

使用高功率皮秒激光器进行 SiC 划线以及 TIMESHIFT 可编程脉冲功能的优势

半导体衬底材料碳化硅 (SiC) 已经引起电动汽车 (EV) 和电力电子制造商的浓厚兴趣，因为与传统的硅电子器件相比，碳化硅在这些应用中展现出许多优势。但 SiC 的材料特性与硅有很大不同，这意味着目前的许多 IC 制备工艺在一定程度上并不适用于 SiC，甚至根本不适用。

切割（晶片划切）就是一个典型例子。作为硅晶片切割的主要方法，机械锯切并不能完全应用到 SiC 上。其中一个问题在于，SiC 是已知最硬的材料之一，其硬度几乎与金刚石相当。因此，锯切 SiC 会产生切屑，迅速磨损昂贵的金刚石锯片，锯切速度相对较慢，而且会产生热量（这会影​​响材料特性）。

在本应用聚焦中，我们将回顾运用最新激光技术克服这些挑战的技术，并介绍加工 SiC 材料的解决方案。

非接触式激光切割为加工 SiC 材料提供了一种极具吸引力的选择。理想的激光加工可以减少或消除边缘崩裂，并将材料的机械变化（裂纹、应力或其他缺陷）减至最少。此外，它还能最大限度地减小切口宽度，以保持较小的“自由区域”尺寸（相邻电路之间的空区域），从而大幅增加每片晶圆的芯片数量。而且，由于会影响成

本，其速度还必须要快。事实证明，超短脉冲 (USP) 激光器完全具有上述优点，尤其是在高精度切割和烧蚀坚硬、透明或脆性材料方面。

考虑到这些因素，我们使用 MKS Spectra-Physics® IceFyre® 紫外皮秒激光器进行了优化 SiC 切割工艺的实验。我们特别探讨了 TimeShift™ 可编程脉冲功能对脉冲串定制的影响。

测试样品为 340 μm 厚的 4H-SiC 材料。利用 IceFyre UV50 激光器的可编程脉冲串功能，我们使用从单脉冲到 12 个脉冲串的各种脉冲配置制作了各种划片。

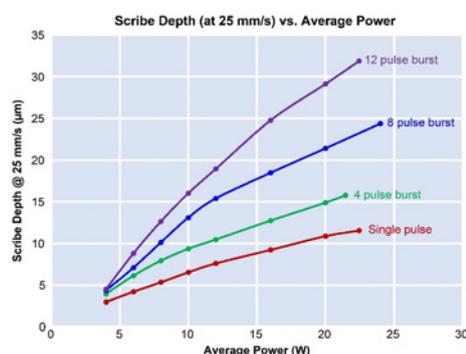


图 1. 单脉冲和各种脉冲串配置（4-12 个脉冲串子脉冲）在 25 mm/s 净速度下的划线深度与功率的函数关系。显然，脉冲串提高了烧蚀率。

总体结果如图 1 所示，图中显示了各种脉冲串配置下划线深度与平均激光功率的函数关系。在每次测试中，我们在材料的同一位置上总共进行了八十次高速划线。利用 IceFyre 激光器的 TimeShift 功能，可以精密控制每个脉冲串在工作面上的位置（例如总脉冲重叠）。在这种情况下，脉冲的有效空间重叠率约为 84%，这是通过交错配置多个重叠次数较少的脉冲来实现的。

这一数据清楚地表明，使用脉冲串可显著提高烧蚀率，这与在其他材料中使用脉冲串处理以及其他脉冲宽度的结果一致。

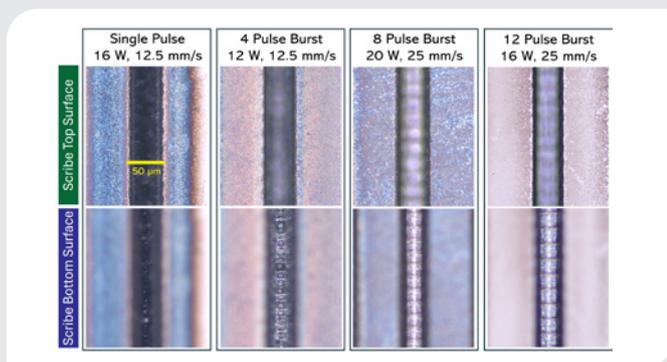


图 2. 显微镜图像显示 25 μm 深沟槽的顶部和底部。这些图像显示，随着脉冲串中脉冲数量的增加，划线质量也在稳步提高。

为了对划线进行定性评估，我们拍摄了一系列照片。这些照片如图 2 所示。具体来说，这些照片是利用 1、4、8 和 12 个脉冲串制作的一系列 25 μm 深沟槽的图像，在每种情况下，激光平均功率和净速度都经过调整，以达到最佳质量（25 μm 深度）。

在上排照片中，显微镜聚焦的是晶圆上表面，而在下排照片中，聚焦的是划线底面（底部）。随着脉冲串中脉冲数量的增加，整体特征质量明显提高。

特别值得注意的是，随着脉冲数的增加，划线周围的变色逐渐缩小，然后完全消失。这种变色通常表明表面或基体材料发生了某种变化——可能由于材料过热而导致表面氧化。

图 3 中的照片显示的只是一系列划线的底部（底面），这次的放大倍数更高。在这种情况下，每次划线都是在相同的激光器工作条件下进行的，即平均功率为 16 W，净扫描速度为 25 mm/s。图中示出了每种条件下的划线深度。

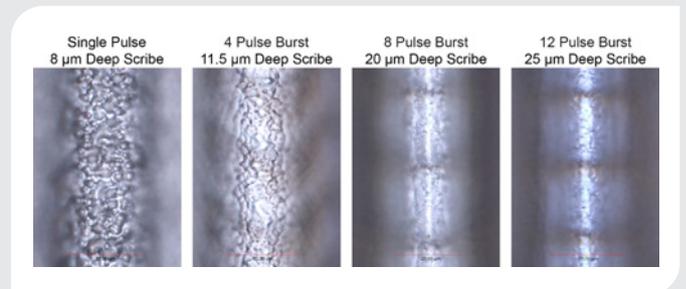


图 3. 从这些图像中可以看出，使用皮秒紫外激光器加工可以获得极佳的加工表面质量。高脉冲数脉冲串的优势在此显而易见。

这种分辨率更高的视图使得随着脉冲数的增加，表面光滑度的改善更加明显。值得注意的是，在平均功率和整体加工速度不变的情况下，使用 TimeShift 功能定制脉冲输出可以使划线深度增加三倍。

这项测试表明，紫外皮秒激光器可以在 SiC 晶片上制作超高质量的划线。此外，测试还明显证明了 TimeShift 脉冲串编程的优势。尤其是，测试表明脉冲数越高，划线质量越好，进料速率也越高。这一结果令人振奋，因为测试表明使用具有 TimeShift 功能的 IceFyre 皮秒激光器进行 SiC 划线，既能达到生产所需的产量，又能保证质量，从而实现高成本效益。

产品

IceFyre 工业皮秒激光器

IceFyre UV50 是市面上表现优异的紫外皮秒激光器，在 1.25 MHz (>40 μ J) 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 μ J，脉冲宽度为 10 ps。IceFyre UV50 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 μ J (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了光纤激光器的灵活性和 Spectra-Physics 独有的功率放大器能力，实现了 TimeShift ps 可编程脉冲模式技术，具有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 UV50	IceFyre UV30	IceFyre GR50	IceFyre IR50
波长	355 nm		532 nm	1064 nm
功率	1250 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	500 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)	1250 kHz 时 >40 μ J	500 kHz 时 >60 μ J, 典型值 800 kHz 时 >31 μ J 1 MHz 时 >20 μ J, 典型值	500 kHz 时 >100 μ J	200 kHz 时 >200 μ J
重复频率范围	单脉冲到 10 MHz			
脉冲宽度, FWHM	<12 ps (10 ps 典型值)		<15 ps (13 ps 典型值)	
TimeShift ps	是			
脉冲对脉冲的能量稳定性	<2.0%, 1 σ			<1.5%, 1 σ
功率稳定性 (预热后)	<1%, 1 σ , 8 小时以上			