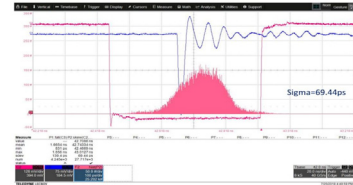




DOI: 10.12086/oe.2020.190635

超快速 MCP-PMT 的时间特性测试方法研究

王阳^{1,2}, 马秀荣¹, 钱森^{2,3*}, 朱瑶^{2,4}, 王志刚^{2,3},
高峰^{2,3}, 马丽双^{2,4}, 陈鹏宇^{2,5}, 李海涛^{2,6}, 高博^{2,3}



¹天津理工大学电气电子工程学院, 天津 300384; ²中国科学院高能物理研究所, 北京 100049; ³核探测与核电子学国家重点实验室, 北京 100049; ⁴哈尔滨工业大学航天学院, 黑龙江 哈尔滨 150001; ⁵北方工业大学机械与材料工程学院, 北京 100144; ⁶中山大学物理学院, 广东 广州 510275

摘要: 超快速时间特性的光电倍增管的时间特性研究, 对进一步研制国产超快时间响应的微通道板光电倍增管(FPMT)具有重要的指导作用。本文基于高能物理通用的 VME 测试方案, 设计装置采用皮秒激光器的单光子脉冲工作模式, 最终实现系统误差为 25 ps 的 FPMT 高精度时间测试系统。通过优化 FPMT 阳极信号读出方式、优化分压器结构及分压比例, 对多款 FPMT 的时间特性进行测试研究。并提出在非单光子工作模式下表征 FPMT 时间分辨特性的本征时间下限值, 用以对比分析各种不同工作状态的 FPMT 的时间分辨好坏。在对多款 FPMT 读出方式完成优化结构设计和对比测试后, 研究结果表明, 目前实验室来自不同生产单位的样管中, 最佳的本征时间分辨下限值为 30 ps。

关键词: 光电倍增管; 微通道板; 时间特性; 分压器

中图分类号: TN152

文献标志码: A

引用格式: 王阳, 马秀荣, 钱森, 等. 超快速 MCP-PMT 的时间特性测试方法研究[J]. 光电工程, 2020, 47(2): 190635

The study of test method of time characteristic for ultra-fast-MCP-PMT

Wang Yang^{1,2}, Ma Xiurong¹, Qian Sen^{2,3*}, Zhu Yao^{2,4}, Wang Zhigang^{2,3}, Gao Feng^{2,3},
Ma Lishuang^{2,4}, Chen Pengyu^{2,5}, Li Haitao^{2,6}, Gao Bo^{2,3}

¹School of Electrical and Electronic Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China; ²Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; ³State Key Laboratory of Particle Detection and Electronics, Beijing 100049, China; ⁴School of Astronautics, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China; ⁵School of Mechanical and Materials Engineering, North China University of Technology, Beijing 100144, China; ⁶School of Physics, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong 510275, China

Abstract: Study of the time characteristics of photomultiplier tube with ultra-fast time characteristics has an important guiding role for the further development of ultra-fast time response microchannel plate photomultiplier tube (FPMT). Based on the VME test system in high-energy physics and picosecond laser with single-photon pulse mode,

收稿日期: 2019-10-15; 收到修改稿日期: 2020-01-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(11675205, 11675196); 中国科学院青年创新促进会经费资助, 核探测与核电子学国家重点实验室资助(SKLPDE-ZZ-201902, SKLPDE-ZZ-201907)

作者简介: 王阳(1992-), 男, 硕士研究生, 主要从事光通信以及核电子学的研究。E-mail: wangyang2018@ihep.ac.cn

通信作者: 钱森(1981-), 男, 博士, 特聘青年研究员, 主要从事光电器件以及核电子学与核探测器的研究。E-mail: qians@ihep.ac.cn

版权所有©2020 中国科学院光电技术研究所

this manuscript designs a device to test the FPMT with 25 ps system error. The time characteristics of various FPMTs were tested by optimizing the FPMT signal readout anode, the voltage divider structure and voltage division ratio. The intrinsic time lower limit value of the FPMT in the non-single-photon working mode, is proposed to compare and analyze the time resolution of different FPMTs in different working states. After completing various optimized readout anode structural design for the FPMTs, it can be find that the best FPMT prototype in our Lab has the best intrinsic time resolution lower limit of 30 ps.

Keywords: PMT; MCP; time characteristic; high-voltage divider

Citation: Wang Y, Ma X R, Qian S, *et al.* The study of test method of time characteristic for ultra-fast-MCP-PMT[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2020, 47(2): 190635

1 引言

微通道板(Microchannel plate, MCP)是一种特殊工艺制成的微孔平板^[1],具有数百万个独立通道,每个通道内部都具有二次电子发射能力,由此可作为独立的电子倍增放大器工作。基于微通道板的光电倍增管(MCP-PMT)可以分为两款:小面积的近贴聚焦型(一般为平板型)和大面积的静电聚焦型(一般为球型或者椭球型)。

用于下一代中微子实验装置(江门中微子实验)的一款 20 英寸(1 英寸=2.54 cm)大面积静电聚焦型 MCP-PMT(简称 LPMT),自 2009 年起由中国科学院高能物理研究所研究人员设计^[2],目前已经成功批量生产^[3]。此款静电聚焦型的大面积 LPMT,尽管使用了 MCP,但由于更倾向于高收集效率和高探测效率,所以造成其时间性能并不突出,渡越时间分布(transit time spread, TTS)约为 20 ns^[4],不适用于快速时间响应的情况。

小面积的近贴聚焦型的 MCP-PMT^[5](简称 FPMT),具有时间响应快、抗干扰能力强、体积小、重量轻等特点,特别适用于快速且极微弱信号的探测,时间特性 TTS 可达到几十皮秒量级。这类产品可广泛应用于激光技术、高能物理研究、光学仪器、物理化学分析、宇宙射线检测、天文学和地质探测以及航空航天等领域^[6-7]。

随着科学技术的不断发展,各领域对此类快时间分辨的光电倍增管需求也不断提升,尤其是在小型放射医疗影像设备的制备^[8]、航天航空载荷研制^[9]、大型粒子对撞机探测器预研^[10]等有着迫切的需求。但目前市场上大多数小面积 FPMT 都是国外研制生产的,其价格非常昂贵,甚至需要进口许可;在具体使用中的关键技术和后期维护都依赖国外技术人员。虽然目前也有国内单位小批量试制^[11],但制作工艺存在较大差

异,尤其是后端信号读出方面还要大幅改进,进而改善样管时间分辨。

本文针对多款小面积 FPMT 的时间性能特性展开研究,一方面可以更加清楚地了解 FPMT 的时间特性和最佳工作模式,规范 FPMT 的测试方案和测试环境;另一方面,本研究对于进一步研制超快时间响应的微通道板光电倍增管并掌握其关键技术,以及完善其后端信号的读出电子学系统设计具有重要的指导作用。

由于 FPMT 的快速时间分辨、增益比较低,且常规测试方法精度低,所以很难测得单光子状态下的时间性能。本文基于目前高能物理通用的 VME 系统和高速采样示波器,提出 FPMT 的单光子测试方案,对多款 FPMT 样品进行时间性能研究。并通过优化分压器结构设计和分压比例、改进 FPMT 阳极信号后端读出方式、调节电路匹配阻抗避免波形畸变等方法,实现对 FPMT 超快时间响应的测试研究。

2 MCP 及 PMT 时间特性分析

MCP 可放大电子信号,效果类似于传统的二次电子倍增打拿极(dynode)。与传统倍增材料不同,MCP 由直径非常小的玻璃管(通道)周期性阵列组成,玻璃管熔合在一起并切片,形成数百万个通道。单个具有一定动量的粒子(离子、电子、光子等)进入通道后,与通道内壁的二次电子发射材料发生碰撞,发射出二次电子,二次电子由施加在 MCP 两端的电压产生的电场加速。它们沿着抛物线轨迹行进,直到它们反过来撞击通道表面,从而产生更多的二次电子,这个过程沿着通道壁重复多次;由此,该级联过程产生数千个电子簇,这些电子从 MCP 的出射端面汇聚到对应的阳极,形成脉冲信号。由于 MCP 的结构特点,可以实现双 MCP 或多个 MCP 串联,从而获得更高的输出电荷,增益可达 $10^6 \sim 10^8$ 。MCP 由于自身的结构特性,电子在通道内飞行的距离要远小于传统打拿极,

因此,时间性能优于传统打拿极,理论上 MCP 的本征 TTS 可以达到 15 ps。

FPMT 的时间特性是由输出信号的上升时间、下降时间和电子渡越时间等组成,如图 1 所示。上升时间为脉冲瞬时值最初从峰值幅度的 10%到 90%的时间间隔,下降时间则是脉冲从峰值幅度的 90%下降到 10%的时间间隔。渡越时间指的是从入射光入射到光阴极到阳极输出信号的间隔时间。渡越时间分布(TTS)描述的是渡越时间的分布情况,表征 FPMT 的时间分辨能力。

FPMT 的 TTS 产生差异的因素较多,例如,FPMT 内部结构越紧凑,电子在内部的飞行时间越短,TTS 也会相对减小,主要体现在光阴极到 MCP 的距离以及 MCP 到阳极之间的距离。此外,工作高压不同或者分压比不同,导致内部电场强度不同,进而影响电子飞行的速度,并导致飞行时间不同,即 TTS 的不同。另一方面,FPMT 的外形尺寸不同,各平行电极特别是输出端的等效电容也不同,导致脉冲输出速度不同,进而影响 FPMT 的时间性能。对于 MCP 自身而言,通道的孔径越小,那么有效面积内的通道数越多,致使 MCP 的动态范围增大,TTS 也会有所改善^[12]。

用于快速时间分辨的近贴聚焦型 FPMT 的设计,都要考虑上述情况。常规的 1 英寸 FPMT,其有效尺

寸为 18 mm,MCP 单通道口径可达 6 μm,厚度小于 1 mm。由于微通道板的结构特点,采用双片 MCP 近贴聚焦结构,光阴极(K)到 MCP_{in}、MCP_{out} 到阳极(A)均采用近贴聚焦的形式,使得电子在真空中的飞行距离大大减短,提高时间性能。而且,在近贴聚焦型 FPMT 的光阴极产生的光电子,其到 MCP 的飞行距离可等效为相等,这样对整个 FPMT 来说,输出的信号脉冲宽度变小,渡越时间零散减小。

3 FPMT 时间性能测试方案

3.1 皮秒激光光源单光子调节方案

时间测量的精度一定程度上取决于所用光源的特性,由皮秒激光器测试的 TTS 比脉冲信号发生器驱动激光二极管(LD)光源测试的结果更准确^[13],因此采用皮秒激光器作为测试光源,如图 2(a)所示,光源脉冲宽度约为 45 ps,时间抖动为 40 ps,波长为 400 nm,峰值功率约 300 mW。

由于激光光强过高,无法实现单光子谱(SPE)的测量,从而无法得到 FPMT 的绝对增益、能量分辨率、信噪比等信息。为了在单光子水平上实现精确的 TTS 测量,设计并构建了一种特殊的装置,如图 2(b)所示,该装置可以在单光子水平精度下调节给定入射光的强度。

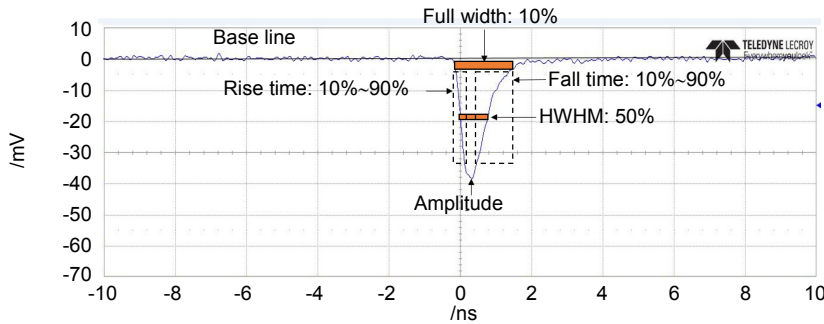


图 1 波形分析原理图

Fig. 1 Waveform analysis schematic diagram

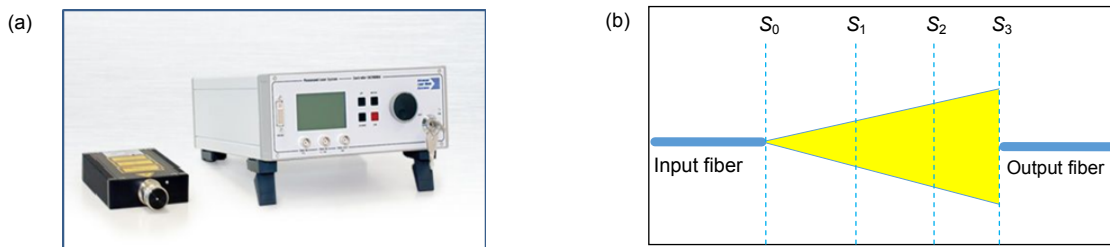


图 2 皮秒激光器及光强调节方法。(a) 皮秒激光器;(b) 光强调节示意图

Fig. 2 Picosecond laser and method of optical intensity modulation.

(a) Picosecond laser; (b) The schematic diagram of light intensity regulation

皮秒激光器产生的光源通过输入光纤传输,再通过另一根输出光纤导出光,进而入射到 FPMT 光阴极上。输出光纤与输入光纤之间的间距越大,在输出光纤端面上形成的光斑的面积越大,相应的该光斑单位面积内的光子数越少,在固定口径的输出端面上选择部分光线输出,可以实现对光强的调节。不同距离对应的输出光纤端面 S_1, S_2, S_3 上的光斑面积不同,光子数密度不同,使用同一根光纤导出的光束光强必然不同。因此,通过调节两根光纤的距离,可以调整出测试 FPMT 的单光子谱(SPE)对应的单光子状态。

3.2 数据采集(DAQ)系统

FPMT 的时间特性测量装置的原理图如图 3 所示,主要是基于 VME 的 TDC 插件进行测试,具体分为三个部分:光源(皮秒激光器)、FPMT 信号读出电子学和数据采集(DAQ)设备。皮秒激光器产生的脉冲光信号,通过光纤传输,入射到 FPMT 的光阴极上,发生

光电转换。FPMT 被激光激发的脉冲信号,通过其读出电子学,经过前沿甄别器转换为 NIM 电平,接入时间单元插件 TDC 的测试通道。皮秒激光器的同步输出信号同样经过前沿甄别器转换为 NIM 电平作为 TDC 的门信号,触发 TDC 测试 FPMT 的信号时间信息。TDC 采集到的数据传输到计算机上由 LabVIEW 程序处理并作图显示结果。

使用图 2(a)所示皮秒激光器输出信号的同步触发作为测试信号,得到电子学系统的时间分辨如图 4 所示,时间测量系统误差为 25 ps。

图 5(a)为 TDC 采集数据而成的 TTS 测试结果图, $TTS@sigma=65.34$ ps。通常,上升时间和下降时间是通过波形采样仪器(示波器)对 FPMT 输出信号进行采样测量。另一方面, TTS 也可以通过高速采样示波器进行测试。图 5(b)与 VME-TDC 相同测试条件下,使用力科 HDO9404-MS 示波器,带宽 4 GHz 采样率为

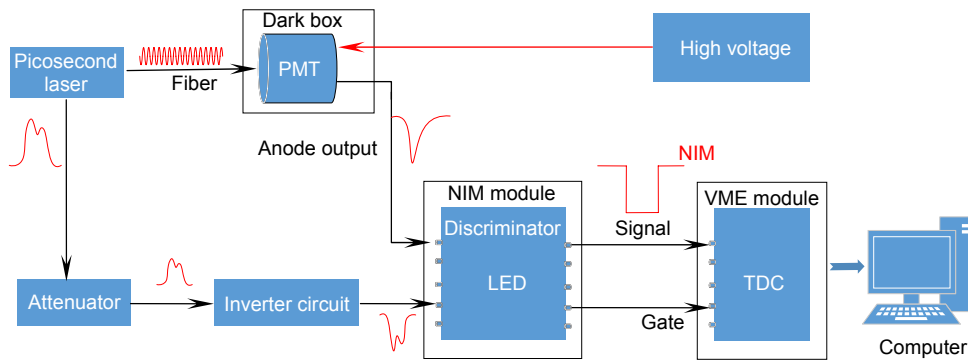


图 3 VME-TDC 测试流程图
Fig. 3 VME-TDC test flow chart

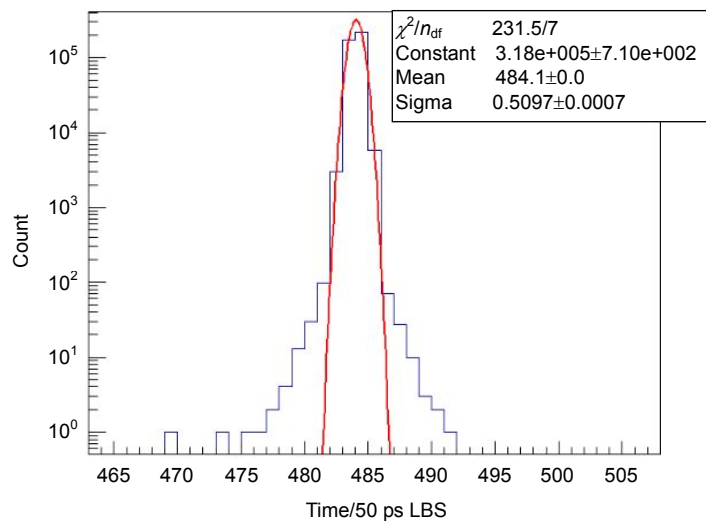


图 4 时间测试系统误差
Fig. 4 Time test system error

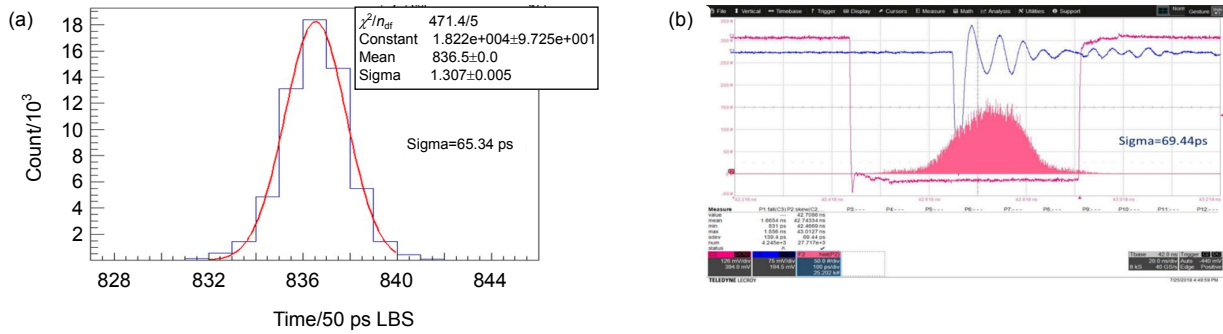


图 5 不同采样方式的测试结果。(a) VME-TDC 采集 TTS 测试图; (b) 高速采样示波器采集 TTS 测试图
Fig. 5 Test results of different sampling methods.

(a) VME-TDC acquisition of TTS test chart; (b) High-speed sampling oscilloscope acquisition of TTS test chart

40 GS/s, 其时间分辨为 25 ps, 测得的 TTS@sigma=69.44 ps。两者的差异主要是后者没有扣除信号幅度对测试时间引起的晃动, 需要进一步的时间-幅度修正。

3.3 分压比对时间性能的影响

由于 FPMT 的光阴极、倍增级和阳极需要不同的电压, FPMT 分压比不同, 造成的内部电场强度不同, 电子飞行速度也会有所不同, 进而影响 FPMT 的时间性能。如图 6 所示, 对一款 1 英寸的 FPMT, 在安全使用范围之内, 设计相同的分压器 BASE 板结构实现不同分压比条件: 各电极之间分压比分别为 2:6:4 和 1:9:1, 测得的 TTS@SPE 分别为 506 ps 和 317 ps。由此可见, 分压比例对 FPMT 的时间特性影响很大, 欲测试得到 FPMT 最佳的时间特性, 需要非常细致地优化其分压比例。

3.4 分压器结构对时间性能的影响

FPMT 的时间分辨理论上可以达到 30 ps, 但其快速信号的读出电子学涉及到与整管 FPMT 的阻抗匹配

问题, 如果阳极读出方式不合理, 或者使用分压器的阻抗匹配不合适, 不但信号反射(负高压模式)或者过冲(正高压模式)严重, 而且对时间分辨的测试影响非常大。

为此, 在实际测试各款 FPMT 前, 需要综合考虑其工作高压、回路电流、脉冲信号频率的特点, 有针对性地对其分压器在阻抗匹配、PCB 板结构设计、电子元器件选型及其与微带传输线的布线布局等方面进行优化, 保证输出波形信号稳定, 不影响时间性能测试精度。图 7 为分压器电路原理图。

在电气元器件的选型方面, 要保证 1% 的输出脉冲线性, 就要求分压电流是阳极平均电流的 100 倍左右。也就是说在电阻值的选择上要根据 $I_D = 100\bar{I}$ (其中 I_D 为分压电流, \bar{I} 为阳极平均电流), 保证输出脉冲线性的原理来设计。然而在脉冲电流中, 峰值电流远大于平均电流的情况经常出现, 为了防止这种大的变化, 需要在分压电阻上并联耦合电容。耦合电容的选择如下式^[13]:

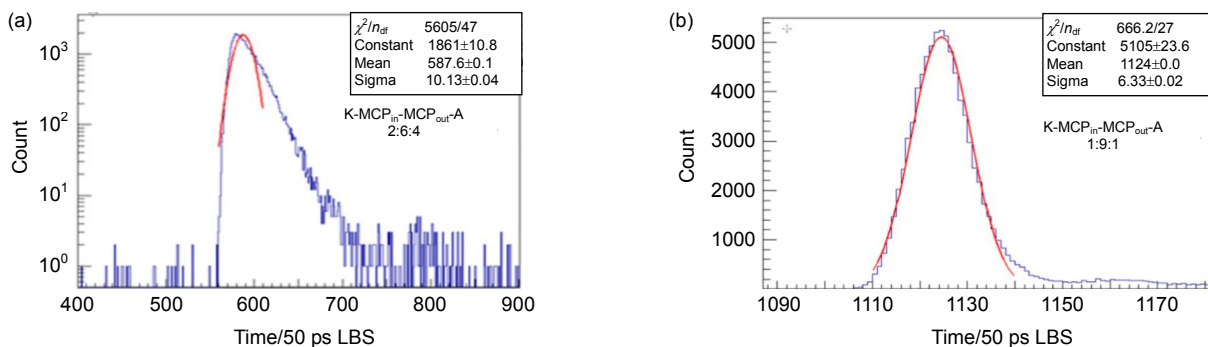


图 6 不同分压比例的 TTS@SPE 测试差异。(a) 分压比为 2:6:4; (b) 分压比为 1:9:1

Fig. 6 TTS@SPE tests with different high voltage distribution ratio were different.

(a) The high voltage distribution ratio is 2:6:4; (b) The high voltage distribution ratio is 1:9:1

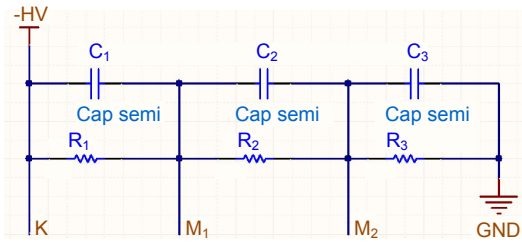


图7 分压器电路原理图

Fig.7 Voltage divider circuit schematic

$$C_1 \geq 25 \frac{Q_0}{V_1}, C_2 \geq 50 \frac{Q_0}{V_2}, C_3 \geq 100 \frac{Q_0}{V_3}, \quad (1)$$

其中： C_1 、 C_2 、 C_3 为电容值， V_1 、 V_2 、 V_3 为各级分得的电压值， Q_0 为输出脉冲电荷量。当脉冲输出的峰值电压为 V_0 ，脉冲宽度为 T_w ，负载电阻为 R_L ，则^[12]：

$$Q_0 = T_w \frac{V_0}{R_L} \quad (2)$$

如图8所示为不同结构设计和电子学元器件焊接的三款分压器，实测同一只FPMT，在相同分压比例条件下，测得其TTS和上升时间。阳极信号采用直接读出的方式，信号地与分压器BASE板的地相连，且

使用高速采样示波器进行测试。其中，图8(a)~8(c)为分压器1~3，图8(d)为三款分压器都可以测得的电荷谱，都能够很好地分辨出三光子。其中分压器3是在前面两款的基础上对元器件的选型、PCB板结构、微带线与元器件的布局布线做了相应的优化改进。表1为测试的时间性能结果，可以看出由于分压器结构的差异，导致测试结果TTS差异达到80 ps左右，下降时间差异达到几个纳秒以上。

4 测试结果

经过优化测试系统的光源、DAQ和数据分析方法，TTS测试系统的测试误差为25 ps，使用调节后的皮秒激光器光源，并采用改进优化后的分压器和合适的分压比例，得到FPMT对应的单光子状态的TTS。

但并不是全部的FPMT都可以测试得到单光子谱(SPE)，进而得到其TTS@SPE。不同的光子数条件下(MPE)，FPMT的时间涨落分布与光子数负指数相关；由于不能确认其单光子状态，故而无法精确获得其对应的光子数，就不能通过测试得到的多光子对应的时间分辨来对比表征FPMT的时间特性好坏。

为此，在不同光强条件下(表征为其阳极输出信号

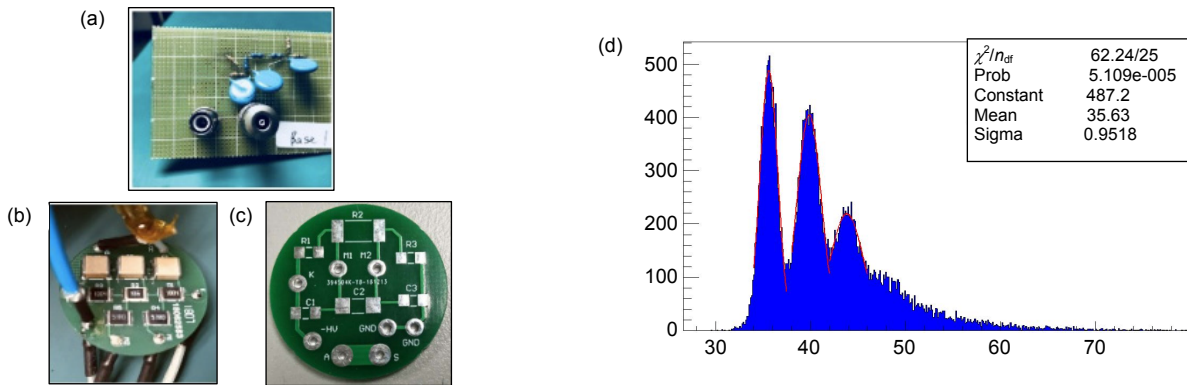


图8 不同类型的BASE及其测得的电荷谱。

(a) 分压器1; (b) 分压器2; (c) 分压器3; (d) 分压器1~3测得的电荷谱

Fig.8 Different types of BASE and their measured charge spectrum. (a) Voltage divider 1; (b) Voltage divider 2; (c) Voltage divider 3; (d) Charge spectrum measured by voltage divider 1~3

表1 不同结构BASE对同一只FPMT测得的时间性能

Table 1 Time performance measured by different structures BASE on the same FPMT

FPMT	Rise time/ns	Fall time/ns	3PE-TTS/ps	1PE-P/V
BASE1	1.68	5.85	248	5.82
BASE2	1.81	2.58	217	7.5
BASE3	1.87	3.67	172	7.5

幅度逐渐增加),测试其对应的时间分辨数据分布,如图9所示,绘制出其变化趋势,得到其时间分辨的下限(坪区),对应的坪区时间分辨,可以理解为该款FPMT的本征时间分辨下限值,进而实现对不能测试单光子信号的FPMT样管的性能标定研究。

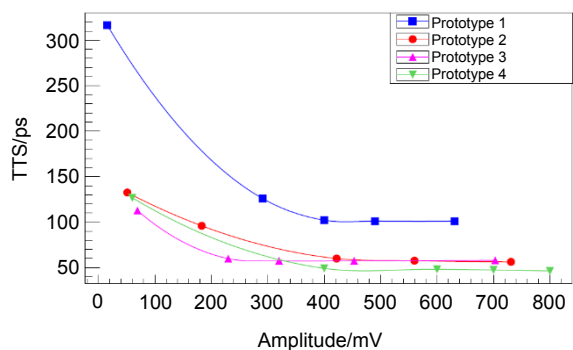


图9 多款FPMT的TTS随信号幅度的变化趋势
Fig. 9 The tendency of multi-style FPMT's TTS with signal amplitude

5 结论

建立超快FPMT时间特性测试装置,系统误差为25 ps。同时,优化FPMT的分压器以及阳极信号读出方式,合理调节阻抗匹配信号传输路径,保证输出信号的稳定性,可以进一步降低测试误差,提高FPMT时间测试精度。

通过测试不同厂家生产的多款快速FPMT,发现由于其FPMT制作工艺的不同,不少样管不具有单光电子分辨能力,所以,无法通过相同增益条件对应的单光电子谱的TTS来表征其时间性能,但可以通过多次测试其不同信号输出幅度对应的TTS数值,拟合出该款FPMT对应的本征时间分辨的下限值。经过测试,目前得到的各种样管,最好的时间分辨为30 ps@MPE。

参考文献

[1] Sun J N, Ren L, Cong X Q, et al. Large-area micro-channel plate photomultiplier tube[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2017, **46**(4): 0402001.
孙建宁,任玲,丛晓庆,等.一种大尺寸微通道板型光电倍增管[J].

红外与激光工程, 2017, **46**(4): 0402001.
[2] Wang Y F, Qian S, Zhao T, et al. A new design of large area MCP-PMT for the next generation neutrino experiment[J]. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 2012, **695**: 113–117.
[3] Gao F, Huang G R, Heng Y K, et al. Status of the 20 inch MCP-PMT prototype development for JUNO experiment[J]. *Journal of Physics: Conference Series*, 2017, **888**(1): 012050.
[4] Chang Y P, Huang G R, Heng Y K, et al. The R&D of the 20 in. MCP-PMTs for JUNO[J]. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 2016, **824**: 143–144.
[5] Barnyakov A Y, Barnyakov M Y, Bobrovnikov V S, et al. R&D of microchannel plate phototubes[J]. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 2006, **567**(1): 17–20.
[6] Kim H, Chen C T, Frisch H, et al. An application of micro-channel plate photomultiplier tube to positron emission tomography[J]. *Physics Procedia*, 2012, **37**: 1480–1487.
[7] Hirose S, Iijima T, Inami K, et al. Development of the micro-channel plate photomultiplier for the Belle II time-of-propagation counter[J]. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 2015, **787**: 293–296.
[8] Leach S A, Lapington J S, Milnes J S, et al. Operation of microchannel plate PMTs with TOFPET multichannel timing electronics[J]. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 2019, **936**: 337–339.
[9] Zhang H, Qiao C, Kuang H P. Target geo-location based on laser range finder for airborne electro-optical imaging system[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2019, **27**(1): 8–16.
张赫,乔川,匡海鹏.基于激光测距的机载光电成像系统目标定位[J]. *光学精密工程*, 2019, **27**(1): 8–16.
[10] Craven C, Bennis D C, Bond J L, et al. Large area microchannel plates for LAPPD™[C]//*Proceedings of Technology and Instrumentation in Particle Physics*, 2014.
[11] Ding Jihua. The development of the 4×4 multi-anode micro-channel plate photomultiplier[J]. *Optoelectronic Technology*, 2015, **35**(3): 214–216.
丁继华.4×4矩阵阳极微通道板光电倍增管的研制[J]. *光电子技术*, 2015, **35**(3): 214–216.
[12] Zhao W J, Liu D L, Ding J H, et al. Developed and time characteristic measure researched of the ultra-fast photoelectric multiplier[J]. *Optoelectronic Technology*, 2008, **28**(4): 267–269.
赵文锦,刘德林,丁继华,等.超高速光电倍增管的研制及其时间特性测试研究[J]. *光电子技术*, 2008, **28**(4): 267–269.
[13] Hamamatsu Photonics K K. *Photomultiplier Tubes Basics and Application*[M]. Tokyo: Hamamatsu K K, 2006: 12–70.

The study of test method of time characteristic for ultra-fast-MCP-PMT

Wang Yang^{1,2}, Ma Xiurong¹, Qian Sen^{2,3*}, Zhu Yao^{2,4}, Wang Zhigang^{2,3}, Gao Feng^{2,3},
Ma Lishuang^{2,4}, Chen Pengyu^{2,5}, Li Haitao^{2,6}, Gao Bo^{2,3}

¹School of Electrical and Electronic Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China;

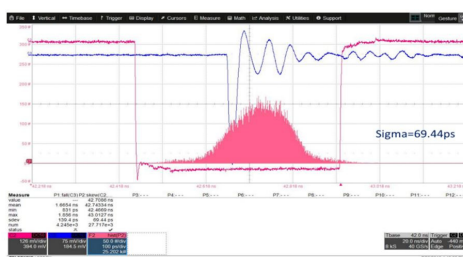
²Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

³State Key Laboratory of Particle Detection and Electronics, Beijing 100049, China;

⁴School of Astronautics, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China;

⁵School of Mechanical and Materials Engineering, North China University of Technology, Beijing 100144, China;

⁶School of Physics, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong 510275, China



High-speed sampling oscilloscope acquisition of TTS test chart

Overview: The micro channel plate (MCP) is a specially crafted microporous plate with millions of independent channels, each with secondary electron emission capability, which can be used as a standalone electronic multiplier amplifier. Due to the distance that electrons fly in the channel is much shorter than the traditional dynode, so the time performance is superior to the traditional dynode.

The microchannel plate photomultiplier tube (MCP-PMT) can be divided into two types: a small-area near-focus type (FPMT) and a large-area electrostatic focus type (LPMT). The small size FPMT of proximity focusing construct has many advantages such as fast time response, strong anti-interference ability, small volume and light weight. It is especially suitable for the detection of fast and very weak signals, and the time characteristic TTS can be on the order of tens of picoseconds.

A picosecond laser within single photon pulse operation mode is used as the test light source. The data acquisition system based on the Versa Module Eurocard (VME) Bus protocol, which widely used in high energy physics experiment. The single photon signal of the FPMT can be generate to be a NIM signal to the VME-TDC channel through the discriminator. The synchronous output signal of the picosecond laser also supplied ad the gate signal of the TDC. Then the data collected by the TDC will be transmitted to the computer and processed by the LabVIEW program. In the experiment, the time characteristics of a variety of FPMT prototypes were tested under different light intensities, different structured high-voltage dividers and different high-voltage distribution ratios.

The results show that the structures of high-voltage divider and the high-voltage distribution ratios have a great influence on the time resolution of the same FPMT. By optimizing the FPMT's voltage divider structure and selecting the appropriate high voltage distribution ratio, its time characteristics can be effectively improved.

The intrinsic time lower limit value of the FPMT in the non-single-photon working mode, is proposed to compare and analyze the time resolution of different FPMTs in different working states. After completing various optimized readout anode structural design for the FPMTs, it can be find that the best FPMT prototype in our Lab has the best intrinsic time resolution lower limit of 30 ps.

Citation: Wang Y, Ma X R, Qian S, *et al.* The study of test method of time characteristic for ultra-fast-MCP-PMT[J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2020, 47(2): 190635

Supported by National Natural Science Foundation of China (11675205, 11675196) and Chinese Academy of Sciences Youth Innovation Promotion Association and State Key Laboratory of Particle Detection and Electronics (SKLPDE-ZZ-201902, SKLPDE-ZZ-201907)

* E-mail: qians@ihep.ac.cn