

气体雪崩放电的单光子测量时间谱

韩家祥 许咨宗 陈宏芳 李澄 曾晖

(中国科技大学近代物理系 合肥 230027)

1995-10-13 收稿

摘 要

用单光子时间分辨测量技术,研究了伴随有限正比、自猝灭流光(SQS)和G-M三种放电模式光发射的时间特性.结果表明:SQS相对于原初雪崩有一段时间延迟,约几到十几ns,流光的持续时间在10—30ns范围,且与猝灭气体浓度和工作电压有关;伴随G-M雪崩时的光脉冲持续时间长达约1 μ s,而有限正比只有4ns.本文还清楚地显示了三种模式雪崩放电过程特征的区别.

关键词 SQS模式, G-M模式, 单光子技术.

1 引 言

气体探测器在粒子探测中一直发挥着重要的作用.对于有雪崩放大的放电过程,通常工作模式分为:正比、有限正比、G-M,最后到自持放电^[1].70年代人们发现,在一定工作条件下,当探测器的工作气体中猝灭气体成份超过一定比例,放电不发生G-M模式过程而代之以一种新的雪崩放电模式——自猝灭流光(SQS)放电^[2].对于SQS模式雪崩放电的机制至今尚在研究中^[3].在各种放电模式下雪崩过程都伴随着光的发射^[4-6].文献[5]和[6]描述了SQS和有限正比两种放电模式下的发光与其电信号关联的时间特性.本文用单光子时间分辨测量技术测量有限正比、SQS和G-M三种模式下雪崩时发光的时间谱,并对其进行分析,进一步对自猝灭流光过程发光的机制进行了讨论.

2 实验装置和方法

2.1 实验装置

计数管阴极是内径 $\phi 36$ mm,长20cm的圆柱形铜管,阳极是 $\phi 80\mu$ m的镀金钨丝.计数管中央的上部和侧面分别有 $0.5\text{mm} \times 10\text{mm}$ 的两条方向垂直的以 12μ m厚mylar膜密封的窗.准直的⁵⁵Fe 5.9keV的X射线从上部狭缝进入,伴随雪崩发射的光从侧面狭缝射出后由光电倍增管(PM)接收.光电倍增管是对单光子灵敏的具有时间分辨为0.2ns的

XP2262B型管. 工作气体选用 $\text{CO}_2 + \text{Ar}$ 和 Methylal + Ar. 检测系统置于暗箱内. 图1是单光子时间分辨测量系统的框图.

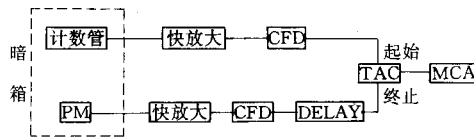


图1 测量发光时间谱的实验安排

2.2 实验方法

实验测量前对检测系统的单光子条件做了认真的调试. 在 PM 的光阴极前加一光栏 (1mm×2mm 小孔), 调节 PM 与计数管的距离, 在雪崩发光最强情况下使 PM 所测得的光子谱与 PM 光阴极的热电子发射谱完全一致, 从而保证系统的单光子测量条件.

当一次雪崩过程发生时, 它的电信号从阳极丝输出, 假定伴随发射的光有一个光子被 PM 接收, 则它输出相应信号. 计数管的电信号经快放大后进入恒比定时甄别器 (CFD), 其输出成为时幅转换器 (TAC) 的起始信号; PM 输出的信号经快放大和恒比定时后, 经适当延迟成为 TAC 的终止信号. 此时 TAC 输入多道 (MCA) 的时间信号包含了 PM 接收到的这单个光子与该次雪崩发生初始时刻的时间差, 也包含了所有电子学线路的延迟和 PM 的渡越时间. 然而, 后两者是一个分散为 450ps 的定值^[5]. 所以, 多次测量得到的是雪崩发光的单光子时间谱 (简称时间谱). 它描绘了伴随雪崩发生时的光强随时间的变化情况.

3 不同放电模式下的雪崩发光时间谱

3.1 SQS 模式时间谱

实验对含有不同猝灭气体 (CO_2 或 Methylal) 体积比例 F 或 F_m ($F = \text{CO}_2 / (\text{CO}_2 + \text{Ar})$, $F_m = \text{Methylal} / (\text{Methylal} + \text{Ar})$) 的工作气体和不同的阳极丝高压条件下的时间谱进行了测量. 图2是 F 为 54%, 不同阳极丝高压下的时间谱. 它反映了 SQS 雪崩时流光随时间发展 (前沿) 和衰减 (后沿) 过程. 图2显示了: 谱的峰位 (光强最大) 随丝电压增加而前移, 即相对时间在缩短. 用 Δt 表示在 SQS 与有限正比共存区内 (总事例的 10%—90% 进入 SQS 模式) 峰位的移动程度 (即峰位差), 则在每种猝灭气体成份下, 谱峰位的移动程度随猝灭气体浓度增加而缩小 (见表1). 如果用时间谱的峰位对应的时间表征 SQS 发展的参考时间, 则峰位的移动表示了 SQS 相对于原初雪崩延迟的变化. 那么, 在同一猝

表1 Δt 随猝灭气体浓度的变化

猝灭浓度 (%)	F						F_m	
	35.0	43.5	54.0	64.0	77.0	87.0	12.6	16.6
Δt (ns)	15.6	11.9	7.5	5.8	3.4	2.4	10.6	4.1

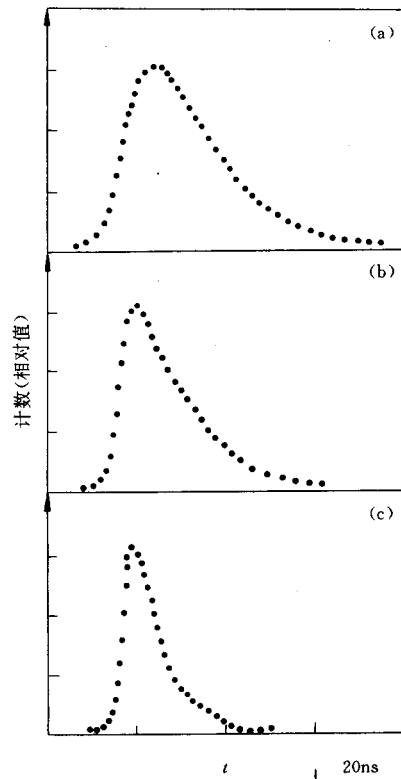


图 2 不同丝高压下的时间谱

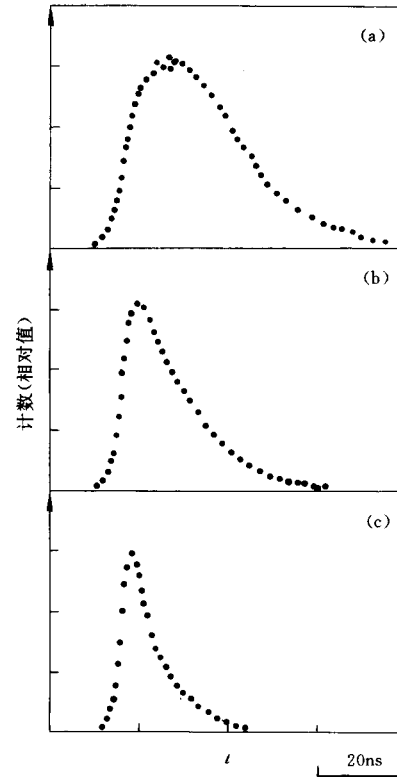
 F 为 54%.(a) $V=3.75\text{kV}$; (b) $V=3.87\text{kV}$;(c) $V=4.05\text{kV}$.

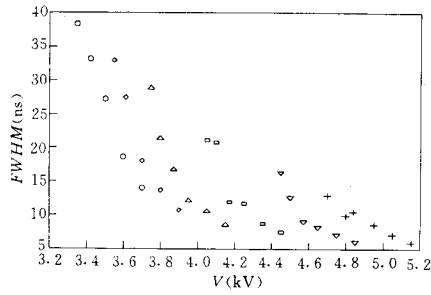
图 3 跳变电压下的时间谱

(a) $F=35\%$, $V=3.42\text{kV}$;(b) $F=54\%$, $V=3.87\text{kV}$;(c) $F=77\%$, $V=4.57\text{kV}$.表 2 SQS 跳变电压下不同猝灭气体浓度的 $FWHM$ 值

猝灭浓度 (%)	F						F_m	
	35.0	43.5	54.0	64.0	77.0	87.0	12.6	16.6
$FWHM(\text{ns})$	33.3	27.5	16.7	11.9	9.0	10.2	175	140

灭气体浓度下丝电压升高这种延迟减小. 猝灭气体浓度越高这种延迟随丝电压变化越小. 图 3 是不同猝灭气体浓度 F 下, 阳极丝电压在 SQS 跳变电压(在该工作电压下, SQS 和有限正比发生几率各占一半^[4])下的时间谱. 它显示了猝灭气体浓度增加 SQS 雪崩发光过程的持续时间($FWHM$)缩小, 谱的峰位在前移, 即 SQS 相对于原初雪崩的延迟时间缩短.

用图 2 的时间谱的半高全宽($FWHM$) 来表征 SQS 雪崩发光过程的持续时间. 图 4 是不同猝灭气体浓度下, $FWHM$ 随电压的变化规律. 表 2 给出在 SQS 跳变电压下, 不

图4 $FWHM$ 随丝电压的变化

猝灭气体浓度 F : \circ 35%; \diamond 43.5%; \triangle 54%;
 \square 64%; ∇ 77%; $+$ 87%.

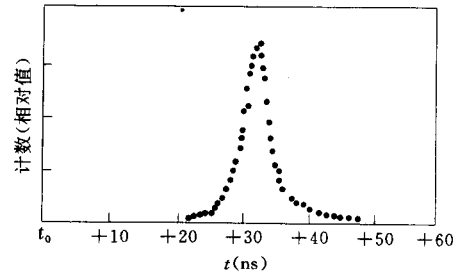


图5 有限正比模式的时间谱

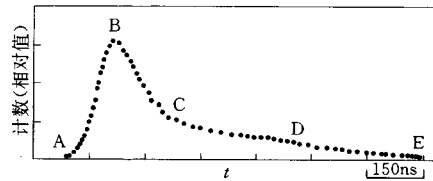


图6 G-M 模式的单光子时间谱

$V=1.87\text{kV}$, $F=7\%$.

同猝灭气体浓度下的 $FWHM$ 值. 结果表明: SQS 发光的持续时间随丝电压上升而缩小. 在跳变电压下, 随猝灭气体浓度增加而缩小. 这反映了 SQS 雪崩过程随丝电压和猝灭气体浓度增加而加快. 另外, 从表 1、2 结果看出猝灭气体 Methylal 的浓度变化对 SQS 雪崩过程的影响较大.

3.2 有限正比模式和 G-M 模式下的时间谱

图 5 是猝灭气体 CO_2 浓度为 64%, 丝电压为 4.17kV 时的有限正比雪崩发光的时间谱. 可见它与 SQS 模式(图 2.3)的时间谱不同, 它呈现为高斯分布, 谱的半高全宽在跳变电压下为 4ns, 这远小于相应 SQS 时间谱的 10—30ns($FWHM$). 详细讨论参见文献[5]和[6].

对工作在 G-M 模式下的计数管($F_m=7\%$)的单光子时间谱测量结果见图 6. 与图 2.3 及图 5 相比, G-M 模式下的发光谱中有一个慢的发光过程存在. 这是 G-M 放电机制的特点. 可以认为, 在 G-M 模式下, 雪崩首先发生在原初电离产生的位置(图 6 中 ABC 段), 接着引起沿丝传播的次级雪崩(图 6 中 CDE 段). 对于 SQS 和有限正比雪崩放电没有沿丝传播的次级雪崩发生. 图 6 中 ABCDE 段的持续时间是 $0.93\mu\text{s}$, 与示波器输出的相应电脉冲宽度约 $1.0\mu\text{s}$ 相符合. 类似地, 对于 $F_m=3.3\%$ 的计数管相应 ABCDE 段是 $1.38\mu\text{s}$, 与示波器的电脉冲约 $1.5\mu\text{s}$ 相符合. 实验将 ^{55}Fe 的 X 射线源换成 ^{137}Cs 的 γ 源和 ^{90}Sr 的 β 源, 输出的电脉冲波形和幅度没有什么变化, 这是计数管工作在 G-M 模式的一个特征.

4 结 论

由以上的讨论可以看出, 单光子测量的有限正比、SQS 和 G-M 三种模式时间谱, 是从发光的角度反映了计数管内部不同雪崩模式的发展过程. 这不仅有助于仔细研究 SQS 和 G-M 模式的放电机制, 而且各自的时间谱可以作为区别有限正比、SQS 和 G-M 三种模式雪崩放电的一种手段.

参 考 文 献

- [1] 唐孝威等, 粒子物理实验方法, 高等教育出版社, 1982. 2.
- [2] R. Bouclier *et al.*, *Nucl. Instr. and Meth.*, **88**(1970) 149; G. Charpak *et al.*, *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, **NS-25**(1978) 122.
- [3] X. W. Tang, *Nucl. Instr. and Meth.*, **A307**(1991) 580.
- [4] M. Atac *et al.*, *Nucl. Instr. and Meth.*, **A200**(1982) 345; G. D. Alekseev *et al.*, *Nucl. Instr. and Meth.*, **A177**(1980) 385.
- [5] Han Jiexiang, Li Cheng, Xu Zizong *et al.*, *Nucl. Instr. and Meth.*, **A349**(1994) 495.
- [6] 许咨宗、韩家祥、陈宏芳等, 高能物理与核物理, **19**(1995) 775.

Single Photon Time Spectra in Gas Avalanches

Han Jiexiang Xu Zizong Chen Hongfang Li Cheng Zeng Hui

(Department of Modern Physics, University of Science and Technology of China, Hefei 230027)

Received 13 October 1995

Abstract

Using the technology of the single photon time resolution, we have studied the time spectra of light emission in LP mode, SQS mode and G-M mode. The results show that the SQS streamer has a delay relative to the primary avalanche and its lasting time is about 10—30ns which depends on the contents of the quenching gas and the anode high voltage. The lasting time in the G-M mode is about $1\mu\text{s}$, and that in the LP mode is only 4ns. This has fully demonstrated that the three modes have quite different characters in their individual avalanches.

Key words SQS mode, G-M mode, single photon technology.