

自猝灭流光现象的初步观察

陆昌国

(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

文章报告了作者对自猝灭流光的电子学和光学的观察结果,观察述及到这种模式向有限盖革模式的过渡,与初始电离及不同气体成分的关系,以及电荷量谱,对这种流光的直接的光学摄象有助于更好地理解这种新的气体放大模式。

一、实验装置

本实验所采用的阴极管为 $12 \times 12 \text{mm}$ 铝管,长为 $\sim 23 \text{cm}$,在管子的两端侧面分别钻孔,装上进气及出气口,两端用有机玻璃作端盖,阳极丝采用 $100 \mu\text{m}$ 金属丝。气体成分为 50% 氩气和 50% 乙烷的混合气通过酒精。整个装置采用流气式,气压为大气压。在管子的一侧开一个 $4 \times 10 \text{mm}$ 的孔,孔上复以铝箔,以提供 ^{55}Fe 的 5.9keV X 射线的人射窗。

利用 Tektronix 454 示波器对输出脉冲波形进行观察。为进行脉冲幅度分析,输出信号送入 CAMAC ADC 插件 (Lecrog 2249A),由 PDP-15 计算机进行在线数据获取及分析。

二、实验结果

为了测量自猝灭流光模式的工作效率,我们采用图 1 的办法,让计数管的输出信号通过一个阈值可调的甄别器,其甄别阈可调得很低,以至正比信号可以触发它。被测计数管每设置一个高压值,首先降低甄别阈,让正比信号及自猝灭流光信号都能通过甄别器,由定标器加以记录,然后再升高甄别阈,使正比信号幅度低于甄别阈,于是我们只记录下自猝灭流光信号,求得前后两次记录下的计数率之比,就是计数管从正比模式向自猝灭流光模式的跃迁效率。由图可见,自猝灭流光模式的工作效率非常接近正比模式。

我们将阳极丝换成 $20 \mu\text{m}$ 的金属丝,采用相同的混合气体,改变高压值,始终未能看到自猝灭流光信号。高压达到 2400V 时,计数器进入自持放电工作状态,这时即使移走放射源,输出信号仍旧存在。

我们把酒精从混合气体中移走,阳极丝仍为 $100 \mu\text{m}$, $50\% \text{Ar} + 50\% \text{C}_2\text{H}_6$ 混合气体直

本文 1982 年 4 月 7 日收到。

接通人自猝灭流光管,这时观察到的信号见图3所示.由图可清晰地看到在自猝灭流光信号的后沿又重迭有第二个信号,这就是所谓的有限盖革信号^[1].由于从混合气体中移走了酒精成分,所以在气体放电过程中所产生的紫外光子更容易打到计数管管壁上(酒精分子对它们有强烈的吸收作用),从而把电子从壁上击出.

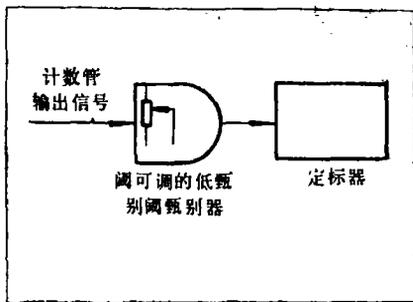


图1 测量自猝灭流光管的工作效率

击出的电子在向阳极丝漂移的过程中会在流光的尖端处继续原先的放电倍增过程(因为只有在该处电场强度才足够强,以至能引起放电倍增),从而产生了图中的第二个脉冲.但由于混合气体中 C_2H_6 的含量十分高,所以产生这种第二次接连放电只局限于原始放电区域,不能像在盖革管中那样,扩展到整个计数管.在流光信号前沿与出现

二次脉冲之间的时间间隔,约为电子从阴极向阳极漂移的时间.

我们分别以 ^{55}Fe 的X射线及 ^{90}Sr 的 β 射线来照射流光管,其它各种条件都相同($H.V. = 3600V$, $50\%Ar + 50\%C_2H_6$.通过室温下的酒精,这时酒精在混合气体中的含量

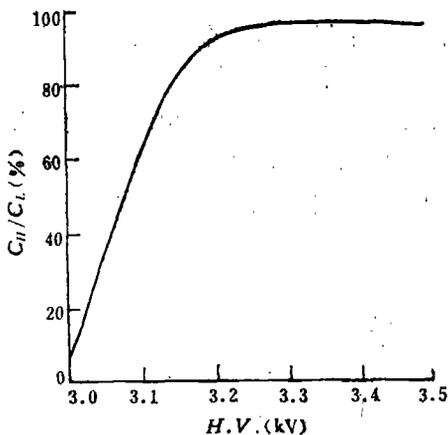


图2 从正比模式向自猝灭流光模式的跃迁效率.

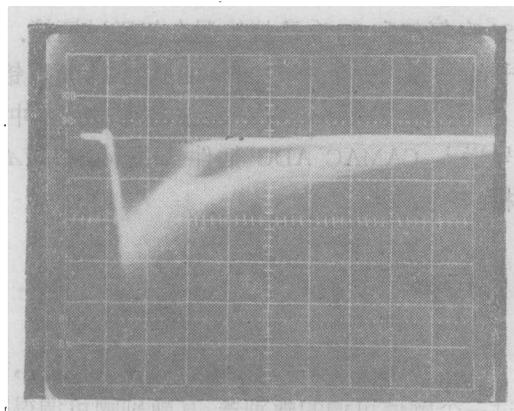


图3 自猝灭流光信号与有限盖革信号
(x座标50ns/格,y座标20mV/格)

约为6%),示波器观察到的信号分别见图4(a),(b),并没有发现这两种脉冲的大小和形状有什么明显的区别.用 ^{55}Fe 和 ^{106}Ru 两种源测下的电荷量谱其峰值也没有明显的差别.这表明自猝灭流光信号基本上与人射粒子造成的初始电离无关.

改变气体的组分,不断增加多原子分子气体的含量,可以明显地发现输出脉冲信号的变化.图5(a)(b)(c)分别显示在 $100\%Ar$, $75\%Ar + 25\%C_2H_6$ 和 $50\%Ar + 50\%C_2H_6$ 三种混合气体下的输出信号.如果采用 $100\%Ar$,则当高压为 $2000V$ 时,开始出现少数自猝灭流光信号,增加到 $2100V$ 时,就出现如图中所示的很宽的信号,图中所示的信号取自高压为 $2400V$ 的情况,当高压达到 $2600V$ 时,计数管进入自持放电工作状态.图5(b)中显示,当增加 C_2H_6 含量时,原先很宽的信号消失,出现了自猝灭流光信号,但仍旧可见

有大量的二次脉冲出现,而在图 5(c) 中则二次脉冲完全消失。

利用 PDP-15 计算机和 CAMAC 机箱组成的在线数据获取系统,我们记录了自猝灭流光信号的电荷量谱。流光管所用气体为 50%Ar + 50% C_2H_6 。通过 0°C 的酒精(这时酒精在混合气体中含量约为 1.4%),阳极丝为 100 μm ,放射源为 ^{59}Fe 。我们测试了从 3000V

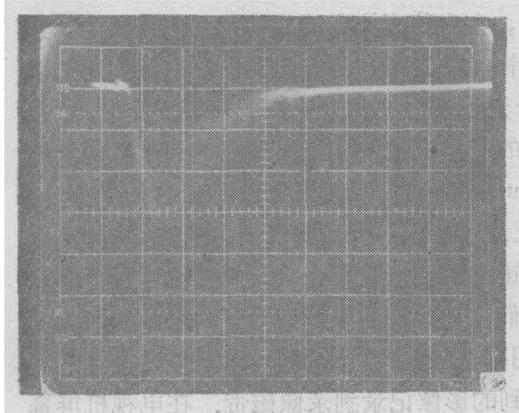


图 4(a) ^{90}Sr 源
y 座标 20mV/格 x 座标 50ns/格

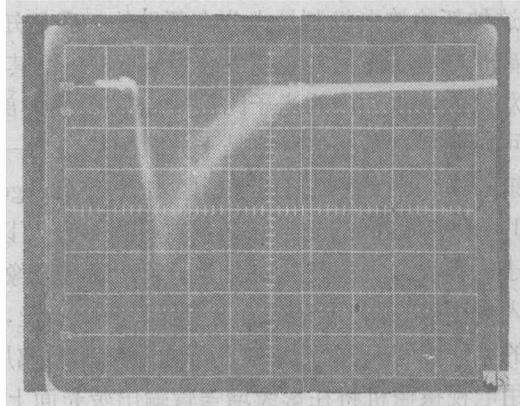


图 4(b) ^{59}Fe 源
y 座标 20mV/格 x 座标 50ns/格

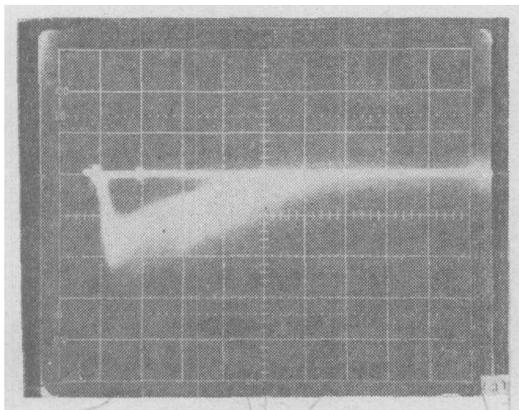


图 5(a) 100%Ar
H.V. = 2400V, ^{59}Fe

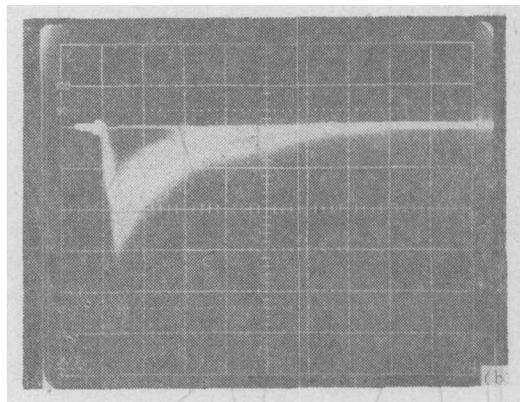


图 5(b) 75%Ar + 25% C_2H_6
H.V. = 3100V, ^{59}Fe

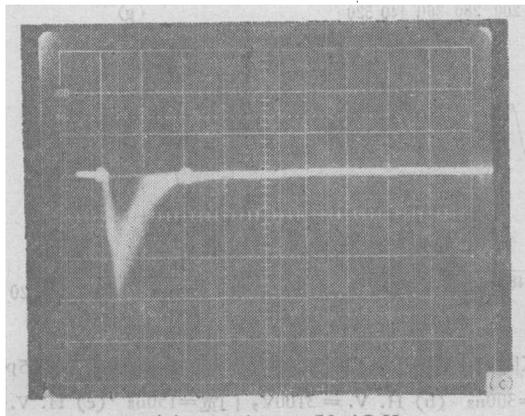


图 5(c) 50%Ar + 50% C_2H_6
H.V. = 3400V, ^{59}Fe

至 3900V 各种不同高压下的谱,其结果见图 6 所示. 由这些谱的形状我们可以发现,当高压增加时,脉冲电荷量出现一些小的跃迁,这表明在自猝灭流光的气体工作模式中存在着一些细致的气体放大机制^[2].

一个十分有兴趣的工作是直接观察这些自猝灭流光信号的光学形象,这对我们理解这种新的放电机制是十分有帮助的. 我们知道,在自猝灭流光造成的饱和电荷云中,正离子与电子有可能重新复合发出光子,但其几率 $\ll 1$,光子向各方向发出,在我们能加以观察的立体角内的光子比例 $\ll 1$,同时绝大部分光子又会被多原子分子气体所吸收,所以可以预料这种光信号将是十分微弱的,用一般的光学记录仪器将很难观察到放电现象的细节^[2],所以我们采用了影像增强管(Image Intensifier). 四级磁聚焦影像增强管(EMI Type 9694)^[3]的光学倍增系数可达 10^6 ,可以记录下在第一级光阴极上击出的单个光电子的影像. 实验装置如图 7 所示. 通过成像透镜将阳极丝的影像成像到影像增强管的输入光阴极表面. 当然,为了要能看到阳极丝,我们在计数管的一侧面开了一个 $\sim 8 \times 15\text{mm}$ 的孔,然后把表面镀有透明导电薄膜的玻璃片用导电胶粘接到该面上,以覆盖这个孔. 利用电视摄像机将在影像增强管输出荧光面上得到的影像记录到录像磁带. 在电视机屏幕上重映录像时,用 Polaroid 照像机摄下如下的一系列照片. 目前的工作条件是流光管为

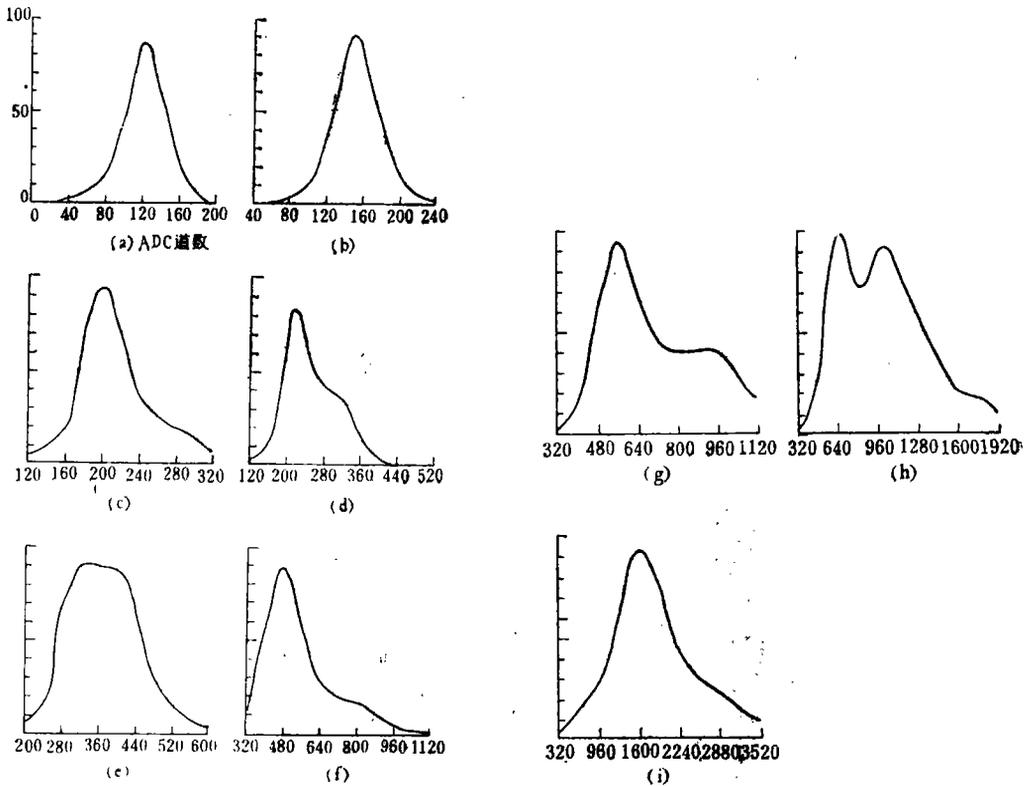


图 6 在不同高压情况下,自猝灭流光信号的电荷量谱(0.25pc/道)

- (a) H. V. = 3000V, 门宽=300ns (b) H. V. = 3100V, 门宽=150ns (c) H. V. = 3200V, 门宽=150ns
 (d) H.V. = 3300V, 门宽=150ns (e) H.V. = 3400V, 门宽=150ns (f) H.V. = 3500V, 门宽=300ns
 (g) H.V. = 3600V, 门宽=300ns (h) H.V. = 3700V, 门宽=300ns (i) H.V. = 3900V, 门宽=300ns

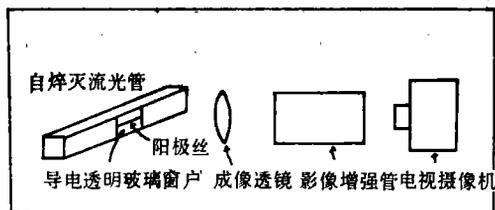


图 7 观察自猝灭流光光学形象的实验装置。

12×12mm 铝管, 阳极丝直径为 100 μm , 混合气体为 50%Ar + 50% C_2H_6 通过酒精。

图 8(a) (b) (c) 记录下在三种不同高压值时的自猝灭流光信号, 为防止管内产生火花放电危及影像增强管, 所以我们没有将高压取得很高。图 9(a) (b) 分别在酒精处于室温和 0 $^{\circ}\text{C}$ 情况下取得, 这些信号由宇宙射线造成。由图可见, 当减少酒精在混合气体中的含量时 (0 $^{\circ}\text{C}$ 情况), 自猝灭流光信号的光学影像大大变粗, 由此可见, 酒精分子对这些光子有很强的吸收作用。

如果我们完全从混合气体中移走酒精, 则得到图 10 的几张照片。图 10(a) 摄得的信号正好与摄像平面平行, 所以我们能很好地看到流光信号从阳极丝向阴极的逐渐消退, 图 10(b) 中的两个信号同时出现在一张照片上, 一个信号与摄像面平行, 另一个信号则与之

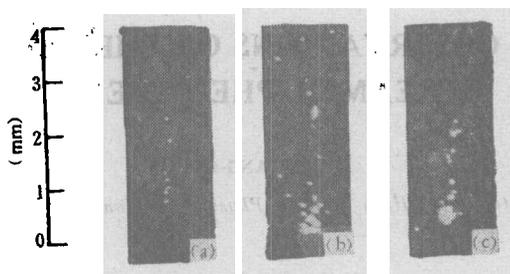


图 8 自猝灭流光信号的光学形象。
酒精温度为室温, 放射源为 ^{90}Sr 。

(a) H.V. = 3000V (b) H.V. = 3200V (c) H.V. = 3300V

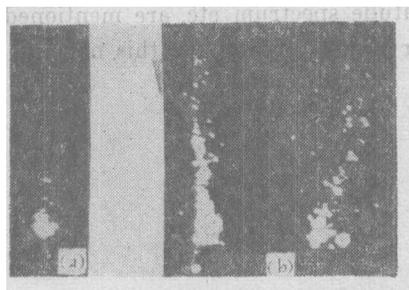


图 9 自猝灭流光信号的光学形象,
关闭 ^{90}Sr 放射源的准直孔。

(尺寸标度与图 13 相同)

(a) H.V. = 3300V 酒精处于室温
(b) H.V. = 3400V 酒精处于 0 $^{\circ}\text{C}$

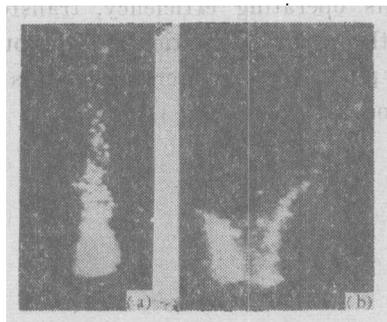


图 10 H.V. = 3200V, 酒精
从混合气体中移走。

(尺寸标度同上)

形成一定的角度,所以我们看到了粗而短的明亮信号。

以上的这些照片以及我们在电视屏幕上观察到的大量的录象显示自猝灭流光信号是由阳极丝出发向粒子入射的方向发展的。信号底部粗大处为阳极丝的位置。

三、后 记

这项工作是作者1981年冬天在美国普林斯顿大学物理系工作时完成的,这项工作自始至终得到 K. McDonald 教授的帮助,在利用影像增强管对自猝灭流光信号进行摄像时,普大物理系生物物理组允许作者使用他们的影像增强管设备, S. Gruner 和 P. Botos 热情地协助作者完成了全部摄像工作,田光善同志制作了自猝灭流光管,作者在此向他们致以深切的谢意。叶铭汉先生阅读了本文原稿,并提出了宝贵的意见,特此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] M. Atae et al., Fermilab report FN-339(1981).
- [2] G. D. Alekseev et al., N. I. M., 177(1980), 385.
- [3] R. P. Randall, Advances in Electronics and Electron Physics, Vol. 22A(1966), 87.

PRELIMINARY OBSERVATIONS OF THE SELF-QUENCHING STREAMER PHENOMENA

LU CHANG-GUO

(Institute of High Energy Physics, Academia Sinica)

ABSTRACT

The self-quenching streamer gas discharge mode is discussed. In this article we report the results for self-quenching streamer mode in electronic and optical observations, its operating efficiency, transfer to limited Geiger discharge mode, the correlation with **primary ionization and the pulse amplitude spectrum** etc. are mentioned. The optical photographic observation gives us better understanding for this new gas discharge mode.