



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101281148 B

(45) 授权公告日 2011. 01. 05

(21) 申请号 200710075334. 5

CN 1203669 A, 1998. 12. 30, 全文.

(22) 申请日 2007. 07. 27

US 2005/0173733 A1, 2005. 08. 11, 全文.

(73) 专利权人 江苏天瑞仪器股份有限公司

杨进蔚等. 硅漂移 (SDD) 阵列探测器 X

地址 215300 江苏省昆山市巴城镇苇城南路  
1666 号天瑞大院

射线能谱测量诊断. 核电子学与探测技术 24  
4. 2004, 24(4), 331-334.

(72) 发明人 姚栋梁 李胜辉

审查员 刘婷婷

(74) 专利代理机构 深圳市凯达知识产权事务所  
44256

代理人 刘大弯

(51) Int. Cl.

G01N 23/223(2006. 01)

G01T 1/24(2006. 01)

(56) 对比文件

WO 2006/053938 A1, 2006. 05. 26, 全文.

US 4688067 A, 1987. 08. 18, 全文.

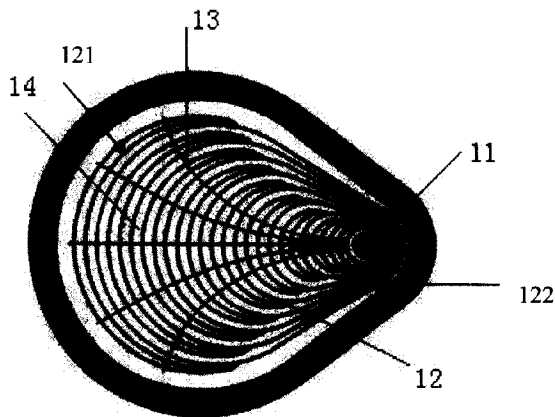
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 2 页

(54) 发明名称

一种高分辨率的半导体核辐射探测器

(57) 摘要

一种高分辨率的半导体核辐射探测器, 包括高纯的 N 型半导体硅片、探测本征区、点状 N 型阳极、P 型漂移电极和第一级场效应管, 半导体硅片 (即基片) 为圆形, 探测本征区由均匀的位于所述高纯 N 型半导体硅片的射线入射面的 P-N 结组成, 点状的 N 型阳极位于相对面的对应于所述本征区外的区域, 并被以该 N 型阳极为焦点的 P 型漂移电极环绕, P 型漂移电极为若干以所述 N 型阳极为焦点的凸圆状环形条, 第一级场效应管内置于所述 N 型阳极中。该探测器在目前硅漂移探测器 SDD 的基础上, 采用了新型的 P 型漂移电极平面结构, 进行关键性改进, 保持 SDD 分辨率高, 适用计数率范围大, 体积小重量轻的特色, 而 SDD 原有的一些缺点则被大有改善。



1. 一种高分辨率的半导体核辐射探测器,包括高纯 N 型半导体硅片、入射 X 射线探测本征区、点状 N 型阳极、凸圆环形 P 型漂移电极和第一级场效应管,其特征在于:所述高纯 N 型半导体硅片为圆形,所述入射 X 射线探测本征区由圆形的均匀的位于所述高纯 N 型半导体硅片的射线入射面的 P-N 结组成,所述点状 N 型阳极位于入射面背面的对应于所述入射 X 射线探测本征区外的区域,并被以所述点状 N 型阳极为焦点的若干凸圆环形 P 型漂移电极环绕,所述第一级场效应管内置于所述点状 N 型阳极中;所述凸圆环形 P 型漂移电极的凸圆环形由一大圆的大部分圆弧和与其相连的小凸圆弧闭合组成,所述入射 X 射线探测本征区的背面区域为凸圆环形 P 型漂移电极的最大圆圆弧包围所在区域。

2. 根据权利要求 1 所述的一种高分辨率的半导体核辐射探测器,其特征在于:所述半导体核辐射探测器的点状 N 型阳极处设有复位端,所述复位端与一周期脉冲复位装置相连。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的一种高分辨率的半导体核辐射探测器的制造方法,其特征在于:在高纯 N 型半导体硅片的射线入射面制备一大面积均匀的 P-N 结,制备成一圆形的入射 X 射线探测本征区,而在另外一面的对应于该入射 X 射线探测本征区外区域制备一个点状 N 型阳极,并制备以该点状 N 型阳极为焦点的若干凸圆环形 P 型漂移电极,最后将第一级场效应管内置于所述点状 N 型阳极中。

## 一种高分辨率的半导体核辐射探测器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及 X 荧光光谱仪（以下简称 XRF）中使用的半导体核辐射探测器，尤其是一种具有超高分辨率的改进型硅漂移半导体探测器（以下简称 UHRD）。

### 背景技术

[0002] 本发明主要针对能量色散 X 射线荧光光谱仪（以下简称 EDXRF）中的关键核心部件——半导体核辐射探测器。

[0003] EDXRF 是利用经 X 射线照射样品后，其所含元素被激发，所产生荧光 X 射线具有不同能量的特点，通过探测器的能量分辨本领和正比工作特性将其分开并检测，从而计算出样品中元素组分含量的仪器。EDXRF 系统中探测器是关键部件，它的性能好坏是至关重要的。对探测器的基本要求有以下几点：

[0004] 1) 良好的能量分辨率和能量线性。（一般使用  $^{55}\text{Fe}$  放射源的 5.894Kev Mn Ka 峰的半高宽度表示探测器的能量分辨率指标）

[0005] 2) 探测能量范围宽。

[0006] 3) 死时间短，有优良的高计数率特性。

[0007] 4) 良好的能谱特性，高的峰背比。（一般使用  $^{55}\text{Fe}$  放射源的 5.894Kev Mn Ka 峰的峰值计数与 1.0Kev 处的本底计数之比表示探测器的峰背比指标）

[0008] 5) 使用方便、可靠、坚固。

[0009] 而半导体探测器则是高性能 EDXRF 的首选，其基本原理是，X 射线光子射到探测器后形成一定数量的电子 - 空穴对，电子 - 空穴对在电场作用下形成电脉冲，脉冲幅度与 X 光子的能量成正比。经放大器放大后送到多道脉冲分析器。按脉冲幅度的大小分别统计脉冲数，脉冲幅度可以用 X 射线光子的能量标度，从而得到计数率随光子能量变化的分布曲线，即 X 光能谱图。

[0010] 从上世纪六十年代起，半导体探测器被发现，应用于核射线探测，已发展了几代，性能不断提高，常用的半导体探测器包括，金硅面垒探测器，锂漂移硅探测器 Si(Li)，Si-PIN 光电二极管探测器，硅漂移探测器 SDD。

[0011] 锂漂移硅探测器 Si(Li)，其组成是将高浓度的金属锂扩散到 P 型半导体材料硅中，形成 P-N 结，在加上反向偏压后，在 X 光子打击下，就会产生与 X 光子能量对应的电脉冲，这类探测器能量分辨率较高，但需加低温，存储和工作在液氮罐中，在脱离液氮保护后，探测器中扩散掺入的锂将会反漂移，造成不可逆转的变化，导致探测器损坏，这也就是液氮制冷的 Si(Li) 探测器在不工作时也需要液氮的根本原因，这造成使用很不方便。

[0012] Si-PIN 光电二极管探测器，用二级半导体制冷，可在常温下保存，分辨率已达到 160eV。体积小重量轻，使用非常方便。但探测器等效电容较大，尤其是随探测器面积加大而增加，使之电子噪声较大，能量分辨率也稍差。

[0013] 硅漂移探测器 (SDD) 的工作原理如图 1 所示，是以 N 型高电阻硅片为基底制作的，在 N 型硅片（基片）的入射面和背面分别注入 P+ 型离子层，形成 P-N 结，当被施加反向偏

置电压 (8), 形成完全耗尽 (fully depleted) 型半导体区域, 这是入射 X 射线 (1) 产生的空穴和电子对而被探测的本征区 (2)。

[0014] 专利号为 7193216 的美国专利公开了一种现有的硅漂移探测器 (SDD) 的结构, 如图 1 和图 2 所示, 在高纯 N 型硅片的射线入射面 (6) 制备一圆形面积均匀的 P-N 结, 而在该 P-N 结相对应的背面, 同样使用离子注入技术, 在中央制备一个点状的 N 型阳极 (105), 以阳极 (105) 为中心的周围形成许多同心的 P 型漂移电极 (101)。在工作时, 器件两面的 P-N 结加上反向电压, 从而在器件体内产生一个势阱 (对电子)。在漂移电极 (101) 上加一个电位差会在器件内产生一横向电场, 它将使势阱弯曲从而迫使入射辐射产生的信号电子在电场作用下向阳极 (105) 漂移 (4), 到达阳极 (读出电极) 附近才产生信号。而空穴沿路径 (3) 漂移。

[0015] 另外, 第一级的场效应管 (10) 内置于阳极 (105) 中, 场效应管的栅极直接连接到阳极上。这第一级场效应管采用离子注入并在相当低的温度下进行热处理来制造。场效应管的通道是用深层磷注入法制作的。由于采用环形深层磷注入、通过保护环施加偏压、场效应管区域和收集区域分割开等方法, 因而对通道中的电子有一个较好的限制, 于是给出一个较大的输出电阻。该探测器利用连续不断地翻转场效应管的栅-漏极面结偏压方向, 使探测器漏电流放电和使阳极累积信号电荷复位。因此不再需要用外部控制的复位机构。

[0016] 这样硅漂移探测器的阳极很小因而电容很小, 且与探测器面积无关, 同时它的漏电流也很小, 同时由于首级场效应管内置于探测器中, 所以用电荷灵敏前置放大器可低噪声、快速地读出电子信号。用一级半导体制冷, 就达到最低 136Kev 的分辨率, 而且适用的计数率范围可高至 100Kcps, 同样也是体积小重量轻, 使用非常方便。硅漂移探测器替代锂漂移硅探测器 Si(Li) 和 Si-PIN 光电二极管探测器, 成为高性能 EDXRF 的理想探测器。

[0017] 但上述硅漂移探测器存在如下一些缺点:

[0018] 1) 由于第一级场效应管集成于探测器中, 且位于探测器中心, 因此位于场效应管下面的电场会扭曲, 导致入射 X 射线所产生的信号电子损失, 影响 X 射线能谱的形状 (尤其是低能本底)。虽然这场效应管所占的面积很小, 但终究是对探测器的分辨率和峰背比指标有所影响。

[0019] 2) 由于 P 型漂移电极为同心圆环结构, 入射到探测器探测区各处的 X 射线所产生的信号电子, 是沿各方向向位于中心圆形环内的阳极漂移, 探测器的输出电容还有减少的可能。

[0020] 3) 由于该硅漂移探测器使用第一级场效应管的漏极电流作为自复位, 当入射的 X 射线计数率变化范围很大时, 场效应管的漏极电流也随着增大, 使所得 X 射线能谱出现峰位稍有漂移和分辨率稍差。

[0021] 上述这些问题, 对使用硅漂移探测器的高性能 EDXRF, 进行定量分析 (尤其是对轻元素的分析) 来说是至关重要的。

## 发明内容

[0022] 本发明的目的是提供一种具有高分辨率的改进型硅漂移半导体探测器 UHRD。该探测器在目前硅漂移探测器 SDD 的基础上, 采用了新型的 P 型漂移电极平面结构, 进行关键性

改进,保持 SDD 分辨率高,适用计数率范围大,体积小重量轻的特色,而 SDD 原有的一些缺点则被大有改善。

[0023] 本发明所采用的技术方案为:

[0024] 一种高分辨率的半导体核辐射探测器,包括高纯 N 型半导体硅片、入射 X 射线探测本征区、点状 N 型阳极、凸圆环形 P 型漂移电极和第一级场效应管,所述高纯 N 型半导体硅片(即基片)为圆形,所述入射 X 射线探测本征区由均匀的位于所述高纯 N 型半导体硅片的射线入射面的 P-N 结组成,所述点状 N 型阳极位于其背面的对应于所述本征区外的区域,并被以该点状 N 型阳极为焦点的若干凸圆环形 P 型漂移电极环绕,所述第一级场效应管内置于所述点状 N 型阳极中。

[0025] 所述凸圆环形 P 型漂移电极的凸圆环形由一大圆的大部分圆弧和与其相连的小凸圆弧闭合组成,所述入射 X 射线探测本征区的背面区域为凸圆环形 P 型漂移电极的大圆弧包围所在区域。

[0026] 所述半导体核辐射探测器的点状 N 型阳极处设有复位端,所述复位端与一周期脉冲复位装置相连。

[0027] 一种高分辨率的半导体核辐射探测器的制造方法,包括如下步骤:在高纯 N 型半导体硅片的射线入射面制备一大面积均匀的 P-N 结,制备成一圆形的入射 X 射线探测本征区,而在另外一面的对应于入射 X 射线探测本征区外区域制备一个点状 N 型阳极,并制备以该点状 N 型阳极为焦点的若干凸圆环形 P 型漂移电极,将第一级场效应管内置于所述点状 N 型阳极中。

[0028] 本发明的有益效果在于:本发明通过独特的凸圆环形 P 型漂移电极平面设计及相关改进措施,在硅漂移探测器 SDD 的基础上,产生的具有超高分辨率的改进型硅漂移半导体探测器 UHRD, UHRD 具有 SDD 所有的优点,而又改善了 SDD 的缺点,替代锂漂移硅探测器 Si(Li) 和 Si-PIN 光电二极管探测器,成为高性能 EDXRF 的理想探测器。具体性能改善之处:

[0029] 1) 独特的凸圆环形 P 型漂移电极平面设计,把探测器的点状 N 型阳极和第一级场效应管移到探测区域外,通过准直器对入射 X 射线的限制,避免了内置的第一级场效应管对射线探测的不良影响, UHRD 的峰背比指标从 SDD 的 2000-3000,提高到 7000-10000。

[0030] 2) 使用以点状 N 型阳极为焦点的凸圆环形 P 型漂移电极,取代同心圆环电极,使入射到探测器探测区各处的 X 射线所产生的信号电子,沿给定角度和方向的辐射状直线,向阳极漂移, UHRD 探测器的输出电容从 SDD 的 200fF,减少到 120fF,能量分辨率 SDD 的 135eV,提高到 124eV。

[0031] 3) 采用周期脉冲复位装置,比之使用第一级场效应管的漏极电流作自复位,完全避免了,当入射的 X 射线计数率变化范围很大时,所得 X 射线能谱出现峰位的漂移和分辨率变差,如入射的 X 射线计数率在 120Kcps 时,脉冲复位的峰漂移是 0.24%,而自复位是 0.92%,而能量分辨率的变化(对应 0 到 120Kcps),自复位是 40eV,而脉冲复位仅是 3-4eV。

#### 附图说明

[0032] 图 1 为本发明背景技术现有的硅漂移探测器 SDD 的工作原理示意图。

[0033] 图 2 为本发明背景技术现有的硅漂移探测器 SDD 的结构示意图。

[0034] 图 3 为本发明硅漂移半导体探测器 UHRD 的入射面背面的平面示意图。

[0035] 图 4 为本发明硅漂移半导体探测器 UHRD 的点状 N 型阳极及第一级场效应管的结构示意图。

[0036] 图中,1、入射 X 射线;2、高纯 N 型半导体硅片及入射 X 射线探测本征区;3、入射 X 射线产生的空穴及漂移路径;4、入射 X 射线产生的电子及漂移路径;105、点状 N 型阳极;6、入射面及 P+ 离子注入层;101、P+ 离子注入形成的环形漂移电极;8、反向偏置电压;9、前置放大器;10、第一级场效应管;11、点状 N 型阳极及第一级场效应管;12、P+ 离子注入形成的凸圆环形漂移电极;13、入射 X 射线产生电子的漂移路径;14、入射 X 射线探测本征区的背面区域;15、第一级场效应管;16、点状 N 型阳极;17、复位端;121、凸圆环形漂移电极的大圆部分;122、凸圆环形漂移电极的小凸圆弧部分;102、电源;103、门;104、排出电极;106、阴极。

### 具体实施方式

[0037] 下面结合附图和实施例进一步说明本发明,如图 3 和图 4 所示,一种高分辨率的半导体核辐射探测器(UHRD),包括高纯 N 型半导体硅片和入射 X 射线探测本征区(2)、点状 N 型阳极(16)和第一级场效应管(10)、凸圆环形 P 型漂移电极(12),所述高纯 N 型半导体硅片为圆形,所述入射 X 射线探测本征区(2)的背面区域(14)为凸圆环形 P 型漂移电极的最大圆所在区域,因此,所述入射 X 射线探测本征区(2)是在(14)和射线入射面的 P-N 结之间的区域;所述点状 N 型阳极(11)位于所述入射 X 射线探测本征区的背面区域(14)外的区域,并被以该点状 N 型阳极为焦点的若干凸圆环形 P 型漂移电极(12)环绕,所述第一级场效应管内置于所述点状 N 型阳极(11)中。

[0038] 所述凸圆环形 P 型漂移电极(12)的凸圆环形由一大圆的大部分圆弧(121)和与其相连的小凸圆弧(122)闭合组成,所述入射 X 射线探测本征区的背面区域为凸圆环形 P 型漂移电极的大圆圆弧(121)包围所在区域。

[0039] 所述半导体核辐射探测器的点状 N 型阳极(16)处设有复位端(17),所述复位端(17)与一周期脉冲复位装置相连。所述周期脉冲复位装置,是把一系列频率 500 或 1000Hz,脉宽 200-300ns 的脉冲,连接到探测器的复位端,是探测器所累积的电荷周期性快速泄放,既取得复位的效果,又不会因计数率的变化,影响探测器的工作状态。

[0040] 一种高分辨率的半导体核辐射探测器的制造方法,在高纯的 N 型半导体硅片的射线入射面制备一大面积均匀的 P-N 结,制备成一圆形的入射 X 射线探测本征区,而在另外一面的对应于该入射 X 射线探测本征区外制备一个点状 N 型阳极(16),并制备以该点状 N 型阳极为焦点的若干凸圆环形 P 型漂移电极(12),所述第一级场效应管(15)内置于点状 N 型阳极(16)中。

[0041] 安装准直器后,入射射线只能在最大凸圆环的焦点所对应的本征区外作用,产生信号电子和空穴对,在器件两面的 P-N 结加上反向电压和漂移电极上加一个电位差会在器件内产生一横向电场,在所形成的弯曲势阱作用下,信号电子辐射状直线沿着入射 X 射线产生电子的漂移路径(13)向阳极漂移,到达点状 N 型阳极附近才产生信号。

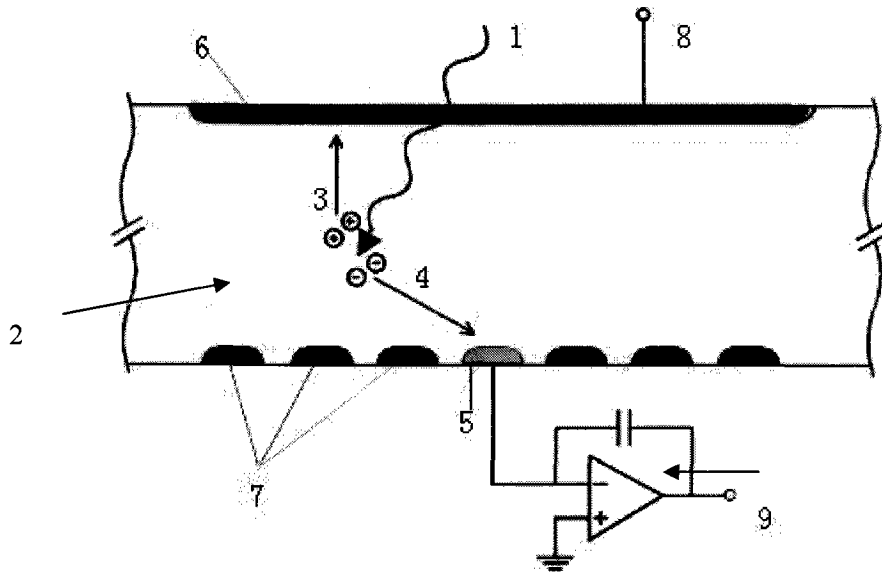


图 1

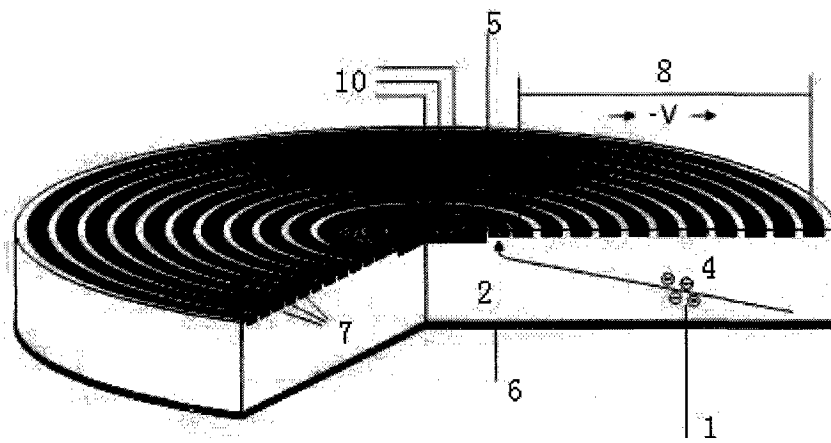


图 2

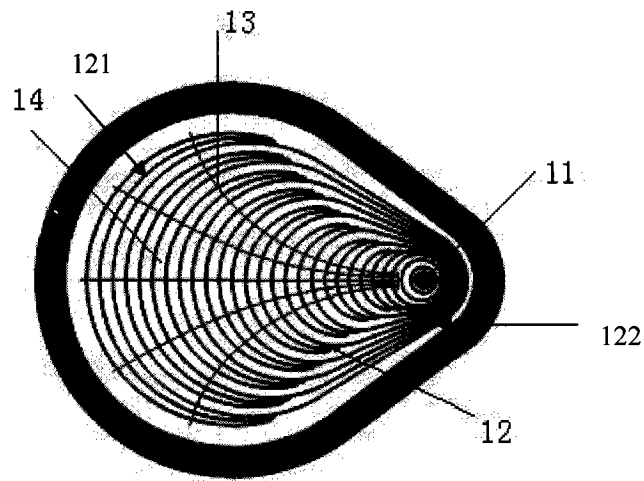


图 3

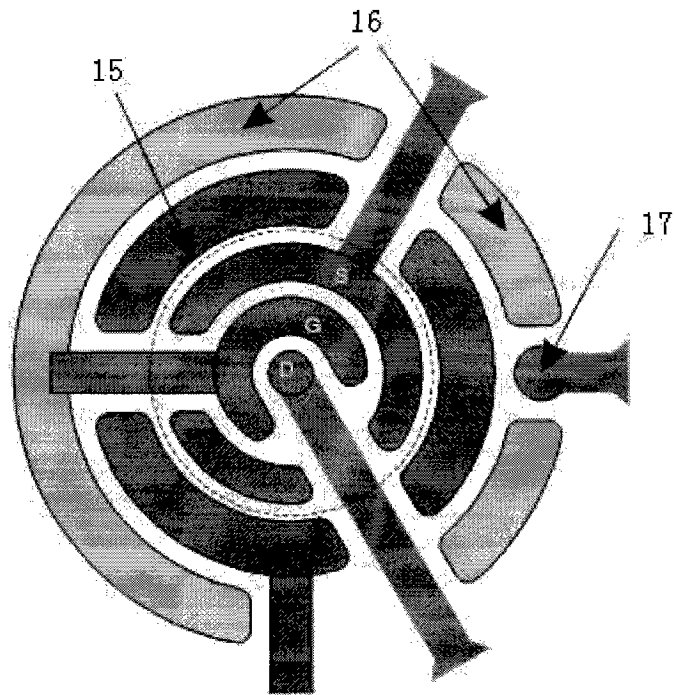


图 4