

远紫外光子计数成像探测器分辨率及计数率的优化

尼启良

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要 基于远紫外(FUV)成像光谱仪对所用光子计数成像探测器高计数率、高空间分辨率的要求,研制出使用感应电荷位置灵敏阳极的 FUV 波段二维光子计数成像探测器原理样机,该探测器主要由工作在脉冲计数模式下的微通道板(MCP)堆、楔条形(WSA)感应位敏阳极及相关的模拟和数据处理电路组成。感应电荷 WSA 阳极探测器的分辨率主要由前端模拟电路的信噪比决定,而信噪比与整形放大器的整形时间有关,整形时间越长,信噪比越高,模拟电路的输出计数率越低。测量了整形时间分别为 0.25、0.5、1、2、4 μs 条件下探测器的分辨率及计数率,测量结果表明探测器的分辨率为 3~9 lp/mm,最高计数率为 11~105 kcounts/s,只有 0.5 μs 整形时间放大器能满足 FUV 成像光谱仪对分辨率和最高计数率的要求。

关键词 探测器;远紫外;微通道板;光子计数成像探测器;感应电荷楔条形位置灵敏阳极

中图分类号 O433.1; TH744.1

文献标识码 A

doi: 10.3788/AOS201434.0804001

Optimization for Spatial Resolution and Count Rate of a Far Ultraviolet Photon-Counting Imaging Detector Based on Induced Charge Position-Sensitive Anode

Ni Qiliang

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130033, China)

Abstract A new prototype of two-dimensional photon-counting imaging detector with induced charge WSA anode in far ultraviolet (FUV) region has been developed based on the FUV imaging spectrometer's requirements on high output count rate and spatial resolution. The detector is mainly composed of a CsI Chevron microchannel plate (MCP) stacks operating in pulse-counting mode, induced-charge wedge-strip position-sensitive anode (WSA) and correlative analog and data processing circuit. A three electrode induced-charge WSA anode with 48 mm diameter active area is designed and fabricated, and front-end analog and data collection circuit are also been developed. The space resolution for induced-charge WSA anode depends on the signal-to-noise ratio (SNR) of front-end analog circuit, while the SNR is relative to the shaping time of shaping amplifier. The longer is the shaping time, the higher is the SNR, and the lower is the maximum output rate of the front-end analog circuit. Both resolution and maximum count rate are measured for different shaping time such as 0.25, 0.5, 1, 2 and 4 μs . The measured results show that the resolution is between 4 lp/mm and 9 lp/mm, and maximum output rate is between 11 kcounts/s and 105 kcounts/s. The shaping amplifier with 0.5 μs shaping time can only completely satisfy the requirement of FUV imaging spectrometer on the spatial resolution and maximum output rate.

Key words detectors; far ultraviolet; microchannel plate; photon-counting imaging detector; induced charge wedge-strip anode

OCIS codes 040.3780; 300.6530; 350.1260; 030.5260; 040.7190

1 引 言

地球大气层的中间层、热层及电离层等高层大

气对气象、军事、通讯、导航具有重要影响,因此,需要研究中间层、热层及电离层等高层大气的时空变

收稿日期: 2014-04-10; **收到修改稿日期:** 2014-04-23

基金项目: 国家自然科学基金(61275152)、吉林省科技发展重大项目(20116013)

作者简介: 尼启良(1966—),男,博士,研究员,主要从事软 X 射线-紫外波段空间应用光子计数成像探测器等方面的研究。E-mail: niqiliang@hotmail.com

化。而用搭载于近地轨道卫星的高分辨率远紫外(FUV)成像光谱仪探测电离层大气中的 O、N、H 等主要粒子产生的 110~185 nm 辐射是获取电离层中这些粒子含量的重要手段^[1]。

对地球高层大气的 FUV 波段光谱成像探测始于 1992 年发射的美国 DMSP 卫星上的紫外天底成像光谱仪(SSUSI)^[2],该谱仪使用金属楔条形(WSA)密封管光子计数成像探测器,工作波长范围为 110~180 nm,焦平面大小为 15.6 mm×16.5 mm,对应像元数为 160×16,像元大小为 98 μm×1030 μm,最高计数率为 1.2×10⁵ counts/s。2001 年发射的美国 TIMED 卫星上的全球紫外成像仪(GUVI)^[3]是 SSUSI 的改进型,其工作波长为 115~180 nm,光谱分辨率为 1.2 nm,仍然使用金属 WSA 密封管光子计数成像探测器,最高计数率为 1.5×10⁵ counts/s,焦平面大小仍为 15.6 mm×16.5 mm,对应像元数为 160×14,像元大小为 98 μm×1178 μm,所用微通板道(MCP)有效直径为 25 mm。2003 年发射的 DMSP 卫星上的紫外临边成像光谱仪(SSULI)^[4]用于获取高度为 75~750 km 的热层和电离层 80~170 nm 波长范围的紫外临边光谱,该仪器光谱分辨率为 1.1~1.5 nm,使用开口式的 WSA 光子计数成像探测器,MCP 有效直径为 46 mm,像面大小为 38 mm×12 mm,分辨率为 150 μm,最高计数率为 5×10⁴ counts/s。上述探测器均使用 CsI 光电阴极。美国 DMSP 卫星上同时搭载 SSUSI 及 SSULI,至今已经发射多颗。目前,我国的 FUV 波段成像光谱仪器仍然处于起步阶段,需要对 FUV 波段光子计数成像探测器、光学元件以及辐射定标等关键技术开展研究。

具有 MCP 及 WSA 阳极的光子计数成像探测器是基于质心法来探测入射光子的位置,即用金属 WSA 阳极直接测量从 MCP 出射的电子云质心,以此来确定入射光子的位置。当具有一定能量的电子云入射到金属阳极表面时,金属表面产生的大量二次电子改变了原来电子云的空间电荷分布,从而产生位置非线性和图像不稳定性。解决的方法是用一个电阻阳极直接收集 MCP 堆出射的电子云,在位于其后的金属位置灵敏阳极上产生感应电荷^[5-6],既减小了图像的非线性,同时又提高了图像的分辨率。

本文介绍了为 FUV 临边成像光谱仪^[7-10]所研制的开口式感应电荷 WSA 位置灵敏阳极光子计数成像探测器原理样机的分辨率及计数率优化情况。

2 FUV 波段感应电荷 WSA 阳极光子计数成像探测器

FUV 波段感应电荷 WSA 探测器由两块工作在脉冲计数模式下的 MCP 堆和感应电荷 WSA 组成,结构简图及其照片如图 1 所示。MCP 堆是由电阻为 100 MΩ、长径比为 60:1、直径为 33 mm(有效口径为 25 mm)以及通道直径为 12.5 μm 的两块 MCP 叠加而成的 V 型结构,在 MCP 中间插入厚度为 0.1 mm 康铜环来提高 MCP 堆的增益并抑制离子反馈,MCP 孔偏角为 6°/6°,顶部 MCP 的前表面镀有 CsI 薄膜。入射到 MCP 堆的光子由光阴极转换成光电子,在高压的作用下光电子经过 MCP 堆的倍增变成包含 10⁶~10⁷ 个电子的电子云,电子云入射到电阻膜上,在其后面的 WSA 上产生感应电荷云,WSA 同时产生三个电荷脉冲,再由后面的位置读出电路对这些脉冲进行处理来确定感应电荷云的质心位置,即入射的光子位置。感应电荷云的质心位置由下式确定:

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

式中 Q_w 、 Q_s 和 Q_z 分别是 W、S 和 Z 电极收集到三个电脉冲的电量,(X,Y)坐标就代表了入射到 MCP 表面的光子位置。光子在 WSA 阳极产生的脉冲信号经过电荷前置放大器变成电压信号,这些脉冲信号的上升沿与前一个脉冲的下降沿是堆积在一起的,需要整形放大器将堆积在一起的脉冲分开并进一步放大。同时,将三路前置放大器输出信号求和后送入一个整形时间为 20 ns 的整形放大器,然后经过窗口比较器产生一个脉冲宽度为 40 ns 的晶体管-晶体管逻辑电路(TTL)脉冲,此脉冲通过一个脉冲堆积拒绝电路去掉堆积的脉冲,不堆积的脉冲被用于产生触发峰值保持器(S/H)和 NI 公司 12 bit 数据采集卡的所有 TTL 脉冲,来自 W、S 和 Z 的脉冲信号同时由采集卡变成数字信号,再由软件根据(1)式计算出(X,Y)坐标,并将图像显示在计算机屏幕上。

感应电荷 WSA 阳极探测器性能测量系统结构如图 2 所示,包括紫外光学系统、置于高真空系统内的被测探测器及其位置读出电路三个部分。一个制备在石英基底的 USFA1951 分辨率板作为被测目标,一个输出为负高压的高压电源通过分压电阻为 MCP 堆和阳极提供高压。

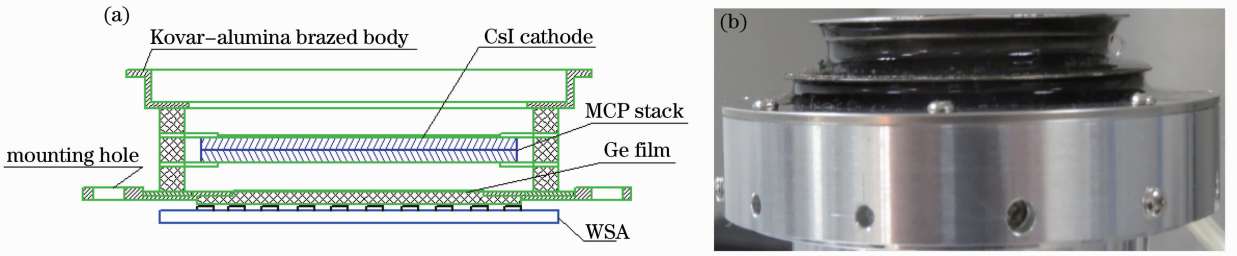


图 1 开口式 FUV 波段感应电荷 WSA 阳极探测器结构简图及照片

Fig. 1 Schematic diagram and photograph of three electrode open MCP induced charge WSA detector

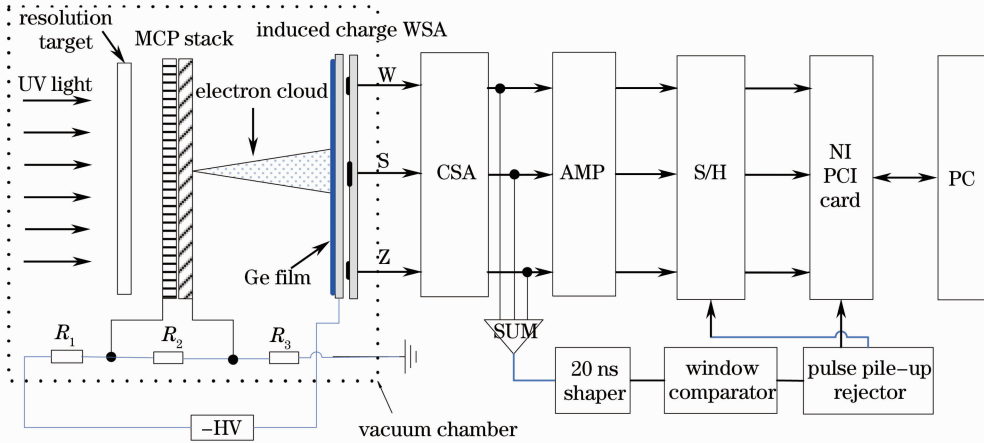


图 2 感应电荷 WSA 阳极探测器结构简图

Fig. 2 Framework plot of testing system for induced charge WSA detector

2.1 整形时间对感应电荷 WSA 阳极探测器分辨率的影响

感应电荷 WSA 阳极探测器的分辨率主要由模拟放大电路的电子噪声决定,其对分辨率[半峰全宽(FWHM)值]的影响为^[11-12]

$$R_E = \frac{2.35L}{FQ} \sqrt{Q_{WN}^2 (1-f)^2 + f^2 (Q_{SN}^2 + Q_{ZN}^2)}, \quad (2)$$

式中 L 为阳极的大小, f 为一周期内电极 S 占的面积比例, $F = f_{\max} - f_{\min}$ (f 的最大和最小值之差), Q_{WN} 、 Q_{SN} 和 Q_{ZN} 分别是三电极前置放大电路的噪声, Q 是 MCP 堆增益,由此可见分辨率是由模拟放大电路的信噪比决定的。

电子噪声 Q_{WN} 、 Q_{SN} 和 Q_{ZN} 主要取决于电极间的电容 C_{tot} , 每两个电极之间电容产生的噪声可以用下面公式计算(单位为电子数)^[13-14]:

$$Q_i = k_3 \sqrt{\frac{20 (C_{\text{tot}} + 15)^2}{\tau} + 15\tau(I_d + 800) + 40000}, \quad (3)$$

($i = \text{WN}, \text{SN}, \text{ZN}$),

式中 τ (单位: μs) 是整形电路的整形时间, I_d (单位: pA) 是 MCP 产生的暗电流, C_{tot} 的单位为 pF , k_3 是校正系数,对于本文所用的线性整形放大器, $k_3 \approx 4$ 。

利用皮秒微细加工设备制备出的圆形 WSA 阳极有效直径为 48 mm,三个电极 W、S 和 Z 之间的电容分别为 65、123、123 pF,实验时带电缆测量这三个电容分别增加到 100、155、154 pF。

模拟放大电路的电子噪声来自电荷前置放大器和整形放大器,而电荷前置放大器的噪声又受到探测器的电容影响,与之相关的参数称之为等效噪声斜率(ENC slope,单位为 electron/pF),因此,应选择等效噪声斜率尽可能低的电荷前置放大器,选择了上升时间为 7 ns、下降时间为 110 μs 、电子噪声为 200 electron(0 pF 探测器电容)以及等效噪声斜率为 3 electron/pF 的电荷前置放大器。

根据(2)式及(3)式,如果模拟放大电路的整形放大器的整形时间 $\tau = 0.25, 0.5, 1, 2, 4 \mu\text{s}$,MCP 堆暗电流 $I_d = 2 \text{ pA}$,MCP 堆增益取 1×10^7 ,那么空间分辨率的计算值如表 1 所示。

2.2 整形时间对感应电荷 WSA 阳极探测器计数率的影响

对于 WSA 阳极探测器,其整体计数率与整形放大器的整形时间有关,根据泊松分布,整形放大器输出脉冲计数率 n 与探测器输入光子计数率 n_0 之间的关系为

$$n/n_0 = \exp(-n_0 T), \quad (4)$$

式中 T 为整形放大器输出脉冲宽度,则最大输入计数率可由下式获得: $dn/dn_0 = (1 - n_0 T)\exp(-n_0 T) = 0, n_0 = 1/T$, 例如,对于整形时间 $\tau=0.5 \mu\text{s}$ 的整形放大器, $T \approx 2 \mu\text{s}$, 则最大输入计数率为 500 kcounts/s。

表 1 不同整形时间放大器对空间分辨率的影响

Table 1 Effect of amplifier's shaping time on spatial resolution

Shaping time / μs	Calculated resolution (FWHM) / μm
$\tau=0.25$	120
$\tau=0.5$	84
$\tau=1$	61
$\tau=2$	47
$\tau=4$	40

设整形放大器输出脉冲上升到脉冲最大值的时间为 T_1 , 如果在整形脉冲前沿上升时间内有相继脉冲到达,称之为前沿堆积,该脉冲的幅度将受脉冲堆积的影响,应从测量中排除。如堆积出现在脉冲后沿下降时间内,称之为后沿堆积,其中第一次出现脉冲峰值并不受堆积的影响,不必排除,而只要排除出现在脉冲后沿的脉冲信号。即对应每一个前沿不受堆积影响的放大器输出脉冲,脉冲堆积拒绝电路有输出。

表 2 整形放大器的整形时间对计数率的影响

Table 2 Effect of amplifier's shaping time on detector's count rate

Shaping time / μs	$T+T_1/\mu\text{s}$	Rate loss for 80 kcounts/s output rate $(1-\eta) / \%$	Input rate / (kcounts/s)
$\tau=0.25$	1.4	12	91
$\tau=0.5$	2.8	26	108
$\tau=1$	6	No	No
$\tau=2$	12	No	No
$\tau=4$	24	No	No

3 探测器性能优化

3.1 脉冲高度分布

对于 WSA 阳极探测器,其分辨率与 MCP 堆的增益有关,对探测器的脉冲高度分布进行测量是优化探测器性能的关键。通常 MCP 堆两端高压越高,其增益越高,分辨率也会相应提高,但高的增益反过来又会降低 MCP 堆输出计数率,两者之间要达到一个平衡。脉冲高度分布曲线的 FWHM 为 $\omega_{1/2}=W/G$, 式中 G 代表脉冲高度分布曲线的峰值,是该高压下 MCP 堆的增益, W 是曲线的 FWHM 宽度, $\omega_{1/2}$ 越小,探测器的整体计数率越高。图 3 给出了优化的脉冲高度分布, MCP 堆两端电压为 2160 V, $\omega_{1/2} \approx 100\%$, 峰值处电压约 1 V, 对应 MCP

根据泊松分布,前沿不受堆积影响的脉冲计数率 n_{p0} 为

$$n_{p0} = n \exp(-n_0 T_1) = n_0 \exp[-n_0 (T + T_1)]. \quad (5)$$

式中 n_{p0} 就是脉冲堆积拒绝电路输出脉冲计数率,因此,脉冲堆积拒绝电路的输出脉冲计数率与探测器输入光子计数率 n_0 之比 η 为

$$\eta = n_{p0}/n_0 = \exp[-n_0 (T + T_1)]. \quad (6)$$

对于整形时间 $\tau=0.5 \mu\text{s}$ 的整形放大器, $T+T_1 \approx 2.8 \mu\text{s}$, 若 $n_0 = 500$ kcounts/s, 则 $\eta = 0.25$; 若 $n_0 = 100$ kcounts/s, 则 $\eta = 0.76$ 。对于 $\tau=0.25 \mu\text{s}$ 整形放大器, $T+T_1 \approx 1.4 \mu\text{s}$, 若 $n_0 = 500$ kcounts/s, 则 $\eta = 0.5$; 若 $n_0 = 100$ kcounts/s, 则 $\eta = 0.87$ 。因此,选择较小整形时间的放大器有利于提高整体输出计数率,减小计数率损失,但整形时间越小,放大器的噪声越大,探测器的分辨率越差,所以必须在整体输出计数率与分辨率之间折中选择,两者不可兼得。表 2 给出了整形放大器的整形时间对计数率的影响,从表中可见,若到达 80 kcounts/s 的输出计数率,只能选择整形时间为 0.25 μs 和 0.5 μs 的整形放大器,使用其他整形时间的放大器都无法满足要求。

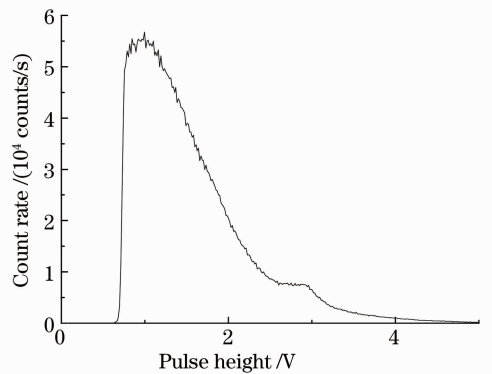


图 3 MCP 堆脉冲高度分布在 MCP 堆 2160 V 电压
Fig. 3 MCP stack pulse height distribution 2160 V voltage applied to MCP stack

堆增益约为 1×10^7 。

3.2 空间分辨率

探测器的空间分辨率是衡量其性能的重要指标。测量方法是使用紫外光束照明放置在探测器前面零距离处的 USAF1951 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,相同的探测器电压、不同整形时间的分辨率图像如图 4~8 所示。图 4 是整形时间为 $0.25 \mu\text{s}$ 的图像,输出计数率约为 38.3 kcounts/s ,分辨率为 4 lp/mm (能分辨出分辨率板上第 2 组第 1 个单元),对应像元大小为 $125 \mu\text{m}$;图 5 是整形时间 $0.5 \mu\text{s}$ 的图像,输出计数率约为 30.5 kcounts/s (能分辨出分辨率板上第 2 组第 3 个单元),分辨率为 5.04 lp/mm ,

相应像元大小为 $99.2 \mu\text{m}$;图 6 是整形时间为 $1 \mu\text{s}$ 的图像,输出计数率约为 17.1 kcounts/s ,分辨率为 7.13 lp/mm (能分辨出分辨率板上第 2 组第 6 个单元),相应像元大小为 $70 \mu\text{m}$;图 7 是整形时间为 $2 \mu\text{s}$ 的图像,输出计数率约为 11.2 kcounts/s ,分辨率为 8 lp/mm (能分辨出分辨率板上第 3 组第 1 个单元),相应像元大小为 $65.2 \mu\text{m}$;图 8 是整形时间为 $4 \mu\text{s}$ 的图像,输出计数率约为 6.6 kcounts/s ,分辨率为 8.97 lp/mm (能分辨出分辨率板上第 3 组第 2 个单元),相应像元大小为 $55.7 \mu\text{m}$ 。在实验中加在 MCP 堆两端的电压均为 -2160 V ,MCP 堆与 WSA 阳极之间的电压为 240 V ,对应 MCP 堆增益约为 1×10^7 。

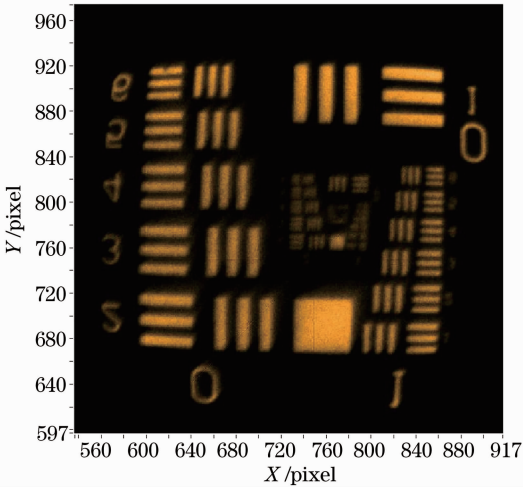


图 4 整形时间 $0.25 \mu\text{s}$ 分辨率板图像
Fig. 4 UV image of USAF1951 resolution target ($0.25 \mu\text{s}$)

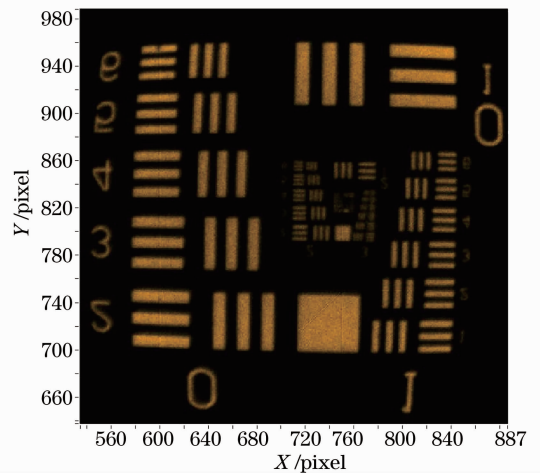


图 6 整形时间 $1 \mu\text{s}$ 分辨率板图像
Fig. 6 UV image of USAF1951 resolution target ($1 \mu\text{s}$)

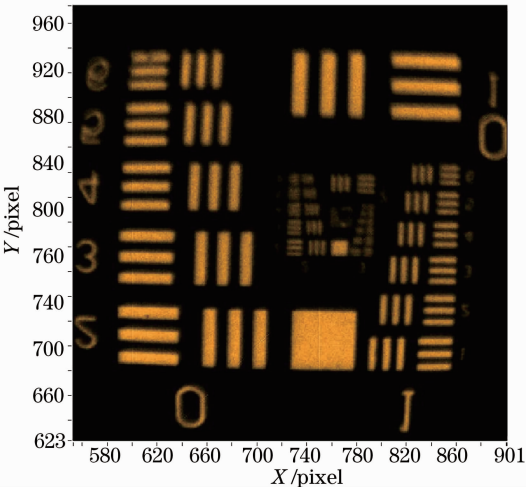


图 5 整形时间 $0.5 \mu\text{s}$ 分辨率板图像
Fig. 5 UV image of USAF1951 resolution target ($0.5 \mu\text{s}$)

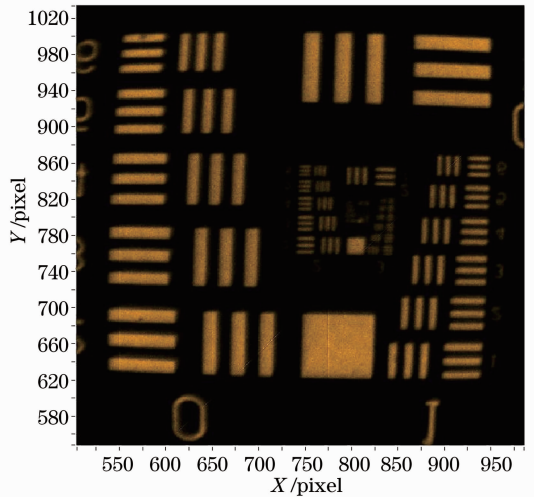


图 7 整形时间 $2 \mu\text{s}$ 分辨率板图像
Fig. 7 UV image of USAF1951 resolution target ($2 \mu\text{s}$)

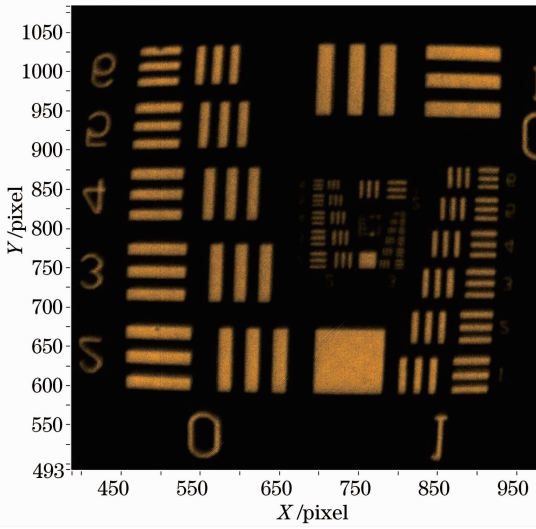


图 8 整形时间 $4 \mu\text{s}$ 分辨率板图像

Fig. 8 UV image of USAF1951 resolution target ($4 \mu\text{s}$)

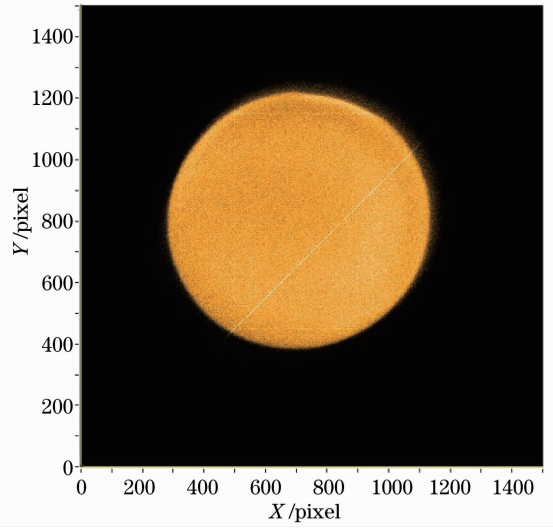


图 10 整形时间为 $0.5 \mu\text{s}$ 的图像(200 s, 81.7 kcounts/s)

Fig. 10 UV image for $0.5 \mu\text{s}$ shaping time (200 s, 81.7 kcounts/s)

3.3 最高计数率

探测器的计数率是衡量其性能的另一重要指标。测量方法是使用紫外光束直接照明探测器,探测器能产生一个完整的、具有清晰边缘轮廓的圆形图像的最高计数率即为此条件下的最大计数率,超过此计数率图像为无清晰边缘轮廓的非圆形图像或不能成像。图 9~13 是在探测器电压为 2400 V 时拍摄的不同整形时间探测器全口径的图像。图 9 对应 $0.25 \mu\text{s}$ 的整形时间,计数率约为 105 kcounts/s,成像时间为 100 s,图 10 对应 $0.5 \mu\text{s}$ 的整形时间,计数率为约 81.7 kcounts/s,成像时间为 200 s,图 11 对应

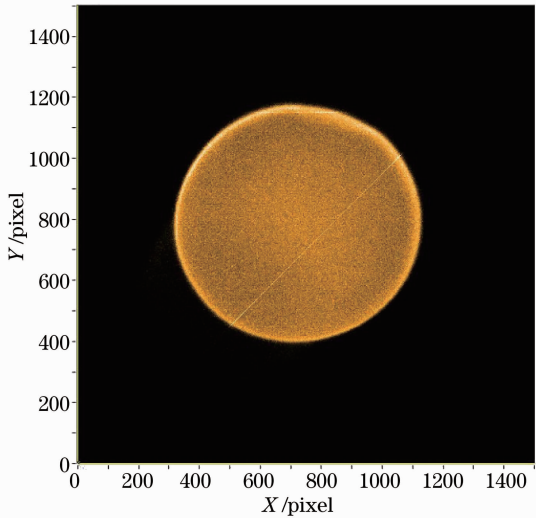


图 9 整形时间为 $0.25 \mu\text{s}$ 的图像(100 s, 105 kcounts/s)

Fig. 9 UV image for $0.25 \mu\text{s}$ shaping time (100 s, 105 kcounts/s)

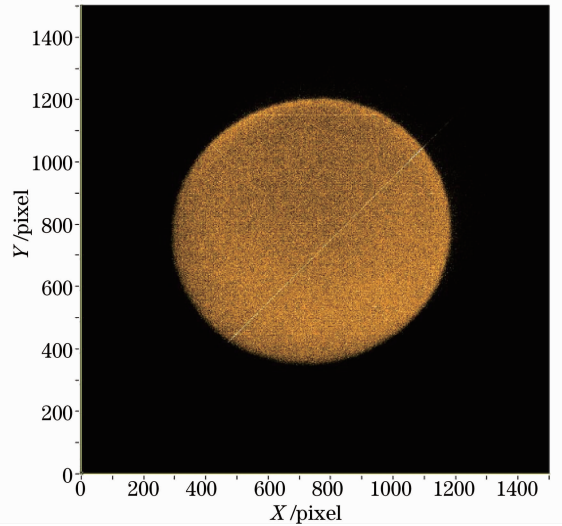


图 11 整形时间为 $1 \mu\text{s}$ 的图像(200 s, 42.6 kcounts/s)

Fig. 11 UV image for $1 \mu\text{s}$ shaping time (200 s, 42.6 kcounts/s)

$1 \mu\text{s}$ 的整形时间,计数率约为 42.6 kcounts/s,成像时间为 200 s,图 12 对应 $2 \mu\text{s}$ 的整形时间,计数率约为 23.3 kcounts/s,成像时间为 600 s,图 13 对应 $4 \mu\text{s}$ 的整形时间,计数率约为 11.4 kcounts/s,成像时间为 600 s。从上面的测量结果可知,仅有 $0.25 \mu\text{s}$ 和 $0.5 \mu\text{s}$ 整形时间能实现 80 kcounts/s 的最高计数率。

4 结 论

根据 FUV 波段成像光谱仪对其光子计数成像探测器最高输出计数率及空间分辨率的要求,研制了二维 FUV 波段感应电荷 WSA 阳极光子计数成像探测器的原理样机,使用自行研制的模拟和数字

参 考 文 献

- 1 R P McCoy. Space weather comes of age-new sensors and models for ionospheric specification and forecast [C]. SPIE, 2004, 5548: 341-347.
- 2 K F McCoy, G G Dymond, S E Fritz, *et al.*. Special sensor ultraviolet limb imager: an ionospheric and neutral density profiler for the defense meteorological satellite program satellites [J]. Opt Eng, 1994, 33(2): 423-429.
- 3 D C Humm, L J Paxton, A B Christensen. Design and performance of the global ultraviolet imager (GUVI) [J]. SPIE, 1998, 3445: 2-12.
- 4 S E Thonnard, S A Budzien, A C Nicholas. An update on the calibration and performance of the special sensor ultraviolet limb imagers (SSULI) [C]. SPIE, 1999, 3818: 90-98.
- 5 J S Lapington. A comparison of readout techniques for high-resolution imaging with microchannel plate detectors [J]. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 2004, 525(1-2): 361-365.
- 6 C Martin, P Jelinsky, M Lampton, *et al.*. Wedge-and-strip anodes for centroid-finding position-sensitive photon and particle detectors [J]. Rev Sci Instrum, 1981, 52(7): 1067-1074.
- 7 Yu Lei, Qu Yi, Lin Guanyu, *et al.*. Design and study of an optical system for a far ultraviolet imaging spectrograph in 120~180 nm carried by satellite [J]. Acta Optica Sinica, 2011, 31(1): 0112011.
于磊, 曲艺, 林冠宇, 等. 120~180 nm 星载远紫外电离层成像光谱仪光学系统设计与研究[J]. 光学学报, 2011, 31(1): 0112011.
- 8 Yu Lei, Wang Shurong, Qu Yi, *et al.*. Single-grating of optical system of imaging spectrometer with high resolution for ionosphere detection [J]. Acta Optica Sinica, 2011, 31(7): 0712005.
于磊, 王淑荣, 曲艺, 等. 用于电离层探测的单光栅高分辨率成像光谱仪光学系统研究[J]. 光学学报, 2011, 31(7): 0712005.
- 9 Xue Qingsheng, Wang Shurong, Li Futian. Study on limb imaging spectrometer with grating dispersion [J]. Acta Optica Sinica, 2010, 30(5): 1514-1521.
薛庆生, 王淑荣, 李福田. 光栅色散临边成像光谱仪的研究[J]. 光学学报, 2010, 30(5): 1514-1521.
- 10 Zhang Zhenduo, Wang Shurong, Li Futian, *et al.*. Study on calibration method of spectral irradiance responsivity for space ultraviolet remote sensing instrument [J]. Acta Optica Sinica, 2010, 30(6): 1816-1821.
张振铎, 王淑荣, 李福田, 等. 空间紫外遥感仪器光谱辐照度响应度定标方法研究[J]. 光学学报, 2010, 30(6): 1816-1821.
- 11 O H W Siegmund, M Lampton, S Chakrabarti, *et al.*. Application of wedge and stripe image readout systems to detectors for astronomy [C]. SPIE, 1986, 627: 660-665.
- 12 J S Lapington, H E Schwarz. The design and manufacture of wedge and strip anode [J]. IEEE Trans Nucl Sci, 1986, 33(1): 288-292.
- 13 V Radeka. Low noise techniques in detectors [J]. Ann Rev Nucl Part Sci, 1988, 38(38): 217-277.
- 14 F S Goulding, D A Landis. Signal processing for semiconductor detectors [J]. IEEE Trans Nucl Sci, 1982, NS29(3): 1125-1141.

栏目编辑：何卓铭

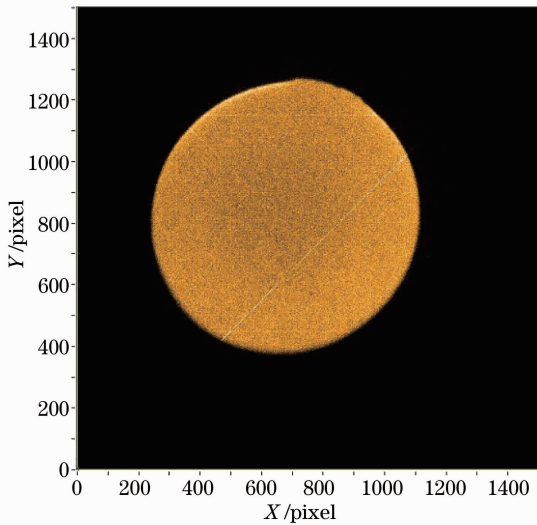


图 12 整形时间为 2 μ s 的图像(600 s, 23.3 kcounts/s)
Fig. 12 UV image for 2 μ s shaping time (600 s, 23.3 kcounts/s)

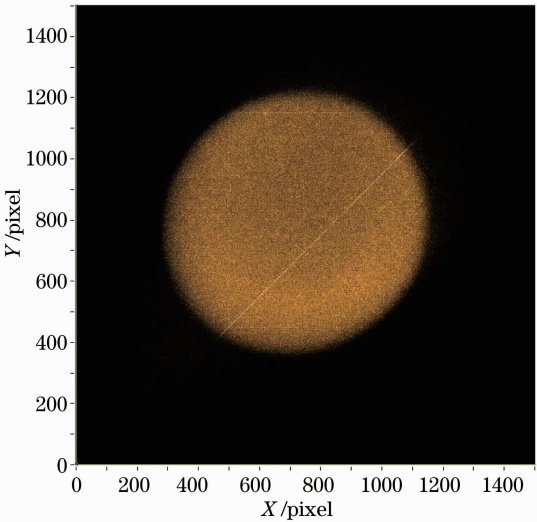


图 13 整形时间为 4 μ s 的图像(600 s, 11.4 kcounts/s)
Fig. 13 UV image for 4 μ s shaping time (600 s, 11.4 kcounts/s)

前端电路测量了使用不同整形时间的整形放大器的分辨率板图像及全口径图像,研究了整形时间对探测器空间分辨率及计数率的影响。试验表明对于感应电荷分割阳极探测器,其分辨率与计数率是相互制约的,分辨率越高,计数率越低,反之亦然,因此,只能在分辨率与计数率之间折中选择,两者不可兼得。选择 0.5 μ s 整形时间的放大器既能满足 FUV 成像光谱仪对分辨率的要求,也能满足其对计数率的要求。