

# 高重复率短脉冲氙灯时间分辨光谱的测量

林文正 卓美珍 汤星里

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

## 提 要

本文介绍了高重复率短脉冲氙灯时间分辨光谱的测量方法,给出了在不同运转方式(预电离和无预电离)及不同电位梯度下的实验结果,并进行初步讨论。

由于脉冲氙灯的高亮度、高效率、高负载强度以及适应性广,人们对它的辐射谱曾作了详细的研究。但由于脉冲氙灯发光时间短( $10^{-8} \sim 10^{-3}$  sec),一般光谱仪器因受时间响应特性所限,所以,对其放电各个时刻的瞬态光谱却报道得不多。1972年 Ignatév 等人<sup>[1]</sup>报道了测量脉宽约  $100 \mu\text{s}$  的脉冲氙灯的时间分辨光谱,每  $20 \mu\text{s}$  记录一次瞬态光谱。1980年 Kelly 等人<sup>[2]</sup>报道了脉宽为  $500 \mu\text{s}$  的闪光灯的时间分辨光谱,其取样门宽为  $1 \sim 10 \mu\text{s}$ 。

本文介绍一种高重复率短脉冲氙灯瞬态光谱的测量方法,使用的测量系统时间分辨率高,取样时刻及门宽分别可调,操作简便、直观。这个装置对于测量其它的短脉冲光源也是一个可用的手段。

## 一、测量装置与方法

测量高重复率短脉冲氙灯的实验装置如图1所示。当闸流管2被触发导通时,储能电容1上的电能经短脉冲灯3放电,其辐射经石英透镜4会聚后,照明光栅单色仪5的入射狭缝,经光栅分光后,由光电倍增管接收并将光电流信号输至 Boxcar 积分器7。Boxcar 的取样时刻的选择是,由铯铷阴极的 GD-10 强流光电管6同时接收灯光,并在示波器8上显示其波形,将 Boxcar 的取样门触发信号同时在示波器上显示,并按需要调节触发的时刻。短脉冲氙灯以高重复率运转,Boxcar 积分器将特定时刻采样的光信号进行积分处理,以提高信噪比,然后送至自动平衡记录仪9。光栅单色仪从短波长向长波长自动扫描时便得到光电流曲线。再用标准溴钨灯\*对系统的光谱响应进行校正,即可得到不同时刻的相对光谱能量分布。

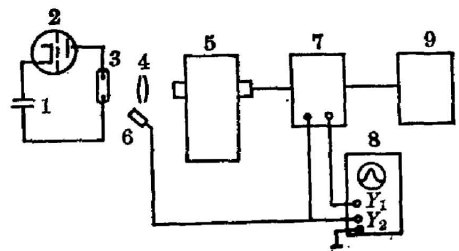


图1 测量装置的方框图  
Fig. 1 Block diagram of measurement apparatus

若标准溴钨灯的单色辐射的相对亮度为  $E_w(\lambda)$ , 测量系统的光谱响应为  $R(\lambda)$ , 以该系

收稿日期: 1984年10月24日; 收到修改稿日期: 1984年12月15日

\* 其光谱辐射亮度由中国计量科学院标定。

统测得的标准溴钨灯的光电流按波长的分布为  $a_w(\lambda)$ , 则  $E_w(\lambda) \cdot R(\lambda) = a_w(\lambda)$ ,  $R(\lambda) = a_w(\lambda)/E_w(\lambda)$ 。

对于被测的短脉冲氙灯, 同样有  $E_{xe}(\lambda) \cdot R(\lambda) = a_{xe}(\lambda)$ , 则  $E_{xe}(\lambda) = a_{xe}(\lambda)/R(\lambda)$ , 即得到了被测的短脉冲氙灯的相对光谱能量分布。

用强流光电管测得短脉冲氙灯的发光波形, 同时用低感电阻测得其放电电流波形的示波图如图 2 所示。Boxcar 积分器的取样时刻  $T_1 \sim T_6$  见图 3。

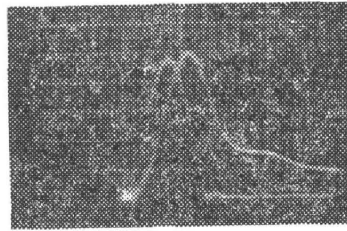


图 2 发光及放电电流的示波图  
Fig. 2 Oscillogram of discharge current and emission

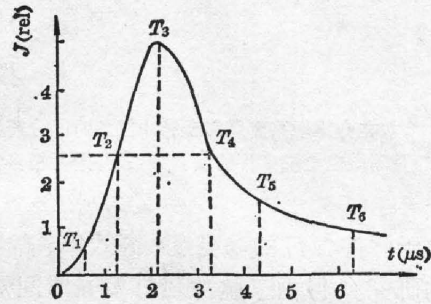


图 3 Boxcar 取样时刻的选择  
Fig. 3 Choice of sample time by Boxcar

测量的条件 高重复率短脉冲氙灯  $\phi 3.5 \times 100$  mm, 储能电容  $C = 0.24 \mu\text{F}$ , 工作电压  $V_0 = 10$  kV, 重复频率  $f = 100$  pps。光栅单色仪的出、入射狭缝均取 0.1 mm。Boxcar 的门宽  $AD = 100$  ns, 门扫描范围  $ADR = 5 \mu\text{s}$ , 时间常数  $TC = 1 \mu\text{s}$ , 扫描时间常数  $SPTC = 10$  ms。

## 二、测量结果及讨论

在短脉冲氙灯以 50 mA 预电离电流点燃条件下测得在  $T_1 \sim T_6$  时刻的瞬态光谱如图 4 所示。

同一支灯在外触发点燃而主放电条件不变时测得的  $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$  三个时刻的光谱如图 5 所示。

在本实验条件下, Boxcar 每点取样四次, 加以平均后其随机误差大大缩小, 故不成为影响实验误差的主要因素。而单色仪中光电倍增管的响应漂移和测量系统的相对灵敏度随光电倍增管疲劳而引起的变化, 则是引起实验误差的主要因素, 其平均误差约  $\pm 4\%$ 。其次, 短脉冲灯的发光起伏约  $\pm 2\%$ , 也是影响实验误差的因素之一。此外, 考虑到以标准溴钨灯标定时引入的误差等, 我们给出本测量装置的平均误差约  $\pm 8\%$ 。

由图 2 及图 4 的(a)可知,

在  $T_1$  时刻, 灯的放电电流  $I \doteq I_{\text{max}}/4$ , 且  $dI/dt = 1 \times 10^9$  A/s, 说明短脉冲灯在轴向电场的作用下, 由电子和离子的碰撞电离及光电离造成了气体放电的雪崩, 但因这时放电沟道直径还比较小, 而电流密度很大, 故辐射谱中紫外辐射所占比例较大。

在  $T_2$  时刻, 放电电流接近峰值,  $dI/dt = 0$ , 放电沟道已扩展至最大值, 进入放电的类稳阶段, 等离子体的辐射强度大为增加。

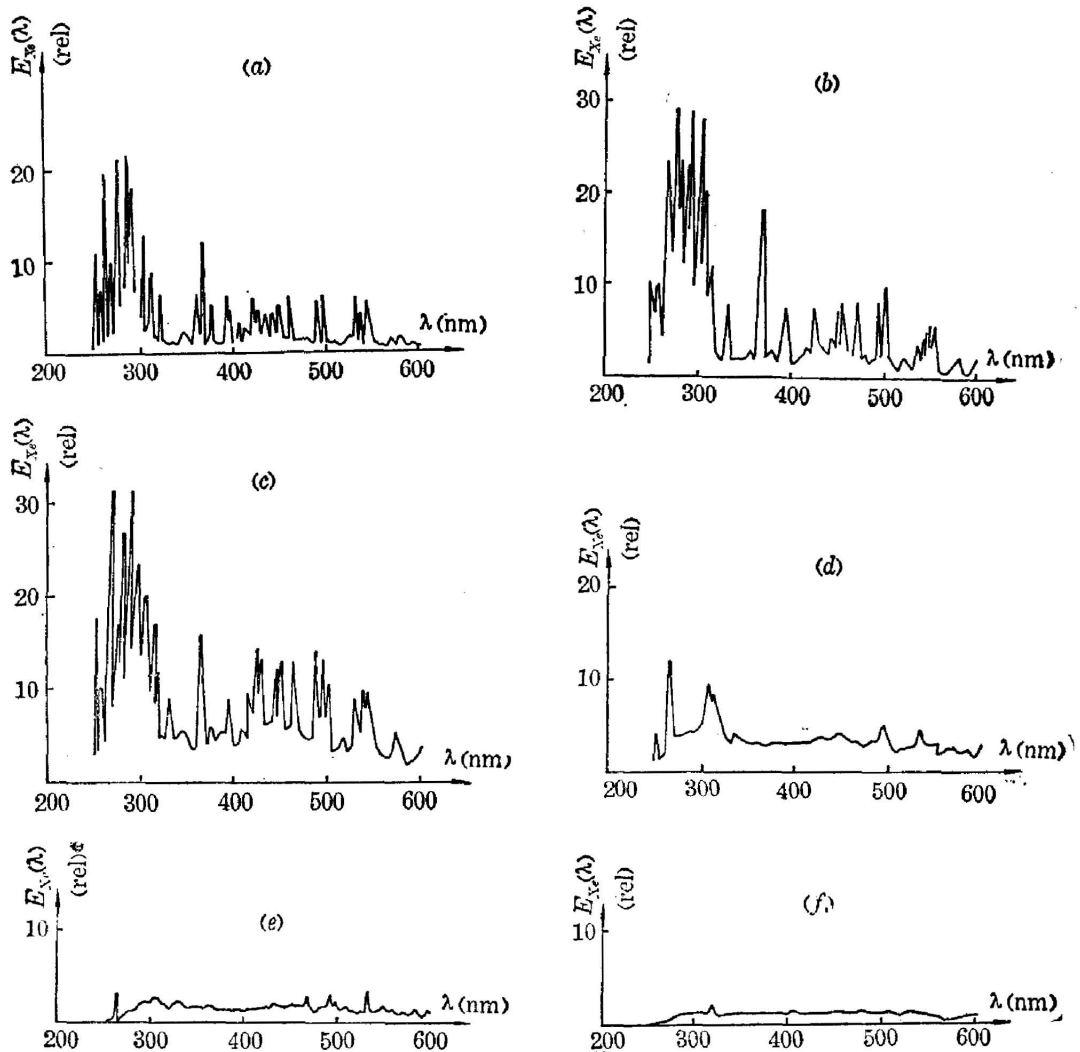


图4 短脉冲氙灯在不同时刻的相对光谱

Fig. 4 Relative spectra of short-pulse xenon flashlamps in different times

在  $T_3$  时刻, 放电电流已降至约  $I_{\max}/2$  处, 等离子体的温度开始下降, 故辐射中长波部分所占比例明显增加。

在  $T_4$  时刻, 放电电流已接近零, 进入余辉阶段, 等离子体进一步冷却, 短波辐射进一步下降。

在  $T_5$ 、 $T_6$  时刻, 随着消电离和去激发过程的进行, 等离子体逐步熄灭, 其辐射能力也逐步趋近于零。

为了研究在不同点燃方式、工作参数下短脉冲放电辐射的变化, 我们测量在外触发和预电离两种条件下的相对光谱, 以及改变预电离电流或改变充电电压时的不同时刻瞬态光谱, 表 1 列出连续谱部分在三个典型波长下的  $E_{Xe}(\lambda)$  随时间的变化情况。由表 1 可以看到:

(1) 由于采用预电离的点燃方式, 放电的短波段辐射迅速提高, 在放电前期可增加 5% 左右, 而在 600 nm 附近的长波段, 这种增加极少, 甚至不增加。这是由于预电离放电沟道

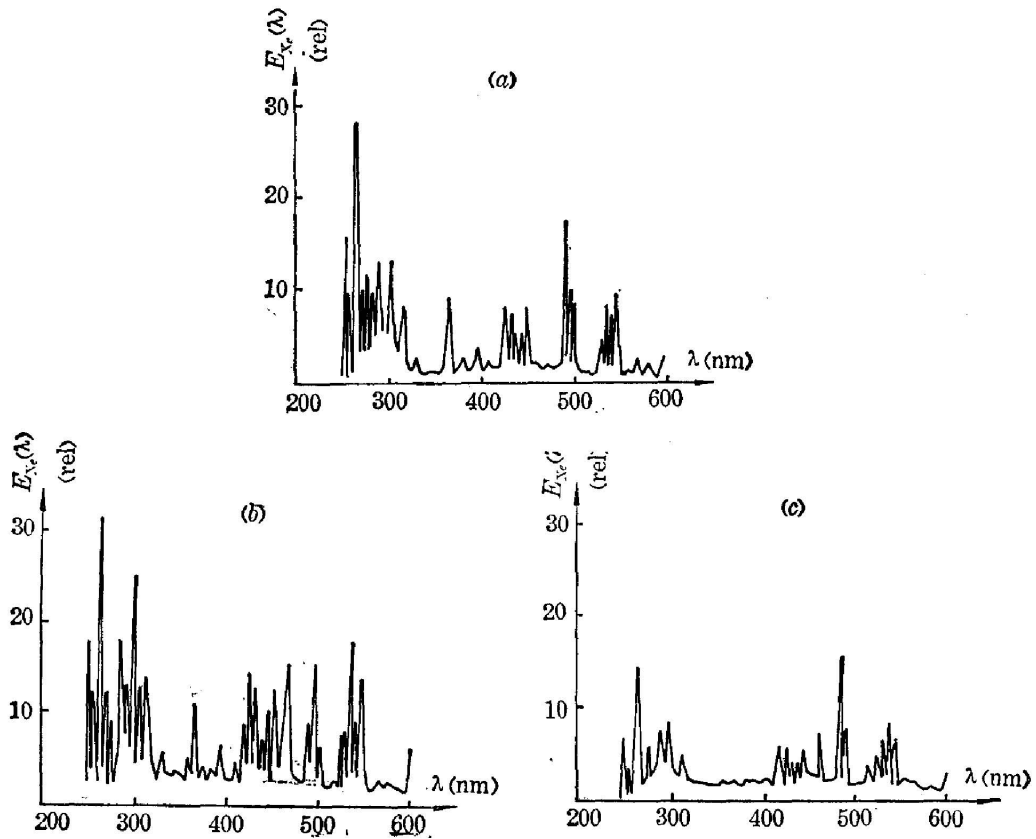


图 5 在外触发电燃时短脉冲氙灯在不同时刻的相对光谱  
 Fig. 5 Relative spectra of short-pulse xenon flashlamps in different times with external triggering

表 1 在不同点燃方式和工作条件下短脉冲氙灯的瞬态光谱随时间的变化  
 Table 1 Time history of transient spectra of short-pulse xenon flashlamps with different ignition schemes and operation conditions

工作条件	$\lambda$ (nm)	290			405			600		
	$t$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_2$	$T_3$	$T_4$
$V_c=10$ kV 外触发	$E_{Xe}(\lambda)$	72	108	44	41	84	35	12	23	23
$V_c=10$ kV 50 mA 预电离		100	168	56	47	103	41	9	35	18
$V_c=10$ kV 350 mA 预电离		100	188	80	68	154	53	23	35	26
$V_c=12$ kV 50 mA 预电离		140	251	80	57	127	53	12	41	23

中, 因光电离等作用的主放电的迅速建立提供了初始电子、离子和亚稳原子, 增加了气体的内能, 故主放电开始后, 其等离子体温度升高, 短波辐射随之加强。预电离电流增加后, 上述作用更为明显, 各波段的辐射都有所提高, 但预电离电流增加时预电离放电沟道的直径增

加,所以在主放电前期,电流密度没有明显增加,因而在  $T_2$  时刻, 290 nm 的辐射没有提高,而长波部分则提高较多。

(2) 在同样的预电离条件下,提高主放电的初始电位梯度可明显地提高远紫外的辐射(约增加 40%),这是由于提高初始电位梯度后主放电沟道的电流密度随之增高,于是短波辐射明显上升。

综上所述可知,使用 Boxcar 积分器与光栅单色仪可进行短脉冲放电的时间分辨光谱的测量,而其结果可为分析短脉冲的放电的物理过程提供实验基础。

### 参 考 文 献

- [1] V. G. Ignatév *et al.*; *Soviet J. Q. E.*, 1972, **1**, No. 4 (Jan), 415.
- [2] J. H. Kelly *et al.*; *Appl. Opt.*, 1980, **19**, No. 22 (Nov), 3817.
- [3] L. Noble *et al.*; AD775400, 1973 (Oct).

## Measurement of time-resolved spectroscopy of high-repetition-rate short-pulse xenon flashlamps

LIN WENZHENG ZHUO MEIZHEN AND TANG XINGLI  
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 24 October 1984; revised 15 December 1984)

### Abstract

In this paper, a method for measuring the time-resolved spectroscopy of high-repetition-rate short-pulse xenon flashlamps is described. Experimental results obtained with different electric gradients and operation conditions (simmer or no simmer) are given.