(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 111965689 B
(45)授权公告日 2021.04.09

(21)申请号 202010806535.3
(22)申请日 2020.08.12
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111965689 A
(43)申请公布日 2020.11.20
(73)专利权人 中国科学院国家空间科学中心
地址 100190 北京市海淀区中关村南二条1号
(72)发明人 常远 余庆龙 路立 荆涛 卢琪 孙越强
(74)专利代理机构 北京方安思达知识产权代理有限公司 11472
代理人 陈琳琳 杨青
(51)Int.Cl.
G01T 1/28(2006.01)
G01T 1/172(2006.01)

(56)对比文件
CN 109212586 A,2019.01.15
CN 105990089 A,2016.10.05
CN 108028263 A,2018.05.11
CN 209525467 U,2019.10.22
JP H04296435 A,1992.10.20

审查员 吴少波

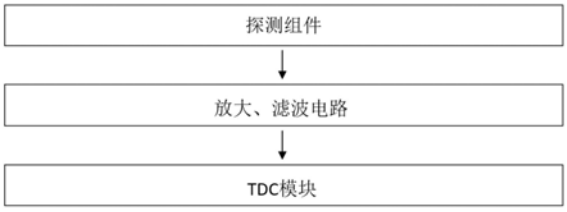
权利要求书2页 说明书6页 附图1页

(54)发明名称

一种用于中性原子分析的测量装置

(57)摘要

本发明公开了一种用于中性原子分析的测量装置,所述装置包括:探测组件和信号处理模块;所述探测组件,用于接收宇宙粒子,对其中待分析的中性原子,产生二次电子,通过收集起始二次电子、停止二次电子和符合二次电子输出起始阳极信号、停止阳极信号和符合阳极信号;所述信号处理模块,用于对接收到的起始阳极信号、停止阳极信号和符合阳极信号进行预处理,然后进行计算,得到待分析粒子在探测组件中的飞行时间信息、起始二次电子的位置信息、停止二次电子的位置信息、符合二次电子的位置信息和在探测组件中的飞行时间信息。本发明的装置结构简单,空间利用率高,易于加工制作。



CN 111965689 B

1.一种用于中性原子分析的测量装置,其特征在于,所述装置包括:探测组件和信号处理模块;

所述探测组件,用于接收宇宙粒子,对其中待分析的中性原子,产生二次电子,通过收集起始二次电子、停止二次电子和符合二次电子输出起始阳极信号、停止阳极信号和符合阳极信号;

所述信号处理模块,用于对接收到的起始阳极信号、停止阳极信号和符合阳极信号进行预处理,然后进行计算,得到待分析粒子在探测组件中的飞行时间信息、起始二次电子的位置信息、停止二次电子的位置信息、符合二次电子的位置信息和在探测组件中的飞行时间信息。

2.根据权利要求1所述的用于中性原子分析的测量装置,其特征在于,所述探测组件由上下平行的顶部MCP探测器和底部MCP探测器,以及左右平行的极板组成非封闭的立方体腔体,在腔体的左上及右上,对称设置倾斜且平行,并保持一定间隙的入口碳膜和入口栅网;在入口碳膜外设置有锯齿形偏转板;在顶部MCP探测器上方,依次设置位于同一水平线,并保持固定间隙的第一起始阳极、符合阳极和第二起始阳极;在底部MCP探测器以上依次平行设置保持固定间隙的底部碳膜和底部栅网,在底部MCP探测器以下平行设置停止阳极;在腔体的中部附近左右对称的设置中部栅网;其中,入口碳膜的电压小于入口栅网的电压,底部碳膜的电压值小于底部栅网的电压,中部栅网的电压小于底部栅网的电压,顶部MCP的电压大于入口碳膜、中部栅网、底部栅网、极板以及底部碳膜的电压;

所述偏转板,用于接收宇宙粒子,排除其中带电粒子,将待测中性原子射入入口碳膜;

所述入口碳膜,用于接收待测中性原子,产生起始二次电子并与入口栅网共同对起始二次电子进行加速;

所述顶部MCP探测器用于对起始二次电子产生倍增作用;并和入口栅网及中部栅网构成电场,使得起始二次电子先减速后反向加速偏转至第一起始阳极和第二起始阳极;

所述第一起始阳极和第二起始阳极,用于接收倍增后的二次电子,产生两路起始阳极信号;

所述底部碳膜,用于接收待测中性原子,产生反向二次电子和正向二次电子;

所述底部MCP探测器,用于收集正向二次电子,产生两路停止阳极信号;

所述符合阳极,用于收集反向二次电子,产生两路符合阳极信号。

3.根据权利要求2所述的用于中性原子分析的测量装置,其特征在于,所述入口碳膜和底部碳膜均为不大于2ug/cm^2的碳膜。

4.根据权利要求2所述的用于中性原子分析的测量装置,其特征在于,所述第一起始阳极、符合阳极、第二起始阳极和停止阳极均为延迟线阳极,停止阳极为二维阳极。

5.根据权利要求2所述的用于中性原子分析的测量装置,其特征在于,所述信号处理模块包括放大电路及滤波成型电路以及并联的第一时间数字转换模块、第二时间数字转换模块、第三时间数字转换模块、第四时间数字转换模块和第五时间数字转换模块;

所述放大电路及滤波成型电路,用于对接收到的起始阳极信号、停止阳极信号和符合阳极信号进行放大及滤波的预处理,并将预处理后的一路起始阳极信号和一路停止阳极信号输入第一时间数字转换模块,将预处理后的一路停止阳极信号和一路符合阳极信号输入第二时间数字转换模块,将两路起始阳极信号输入第三时间数字转换模块,将两路符合阳

极信号输入第四时间数字转换模块，将两路停止阳极信号输入第五时间数字转换模块；

所述第一时间数字转换模块，用于计算停止阳极信号和起始阳极信号对应时间的差值，得到待分析粒子在探测组件中的飞行时间信息；

所述第二时间数字转换模块，用于计算停止阳极信号和符合阳极信号对应时间的差值，得到符合二次电子在探测组件中的飞行时间信息；

所述第三时间数字转换模块，用于根据两路起始阳极信号对应时间，计算得到起始二次电子的位置信息X_0：

$$X_0=\frac{L_0}{2}-\frac{v_{eff0}\Delta t_0}{2}$$

其中，L_0为X方向起始阳极延迟线总长度，Δt_0为两路起始阳极信号到达起始阳极延迟线两侧的时间差，v_{eff0}为在X方向等效传输速度：

$$v_{eff0}=f\frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}\frac{P_0}{P_0+2H_0}$$

其中，f为修正系数，c为光速，P_0为起始阳极延迟线的周期，H_0为起始阳极延迟线阳极Y方向长度，ε_r为介电常数；

所述第四时间数字转换模块，用于根据两路符合阳极信号对应时间，计算得到符合二次电子的位置信息X_1：

$$X_1=\frac{L_1}{2}-\frac{v_{eff}\Delta t_1}{2}$$

其中，L_1为X方向符合阳极延迟线总长度，Δt_1为两路符合阳极信号到达符合阳极延迟线两侧的时间差，v_{eff1}为在X方向等效传输速度：

$$v_{eff1}=f\frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}\frac{P_1}{P_1+2H_1}$$

其中，P_1为符合阳极延迟线的周期，H_1为符合阳极延迟线阳极Y方向长度；

所述第五时间数字转换模块，用于根据两路停止阳极信号对应时间，计算得到停止二次电子的位置信息(X_2,Y_2)：

$$X_2=\frac{L}{2}-\frac{v_{effx}\Delta t_x}{2}$$

其中，L为X方向停止阳极延迟线总长度，Δt_x为两路停止阳极信号到达停止阳极延迟线两侧的时间差，v_{effx}为在X方向等效传输速度：

$$v_{effx}=f\frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}\frac{P_2}{P_2+2H}$$

P_2为停止阳极延迟线的周期，H为停止阳极延迟线阳极Y方向长度；

$$Y_2=\frac{H}{2}-\frac{v_{effy}\Delta t_y}{2}$$

其中，Δt_y为两路停止阳极信号到达停止阳极延迟线Y方向两侧的时间差，v_{effy}为在Y方向等效传输速度：

$$v_{effy}=f\frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}\frac{P_2}{P_2+2L}。$$

一种用于中性原子分析的测量装置

技术领域

[0001] 本发明涉及空间探测技术领域,尤其涉及一种用于中性原子分析的测量装置。

背景技术

[0002] 中性原子是一种在空间中占很大比例的粒子,随着空间科学研究的深入,近年来许多空间科学问题对中性原子成分分析、能量分析提出了要求。能够有效鉴别出中性原子种类,对解释空间环境平静期及扰动期的各种物理现象有很重要的意义,例如帮助了解超热粒子、太阳爆发及与行星作用过程区域等。现有中性原子仪器对能谱分析较多,但是能够排除其他粒子干扰,实现大能量范围鉴别中性原子成分的测量装置还未出现。

发明内容

[0003] 本发明的目的在于克服现有技术缺陷,实现对大能量范围空间中性原子的粒子的成分分析,提出了一种用于中性原子分析的测量装置。

[0004] 为了实现上述目的,本发明提出了一种用于中性原子分析的测量装置,所述装置包括:探测组件和信号处理模块;

[0005] 所述探测组件,用于接收宇宙粒子,对其中待分析的中性原子,产生二次电子,通过收集起始二次电子、停止二次电子和符合二次电子输出起始阳极信号、停止阳极信号和符合阳极信号;

[0006] 所述信号处理模块,用于对接收到的起始阳极信号、停止阳极信号和符合阳极信号进行预处理,然后进行计算,得到待分析粒子在探测组件中的飞行时间信息、起始二次电子的位置信息、停止二次电子的位置信息、符合二次电子的位置信息和在探测组件中的飞行时间信息。

[0007] 作为上述装置的一种改进,所述探测组件由上下平行的顶部MCP探测器和底部MCP探测器,以及左右平行的极板组成非封闭的立方体腔体,在腔体的左上及右上,对称设置倾斜且平行,并保持一定间隙的入口碳膜和入口栅网;在入口碳膜外设置有锯齿形偏转板;在顶部MCP探测器上方,依次设置位于同一水平线,并保持固定间隙的第一起始阳极、符合阳极和第二起始阳极;在底部MCP探测器以上依次平行设置保持固定间隙的底部碳膜和底部栅网,在底部MCP探测器以下平行设置停止阳极;在腔体的中部附近左右对称的设置中部栅网;其中,入口碳膜的电压小于入口栅网的电压,底部碳膜的电压值小于底部栅网的电压,中部栅网的电压小于底部栅网的电压,顶部MCP的电压大于入口碳膜、中部栅网、底部栅网、极板以及底部碳膜的电压;

[0008] 所述偏转板,用于接收宇宙粒子,排除其中带电粒子,将待测中性原子射入入口碳膜;

[0009] 所述入口碳膜,用于接收待测中性原子,产生起始二次电子并与入口栅网共同对起始二次电子进行加速;

[0010] 所述顶部MCP探测器用于对起始二次电子产生倍增作用;并和入口栅网及中部栅

网构成电场，使得起始二次电子先减速后反向加速偏转至第一起始阳极和第二起始阳极；

[0011] 所述第一起始阳极和第二起始阳极，用于接收倍增后的二次电子，产生两路起始阳极信号；

[0012] 所述底部碳膜，用于接收待测中性原子，产生反向二次电子和正向二次电子；

[0013] 所述底部MCP探测器，用于收集正向二次电子，产生两路停止阳极信号；

[0014] 所述符合阳极，用于收集反向二次电子，产生两路符合阳极信号。

[0015] 作为上述装置的一种改进，所述第一碳膜和第二碳膜为不大于2ug/cm^2的碳膜。

[0016] 作为上述装置的一种改进，所述第一起始阳极、符合阳极、第二起始阳极和停止阳极均为延迟线阳极，停止阳极为二维阳极。

[0017] 作为上述装置的一种改进，所述信号处理模块包括放大电路及滤波成型电路以及并联的第一时间数字转换模块、第二时间数字转换模块、第三时间数字转换模块、第四时间数字转换模块和第五时间数字转换模块；

[0018] 所述放大电路及滤波成型电路，用于对接收到的起始阳极信号、停止阳极信号和符合阳极信号进行放大及滤波的预处理，并将预处理后的一路起始阳极信号和一路停止阳极信号输入第一时间数字转换模块，将预处理后的一路停止阳极信号和一路符合阳极信号输入第二时间数字转换模块，将两路起始阳极信号输入第三时间数字转换模块，将两路符合阳极信号输入第四时间数字转换模块，将两路停止阳极信号输入第五时间数字转换模块；

[0019] 所述第一时间数字转换模块，用于计算停止阳极信号和起始阳极信号对应时间的差值，得到待分析粒子在探测组件中的飞行时间信息；

[0020] 所述第二时间数字转换模块，用于计算停止阳极信号和符合阳极信号对应时间的差值，得到符合二次电子在探测组件中的飞行时间信息；

[0021] 所述第三时间数字转换模块，用于根据两路起始阳极信号对应时间，计算得到起始二次电子的位置信息X_0：

[0022] $$X_0=\frac{L_0}{2}-\frac{v_{eff0}\Delta t_0}{2}$$

[0023] 其中，L_0为X方向起始阳极延迟线总长度，Δt_0为两路起始阳极信号到达起始阳极延迟线两侧的时间差，v_{eff0}为在X方向等效传输速度：

[0024] $$v_{eff0}=f\frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}\frac{P_0}{P_0+2H_0}$$

[0025] 其中，f为修正系数，c为光速，P_0为起始阳极延迟线的周期，H_0为起始阳极延迟线阳极Y方向长度，ε_r为介电常数；

[0026] 所述第四时间数字转换模块，用于根据两路符合阳极信号对应时间，计算得到符合二次电子的位置信息X_1：

[0027] $$X_1=\frac{L_1}{2}-\frac{v_{eff}\Delta t_1}{2}$$

[0028] 其中，L_1为X方向符合阳极延迟线总长度，Δt_1为两路符合阳极信号到达符合阳极延迟线两侧的时间差，v_{eff1}为在X方向等效传输速度：

[0029] $$v_{eff1}=f\frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}\frac{P_1}{P_1+2H_1}$$

[0030] 其中，P_1为符合阳极延迟线的周期，H_1为符合阳极延迟线阳极Y方向长度；

[0031] 所述第五时间数字转换模块，用于根据两路停止阳极信号对应时间，计算得到停止二次电子的位置信息(X_2,Y_2)：

[0032] $$X_2=\frac{L}{2}-\frac{v_{effx}\Delta t_x}{2}$$

[0033] 其中，L为X方向停止阳极延迟线总长度，Δt_x为两路停止阳极信号到达停止阳极延迟线两侧的时间差，v_{effx}为在X方向等效传输速度：

[0034] $$v_{effx}=f\frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}\frac{P_2}{P_2+2H}$$

[0035] P_2为停止阳极延迟线的周期，H为停止阳极延迟线阳极Y方向长度；

[0036] $$Y_2=\frac{H}{2}-\frac{v_{effy}\Delta t_y}{2}$$

[0037] 其中，Δt_y为两路停止阳极信号到达停止阳极延迟线Y方向两侧的时间差，v_{effy}为在Y方向等效传输速度：

[0038] $$v_{effy}=f\frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}\frac{P_2}{P_2+2L}$$。

[0039] 与现有技术相比，本发明的优势在于：

[0040] 1、本发明的结构简单，空间利用率高，易于加工制作；

[0041] 2、本发明所选的阳极为延迟线阳极，采用PCB加工制作，大大简化了制作工艺；

[0042] 3、本发明采用不大于2ug/cm^{2}的超薄碳膜，大大减少了粒子散射，可将探测能量范围最小值扩到1KeV的H，同时提高了角分辨率；

[0043] 4、本发明装置添加了符合阳极，排除了其他粒子干扰，更加准确的鉴别中性原子。

附图说明

[0044] 图1是本发明用于中性原子分析的测量装置的组成图；

[0045] 图2是本发明的探测组件的剖面示意图。

具体实施方式

[0046] 本发明公开了一种用于中性原子分析的测量装置，装置包括：探测组件和信号处理模块；探测组件，用于接收宇宙粒子，对其中待分析的中性原子，产生二次电子，通过收集起始二次电子、停止二次电子和符合二次电子输出起始阳极信号、停止阳极信号和符合阳极信号；信号处理模块，用于对接收到的起始阳极信号、停止阳极信号和符合阳极信号进行预处理，然后进行计算，得到待分析粒子在探测组件中的飞行时间信息、起始二次电子的位置信息、停止二次电子的位置信息、符合二次电子的位置信息和在探测组件中的飞行时间信息。

[0047] 时间数字转换模块即TDC模块记录粒子在入口处碳膜和底部碳膜分别产生的二次

电子打在MCP上的时间差，该时间差即为粒子的飞行时间。

[0048] 为扩大能量探测范围，需要使用超薄的碳膜，因为较厚的碳膜会阻挡低能量的中性原子，但是超薄的碳膜对太空的背景源(如穿透粒子和远紫外线)无法限制，因此探测组件添加了符合阳极对背景源的干扰进行鉴别。为准确获得中性原子相关信息，探测组件需要能够测量起始二次电子和停止二次电子，因此探测组件结构要合理设计结构和内部电场配置，合理引导二次电子轨迹至指定的MCP和阳极区域。基于以上要求，设计了中心原子分析系统的探测组件结构如图2所示。

[0049] 下面结合附图对本发明的技术方案进行详细的说明。

[0050] 如图1所示，本发明提供了一种用于中性原子分析系统的测量装置。该装置包括探测组件和信号处理模块。

[0051] 1、探测组件

[0052] 如图2所示为探测组件结构剖面图。探测组件由上下平行的顶部MCP探测器和底部MCP探测器，以及左右平行的极板组成非封闭的立方体腔体，在腔体的左上及右上，对称设置倾斜且平行，并保持一定间隙的入口碳膜和入口栅网；在入口碳膜外设置有锯齿形偏转板；在顶部MCP探测器上方，依次设置位于同一水平线，并保持固定间隙的第一起始阳极、符合阳极和第二起始阳极；在底部MCP探测器以上依次平行设置保持固定间隙的底部碳膜和底部栅网，在底部MCP探测器以下平行设置停止阳极；在腔体的中部附近左右对称的设置中部栅网；其中，入口碳膜的电压小于入口栅网的电压，底部碳膜的电压值小于底部栅网的电压，中部栅网的电压小于底部栅网的电压，顶部MCP的电压大于入口碳膜、中部栅网、底部栅网、极板以及底部碳膜的电压。

[0053] 入口碳膜的电压要小于入口栅网的电压，对起始二次电子加速，中部栅网的电压小于入口栅网的电压以及顶部MCP的电压，使起始二次电子先减速在反向加速加速偏转至起始阳极区域。底部碳膜的电压值小于底部栅网的电压，对符合二次电子加速。中部栅网的电压小于底部栅网的电压，在极板电压的作用下使符合二次电子偏转至符合阳极区域。顶部MCP的电压大于顶部碳膜、中部栅网、底部栅网、极板以及底部碳膜的电压。

[0054] 探测组件采用超薄的碳膜，小于等于2ug/cm^2，从而扩大粒子探测能量范围以及提高角分辨率。

[0055] 入口碳膜外还有锯齿形偏转板，该偏转板加高压，用于接收宇宙粒子，排除其中带电粒子，只有中性原子能够沿直线通过出口，垂直入射在入口碳膜上，所以这个偏转板同时有准直的作用。

[0056] 入口碳膜产生的起始二次电子在入口栅网、中部栅网以及顶部MCP构成的电场下，被引导至起始阳极所对应的区域。入口碳膜与入口栅网共同对起始二次电子进行加速。顶部MCP探测器对起始二次电子进行倍增；并和入口栅网及中部栅网构成电场，使得起始二次电子先减速后反向加速偏转至第一起始阳极和第二起始阳极；第一起始阳极和第二起始阳极，接收倍增后的二次电子，产生两路起始阳极信号；底部碳膜接收待测中性原子，产生反向二次电子和正向二次电子；底部MCP探测器收集正向二次电子，产生两路停止阳极信号；符合阳极收集反向二次电子，产生两路符合阳极信号。第一起始阳极、符合阳极、第二起始阳极和停止阳极均为延迟线阳极，采用PCB加工制作，停止阳极为二维阳极。

[0057] 2、信号处理模块

[0058] 信号处理模块包括放大电路及滤波成型电路以及并联的第一时间数字转换模块、第二时间数字转换模块、第三时间数字转换模块、第四时间数字转换模块和第五时间数字转换模块。

[0059] 放大电路及滤波成型电路，对接收到的起始阳极信号、停止阳极信号和符合阳极信号进行放大及滤波的预处理，之后，

[0060] 一路起始阳极信号和一路停止阳极信号输入第一时间数字转换模块；计算停止阳极信号和起始阳极信号对应时间的差值，得到待分析粒子在探测组件中的飞行时间信息。

[0061] 一路停止阳极信号和一路符合阳极信号输入第二时间数字转换模块；计算停止阳极信号和符合阳极信号对应时间的差值，得到符合二次电子在探测组件中的飞行时间信息。

[0062] 两路起始阳极信号输入第三时间数字转换模块；根据两路起始阳极信号对应时间，计算得到起始二次电子的位置信息X_0：

[0063] $$X_0 = \frac{L_0}{2} - \frac{v_{eff0}\Delta t_0}{2}$$

[0064] 其中，L_0为X方向起始阳极延迟线总长度，Δt_0为两路起始阳极信号到达起始阳极延迟线两侧的时间差，v_{eff0}为在X方向等效传输速度：

[0065] $$v_{eff0} = f\frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}\frac{P_0}{P_0 + 2H_0}$$

[0066] 其中，f为修正系数，c为光速，P_0为起始阳极延迟线的周期，H_0为起始阳极延迟线阳极Y方向长度，ε_r为介电常数。

[0067] 两路符合阳极信号输入第四时间数字转换模块；根据两路符合阳极信号对应时间，计算得到符合二次电子的位置信息X_1：

[0068] $$X_1 = \frac{L_1}{2} - \frac{v_{eff}\Delta t_1}{2}$$

[0069] 其中，L_1为X方向符合阳极延迟线总长度，Δt_1为两路符合阳极信号到达符合阳极延迟线两侧的时间差，v_{eff1}为在X方向等效传输速度：

[0070] $$v_{eff1} = f\frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}\frac{P_1}{P_1 + 2H_1}$$

[0071] 其中，P_1为符合阳极延迟线的周期，H_1为符合阳极延迟线阳极Y方向长度。

[0072] 两路停止阳极信号输入第五时间数字转换模块；根据两路停止阳极信号对应时间，计算得到停止二次电子的位置信息(X_2, Y_2)：

[0073] $$X_2 = \frac{L}{2} - \frac{v_{effx}\Delta t_x}{2}$$

[0074] 其中，L为X方向停止阳极延迟线总长度，Δt_x为两路停止阳极信号到达停止阳极延迟线两侧的时间差，v_{effx}为在X方向等效传输速度：

[0075] $$v_{effx} = f\frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}\frac{P_2}{P_2 + 2H}$$

[0076] P_2为停止阳极延迟线的周期，H为停止阳极延迟线阳极Y方向长度；

[0077] $$Y_2 = \frac{H}{2} - \frac{v_{effy}\Delta t_y}{2}$$

[0078] 其中，Δt_y为两路停止阳极信号到达停止阳极延迟线Y方向两侧的时间差，v_{effy}为在Y方向等效传输速度：

[0079] $$v_{effy} = f\frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}}\frac{P_2}{P_2 + 2L}$$。

[0080] 最后所应说明的是，以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制。尽管参照实施例对本发明进行了详细说明，本领域的普通技术人员应当理解，对本发明的技术方案进行修改或者等同替换，都不脱离本发明技术方案的精神和范围，其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

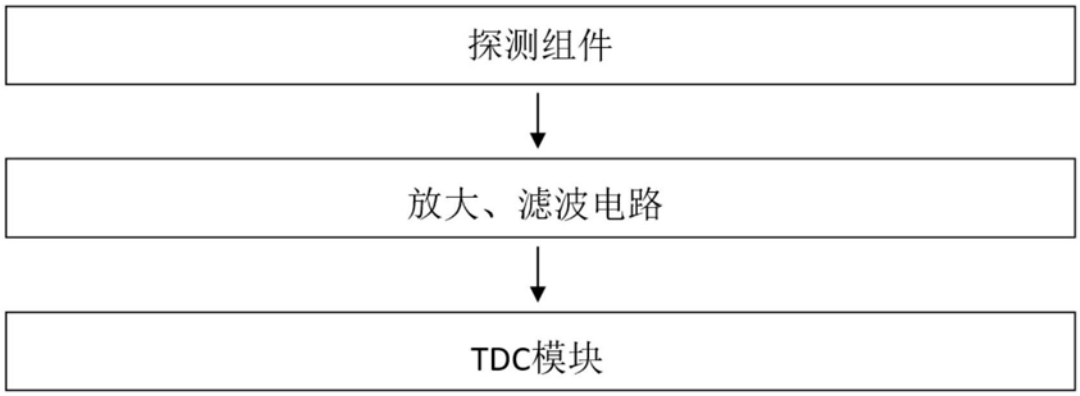

探测组件
放大、滤波电路
TDC模块

图1

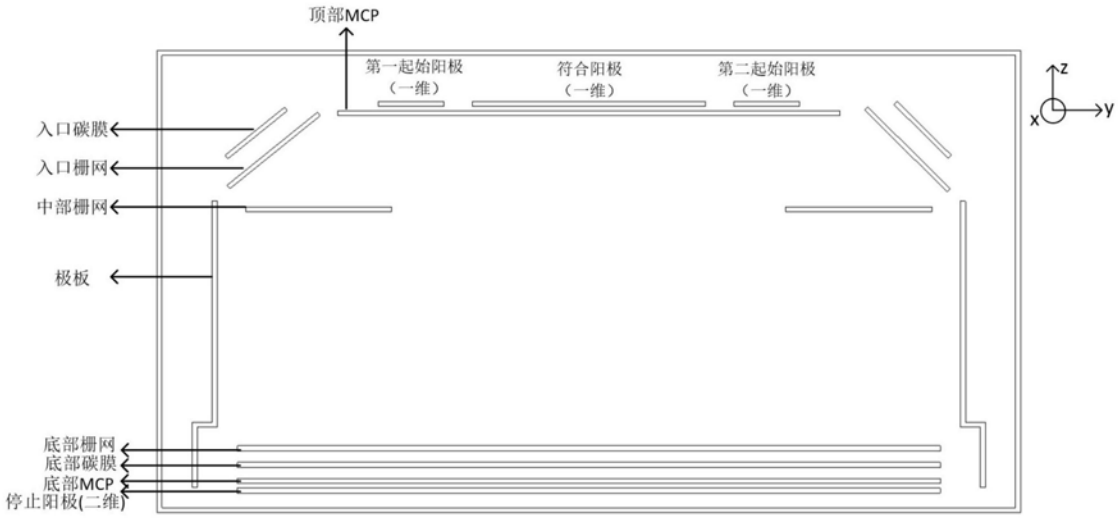

顶部MCP
第一起始阳极
（一维）
符合阳极
（一维）
第二起始阳极
（一维）
z
x
y
入口碳膜
入口栅网
中部栅网
极板
底部栅网
底部碳膜
底部MCP
停止阳极(二维)

图2