

基于微通道板的二维位置灵敏探测器的研制*

贾昌春 · 陈向军 · 田善喜 · 欧阳攻 · 黄建福 · 徐克尊

摘要 · 介绍了基于微通道板的二维位置灵敏探测器的基本原理及其关键部分电阻阳极面板和数据读出系统的设计。通过测试,获得令人满意的线性和位置分辨。

关键词 · 微通道板,电阻阳极面板

Development of a two-dimensional position-sensitive detector based on MCP

JIA Changchun · CHEN Xiangjun · TIAN Shanxi · OUYANG Gong · HUANG
Jianfu · XU Kezun

(University of Science and Technology of China, Hefei 230026)

Abstract · The fundamental principle of a two-dimensional position-sensitive detector based on microchannel plate is presented. The resistive anode plate and data read-out system of the detector were designed. Satisfactory anode linearity and position resolution were obtained.

Key words · Micro-channel plate (MCP), Resistive anode plate

· · 基于微通道板(MCP)的二维位置灵敏探测器能够获得电子、光子的二维位置信息,具有广阔的应用前景。据我们所知,此项研究国内未见报道。一个电子入射到微通道板上,在通道壁上打出二次电子,此二次电子经过电场加速,再经过倍增,产生的电子束团被安装在微通道板组出口电阻阳极面板接收。被接收的电荷根据打在电阻阳极面板位置的不同分配到面板的四个端点,从四个端点引出的电荷被数据获取系统读出,通过一定的运算可得到入射电子的二维位置信息。由于我们正在研制的高分辨($e, 2e$)电子动量谱仪需要探测电子的二维信息,故在原有一维位置灵敏探测器的基础上^[1]开展了二维位置灵敏探测器的研究,并取得了较好的实验结果。

1 · 基本原理

· · MCP具有空间分辨,但不能直接给出位置信息,必须配以位置读出系统。我们选用了二维电阻阳极面板,其基本原理^[2]如下:设电阻阳极面板的宽度为 d ,单位面积的电阻和电容分别是 ρ 和 $C(x,y)$ 点电位是 v ,电流面密度为 j ,根据欧姆定律和电荷守恒定律,有

$$\rho j + \nabla v = 0 \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \vec{j} + C \dot{v} = J \quad (2)$$

式中, J 是入射阳极面板的电流源。由(1)、(2)式得到

$$\nabla^2 v - \rho C \dot{v} = -\rho J \quad (3)$$

入射电流源用 δ 函数进行近似表达

$$J(x, y, t) = Q \delta(t) \delta(x - x_0) \cdots (4)$$

式中, Q 为入射的总电荷量, (x_0, y_0) 为入射位置,在一定的边界条件和初始条件下,可得入射电流源的 (x, y) 位置^[2]

$$x = d(Q_1 + Q_4) / (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4) \cdots (5)$$

$$y = d(Q_1 + Q_2) / (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4) \cdots (6)$$

式中, $Q_i (i=1, 2, 3, 4)$ 表示电阻阳极面板四端点的积分电荷量(见图1)。

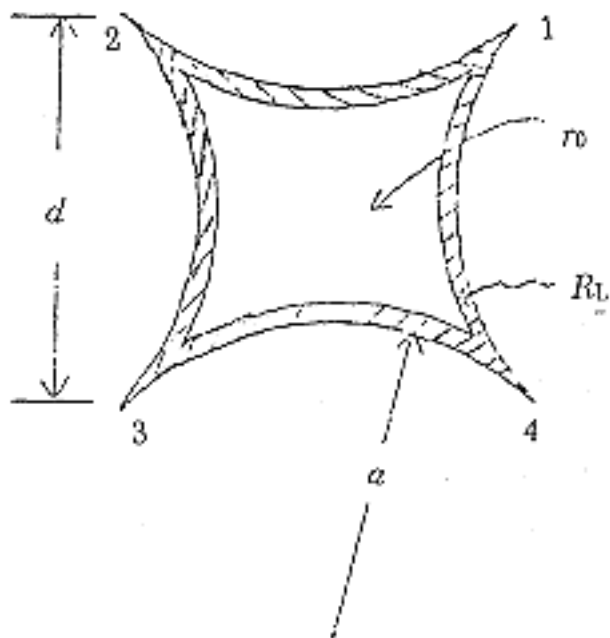


图1 · 电阻阳极面板示意图

Fig.1 · Diagram of a resistive anode plate

2 · 电阻阳极面板的设计

· · 在二维位置灵敏探测器中,电阻阳极面板的制作是关键。与一维相比,二维最大的问题是桶形畸变,为了获得非畸变的二维电子位置图像,根据Gear的物理思想^[3],电阻阳极面板由中心面板和外围电阻条组成(见图1),设中心面电阻为 r_0 ,边线弧的线电阻为 R_L ,边线弧的曲率半径为 a ,当满足 $a=r_0/R_L$ 关系时,就能得到较理想的图像。

· · 在我们的设计中,还兼顾考虑:(1)电阻阳极面板获得较大的有效面积;(2)降低电阻阳极面板的热噪声^[4]。根据这两方面的要求,我们设计的电阻阳极面板有效面积为 $45\text{mm} \times 45\text{mm}$,并且

$$a/d \geq (1/2)^{1/2} \cdot \cdot (7)$$

设边界电阻条面电阻为 r_B ,中心面电阻为 r_0 ,我们设计电阻阳极面板的基底选用氧化铝陶瓷,四个顶点为电荷引出点,用类似厚膜阻抗电路的制作方法。制作的关键是电阻阳极面板边界条和中心板面电阻的比率 r_B/r_0 的精确获得。

3 · 实验方法

· · 二维位置灵敏探测器的整个测试原理见图2。

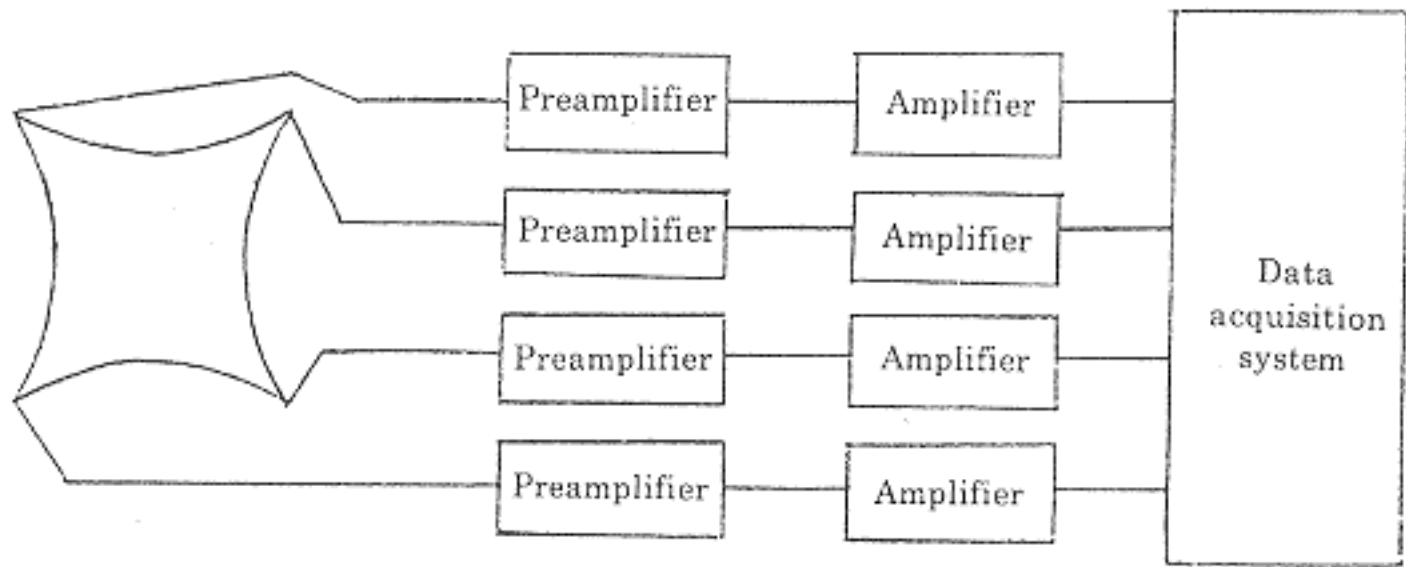


图2 · 测试装置原理图
Fig.2 · Block diagram of the measuring device

· · 用 ^{63}Ni 面源产生的电子照在准直器上,准直器为 $\phi=0.5\text{mm}$ 、孔距 $L=4\text{mm}$ 的孔阵列。经过准直器的电子打在微通道板上,经过两级倍增,产生的电子束团被电阻阳极面所接收,从四个端点引出的电荷经过四路电荷前放和主放,产生的四路信号被数据采集系统所获取。我们采用四路符合测量的方法,得到了入射电子真实的位置信息。

4 · 结果和分析

· · 通过实验,我们获得了准直器孔阵列的位置信息,通过GT软件画成二维等高图(见图3),从图3可以看出我们设计的二维位置灵敏探测器具有令人满意的线性。经过一定时间的测量,得到孔阵列位置和计数的三维立体图(见图4),可见本探测器具有较好的位置分辨。

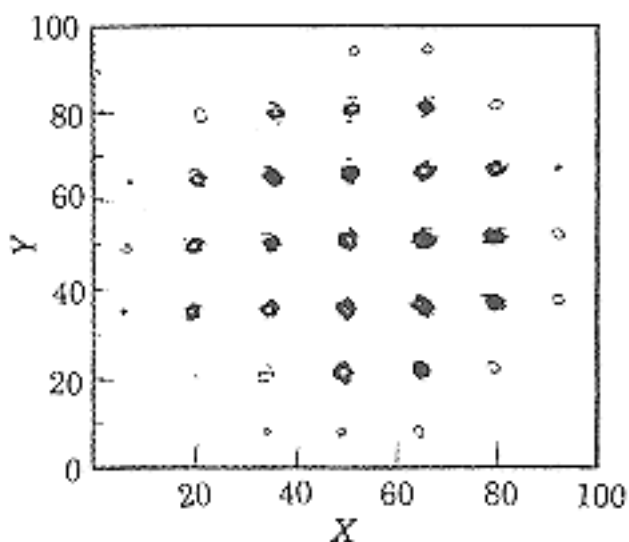


图3 · 准直器孔阵列二维等高图

Fig.3 · A count contour of array at collimating holes

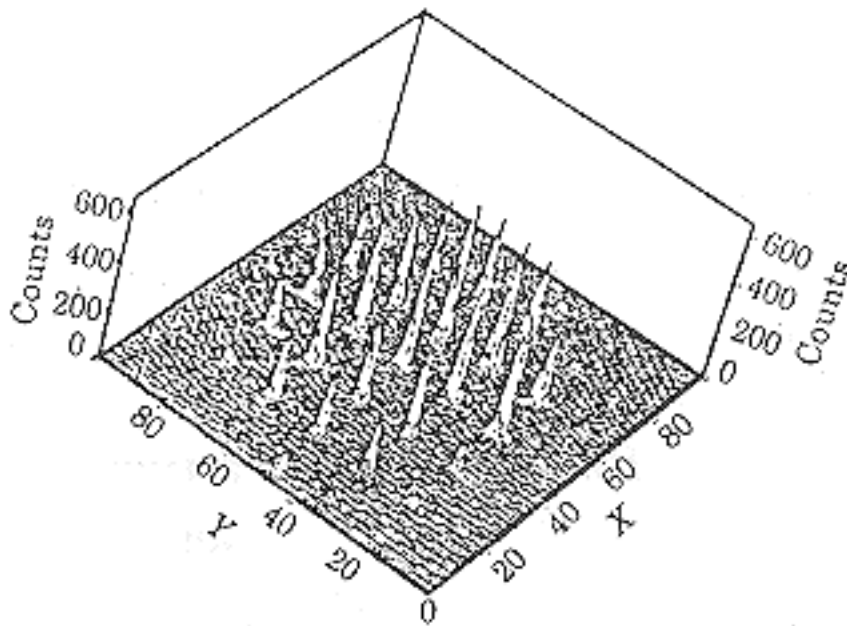


图4 · 孔阵列位置与计数立体图

Fig.4 · A three-dimensional diagram indicating the positions of holes

· · 在孔阵列位置与计数的三维立体图上可截取X、Y方向的二维图（见图5、图6）。根据曲线拟合可得到X、Y方向的位置与峰位的拟合曲线在（图7、图8）。分析其线性和位置分辨,在所测试的有效面积上,初步结果是探测系统积分非线性为0.86%,位置分辨为 (0.08 ± 0.06) mm。目前,由于测试手段的限制和仪器系统误差较大,我们只能给出较为粗略的初步结果。估计实际的积分非线性和位置分辨会更好。

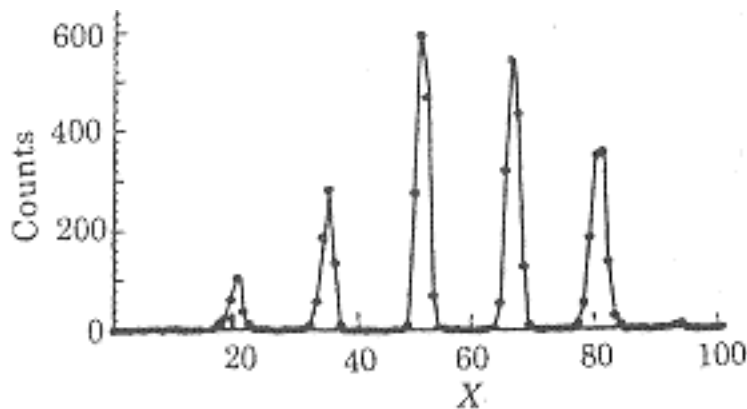


图5 · X方向小孔与计数的关系曲线

Fig.5 · Relation between holes and their counts along X direction

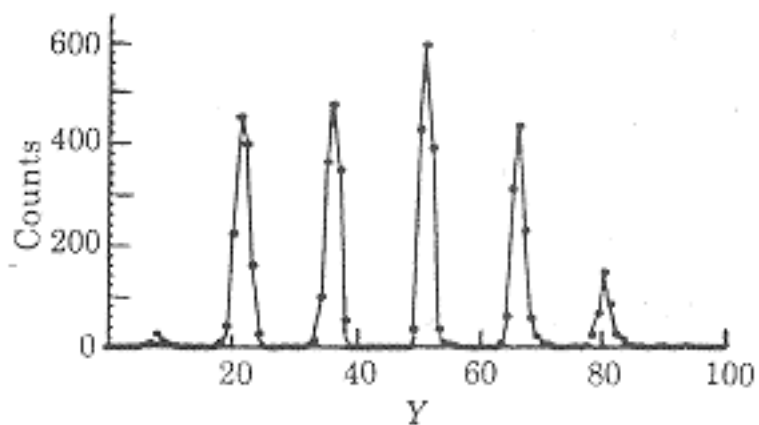


图6 · Y方向小孔与计数的关系曲线

Fig.6 · Relation between holes and their counts along Y direction

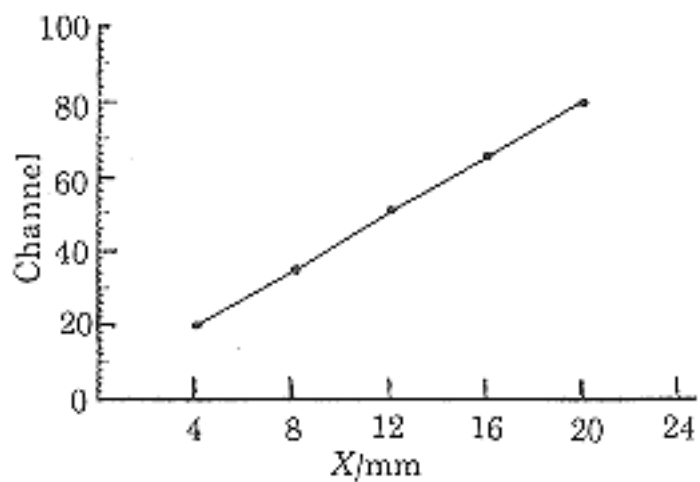


图7 · X方向位置与峰位的关系曲线

Fig.7 · Relation between positions and peaks along X · direction

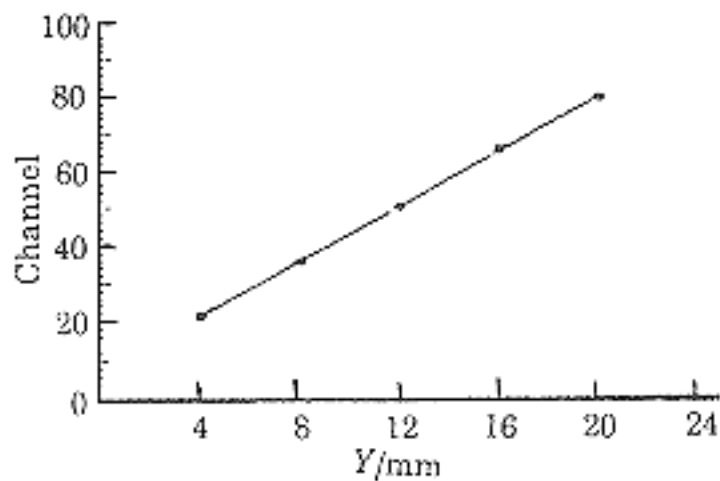


图8 · Y方向位置与峰位的关系曲线

Fig.8 · Relation between positions and peaks along Y direction

* 国家自然科学基金重点项目和国家教委科学技术基金

作者单位：中国科学技术大学 · 合肥 · 230026

参考文献

- 1 徐克尊,陈向军,庞文宇,等. 核技术,1994,17(9):517-520
- 2 Lampton M, Carlson C W. Rev Sci Instr, 1979,50:1093-1097
- 3 Gear C W. Proc skytop Conf Comput Syst Exper Nucl Phys, 1969, USAEC conf-670301, 552
- 4 Lampton M, Carlson C W. Rev Sci Instr, 1974,45:1098-1105

收稿日期：1997-12-19