

钨空心阴极放电中的光电流谱

景春阳 张桂燕 施奕明 林福成
(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

利用连续可调谐染料激光器, 在 5700~6100 Å 波长范围内测得 65 条钨光电流谱, 其中 61 条为原子跃迁, 4 条为一价离子跃迁。

一、引 言

用激光辐照含有溅射原子和低压气体空心阴极放电时, 在激光波长与放电中存在成分的跃迁波长一致时, 气体放电的阻抗可以发生明显的变化^[1]。这种称之为光电流效应的现象在光谱学、基本度量学、分析化学以及放电物理学等方面都有切实和良好的应用^[1~3]。

文献[4]中报告了利用脉冲可调谐染料激光器测量的钨光电流谱, 本文则报告利用连续可调谐染料激光器测量的钨光电流谱。有关钨的光电流谱过去报道的甚少^[5], 本文是首次报道大量的钨光电流谱。

二、实验装置

实验装置方框图如图1所示。Ar⁺离子激光器泵浦的连续波环形染料激光器光束作为激发光束, 波长连续调谐范围为 5700~6200 Å, 线宽为几个 GHz, 光束被斩波器斩成 130 Hz, 后由焦距 $f=500$ mm 的透镜聚入放电阴极孔中。

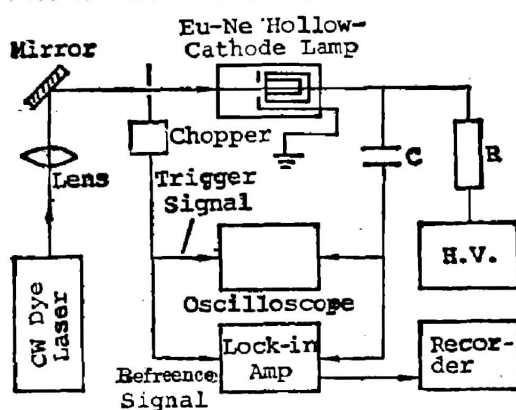


Fig. 1 Block diagram for measuring the optogalvanic spectroscopy of Eu

Eu-Ne 空心阴极灯系北京有色金属研究总院制造的,内充几 Torr 氖气以维持放电。该灯由高压直流稳定电源供电,放电回路中串以 $R=16\text{ k}\Omega$ 的镇流电阻,以稳定放电电流。检测电压变化的耦合电容 $C=0.22\text{ }\mu\text{F}$ 。用示波器直接观测较强的信号,对于弱信号或为了获得连续的光电流谱则需用锁相放大器和记录仪测定。

三、实验结果

实验对 Eu-Ne 空心阴极灯在 $5700\sim 6100\text{ \AA}$ 波长范围内的光电流谱进行了连续扫描,获得了 Eu 和 Ne 的光电流谱。

在测量过程中发现有些信号非常强,例如在一定条件下,氖 5882 \AA 跃迁的光电流信号幅度高达 4 V ,氖的这一跃迁起始于在基态之上 16.6 eV 的亚稳态,其信号为反常的(共振时阻抗增加)。图 2 示出了该信号的示波图。

Eu 的光电流信号普遍比 Ne 的弱,但有很高的信噪比,以致仍能获得 Eu 大量光电流谱线。把这一光电流谱与同一只 Eu-Ne 灯的发射光谱进行比较,以 Ne 的信号谱线为标准,利用光谱线波长表对光电流谱进行辨认,确定 Eu 谱线。然后用计算机确定误差范围内的可能跃迁。最后获得 Eu 光电流谱线 65 条,其中原子谱线 61 条,一价离子谱线 4 条。在这 4 条一价钨离子谱中 $\text{EuII } 6049.5\text{ \AA}$ 已有报道^[5],其余 3 条均为首次观测到的。大量 EuI 和 EuII 的谱线波长,相对强度,以及相应跃迁能级均列入表 1 中。在 EuI 谱线中,除大量发自偶宇称能级的跃迁外,还观测到 8 条发自奇宇称能级的跃迁,最高的起始能级为 19794 cm^{-1} 。所有 EuI 谱线都为正常光电流信号(共振时阻抗减小);EuII 的 4 条谱线中 2 条为正常信号,另 2 条为反常信号;此外,还得到一些杂质谱线——铈(Ho)的原子谱线 4 条,它们也列在表 1 后部。其中也有一条为反常信号。其原因有待作进一步研究。

我们所进行的 Eu-Ne 光电流谱测量条件为:Eu-Ne 灯工作电流 $I=8\text{ mA}$,染料激光器输出功率 $P=50\text{ mW}$ 。

图 3 给出 Eu-Ne 空心阴极灯部分光电流光谱和对应的发射光谱。与 Eu-Ne 灯的发射光谱*比较,Eu-Ne 灯的光电流谱有下面的优点:

(1) 高的分辨率

由激光的线宽和多普勒宽度决定在大范围快速扫描中,分辨率小于 0.4 \AA ;在慢速扫描中,分辨率为几个 GHz,在发射谱中不能分辨的谱线被清晰地分开了。

(2) 高的灵敏度和信噪比

原来在发射谱中较难辨认的弱谱线显著增强了,此外,还发现了若干发射谱中没有的较弱谱线(在测量范围内,测得的 65 条光电流谱,在发射谱中仅有 35 条测得)。这主要是在分辨率的线宽内(单色仅为 \AA 的量级,光电流谱为 GHz 量级),光电流谱的噪声能量要小得多

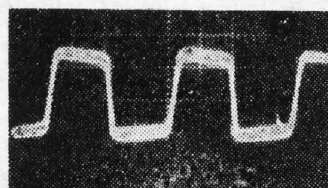


Fig. 2 Optogalvanic signal of 588.2 nm line of Ne (Laser output power 50 mW , discharge current 8 mA ; upper trace-laser turned off, lower trace-laser turned on)

* 以 0.6 m 法国 HRS-2 型光栅单色仪测定。

Table 1 Optical spectrum of Eu in the wavelength range 570~610 nm

atom	wavelength(Å)	relative intensity	lower level (cm ⁻¹)	upper level (cm ⁻¹)
EuI	5739.0	150	19447.2	36867.0
			19222.0	36642.6
	5765.2	170	0.0	17340.7
	5782.7	50	14593.6	31848.8*
	5792.7	41	19631.3	36889.6
	5800.3	66	18778.7	31014.5
			19364.5	36600.8
			19462.1	36700.4
			19631.3	36897.0
			19763.8	37001.7
	5805.7	17	19364.5	36584.3
	5820.0	16	19712.2	36889.6
	5829.5	15	15248.8	32398.3
	5831.0	170	18778.7	30928.7
	5838.0	7	19432.1	36533.4
			17340.7	34466.8*
	5849.5	14	19273.2	36381.5
	5849.7	34	19447.2	36545.8
	5856.9	12	19631.3	36700.4
	5861.0	25	19447.2	36504.6
			12922.7	29082.5
	5864.8	18	19364.5	36411.0
	5866.6	10	18778.7	30819.8
			19043.9	36091.3
			18778.7	30814.1
			19462.1	36511.7
			19543.7	36584.6
			19343.7	36581.4
	5884.8	5	19712.2	36709.4
	5885.2	6	19399.2	36586.4
	5891.3	6	19331.3	36600.8
	5895.3	13	19543.7	36541.7
	5902.8		19763.8	36711.4
	+NeI5002.5	>10		
	5914.7	6	19509.2	36591.7
	5915.8	47	15731.6	32481.0*
			19543.7	36441.8
	5924.9	6	19631.3	36504.6
	5925.3	26	19712.2	36584.3
			19462.1	36334.5
	5931.5	14	16719.3	32348.4
			19543.7	36411.0
5937.8	9	19712.2	36443.8	
		19273.2	36107.9	
		19763.8	36600.8	
5942.7	77	19763.8	36582.4	

(continued)

atom	wavelength(Å)	relative intensity	lower level (cm ⁻¹)	upper level (cm ⁻¹)
EuI			19462.1	36284.8
	5953.5	15	19794.2	36586.4
			19712.2	36504.6
	5953.8	20	13048.9	29838.6
			19543.7	36334.5
	5954.3	8	19794.2	36584.3
	5963.8	40	15421.3	32184.7
	5967.2	116	13457.2	30211.1
			15248.8	32003.2
	5968.4	26	19631.3	36381.5
	5970.9	8	19364.5	36107.9
	5971.7	5	19543.7	36284.8
			17340.7	34081.2 ^a
	5972.8	69	15680.3	32418.4
			15137.7	31876.1
			19763.8	36501.7
	5980.5	17	19364.5	36081.0
			15680.3	32398.3 ^b
			17707.4	34422.9 ^a
	5983.3	21	15421.3	32130.3
	5983.9	11	19364.5	36071.7
			19794.2	36501.7
	5992.9	51	16079.8	32761.7
	6003.1	15	14563.6	31217.3 ^a
	6004.4	19	15137.7	31787.7
	6005.7	16	15680.3	32326.7
			19462.1	36107.9
			19763.8	36411.0
			19794.2	36441.8
	6012.2	45	15581.6	32209.9 ^a
	6012.6	32	15248.8	31876.1
	6015.6	36	19462.1	36081.0
	6016.0	28	19763.8	36381.5
			13222.0	29838.6
			19794.2	36411.0 ^b
	6018.2	134	0.0	16611.8
	6023.2	45	15137.7	31735.8
			17707.4	34306.4 ^a
	6029.0	69	15421.3	32003.2
	6032.4	16	19712.2	36284.8
6044.7	30	15248.8	31787.7	
		19794.2	36334.5	
6052.9	19	16079.8	32596.3	
		16079.8	32598.0 ^b	
6057.4	43	15680.3	32184.7	
6075.6	29	15421.3	31876.1	

(continued)

atom	wavelength (Å)	relative intensity	lower level (cm ⁻¹)	upper level (cm ⁻¹)
EuI	6077.4	16	15680.3	32130.3
			19631.3	36981.0
	6083.9	54	13778.7	39211.1
	6099.4	112	13222.0	29612.7
	6107.5	8	19712.2	36981.0
	6108.1	52	19364.5	35731.6
EuII	5818.7	-2.4	9923.0	27104.1
	5873.0		16081.7	27104.1
	+NeI 5872.8	>152		
	5966.1	22	10081.7	26838.5
	6049.5	-8	10312.8	26838.5
HoI	5948.0	-44	5419.7	22227.3
	5950.0	5	11330.6	23315.8
	5973.5	5	0.0	16736.0
	5982.9	32	0.0	16709.8

- 注: 1. 表中有 a 者为发自奇宇称能级到偶宇称能级的跃迁; 其余为偶宇称能级到奇宇称能级的跃迁;
 2. 表中每一波长下相应跃迁能级中, 第一行和标有 b 的行为波长表中列入的, 其余各行为波长表未列入本工作测得的可能跃迁;
 3. 表中谱线相对强度数值前标有“-”者为反常光电流信号, 其余为正常光电流信号。



Fig. 3 Part of the optogalvanic signal of the Eu-Ne hollow cathode (lower trace) compared with the corresponding emission spectrum of the same hollow cathode lamp (upper trace)

的缘故。

(3) 辨认标定方便

光电流谱中, 激光引起阻抗变化有正负极性之分, 表现在光电流谱上谱线的方向不同, 这反映了产生谱线能级的内在特性。这种现象对谱线的辨认标定和研究能级特性无疑是独有的方便之处。

本测量表明, 光电流谱测量具有高分辨率, 高灵敏度和高的信噪比, 而且方法也具有简单性, 因而有广泛可用性。其原因是: (1) 空心阴极灯结构简单, 可放电提供相当密度的金属原子和离子(包括难熔金属), 并且在放电余辉中有高的有效电子温度; (2) 激光器的窄线宽和波长连续可调谐的高强度光子流; (3) 电信号的测量代替光信号的测量, 可获得很高的信噪比。

参 考 文 献

- [1] R. B. Green, R. A. Keller; *Appl. Phys. Lett.*, 1976, **29**, No. 11 (Nov), 727.
- [2] D. S. King *et al.*; *Appl. Opt.*, 1977, **16**, No. 10 (Oct), 2617.
- [3] R. A. Keller *et al.*; *J. O. S. A.*, 1979, **69**, No. 5 (May), 738.
- [4] 殷立峰等;《中国激光》, 1984, **11**, No. 4 (Apr), 219.
- [5] Petter K. Schenck *et al.*; *J. O. S. A.*, 1978, **68**, No. 5 (May), 626.

Optogalvanic spectroscopy in an Eu hollow cathode discharge

JING CHUNYANG, ZHANG GUIYAN, SHI GONGMING AND LIN FUCHENG
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 22 October 1985; revised 8 December 1985)

Abstract

A CW tunable dye laser was used to measure the optogalvanic spectroscopy of Eu. Sixty five spectral lines were observed, among them 61 are from EuI, and 4 are from EuII.