

文章编号: 1007-4627(2010)02-0174-04

64 通道一维位置灵敏电流分布探测器及其数据获取系统*

王伟^{1,2}, 于得洋^{1, #}, 余乾顺^{1,3}, 徐治国¹, 陈婧^{1,2}, 苏弘¹, 蔡晓红^{1, #}

(1 中国科学院近代物理研究所 甘肃 兰州 730000;

2 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3 西北师范大学物理与电子工程学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 针对高流强粒子束与绝缘毛细管相互作用的特点, 设计制作了一套 64 通道一维位置灵敏电流分布探测器及其配套的数据获取系统, 该探测器可分辨最小直径为 1 mm 的束斑, 通过数据获取系统可实现可视化自动数据采集。用 2 nA 和 200—2000 eV 电子对探测器进行了定标, 并用 10 μ A 和 2000 eV 的电子束穿越锥形毛细管后的出射电子, 对探测器及数据获取系统进行测试, 获得了出射粒子的位置分布谱及能量信息。

关键词: 位置灵敏探测器; 电流分布; 数据获取系统; 位置谱

中图分类号: O572.21 **文献标识码:** A

1 引言

绝缘毛细管对带电粒子的导向作用已成为近年来的一个研究热点^[1-3], 目前该研究已拓展到应用领域, 特别是促进了纳米蚀刻^[4]、固体结构分析^[5]及生物医学^[6]等领域的发展。

然而, 由于普遍采用单粒子探测器 MCP, 目前该项研究中使用的束流强度都较弱, 一般在 pA 量级^[7,8], 以 nA 甚至 μ A 量级电流入射的工作尚未见报道。为了更加全面地了解绝缘毛细管与带电粒子的相互作用机制, 研究高入射流强下的导向效应势在必行。有鉴于此, 设计了一套在高流强下适用的 64 通道一维位置灵敏电流分布探测器及其配套的数据获取系统, 应用该套设备, 测量高流强电子束通过锥形绝缘毛细管后的位置分布谱及能量。

2 探测器结构与数据获取系统

2.1 探测器结构

探测器如图 1 所示, 其主体由一块周期性条状覆铜底板和双层铜外壳构成。图 2 给出了覆铜底板的正反两面。

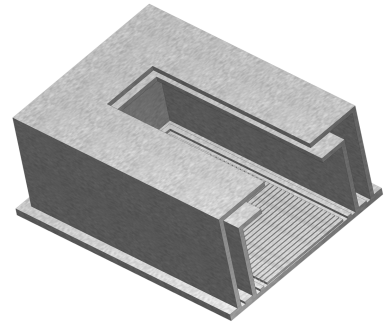


图 1 64 通道一维分布灵敏探测器剖面图

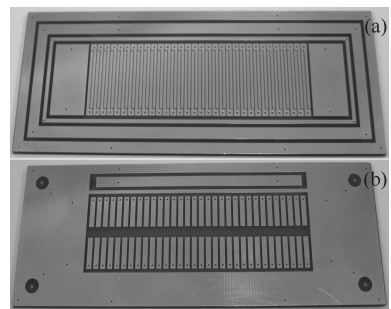


图 2 周期性条状覆铜底板

(a) 正面, (b) 反面。

该探测器底板尺寸 105 mm \times 40 mm, 正面分为 5 个部分, 由外圆至内圆依次为: 接地外壳焊盘、

收稿日期: 2009-05-06; 修改日期: 2009-08-17

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10775160)

作者简介: 王伟(1982-), 男(汉族), 湖北宜昌人, 硕士研究生, 从事原子物理研究; E-mail: wangwei@impcas.ac.cn

通讯联系人: 于得洋, E-mail: d.yu@impcas.ac.cn; 蔡晓红, E-mail: caixh@impcas.ac.cn

抑制电压焊盘、高压隔离圈(接地)、边缘电子收集区(接地)和位置灵敏区,其位置分辨是在正面的 64 根面积为 $17.8 \text{ mm} \times 0.8 \text{ mm}$ 的金手指上实现的,每根金手指间距 0.2 mm ,探测器可分辨的最小束斑直径为 1 mm 。覆铜底板反面由接地区、位置信号接线区及抑制电压接线区构成,位置信号接线区输出的信号将作为后续电子学的输入。抑制电压接线区则外接高压电源。底板正反两面对应区域由金属化孔连接。

探测器的两层铜外壳分别与底板的接地焊盘和抑制电压焊盘连接。接地外壳的作用是保证法拉第筒外部电场的均匀性,抑制电压的作用则主要是减少二次电子发射带来的实验误差。

2.2 数据获取系统

2.2.1 电流电压转换放大器

该探测器每一通道上接收的穿越毛细管后的粒子束流强约在 pA-nA 量级,为了便于计算机对这些电流信号进行采集,需要对信号进行转换放大。参考现有的 pA 级微电流测量技术^[9],我们设计了一个如图 3 的 T 型电阻网络反馈放大器,其作用是将输入电流转换放大为电压信号,以供后续电子学系统读取。

由于探测器的 64 个通道完全相同且独立,我们仅针对其中一个通道进行分析。如图 3 所示,该通道的电路由 AD8618 集成运算放大器和 R_1, R_2 和 R_3 组成的 T 型电阻网络构成。

电路的输入输出关系为

$$V_{\text{out}} = -I_{\text{in}} \times R_1 \left(1 + \frac{R_2}{R_3} \right)。$$

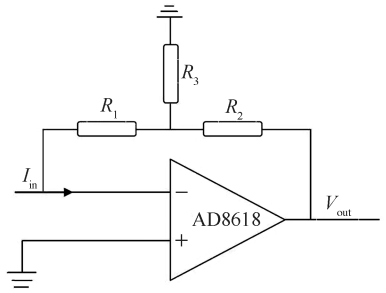


图 3 T 型网络反馈电流电压转换电路

在设计时,为了节约成本,电路中采用了双 T 型电阻网络,即由 6 只不同电阻构成两个网络,通过在不同电阻网络之间跳线选档,以扩大输入范围。目前使用的两种电阻网络可以在 $10 \text{ pA} - 1 \text{ nA}$, $1 - 100 \text{ nA}$ 之间切换,两个档位最大接受电流分别为 1.5 和 150 nA 。

输入在 $10 \text{ pA} - 1 \text{ nA}$ 时, $R_1 = 10 \text{ M}\Omega$, $R_2 = 20 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 100 \Omega$ 。放大倍数为 2×10^9 ,理论电压(单位:V)输出为

$$V_{\text{out}} = -I_{\text{in}} \times 2 \times 10^9。$$

输入在 $1 - 100 \text{ nA}$ 时, $R_1 = 10 \text{ M}\Omega$, $R_2 = 100 \Omega$, $R_3 = 100 \Omega$,放大倍数为 2×10^7 ,理论电压输出为

$$V_{\text{out}} = -I_{\text{in}} \times 2 \times 10^7。$$

2.2.2 基于 LabVIEW 的数据采集程序

探测器输出的信号经过电流电压转换放大器后

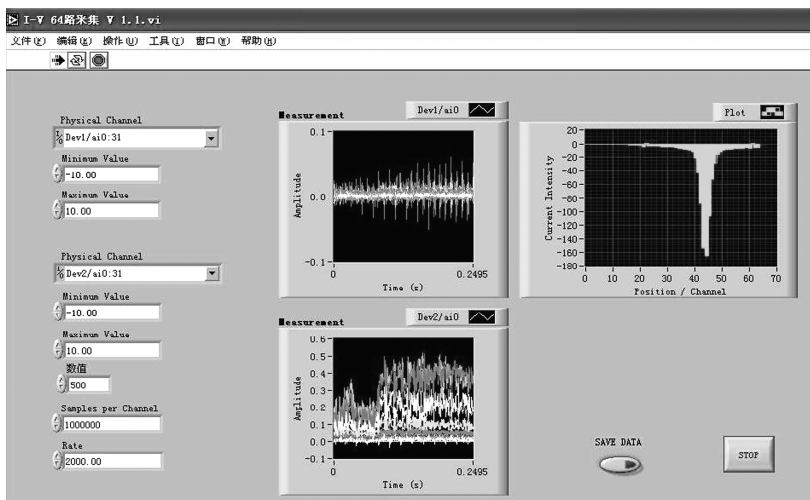


图 4 数据获取程序界面

需要被高速、实时、多通道地采集，为此采用两张美国国家仪器公司(National Instruments, NI)生产的 M 系列 PCI-6224 多功能数据采集卡，利用普通计算机的 PCI 总线系统(32bit/33MHz)，搭建了低成本的数据采集硬件平台，并设计了基于 LabVIEW 的数据采集软件，软件运行界面见图 4。

该软件中，按照数据采集卡的顺序分别设置了 Physical Channel, Maximum Value, Minimum Value 选板，以及采样率，单通道采样数和单次采样时间控制器。

该软件前面板上设置了 3 个示波器及 Save Data 键，其中两个 Measurement 示波器用于单独显示探测器每一通道电压值，Plot 示波器用于整体显示按照输入输出关系反变换后的各通道电流值。

Save Data 键用于生成一个包含系统时间及各通道电流值的 txt 文件，文件格式设置成 65 列，分别对应采样时的系统时间及探测器的 64 个通道，而该 txt 文件的每一行则对应一次采样，程序运行时默认的单次采样时间为 0.25 s。

3 测试方法与结果

探测器及数据获取系统首次使用时需要对其定标，因此在不加毛细管的情况下，分别用 2 nA 和 200—2000 eV 电子束对整套装置进行了测试^[10]，获得了电子的位置分布谱。本文仅选取一例，即 2 nA 和 400 eV 电子束在不同偏转电压下的位置分布情况(见图 5)。

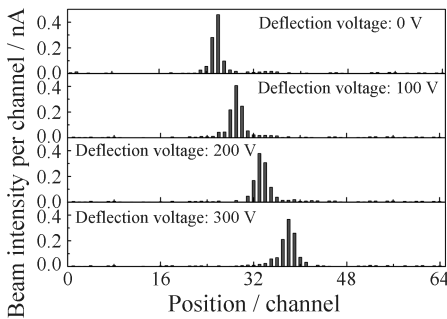


图 5 用 2 nA 和 400 eV 的电子束对探测器的测试情况

在置于探测器前的偏转板上加偏转电压，电子束可在探测器上移动，相同偏转电压下，不同能量的入射电子位于探测器的不同位置。由于边缘场效应，我们不能得到偏转电压与入射能量的定量关系^[10]，但在不加毛细管的情况下，在较宽的入射能

量范围(200—2000eV)内测量了不同偏转电压下的电子位置分布。这些测量结果可以作为对能量的一个刻度。

进行毛细管实验时，只要保证毛细管出口位于探测器定标时最后一级光阑处(如图 6 所示)，在相同的几何关系下，则可以将穿越毛细管后在不同偏转电压下的电子束位置谱与定标时的位置谱进行比较，从而得到穿越毛细管后电子的能量信息。

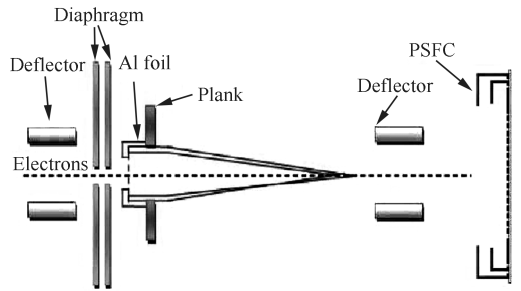


图 6 电子束穿越毛细管示意图

为检验能量测量的可行性，让 10 μ A 和 2 keV 电子束穿越长 80 mm、入口直径 2.2 mm、出口直径 50 μ m 的玻璃毛细管，从而获得了相应的位置谱(如图 7 所示)。

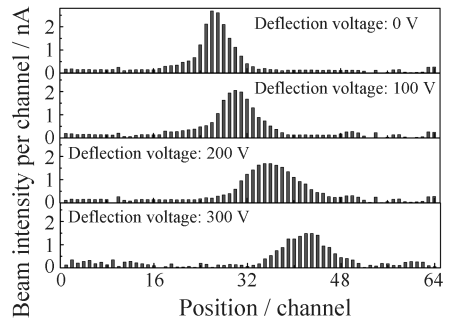


图 7 10 μ A 和 2000 eV 电子束穿过毛细管后在不同偏转电压下的分布谱

对比图 5 可以发现，2000 eV 电子束穿越毛细管后，在相同的偏转电压和几何关系下有着和未经过毛细管时 400 eV 电子相似的位置分布。这说明电子束在穿越毛细管时经历了较强的能量损失，出射能量在 400 eV 左右，且穿越毛细管后，电子束位置谱的 FWHM 明显变宽，从而表明电子束的发散度较未穿越毛细管时的发散度大，这是由于电子在毛细管内多次小角度散射形成的^[11]。

通过测试，获得了高入射流强下电子束经过毛细管后的位置谱及能量信息。测试表明，该探测器

及数据获取系统可较好地工作在强流条件下, 可用于测量带电粒子穿越毛细管后的位置分布及能量。

4 结论

针对高流强粒子与绝缘毛细管相互作用的特点, 设计建立了一套 64 通道一维位置灵敏电流分布探测器及其配套的数据获取系统。分别用 2 nA 和 200—2000 eV 电子束对探测器进行了定标, 用 10 μ A 和 2 keV 电子束穿越锥形毛细管后的出射电子, 对探测器及数据获取系统进行测试, 获得了出射粒子的位置谱及能量信息。测试结果证实本探测器及数据获取系统设计方案可行, 适用于高流强粒子与毛细管相互作用中穿越粒子位置分布谱及能量的测量。

参考文献 (References):

- [1] Yamazaki Y. Nucl Instr and Meth, 2007, **B258**: 139.
- [2] Stolterfoht N, Bremer J, Hoffmann V, *et al.* Phys Rev Lett, 2002, **88**: 133201.
- [3] Qi Dejun, Yu Deyang, Wang Wei, *et al.* Nuclear Physics Review, 2008, **25**(4): 375 (in Chinese).
- [4] Stolterfoht N, Bremer J H, Hoffmann V, *et al.* Physica Scripta, 2001, **T92**: 227.
- [5] Nebiki T, Kabir M, Narusawa T. Nucl Instr and Meth, 2007, **B249**: 226.
- [6] Iwai Y, Ikeda T, Kojima T, *et al.* Appl Phys Lett, 2008, **92**: 023509.
- [7] Stolterfoht N, Hellhammer R, Bundesmann J, *et al.* Phys Rev, 2007, **A76**: 022712.
- [8] Ikeda T, Kanai Y, Kojima T, *et al.* Appl Phys Lett, 2006, **89**: 163502.
- [9] Wang Lixin, Fu Chonggang. Instrumentation Technology, 1999, **4**: 34 (in Chinese).
(王立新, 傅崇岗. 仪表技术, 1999, **4**: 34.)
- [10] Wang Wei. The Guiding Effect Study of High-current and Low-energy Electrons through Insulating Capillary (Master's Degree Thesis). Lanzhou: Institute of Modern Physics, Chinese Academy of sciences, 2009, 23—31 (in Chinese).
(王伟. 低能高流强电子束在绝缘管中的导向效应研究(硕士学位论文). 兰州: 中国科学院近代物理研究所, 2009, 23—31.)
- [11] Schiessl K, Tokesi K, Solleder B, *et al.* Phys Rev Lett, 2009, **102**: 163201.

A 64-Channel Position Sensitive Current Distribution Detector with Data Acquisition System^{*}

WANG Wei^{1, 2}, YU De-yang^{1, #}, SHE Qian-sun^{1, 3}, XU Zhi-guo¹,
CHEN Jing^{1, 2}, SU Hong¹, CAI Xiao-hong^{1, #}

(1 *Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;*

2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;*

3 *Department of Physics, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)*

Abstract: A 64-channel position sensitive current distribution detector with 1 mm position resolution was developed, while the data acquisition system is based on the LabVIEW software. The test result obtained by using a 2 nA, 200—2000 eV electron beam deflecting by different voltages and the position spectra of 10 μ A, 2000 eV electrons transmitted through a glass capillary was measured. The result indicated that the detector can be used to detect the charged particles with strong beam current through the capillary.

Key words: position sensitive detector; current distribution; data acquisition system; position spectrum

* Received date: 6 May 2009; Revised date: 17 Aug. 2009

* Foundation item: National Natural Science Foundation of China(10775160)

Corresponding author: Yu De-yang, E-mail: d.yu@impcas.ac.cn; Cai Xiao-hong, E-mail: caixh@impcas.ac.cn