



Report for Silicon Detector Physics

张峻华

29 Jul 2021



上海交通大學

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY



调研结果

- 阅读并总结了NDL-LGAD sensor的质子辐照表现，实验结论如下：
 - 辐照会降低探测器的增益、时间分辨率、电荷收集能力和增益层电压 V_{GL} ；
 - 增益层电压一事可用受体去除的模型解释，但该理论尚未完备；
 - 与FBK等LGAD传感器相比，其辐照硬度较好(C_A 系数判定)。
- 查出了探测器参数的计算公式



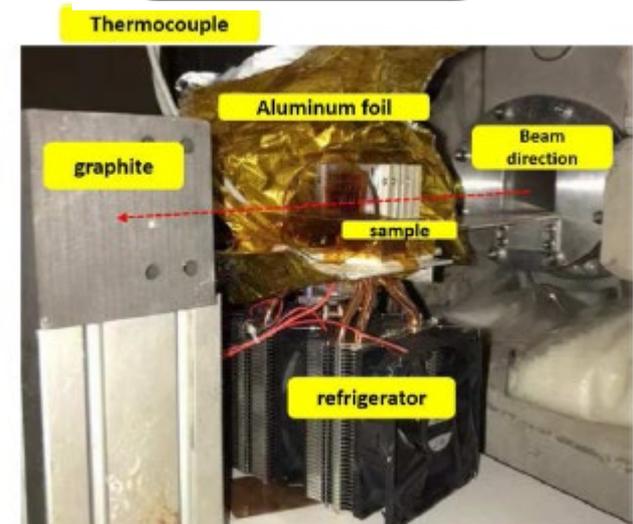
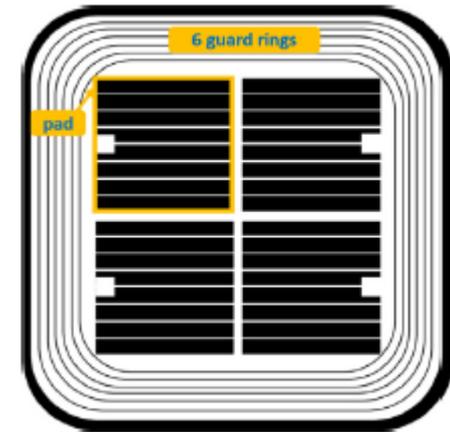
NDL辐照——实验目的

- 研究质子辐照对NDL探测器的性能影响，包括I-V, C-V, 电荷收集，时间分辨等
- 求受体去除系数 (acceptor removal coefficient)



NDL辐照——实验装置

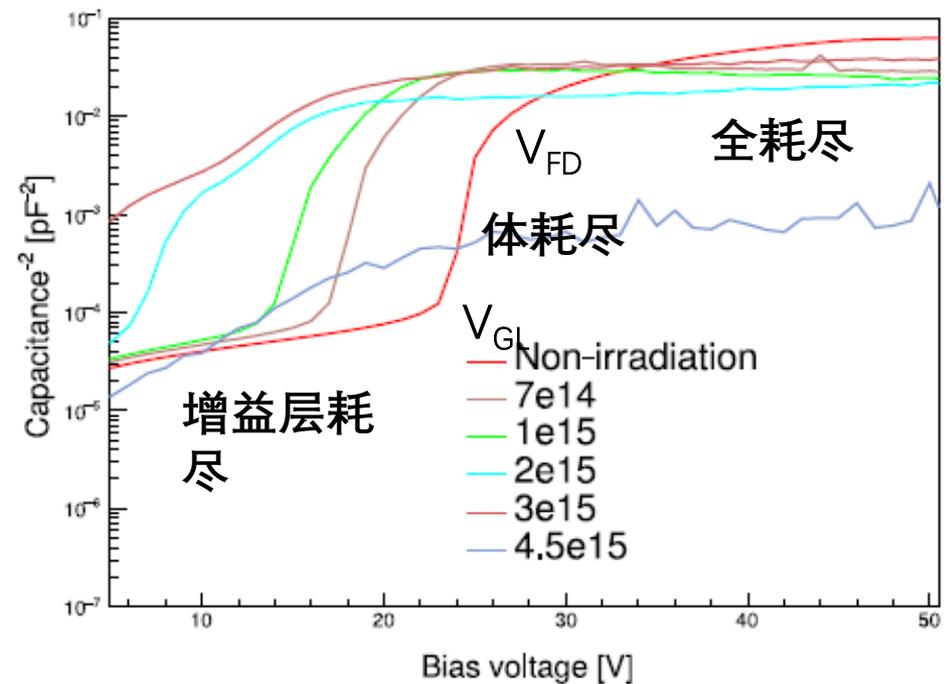
- NDL sensor
- 实验台
 - 辐照束尺寸：2*2 cm²
 - Sensor贴在铝板，用绝缘胶带固定
 - 辐照过程中用帕尔贴装置维持0°C以下恒温
 - 石墨接收多余的辐照，保护装置
 - 冰箱用于辐照后退火





NDL辐照——C-V

- C-V曲线
 - 辐照过大，破坏逻辑函数的对称性
 - 原因是过大的辐照会在板子的背侧形成pn结，也就不能测出 V_{GL} 来



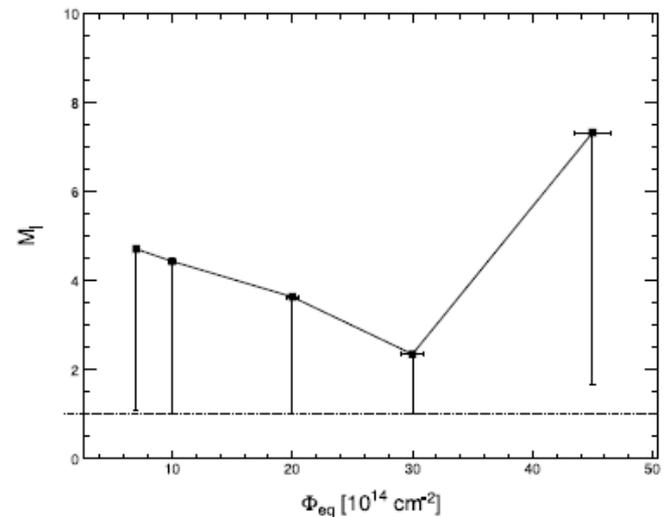
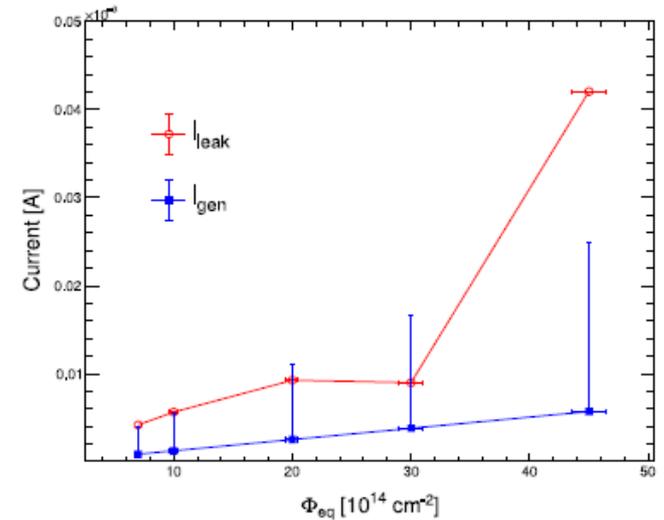


NDL辐照—I-V

- 计算

$$I_{\text{leak}} = M_I \alpha \cdot S \cdot d \cdot \Phi_{\text{eq}}$$

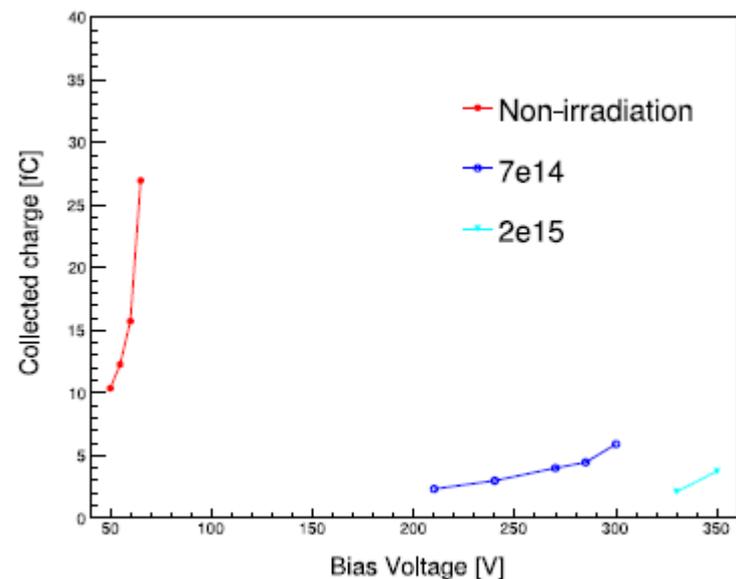
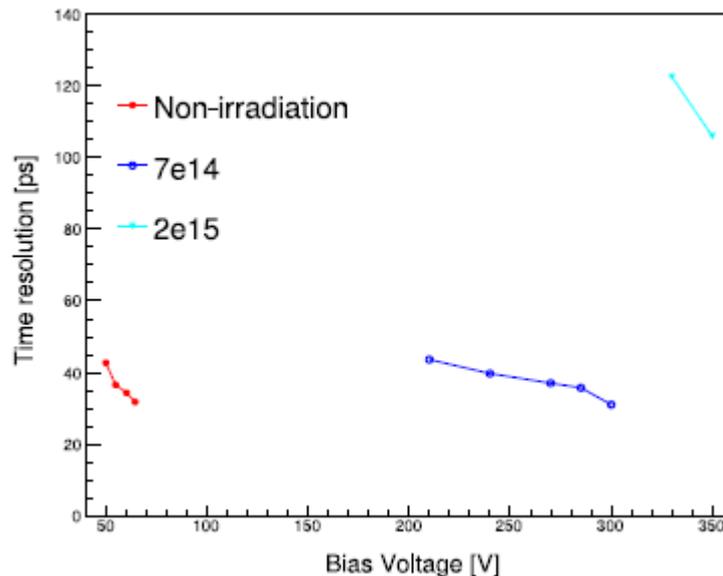
- 辐照与漏电流不成线性关系 (M_I 系数见右下图)
- 一般地, 辐照越甚, 系数 M_I 的最大值越小;
- 45辐照下比例值异常源于电流测量的不确定度太大。





NDL辐照——时间分辨&电荷收集

- 可能是测量了全部的电压域，但只选择了部分有特征的数值，进而制图。
- 同样的偏压下，辐照越甚，时间分辨越差、电荷收集也越差。





NDL辐照——受体除去

- N_{eff} 的变化遵从:

$$N_{\text{eff}}(\Phi_{\text{eq}}) = N_{A0} e^{-c_A \Phi_{\text{eq}}} + g_{\text{eff}} \Phi_{\text{eq}}$$

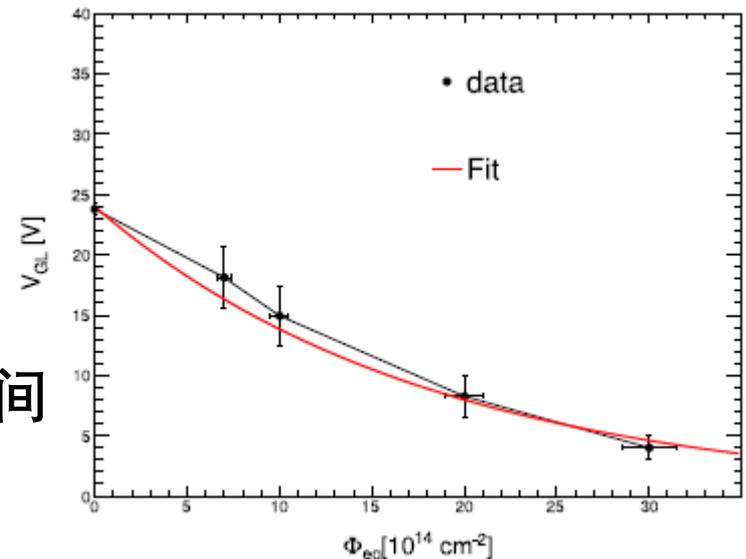
- 第一项代表受体实际去除，第二项代表类受体去除的缺陷项；
- c_A 是受体去除系数，在掺杂浓度甚高的增益层， c_A 可由下式确定：

$$V_{\text{GL}}(\Phi_{\text{eq}}) \approx V_{\text{GL}0} e^{-c_A \Phi_{\text{eq}}}$$

- 拟合结果：

$$c_A = (5.52 \pm 0.58) \times 10^{-16} \text{cm}^2$$

与其他LGAD实验结果同在一个区间





探测器原理

- 已查阅到的计算方法 (H.Spieler)

- C-V函数(P15)
- 耗尽电压(P68)
- (全)耗尽宽度(P63)
- 电荷收集时间(P71)

- 增益(P87 待确认)
- 固有能量分辨(P54)

$$C = \epsilon \frac{A}{w_d} = A \sqrt{\frac{\epsilon e N}{2(V_b + V_{bi})}}$$

$$V_d = \frac{e N_d w^2}{2\epsilon} - V_{bi}$$

$$w = x_n + x_p = \sqrt{\frac{2\epsilon V_b}{e} \frac{N_a + N_d}{N_a N_d}}$$

$$t_{cp} = \frac{d^2}{2\mu_p V_{di}} \log \left(\frac{V_b + V_{di}}{V_b - V_{di}} \right)$$

$$t_{cn} = \frac{d^2}{2\mu_n V_{di}} \log \left(\frac{V_b + V_{di}}{V_b - V_{di}} \right)$$

$$G_n = e^{\alpha_n d} \quad \alpha_n = \alpha_{n0} e^{-E_n/|E|}$$

$$\sigma_Q = \sqrt{F N_Q}$$



探测器原理

- 已经查阅到的参数：

Table 2.3 Representative detector materials. Mobilities μ are in units of $\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ and $\mu\tau$ products in cm^2V^{-1} .

Material	E_g (eV)	E_i (eV)	ϵ	μ_e	μ_h	$(\mu\tau)_e$	$(\mu\tau)_h$	ρ	$\langle Z \rangle$
Si	1.12	3.6	11.7	1350	450	> 1	> 1	2.33	14

- PN结内建电压0.5V(P15)
- reverse bias current=漏电流
- reverse current中的“generation current” =漏电流
- 芯片的以下参数未知：
 - 掺杂浓度
 - 能量-电荷转换系数（对半导体的粗略值是 $3e5$ e-h pair/MeV）

谢谢!

