

新型电致冷半导体探测器的应用

吕军,侯新生

(成都理工大学应用核技术与自动化工程学院,四川成都 610059)

摘要:用于探测 X 射线的锂漂移型硅探测器需在液氮条件下低温保存和使用,因此限制了其应用范围。介绍了一种采用电致冷方式的新型半导体探测器,并通过把液氮致冷的 Si(Li)探测器与电致冷的 Si-PIN 探测器进行比较,论证了电致冷方法的可行性。

关键词:半导体探测器;电致冷方法;Si(Li)探测器;Si-PIN 探测器

中图分类号:P631.6⁺3 文献标识码:A 文章编号:1000-8918(2006)04-0374-03

半导体探测器能量分辨率高,可以方便地研究复杂能谱的精细结构,此外还具有线性范围广、脉冲上升时间短、体积小等优点,从而得到了广泛应用。但是半导体探测器的灵敏体积不够大,用以探测 X 射线的效率和灵敏度较低。利用补偿法得到的高阻率硅做成的 Si(Li)探测器对 X 射线具有很高的能量分辨率,但是要在液氮温度(77 K)下保养和使用,必须增加低温装置,并需要定期添加液氮,所以无法在野外恶劣条件下使用,其应用范围受到了极大的限制。因此,在对 X 射线的测量中,解决半导体探测器的“低温条件”问题成为扩大半导体探测器的应用领域的重要任务。人们主要从 2 个方向进行研究:一是寻找高原子序数和禁带宽度更大的半导体材料;二是寻找新的致冷方法。笔者重点介绍了新型热电致冷方法及其应用,并结合实测谱线与液氮致冷方法进行了比较。

1 热电致冷方法及其探测器

新型致冷方法很多,近年来研究比较深入的是热电致冷、气体压缩膨胀致冷、磁致冷等。实用的电致冷技术使用的是 Se、Te、Bi、Sb 等熔炼拉晶的合金,当一块 N 型半导体和一块 P 型半导体结成电耦时,在这个电耦回路中接上直流电源,电耦就有电流流过,发生能量转移,在接点处发生放热或吸热现象。把规格相同的电耦元件按电的串联方式和热的并联方式连接起来,就构成了单级致冷器,同理,几个单级致冷器按电的串联方式连接起来就构成了多级热电致冷器,它可以得到更低的致冷温度。美国

LBL 实验室用热电致冷器(1.25~4.5 W,最低温度可达 185 K),对 16 mm²Si(Li)探测器致冷,对⁵⁵Fe 的 5.90 keV 峰测得了 190 eV 的能量分辨率,目前这种技术已经成熟,并出现了相应的新型探测器产品。

美国 Amptek 公司生产的 XR-100CR 型 Si-PIN 半导体探测器就是一种利用电致冷的探测器^①。在常温下使用时,它对⁵⁵Fe 源的 5.90 keV 的 X 射线的能量分辨率可以达到 182 eV,仅次于需要在低温下保存和使用的 Si(Li)探测器(对⁵⁵Fe 源的 5.90 keV 的 X 射线的能量分辨率为 160 eV),但却拥有更广阔的使用空间和对样品分析的实时性。该探测器外形尺寸仅为 9.5 cm×4.4 cm×2.9 cm(图 1),非常适合于便携式仪器。1997 年 7 月 14 日,应用了这种探测器的 X 荧光仪被安装在美国发往火星的火星车上,成功地对火星岩石和土壤进行了成分分析;在国内,这种探测器也已被应用在海底 X 射线荧光

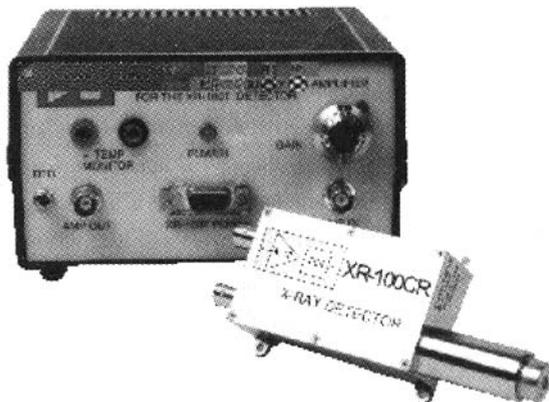


图 1 XR-100CR 型探测器

① OPERATING MANUAL XR-100CR. AMPTEK, INC. 1999, November 9.

探测系统中,可在浅海水底对海底沉积物或沉积物流进行快速分析与载流分析,是一种快速、经济、准确、有效的分析技术。

2 2 种致冷探测器的比较

笔者从以下几个方面对电致冷 Si-PIN 半导体探测器与液氮致冷 Si(Li)探测器进行比较,说明各自的特点。

2.1 能量分辨率

影响能量分辨率的因素主要包括:入射射线在探测器内产生电子—空穴对数的涨落,探测器对电子—空穴对的收集效率;电子—空穴对在被收集之前的复合和被俘获;探测器内部的噪声和信息处理系统设备的噪声及有关注性能等。Si-PIN 探测器灵敏区较薄,统计涨落较大,但复合和俘获较小。实验证明, Si-PIN 电致冷半导体探测器和 Si(Li) 半导体探测器对于⁵⁵Fe-5.90 keV 的能量分辨率分别可以达到 182 eV 和 160 eV。

2.2 探测效率

Si-PIN 电致冷半导体探测器与 Si(Li) 半导体探测器的探测效率相似,在相同的能量范围内,其探测效率曲线也相似(图 2)。当 X 射线能量在 3~20 keV 范围内时,本征探测效率 ϵ_{INP} 接近 100%;低能部分由于铍窗的吸收损失掉部分甚至全部能量,使 ϵ_{INP} 明显下降。铍窗厚度不同,吸收情况也不同。此外,由于灵敏区的厚度有限,当能量大于 20 keV 时,被测 X 射线可能穿过探测器而不损失能量,或只损

失部分能量,同样对全能峰没有贡献,使 ϵ_{INP} 明显下降。

从图 2 可见:①由于铍窗厚度的限制,这 2 种探测器探测的能量下限多在 2~3 keV 左右,铍窗越厚,其探测能量下限越高;②由于探测器灵敏区厚度不同,探测器探测的能量上限不同,灵敏区越厚,其探测能量上限越高。对于 Si-PIN 电致冷半导体探测器若以达到全能峰探测效率 90% 为限,其探测器的能量上限在 9~12 keV 左右;而 Si(Li) 半导体探测器由于其作用区厚度大,其探测器的能量上限可达 20 keV 左右。

2.3 时间响应特性

半导体探测器时间响应函数与载流子结间漂移时间有关,当所加偏压足够大时,载流子结间漂移时间取决于探测器灵敏层厚度。Si-PIN 半导体探测器灵敏层较薄,因此其电荷收集时间较短,相应地脉冲上升时间较短,故有比 Si(Li) 探测器更好的时间响应特性。

2.4 探测器偏压

由于 2 种探测器灵敏区厚度相差较大,所以加在探测器上的偏压也不同。对 Si(Li) 半导体探测器而言,一般所加偏压为 -800 V 左右,以尽量缩短电荷收集时间;而对于 Si-PIN 电致冷半导体探测器而言,由于探测器的作用区厚度比 Si(Li) 半导体探测器小得多,所以其所加偏压仅需 +110 V 左右,适合于便携式仪器。

2.5 逃逸现象

当入射射线的能量大于硅的吸收(absorb)限 ($K_{absi} = 1.838 \text{ keV}$) 时,硅原子受激,并产生特征 X 射线(即 SiK 射线),其能量 E_{SiK} 稍小于 K_{absi} ($E_{SiK} = 1.740 \text{ keV}$),具有较小的吸收系数,故 SiK 射线有较大的可能穿过灵敏区而不被记录,使 SiK 射线峰位向低能方向移动,但是由于铍窗的厚度足以吸收 SiK 射线而使其在 X 射线谱上不甚明显,在这一点上,这 2 种探测器是相同的。

2.6 实测谱线

在样品分析中,常需要计算出样品中 As、Pb 的含量。由于 As 的 K_{α} 射线能量 ($AsK_{\alpha} = 10.54 \text{ keV}$) 和 Pb 的 L_{α} 射线能量 ($PbL_{\alpha} = 10.55 \text{ keV}$) 几乎相等,所以只能根据 As 的 K_{β} 射线能量 ($AsK_{\beta} = 11.73 \text{ keV}$) 和 Pb 的 L_{β} 射线能量 ($PbL_{\beta} = 12.61 \text{ keV}$) 来计算样品中 As、Pb 的含量。

图 3 是分别使用 Si(Li) 和 Si-PIN 探测器测量同一样品的谱线,由图可见,由于当 X 射线能量大于 10 keV 时, Si(Li) 探测器的探测效率明显高于 Si-

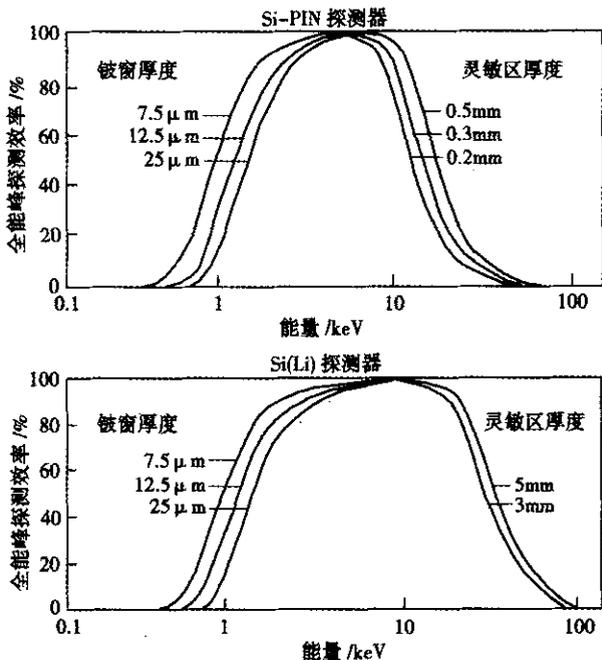


图 2 2 种探测器效率的比较

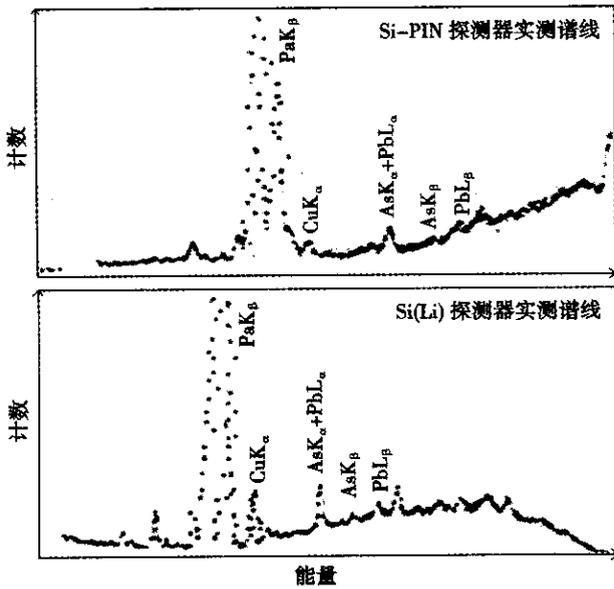


图 3 2 种探测器实测谱线的比较

PIN 探测器,故 AsK_{β} 和 PbL_{β} 都能显示出来。而对于 Si-PIN 探测器所测得的谱线, AsK_{α} 几乎看不出来, PbL_{β} 也明显不如 Si(Li) 探测器所测谱线清楚。由此计算样品中 As、Pb 的含量时,其分析误差必然

大于由 Si(Li) 探测器所测谱线计算的分析误差。

3 结束语

从以上比较可以看出,虽然 Si-PIN 电致冷半导体探测器的能量分辨率比 Si(Li) 半导体探测器略差一些,另外其探测 X 射线的能量上限也较 Si(Li) 探测器低一些,但是由于采用了电致冷的方法,避免了探测器必须在低温下保存和使用的不便之处,大大地扩展了它的应用领域。此外, Si-PIN 电致冷半导体探测器所需反向偏压较低,时间响应特性也较好,比较适用于野外作业的便携式探测仪器,其发展前景显而易见。

参考文献:

- [1] 曹利国. 能量色散 X 射线荧光方法[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1998.
- [2] 曹利国, 周蓉生. 核地球物理勘探方法[M]. 北京: 原子能出版社, 1991.
- [3] 章晔, 华荣洲, 石柏慎. 放射性方法勘查[M]. 北京: 原子能出版社, 1990.

THE APPLICATION OF A NEW TYPE ELECTRIC REFRIGERATION SEMICONDUCTOR DETECTOR

LU Jun , HOU Xin-sheng

(Chengdu University of Technology , Chengdu 610059 , China)

Abstract : This paper deals in detail with a new type electric refrigeration semiconductor detector for detecting X-ray as well as its application to X-ray spectral analysis. By means of electric refrigeration used in the detector , the trouble of adding liquid nitrogen to traditional Si(Li) semiconductor detector can be removed.

Key words : new refrigeration method ; Si(Li) detectors ; Si-PIN detector

作者简介: 吕军(1982 -) , 男, 2004 年毕业于成都理工大学, 现留校攻读硕士学位, 专业方向为核技术及其应用(Email : lu-jun801@sina.com)。