

- [3] П. П. Зарубин, *Изв. АН СССР, (Серия физ.)*, **18**, 563(1954).
- [4] Р. М. Драбкин и др., *Там же*, **19**, 324(1955).
- [5] D. Brune et al., *Nukleonik*, **7**, 484(1965).
- [6] R. Tseletka et al., Preprint P-2739, Dubna (1966).
- [7] L. Broman et al., *Ark Fys.*, **34**, 259(1967).
- [8] N. A. Eissa et al., *Acta Phys. Acad. Sci. Hung.*, **23**, 67(1967).
- [9] C. Foin et al., *Nucl. Phys.*, **A123**, 513(1969).
- [10] S. Brahmavar et al., *Phys. Rev.*, **187**, 1487(1969).
- [11] H. N. Erten et al., *Radiochimica Acta*, **18**, 39(1972).
- [12] L. R. Medskev et al., *Nucl. Data Sheets*, **8**, №. 1, 32(1972).

## CdTe 核 辐 射 探 测 器

吳紹云 張文成 毛裕芳 蔣瑞媚 馮呈德

近年来, 锗和硅核辐射半导体探测器已比较成熟。但是这些探测器有两个缺点: 一是由于锗单晶的禁带宽度较小 ( $E_g=0.67$  电子伏,  $300^\circ\text{K}$ ), 而 Ge (Li) 探测器需要 Li 补偿, 因此, 必须保存和工作在液氮温度 ( $77^\circ\text{K}$ ); 二是由于硅单晶的原子序数低 ( $Z=14$ ), 对  $\gamma$  射线的吸收系数小, 故在探测  $\gamma$  射线时就受到限制。

碲化镉 (CdTe) 是 II-VI 族化合物半导体。由于它有较强的禁带宽度 ( $E_g=1.4$  电子伏,  $300^\circ\text{K}$ ), 较高的原子序数 ( $Z=52, 48$ ), 这就使得 CdTe 能在较大的温度范围内工作 ( $-65^\circ\text{C}\sim+65^\circ\text{C}$ ), 并对  $\gamma$  射线具有较高的探测效率。国外, 已在许多实验室内进行了 CdTe 探测器的研制工作。随着 CdTe 晶体生长技术的改进, 探测器的性能也有了较大的提高。目前, 已制成的 CdTe 探测器, 其面积为  $20\sim 100$  毫米<sup>2</sup>, 厚度为  $2\sim 4$  毫米, 在室温下对  $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$  射线的最好分辨率为  $1.5\sim 2\%$ , 即半宽度 (FWHM) 为  $8.5\sim 13$  千电子伏。同时, CdTe 探测器已初步应用于核医学探针、核辐射防护、核燃料的分析及监测等方面。

### CdTe 探 测 器 的 制 备

我们采用掺杂高阻 CdTe 单晶研制室温  $\gamma$  射线探测器。所用的高阻 CdTe 单晶是由本研究室 CdTe 材料小组和有色金属研究院提供的。利用了两种掺杂材料: 一种是采用改进的布里奇曼 (Bridgman) 法生长的 In 掺杂 CdTe 单晶, 晶体的电阻率为  $10^8$  欧姆·厘米; 另一种是采用移动加热器法 (或称 THM 法) 生长的 Cl 掺杂 CdTe 单晶, 晶体的电阻率为  $10^6\sim 10^7$  欧姆·厘米。其载流子迁移率-寿命积 ( $\mu\tau^+$  积), 对 In 掺杂的 CdTe 材料, 电子和空穴的  $\mu\tau^+$  积分别为  $(2\sim 5)\times 10^{-5}$  厘米<sup>2</sup>/伏和  $10^{-6}$  厘米<sup>2</sup>/伏; 而对 Cl 掺杂的 CdTe 材料, 电子和空穴的  $\mu\tau^+$  积分别为  $(1\sim 5)\times 10^{-4}$  厘米<sup>2</sup>/伏和  $(3\sim 7)\times 10^{-5}$  厘米<sup>2</sup>/伏。

CdTe 探测器的制作类似于面垒型的工艺。具体工艺如下: 将 CdTe 锭条的单晶部分沿解理面劈开或切片, 经过研磨, 机械抛光, 化学腐蚀和清洗之后, 用真空蒸发沉积的方法, 在 CdTe 的一个面上全部沉积 Al 接触, 而在另一面上沉积直径为 1 毫米的 Al 接触。在探测器的制作工艺中, 选择适当的表面处理方法是十分重要的。表面处理方法不同, 对探测器的反向漏电流影响很大。我们采用了几种腐蚀方法进行表面处理, 结果表明, 对 In 掺杂 CdTe 晶体, 用溴-甲醇液腐蚀和单纯机械抛光两种处理方法, 得到相近的反向漏

电流, 电压从 100~600 伏, 反向漏电流从  $1.5 \times 10^{-8}$  安培变化到  $6.5 \times 10^{-8}$  安培; 而对 Cl 掺杂 CdTe 晶体, 最好是表面不进行化学腐蚀, 只作单纯的机械抛光, 电压从 100~600 伏, 反向漏电流从  $1.0 \times 10^{-9}$  安培变化到  $6.5 \times 10^{-9}$  安培。

测量前, 样品进行封装, 引线是由压接触的 In 片引出。封装后探测器的电容, 在 500 伏内为 3~4 微微法。

### CdTe 探测器的核辐射响应

我们测量了 CdTe 探测器对  $\alpha$  粒子和  $\gamma$  射线的响应。

测量对  $\alpha$  粒子响应的目的是为了鉴定材料的载流子传输和收集性能, 主要是测定晶体载流子的  $\mu\tau^+$  积。由实验测定, 我们制备 CdTe 探测器所使用的晶体, 其电子的  $\mu\tau^+$  积为  $(1\sim5) \times 10^{-4}$  厘米<sup>2</sup>/伏, 空穴的  $\mu\tau^+$  积为  $(3\sim7) \times 10^{-5}$  厘米<sup>2</sup>/伏。这一材料参数的测定, 对了解晶体的质量和估计将要制备的探测器的性能, 有很大的参考价值。

图 1—3 是在室温下 CdTe 探测器对  $^{137}\text{Cs}$  (662 千电子伏)、 $^{203}\text{Hg}$  (279 千电子伏)、 $^{141}\text{Ce}$  (146 千电子伏) 的  $\gamma$  射线响应的能谱图。从图中可以看出, 所有光电峰和康普顿边界是清楚地分开了。 $^{203}\text{Hg}$  谱中的  $^{203}\text{Tl}$  的  $K_{\alpha}$ -X 射线 (73 千电子伏) 也清楚可见。电荷收集效率为 55~60%, 对  $^{141}\text{Ce}$  和  $^{203}\text{Hg}$  的  $\gamma$  射线能量分辨率为 23~25%。

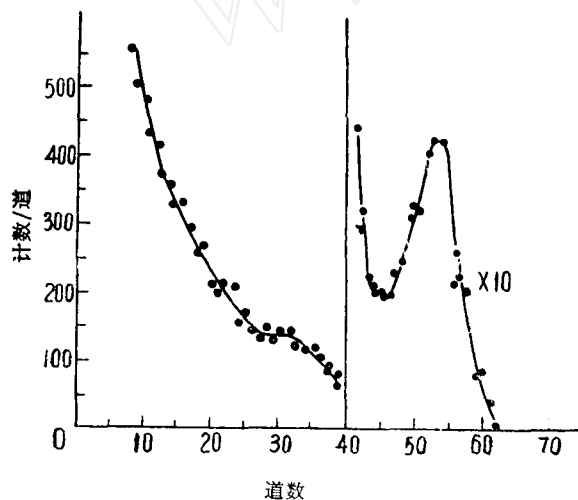


图 1  $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$  射线能谱  
300°K

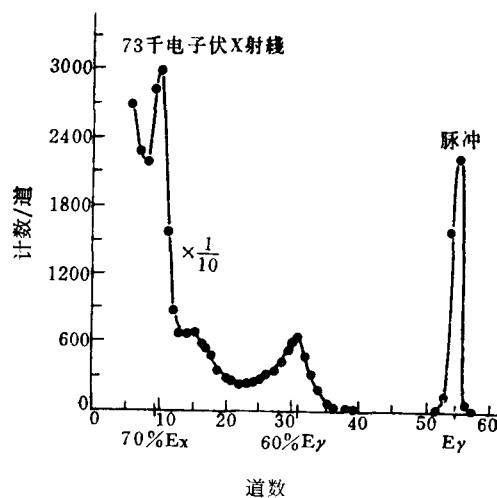


图 2  $^{203}\text{Hg}$   $\gamma$  射线能谱  
300°K

由于极化效应的存在, 长时间的计数使  $\gamma$  谱的分辨变坏。这是由于极化效应造成计数率和脉冲高度的降低, 使能量分辨率降低。

对探测器的极化效应, 可以从材料的晶体生长和探测器制备工艺上的改进而得到减小和消除。实验指出, In 掺杂的用改进布里奇曼法生长的晶体没有极化效应, 但载流子的  $\mu\tau^+$  值较低; 而 Cl 掺杂的用 THM 法生长的晶体, 有极化效应, 但载流子的  $\mu\tau^+$  值较大。图 4, 5 指出用两种晶体制成的探测器对  $\gamma$  射线响应的计数率和脉冲幅度随时间变化的情况。

据国外报道, 从探测器的制备工艺上, 改用注入接触, 或用高功函数的金属如 Pt, Au

等做接触电极也可以减小和消除极化效应。

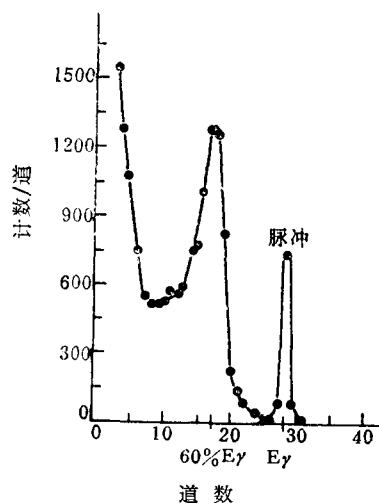


图 3  $^{141}\text{Ce}$   $\gamma$  射线能谱  
300° K

我们的工作还是初步的，有待于进一步改进和提高。目前所获得的晶体材料，其大小、均匀性和载流子  $\mu\tau^+$  值都比较差，因而存在着严重的陷获效应和极化效应，这对制出的探测器的能量分辨率有很大影响。

我们制备的  $\text{CdTe}$  探测器已用于  $\gamma$  计数工作上，比如在同位素分离过程中需要进行监测，由于  $\text{CdTe}$  探测器具有体积小、寿命长、屏蔽简单等优点，基本上可以代替盖革计数管及  $\text{NaI}$  闪烁计数器。目前正在做这方面的试验，类似的应用均可考虑。

随着晶体生长技术和探测器制备工艺的改进， $\text{CdTe}$  探测器作为室温  $\gamma$  射线探测器是很有希望的。

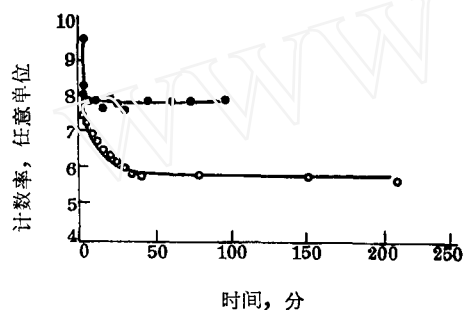


图 4  $\text{CdTe}$  探测器计数率与时间 (加上偏压以后的时间) 的关系

$^{137}\text{Cs}$  源, 295° K;  
● —  $\text{Iu}$  掺杂, 100 伏;  
○ —  $\text{Cl}$  掺杂, 500 伏。

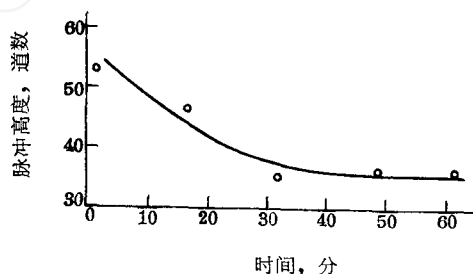


图 5  $\text{Cl}$  掺杂  $\text{CdTe}$  探测器对  $^{137}\text{Cs}$  射线的脉冲高度与时间 (加上偏压以后的时间) 的关系