

利用高功率飞秒脉冲快速切割锂离子电池电极

由于锂离子电池具有能量密度高、设计轻巧、使用寿命长等优点，因此在许多现代工业中都发挥着至关重要的作用，从便携式电子产品和电动汽车到家用和工业储能系统，不一而足。随着这些领域和其他领域的不断发展，市场对锂离子电池的需求也随之增长，从而推动生产方法不断改进。电池由多层涂覆金属箔（电极）组成，其加工需要高速度、单次切割和良好的边缘质量，而超短脉冲激光器能够完全满足这些要求。

在之前的工作中，我们展示了采用皮秒脉冲宽度激光和 TimeShift™ 脉冲调制技术进行的箔切割（应用说明 60）。在此基础上，我们介绍使用 IceFyre® FS IR200 飞秒激光器切割阳极和阴极锂离子电池箔的结果。测试中使用的阴极材料由约 17 μm 厚的铝箔组成，两面覆有 NMC（即锂镍钴锰氧化物）涂层，总厚度约为 100 μm。阳极材料由约 10 μm 厚的铜箔组成，两面覆有石墨，总厚度为 98 μm。与之前一样，我们将展示采用 TimeShift 技术进行脉冲串模式加工与传统单脉冲加工相比的优势。为了评估性能，我们同时考察了最大切割速度和涂层“回缩”（涂层从切割边缘缩回的距离），并提供视觉比较图像。

对于脉冲串加工，PRF（脉冲重复频率）固定为 200 kHz，使用的脉冲串子脉冲数范围为 10 到 80；而对于单脉冲加工，我们首先探索了几种不同的 PRF，以找到单一的

优化切割条件。图 1 所示为两种箔材的脉冲串净切割速度与脉冲串数的关系。水平虚线表示单脉冲结果的最佳切割速度。

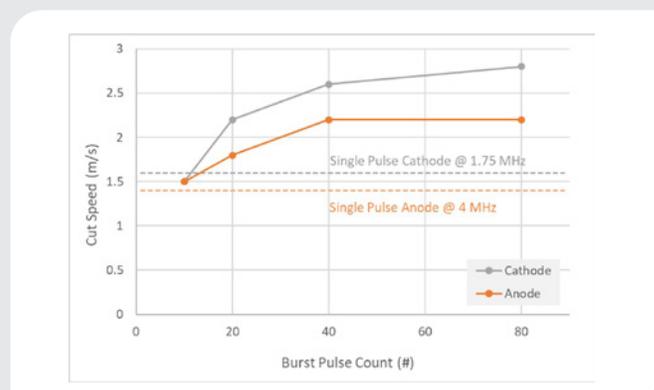


图 1. 阴极箔和阳极箔的净切割速度与脉冲数的关系。

从这些数据中我们可以看出，在切割速度上脉冲串模式很快就超过了单脉冲模式，阳极和阴极的峰值分别为 1.4 m/s 和 1.6 m/s，而在脉冲串 80 个脉冲时分别为 2.2 m/s 和 2.8 m/s。这表示阳极和阴极的切割速度分别提高了 57% 和 75%。

IceFyre FS IR200 TimeShift 功能的优势之一是，与单脉冲相比，脉冲串的总能量更高。例如，单脉冲的最大能量约为 200 μJ，而使用 5、10 和 20 个脉冲的脉冲串可使输出脉冲串的总能量分别达到约 550、约 750 和约 900 μJ（具体取决于 PRF）。如此大的能量“包”显然有利于提高加工速度。

为了评估切割质量，我们测量了两种箔材上每种切割条件下的涂层回缩（图 2），并拍摄了 SEM 图像，以定性检查切割边缘的金属残留情况（图 3）。切割边缘的回缩越小越好，因为这代表切割质量越高。

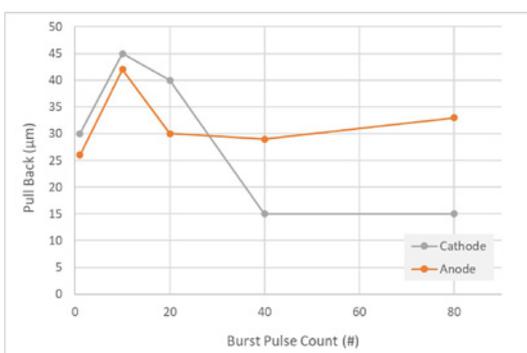


图 2. 阴极箔和阳极箔的涂层回缩与脉冲数的关系。

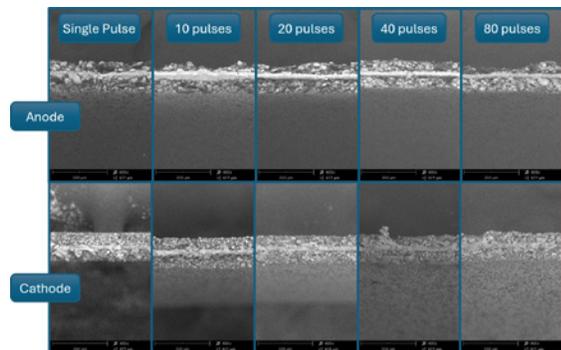


图 3. 从单脉冲到 80 脉冲脉冲串的不同脉冲数下阴极和阳极电池箔切割边缘的 SEM 图像。

对于这两种箔材，我们发现，与单脉冲加工相比，采用 10 脉冲脉冲串加工时的回缩最初会有所增加。不过，当脉冲串数越高时，回缩效果越好，但阳极箔的单脉冲结果仍然是测试范围内回缩效果最低的。

从 SEM 图像中我们可以看到，阳极在任何条件下都很少出现残留现象，而在 40 脉冲条件下则显得尤为干净。相比之下，阴极箔的质量则比较模糊。单脉冲工艺有明显的残留现象，而 10 脉冲和 20 脉冲的情况有所改善，但 40 脉冲和 80 脉冲的对比度有所降低，因此尽管似乎有少量残留，也很难评估残留程度。

在先前电池箔切割的基础上，我们进一步证实了脉冲串加工比单脉冲加工更有优势，阳极和阴极切割的产量更高，阳极的质量明显更好。采用脉冲串脉冲输出，IceFyre FS IR200 的单次切割速度可超过 2 m/s，且加工质量良好，在大多数情况下均优于采用单脉冲的质量。

IceFyre FS IR200 能够以高 PRF 提供超过 200 W 的红外飞秒脉冲，因此本身就能快速切割锂离子电池箔。此外，IceFyre FS IR200 还增配了 TimeShift 功能，可进一步提高箔切割的生产效率，同时改善切割质量。

产品

IceFyre® FS 紫外和红外飞秒激光器

IceFyre FS 系列是工业飞秒激光技术的巨大飞跃，不仅具有优异的性能，而且用途广泛，稳定可靠，经济实惠。IceFyre FS 飞秒激光器是高产量、高质量微加工关键材料（包括玻璃、聚合物、金属、半导体、薄膜和复合

材料）的理想选择，适用于要求苛刻的消费电子产品、清洁能源、医疗器械和工业应用。IceFyre FS 以 Spectra-Physics 的 *It's in the Box™* 设计为基础，将激光器和控制电子元件集成到一个易于安装的封装中。

	IceFyre FS UV50	IceFyre FS IR200
波长	343 ±2 nm	1030 ± 6 nm
功率	1 MHz 和 1.25 MHz 时 >50 W	1-50 Mhz 时 >200 W
最大脉冲能量	1 MHz 时 >50 μJ	1 MHz 时 >200 μJ
重复频率范围	单脉冲到 3 MHz	单脉冲到 50 MHz
脉冲宽度, FWHM	<500 fs	
脉冲对脉冲的能量稳定性	<2% rms	
功率稳定性 (预热后)	8 小时 <1% rms	
空间模式	TEM ₀₀ , (M ² <1.3)	
极化	垂直向 >100:1	