

飞秒激光器在多晶金刚石加工中的广泛应用

mks | Spectra-Physics®

飞秒 (fs) 激光器在微加工中的工业应用正在显著增加，其潜在价值也随之显示出来。当今，飞秒激光器已广泛用于各种应用，包含平板显示玻璃和薄膜的切割和钻孔，可植入医疗设备的切割，太阳能电池的烧蚀和刻蚀以及各种材料的表面结构处理。随着对处理技术的高质量需求，高产能也变得急需，因此当前需要一种最为先进的飞秒激光器，它具有高功率、更短持续时间。而现如今，市场上已经出现了输出功率大于100 W且重复频率10 MHz的飞秒激光器。

随着高功率飞秒激光器的可实用，激光烧蚀已经成为传统非激光工艺 (如铣削、磨削和放电加工这类需要极高加工质量的工艺) 的一种有效的代替方法。然而，Neuenschwander 等人的工作表明，存在一种最佳能量密度，可以有效地去除材料，从而降低对周围材料的热损坏。他们也说明了这个最佳能量密度大约为能量密度阈值的 e^2 倍，这个值对于大部分材料来说约为 1 J/cm^2 。这表明可以仅仅通过增加光斑大小，同时/或者将脉冲分裂成多个较小能量的短脉冲，又或者增加光斑的数量 (用于并行处理)，就能高效地利用高能量地脉冲了。

Spectra-Physics的 Spirit 1030-100型激光器 (图1) 输出能量大于 $100 \mu\text{J}$ 、平均功率大于100 W、脉冲持续时间小于400飞秒的1030 nm波长脉冲，并带有脉冲串模式操作功能。



图1
Spectra-Physics的Spirit 高能工业飞秒激光器。

在脉冲串模式操作状态下，每个脉冲可以分裂为几个冲，并且可以对脉冲串包络整形。例如，可以对脉冲串包络中每个脉冲的幅度进行调整。图2 (a) 中显示了Spirit 1030-100激光器产生的短脉冲，其中，第5个脉冲的幅度设置为0%，图2 (b) 则显示了脉冲整形的一个例子

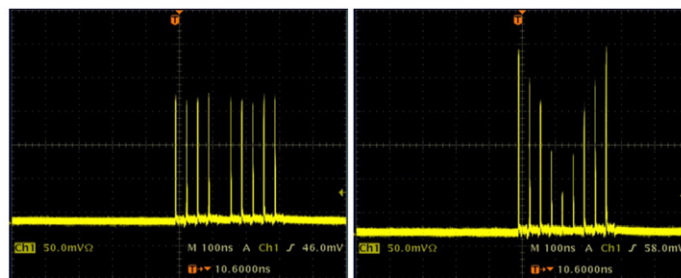


图2
(a) 中显示了Spirit 1030-100激光器产生的短脉冲，其中，第5个脉冲的幅度设置为0%，(b) 则显示了脉冲整形的一个例子。

为了研究脉冲串模式功能的效果，我们针对 Spirit 1030-100系列激光器一定范围的脉冲串输出，对超硬材料多晶金刚石 (PCD) 烧蚀速率和烧蚀效率进行表征。实验由PCD的型腔铣削体积区域组成，测量型腔铣削深度并且确定体积消融率和效率。变量包括了脉冲串包络中脉冲的数量以及平均功率 (平均脉冲能量)。重复率固定为1 MHz，光斑尺寸和扫描速度保持恒定，脉冲之间的重叠率设定为50%。图3显示体积烧蚀率对单脉冲、5个脉冲串和9个脉冲串的平均功率的依赖性。该图表明，在功率不断增加的情况下，采用脉冲串模式会使得烧蚀速率提高，这是维持最佳能量密度所必需的。在平均功率为100 W的情况下，我们可以观察到9个脉冲串的烧蚀速率增加量是单脉冲的烧蚀速率增加量的2倍。针对平均功率进行归一化，图4显示了单脉冲、5脉冲串和9脉冲串模式下烧蚀效率和平均功率的关系曲线。可以看出，通过增加脉冲串包络中脉冲的数量来获取高平均功率下的最佳烧蚀速率。测试的结果验证了脉冲串在提高材料去除率方面的优势。

综上所述，Spectra-Physics的Spirit 1030-100 系列激光器在时域上能够简单地，却十分灵活地调整脉冲强度，同时该方法已被证明可以使得PCD中的材料去除率提高2倍。

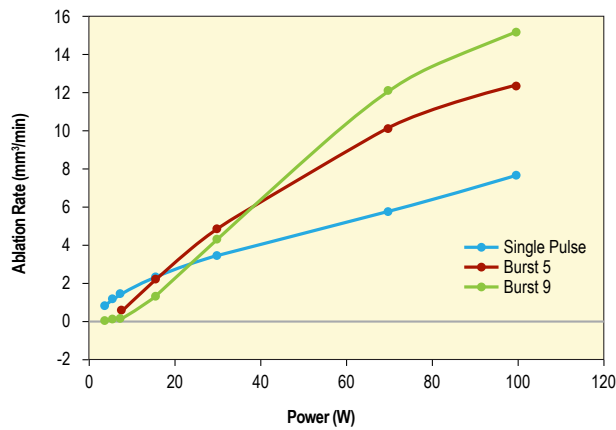


图 3

PCD中单脉冲、5个脉冲串和9个脉冲串模式下体积烧蚀率和平均功率的关系曲线。

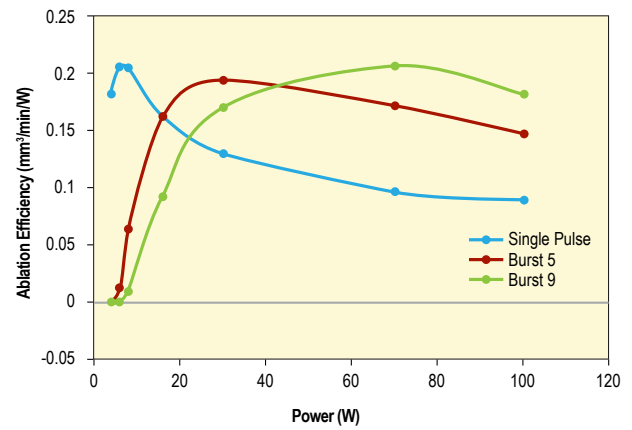


图 4

PCD中单脉冲、5脉冲串和9脉冲串模式下烧蚀效率和平均功率的关系曲线。

产品: SPIRIT 1030-100, 1030-70 以及515-50

Spirit 1030-100, 1030-70 以及515-50 系列激光器为高精度工业制造中的飞秒激光器设定了新的标杆。这些激光器输出具有高平均功率、高脉冲能量，其高重复率使得产能得到了显著提高。我们的客户受益与该系列激光器的极短脉冲持续时间以及优越的光束质量，这样客户

的工艺加工可以更加精细复杂，能够以高精度应付高难度部件，并且该系列激光器在最高产能时没有热影响区 (HAZ)。Spirit 1030-100, 1030-70 和515-50 专为工业加工设计，可以在耗费使用者最少费用的情况下提供可靠稳健的全天候操作。

	Spirit 1030-100	Spirit 1030-70	Spirit 515-50
输出特性			
波长	1030 nm ± 5 nm		515 nm ± 3 nm
输出功率	>100 W	>70 W	>50 W
脉冲能量	>100 μ J	>70 μ J	>50 μ J
重复率	1–30 MHz		
脉冲选择	使用集成式脉冲选择器 (AOM)，单脉冲达到2 MHz		
脉宽	<400 fs		
功率稳定度	<1% rms 过度 100 小时		
脉冲间稳定性	<2% rms		
空间模式	TEM ₀₀ (M² <1.2)		
光束直径	2.5 mm ± 0.5 mm		
光束发散角, 全角度	<1 mrad		<0.5 mrad
突发模式	> 100 μ J / 脉冲, 最多12个子脉冲		N/A
脉冲前对比度	>250:1		
偏振	卧式		
冷启动时间	<30 min.		
热启动时间	<15 min.		