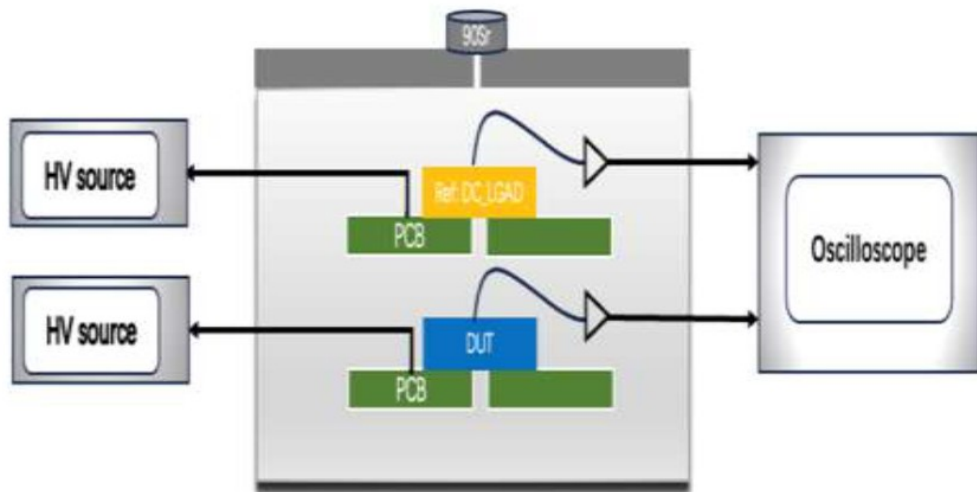


1. 什么是“符合”测试，为什么要进行符合测试，为什么时间分辨率的测量要用符合信号来测量？

符合测试是指利用两个或多个探测器（例如参考探测器 Reference 和待测器件 DUT）在极短的时间窗口内，同时或满足某种关联记录到同一个粒子信号的测试方法。

例如课件提及的源望远镜法测试中，真实的带电粒子会依次穿过上下排列的多层探测器。



β 望远镜测试原理图（DUT为待测LGAD样品）

2. 由于朗道效应，真实的粒子在器件中的能量沉积不均匀，对于同一个粒子在两层上下排列的两层探测器产生的信号，在进行符合信号来统计时间分辨率时，应该怎么样消除能量沉积不均匀的因素。

什么是朗道效应：

朗道效应是指高能带电粒子在穿过薄吸收介质（如薄硅传感器或气体电离室）时，由于电离库仑碰撞的随机性，导致其能量沉积（能量损失）表现出极不均匀且非对称的统计涨落现象。

怎么消除信号幅度不一致带来的误差：

首先要了解能量沉积不均匀会怎样引入误差，主要在以下两个方面：

(1) 时间走动效应：如果使用传统的固定阈值触发，幅度大的信号会较早越过阈值，幅度小的信号会较晚越过阈值，从而在时间统计上引入了极大的固有时间偏差。

(2) 固有朗道涨落项：电荷沉积位置和密度的随机性导致电流波形形状发生微小畸变。

而消除能量沉积不均匀的核心方法，有以下四种：

(1) 恒比定时技术：这是硬件电路或数字化算法中最经典、最有效的消除幅度不一致误差的方法。

原理：CFD 不再使用固定的电压值作为触发阈值，而是将触发点设在信号最大幅值的固定百分比（通常设为脉冲峰值的 20%-30%），从而避免时间走动效应。

实现方法：将原始信号按比例衰减（例如乘以常数 f ），同时将另一路原始信号反转并延迟时间 t ，最后将两路信号相加。相加后形成的波形过零点在理论上与信号的绝对幅度无关。即使朗道效应导致两层探测器的信号幅度大相径庭，CFD 也能确保在相同的相对位置提取到时间戳，从而完美消除误差。

(2) 离线波形分析与时间走动修正：在使用高采样率示波器记录下完整的激

光粒子信号波形后，可以通过离线算法进行精确修正。

(3) 利用薄耗尽层器件设计（如 50 μm LGAD）：主要是缩短上升时间，课

件中有提到 LGAD 的耗尽层厚度设计得 $\text{Jitter effect } \sigma_{\text{jitter}} = \frac{N}{dV/dt} \propto \frac{t_{\text{rise}}}{S/N}$

非常薄，这使得信号的上升时间非常快，这使得我们可以抑制抖动和走动，由公式

当上升时间极短时，由朗道效应引起的幅度变化在时间轴上引发的绝对位移（走动误差）和噪声引起的抖动都会被成倍地压缩。

(4) 两层探测器时间求和均值法：对于同一个粒子连续穿过垂直排列的两层

完全相同的探测器（探测器 1 和探测器 2），尽管单层探测器受朗道涨

落影响导致误差较大，但粒子在两层介质中的能量沉积过程在统计上是

相对独立的，如果系统能够同时读出两层的时间 t_1 和 t_2 ，在重建粒子径

迹时采用平均时间作为该探测器的到达时间，根据误差传递公式，该组

合的时间分辨率变为单层的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ ，从而在统计层面削弱了单层由于能量沉

积不均匀带来的偶然性极端误差。

3. 安装 claudecode，建议使用 deepseekapi，可以充值五块钱，写一个小游戏程序玩一下

```
Claude Code v2.1.158
deepseek-v4-pro[1m] · API Usage Billing
~\Desktop\code\cc

Opus 4.8 is now available! · /model to switch

> |

? for shortcuts · ← for agents ● high · /effort
```

