前近贴脉冲电压对三代微光像增强器 halo 效应的影响*

任玲[1)2)] 石峰[1)2)] 郭晖[1)] 崔东旭[2)3)] 史继芳[3)]
钱芸生[2)] 王洪刚[2)] 常本康[2)†]

1) (微光夜视技术重点实验室, 西安 710065)

2) (南京理工大学电子工程与光电技术学院, 南京 210094)

3) (西安应用光学研究所, 西安 710065)

(2012 年 7 月 2 日 收到; 2012 年 7 月 26 日 收到修改稿)

为了探讨三代微光像增强器的合适工作电压, 研究了前近贴脉冲电压对微光像增强器 halo 效应的影响. 将脉冲电压信号加在光电阴极上, 分别改变脉冲信号的高低电平电压幅值和占空比, 利用高分辨率 CCD 采集了微光像增强器的 halo 图像, 对比分析了 halo 图像中心线上各像素点对应的灰度值分布和光子计数. 研究结果表明, 随着高电平电压幅值和占空比的提高, 灰度值为 255 的像素点数目变多, halo 图像中背景和信号的边界越来越清晰. 当前近贴电压增加到 200 V 以上和占空比大于 60% 左右时, 其对三代微光像增强器 halo 图像中心线上各像素点的灰度值分布影响不大. 当低电平电压增加到 2 V 以上时, 光电子在低电平阶段无法克服阻滞场到达微通道板. 此研究有利于探讨微光像增强器的最佳工作电压和光电子从阴极面出射时的能量分布, 为提高三代微光像增强器的性能提供了实验支撑.

关键词: 微光像增强器, halo, 前近贴, 脉冲电压

PACS: 42.79.Ls, 42.30.Va, 87.57.N−, 87.57.C− **DOI:** 10.7498/aps.62.014206

1 引 言

微光像增强器是一种光电成像器件, 由光电阴极、微通道板和荧光屏组成, 能够把微弱的光学图像增强到足够的亮度以便人们用肉眼进行观察 [1−4]. 微光像增强器按代划分, 已经发展到了第四代, 其中应用最多的是采用 GaAs 光电阴极的第三代 [5−7]. 表征微光像增强器的性能参数有分辨率、信噪比、等效背景照度、调制传递函数和 halo 效应等. 关于前面几个参数, 国内外学者已经进行了大量的研究, 对于微光像增强器 halo 效应研究较少 [8−10]. 为了探讨微光像增强器 halo 效应, 国内研制了 halo 效应测试仪, 并对直流条件下超二代和三代微光像增强器 halo 效应分别进行了测试 [11]. 因为光电子轰击防离子反馈膜将发生电子散射现象, 所以三代微光像增强器的 halo 效应较大. 针对这一问题, 国外提出了无膜三代管, 采用自动脉冲门控电源, 虽然光晕现象得到了改善, 但是离子反馈得不到控制. 由于国外的技术封锁, 所以自动脉冲门控电源的公开报道较少. 防离子反馈膜镀在微通道板 (MCP) 输入面上, 因此前近贴电压和距离对三代微光像增强器 halo 效应的影响很大. 当三代微光像增强器工作时, 前近贴直流电压一般为 300 V. 本文将原来的直流电压改变为高压脉冲电压, 利用高分辨率 CCD 采集 halo 图像, 从直观图和光子计数两方面, 研究了前近贴脉冲电压对三代微光像增强器 halo 效应的影响.

* 微光夜视技术重点实验室基金 (批准号: J20110301) 和江苏省高等学校研究生科研创新计划 (批准号: CXLX11_0236) 资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: bkchang@mail.njust.edu.cn

© 2013 中国物理学会 Chinese Physical Society

将高压脉冲信号加在光电阴极和 MCP 之间, 前近贴电压由直流信号改变为脉冲信号. 通过调节高低电平的电压幅值和占空比, 在 halo 测试仪器上, 分别测试了三代微光像增强器的 halo 效应, 利用 CCD 采集了 halo 效应的测试结果图, 并给出了光子计数分布. 此研究有利于探讨三代微光像增强器的最佳工作状态和从阴极面出射光电子的能量范围, 为以后微光夜视技术的发展进步提供了实验支撑.

2 测试原理与过程

2.1 halo 效应 [12]

通过光学系统将一个有一定直径的小光点投影在微光像增强器的阴极面上, 在荧光屏上将出现一个小光点的像. 由于像增强器成像过程中噪声的影响, 所以荧光屏上的光点像有光晕现象, 即 halo 效应.

2.2 高压脉冲电源

定制的高压脉冲电源型号为 DWP-N801/P302/103-1/5FF1, 输入电压为直流 24 ± 2 V. 此电源有三个输出端, 分别输出一个脉冲信号和两个直流信号. 脉冲信号的高低电平电压幅值的变化范围分别为 −10—−800 V 和 −12—12 V. 两个直流信号的电压变化范围分别为 0—3000 V 和 0—10000 V. 三个输出端的接地方式为共地. 图 1 为高压脉冲电源输出的脉冲信号.

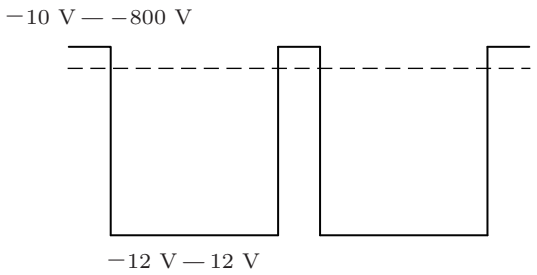

图 1 脉冲信号高低电平的电压幅值

2.3 测试装置及原理 [11]

微光像增强器 halo 测试装置主要由光源、滤光片、带有小孔的光板、积分球、微孔、光电探测器、测试暗箱、放大镜头、高分辨率 CCD 和机械结构组成.

光源、滤光片、积分球和微孔等部件产生一定照度的均匀小光点. 当测试微光像增强器的 halo 效应时, 首先要在像增强器阴极面上形成小光点. 光点直径一般取为 0.1—0.4 mm 之间. 小光点成像可以通过物镜投影, 也可以用微孔光阑. 微光像增强器放置在测试暗盒内, 当小光点照射微光像增强器的阴极面后, 在其荧光屏上将出现小光点的像, 该图像通过高分辨率 CCD 和放大镜头进行采集. 最后, 将采集得到的 halo 图像传输给计算机并保存为 bmp 格式.

3 测试结果与分析

以某三代微光像增强器作为研究对象, 将图 1 所示的脉冲信号加在微光像增强器光电阴极上, 其他两个直流信号分别接 MCP 输出端和荧光屏电极. 通过调节脉冲信号的高低电平电压幅值和占空比, 分别测试并采集了三代微光像增强器的 halo 效应直观图. 将过 halo 图像中心的直线上各像素点的灰度值分布作为研究对象, 对比分析了不同条件下采集的 halo 图像的光子计数. halo 图像像素点的灰度值范围为 0—255. 在测试过程中, 照射在三代微光像增强器光电阴极面上的光斑直径为 0.3 mm, MCP 输入端接地, MCP 输出端电压为 +800 V, 荧光屏电压为 +4500 V.

3.1 高电平的电压幅值对三代微光像增强器 halo 效应的影响

固定脉冲信号的占空比为 100%, 高电平的电压幅值从 −50 V 变化到 −300 V, 每隔 −50 V 变化一次, 分别测试了三代微光像增强器的 halo 效应, 如图 2 所示.

由图 2 可见, 随着阴极所加电压的增加, 轰击荧光屏的电子所带能量变大, 因此光斑图像中心的亮度变亮. 阴极所加电压越大, 光斑图像中背景和信号的边界越来越清晰. 对图 2 中每个 halo 图像中心线上各像素点的灰度值进行提取, 统计了不同灰度值对应的像素点个数, 如图 3 所示.

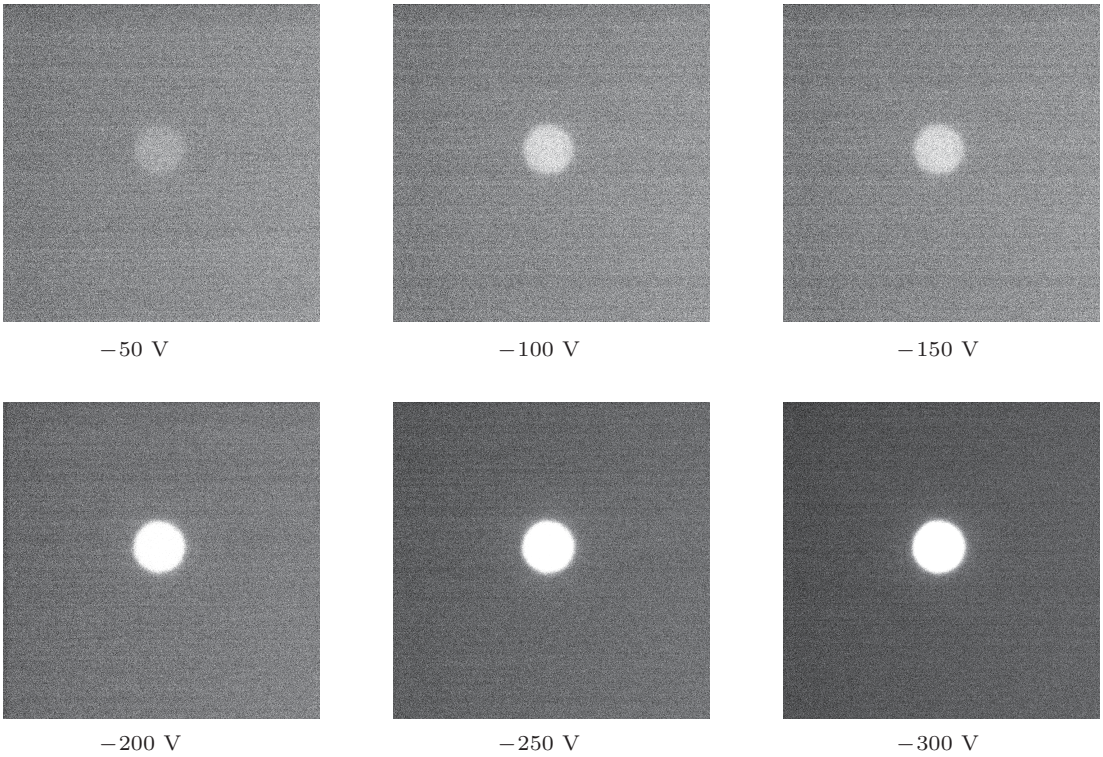

图 2 高电平的电压幅值对三代微光像增强器 halo 效应的影响

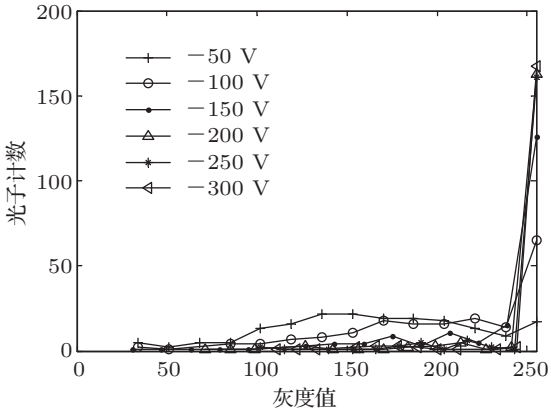

图 3 高电平电压幅值对 halo 图像中心线上灰度值分布的影响

由图 3 可以看出, 当高电平电压幅值为 −50 V 时, 对应的 halo 图像中心线上各像素点的灰度值在 100—255 之间基本平均分布, 且灰度值为 150 时的像素点略多. 当高电平电压幅值从 −50 V 变化到 −200 V 时, 光电子到达 MCP 输入面时的能量变大, 对应的 halo 图像中心线上各像素点的灰度值变大, 即高灰度值的像素点个数变多. 当电压幅值在 −200—−300 V 之间时, 灰度值小于 255 的像素点个数极少, 且灰度值为 255 的像素点个数基本相同. 可以得出, 随着高电平电压幅值的增加, 前近贴管中的光电子获得的能量越大, 从而灰度值为 255 的像素点数目变多. 当高电平电压幅值大于 −200 V 时, 高电平电压幅值对 halo 图像中心线上各像素点灰度值分布的影响不大. 在脉冲电压的占空比为 100%的条件下, 高电平电压幅值的参考范围为 −200—−300 V.

3.2 低电平的电压幅值对三代微光像增强器 halo 效应的影响

当光电阴极面电压为负值时, 表示阴极到 MCP 之间为加速场, 否则为阻滞场. 光电子从光电阴极出射时的初始能量不清楚, 通过改变低端电压值, 观察采集得到的 halo 和分辨率靶的图片是否发生变化. 固定脉冲信号的占空比为 10%, 阴极所加脉冲电源的高电平电压幅值为 −300 V. 改变低电平电压幅值大小, 分别测试了三代微光像增强器的 halo 效应, 如图 4 所示.

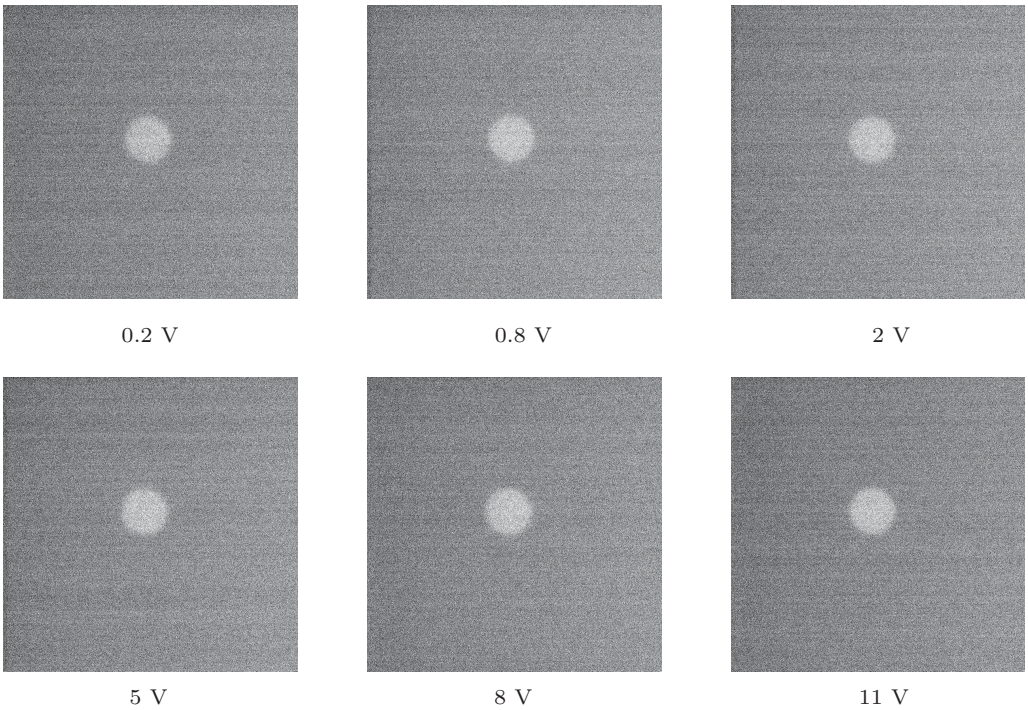

图 4 低电平电压幅值对三代微光像增强器 halo 效应的影响

当占空比为 10%时, 微光像增强器 halo 效应主要受低电平电压幅值的影响. 因为低电平电压是正值, 所以光电子在低电平阶段为减速运动. 高电平电压为负值, 因此光电子在高电平阶段为加速运动. 随着低电平电压幅值的升高, 即阻滞场的增强, 从图 4 所示的直观图上看, 对三代微光像增强器 halo 效应的影响不是很明显. 下面取 halo 图像中心线上各像素点的灰度值分布作为研究对象, 统计不同灰度值对应的像素点个数, 如图 5 所示.

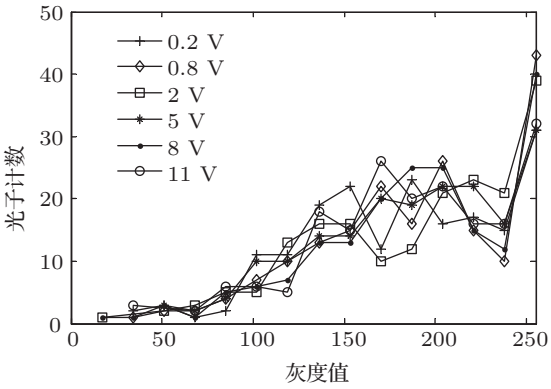

图 5 低电平电压幅值对 halo 图像中心线上灰度值分布的影响

随着低电平电压幅值的增大, 光电阴极与 MCP 之间的阻滞场越强. 由图 5 可以看出, 随着低电平电压幅值的升高, 对应 halo 图像中心线上不同灰度值的像素点数目变化基本一致, 且 halo 图像中心线上灰度值为 255 的像素点数目呈现变少的趋势. 因为三代微光像增强器采用 GaAs 光电阴极, 所以光电子在光电阴极体内到达能带弯曲区的能量最大值为 2 eV 左右 [13], 且从光电阴极面出射时的能量为 1 eV 左右. 因此, 当低电平电压小于 2 V 时, 仍有部分光电子克服阻滞场到达 MCP 输入面, 最后轰击荧光屏成像. 当电压大于 2 V 左右时, 在低电平阶段, 没有光电子能够到达荧光屏, 只有高电平阶段的加速作用才能成像, 即灰度值为 255 的像素点基本都是由 10%高电平作用产生的.

3.3 占空比对三代微光像增强器 halo 效应的影响

当脉冲电压信号的高低电平电压幅值分别为 −300 V 和 0.2 V 时, 将占空比从 2.5%变化到 100%, 分别测试并采集了三代微光像增强器的 halo 效应, 测试结果如图 6 所示.

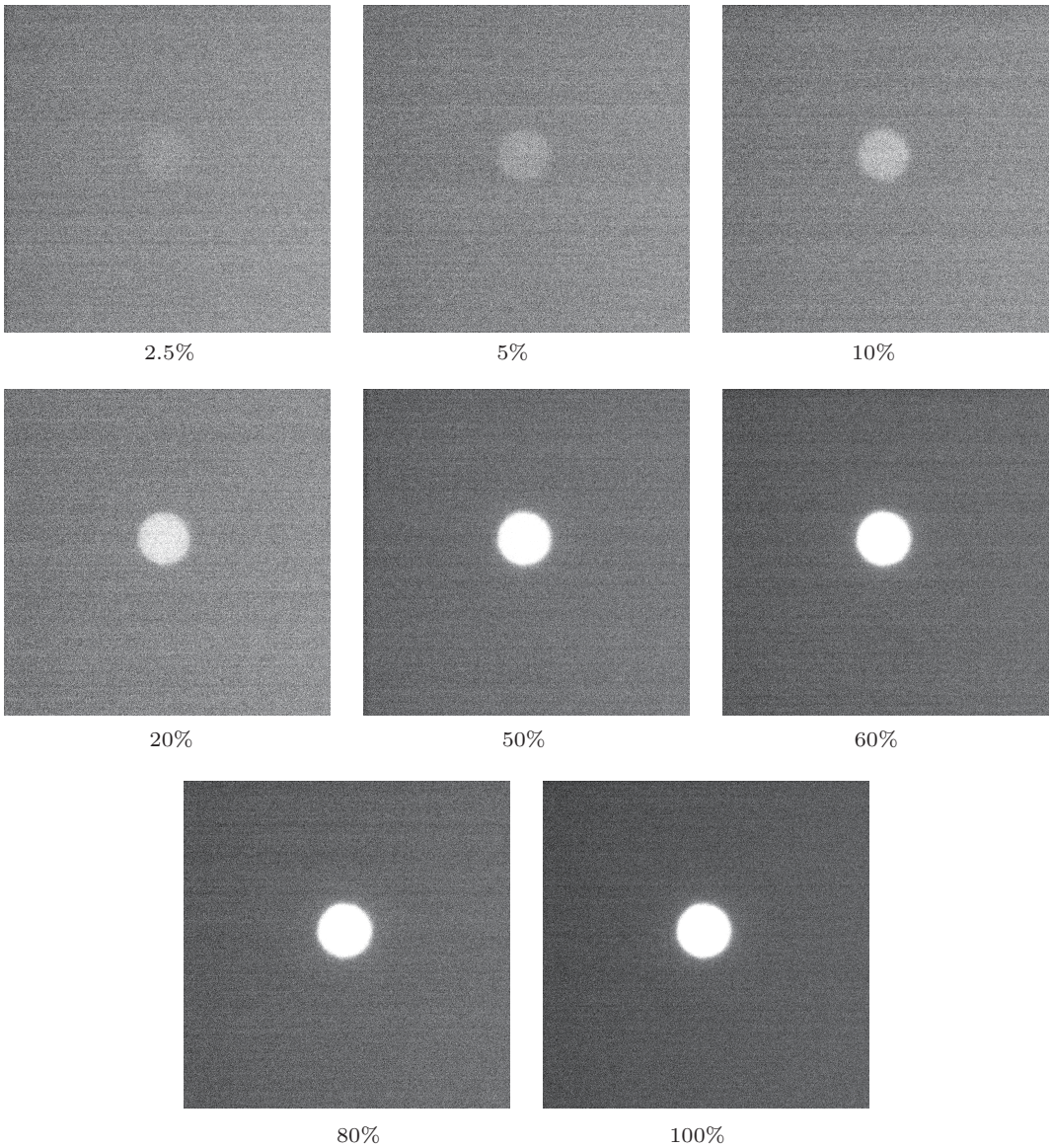

图 6 占空比对三代微光像增强器 halo 效应的影响

由图 6 可以看出, 随着脉冲电源占空比的升高, 光斑图像中心的亮度越亮. 当占空比为 2.5%时, halo 图像中信号与背景噪声的界限较模糊. 随着占空比的升高, 信号与背景噪声的界限越清晰. 当占空比在 60%—100% 之间时, 从直观图上看, 占空比对微光像增强器 halo 效应没有很大影响. 取过 halo 图像中心的直线上各像素点的灰度值作为研究对象, 统计了 halo 图像中心光斑及其附近位置的各像素点的灰度值分布. 不同占空比条件下采集的 halo 图像中不同灰度值对应的像素点个数如图 7 所示, 小图为虚线框内的放大图.

由图 7 可以看出, 当占空比在 2.5%—10%之间时, halo 图像中心线上像素点的灰度值大致平均分布在 100—255 之间. 当占空比大于 20%时, 灰度值大体分布在 150—255 之间. 随着占空比的增加, 更多的光电子在前近贴管内做加速运动, 能量大的光电子数目变多, 因此对应的灰度值为 255 的像素点增加, 即 halo 图像中心线上各像素点的灰度值变大. 随着占空比从 2.5%变化到 60%, 各 halo 图像中灰度值为 255 对应的像素点越来越多. 当占空比在 60%—100%之间时, 不同占空比条件下的 halo 图像中心线上像素点灰度值分布大体一致, 且灰度值为 255 的像素点个数基本相同. 由以上分析可以得出, 当高低电平电压幅值分别为 −300 V 和 0.2 V 时, 占空比在 60%—100% 范围内, 占空比对三代微光像

增强器 halo 效应的影响不大.

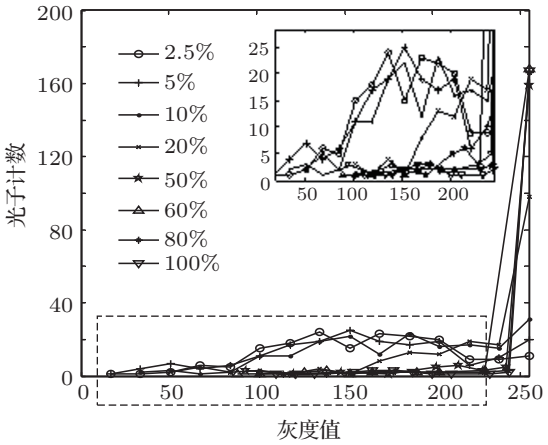

图 7 占空比对 halo 图像中心线上灰度值分布的影响

4 结 论

通过调节前近贴脉冲信号的高低电平电压幅值和占空比, 在西安应用光学研究所的微光像增强器 halo 测试设备上, 分别测量了三代微光像增强器的 halo 效应, 利用高分辨率 CCD 采集了 halo 图像, 并统计了 halo 图像中心线上不同灰度值对应的像素点个数. 研究结果表明, 随着高电平电压幅值和占空比的增加, 轰击荧光屏的电子能量变大, 光斑图像中心的亮度变亮, 灰度值为 255 的像素点数目变多, 从而 halo 图像中背景和信号的边界越来越清晰. 当高电平电压幅值增加到 −200 V 以上和占空比大于 60%左右时, 高电平电压幅值和占空比对 halo 图像中心线上各像素点灰度值分布的影响不大. 固定高电平电压幅值和占空比, 因为光电子在阴极体内到达能带弯曲区时的能量最大值为 2 eV 左右, 所以低电平电压低于 2 V 附近时仍有部分光电子能够轰击荧光屏成像. 当低电平电压幅值大于 2 V 左右时, 光电子在低电平阶段无法克服阻滞场到达 MCP 输入面, 而仅在 10%的高电平阶段加速作用下才能轰击荧光屏成像. 此研究有利于探讨微光像增强器的最佳工作电压和光电子从阴极面出射时的能量分布, 促进了三代微光像增强器性能的提高.

[1] Joseph P E 2009 *Proc. SPIE* **7326** 73260I

[2] John K 2010 *Military & Aerospace Electronics* **21** 40

[3] Zhu H Q, Wang K L, Xiang S M, Song G Z 2008 *Rev. Sci. Instrum* **79** 023708

[4] Nittoh K, Konagai C, Noji T, Miyabe K 2009 *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* A **605** 107

[5] Ren L, Chang B K, Hou R L, Wang Y 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 087202 (in Chinese) [任玲, 常本康, 侯瑞丽, 王勇 2011 物理学报 **60** 087202]

[6] Yoichi A, Makoto S 2011 *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research* A **647** 34

[7] Niu J, Zhang Y J, Chang B K, Xiong Y J 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 044209 (in Chinese) [牛军, 张益军, 常本康, 熊雅娟 2011 物理学报 **60** 044209]

[8] Cheng Y J, Xiang S M, Shi H L 2007 *Journal of Applied Optics* **28** 578 (in Chinese) [程耀进, 向世明, 师宏立 2007 应用光学 **28** 578]

[9] Zhu H Q, Wang K L, Xiang S M 2007 *Acta Photon. Sin.* **36** 1983 (in Chinese)[朱宏权, 王奎禄, 向世明 2007 光子学报 **36** 1983]

[10] Smith L S, King E P, Cogger L L 1983 *Appl. Opt.* **22** 1268

[11] Cui D X, Ren L, Shi F, Shi J F, Qian Y S, Wang H G, Chang B K 2012 *Chin. Opt. Lett.* **10** 060401

[12] Thomas P J, Allison R S, Carr P, Shen E, Jennings S, Macuda T, Craig G, Hornsey R 2005 *Proc. SPIE* **5800** 21

[13] Ren L, Chang B K, Wang H G 2012 *Opt. Commun.* **285** 2650

Effect of pro-proximity pulse voltage on the third-generation low light level image intensifiers halo effect*

Ren Ling[1)2)] Shi Feng[1)2)] Guo Hui[1)] Cui Dong-Xu[2)3)] Shi Ji-Fang[3)]
Qian Yun-Sheng[2)] Wang Hong-Gang[2)] Chang Ben-Kang[2)†]

1) (*Science and Technology on Low-light-level Night Vision Laboratory, Xi'an* 710065*, China*)

2) (*Institute of Electronic Engineering and Optoelectronic Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing* 210094*, China*)

3) (*Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an* 710065*, China*)

(Received 2 July 2012; revised manuscript received 26 July 2012)

Abstract

In order to explore the proper working voltage for the third-generation low light level image intensifier, the influence of pro-proximity pulse voltage on image intensifier halo effect is investigated. The pulse voltage is applied to photocathode of image intensifier. Respectively change the high and low level voltage and duty ratio, image intensifier halo images are collected by high-resolution charge-coupled device (CCD). The gray distributions for pixel points on halo image central line are given and comparatively analyzed. The results show that as high level voltage and duty ratio increase, the number of pixel points whose gray value is 255 increases and the border between signal and background becomes clear. When high level voltage is above 200 V and duty ratio is above 60%, the pro-proximity voltage has not great influence on image intensifier halo effect. When low level voltage is above 2 V, photoelectrons escaping from photocathode cannot reach microchannel plate under low level voltage stage. The present investigation is beneficial to the exploration of the optimal working voltage for image intensifier and energy range of photoelectrons escaping from photocathode, and provides an experimental support for the improvement of the third-generation low light level image intensifier performance.

Keywords: low light level image intensifiers, halo, pro-proximity, pulse voltage

PACS: 42.79.Ls, 42.30.Va, 87.57.N−, 87.57.C− **DOI:** 10.7498/aps.62.014206

* Projects supported by the Key Laboratory of Science and Technology Foundation on Low Light Level Night Vision, China (Grant No. J20110301), and Innovation Plan for Graduate Students of Jiangsu Higher Education Institutions, China (Grant No. CXLX11_0236).

† Corresponding author. E-mail: bkchang@mail.njust.edu.cn