

硅微条探测器的辐射损伤试验

顾维新

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

R. Lipton

(Fermilab, Batavia, ILL 60510, U. S. A.)

1996-02-14 收稿

摘 要

测量了硅微条探测器在辐照前后的坪曲线、脉冲高度与偏置电压的关系, 及辐照后的总漏电流和黑洞的大小。

关键词 硅微条探测器, 辐射损伤, 黑洞, 耗尽电压。

1 引 言

美国 Fermilab 实验室的 Tevatron 是当今世界能量最高的 p-p 对撞加速器, 在改进后亮度从 $10^{31} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ 提高到 $10^{32} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$, 最小束团时间将从现在的 $3.5 \mu\text{s}$ 减少到 132ns . CDF 和 D0 是它的两个探测器, 为适应加速器亮度的提高和束团时间减小的需要, 探测器必须进行改进, D0 探测器的最重要改进是增加了磁场强度为 2T 的超导磁场和用硅微条顶点探测器取代了原有的中心径迹室^[1].

为了使硅微条探测器能在高辐射剂量下(超过 1Mrad)工作, 下列几个重要效应需要测定:

(i) 漏电流与辐射剂量的关系. 漏电流 I 通常由辐射损伤常数 α 来表示, $I \approx \alpha \phi$, $\alpha = 4 \times 10^{-17} \text{A/cm}^2$, ϕ 为束流通量, $\phi = 10^{10} \text{cm}^{-2} / \text{pb}^{-1}$.

(ii) 耗尽电压与辐射损伤的关系. 随着辐射剂量的增加, 如探测器工作在 10°C 以下, 耗尽电压的增加将变得十分缓慢, 这将延长探测器的使用寿命.

(iii) N⁺型硅的反转. 在几百个 krad 剂量照射后, 硅微条探测器从 N 型转变为 P 型. 二极管结构的这种变化将产生若干效应, 它改变了探测器的电流方向和全部性能.

(iv) 黑洞. 由过剩的电流流入读出芯片 SVX 的输入端是一个特别有趣的问题, 大输入电流使芯片 SVX 输入电路饱和, 这些电流由一个保护二极管驱动扩散到相邻的一些道, 被波及的道数多少正比于输入电流^[2].

本文是 D0 硅微条探测器 1265-22-A 试验的总结, 这个探测器与三个 SVXH 读出芯片连在一起, 每个 SVXH 芯片包含 128 道读出电子学, 每一道读出电子学与一个硅微条相对应. 探测器与 SVXH 读出芯片共同安装在一块试验印刷电路板上. 在预先进行

各种测量之后, 将试验板送到 TRIUMF 束流线上, 用 1Mrad 的剂量照射后, 用 C-V、 α 源和激光束方法对硅微条探测器的耗尽电压等参数进行测量. 为了找出全部的黑通道, 在探测器的 N 边加上反偏置电压, 用读出系统进行数据收集, 然后对所记录的数据进行离线分析.

2 辐照前的测量

为了与辐照后的数据进行比较, 在辐照前对硅微条探测器的性能作了测试.

2.1 原始数据

耗尽电压	8V
电容短路	2, 7, 71, 87 道
开路道	107—111 道
击穿电压	54V (总电流 $1.5\mu\text{A}$)
总电流	166nA (偏压 20V)

2.2 坪曲线测量

用激光束照射硅微条探测器的表面, 测量它对偏置电压 V_b 的响应. 测量时偏置电压加在探测器的 N 边. 不同偏压时输出激光脉冲高度的响应示于图 1(a). 由图可见激光束的输出脉冲高度随偏压的增加而上升, 当偏压大于 16V 时曲线变得平坦, 表示此时开始硅微条探测器完全被耗尽.

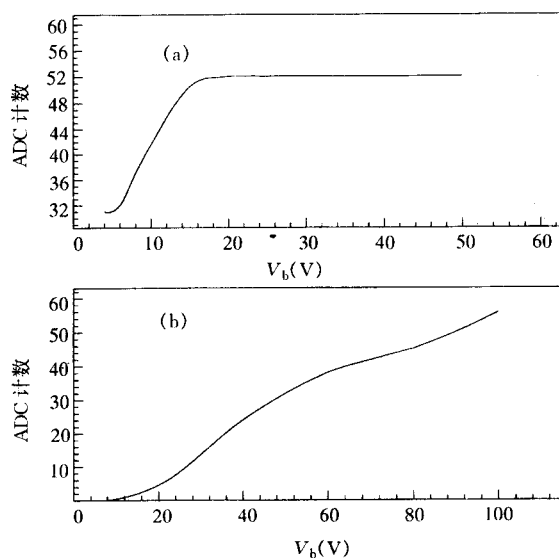


图1 辐照前后的坪曲线
(a)辐照前; (b)辐照后.

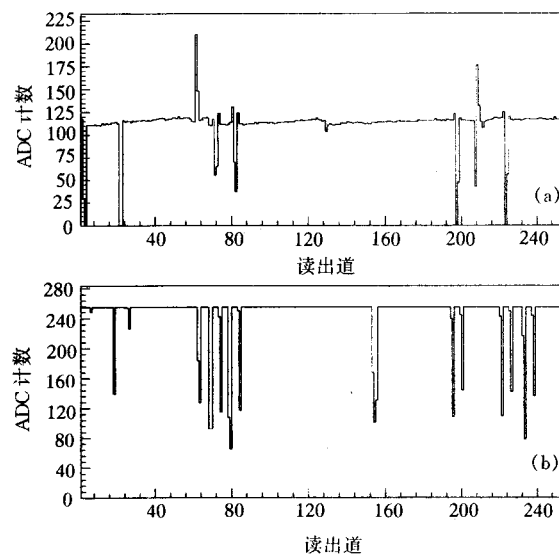


图2 辐照前后脉冲高度与读出道的关系
(a)辐照前; (b)辐照后.

2.3 脉冲高度与黑洞道的关系

图 2(a) 表示脉冲高度与 SVXH 的读出道数的关系. 出现在第 209 道的峰是所加的激光脉冲信号, 其他的峰都是由于探测器与 SVX 之间的连线开路, 及耦合电容短路使过剩电流流过 SVX 芯片而产生的. 在显微镜的检测下可发现探测器与 SVX 芯片之间的耦合电容是否短路. 这些道的存在将使探测器的探测效率下降, 并可能播种下新的黑洞道产生的种子.

3 辐照后的测试

3.1 坪曲线

图 1(b) 给出了硅微条探测器在 TRIUMF 的 800MeV 质子束照射 1Mrad 剂量后测出的坪曲线. 与图 1(a) 比较可以看到辐射损伤的影响是十分明显的. 这表明偏压增加到 100V 时, 激光输出脉冲高度才达到完全耗尽的程度, 而辐照前的完全耗尽电压低于 20V.

3.2 脉冲高度与 SVX 道的关系

由 ADC 读出的脉冲高度与道的关系示于图 2(b). 图中第 156 道的峰是激光脉冲信号. 可以看出硅微条探测器在辐照后出现了更多的死道. 这些道是由于黑洞道的传播而产生的, 在黑洞道两边产生的道通常称为相邻道. 我们在另外的研究中^[9], 用使硅微条探测器的坏条与 SVX 的输入端隔离的方法, 使这些被波及到的相邻道恢复正常工作.

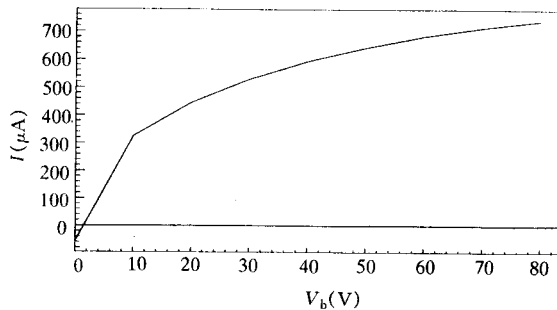


图 3 总漏电流与偏置电压的关系

3.3 漏电流的测量

典型的总漏电流与偏置电压的关系曲线在图 3 中给出, 可以看到总的漏电流随着偏置电压的增加而增加, 这是在高辐照剂量下由于辐射损伤产生的预期结果. 辐射损伤导致了两个重要效应: 一是硅微条探测器的漏电流由于辐射感生了复合中心而增加, 二是由于有效的 P

型掺杂中心产生, 改变了耗尽层电压. 由于完全耗尽电压的改变, 将限制了硅微条探测器的使用寿命, 而漏电流的增加将导致热噪声的贡献增加, 使信号对噪声的比下降.

3.4 黑洞的大小

黑洞是指由于耦合电容短路而使 SVX 产生饱和的现象, 黑洞道是指由于耦合电容短路而使 SVX 产生饱和的那一道, 黑洞的大小是指由于耦合电容短路而被波及到的道数与黑洞道的总和. 它的大小不仅与饱和电流有关, 还强烈地依赖于补偿电压(在硅微

条探测器输出端的电压)。已知台阶电压是不随偏压的改变而变化的,但是在黑洞道台阶电压随着偏压而变化,偏压小时黑洞道的输出电压就小得多了。

某些效应可以用高电流和硅微条探测器的反转性的结合来说明。反转效应就是道与道之间的电阻减小,直到硅微条探测器完全耗尽为止,这是探测器(1265-15-A)在TRIUMF同样辐射剂量条件下观察到的。道与道之间绝缘电阻减小就意味着电流将流过硅微条探测器的表面,使与黑洞道相邻的那些道(第一相邻,第二相邻等)也受到影

响。这种情况在图4中可以看到,黑洞的大小随着偏压接近完全耗尽电压(超过100V)而减小,这大概是由于硅微条探测器完全耗尽时条与条之间绝缘电阻增加的原故。

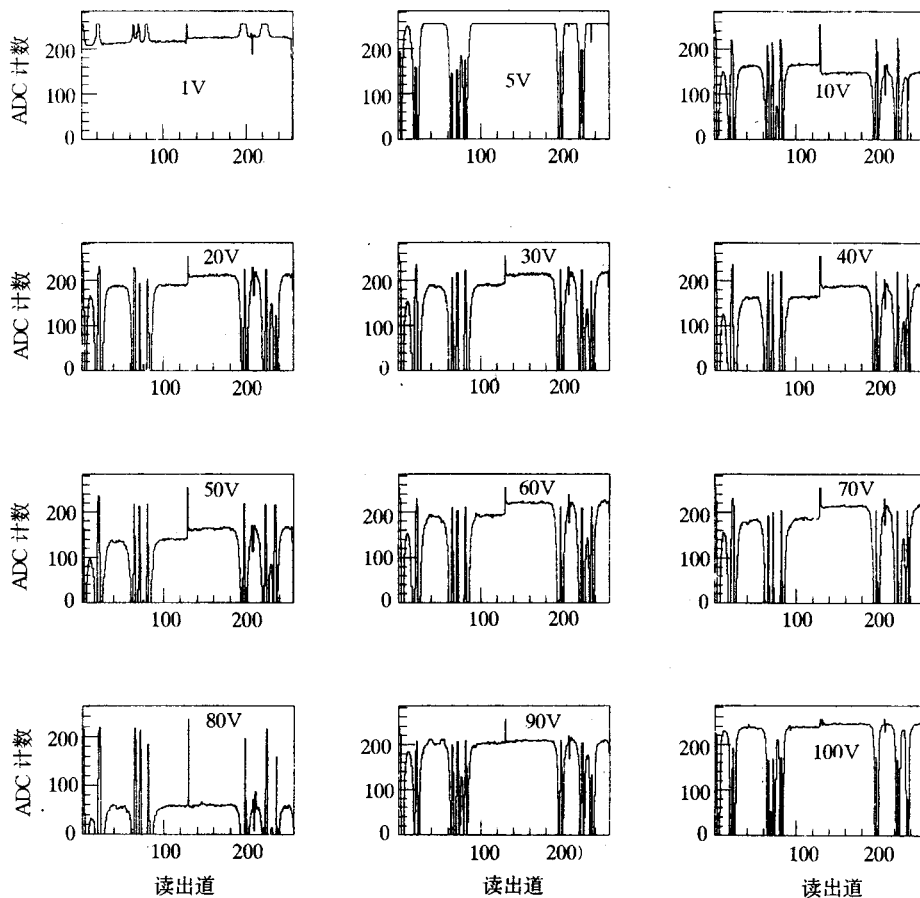


图4 黑洞大小随偏置电压的变化

4 结 论

完成了D0硅微条探测器在总剂量为1Mrad 800MeV/c质子照射下的试验。观察到

硅微条探测器由于辐射损伤产生了很大的漏电流,同时发现在探测器中有几个道的耦合电容被短路,我们认为这是由于大的漏电流与小的条间绝缘电阻的结合,使N型硅变为P型硅而产生的.

参 考 文 献

- [1] P. Michael Tuts, The D0 Upgrade, FERMILAB-Conf-92/276; Presented at the 3rd International Conference on Advanced Technology and Particle Physics, Como, Italy, June 22—26, 1992.
- [2] W. X. Gu *et al.*, SVX/Silicon Detectors Studies, FERMILAB-Conf-95/351; 顾维新等, SVX / 硅条探测器的研究, 核电子学与探测技术, 待发表.
- [3] 顾维新等, 硅条探测器及其读出芯片 SVX 饱和的研究, 全国第八届核电子学与探测技术会议, 1996, 12.

Radiation Damage Tests of Silicon Microstrip Detector

Gu Weixin

(Institute of High Energy Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

R. Lipton

(Fermilab, Batavia, ILL 60510, U. S. A.)

Received 14 February 1996

Abstract

This paper measured the plateau curve, height of pulse related with bias voltage of silicon microstrip detector which was before and after exposed, and the leakage current as well as size of 'black hole' after exposed.

Key words silicon microstrip detector, radiation damage, 'black hole', depletion voltage.