

Ar⁺ 光电流光谱研究

周菴声 林仔周*

(华南师范大学 物理系, 广州)

提 要

本文报道了 HCL 中八条 ArII 光电流光谱的实验研究结果。观察了 HCL 的荧光光谱和激光感生荧光光谱, 提出一个经验公式解释 Ar⁺ 光电流光谱的主要机理。发现每条谱线光电流信号达到最大值时的放电电流与该跃迁的上能级能量之间有一定关系。

关键词: 空心阴极放电; 氩离子激光器; 光电流光谱。

一、引 言

光电流效应的探测已发展成为一类新型的激光光谱技术, 尤其在原子光谱、分子光谱上已获得多方面的应用^[1]。但对离子光电流光谱的报道不多, 1978 年报道了金属原子离子光电流光谱^[2], 1983 年报道了分子正离子和分子负离子光电流光谱^[3, 4]。由于惰性气体的电离势很高, 近年来才观察到 Ar⁺ 的光电流效应^[5]。文献[5]给出了三条 Ar⁺ 激光谱线的光电流信号, 并提出了一个简化的理论模型。本文观察了八条 Ar⁺ 激光感生的光电流光谱线, 并通过探测有关的发射荧光、激光感生荧光特性, 对其机理进行讨论。

二、实 验

图 1 是测量 Ar II 光电流信号, 同时又可测量空心阴极灯的荧光光谱、激光感生荧光光

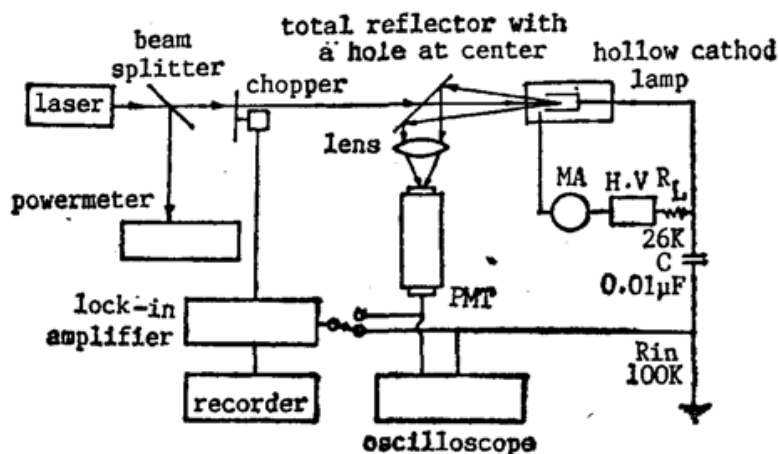


Table 1 The output of Ar laser

wavelength (nm)	output power (mW)
514.5	2500
501.7	450
496.5	900
488.0	2100
476.5	930
472.7	190
465.8	130
457.9	410
454.5	30

Fig. 1 Experimental apparatus for measuring the emission fluorescence, laser-induced fluorescence and optogalvanic effect

收稿日期: 1989年2月1日

* 现在通信地址: 广东省产品质量检验中心。

谱的实验装置示意图。光源是 INNOVA70-3 氩离子激光器,其输出特性见表 1。空心阴极放电灯(HCL)是河北衡水宁强光源厂生产的 HL 型 Ar-Ni 灯。

本实验测量了图 2 所示的 Ar^+ 八条谱线的光电压信号随入射的激光功率、空心阴极放电电流变化关系。在所用激光功率范围内,光电压信号随照射功率近似地成线性增长关系。实验观察到的这些光电流信号都是正的,即光照管电压降减小。

图 3 给出了空心阴极灯放电电流为 5.8 mA 时对 514.5 nm 光电压信号的测量结果。表 2 是在该电流下测得的八条谱线的光电压信号大小随激光功率的变化率 K 。

图 4 给出每条谱线在单位强度激光作用下产生的光电压信号大小 K 随空心阴极灯放电电流的变化关系。把图 4 中谱线的光电压达到最大值时对应空心阴极灯放电电流 i_M 与这些谱线相应的上能级能量 E_H 列于表 3。表中还列有其他四个量,其中 $\Delta i_{M\lambda} = i_{M\lambda} - i_{M5145}$, $\Delta E_{H\lambda} = E_{H\lambda} - E_{H5145}$, 分别表示波长为 λ 的谱线的 i_M , E_H 与 514.5 nm 谱线的 i_M , E_H 之差,把属于 $4s-4p$ 跃迁的七条谱线的 $\ln(\Delta i_M) \sim \ln(\Delta E_H)$ 关系曲线示于图 5,两者近

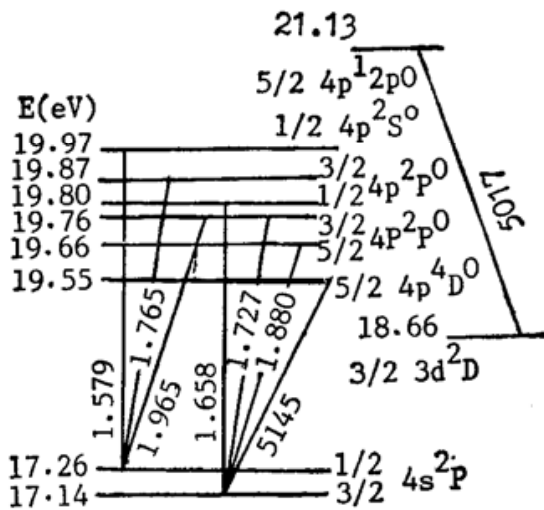


Fig. 2 The spectral lines and transitions of Ar^+ studied in this paper

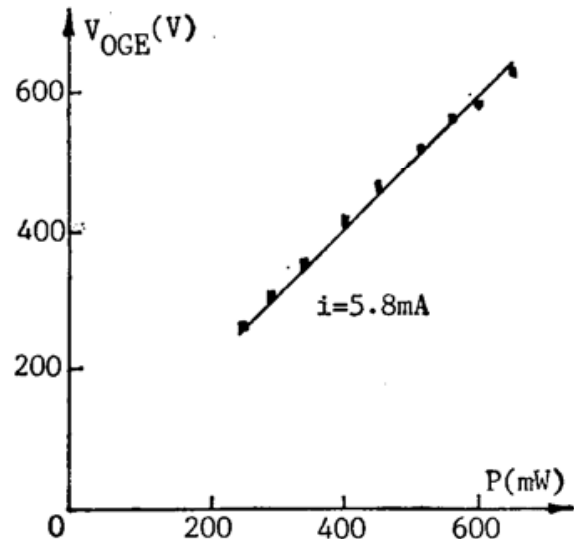


Fig. 3 Magnitude of laser-induced voltage changes in HCl vs. laser power at 514.5 nm

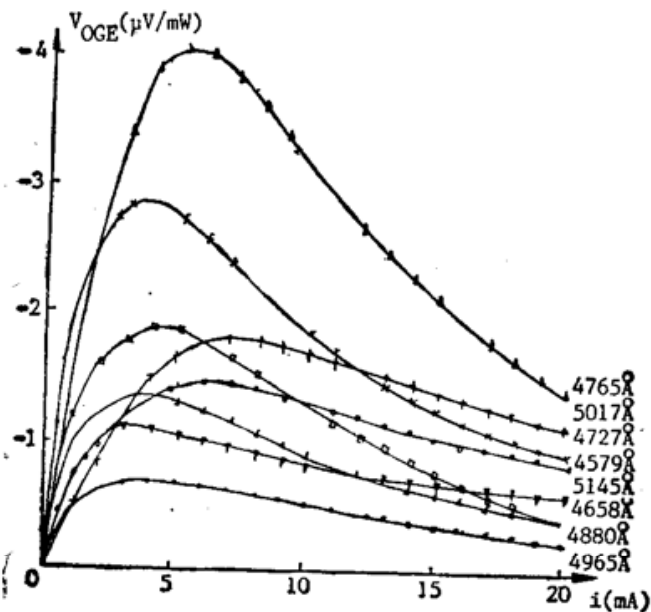


Fig. 4 Magnitude of voltage changes induced by Ar^+ laser in Ar-Ni HCl vs. discharge current

Table 2 Magnitude of voltage changes induced by unit power of laser for each spectrum

λ (nm)	K ($\mu V/mW$)	P_W (mW)
457.9	1.67	296
465.8	2.12	49
472.7	2.89	90
476.5	4.35	560
488.0	1.33	700
496.5	0.78	620
501.7	1.74	300
514.5	1.00	650

Table 3 The discharge current for each spectral line at which the laser-induced voltage changes reach maximum

λ (nm)	i_M (mA)	E_H (eV)	Δi_M	E_H	$\ln(\Delta i_M)$	$\ln(\Delta E_H)$
514.5	3.10	19.55	0.00	0.00	-	-
488.0	3.50	19.68	0.40	0.13	-0.916	-2.040
496.5	3.80	19.76	0.70	0.21	-0.357	-1.561
472.7	3.85	19.76	0.75	0.21	-0.288	-1.561
465.8	4.50	19.80	1.40	0.25	-0.336	-1.386
476.5	5.35	19.87	2.25	0.32	-0.811	-1.139
457.9	6.60	21.97	3.50	0.42	-1.253	-0.868

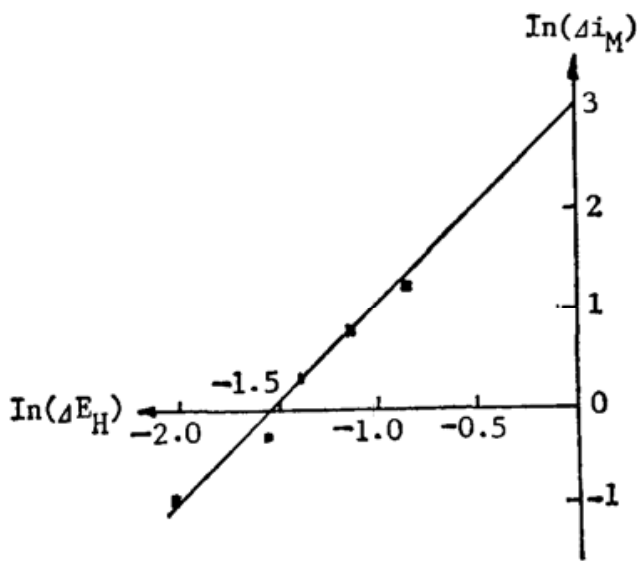


Fig. 5 $\ln(i_M)$ vs. $\ln(E_H)$

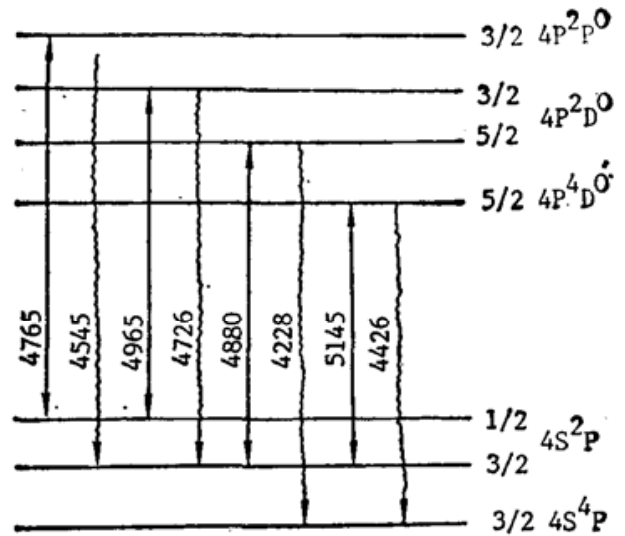


Fig. 6 Transition of excitation laser (straight line) and transitions of laser-induced fluorescence (wavy line) of Ar

似一条直线关系。

为了分析离子激发能级上粒子数与放电电流的变化关系，我们还测量了图 2 所示的八条谱线及另外两条分别与 514.5 nm 和 488.0 nm 谱线起源于相同上能级的 442.6 nm 和 422.8 nm 的谱线(见图 6)的发射荧光强度随放电电流变化的关系，它们都基本上成直线关系。图 7 给出了对 476.5 nm 荧光谱线的测量结果。

在 514.5 nm 和 488.0 nm 激光作用下，测量了 360~460 nm 波长范围的激光感生荧光光谱(图 8)。除观察到分别与 514.5 nm 和 488.0 nm 激光跃迁具有相同上能级的 442.6 nm 和 422.8 nm 谱线的负感生荧光信号外，还观察到许多正的感生荧光信号。图 9 给出一条负的激光感生荧光强度与放电电流的关系。

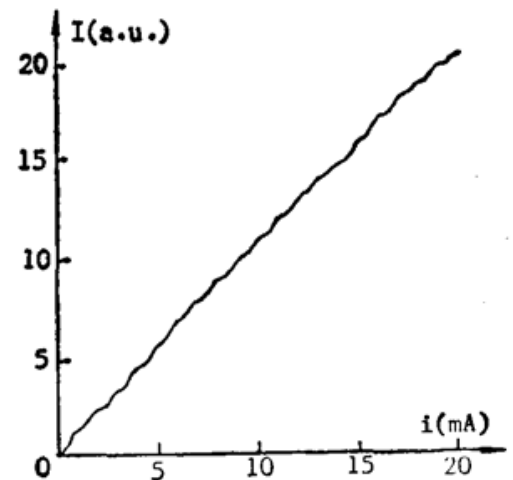


Fig. 7 Intensity of Ar II 476.5 nm emission fluorescence vs discharge current

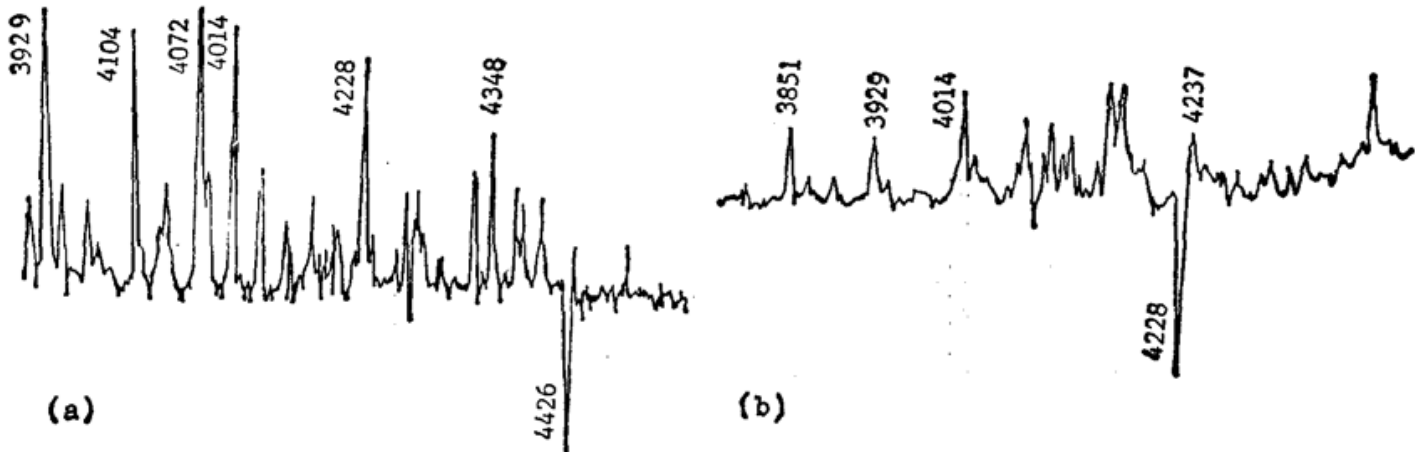


Fig. 8 Laser-induced fluorescence spectrum

- (a) The fluorescence spectrum induced by 5145Å laser
 (b) The fluorescence spectrum induced by 4880Å laser

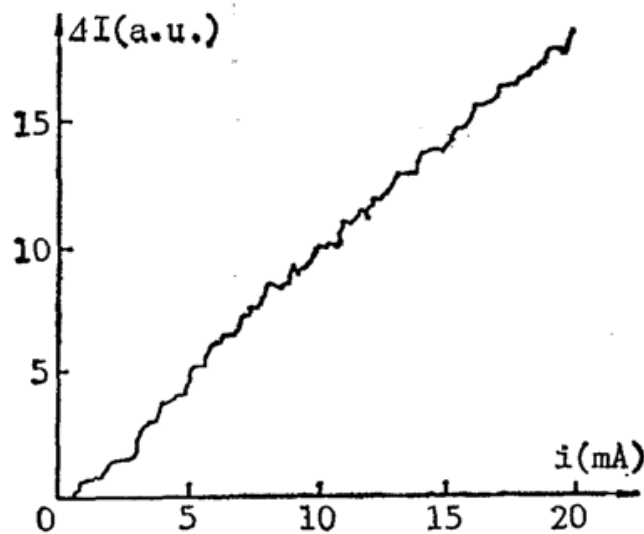


Fig. 9 Intensity of laser-induced fluorescence of ArII 422.8 nm produced by 488.0 nm laser vs. discharge current

三、讨 论

由感生荧光光谱(图 8)已知,在激光作用下,与激光跃迁具有相同上能级的感生荧光信号是负的。我们与文献[6]看法一样,认为 Ar^+4s-4p 态之间存在粒子数反转。至于其它的正感生荧光谱线过去未见报道。这些正的谱线与激光作用能级没有什么必然的联系,而都是一些发射荧光较强易于测到的谱线,因此认为激光作用下各能级的 Ar^+ 数增加了,也就是说一价氩离子的总数目增多了。本实验测量到的 Ar^+ 光电流信号主要来源于激光作用下 Ar^+ -电子对的增加。

我们进一步对 Ar^+ 光电流效应的机理作具体分析。文献[5]提出了一个连续激光激发的离子谱光电流效应的模型,并给出了计算光电流信号的数学公式^[5]

$$f(i) = [A + Bi + Ci^2 + Di^3] / (1 + Mi)(1 + Ni). \quad (1)$$

为探讨 Ar^+ 光电流效应的机理,参考上式引进一个经验公式。根据图 4 可知,在放电电流较小时,光电压信号随电流线性增大,在电流较大时,光电压信号下降,因此光电压信号 V_{OAF} 与空心阴极灯放电电流 i 的关系可具有如下形式:

$$V_{OGF} = -\frac{a\dot{i}}{1 + (\dot{i}/\dot{i}_M)^2}, \quad (2)$$

式中 \dot{i}_M 为光电压达到最大值时对应的放电电流, a 为一比例常数, 可由实验曲线中 V_{OGF} 的极值点来确定。取表 3 的 \dot{i}_M 值, 便得到每条谱线的 a 值。根据 (2) 式即可算出每条谱线的 $V_{OGF} \sim \dot{i}$ 的经验曲线。图 10 给出了对 472.7 nm 和 501.7 nm 两条谱线的计算曲线及相应的实验数据点。从图中可见, 经验曲线与实验数据符合较好, 而对其他不同谱线偏差大小不同, 但总的趋势是一致的。

(2) 式与 (1) 式中的第二项形式相似, 但认为 (1) 式中第一项, 其中由真空紫外辐射的高能光子引起光电效应的贡献, 也可与电流有关, 因此, 对图 4 的 Ar⁺ 光电流光谱特性可作这样的解释: 电流较小时, 在激光作用下, Ar⁺ 4p、4s 态的粒子数增加, 从 4s 态到 Ar⁺ 基态跃迁产生的真空紫外辐射 (见图 11) 增强。因为真空紫外辐射对原子的光电离及阴极的光电效应非常有效, 从而使离子-电子对增加, 光电流信号增大。但当电流增大时, 离子-电子复合、电子碰撞消激发等过程作用增大。电流再进一步增大, 各有关能级三体复合过程作用增大, 因此可以解释图 10 与经验公式 (2) 在放电电流较小时, 符合较好, 电流增大, 偏离增大。但也可以看出, 在研究的电流范围内, 高能光子的光电离和光电效应在产生光电流信号中起着主要作用的。

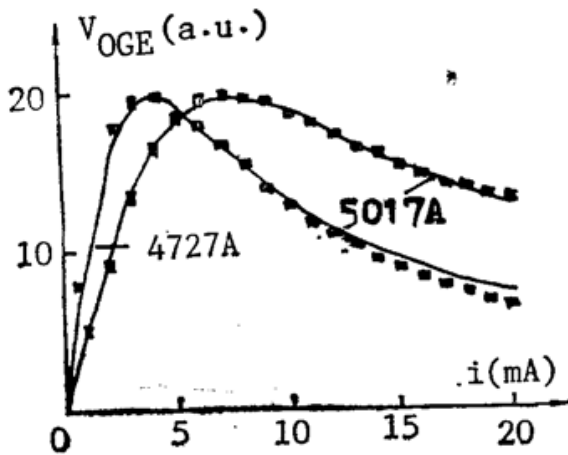


Fig. 10 Magnitude of photon-induced voltage changes in a Ar-Ni HCl vs. discharge current.

The lines are deduced from exponential formula. The square marks are experimental data

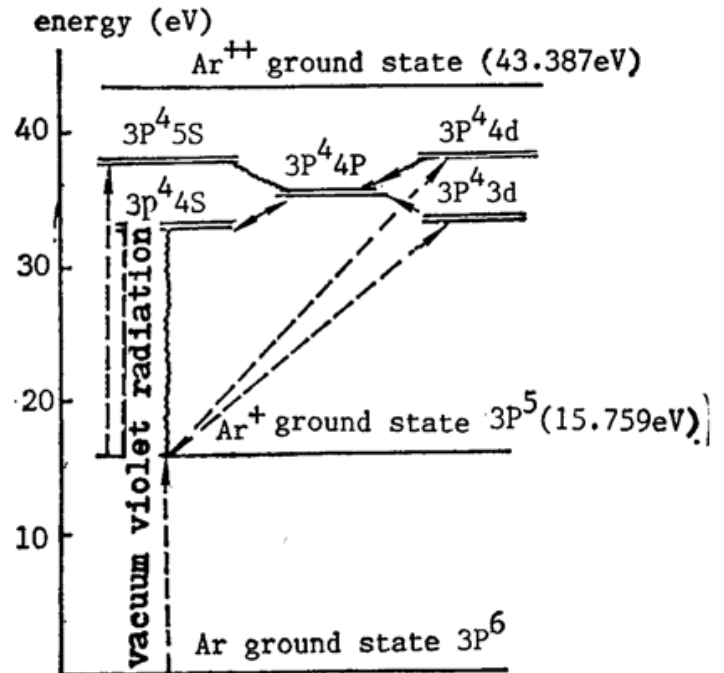


Fig. 11 Energy level diagram of Ar

参 考 文 献

- [1] 刘耀强, 周菴声等; 《华南师范大学学报》(自然科学版), 1986, No. 2 (Nov), 15.
- [2] P. K. Sehenck et al.; *J. O. S. A.*, 1978, 68, No. 5 (May), 626~627.
- [3] R. Walkup et al.; *J. De Physique*, 1983, e7 (Nov), 441~446.
- [4] I. M. Beterov et al.; *J. De Physique*, 1983, e7 (Nov), 447~454.
- [5] 李世芳等; 《光学学报》, 1985, 5, No. 8 (Aug), 679~684.
- [6] 李世芳等; 《光学学报》, 1986, 6, No. 6 (Jun), 117~120.

Study on the optogalvanic spectra of Ar⁺

ZHOU CHISHENG AND LIN RUZHOU

(Department of Physics, South China Normal University, Guangzhou)

(Received 1 February 1989)

Abstract

An experimental investigation of eight optogalvanic spectral lines of ArII in an HCD lamp is reported. The emission fluorescence and laser-induced fluorescence in HCL are observed. An empirical formula to explain the dominant mechanism of optogalvanic effect in HOL is proposed. We find that the discharge current i_M at which the V_{OGE} reaches maximum is relative to E_M the upper energy level of the optogalvanic spectral line.

Key words: hollow cathode lamp (HCL); Ar⁺ laser; optogalvanic spectrum.