

高分辨率 HPGe 探测器及其稳定性

王国干 尤乃谈 姚建亚
(中国科学院上海原子核研究所)

关键词: 高纯锗探测器 分辨率 稳定性

半导体探测器具有良好的能量分辨率, 在能谱分析中已引起人们广泛的兴趣。Si材料原子序数($Z=14$)较小, 探测能量大于 30keV 的射线时, 其效率迅速下降, 因此人们选用 Ge(Li)探测器。但它在制造和使用中存在两个主要的问题, 一是必需用Li离子补偿Ge材料, 二是Li在Ge中固有的不稳定性, 使器件严禁升高到室温, 即使是偶然的一次, 也会导致器件的补偿度毁坏。这两个缺点, 在用高纯 Ge 材料制备的探测器(HPGe探测器)中是不存在的, 而且容易获得厚的耗尽层。例如, 用净杂质浓度为 10^{10}atom/cm^3 的材料做的 P-N结, 在几百伏的偏压下, 可以得到 10mm 厚度的耗尽层。这工作已在许多实验室开展, 因为它没有经过 Li离子漂移补偿, 所以不象Ge(Li)探测器那样惧怕升温。本文报道用自制的 HPGe 探测器, 经过反复的升温试验后, 它的性能变化的情况。

一、探测器制备

高纯Ge的原材料参数(材料及其参数均为美国LBL实验室提供): P型, 净杂质浓度 $4 \times 10^{10}\text{atom/cm}^3$, 晶向 $\langle 113 \rangle$, 位错密度 $\sim 10^5/\text{cm}^2$ 。

N型接触是在真空中蒸发和扩散 Li形成, 扩散温度为 310°C , 10 分钟, 用这种方法形成的 P-N结, 实践证明性能是稳定的; P型接触是将硼离子注入在腐蚀的新鲜Ge 的另一个表面上, 硼离子能量为 20keV, 剂量 $10^{14}/\text{cm}^2$, 这比在表面上蒸发Pd 形成的面垒要牢靠, 而且入射窗薄, 它已广泛被使用^[1,2]。

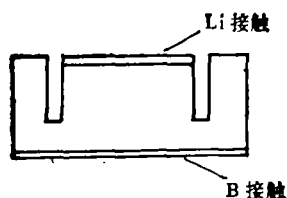


图1 平面形 HPGe 探测器示意图

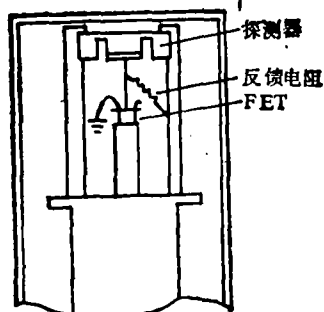


图2 探测器性能测试装置示意图

两边的接触制备好后, 片子被成形为图1的形状, 体积为 $\phi 5\text{mm} \times 3\text{mm}$, 用 HF 和 HNO_3 的混合液 (1:3), 轻微腐蚀清洗表面后, 再用去离子水淬灭冲洗, 氮气吹干, 装入由分子筛吸气的真空室中。如图2所示, 硼

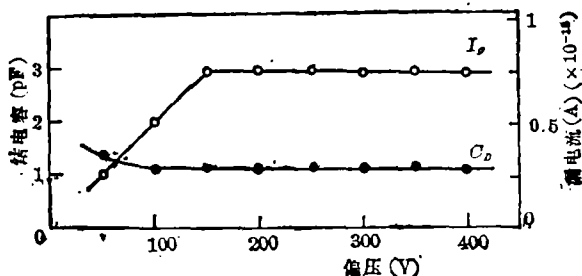


图3 P-N结的反向漏电流和电容与偏压的关系

注入面向上,接负电位, Li 扩散面向下,接 FET 的门,将抽至高真空的测量装置浸入液氮中冷却后,测得探测器的 $V \sim I$ 特性和结电容示于图 3。

表 探测器的温度循环和性能变化情况

回室温次数	室温存放时间 (h)	漏电流($\times 10^{-12}$ A) (300V)	结电容(pF)	能量分辨率(对59.5keV) (eV)
		0.75	1.16	634.8
1	1	2	1.15	684
	2	21	1.07	663
	3	31		647
	4	1	1.18	624
2	5	2.25		703
	6	1.75	1.16	718
	7	1.25	1.16	705
	8	1.5		700
	9	1.5		711
	10	3.25	1.19	690
	11	1		612
	12	3		705
	13	90		778
3	14	4.5	1.17	708
4	15			408*

* 第 15 次是利用光反馈前置放大器系统测得的结果

二、温度循环试验

温度循环试验在真空室中进行,用电阻反馈前置放大器和能谱系统测试其性能变化。在测试前的三小时,将真空室浸入液氮中,测试探测器的漏电流、结电容和对 ^{241}Am (59.5keV)的能量分辨率。每次测试完毕后,将真空室从液氮中提出,仍在真空状态,保存在室温下,这样反复试验了15次,存放在室温的累积时间达1056小时。在实验过程中,真空室前后共打开过四次,暴露在大气中,为的是取出探测器,清洗其表面,在温度循环中,漏电流有增大的现象,但经过用MeOH溶液清洗后,漏电流能基本上降到原来的状态,所以我们有理由认为,漏电流的增加是由于探测器表面的污染造成的,这种污染是来自温度的反复升降,真空室内分子筛放气的结果。从表中的实验结果也可看出,漏电流在 10^{-12} — 10^{-11} 量级的变化范围,并没有引起能量分辨率的显著变化,即它对噪声的贡献十分微小,但是如果是测量低能射线,这样的电流变化将是可观的了。另外,在升降温的实验过程中,结电容也基本不变,这说明P-N结的深度即探测器耗尽层没有宏观的变化,因结电容与结深度有着直接内在的联系,它们的关系为 $C(\text{pF}/\text{cm}^2)=13.9/W(\text{mm}^{-1})$,所以我们可以用测量结电容来观察结深的变化情况;在最后的一次实验中,我们把探测器的表面清洗之后,装入真空室,用脉冲光反馈前置放大器系统测试,测得 ^{55}Fe (5.9keV)的能量分辨率为169.1eV(图4);测得 ^{241}Am (59.5keV)的能量分辨率为408.2eV,其低能部份测量结果见文献[3];能量线性关系示于图5,测得的FWHM与 τ 的关系示于图6。从测试结果可以看出,探测器虽然经过多次的温度循环和长时间的室温贮存,仍然保持其较好的性能,仍是优质的高分辨率探测器。

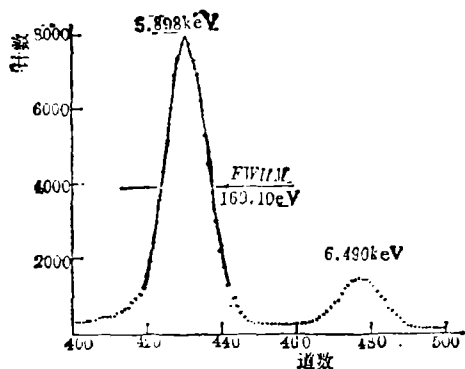


图4 用HPGe测得⁵⁹Fe能谱
 $V_B=300V$ $\tau=10\mu s$ 12.87eV/ch

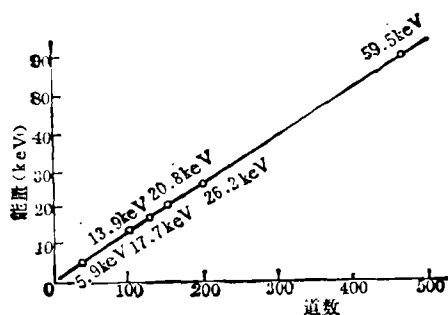


图5 用HPGe获得的能量线性

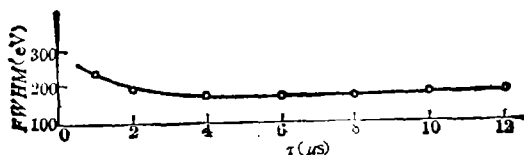


图6 用HPGe获得FWHM与 τ 的关系
 $V_B=300V$

三、讨 论

1. HPGe探测器贮存在室温累积达1056小时,从室温到液氮,温度循环十余次,没有引起其本身机构性能的变化,室温下Li向Ge中的扩散作用,未观察出它对探测器的宏观影响。

2. 关于漏电流的增大现象,虽然探测器表面没有纯化和保护措施,但我们认为是由于温度反复升高,真空室中分子筛放气污染探测器表面造成的,如果真空室原始真空度较高,这种影响会减小。

3. 探测器长时间不用,贮存在室温时,最好不要过多的升温降温。

4. 为降低热噪声,HPGe探测器仍需要在液氮低温下使用。

5. 前置放大器的好坏,对探测器性能的测试结果影响很大,一个优质的探测器,必须配备好的前置放大器,否则将影响其使用效果。

实验中使用的脉冲光反馈前置放大器由本室薛镭栋、浦世节研究提供,探测器真空室由顾桂君研制提供,在此表示感谢。

参 考 文 献

[1] Georg Riepe *et al.*, *Nucl. Instr. Meth.*, 165, 31 (1979).

[2] M. Slapa *et al.*, *ibid*, 196, 575 (1982).

[3] 王国干等, *核仪器与方法*, 4, 3, 13(1984).

(1985年10月4日收到)

(上接第27页)

[5] A. B. El-Kareh, *Electron Beams, Lenses and Optics*, (1970).

[6] F. H. Read, *Journal of Physics E: Sci. Instrum.*, 4, 625 (1970).

[7] A. Adams, *ibid*, 5, 150 (1972).

[8] A. Adams, *ibid*, 5, 156 (1972).

[9] 王竹溪和郭敦仁, *特殊函数概论*, 科学出版社, 1979年。

(1985年3月18日收到)

analysis technique is used to study γ -ray energies, relative intensities and half-lives of gas radioisotopes produced by nuclear reaction.

From γ -ray multispectra of ^{23}Ne isotope produced by reaction $^{23}\text{Na}(n,p)^{23}\text{Ne}$, the half-life of 37.3 ± 0.7 s and γ -ray energies of ^{23}Ne were determined. The results are well consistent with the values given in literatures.

Keywords: gas transport system Ge(Li) detector
multispectra analysis technique

A method for calculating two-cylinder lenses and three element einzel lenses with transfer matrices

Wang Liangming

(Institute of Nuclear Science and Technology, Sichuan University)

The axial potential functions, the axial electric field intensities and the second derivatives of the axial potential functions for two-cylinder lenses and three element einzel lenses are discussed. The transfer matrices for these lenses have been described. The transportation of the intensity of the charged particles in our 2.5 MeV Van de Graaff accelerator has been calculated.

Keywords: two-cylinder lenses three element einzel lenses axial potential function transfer matrix

High resolution HPGe detector and its stability

Wang Guogan You Naitan Yao Jianya

(Shanghai Institute of Nuclear Research, Academia Sinica)

After storing the HPGe detector at room temperature for 1056 hours and circulating 15 times from room temperature to liquid nitrogen temperature, the performances of the detector is still excellent. FWHM of 169.1 eV and 408 eV is obtained for ^{55}Fe (5.9 keV) and ^{241}Am (59.5 keV), respectively.

Keywords: HPGe detector energy resolution stability

Ion-implanted semiconductor γ radiation detector used for the purposes of radiation monitoring

Liu Qili Wang Baofu Yang Maojie Wang Nanzhang

Wang Mingxiao Liu Shengxue Wang Rugui Zhu Zhiya

(P. O. Box 1044, Beijing)

This paper represents a method of preparation of ion-implanted semi-conductor γ