

一维游标位敏阳极光子计数探测器*

鄢秋荣^{1)2)†} 赵宝升¹⁾ 杨 颢¹⁾²⁾ 刘永安¹⁾ 朱香平¹⁾ 李 梅¹⁾²⁾

1) (中国科学院西安光学精密机械研究所, 瞬态光学与光子技术国家重点实验室, 西安 710119)

2) (中国科学院研究生院, 北京 100049)

(2009 年 7 月 7 日收到; 2009 年 12 月 24 日收到修改稿)

报道了一维游标位敏阳极光子计数探测器, 详细介绍了一维游标位敏阳极的解码原理和设计结果. 搭建了基于一维游标位敏阳极探测器的紫外光子计数探测系统. 该系统工作于光子计数模式, 可同时测量单光子事件的一维坐标. 获得了对应入射光空间强度一维分布的脉冲计数分布图. 通过测试, 系统的分辨率优于 100 μm . 该探测器可以实现极微弱的高能光子、电子和离子等粒子流强度分布的一维探测, 因此可以用于深空探测、光谱测量、高能物理以及生物发光探测.

关键词: 光子计数, 游标阳极, 微通道板, 一维

PACC: 4250, 2970J, 2940T

1. 引 言

光子计数探测是一种极微弱光的探测方法. 当辐射光极微弱时, 光子计数探测器输出电信号呈离散电子脉冲的特点. 光子计数探测采用脉冲甄别技术识别极微弱的电信号并利用光子计数技术来探测光强^[1]. 用于微弱光探测的光电器件主要有光电倍增管(PMT)、雪崩光电二极管(APD)、增强型光电二极管(IPD)、微通道板(MCP)、真空光电二极管(VAPD)和超导单光子探测器(SSPD)等^[2-4].

光电倍增管、雪崩光电二极管、增强型光电二极管、真空光电二极管和超导单光子探测器都属于点探测器, 只能提供单点的时域光强信息, 要实现辐射光强的空间分辨, 必须移动高精度的分光元件或其他光学扫描元件. 虽然增强器耦合 CCD (ICCD) 和电子轰击 CCD (EBCCD) 工作于光子计数模式时, 也可以实现微弱光辐射光强的空间分辨, 但要求 CCD 具有极高的读出帧频和极低的电路暗噪声, 因此必须采用深度制冷措施降低电路暗噪声, 极大地增加了研制成本. 因此要探测极微弱光的空间光强分布, 探测器一般采用基于微通道板的位敏阳极探测器方案. 相比于 ICCD 和 EBCCD 等耦合型探测器, 位敏阳极探测器具有信噪比高、灵敏

度高、动态范围宽、抗漂移性好等优点. 位敏阳极主要有电阻阳极(resistive anode)、楔条形阳极(wedge and strip anode)、延时线(delay-line)、游标阳极(vernier Anode)、交叉条纹阳极(cross strip anode)以及多阳极微通道阵列(MAMA)等^[5,6]. 相比于其他类型的位敏阳极, 游标阳极具有极高的空间分辨率^[7].

本文详细介绍一维游标位敏阳极光子计数探测器的研制, 搭建了基于一维游标位敏阳极探测器的紫外光子计数探测系统. 获得了反映了入射光空间强度一维分布的脉冲计数分布图. 该探测器可以实现极微弱的光子、电子和离子等粒子流强度分布的一维探测, 因此可以用于深空探测、光谱测量、高能物理以及生物发光探测.

2. 一维游标位敏阳极光子计数探测器

图 1 为探测器的结构示意图, 探测器由输入窗、光电阴极、级联的微通道板、游标位敏阳极组成. 探测器的工作原理是当探测器工作在光子计数模式下时, 进入输入窗的光子, 经镀在 MCP 表面的光电阴极产生光电效应, 以一定的量子效率发射光电子. 光电子经过级联的微通道板倍增, 形成电荷云团. 电荷云团经过电场加速, 撞击在位敏阳极上, 电

* 国家自然科学基金重点项目(批准号:10878005)资助的课题.

† E-mail: yanqiurong@opt.ac.cn

荷云团由游标位敏阳极上的互相绝缘的六组条形电极收集. 从级联微通道板出射的电子云团的电荷密度分布呈近似高斯分布, 在电荷云团扩散半径较小时, 各组电极收集的电荷量可以近似为与被电荷云团覆盖的电极面积成正比关系. 因此根据各电极收到的电荷量, 可求解电荷云团的质心位置. 电荷云团质心的位置对应了光电子发射的位置. 从而可以实现对单光子事件进行计数的同时, 记录其位置信息.

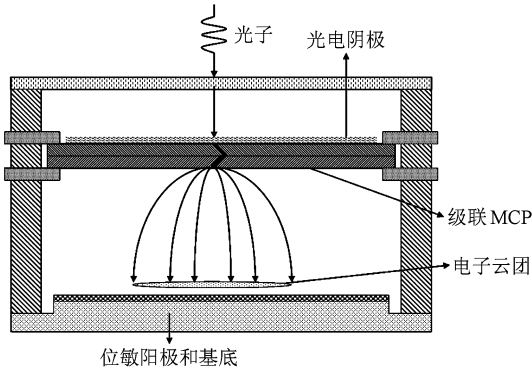


图1 位敏阳极探测器结构示意图

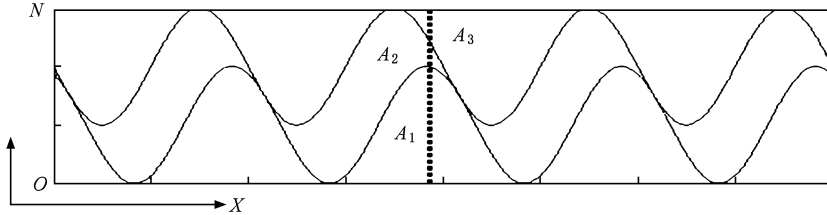


图2 游标位敏阳极结构的基本单元

这三个条带的宽度沿测量方向的变化可以分别用函数描述如下:

$$A_1 = \frac{N}{3} + \frac{N}{3} \sin(\theta_A + \varphi), \quad (1)$$

$$A_2 = \frac{N}{3} + \frac{N}{3} \sin\left(\theta_A - \frac{2\pi}{3} + \varphi\right), \quad (2)$$

$$A_3 = \frac{N}{3} + \frac{N}{3} \sin\left(\theta_A - \frac{4\pi}{3} + \varphi\right), \quad (3)$$

其中 N 为矩形条带的宽度. φ 为绝缘沟道初始相位. θ_A 相位因子. 因此这三个条带的宽度 A_1, A_2 和 A_3 的比例关系可以用一个相位 θ_A 来描述, 在一个周期内, θ_A 在 $[0, 2\pi]$ 内变化. 因此当电荷云团打在这三个电极上时, 三个阳极条带的被电荷云覆盖的面积可以分别用以下函数表示:

$$S_{A1} = \int_{\theta_0 - \frac{\Delta\theta}{2}}^{\theta_0 + \frac{\Delta\theta}{2}} \left[\frac{N}{3} + \frac{N}{3} \sin(\theta_A + \varphi) \right] d\theta, \quad (4)$$

MCP 是由 10^4 — 10^7 个相互平行微通道电子倍增管组成的阵列, 由许多特殊空心玻璃纤维压制而成的一块很薄的板. 通过两块 V 形级联或者三块 Z 形级联的 MCP 能够提供 10^6 — 10^7 的增益. 由于 MCP 的面阵结构, MCP 可以看成由上百万个坐标位置完全确定的, 相对独立的计数通道组成, 因此 MCP 用于极微弱光的探测, 工作在光子计数模式下, 具有位置灵敏的特性. MCP 对离子、电子和部分高能光子都有直接的灵敏度, 如在软 X 射线和 30—110 nm 的紫外波段有 5%—15% 量子效率, 且在 MCP 输入面上镀膜光电阴极, 还可将探测器的应用扩展到他波段. 因此基于微通道板的位敏阳极探测器, 能应用于对极微弱光探测提出了越来越高要求的深空探测、光谱测量、高能物理以及生物发光探测^[8-10].

游标位敏阳极包括绝缘基底以及在绝缘基底上制作用于电荷收集的导电层. 图 2 为游标位敏阳极的基本单元. 两条周期和振幅相同的正弦绝缘沟道将矩形长条分割为三个条带, 这三个条带宽度 A_1, A_2 和 A_3 的比例关系沿测量方向 X 周期性变化.

$$S_{A2} = \int_{\theta_0 - \frac{\Delta\theta}{2}}^{\theta_0 + \frac{\Delta\theta}{2}} \left[\frac{N}{3} + \frac{N}{3} \sin\left(\theta_A - \frac{2\pi}{3} + \varphi\right) \right] d\theta, \quad (5)$$

$$S_{A3} = \int_{\theta_0 - \frac{\Delta\theta}{2}}^{\theta_0 + \frac{\Delta\theta}{2}} \left[\frac{N}{3} + \frac{N}{3} \sin\left(\theta_A - \frac{4\pi}{3} + \varphi\right) \right] d\theta, \quad (6)$$

其中 θ_0 为电荷云质心处的相位. $\Delta\theta$ 为电荷云团直径对应的相位宽度. 因此根据相位值可以计算出电荷云团质心的周期性位置. 沿测量方向 X , 相位值在 $[0, 2\pi]$ 范围内周期性变化, 所以一个游标位敏阳极的基本单元, 能计算一个周期内的具体位置, 要解码出电荷云团质心一维坐标, 阳极收集区必须由两个绝缘沟道波长不等的位敏阳极基本单元组成.

图 3 为一维游标位敏阳极的电荷收集区示意图, 电荷收集区为由两种不同波长绝缘沟道的上述基本电极单元构成的矩形区域, 即波长为 $\lambda_A = L/n$ 的 A 电极单元, 波长为 $\lambda_B = L/m$ 的 B 电极单元. 其

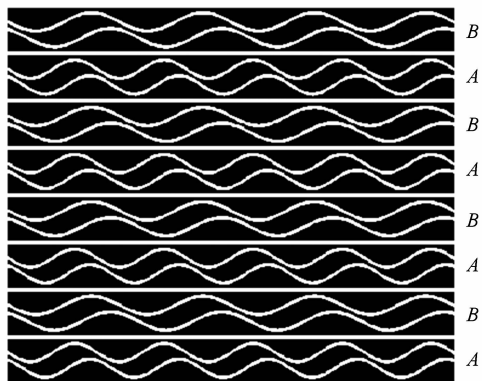
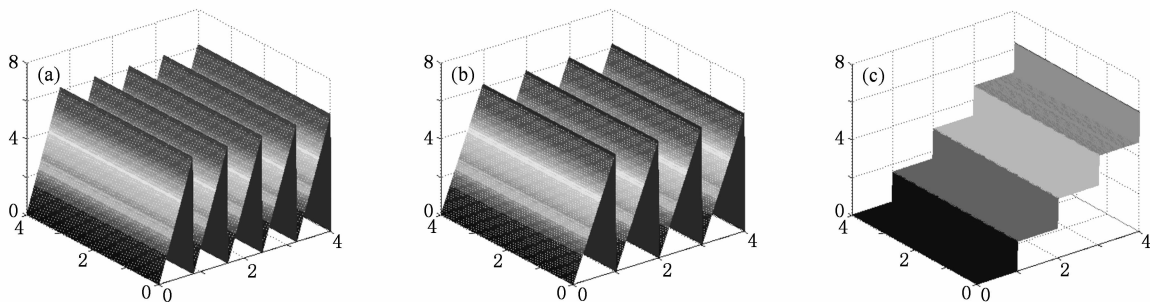


图3 一维游标位敏阳极的电荷收集区示意图

中 L 为电荷收集区的宽, n 和 m 分别称为 A 电极单元和 B 电极单元的周期数. 示意图 3 中取值 $\lambda_A = L/5, \lambda_B = L/4$. 电荷收集区为 A 和 B 的电极单元交叉排列而成的矩形区域. 一组 A 电极单元和 B 电极

单元组合称为一个节距, 示意图中只画出了 3 个节距. 当 A 和 B 电极单元的数量多, 则单元电极宽度 N 很小, 二维平面任何一点 (x, y) 对应于一个相位 θ_A 和一个相位 θ_B , 由周期数分别为 5 和 4 的 A 电极单元和 B 电极单元的排列成的 4×4 矩形电荷收集区域, θ_A 在二维平面任一点的相位分布如图 4(a) 所示, 沿测量方向 X, θ_A 在 $[0, 2\pi]$ 范围内周期性变化, 变化的周期数为 5. 同理 θ_B 在二维平面任一点的相位分布如图 4(b) 所示, 沿测量方向 X, θ_B 在 $[0, 2\pi]$ 范围内周期性变化, 变化的周期数为 4. 若 A, B 两种类型电极的周期数 n 和 m 符合关系式: $n = m + 1$, 令 $\theta_z = \theta_A - \theta_B - \theta_B/n$, 则 θ_z 在二维的分布值为一系列台阶. 每个台阶表示一个离散值. 这些离散值可以用矩阵表示为

$$\theta_z = \left[0, \frac{1 \times 2\pi}{m}, \frac{2 \times 2\pi}{m}, \dots, \frac{(m-1) \times 2\pi}{m} \right]. \quad (7)$$

图4 相位的二维分布图 (a) A 型电极; (b) B 型电极; (c) θ_z

因此与图 4 (a) 和图 4 (b) 所示 θ_A 和 θ_B 分布相对应, θ_z 的相位分布图如图 4 (c) 所示, 由 4 个台阶组成. 因此一维游标阳极在 X 方向的位置解码可以用下式表示:

$$X = \lambda_B \frac{\theta_B}{2\pi} + i\lambda_B, \quad (8)$$

其中 i 为 θ_z 相位矩阵的索引值. 因此游标阳极采用了“细调”和“粗调”结合的解码技术^[11]. 所谓“细调”, 即解码公式的第一项, 解码出在一个周期内的具体位置. 所谓“粗调”, 即解码表达式的第二项, 根据 θ_z 的值解码出属于哪个周期.

图 5 为利用微电子工艺加工出一维游标位敏阳极, 绝缘基底为 PCB 板材, 阳极导电层为铜, 阳极收集区长度为 40 mm, 宽度为 18 mm, 导电层的厚度为 5 μm . 阳极最小宽度为 30 μm . 游标位敏阳极设计参数主要包括: 正弦绝缘沟道的初相位、振幅和波

长, 阳极最小宽度和绝缘沟道宽度. 优化这些参数使游标阳极具有合理的电极分布结构和极间电容,

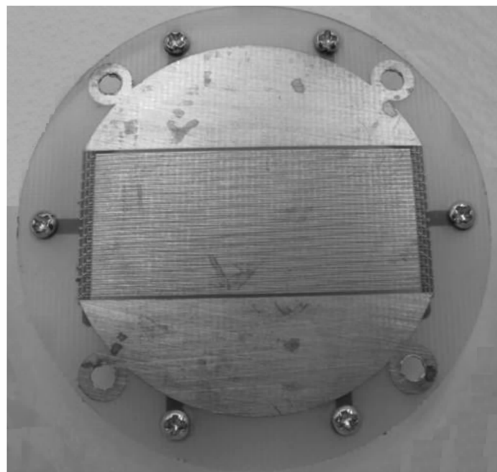


图5 一维游标位敏阳极

因为电极分布结构和极间电容是影响探测器分辨率和计数率的两个主要因素。绝缘沟道的宽度和阳极最小宽度都应该适中,绝缘沟道宽度过小将明显增加阳极极间电容和制造难度,过大将减少阳极的收集面积从而降低探测器的分辨率。阳极最小宽度过小将明显增加阳极电阻,过大将减低阳极的位置分辨灵敏度。文中设计游标位敏阳极, A 型电极绝缘沟道的波长为 8 mm, B 型电极绝缘沟道的波长为 10 mm。绝缘沟道的宽度为 20 μm 。阳极最小宽度为 30 μm 。

3. 紫外光子计数探测实验系统

搭建的实验系统装置如图 6 所示,整个实验系统由单光子源^[12],探测器,电子读出系统、数据采集卡和计算机组成。单光子源由汞灯、多块减光片和

滤光片搭建而成^[13],低压汞灯发出的紫外辐射主要集中在 253.7 nm 上,占总辐射功率的 89.4%。减光片的作用是对光进行减弱。选择中心波长在 253.7 nm 的窄带滤光片滤除其他波段入射光子,模拟 253.7 nm 紫外辐射单光子源。通过减光片的数量来调节入射光子流强度,保证探测器工作在光子计数模式和不同的计数率下。

探测器放在真空室内,掩模板近贴 MCP 输入面放置,以改变 MCP 输入面光强的空间分布。因为 253.7 nm 的紫外光子能以非常低的量子效率与 MCP 产生光电效应,所以在实验中 MCP 输入面没有镀膜光电阴极。采用两块相同 MCP“V”形级联, MCP 的孔径为 25 μm ,孔间距为 32 μm ,长径比为 40:1,外径为 50 mm,厚度 1 mm。MCP 两端工作电压为 -1900 V, MCP 输出面与阳极间加速电压为 -300 V, MCP 输出面与阳极间距离为 13 mm。

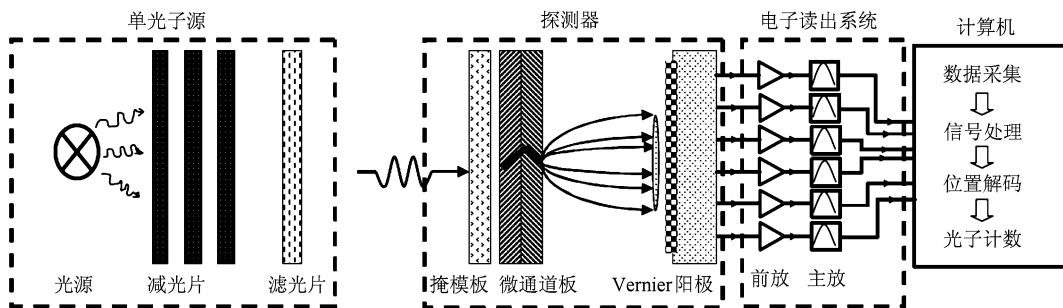


图 6 基于—维游标位敏阳极探测器的紫外光子计数探测系统

电子读出系统由六路前放和主放组成。前放采用电荷灵敏放大器,将电荷信号反相放大为电压脉冲信号。主放将前放输出信号整形成的准高斯脉冲以便后续处理,同时提供信适当的增益,使主放输出信号的范围与数据采集卡的量程相匹配。

经主放整形后的六路电压脉冲信号输入 PCI 数据采集卡的进行高速、同步采集。由开发的计算机软件对所采集数据进行处理,软件功能模块包括数据采集模块,信号处理模块,位置解码模块和光子计数模块。其中数据采集模块对采样参数进行控制。信号处理模块通过对所采集数据进行滤波去噪,峰值检测,幅度鉴别和去脉冲堆积处理,甄别出单光子事件,并计算出单光子事件的六个峰值电压。位置解码模块是根据峰值数据,利用游标阳极的解码算法,对单光子事件进行位置解码。光子计数模块是对不同坐标位置的单光子事件进行计数。

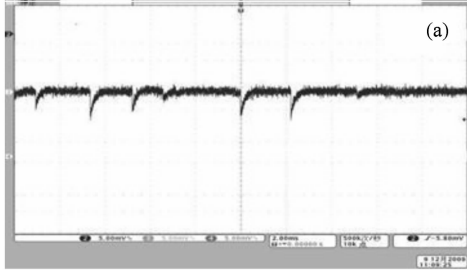
4. 实验结果与分析

为了使探测器工作在光子计数模式下,单光子源该弱到这样一个状态,即在位敏阳极探测器响应时间内(等于阳极输出电子脉冲宽度),MCP 输入面产生两个以上光电子发射的概率非常小,即在探测器响应时间内,MCP 输入面产生的光电子发射为一个或零个。此时探测器阳极输出信号为离散的电脉冲序列,如图 7(a)所示为其中一路输出,一个脉冲代表一次单光子事件。在探测器响应时间内,MCP 输入面产生两个以上光电子发射时,探测器输出信号将出现脉冲堆积,如图 7(b)所示。在光子计数模式下,代表单光子事件的脉冲数和 MCP 输入面入射的光子数的比值可以近似用下式表示:

$$N_c/N_p = \eta \times \alpha = E, \quad (9)$$

其中 N_c 代表单光子事件的脉冲数, N_p 表示入射的

光子数, η 表示 MCP 输入面光电转换的量子效率, α 表示阳极的收集效率, E 表示探测效率. 由于(9)式是基于统计规律的表达式^[14], 因此探测的时间越长, 入射的光子数越多, 比值越稳定的. 光电转换量子效率 η 越大, 测量精度就越高. MCP 对 253.7 nm 的紫外光的量子效率只有千分之一左右, 因此探测器用于探测量子效率高的其他粒



子时, 将得到更高的分辨率. 所设计的探测器工作在计数率小于 5×10^4 counts/s 时, 可获得较好的分辨率. 因此根据(9)式, 可估算出单光子源单位时间内发射到 MCP 输入面的光子数应小于 5×10^7 counts/s. 实验中通过改变单光子源中减光片的数量来调节入射光强, 使探测器工作在不同的计数率下.

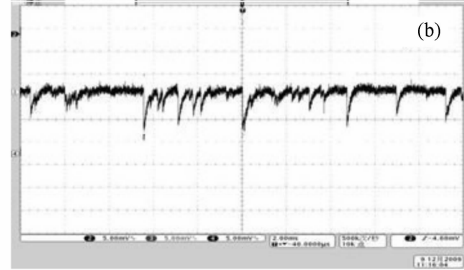


图 7 探测器阳极输出信号 (a) 无脉冲堆积; (b) 有脉冲堆积

阳极直接输出的电子脉冲幅度与阳极收集到的电荷量成正比, 因此提高级联 MCP 两端工作电压, 使 MCP 工作在饱和增益模式, 提高 MCP 增益, 能提高信噪比. 所设计探测器采用两块 MCP“V”形级联, 在两端加上 1900V 电压时, 获得了大约 3×10^6 的增益. 阳极输出电子脉冲的宽度与 MCP 的死时间, 电子在探测器内部的渡越时间, 阳极输出的 RC 时间常数有关. 实际上电子云团到达阳极然后输出的过程是一个充放电的过程, 由于电子云团被 MCP 输出面和阳极间的电压加速后撞击在阳极面, 因此充电过程非常快, 所以脉冲下降沿很陡. 由于阳极极间电容和阳极电阻对放电速度的影响, 脉冲的上升沿较缓. 因此优化阳极设计, 使阳极输出有较小的 RC 时间常数, 可以提高探测器的最大计数率. 所设计阳极平均电容为 67.6 pF, 阳极平均电阻为 8.6 Ω , MCP 通道死时间为 18 ms, 在 MCP 两端电压为 -1900 V, MCP 输出面与阳极间电压为 -300 V 的条件下, 如图 7(a) 所示, 阳极输出电子脉冲下降沿约为 10 ns 左右, 上升沿为约为 400 μ s. 在 MCP 输出面与阳极间加上加速电压, 使 MCP 输出面和阳极间形成平行的加速电场, 不仅可以减小电子的渡越时间和阳极的收集效率. 还可以减小电子云团的畸变, 从而提高位置解码精度. MCP 输出面与阳极间的距离越大, 电子云团半径越大. 电子云团半径过小, 覆盖电极的周期数小, 导致质心的位置解码不精确. 电子云团半径过大, 边缘电子云团将超出阳极收集区的边

缘, 使电荷收集不全, 导致错误解码. 因此 MCP 输出面与阳极间的距离应适中. 所设计探测器 MCP 输出面与阳极距离为 13 mm, 电子云团半径约为 10 mm.

探测器阳极输出的电子脉冲序列除了用于光子计数外, 同时还携带了单光子事件的位置信息, 因此为保证位置解码的正确, 要求电荷信号经电子读出系统变换为电压脉冲信号后, 电压信号脉冲的峰值电压正比于阳极收集的电荷量. 由于阳极直接输出的电子脉冲幅值非常小且下降沿约为 10 ns, 因此电荷灵敏前放应有极低的噪声, 较宽的动态范围和较高的灵敏度, 且应尽量靠近探测器阳极输出端放置, 避免外界干扰, 以提高信噪比. 电荷灵敏前放输出的脉冲信号如图 8(a) 所示. 输出信号的上升沿约为 10 ns, 下降沿约为 2 ms. 因此需通过主放整形形成的峰值变化平坦的准高斯脉冲以便求峰值. 实验中主放由极零相消电路和 4 级整形滤波电路组成, 整形电路时间常数为 1 μ s. 通过增加整形滤波电路的级次可以得到较好的准高斯波形. 但级次过多, 由于整形时间常数大, 输出脉冲变宽, 将降低最大计数率. 为保证脉冲的峰值正比于阳极收集的电荷量, 极零相消电路的时间常数和整形时间常数应尽量接近. 主放输出的信号如图 8(b) 所示, 为宽度约 5 μ s 准高斯脉冲. 因此系统的理论最大计数率约为 2×10^5 counts/s. 理论最大计数率只是一个参考值, 实际工作的最大计数率远小于理论最大计数率.

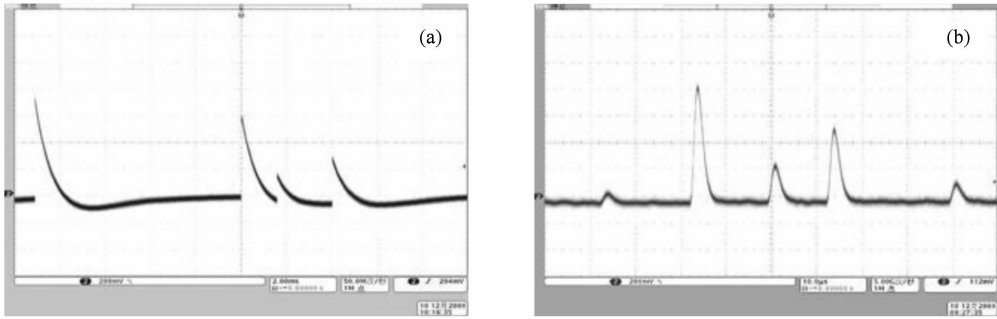


图 8 电子读出系统输出信号 (a)前放输出信号；(b)主放输出信号

输出的脉冲信号除了代表单光子事件的信号脉冲外,还包含有少量的噪声脉冲和堆积脉冲. 大多数暗电流引起的噪声脉冲幅度较小,宇宙射线等高能粒子引起的噪声脉冲较大. 在数据处理时,根据 MCP 的脉冲幅度分布,设定最大和最小阈值可以去除大部分噪声脉冲,有效地提高空间分辨率. MCP 表面热电子发射引起的暗脉冲,由于幅度与信号脉冲相当,因此无法去除. 有效的去脉冲堆积算法可鉴别堆积脉冲,提高探测器工作在较大计数率时的分辨率.

制作如图 9(a)所示掩模板测试实验系统的分辨率. 通光矩形长条的间隔与矩形宽度相等,沿测量位置 X 方向,通光矩形的宽度,分别为 $500\ \mu\text{m}$, $300\ \mu\text{m}$, $150\ \mu\text{m}$, $200\ \mu\text{m}$, $400\ \mu\text{m}$, $100\ \mu\text{m}$. 在掩模板放置时,条形带垂直于游标阳极条带的方向,因此对应同一个测量位置 X ,单光子事件的计数值与噪声等引起的计数值的比值大,因此提高了信噪比,更易验证探测器设计和解码的正确性. 在真空度优于 $5 \times 10^{-4}\ \text{Pa}$,MCP 两端电压为 $-1900\ \text{V}$,MCP 输出面与阳极电压为 $-300\ \text{V}$,平均计数率为 1.02

$\times 10^3\ \text{counts/s}$ 的实验条件下,采样率为 $5\ \text{MHz}$,采集 $30\ \text{min}$ 得到的脉冲计数分布图如图 10 所示,图中的计数值是经过位置解码后,不同坐标的脉冲的计数值. 忽略噪声脉冲和堆积脉冲的对计数值的影响,脉冲计数值近似等于单光子事件的计数值. 根据(9)式,脉冲计数值正比于入射光子数. 因此脉冲计数值的空间分布可以反映 MCP 输入面入射光的强度的空间分布. 由图 10 可以看出,各计数峰值位置与掩模板的通光孔位置相对应,脉冲的半高宽与长条形的宽度对应. 有的计数脉冲峰值高,有的计数脉冲峰值低. 这是由于实验中使用的单光子源不是均匀的平行光且 MCP 输入面边缘漏光,导致 MCP 输入面的光照不均匀造成的,图 9(b)是利用图像处理技术将脉冲计数分布转换成的直观灰度图. 灰度等级为 256,因为一维游标阳极只有一维分辨,不能二维成像,因此灰度图中条带的长度,由程序设定为特定值,大小为条带在灰度图中的对应的长度. 沿测量位置 X 方向,计数值越大的地方,灰度值越大,图像越亮. 实验结果显示,该实验系统的分辨率优于 $100\ \mu\text{m}$.

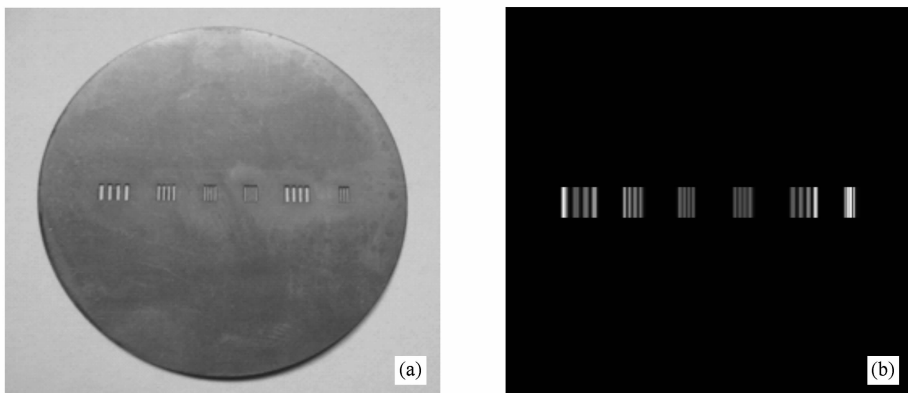


图 9 掩模板及与其对应的合成灰度图 (a)掩模板；(b)合成灰度图

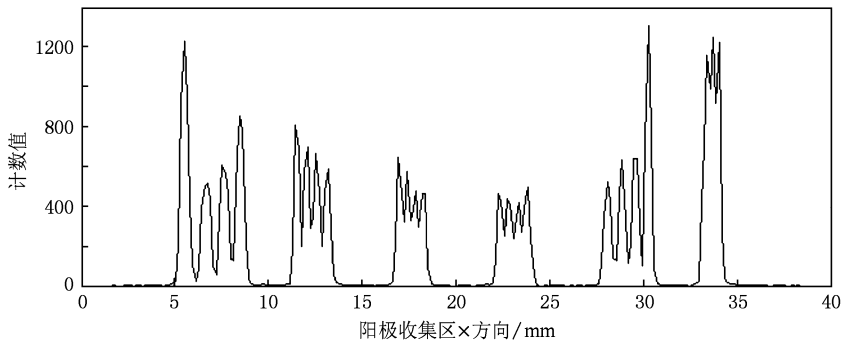


图 10 脉冲计数分布图

5. 结 论

研制出了一维游标位敏阳极光子计数探测器, 搭建了基于一维游标位敏阳极的紫外光子计数探测系统. 实验验证了一维游标位敏阳极设计与解码理论的正确性, 并对探测器进行了分辨率测试. 实验结果显示分辨率优于 $100 \mu\text{m}$. 通过

提高量子效率、优化阳极设计、提高电子读出电路的性能和改进数据处理等方法, 可以进一步提高系统的分辨率. 据文献报道^[15], 理论上游标位敏阳极可以达到 MCP 孔径尺寸的极限分辨率. 该探测器可以实现极微弱的高能光子、电子和离子等粒子流强度分布的一维探测, 因此可以用于深空探测、光谱测量、高能物理以及生物发光探测.

- [1] Zhang X J, Wan J L 2007 *Laser Journal* **28** 13 (in Chinese) [张雪皎、万钧力 2007 激光杂志 **28** 13]
- [2] Zhang Z X, Han Z F, Liu Y, Guo G C 2007 *Progress in Physics* **27** 1 (in Chinese) [张忠祥、韩正莆、刘云、郭光灿 2007 物理学进展 **27** 1]
- [3] Wei Z J, Li K Z, Zhou P, Wang J D, Liao C J, Guo J P, Liang R S, Liu S H 2008 *Chin. Phys. B* **17** 4142
- [4] Sun Z B, Ma H Q, Lei M, Yang H D, Wu L A, Zhai G J, Feng J 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 5790 (in Chinese) [孙志斌、马海强、雷鸣、杨汉东、吴令安、翟光杰、冯稷 2007 物理学报 **56** 5790]
- [5] Czasch A, Milnes J, Hay N, Wicking W, Jagutzki O 2007 *Nucl. Instr. and Meth.* **580** 1066
- [6] Miao Z H, Zhao B S, Zhang X H, Liu Y A 2008 *Chin. Phys. Lett.* **25** 2698
- [7] Lapington J S, Sanderson B, Worth L B C, Tandy J A 2002 *Nucl. Instr. and Meth.* **447** 250
- [8] Sun X L, Krainak M A, Abshire J B, Spinhirne J D, Trotter C, Davies M, Dautet H, Allan G R, Lukemire A T, Vandiver J C 2004 *J. Mod. Opt.* **51** 1333
- [9] Gallivanoni A, Rech I, Resnati D, Ghioni M, Cova S 2006 *Optics Express* **14** 5021
- [10] Sun Y W, Qiu J L, Zhao L L, Xu G X, Ding Z H, Niu H B 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 772 (in Chinese) [孙怡雯、屈军乐、赵羚伶、许改霞、丁志华、牛憨笨 2008 物理学报 **57** 772]
- [11] Lapington J S, Sanderson B 2000 *Proc. SPIE* **4139** 242
- [12] Ma H Q, Wang S M, Wu L A. 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 717 (in Chinese) [马海强、王素梅、吴令安 2009 物理学报 **58** 717]
- [13] Zhang X H, Zhao B S, Miao Z H, Zhu X P, Liu Y A, Zou W 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 4238 (in Chinese) [张兴华、赵宝升、缪震华、朱香平、刘永安、邹玮 2008 物理学报 **57** 4238]
- [14] Li Y, Li G, Zhang Y C, Wang X Y, Wang J M, Zhang T C 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 5779 (in Chinese) [李园、李刚、张玉驰、王晓勇、王军民、张天才 2006 物理学报 **55** 5779]
- [15] Lapington J S 2003 *Proc. SPIE* **4854** 191

One-dimensional photon counting detector with vernier position sensitive anode^{*}

Yan Qiu-Rong^{1) 2) †} Zhao Bao-Sheng¹⁾ Yang Hao^{1) 2)} Liu Yong-An¹⁾ Zhu Xiang-Ping¹⁾ Li Mei^{1) 2)}

1) (*State Key Laboratory of Transient Optics and Photonics, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China*)

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

(Received 7 July 2009; revised manuscript received 24 December 2009)

Abstract

One-dimensional photon counting detector with vernier position sensitive anode is reported. The decode principle and design of vernier position sensitive anode are described in detail. An ultraviolet photon counting system was built based on one-dimensional photon counting detector with vernier position sensitive anode. One-dimensional coordinates of single-photon events can be simultaneously measured when the detection system works in photon counting mode. The spatial distribution of pulse counts, which corresponds to one-dimensional spatial distribution of incident light intensity, was obtained. The resolution of this system is better than 100 m μ according to the resolution test. The detector can detect one-dimensional spatial distribution of the intensity of very weak particle flow such as high-energy photons, electrons and ions flow, so it can be used for deep space exploration, spectral measurement, high-energy physics and bio-luminescence detection.

Keywords: photon counting, vernier anode, micro-channel plate, one dimension

PACC: 4250, 2970J, 2940T

^{*} Project supported by the Key Program of National Natural Science Foundation of China (Grant No. 10878005).

[†] E-mail: yanqiuorong@opt.ac.cn