

运用光电流光谱测定钛原子能级的超精细结构*

周志尧 朱利洲 景春阳 林福成

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

提 要

用自制钛空心阴极灯, 运用光电流光谱技术在 569 nm~600 nm 谱区内首次测定了元素钛的 9 条谱线, 确定其相应跃迁能级, 及超精细结构常数.

关键词 钛空心阴极灯, 光电流光谱, 超精细结构.

1 引 言

60 年代激光出现后, 随着激光技术的进展, 已发展了多种精确测定原子谱线超精细结构的方法^[1]. 其中光电流光谱技术是一种简便且有效的方法.

研究稀土元素系列的光谱参数是激光光谱感兴趣的课题之一. 有关其光谱和能级参数的主要研究工作从 70 年代开始^[2,3], 以后用激光技术研究了若干能级的超精细结构^[4,5], 1992 年印度 Reddy 等人^[6]发表了用光电流光谱技术测定钛 38 个能级超精细结构常数的结果. 本工作在自制空心阴极灯中运用光电流光谱技术测定了 1.1~4.1 eV 范围内 13 个能级的超精细结构常数.

2 实验装置及方法

自制空心阴极灯的阴极是内径为 3 mm 的筒形钛金属, 灯中充有约 300 Pa 的氩气或氙气, 使用两种惰性气体的目的是为了判别和删去由所充气体所引起的光电流光谱讯号. 灯由直流供电, 串接电阻为 15 k Ω , 工作电流是 10 mA. 激光经透镜聚焦后经窗口照射到阴极孔内. 实验装置原理图如图 1 所示. 激光由 3 W 氩离子激光器全波长泵浦的连续环形染料激光器(美国光谱物理公司 380D)产生. 染料为若丹明 6G. 激光谱区从 566~600 nm, 输出功率最大值为 100 mW, 线宽 1 MHz, 在 30 GHz 范围内连续扫描. 激光波长由六位数字波长计(Burleigh WA-20)测量. 稳频及扫频情况可由扫描法布里-珀罗干涉仪经示波器进行监视, 其自由光谱区为 2 GHz. 激光束用频率为 130 Hz 的斩波器经行调制. 由空心阴极灯检测得的 130 Hz 电讯号输

收稿日期: 1992 年 8 月 25 日

* 本工作由国家自然科学基金资助.

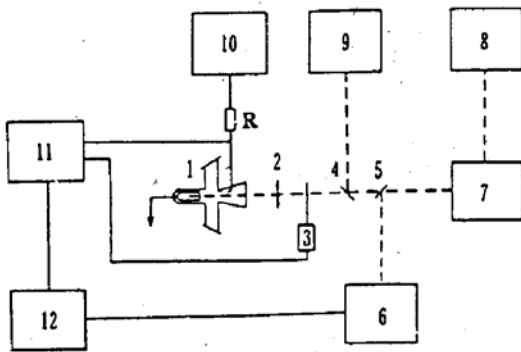


Fig. 1 Experimental arrangement for measurement

- 1—hollow cathode discharge lamp (HCD), 2—lens, 3—chopper
- 4,5—beam splitter, 6—interferometer, 7—dye laser,
- 8—Ar⁺ laser, 9—wavelength meter, 10—HCD power supply,
- 11—lock-in amplifier, 12—X-Y recorder.

入锁相放大后由 X-Y 记录仪记录. 同时向 X-Y 记录仪输入由共焦法布里-珀罗干涉仪提供的讯号作测定谱线的标尺用, 此干涉仪的自由光谱区为 301 MHz.

3 结果和讨论

有关原子光谱超精细结构的简要论述及有关公式见文献[7]. 实验在 569~600 nm 谱区内对钬的光电流谱作了普查, 共观察到 37 条谱线的讯号, 其中 9 条是首次在光电流谱中测得. 表 1 列出了这些谱线的波长, 相应跃迁的上下能级及 J 量子数. 图 2 给出典型的光电流谱图. 表 2 给出了和表 1 谱线有关能级的超精细结构常数 A, B 值, 第 5, 7 列同时列出^[2,5,6]工作的结果. 其中 11530.16 cm^{-1} 的参数是三条谱线结果的平均值, 12344.55 cm^{-1} 及 29086.67 cm^{-1} 是二条谱线结果的平均值. 此外 583.967 nm 虽讯号很强, 但未能求得相应的跃迁能级. 同时 573.386 nm 谱线亦未获得相应跃迁. 在文献[6]中对 573.402 和 573.924 nm 两谱线的判别亦有困难, 可能具有类似问题.

Table 1 Wavelengths of Ho optogalvanic spectra and their relative levels

Wavelength (vacuum) (nm)	Low level (cm ⁻¹)	J_1	Up level (cm ⁻¹)	J_u
598.311	11530.16	8.5	28244.29	8.5
597.296	12344.55	6.5	29086.67	7.5
593.433	16154.21	7.5	33005.31	7.5
585.791	11322.31	10.5	28393.24	9.5
585.525	9147.08	6.5	26225.76	6.5
582.808	11322.31	10.5	28481.24	10.5
577.006	11530.56	8.5	28861.41	8.5
571.772	12344.55	6.5	29834.05	7.5
569.618	11530.56	8.5	29086.07	7.5

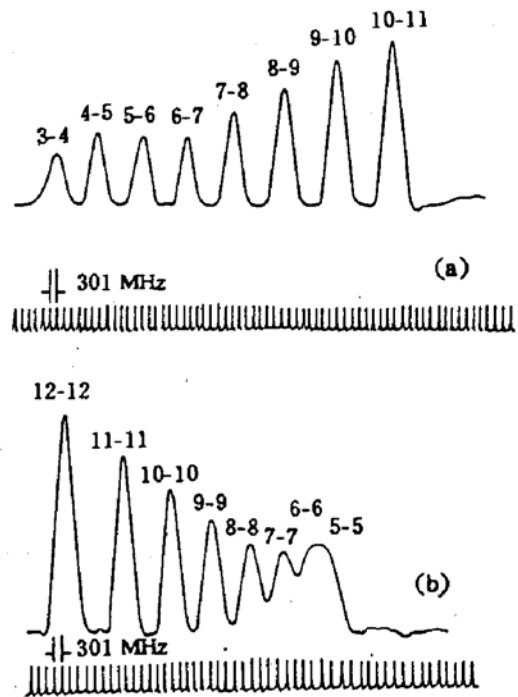


Fig. 2 Typical optogalvanic spectra of ¹⁶⁵Ho

(a) $\lambda_p = 571.7716 \text{ nm}$ (vacuum)

(b) $\lambda_p = 577.0057 \text{ nm}$ (vacuum)

Table 2 A and B constants of some levels of ^{165}Ho

Configu-ration	Level (cm^{-1})	J	A		B	
			this work (MHz)	other work (MHz)	this work (MHz)	other work (MHz)
$4f^{10}5d_{3/2}6s^2$	9147.08	6.5	915.7 ± 0.9	$916.6 \pm 0.25^{[5]}$ $919.2 \pm 0.23^{[3]}$ $912.0 \pm 0.30^{[6]}$	2695 ± 60	$2668 \pm 4^{[5]}$ $2886 \pm 150^{[3]}$ $2659 \pm 10^{[6]}$
$4f^{10}5d_{3/2}6s^2$	11322.31	10.5	694.2 ± 0.5	$693.9 \pm 0.23^{[3]}$ $771.3 \pm 0.45^{[6]}$	3320 ± 60	$3318 \pm 150^{[3]}$ $3360 \pm 16^{[6]}$
$4f^{10}5d_{3/2}6s^2$	11530.16	8.5	771.4 ± 0.5	$770.7 \pm 0.15^{[3]}$	1283 ± 60	$1296 \pm 75^{[3]}$
$4f^{10}5d_{3/2}6s^2$	12344.55	6.5	908.5 ± 0.7	$907.5 \pm 0.15^{[3]}$	745 ± 40	$753 \pm 75^{[3]}$
$4f^{10}5d6s^2$	16154.21	7.5	903.7 ± 0.9	$904.5 \pm 0.08^{[3]}$	572 ± 60	$7567 \pm 30^{[3]}$
$4f^{11}5d6s$	26225.76	6.5	732.3 ± 0.8	$732.9 \pm 0.15^{[3]}$	-1068 ± 60	$-1056 \pm 75^{[3]}$
$4f^{10}5d6s6p?$	28244.29	8.5	661.0 ± 0.6	$660.6 \pm 0.15^{[3]}$	546 ± 50	$579 \pm 75^{[3]}$
$4f^{10}5d6s6p?$	28393.24	9.5	876.4 ± 0.8	$877.8 \pm 0.15^{[3]}$	1060 ± 50	$1029 \pm 75^{[3]}$
$4f^{10}5d6s6p?$	28481.24	10.5	1032.9 ± 0.9	$1032.6 \pm 0.2^{[3]}$	1830 ± 60	$1830 \pm 75^{[3]}$
$4f^{11}5d6s$	28861.41	8.5	619.0 ± 0.6	$618.3 \pm 0.15^{[3]}$ $634.0 \pm 0.30^{[6]}$	-190 ± 50	$-180 \pm 75^{[3]}$ $201 \pm 20^{[6]}$
$4f^{10}5d6s6p?$	29086.67	7.5	400.6 ± 0.7	$399.9 \pm 0.15^{[3]}$	613 ± 50	$615 \pm 75^{[3]}$
—	29834.05	7.5	1052.5 ± 0.9	$1052.4 \pm 0.2^{[3]}$	75 ± 50	$90 \pm 75^{[3]}$
$4f^{11}6s7s$	33005.31	7.5	469.3 ± 1.1	—	174 ± 50	—

影响本实验参数精度的主要因素是谱线标尺位置确定的精度及激光扫描的非线性,实验中为减小误差,每条谱线都重复三次以上,文中所列的值是多次平均的结果.本实验未采取消除多普勒效应的措施,因而谱线较宽,这影响了测量精度的提高,实测线宽值为 600MHz 与理论计算值相符.其他增加线宽的因素如激光功率,气压和场强等的影响小,可忽略不计.

作者对姜士杰同志在制作空心阴极灯中所给予的帮助表示感谢.

参 考 文 献

- [1] W. Demtroder, *Laser Spectroscopy*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1981; chapter 8, p375, chapter 10, p461
- [2] J. Blaise, P. Camus, G. Guelachvili et al., Classification preliminaire du spectre d'are d' l' holmium, *C. R. Acad. Sci. Ser. (B)*, 1972, **274**:1302~1304
- [3] J. F. Wyart, P. Camus, J. Verges, Etude du spectre de l' holmium atomique. *Physica*, 1977, **92(C)**:377~396
- [4] B. Burghardt, S. Buttgenbach, N. Glaeser et al., Hyperfine structure measurements in metastable states of ^{165}Ho . *Z. Phys. (A)-atoms and nuclei*, 1982, **307**:193~200
- [5] W. J. Childs, D. R. Cok, L. S. Goodman, New line classifications in HoI based on high-precision hyperfine structure measurement of low levels. *J. O. S. A.*, 1983, **73(2)**:151~155
- [6] M. N. Reddy, S. A. Ahmad, G. N. Rao, Laser optogalvanic spectroscopy of holmium. *J. O. S. A. (B)*, 1992, **9**

(1), 22~26

[7] 周志尧, 朱利洲, 瞿佳男等, 用荧光法在空心阴极灯中测定镨原子的超精细结构谱. 光学学报, 1992, 12 (3), 242~246

Measurement of Ho I hyperfine structure spectra with optogalvanic spectroscopy

ZHOU Zhiyao ZHU Lizhou JING Chunyang LIN Fucheng

(*Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800*)

(Received 25 August 1992)

Abstract

With a home made Ho-Kr hollow cathode discharge (HCD) lamp we measured 9 lines of ^{165}Ho by optogalvanic spectroscopy in 569~600 nm range. The transition levels and its constants of hyperfine structure were determined. They are the first report in HCD to our knowledge.

Key words Ho-Kr hollow cathode discharge lamp, optogalvanic spectroscopy, hyperfine structure.