

CNIC-00428

BNIF-0004

CN9101700

# 中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

硅(锂)X 射线探测器

SI(Li) X-RAY DETECTOR

(In Chinese)



原子能出版社

中国核情报中心

China Nuclear Information Centre

CNIC-00428

BNIF-0004

# 硅(锂)X射线探测器

袁祥林 李志勇 洪秀瑟

(北京核仪器厂)

## 摘 要

介绍了  $10\sim 80\text{mm}^2$  的硅(锂)X射线探测器研制工艺,并讨论了工艺过程和测量中的一些问题;给出了探测器的指标,这些指标大都达到和接近国外同类产品水平。硅(锂)X射线探测器是一种低能X射线探测器,它具有能量分辨率高、线性好,对低能区X射线探测效率高等特点,在核物理、医学、地矿、环保等领域有着广泛的应用。它也是扫描电镜,X射线荧光分析等能谱分析的核心部件。

# **Si(Li) X-RAY DETECTOR**

*(In Chinese)*

Yuan Xianglin Li Zhiyong Hong Xiuse

(BEIJING NUCLEAR INSTRUMENT FACTORY)

## **ABSTRACT**

The fabrication technology of the 10~80mm<sup>2</sup> Si(Li) X-ray detectors are described and some problems concerning technology and measurement are discussed. The specifications of the detectors, which have attained or approached to the level of the same kind of foreign products, are shown as well. The Si(Li) X-ray detector is a kind of low energy X-ray detectors. Owing to very high energy resolution, fine linearity and high detection efficiency in the range of low energy X-rays, It is widely used in the fields of nuclear physics, medicine, geology and environmental protection, etc. It is also a kernel component for the scanning electron microscope and X-ray fluorescence analysis systems.

# 概 述

硅(锂)X射线探测器是一种低能X射线探测器,对于1~30keV的低能X射线有很高的探测效率。由于它具有极高的能量分辨率,线性好,在X射线低能区比Ge(Li)、HpGe探测器优越,因此,在核物理,地矿,冶金,环保等领域有着广泛的应用。它也是扫描电镜能谱仪、能量色散X射线荧光谱仪的核心部件,在微量及宏量元素的分析中具有很好的优越性。

硅(锂)X射线探测器由三部分组成:一、硅(锂)探测器管芯;二、脉冲光反馈前置放大器;三、带冷指的低温容器。硅(锂)探测器管芯是一支宽耗尽区的锂漂移金硅面垒型探测器,并与脉冲光反馈前置放大器的第一级同置于探头的低温容器中,冷指与探测器管芯为“软连接”结构。

## 1 探测器的制备

硅(锂)X射线探测器的制备工艺已有很多报道<sup>[1,2]</sup>,这里对部分工艺作些讨论。

### 1.1 P型硅单晶的选择

通常选择P型硅单晶的依据是四大参数,但实践证明四大参数并不全面反应单晶硅的质量,如电阻率,常要求在 $1000\sim 3000\Omega\cdot\text{cm}$ 为宜,但硅单晶常由于补偿较大而无法使用。我们曾用过联邦德国瓦克公司的二段单晶,其中一段补偿度高达65~85%而无法正常使用。有的厂家单纯为了达到电阻率这个指标而采用掺杂的办法,这是不可取的。

从某种意义上说,我们更重视电阻率的径向均匀性,一般要求不均匀度小于10%。对于制备大面积硅(锂)探测器的单晶,要求均匀性更为严格,由于硅(锂)探测器耗尽区较宽,轴向均匀性也不可忽视。

另一个参数是少子寿命。从理论上讲,制备半导体探测器的硅单晶少子寿命并不很高<sup>[3]</sup>,但实际中由于补偿,微缺陷等的存在,要求少子寿命要高些,尤其对宽耗尽区的探测器,少子寿命要求更高<sup>[4]</sup>。国产硅单晶其法诺因子多在0.13左右,晶体微缺陷较多。硅(锂)探测器是在低温下工作,由于低温下俘获效应较严重,因此对少子寿命要求也就更高。有的材料,经过探测器并不算高的加温工艺后,少子寿命下降较大,这即是“有效寿命”较低的原因。实践中,我们通常都选取少子寿命为500 $\mu\text{s}$ 以上的材料。

实践证明,早在80年代初采用国产P型硅单晶就能研制出性能优良的Si(Li)探测器。

### 1.2 漂移工艺和检测

漂移工艺是实现离子补偿<sup>[5]</sup>的关键工艺,要求加在耗尽区上的电压和温度必须长时间稳定,并要有足够的“过漂移”时间。由于硅(锂)X射线探测器的耗尽区一般为3mm,对大面积探测器耗尽区还要更宽,因此在漂移的后期,耗尽区的电场将减弱,速度变慢。要实现理想的补偿,还必须加足够的电压和时间,如果掌握不当,容易出现靠近前窗区补偿较差,死层过厚。

漂移中要尽力避免停漂和电流过大现象,一般电流控制在几个毫安以内。

关键技术之一是对漂移的监测。我们用 $\alpha$ 粒子对芯片前窗进行扫描,用测量输出脉冲的方法来检测芯片漂移的程度和质量。原理示意图为图1所示。

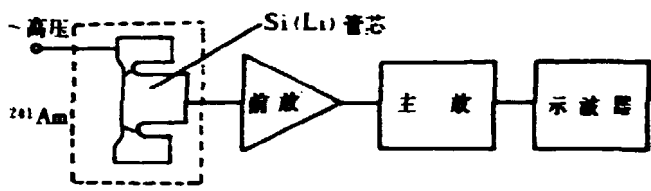


图1 α扫描原理图

在真空中给耗尽区加反向偏压,辐射源<sup>241</sup>Am经过准直后,沿芯片灵敏面直径方向进行扫描。α粒子能量为5.486MeV,在硅中的射程约30μm,如果前窗区域已被补偿,将可收集到射线产生的电子空穴对。这样,我们就可以测出前窗的补偿面积、输出脉冲幅度和全耗尽电压 $V_{\infty}$ ,也就能较客观地评价耗尽区的补偿情况。将这种方法作为选择芯片的依据,可极大地提高成品率,表1为部分芯片的中测数据。

实际上,输出脉冲幅度和全耗尽电压的高低表征着电子空穴对的收集情况,由下式看:

$$N = \frac{V_{\infty}}{d \times 5.66 \times 10^{-3}} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$$

式中,  $N$  —— 耗尽区的杂质浓度  $\text{cm}^{-3}$ ;  
 $V_{\infty}$  —— 全耗尽电压 V;  
 $d$  —— 耗尽区宽 cm。

表1 部分芯片中测数据

厂家	材料号	芯片有效直径 mm	耗尽区 厚度 mm	扫描 面积 Φmm	输出脉冲 幅度 V	全耗尽 电压 V	分辨率 FWHM eV	峰/本底
有色院	VF-80-9-6	10	4.2	10.5	9	150	173	1000:1
有色院	VF-80-9-6	10	4.5	10	8	250	187	800:1
浙江 大学	8505	4	3.5	4.5	8	100	162	1500:1
浙江 大学	8508	4	3.5	4	7	100	190	1000:1
739厂	307-83- 无-02	4	3.5	4.9	9	80	150	1500:1
739厂	307-83- 无-03PZ	4	3.5	4.5	9	70	160	1500:1
739厂	307-83- 无-02	4	3.5	4.5	9	70	152	1500:1
英国探 头芯片		4	3.2	4.5	8	80	165	

当耗尽区为 3.5mm, 全耗尽电压为 100V 时,  $N = 5.7 \times 10^{10} (\text{cm}^{-3})$ , 这是施受主杂质补偿后的净杂质浓度。这说明通过源移后补偿较好。

由于室温下锂离子重新分布, 因此源移后的芯片要放在液氮下保存, 短时间的升温关系不大, 长时间置于室温下, 探测器性能将会退化。我们曾把一支能量分辨率为 170eV 的 80mm<sup>2</sup> 探测器在室温下放置一年半, 结果分辨率变坏, 但经 100kVh 的源移后, 又恢复到了原来的指标。

## 2 探测器封装和测量

中测合格的芯片, 经轻腐蚀和表面处理, 使表面漏电流降到 1 $\mu$ A 以内。如果表面漏电流较大, 还需进行“重腐蚀”处理, 使其达到 10<sup>-7</sup> $\mu$ A 水平。在操作中, 要谨慎保护前窗的全层和 P-N 结区不受损伤。

探测器典型的反向特性如图 2 所示。

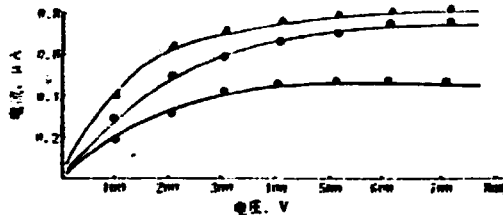


图 2 反向特性

将合格的探测器管芯和脉冲光反馈前置放大器的第一级置于真空和低温下, 在液氮温度下, 探测器表面漏电流可降低 5 个量级左右, 噪声也大大降低。为了使场效应管 (2N4416) 处于 140K 左右的最佳工作温度, 氮化硼导冷结构的设计十分重要。我们采用了小型同轴导冷结构, 使结构小型化, 减轻了热负载, 提高了导冷效率。由于结构简单, 分布电容也就小, 这些都为降低噪声提供了有利条件。由于采用了脉冲光反馈, 场效应晶体管还要剥去外壳, 将管芯移到氮化硼管座上。设计合理的反馈光路也是封装的关键之一。

由于液氮在消耗中的湍流现象, 它以低频振动方式引起低频颤噪声, 从而导致系统分辨率变坏, 尤其在主放大器选用大时间常数时更为严重。因此, 在冷指与探测器间要采用“S”型的“软连接”以减轻振动。

通过一系列措施, 克服了由振动引起的噪声, 甚至将探测器置于加速器的靶室下, 起动机械泵也无影响。

整个探测器测量方框图如图 3 所示。

图 4 给出了一支 80mm<sup>2</sup> 大面积探测器的 <sup>56</sup>Fe 5.89keV 的谱线。



图 3 核测量方框图

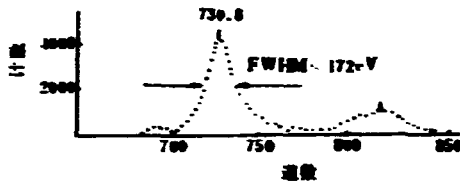


图4 80mm<sup>2</sup>Si(Li)探测器<sup>55</sup>Fe 5.9keV谱线

### 3 与国内外探测器的比较

表2 与国外Si(Li)X射线探测器半宽度(FWHM,eV)的比较

国别	面积			备注
	12mm <sup>2</sup>	30mm <sup>2</sup>	80mm <sup>2</sup>	
北京核仪器厂	150~170	160~180	173~190	89 样本
ORTEC(美)	160~170	165~180	180~190	87~88 样本
CANBERRA(英)	155~170	165~180	175~190	87~88 样本
SCHLUMBER(法)	160~180	160~180	185	87~88 样本

从表2可知,探测器主要指标达到国外同类产品的高水平。

几年来我们已为国内用户提供多台硅(锂)X射线探测器,在各种领域使用。近年来又在X射线荧光水泥分析、头发微量元素测量、临床应用等方面显示出优越性。现在探测器有效面积已形成系列,在结构上有垂直式、水平式、电镀式、45°角等各种规格。

参加本课题的尚有黄乃章、林茂才、杨继元、徐立健、林庆生、李献云、李黎明、戚素兰、黄维英等同志。

#### 参考文献

- [1] 袁祥林等. 核电子学与探测技术, 1985, 5(3), 139
- [2] 袁祥林等. 核电子学与探测技术, 1989, 9(2), 65
- [3] G. Roedel. Semiconductor Detectors, 1968. Ch1
- [4] J. W. Mayer. Semiconductor Detectors, 1968. Ch5
- [5] E. M. J. Appl Phys, 1960, 31, 29

**铀(钍)X 射线探测器**

**原子能出版社出版**

**(北京 2108 信箱)**

**原子能出版社激光照排中心排版**

**北京市海淀区三环快速印刷厂印刷**

☆

**开本 787×1092 1/16 · 印张 1 · 字数 5.6 千字**

**1990 年 8 月北京第一版 · 1990 年 8 月北京第一次印刷**

**ISBN7-5022-0381-8**

**TL · 177**



# CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT



ISBN7-5022-0381-8  
TL • 177

P.O.Box 2103  
Beijing, China

## China Nuclear Information Centre