

## 组合 PIN 脉冲中子探测器灵敏度研究<sup>\*</sup>

朱学彬<sup>1;1)</sup> 杨洪琼<sup>1</sup> 杨健伦<sup>1</sup> 李波均<sup>1</sup> 杨高照<sup>1</sup> 李林波<sup>1</sup> 宋献才<sup>2</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** 对新型组合 PIN 脉冲中子探测器的灵敏度进行了研究,实验测量探测器的 DT 中子灵敏度和  $\gamma$  相对灵敏度,用 Monte-Carlo 方法计算了探测器的中子灵敏度.实验测量和计算表明:通过转换靶的选取,组合 PIN 探测器的中子灵敏度在一定范围内连续可调,组合 PIN 探测器对  $\gamma$  的灵敏度比普通 PIN 探测器低 2 个量级,是一种对  $\gamma$  不灵敏的新型脉冲中子探测器.

**关键词** 灵敏度 PIN 探测器 脉冲中子测量 聚乙烯靶

### 1 引言

新型结构的组合 PIN 探测器用于中子、 $\gamma$  混合脉冲辐射场中测量脉冲中子.探测器由性能参数非常相近的两个电流型硅 PIN 半导体探测器叠加构成,用聚乙烯薄片作为中子辐射转换靶.组合 PIN 探测器用补偿方式对 n,  $\gamma$  进行甄别,并采用特殊配套电路对探测器存在的不对称性进行补偿调制.分别用脉冲 DT 中子源和脉冲  $\gamma$  辐射源,实验测量了组合 PIN 探测器的中子灵敏度和  $\gamma$  相对灵敏度,用 Monte-Carlo 方法对探测器的中子灵敏度进行了理论计算,并对实验和计算结果进行了分析.

### 2 探测器 DT 中子灵敏度测量

#### 2.1 测量原理<sup>[1]</sup>

探测器的中子灵敏度  $S(E)$  定义为

$$S(E) = \frac{\int I(E, t) dt}{\int \varphi(E, t) dt}, \quad (1)$$

式中,  $\int I(E, t) dt = Q(E)$  为中子辐射引起的探测

器输出电荷总量,  $\int \varphi(E, t) dt = \phi(E)$  为测点处的脉冲中子注量.

若中子产额为  $Y$ , 探测器与源心的距离为  $L$ , 示波器记录的信号波形面积为  $A$ , 则有

$$Q(E) = k \frac{A}{R}, \quad (2)$$

$$\phi(E) = \frac{Y}{4\pi L^2}. \quad (3)$$

其中,  $k$  为信号进入示波器前的衰减倍数,  $R = 50\Omega$  为示波器输入阻抗.由(1), (2) 和(3) 式可得

$$S(E) = 4\pi L^2 \cdot k \frac{A}{R} \cdot \frac{1}{Y}. \quad (4)$$

#### 2.2 实验系统

组合 PIN 探测器的 DT 中子灵敏度测量用 IИГ-103 型等离子体焦点装置(简称 DPF)作为中子源. DPF 工作在单次中子脉冲方式, 脉冲中子能量为 14MeV, 脉冲中子产额  $1 \times 10^9$ — $5 \times 10^9$ , 脉冲半高宽小于 10ns. 在形成脉冲中子的过程中同时有光子辐射和电磁干扰, 其中, 光子辐射的平均能量接近兆电子伏. 实验中为了减少电磁干扰, 对 PIN 探测器采用铜网屏蔽. 探测器的输出信号经传输电缆由带宽 1GHz 的 TDS684C 数字示波器记录. 中子源的 DT 中

2004-01-04 收稿

\* 中国工程物理研究院科学技术基金(20030210)资助

1) E-mail: z\_xuebin@hotmail.com

子产额用铜活化法测量给出.测量原理图见图 1.

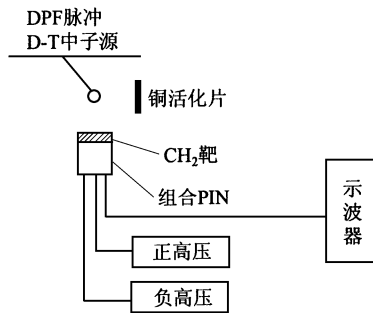


图 1 中子灵敏度测量实验原理图

## 2.3 实验结果

根据铜活化法测出的中子产额和示波器记录的探测中子波形面积,由(4)式得到组合 PIN 探测器的 DT 中子灵敏度.实验结果见图 2,从图中可以看出测量结果在误差范围内和计算值符合得很好.测量结果的标准不确定度为 12%,主要来源于铜活化测量中子产额的不确定度、探测器与源距离的不确定度以及数据处理中波形面积读取的不确定度等.

## 3 探测器中子灵敏度计算

### 3.1 探测器中子灵敏度随靶厚的变化

用 Monte-Carlo 方法编写的中子灵敏度计算程序已成功地应用于中子探测靶室的灵敏度计算中<sup>[2]</sup>,我们对原有程序进行改造和完善,使其适用于新型组合 PIN 探测器中子灵敏度的计算.

用聚乙烯薄膜作为辐射转换靶的组合 PIN 探测器通过记录反冲质子形成输出信号,输出信号的大小与记录到的反冲质子数和反冲质子的能量有关<sup>[3,4]</sup>.为了选取适当厚度的聚乙烯靶,计算了中子能量为 14MeV 时组合 PIN 探测器的灵敏度随靶厚的变化,计算结果如图 2 所示.从计算结果可以看出,由于聚乙烯靶对反冲质子的自吸收,靶厚增加到一定程度时灵敏度的增加变缓.通过改变聚乙烯靶片的厚度,组合 PIN 探测器的中子灵敏度可在一定范围内连续变化.另外,考虑改变靶与探测器之间的距离可使得探测器中子灵敏度的可调范围更大.

### 3.2 探测器能量响应

在脉冲中子测量中,有时被测中子源释放的中

子不是单能的,而且能谱分布无法用实验测量准确给出,这时需要知道探测器的中子灵敏度与入射中子能量之间的关系,即探测器的能量响应.分别计算了中子能量 1—14MeV 能区内,聚乙烯面密度为 2, 5, 10, 15mg/cm<sup>2</sup> 时的探测器能量响应,计算结果如图 3 所示.

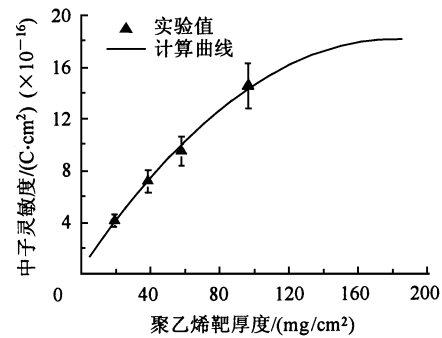


图 2 探测器中子灵敏度随聚乙烯靶厚度的变化

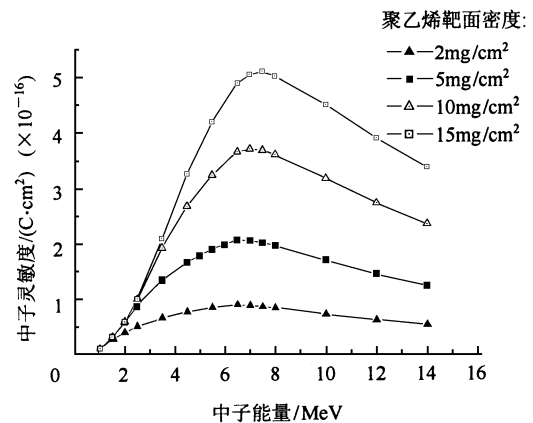


图 3 组合 PIN 探测器的中子能量响应

对某一厚度的聚乙烯靶随入射中子能量的增加反冲质子也获得更大的能量,因此探测器的中子灵敏度有一上升过程,但中子能量增加使得(n,p)反应截面变小,从而反冲质子数减少,两个过程相互竞争的结果使得探测器中子灵敏度在上升到一定能区(与聚乙烯靶厚度有关)后开始下降.从图 3 几种靶厚情况下的能量响应曲线还可看出,靶越薄探测器的能量响应越平坦,所以在灵敏度许可的情况下应尽量选取薄靶.

## 4 探测器 $\gamma$ 相对灵敏度测量

实验用的  $\gamma$  源为三通道脉冲  $\gamma$  辐射源,把组合 PIN 探测器和普通硅 PIN 探测器放在与源距离相同

的地方,确保到达两个探测器的辐射情况一致.普通 PIN 探测器的灵敏面积、灵敏层厚度等各项参数均与组合 PIN 探测器相近.

图 4 为组合 PIN 探测器和普通 PIN 探测器在同一脉冲  $\gamma$  辐射场中的输出波形,图中波形 1 为普通 PIN 探测器的输出波形,波形 2 为组合 PIN 探测器的输出波形.根据实验波形,可得到组合 PIN 探测器相对普通 PIN 探测器的  $\gamma$  相对灵敏度估计值为

$$S_{\text{组合PIN}}(\gamma)/S_{\text{普通PIN}}(\gamma) = 0.03. \quad (5)$$

即组合 PIN 探测器相对普通 PIN 探测器的  $\gamma$  灵敏度低约 2 个量级,对  $\gamma$  辐射基本不灵敏.

## 5 结论

由实验和计算结果可以得出:由转换靶的选取组合 PIN 探测器可构成中子灵敏度在一定范围内连续变化的脉冲中子探测器,组合 PIN 探测器有较强

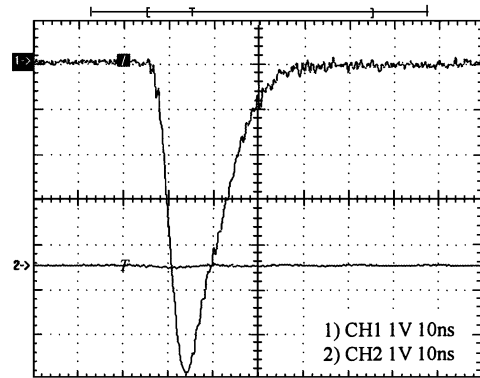


图 4 组合 PIN 探测器与普通 PIN 探测器在同一脉冲  $\gamma$  场中的输出波形

的中子- $\gamma$  甄别能力,其  $\gamma$  灵敏度比普通 PIN 探测器约低两个量级;该探测器可用于中子,  $\gamma$  混合脉冲辐射场中测量脉冲中子.

## 参考文献 (References)

- LIU Qing-Zhao. The Diagnosis Thecnology of Pulse Radiation Field. Beijing: Science Press, 1994. 117 (in Chinese)  
(刘庆兆. 脉冲辐射场诊断技术. 北京: 科学出版社, 1994. 117)
- MA Chi. Nuclear Electronics & Detection Technology. 1995, 15(6): 373 (in Chinese)
- (马驰. 核电子学与探测技术, 1995, 15(6): 373)
- Schutz R, Fehrenbacher G, Biersack J et al. Radiation Effects & Defects in Solids, 2002, 157: 427
- CHEN Shi-Bin, ZHANG Yi-Men, CHEN Yu-Ming et al. High Energy Phys. and Nucl. Phys., 2001, 25(4): 365 (in Chinese)  
(陈世彬, 张义门, 陈雨生等. 高能物理与核物理, 2001, 25(4): 365)

## Study of Sensitivity of Combination PIN Pulse Neutron Detector\*

ZHU Xue-Bin<sup>1;1)</sup> YANG Hong-Qiong<sup>1</sup> YANG Jian-Lun<sup>1</sup> LI Bo-Jun<sup>1</sup>  
YANG Gao-Zhao<sup>1</sup> LI Lin-Bo<sup>1</sup> SONG Xian-Cai<sup>2</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** Sensitivity of combination PIN detector was studied. The neutron sensitivity of the detector was measured and simulated by Monte-Carlo method. The detector's gamma sensitivity was measured and compared to usual PIN detector. The experiment and calculation study indicate that the neutron sensitivity of combination PIN detector can be adjusted by selecting polyethylene converter, and the detector is insensitive to gammarays. The combination PIN detector can be used to detect pulse neutron in neutron and gamma mixture radiation field.

**Key words** sensitivity, PIN detector, pulse neutron radiation detection, polyethylene converter

Received 4 January 2004

\* Supported by China Academy of Engineering Physics Science & Technic Fund(20030210)

1)E-mail: z\_xuebin@hotmail.com