

文章编号 : 0258-7025(2001)10-0905-04

# 脉冲空心阴极放电管的光电流光谱研究

李世忠 朱振宁

(中央大学光电研究所 中坜市 320)

**提要** 研制了一台可调整脉冲电源,并用于空心阴极放电管读取 ${}^5L_6-16900{}^7M_7$ 的光电流光谱。调整脉冲电源的脉冲宽度、脉冲频率、直流偏压以及输出电压等参数,记录读取光电电流信号及光电电流光谱,并分析比较所得结果。

**关键词** 光电流光谱 脉冲空心阴极放电管 频率可调激光

中图分类号 TN 135.043.5+9 文献标识码 A

## Programmable Pulsed Hollow Cathode Discharge Lamp for Optogalvanic Spectroscopy

LEE Shih-chung CHU Chen-ning

(Institute of Optical Science, Central University, Chung-Li 320)

**Abstract** A programmable-pulsed power supply of hollow cathode discharge tube (HCD) for optogalvanic spectroscopy is fabricated. The optogalvanic signal of transition ${}^5L_6-16900{}^7M_7$  is measured. By adjusting the pulse width, pulse frequency, DC bias, as well as the output voltage, the optogalvanic spectra are obtained with good qualities. Spectra obtained by using different parameters were compared and discussed.

**Key words** optogalvanic spectroscopy, pulsed hollow cathode discharge, tunable laser

### 1 引言

1976 年底,美国国家标准局(NBS,现 NIST)R. B. Green 等<sup>[1]</sup>发表了利用染料激光射入空心阴极放电管(HCD)不经任何光学仪器获得了 Ca, Li 等元素的光谱。由于光电流光谱方法简单,灵敏度及信号信噪比高,同时使用现成的放电管(做原子吸收光谱用的,各种元素都有,容易取得而且又价格低廉),受到了人们的关注,短短几年发表了许多相关论文<sup>[2~5]</sup>。所谓光电流光谱,是将波长适合的激光,经光学斩波器射入已达平衡状态的空心阴极放电管,使放电中存在的原子、离子、原子团,甚至自由基发生相关能级跃迁,最后导致放电管阻抗发生相应变化,产生对应的电流信号,因此不用任何光学仪器,靠锁相放大器即可获得元素的光谱。

除了气体及一般金属的光电流光谱,对于高熔点的金属(如 U, Zr, Nb, W 等),由于惰性气体的溅射(sputtering)亦不难产生足够的原子密度而获得它们的

光谱<sup>[6~8]</sup>。光电流光谱的另外一个特点也能够获得许多高能阶的谱线<sup>[9,10]</sup>。这是一般的方法很难达到的。但有时,如果为了特殊的原因,仅希望观察只有基态及邻近少数的亚稳态谱线的话,光电流光谱似乎并不是非常好的选择。我们实验室曾应用特殊的方法,产生极微弱但稳定的放电,可以使高能级的全部谱线完全消失。

因此,使用参数可调的脉冲电源产生稳定放电来获取光电流光谱,是不是能达到相似的效果,必然是很自然的下一步尝试。

### 2 可调脉冲电源与实验装置

图 1 是可调脉冲电源方框图。这一系统的工作周期可由 5% 至 95% 自由调整,脉冲频率可调范围从 DC 至 200 Hz,脉冲电压输出则可由 0 至 1000 V,视需要而调整。为使放电管产生微弱稳定放电,另加直流偏压,可变范围为 0 至 500 V。实验时为使放电管稳定放电,需加串一个数 kΩ 的镇流电阻,通常接在放电管的阴极附近。当脉冲电压调至约 200~300 V 时,即可点亮放电管。若调整脉冲宽度、频率、直流偏压、电压等参数,可

改变放电管放电电流强度。

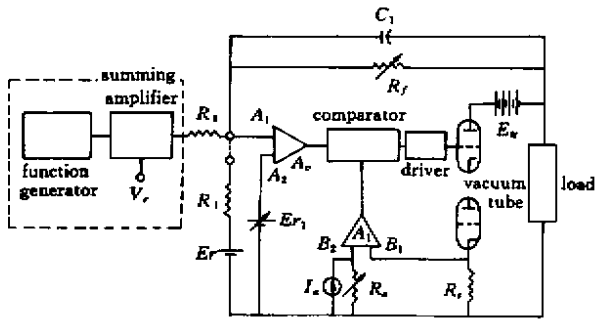


图 1 脉冲电源方块图

Fig. 1 Block diagram of our programmable pulsed power supply

实验装置如图 2 所示。使用被氩离子激光激发的单频连续波染料激光器,并用波长计测量激光的波长。激光用光斩波器以约 3.5 kHz 的频率调制,经焦距 20 cm 的透镜,将激光聚焦在放电管阴极中。空心阴极放电管为自市面购得的商品(如 Cathoden, Westinghouse, PenkinElmer 等公司),内部充有约 100 ~ 160 Pa 气压的 Ar 或 Ne 惰性气体(视元素种类及阴极构造而略有不同),利用研制的可调脉冲电源,点亮放电管,使用时平均放电电流约 12 ~ 25 mA。产生光电流信号时,将之经过滤波器,以及通过可调线路选通,再送入锁相放大器。同时由示波器显示其光电流信号及经记录器绘得光谱。染料激光的波长在某范围之内,连续调谐,记录下来的就是那一段波长范围内的光电流光谱。

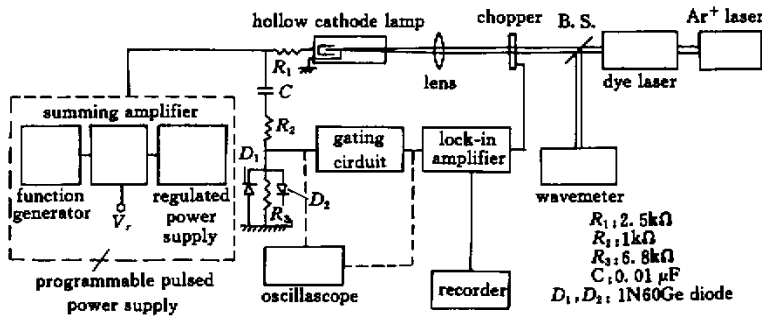


图 2 实验装置

Fig. 2 Schematic diagram of the expeimental setup

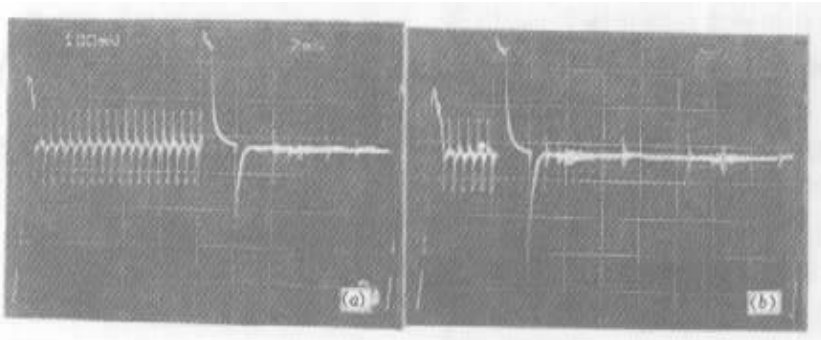


图 3 不同工作周期的光电流信号

Fig. 3 Optogalvanic signal at various duty cycle (a) 50% ; (b) 20%

### 3 实验结果

读取光谱时,首先估计适当脉冲频率、直流偏压、脉冲宽度以及电压等参数,将待测空心阴极放电管点亮,然后调整上述参数至合适数字。接着将激

光束经光斩波器及透镜聚焦于空心阴极放电管中,并利用波长计粗测可调激光之波长,至欲测谱线附近(此时为 591.54 nm)。然后再细调激光波长,直至示波器上,可以直接观察到光电流信号,趁信号存在时,再细调

激光光束射入位置、光束大小以及所用锁相放大器部分的频率和混波器的相位至最佳,这时候就可以连续在较大范围内调整激光波长,并开始读取光谱。图 3 所示为著名的 591.54 nm 谱线、( ${}^5L_6-16900{}^7M_7$ )的光电流信号,其工作周期分别为 50% 及 20%,在照片上除了光电流信号之外,尚有因电容的暂态反应产生的正与负的脉冲电压及交流电源产生的噪声信号。图 4 则为添加以单稳多谐振荡器为主的逻辑线路所构成的可调选通电路,消除了信号之外的噪声信号。图 5(a) 为当脉冲电源频率 50 Hz, 输出电压在 200 V 左右, 脉冲宽度 19 ms

(工作周期 95%) 时,获得的 591.54 nm 谱线光谱<sup>[4, 11~13]</sup>光谱宽度约为 0.026 nm。与空心阴极放电管直流电源供电所得的结果(图 5(b)) 相差不多。此时除  ${}^5L_6-16900{}^7M_7$  外,均为激发态光谱。将脉冲宽度改变为 11.4 ms(工作周期 57%) 时所得谱线光谱,如图 5(c) 所示。再降低脉冲宽度到 4 ms(工作周期 20%) (图 5(d)), 则信号明显减低, 噪声信号增加, 但各谱线的相对强度看不出有明显的不同, 亦即激发态的谱线并未相对减低。

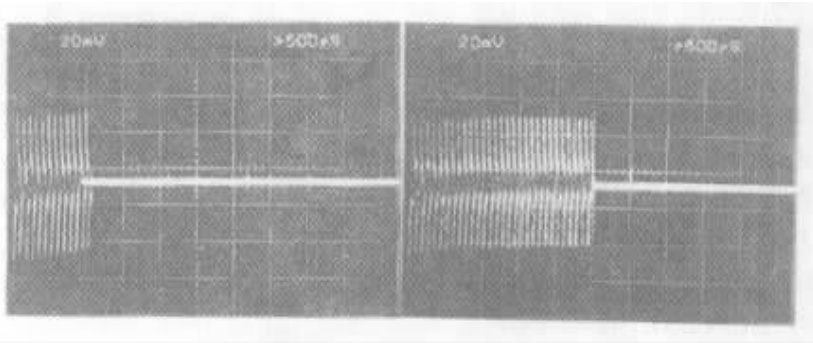


图 4 经过选通电路的光电流信号

Fig.4 Optogalvanic signal after gating circuit

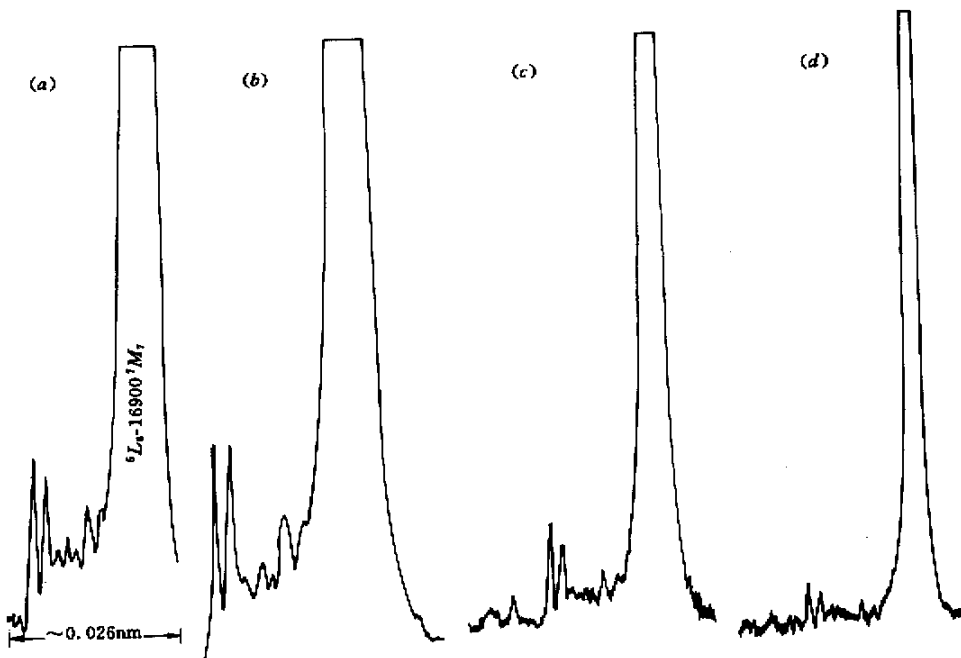


图 5 光电流光谱

(a) 脉冲频率 50 Hz, 工作周期 95%; (b) 直流电源; (c) 脉冲频率 50 Hz, 工作周期 57%; (d) 脉冲频率 50 Hz, 工作周期 20%

Fig.5 Optogalvanic spectrum of the  ${}^5L_6-16900{}^7M_7$  transition

(a) pulse frequency 50 Hz, duty cycle 95%; (b) continuous discharge;

(c) pulse frequency 50 Hz, duty cycle 57%; (d) pulse frequency 50 Hz, duty cycle 20%

## 4 讨论

用脉冲电压供电方式所得的信号约在 200 V, 50 Hz 脉冲电压上(点亮放电管所需之工作电压, 频率可视需要改变), 含有约 3.5 kHz(斩波器频率), 150 mV 的光电流信号。经过滤波器时, 会将较低频(50 Hz)的电源电压去除, 而让高频(3.5 kHz)光电流信号通过。在此过程中, 因电容器暂态响应, 在脉冲信号前沿和后沿位置会产生一组正、负脉冲的输出电压。为保护锁相放大器, 另加锗(Ge)二极管  $D_1$  及  $D_2$  将电压限制在  $\pm 0.3$  V 之间。此时, 如将所得的信号直接接入锁相放大器, 信号因含有  $\pm 0.3$  V 正负脉冲电压, 无法获取所需的光谱。但经可调选通电路, 除去大部分噪声信号之后, 则可经锁相放大器获取所需信号(光电流信号灵敏度, 大概在十几微伏时还能清楚显现)。以脉冲供电方式, 只有在脉冲电压存在时才能产生信号, 因此脉冲宽度愈小, 所得的信号相对减弱, 由图 5(a)(c)(d) 可得知结果。但所得的谱线仍有不错的信噪比。目前以脉冲供电方式, 在固定频率与电压(可视需要改变)操作下, 将工作周期降至 5% 时, 比直流电源在 5 mA 放电时(放电电流太低时, 大部分是惰性气体的谱线, 金属的谱线只剩少数<sup>[3]</sup>)产生的放电强度可减弱十几倍左右。然而, 目前使用的稳流电源, 受到真空管及电压差动放大器中反馈电容的影响, 输出电压上升时间、下降时间最快约 1 ms, 频宽约 200 Hz 左右。另外, 信号发生器的工作周期最低只能到 5%, 因此, 无法使放电的强度再减弱。因目前仪器条件所限, 所得光电流光谱无法做到激发态谱线完全消失(仅存基态附近谱线)。以脉冲电源激发空心阴极放电管获得光电流光谱, 如能提高脉冲频率, 减少工作周期(即脉冲宽度)及选择能级寿命较短的谱线, 或将更有助于得到所希望的结果。

致谢 本文作者对与宁逢春博士在电路上的多次讨论

深表谢意。

## 参 考 文 献

- 1 R. B. Green, R. A. Keller, G. G. Luther *et al.*. Galvanic detection of optical absorptions in a gas discharge. *Appl. Phys. Lett.*, 1976, **29**(11): 727 ~ 729
- 2 R. B. Green, R. A. Keller, G. G. Luther *et al.*. Use of an optogalvanic effect to frequency-lock a continuous wave dye laser. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1977, **QE-13**(1): 63 ~ 64
- 3 W. B. Bridge. Characteristics of an optogalvanic effect in cesium and other gas discharge plasma. *J. Opt. Soc. Am.*, 1978, **68**(3): 352 ~ 360
- 4 R. A. Keller, R. Engleman, E. F. Zalewski. Optogalvanic spectroscopy in a uranium hollow cathode discharge. *J. Opt. Soc. Am.*, 1979, **69**(5): 738 ~ 742
- 5 P. Camus. Atomic spectroscopy with optogalvanic detection. *J. Phys. (Paris)*, 1983, **C7-44**: 87 ~ 106
- 6 E. Langlois, J. M. Gagne. Zirconium isotope shift measurement using laser pumping and optogalvanic detection. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1994, **11**(4): 552 ~ 557
- 7 N. Ahmad, M. Akram, K. P. Gill *et al.*. Hyperfine structure studies of tantalum. *Z. Phys. D*, 1977, **41**: 159 ~ 163
- 8 S. Bouazza, M. Fienhold, G. H. Guthohrlein *et al.*. Doppler limited laser spectroscopy on hafnium lines part 1: hyperfine structure of even-parity levels. *Eur. Phys. J. D*, 1999, **6**: 303 ~ 309
- 9 E. C. Jung, D. Y. Jeong, K. Song *et al.*. High-resolution optogalvanic spectroscopy of GdI. *Opt. Comm.*, 1997, **141**(1, 2): 83 ~ 90
- 10 S. Assimopoulos, A. Bolvinous, E. Luc-Koenig *et al.*. 3dnd  $J = 4, 5$  autoionizing levels in Ca: laser optogalvanic spectroscopy and theoretical analysis. *Eur. Phys. J. D*, 1998, **1**: 243 ~ 254
- 11 M. Inguscio. High resolution intermodulated and double resonance atomic spectroscopy in hollow cathode. *J. Phys. (Paris)*, 1983, **C7-44**: 217 ~ 225
- 12 B. Barbieri, N. Beverini, M. Galli. A hollow cathode for high resolution optogalvanic spectroscopy: application to uranium. *Nuovo Cimeto D*, 1984, **4**: 172
- 13 P. Pianarosa, Y. Demers, J. M. Gagne. Isotopic analysis by optogalvanic spectroscopy. *J. Opt. Soc. Am. B*, 1984, **1**(5): 704 ~ 709