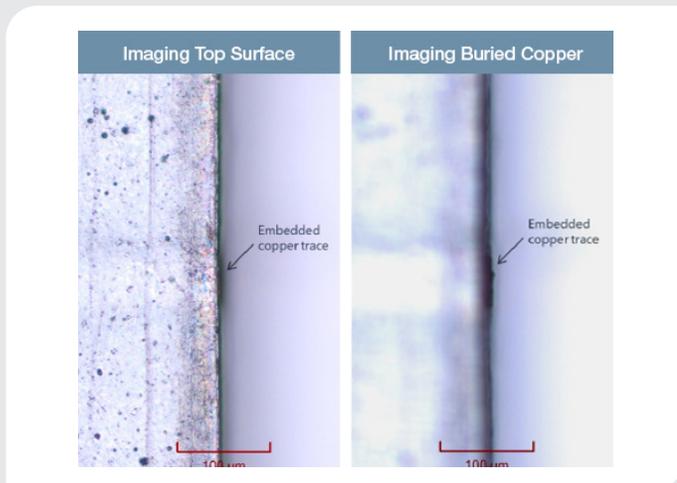


图 5. 使用 50% 的激光功率进行切割的入射面图像显示，在使用全功率时已经取得了良好的效果。

图 5 中的左侧图像为表面聚合物层的图像，与全功率结果相比，仅有轻微碎片沉积，且切割路径未出现偏差。同样地，右侧图像显示，在远离切口边缘的方向上，埋入的铜

线仅有几乎无法检测到的突起。通过查看激光切口的侧壁横截面，可以进一步了解结果的质量，如下图 6 中的 SEM 图像所示。

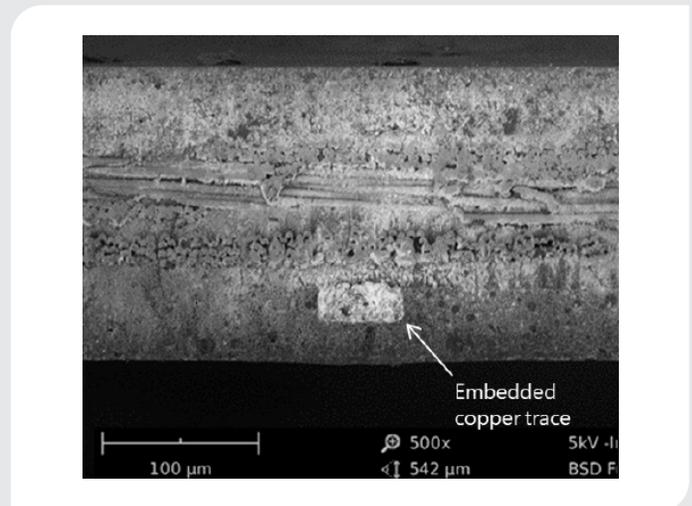


图 6. SEM 图像显示使用 50% 的激光功率进行切割的 SiP 板侧壁。

SEM 图像显示，使用 50% 的激光功率时，侧壁烧蚀程度非常低。优异的质量具有显而易见的明确指标，如个别纤维端面可检测到无熔化 / 低熔化，层间无分层，铜线烧蚀程度低，且铜线内及周围无熔化或变形。

对于外形尺寸不断缩小的电子器件，SiP 架构能够提升其性能，而通过激光器分离封装器件是一项非常重要的工作。尽管纳秒脉冲激光器有时可以满足要求，但密集封装的集成电路与各种子封装元件之间的近距离会带来严峻的挑战。利用 USP 激光技术，特别是绿光（和紫外光或 UV）激光器，可以实现高产量。通过细致的激光和工艺参数调整，可以实现卓越的切割质量，且仅会实现最低限度的热影响。

产品

## IceFyre 工业皮秒激光器

IceFyre GR50 在 500 kHz 且脉冲能量 >100 μJ 时提供 >50 W 的绿光输出功率。IceFyre UV50 是市面上表现优异的紫外皮秒激光器，在 1.25 MHz (>40 μJ) 时提供 >50 W 的紫外输出功率，脉冲串模式下的脉冲能量为 100 μJ，脉冲宽度为 10 ps。IceFyre UV30 设定了从单次激发到 10 MHz 的功率和重复率的新标准。IceFyre UV30 提供 >30 W 的典型紫外输出功率，脉冲能量 >60 μJ（脉冲串模式下脉冲能量更大），具有从单次激发到 3 MHz 的优异性能。IceFyre IR50 在 400 kHz 单脉冲时提供 >50 W 的

红外输出功率，具有从单脉冲到 10 MHz 的优异性能。IceFyre 激光器的独特设计利用光纤激光器的灵活性和 Spectra-Physics 独有的功率放大器能力，实现 TimeShift ps 可编程脉冲串模式技术，可提供业内较高的多功能性。每台激光器均配备一组标准波形；可选的 TimeShift ps GUI 可用于创建自定义波形。该激光器的设计可为高扫描速度的优质加工（例如使用多面扫描镜）实现同类激光器中时间抖动极其低的按需脉冲 (POD) 和位置同步输出 (PSO) 触发功能。

	IceFyre GR50	IceFyre UV30	IceFyre UV50	IceFyre IR50
波长	532 nm	355 nm		1064 nm
功率	500 kHz 时 >50 W	500 kHz 时 >30 W, 典型值 800 kHz 时 >25 W 1 MHz 时 >20 W, 典型值	1250 kHz 时 >50 W	400 kHz 时 >50 W
最大脉冲能量, 典型值 (TimeShift ps 可实现更高的每脉冲串能量)	500 kHz 时 >100 μJ	500 kHz 时 >60 μJ, 典型值 800 kHz 时 >31 μJ 1 MHz 时 >20 μJ, 典型值	1250 kHz 时 >40 μJ	200 kHz 时 >200 μJ
重复频率范围	单脉冲到 10 MHz			
脉冲宽度, FWHM	<15 ps (13 ps 典型值)	<12 ps (10 ps 典型值)		<15 ps (13 ps 典型值)
TimeShift ps	是			
脉冲对脉冲能量稳定性	<2.0% rms, 1 σ			<1.5% rms, 1 σ
功率稳定性 (预热后)	<1%, 1 σ, 8 小时以上			