

文章编号 1004-924X(2013)09-2439-06

# 微通道板式 WSZ 位敏阳极探测器的 图像拖尾处理

王晓东<sup>1\*</sup>, 朱小明<sup>1,2</sup>, 吕宝林<sup>1</sup>, 鲍海明<sup>1</sup>, 刘文光<sup>1</sup>, 李哲<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院大学, 北京 100039)

**摘要:**分析了极紫外成像仪图像拖尾的原因,提出了消除该现象的方法。分析了坐标计算公式中各个分量变化对图像的影响,结果显示:信号叠加和微通道板(MCP)反馈是系统对坐标分量影响最大的两种因素。通过对图像数据的分析,排除了信号叠加的两种情况即峰堆积和尾堆积产生拖尾的可能性。对拖尾最严重处电荷变化量的计算表明,MCP反馈是产生拖尾的主要原因,而MCP所加高压的幅度是产生反馈的重要因素之一。最后,用在2950V和2800V高压下采集的图像验证了拖尾是由MCP反馈引发的,并通过实验给出了解决方案:通过烘烤减少MCP通道内的气体残留并定期对MCP进行电子束清刷来降低反馈发生的几率,减小拖尾的影响。

**关键词:**极紫外成像仪;图像拖尾;信号叠加;微通道板反馈

**中图分类号:**TN23;TP391.4 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20132109.2439

## Image tailing processing of WSZ position sensitive anode detector based on MCP

WANG Xiao-dong<sup>1\*</sup>, ZHU Xiao-ming<sup>1,2</sup>, LÜ Bao-lin<sup>1</sup>, BAO Hai-ming<sup>1</sup>, LIU Wen-guang<sup>1</sup>, LI Zhe<sup>1</sup>

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,*  
*Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*

2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)*

*\* Corresponding author, E-mail: wangxd@ciomp.ac.cn*

**Abstract:** The image tailing generated by an Extreme Ultraviolet imager was analyzed and how to remove the image tailing phenomena was proposed. The effects of each component change of coordinate calculation formula on the image were analyzed, and it shows that the superposed signal and Micro Channel Plates (MCP) feedback are the most influential factors of coordinate components in the system. After image data analysis, both cases of superposition of signal, peak accumulation and tail accumulation, were excluded. The calculation on change of quantity of charge at the most serious tailing place shows that the MCP feedback may be the reason of image tailing. However, the amplitude of high voltage applying on the MCP is one of the important factors affecting feedback occurs. The images sampled at 2950V and 2800V were validated and it indicates that the tailing is sparked by the

收稿日期:2013-01-16;修订日期:2013-03-07.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 61077016)

MCP feedback. Moreover, solutions were given, that are to reduce rudimental gas in the MCP by baking and to clean the MCP by electron beams regularly.

**Key words:** EUV imager; image tailing; superposed signal; Micro Channel Plate(MCP) feedback

## 1 引言

极紫外光子计数成像仪旨在对地球等离子层进行立体成像,它可以使人们更清楚地了解等离子层的构造和在磁扰期间的变化。该成像仪主要由反射式光学收集系统、光电阴极、电荷放大器(Micro Channel Plates, MCP)、电子收集阳极(Wedge Stripe Zigzag, WSZ)、模拟放大成型电路和数字化接收存储系统等组成<sup>[1-2]</sup>。

在对紧贴 MCP 放置的 USAF1951 分辨率板的地面成像实验中,出现了拖尾现象(在下文中有详述),一方面这会使图像的分辨率下降;另一方面由于图像反演使用动态全球核心等离子层模型(DGCPM)来观察等离子层的很多精细结构:Fin-ger、Channel 和 Norch 等<sup>[3]</sup>,但拖尾的存在会影响其后的科学分析。本文通过对相关数据的分析,找到了拖尾现象产生的原因,并给出了解决方案。

## 2 坐标计算公式和图像中的拖尾

### 2.1 坐标计算公式

WSZ 阳极如图 1 所示,入射光子经 MCP 放大后,形成电子云被 WSZ 阳极收集, $Q_s, Q_w, Q_z$ 为每个电极上收集的电荷量。通过质心解码算法可以得到入射光子的位置,归一化的坐标计算公式为<sup>[4]</sup>:

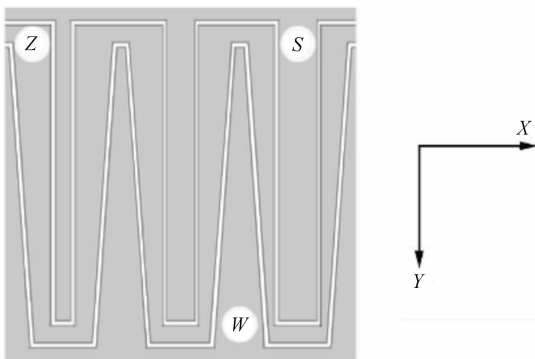


图 1 WSZ 阳极结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of WSZ anode

$$\begin{cases} x = \frac{2Q_s}{Q_s + Q_w + Q_z} \\ y = \frac{2Q_w}{Q_s + Q_w + Q_z} \end{cases} \quad (1)$$

经过计算,可以得到电极上电荷量的变化对解码位置的影响,结果如表 1 所示。

表中所述的坐标增大与减小,是以图 1 中的坐标系为参考系。表中只给出了单个电极电量对坐标的影响,当 2 个或 3 个电极电量都发生变化时,向量叠加。

表 1 电极电荷量与坐标的关系

Tab. 1 Relationship between electrode charge quantity and coordination

编号	项目	
	电荷量变化	坐标变化
1	增大 $Q_s$	$x$ 增大, $y$ 减小
2	增大 $Q_w$	$x$ 减小, $y$ 增大
3	增大 $Q_z$	$x, y$ 均减小

### 2.2 图像中的拖尾现象

室温下,系统参数为 2 个 MCP 成‘V’字形排列,加 2 850 V 高压,增益为  $2 \times 10^7 \sim 3 \times 10^7$ ,紫外光通过氙灯产生,并用光阑调节光强,真空度为  $2.5 \times 10^{-4}$  Pa,试验使用 USAF1951 分辨率板成像,其阈值为 0.5 V,计数率为 10 k,采样 3 min,由式(1)计算坐标点,并绘图,结果如图 2 所示(图中用数字标出了 5 个点)。

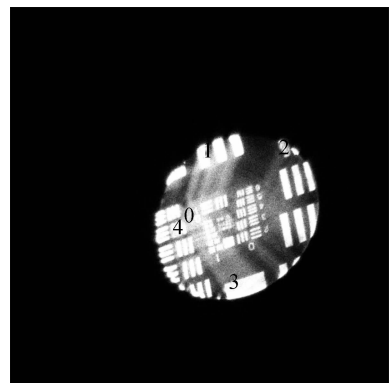


图 2 原始图像中的拖尾

Fig. 2 Tailing of original image

图 2 中 0、1 之间的条纹(还有其它类似条纹)即本文中所述的拖尾。分析式(1),可以知道此拖尾产生的两种可能性:一是正常的两个(或多个)数据点因叠加而显示在错误的位置;二是不正常的的数据点被接收并显示。情况一是由于 WSZ 阳极后电路速率有限,从而导致两个或多个时间间隔较短的光子信号被同时采样,而脉冲幅度仍然处于正常范围内,这时数据被记录下来,这样解码的坐标点位于多个电子云的加权平均位置;情况二是 MCP 中由于离子反馈或者是其它原因导致出现总幅度小于阈值的信号,这些小信号与正常信号叠加,导致坐标位置变化,从而产生了拖尾。下面将分别分析这两种情况。

### 3 拖尾产生原因分析

#### 3.1 多个信号叠加

信号叠加有两种情况:峰堆积和尾堆积。在电荷收集电路中一般采用 RC 积分电路将电荷转换为电压,其时间常数很大,这意味着信号会有一个很长的尾部,一般将信号幅度的 1% 定义为零点,即定义零。2 个都大于定义零处的信号叠加称为峰堆积,而至少一个信号幅度小于定义零时的叠加称为尾堆积,2 个信号幅度都小于定义零时的情况又被称为基线涨落<sup>[5]</sup>。W、S、Z 三路信号使用同一个 AD 变换器进行量化,量化范围为 0~4 V,对应的数字编码为 0~4 095,因此三路信号和(总幅度)的编码范围为 0~12 285,阈值(三路和)0.5 V 对应的码值为 512。

##### 3.1.1 峰堆积

将原始数据按幅度分段显示,如果有堆积,可以找到堆积发生的区间。首先统计数据的幅度分布,如表 2 所示。

表 2 信号幅度的分布

Tab. 2 Distribution table of signal amplitude

分段区间	项目	
	触发次数	所占百分比(%)
500~1 500	725 536	20.74
1 500~2 500	1 301 154	37.12
2 500~3 500	826 472	23.62
3 500~4 500	393 870	11.2
4 500~5 500	169 616	4.84
5 500~6 500	64 335	1.82
大于 6 500	23 156	0.66
总数	3 504 139	100

综合考虑信号的幅度分布和峰堆积的影响,将原始数据划分为 3 个区间:(a)500~1 500,(b)1 500~3 500,(c)大于 3 500,每个幅度区间的图像如图 3 所示。

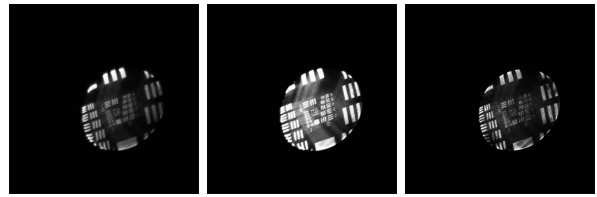


图 3 各分段区间内的图像

Fig. 3 Images in each section interval

结合表 2 和图 3,可知区间(a),区间(c)所占的触发数各为 20%左右,区间(b)所占的触发数约为 60%。3 个区间内信号和拖尾的亮度情况也与这一比例相似,因此,区间(c)内的拖尾不是区间(b)内数据的峰堆积产生的,区间(b)内的拖尾不是其本身或区间(a)内数据的峰堆积产生的。

##### 3.1.2 尾堆积

电路中的基线恢复器能保持基线稳定,尾堆积的影响很小,系统的增益线性度可以体现其大小。基线恢复器为 Amptek 公司的 BLR1,其内部结构图如图 4 所示:

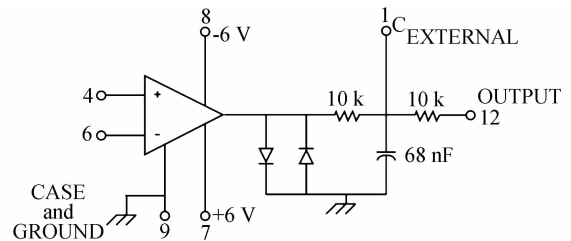


图 4 BLR1 内部电路图

Fig. 4 Diagram of BLR1 internal circuit

这是一种改进的 CD 基线恢复器,对正负脉冲产生的基线漂移都有恢复功能。要直接得到幅度可控的真实电荷输入有一定难度,本文通过对电容充电模拟电荷输入,这样则容易实现,但这样会有一个副作用,就是电容存在一个放电过程。用于产生电荷的耦合电容为 2 pF,电荷灵敏放大器积分电容为 1 pF,这样小的电容其本身的精度及焊接都会影响其容值,但这些只会改变斜率而不会影响线性。测试中使用 Agilent 33521A 信号源,电压分辨率为 1 mV;Agilent MOS6104A 示波器,采样率为 4 GHz;直流供电电源使用 Agilent E3631A,精度为 0.05%,稳定度优于 20

mV。信号源输出的电压信号(50 kHz 方波信号)同时赋给 W、S、Z 三路耦合电容,分别测量成型电路的输出,通过改变电压信号的幅度,可以得到对应幅度的电荷信号,从而得到系统的增益响应曲线,如图 5 所示。

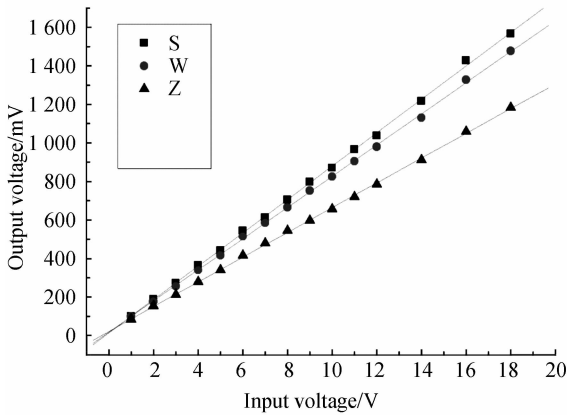


图 5 系统的响应曲线

Fig. 5 Response curves of system

从图中可以看出,系统的增益线性度很高,事实上它们的拟合相似度  $R$  均在 0.999 7 以上,尾堆积的影响很小,不会产生图 2 中的拖尾。

### 3.2 MCP 的反馈

当 MCP 的通道内有气体残留时,倍增电子可能会导致其激发或电离,从而产生光子或正离子,若它们反馈到光电阴极或通道壁上会打出电子,形成噪声脉冲。由光子产生的噪声脉冲叫光反馈,由正离子产生的噪声脉冲叫离子反馈,它们分别出现在基本信号脉冲之后 5~20 ns 和 0.4~0.5  $\mu$ s。这种噪声在电压较低时不显著,但随着电压和倍增系数的增加,会增加很快<sup>[6]</sup>。

反馈产生的信号与基本信号之间位置相同但有一定的时间间隔,信号在 WSZ 阳极被接收之后也需要一定的处理时间,这样出射电子云打在 WSZ 阳极不同的位置,就会产生不同方向的拖尾。电子云的落点如图 6 所示,以 1,2,3,4 四个位置为例。电子云 1 离 W 电极近,反馈的 W 路电荷没有被积分,故  $Q_w$  保持不变,而  $Q_s$  和  $Q_z$  是基本信号与反馈信号的叠加,综合效果是  $Q_w$  相对变小,由表 1 可知,坐标  $x$  变小, $y$  变大的情况对应图 2 中 1 处的拖尾;图 6 中电子云 3 的情况是  $Q_s$  相对变小, $Q_w$  和  $Q_z$  相对变大,坐标变化为  $y$  变小, $x$  变大,这一情况对应图 2 中 3 处的拖尾;

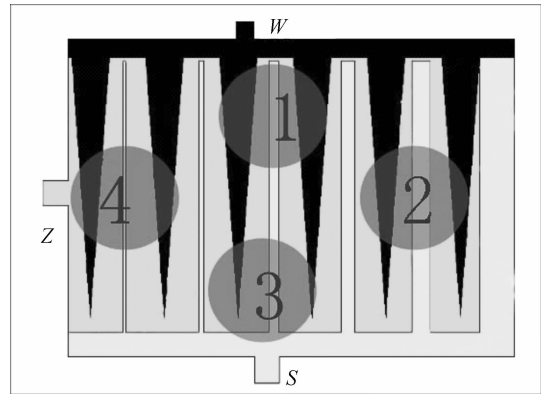


图 6 电子云落点示意图

Fig. 6 Schematic diagram of electronic cloud points

图 6 中电子云 4 的情况是  $Q_z$  不变,而  $Q_w$  变大,由于 S 电极面积太小, $Q_s$  也不变,坐标变化为  $x$  变大, $y$  变小,对应图 2 中 4 处的拖尾;图 6 中电子云 2 对应图 2 中 2 处的拖尾,其它位置的电子云是上述电子云位置的综合影响。

## 4 MCP 反馈的验证

这一节通过反演,可以计算出若要产生图 2 中的拖尾所需的电荷变化量。由式(1)可以看出,如果已知坐标位置而反推 WSZ 的电荷量,还需要给出总电荷量  $\sigma$ :

$$\sigma = Q_s + Q_w + Q_z, \quad (2)$$

$$\begin{cases} Q_s = \frac{x}{2}\sigma \\ Q_w = \frac{y}{2}\sigma \\ Q_z = \left(1 - \frac{x+y}{2}\right)\sigma \end{cases} \quad (3)$$

式(3)为反演公式,其中, $x, y$  均是归一化的值,归一化系数为图像的宽度 1 500。

通过 Photoshop 可以方便地读出图 2 中 5 个点的坐标值,以 0(682,805)和 1(742,597)2 点为例(拖尾最严重),假设  $\sigma$  为 3 000,通过式(3)可以得到 0 点和 1 点的电荷量( $Q_s, Q_w, Q_z$ )分别为  $Q_0$ (682,805,1 513), $Q_1$ (742,597,1 661),每个电极上电荷量之差( $Q_1 - Q_0$ )为(60, -208, 148)。这里之所以出现负值,原因是假定总电荷量是不变的。差值占原电荷量的比重  $\epsilon$  为:(8.1%, -8.9%),即拖尾最长处的电荷量变化不到原来电荷量的 10%。

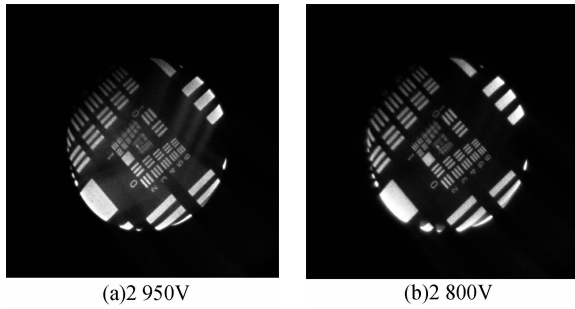


图7 不同高压的拖尾

Fig. 7 Tailing in different high voltages

注:验证实验与原实验所用的探测器不同,故分辨率不同,但不影响实验结果。

一般MCP的发射系数为2~7,通过多次电子倍增达到放大的作用,本系统使用两块‘V’字型排列的MCP<sup>[7]</sup>。通过降低2个MCP通道内的气体残留能减小反馈的发生概率<sup>[6]</sup>,从而减少拖尾的产生。测量了2个高压下的拖尾情况,如图7所示。

由图7可知,高压值为2 950 V时的拖尾明显比2 800 V时的严重,这验证了反馈现象是图

像产生拖尾的原因。由图7可知,在10 k计数率下,能分辨第一组第四单元的条纹,对应分辨率为2.83 lp/mm(未处理图像前)。通过烘烤使真空罐内的物质充分放气后,再将温度降到合适温度,这样可以有效减少气体残留,从而减小发生反馈的几率。另外,抽真空的第一级泵多为油泵,不可避免地会有油分子扩散,使得MCP工作一段时间后,会被真空泵逸出的油污分子污染,因此,必须要定期进行电子清洗<sup>[8]</sup>。

## 5 结 论

在极紫外成像仪测试的过程中发现图像存在拖尾现象。通过分析,排除了峰堆积和尾堆积产生拖尾的可能性。根据MCP噪声的产生机理,预测光子反馈或离子反馈是产生拖尾的原因。为了验证拖尾产生的原因,通过计算拖尾信号的电荷量变化,并改变MCP的供电电压证实了推测的正确性。最后,给出了一种解决方案,即减少MCP通道内的气体残留和油污分子,以降低反馈发生的几率,减小拖尾的影响。

## 参考文献:

- [1] 尼启良,何玲平,刘世界,等.使用感应电荷位敏阳极的极紫外单光子计数成像系统[J].光学精密工程,2010,18(12):2543-2548.  
NI Q L, HE L P, LIU SH J, et al.. Extreme ultraviolet single photon-counting imaging system based on induced charge position-sensitive anode [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(12): 2543-2548. (in Chinese)
- [2] 何玲平.极紫外光子计数探测器成像特性研究[D].北京:中国科学院,2010,34-49.  
HE L P. *Study of imaging characteristics of EUV photon counting detector* [D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 2010, 34-49. (in Chinese)
- [3] 何飞.月基地球等离子体层极紫外观测与图像反演方法研究[D].长春:中国科学院长春光学精密机械与物理研究所,2011,21-34.  
HE F. *Moon-based extreme ultraviolet observations of the earth's plasmasphere and image inversion methods* [D]. Changchun: Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Acad-

emy of Sciences, 2011, 21-34. (in Chinese)

- [4] 尼启良,刘世界,陈波.极紫外位置灵敏阳极光子计数成像探测器研究[J].中国光学与应用光学,2009,2(1):36-40.  
NI Q L, LIU SH J, CHEN B. Investigation on extreme ultraviolet photon-counting imaging detector with position sensitive anode [J]. *Chinese Journal of Optics and Applied Optics*, 2009, 2(1): 36-40. (in Chinese)
- [5] 虞孝麒.核电子学方法讲义[M].合肥:中国科学技术大学出版社,第二章能谱测量系统信号处理.  
YU X Q. *Methods of Nuclear Electronics Lecture* [M]. Hefei: University of Science and Technology of China press, chapter II Energy spectrum measurement system signal processing. (in Chinese)
- [6] 徐克尊.粒子探测技术[M].合肥:中国科学技术大学出版社,1978,140.  
XU K Z. *Technology of Particle Detector* [M.] Hefei: University of Science and Technology of China press, 140. (in Chinese)
- [7] 王晓东,朱小明,吕宝林,等.EUV成像仪极间串扰和伪信号触发计数修正[J].光学精密工程,2012,

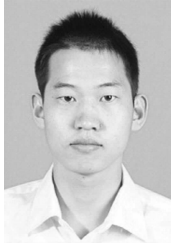
20(12):2674-2679.

WANG X D, ZHU X M, LV B L, *et al.*. A method to correct crosstalk and fake signal triggers count of EUV imager [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2012, 20(12):2674-2679. (in Chinese)

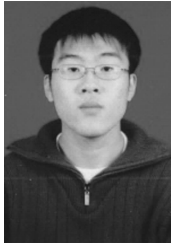
[8] 闫金良, 孟淑英, 向世明. 微通道板增益疲劳机理研究[J]. *应用光学*, 1996, 17(4):25-28.

YAN J L, MENG SHU Y, XIANG SH M. The study of gain fatigue mechanism of MCP[J]. *Applied Optics*, 1996, 17(4):25-28. (in Chinese)

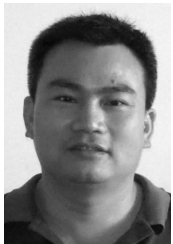
#### 作者简介:



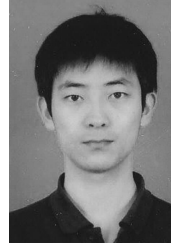
**朱小明**(1989—),男,新疆喀什人,硕士,主要研究方向为空间光学遥感仪器成像技术与信息处理。E-mail: zhuxmsky@gmail.com



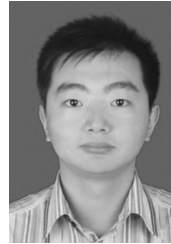
**吕宝林**(1982—),男,吉林长春人,硕士,助理研究员,2007年于吉林大学获得硕士学位,主要研究方向为空间光学成像硬件电路设计。E-mail: llvbaolin447@163.com



**鲍海明**(1976—),男,吉林长春人,副研究员,主要研究方向为空间遥感相机电子学设计。E-mail: gjbhm@tom.com



**刘文光**(1983—),男,吉林长春人,硕士,助理研究员,2008年于吉林大学获得硕士学位,主要研究方向为空间光学成像仪器成像控制与信息处理。E-mail: liuwenguangace@gmail.com



**李哲**(1984—),男,黑龙江齐齐哈尔人,研究实习员,2010年于西安电子科技大学获得硕士学位,主要研究方向为空间光学成像技术。E-mail: lizhemail@sohu.com

#### 导师简介:



**王晓东**(1970—),男,吉林白山人,博士,研究员,主要研究方向为空间光学遥感仪器成像技术与信息处理。E-mail: wangxd@ciomp.ac.com

(版权所有 未经许可 不得转载)