

文章编号 1674-2915(2009)01-0036-05

极紫外位置灵敏阳极光子计数成像探测器研究

尼启良,刘世界,陈波

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 应用光学国家重点实验室,吉林 长春 130033)

摘要 研制出了应用于月基极紫外成像仪的二维极紫外位置灵敏阳极光子计数成像探测器原形样机,该探测器主要由工作在脉冲计数模式下的微通道板堆、楔条形位置灵敏阳极及相关的模拟和数据处理电路组成。设计和制备了周期为1 mm,直径为30 mm的三电极楔条形位置灵敏阳极,研制了最高计数率为200 kHz的前端模拟和数字电路。测量了探测器的暗计数率、脉冲高度分布及空间分辨率等工作特性。测量结果表明,该探测器的空间分辨率为0.28 mm,满足月基极紫外成像仪对空间分辨率的要求。

关键词 极紫外探测器;光子计数成像探测器;微通道板;位置灵敏阳极

中图分类号:TN23;TN366 文献标识码:A

Investigation on extreme ultraviolet photon-counting imaging detector with position-sensitive anode

NI Qi-liang, LIU Shi-jie, CHEN Bo

(State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: A prototype of two-dimensional photon-counting imaging detector with position-sensitive anode in Extreme Ultraviolet (EUV) region was developed for applying to a moon-based EUV imager. The detector mainly is composed of Microchannel Plate (MCP) stacks operating in pulse-counting mode, wedge-strip position-sensitive anode and correlative analog and data processing circuit. A three electrode wedge-strip position-sensitive anode with 1 mm period and 30 mm-diameter was designed and fabricated, and a front-end analog and digital circuit with maximum rate of 200 kHz also was developed. The operating characteristics of the detector prototype including background rate, pulse height distribution and spatial resolution were measured, the measured results show its spatial resolution is 0.28 mm, which can satisfy the requirement of moon-based EUV imager on the spatial resolution.

Key words: Extreme Ultraviolet (EUV) detector; photon-counting imaging detector; Microchannel Plate (MCP); position-sensitive anode

1 引言

随着空间科学技术的迅速发展,我国也开始实施探月计划。在探月二期工程中,有一极具特色的有效载荷—月基极紫外成像仪,该成像仪用于在月球上拍摄地球等离子体层在 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。地球等离子体层的 30.4 nm 辐射来自于极微弱的 He⁺ 共振散射辐射,需要使用极紫外位置灵敏阳极光子计数成像探测器。

迄今为止,光子计数成像探测技术仍是探测极微弱光辐射的最好方法。当被探测光辐射很强时,每秒钟包含很多光子,光显现连续性。当被探测的光辐射极微弱时,光的粒子性就会显现出来。这时探测器接收到的是单个离散的光子,并将其转换成相应离散的电脉冲信号,工作在这种模式下的成像探测器称作光子计数成像探测器。现有的光子计数成像探测器包括雪崩光电二极管阵列、芯片内放大 CCD 及使用微通道板(Microchannel Plate, 简称 MCP)像增强器的光子计数探测器^[1]。前两种探测器在可见光和近红外波段有很高的量子效率,但还不能用于紫外到软 X 射线波段;与前两种探测器相比,后一种探测器在可见光和近红外波段的量子效率要低 1~2 倍,但可用于从紫外到硬 X 射线波段,甚至用于电子、离子、 α 粒子及 γ 射线和宇宙射线的探测。

使用微通道板的光子计数成像探测器通常由前表面镀有光电阴极材料的 MCP 像增强器、周期性的金属读数电极(称为阳极)和相关的读数电路组成。根据所用读数阳极的不同,光子计数成像探测器可分为以下几种:多阳极微通道板阵列(MAMA)探测器、楔条形阳极(WSA)探测器、电阻阳极(RAE)探测器、延迟线阳极(DLA)探测器和 Vernier 阳极探测器等^[2~4]。

月基极紫外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体层的 30.4 nm 辐射,反射光被 MCP 探测器接收,因此,它是一个中心遮拦系统,这要求探测器的阳极直径与 MCP 的直径接近,上面提到的阳极只有楔条形阳极能满足这一条件。本文研制的极

紫外光子计数成像探测器就是楔条形位置灵敏阳极探测器,这是国内首次研制出的这一波段的位置灵敏阳极光子计数成像探测器。

2 楔条形位置灵敏阳极探测器

楔条形阳极光子计数成像探测器始于 20 世纪 80 年代^[5],到现在美国和欧洲已相继发射十几颗使用这种探测器的天文卫星,对遥远天体进行高精度成像观测^[6~8]。楔条形阳极探测器主要由 3 块或 2 块工作在脉冲计数模式下的 MCP 堆、楔条形阳极和相应的模拟和数字电路组成。图 1 给出了 3 个电极的 WSA 阳极的几何简图, S、W 和 Z 是由绝缘线条分割开的金属电极, S 电极是条形,其宽度沿 X 方向按整数倍增加, W 是楔形,其宽度沿 Y 方向增加, Z 是介于 W 和 S 之间的电极。WSA 阳极具有周期性,在每个周期内 S 的宽度增加一倍,而 W 的宽度不变。入射到 MCP 堆前表面上的一个光子经过 MCP 堆的倍增形成包含 $10^6 \sim 10^7$ 电子的电子云,在 MCP 和阳极之间电压的作用下,电子云撞击在阳极上,电子云的质心位置由下式确定:

$$\begin{aligned} X &= \frac{2Q_s}{Q_w + Q_s + Q_z}, \\ Y &= \frac{2Q_w}{Q_w + Q_s + Q_z}, \end{aligned} \quad (1)$$

式中, Q_w 、 Q_s 和 Q_z 分别是 W、S 和 Z 电极收集到的电量, (X, Y) 坐标就代表了入射到 MCP 表面的光子位置,这就是 WSA 阳极探测器的工作原理。

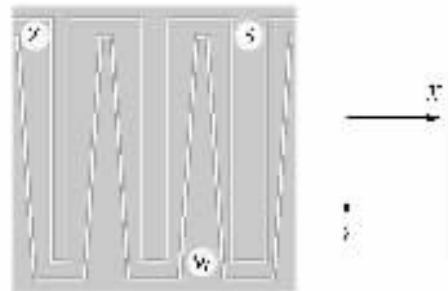


图 1 三电极的 WSA 阳极几何简图

Fig. 1 Schematic diagram of three electrode geometry of WSA anode

利用传统的光刻技术可以制备出方形或圆形的 WSA 阳极,圆形的 WSA 阳极如图 2 所示,所用基片为 2 mm 厚的石英,阳极的材料为铜,周期为 1 mm,共计 30 个周期,绝缘间隙为 $30\ \mu\text{m}$,阳极的有效直径为 30 mm,W、S 和 Z 之间的电容分别为 80、142 和 142 pF,Z 电极的电阻为 $510\ \Omega$ 。图 3 给出了 WSA 阳极探测器的结构简图,探测器使用 3 块 MCP 构成 Z 型结构,每片 MCP 的孔偏角为 13° ,通道直径为 $12.5\ \mu\text{m}$,长径比为 40:1,有效面积为 $26\ \text{mm}^2$,MCP 的出射面到阳极距离为 12 mm,

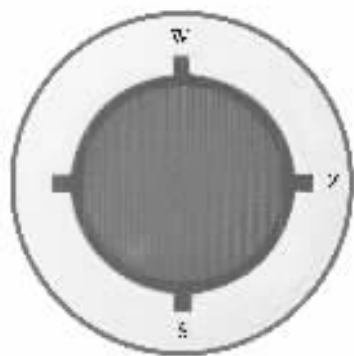


图 2 圆形 WSA 阳极照片

Fig. 2 Photograph of circle WSA anode

MCP 增益为 $10^6 \sim 10^7$ 电子。研制了最高计数率为 200 kHz 的模拟和数字前端电路,电路板的结构图如图 4 所示。入射到 WSA 阳极的脉冲信号经过电荷前置放大器变成电压信号,这些信号有些是叠加在一起的,需要整形放大器将叠加在一起的脉冲分开并进一步放大。同时,整形放大器也被用于产生触发 12 bit 精度的 A/D 转换器和采样保持电路(S/H)的所有 TTL 脉冲,这样来自 W、S 和 Z 的信号同时经过一个 PCI 卡送入计算机,再由软件根据式(1)计算出(X,Y)坐标,并将图像显示在计算机屏幕上。

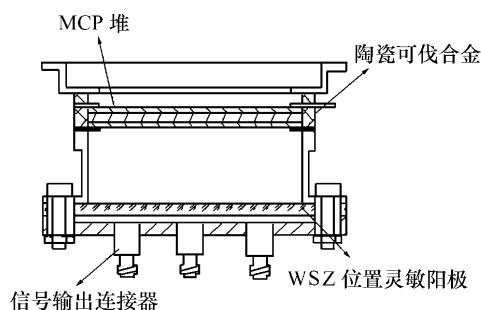


图 3 WSA 探测器结构简图

Fig. 3 Schematic diagram of WSA detector

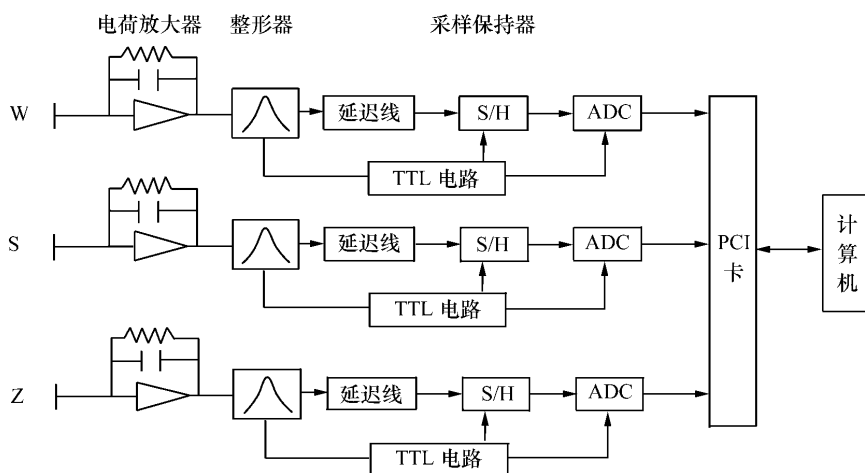


图 4 模拟和数字电路框图

Fig. 4 Framework plot of analog and digital electronic circuit

探测器的空间分辨率是衡量其性能的重要指标。有两种方法可用于探测器空间分辨率的检测。第一种方法是利用充入氦气的空心阴极光源

产生的 $30.4\ \text{nm}$ 的极紫外辐射照射放置在探测器前面由直径为 $50\ \mu\text{m}$ 的透光孔组成的图案,如图 5 探测器所获得的“米”字图形,每一排孔的间

距不同, 探测器所能分清的最小孔距就认为是它的空间分辨率。另一种方法是使用紫外准直光束照明放置在探测器前面零距离处的空间分辨率板, 分辨率板上的每一组线宽对应不同的线对, 探测器所能分辨的最窄线对就是它的空间分辨率, 如图 6 所示。从图像可知该探测器的空间分辨率

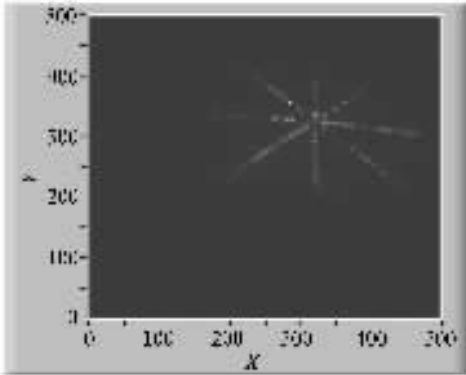


图 5 50 μm 圆孔板的图像

Fig. 5 Image of 50 μm pore plate

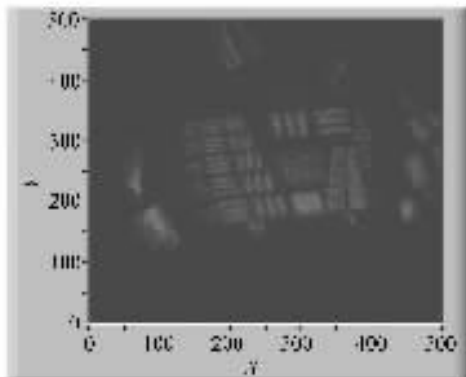


图 6 空间分辨率板的图像

Fig. 6 Image of spatial resolution target

为 280 μm(能分辨出分辨率板上第 1 组第 6 个单元), 加在 MCP 堆两端的电压为 -2 500 V, MCP 出射面与 WSA 阳极之间的电压为 -200 V, 探测器的信号和噪声的脉冲高度分布如图 7 所示, 对应 MCP 增益约为 6.25×10^6 电子, 暗计数率大约为 5 cps/s · cm²。实验表明, 进一步提高分辨率需要使用高增益 MCP 堆。图像边缘的畸变是由于铜膜厚度很薄所致, 增加铜膜厚度可以减小图像边缘处的畸变。

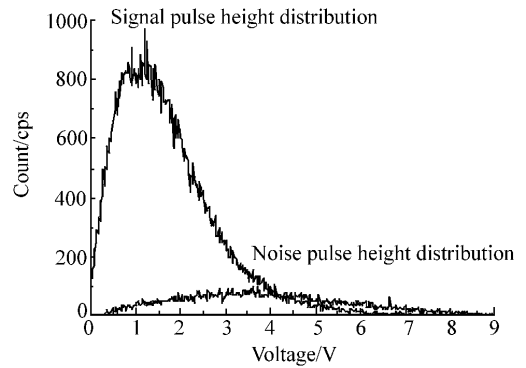


图 7 探测器的信号和噪声的脉冲高度分布

Fig. 7 Signal and noise pulse height distributions

3 结 论

根据月基极紫外成像仪对探测器的要求, 研制了二维极紫外楔条形位置灵敏阳极光子计数成像探测器的原形样机, 使用自行研制的最高计数率为 200 kHz 的模拟和数字前端电路, 获得的探测器空间分辨率为 0.28 mm, 完全能满足月基极紫外成像仪对探测器空间分辨率的要求。

参考文献:

- [1] WILLIAM P, JEFFREY J B. Optical detection of rapidly moving objects in space[J]. *Appl. Opt.*, 2005, 44(3): 423-433.
- [2] LAPINGTON J S. Developments in high count rate microchannel plate detectors[J]. *SPIE* 2005, 5898, 58980E/1-10.
- [3] LAPINGTON J S. A comparison of readout techniques for high-resolution imaging with microchannel plate detectors[J]. *Nuclear Instru. Meth. A* 2004, 525, 361-365.
- [4] LAPINGTON J S. Developments in imaging devices for microchannel plate detectors[J]. *SPIE* 2003, 4854, 191-203.
- [5] MARTIN C, JELINSKY P, LAMPTON M *et al.*. Wedge-and-strip anodes for centroid-finding position-sensitive photon and particle detectors[J]. *Rev. Sci. Instrum.*, 1981, 52(7): 1067-1074.
- [6] SANDEL B R, BROADFOOT A L, CURTIS C C *et al.*. The extreme ultraviolet imager investigation for the image mission

[J]. *Space Sci. Rev.* 2000 91 :197-242.

[7] GOLDSTEN J O , HUMM D C , PAXTON L T *et al.*. Performance of the wedge-and-strip microchannel plate detectors and electronics for the Global Ultraviolet Image[J]. *SPIE* ,1999 3765 #08-416.

[8] BLOCH J J , EDWARDS B C , PRIEDHORSKY W C. *et al.*. On orbit performance of the ALEXIS EUV telescopes[J]. *SPIE* ,1994 2280 297-309.

作者简介 : 尼启良(1966—) 男 , 辽宁辽阳市人 , 博士 , 副研究员 , 主要从事软 X 射线和紫外光学的研究。

E-mail : Niql@ciomp. ac. cn

《发光学报》(双月刊)

中文核心期刊 (物理学类 ; 无线电电子学、电信技术类)

《发光学报》是中国物理学会发光分会与中国科学院长春光学精密机械与物理研究所共同主办的中国物理学会发光分会的学术会刊。该刊是以发光学、凝聚态物质中的激发过程为专业方向的综合性学术刊物。

《发光学报》于 1980 年创刊 , 曾于 1992 年 , 1996 年 , 2000 年和 2004 年连续四次被《中文核心期刊要目总览》评为“物理学类核心期刊”, 并于 2000 年同时被评为“无线电电子学、电信技术类核心期刊”。2000 年获中国科学院优秀期刊二等奖。现已被《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》和“万方数据资源系统”等列为源期刊。英国《科学文摘》(SA) 自 1999 年 ; 美国《化学文摘》(CA) 和俄罗斯《文摘杂志》(AJ) 自 2000 年 ; 美国《剑桥科学文摘社网站》自 2002 年 ; 日本《科技文献速报》(CBST , JICST) 自 2003 年已定期收录检索该刊论文 , 2008 年被荷兰“Elsevier Bibliographic Databases”确定为源期刊。2001 年在国家科技部组织的“中国期刊方阵”的评定中《发光学报》被评为“双效期刊”。2002 年获中国科学院 2001 ~ 2002 年度科学出版基金“择重”资助。2004 年被选入《中国知识资源总库·中国科技精品库》。

本刊内容丰富、信息量大 , 主要反映本学科专业领域的科研和技术成就 , 及时报道国内外的学术动态 , 开展学术讨论和交流 , 为提高我国该学科的学术水平服务。

《发光学报》为双月刊 , A4 开本 , 144 页 , 国内外公开发行。国内定价 40 元 , 全年 240 元 , 全国各地邮局均可订阅。《发光学报》欢迎广大作者、读者广为利用 , 踊跃投稿。

主管单位 : 中国科学院

主办单位 : 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地 址 : 长春市东南湖大路 3888 号 《发光学报》编辑部

邮 编 : 130033

电 话 (0431) 86176862 , 84613407

E-mail : fgxbt@126. com

国内统一刊号 : CN 22-1116/O4

国际标准刊号 : ISSN 1000-7032

国内邮发代号 : 12-312

国外发行代号 : 4863BM

http : //www. fgxb. org