



# (12)实用新型专利

(10)授权公告号 CN 206194691 U

(45)授权公告日 2017.05.24

(21)申请号 201621304472.7

(22)申请日 2016.11.30

(73)专利权人 中国科学院上海应用物理研究所  
地址 201800 上海市嘉定区嘉罗公路2019号

(72)发明人 薛超凡 吴衍青 王勇 邵仁忠

(74)专利代理机构 上海智信专利代理有限公司  
31002  
代理人 邓琪 余中燕

(51) Int. Cl.

H01J 47/02(2006.01)

G01T 1/29(2006.01)

(ESM)同样的发明创造已同日申请发明专利

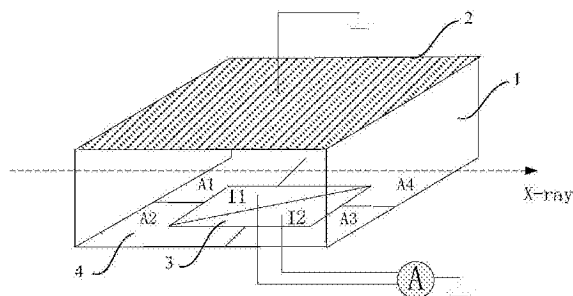
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

## (54)实用新型名称

一种同步辐射软X射线无损实时位置分辨电离室

## (57)摘要

本实用新型提供一种同步辐射软X射线无损实时位置分辨电离室,包括密封壳体以及在所述密封壳体中上下平行对置的高压电极板和收集电极板,其特征在于,所述收集电极板呈矩形,并由两个呈直角三角形的微通道板模块拼接而成。本实用新型通过将收集电极板设计为由两个呈直角三角形的微通道板模块拼接而成,从而可利用微通道板模块对电流信号放大的作用,使得电离室即使工作在高真空下,也可以输出能够被检测到的电流,进而实现对软X射线光束强度、位置的无损实时监测。



1. 一种同步辐射软X射线无损实时位置分辨电离室,包括密封壳体以及在所述密封壳体中上下平行对置的高压电极板和收集电极板,其特征在于,所述收集电极板呈矩形,并由两个呈直角三角形的微通道板模块拼接而成。

2. 根据权利要求1所述的同步辐射软X射线无损实时位置分辨电离室,其特征在于,所述微通道板模块由一块微通道板构成或者由多块微通道板叠置而成。

3. 根据权利要求1所述的同步辐射软X射线无损实时位置分辨电离室,其特征在于,该电离室还包括围绕在所述收集电极板四周并与所述收集电极彼此绝缘的保护环。

4. 根据权利要求3所述的同步辐射软X射线无损实时位置分辨电离室,其特征在于,所述保护环由金属材料制成。

5. 根据权利要求3所述的同步辐射软X射线无损实时位置分辨电离室,其特征在于,所述保护环呈矩形。

6. 根据权利要求1所述的同步辐射软X射线无损实时位置分辨电离室,其特征在于,所述高压电极板由金属材料制成。

7. 根据权利要求1所述的同步辐射软X射线无损实时位置分辨电离室,其特征在于,所述高压电极板呈矩形。

## 一种同步辐射软X射线无损实时位置分辨电离室

### 技术领域

[0001] 本实用新型涉及气体电离室领域,尤其涉及一种同步辐射软X射线无损实时位置分辨电离室。

### 背景技术

[0002] 近些年来同步辐射应用发展迅速,利用同步辐射光源的实验方法得到了很大程度的提高,随着实验技术的不断提高以及样品尺寸的越来越小,实验对同步辐射光的质量要求也随之变得越来越高,在实验过程中对光束的无损实时监测显得尤为重要。光束位置的稳定性关系到实验样品上单色光强度甚至能量的变化,对最终实验结果有着重要的影响。对于某些实验,例如CT扫描等,完成一个完整实验往往需要较长的时间,实验过程中光束抖动对成像质量的影响很大,直接关系到最终的实验结果,因此对光束位置的实时监测以及光束位置的自校正显得尤为重要。

[0003] 目前在同步辐射硬X射线光束线上的实时监测技术已发展的比较成熟,普遍使用具有位置监测功能的小型电离室来实现对硬X射线光束位置的监测。例如,日本Spring-8的BL44B2线站上使用的位置灵敏电离室及前苏联BINP(俄罗斯科学院新西伯利亚核物理研究所)的VEPP-3储存环的5a实验站上采用的位置灵敏电离室。由于电离室具有方便灵活、空间和时间分辨率好、灵敏度高、容易做成各种形状、具有大的探测面积、工作稳定可靠、辐射损伤小、结构简单与造价低廉等优点,已成为同步辐射电离室中极佳的选择。对于硬X射线(一般指光子能量在6Kev以上的X射线)来说,其本身的穿透能力较强(见图1),电离室内气体对其影响很小,此时气体电离室属于非阻挡式检测器,其不会阻挡同步辐射光,也不会影响光束线后端的实验平台,可以利用其对光束的位置进行实时监测;而对于软X射线(一般指光子能量在2Kev以下的X射线)来说,在同等条件下气体对光的吸收非常强(见图1),与硬X射线相比其大部分被电离室内的气体吸收,此时气体电离室属于阻挡式检测器,不能用于软X射线光束线测量。

[0004] 为了尽量减少气体对光的吸收,目前在同步辐射软X光束线上使用的气体电离室内的气体压强要远远低于一个标准大气压(760Torr),通常选择的气压范围为 $10^{-1}$ Torr- $10^{-3}$ Torr。当气压为 $10^{-3}$ Torr时,以氩气为例,假设软X射线光束线的光子通量为 $1 \times 10^{10}$ phs/s,电离室接收电极板长度为100cm,入射光子能量为250eV,此时的光电流I可由下式计算:

$$[0005] \quad I = eN = Flux(1 - E^{-\mu}) \times \frac{E_0}{w} \times e \quad (1)$$

[0006] 其中,Flux为光子通量, $\mu$ (单位为 $\text{cm}^{-1}$ )为线性吸收系数,l为电离室总的极板长度, $E_0$ 为入射光子能量,w为平均电离能。将 $\mu = 2.12 \times 10^{-5} \text{cm}^{-1}$ 、 $w = 26.2 \text{eV}$ 带入可得理论光电流I为 $3.23 \times 10^{-11} \text{A}$ 。而由于电子-离子对复合效应等的影响,在实际应用中测量得到的光电流I要小于理论值。目前气体电离室的收集电极板多为金属电极板,其自身并不具备信号放大功能,因此该光电流值I几乎是目前电子学系统所能检测到的最小值,若电离室内气体压强继续降低,那么气体电离所产生的电流信号将不能被采集。

[0007] 另一方面,为了尽量减少气体对光的吸收,同步辐射软X射线测量电离室多为超高真空状态(一般为 $10^{-10}$ Torr),若电离室在线工作则需要考虑其前后的真空保护,通常的办法是加入真空差分系统或直接用窗口隔离。根据前文的分析,电离室能够正常工作所需要的气体压强最低为 $10^{-3}$ Torr,在这种情况下,若选择加入差分系统,则至少需要加入三到四级差分系统才能达到光束线的真空要求,这不仅增加了光束线的建设成本,同时也增加了光束线的安装准直难度;若选择加入隔离窗口,软X射线波段通常采用100nm厚的 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 薄膜作为窗口隔离真空,这主要因为其对软X射线的透过率相对较高且有一定的耐压能力,由图2可知即便如此,透过率最高也不到90%,特别在碳、氮、氧等软X射线光束线用户最感兴趣的能量点上不到70%,也就是说若采用两片氮化硅窗口分别隔离两端的真空,那么电离室整体对光的吸收超过20%,在碳、氮、氧等元素的吸收边上对光的吸收超过60%,这对光束线的光子通量造成了非常大的影响,因此采用这种方式保护真空会严重降低光束线性能。综上,采用传统金属收集电极板的电离室很难被用于软X射线的原位实时监测。

[0008] 到目前为止,真正用于同步辐射软X射线光束线光束位置实时无损监测的方法还未见报道。国际上用于软X射线光束线上监测光束位置的探测器主要为丝扫描光束位置探测器与狭缝式探测器。其中丝扫描光束位置探测器工作时需要沿垂直光束方向移动,会造成对光束的阻挡,属于阻挡式检测器,不能用于在线监测。而狭缝式探测器虽然可以让光束中心通过,但其也限制了光斑的尺寸,阻挡了部分光束,在一定程度上降低了光子通量,并且利用这种类型的探测器在线实时监测光束位置时精度不是很高,很难精确确定光束中心位置。

[0009] 综上所述,随着同步辐射技术的不断发展,实验对同步光源品质的要求越来越高,这就对光束状态的检测提出了更高的要求。目前国际上硬X射线光束线在线实时监测技术已经发展的比较成熟,并得到了广泛的应用。但是由于受微弱电流检测、光束线真空保护等问题的限制,目前还没有一种有效的方法用于软X射线光束线,实现对光束的原位实时无损监测。

### 实用新型内容

[0010] 针对上述现有技术的不足,本实用新型的目的在于提供一种同步辐射软X射线无损实时位置分辨电离室,用以实现对软X射线光束位置的原位无损实时监测。

[0011] 为了实现上述目的,本实用新型采用如下技术方案:

[0012] 一种同步辐射软X射线无损实时位置分辨电离室,包括密封壳体以及在所述密封壳体中上下平行对置的高压电极板和收集电极板,所述收集电极板呈矩形,并由两个呈直角三角形的微通道板模块拼接而成。

[0013] 进一步地,所述微通道板模块由一块微通道板构成或者由多块微通道板叠置而成。

[0014] 进一步地,该电离室还包括围绕在所述收集电极板四周并与所述收集电极彼此绝缘的保护环。

[0015] 优选地,所述保护环由金属材料制成。

[0016] 优选地,所述保护环呈矩形。

[0017] 优选地,所述高压电极板由金属材料制成。

[0018] 优选地,所述高压电极板呈矩形。

[0019] 通过采用上述技术方案,本实用新型具有如下有益效果:通过将收集电极板设计为由两个呈直角三角形的微通道板模块拼接而成,从而可利用微通道板模块对电流信号放大的作用,使得电离室即使工作在高真空下,也可以输出能够被检测到的电流,进而实现对软X射线光束强度、位置的无损实时监测。

### 附图说明

[0020] 图1为X射线透过率曲线,其中,介质为为760Torr的氮气,行程为10cm;

[0021] 图2为厚度为100nm的氮化硅薄膜的软X射线透过率曲线;

[0022] 图3为本实用新型同步辐射软X射线无损实时位置分辨电离室的结构示意图;

[0023] 图4A为本实用新型电离室中未设置保护环时的电场分布示意图;

[0024] 图4B为本实用新型电离室中设置保护环时的电场分布示意图;

[0025] 图5为本实用新型两个微通道板模块的电流信号与入射光束位置的关系示意图;

[0026] 图6为软X射线偏离电离室中心轴入射的示意图;

[0027] 图7为X射线透过率曲线,其中,介质为 $10^{-6}$ Torr的氩气,行程为10cm。

### 具体实施方式

[0028] 下面结合附图,给出本实用新型的较佳实施例,并予以详细描述,使能更好地理解本实用新型的功能、特点。

[0029] 图3示出了本实用新型同步辐射软X射线无损实时位置分辨电离室的一个实施例,其包括内部充有气体的密封壳体1以及设置在密封壳体1中的矩形高压电极板2、矩形收集电极板3和矩形保护环4。其中,高压电极板2与收集电极板3上下平行对置,保护环4围绕在收集电极板3的四周并与收集电极彼此绝缘。

[0030] 在本实用新型中,高压电极板2由金属材料制成;收集电极板3由两个相同的直角三角形微通道板模块拼接而成,且两个微通道板模块彼此绝缘;保护环4由金属材料制成,并且在图1的实施例中通过刻蚀技术分割成四块完全相同的部分,分别标示为A1、A2、A3和A4,需要说明的是,其也可以不分割或者分割成其它形式。保护环4在此的作用是确保收集电极板3上的电场分布是垂直的,具体来说,不设置保护环4时,在收集电极板3的边缘处电场会发生弯曲(见图4A),从而影响测量结果,增设保护环4后,则收集电极板3上的电场分布是垂直的(见图4B)。

[0031] 利用本实用新型电离室进行光强监测的原理如下:

[0032] 当入射的软X射线射到电离室中时,内部的气体将产生电离,并生成正负离子对。当存在电场时(即在两个电极板上施加极化电压时),正离子向收集电极板3方向漂移,负离子向高压电极板2方向漂移,从而在外电路中形成电流,外电路收集到的电流即为电离电流。当一定体积的气体受恒定的软X射线照射时,离子对的生成率是恒定的,此时电离室应工作在饱和区,电离电流正比于软X射线的强度。

[0033] 若N为电离室中单位时间内离子对的产生率,e为电子电荷,则电离室平均电离电流 $I_c$ 即可由 $I_c = eN$ 求出。

[0034] 电离室内两个微通道板模块引出的两路电流信号分别为 $I_1$ 和 $I_2$ (见图3)。当X射线

平行于电离室中心轴入射时,其强度与电流 $I = I_1 + I_2$ 成比例关系;当X射线倾斜入射时,在气体内部走过的路程更长,设入射角为 $\theta$ ,则其强度与电流 $I = I_0 \cos \theta = (I_1 + I_2) \cos \theta$ 成比例关系。

[0035] 利用本实用新型的电离室进行位置监测的原理如下:

[0036] 本实用新型对入射的软X射线位置的测定是通过收集电极板3自身的特殊结构来实现的。电流信号 $I_1$ 和 $I_2$ 的大小应与电离室中光路沿电场方向在收集电极板3上的投影长度成正比,所以两路信号的消长均与光束位置呈线性关系。由于收集电极板3由两个呈直角三角形的微通道板模块构成,假设入射光的水平分布为 $\delta$ 函数,垂直均匀,则电流信号 $I_1$ 和 $I_2$ 与入射光的位置关系如图5所示,用函数表示为:

$$[0037] \quad \begin{cases} I_1 = \frac{1}{2} - \frac{x}{W} \\ I_2 = \frac{1}{2} + \frac{x}{W} \end{cases} \quad (2)$$

[0038] 其中, $x$ 为入射光束相对于电离室中心轴的位移, $W$ 为有效收集电极板3的宽度(见图6),取差和比函数 $K = \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2}$ 作为光束位置的监测函数,可得入射光的水平位置为

$$x = \frac{WK}{2} = \frac{W}{2} \cdot \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2}。$$

[0039] 这种处理方式有下列几个优点:

[0040] (1) 取差和比函数将去除总的光电流强度的影响。

[0041] (2) 分子取差模可以有效消除外界共模干扰,而绝大部分外界的干扰都是以共模形式影响两路信号的。

[0042] (3) 分母取总电流可以高效地利用信号量,取总电流作为分母可以在两路信号相互消长时,维持分母恒定,这样比利用单路信号的误差要小得多。

[0043] 如前所述,本实用新型的收集电极板3采用的是微通道板模块,由于微通道板可以起到对电流信号放大的作用,从而使得电离室即使工作在较低的气体压强下,也能够对电流信号进行检测。其中,微通道板由若干个相互平行的小的电子倍增管组成,电子倍增管的长径比(即管长 $L$ 与管径 $D$ 之间的比)越长,增益就越高。例如,一片 $L/D = 40:1$ 的微通道板增益可以达到 $10^4$ ,而 $L/D = 60:1$ 的微通道板则可以达到 $10^5$ 。而且,微通道板的增益可以通过叠置达到更高,通常两片叠置的微通道板的增益可以达到 $10^7$ ,三片叠置的微通道板的增益可以达到 $10^8$ 。因此,在本实用新型一个优选的实施例中,微通道板模块由多块微通道板叠置而成。

[0044] 参见图7可知,同样以氩气为例,当电离室内气体压强低于 $10^{-6}$ Torr时,其对软X射线的吸收也可忽略不计。根据式(1),在气体压强为 $10^{-7}$ Torr而其它条件均不变的情况下,光电流为 $3.23 \times 10^{-15}$ A。采用两片微通道板叠置可使信号增益超过 $10^7$ ,那么完全可以使用电流计对电流信号进行采集,克服了现有电离室在极低所压下检测软X射线时电流不能测量的问题。

[0045] 目前国际上出售微通道板的公司主要有两家:Tectra与Photonis,其中Photonis可以定制简单几何形状的微通道板,这就解决了微通道板加工的难题,因此本实用新型在

技术上是可行的。

[0046] 此外,当利用本实用新型的电离室监测入射软X射线的位置后,将监测数据反馈至计算机,并利用计算机控制光束线上的光学元件,可实现对软X射线光束位置的自动校正。

[0047] 以上所述的,仅为本实用新型的较佳实施例,并非用以限定本实用新型的范围,本实用新型的上述实施例还可以做出各种变化。即凡是依据本实用新型申请的权利要求书及说明书内容所作的简单、等效变化与修饰,皆落入本实用新型专利的权利要求保护范围。本实用新型未详尽描述的均为常规技术内容。

氮气, 气压: 760 Torr, 吸收长度: 10cm

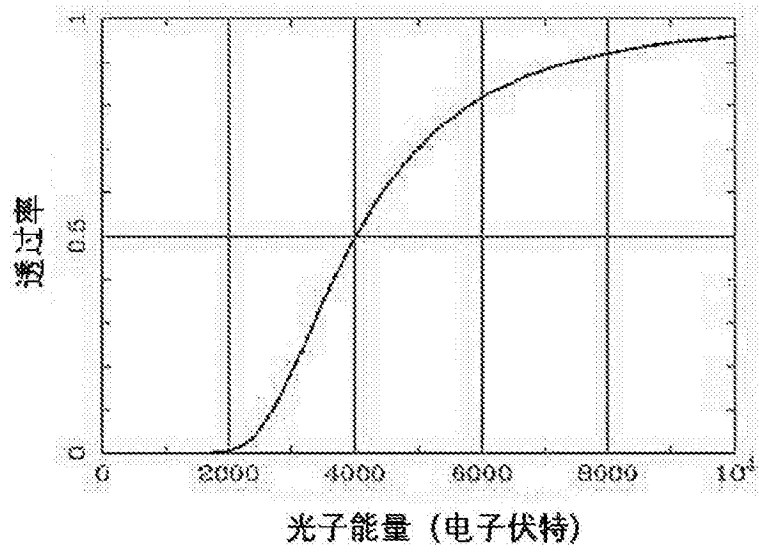


图1

100微米厚氮化硅薄膜

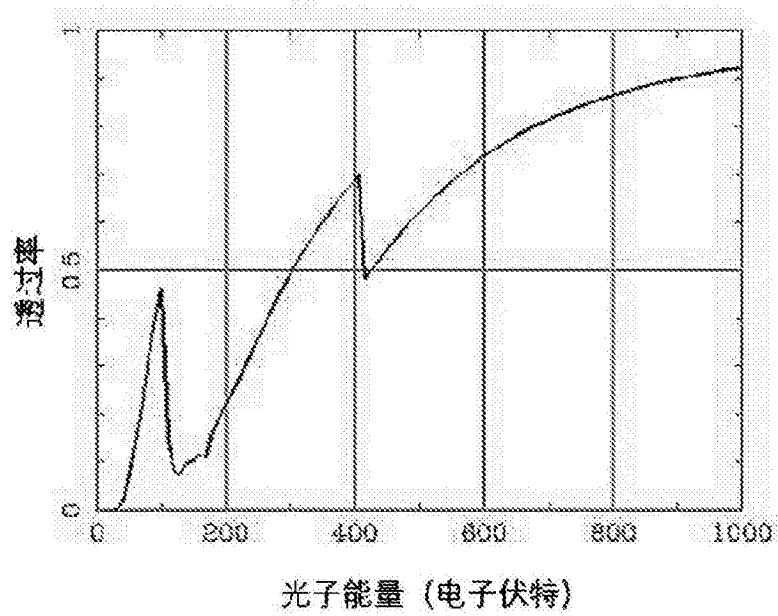


图2



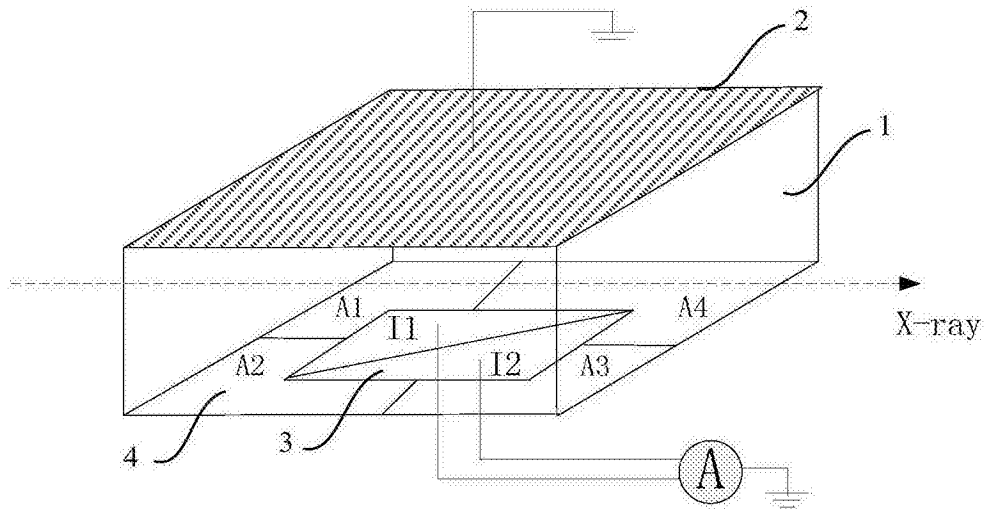


图3

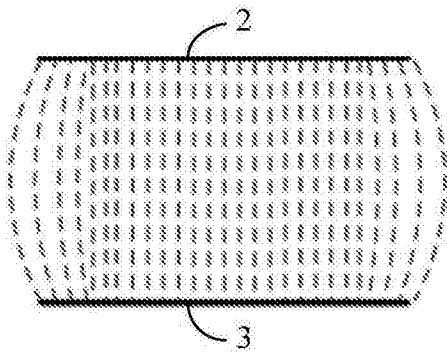


图4A

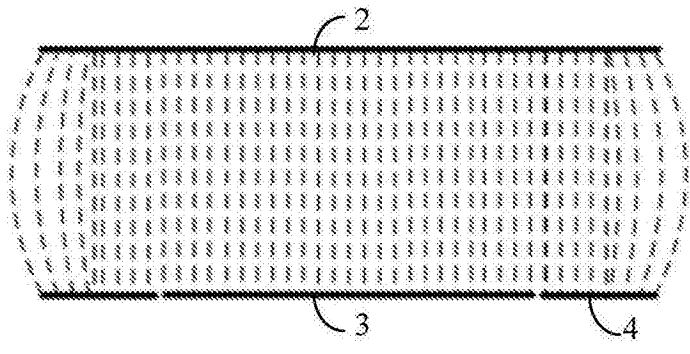


图4B

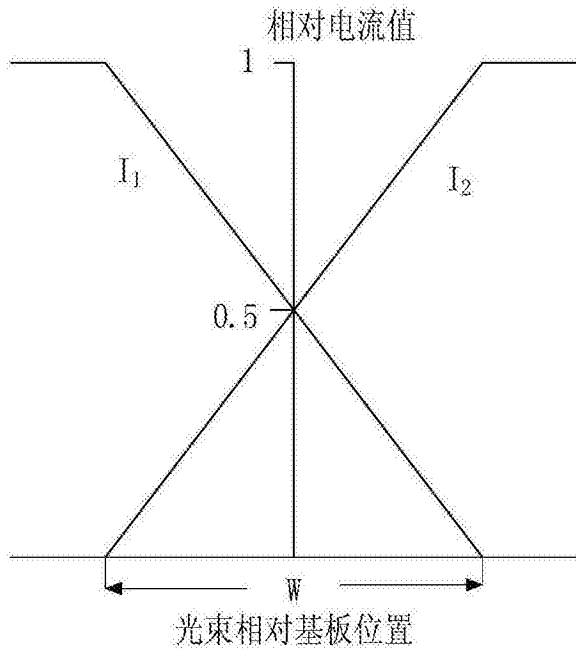


图5

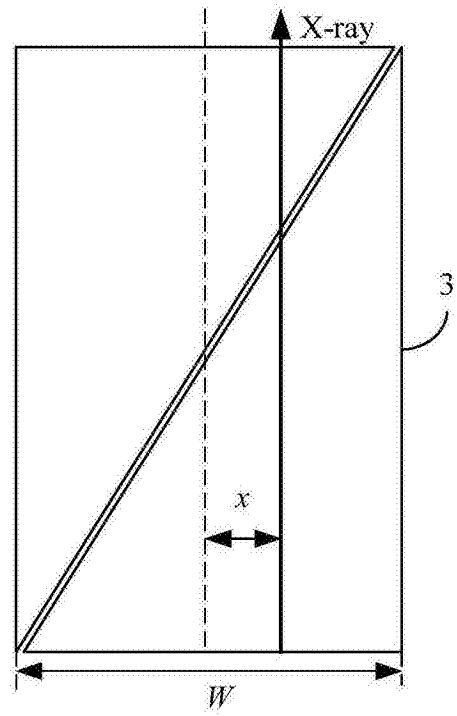


图6

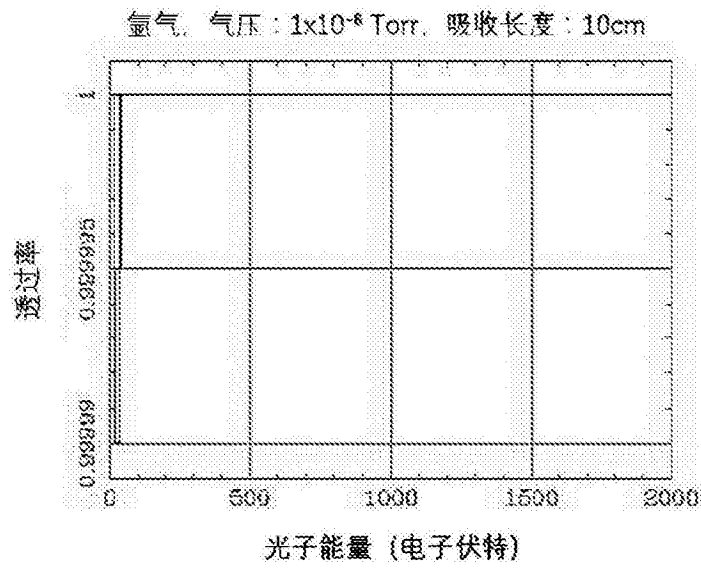


图7