NJU 4H-SiC PIN 样本测试说明



中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics
Chinese Academy of Sciences

杨涛, 谭雨航

2021-03-24

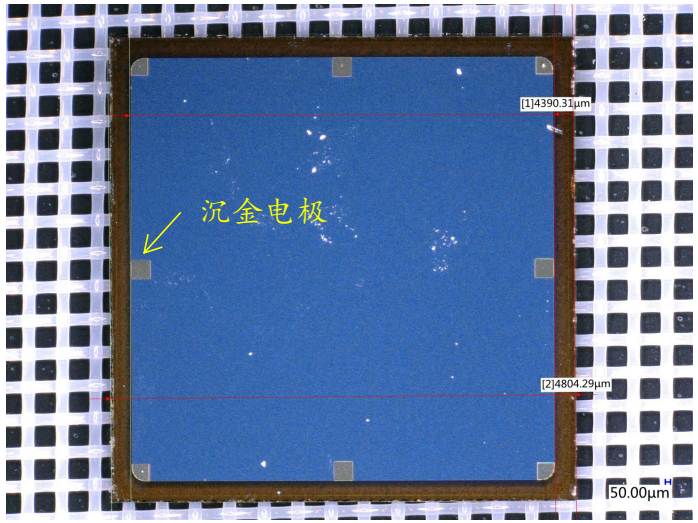
➢ Outline

- NJU 4H-SiC PIN 样本情况说明
- NJU 4H-SiC PIN I-V, C-V基本特性
- NJU 4H-SiC PIN Beta源时间响应测试
- 4H-SiC LGAD 结构仿真

□ NJU 4H-SiC PIN 样本情况说明

NJU 4H-SiC PIN 样本情况说明

显微镜俯视图



南大4H-SiC 厚PIN 型探测器:

- 几何尺寸: 5mm×5mm
- n型外研层灵敏区厚度： 100um
- 漏电流:<100pA @ -200 V
- 电极定义: p-i-n垂直结构,上面为p型全电极,全电极表面四角上有4个供打线使用的金pad

截面说明



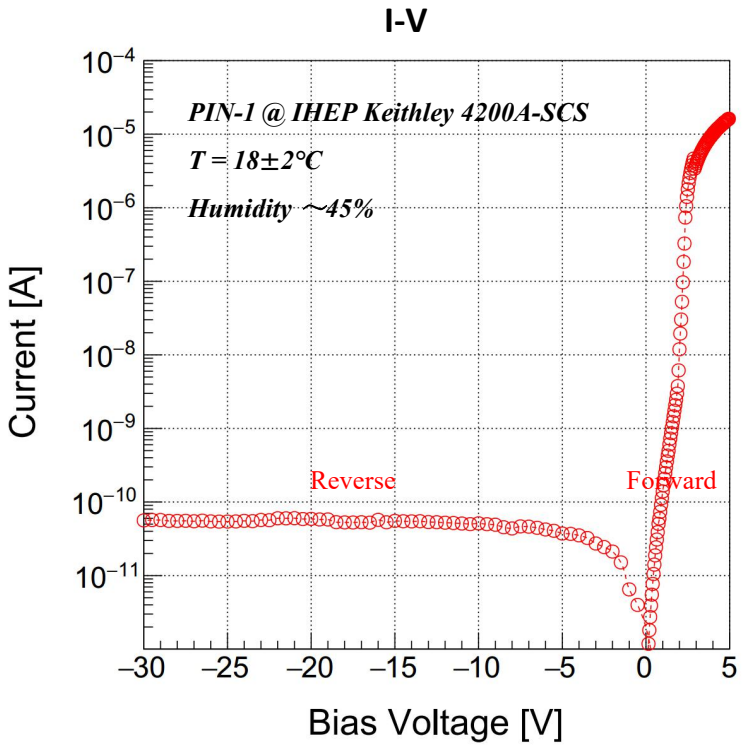
样本接收情况:

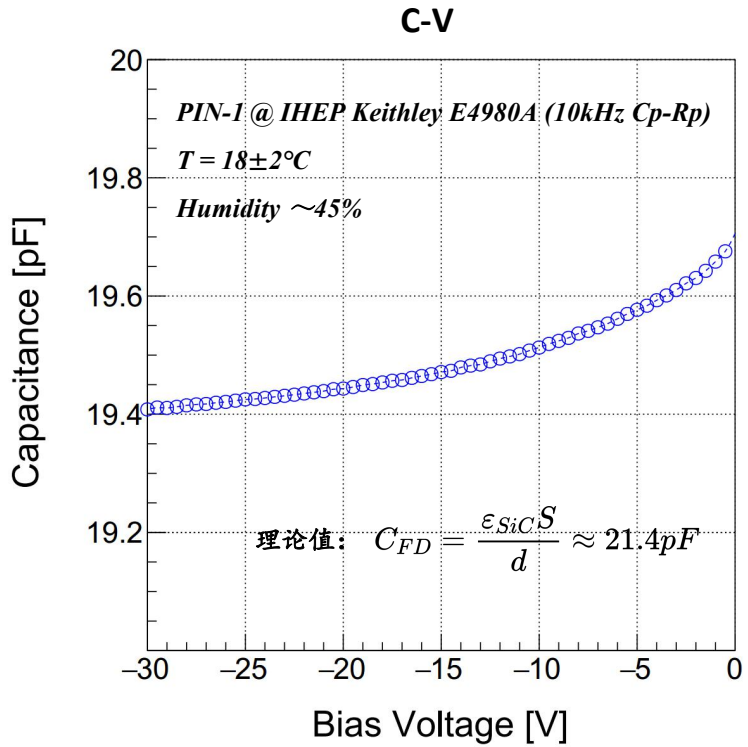
编号	接收日期	I-V	C-V	beta	品质	状态
PIN-1	2020.09.04	√	√	√ (LGAD读出板)	优	IHEP
PIN-2	2020.09.04	√	√		良	IHEP
PIN-3	2020.10.23	√	√		差?	IHEP
PIN-4	2020.10.23	√	√		差?	JSI (0.8e15)
PIN-5	2020.10.23	√	√		差?	JSI (1.5e15)
PIN-6	2020.10.23	√	√		差?	JSI (2.5e15)

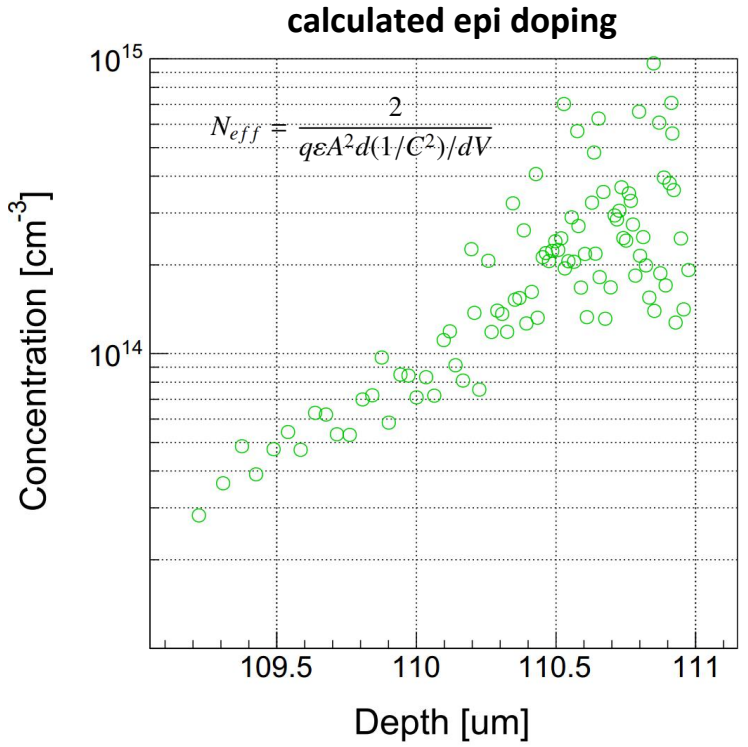
□ NJU 4H-SiC PIN I-V, C-V基本特性

NJU 4H-SiC PIN I-V, C-V基本特性

➢ 小电压局域特性扫描结果(>-30V)



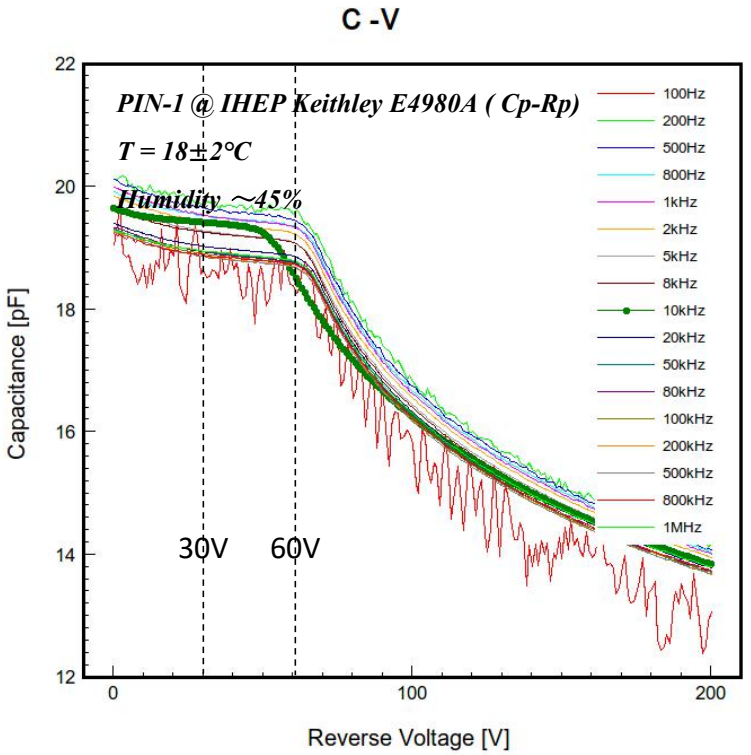


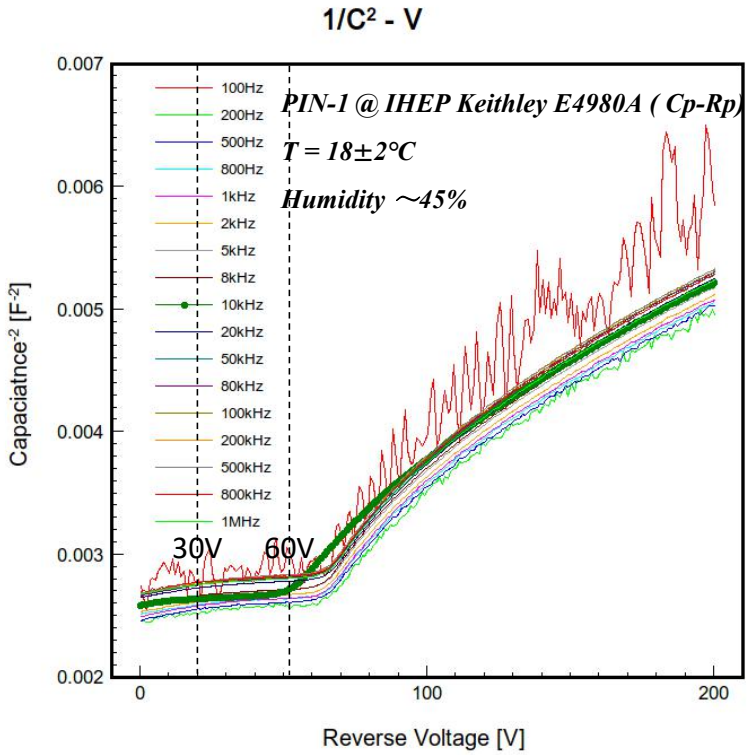


- 挑选的4H-SiC-PIN的I-V特性曲线表面，该器件的正反向偏压特性符合预期，反向漏电流<100pA @-30V
- 10kHz C-V的小电压电容测量接近理论计算电容，但与理论值仍有一定的差距，且电容测量的对频率有较大的依赖，见下一页。
- 计算得到的epi 掺杂位于1e13~1e14之间，但计算得到的深度较为异常。

NJU 4H-SiC PIN I-V, C-V基本特性基本特性

➢ 电容频率依赖(反向偏压加至200V)

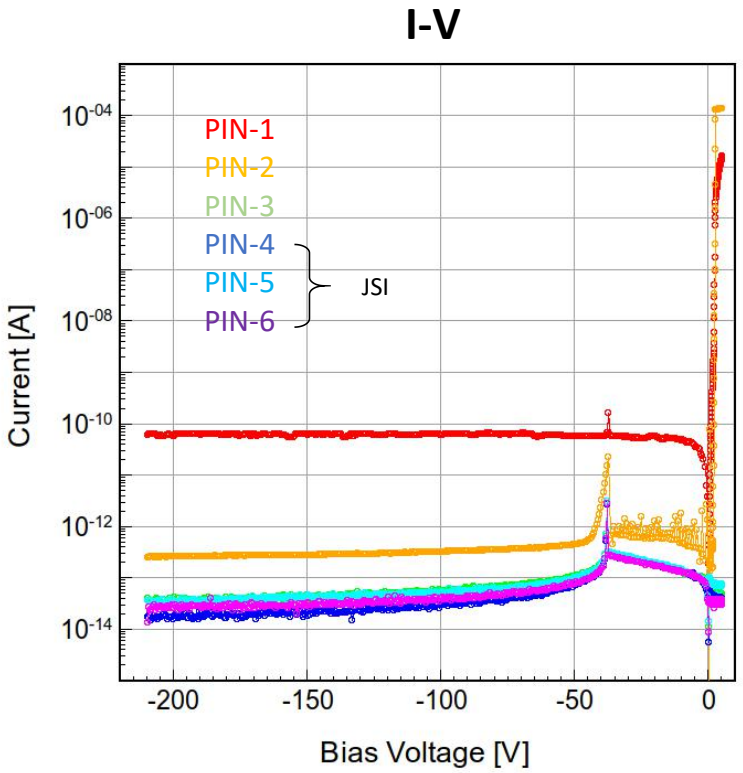


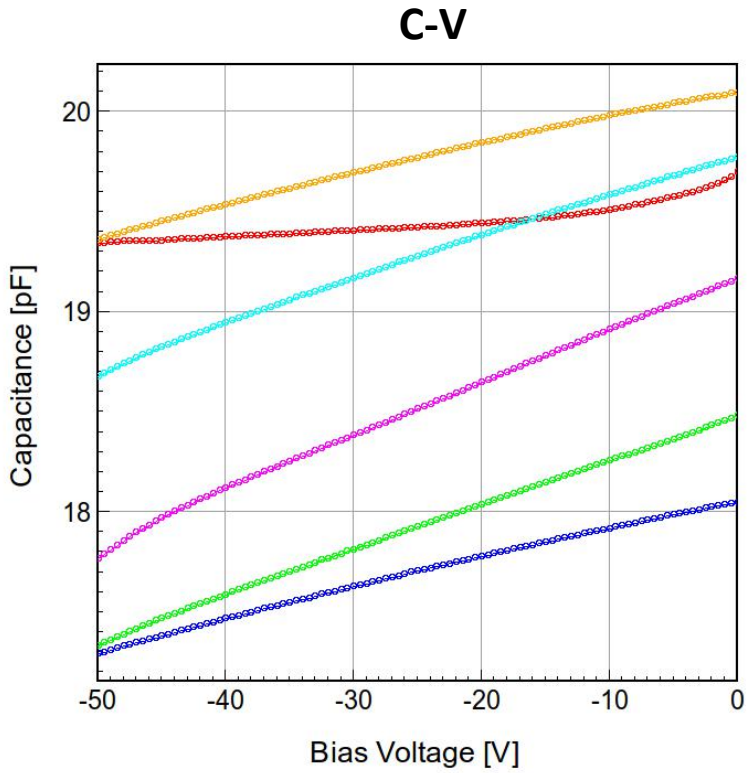


- NJU-SIC PIN表现出强烈的频率依赖，并且当反向电压加到60V以上时电容出现异常下降

NJU 4H-SiC PIN I-V, C-V基本特性基本特性

➢ 6个样本的IV和CV比较





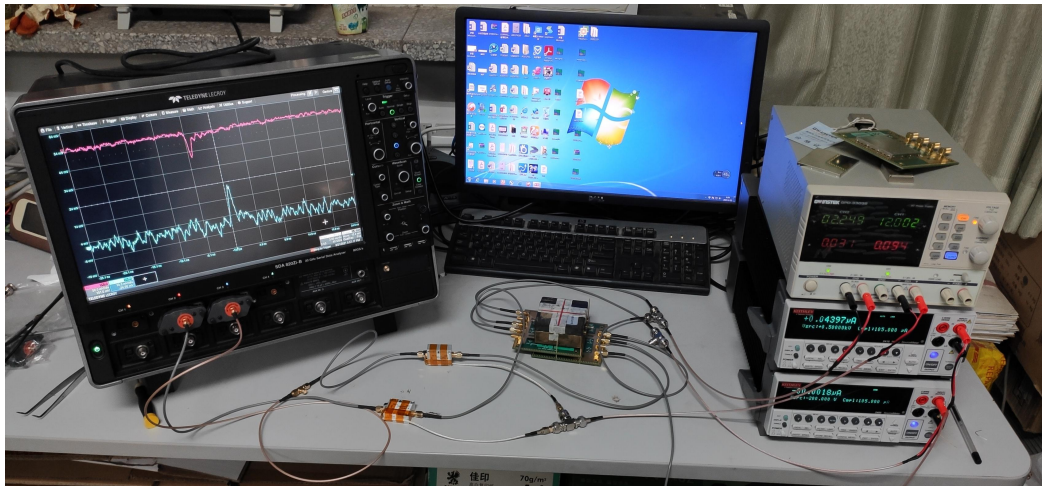
- I-V特性曲线: 6个样本中**只有PIN-1和PIN-2表现出PN结正常正反偏压特性**，但PIN-2的反偏电流不稳定。PIN-3~PIN-6不论正偏还是反偏电流都很小，表现一致。**所有样本的反偏电流约在-40V都有电流尖峰出现。**
- C-V特性曲线: 6个样本中只有PIN-1 符合PN结的反偏电容特性，其它样本的电容表现暂时无法理解。

综合6个样本的IV,CV测试结果，选用PIN-1进行后续Beta源时间响应测试

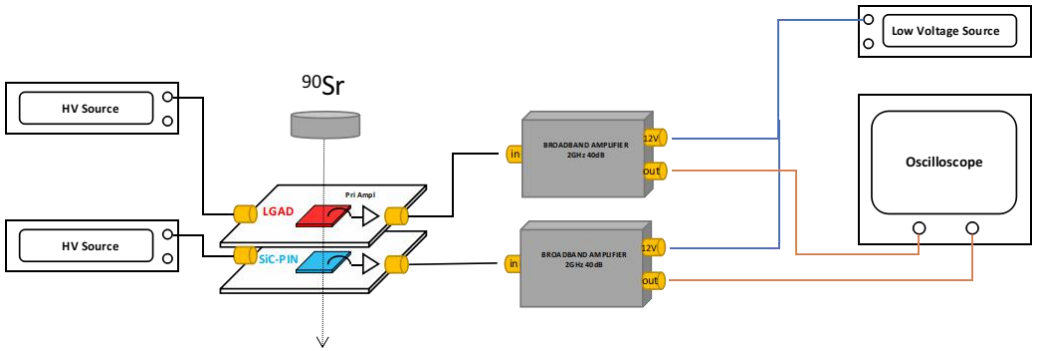
□ NJU 4H-SiC PIN Beta源时间响应测试

Beta源时间响应测试系统说明

Beta测试系统



Beta测试系统原理图



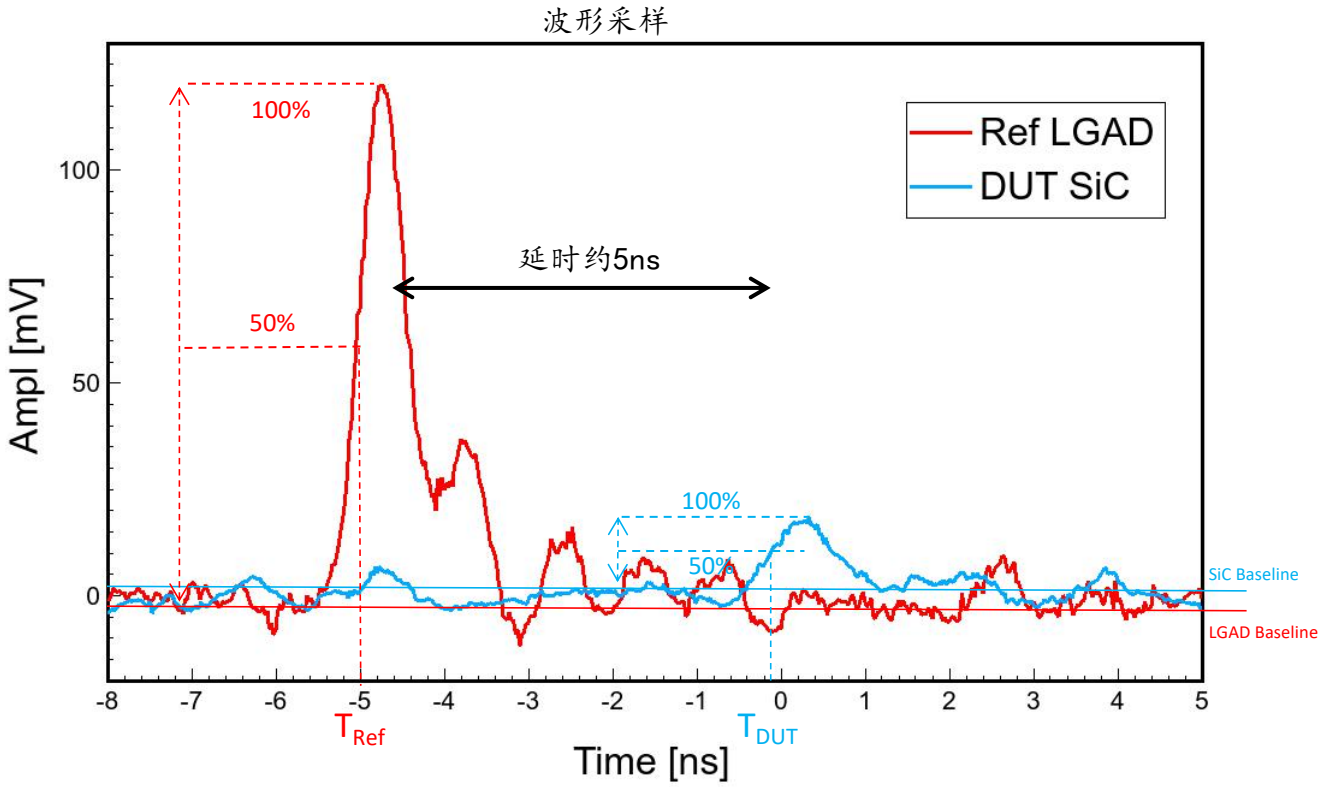
参考道: NDL-Si-LGAD 33um (U=200V, σ_T=34.02ps when RT)

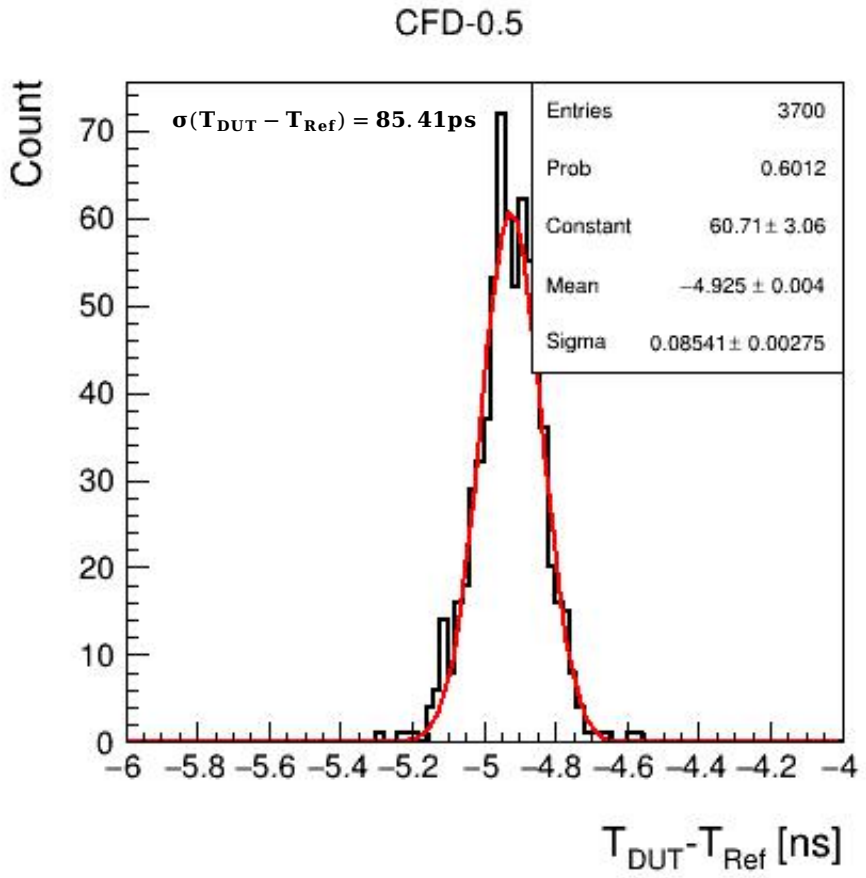
待测道: NJU-4H-SiC-PIN1 100um (U=500V)

系统配置:

- 测试使用了已知时间分辨的北师大设计的低增益雪崩探测器作为定时参考器件。
- NJU-SiC-PIN1的反偏电压施加到U=500V (当U<400V时信号幅度低于本底噪声)。
- 其中待测道外加1m线缆延时约5ns，以便采用双道同时触发模式采集数据。
- 系统放大倍数(前放+主放)=160。
- 触发域设置：$Trig_{LGAD}$=25mV, $Trig_{SiC}$=15mV。
- 采样率：40 Gsa/s
- 定时方式: 恒比定时(CFD)

恒比定时分析

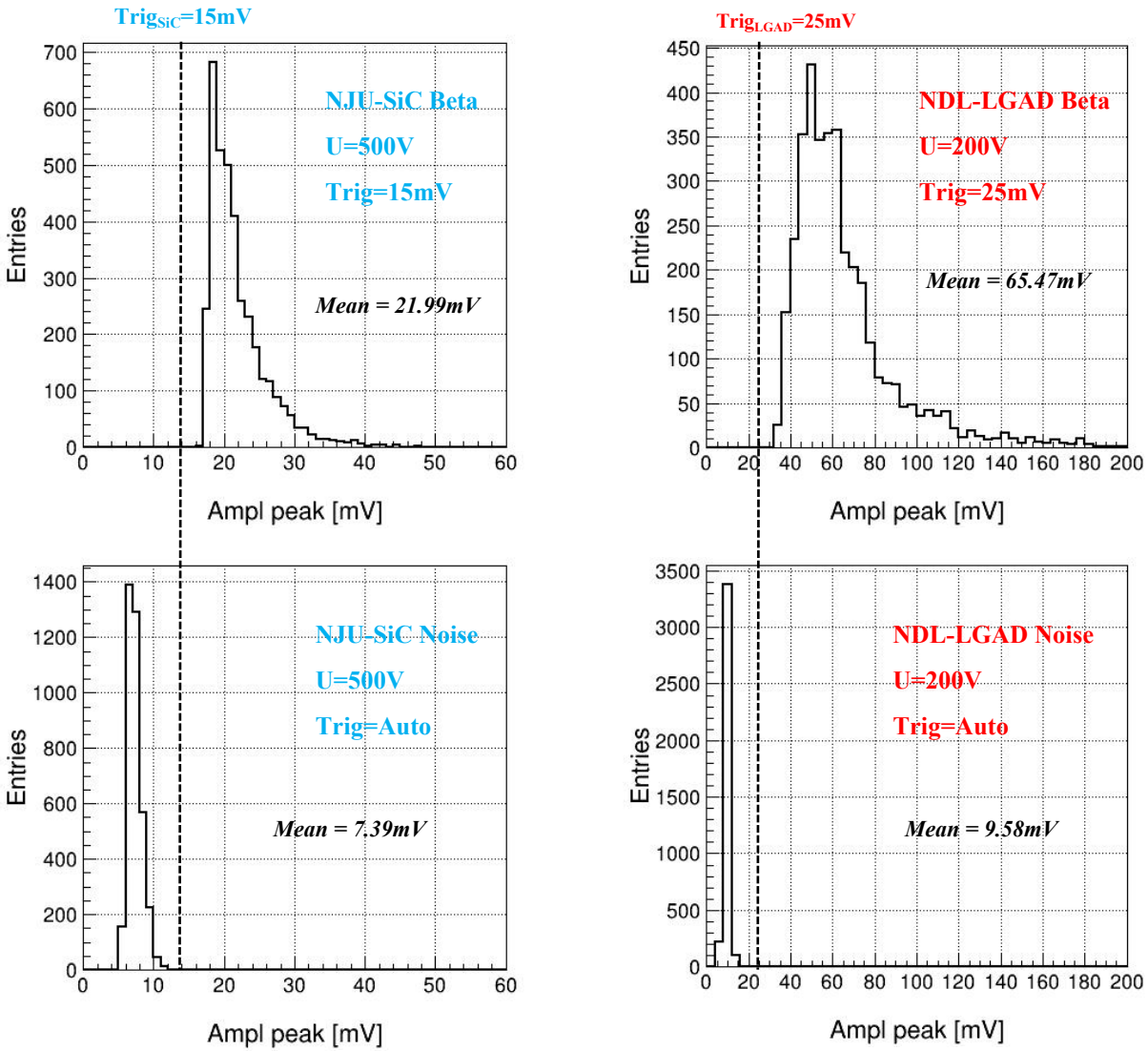




$$\sigma_{DUT} = \sqrt{\sigma(T_{DUT} - T_{Ref})^2 - \sigma_{Ref}^2} = \sqrt{85.41^2 - 34.02^2} = 78.34\ ps$$

实验最终测得NJU-4H-SiC-PIN1的时间分辨为78.34ps (U=500V, CFD Ratio=0.5)

信噪比分析 S/N

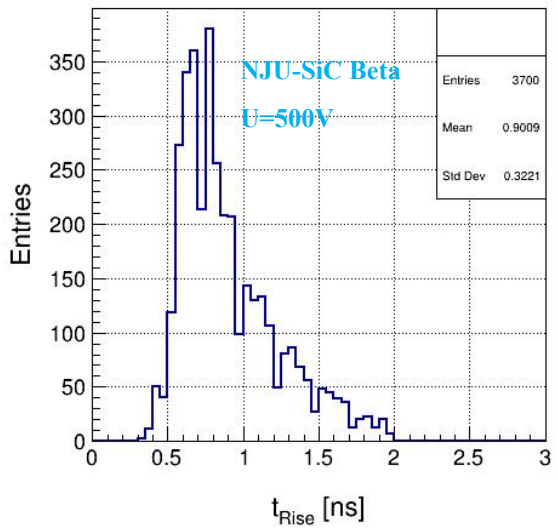


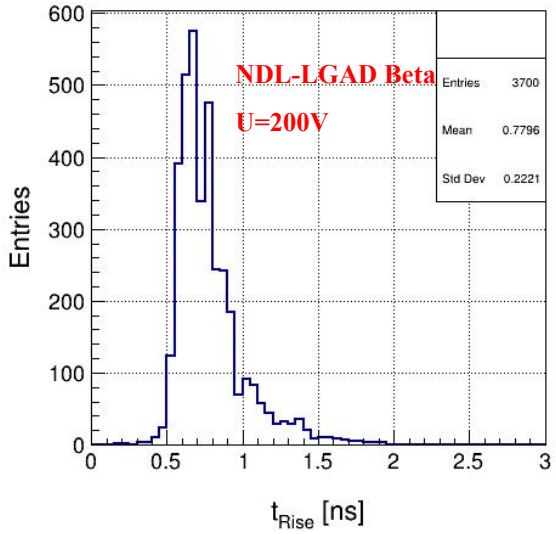
- 由于4H-SiC-PIN的信号幅度较小，部分信号会被噪声掩盖，需考虑触发时会有一部分噪声误触发的情况，故触发阈值的设定根据Noise决定为15mV以减少噪声触发的概率。
- 同时较高的触发域会损伤较多信号，特别是SiC的信噪比较低的情况。

$$\frac{S_{SiC}}{N_{SiC}} = 2.99 \qquad \frac{S_{LGAD}}{N_{LGAD}} = 6.83$$

4H-SiC-PIN由于无增益(或高压时内增益较小)，信噪比较差，正常工作电压较高(U>400V)。LGAD由于有自增益，信噪比高，工作电压小(>50V)。[S/N对时间分辨的影响见p14]

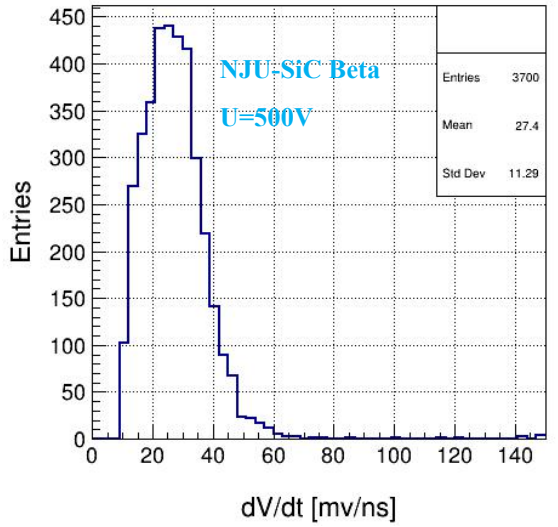
信号上升时间t_{Rise}和上升速率dV/dt

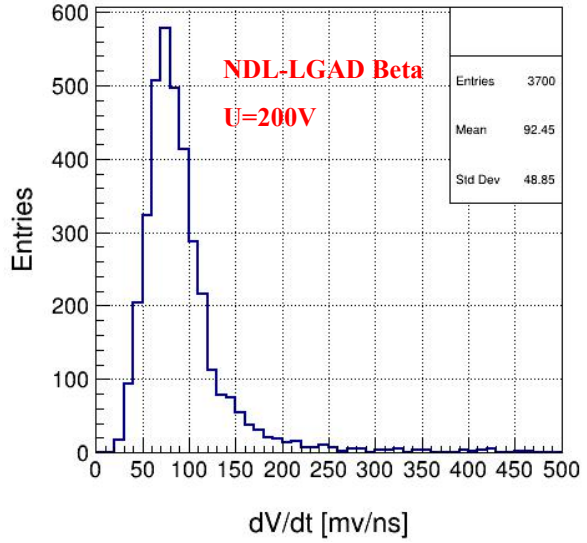




$(SiC\ t_{Rise})_{RMS}$=0.32 ns　　$(SiC\ dV/dt)_{RMS}$=11.29 mv/ns

$(LGAD\ t_{Rise})_{RMS}$=0.22 ns　$(LGAD\ dV/dt)_{RMS}$=48.85 mv/ns





- 4H-SiC-PIN的上升时间略长于LGAD, 同时对于$(t_{Rise})_{RMS}$，4H-SiC-PIN也比较大。该特性可能与LGAD本身具有自增益有关。
- 4H-SiC-PIN的上升速率较慢，同时对于$(dV/dt)_{RMS}$，4H-SiC-PIN也比较小。
- [t_{Rise}和dV/dt对时间分辨的影响见p14]

影响时间分辨的因素及改进措施

$$\sigma_t^2 = \sigma_{\text{Time Walk}}^2 + \sigma_{\text{Landau Noise}}^2 + \sigma_{\text{Distortion}}^2 + \sigma_{\text{Jitter}}^2 + \sigma_{\text{TDC}}^2$$

- 时移项：

$$\sigma_{\text{Time Walk}} = [t_d]_{\text{RMS}} = \left[\frac{V_{\text{th}}}{S/t_{\text{rise}}}\right]_{\text{RMS}} \propto \left[\frac{N}{dV/dt}\right]_{\text{RMS}}$$

LGAD优于SiC，见p13

- 信号失真项：

$\sigma_{\text{Distortion}}^2$

与器件结构和载流子漂移速度有关，理论预期SiC优于Si

- 数模转化项：

△T/√12

- 朗道项：

$\sigma_{\text{Landau Noise}}^2$

未知

- 电子学Jitter：

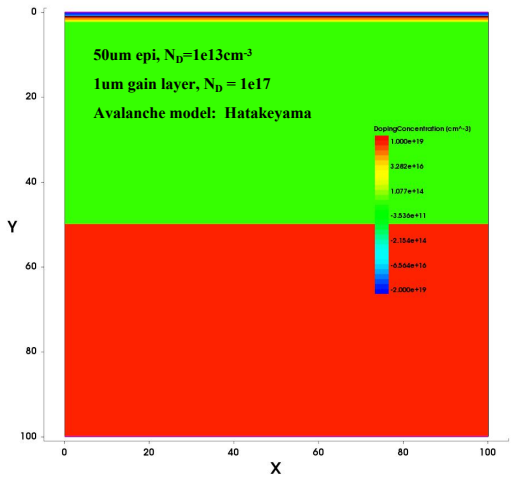
$$\sigma_{\text{Jitter}} = \frac{N}{dV/dt} \approx t_{\text{rise}} / \left(\frac{S}{N}\right)$$

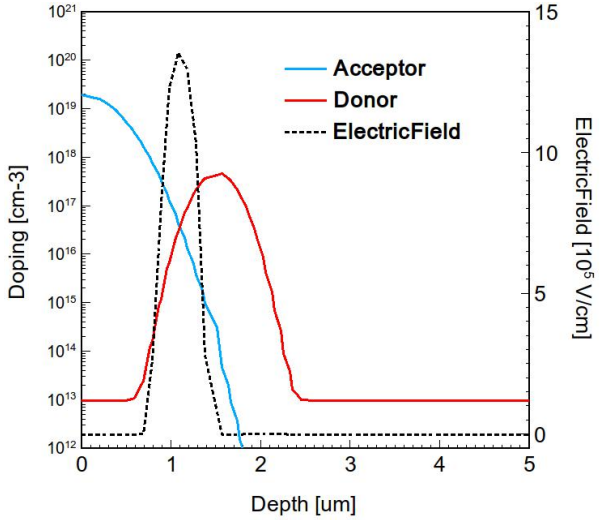
LGAD优于SiC，见p12

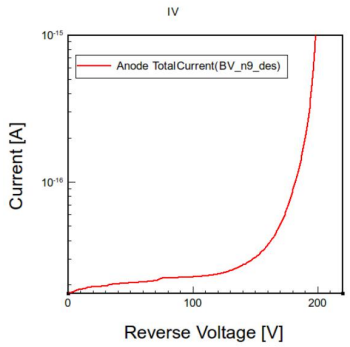
为尽可能提高SiC器件的时间分辨，对比LGAD的测试结果，需要器件具有一定的自增益以提高S/N，t_{Rise}，dV/dt，最终提高时间分辨。

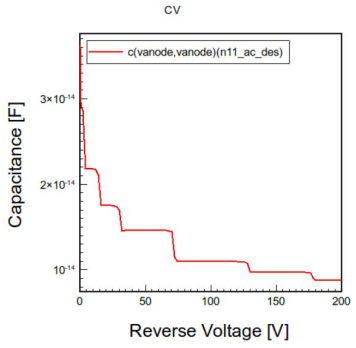
4H-SiC LGAD 结构仿真

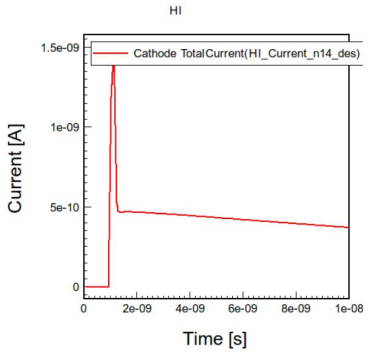
- 平面二维 4H-SiC-LGAD 快速仿真







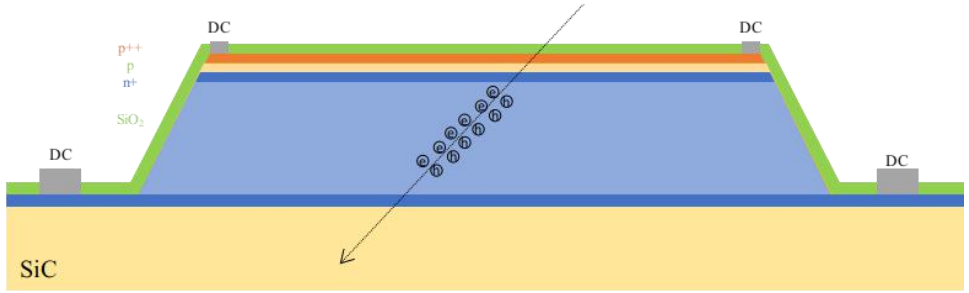




需要知道的条件：

- 掺杂类型：N，Al，B，P?
- 外延层厚度?掺杂?
- 增益层的形成方式：高能注入 or 堆叠生长?
- 金属电极的接触方式：欧姆、肖特基
- 能否做P型欧姆接触
- JTE的形成方式：注入？切削棱台？

堆叠生长的4H-SiC-LGAD 概念结构



NJU-SIC测试总结和计划

- **南大选送的6个4H-SiC-PIN器件中2个IV,CV特性正常，其余4个较为反常。**
- **选测的100um 4H-SiC-PIN器件Beta源测试结果表明，该器件在外加U=500V，常温下具有78.34ps的时间分辨，接近部分常温LGAD器件的时间分辨～50ps，优于此前文献报道的115um 4H-SiC 肖特基管的时间分辨117ps。**

计划：

- ✓ 200V~600V 电压段beta源测试扫描，检查是否存在内增益的变化和性能饱和。
- ✓ 对比不同中子剂量辐照后的SiC器件的时间分辨，信噪比 S/N，信号上升时间tRise和上升速率dV/dt

4H-SiC-LGAD仿真计划

- ✓ 根据工艺条件的限制和增益仿真确定参数和结构设计细节