

2. 激光光束分析仪

除了激光功率/能量外，激光在传输方向横截面的强度分布以及激光的传输特性，也是激光器应用中决定性的因素：绝大多数应用需要根据激光的传输特性 (M^2) 来设计光路；定量科学实验和高品质激光加工都需要实际测量激光焦点的分布。同时，很多激光器在使用中，泵浦源或光学器件衰减首先体现在激光光斑的变化上，定期测试激光光斑有助于提前发现衰减倾向，及早维护，降低维护成本、缩短停机时间，预防激光器性能突变导致产线灾害。

激光的截面强度分布的测量（光斑分析）通常采用光束分析仪，而传输特性通常用 M^2 表征，由 M^2 测试仪按照 ISO 标准进行测量。

Spiricon 公司是业内久负盛名的激光光束分析仪和 M^2 生产厂家，自上世纪七十年代末开始研发提供激光光束品质分析仪，并参与制定了光斑测量的 ISO11146-3 标准。产品种类覆盖 CCD 相机式光束分析仪、InGaAs 面阵相机光束分析仪、热释电晶体面阵光束分析仪、狭缝扫描式光束分析仪、全自动 M^2 测量仪、高功率激光聚焦测试仪等，波长覆盖 13nm ~ 3000 μ m，广泛应用于激光器制造、激光精密加工、光通讯、太赫兹、激光科学研究等领域。Spiricon 公司 2006 年加入 OPHIR 集团，使后者成为激光测量全系解决方案的供应商。



2.1 面阵式激光光束分析仪

相机式光束分析仪采用二维阵列光电传感器，直接将辐照在传感器上的光斑分布转换成图像，传输至电脑并进行分析。相机式光斑分析仪是目前使用最多的光斑分析仪，可以测试连续激光、脉冲激光、单个脉冲激光，可实时监控激光光斑的变化。

完整的光束分析系统由三部分构成：

- 相机。
相机确定了可测量的波长范围：硅基 CCD 相机通常为 190nm ~ 1100nm；InGaAs 面阵相机通常为 900 ~ 1700nm；热释电面阵相机则可覆盖 13 ~ 355nm 及 1.06 ~ 3000 μ m。相机的芯片尺寸决定了能够测量的光斑的最大尺寸，而像素尺寸则决定了能够测量的最小光斑尺寸；通常需要 10 个像素体现一个光斑完整的信息。
- 光束分析软件。
软件除了采集数据并按照各种数学模型进行分析计算外，更为重要的是确保光束分析计量的准确性。Spiricon 公司采用 Ultra CALTM 技术扣除相机的起伏背景，确保在各种强度下得到的光斑都具备定量准确性；丰富的光斑识别、手动及自动选区功能，避免光斑品质计算中引入过大误差甚至出现伪结果：例如对多模（多瓣）光束的自动分析。
- 附件。
几乎所有的激光器的强度都超过相机的饱和强度甚至损伤阈值，高品质的衰减附件可确保在保持光束品质的情况下衰减强度；扩束、缩束、放大、投影成像等高品质成像系统使得尺寸一定的传感器可以适应不同的光斑。

2.1.1 硅基 CCD 相机



SP928/SP907



L11059



SP300/SP920G



LT665

主要特点

- 相应灵敏度高
- 不同感光面尺寸可供选择
- USB2.0/USB3.0/ Gigabit Ethernet 三种接口方式
- C-Mount 接口，可选择衰减片、分光片等多种附件

主要应用领域

- 半导体激光器
- HeNe 激光器
- 紫外激光加工设备

相机型号	SP920s	SP920G	LT665	L11059
波长范围	190-1100nm	190-1100nm	190-1100nm	190-1100nm
芯片尺寸	7.1mm × 5.3mm		12.5 × 10mm	35mm × 24mm
像元大小	4.4 μ m × 4.4 μ m		4.54 μ m × 4.54 μ m	9.0 μ m × 9.0 μ m
分辨率	1624 × 1224	1624 × 1224	2752 × 2192	4008 × 2672
动态范围	60 dB	61 dB	54 dB	59 dB
灵敏度	1nW/cm ²	1.2nW/cm ²	0.3nW/cm ²	0.17nW/cm ²
损伤阈值	50W/cm ² 、0.1J/cm ² (< 100ns)			0.15mw/cm ²
软件配置	BeamGage			
接口方式	USB3.0	GigE Ethernet	USB3.0	USB2.0
特点	通用 / 高动态范围	高动态范围 / GigaE	大面阵 / 高分辨率	超大面阵

2.1.2 镀磷光材料 CCD 相机



SP920s-1550

硅材料 CCD 相机的长波截止波长为 1100nm（对于较强的光可响应至 1300nm）。通过在芯片表面镀上转换磷光材料，能够探测光通讯广泛使用的 1550nm 左右激光。

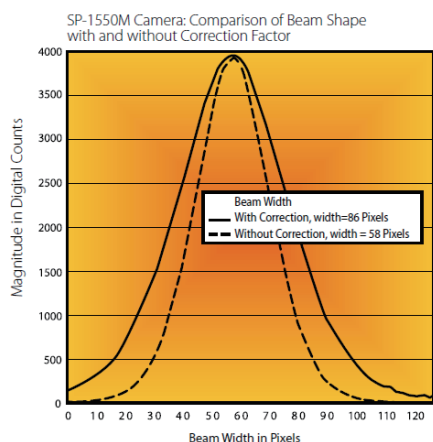
主要特点

反斯托克斯磷层吸收 1440-1605nm 近红外光，进而产生的可见光在硅基芯片上进行成像。

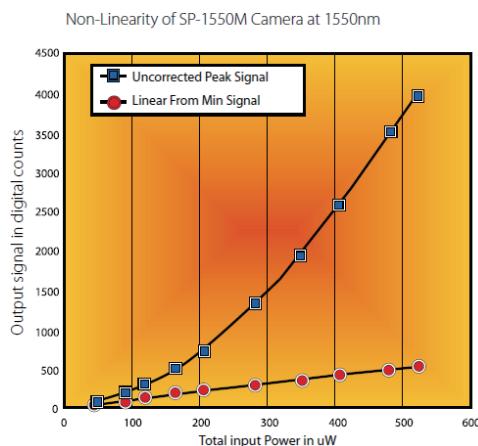
主要应用领域

光通讯，OPO 激光等。

相机型号	SP920s-1550	LT665-1550
主要参数		
波长范围	1440-1605nm	1440-1605nm
芯片尺寸	7.1mm × 5.3mm	12.5mm × 10mm
像元大小	4.4μm × 4.4μm	4.54μm × 4.54μm
分辨率	1440 × 1605	2752 × 2192
动态范围	30 dB	30 dB
灵敏度	50μW/cm ²	
损伤阈值	50W/cm ² 、0.1J/cm ² (< 100ns)	
软件配置	BeamGage STD or PRO	
接口方式	USB3.0	

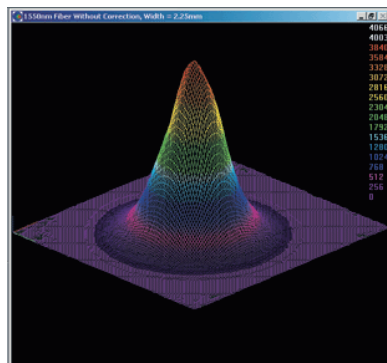


线性和非线性光斑大小测量对比

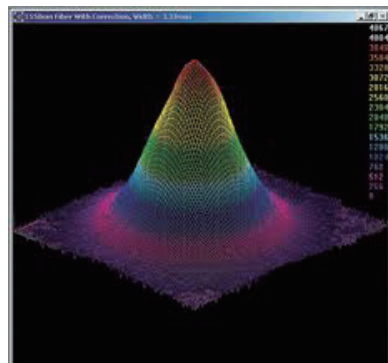


线性和非线性信号输出对比

红外信号上转换至可见光信号的过程是非线性的，也即针对这类镀磷的相机，芯片感测到的信号并不正比于输入的红外光强信号。Spiricon 基于大量的实验测量了转换效率的非线性特性，研究了校正算法并将这一算法植入 BeamGage 软件中，确保软件的到的结果真实可靠。



线性校准前



线性校准后

2.1.3 近红外 InGaAs 相机



XC-130



SP1201/1203

主要特点:

量子效率高, 暗电流小, 灵敏度高, 曝光时间范围宽。

主要应用领域:

空间遥感、夜视、侦察与监视、遥感系统、红外成像制导、光电对抗等。

相机型号	SP1203	SP1201	XC-130
波长范围	900 - 1700nm		
芯片尺寸	9.6 × 7.6mm		
像素大小	15μm × 15μm	30μm × 30μm	
分辨率	640 × 512	320 × 256	
动态范围	68dB	59dB	68dB(低增益)/60dB(高增益)
饱和强度	12.6uW/cm ² @1064nm 8.9uW/cm ² @1550nm	12.6uW/cm ² @1064nm 8.9uW/cm ² @1550nm	1.3uW/cm ² @ 1550nm
芯片制冷	TEC 制冷	TEC 制冷	TEC 制冷 强制散热
帧率	60Hz	60Hz	100Hz
曝光时间	10μs - 50ms	150μs - 10ms	1μs - 400s
软件配置	BeamGage Pro	BeamGage Pro	BeamGage Pro
接口	GigaE	GigaE	USB2.0

2.1.4 热释电阵列相机



Pyrocam IV



Pyrocam IIIHR

主要特点:

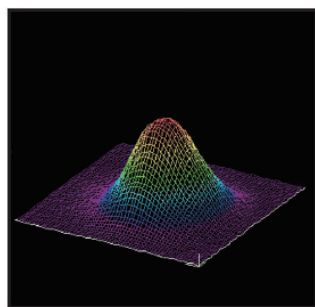
13-355nm&1.06-3000μm 超宽波长覆盖。

主要应用领域:

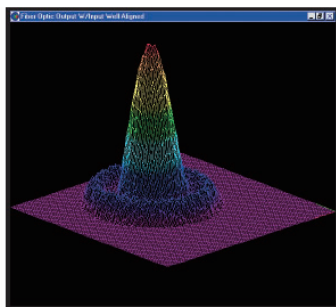
CO₂ 激光, 光通讯, 太赫兹, 自由电子激光器等。
配合 M² 分析软件及自动导轨, 可以测量 M² 因子。

Pyrocam 系列热释电阵列相机是 Spiricon 研发的独特产品, 13-355nm + 1.06-3000μm 超宽波长覆盖使其可以适用于深紫外激光、红外 ~ THz 光束分析。配合 M² 软件及自动导轨, 可实现这些波段的 M² 测试。Pyrocam 测试脉冲激光或斩波后的连续激光。

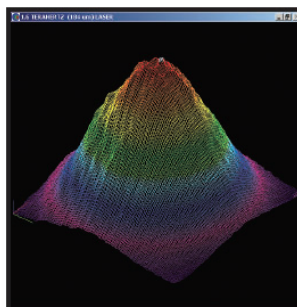
相机型号	Pyrocam III HR	Pyrocam IV
波长范围	13-355nm&1.06-3000μm	13-355nm&1.06-3000μm
芯片尺寸	12.8mm × 12.8mm	25.6mm × 25.6mm
像元大小	75μm × 75μm	75μm × 75μm
分辨率	160 × 160	320 × 320
灵敏度	64nw/pixel(CW) 0.5nJ/pixel(Pulsed)	64nw/pixel(CW) 0.5nJ/pixel(Pulsed)
损伤阈值	8W/cm ² (CW) 600mJ/cm ² (1ms Pulse)	8W/cm ² (CW) 600mJ/cm ² (1ms Pulse)
软件配置	BeamGage Pro	
接口方式	GigE	GigE



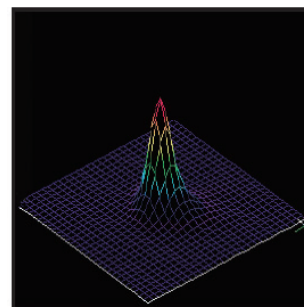
Er:YAG laser at 2.9μm.
YAG 激光



Output of infrared fiber optic.
红外光纤出光



THz laser beam at 1.6THz (184μm).
THz 激光



Free Electron laser at 100μm.
自由电子激光