

新型超快光电辐射探测器研制

潘洪波¹, 欧阳晓平¹, 刘德林², 魏福利¹, 王 兰¹, 邱孟通¹,
李慧蕊², 刘林月¹, 张忠兵¹, 李宏云¹, 王晓耘²

(1. 西北核技术研究所, 陕西 西安 710024; 2. 南京电子器件研究所, 江苏 南京 210016)

摘要:针对超快脉冲辐射测量的需求,开发了一种具有超快时间响应、大线性电流输出的新型光电探测器件——超快大电流光电管。利用脉冲氙灯、飞秒激光器对该光电探测器件的最大线性电流输出、时间响应等特性参数进行了实验测量。同时,利用该探测器件与超快闪烁体耦合构成的超快脉冲辐射探测器对亚纳秒脉冲 X 射线源时间谱进行了测量。结果表明,该光电探测器件对脉冲的响应前沿为 251 ps、半高宽小于 500 ps,在其典型电压下具有 3 A 以上线性电流输出,对于亚纳秒脉冲 X 射线束等脉冲辐射场的测量是一较为理想的探测器件。

关键词:光电管;时间响应;最大线性电流;脉冲 X 射线源

中图分类号:TL8;TN151

文献标志码:A

文章编号:1000-6931(2009)01-0081-04

New Type Ultra-fast Photoelectric Radiation Detector

PAN Hong-bo¹, OUYANG Xiao-ping¹, LIU De-lin², WEI Fu-li¹, WANG Lan¹, QIU Meng-tong¹,
LI Hui-rui², LIU Lin-yue¹, ZHANG Zhong-bing¹, LI Hong-yun¹, WANG Xiao-yun²

(1. Northwest Institute of Nuclear Technology, P. O. Box 69-9, Xi'an 710024, China;

2. Nanjing Electronic Devices Institute, P. O. Box 1601-26, Nanjing 210016, China)

Abstract: A new type of photoelectric detection device with the characters of ultra-fast and wider dynamic linear range was developed. It was used for the measurement of ultra-fast pulse signal. The characteristic parameters of device were studied by pulse xenon lamp and laser etc. The detection system with ultra-fast scintillator was applied in ultra-fast pulse X-ray generator. The experimental results indicate that the detector has ultra-fast time-response. Its further applications will be found in the field of sub-nano-second pulse measurements.

Key words: phototube; time-response; max linear current; pulse X-ray generator

超快脉冲辐射探测急需研制出超快的光电探测器件。光电管作为一种常用光电探测器件,被广泛应用于紫外、可见光和近红外等光学辐射测量^[1-2],同时在脉冲辐射场诊断中

也有着重要应用。目前常用的光电探测器(如 GD40、ETI 系列^[3])对脉冲的时间响应均在 ns 量级,不能用于亚纳秒脉冲辐射的探测,大电流输出在某种程度上制约了器件的时间

响应性能。本工作拟研制具有亚纳秒时间响应,同时具有 3 A 以上线性电流输出的大电流脉冲辐射探测器。

1 GD-5005 光电管结构及原理

研制的 GD-5005 型光电探测器件由入射窗、网状阳极、光阴极构成,图 1 为其内部结构示意图。在制作过程中,适当选取单碱阴极材料及阴极的形状、大小,并优化设计光电管阳极网与光阴极间的收集距离以及光电管的直径、长度。其工作原理为:当入射光线透过光窗和阳极网照射到光电阴极面上时,光电子从阴极表面发射至真空场中,在外加电场的作用下,光电子在极间作加速运动,这些光电子最后被具有较高电位的阳极(接收极)所接收,在外电路形成电信号,并被示波器记录。

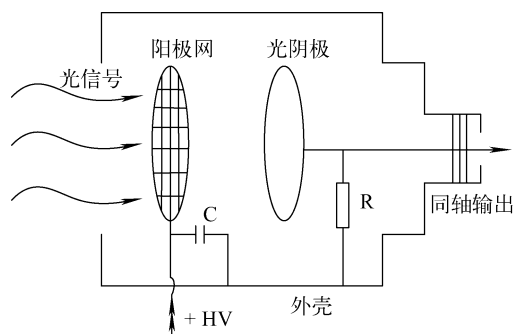


图 1 光电管内部结构示意图

Fig. 1 Scheme of phototube

2 GD-5005 光电探测器件性能

2.1 暗电流

暗电流是衡量光电探测器件自身特性的重要品质因素之一,其大小制约光电探测器的应用。暗电流测量方法示意图如图 2 所示。图 3 示出 GD-5005 型光电探测器暗电流随电压变化的曲线。从图 3 可看出,暗电流在较高电压下依然保持为一较小值。

2.2 最大线性电流

最大线性电流测试采用李沙育图形法($x-y$ 显示法)^[4],其简单原理为:在示波器的 x 、 y 偏转板上比较标准管和待测管在同一光源照射后的输出信号。实验中采用滨松公司的 E6611 型脉冲氙灯作光源,为确保标准管工作在线性

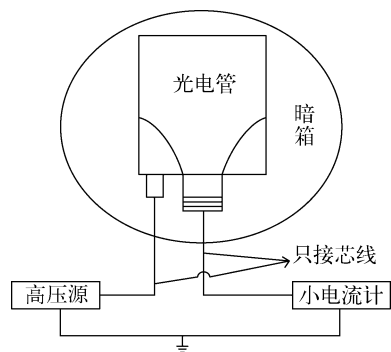


图 2 暗电流测试示意图

Fig. 2 Scheme of dark current measurement

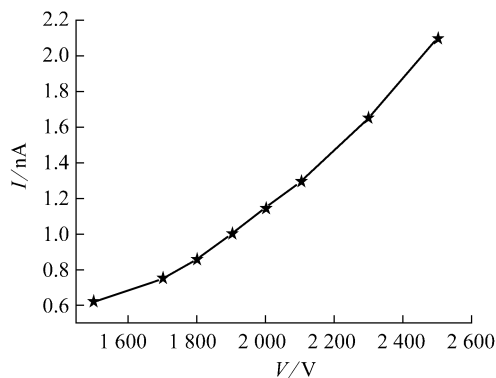


图 3 暗电流随电压的变化

Fig. 3 Variation of dark current with voltage

范围内,通过在标准管前放置大倍数减光片,使其输出信号在较小的线性值范围内。最大线性电流测量系统示意图示于图 4。光电管最大线性电流随电压变化的测试结果如图 5 所示。典型测试波形如图 6 所示。

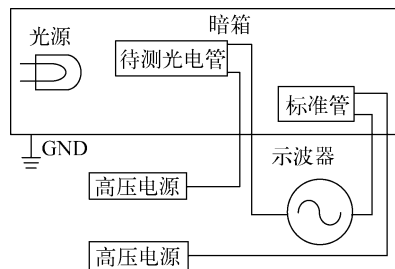


图 4 最大线性电流测量系统示意图

Fig. 4 Scheme of measure system for maximum linear current

由图 5 可看出,该光电探测器件在给定的典型电压(2 500 V)下,其最大线性电流为 3 A。

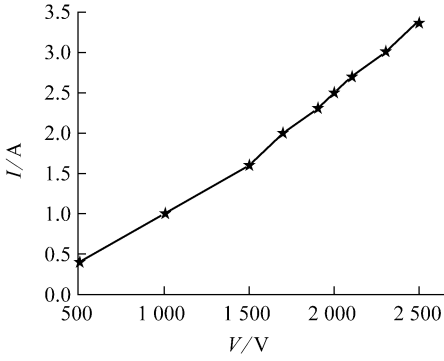


图5 最大线性电流随电压的变化

Fig. 5 Variation of maximum linear current with voltage

2.3 对脉冲的时间响应

光电探测器在脉冲条件下使用时,在记录快脉冲形状和高计数率脉冲信号情况下,其时间特性为一重要参数。为此,在德国 Lambda Physik 公司飞秒激光器上测量了该光电探测器对脉冲的时间响应。实验中,用 Newport818-BB-45F 砷化镓亚纳秒探测器在测试的同时对源进行了监测,并实验测量了原始波形(图7)。

测量结果表明,所测试的 GD-5005 型光电探测器脉冲响应波形的前沿 $t_r = 266$ ps,半高宽 $t_{FWHM} = 476.5$ ps,若按照高斯分布扣除示波器记录系统的带宽响应时间 $t_{sr} = 87.5$ ps,计算可知:该光电探测器的脉冲响应上升时间 $t_{GD} = 251$ ps。

3 探测器系统构成

将该光电探测器件与超快闪烁体(如

BC418、BC422^[5])搭配,可构成性能优异的超快脉冲辐射探测器,该探测器已在实际脉冲 X 射线时间谱测量中得到应用。探测器技术原理如下:当射线束入射到闪烁体时,在其中沉积能量,并转化为闪烁光,闪烁光进入光电器件,在光阴极上产生光电子;在高压作用下,光电子最后被阳极收集形成脉冲电信号,输出信号由宽频带示波器等外部设备记录。

4 在超快脉冲 X 射线测量中的应用

实验所用脉冲 X 射线源是一重复频率的快脉冲硬 X 射线发生器。X 射线束是由阴极靶表面出射的电子束,在脉冲电场作用下加速打到阳极靶上,通过碰撞和辐射损失能量,再经亚纳秒发生器产生的亚纳秒脉冲 X 射线束^[6]。

目前对超快脉冲的测量手段还不尽完善,常用的超快光电倍增管由于对光、屏蔽等测试环境的要求较高,线性动态范围较小,具体应用很不便;而常用的固体超快探测器的灵敏度又较低,信噪比较差。在本实验中,探测系统由 0.5% 掺杂超快 BC422Q 塑料闪烁体配 GD-5005 型光电探测器构成,闪烁体尺寸为 $\phi 50$ mm \times 10 mm。由于源信号较弱,干扰相对较大,因此造成波形的不光滑。源采用超快光电倍增管(PMT)监测。图8为脉冲 X 射线的波形。

从图8波形中可测得光电倍增管的前沿时间为 560 ps,新型光电探测系统波形的上升时间为 570 ps。波形前沿很好反映了源的上升时间,加之对环境的要求较低,因而可方便应用于超快脉冲 X 射线源的时间谱测量。

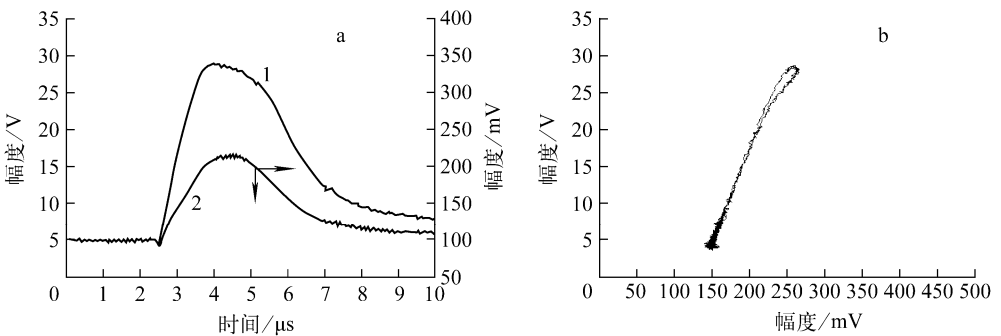


图6 标准、待测管幅度-时间曲线(a)及合成的李沙育图(b)

Fig. 6 Amplitude-time oscillograms of standard tube & tube to be measured (a) and combined Lissajous oscillograms (b)

1——待测管波形;2——标准测管波形

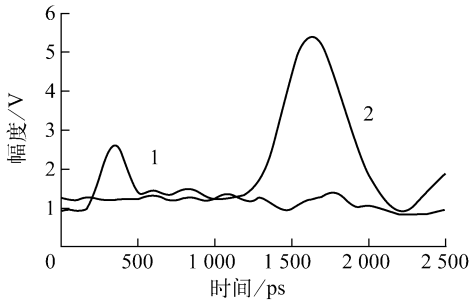


图7 激光实验记录波形

Fig. 7 Oscilloscope of laser experiment

1——源监测波形;
2——GD-5005 测量波形

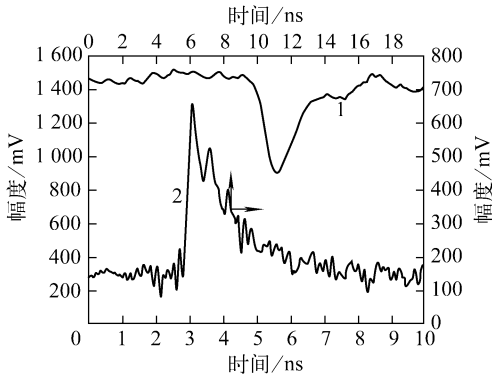


图8 脉冲 X 射线波形

Fig. 8 Oscilloscope of pulse X-ray

1——PMT 源监测波形;
2——GD-5005 测量波形

5 结论

GD-5005 型光电探测器暗电流、最大线性电流、脉冲时间响应参数的测量结果表明:该光电探测器上升时间小于 260 ps,半高宽小于 500 ps,最大线性电流超过 3 A。通过对超快脉冲 X 射线源时间谱测量可看出,配以超快闪烁晶体形成的探测系统可为快脉冲辐射场测量与诊断提供新的选择。

参考文献:

- [1] 史玖德. 光电管与光电倍增管[M]. 北京:国防工业出版社,1981.
- [2] 陈成杰,徐正卜. 光电倍增管[M]. 北京:原子能出版社,1988.
- [3] EMI Ltd. Photomultiplier[R]. UK: Electron Tubes Limited Company, 2003.
- [4] 刘庆兆. 脉冲辐射场诊断技术[M]. 北京:科学出版社,1994:154-159.
- [5] Saint-Gobain Ceramics & Plastics Inc. BC-422Q ultra-fast timing plastic scintillator[R]. USA: Saint-Gobain Ceramics & Plastics Inc., 2005.
- [6] 全林,屠荆,樊亚军,等. 重复频率亚纳秒脉冲硬 X 射线发生器[J]. 强激光与粒子束,2007,19(6):1 049-1 052.
QUAN Lin, TU Jing, FAN Yajun, et al. Development of a sub-nanosecond rep-rate pulse hard X-ray generator[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2007, 19(6): 1 049-1 052(in Chinese).