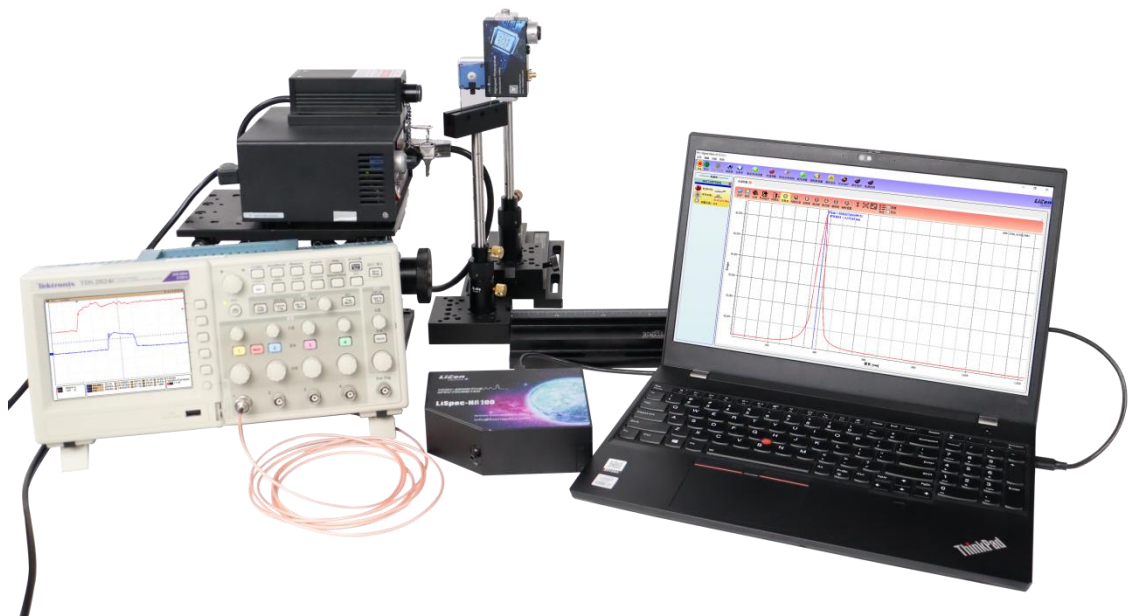




解决方案

VCSEL-TOF 测量解决方案

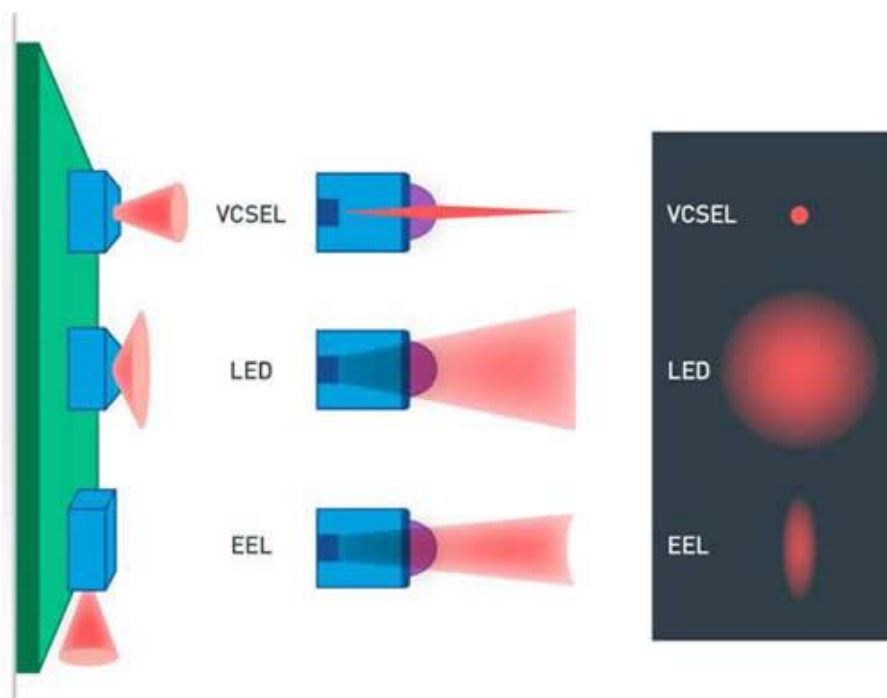


日期: 2023-02-08

VCSEL-TOF 测量解决方案

VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser, 垂直共振腔表面放射激光) 是一种垂直于衬底面射出激光的半导体激光器, 有区别于传统的边发射半导体激光器如 F-P 激光器(法布里-珀罗激光器)、DFB (分布式反馈激光器)。当前以砷化镓半导体为基础材料的 VCSEL 居多, 发射波长主要为近红外波段, 其可以在衬底上多个方向上排列多个激光器, 从而形成并行光源或者面阵光源, 是光纤通信或者光感测领域的主要光源之一。

VCSEL 集高输出功率、高转换效率和高质量光束等优点于一身, 相比于 LED 和边发射激光器 EEL, 在精确度、小型化、低功耗、可靠性等角度全方面占优势。

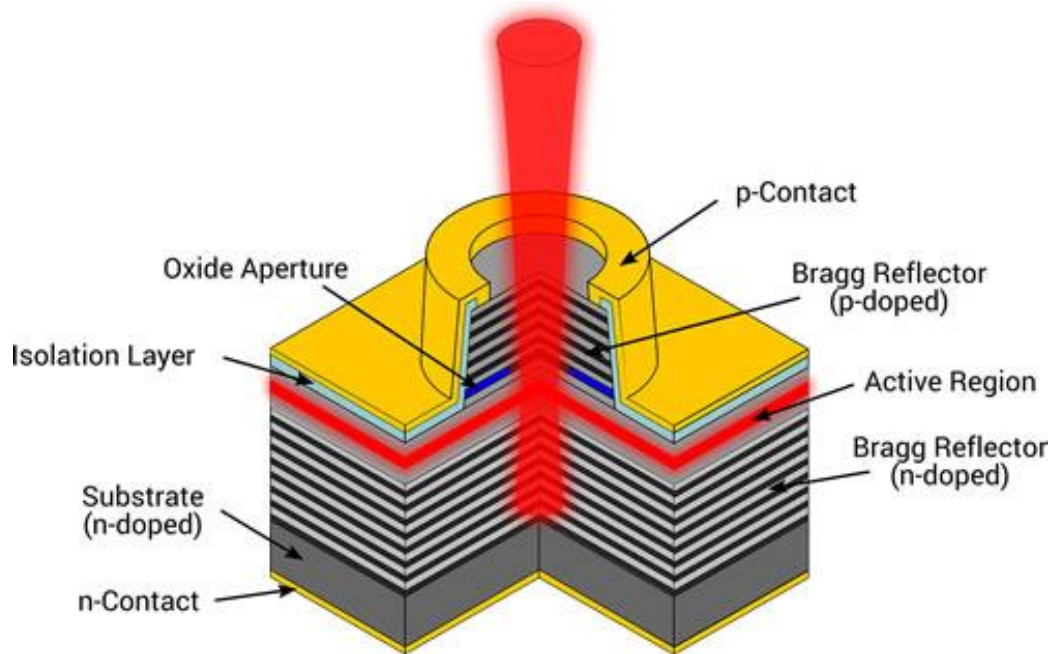


IR LED、EEL、VCSEL 出光质量比较

工作原理

VCSEL 结构一般由上、下布拉格反射镜(DBR)和中间有源区三部分组成, 其典型的外延结构如下图所示从下到上依次是衬底、N 型接触层、N 型 DBR、量子阱有源区、P 型 DBR、

P 型接触层。其中有源区为器件最重要的组成部分，由于 VCSEL 腔长极短，需要腔内有源介质对激射模式提供较大的增益补偿。



典型 VCSEL 结构剖面示意图

VCSEL 器件有两种基本结构，一种是长一层增透膜以提高激光光束质量，最后将增：采用 MOCVD 技术在 N 型 GaAs 衬底上生长而成，以 DBR 作为激光腔镜，量子阱有源区夹在 N-DBR 和 P-DBR 之间。另一种是底发射结构，一般用于产生 976-1064nm 波段，通常将衬底减薄到 150 μm 以下以减少衬底吸收损耗，再生长一层增透膜以提高激光光束质量，最后将增益芯片安装在热沉上。

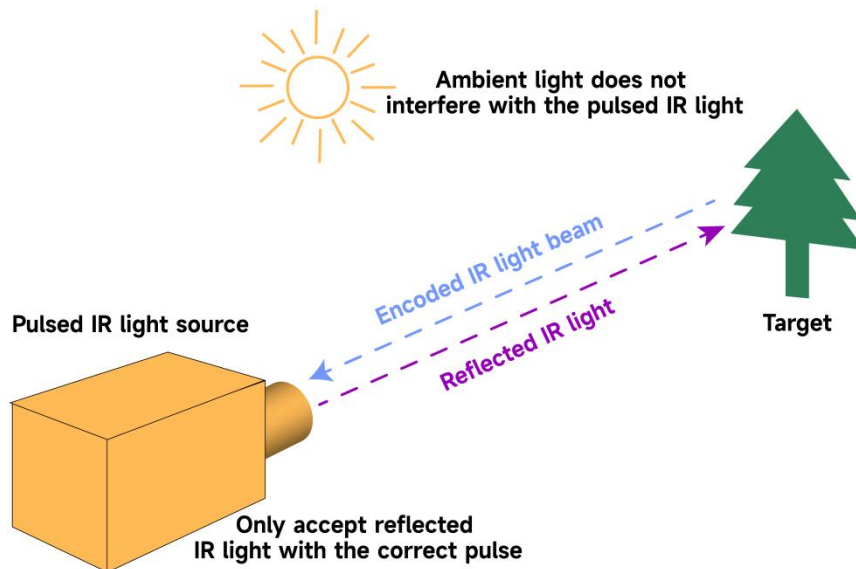
激光器就是利用半导体中的电子光跃迁引起光子受激发射而产生光振荡器和光放大器的总称，其产生激光同样要满足以下三个基本条件：

- 1、建立有源区内载流子的反转分布；
- 2、合适的谐振腔使受激辐射在其中得到多次反馈形成激光振荡；
- 3、提供足够强的电流注入使得光增益大于或者等于各种损耗之和，满足一定的电流阈值条件。

测量方案

■ TOF (Time of flight) 飞行时间法

TOF 飞行时间法是一种深度信息测量方案，主要由红外光投射器和接收模组构成。因其原理简单，精度达到厘米级，具有仪器体积小、测程远、功耗低、测量快速、易于实现、抗干扰能力强等优点。对于工业应用与技术研究而言有着重要的意义，得到了广泛的应用。例如，iPhone 12 手机的 TOF 相机，能实现拍摄时的人像 3D 建模，辅助成像算法、还有测距仪、Face ID 人脸识别解锁的功能；扫地机器人的自动避障、汽车上的激光雷达、无人驾驶功能都应用到了 TOF 技术。时至今日，连门锁、笔记本电脑都出现了 TOF 的身影，未来 TOF 能够突破性的将现实世界物体、人像、空间虚拟化，必将是 5G 移动互联网最重要的应用场景之一。下面就对 TOF 的基本原理展开描述。



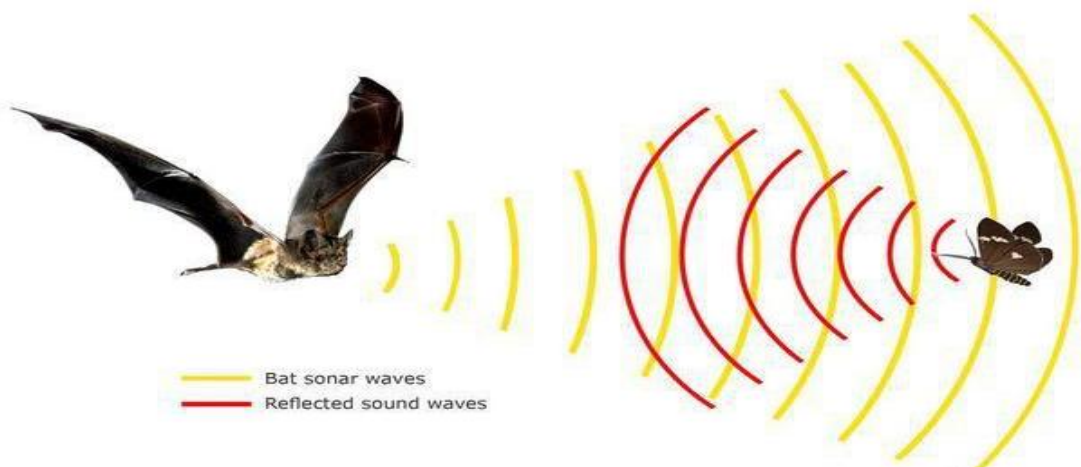
TOF 原理

TOF 技术是将时间维度的信息转换为空间维度信息的方法，基本原理是通过连续发射光脉冲到被测物体上，然后接收从物体反射回去的光脉冲，通过探测光脉冲的飞行（往返）

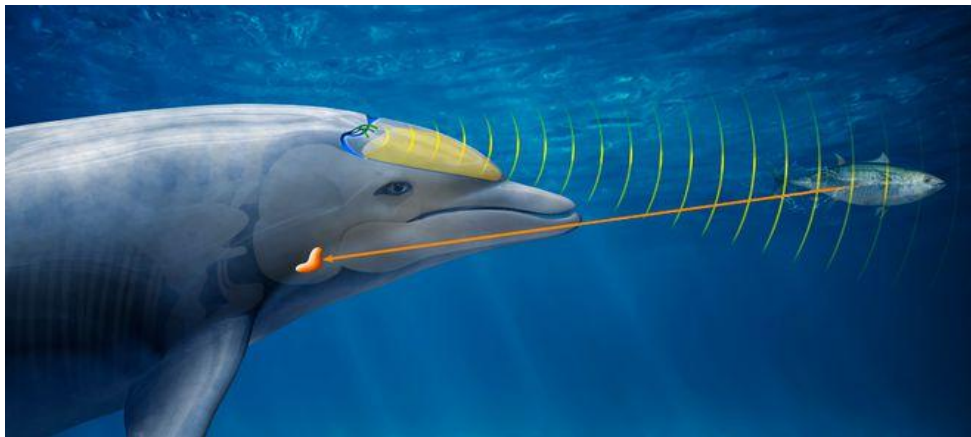
时间来计算被测物体离探测器的距离。

其本质原理是我们在小学时就学过的公式：距离 = 速度 * 时间

所以只要测定出光的运动时间，就能测出其飞行距离。自然界有很多动物天生就具备类似的能力，最典型的就是我们熟知的蝙蝠和海豚。它们都能够通过发出特定频率的声波并捕捉回声，进而判断前方物体的距离。



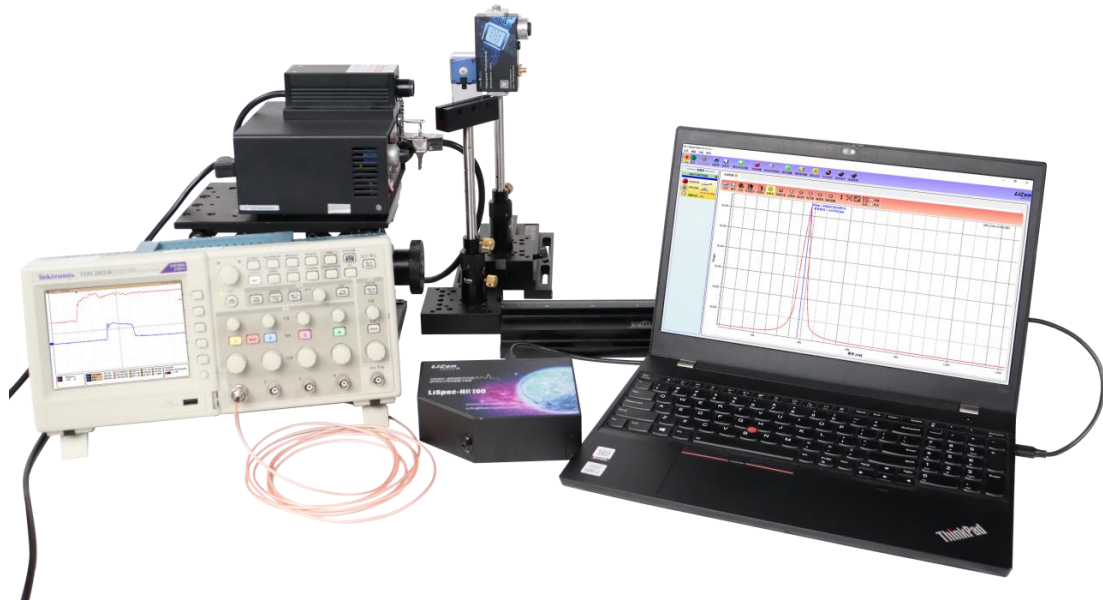
蝙蝠回声定位



海豚回声定位

但声波的传播速度为 340 米/秒，而光在真空中的速度是 299792458 米/秒，使用激光去测量距离响应更快。利用这个信息，以及光飞行的时间，就可以求出光源和目标之间的距离。

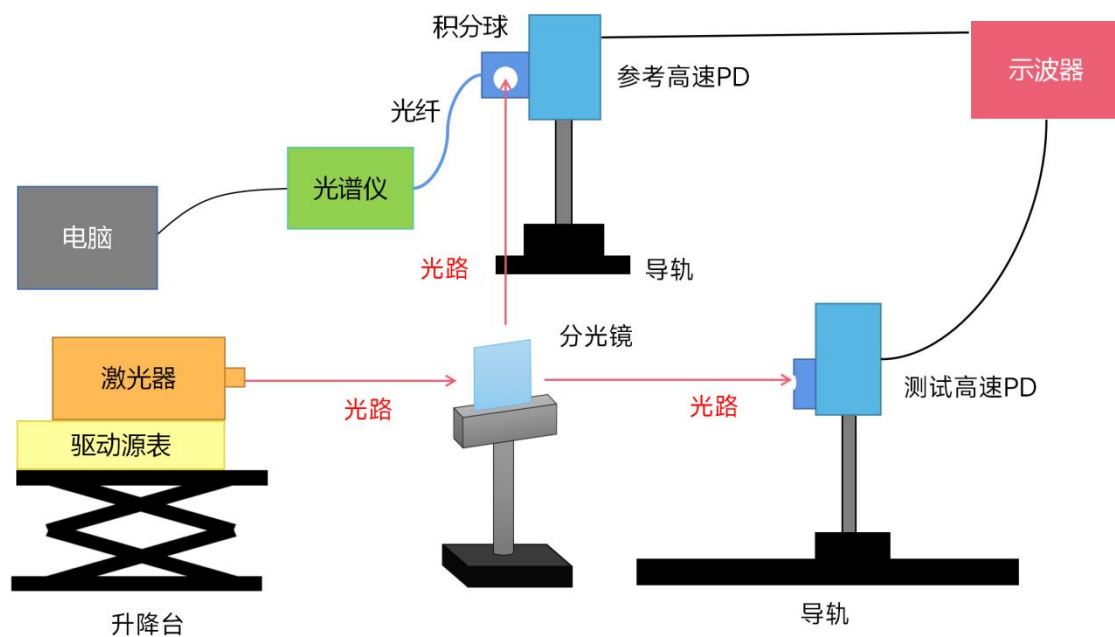
搭建实验光路如下图所示，控制两个高速 PD 到光源的距离相等，这时探测到的响应时间是一致的，把测试高速 PD 后移 30cm（光走过路程多 30cm），探测到的响应时间就差距 1ns。



VCSEL-TOF 测试方案 (TOF 飞行时间法) 整体实物图

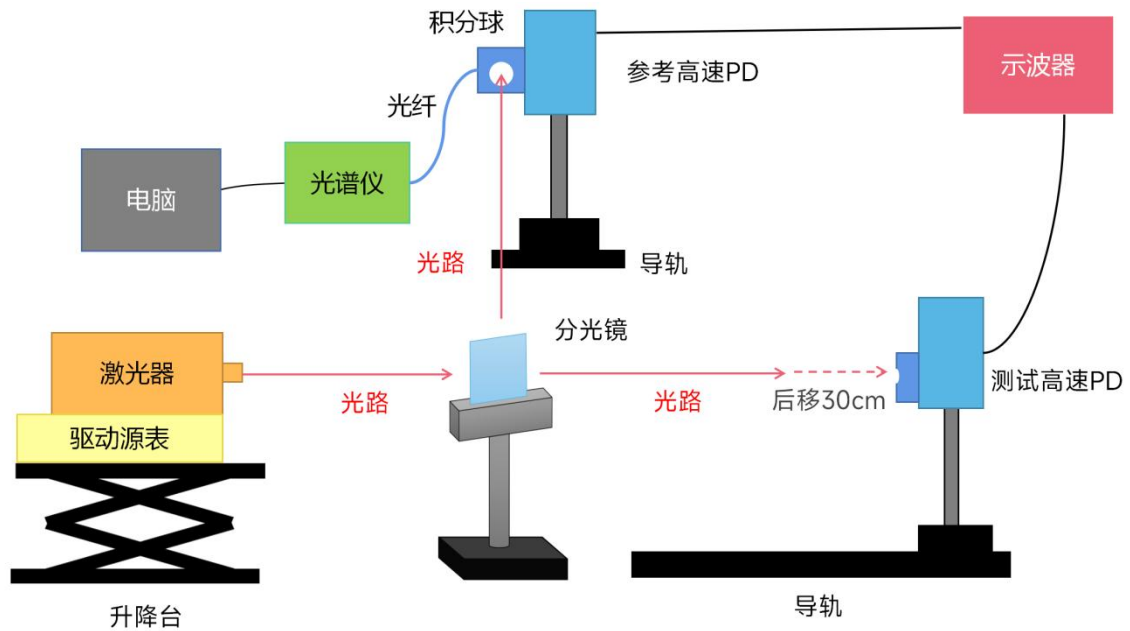
实验光路

步骤 1:



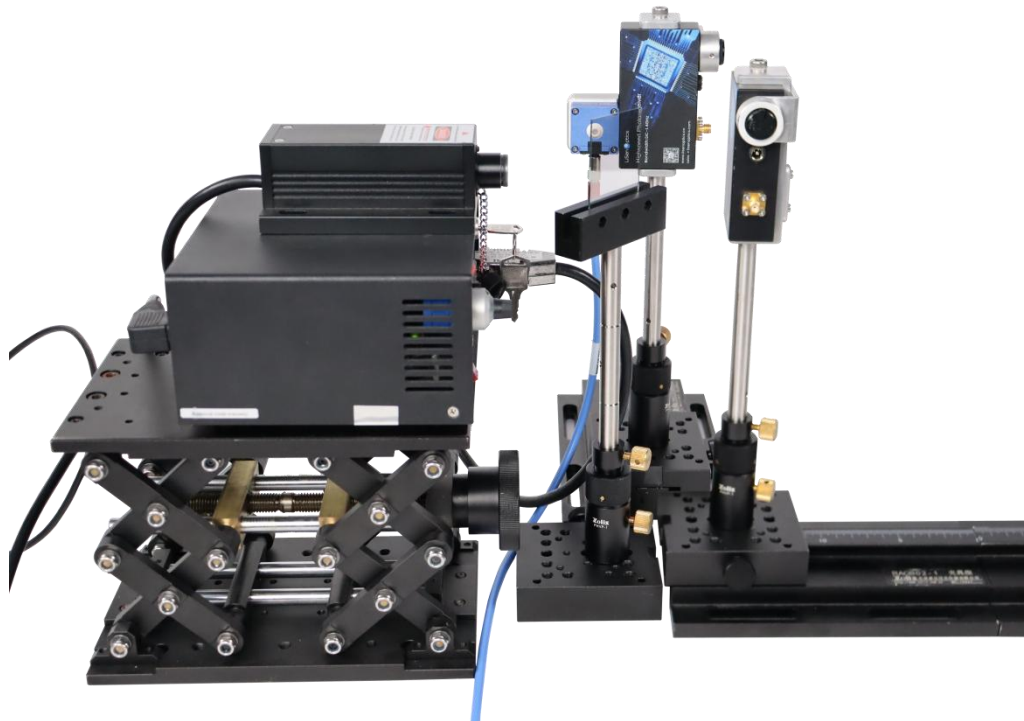
TOF 飞行时间法测量原理图 1

步骤 2:



TOF 飞行时间法测量原理图 2 (测试高速 PD 后移 30cm)

➤ 实物展示

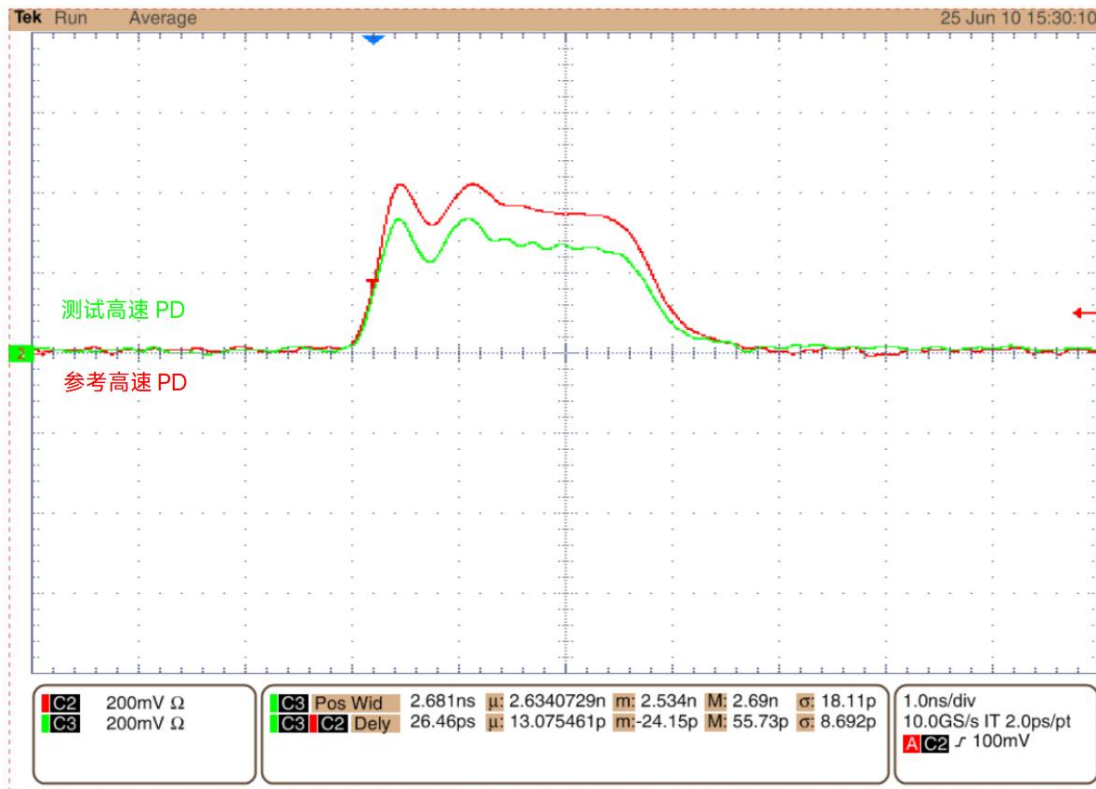


TOF 飞行时间法测量实物图 1

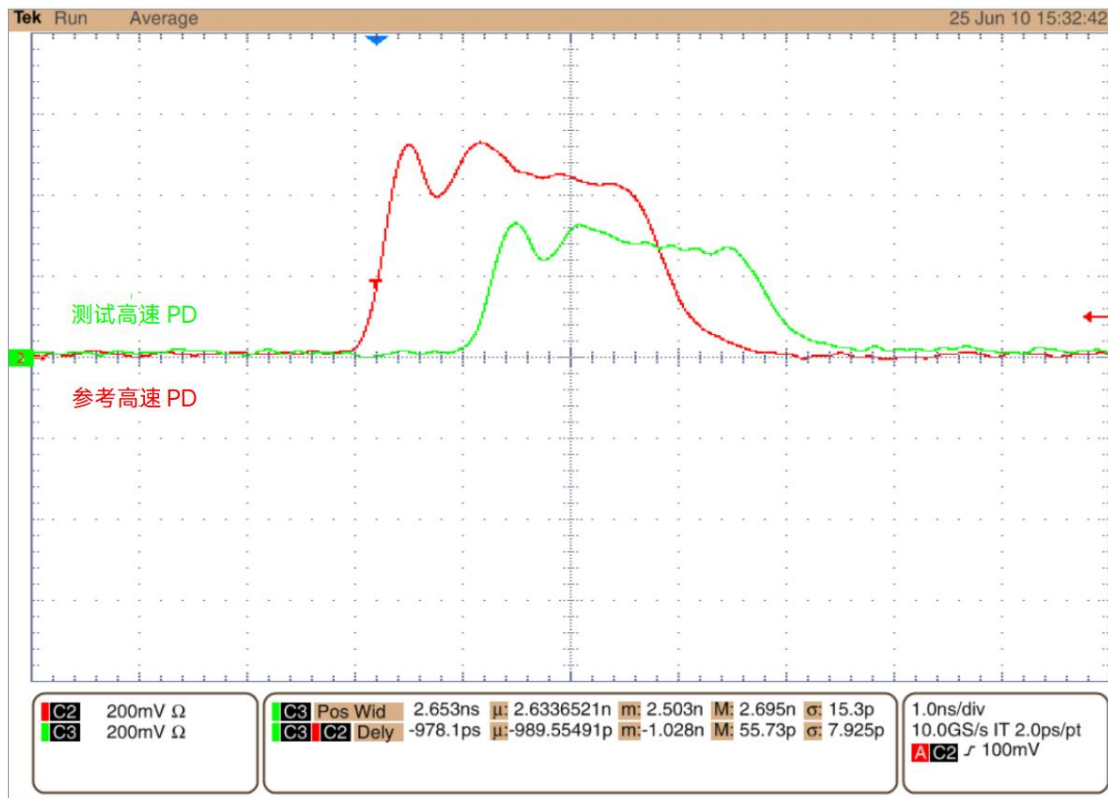


TOF 飞行时间法测量实物图 1 (测试高速 PD 后移 30cm)

➤ 数据说明



飞行时间测试-原始光路测试数据



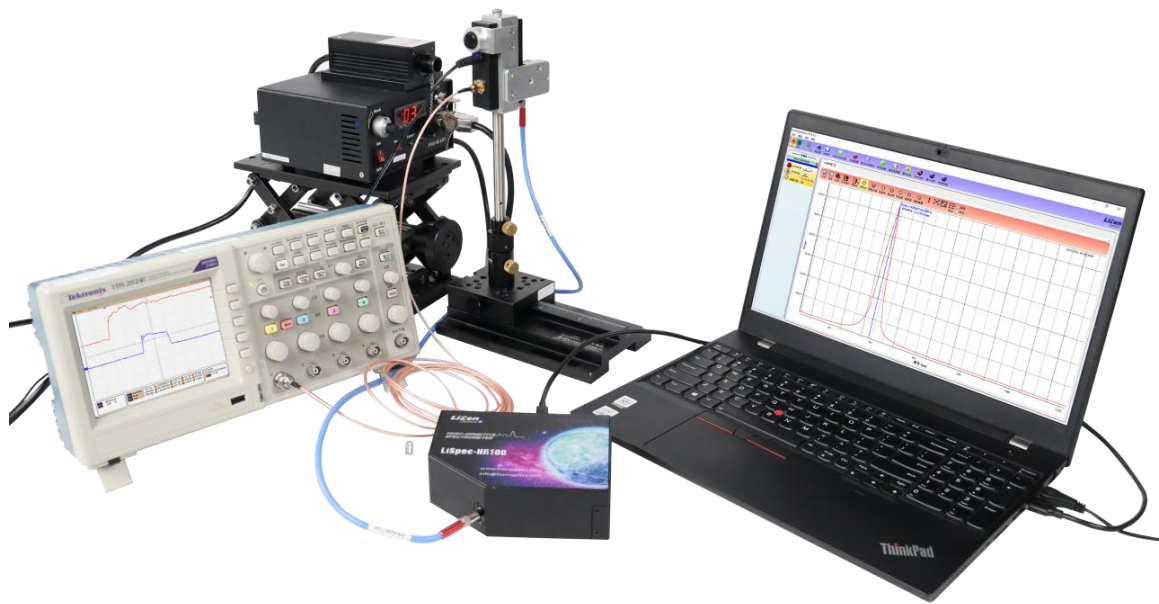
飞行时间测试-测试高速 PD 后移 30cm 后测试数据

在实际使用中，通常由激光发射器同时发射两束激光驱动脉冲。其中一束用于产生计时起始信号，时间测量电路接收到起始信号时开始计时；另一束驱动激光器发射激光至目标表面，由目标反射后回到回波检测电路并由回波检测电路产生计时结束信号，时间测量电路接收到计时结束信号时停止计时。最终根据时间测量电路计时结果并结合激光飞行速度计算距离。激光飞行时间测量值是测距误差的主要来源，所以高精度的探测器尤为重要。

莱森光学高速 PD 带宽范围 ≥ 1.4 GHz，可以检测从恒定光到高速上升时间低至 280 ps 的光信号，可以精确捕捉到飞行时间。高速激光光谱功率积分球测试仪由莱森光学专门针对高速激光雷达发射 VCSEL 激光测试而设计，不需要进行复杂的 LIV、PCE 功能测试分析和研发，该系统性价比高，且小型化、轻量化，小体积，方便安装，特别适合于工业用户和自动化集成厂商。

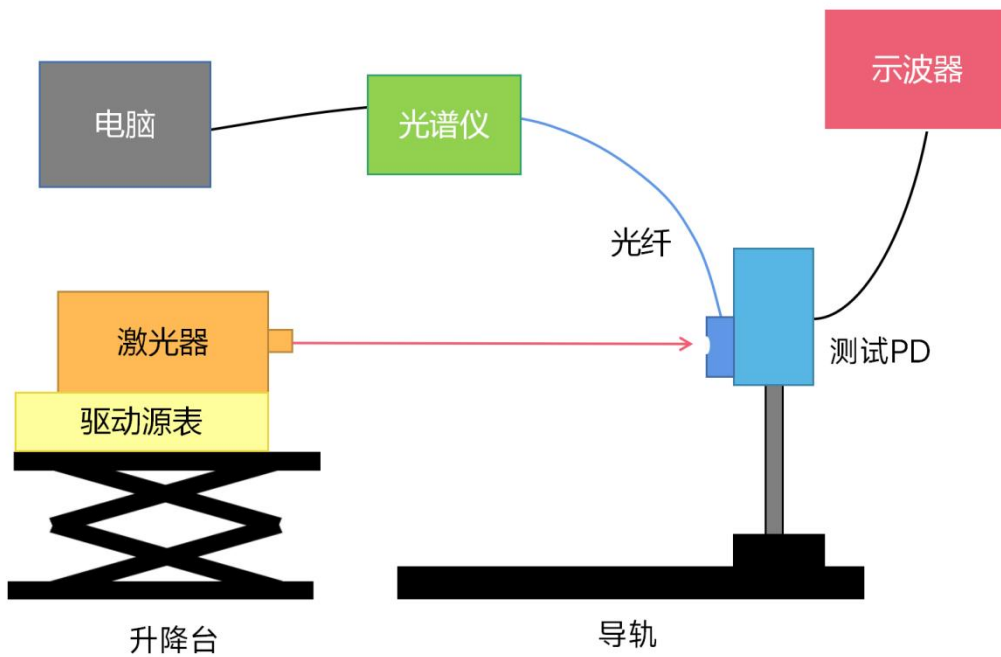
■ 高速纳秒级激光峰值功率测量

莱森光学高速 PD 带宽范围从 DC 到 1.4 GHz，可以检测从恒定光到高速上升时间低至 280 ps 的光信号，测试功率范围 3-1500mW，光谱范围 320-1000nm，可以检测 ns 级别的脉冲激光功率。高速激光光谱功率积分球测试仪由莱森光学专门针对高速激光雷达发射 VCSEL 激光测试，不需要进行复杂的 LIV、PCE 功能测试分析测试研发而成，该系统性价比高，特别适合于工业用户和自动化集成厂商。小型化、轻量化，小体积，方便安装。根据 VCSEL/LD 的发散角和输出功率要求，可选择不同规格的积分球，积分球内径尺寸分为：1/2 吋、1 吋、2 吋、4 吋、3 吋、6 吋、8 吋等。



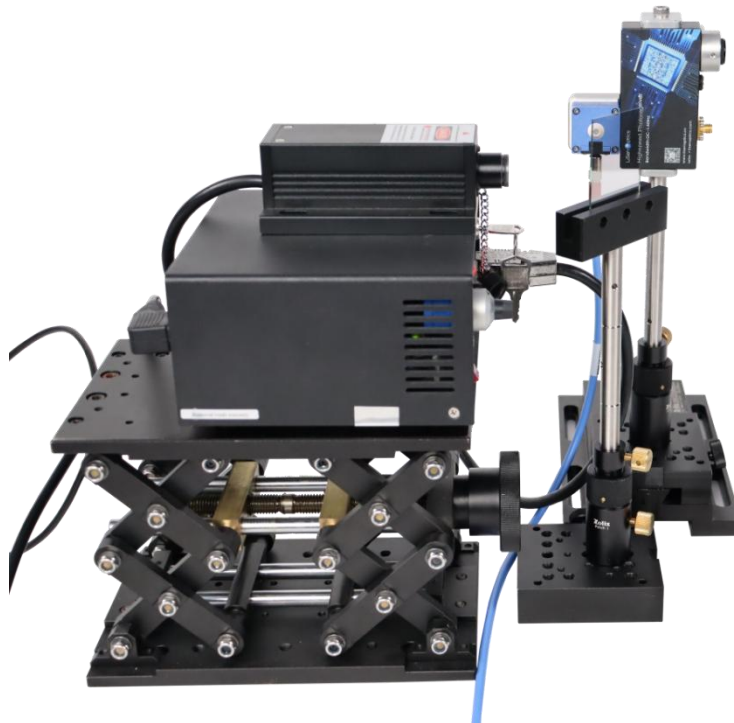
高速纳秒级激光峰值功率测量方案整体实物图

➤ 实验光路

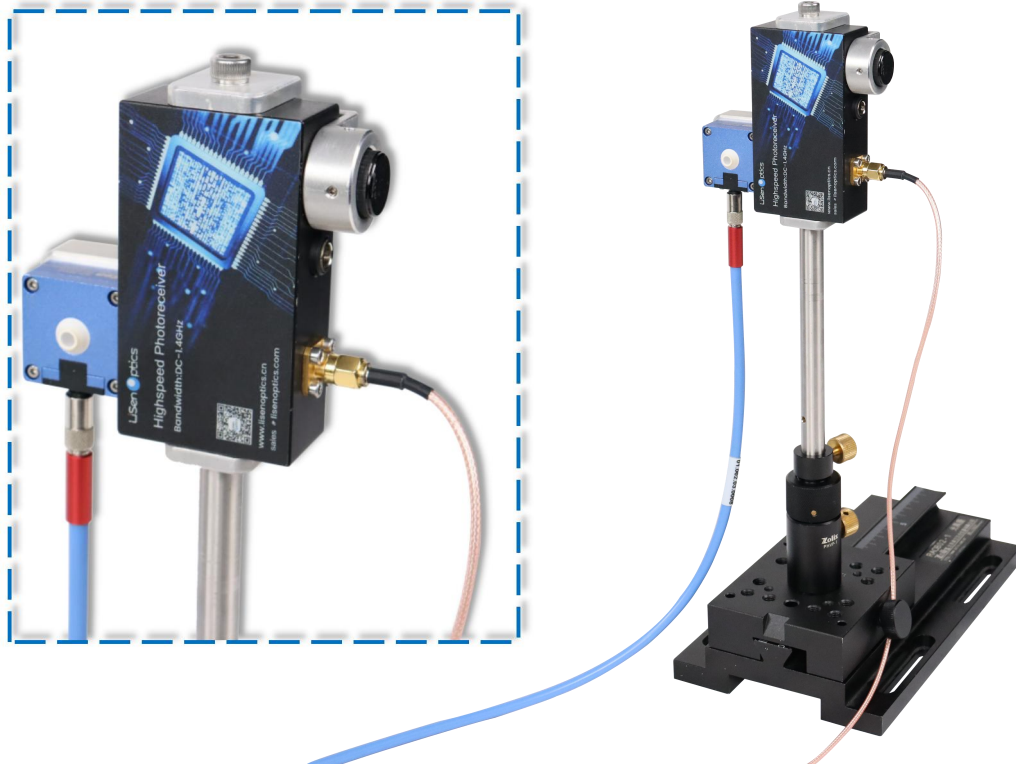


高速纳秒级激光峰值功率测量原理图

➤ 实物展示



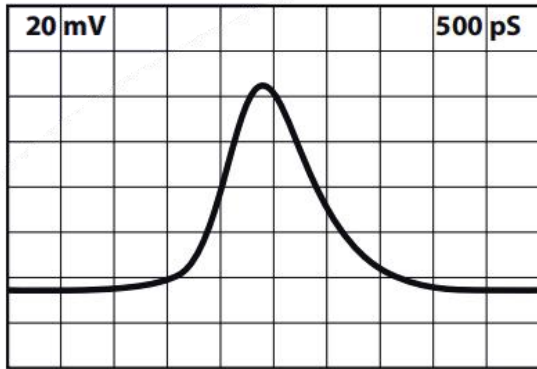
高速纳秒级激光峰值功率测量局部图



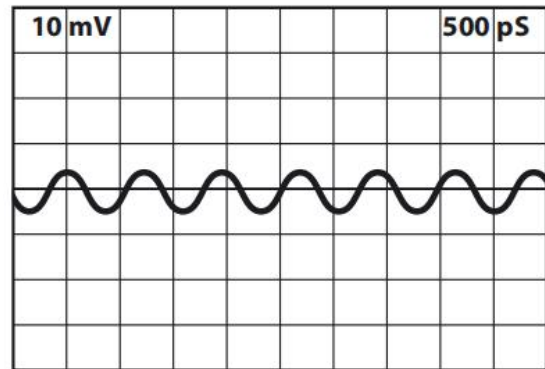
高速积分球功率探头局部图



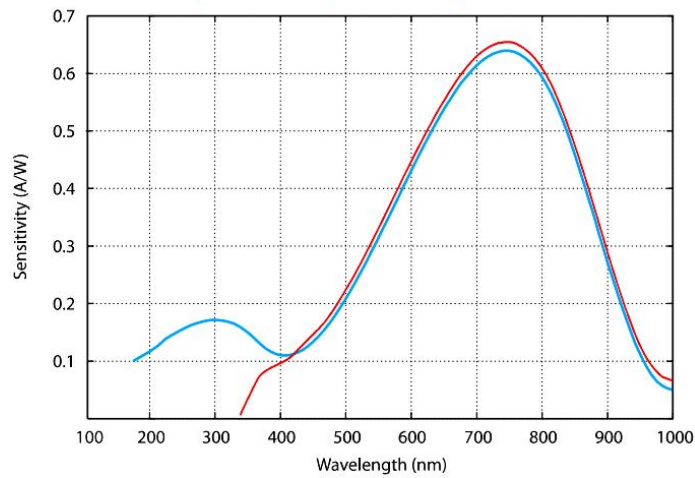
高速光电功率探头实物图



使用高速光电功率探头与1GHz 的示波器
进行高保真脉冲测量



He-Ne 激光器(633 nm)的纵模差频在高速光电
功率探头和1 GHz 示波器上的记录

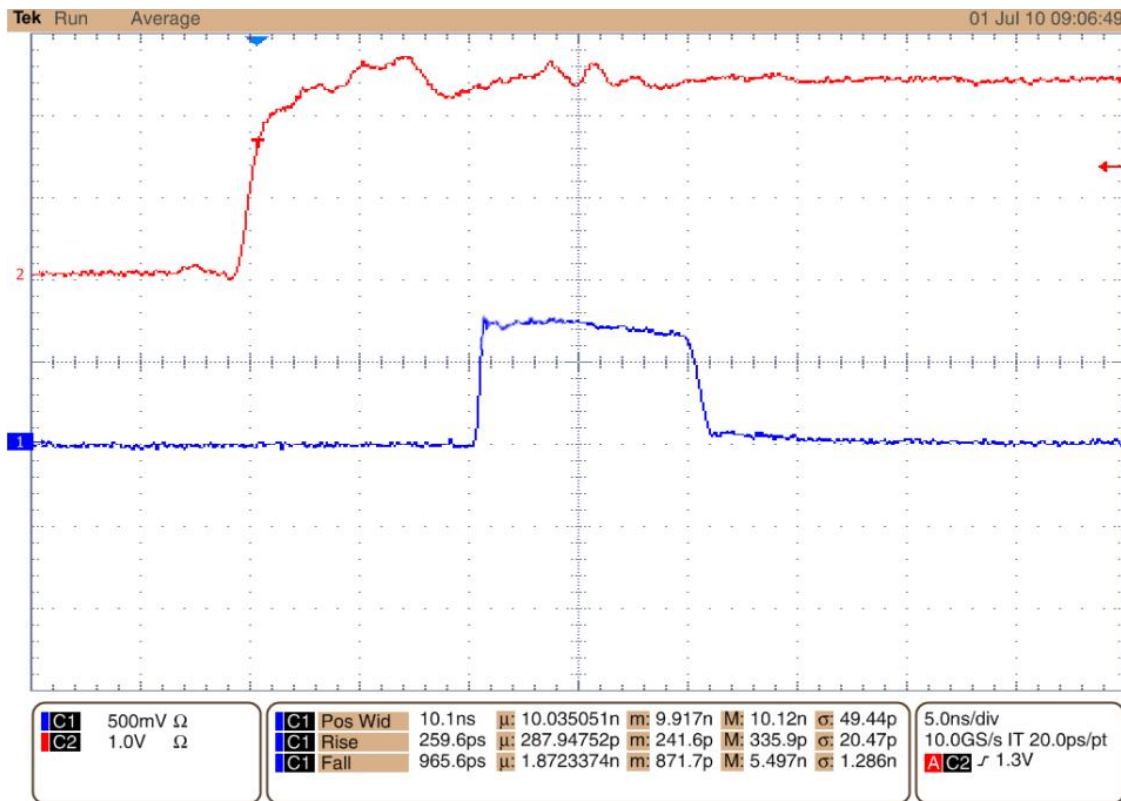


高速光电功率探头光谱响应曲线
(红: LS-HPD200-DS; 蓝: LS-HPD200-UV)

型号	LS-HPD200-DS	LS-HPD200-UV
上升沿时间	< 175 ps	< 175 ps
带宽	> 2.0 GHz	> 2.0 GHz
光谱范围	320 - 1100 nm	170 - 1100 nm
量子效率 (峰值处)	85%	85%
敏感区	400 / 0.126 μm / mm^2	400 / 0.126 μm / mm^2
噪声等效功率	1.5×10^{-15} W/ $\sqrt{\text{Hz}}$	1.5×10^{-15} W/ $\sqrt{\text{Hz}}$
暗电流	0.001 nA	0.001 nA
材料	Si	Si

光学入口/光窗类型	Diffuse, quartz	Diffuse, quartz
射频输出连接器类型	BNC	BNC

➤ 数据说明



峰值功率测试数据

➤ 方案技术参数

名称	技术参数	
高速 PD	波长范围	320-1000nm
	带宽	≥1.4GHz
	上升时间	≤280Ps
	传播延迟	≤750Ps
	功率量程	3-1500mW

积分球	尺寸	0.5-2 吋 可选
	采样口径	5-85mm 可选
	积分球是否支持远程操控	支持
	是否配 FC/SMA 转接头	是
光谱仪	光谱范围	200-1100nm (可选)
	波长精度	±0.1nm
	光谱分辨率 FWHM	0.1nm
示波器	带宽	6 GHz
	通道	4
	采样率	20 Gsample/s
	最大存储深度	2 Gpts
光路模块	导轨、升级台、分光镜、光学支架、光纤、底座、光学治具等	
驱动源表	脉冲电流表	

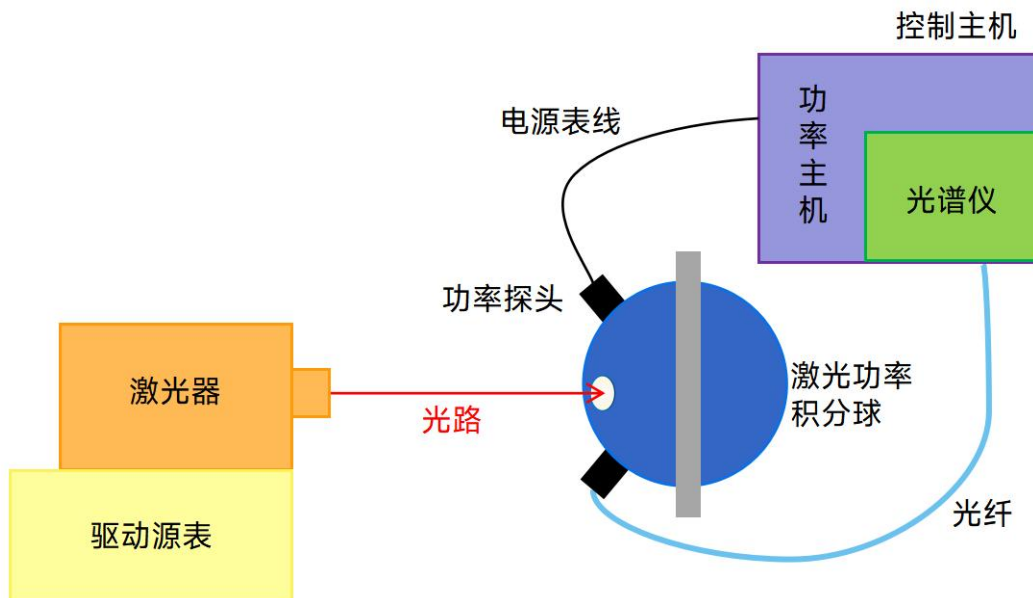
■ 平均功率测量

脉冲激光的平均功率可由脉宽、峰值功率、周期算出。在实现纳秒级激光功率测量的同时，它还可以集成 iSpec-VCS-IND 光谱功率积分球测试仪监测激光平均功率，比较高速 PD 与光谱功率积分球测试仪两者测量结果可以检验测量结果是否准确。

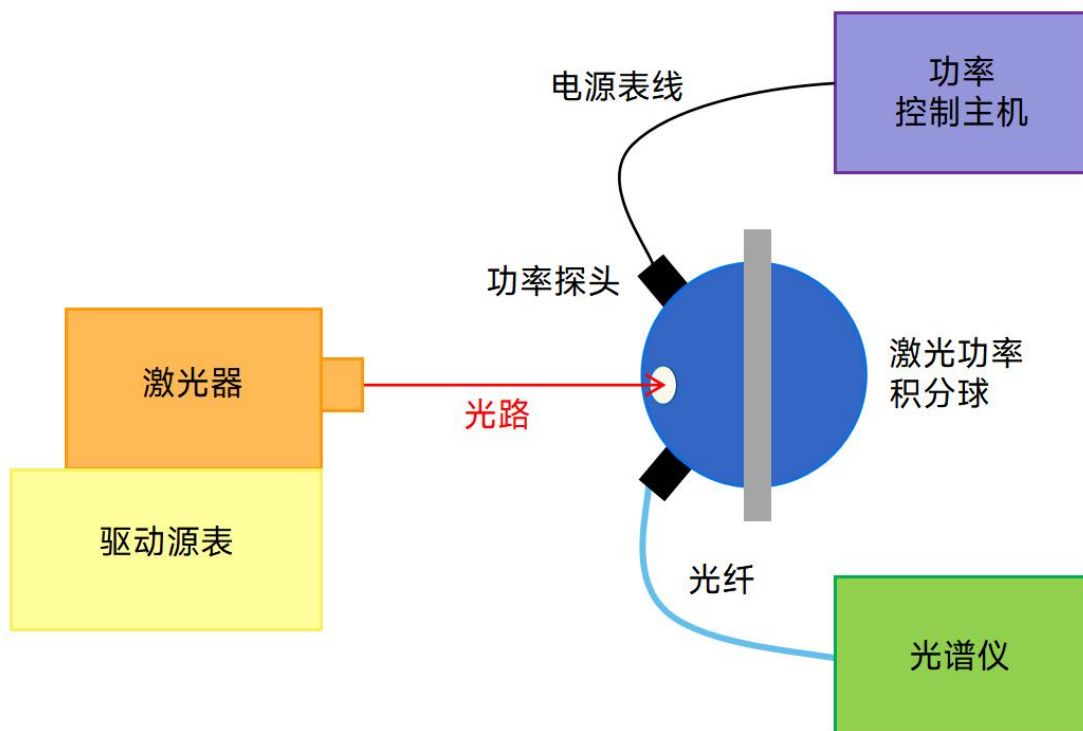
iSpec-VCS-IND 光谱功率积分球测试仪支持在线集成测量和机台集成商二次开发，可实现连续和脉冲激光功率（光谱峰值功率、平均功率）、光谱峰值波长、FWHM、占空比等功能的测量。可以设置采用频率，PD 和光谱仪触发同步测量。可选配温度控制模块，控温范围 5°C~95°C。同时配有 NIST 溯源标定，根据 DUT 发散角和功率大小，可选择 1 吋- 8

时不同尺寸激光功率积分球。

➤ 实验光路

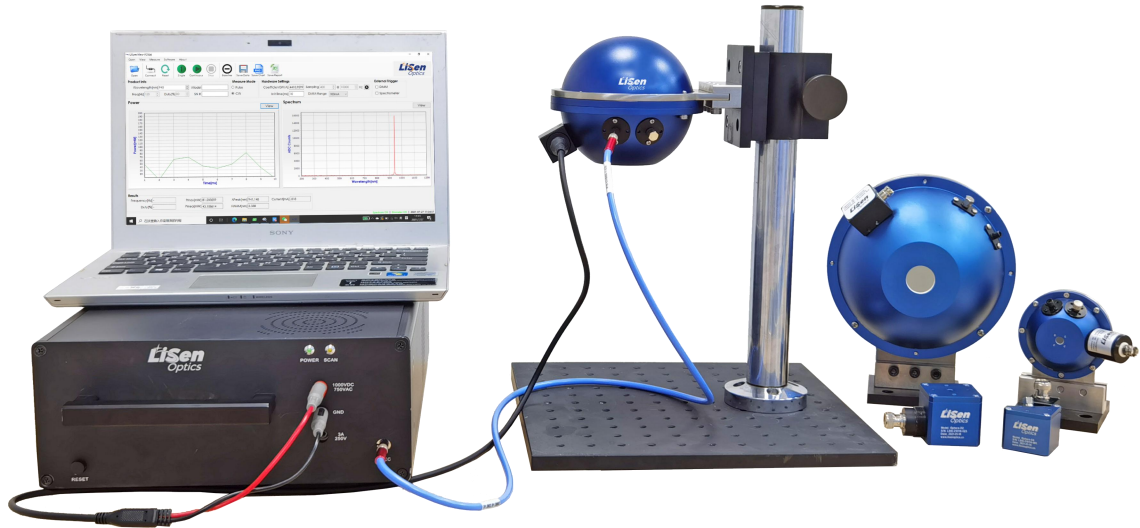


平均功率测量实验光路示意图 1



平均功率测量实验光路示意图 2

► 实物展示



一体式激光功率光谱测量仪



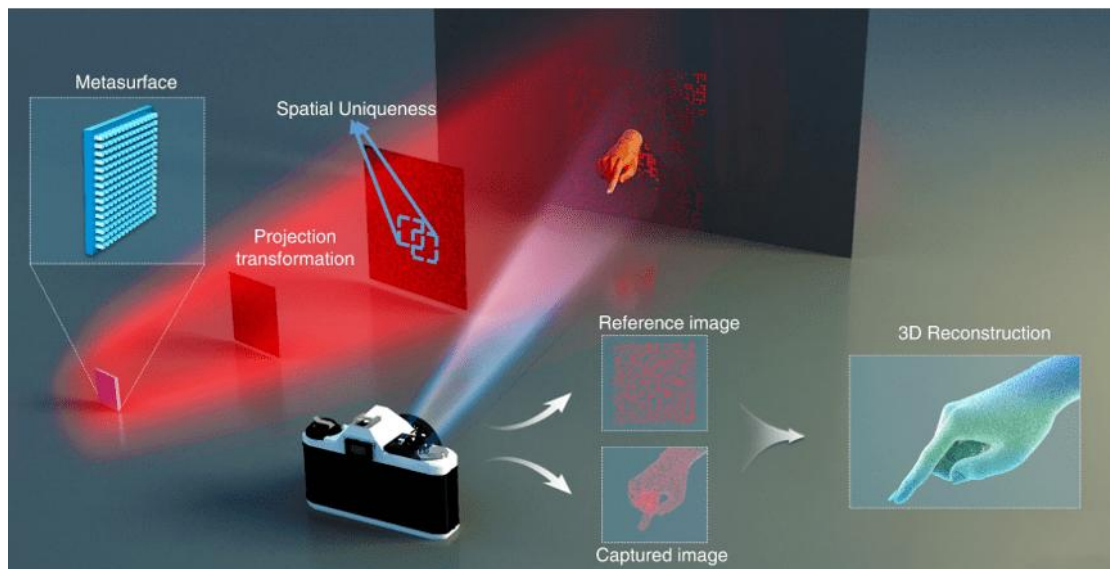
分体式激光功率光谱测量仪

> 技术参数

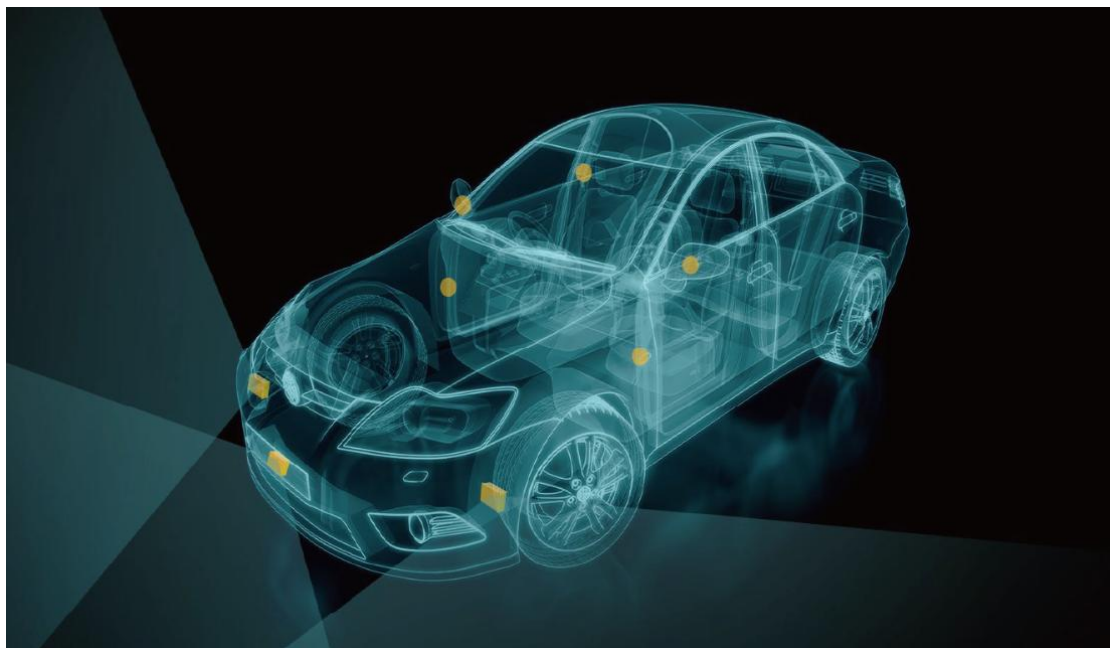
型号	iSpec-VCS-IND
功率测量范围	≤100W (更大范围可选配)
光谱仪光谱范围	200-1700nm (可选)
光谱仪分辨率 (FMHM)	0.1-0.3nm (800-1100nm)
功率光谱范围	350-1100nm/800-1700nm
功率准确性	≤1%@940nm
光谱波长准确性	±0.1nm (800-1100nm)
积分球	1 吋/2 吋/4 吋/6 吋/8 吋
最高采样速率	1MS/s
电流范围	10pA --20mA
最小分辨率	100pA
电流精度	±0.05%
AD 分辨率	16bit
温控温度范围	5°C-95°C (可选项)
控温精度	±1°C
控制接口	USB/GPIO/TRI
尺寸/重量	440*272*124mm /10.3kg

应用领域

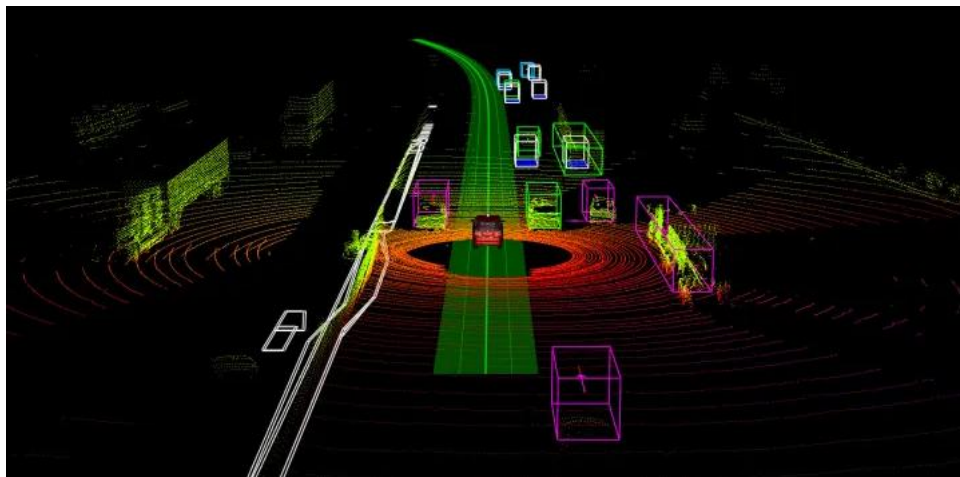
随着 VCSEL 芯片技术的成熟，以其作为核心元件的 3D Sensing 走入应用，在活体检测、VR（虚拟现实）/AR（增强现实）/MR（混合现实）技术、人脸识别、虹膜识别、汽车自动驾驶、智能设备的 3D 感测、3D 成像、物联网、数据中心/云计算、手势侦测以及机器人识别和机器人避险、自动驾驶辅助等应用领域得到发展。



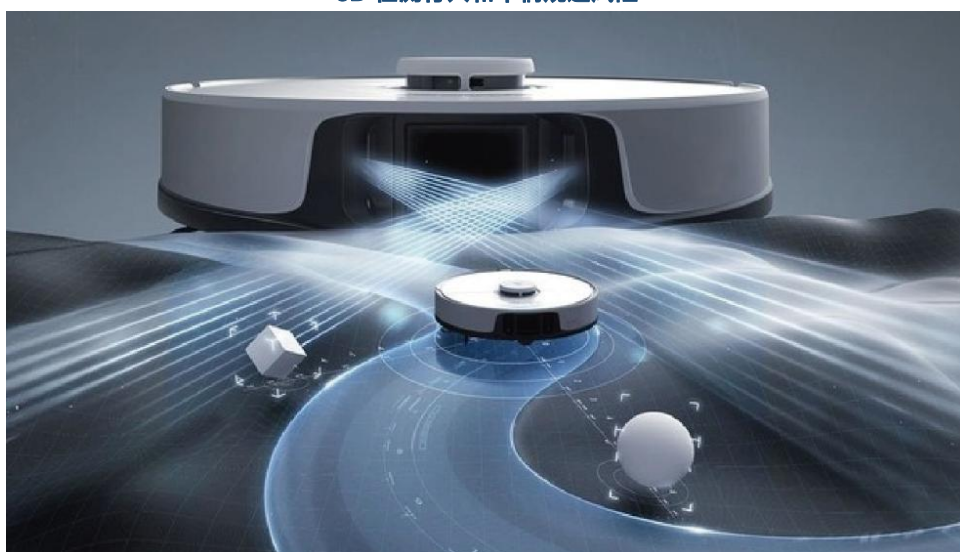
3D 成像



汽车自动驾驶



3D 检测行人和车辆规避风险



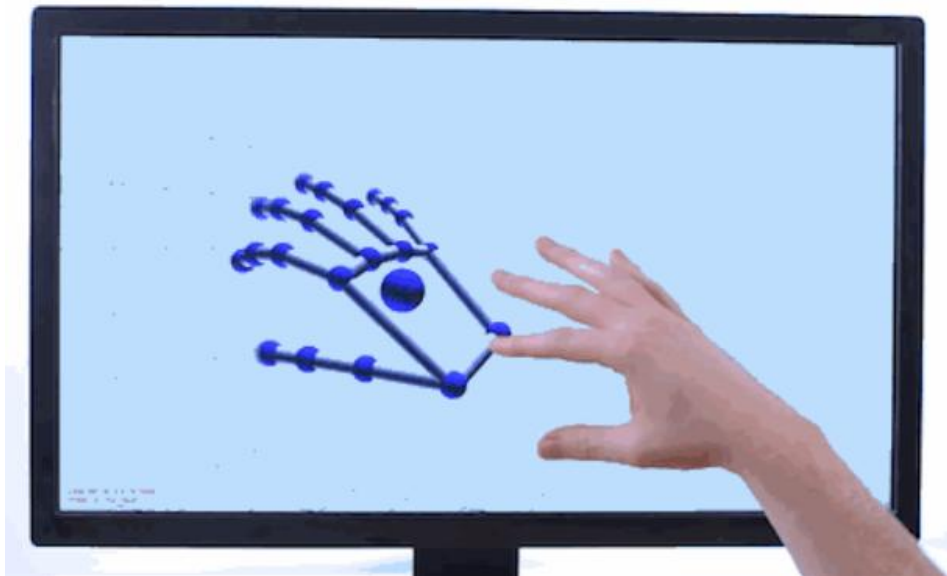
智能设备的 3D 感测-扫地机器人



人脸识别



虹膜识别



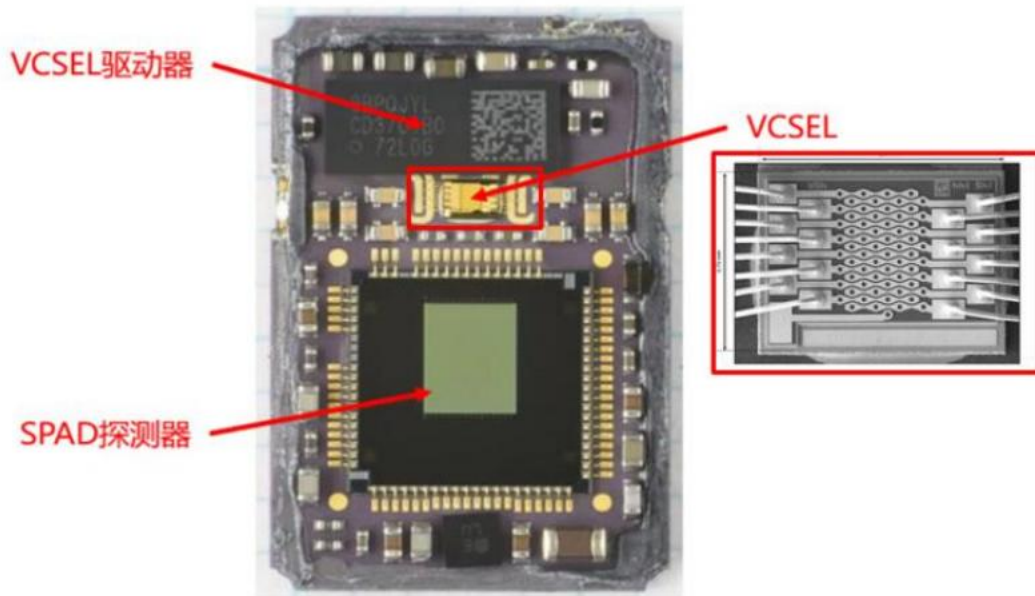
手势侦测



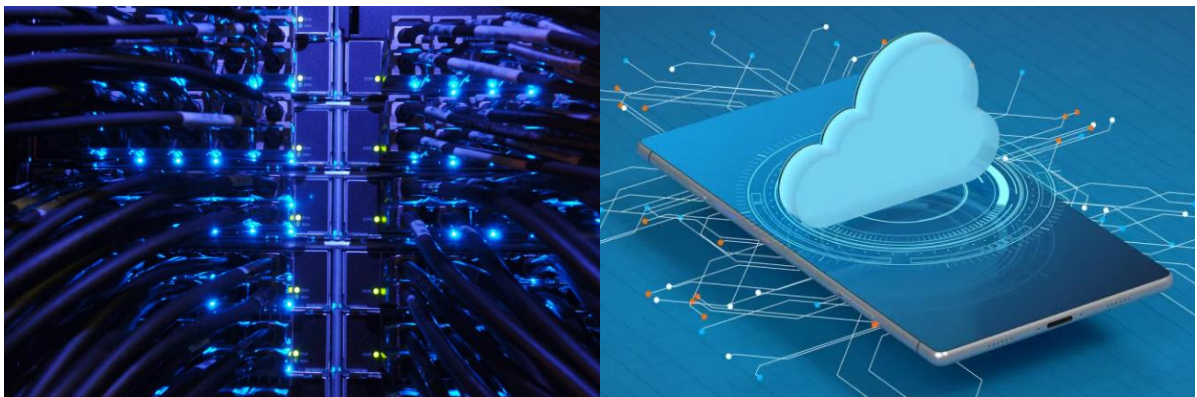
物联网-客流统计分析系统



VR (虚拟现实) /AR (增强现实) /MR (混合现实) 技术



苹果 iPad Pro 中的 VCSEL



数据中心/云计算



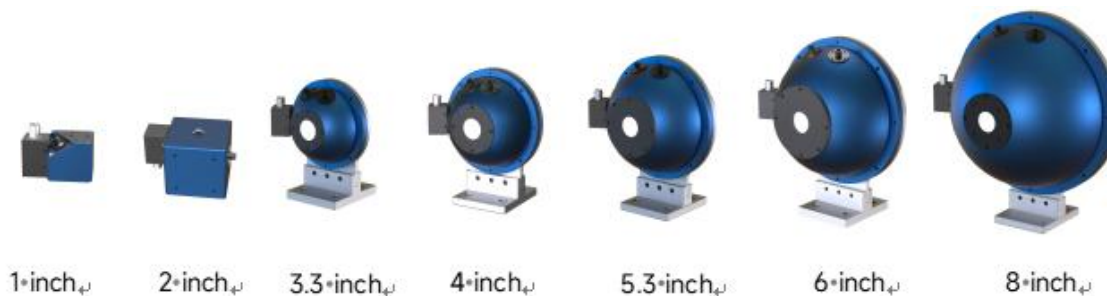
第一颗由量子技术控制的卫星计划于 2027 年发射到太空

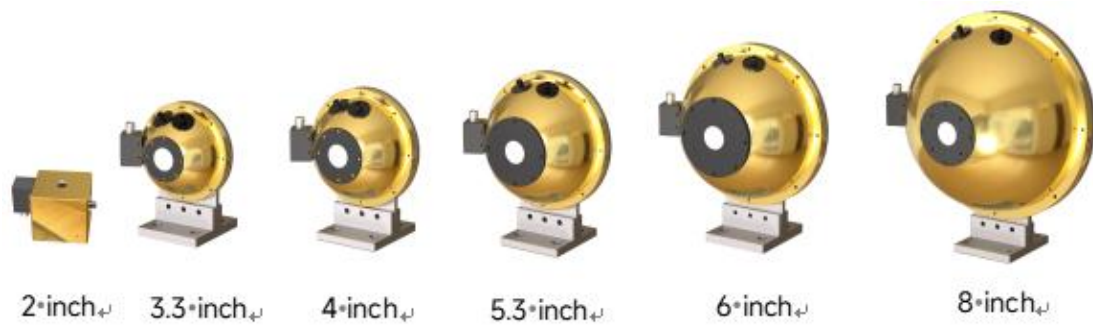
当我们进行 VCSEL-TOF 测量时，配件的选择同样不可小觑。整套解决方案的每个部分都和测量结果的可靠性和准确性密切相关。接下来我们就 VCSEL-TOF 测量解决方案光谱配件进行详细分析。

► **激光功率积分球：**

主要针对激光进行设计，是测量激光光辐射总功率的理想选择。得益于激光功率积分球独特的几何结构，激光束功率测量不会受到激光束的偏振和校准的影响。激光功率积分球能够满足用户在 VCSEL、激光功率测量、激光和激光二极管输出特性检测等应用方面的需求。

莱森光学激光功率积分球需要搭配莱森光学功率主机和 LiSpecView-VCS 光谱功率测量软件实现光谱功率测量，用户也可以灵活搭配自己的电流表进行功率测量。





➤ 高分辨率光谱仪:

LiSpec-HR 系列高分辨率光谱仪采用了 2048/4096 像元 CMOS 探测器，其独有的大焦距光学平台设计，使得信噪比更高，速度更快，可靠性稳定性好，更适用于高分辨率光谱波长的检测，同时结构紧凑、具有杂散光低及良好的热稳定性，最短积分时间可达 0.5ms 高速测量，抗干扰性能强

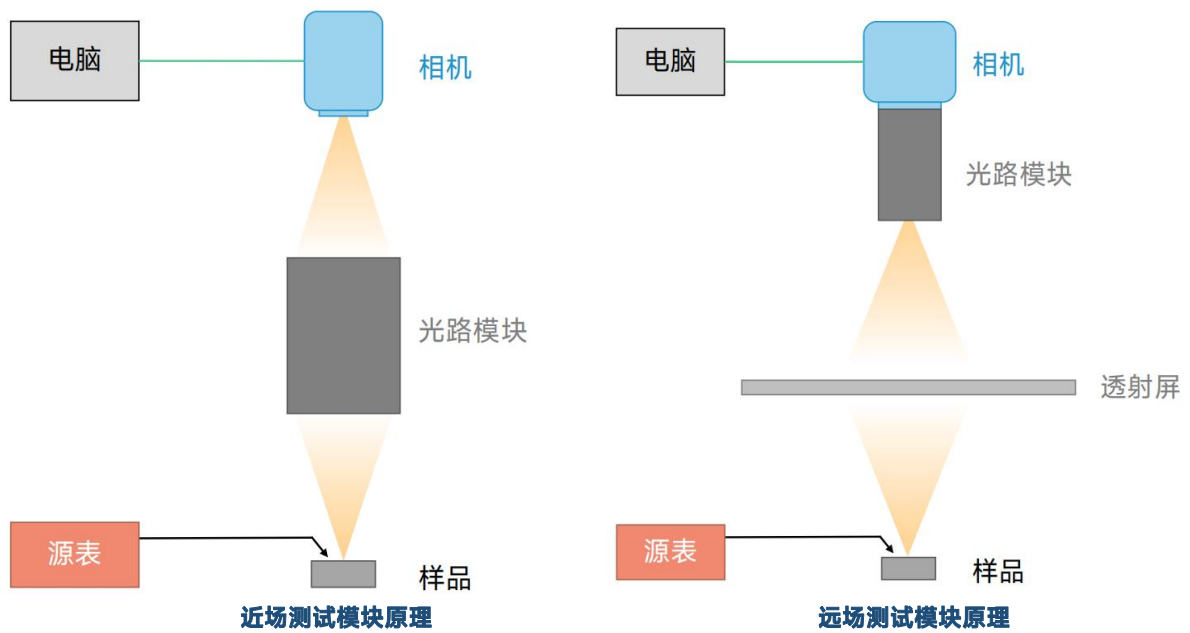
光谱仪可根据不同应用需求配置不同的光栅实现不同光谱范围应用，同时可以搭配不同光学附件以实现吸光度、透反射、荧光、LIBS、辐射测量等应用 CMOS 探测器正在逐步发展并替代 CCD，可以应用于激光和 LED 等光源波长的表征，等离子气体放电、LIBS 激光诱导、原子发射元素光谱测量等方面，非常适合工业和科研应用领域。



➤ NF 近场/FF 远场测试

NF 近场特性测试可实时监测光点数统计、坏点/异常点标记，各发光点光功率一致性统计、光束束腰直径、近场发散角、光束质量因子 M2；

FF 远场特性测试可测量光斑发散角和能量空间分布，进而计算光斑准直度和对称度，可测量光斑在不同距离的能量密度，用于激光安全性评价。



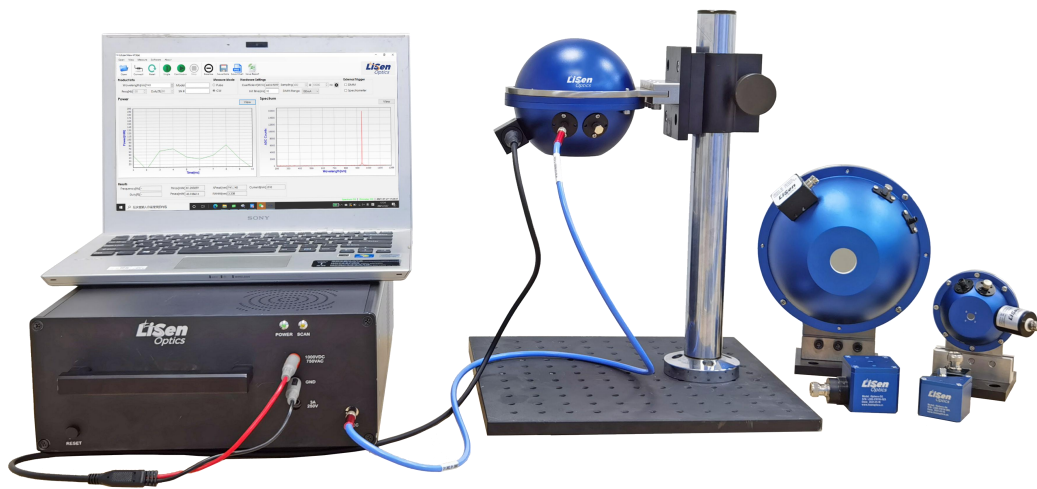
若您想对莱森光学关于 NF 近场特性测试/FF 远场特性测试的产品应用有更深入透彻的了解认识，可跳转以下链接进行阅读。

VCSEL/LD 近场测试系统: <http://www.lisenoptics.cn/vcsel/ldjccclxt/751.html>

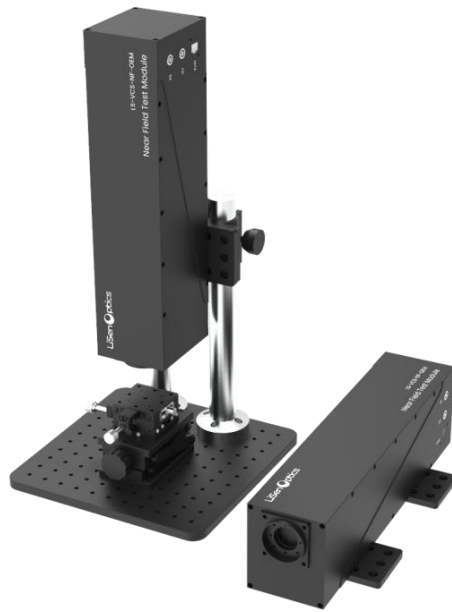
VCSEL/LD 远场测试系统: <http://www.lisenoptics.cn/vcsel/ldyccclxt/752.html>

推荐：**iSpec-VCS-IND 光谱功率积分球测试仪**

iSpec-VCS-IND 光谱功率积分球测试仪由莱森光学专门针对 VCSEL/LD 工作频率要求不高，不需要进行复杂的 LIV、PCE 功能测试分析测试研发而成，该系统性价比高，特别适合于工业用户和自动化集成厂商。

**LS-VCS-NF 近场测试系统**

随着物联网、AI、5G 技术的发展，VCSEL（Vertical Cavity Surface Emitting Laser，垂直共振腔表面放射激光）技术作为 3D 成像和传感系统的核心技术，目前在人脸识别、3D 感测、汽车自动驾驶、手势侦测和 VR(虚拟现实)/AR(增强现实)/MR(混合现实等应用领域越来越受到关注。LS-VCS-NF 近场测试系统是直接耦合成像镜头和光路模块的一体化设计，可实时监测光点数统计、坏点/异常点标记，各发光点光功率一致性统计、光束束腰直径、近场发散角、光束质量因子 M2 等。



LS-VCS-FF 远场系统

LS-VCS-FF 远场系统由莱森光学专门针对 VCSEL 远场测试研发，可测量光斑发散角、DIP（光斑中心凹陷）和能量空间分布，进而计算光斑准直度和对称度，可测量光斑在不同距离的能量密度，用于 EC-60825-2 激光人眼安全评测。

