

空心阴极灯中激光泵浦铥原子荧光谱的测量*

周志尧 朱利洲 景春阳 张峭峰 林福成

(中国科学院上海光机所, 上海 201800)

提要 在铥空心阴极灯中, 用波长分别为 567.584, 571.579, 576.020, 576.429, 589.563 及 597.126 nm 的激光泵浦铥原子, 对应各泵浦波长在 371~684 nm 谱区内观察到相同的约 74 条荧光谱线, 本文确定了相应荧光的跃迁能级及荧光强度。实验证明在空心阴极灯中铥原子能量的碰撞转移现象很剧烈。

关键词 空心阴极灯, 荧光谱, 碰撞

Measurement of Tm I fluorescence spectra pumped by laser in hollow cathode discharge lamp

ZHOU Zhiyao, ZHU Lizhou, JING Chunyan,
ZHANG Shaofeng, LIN Fucheng

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

Abstract The fluorescence spectra pumped by 567.584, 571.579, 576.020, 576.429, 589.563 and 597.126 nm laser lines in hollow cathode discharge lamp (HCD) was measured. About 74 fluorescence lines in the range of 371~684 nm were detected. The corresponding level and intensity for every fluorescence line was listed. It is proved that there are very strong collision in Tm HCD.

Key words Tm hollow cathode discharge lamp, fluorescence spectra, collision

1 引 言

有关铥元素的光谱参数日趋完善, 到 1973 年在 250~1175 nm 谱区内已测得 4400 条发射谱线, 其中 2700 条以上已作了认定。在此前后作了大量的理论计算和分析^[1]。自激光出现后, 随着激光技术的发展, 在七十年代以后对铥原子的能级参数, 尤其是高激发态直至电离态附近的能级参数进行了研究^[2,3]。我们实验发现运用铥空心阴极灯, 在一激光波长泵浦时, 可产生 70 条以上的荧光, 当改变泵浦激光波长时, 仍可产生大量相同波长的荧光。这结果表明

收稿日期: 1992 年 9 月 8 日; 收到修改稿日期: 1992 年 10 月 19 日。

* 本工作由国家自然科学基金资助。

在空心阴极灯中, 铥原子能量在碰撞过程中在能级间的转移很强烈。类似的工作在国内亦有报导, 如[4, 5]分别报道了在 Eu, La 空心阴极灯中, 在激光泵浦条件下由碰撞引起的原子能量转移, 并由此测得各相应高激发态的分支比。

2 实验条件

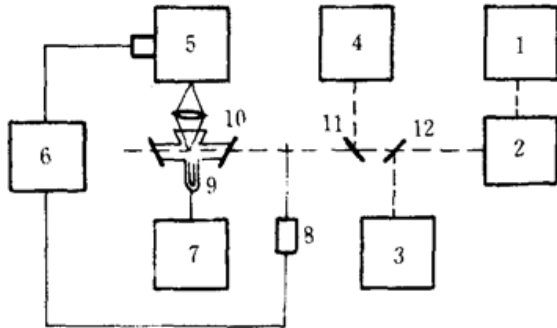


Fig. 1 Experimental arrangement for measuring Tm fluorescence spectra

1—Ar⁺ laser; 2—dye laser; 3—wavelength meter; 4—interferometer; 5—monochromator; 6—look-in amplifier; 7—HCD power supply; 8—chopper; 9—hollow cathode discharge lamp; 11, 12—beam splitter

实验所用铥空心阴极灯属自制, 阴极由带有 3 mm 孔的铥金属筒构成, 在阴极筒口由溅射产生铥原子蒸气。灯内充有 260 Pa 氩气。灯由直流高压供电, 电流为 10 mA。如图 1 所示, 泵浦激光经灯的布儒斯特窗射入, 在阴极孔前产生荧光。为减少发射谱引起的背景光, 在垂直于阴极孔方向经透镜探测荧光, 线状的荧光像成像于单色仪的入射狭缝上。单色仪中光电倍增管测得的电讯号输入锁相放大器, 讯号的强弱由锁相放大器的数字显示屏直接读出, 荧光波长由单色仪鼓轮直接读出, 单色仪狭缝宽 100 μm, 分辨率 0.01 nm。激光由 3 W 氩离子激光器泵浦的连续环形染料激光器供给, 染料为若丹明 6G, 产生激光的谱区为 570~600 nm, 输出峰值功率为 100 mW, 线宽

为 1 MHz。激光波长由 Burleigh WA 20 型六位数字波长计测量。激光器的稳频情况由扫描干涉仪及示波器监视。为使锁相放大器工作, 激光束由一 130 Hz 的斩波器调制, 它同时向锁相放大器输入一参考讯号。

3 结果及讨论

我们在 570~600 nm 谱区范围内用激光对铥原子可能产生的共振荧光及感生荧光作了普查。测得 567.584 nm ($0 \rightarrow 17613.66 \text{ cm}^{-1}$), 576.429 nm ($0 \rightarrow 17343.37 \text{ cm}^{-1}$), 589.563 nm ($0 \rightarrow 16957.01 \text{ cm}^{-1}$), 597.126 nm ($0 \rightarrow 16742.24 \text{ cm}^{-1}$), 571.579 nm ($15271.0 \rightarrow 32761.54 \text{ cm}^{-1}$), 576.020 nm ($8771.243 \rightarrow 26126.91 \text{ cm}^{-1}$) 等 6 条激光泵浦线所产生的共振和感生荧光。其中前 5 条泵浦线产生数十条相同波长的共振和感生荧光。而最后一条泵浦线在我们的实验条件下仅观察到共振荧光。一条泵浦线获得的最多荧光线条数为 74 条。一个元素, 其一个能级上的

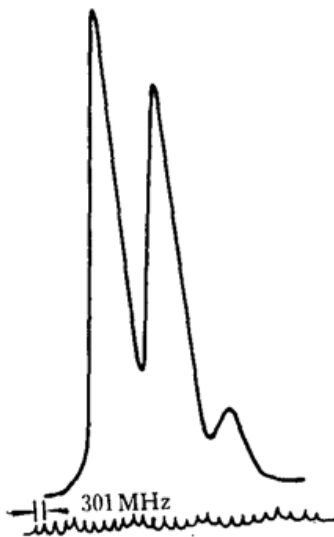


Fig. 2 Typical fluorescence spectra of Tm
 $\lambda_p = 567.584 \text{ nm}$, $\lambda_f = 576.429 \text{ nm}$

的粒子数由一激光线泵浦源经上转移及下转移产生那么多的感生荧光及多条泵浦线具有相同的荧光线条序列是不多见的。图 2 给出了典型的荧光谱线形, 图中的三个峰属铥原子的超精细结构谱, 其线宽为 905 MHz, 相应荧光区的温度为 720 °C。在此温度灯中气压为 260 Pa 的氩原子之间的碰撞已十分剧烈, 以氩原子半径为 $1.57 \times 10^{-8} \text{ cm}^{[6]}$ 计算得相邻两次碰撞之间的时

间间隔为 340 ns。而各泵浦上能级就目前已知寿命值分别为^[7] 16957.01 cm⁻¹—1400(400) ns, 17343.37 cm⁻¹—2100(600) ns, 17613.66 cm⁻¹—760(70) ns, 26126.91 cm⁻¹—2100 ns^[8], 由以上数据可看出就已知泵浦上能级的寿命而言, 其值都较碰撞间隔时间为长。因此平均而言, 在此期间铊原子可以经历数次碰撞。碰撞后铊原子转移到更高能级或低能级, 之后发出荧光。有关铊空心阴极灯中存在剧烈的碰撞过程, 在作者将发表的另一篇有关铊原子二级荧光谱的报道中亦得到证实。其现象是在铊原子窄的二级荧光谱上有一宽的背景谱, 并且其位置不随第一级泵浦光波长的变化而变化。

表 1 中有关荧光强度的表示仅给出了强、中、弱三种情况, 原因是 1). 单色仪中光电倍增管(R456)对不同波长灵敏度不同, 列表中未作定量修正; 2). 实验数据分多次测得, 每次实验条件不可能完全相同, 因而引起一定的误差。不同泵浦波长的激光功率都保持在 20 mW 左右。表中第一列荧光的空气波长数是由单色仪测得后与波长手册^[9]核对确定, 而相应跃迁的能级是根据美国一家标准局的能级手册^[10]求得。我们认为若进一步提高仪器的灵敏度, 可测得更多的荧光谱线。

Table 1 Fluorescence wavelengths and corresponding levels of TmI

Fluorescence wavelength (nm)	Pumped wavelength (nm) (vacuum)					Wavelength (nm) (vacuum)	Transition level			
	A	B	C	D	E		Low level (cm ⁻¹)	J _l	Up level (cm ⁻¹)	J _u
371.791	M	W	M	W	/	371.8976	0	3.5	26889.13	4.5
374.406	M	M	M	W	/	374.5133	0	3.5	26701.32	3.5
375.181	M	M	M	W	/	375.2878	0	3.5	26646.21	4.5
382.639	M	W	W	/	/	382.7472	0	3.5	26126.91	2.5
388.735	M	M	M	M	W	388.8449	0	3.5	25717.20	3.5
389.662	W	M	M	W	/	389.7721	0	3.5	25656.02	2.5
391.648	M	M	M	W	/	391.7585	8771.243	2.5	34297.17	3.5
394.927	W	W	W	/	/	395.0390	8771.243	2.5	34085.20	2.5
409.419	M	M	M	M	/	409.5337	0	3.5	24418.02	2.5
410.584	S	S	S	S	W	410.6997	0	3.5	24348.69	4.5
413.833	W	W	M	W	/	413.9498	8771.243	2.5	32928.76	1.5
418.762	S	S	S	S	/	418.8796	0	3.5	23873.21	3.5
420.373	S	S	S	S	/	420.4915	0	3.5	23781.70	4.5
422.267	W	M	M	W	/	422.3862	8771.243	2.5	32446.26	3.5
427.171	W	W	M	W	/	427.2911	8771.243	2.5	32174.49	2.5
435.993	S	S	S	M	/	436.1153	0	3.5	22929.72	2.5
438.642	S	M	S	M	/	438.7663	0	3.5	22791.81	3.5
439.442	W	W	M	/	/	439.5655	8771.243	2.5	31520.98	1.5
444.274	W	W	W	W	/	444.3980	16742.24	3.5	39244.59	4.5
445.403	/	/	W	W	/	445.5289	16742.24	3.5	39187.47	3.5
453.215	W	W	W	/	/	453.3425	15587.81	5.5	37646.19	6.5
454.860	W	W	W	/	/	454.9872	17343.37	3.5	39322.02	4.5
459.902	M	S	S	S	/	460.0306	0	3.5	21737.69	4.5
461.397	W	W	W	/	/	461.5257	17752.63	2.5	39419.90	1.5
462.697	W	W	W	/	/	462.8263	17613.66	4.5	39220.04	4.5
464.458	W	W	M	W	/	464.5879	17752.63	2.5	39277.09	2.5
465.509	M	M	M	/	/	465.6388	17613.66	4.5	39089.53	5.5
467.531	S	M	S	M	/	467.6629	15271.00	7.5	36653.93	7.5
468.192	S	S	S	/	/	468.3232	877.243	2.5	30124.02	3.5
468.511	S	M	M	/	/	468.6422	13119.61	4.5	34457.85	4.5
469.111	M	/	S	M	/	469.2426	8771.243	2.5	30082.18	2.5
470.544	/	/	W	/	/	470.6765	13119.61	4.5	34365.63	3.5
472.426	S	S	S	S	/	472.5585	0	3.5	21161.40	2.5
473.334	S	S	S	S	/	473.4661	0	3.5	21120.84	3.5
475.990	W	W	M	W	/	476.1238	15271.00	7.5	36273.94	7.5
480.748	M	M	M	W	/	480.8821	16456.91	8.5	37252.03	8.5
482.897	/	W	W	/	/	483.0311	16456.91	8.5	37159.51	7.5
483.575	M	M	M	W	/	483.7101	13119.61	4.5	33793.15	5.5

Fluorescence wavelength (nm)	Pumped wavelength (nm) (vacuum)					Wavelength (nm) (vacuum)	Transition level			
	A	B	C	D	E		Low level (cm ⁻¹)	J _i	Up level (cm ⁻¹)	J _u
492.383	M	W	M	/	/	492.5199	18853.82	5.5	39157.57	6.5
495.718	W	W	W	W	/	495.8581	18990.41	5.5	39157.57	6.5
497.126	W	W	W	/	/	497.2646	19548.83	2.5	39658.85	2.5
497.890	W	W	W	/	/	498.0288	19548.83	2.5	39628.00	3.5
500.102	W	W	W	/	/	500.2420	22742.78	6.5	42733.10	7.5
506.090	S	S	S	S	/	506.2310	0	3.5	19753.83	3.5
506.225	M	W	M	/	/	506.3665	0	3.5	19748.54	4.5
507.242	M	M	M	W	/	507.3837	19753.83	3.5	39462.78	3.5
507.636	M	W	M	/	/	507.7806	16742.24	3.5	36435.78	3.5
508.509	W	W	W	/	/	508.6511	19753.83	3.5	39413.67	3.5
510.753	M	W	M	/	/	510.8956	19748.54	4.5	39322.02	4.5
511.397	S	S	S	S	/	511.5395	0	3.5	19548.83	2.5
518.525	M	/	M	W	/	518.6688	8771.243	2.5	28051.37	2.5
521.338	M	M	S	M	/	521.4825	16456.91	8.5	35633.01	8.5
529.432	W	W	W	/	/	529.5790	25699.71	4.5	44582.64	4.5
530.021	M	M	M	M	/	530.1675	15587.81	5.5	34449.77	6.5
530.712	S	S	S	S	W	530.8592	0	3.5	18837.38	4.5
533.890	W	W	W	W	/	534.0384	16957.01	3.5	35682.25	3.5
556.600	M	M	/	M	/	556.7546	13119.61	4.5	31080.85	5.5
558.137	W	W	W	/	/	558.2917	20406.84	2.5	38318.62	1.5
563.141	S	S	S	S	/	563.2967	0	3.5	17752.63	2.5
564.260	M	M	M	M	/	564.4151	8771.243	2.5	26488.70	1.5
565.830	M	M	/	M	/	565.9871	8771.243	2.5	26439.49	3.5
567.584	S	S	S	S	/	567.7412	0	3.5	17613.66	4.5
568.359	M	M	M	W	/	568.5169	16456.91	8.5	34046.54	7.5
576.429	S	S	S	S	/	576.5890	0	3.5	17343.37	3.5
589.563	S	S	S	S	/	589.7268	0	3.5	16957.01	3.5
593.170	M	W	W	W	/	593.3343	15587.81	5.5	32441.71	4.5
593.590	M	W	M	M	/	593.7545	15271.00	7.5	32112.98	7.5
597.126	S	S	S	S	W	597.2917	0	3.5	16742.24	3.5
602.544	M	M	M	W	/	602.7103	17454.82	6.5	34046.54	7.5
613.153	M	M	M	W	M	613.3229	16456.91	8.5	32761.54	8.5
617.529	S	M	M	M	/	617.7003	13119.61	4.5	29308.69	4.5
646.026	M	M	M	M	W	646.2030	16742.24	3.5	32217.19	4.5
660.496	M	M	M	M	W	660.6770	17343.37	3.5	32479.33	2.5
665.772	W	W	W	W	/	665.9540	17343.37	3.5	32359.37	3.5
677.977	M	M	M	M	W	678.1632	17613.66	4.5	32359.37	3.5
684.426	M	M	M	M	/	684.6156	17752.63	2.5	32359.37	3.5

Note: A - $\lambda_p = 589.7268$; B - $\lambda_p = 576.5891$; C - $\lambda_p = 567.7412$; D - $\lambda_p = 597.2917$; E - $\lambda_p = 571.7377$

W - signal/noise < 2; M - $2 \leq$ signal/noise < 10; S - $10 \leq$ signal/noise; / - no signal can be detected

作者对姜士杰同志在制作铕空心阴极灯中所给予的帮助表示感谢。

参 考 文 献

- 1 P. Caus; thesis, Univ. Paris, Orsay, (1971)
- 2 W. J. Child, H. Crosswhite *et al.*, *J. Opt. Soc. Am. B*, 1(1), 22(1984)
- 3 V. L. Mishin, S. K. Sekatskii *et al.*, *Opt. Commun.*, 61(6), 383(1987)
- 4 殷忆翔 *et al.*, *中国激光*, 16(12), 710(1989)
- 5 殷忆翔 *et al.*, *科学通报*, 34(11), 832(1989)
- 6 R. C. Weast; CRC Handbook of Chemistry and Physics, 58th Edition, CRC Press Tnc., 1978, P. F-210
- 7 R. Wallenstein, *Z. Physik*, 251, 57(1972)
- 8 P. Camus, *J. de Phys.*, 31(11-12), 985(1970)
- 9 J. Reader, C. H. Corliss, W. L. Wiese, G. A. Martin, Wavelengths and transition probabilities for atoms and atomic ions, NSRDS-NBS 68, U. S. Government Printing office, Washington, D. C. (1980)
- 10 W. C. Martin, R. Zalubas, L. Hagan, Atomic energy level-the rare-earth elements, NSRDS-NBS 60, U. S. Government Printing office, Washington, D. C., 342~358(1978)