

# 硅的皮秒激光器脉冲串加工提高材料去除率和质量

硅的加工在集成电路 (IC) 后端处理、微电子封装和太阳能制造等各种行业中非常重要。随着晶片厚度多年以来不断缩小, 由于机械工具处理薄的脆性材料时面临的挑战, 机械加工日益被激光技术取代。各种纳米脉冲激光器技术已经得到应用, 包括准分子、二极管泵浦固态 (DPSS) 和光纤激光器。然而, 超短脉冲激光的使用越来越被视为未来可进一步提升加工质量和速度的技术。

为此, 皮秒激光器技术在高质量、更高产量的加工方面得到应用。

Spectra-Physics 的 IceFyre™ 皮秒激光器在 1064 nm 波长时提供 >200 μJ 脉冲能量和 >50 W 平均功率。IceFyre 的 TimeShift™ ps 技术通过单个脉冲序列中的可变间隔时间提供全能型脉冲串模式操作。TimeShift ps 的独特属性之一是脉冲串包络中的子脉冲数量和时间间隔可广泛变化, 但仍然保持约 50 W 的最大输出功率。

Spectra Physics 应用工程师使用 IceFyre 1064-50 进行了一系列实验, 对各种材料 (包括晶体硅) 的脉冲串加工效果进行表征。工程师对脉冲串中可变脉冲数量以及脉冲串中脉冲之间不同间隔时间的体积烧蚀率进行了表征。实验包括使用各种实验条件对 0.8 mm 厚抛光硅晶片中的体积测定区域进行凹槽铣削, 从而测量铣削凹槽的深度并确定体积烧蚀率和效率。此外, 工程师还使用光学显微镜对铣削表面进行了质量评估。

图 1 展示了单脉冲输出和 10 脉冲串的烧蚀率 (N 表示单个脉冲串中的脉冲数量)。对于脉冲串, 脉冲重复频率 (PRF) 固定在 400 kHz, 而脉冲串中子脉冲之间的短暂间隔在 10 至 50 ns 间变化。对于单脉冲输出, 工程师对 400 kHz 和 1.6 MHz PRF 的烧蚀率进行了表征。

图 1 中的数据展示了使用脉冲串模式输出进行硅体积烧蚀的明显优势。10 子脉冲串的烧蚀率比单脉冲输出高出 5 倍。从这些数据中, 我们还可以明显看出脉冲串中更短脉冲间隔时间的优势。

对这些特征进行光学显微镜检查, 提供了脉冲串加工对质量的影响方面的信息。图 2 左侧和中间的图像分别显示 400 kHz 和 1.6 MHz PRF 时单脉冲输出的加工表面, 右侧图像显示 400 kHz PRF 时 10 子脉冲加工的表面。

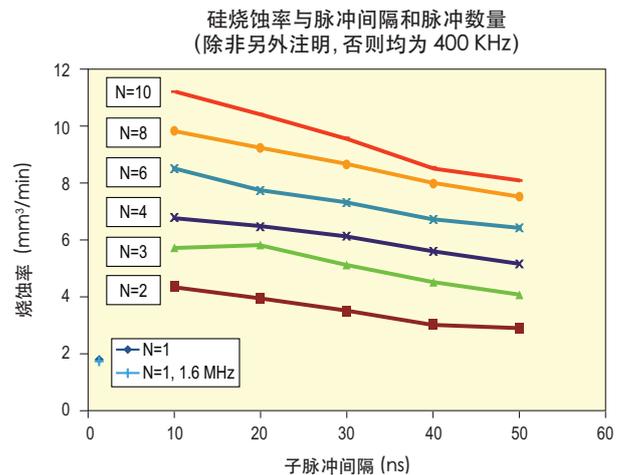


图 1. 烧蚀率数据表明脉冲串中脉冲数量更多和子脉冲间隔时间更短可提高材料去除率。

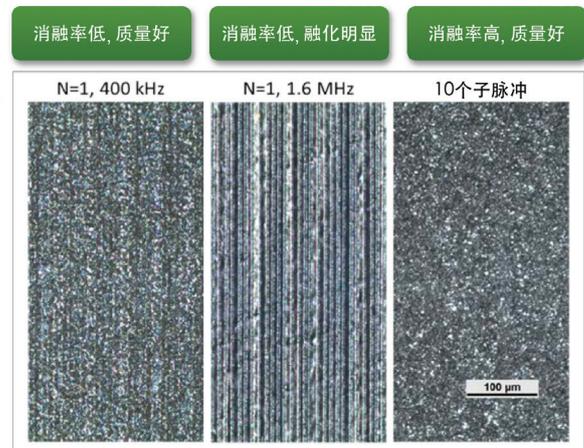


图 2. 光学显微镜图像显示烧蚀特征的表面质量。

# 硅的皮秒激光器脉冲串加工提高材料去除率和质量

图 2 中的图像显示 400 kHz 和 1.6 MHz 时单脉冲烧蚀表面的外观明显不同, 而图 1 中的数据 displays 烧蚀率几乎相同。PRF 更低时, 由于皮秒脉冲宽度短, 精细外观表明去除材料时产生的热量极少。然而, 在 1.6 MHz 时, 烧蚀表面显示了明显的熔融迹象, 这很可能是因为高 PRF 时已知的脉冲间热累积。数据显示, 使用激光器的 10 脉冲串模式输出不仅可将材料去除率提高 5 倍, 还可实现干净、无熔融的表面。

工程师进行了另一次实验, 对使用脉冲串中 10 个以上子脉冲和 10 ns 最短可能值时的固定脉冲间隔时间的烧蚀率进行表征。图 3 中标绘了此次测试的数据。

图 3 中的数据图显示, 随着子脉冲的数量从 10 增加到 50, 材料去除率实现了更显著的增长。脉冲串中的脉冲数量为 50 时,  $>27 \text{ mm}^3/\text{min}$  的烧蚀去除率比单脉冲  $1.7 \text{ mm}^3/\text{min}$  的去除率提高了 13 倍以上。凭借 IceFyre 的 TimeShift ps 技术提供的极其灵活的脉冲定制功能, 我们清晰地展示了大幅提高硅加工的体积材料烧蚀率和质量的能力。

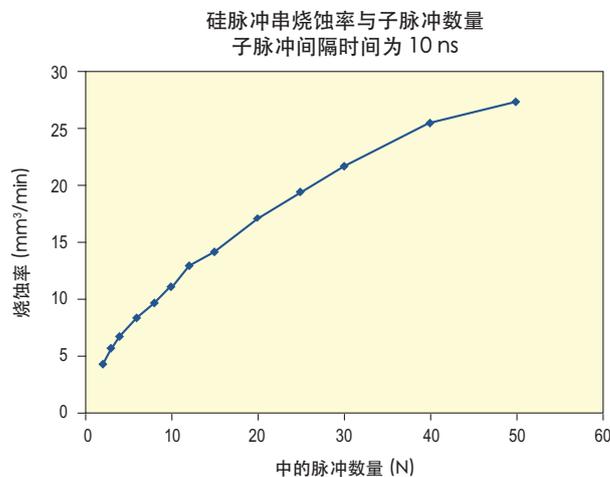


图 3. 脉冲串中的脉冲数量从 10 增加到 50 时进一步提高了材料去除率。

## 产品: IceFyre 1064-50

IceFyre 正在申请专利的设计重新定义了皮秒微加工激光器, 以行业领先的性价比实现卓越的性能和前所未有的多功能性。IceFyre 基于 Spectra-Physics 的 It's in the Box™ 设计, 将激光器和控制器集成到行业最小的封装中。IceFyre 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和广泛的重复频率可调节性。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。该激光器为高扫描速度的优质加工 (例如使用多面扫描镜) 提供同类中抖动最低的按需脉冲触发。

	IceFyre 1064-50
波长	1064 nm
功率	>50 W
最大脉冲能量 (典型)	200 kHz 时 >200 μJ 单脉冲
重复频率范围	单脉冲到 10 MHz
脉冲宽度, FWHM	<20 ps
脉冲对脉冲能量稳定性	<1.5% rms
功率稳定性 (预热后)	<1%, 8 小时以上 1 σ
空间模式 (TEM <sub>00</sub> )	<1.3
光束不对称性	1.0 ± 10%
光束指向稳定性	< ±25 μrad/° C



[www.spectra-physics.com](http://www.spectra-physics.com)

3635 Peterson Way, Santa Clara, CA 95054, USA  
 电话: 1-800-775-5273 1-408-980-4300 传真: 1-408-980-6921 电子邮件: sales@spectra-physics.com

比利时	+32-(0)0800-11 257	belgium@newport.com	韩国	+82-31-8069-2401	korea@spectra-physics.com
中国	+86-10-6267-0065	info@spectra-physics.com.cn	荷兰	+31-(0)30 6592111	netherlands@newport.com
法国	+33-(0)1-60-91-68-68	france@newport.com	新加坡	+65-6664-0040	sales.sg@newport.com
德国/奥地利/瑞士	+49-(0)6151-708-0	germany@newport.com	中国台湾	+886-(0)2-2508-4977	sales@newport.com.tw
日本	+81-3-3794-5511	spectra-physics@splasers.co.jp	英国	+44-1235-432-710	uk@newport.com