

气体雪崩过程中光电信号的时间关联*

许咨宗 韩家祥 陈宏芳 李澄

(中国科技大学近代物理系 合肥 230027)

1994-07-26 收稿

摘 要

本文报道在有限正比和 SQS 模式下的光信号和原初雪崩的电信号时间关联的实验结果。表明伴随有限正比雪崩过程有微弱的光发射,光脉冲的半高全宽(FWHM)为4ns;自猝灭流光光脉冲相对于原初雪崩的电信号有几 ns 的延迟,而且这种延迟的涨落(FWHM)也有几 ns。实验还给出了它们随丝电压和猝灭气体浓度的变化情况。

关键词 原初雪崩, SQS 模式, 光电时间关联。

1 引 言

对于特定几何参数和特殊工作气体的计数管,它可以工作在正比、有限正比和自猝灭流光(SQS)放电模式^[1]。自猝灭流光是70年代发现的一种新的放电模式。由于它具有信号幅度大,死时间短等特点,已被广泛应用在粒子探测技术中。然而目前还缺乏对SQS放电现象的全面认识和对机制的深入了解。现已被人们接受的放电特性是:SQS放电的雪崩发生是在有限正比雪崩(又称为原初雪崩)的基础上发展起来的;与有限正比雪崩不同,伴随SQS雪崩过程有较强的流光出现;有限正比和SQS两种放电模式有共存区^[2,3]。当前人们关注的一个热点是:计数管内部放电是怎样从有限正比雪崩过渡到更大规模的SQS雪崩的?这个过渡过程在时间上有什么特征^[4]?本文只对处于共存区SQS和有限正比两种模式下,其输出的电信号和光信号的时间关联进行实验研究。这方面的工作尚未见详细报道^[5]。

2 实验装置和原理

实验的计数管(图1)阴极是长20cm,内径36mm的黄铜管,阳极是沿轴向的 $\phi 80\mu\text{m}$ 镀金钨丝。在计数管的中央部位开有两条宽0.5mm长10mm的狭缝,一条沿轴向,以使被孔(0.5mm \times 1.5mm)准直的⁵⁹Fe5.9keV X射线进入;另一条在侧面且垂直于轴向,

* 国家自然科学基金资助。

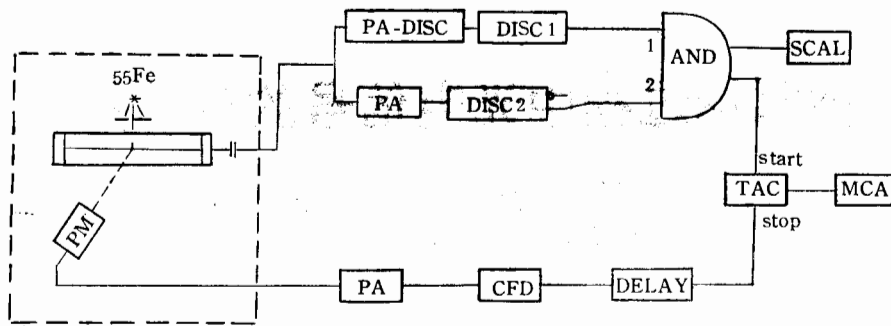


图1 实验装置安排

雪崩时的光从它射出到光电倍增管 PM(XP2262B) 的光阴极。工作气体选用 $\text{CO}_2 + \text{Ar}$ 。

在图1所示的实验安排中，计数管和光电倍增管放置在一个光密封的暗箱内。轴向准直的X射线从管的上部狭缝进入工作气体中，引起原初电离。电离产生的电子在阳极丝附近产生雪崩。对于一定的工作气体成份，随阳极丝电压变化，放电从正比进入有限正比以及有限正比和SQS模式的共存区，最后到SQS模式。

实验时把计数管阳极丝输出的电信号分成两路，一路经自制的放大甄别器 PA-DISC (阈值 $V_1 = 0.1\text{mV}$) 后，再由甄别器 (DISC1) 输出 NIM 电平信号进入符合 (AND)，这样进入符合的信号前沿时间由原初雪崩时间决定。另一路中甄别器 2 的阈值 (V_2) 调节在只让 SQS 电信号有输出，再由 out 或 $\overline{\text{out}}$ 输出与第 1 路信号进行符合或反符合，从而选出 SQS 或有限正比 (LP) 电信号。适当调整延迟和脉冲宽度使符合的输出信号时间总是由第 1 路(即原初的雪崩)时间决定。有关的输出脉冲时序如图 2 所示。

计数管输出的光信号由光电倍增管 (PM) 接收(调节使 PM 对单光电子灵敏)。PM 输出的电脉冲经快放大 (PA)、恒比定时 (CFD) 和延迟器 (DELAY)，成为时间-幅度

变换器 (TAC) 的终止时间信号。时间关联的时间分辨谱(简称时间谱)由多道 (MCA-TN7200) 记录。

实验前对该谱仪的时间分辨进行了标定。用氢灯(准 δ 光源)代替计数管，此时在 PM 前加一小光栏以减弱放电时进入光阴极的光强。结果给出系统固有的时间分辨谱半高宽度 (FWHM) 为 450ps。

实验时选择了不同的 CO_2 浓度(用 F 表示)的 $\text{CO}_2 + \text{Ar}$ 混合气体。各种浓度下的 SQS 跳变电压 V_{tr} (在该电压时有限正比和 SQS 的事例各占一半) 和两种模式共存区 (从 SQS 占 10% 到 90% 事例的区间) 分别标记在相应的图上。

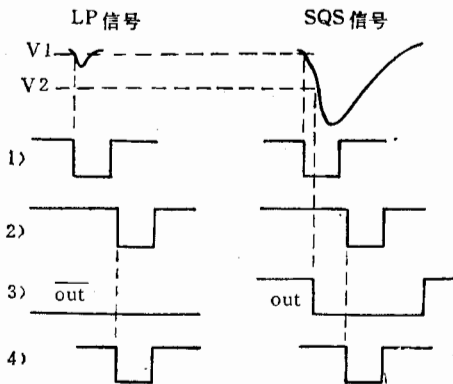


图2 有关的输出电脉冲时序

1) 放大甄别器输出电脉冲；2) 进入符合入口 1 的电脉冲；3) 进入符合入口 2 的电脉冲；4) 符合输出的电脉冲，TAC 起始信号。

3 伴随有限正比模式的光信号

当图 1 中甄别器 2 是 $\overline{\text{out}}$ 输出时, 测量选择的是有限正比信号。这时与电信号相关联的是有限正比模式雪崩所发射的光。图

3 是与有限正比雪崩对应的光电时间关联谱。把图 1 中定标器 (SCAL) 得到的测量时间内总的有限正比事例与相应时间谱 (图 3) 的面积比较, 光电倍增管 (对单光子灵敏) 接收到的光事例数不到总事例的 10%, 表明接收到 0 光子的概率为 90%, 双光子被记录的概率小于 0.5%。图 3 实际上是单光子时间分辨谱, 它反映了伴随有限正比雪崩的光发射的时间过程。

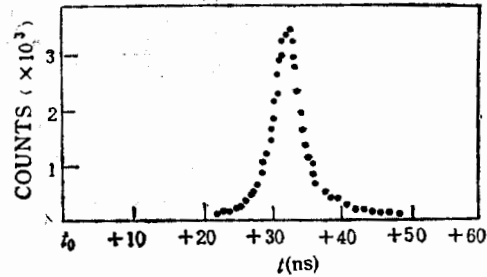


图 3 伴随有限正比雪崩的光发射的时间分布
猝灭浓度 $F = 64\%$, 丝电压 $V_{ir} = 4.17\text{kV}$ 。

用时间谱的半高宽 $FWHM$ 来表征光发射的持续时间, 图 4 是不同猝灭气体成份下, $FWHM$ 随丝高压变化的情况。注意到在跳变电压 V_{ir} (图中加圈的实验点) 时, 不同猝灭气体成份光发射的持续时间大约都是 4ns。

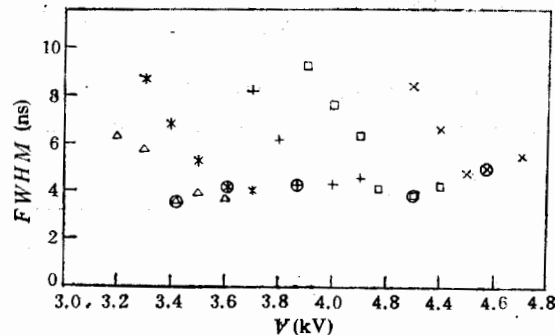


图 4 $FWHM$ 随丝电压 V 的变化

\triangle 35%; * 43.5%; + 54%; \square 64%; \times 77%.

4 SQS 模式的光电时间关联

不同于有限正比雪崩, SQS 雪崩伴随大量的光发射, 所以从光电倍增管输出的不再是单光电子的信号, 而是整体光脉冲信号。此时装置中甄别器 2 置于 out 输出位置, 只选 SQS 电信号进行时间关联测量。图 5 是 SQS 流光与其原初雪崩之间的关联时间谱。谱的半高宽 ($FWHM$) 表征 SQS 发射光的分散特性, 图 6 显示随丝电压升高, 分散减小; 在跳变电压下 (图中加圈的实验点), $FWHM$ 随猝灭气体浓度增加而减小。

对于图 5 谱峰位置对应的时间 (t_0) 由三个部分组成: 1) 相对原初雪崩, SQS 流

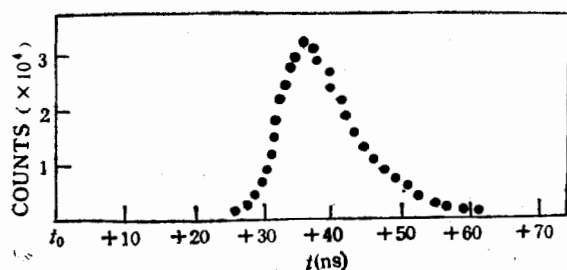


图5 伴随 SQS 雪崩的流光的关联时间谱
猝灭浓度 $F = 64\%$, 丝电压 $V_{rr} = 4.17\text{kV}$.

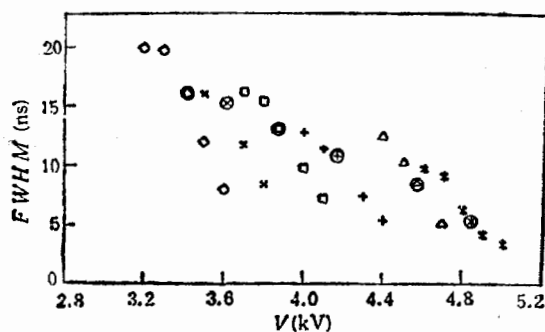


图6 SQS 发射光的分散 $FWHM$ 随丝电压的变化
◇ 35%; × 43.5%; □ 54%; + 64%; △ 77%; * 87%.

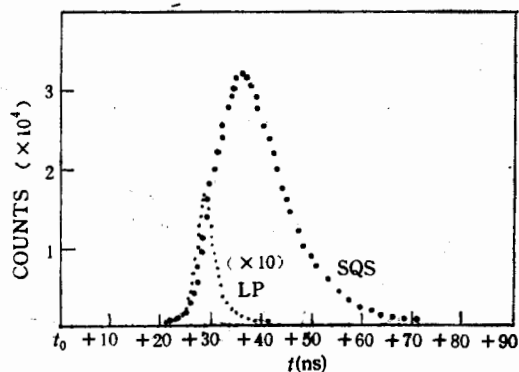
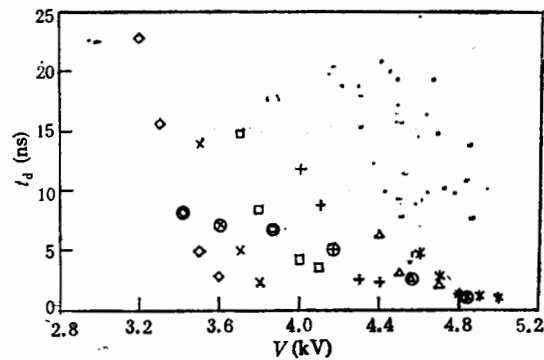


图7 同样条件下两种模式的时间谱

光发射存在的一段延迟时间; 2) 光电倍增管的渡越时间(约 30ns); 3) 两路电子学的相对延迟。另一方面, 注意到图 3 谱峰对应时间 (t_2) 包含光电倍增管渡越时间和两路电子学的相对延迟, 所以对于同样的猝灭气体浓度和丝电压条件下, 两谱峰位的差值 $t_2 - t_1$ 描述了 SQS 流光发射相对原初雪崩的延迟时间(图 7 所示)。由图 8 反映出, 在

图 8 延迟时间 t_d 随丝电压的变化

◇ 35%; × 43.5%; □ 54%; + 64%; △ 77%; * 87%.

共存区, SQS 流光发射的相对延迟时间 t_d 随丝电压增加而减小; 在跳变电压下随 CO_2 浓度增加而减少(图中加圈的实验点)。

5 结 论

本文主要讨论了在共存区, 有限正比和 SQS 两种模式的发射光与其原初雪崩之间的时间特性。通过对时间谱的分析得到:

1) 伴随有限正比的雪崩, 存在微弱的光发射。该光发射过程的时间大约是 4ns (跳变电压下)。

2) SQS 流光发射相对于原初雪崩有几 ns 的时间延迟, 且该时间延迟具有几 ns 的分散特征。无论是时间延迟还是时间分散都随着丝电压升高而减小; 随猝灭气体浓度增加而下降(跳变电压下)。

有关 SQS 流光发射相对时间延迟和其发散性, 将在以后继续讨论。

参 考 文 献

- [1] R. Bouclier et al., *Nucl. Instr. and Meth.*, **A88**(1970)149.
- [2] G. D. Alekseev et al., *Nucl. Instr. and Meth.*, **A177**(1980)385.
- [3] M. Atac et al., *Nucl. Instr. and Meth.*, **A200**(1982)345.
- [4] 韩家祥, SQS 放电过程的时间结构, 中国科技大学硕士论文, 1993, 2.
- [5] M. Salomon et al., *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, **NS-31** (1984) 87.

Time Correlation of Optical Signals and Electrical Signals in Gas Avalanche

Xu Zizong Han Jiexiang Chen Hongfang Li Cheng

(University of Science and Technology of China, Hefei 230027)

Received 26 July 1994

Abstract

In this paper, the results of the time correlation have been given between optical signals and electrical signals in gas avalanche for both the Limited Proportional mode and the Self Quenching Streamer mode. There exists a weak optical emission simultaneously with the LP avalanche and the duration of the optical pulse is about 4ns at V_{tr} . The streamer development in SQS mode has a delay (a few ns) relative to the primary avalanche and there is a spread of delay of a few ns.

Key words primary avalanche, SQS mode, time correlation.