

## 对 $\gamma$ 不灵敏的 PIN 脉冲中子探测器\*

杨洪琼<sup>1;1)</sup> 朱学彬<sup>1</sup> 彭太平<sup>1</sup> 唐正元<sup>1</sup> 杨高照<sup>1</sup>  
李林波<sup>1</sup> 宋献才<sup>2</sup> 胡孟春<sup>1</sup>

1 (中国工程物理研究院核物理与化学研究所 绵阳 621900)

2 (中国工程物理研究院电子工程研究所 绵阳 621900)

**摘要** 将 PIN 半导体制作成特殊组合结构的 PIN 脉冲中子探测器,利用三通道装置产生的  $\gamma$  脉冲和中子发生器 DT 反应产生的 14MeV 中子脉冲对探测器进行了研究. 结果表明:PIN 脉冲中子探测器对脉冲  $\gamma$  辐射不灵敏,对脉冲中子辐射的灵敏程度依赖于中子辐射转换靶,探测器的信噪比达到 30:1,是一种在中子、 $\gamma$  混合脉冲辐射场中测量脉冲中子的新型探测器.

**关键词** PIN 探测器 脉冲中子测量  $n, \gamma$  混合辐射场

### 1 引言

对中子的探测主要通过中子与物质原子核相互作用,产生能引起电离效应的次级带电粒子来进行,例如:利用核反应( $n, \alpha$ )、核反冲( $n, p$ )、核裂变( $n, f$ )以及活化等.

在  $n, \gamma$  混合脉冲辐射场中,常采用飞行时间法原理,将  $n, \gamma$  辐射脉冲分开,实现对脉冲中子的探测. 但是,在某些实验装置条件下,往往因为测量的空间和距离受到限制,不能采用成熟的  $n, \gamma$  飞行时间差甄别混合辐射场中的  $\gamma$ ,因此,在测量中实现  $n, \gamma$  分辨成为难题,必须研究一种对  $\gamma$  不灵敏的脉冲中子探测器.

PIN 半导体探测器对中子和  $\gamma$  辐射都灵敏,常用于中子和  $\gamma$  辐射测量<sup>[1-3]</sup>,根据  $n, \gamma$  混合脉冲辐射场的特点<sup>[4,5]</sup>,在  $\gamma$  测量中研究了对中子相对不灵敏的探测器<sup>[6]</sup>,在中子测量中,利用差分补偿原理,研制了特殊组合结构的 PIN 脉冲中子探测器,其中采用了特殊配套电路,对组合半导体探测器存

在的不对称性进行调制补偿,使其达到很高的信噪比,成为一种对  $\gamma$  不灵敏的 PIN 脉冲中子探测器.

目前,在三通道脉冲发生器和脉冲中子发生器(简称 DPF)装置上,利用其产生的  $\gamma$  脉冲和 DT 中子脉冲,对 PIN 脉冲中子探测器进行了研究,并与闪烁探测器对 DT 中子脉冲的响应作了比较. 结果表明:探测器对  $\gamma$  脉冲辐射不灵敏;对中子脉冲辐射的灵敏程度依赖于中子辐射转换靶;探测器的信噪比达到 30:1. 研究获得了预期的满意效果.

### 2 探测器的结构

新型 PIN 脉冲中子探测器,应用差分补偿原理,将两个尺寸、灵敏层厚度、材料参数等相同的 PIN 半导体,采用特殊的制作工艺,组成新型的 PIN 半导体对. 如图 1 所示.

要使两个 PIN 半导体的尺寸、灵敏层厚度、材料参数、暗电流等完全相同,除了需要在研制过程中采取措施控制外,制作完成后的 PIN 半导体对,还需要采用电子线路配合,对存在的不对称性进行调制补

2003-11-11 收稿,2004-01-06 收修改稿

\* 中国工程物理研究院科学技术基金(20030210)和中国工程物理研究院专项课题(J09-303)资助

1) E-mail: LXL4-me 1979@163.com

偿. 调制好的 PIN 半导体对才能达到补偿的目的.

PIN 脉冲中子探测器, 是由 PIN 半导体对和安装在它的人射端的中子辐射转换靶——聚乙烯薄膜 ( $\text{CH}_2$ ) 组成.

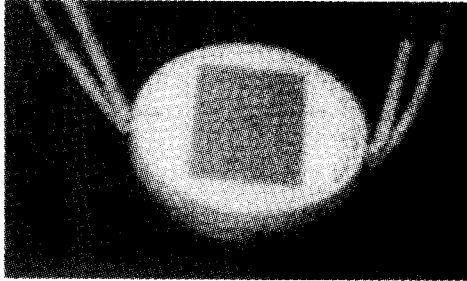


图 1 PIN 半导体对

PIN 脉冲中子探测器始终施加反偏压, 当脉冲中子和  $\gamma$  辐射同时直接入射到 PIN 脉冲中子探测器上, 中子和  $\gamma$  辐射在 PIN 半导体中直照产生的电子-空穴对 ( $e, h$ ) 抵消, 只有中子在聚乙烯薄膜 ( $\text{CH}_2$ ) 上产生的反冲质子在 PIN 脉冲中子探测器中形成的电子-空穴对对输出信号有贡献, 而  $\gamma$  辐射在聚乙烯薄膜 ( $\text{CH}_2$ ) 上产生的干扰完全可以忽略, 因此, PIN 脉冲中子探测器的输出信号为负信号. 换言之, 当采用  $\gamma$  脉冲辐射标定 PIN 脉冲中子探测器时, 探测器信号输出为“零”; 当采用中子脉冲辐射标定时, 探测器信号输出为负信号.

### 3 PIN 脉冲中子探测器对 $\gamma$ 不灵敏

在三通道脉冲发生器 Cr C67 装置上, 分别利用 ns 通道和 ps 通道 ( $\gamma$  辐射能量平均值  $\sim 0.7\text{MeV}$ , 脉冲 FWHM  $\sim 2\text{ns}$  和  $\sim 0.2\text{ns}$ ) 产生的  $\gamma$  辐射脉冲, 研究了 PIN 脉冲中子探测器对  $\gamma$  的灵敏程度. 三通道脉冲发生器 Cr C67 实验装置图见图 2.

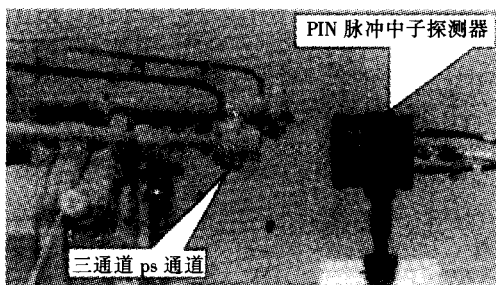


图 2 三通道实验装置图

补偿调制后的 PIN 半导体对的输出  $\gamma$  脉冲波形 (同一发脉冲) 见图 3. PIN 脉冲中子探测器的输

出  $\gamma$  脉冲波形见图 4. 常用 PIN 探测器和 PIN 脉冲中子探测器 (无中子辐射转换靶  $\text{CH}_2$ ) 的输出  $\gamma$  脉冲波形比较 (同一发脉冲) 见图 5, 这里, 常用 PIN 探测器的尺寸参数与 PIN 脉冲中子探测器相同.

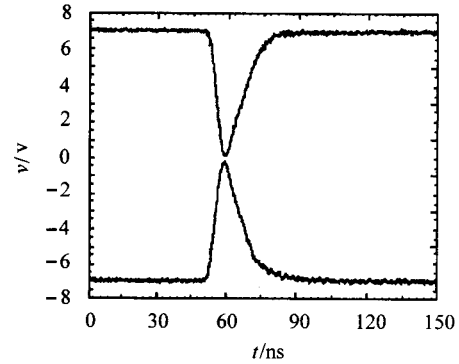


图 3 调制后的 PIN 半导体对的输出  $\gamma$  波形  
上波形: 1# 输出; 下波形: 2# 输出.

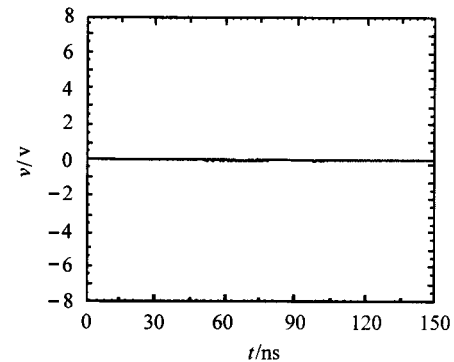


图 4 PIN 脉冲中子探测器的输出  $\gamma$  波形

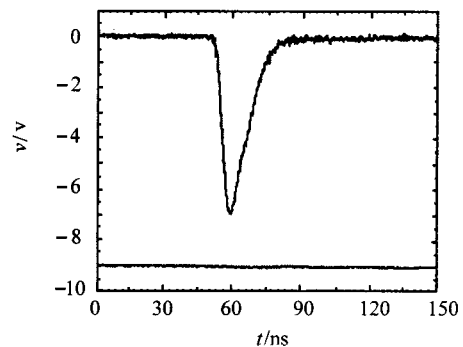


图 5 常用 PIN 探测器和 PIN 脉冲中子探测器  
输出  $\gamma$  波形比较  
上: 常用 PIN 探测器; 下: 无靶的 PIN 脉冲中子探测器.

由图 4 和图 5 表明: PIN 脉冲中子探测器对  $\gamma$  脉冲辐射不灵敏;  $\gamma$  辐射在聚乙烯薄膜 ( $\text{CH}_2$ ) 上产生的干扰完全可以忽略.

#### 4 PIN 脉冲中子探测器对 DT 中子的响应

ИИГ-103 型脉冲中子发生器(简称 DPF), 中子是在一个特殊的真空装置——等离子区聚集的腔内产生的, DPF 工作在单次中子脉冲方式. DPF 产生的脉冲中子能量为 14MeV (DT 反应), 脉冲中子产额  $1 \times 10^9 - 5 \times 10^9$ , 脉冲的 FWHM < 10ns.

利用 DPF 产生的 DT 中子, 研究了 PIN 脉冲中子探测器对 DT 中子的响应. DPF 实验装置示意图见图 6, 图中, PIN 脉冲中子探测器包有铜网, 是由于无辐射转换靶  $\text{CH}_2$  时的输出信号太小, 采用铜网屏蔽电磁干扰.

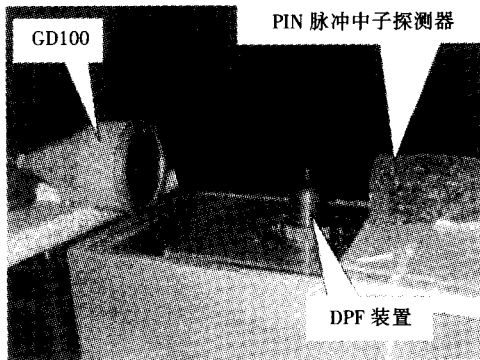


图 6 DPF 实验装置图

补偿调制后的 PIN 半导体对的输出 DT 中子脉冲波形(同一发脉冲)见图 7; PIN 脉冲中子探测器和无  $\text{CH}_2$  辐射转换靶的输出 DT 中子脉冲波形见图 8; PIN 脉冲中子探测器的输出波形与闪烁探测器的输出波形比较(分别为同一发脉冲)见图 9、图 10 和图 11.

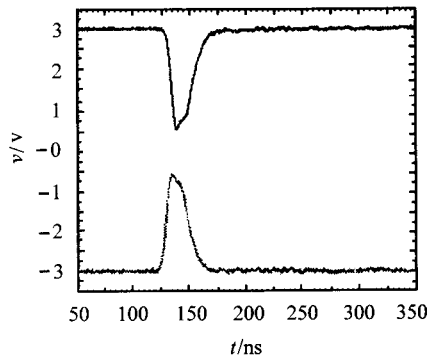


图 7 调制后的 PIN 半导体对的输出 DT 中子波形  
上: 1# 输出; 下: 2# 输出.

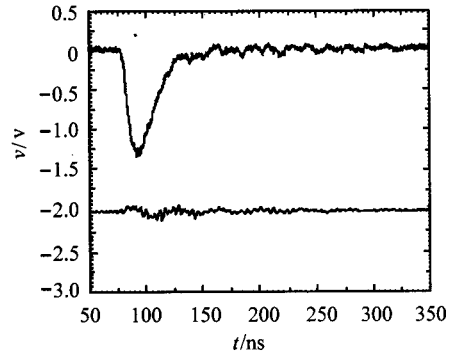


图 8 PIN 脉冲中子探测器的输出 DT 中子波形  
上: PIN 脉冲中子探测器输出; 下: 无  $\text{CH}_2$  靶的输出.

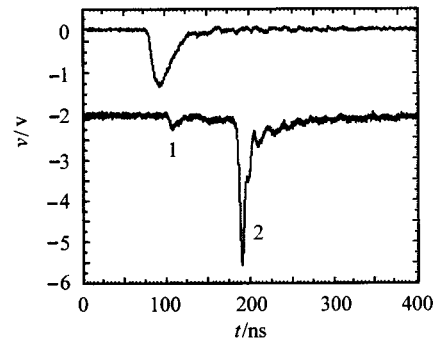


图 9 PIN 脉冲中子探测器与 PMT 输出波形比较  
上: PIN 脉冲中子探测器; 下: PMT 探测器输出.

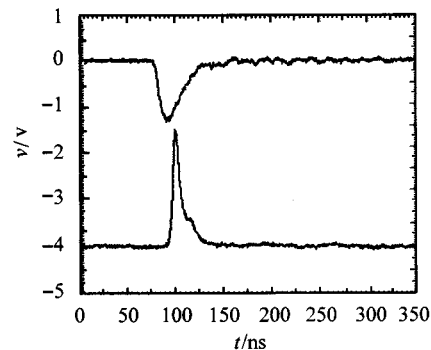


图 10 PIN 脉冲中子探测器与 GD100 输出波形比较  
上: PIN 脉冲中子探测器; 下: GD100 探测器输出.

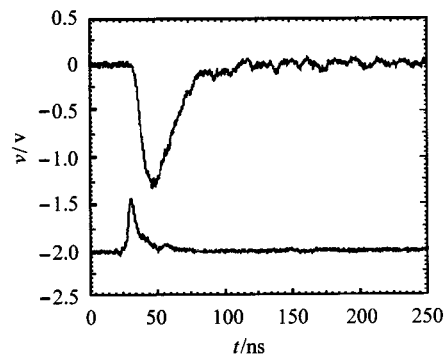


图 11 PIN 脉冲中子探测器与 GD40 输出波形比较  
上: PIN 脉冲中子探测器; 下: GD40 探测器输出.

这里,闪烁探测器 PMT 是指 PMT0247 光电倍增管加 ST401 闪烁体( $\phi 50\text{mm} \times 20\text{mm}$ )组成,它放置在距离中子源 5m 处. 在图 9 的下波形中,测量获得的波形显示出了  $\gamma$  和中子的独立脉冲,标有 1 的前面幅度小的波形是  $\gamma$  脉冲,标有 2 的是 DT 中子波形,两波形的时间差是  $\gamma$  和 DT 中子飞行时间差.

闪烁探测器 GD100 是指 GD100 光电管加 ST401 闪烁体组成;闪烁探测器 GD40 是指 GD40 光电管加 ST401 闪烁体组成. PIN 半导体对、GD100 和 GD40 放置分别在距离中子源 6—16cm 之间,由于距离太近以及脉冲中子源本身的宽度, $\gamma$  和 DT 中子的飞行时间差不能将  $\gamma$  和中子波形分开. 因此,在图 7 中和图 10、图 11 的下波形中,分别只显示出了一个波形,这个波形是  $\gamma$  脉冲和 DT 中子脉冲的叠加.

而在图 8—11 的上波形中,显示的脉冲是 PIN 脉冲中子探测器的输出,尽管探测器距离中子源很近,但由于对  $\gamma$  不灵敏,波形只有 DT 中子在  $\text{CH}_2$  靶上产生的反冲质子在探测器中的贡献;图 8 中的下

波形是无  $\text{CH}_2$  靶时的 PIN 脉冲中子探测器的 DT 中子输出. 由此可以得出:PIN 脉冲中子探测器对脉冲中子辐射的灵敏程度依赖于中子辐射转换靶,采用不同厚度的  $\text{CH}_2$  转换靶,可以获得不同幅度的 DT 中子输出波形.

DPF 产生的脉冲中子能量为 2.5MeV(DD 反应)时,由于脉冲中子产额低,没有进行测量.

## 5 结论

根据目前的研究结果表明:PIN 脉冲中子探测器对  $\gamma$  脉冲辐射不灵敏;对中子脉冲辐射的灵敏程度依赖于中子辐射转换靶;探测器的信噪比达到 30:1;研究获得了预期的满意效果.

在  $n, \gamma$  混合脉冲辐射场中,当布置中子探测系统的空间和距离受到限制时,研制的 PIN 脉冲中子探测器对  $\gamma$  脉冲辐射具有很强的抑制作用. 因此,在  $n, \gamma$  混合脉冲辐射场的中子测量中, PIN 脉冲中子探测器是一种提高测量信噪比的新型探测器.

## 参考文献 (References)

- 1 DING Hong-Lin. Semiconductor Detector and it's Applied. Beijing: Atom Energy Press, 1984 (in Chinese)  
(丁洪林. 半导体探测器及其应用,北京:原子能出版社,1984)
- 2 OUYANG Xiao-Ping et al. Nuclear Electronica & Detection Technology. 2000, 20(5): 329—331 (in Chinese)  
(欧阳晓平等. 核电子学与探测技术,2000,20(5): 329—331)
- 3 HU Meng-Chun et al. Nuclear Electronica & Detection Technology, 2002 22 (4):338 - 342 (in Chinese)  
(胡孟春等. 核电子学与探测技术,2002, 22 (4):338—342)
- 4 LIU Qing-Zhao. The Diagnosis Technology of Pulse Radiation Filed. Beijing: Science Press. 1994. 3—8 (in Chinese)  
(刘庆兆. 脉冲辐射场诊断技术,北京:科学出版社,1994. 3—8)
- 5 OUYANG Xiao-Ping. The Dr. Thesis of FUDAN University, 2002, 7—10 (in Chinese)  
(欧阳晓平. 复旦大学博士学位论文,2002, 7—10)
- 6 HU Meng-Chun et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys. 2003, 27 (4):354—358 (in Chinese)  
(胡孟春等. 高能物理与核物理,2003, 27 (4):354—358)

## A PIN Pulse Neutron Detector of Insensitive to Gamma\*

YANG Hong-Qiong<sup>1;1)</sup> ZHU Xue-Bin<sup>1</sup> PENG Tai-Ping<sup>1</sup> TANG Zheng-Yuan<sup>1</sup>

YANG Gao-Zhao<sup>1</sup> LI Lin-Bo<sup>1</sup> SONG Xian-Cai<sup>2</sup> HU Meng-Chun<sup>1</sup>

1 (Institute of Nuclear Physics and Chemistry, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

2 (Institute of Electronic Engineering, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

**Abstract** A new type combination PIN detector was developed and studied using  $\gamma$  and 14MeV neutron radiations generated by Dense Plasma Focus device. The study shows that the detector is insensitive to  $\gamma$  radiation, and the sensitivity to neutron depends on the converter target of neutron radiation. The signal to noise of the detector is 30:1, it is a new type pulse neutron detector in the neutron and  $\gamma$  mixture radiations.

**Key words** PIN detector, pulse neutron detection, neutron and gamma mixture radiation fields

---

Received 11 November 2003, Revised 6 January 2004

\* Supported by China Academy of Engineering Physics Science & Technique Fund (20030210) and J09 Project (J09-303)

1) E-mail: LXL4-me 1979@163.com