

微通道板的饱和效应对条纹相机动态范围的影响分析*

潘京生¹⁾²⁾ 亓鲁¹⁾ 肖洪亮¹⁾ 张蓉²⁾ 周建勋²⁾ 蒲冬冬²⁾ 吕景文^{1)†}

1) (长春理工大学材料科学和工程学院, 长春 130022)

2) (北方夜视技术股份有限公司南京分公司, 南京 211106)

(2012年4月11日收到; 2012年5月30日收到修改稿)

条纹相机通常采用微通道板的内增强或外增强这两种方式来提高信号探测阈值, 也由此引入了微通道板饱和效应对系统动态范围的限定. 通过一个非连续电阻电容打拿极链的通道模型, 对微通道板的饱和效应进行了描述, 说明了在条纹相机中, 微通道板输入输出的线性范围限定于通道的贮存电荷, 即使是在外增强方式中采用低阻抗微通道板, 传导电流的补偿作用也极其有限, 微通道板内增强和外增强条纹相机应具有相近的动态范围, 低阻抗微通道板仅在高重复率的连续拍摄时方可发挥功效, 同时还说明了微通道板增益的正确设置对条纹相机动态范围的重要影响.

关键词: 条纹相机, 微通道板, 动态范围, 饱和效应

PACS: 42.79.Pw, 07.85.Nc

1 引言

基于扫描变极管 (简称条纹管) 的条纹相机是一种通过多级光电子转换的经典光电成像仪器, 通过微通道板 (microchannel plate, MCP) 的内增强或外增强, 以显著提高系统灵敏度, 实现对单光子的测量, 而结合各种光学系统和光阴极的使用, 以及更换扫描模块, 条纹相机可测量从 X 射线到近红外的各种不同波长和强度范围的辐射物的瞬态光学现象.

X 射线条纹相机是惯性约束聚变 (inertial confinement fusion, ICF) 诊断仪器的必备集成部分, 在对高温高密度等离子体软 X 射线辐射的时间、空间和能谱的测量中, 不同信号分量的辐射强度相差很大, 条纹相机动态范围的拓展成为竞相努力的目标^[1-4]. 充分理解条纹相机的系统特性和 MCP 的饱和效应, 可更好的设置仪器在特定测量条件下的

应用参数, 以确保系统的动态范围达到更好的指标要求.

2 内增强和外增强条纹相机构造及特性描述

图 1 所示的是外增强和内增强条纹相机的基本组成. 当输入信号光脉冲通过一个狭缝聚焦到条纹管的光阴极上, 沿狭缝方向释放出正比于入射光强度的空间一维的光电子束, 一个高静态电压施加在光阴极和加速栅极之间, 抽取电子并向阳极加速, 然后由两个相互垂直的静电场组成电子光学系统中继, 垂直于狭缝方向 (时间轴) 和沿狭缝方向 (空间轴) 的电子光学系统相互独立地聚焦电子束. 通过对一个平行偏转板施加一个高速偏转电压, 沿时间轴方向来扫描这些光电子束, 使那些有着些许不同到达时间的电子, 在垂直方向上轻微地不同

* 国家自然科学基金 (批准号: 11075026) 资助的课题.

† E-mail: ljwcc@126.com

角度地被偏离, 由此在荧光屏上转变成一个空间时间的二维图像, 以提供时间、空间和光强度的对应信息, 并通过纤维光学偶合到 CCD 成像系统被读出记录. MCP 内增强, 是在条纹管内的荧光屏前近贴装置 1 片 MCP, 扫描偏转后的电子束进入 MCP 被直接倍增后, 再在荧光屏上转换成图像. 而 MCP 外增强, 则是在条纹管荧光屏和 CCD 读出系统间偶合一个双近贴像增强器. 条纹相机通过光阴极和 MCP 选通来实现系统在测量前后对光的不响应, 外增强的像增强器中也采用了光阴极选通.

条纹相机的动态范围定义为时间分辨力保持线性或在可接受的限定程度内的测量光强度范围, 通常采用信号阈值以上直到测量的时间宽度较其已知实际宽度变宽 20% 时的光强度范围 [5-7]. 条纹相机的时间分辨力定义为相对于一个时间宽度无限接近于零但不等于零的入射光脉冲的条纹像强度的 FWHM. 假定条纹相机各个组成部份相应

的分辨力都是统计上互不相关的高斯波形的反卷积函数, 时间分辨力损失可由 $\Delta t = (\sum_i \Delta t_i^2)^{1/2}$ 描述, 源于电子束在从条纹管光阴极到荧光屏间的各个部分传输期间的传输时间散布和空间电荷效应 [8], 以及电子束被 MCP 倍增后经光学读出时的动态空间分辨能力的恶化 [9]. 特别是测量一个源限定的弱信号, 通过简单调节 MCP 的工作电压, 提高系统的辐射增益和灵敏度, 可显著降低探测阈值, 但由此引入了 MCP 饱和效应对条纹相机动态范围的限定.

为更好的理解条纹相机的动态范围的概念, 这里把条纹管信号入射能量和光阴极的光电子数量与 CCD 成像系统的输出信号数量关联起来. CCD 输出信号的数量除以产生这个信号的入射能量即得到以 ADUs/nJ 为单位的条纹相机的辐射增益, 利用光阴极灵敏度 (Amps/Watt) 和 CCD 增益 (CCDe-/ADU) 可将这个值转换成其他单位.

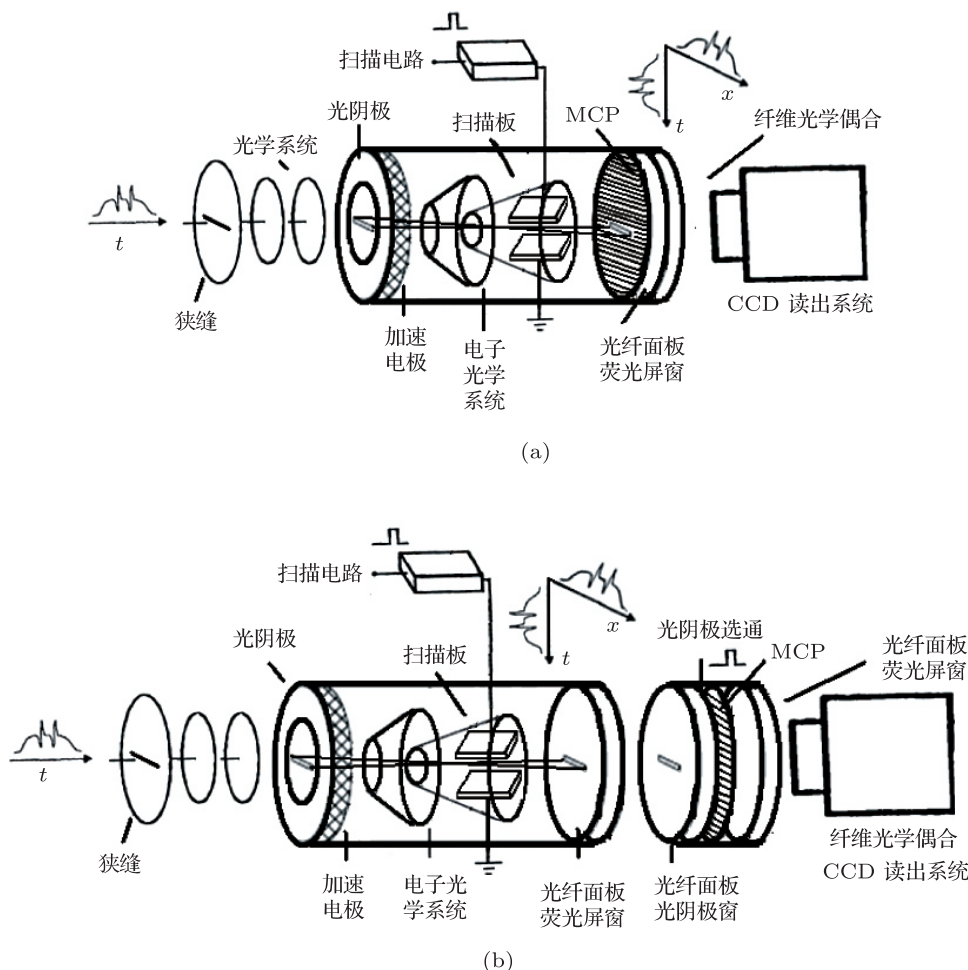


图 1 MCP 内增强 (a) 和外增强 (b) 条纹相机的基本组成

条纹相机的信号阈值取决于系统的背景噪声和灵敏度, 背景噪声 σ_{noise} 的平均偏差是暗电流噪声 σ_{dark} 和读出噪声 σ_{read} 的平方和, $\sigma_{\text{noise}} = (\sigma_{\text{dark}}^2 + \sigma_{\text{read}}^2)^{1/2}$, 背景噪声主要来自于 CCD, 条纹管和 MCP 像增强器的贡献可忽略. 通过调节 MCP 的电压来调整系统辐射增益, 使系统的灵敏度设置到可使一个单光电子图像与噪声本底清晰区别, 这个信号作为信号阈值 S_{min} , 通常取 $S_{\text{min}} = 5\sigma_{\text{noise}}$.

条纹相机动态范围的标定通常以条纹相机的分辨力单元 (空间宽度乘以时间宽度的像素数 N) 或 CCD 分辨力单元 (4 个像素) 为单元. 噪声本底是横跨分辨力单元中的像素的噪声之和, 即 $S_{\text{min}} = 5\sigma_{\text{noise}}N^{1/2}$. 一旦信号 20% 的变宽点被发现, 将每 CCD 像素的最大信号换算成 ADU 或光电子数. 每分辨力单元的最大信号是这个值的 N 倍, 可得出条纹相机在相应时间分辨力的动态范围.

3 MCP 的饱和效应对条纹相机动态范围的影响

MCP 的增益定义为相应于一个输入电荷的整个输出电荷, 由于输出脉冲间存在增益的变化, 通常采用平均电流输出与平均电流输入的比来定义. 如忽略撞击在通道之间外端面上的光电子损失, 可采用一个通道来描述 MCP 的增益特性, 而通道可简单地视作是一个由 N 个非连续的电阻电容打拿极组成的打拿极链, 如图 2 所示, 打拿极的电阻值

由环绕通道的绝缘层决定, 电阻层的纵向电阻 r_2 决定通道在特定电压下的传导电流.

通道内电场由两端施加的工作电压 V 提供的表面传导电流建立. 当没有输入信号时, 通道内电场呈近乎平行于通道轴向的均匀分布, 当一个时间宽度在 $t = 0$ 和 $t = \Delta t$ 间的输入脉冲 $i_0(t)$, 在起始时间 $t = 0$ 被送入一个所有的打拿极都在一个恒稳态起始电压 V_D 的通道, 并引发电子雪崩级联. 如果忽略电子雪崩在通道中的 10^{-10} s 量级的渡越时间, 和雪崩电子内级联过程对通道内电场方向的扰动, 并且视内级联每一级具有相同的二次产额 δ , 仅首次事件产额 δ_1 不同, 仅在 $t = 0$ 时的通道起始级联增益可由下式描述:

$$g(0) = \delta_1 \delta^{N-1}. \quad (1)$$

打拿极增益 $\delta = (V_D/V_C)^k$, 打拿极电势 $V_D = V/N$, V_C 为单位二次发射比的最小电势, k 是打拿极 $\delta(V)$ 函数的系数, 1 片 800 V 电压下的 401 长径比的 MCP, k 约为 0.75, N 为 16.3, $\delta = 2.04$ [10].

内级联每一级的二次产额从打拿极的贮存电荷 $q_D = V_D C$ 中抽取电荷, 由此造成打拿极电势降低到一个特定的量 $V(n, t)$, 而来自通道壁的传导电流的再充电电流 $I_R(n, t)$, 与随后紧接着的来自前一级打拿极的内级联雪崩电流 $i(n-1, t)$ 注入到打拿极, 一起贡献给 $V(n, t)$ 的修复 [11]:

$$V(n, t) = \frac{e^{-t/RC}}{C} \frac{\partial}{\partial n} \int_0^t e^{\tau/RC} i(n-1, \tau) d\tau, \quad (2)$$

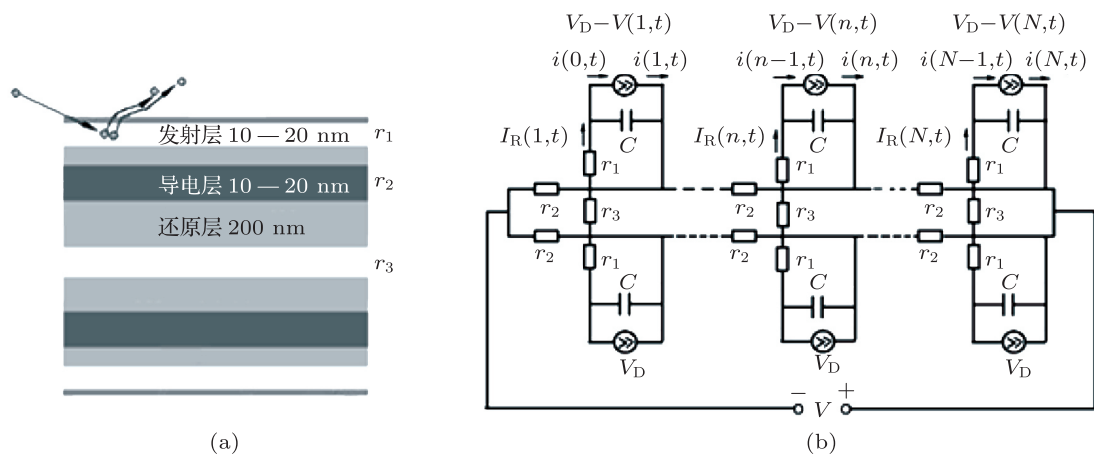


图 2 通道壁结构 (a) 和通道电阻电容打拿极链 (b) 的示意图

通道增益与输出电流 $i(t) = i_0(t)g(t)$ 和 RC 时间的关系可由下式描述:

$$g(t) = \exp\left(\text{GN} - \frac{k}{q_D} e^{-t/RC} \times \int_0^t e^{\tau/RC} i_0(\tau) g(\tau) d\tau\right), \quad (3)$$

这里 $e^{\text{GN}} = g(0)$, $q_D = V_D C$ 为打拿极贮存电荷.

如果 Δt 相当或大于打拿极 RC 时间, 最大线性的输出电流正比于贮存电荷除以 RC 时间, 通道增益的线性范围正比于通道电阻, 低阻抗 MCP 具有更大的动态范围. 但输出脉冲不仅取决于输入电荷, 还取决于输入脉冲形状.

如果 Δt 大大短于打拿极 RC 时间, 在脉冲期间再充电电流 $I_R(n, t)$ 没有时间打拿极补偿电荷, 由输入电荷 $q_0(t)$ 引发的电子雪崩产生的输出电荷, 仅由能从通道壁所能抽取的电荷数量来决定, 只有非常短的脉冲前缘可体会到增益的线性, 剩余的脉冲将遭受增益的饱和. 输出脉冲取决于输入电荷, 与输入脉冲的形状无关. 通道的饱和程度取决于输出电荷与通道贮存电荷之比, 也就是输入电荷和增益与通道贮存电荷之比 [11]

$$g(t) = e^{\text{GN}} \left(1 + \frac{k e^{\text{GN}} q_0(t)}{q_D}\right)^{-1}. \quad (4)$$

应用于 ICF 的 X 射线条纹相机, 采用 56 mm 直径 10 μm 孔径 40 : 1 长径比的 MCP, 开口面积大于 56%, 体电阻 5—200 M Ω . MCP 的电阻实际上可做得更低, 但 MCP 必须基于能够承受 1 kV 甚至更高的高压而不被击穿和发生热逸溃的高阻材料, 一片室温测试电阻为 5 M Ω 的 56 mm 直径的 MCP, 在 800 V 电压下工作时, 电阻将降低到 1 M Ω 后方可保持稳定. 在 10^{-6} Pa 真空中, 在两端电极间测试 MCP 电容的实测值为 1050 pF. 如果以 5 M Ω 和 100 M Ω 作为低阻抗和标准阻抗 MCP 的电阻, 按下式:

$$R_{\text{ch}} = R_{\text{MCP}} \times \frac{\pi D^2}{4S \times \text{OAR}}, \quad (5a)$$

$$C_{\text{ch}} = C_{\text{MCP}} \times \frac{\pi D^2}{4S \times \text{OAR}}, \quad (5b)$$

这里 S 为 MCP 通道阵列面积, OAR 为开口积比, D 为通道直径, 则低阻抗和标准阻抗 MCP 的 R_{ch} 分别为 2.85×10^{13} Ω 和 5.7×10^{14} Ω , $C_{\text{ch}} = 6.0 \times 10^{-17}$ F.

通常认为, 相比于电阻层的纵向电阻 r_2 , 发射层的横向电阻 r_1 与其相当或更小, 通道间的横向电阻 r_3 非常大, 可忽略 r_1 和 r_3 对通道 RC 时间常数的影响. 假定各个打拿极的 r_1, r_2, r_3 和 c 的值相同. 打拿极时间常数 $RC = (Nr_2 + r_1) \times C_{\text{ch}}/N \approx R_{\text{ch}} \times C_{\text{ch}}/N$. 取 800 V 电压下 $N = 16.3$, 低阻抗 MCP 和标准阻抗 MCP 的打拿极 RC 时间分别约为 0.1 ms 和 2 ms (注意, 如果通道未能得到合适处理, 发射层与导电层的距离偏大, 可导致 r_1 远远大于 r_2 , 从而改变打拿极的时间常数). 如图 3 所示的在直流模式标准阻抗 MCP 与低阻抗 MCP 的平均输入电流密度与平均输出电流密度的测试数据, 低阻抗 MCP 可提高增益的饱和上限.

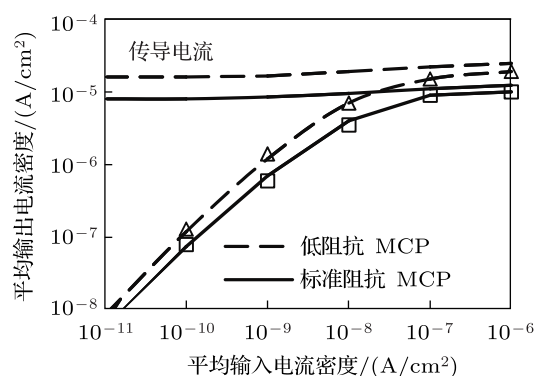


图 3 直流模式下的 MCP 的平均输入和平均输出关系

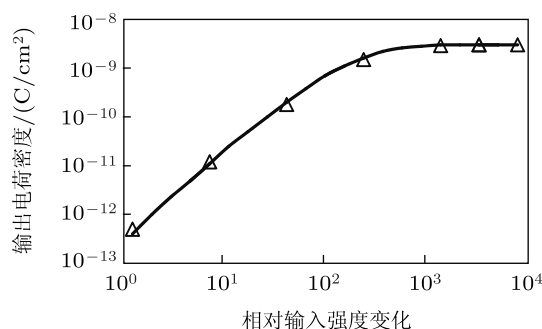


图 4 在短脉冲模式下的 MCP 的输出电荷密度与相对输入强度的关系

如按 $N = 16.3$, $\delta = 2$, 那么, 瞬间从通道移去通道贮存电荷的 10%, 将开始通道输入输出线性的一个显著的饱和. $Q_{\text{ch}} = C_{\text{ch}}V/e$, 按实测值计算, 在 800 V 时, 通道贮存电荷约 3.0×10^5 个电子, 即饱和和起始点在 3.0×10^4 个电子, 这个值相应于 7.5×10^{-10} C/cm² 的输出电荷密度. 也可通过将通道简单的看作一个平板电容器来计算, $Q_{\text{ch}} = (\epsilon_r \epsilon_0 \pi D^2 V) / (4eL)$, ϵ_0 是真空介电常数,

8.85×10^{-12} F/m, ϵ_r 为通道壁的相对介电常数, MCP 玻璃的相对介电常数为 8.3, Q_{ch} 为 7.2×10^4 个电子. 两者的差别来自于还原后的通道壁与起始玻璃的介电常数的变化. 如图 4 是 MCP 在短脉冲入射下的相对输入强度和输出电荷密度关系, 在 3×10^{-9} C/cm² 的硬饱和限定了 MCP 的最大可探测信号^[10,12]. 低阻抗 MCP 和标准阻抗 MCP, 在其他条件完全相同的情况下, 具有相同的饱和上限.

图 5 所示的是在经历一个完全的硬饱和之后, 在没有任何输入下, 计算的低阻抗 MCP 和标准阻抗 MCP 在 800 V 工作电压下的相对增益的恢复程度与间隔时间的关系, 显示了低阻抗 MCP 在高重复率的拍摄时所能发挥的功效.

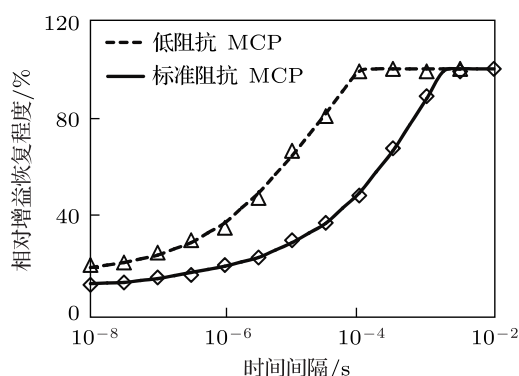


图 5 低阻抗和高阻抗 MCP 在脉冲间隔的增益恢复时间

调制传递函数 (modulate transfer function, MTF) 可用来客观的描述 MCP 成像探测的空间分辨能力, MTF 为相应于一个空间频率接近于零的对比度归一化到 1 的输入图案在荧光屏光学读出时对比度的降级程度, 对比度可用下式来定义:

$$C = \frac{B_{\max} - B_{\min}}{B_{\max} + B_{\min}}, \quad (6)$$

B_{\max} 是最大亮度, B_{\min} 是最小亮度.

荧光屏的亮度分布正比于 MCP 的输出电荷密度分布. 在这个意义上, 对各种幅频的输入信号的复现程度可表征 MCP 的 MTF 和空间分辨能力. 线性区域的概念在这里为最大可接受的线性偏离的范围, MCP 在严重饱和状态下传递的放大信号, 经荧光屏光学读出后形成的对比度传递的偏离, 将造成条纹相机的沿时间轴和空间轴的分辨力的恶化, 限定了条纹相机的动态范围, 而 MCP 的最大输出电荷还限定了条纹相机的最大可测量信号.

内增强方式中通道的输入脉冲直接来自于条

纹管光阴极, 时间持续 Δt 在皮秒甚至亚皮秒级, 而外增强方式中 MCP 输入脉冲来自于像增强器光阴极, 持续时间决定于条纹管测量信号和荧光屏衰减特性以及像增强器的光阴极选通, 条纹管与像增强器的纤维光学偶合也给系统的 MTF 带来一定程度的降低. 对条纹管的皮秒甚至亚皮秒级的光电子束, 荧光屏以一个相当时间级别的响应速度快速上升, 随后缓慢衰减, 对 P20 荧光屏, 1 ms 衰减到 1%, P43 荧光屏, 1 ms 衰减到 10%, 2 ms 衰减到 1%, 大约 70% 的输出能量都在首先的 0.1 ms 被释放. 如果外增强系统中像增强器采用光阴极选通, MCP 输入脉冲的持续时间将限定于光阴极选通时间.

如果系统的灵敏度和辐射增益设置相同, 采用标准阻抗 MCP, 内增强和外增强条纹相机应具有相近的动态范围. 采用低阻抗 MCP, 即使是在外增强方式中, 通道输入脉冲持续时间可达到通道的 RC 时间, 但脉冲强度集中在相当于通道 RC 时间常数的脉冲前沿, 动态范围的拓展程度相当有限. 内增强和外增强条纹相机统仍具有相近的动态范围. 只有在条纹相机需要高重复率的连续拍摄功能时, 低阻抗的 MCP 方可发挥其恢复时间快的功效.

4 MCP 增益设置对条纹相机动态范围的影响

在内增强或外增强条纹相机中, 饱和程度取决于输入电荷密度和增益与通道贮存电荷之比, 而信号阈值限定于 CCD 读出系统的噪声和 MCP 增益. 采用 MCP 内增强和外增强的目的, 是在一个源限定的微弱信号下, 通过 MCP 的电子倍增获得足够的系统辐射增益, 以使系统的灵敏度设置到可使一个单光子产生的峰信号高于传感器分辨力单元噪声而被探测到. 如果增益设置过低, 系统灵敏度不足以达对对一个单光子的探测, 将获得一个低的动态范围, 但增益设置过高, 一个单个光电子能够产生相比于噪声本底级别要高得多的输出信号数量, 将致使可被线性放大的条纹管光电子的数量降低, 从而产生一个量子限定, 同样会获得一个低值的动态范围, 如图 6 所示.

条纹相机不同构造导致系统各部份增益分配的不同. 在内增强方式中, MCP 和荧光屏间存在一个 5 kV 以上的分压, 光电子是来自于条纹管光阴

极的近 10 keV 的高能光电子. 在外增强方式中, 条纹管光阴极测量到的光电子信号, 以 15 kV 电压加速到荧光屏上进行光电转换, P20 荧光屏发射光谱峰值 540 nm, 光电子/光子转换率约 800^[5], 经纤维光学耦合到像增强器的 S20 光阴极, 纤维光学耦合透射比约在 30%, S20 光阴极在 540 nm 波长的量子效率约 10%. 条纹管光阴极上产生的一个光电子, 经转换后在像增强器中以 20—30 个光电子约 200 eV 被 MCP 探测, 而 MCP 的光电子探测效率, 从对 200—500 eV 电子的 65%, 缓慢降低到对 10 keV 电子的 30%^[13]. 那么在完全相同的灵敏度和辐射增益下, 前者需要的 MCP 增益是后者的 MCP 增益的 50 倍左右.

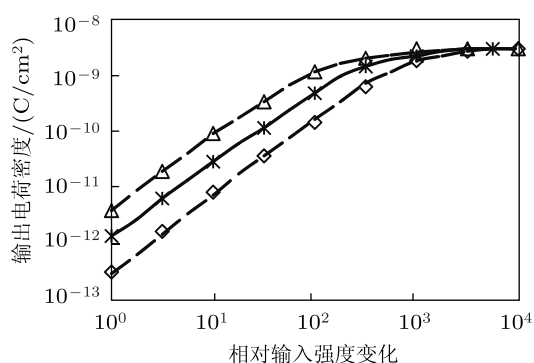


图 6 不同增益设置下的 MCP 输入输出线性范围

MCP 增益与工作电压关系由 $G = (V_D/V_C)^{kN}$ 描述. 内增强方式中的 MCP 通常不进行除气处理, 而双近贴像增强器中的 MCP 需要进行老化和除气处理, 图 6 所示的是在 1×10^{-9} A/cm² 的平均输入电流密度下, 一片 MCP 在电子清刷除气处理前和处理后的电压与增益变化关系, 可见, MCP 工作电压从 800 V 增加到 1000 V, 增益可提高一个数量级, 而在经过电子清刷除气处理后, MCP 增益有较大幅度的下降, 因此这里 MCP 增益的绝对值, 甚至定义都并不是很重要, 重要的是通过调节 MCP 电压来调整系统的辐射增益, 以使系统的灵敏度设置到

可使一个单光子的探测信号恰好大于读出系统的噪声本底.

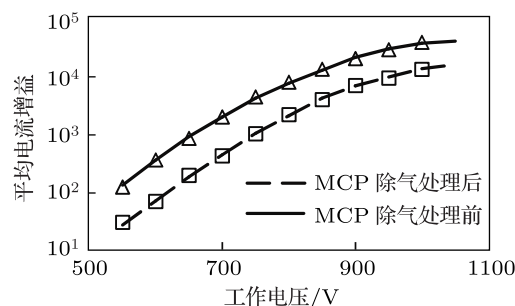


图 7 MCP 在直流模式下的平均电流增益对工作电压的关系

在外增强系统中, 还采用了像增强器的光阴极选通, 以限定进入 MCP 的输入电荷, 避免 MCP 遭受一个硬饱和而失去空间分辨力, 与降低 MCP 的电压作用一样, 同时还会避免引发 MCP 的离子反馈造成像增强器空间分辨力的恶化. 选通时间可在亚微秒到数纳秒间调节, 但如果选通时间太短, 同样将会降低系统的探测信号阈值.

5 结论

MCP 的饱和效应所导致的对比度传递的偏离, 造成条纹相机的沿时间轴和空间轴的分辨力的恶化, 限定了条纹相机的动态范围, 而 MCP 的最大输出电荷还限定了条纹相机的最大可测量信号. 在内增强或外增强条纹相机中, MCP 的输入输出线性范围都限定于通道中所贮存的有限的电荷, 传导电流的补偿作用对线性范围的贡献极其有限, 即使是在外增强系统中采用低阻抗 MCP, 因此, 内增强和外增强条纹相机应具有相近的动态范围, 低阻抗的 MCP 仅在高重复率的连续拍摄时发挥功效. 通过调节 MCP 增益以使一个单光子探测信号恰好大于 CCD 读出系统的噪声本底, 对条纹相机的动态范围有着重要的影响.

[1] Hu X, Liu S Y, Ding Y K, Yang Q L, Tian J S, He X A 2009 *Acta Optica Sin.* **29** 2871 (in Chinese) [胡昕, 刘慎业, 丁永坤, 杨勤芳, 田进寿, 何小安 2009 光学学报 **29** 2871]
 [2] Yuan Y T, Hao Y D, Zhao Z Q, Hou L F, Miao W Y 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 6963 (in Chinese) [袁永腾, 郝铁聃, 赵宗清, 侯立飞, 缪文惠 2010 物理学报 **59** 6963]

[3] Bonté C, Harmand M, Dorchie F, Magnan S, Pitre V, Kieffer J C, Audebert P, Geindre J P 2007 *Rev. Sci. Instrum.* **78** 043503
 [4] Sun K-X, Nishimura W, Perry T, Compton S 2005 *Proc. of SPIE* **5920** 5920008
 [5] Eagleton R T, James S F 2003 *Rev. Sci. Instrum.* **74** 2215
 [6] Lu Z G, Xia Y W, Liu H, Sun Z H, Yuan H Y, Xu L B, Tang J, Peng

- Z T 2010 *Journal of Applied Optics* **31** 768 (in Chinese) [卢宗贵, 夏彦文, 刘华, 孙志红, 元浩宇, 徐隆波, 唐军, 彭志涛 2010 应用光学 **31** 768]
- [7] Lerche R A, McDonald J W, Griffith R L, Vergel de Dios G, Andrews D S, Huey A W, Bell P M, Landen O L 2004 *Rev. Sci. Instrum.* **75** 4042
- [8] Bradley D J, Roddie A G, Sibbet W, Key M H, Lamb M J, Lewis C L S, Sachsenmaier P 1975 *Opt. Commun.* **15** 231
- [9] Tian J S, Zhao B S, Wu J J, Zhao W, Liu Y Q, Zhang Jie 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 3368 (in Chinese) [田进寿, 越宝升, 吴建军, 赵卫, 刘运全, 张杰 2006 物理学报 **55** 3368]
- [10] Eberhardt E D 1979 *Applied Optics* **18** 1418
- [11] Giudicotti L, Bassan M, Pasqualotto R, Sardella A 1994 *Rev. Sci. Instrum.* **65** 247
- [12] Landen O L, Bell P M, Oertel J A, Satariano J J, Bradley D K 1993 *Proc of SPIE.* **2002** p2
- [13] Schagen P 1974 *Advances in Image Pickup and Display* (Vol.1) (New York: Academic Press) p308

Influence analysis of saturation effect of microchannel plate on dynamic range of streak cameras*

Pan Jing-Sheng¹⁾²⁾ Qi Lu¹⁾ Xiao Hong-Liang¹⁾ Zhang Rong²⁾ Zhou Jian-Xun²⁾
Pu Dong-Dong²⁾ Lü Jing-Wen¹⁾

1) (School of Materials Science and Engineering Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

2) (North Night Vision Tech. Corp.Ltd. Nanjing Branch, Nanjing 211106, China)

(Received 11 April 2012; revised manuscript received 30 May 2012)

Abstract

The streak cameras which with an internal or external microchannel plate (MCP) image amplification has a significant enhancement on the detect signal threshold, but also induces the saturation effect of MCP to limit the dynamic range of streak camera. The saturation effect of MCP is described through the channel multiplier model of a discrete resistance capacitance dynode chain, explaining that the input output linear range of MCP which in both the two amplification method is depend on the charge restored in the channels the contribution of compensate effect which comes from the bias current is very limited, even using a low resistance MCP in the external method streak camera, so the streak cameras with an internal and external MCP image amplification should have equivalent dynamic range, low resistance MCP only function if a rapid sequence shots is required, and MCP gain was set up properly is critical for the dynamic range of streak camera.

Keywords: steak camera, microchannel plate, dynamic range, saturation effect

PACS: 42.79.Pw, 07.85.Nc

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 11075026).

† E-mail: ljwcc@126.com