

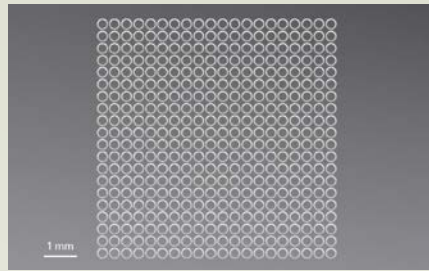


# 优秀的材料微加工工具

## FemtoLux 系列激光器加工样品展示

### 玻璃

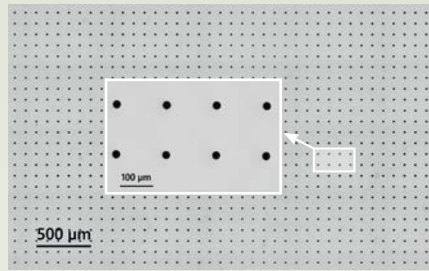
玻璃脆性材料在面对机械压力或热负荷的情况下有高度的易碎，易裂特性，故玻璃材料加工是一个长期的挑战性课题。Femtolux 系列激光可提供超短的激光脉冲从而避免了玻璃加工中的热积累，从而获得特别高质量的加工效果，是玻璃材料微加工的首选工具。



硼硅酸盐玻璃微孔。  
样图由FTMC提供



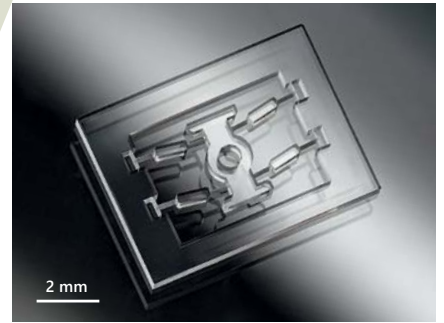
熔融石英微研磨。  
样图由FTMC提供



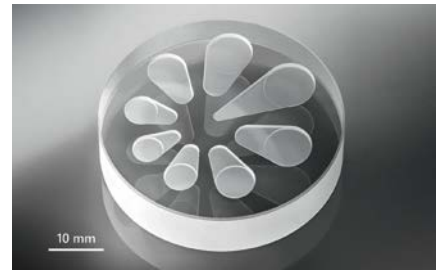
GHz burst助力EXG玻璃高深径比微孔阵列。  
样图由Akoneer提供



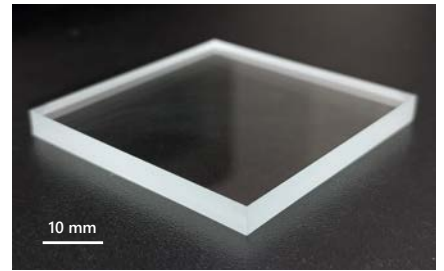
Bottom-up 熔融石英微研磨。  
样图由FTMC提供



秒激光诱导双稳态开关的选择性蚀刻。  
样图由Femtika提供



紫外级熔融石英微研磨。  
样图由FTMC提供

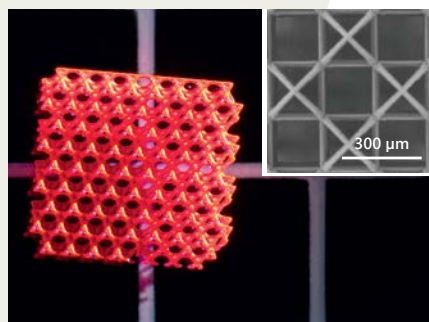


贝塞尔光束隐切苏打玻璃。  
样图由FTMC提供

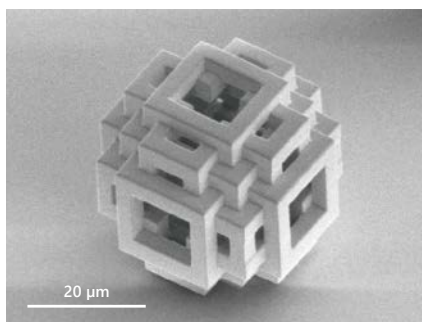
### 聚合物

聚合物因其出色的特性，如灵活性、耐用性、易加工性，正在为各行各业带来革命性的影响。然而，由于其固有的低热导率特性，聚合物对热量相当敏感。

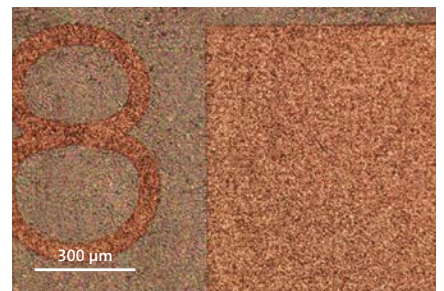
飞秒激光聚合物加工技术为复杂结构的精密制造开辟了新途径，超低的热效应和选择性材料去除可创建具有亚微米分辨率、高精度和可重复性的复杂3D结构。



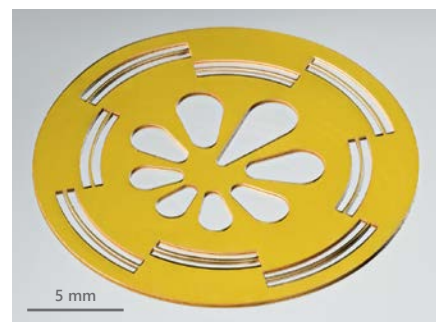
多光子聚合。样图由Femtika提供



多光子聚合。样图由WOP提供



PCB绝缘薄膜去除。样图由FTMC提供



聚合物(聚酰胺)切割。样图由Femtika提供

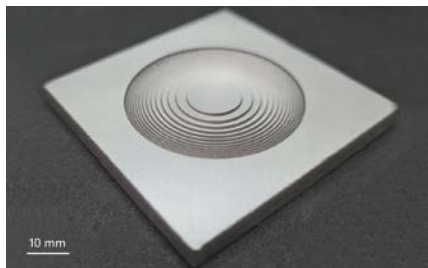
# 各种材料微加工样品

## 金属

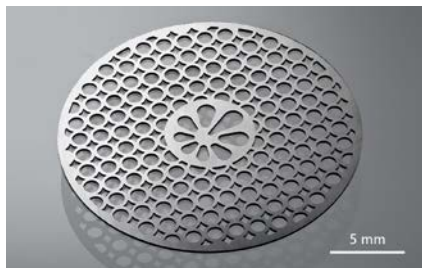
飞秒激光技术彻底改变了金属微加工领域。飞秒脉冲可加工令人惊叹的精密且复杂的金属结构，同时产生的热影响区极小。Femtolux 系列飞秒激光器，还具备对金属进行黑白标记和彩色着色的能力，并且无需使用化学添加剂。



不锈钢精密切割。样图由FTMC提供



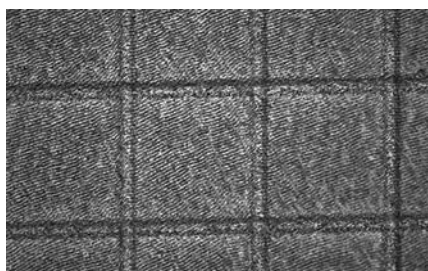
菲尼尔透镜母板加工，直径35mm，铝。样图由FTMC提供



不锈钢精密切割。样图由FTMC提供



高耐久黑色打标。样图由FTMC提供



LIPSS工艺对镍钛诺材料表面加工网格纹理化结构。样图由UNIMORE提供



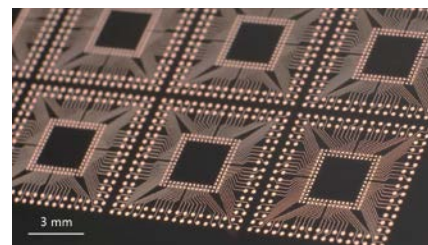
镍钛诺心血管支架切割。样图由Vactronix Scientific提供



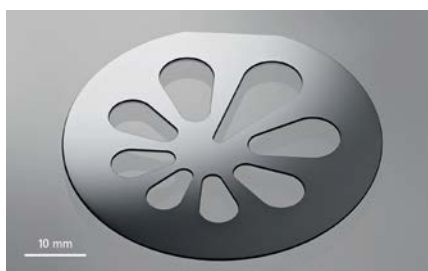
不锈钢利用GHz burst 进行各色 彩色打标。样图由Akoneer提供

## 其他各类材料

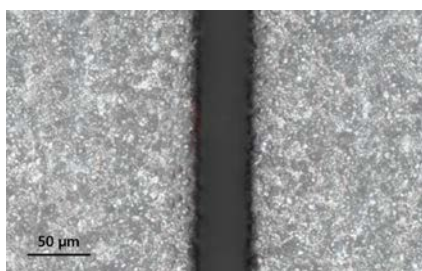
Femtolux 系列激光器产生的脉冲持续时间仅为数百飞秒，可在瞬时产生极高强度的光脉冲输出，从而几乎可以对任何材料进行精密加工。利用飞秒激光，可以对特殊敏感材料制作复杂的3D结构以及各种非传统形状。



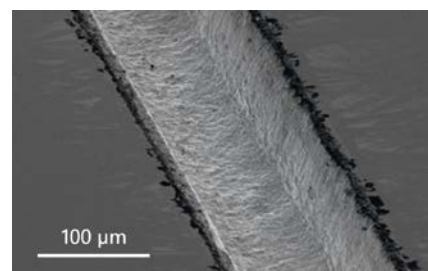
SSAIL technology on PI。样图由Akoneer提供



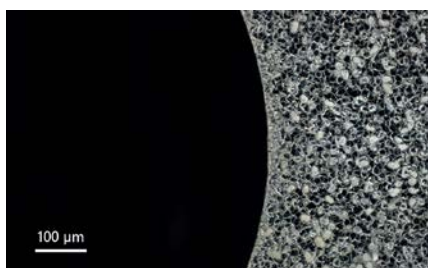
晶体硅切割。样图由FTMC提供



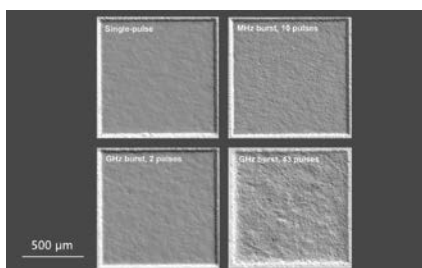
陶瓷材料表面进行严格的50um深度划槽成型。样图由FTMC提供



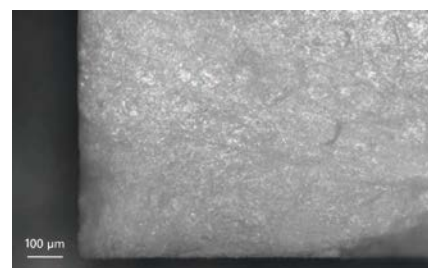
GaAs在水环境中进行精密刻槽成型。样图由FTMC提供



晶体硅切割。样图由FTMC提供



氧化铝陶瓷激光精密研磨后在光学级3D形貌仪下的图样



热敏感有机材料切割。样图由FTMC提供

fs

工业级  
飞秒激光器

# FemtoLux 30

重新定义可靠性

微加工首选  
可靠性灵活性

/ 玻璃, 蓝宝石, 陶瓷材料  
精密微加工

/ 微电子制造

/ 玻璃内部构造

/ 各类聚合物, 金属微加工

/ LCD, LED, OLED 钻孔切割修复



0 维护需要

“干式”冷却

# 30 W 工业级 飞秒激光器

## FemtoLux 30

**FemtoLux 30 飞秒激光器从设计之初就注重提供最大可靠性，创新的采用了“干式”冷却技术并无缝集成到 Femtolux 30，实现无间断的 24/7/365 零维护运行。**

飞秒激光器具有可调脉冲持续时间，范围从 <350 fs 至 1 ps，在宽范围内以 AOM 控制脉冲重复率，实现单脉冲到 4 MHz 的高重频输出。

在单脉冲模式下，最大脉冲能量超过 100  $\mu$ J。而在 burst mode 下，则可达实现 450  $\mu$ J 以上的输出能量，确保适应不同材料，并实现更高烧蚀率和加工吞吐量。

FemtoLux 30 优异的光束参数能够满足最苛刻的材料和微加工应用的需求。

先进的激光控制模块拥有强大的通信交互能力，配备几乎所有常见标准协议，外部控制器可以非常便捷的控制 FemtoLux 30 激光器。这些控制可以在不同的平台上运行，无论是 Windows、Linux 还是其他使用 REST API 命令的平台。

这让设备集成变得简单，大大减少了将这款激光器集成到微加工设备中所需的开发时间和人力资源。

## 无缝式用户体验

**轻松集成** – RS232, LAN 或其他标准接口，通过 REST API 进行远程控制。

**减少集成时间** – demo包，源代码，开放式提供。

**安装简易快捷** – 无水“干式”设计，激光头可完全拆卸分离。用户可以自行安装。

**故障排查便捷** – 内部集成探测器，实时记录状态日志。

**无需周期维护。**

## 主要特性

最大输出功率(典型值)  
**30 W at 1030 nm,**  
**11 W at 515 nm,**  
**6 W at 343 nm**

最大输出能力(典型值)  
**> 100  $\mu$ J at 1030 nm,**  
**> 55  $\mu$ J at 515 nm,**  
**> 30  $\mu$ J at 343 nm**

-HE 高能量版本可定制  
(1 mJ at 10 kHz)

**MHz, GHz, MHz+GHz burst**  
多种模式可定制

**> 450  $\mu$ J 单个burst能量**

**< 350 fs – 1 ps**

**单脉冲 到 4 MHz (AOM 控制)**

**Pulse-on-demand (PoD),**  
超低抖动 20 ns (峰-峰)

**<0.5% RMS 长期功率稳定性**  
(> 100 小时)

**$M^2 < 1.2$**

**光斑圆度 > 0.85**

**0 维护需要**

**干式冷却 (全面无水)**

At 1030 nm  
**30 W**  
**>100  $\mu$ J**

At 515 nm  
**11 W**  
**>55  $\mu$ J**

At 343 nm  
**6 W**  
**>30  $\mu$ J**



Learn more  
about FemtoLux 30  
[www.ekspla.com](http://www.ekspla.com)

# “干式”冷却

## 直接制冷剂冷却系统

**FemtoLux 30 激光器创新性采用了无水冷却系统，为工业飞秒激光器中树立了新的可靠性标准，无需额外的庞大且笨重的水冷机。**

传统的水冷机需要定期维护，包括冷却系统排水和冲洗，以及更换水和颗粒过滤器。此外，水泄漏可能会损坏激光头和其他设备。FemtoLux 30 激光器不使用水从激光头传输热量，而是采用创新的直接制冷剂冷却方法。

制冷剂从PSU集成的压缩机和冷凝器通过装甲柔性管线循环至冷却板，整个冷却回路永久密封，无需维护。



See **FemtoLux 30** introduction video showing "dry cooling" advantages

## 主要优势

军工级 可靠性

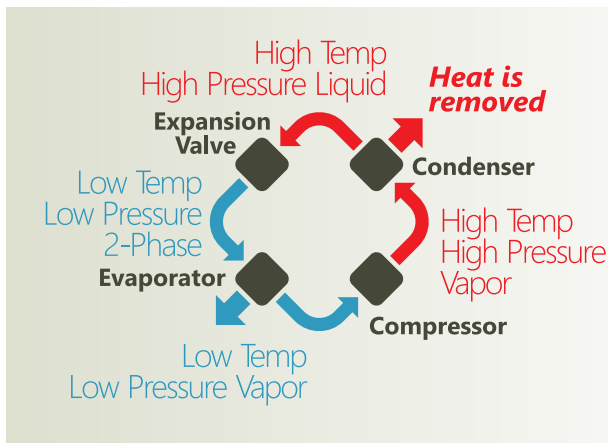
永久密封系统  
>90,000 hour MTBF

无需维护

高冷却效率

超低功耗  
比传统方式低45%以上

小而轻



压缩机工作原理图片。  
感谢Aspen Systems Inc.

## 简单 & 可靠的冷却板设计

冷却板采用分离式设计，可非常容易的从激光头上拆卸下来，便于激光器的安装。冷却模块与激光器电源单元集成在标准的4U机架机箱，总重量仅15公斤。

分离式 冷却板

高度集成 冷却模块集成在激光器电源机箱中



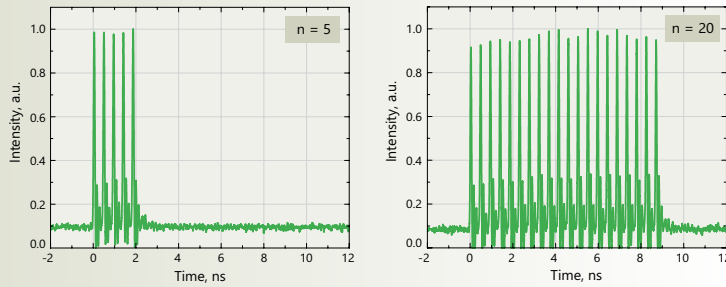
简单，可靠的分离式冷却板

# GHz Burst 选项

超高重频 Bursts 解决方案  
独有专利技术

## Short GHz burst

图1. 2.2 short GHz burst 包中可包含不同数量的内部脉冲，且内部单脉冲能量保持恒定



## Long GHz burst

图2. Long GHz burst 任意整形——233 KHz 重频的 burst 波包，包含 1100 个 2.2 GHz 的小脉冲，整体方形

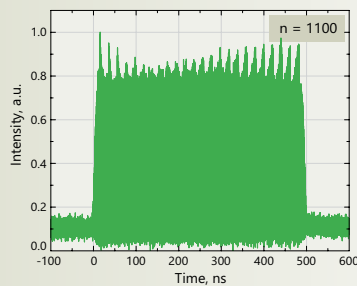
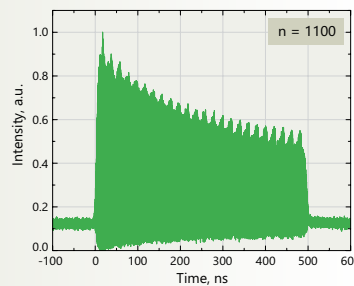


图3. Long GHz burst 任意整形——233 KHz 重频的 burst 波包，包含 1100 个 2.2 GHz 的小脉冲，能量逐渐下降的形状



## MHz + GHz burst mode

图4. 50 MHz 的 burst，内部包含 4 个 2.5 GHz 内小脉冲

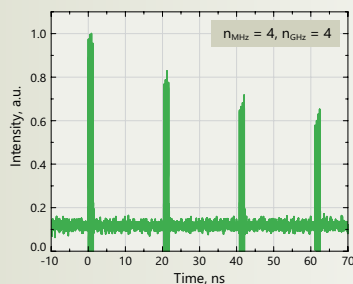
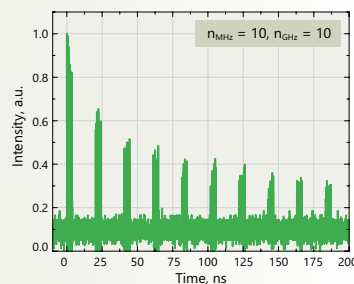


图5. 50 MHz 的 burst，内部包含 10 个 2.5 GHz 小脉冲



## 独特优势

Femtolux 30 激光器可以运行单脉冲模式, MHz burst 模式, GHz burst 模式, 以及 MHz + GHz burst 混合模式。

基于AFL的脉冲串技术是一种非常灵活并独特的方法，它能够克服其他基于光纤或固态技术所遇到的许多限制。

任何形态的 intra-burst 都可基于主振荡器的初始PRR而独立实现

GHz burst  
内部脉冲间隔保持一致

同时提供短脉冲串 Short-burst 与长 - 脉冲串 Long-burst

/ 短 - 脉冲串 short burst 可提供10 ns burst 宽度(包含2个到数十个 GHz burst 脉冲)

/ 长 - 脉冲串 long burst 则从 ~20 ns 起，至数百 ns burst 宽度 (包含数十个到数千个 GHz burst 脉冲)

MHz+GHz burst 混合模式

GHz bursts 调幅包络功能

纯 GHz burst.  
不产生前导脉冲或后续脉冲

所有 Burst 内部脉冲  
均保持超短脉冲宽度

# FemtoLux 30

一种全新的、多功能专利方法，用于形成超高重复率的超短激光脉冲串。

该方法基于全光纤有源光纤环（AFL）的使用。关于这项发明的详细描述，可以在以下地址找到：

[1] Andrejus Michailovas, and Tadas Bartulevičius. 2021 Int. patent application published under the Patent Cooperation Treaty (PCT) WO2021059003A1.

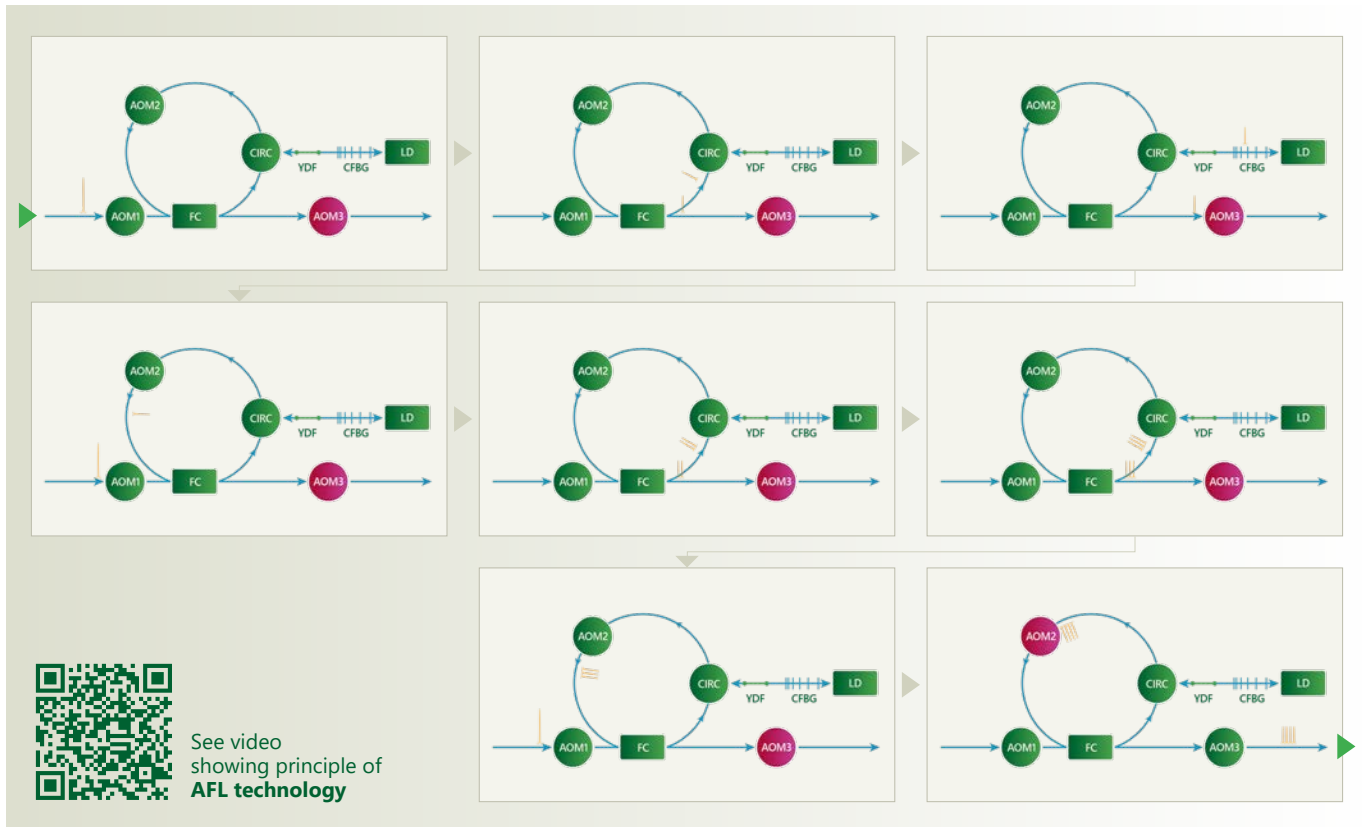
[2] Tadas Bartulevičius, Mykolas Lipnickas, Virginija Petrauskienė, Karolis Madeikis, and Andrejus Michailovas, (2022), "30 W-average-power femtosecond NIR laser operating in a flexible GHz-burst-regime," Opt. Express 30, 36849-36862.

## 技术参数

指标	参数值	
Burst 重复频率	200 – 650 kHz	
Intra-burst 脉冲重复频率 <sup>1)</sup>	2 GHz	
<b>GHz burst mode</b>	<b>short</b>	<b>long</b>
脉冲数量 <sup>2)</sup>	2 – 22	44 – 1100
脉冲形状	方形，上升式，下降式	下降式，或其他预设计 <sup>3)</sup>
<b>MHz + GHz 混合 burst mode</b>		
Burst 重复频率	100 – 650 kHz	
MHz burst 脉冲数量	2 – 10	
GHz burst 脉冲数量	2 – 22	

<sup>1)</sup> Burst 内部重频可定制。  
<sup>2)</sup> 基于 burst 内部重频。  
<sup>3)</sup> 更多信息请联系 EKSPLA。

## AFL 技术原理

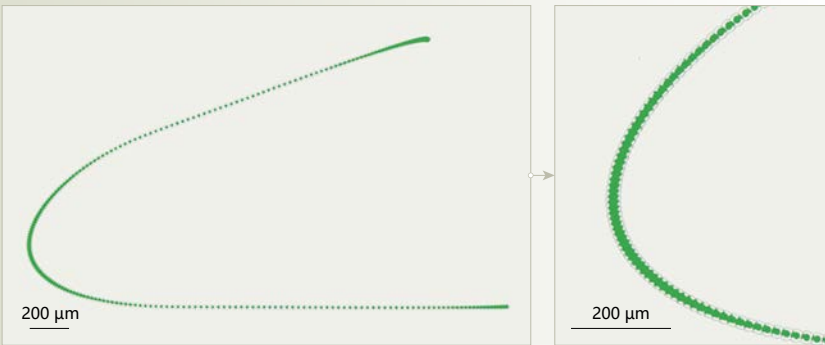


# 脉冲按需触发 (PoD)

传统的激光触发技术在维持高速下等间距的脉冲方面存在困难 (如图1、图2所示)。而按需脉冲 (Pulse-on-Demand, 简称 PoD) 功能则解决了这一挑战, 使得高速微加工成为可能 (如图3所示)。

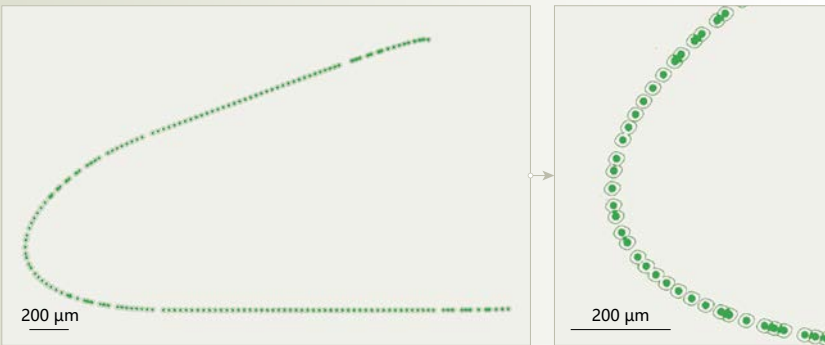
## 时间触发

图1. 采用时间基准激光触发模式扫描复杂形状, 脉冲重复频率为 200 KHz, 扫描速度为 6 米/秒。扫描从右上角开始, 至右下角区域结束。由于脉冲重叠, 导致部分区域过热。



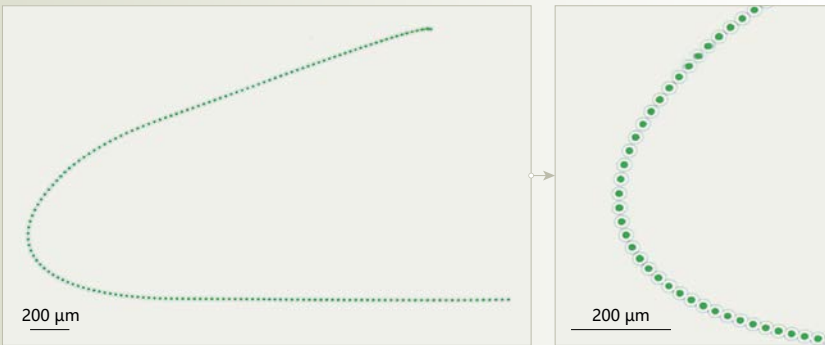
## 位置触发

图2. 采用基于位置的激光触发模式扫描复杂形状, 间距为 30 微米, 扫描速度为 6 米/秒。扫描从右上角开始, 至右下角区域结束。数十微秒级的抖动导致脉冲间距随机变化。



## 按需脉冲触发 pulse-on-demand (PoD)

图3. 采用按需脉冲 (PoD) 和基于位置的激光触发模式扫描复杂形状, 间距为 30 微米, 扫描速度为 6 米/秒。扫描从右上角开始, 至右下角区域结束。PoD 功能确保在高速下脉冲间距保持一致。



## 特殊优势

**超低抖动 Jitter 低于 20 ns,** 确保超高速激光微加工的脉冲间隔均匀性和稳定性

**重频可调** 可适应于复杂几何结构微加工

**超高速**, 确保高效制程

**PoD (按需脉冲) 功能使激光仅在需要时发射脉冲, 而不是以恒定速率发射, 从而实现对激光输出的精确控制, 进而实现更高的效率、准确性和质量。**


这种功能在各类微加工应用中尤为重要, 因为在这些应用中, 高处理速度、恒定能量和准确性至关重要。为了在高速跟随复杂的曲率并保持等距间隔, 必须确保精确调整脉冲的重复率。

尽管有人可能会尝试使用基于位置的激光触发, 但由于激光系统的局限性, 抖动将从几微秒到几十微秒不等, 这将导致脉冲的随机间隔。另一方面, 使用等时触发会导致区域过热, 因为脉冲过度重叠。

FemtoLux 30 激光器的按需脉冲功能具有低至 20 纳秒 (峰峰值) 的抖动, 因此能够应对所有挑战, 并在高速下最大化处理效率、精度和质量。



## 主要指标 <sup>1)</sup>

型号		FemtoLux 30
<b>主要指标</b>		
中心波长	基频	1030 nm
	二倍频 选项	515 nm
	三倍频 选项	343 nm
脉冲重复频率 (PRR) <sup>2)</sup>		200 kHz – 4 MHz
脉冲重复频率 (PRF) 选单器后		PRF = PRR / N, N=1, 2, 3, ... , 65000; 单脉冲
平均输出功率	at 1030 nm <sup>3)</sup>	> 27 W (典型 30 W)
	at 515 nm	> 11 W <sup>4)</sup>
	at 343 nm	> 6 W <sup>4)</sup>
脉冲能量	at 1030 nm	> 100 μJ 或 1 mJ <sup>5)</sup>
	at 515 nm	> 55 μJ <sup>4)</sup>
	at 343 nm	> 30 μJ <sup>4)</sup>
MHz burst 内部脉冲数量 <sup>6)</sup>		2 – 10
最大 burst 能量 <sup>7)</sup>		> 450 μJ
功率长期稳定性 (Std. dev.) <sup>8)</sup>		< 0.5 %
脉冲能量长期稳定性 (Std. dev.) <sup>9)</sup>		< 1 %
脉冲宽度 (FWHM) @ 1 MHz		tunable, < 350 fs <sup>10)</sup> – 1 ps <sup>11)</sup>
脉冲宽度调节范围 (可选配)		tunable, up to 1 ns
光束质量		M <sup>2</sup> < 1.2 (典型 < 1.1)
光斑圆度, 远场		> 0.85
光束发散角 (远场)		< 1 mrad
光束指向热稳定性		< 20 μrad/°C
光斑直径 (1/e <sup>2</sup> ) @ 1030 nm		2.5 ± 0.4 mm @ 65 cm
偏振方向		竖直线偏振
触发模式		internal / external
脉冲输出控制		frequency divider, pulse picker, burst mode, packet triggering, power attenuation, pulse-on-demand <sup>12)</sup>
通信接口		RS232 / LAN
脐线长度		3 m, detachable. Custom length option available
激光头冷却方式		干式冷却 (直接制冷剂制冷-可分离式)
<b>物理参数</b>		
激光头 (宽 × 长 × 高)		434 × 569 × 150 mm
电源尺寸 (宽 × 长 × 高)		483 × 534 × 184 mm
<b>环境参数</b>		
供电要求		100 – 240 V AC, 单相 50/60 Hz
最大功耗		800 W
环境温度		18 – 27 °C
相对湿度		10–80 % (无冷凝)
空气等级		ISO 9 (room air) or better
<p><sup>1)</sup> Due to continuous improvement, all specifications are subject to change without notice. Parameters marked typical are not specifications. They are indications of typical performance and will vary with each unit we manufacture. All parameters are specified for a shortest pulse duration. Unless stated otherwise, all specifications are measured at 1030 nm and for basic system without options.</p> <p><sup>2)</sup> When frequency divider is set to transmit every pulse. Fully controllable by integrated AOM.</p> <p><sup>3)</sup> At 1 MHz.</p> <p><sup>4)</sup> At 200 kHz.</p> <p><sup>5)</sup> Other combinations of energy and repetition rate available.</p> <p><sup>6)</sup> Oscillator frequency ~50 MHz, ~20 ns separation between pulses.</p> <p><sup>7)</sup> MHz burst mode or MHz+GHz burst mode at 50 kHz PRR.</p> <p><sup>8)</sup> Over 100 h after warm-up under constant environmental conditions.</p> <p><sup>9)</sup> Under constant environmental conditions.</p> <p><sup>10)</sup> At PRR &gt; 500 kHz. At PRR &lt; 500 kHz shortest pulse duration is &lt; 400 fs.</p> <p><sup>11)</sup> Custom pulse duration by request. For example – fixed 50 fs available.</p> <p><sup>12)</sup> Optional feature. Jitter &lt; 20 ns. Trigger-to-pulse delay &lt; 1 μs.</p>		
		 <p>危险：有可见/不可见激光的辐射/反射/散射，避免眼睛和皮肤直接暴露在其中</p> <p><b>4 类激光产品</b></p>

## 性能曲线

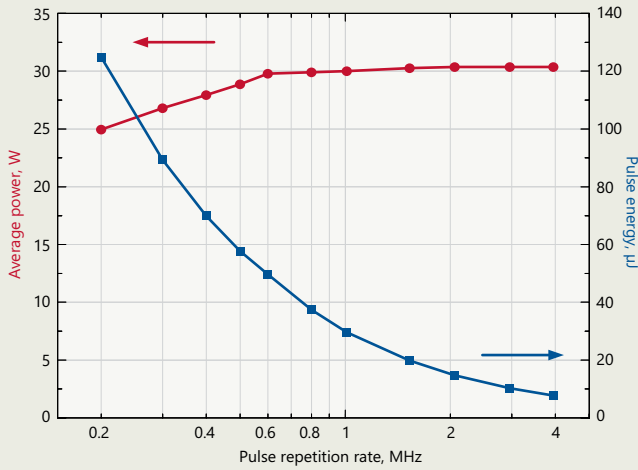


图1. FemtoLux 30 功率, 脉冲能量/重频曲线, 1030 nm

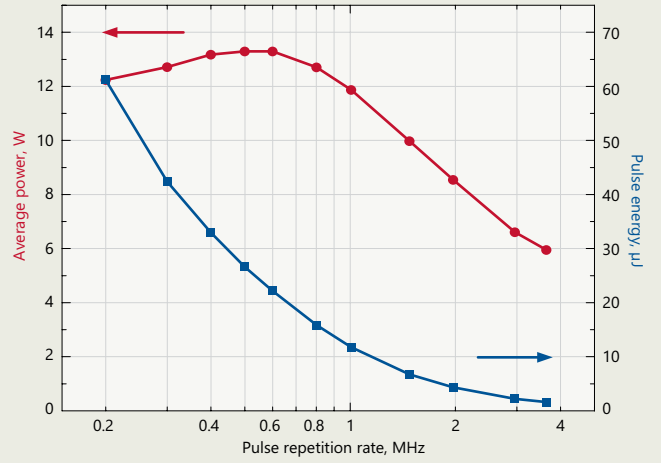


图2. FemtoLux 30 功率, 脉冲能量/重频曲线, 515 nm

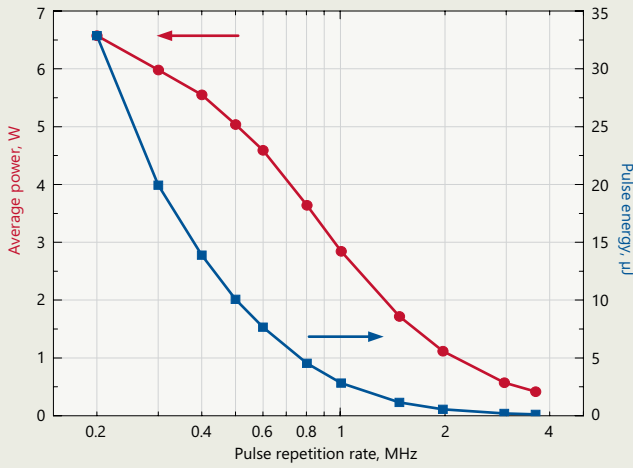


图3. FemtoLux 30 功率, 脉冲能量/重频曲线, 343 nm

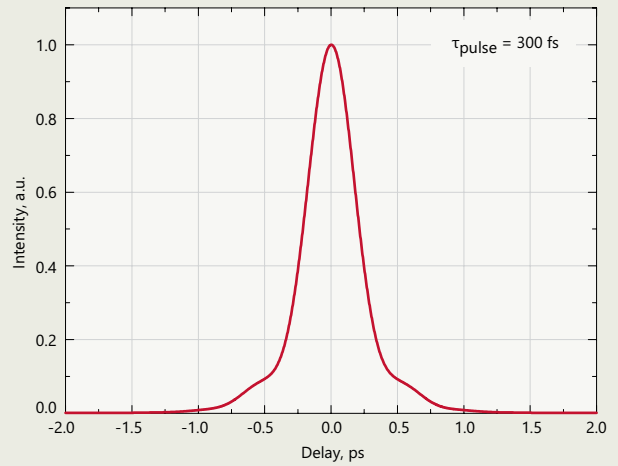


图4. FemtoLux 30 功率, 脉冲自相关函数, 1030 nm

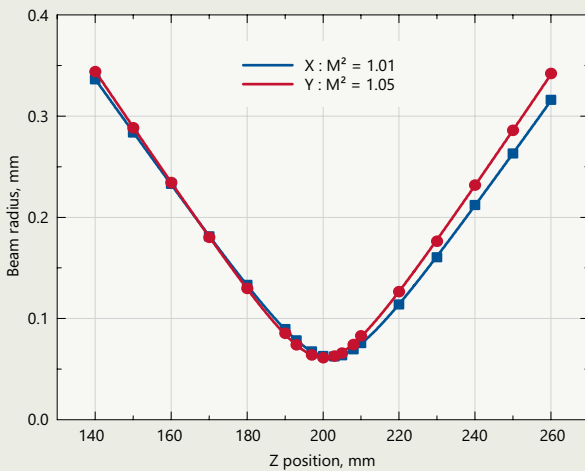


图5. 典型 M<sup>2</sup> FemtoLux 30, 1030 nm

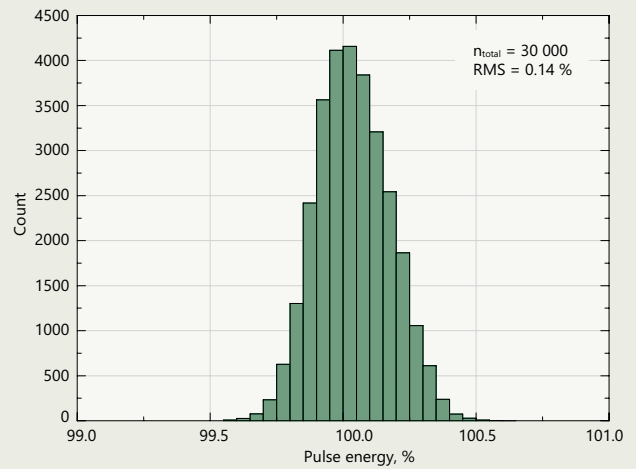


图6. 典型 pulse-to-pulse 能量稳定性, FemtoLux 30  
200 kHz, 30 000 脉冲

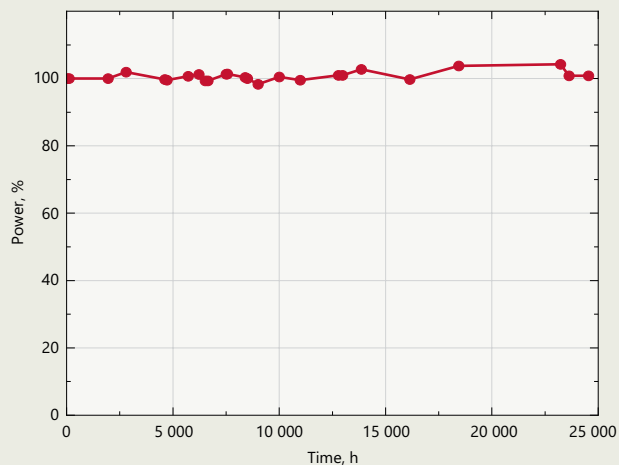


图7. FemtoLux 30 激光器长期稳定性测试, 1030 nm, 25,000 小时

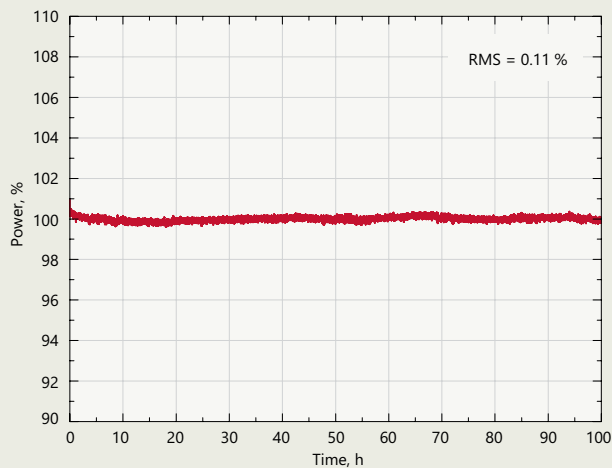


图8. FemtoLux 30 激光器典型功率稳定性曲线 (1030 nm)

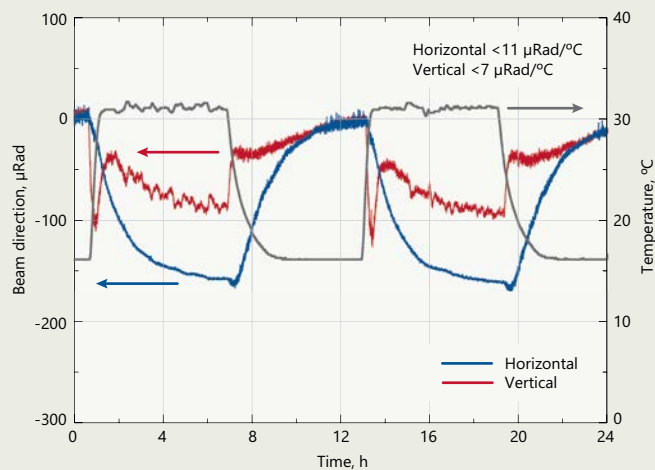


图9. FemtoLux 30 在苛刻环境下光束指向性变化

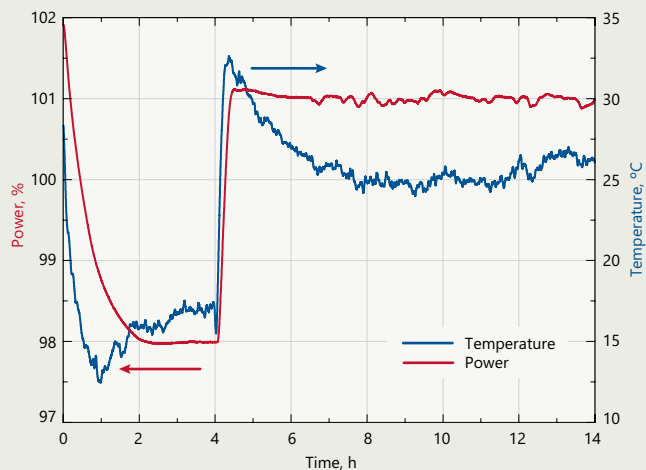


图10. FemtoLux 30 在自然环境温度下功率稳定性



带倍频模块的 FemtoLux 30 激光头和电源

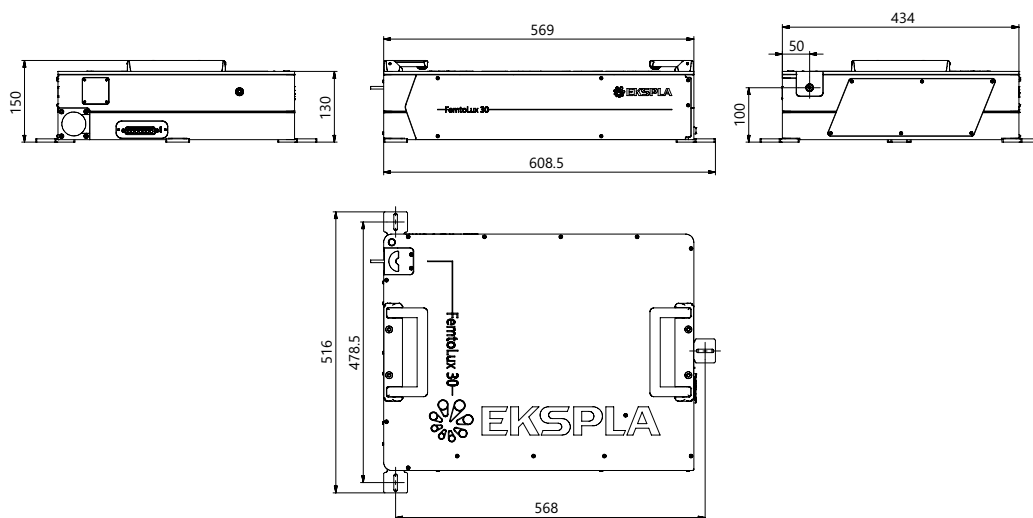


图11. FemtoLux 30 激光头视图

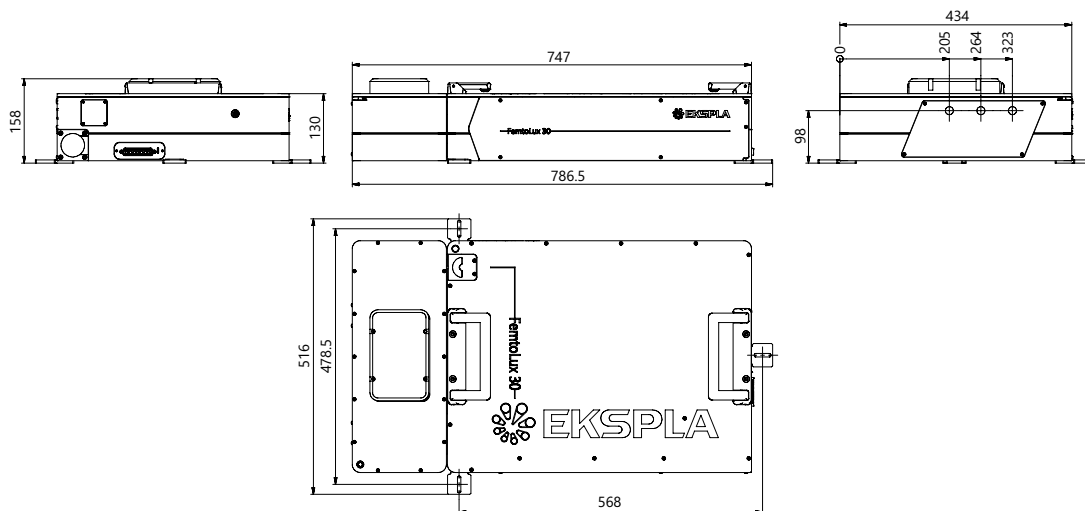


图12. FemtoLux 30 带倍频模块 激光头视图

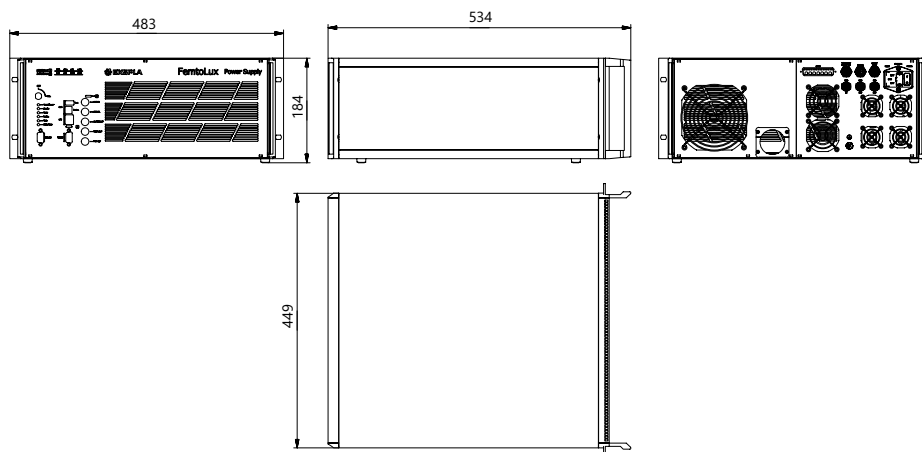


图13. 电源视图