

硅光电二极管作为CsI(Tl) 晶体 读出元件的实验研究

何景棠 陈端保 李祖豪 毛裕芳 董晓黎

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

1995-11-09 收稿

摘 要

报道了硅光电二极管作为 CsI (Tl) 晶体读出元件的实验研究. 测量了日本 Hamamatsu 生产的两种硅光电二极管的读出性能, 包括能量分辨率与偏压、成形时间、灵敏面积和晶体尺寸的关系.

关键词 硅光电二极管, CsI 晶体, 能量分辨率.

1 引 言

近年来, 硅光电二极管 (SPD) 在高能物理和核物理方面的应用有了较多的探讨和研究^[1-3]. CsI(Tl) 晶体是闪烁体中具有较高的 γ 探测效率的晶体之一, 与 NaI 晶体比较,

它具有较好的机械强度、易于加工、不易潮解、不需要严格的密封等优点, 因此近年来得到了越来越广泛的应用. 但是由于其发射光谱的波长比 NaI 长, 与光电倍增管的谱响应不能很好地匹配, 所以用光电倍增管读出时其能量分辨率一般要低于 NaI 晶体. 但用硅光电二极管读出时, 其光谱响应却能得到很好地匹配, 其能量分辨率能够和用光电倍增管读出的 NaI 的能量分辨率相比较, 图 1 是晶体的发射光谱和硅光电二极管光谱响应的示意图^[4].

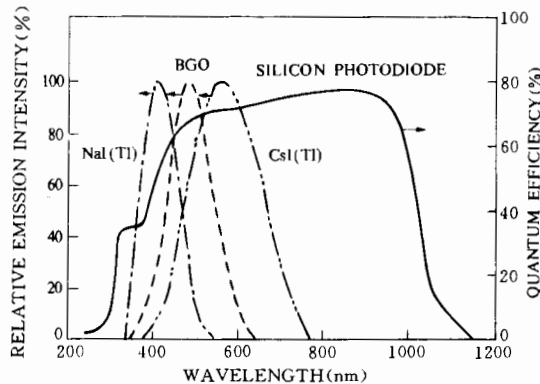


图 1 晶体的发射光谱和硅光电二极管的光谱响应图^[4]

应的示意图^[4].

近年来, 大面积的硅光电二极管不断被生产厂家推出, 这些新型的硅光电二极管具有较高的量子效率 ($\sim 70\%$), 灵敏面积达到平方厘米的量级. 用硅光电二极管作 CsI(Tl) 晶体的读出元件还有其他许多的优点: 它允许在有磁场的情况下工作, 具有较小的探测器体积便于实验安排, 不需要提供严格稳定的高压. 因此硅光电二极管将在高能物理和

核物理探测领域中得到更加广泛的应用。

2 实验研究

初步测试了实验室现有的两种硅光电二极管作为 CsI(Tl) 晶体读出元件的性能, 测试的装置如图 2 所示。CsI(Tl) 的一面不是很严格的抛光, 其它的各面打毛, 硅光电二极管与晶体用硅胶耦合, 用大约 10 层白色的聚四氟乙烯包装, 然后再用黑胶带密封。前置放大器为 Canberra 生产的 2001 型电荷灵敏放大器, 主放大器为中国原子能院生产的 313 型谱放大器。为了防止周围其它设备的电波干扰, 探测器和前置放大器都装在铜制的屏蔽暗盒中。测量的硅光电二极管均为 Hamamatus 的产品, 其主要性能见表 1 所示。其中 S3590 是 S1790 的改进型, 主要参数相似。用这两种硅光电二极管作了如下研究:

2.1 能谱测量

用硅光电二极管作为 CsI 晶体读出元件测得的 ^{22}Na 和 ^{137}Cs 放射源的典型 γ 谱如图 3(a)、(b) 所示。对于 ^{22}Na 的 0.511 MeV 和 1.27 MeV 的 γ 射线, 用 S1337 硅光电二极管读出时, 其能量分辨率分别达到 40% 和 20%, 用 S1790-02 硅光电二极管读出时其能量分辨率分别达到 13.2% 和 8.4%。如能采用较大灵敏面积且性能较好的硅光电二极管和合适的晶体尺寸, 能量分辨率还会得到改善。从硅光电二极管作为 CsI(Tl) 晶体的读出元件的测量结果看来, 其在高能物理和核物理探测领域将有一定的使用潜力。

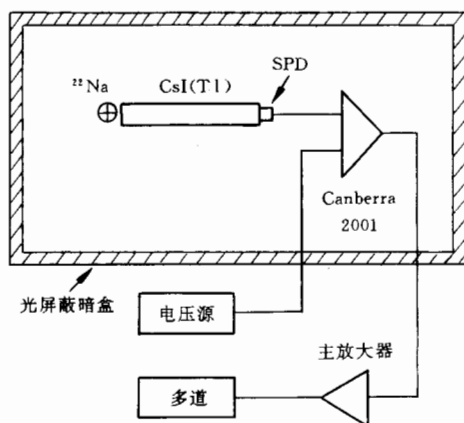


图2 硅光电二极管作为 CsI(Tl) 晶体读出元件实验研究的逻辑框图

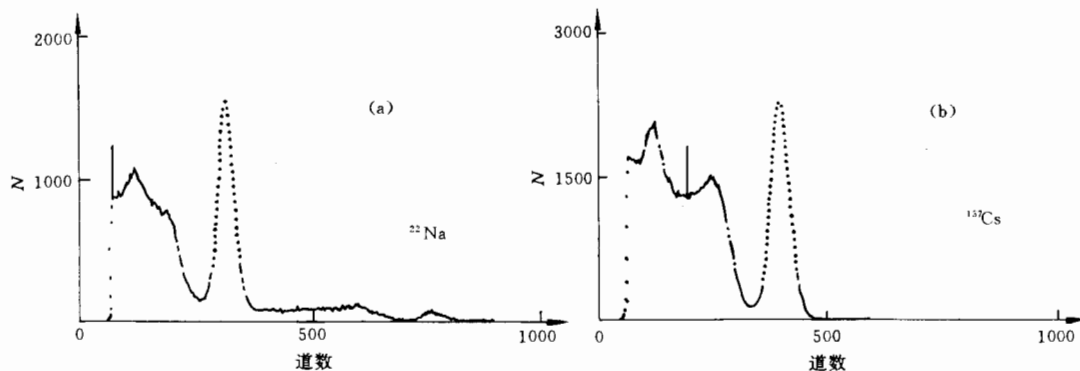


图3 硅光电二极管作为 CsI(Tl) 晶体读出元件测得的 ^{22}Na 和 ^{137}Cs 的 γ 能谱图

表1 硅光电二极管的主要参数

	灵敏面积 (mm ²)	峰值处灵敏 波长 λ_p (nm)	在 λ_p 处 灵敏度 (A/W)	暗电流 $I_r=10\text{mV}$ (pA)	最大反 向电压 (V)	结电容 $I_r=0\text{V}$ (pF)
S1337	10×10	720	0.62	200	5	1100
S3590-02	10×10	960	0.59	10 ⁴	100	50

注: I_r 为加于硅光电二极管上的反向电压.

2.2 能量分辨率和晶体尺寸的关系

测量了几种不同尺寸晶体对 γ 射线响应的能谱, 每种晶体尺寸对应的能量分辨率如表 2 所示. 从表 2 中能够看出, 能量分辨率与硅光电二极管的光灵敏面积和晶体的尺寸及耦合面的大小有关. 因此在有条件的情况下, 应尽可能地选用光灵敏面积合适的硅光电二极管, 使它与晶体的耦合面达到最佳的匹配, 得到最佳能量分辨率.

表2 能量分辨率与晶体尺寸的关系(SPD 1790-02)

晶体尺寸 (mm ³)	γ 射线能量 (MeV)	分辨率 (%)	成形时间 (μs)	偏压 (V)
10×10×10	0.662	11.0	4	10
$\phi 25 \times 25$	0.662	17.2	4	10

2.3 能量分辨率与成形时间的关系

对于不同的硅光电二极管和前置放大器, 最佳能量分辨率对应的主放大器的成形时间是不同的. 主放大器的成形时间对能量分辨有影响, 测量结果表明, 最佳的能量分辨对应一个最佳成形时间. 图 4 是测得的能量分辨率 R 与主放大器成形时间的关系图. 图中实验点较大的间隔是受主放大器成形时间间隔挡的限制, 如能较细的调节成形时间, 能量分辨率还会有所改善.

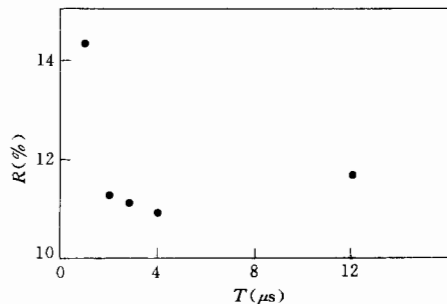


图4 能量分辨率与成形时间的关系

2.4 能量分辨率与偏压的关系

本工作也测量了能量分辨率与硅光电二极管工作偏压变化的关系, 当选择了最佳偏压值后, 在附近的一定范围改变偏压值, 对能量分辨率没有明显的影响. 硅光电二极管作为 CsI(Tl) 晶体的读出元件, 不需要提供严格稳定的高压, 这是其优点之一.

以上实验测量都是在 $\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右的室温下进行的, 半导体器件的性能受温度的影响, 其能量分辨率对温度的依赖关系有待于进一步的实验研究.

3 讨 论

物理学家们正准备将硅光电二极管作为 CsI(Tl) 晶体的读出元件用于 B 介子工厂和 τ -c 工厂中, 我们的初步实验结果表明, 用硅光电二极管作为 CsI(Tl) 晶体的读出元件, 组成 τ -c 工厂的电磁量能器的方案是可行的, 进一步的实验是必需的, 如大体积的晶体中多个硅光电二极管的读出、强磁场下光电信号的读出、长时间的稳定性和可靠性、硅光电二极管和晶体的最佳耦合和包装以及各种型号的硅光电二极管之间读出的性能差别等, 以便在性能和价格之间选取最佳方案.

参 考 文 献

- [1] Donald E. Groom., *Nuclear Instru. and Meth. in Physics research*, A **219**(1984) 141.
- [2] H. grassmann *et al.*, *Nuclear Instr. and Meth.*, in *Physics research*, A **234**(1985) 122.
- [3] 孟烈, 采用硅光二极管的闪烁计数器的设计与实践, 第七届全国核电子学与核探测技术年会论文集, 一卷, P232.
- [4] Hamamatus Opto-Semiconductors condensed catalog.

Experimental Studies on Using Silicon Photodiode as Read-out Component of CsI (Tl) Crystal

He Jingtang Chen Duanbao Li Zuhao Mao Yufang Dong Xiaoli

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

Received 9 November 1995

Abstract

In this paper, experimental studies on using silicon photodiode as the read-out component of CsI(Tl) crystal are reported. The read-out properties of two different types of silicon photodiode produced by Hamamatsu were measured, including relations between energy resolution and bias, shaping time, sensitive area of photodiode and the dimension of the crystal.

Key words silicon photodiode, CsI(Tl) crystal, energy resolution.