

3.2.2 Laser Quantum 系列钛宝石超快振荡器

钛宝石超快振荡器及其扩展产品为 Laser Quantum 公司收购 Giga Optics 之后新建立的超快产品线产品。Laser Quantum 提供系列极端指标的特色钛宝石激光振荡器，例如周期量级超快脉冲、高重频、直接 CEP 调节、重频调节等。激光器广泛用作钛宝石放大器种子、钛宝石光频梳、ASOPS 异步扫描应用等等。

Laser Quantum 钛宝石振荡器全部采用密封、一体式结构，内置自主生产的绿光 DPSS 激光器作为泵源，具备高稳定性和一致性。

1) Gecco 系列



产品特点：

- 重复频率 80MHz (70-110MHz 可选)；
- 极窄的脉宽 (<15fs or <20fs 可选)
- 输出功率 >1W；
- 稳定，长时间锁模；
- 内置 PZT 针对主动式的重复频率稳定化
- 全密封，紧凑型一体式

应用：

- 放大器种子源
- 超快光谱
- THz 光谱及成像
- 双光子聚合
- 材料合工
- 非线性显微成像
- CARS

规格：

	Gecco one	Gecco ultra	Gecco power
平均输出功率	>600mW	>600mW	>1000mW
中心波长	800nm ± 20nm		
脉宽	<20fs	<15fs	<20fs
线宽 FWHM	>40nm	>50nm	>40nm
重复频率	80MHz (70-110 Mhz options)		
单脉冲能量	>7.5nJ	>7.5nJ	>12.5nJ
光斑大小	0.8 mm ± 0.3 mm		
发散角	< 3 mrad		
M-squared	<1.2	<1.2	<1.3
功率稳定度 (RMS 24 小时)	<1 %		
RMS 噪声	<0.1 % (opus pump) <0.05 % (finesse pure pump)		<0.05 % (finesse pure pump)
偏振比	>100:1		
操作温度	21°C ± 5°C		
激光头重量	~30 kg		
热机时间	<20 min		

2) Veteon 系列少周期飞秒振荡器



VENTEON 系列产生极短的少周期脉冲，最快脉冲可以达到 5.5fs。大多数型号具备泵浦源直接调制功能，可以非常方便的实现 CEP 锁定。

Venteon One • <7.5fs FTL 脉宽 • >240mW 平均功率 • >3nJ 脉冲能量 • 超短脉冲的入门理想选择	Venteon Power • <7.5 fs FTL 脉宽 • >560mW 平均功率 • >7nJ 脉冲能量 • 放大器注入的理想选择	Venteon Dual • <5.5 fs FTL 脉宽 • >200mW 平均功率 • 双输出，用于 OPCPA 注入 • 可选 CEP 锁
Venteon CEP5 • <5.5 fs FTL 脉宽 • >220mW 平均功率 • >300nm 光谱带宽 • 完整的 CEP 锁定系统 • 无需额外的光谱展宽	Venteon Boost • <10 fs FTL 脉宽 • >900mW 平均功率 • >150nm 光谱带宽 • 优化了最大的脉冲能量和功率	Venteon Ultra • <5fs FTL 脉宽 • >240mW 平均功率 • 极高光谱带宽 (>380nm) • >3nJ 脉冲能量 • CEP 应用的理想选择

3) Helixx 250MHz 可调谐飞秒振荡器



功能特色：

- ~50fs 脉宽
- >2.3W 平均功率
- >9nJ 脉冲能量
- 双光子显微镜的理想选择
- 独特的 250MHz 重复频率
- 波长可调范围 720-920nm

规格

	Helixx
平均功率：	>2.3W
中心波长	720 nm to 920 nm (Tuneable)
脉宽	~50fs
光谱带宽 FWHM	~15nm
重复频率	250Mhz
脉冲能量	>9nJ
光斑大小	2 mm ± 0.5 mm
发散角	< 2.5 mrad

M-squared	<1.3 (sag plane) <1.6 (tan plane)
功率稳定度	<1%
噪声 RMS	<0.1%
偏振比	>100:1
偏振方向	Horizontal
操作温度	21° +/- 5°C

4) TACCOR GHz 钛宝石振荡器



Taccor One

- 1GHz 气密封激光腔
- 波长可选 740-920nm (订选时选择 -Fixed)
- 功率高达 1.6W
- <60fs 脉宽

Taccor Tune

- 1GHz 气密封激光腔
- 波长可调范围 740-930nm
- 功率高达 1.8W
- <80fs 脉宽

Taccor Power

- 1GHz 气密封激光腔
- 功率 1.8W @ 800nm
- <30fs 脉宽
- 针对最大功率和脉宽进行了优化

Taccor Comb

- 1GHz
- 长期稳定的 CEO 拍频 (f-to-2f interferometer module)

Taccor x10

- 10GHz 气密封激光腔
- 1W @800nm
- <50fs 脉宽

TACCOR 是 Laser Quantum 提供的一类独特 GHz 重频钛宝石振荡器，包括波长可指定的 TACCOR One、可调谐的 TACCOR Tune、高功率 TACCOR Power、用于光梳的 TACCOR Comb 以及 10GHz 重频信号 TACCOR X10。

TACCOR 为 800nm 波段的 GHz/10GHz 光频梳、GHz ASOPS 提供了理想的产品。

应用

- 光频梳
- 精密计量和光谱学
- 非线性光谱
- 高速异步光学采样 (ASOPS)

规格

	Taccor One	Taccor Power	Taccor Tune	Taccor x10
平均功率	One 4 >700mW One 6 >900mW One 8 >1200mW One 10 >1600mW	Power 4 >800mW Power 6 >1000mW Power 8 >1400mW Power 10 >1800mW	Tune 8 >1500mW Tune 10 >1800mW	>1000mW
中心波长	740 nm to 920 nm fixed	nominal 800 nm (+/-20 nm)	740 nm to 930 nm (tunable)	nominal 800 nm (+/-20 nm)
脉宽	<60 fs	<30 fs	<80 fs	<50 fs
光谱带宽	~15 nm	>23 nm	~15 nm	>15 nm
重复频率	1 GHz			10GHz
脉冲能量	0.7 nJ to 1.6 nJ	0.8 nJ to 1.8 nJ	1.3 nJ - 1.8 nJ tune 10; 1.05 nJ - 1.5 nJ tune 8;	>100 pJ
光束大小	0.8 mm +/-0.3 mm			0.7mm +/-0.3 mm
发散角	2.0 mrad +/-0.5 mrad			<10 mrad
M ²	<1.2 (sag plane), <1.6 (tan plane)	<1.2 (sag plane), <1.2 (tan plane)	<1.2 (sag plane), <1.6 (tan plane)	<1.5 (sag plane), <1.5 (tan plane)
功率稳定度	<1%			
噪声 RMS	<0.05%			
偏振比	>100:1			
偏振方向	Horizontal			
操作温度	21° +/- 5°C			

5) GHz 飞秒激光倍频器



HarmoniXX 倍频器专为 Laser Quantum Taccor 系列 GHz 钛宝石振荡器设计，实现 400nm 短波长飞秒激光输出。

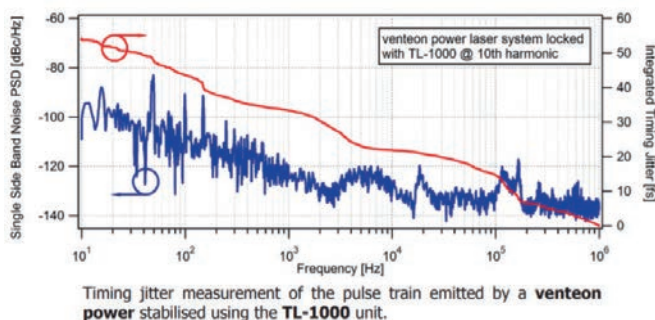
输入波长	800nm ± 20nm	
输出波长	400nm ± 20nm	
输入重频	1GHz	
输入脉宽	~30nm	
输入带宽	~30nm	
输入功率	1.0W	1.8W
输出功率	75mW	250mW
转换效率	7.5%	14%
输出带宽	~8.5nm	

6) TL-1000 频率锁定器



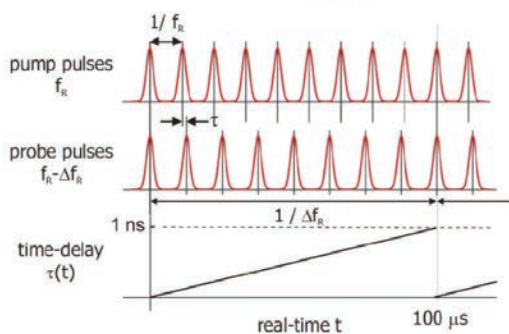
锁模飞秒激光的重复频率由光学强场决定，严格满足： $f_{REP} = c/2L$ ， c 为光速， L 为计入所有介质折射率的光学腔长。因温度 / 机械形变等原因导致的腔长变化会引起重复频率的变化，或飞秒激光脉冲的抖动。

在需要非常稳定的重复频率场合或需要与其他重复频率信号位相同步时，需通过反馈控制将重频锁定。Laser Quantum TL-1000 可将激光器与射频源或其他激光器锁定，脉冲抖动 $< 100\text{fs}$ 。

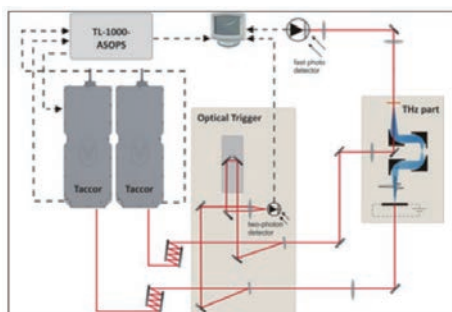


	TL-1000	TL-1000 (low jitter)
重频范围	75MHz ~ 10GHz	75MHz ~ 10GHz
时间抖动: Taccor/ Helixx	$\leq 100\text{fs}$ (10Hz ~ 100kHz)	$\leq 10\text{fs}$ (10Hz ~ 100kHz)
时间抖动: Vention/ Gecco	$\leq 300\text{fs}$ (10Hz ~ 100kHz)	$\leq 100\text{fs}$ (10Hz ~ 100kHz)

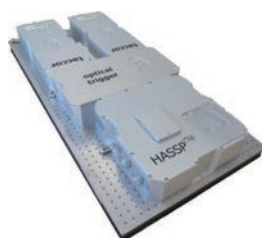
7) TL-1000 ASOPS 引擎



ASOPS 示意图



基于 ASOPS 的 HASSP THz 时域光谱仪



异步光学采样 (Asynchronous Optical Sampling, ASOPS) 系统采用相互锁定、有固定重频差的两台激光器来实现变延时的泵浦 - 探测。主激光器 (激发光) 以 f_R 重频输出，而从激光器以略低频率 ($f_R - \Delta f_R$) 输出；如果初始时刻两台激光器同时输出，则相互之间的延时会以 $1/(f_R - \Delta f_R) - 1/f_R \approx \Delta f_R / f_R^2$ ，且经过 $1/\Delta f_R$ 时间之后两台激光器的脉冲再次对准。例如，如果主激光器振荡频率为 1GHz，从激光器振荡频率为 999,999,000Hz ($f_R = 1\text{GHz}$, $\Delta f_R = 1\text{kHz}$)，则延时的步距为 $1,000\text{Hz} / (1,000,000,000\text{Hz})^2 = 10^{-15}\text{s} = 1\text{fs}$ ，最长延时 (泵浦 - 探测时间窗口) 为 $1/1,000\text{Hz} = 1\text{ms}$ 。

通过调节主、从激光器的频率差，可实现实验需要的延时精度与数据采集率、时间窗口；通过对泵浦光和探测光进行频率变换，如倍频、三倍频、OPO、THz 产生等，可实现丰富的应用：高分辨率时域太赫兹光谱；高速光泵 - 太赫兹探测；超薄 ($\sim \text{nm}$ 量级) 膜超声测量。

ASOPS 实验影响时间分辨率的主要因素除了设定的频率差外，主要是激光器重频的抖动，因此要求对两台激光器重复频率 (腔长) 加以精密的锁定和控制；而激光器重复频率本身则影响数据采集率，高重频的激光器采样率较高，可提升测量速度。

Laser Quantum ASOPS Engine 为全套的 ASOPS 解决方案，配合 Laser Quantum 各系列振荡器、触发单元，构成完整的 ASOPS 系统，时间分辨率达到 100fs；同时提供基于 ASOPS 的 THz 吸收光谱系统。TL-1000 分为 MHz 和 GHz 两个版本，分别适用与 80MHz 和 1GHz 重频的振荡器。

	ASOPS Engine GHz	ASOPS Engine MHz
重复频率	1 GHz	84 MHz
重频偏移	2kHz ~ 20kHz	10Hz ~ 1kHz
时间分辨率	$< 60\text{fs}$ (1ns 窗口)	$< 100\text{fs}$ (5ns 窗口)
最长延时窗口	1ns	11.9ns