

科创作业5

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？

(1) 符合测试是粒子探测领域核心的信号甄别技术，依托符合电路、多探测器列阵与电子学时间窗。对两个及以上探测器输出的脉冲信号做时间关联性的判定。

在 LGAD 传感器测试（源望远镜法、激光 TCT 测试）中，通常采用双层 / 多层探测器架构：设定一个皮秒 / 纳秒级的固定时间窗口（符合分辨时间），仅当所有探测器的信号到达时间差落在该窗口内时，系统才判定为有效符合事件并记录；信号时差超出窗口、仅单个探测器触发，均判定为随机本底、噪声或无关粒子，直接剔除

按照事件来源可分为**两类**：

真符合：信号来自同一个高能粒子（MIP）或同一物理过程（如衰变、激光模拟粒子电离），具备天然时间关联，是实验需要的有效事件；

偶然符合：两个独立的本底噪声、宇宙射线、环境辐射恰好同时触发探测器，无物理关联，属于需要抑制的假事件。

结合 PPT 中的望远镜测试系统：实验布置参考探测器（Ref）与待测 LGAD 器件（DUT）组成双层探测阵列，粒子先后穿过两层器件，两路信号会进入符合单元完成筛选，这也是 LGAD 时间分辨率标定的标准架构。

(2) 标定不同偏压、阈值、电荷量下的器件响应，确保流片成品符合设计指标（时间分辨率优于 50 ps、位置分辨率优于 10 μm ）

区分 LGAD 自身信号与前端电路、示波器、TDC 电子学噪声，避免器件性能评估失真

为自动化测试脚本提供事件筛选逻辑，配合 PPT 中的远程电机、数据采集系统，实现无人值守式批量测试。

(3) PPT 中给出系统时间分辨率公式： $\sigma_{\text{system}}^2 = \sigma_{\text{Ref}}^2 + \sigma_{\text{DUT}}^2$ 该公式的成立依赖符合信号，具体原因分为以下几点：

消除绝对时间基准的不确定性

单个探测器无法确定粒子的真实发射 / 到达时刻，绝对时间测量存在固有偏差。而符合测试中，参考探测器与待测 LGAD 探测同一个粒子，粒子的原始出发时刻对两路信号是公共量，做时间差运算后，公共时间误差被完全抵消，仅保留两个探测器自身的时间响应差异。

匹配 望远镜、激光 TCT 的测试架构

LGAD 时间分辨率主流测试方案均为双探测器符合架构：一路作为时间参考（标准光电二极管、参考 LGAD），一路为待测器件。通过统计大量符合事件的时间差分布，对分布做高斯拟合，拟合得到的标准差 σ 即为探测器的本征时间分辨率，这是行业通用标准方法。

拆分系统误差与器件本征误差

利用 $\sigma_{\text{system}}^2 = \sigma_{\text{Ref}}^2 + \sigma_{\text{DUT}}^2$ ，若选用高时间精度的参考探测器（ σ_{Ref} 已知且极小），即可反解出待测 LGAD 的真实时间分辨率 σ_{DUT} 。如果不使用符合信号，无法分离系统、参考件、待测件三者的误差。

适配皮秒级高精度测量需求

LGAD 设计目标为几十皮秒量级分辨率，普通单路测量的时间抖动、触发延迟会远大于被测指标；基于窄时间窗的符合筛选，可过滤大抖动事件，保证统计样本的有效性，保障皮秒量级测量精度。

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。

(1) 了解什么是朗道效应

(2) 怎么消除信号幅度不一致带来的误差

PPT 给出待测器件总时间误差构成：

$\sigma_{\text{DUT}}^2 = \sigma_{\text{timewalk}}^2 + \sigma_{\text{TDC}}^2 + \sigma_{\text{jitter}}^2 + \sigma_{\text{Landau}}^2 + \sigma_{\text{Disortion}}^2$ 其中 σ_{Landau} （朗道效应）与 σ_{timewalk} （时间游走）是能量沉积不均匀带来的核心误差。

(1) 当最小电离粒子（MIP）穿过 LGAD、硅探测器等薄固体介质（LGAD 耗尽层厚度约 50 μm ）时，粒子与硅晶格发生库仑相互作用，电离产生电子 - 空穴对的过程存在显著统计涨落，这种能量损失、电荷沉积的随机分布现象即为朗道效应。

硅中每产生一对电子 - 空穴对平均消耗 3.6 eV 能量，但同一粒子穿过相同厚度的 LGAD 时，每次电离的总电荷量、能量沉积量都会出现明显差异，最终导致探测器输出信号幅度大小不一致。

(2) 朗道效应造成能量沉积不均，会使探测器输出信号幅度存在差异，进而引发时间游走、增大测量误差，可通过以下方式消除该影响：

硬件采用恒比定时（CFD）

放弃固定电压阈值触发，选取信号峰值固定比例位置作为定时点，定时结果仅由波形决定，与信号幅值无关，从根源抑制时间游走误差。

优化前端电子学系统

选用高带宽、快上升沿的放大器，降低信号时间抖动；统一两层探测器的偏压、增益、电路参数，同时做好信号屏蔽，减少波形失真。

实验事件筛选

依据朗道分布规律，剔除信号幅值过高、过低的极端事件，只保留能量沉积稳定的有效事例参与统计；激光测试中筛选光斑位于器件有效灵敏区的信号，避免边缘区域加剧电荷涨落。

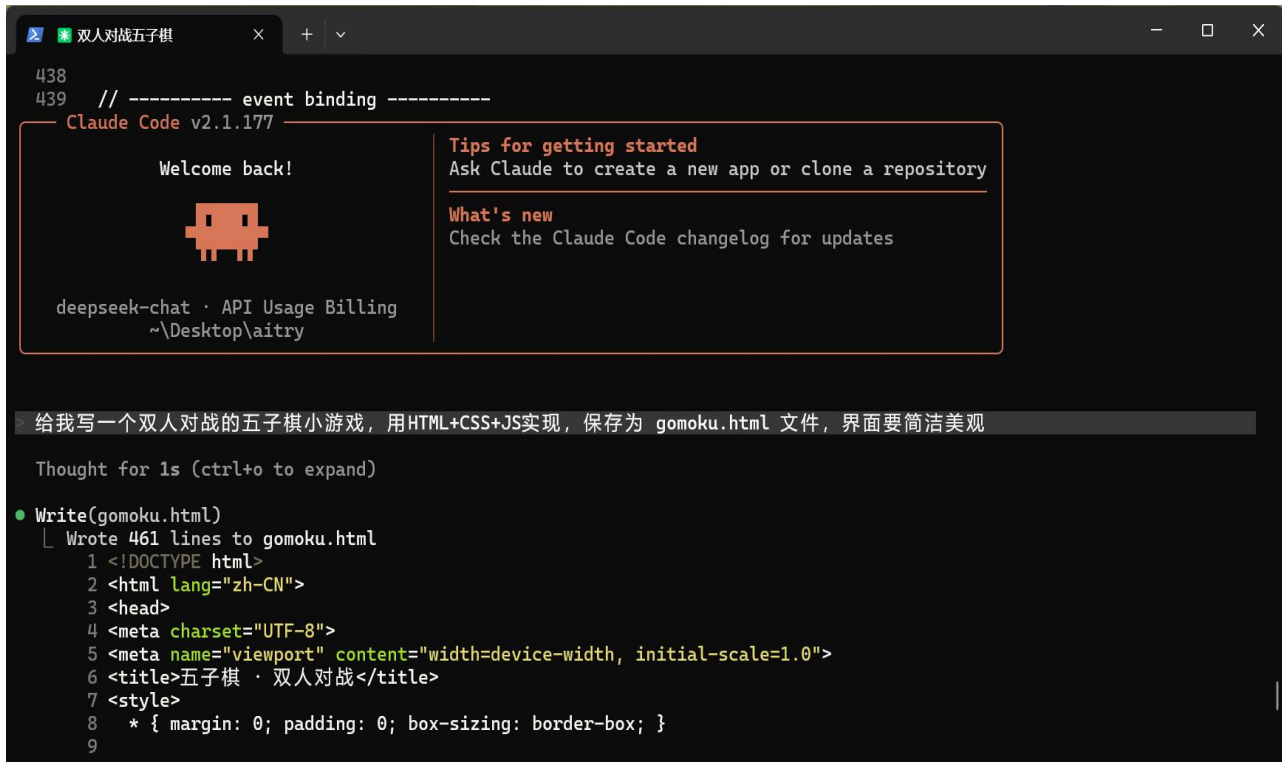
离线数据校正

建立信号幅值与时间偏移的拟合曲线，对每个事件的时间戳进行补偿修正；也可将信号幅值分区间统计，减小单区间内的幅度波动影响。

优化实验条件


将 LGAD 器件工作在稳定线性增益区，保证增益均匀；选用单能入射粒子、均匀激光光斑，降低能量沉积的随机起伏。

3. 安装 claude code，建议使用 deepseek api，可以充值五块钱，写一个小游戏程序玩一下



```
438
439 // ----- event binding -----
Claude Code v2.1.177

Welcome back!



deepseek-chat · API Usage Billing
~\Desktop\aitry

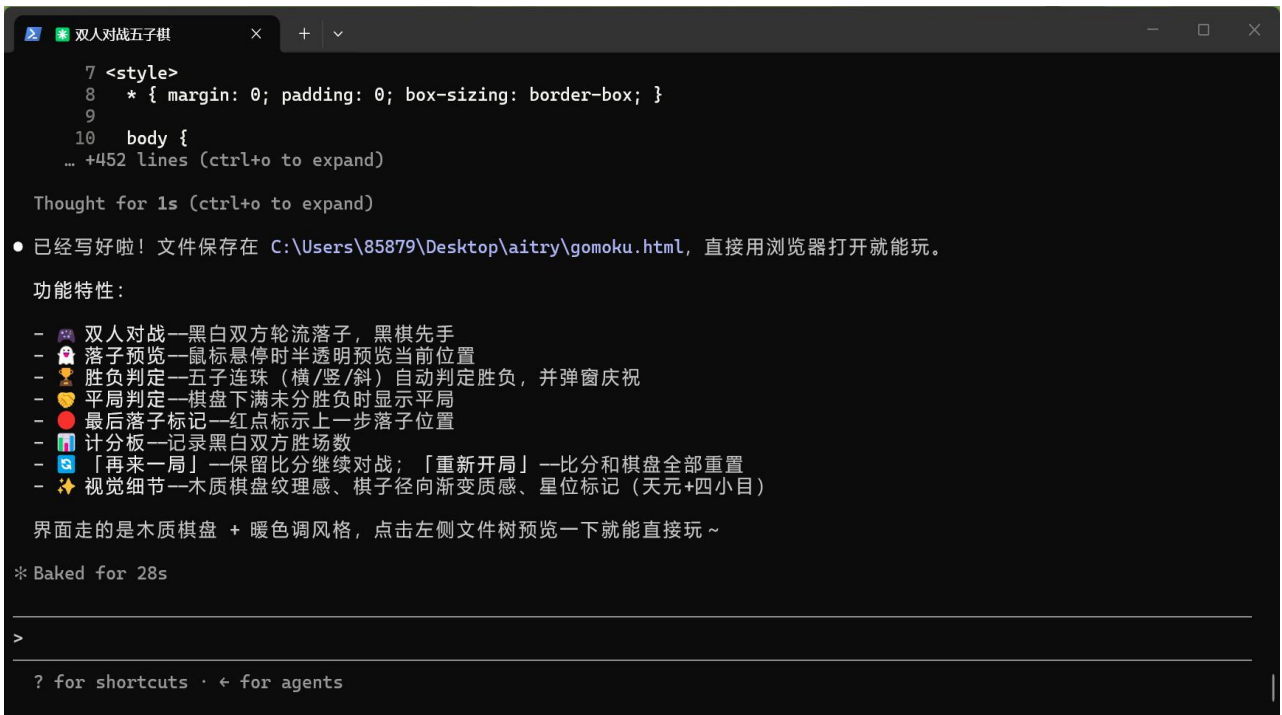
Tips for getting started
Ask Claude to create a new app or clone a repository

What's new
Check the Claude Code changelog for updates

> 给我写一个双人对战的五子棋小游戏，用HTML+CSS+JS实现，保存为 gomoku.html 文件，界面要简洁美观

Thought for 1s (ctrl+o to expand)

• Write(gomoku.html)
  | Wrote 461 lines to gomoku.html
  | 1 <!DOCTYPE html>
  | 2 <html lang="zh-CN">
  | 3 <head>
  | 4 <meta charset="UTF-8">
  | 5 <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
  | 6 <title>五子棋 · 双人对战</title>
  | 7 <style>
  | 8 * { margin: 0; padding: 0; box-sizing: border-box; }
  | 9
```



```
7 <style>
8 * { margin: 0; padding: 0; box-sizing: border-box; }
9
10 body {
... +452 lines (ctrl+o to expand)

Thought for 1s (ctrl+o to expand)

• 已经写好啦！文件保存在 C:\Users\85879\Desktop\aitry\gomoku.html，直接用浏览器打开就能玩。

功能特性：

- 双人对战—黑白双方轮流落子，黑棋先手
- 落子预览—鼠标悬停时半透明预览当前位置
- 胜负判定—五子连珠（横/竖/斜）自动判定胜负，并弹窗庆祝
- 平局判定—棋盘下满未分胜负时显示平局
- 最后落子标记—红点标示上一步落子位置
- 计分板—记录黑白双方胜场数
- 「再来一局」—保留比分继续对战；「重新开局」—比分和棋盘全部重置
- 视觉细节—木质棋盘纹理感、棋子径向渐变质感、星位标记（天元+四小目）

界面走的是木质棋盘 + 暖色调风格，点击左侧文件树预览一下就能直接玩~

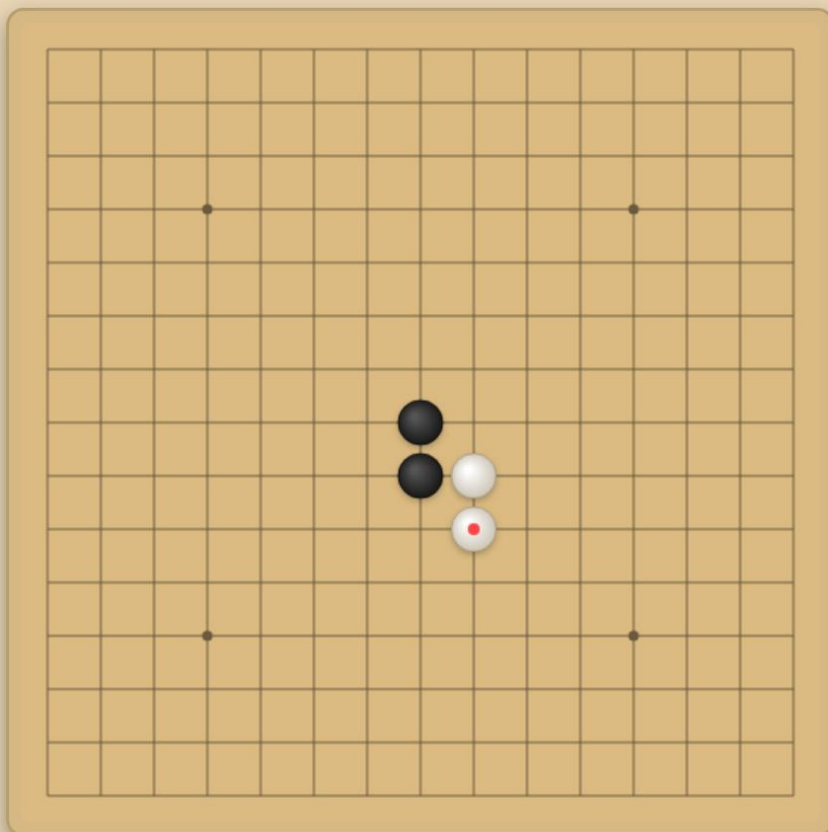
*Baked for 28s

>

? for shortcuts · ← for agents
```

● 五子棋

● 黑棋落子



● 0 ● 0

重新开局