

文章编号 1004-924X(2012)12-2674-06

EUV 成像仪极间串扰和伪信号触发计数修正

王晓东^{1*}, 朱小明^{1,2}, 吕宝林¹, 刘文光¹

(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: 为了提高极紫外(EUV)光子计数成像仪的分辨率, 分析了 EUV 成像仪系统 WSZ 阳极(Wedge Strip Zigzag anode)不同条带间的极间串扰以及非目标能量区间内信号触发产生的伪信号对图像质量的影响。讨论了串扰产生的原因, 通过测量极间电容, 找到了串扰系数所在的范围, 并最终确定最优值; 使用该系数对不同能量范围内的光子进行处理, 确定了合适的能量区间(上下限)。在设定的能量区间重新成像并与原图像进行对比, 结果显示图像质量有了明显提高。通过消除极间串扰和剔除混杂在图像数据中的伪数据, 使图像的边缘特性更强, 提高了图像分辨率。

关键词: 极紫外成像仪; 光子计数成像仪; 极间串扰; 伪信号触发; 能量上下限; 边缘特性

中图分类号: TP391.4; TH74 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20122012.2674

Correction of crosstalk and fake signal trigger of EUV imager

WANG Xiao-dong^{1*}, ZHU Xiao-ming^{1,2}, LÜ Bao-lin¹, LIU Wen-guang¹

(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: In order to improve the resolution of an Extreme Ultraviolet (EUV) photon counting imager, this paper analyzed the influence of the crosstalk between Wedge Strip Zigzag (WSZ) anodes and the false trigger resulted from out-range signals on image quality. First, the reasons which caused the crosstalk were analyzed, and the range of crosstalk coefficient and its optimum value were determined by measuring interelectrode capacitance. Then, the crosstalk coefficient was used to process photons and determine a proper energy interval (upper and lower limit). Finally, the image obtained in the setting energy interval was compared with an original image. The comparison shows that the image quality has been improved obviously. The results demonstrate that the image edge becomes stronger further and image resolution is improved by eliminating the crosstalk between WSZ anodes and removing fake data from real data.

Key words: Extreme Ultraviolet(EUV) imager; photon counting imager; crosstalk; fake signal trigger; range of energy; edge feature

收稿日期: 2012-07-23; 修订日期: 2012-09-19.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 60677043); 科技部国际合作项目 (No. 2011DFA50590)

1 引言

月基极紫外光子计数成像仪使用一个工作波长为 30.4 nm 的球面多层膜反射镜收集来自地球等离子层的 He⁺ 30.4 nm 谐振散射辐射,反射光被微通道板(Micro Channel Plates, MCP)探测器接收。该成像仪用于在月球上拍摄地球等离子层在 30.4 nm 的图像,研究它的三维空间结构及其在磁扰期间的变化^[1]。

MCP 探测器主要由光电阴极、微通道板、WSZ 阳极(Wedge Strip Zigzag anode)和电子学读出电路等组成。由于 WSZ 阳极固有结构会导致不同条带间的串扰,使图像产生扭曲和非等比例的拉伸;电子学对电荷信号的处理速度有限会导致部分信号堆积,产生错误的坐标点使图像分辨率下降;大于甄别阈值的伪信号也将导致图像分辨率下降。本文给出了解决上述 3 个问题的方法,经实验测量,图像的边缘特性得到了明显加强,图像的分辨率有了一定程度的提高。

2 EUV 成像仪系统组成

EUV 成像仪系统框图如图 1 所示,入射光经光学镜头汇聚到光电阴极上,通过光电效应产生光电子,然后经过 MCP 倍增形成电子云,倍增系数通常为 10⁶~10⁷,电子云被 WSZ 阳极收集并输出 W、S、Z 3 路信号,再经过电子学放大、整形、量化并存储^[2-3]。

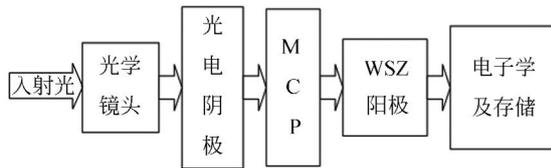


图 1 EUV 成像仪系统框图
Fig.1 Block diagram of EUV imager

3 极间串扰

WSZ 阳极(anode)结构如图 2 所示,由楔形 W(wedge)、条带 S(stripe)和‘之’字形 Z(zigzag)组成^[4],参数如表 1 所示。

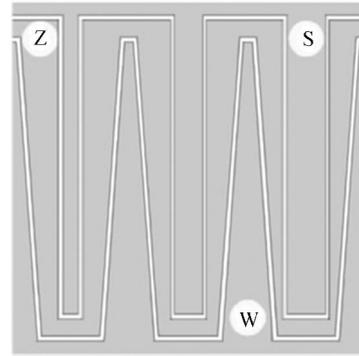


图 2 WSZ 阳极结构示意图
Fig.2 Framework of WSZ anode

表 1 WSZ 阳极参数表
Tab.1 Parameter of WSZ anode

WSZ 阳极	参数值	WSZ 阳极	参数值
阳极有效口径	30 mm×30 mm	电极材料	铜
周期宽度	1 mm	周期数	30
基底材料	2 mm 石英玻璃	绝缘带宽度	30 μm
电极厚度	2 μm	MCP-Anode 间距	12 mm

由于电极间距并不远小于电极的面积,所以不能使用平行平板电容器的公式计算电容,但可以进行估算。平行平板电容器的电容为:

$$C = \frac{\epsilon S}{d}, \tag{1}$$

其中:ε为介电常数,S为平板电极面积,d为两电极间距。

$$S = hl, \tag{2}$$

其中:h为电极厚度,l为电极长度。

从图 2 及表 1 可以看出 W 与 Z 电极间的电容 C_{WZ}和 S 与 Z 间的电容 C_{SZ}的电极厚度相同,而电极长度近似相等,S 与 W 间的电容 C_{SW}与前两者相比较小,实际测量得到 C_{WZ}=114 pF, C_{SZ}=114 pF, C_{SW}=62 pF^[5]。

由于极间电容产生的串扰与每两极间的电容成正比,设:

$$\alpha : \beta : \gamma = KC_{WZ} : KC_{SZ} : KC_{SW}, \tag{3}$$

则 WZ, SZ, SW 间的串扰系数分别为 α、β、γ,设实际测量到的每一个电极的电荷量为 Q_S、Q_W、Q_Z,从 MCP 出射到 WSZ 阳极上的原始电荷量为 Q_W'、Q_S'、Q_Z',两者间的关系为:

$$\begin{cases} Q_W' = (1 + \alpha + \gamma) Q_W - \gamma Q_S - \alpha Q_Z \\ Q_S' = -\gamma Q_W + (1 + \beta + \gamma) Q_S - \beta Q_Z \\ Q_Z' = -\alpha Q_W - \beta Q_S + (1 + \alpha + \beta) Q_Z \end{cases} \tag{4}$$

通过电荷计算坐标如式(5)^[1]所示:

$$\begin{cases} x = \frac{2Q_w}{Q_w + Q_s + Q_z} \\ y = \frac{2Q_s}{Q_w + Q_s + Q_z} \end{cases} \quad (5)$$

使用实际测量到的电荷量将包含串扰的影响,使用原始电荷量 Q_w' 、 Q_s' 、 Q_z' 可以去除串扰的影响,计算公式为:

$$\begin{cases} x = \frac{2Q_w'}{Q_w' + Q_s' + Q_z'} \\ y = \frac{2Q_s'}{Q_w' + Q_s' + Q_z'} \end{cases} \quad (6)$$

通过选择不同的比例系数,带入实际测量的电荷量数据,可以获取具有最佳边缘特性的图像。

4 MCP 输出总电荷幅度区间选择

微通道板是一种由高铅玻璃制成的二维阵列电子倍增器件,一般包括数百万个空心管通道,每一通道等效于一个电子倍增管。平行空心玻璃管的内径为几微米到十几微米,整个板的厚度大约 2 mm,直径为 40~60 mm,每个微通道的内表面都能在粒子轰击下发射二次电子,发射系数 δ 一般在 2~7 之间。微通道板的两端面都镀有导电薄膜,用于提供良好的端面接触以便施加电压。当微通道板两端加上 1 kV 以上的直流电压后,在每个微通道内部都会形成与通道中心轴平行的电场,具有一定能量的光子或带电粒子从通道一端射入,由于通道内壁的高二次反射特性,使得一个电子轰击内壁后产生多个二次电子,这些二次

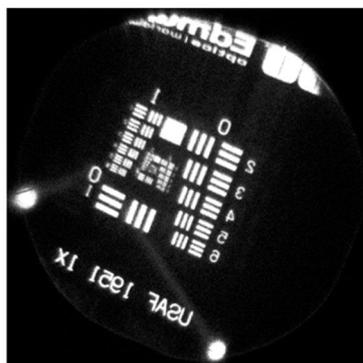
电子在电场和垂直电场方向速度分量的作用下,以抛物线轨道飞行并得到加速,然后再次轰击通道内壁后会产生更多的二次电子。如此重复多次,将在微通道的另一端产生电子云,实现了电子倍增的作用^[6-7]。

当微通道板的输出电荷量较小时很容易受到外界因素的影响,而且本身包含了很多概率,比如:电子分布的不均匀性等将使 WSZ 阳极接收到的信号产生较大的失真,使图像变差;电子学系统包含阈值触发功能,一些幅度大于甄别域的非光子信号,即伪信号(如 MCP 绝缘不好时产生的边缘放电),也会产生计数;由于电荷信号本身的传输和后续电子学处理需要一定的时间,光子信号是随机到达的,会有一些的几率发生两个或以上的光子在较小的时间间隔内到达 MCP,此时电子学将该信号当作一个单独的信号处理,即信号重叠,在幅度上表现为幅度较大,位置上表现为这几个光子位置的加权平均,这些信号混杂在有效信号当中,将会使系统的分辨率下降^[8]。

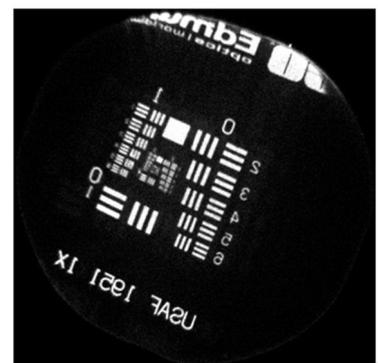
室温下,将 MCP 组成的两个系统控制同样的真空度,产生的信号使用同一个模拟电路和数字采集板采集并存储一定量的数据。系统中 2 个 MCP 成‘V’字形排列,加 2 850 V 高压,增益为 $(2\sim 3)\times 10^7$;系统二中 3 个 MCP 成‘之’字形排列,加 4 000 V 电压,增益为 $(5\sim 6)\times 10^7$ 。极紫外光通过氙灯产生,并用偏光镜调节光强(计数率在 10 K 左右),真空度为 2.5×10^{-4} Pa,试验使用 USAF1951 分辨率板成像。所成图像如图 3 和图 4 所示。



(a) 原始图像
(a) Origin image



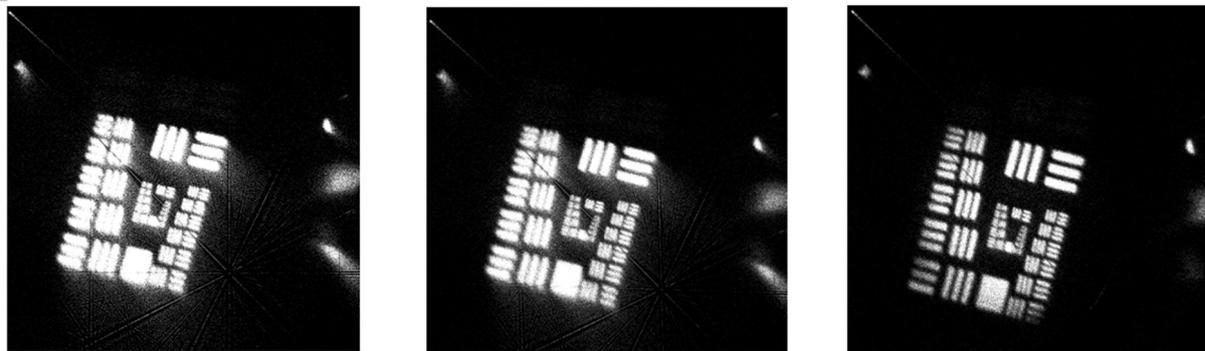
(b) 有串扰修正图像
(b) Image of corrected crosstalk



(c) 总幅度为 1 500~8 000 的图像
(c) Image with total range of 1 500 to 8 000

图 3 系统一

Fig. 3 System 1



(a)原始图像 (a)Origin image (b)有串扰修正图像 (b) Image of corrected crosstalk (c)总幅度为 1 100~8 000 的图像 (c)Image with total range of 1 100 to 8 000

图 4 系统二 Fig. 4 System 2

选择不同的比例系数, 带入实际测量的图像数据, 对系统一, 当 $k=0.001$, 即 $\alpha=\beta=0.114, \gamma=0.062$ 时, 有最佳的边缘特性; 对系统二, 当 $k=0.0006$, 即 $\alpha=\beta=0.07, \gamma=0.0038$ 时, 才有最佳的边缘特性。结合表 2, 即系统的总幅度在不同区间信号所占比例, 可以看出当总幅度整体较大时, 串扰系数也较大。由于探测器的工作条件是固定的, 因此串扰系数也是固定的。

通过对比原始图像和有串扰修正的图像, 图 3 和图 4(a) 和 (b), 可以看出每对线的边缘更加清晰, 即 WSZ 极间串扰导致的坐标弥散得到了修正。但伪信号触发的事件依然存在: 系统一的边缘亮斑(绝缘不良, MCP 高压放电产生), 系统二的边缘亮斑和右下方的亮线, 因此有必要对系统的总信号幅度进行限制, 即为信号事后添加更严格的上限和下限。W、S、Z 3 路信号使用同一个 AD 变换器在 0~4 V 间进行量化, 对应的数字编码为 0~4 095, 因此 3 路信号和(总幅度)的编码为 0~12 285, 图 3 和图 4(c) 是分别对系统一(1 500~8 000) 和系统二(1 100~8 000) 的信号(总幅度) 成像。系统一去除了边缘的亮斑的尾部, 系统二去除了中心部分的亮线, 周围的亮斑亮度有所减小但仍然存在, 此时条纹的右下角部分已经看不消除了, 故没有选择更高的阈值。图 5 给出了系统一的另外一个幅度区间(4 000~8 000) 的图像, 与图 3(c) 相比变化不大。表 2 给出了 2 个系统不同区间信号所占比例, 通过比较, 可以看出

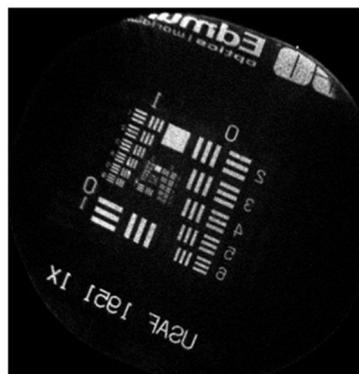


图 5 系统一总幅度为 4 000~8 000 的图像 Fig. 5 Image with total range of 4 000 to 8 000 in system No. 1



图 6 系统一总幅度小于 1 500 图像 Fig. 6 Image with total range small than 1 500 in system No. 1

图 5 和图 6(系统一) 包含的粒子事件(30.66%和

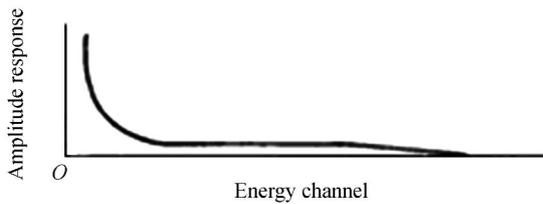
31.77%)几乎相同,然而 2 幅图像的亮度相差很大,说明 3 路信号总幅度小于 1 500 的信号中有很大的比例被亮斑占据,因此整幅图像的亮度偏暗。

表 2 不同区间信号所占比例

Tab. 2 Signal percentage of different ranges

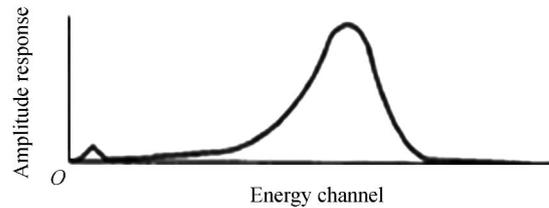
	系统一(a)	系统二(b)
小于 1 500	30.66	70.91
1 500~2 000	8.74	17.18
2 000~4 000	27.35	11.18
4 000~6 000	20.61	0.51
6 000~8 000	11.16	0.13
大于 8 000	1.48	0.09
触发总次数	2 448 053	897 051

从表 2 可以看出系统二的信号总幅度与系统一相比整体偏小,根据文献[9]和[10]推测这种情



(a)清洗前

(a) Before cleaning



(b)清洗后

(c)After cleaning

图 7 疲劳 MCP 清洗前后输出脉冲幅度分析

Fig. 7 Output pulse amplitudes of fatigue MCP before and after cleaning

况可能是 MCP 受到碳污染而产生疲劳造成的,文献[10]所述的 MCP 疲劳时和清洗后的表现如图 7 所示。下一步的工作是研究 MCP 所加高压对信号总幅度的影响和电子清洗对 MCP 寿命的影响,并建立基于条纹调制度的分辨率判别方法,消除人眼的主观误差。

5 结 论

WSZ 阳极结构存在极间串扰的固有缺陷,通过测量极间电容,选择合适的比例系数 k ,消除了极间串扰对分辨率的影响,增强了条纹的边缘特性,从而提高了图像的分辨率;通过选择总信号幅度的范围(上下限),剔除了伪信号触发导致的计数和信号堆积,进一步提高了图像的分辨率。

参考文献:

- [1] 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, 2009,22(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*, 2009,22(1):36-40. (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:中国科学院博士毕业论文,2010,34-49.
HE L P. *Study of imaging characteristics of EUV photon counting detector* [D]. Beijing:Dissertation for Doctor Degree of Chinese Academy of Sciences, 2010,4:34-49. (in Chinese)
- [3] 王光明. 基于 30.4 nm 极紫外成像的 WSZ 探测器

研究[D]. 北京:中国科学院博士毕业论文,2006, 19-24,41-48.

WANG G M. *Study on WSZ Detector of 30.4nm EUV Imager* [D]. Beijing:Dissertation for Doctor Degree of Chinese Academy of Sciences, 2006,19-24, 41-48. (in Chinese)

- [4] 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)

- [5] 何玲平,尼启良,李敏,等. 楔条形阳极位置灵敏探测器图像非线性研究[J]. 光电子·激光 2010,21(4):512-515.

- HE L P, NI Q L, LI M, *et al.*. The imaging non linearity of position sensitive detector based on wedge-strip anode [J]. *Journal of Optoelectronics • Laser*, 2010, 21(4): 512-515. (in Chinese)
- [6] 何玲平, 尼启良, 李敏, 等. 楔条形阳极光子计数探测器成像性能的检测[J]. *光学精密工程* 2009, 17(11): 2699-2704.
- HE L P, NI Q L, LI M, *et al.*. Image performance of photon-counting imaging detector with wedge and strip anode [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(11): 2699-2704. (in Chinese)
- [7] LAPINGTON J S, SMITH A D, WALTON D M. Micro channel plate pore size limited imaging with ultra-thin wedge and strip anodes [J]. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 1987, 34(1): 431-433.
- [8] 徐克尊. 粒子探测技术[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 136-146.
- XÜ K Z. *Technology of Particle Detector* [M]. Hefei: University of Science and Technology of China, 136-146. (in Chinese)
- [9] 韦亚一, 陶兆民. 微通道板最佳倾斜角的设计[J]. *红外技术*, 1994, 16(2): 19-21.
- WEI Y Y, TAO ZH M. Optimal Design of the MCP Inclined Angle [J]. *Infrared Technology*, 1994, 16(2): 19-21. (in Chinese)
- [10] 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 SH Y. The study of gain fatigue mechanism of MCP [J]. *Applied Optics*, 1996, 17(4): 25-28. (in Chinese)

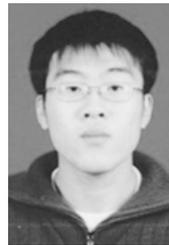
作者简介:



王晓东(1970—),男,吉林白山人,博士,研究员,2003年于中科院长春光学精密机械与物理研究所获博士学位,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



朱小明(1989—),男,新疆喀什人,硕士研究生,2010年于中国科学技术大学获得学士学位,主要研究方向为极紫外图像处理。E-mail: zhuxmsky@gmail.com



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



刘文光(1983—),男,吉林长春人,助理研究员,2008年于吉林大学获硕士学位,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