


**激光应用天地 Laser Applications**
**激光测距**

# 激光传感器正步入大众消费应用领域

美国莱特太平洋公司编译

**近**年来，激光测距市场一直都在持续增长。人们最早研发激光传感器是用于军事和工业领域中的高端应用，现在激光传感器已经进入大众消费领域，价格也不再像以前那样昂贵。在激光测距应用中，最核心的部件是价格便宜的高性能激光二极管和光电二极管。

人们在自然界中就可以观察到非接触式测距和定位应用。一个众所周知的例子就是蝙蝠可以在完全黑暗的环境中导航，确定位置和方向。它们使用回波定位和回声测距，从背反射回来的信号中提取出障碍物的方位和距离信息。

受此启发，科学家开始研究如何将这种技术应用于人类。比如将定位系统应用在机器上或服务于盲人。VISTAC 研发出一套很有创意的产品——激光辅助白手杖（见图1）。手杖中带有激光传感器，其中包含激光二极管和探测器。激光辅助白手杖方面携带，可以帮助有视觉障碍和失明的人。

单靠移动手杖，没有办法发现盲



图1：定位系统——激光辅助白手杖。



人头部或上半身的前方的障碍物。而手杖上面的激光二极管可以发射发散的激光光束，如果盲人头部或上半身的前方有障碍物，光束就会反射回来，手杖上的探测器探测到这些背反光，传感器模块就会震动，告知盲人前方有障碍物。就像上面提到的自然界中蝙蝠的例子，空间方向是否可以行走就可以确定了。

该技术还应用到了汽车工业领域，用于辅助驾驶更加方便、安全。据统计，仅2005年一年，在欧洲就有4万多人死于车祸。为此，欧洲委员会发起 e-Safety 计划，目标是到2010年将上述车祸死亡人数减少一半。为了提高驾驶安全性，辅助驾驶系统中增加了许多功能，如车距提醒（见图2）、车道协助和紧

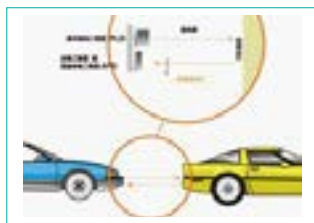


图2：汽车辅助驾驶系统——测量距离和相对速度。

急制动系统等，例如在距离其他车辆太近的时候，就会启动紧急制动。这些功能可以告知实时的周边环境、提前预警、协助停车，大大提高了驾驶的安全性。

如何使用先进的激光测距技术，实现长达几千米非接触式测距？通过一个小型、便携设备或集成了测距仪的观察镜或双筒望远镜即可实现。这种系统已经在生活中获得了具体应用，如高尔夫球手使用这些系统来提高标准杆数，猎人也可以用该系统更好地瞄准目标。测距仪内部的半导体激光器功率非常低，属于人眼安全的1级激光，因此使用者不用担心眼睛会受到伤害。

激光测距的基础是根据时间渡越（time of flight, TOF）原理进行光学测距。这种非接触式方法可以测量几个厘米到几千米的距离和速度。

## 激光测距工作原理

激光测距的工作原理是时间渡越。时间渡越法测量的方案如下：经过调制的脉冲激光，经透镜准直后发射。记录下反射回来的激光回到测距仪的时间，由此可确定光束的传输时间  $\Delta t$ ，光速  $c$  是已知量，需要测量的距离便可计算得到，即

$$l = \frac{c \cdot \Delta t}{2 \cdot n}$$

其中， $n$  为周围环境介质的折射率。

渡越时间测量法的优点在于反应





Laser Applications 激光应用天地

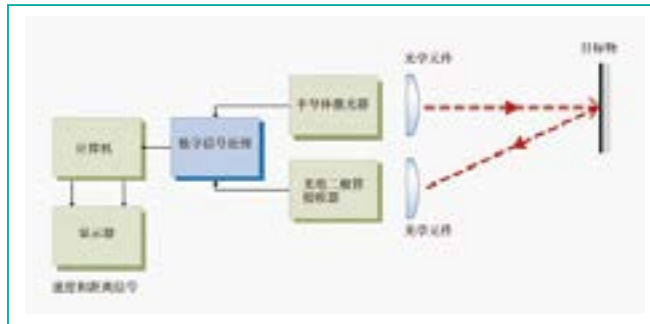


图3: 时间渡越方法的工作原理。

快, 响应时间很短。渡越时间法可以用于测量从1米到几千米范围的距离。这种方法的缺点是需要很短的时间 (ns 到 ps) 内完成测量, 很难达到厘米精度的分辨率。为了简化测量方案, 一般采用调频激光或高频信号调制的激光光束。

**发射光源: 激光器**

常见的激光二极管都是连续激光输出, 输出功率从几毫瓦到几瓦。这种激光二极管只能很有限地承受过载驱动, 如果输出光功率超过最大值, 就算只持续很短的时间, 也会破坏激光二极管的内部谐振腔。

脉冲激光二极管 (Pulsed Laser Diodes, PLD) 是专为短时间、强烈过载驱动脉冲设计的, 因此最适合用于渡越时间测量。为了达到这样的峰值功率水平, 二极管必须工作在非常低的占空比条件下, 一般占空比是 0.1%。例如, 一个 100ns 脉宽的脉冲后面紧接着有 100μs 的时间是不出光的。要达到千赫兹的脉冲频率, 要求脉冲持续时间很短。总的来说, 脉冲激光二极管实现了上升沿时间很短的、脉宽几十纳秒的脉冲。为了得到这样的脉冲, 必须有强电流脉冲驱动二极管, 电

值应该为几安到几十安。要得到这么强的电流脉冲并不容易, 除了需要其他元件外, 还要有特制的开关晶体管, 导线长度也不能太长。

发射波长是选择 PLD 的一个重要指标。根据激活层采用的不同材料, 可以发射不同的波长。从激光测距在消费、工业和汽车领域的应用来看, 905nm (人眼不可见) 的脉冲激光二极管已成为标准选择。硅探测器在这个波段的响应度最高, 因此其已成为最合适的接收器。

**“多结”技术**

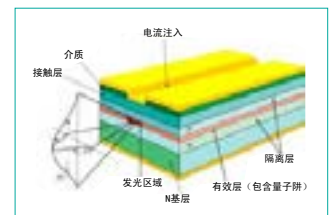
905nm 激光二极管采用的是 AlGaAs 材料。AlGaAs 材料结构可靠性好, 光束特性优异, 温度稳定性佳。单个发射极就可以达到 40W 的输出功率, 效率约为 1W/A (见图 4a)。

如果需要更高的输出功率, 则需要用到“多结”技术。这项技术是 Laser Components 研发成功的。将几个发射极外延叠放在一个芯片上, 相邻两个发射极之间的距离只有 4μm, 这样一个二极管就可以实现 75W 的输出功率。优化发射极的堆栈结构设计, 可以得到更高的峰值功率 (见图 4c), 如峰值功率 220W、脉宽 100ns 的激光输出。如果脉宽更短些, 峰值功率

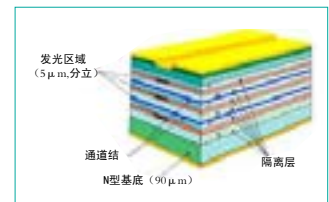
还可以超过 400W。

除了波长和电光参数以外, 稳定性是选择 PLD 的另一个重要指标。与其他光源 (特别是半导体激光器) 一样, 光源的使用寿命取决于其工作环境。对于脉宽足够短 (几个 ns) 或重复频率不高的 PLD, 可以承受极大的过载驱动, 不会损坏 PLD。PLD 在军事领域中的应用, 如弹药光学点火, 只需要单个激光脉冲。但是工业应用 (如安全扫描器) 常常需要常年工作在每天 24 小时、每周 7 天的工作状态下。

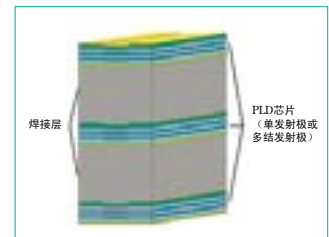
对于 905nm PLD 的平均无故障时间 (MTTF) 的计算, 一般使用下



a) 单发射极结构;



b) 多结芯片结构 (3个发射极);



c) 堆栈结构 (3个芯片)

图4: PLD结构图。





## 激光应用天地 Laser Applications

面来自多年测量的经验公式:  $MTTF = k \times \{P/L\}^{-6} \times t_w^{-2} \times F^{-1} \times f(T)$  其中:  $P/L$  (mW/ $\mu$ m) 为光学峰值功率 / 发射极的尺寸;  $t_w$  (ns) 为脉冲宽度;  $F$  (kHz) 为重复频率;  $f(T) = 1 @ 25^\circ\text{C}$ , 为倍增因子, 取决于外壳的温度;  $k$  为常数, 取决于激光发射极材料 (对于 Laser Components 公司的 905nm PLD,  $k=1.7 \times 10^{21}$ )。

集成 PLD 芯片的外壳对该 PLD 的性能和稳定性也很重要。直到现在, 那些要求低成本的应用仍然仅限于塑料封装的 PLD。Laser Components 公司推出了 905DxxUA 系列 (见图 6) PLD, 其采用金属 TO56 封装, 属于高端 / 低成本产品。根据不同的型号和芯片结构, 峰值功率范围为 5 ~ 75W。采用金属封装具有如下明显的优势:

- 玻璃窗片有助于改善发射激光的光学特性
- 能非常精确地固定芯片在封装外壳上的位置
- 优异的热稳定性
- 可靠性高
- 可以承受过载驱动
- 弱电感, 能实现很短的上升沿时间

### 接收器

为了探测 PLD 发射的短脉冲激光, 激光测距仪中通常采用 Si PIN 光电二极管或雪崩光电二极管 (APD) 作探测器, 其响应范围覆盖 400 ~ 1100nm, 最大响应波长约 900nm。使用寿命并不是这些元件主要应该考虑的因素, 如果使用得当, APD 几乎不会老化。

传统的 PIN 光电二极管接收入射的光子, 形成电子 - 空穴对 (电荷

载流子), 得到可测量的电流。因此, 入射光子的能量被转化为电能。而 APD 在各个方面都更进一步。与常规的 PIN 光电二极管不同, 光子入射 APD 后, 形成雪崩的电荷载流子。因此, 雪崩光电二极管可以极大提高响应灵敏度, 但其前提是需要加载偏压, 扩大耗尽区。在这个耗尽区中, 入射光产生的电荷载流子经过电场加速, 通过碰撞电离, 产生更多的电子 - 空穴对。由此产生的电流可以计算如下:

$$I = R_p \times M \times P_i$$

其中,  $R_p$  (A/W) 为 APD 的光谱灵敏度,  $M$  为内部增益;  $P_i$  (W) 为入射光功率。APD 的增益取决于加载的偏压 (见图 5)。

### 选择 APD 还是 PIN 二极管

比较 APD 和 PIN 二极管的性能, 单是简单地对比噪声特性是不够的, 起决定性因素的是整个系统的信噪比。因此, 判断一个 PIN 二极管的性能时, 同时也要考虑相应的前置放大器。PIN 二极管和前置放大器, 哪个器件的噪声特性起作用, 取决于频率。只要 APD 可以明显提高信号, 而不显著增加整个系统的噪声, APD 的性能总是比 PIN 二极管更好。探测中、高频的弱光时, APD 是首选。

为了避免 APD 影响系统噪声, 需要控制内部增益, 使得探测器的噪声约等于其后的放大器或电阻的输入噪声。

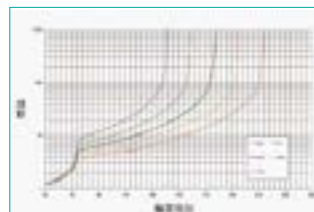


图5: Si-APD (500  $\mu$ m) 的增益与电压和温度曲线。

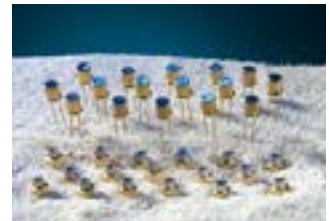


图6: PLD和集成905nm带通滤光片的APD。

与带有前置放大器的 PIN 二极管相比, APD (带有 10-1000 内部增益) 可以将信噪比提高 2 ~ 5 倍不等, 这取决于不同的应用。增加系统带宽会增加 APD 和 PIN 二极管的噪声。因此, 用户应认真权衡所有选择, 减少带宽。

为了降低环境和杂散光带来的噪声, 可以在接收端增加一个合适的带通光学滤光片。Laser Components 公司也在提供这方面的高端 / 低成本产品。SARF500F2 非常适合与 905nm 脉冲激光二极管配合使用。SARF 系列 (见图 6) 采用了一个 905nm 的带通滤光片, 集成在很小的 TO 封装外壳中。230  $\mu$ m 和 500  $\mu$ m 的 APD 芯片都在 905nm 处做了优化, 保证最佳的性能。直接将滤光片集成于封装外壳中的优点在于: 无需在外部另外组装滤光片, 既减少了成本、缩小了尺寸, 还使系统在 905nm 波长测量做了优化。带有滤光片的 APD 一般采用改装的 TO46 封装或 SMD 封装。

### 总结

激光传感器的应用持续增加。基于时间渡越原理的激光测距仪, 已经开始采用高端 / 低成本的组件。这样的高端 / 低成本组件包括金属封装的脉冲激光二极管和集成带通滤光片的雪崩光电二极管。□

