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

SiC 定时性能仿真

谭雨航

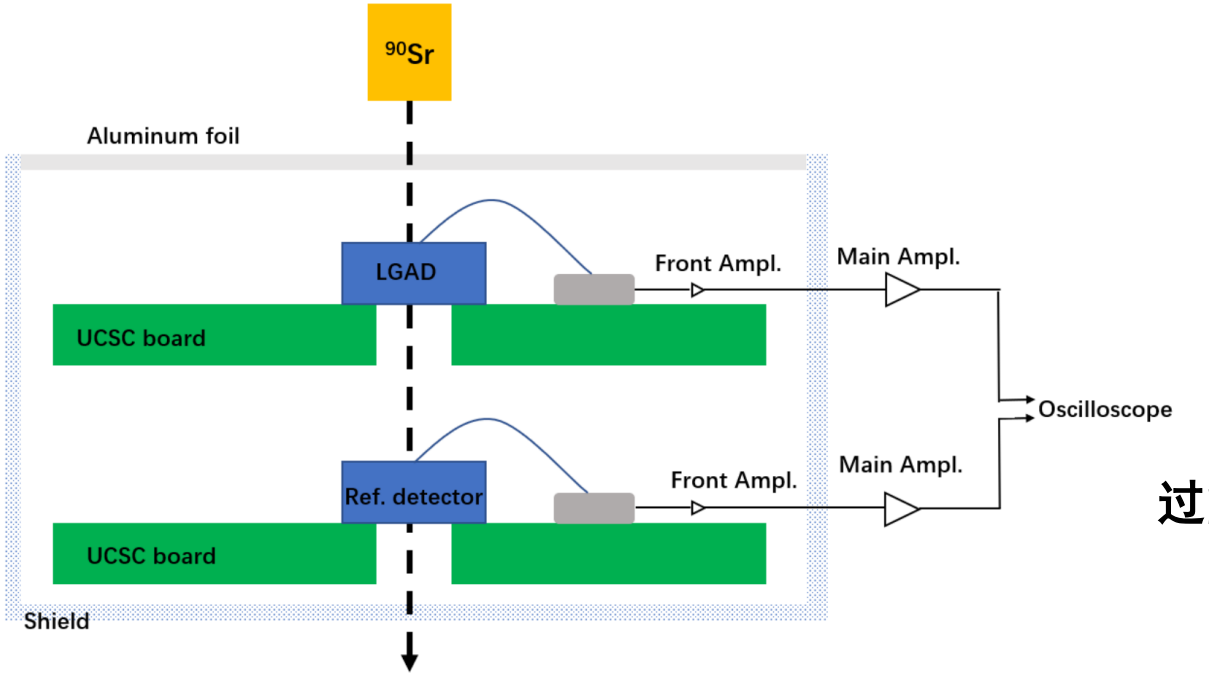
2022年5月13日

探测器的定时性能

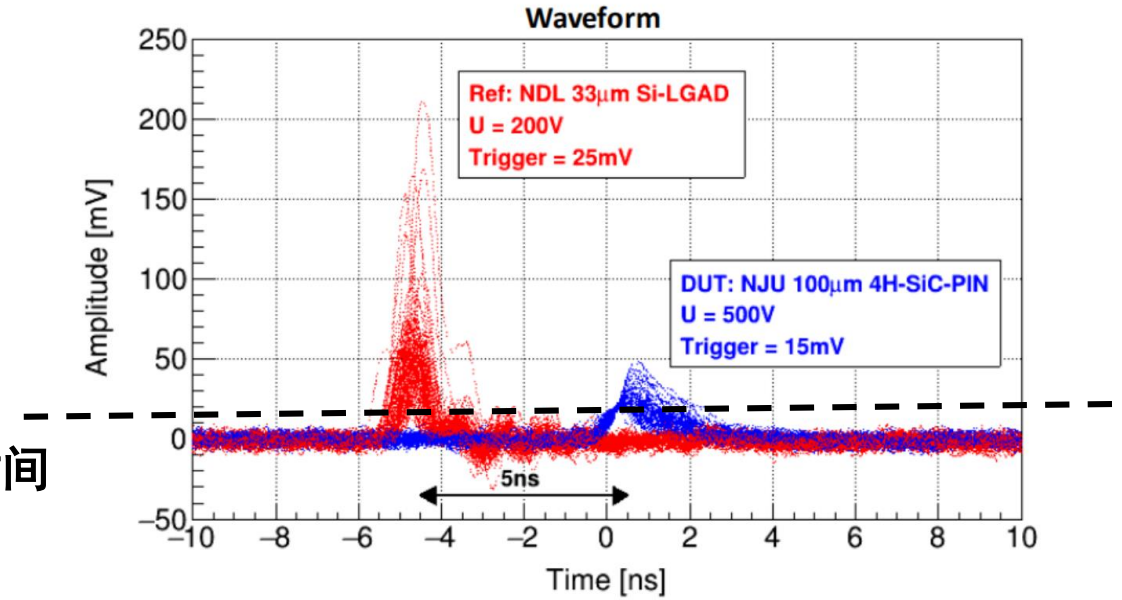
➢ 时间分辨率测量方法：

- ^{90}Sr源释放的高能 2.28MeV 电子先后经过两层探测器
- 两层探测器的触发时间的差受多种因素影响而波动
- 触发时间差的不确定水平为两层探测器的综合时间分辨率

$$\sigma_t^2 = \sigma_{ref}^2 + \sigma_{LGAD}^2$$



过阈时间



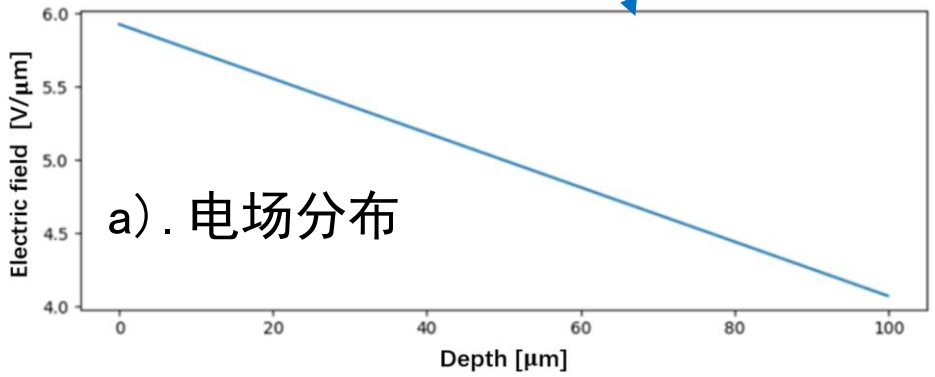
4H-SiC：模拟软件 RASER 介绍一

➢ 自主研发 4H-SiC 定时性能仿真软件——RASER(RAdiation SEmiconductoR)，其组成部分包括：

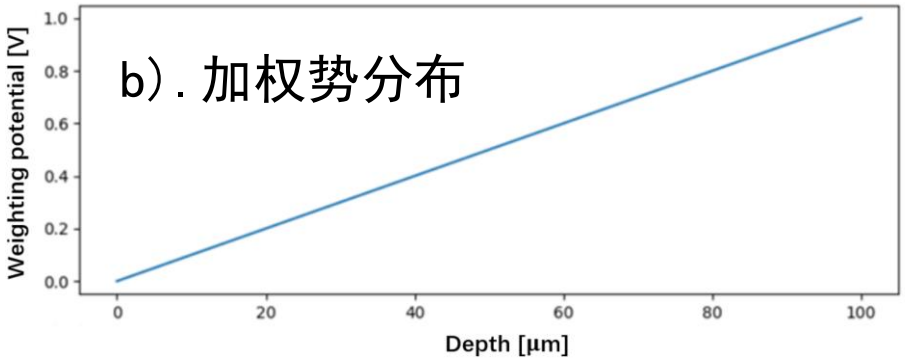
- FEniCS 解泊松和拉普拉斯方程

$$\nabla^2 U = -\frac{\rho}{\epsilon} \qquad E = -\nabla U$$

$$\nabla^2 U_w = 0 \qquad E_w = -\nabla U_w$$

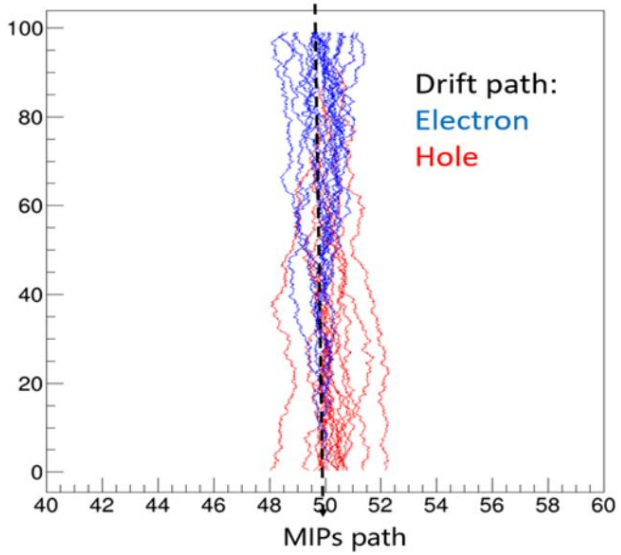


a).电场分布



b).加权势分布

c).4H-SiC-PIN e-h 漂移路径

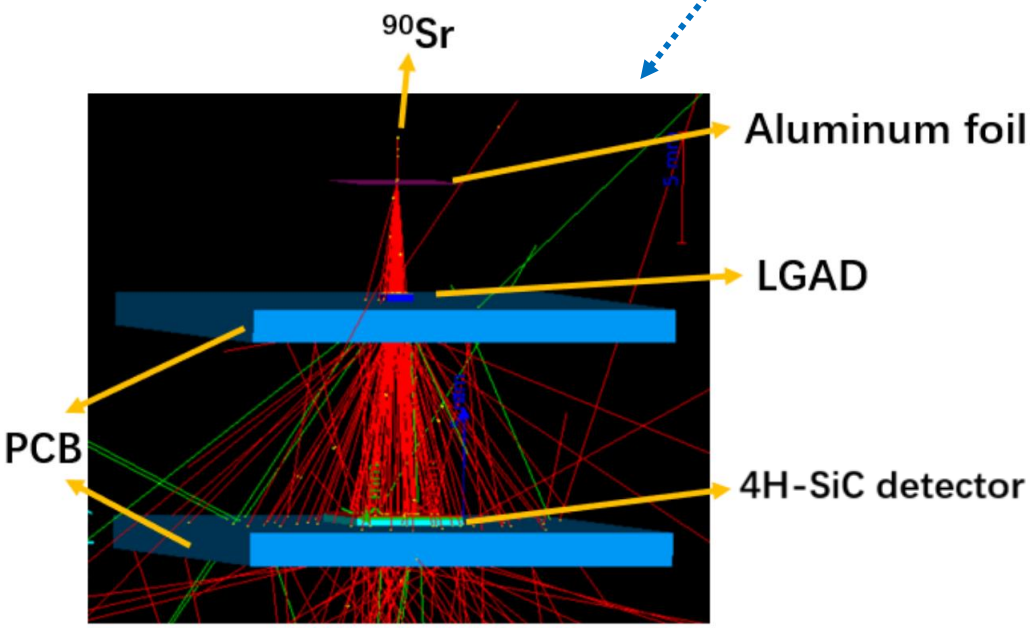


4H-SiC：模拟软件 RASER 介绍二

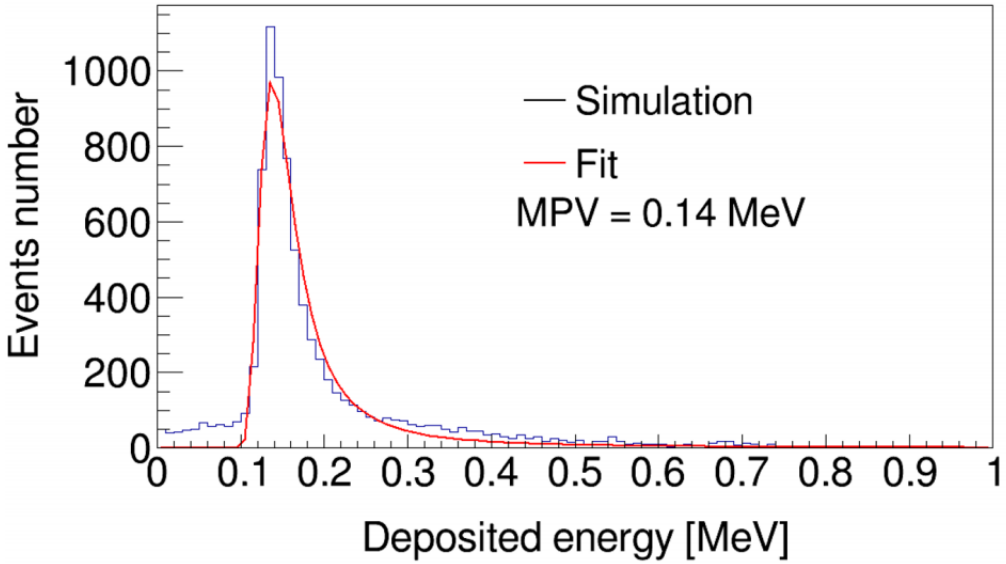
➢ 自主研发 4H-SiC 定时性能仿真软件——RASER(RAdiation SEmiconductoR)，其组成部分包括：

- GEANT4 模拟入射粒子的路径和在探测器中沉积的能量分布

c).GEANT4入射粒子路径模拟



d).入射粒子沉积的能量

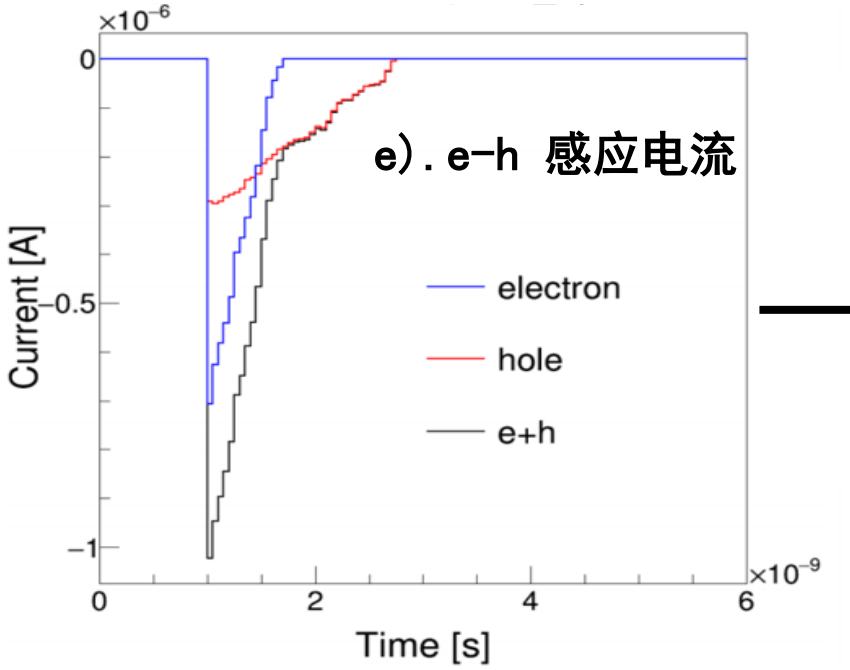


4H-SiC：模拟软件 RASER 介绍三

- 自主研发 4H-SiC 定时性能仿真软件——RASER(RAdiation SEmiconductoR)，其组成部分包括：

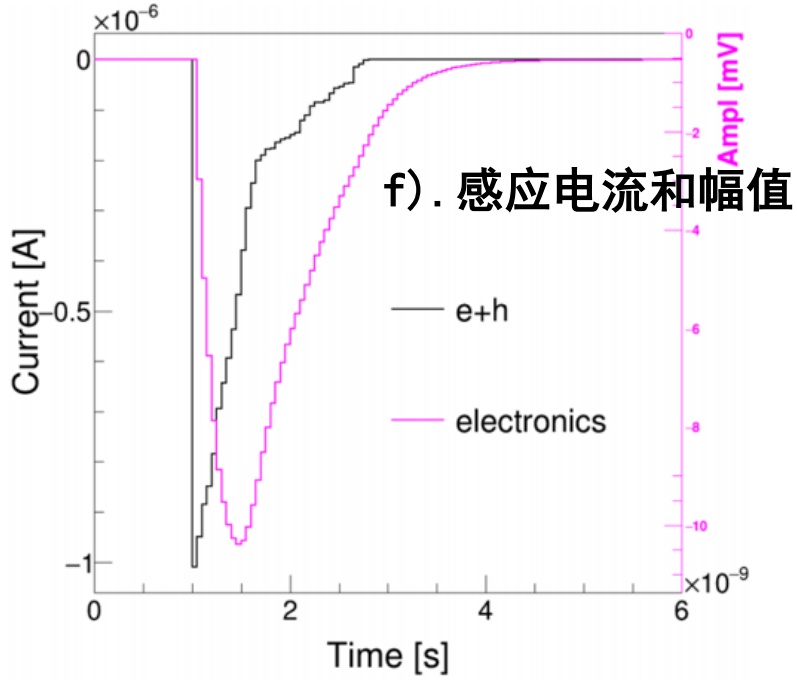
感应电流：肖克利－拉莫定理

$$I(t) = -q\vec{v}(\vec{r}(t)) \cdot \vec{E}_w(\vec{r}(t))$$



经过电子学

电子学：电流灵敏放大器模型



4H-SiC：模拟软件 RASER 介绍四

➢ 低电场

$$\mu_e = \frac{947 \times \left(\frac{T}{300}\right)^{-2}}{1 + \left(\frac{N_i}{1.94 \times 10^{19}}\right)^{0.61}} \qquad \mu_h = 15.9 + \frac{124 \times \left(\frac{T}{300}\right)^{-2}}{1 + \left(\frac{N_i}{1.76 \times 10^{19}}\right)^{0.34}}$$

➢ 高电场

$$\mu_{HF,sat} = \frac{\mu_{low}}{\left(1 + \left(\frac{\mu_{low} E}{v_{sat}}\right)^{\beta 1}\right)^{\frac{1}{\beta 1}}}$$

- e-h 的饱和漂移速度

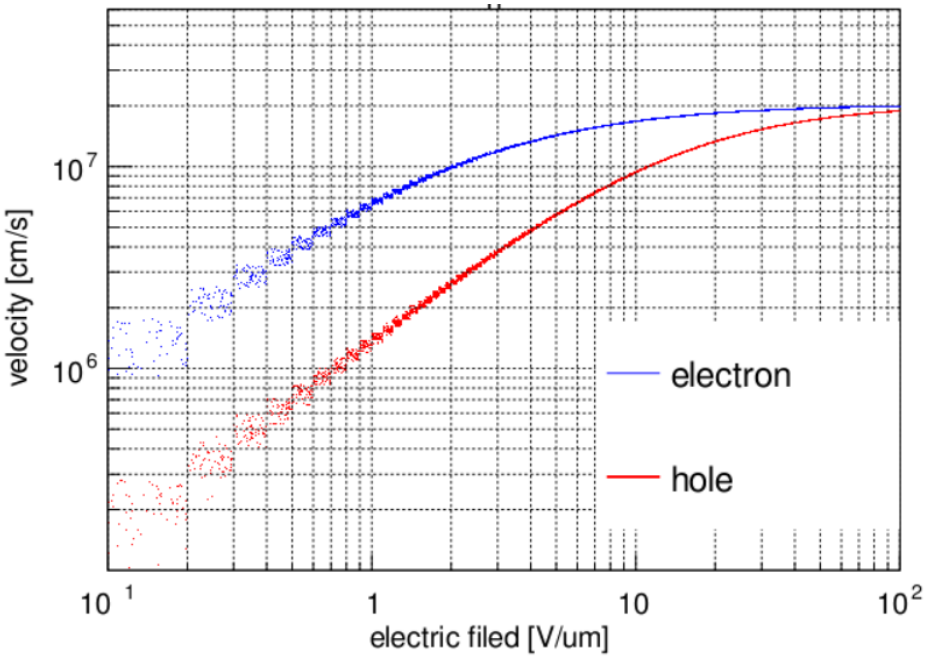
$$v_{sat\ e} = 2 \times 10^7 \left(\frac{T}{300}\right)^{0.87} \qquad v_{sat\ h} = 2 \times 10^7 \left(\frac{T}{300}\right)^{0.52}$$

- β_1 vs 温度

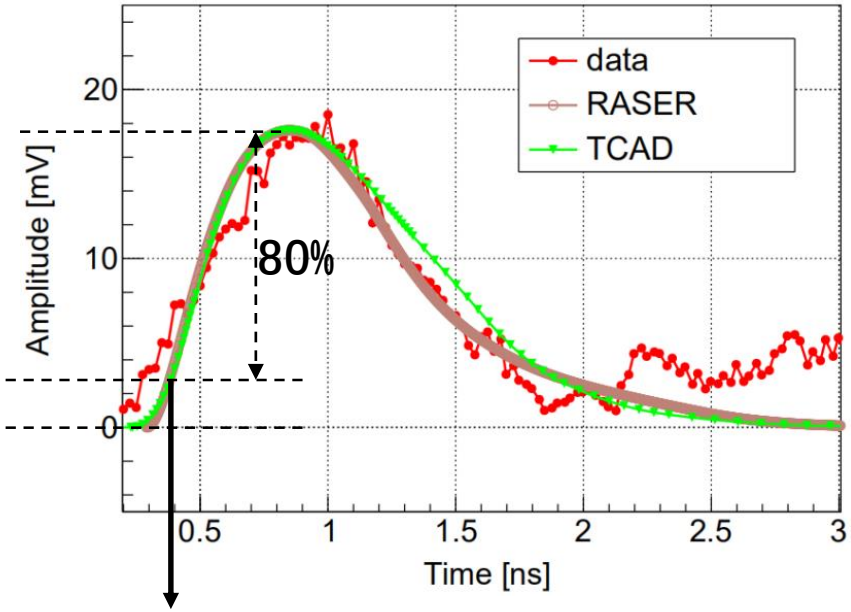
$$\beta 1_{\ e} = 1 \times \left(\frac{T}{300}\right)^{0.66} \qquad \beta 1_{\ h} = 1.213 \times \left(\frac{T}{300}\right)^{0.17}$$

RASER 中载流子迁移率模型

漂移速度 $\begin{cases} v_e = \mu_e \times E \\ v_h = \mu_h \times E \end{cases}$



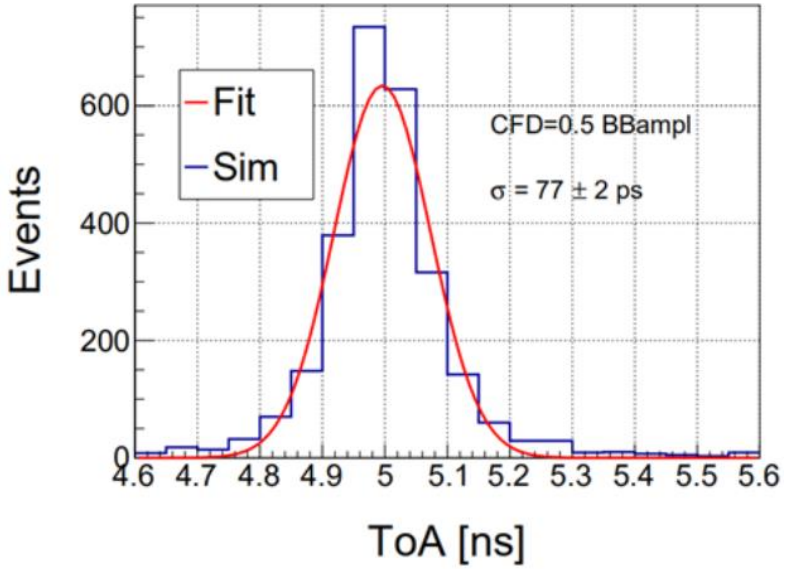
得到模拟时间分辨率



TOA： 波形 20% 对应的横轴

模拟 10000 个事例

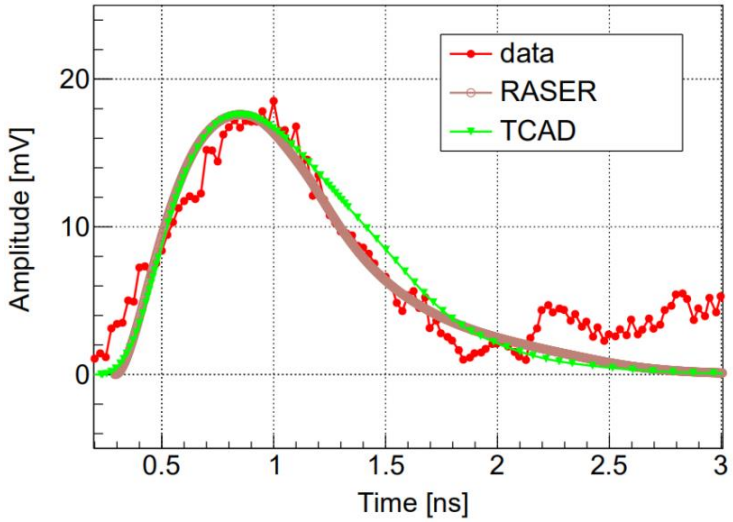
得到 10000个 TOA



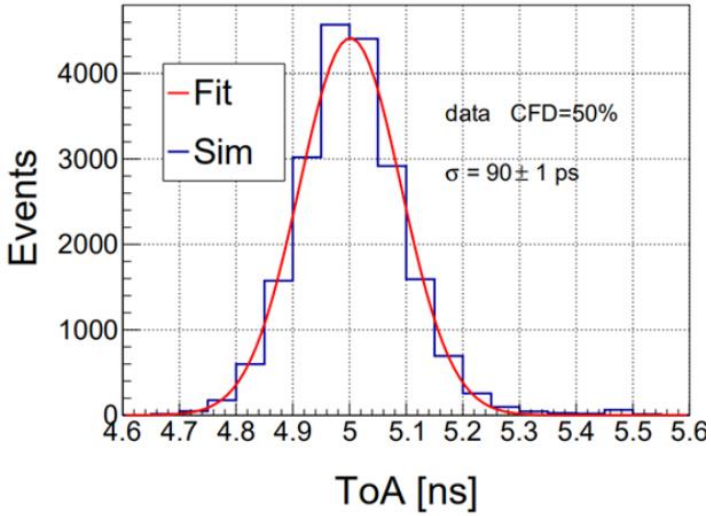
高斯函数拟合，sigma为时间分辨率

4H-SiC-PIN：模拟与测试对比

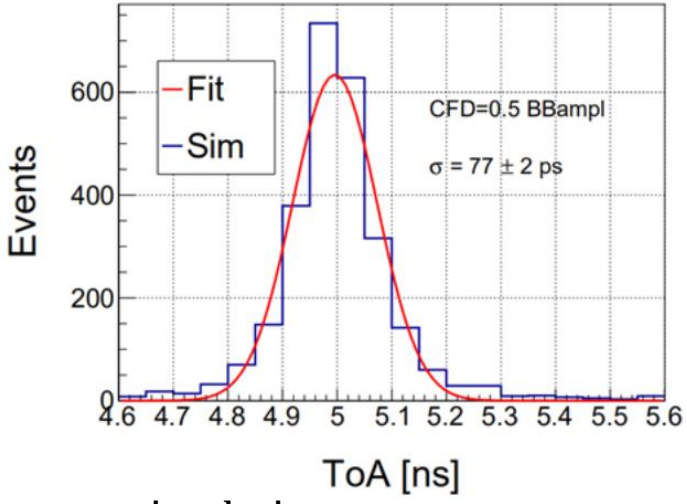
a). 模拟与测试波形符合良好



b). 测试时间分辨率



c). 模拟时间分辨率



$\sigma^{measure}_{4H-SiC-PIN} = 83ps$ 测试

$\sigma^{simulation}_{4H-SiC-PIN} = 77ps$ 模拟

两者相差较小

- RASER 可以仿真 4H-SiC-PIN 的定时性能

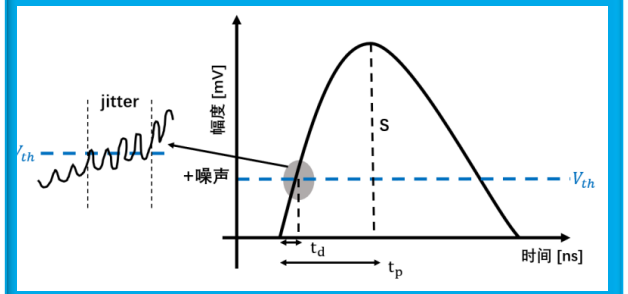
时间分辨率模拟：

➢ 时间分辨率主要构成：

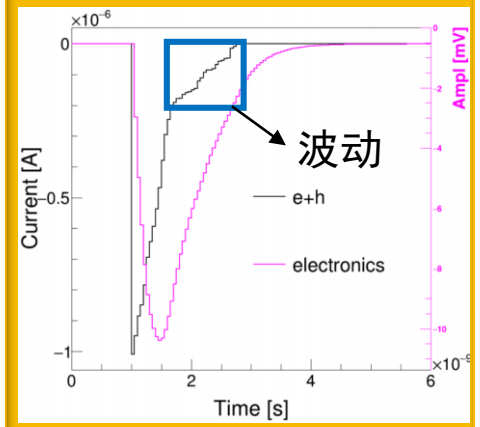
$$\sigma_t^2 = \sigma_{jitter}^2 + \sigma_{tw}^2 + \sigma_{TDC}^2$$

- **电子学噪声**

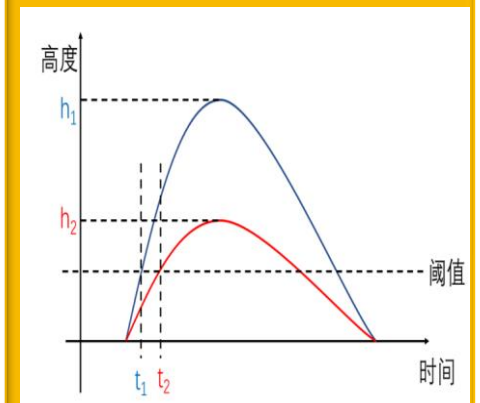
$$\sigma_{jitter} = \frac{Noise}{dV/dt}$$



- **电离的不均匀**



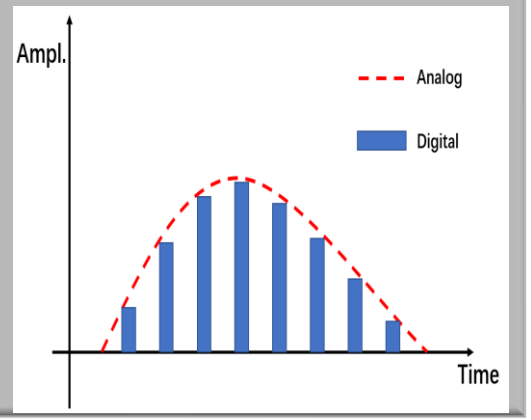
- **总沉积能量不同**



GEANT4 模拟

- **模数转化**

$$\sigma_{TDC} \approx \frac{\Delta T}{\sqrt{12}}$$



总结

- 介绍时间分辨率测量方法
- 介绍 RASER 仿真软件
- 介绍仿真时间分辨率的方法