

# 毫 微 秒 脉 冲 光 源

阮康成 于德源 江寿平 孙 炳 荣

(中国科学院上海生物化学研究所) (中国科学院上海分院测试计算中心)

在科研和生产实践中有不少方面需要一种重复频率高、持续时间短到毫微秒级( $10^{-9}$  秒, 常用 NS 表示)的脉冲光源。例如荧光寿命的测定、光合作用中光化学过程的研究、快速脉冲的研究、光电器件响应时间的测试等等都需要这类光源。特别是在研究溶液中生物大分子特性时这种光源显得更为重要, 如毫微秒荧光技术可得到丰富的有关生物大分子的结构、构象、形状等信息<sup>[1]</sup>, 这种仪器的关键部件之一就是脉冲光源<sup>[2]</sup>。最近, 我们研究试制了一种自由放电灯, 它具有持续时间短、光谱范围宽、重复频率高的特点。灯中可充入数个大气压的氧、氮、空气等气体, 光脉冲的半宽可达 5NS 左右, (半宽指光脉冲峰值  $\frac{1}{2}$  处的脉冲宽度) 前沿上升时

间为 2NS。每一光脉冲可发出  $10^9$ — $10^{11}$  个光子, 光脉冲的瞬时输出功率可达几瓦。灯中充氧或充氮时, 光脉冲的光谱从 2000 Å 到 6000 Å 是连续的; 灯中充空气时, 光谱主要集中在 3000 Å 到 4000 Å。灯的重复频率可达几十千周。

## 一、灯的结构和工作原理

毫微秒脉冲灯的构造如图 1 示。灯内的二个电极用不锈钢制成, 上电极放电顶端呈圆锥形, 下电极放电顶端为一半圆球形。上电极连有高阻值的充电电阻, 并通过一细铜棒和高压电缆接头相连。下电极通过 BNC 同轴电缆接头连结一定长度的 SW-50 同轴电缆, 然后接地。上下电极连同充电电阻一起封装在石英管中。石英管两端的聚四氟乙烯和“O”形环起密封作用。整个灯的结构要求在几何上同轴。底座和 BNC 电缆接头处要有一定移动余地, 以调

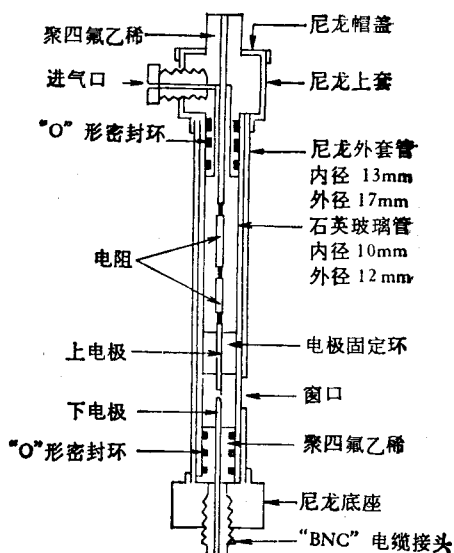


图 1 毫微秒脉冲灯的结构

节上下电极间的间隙。整个灯可以方便地拆装, 便于清洗沉积在石英管上电极物质和重新处理或更换电极。

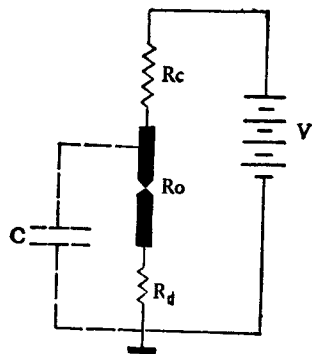


图 2 灯的工作原理

$R_c$ —充电电阻;  $C$ —分布电容  $R_o$ —放电时电极间隙的电阻  $R_d$ —放电回路的等效电阻

该灯的工作原理见图 2。当直流高压加到灯上时, 分布电容  $C$  通过  $R_c$  充电, 充电速度由

电源电压及  $R_c \cdot C$ —充电时间常数决定。当上下电极间的电压达到电极间隙的击穿电压  $V_b$  时,就会产生一个时间为亚毫微秒的放电<sup>[3]</sup>,放电时间由  $(R_0 + R_d) \cdot C$  时间常数确定,这时分布电容上储存的电能  $\frac{1}{2} CV_b^2$  就泄放出来,同

时在电极间隙范围内发生一个时间极短的光脉冲,时间的长短由放电时产生的激发态气体分子和气体离子的衰减时间确定。放电完毕后,分布电容  $C$  又重新通过  $R_c$  充电,然后又一次放电,发出光脉冲…。灯就是以这种弛张形式工作,不断发出光脉冲,所以可称为弛张放电灯,又由于该灯的光脉冲是由电路本身的特性自发产生的,无需采用触发等外加手段,所以又称作自由放电灯。

图 3—5 是在制得的自由放电灯中分别充

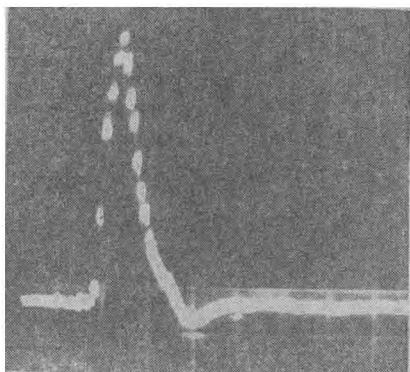


图 3 充  $O_2$  自由放电灯光脉冲照片

时基: 5 NS/格 半宽: 4.6 NS  $O_2$  压力 3.2 大气  
压灯工作电压 13500 V 一次光脉冲光子数:  $10^{11}$

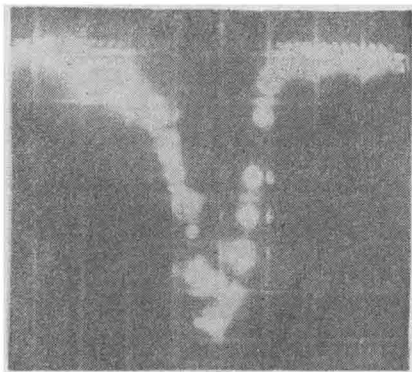


图 4 充  $N_2$  自由放电灯光脉冲照片

时基: 5 NS/格 半宽: 6 NS  $N_2$  压力 1.6 大气  
压灯工作电压: 10000 V 一次光脉冲光子数  $10^{10}$

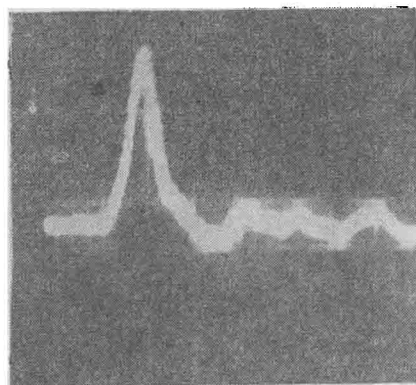


图 5 充空气自由放电灯光脉冲照片

时基 10 NS/格 半宽 5 NS 空气压力 1 大气  
压灯工作电压 9000 V 一次光脉冲光子数  $10^9$

入  $O_2$ 、 $N_2$ 、空气时发出的光脉冲在 SQ-12 取样示波器上显示出来的光脉冲波形照片。

值得指出的是,我们检测光脉冲用的光电倍增管 HTV1P28 的响应时间为 2.6 NS。为了提高响应,我们只用了六个打拿极,响应时间可达 1 NS 左右,但即使如此,用它来测自由放电灯的光脉冲还是很理想的,若有更快响应的检测器件,如象转换管<sup>[3]</sup>等,可以认为上述灯的光脉冲可能要更窄一些。

## 二、和自由放电灯光脉冲特征有关的几个参数

所谓光脉冲特征是指光脉冲的半宽、光脉冲的能量(强度)、光脉冲的光谱强度分布、光脉冲的重复频率、光脉冲的拖尾等等。影响光脉冲特征的参数较多,现就其中几个最主要的参数进行讨论,找出它们和光脉冲特征的关系,以获得最佳光脉冲的条件。

**1. 分布电容** 由灯的工作原理可知,分布电容起一储能电容的作用,光脉冲能量大小和其十分有关。另外,分布电容还决定着放电时间的长短,放电时间的长短对光脉冲的影响是很大的。因此要得到 NS 数量级的光脉冲,减小分布电容是非常重要的。Birks<sup>[4]</sup> 指出,分布电容应在 100 PF 左右。我们采取了下列措施来减小分布电容: ① 灯的结构在几何上严格同轴。② 对电极进行特殊处理,首先机械打磨、抛

光,然后用化学方法处理。③尽量缩短上电极长度。④充电电阻选用体积小,电容小的,在高值电阻和电极之间串— $\frac{1}{4}$  W、1—2.2 M $\Omega$  的电

阻。除上述之外,还须尽量减少接头,保证接头焊接质量等。总之,减小分布是非常重要的,也是较困难的,它往往是成败的关键。

**2. 电压** ①击穿电压 从灯的工作原理可知,击穿电压是光脉冲能量大小的决定因素,光脉冲能量和击穿电压的平方成正比。击穿电压的大小和下列因素有关: a. 灯内充填的气体种类。一般说氧的击穿电压高于氮的,在氮中掺入少量氧气可明显增高氮的击穿电压,因此利用空气可方便地得到较高的击穿电压。b. 和气体压力成正比。c. 和电极间隙有关。间隙大小直接影响击穿电压。间隙大,击穿电压高,间隙小击穿电压低。另外,当光脉冲重复频率太高时也会降低击穿电压,这是因为重复频率太高使得前次放电时产生的气体离子来不及全部复合成中性分子,下一次放电就发生了,有残余离子的存在当然要降低击穿电压。

击穿电压的高低对光脉冲的重复频率影响很大。击穿电压越高,充电需要的时间就越长重复频率就低,反之,重复频率就高。

② 电源电压 当灯内的气体、压力、电极间隙等条件固定不变时,电源电压的变化不会改变光脉冲强度、半宽、光谱强度分布等特征,只会改变重复频率。电源电压越高,电容充电速度越快,重复频率就越高。因此可以通过改变电源电压的方法来调整光脉冲的重复频率。

**3. 气体种类** 前已述及,光脉冲的持续时间和放电回路的  $R \cdot C$  时间常数及放电时产生的激发态分子和离子化的气体分子的衰减时间有关。

不同的气体,这种衰减时间是有差异的,图 3—5 的三种不同气体的灯有不同的半宽证实了这点。

不同的气体充入自由放电灯中,光脉冲的光谱强度分布是不同的。灯中充  $O_2$ 、 $N_2$  和空气时的光脉冲光谱强度分布见图 6, 7。如果考虑

光电倍增管 (HTV1P28) 的光谱响应,可以认为  $O_2$ 、 $N_2$  的光谱强度在 2000 Å—6000 Å 的范围里基本上是均匀的,充氧放电灯的紫外部分更丰富一些。图 6、7 的相对强度是归一化了的,因此很容易比较出各灯在各个谱长时的相对强度。

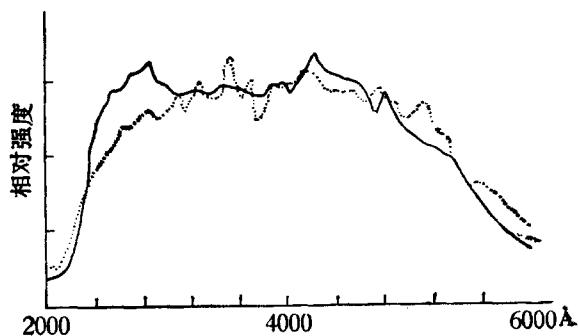


图 6 充  $O_2$ 、 $N_2$  自由放电灯光脉冲的光谱强度分布  
实线: 充  $O_2$  自由放电灯; 点线: 充  $N_2$  自由放电灯

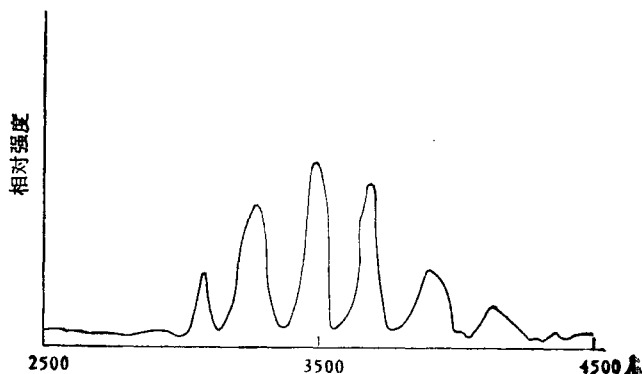


图 7 充空气自由放电灯光脉冲的光谱强度分布

**4. 气体压力** 前已述及,随着气体压力的增大,击穿电压随之升高,因此每一次光脉冲的能量也增加。见图 8 (充  $N_2$  自由放电灯)。

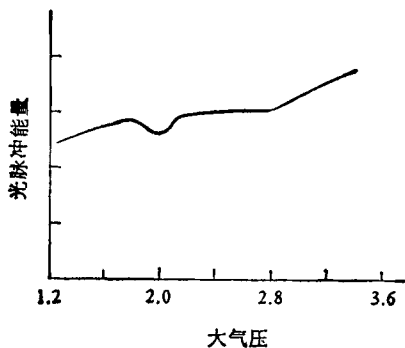


图 8 光脉冲能量和气体压力的关系

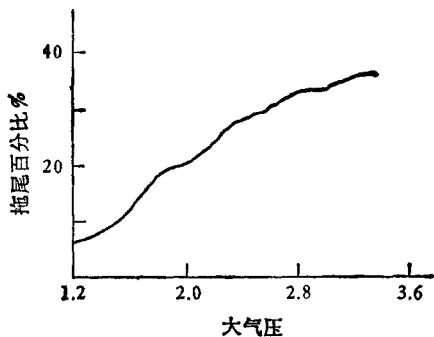


图9 充 $N_2$ 自由放电灯光脉冲拖尾和气体压力的关系

光脉冲的拖尾也随着灯内气体压力的增大而加大,见图9。(拖尾百分比是指拖尾的高度占光脉冲峰值的百分数。)这个特点和光脉冲产生的机制有关。从光脉冲照片(图3—5)可看出,光脉冲可分为两个部分,一部分是对称的钟形脉冲,它主要是由气体放电时产生的激发态分子和未被激发的气体分子彼此碰撞时产生,这种发光的衰减时间极短,能量较高<sup>[5]</sup>;另一部分是拖尾,它主要是由放电时产生的离子重新复合成中性分子时产生的,这种发光的衰减时间较长,且能量较弱<sup>[6]</sup>。当灯内气体压力上升时,气体分子的密度增大,击穿电压势必要升高,二者的结果就造成放电时产生较多的离子。这样,离子复合成中性分子也就大为增加,这一

切就必然导致拖尾的增大。

兼顾光脉冲能量和拖尾的大小, $O_2$ 、 $N_2$ 、空气的压力分别在3.2、1.6、1大气压时为最适压力。

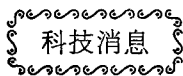
**5. 电极间隙** 电极间隙对光脉冲的能量、半宽的影响是较大的。电极间隙大,击穿电压升高,光脉冲能量增大,反之,能量减小。在实验中我们发现当间隙大于1.5 mm时,光脉冲半宽明显增大,间隙小于0.5 mm时,拖尾明显增加。只有当间隙在0.6~1 mm范围内时,经仔细调节测试,方能获得最佳光脉冲。

值得指出的是,上述自由放电灯的光脉冲波形也很稳定,光脉冲幅度变化小于5%。

## 参 考 文 献

- [1] Yguerabide, J.: *Methods in Enzymology*, **26**, 498, 1972.
- [2] Hundley, L. et al.: *Rev. Sci. Instrum.*, **38**, 488, 1967.
- [3] Yguerabide, J.: *Rev. Sci. Instrum.*, **36**, 1734, 1965.
- [4] Birks, J. B. et al.: *Progress in Reaction Kinetics*, **4**, 275, 1967.
- [5] Berlman, I. B. et al.: *Rev. Sci. Instrum.*, **39**, 54, 1968.
- [6] Brody, S. S.: *Rev. Sci. Instrum.*, **28**, 1021, 1957.

[本文于1981年3月22日收到]



## 在2.45-GHz CW微波作用下对蜜蜂飞行朝向及返巢能力的影响

在2.45-GHz CW微波(功率3—5 mW/cm<sup>2</sup>)处理30分钟后,并不影响蜜蜂的正常飞行,朝向及记忆功能。

摘自 *Bioelectromagnetics* **2**(1):71, 1981.

## 给出三维图像的显像系统

美国麻省理工学院最近搞了一种显示三维图像的显像系统。它并不像全息那样在显示三维图像前先要有一个二维图像,他们的系统是一组旋转的列阵的光发射二极管,由于旋转将二维图像形成联续的不同横断面而直接显示三维图像,而且这种三维图像看起来就像在空间漂浮着一样。

摘自 *Chem. Eng. News*, **59**(3) 1981