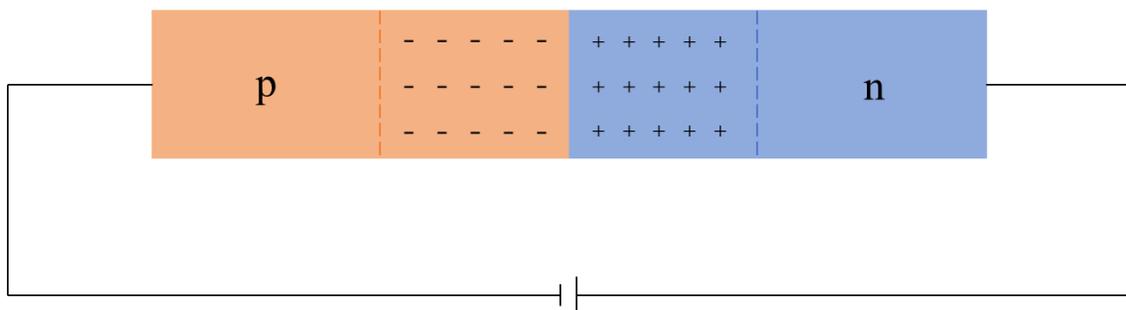
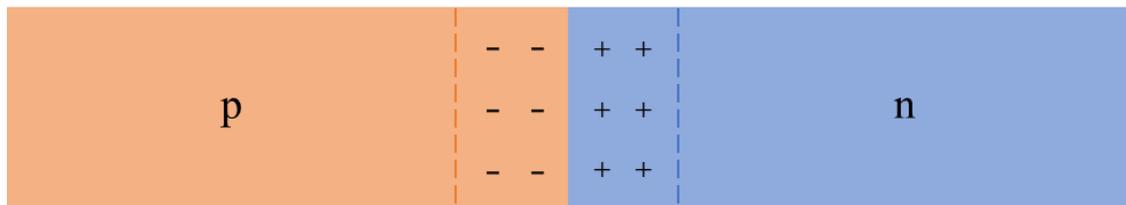


# 电荷收集的仿真

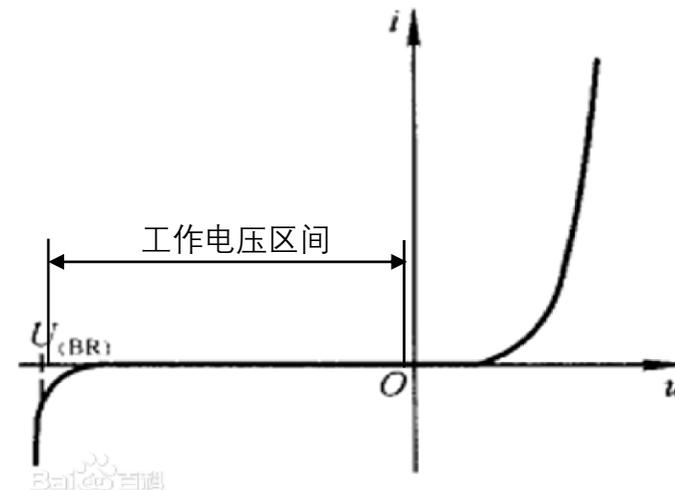
汇报人：王科琪

2024.07.23

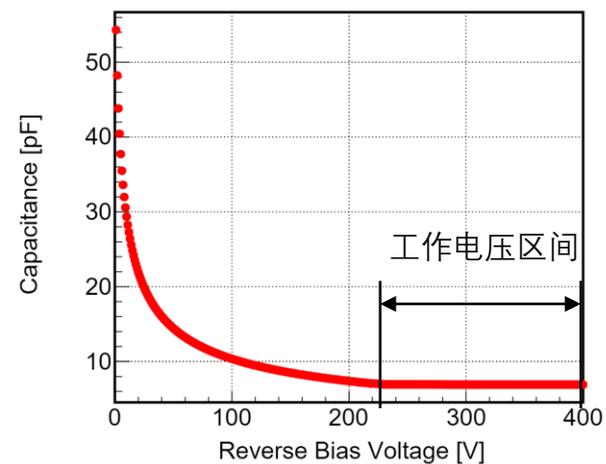
# PN结



PN结中的空间电荷区以及外加反偏电压下的空间电荷区

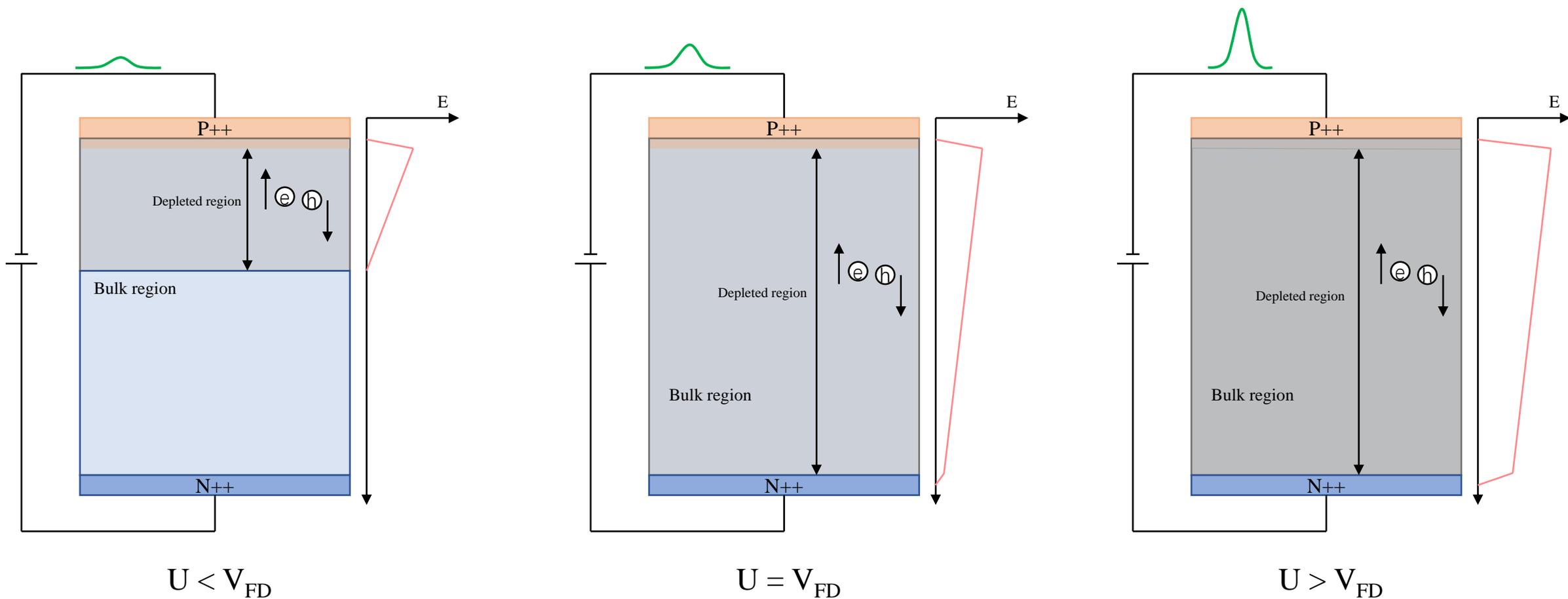


PN结二极管的*i**v*特性



PN结二极管的*c**v*特性

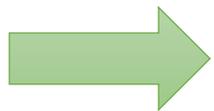
# PIN结构在反偏电压下工作



不同大小偏压下，PIN结构中耗尽区的变化

# 半导体探测器如何探测带电粒子

电离能损

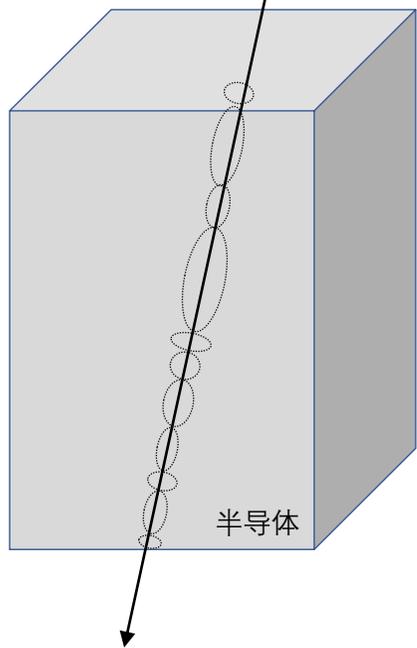


电子空穴对

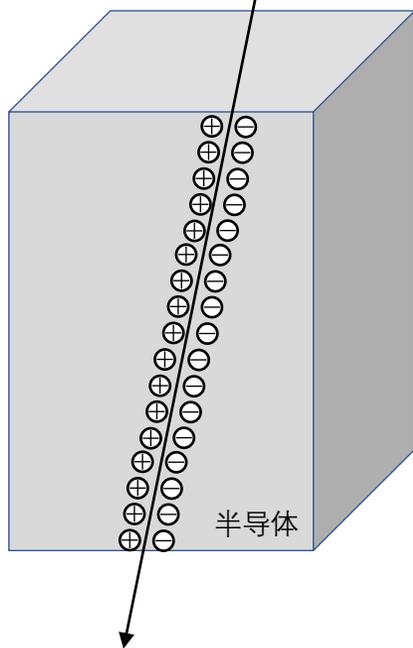


电流信号

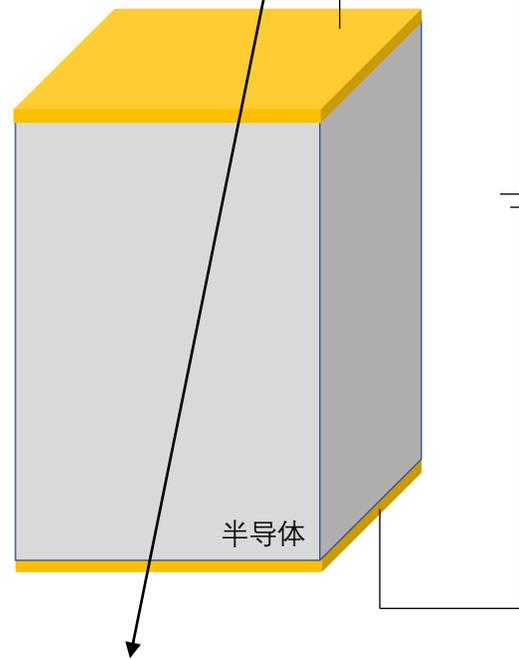
高能带电粒子



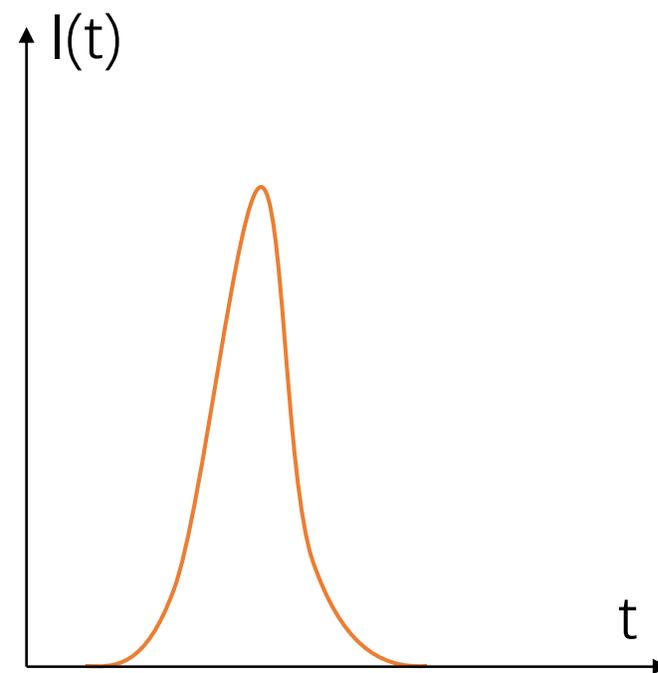
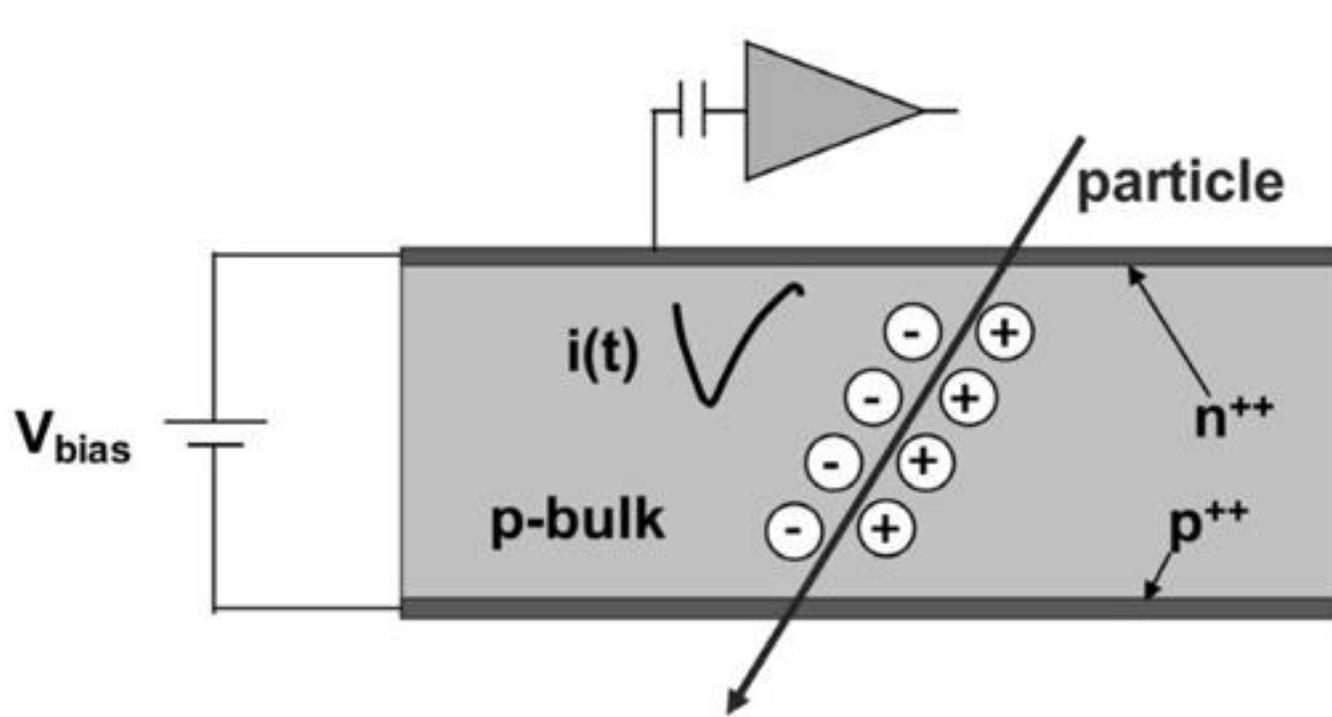
高能带电粒子



高能带电粒子



# 半导体探测器电荷收集



# 电荷收集效率 (CCE)

载流子产生

载流子运输

实际的晶体材料必然存在一定的陷阱，这些陷阱会以一定的几率俘获载流子，导致入射粒子产生的部分载流子不能被探测器收集，从而不能对探测器信号形成贡献，这将直接影响探测器的灵敏度。

计算公式：

$$CCE = \frac{Q_M}{Q_0}$$

对探测器而言，影响电荷收集率的因素包括载流子漂移速度、陷阱密度等。其中，载流子漂移速度与探测器电场强度相关（即与工作偏压相关）。对结型探测器，工作偏压过低，耗尽区宽度不足，导致电荷收集率低；工作偏压过高，则漏电流偏大，影响探测器分辨率。为保证探测器性能，有必要研究电荷收集率随工作偏压的变化规律。陷阱密度与单晶外延生长工艺、辐照损伤有关。



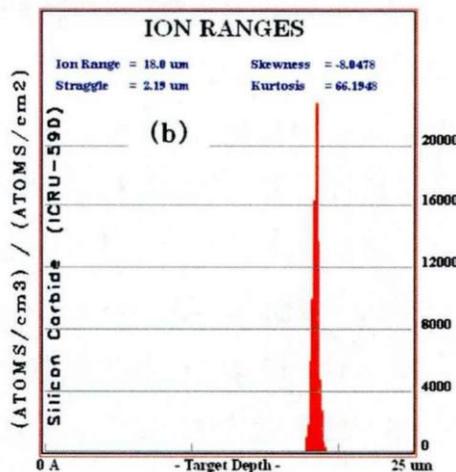
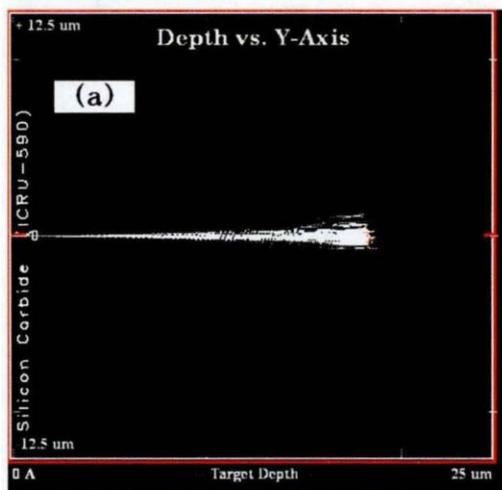
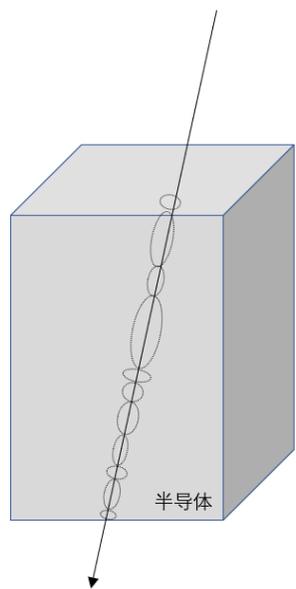
# α粒子与探测器的相互作用

能量损失率S可以用公式描述：

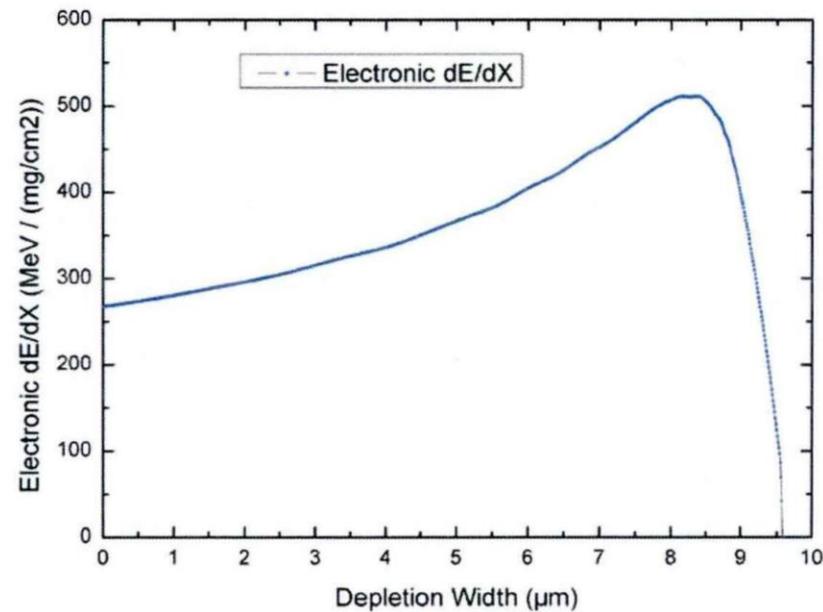
$$S = -\frac{dE}{dx}$$

$$= \frac{4\pi e^4 z^2}{m_0 v^2} NZ \left[ \ln \frac{2m_0 v^2}{I} - \ln \left( 1 - \frac{v^2}{c^2} \right) - \frac{v^2}{c^2} \right]$$

电离能损  
高能带电粒子



α粒子在4H-SiC晶体中的径迹图和径迹分布



4H-SiC晶体对α粒子阻止本领随粒子径迹的变化

$$\overline{N_0} = E_0 / \varepsilon$$

# 载流子的迁移与探测器电信号形成

当入射粒子在晶体中沉积能量并产生电子空穴对后，电子空穴对会在探测器内工作偏压形成的电场作用下向两极漂移，并在探测器两极产生感应电荷：

$$\nabla^2 \varphi = -\frac{\rho}{\varepsilon}$$

在求得任意时刻的电势分布后，可得瞬时电场 $\vec{E}$ ：

$$\vec{E} = -\nabla\varphi$$

于是由静电场高斯定理可得收集电极上产生的感应电荷 $Q$ ：

$$Q = \varepsilon \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

Shockly-Ramo理论指出，电荷在一个电极上形成瞬时感应电荷量和瞬时感应电流可表示为：

$$Q = -q\varphi_0(\vec{x})$$

$$i = q\vec{v} \cdot \vec{E}(\vec{x})$$



## 下载文件

- charge\_collection.json, HPK-Si-LGAD-CCE.json, BB.json
- 下载地址
  - IHEPBox <https://ihepbox.ihep.ac.cn/ihepbox/index.php/s/e7g3ZrpVZj8oegz>
  - 夸克网盘 <https://pan.quark.cn/s/5ecbcbe9ef3e>
    - RASER\_Debian.ova <https://pan.quark.cn/s/d58e9cd6c2ec>

打开Windows PowerShell使用scp命令 (scp <windows\_path> raser@<IP>:<linux\_path>) 将文件

- charge\_collection.json    复制到虚拟机    ~/tutorial/setting/absorber/    文件夹下
- HPK-Si-LGAD-CCE.json    复制到虚拟机    ~/tutorial/setting/detector/    文件夹下
- BB.json    复制到虚拟机    ~/tutorial/setting/setting/electronics/    文件夹下



# 仿真代码

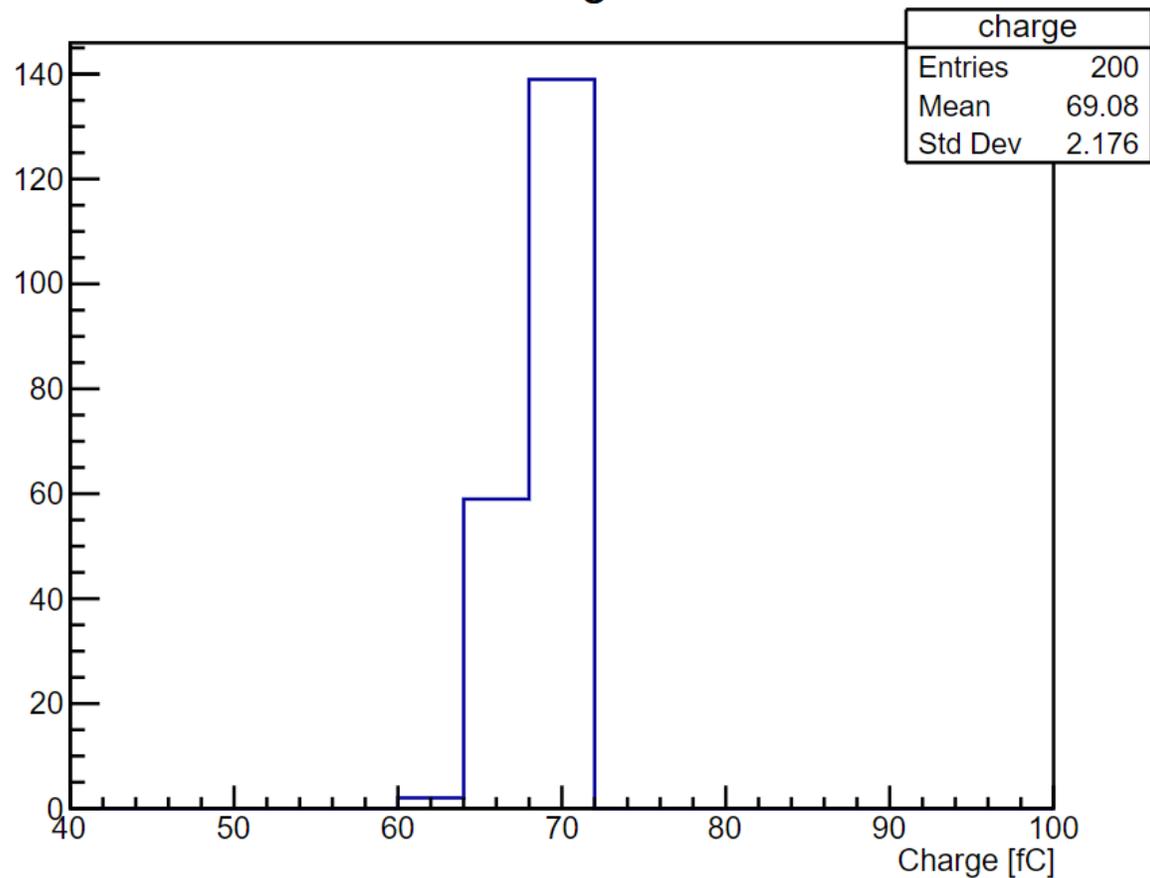
- ✓ `cd ~/tutorial/raser`
- ✓ `git pull`
- ✓ `cd ~/tutorial`
- ✓ `source cfg/setup.sh`
  
- ✓ `raser field HPK-Si-LGAD-CCE`
- ✓ `raser gen_signal HPK-Si-LGAD-CCE -s 1`
- ✓ `raser elec HPK-Si-LGAD-CCE`



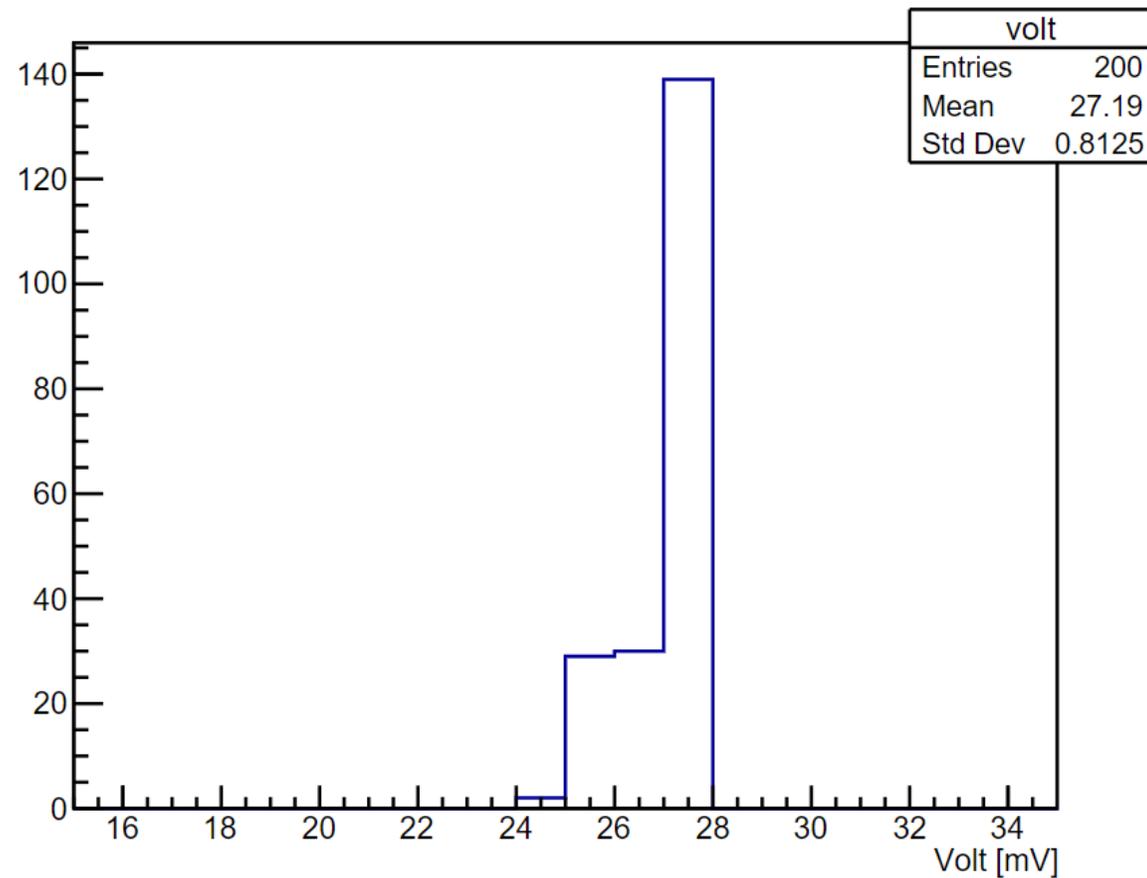
# 运行结果

结果所在路径: ~/tutorial/output/HPK-Si-LGAD-CCE\_distribution.pdf

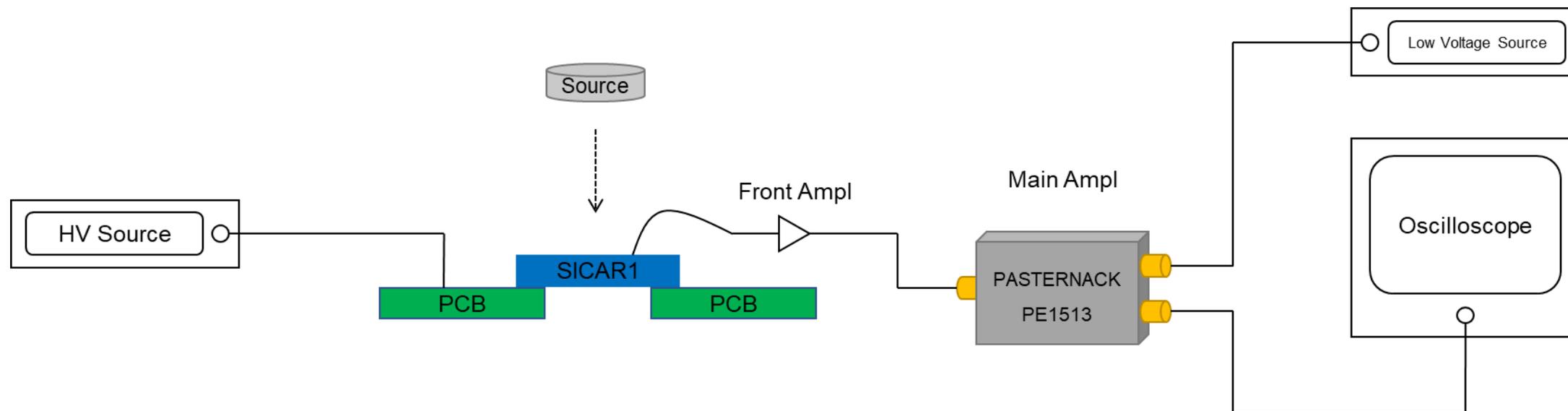
charge



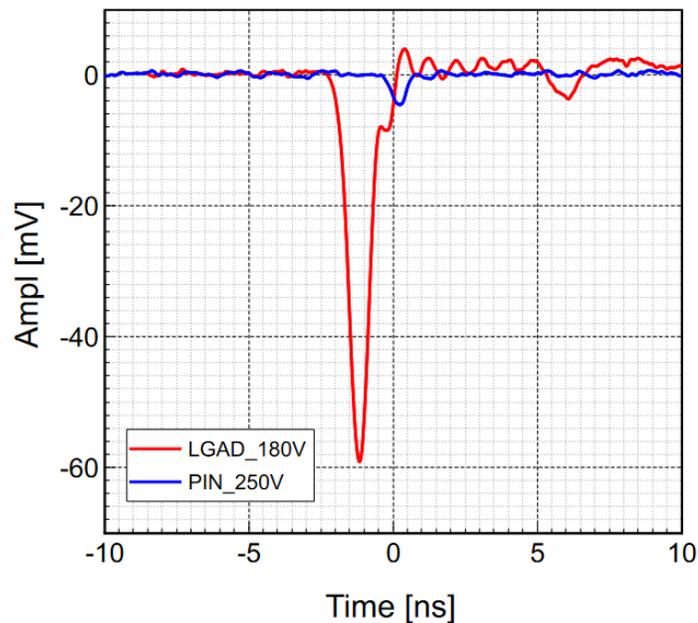
volt



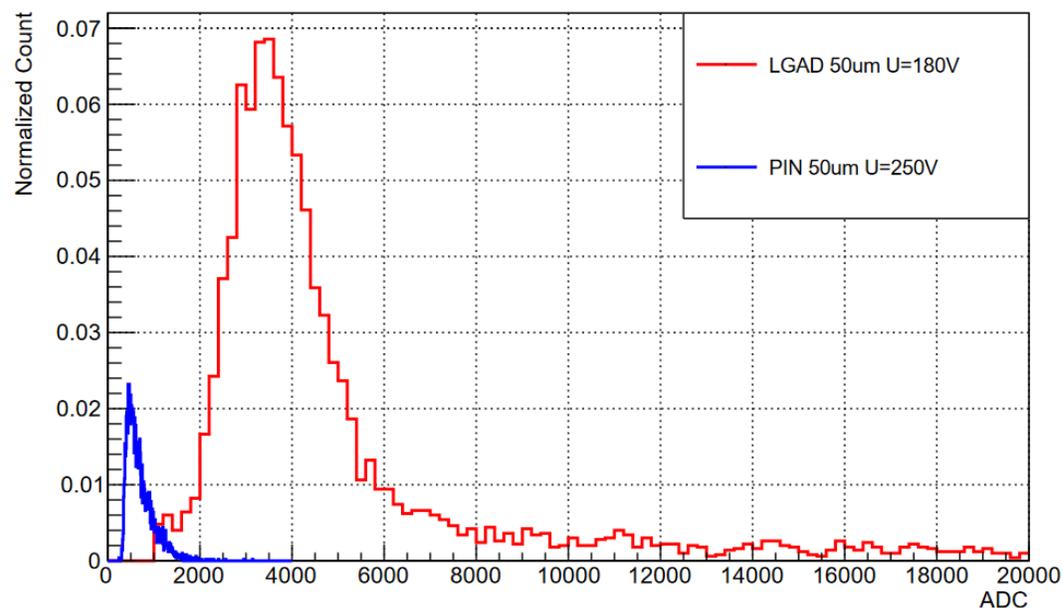
# 电荷收集的测量



# 电荷收集的测量



(a)



(b)

图 4-19 (a) IHEP Si LGAD 和 PIN 收集到的 MIP 粒子电流脉冲信号；(b) IHEP Si LGAD 和 PIN 探测 MIP 粒子的电荷分布

Figure 4-19 (a) Measured MIP signal for IHEP Si LGAD and PIN; (b) Measured collected charges for IHEP Si LGAD and PIN