

镱的奇宇称自电离谱

吴璧如 徐云飞 郑幼凤 胡永炎 陆 杰

浙江大学物理系, 杭州, 310027

1988年9月19日收到

本文报道用激光分步激发技术测定镱的奇宇称自电离谱的实验方法及其结果。文中给出了测得的30余个自电离能级, 并与前人用单光子吸收和电子碰撞激发技术等所得的结果进行了比较与分析。

PACC: 3280

一、引 言

镱原子的基态为 $4f^{14}6s^21S_0$, 在镧系元素中其电子结构最简单, 而且其饱和蒸气压较高, 在较低温度下即可获得一定浓度的原子蒸气密度。为了探索镧系元素高激发态的性质, 镱是比较合适的元素, 文献[1—5]中已系统地提供了其里德伯能级的数据。

对镱的自电离能级的测定, 数据尚不完整。早在1968年, Parr 和 Elder^[6]用 dc 放电管的连续谱作背景测得了镱原子蒸气在1350—2000 Å 间的吸收谱, 并用量子亏损理论与对谱线强度和线型的分析, 初步标定了20余个自电离能级。但其测量精度不高, 只有 10cm^{-1} 。1977年 Kozlov 等人^[7-9]将 Parr 的工作扩展到1060 Å, 获得80个自电离能级数据, 其精度为 1cm^{-1} 。1984年 Baig^[10]用500 MeV 加速器的辐射作为连续谱背景, 以三米光谱仪摄取镱原子的吸收谱, 测得了4f壳层电子受激发的

$$4f^{13}(F_{7/2})6s^2nd\left[\frac{3}{2}\right]_1^0$$

和

$$4f^{13}(F_{7/2})6s^2ng\left[\frac{3}{2}\right]_1^0$$

系列的自电离能级, 其测量精度达 10^{-2}cm^{-1} 。1988年 Forrest 等人^[11]用8—500 eV 能量的电子束轰击镱原子使之激发, 然后在与入射电子束成 75° 方向测量受激镱原子的发射电子谱, 获得了第一电离限以上22 eV 内的119个自电离能级。由于电子碰撞激发不受光吸收选择定则的限制, 此结果是在该能域内获得的最丰富的镱的自电离能级的信息。但发射电子谱测量精度不高, 只能达 10^2cm^{-1} 。Bekov^[12] 和 Borisov^[13] 分别用分步激发技术获得了 $7s6p^13P$ 等个别原子态可以确认的自电离能级。上述工作虽提供了一些自电离能级的数据, 但差异较大, 而且对其所属原子态的标定各文献中也不一致^[11]。因而尚需用

不同测量方法获得更系统、更完整的数据,才有可能做出综合的分析。

本文报道用激光分步激发共振电离光谱技术对镱原子在第一电离限附近自电离谱的测定。

二、实验方法

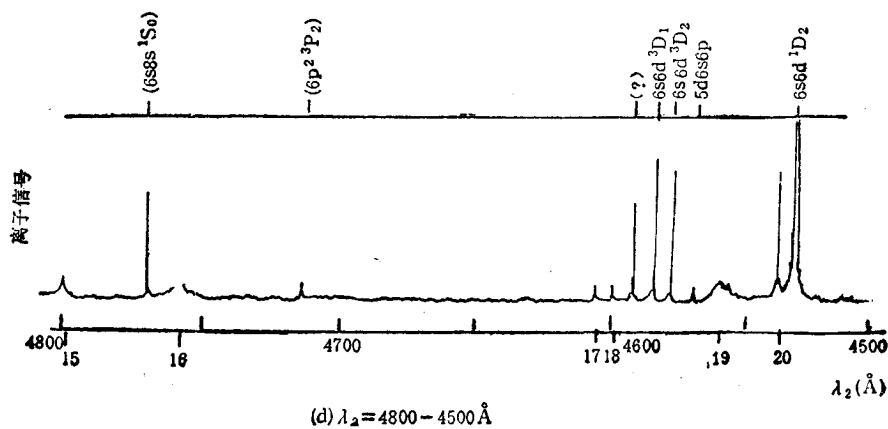
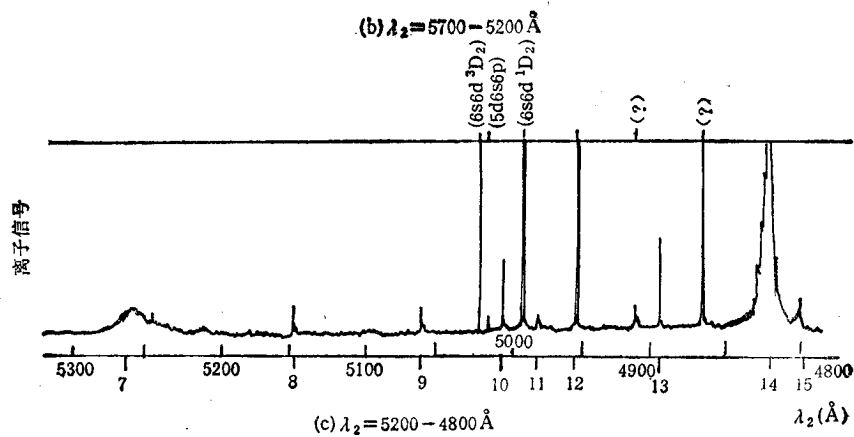
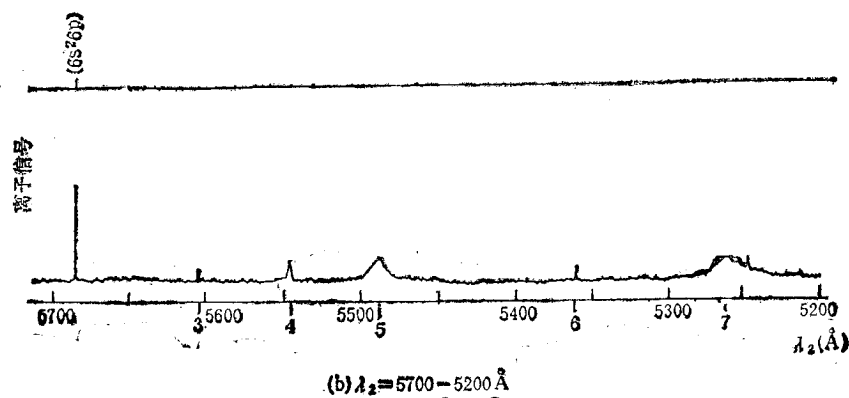
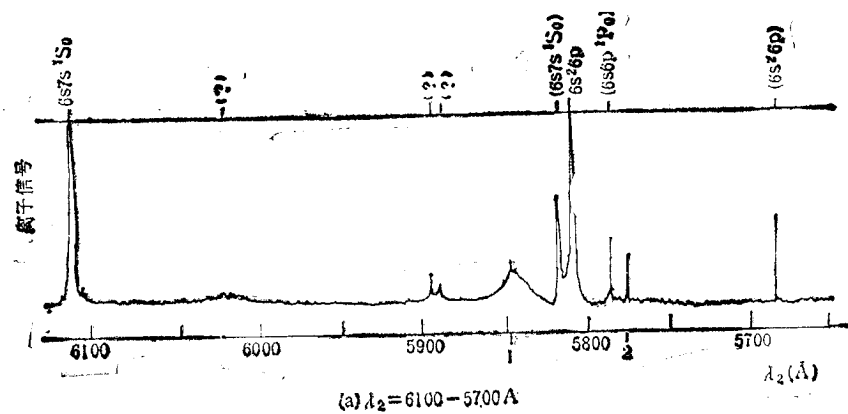
实验装置与文献[14]相类似。镱样品纯度为 99.9%,原子炉温度约为 500°C,作用区原子数密度为 10^9 个/cm³。YAG 激光器的倍频与三倍频输出同时泵浦两台染料激光器,激光束线宽约为 1cm⁻¹。在真空室内激光束与原子束正交。第一束激光波长 λ_1 调谐到由基态 $6s^2S_0$ 跃迁到 $6s6p^3P_1$ 的共振波长。第二台染料激光器依次使用 DPS, stilbene420, coumarin 480, 500, rhodamine 560, 590 等染料,其输出波长 λ_2 连续扫描。将第二束激光适当地聚焦,使处于 $6s6p^3P_1$ 态的原子能经双光子吸收过程继续激发。由于相继被吸收的三个光子总能量大于第一电离限,所以镱原子将被激发到自电离态。由弱信号检测设备记录自电离离子信号。

为了排除伴随出现的经双光子过程而布居的某些束缚态的光电离信号,我们分别作了下述两种补充检测。(1)挡去第一束激光,让第二束激光单独扫描,测得由基态经双光子过程布居的某些激发态的光电离信号。(2)让第二束激光适当散焦,测得由 $6s6p^3P_1$ 再经第二束激光单光子吸收布居的激发态的光电离信号。上述第一种检测还可排除镱样品中可能存在的蒸气压较高的杂质元素的光电离信号。经这两种激发方案布居的低激发能级可由文献[1—5]查得。我们以这两类光电离峰作为标定 λ_2 的标志峰,用标准具测得标志峰与待测自电离峰的波数差,定出自电离能级的位置。标准具自由光谱范围为 6.80cm^{-1} (6050—4800 Å) 和 4.97cm^{-1} (4800—3960 Å)。

三、结果与讨论

图 1 综合了随 λ_2 扫描时测得的自电离离子信号。由于各种染料输出的激光强度并不完全相同,因而图上信号的强弱不能严格地表示各能级相对跃迁几率的大小。图 1 上端所表明的态分别为上节所述(1)(有括号)、(2)(无括号)两种补充检测中测得的光电离信号所对应的激发态,下端表明的数字为本实验测得的自电离信号的序号,其相应的能级位置列于表 1。本实验的测量值可能出现的误差主要来自两个方面:(1)由于波长分度的标准具自由光谱范围为 4.97 和 6.80cm^{-1} ,使确定待测自电离峰的位置时可能出现约 1cm^{-1} 的误差。(2)有部份自电离峰较宽,其峰值位置不易定准。各次测量有 4cm^{-1} 左右偏差。我们用多次测量取平均值的办法来尽量减少这些偶然误差。

由于第一电离限附近镱原子有极丰富的多电子激发态^[3],要确定这些测定能级的原子态尚需更多的实验与理论分析相配合。为了阐明我们测定结果的可靠性,我们与 Forrest 的结果进行对比,因为这是这一能域内能查到的比较丰富的实验数据。表 1 中第二列为我们的结果,第三列为 Forrest 的结果。我们已将 eV 转换成 cm^{-1} 。两者比较可见在 Forrest 的测量误差范围内 (20meV — 160cm^{-1}) 相互符合得较好。其中有一些能级



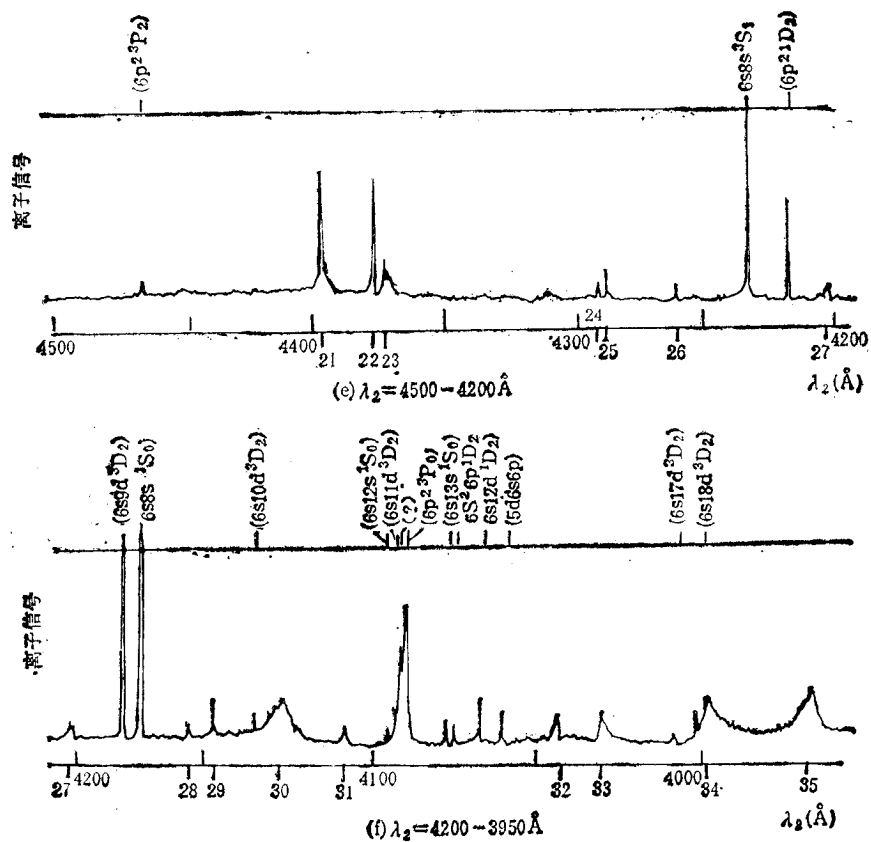


图1 镱的自电离谱

表1 镱的奇宇称自电离能级

序号	自 电 离 能 级 位 置					可能的组态
	本工作 (cm^{-1})	文献[11] ($\times 10^4 \text{cm}^{-1}$)	文献[6] ($\times 10^4 \text{cm}^{-1}$)	文献[7,8] (cm^{-1})	文献[5,12,13] (cm^{-1})	
1	52195				52186 ⁽¹³⁾	6s6p ²⁽¹³⁾
2	52602				52612 ⁽¹³⁾	5d ² 6s ²⁽¹³⁾
3	53686					
4	54059	5.38		54042 ⁽¹²⁾	54042 ⁽¹²⁾	5d ² 6s ² D ⁽¹²⁾
5	54441	5.46	5.447	54407 ⁽¹²⁾	54407 ⁽¹²⁾	5d ² 6s ² S ⁽¹²⁾ 6s ² 6d ² P ⁽¹²⁾
6	55301	5.51				
		5.57		55386 ⁽¹²⁾	55400 ⁽¹²⁾	5d6p ¹ P ⁽¹²⁾
7	56103	5.61				
		5.64(F)				6s ² 7p ¹⁽¹¹⁾
8	56840	5.67				
		5.69(f)				6s ² 7p ¹⁽¹¹⁾
		5.74(F)				6s ² 7p ¹⁽¹¹⁾
9	57511					
10	57945	5.77				
11	58140	5.82				

续 表

序号	自 电 离 能 级 位 置				可能的组态
	本工作 (cm^{-1})	文献[11] ($\times 10^4 \text{cm}^{-1}$)	文献[6] ($\times 10^4 \text{cm}^{-1}$)	文献[7,8] (cm^{-1})	文献[5,12,13] (cm^{-1})
12	58357				
13	58849	5.89			
14	*59473	5.93		59451 ^[8]	*59130 ^[12]
15	*59673	5.98	5.974	*59582 ^[7]	
16	60030	6.01	6.009	59945 ^[7]	
		6.04(F)			
		6.05(a)			
		6.07(F)			
17	*61427	6.12	6.143	*61509 ^[7]	
18	61486				
		6.16(a)			
19	*61839	6.18		*61959 ^[7]	
20	62072	6.20		62070 ^[7]	
		6.24(F)		*62243 ^[7]	*62529 ^[12]
		6.27(F)			
		6.30(F)	6.305	62944 ^[7]	
21	63475	6.33(F)			
22	63679	6.36(a)	6.365	63642 ^[7]	63656 ^[12]
					7s6p ³ P ₁ ^[12]
23	63730	6.38(F)			
24	64583	6.43			
25	64615	6.48		64619 ^[7]	
26	64924	6.50		64953 ^[7]	
		6.53		65125 ^[7]	
		6.54(a)			
27	65587	6.57			
28	66111	6.61(a)			
29	*66233	6.62(a)		*66123 ^[7]	
30	66449				
31	66667	6.66		66680 ^[7]	
		6.71(F)		67199 ^[7]	
		6.73	6.729	67233 ^[7]	6p6d ³ P ₁ ^[4]
32	*67449	6.75	*6.757	67462 ^[7]	5d8p ³ P ₁ ^[4]
33	67616	6.78		67647 ^[7]	
34	*68015	6.81	*6.816	*68145 ^[7]	
35	68407	6.85(F)			6s ² 10d ^[4]

Forrest 测得而我们没有测到,大多数属于 Forrest 认为是单光子跃迁禁戒(F)或俄歇跃迁(a)^[11]。而另一些 Forrest 认为是单光子跃迁强禁戒(F),我们却观察到了。这可能是由于我们用三光子跃迁,其 J 值禁戒规律与单光子跃迁不同。或许是由于 Forrest 按线型来判断激发机制尚有不确切之处。表 1 中第四、五、六列是 Forrest 在文献[11]中曾引用过作为对比的能级,我们从文献[5—7, 11, 12]中查得原始数据。将我们的结果与表 1 中第四、五、六列的结果进行比较,大多数能级数据比较接近。其中也存在一些差异,这是

由于我们与 Parr 和 Kozlov 均以线型峰值位置作为共振态位置。实际上由于受连续态的干扰, 线型有 Fano 不对称性^[15], 线型峰值位置与共振态位置有偏移。不同激发方案其不对称因子 q 值不同, 偏移也有所不同。我们与 Parr 和 Kozlov 均没有作出相应的修正。有一些我们的测定值与表 1 中第四、五、六各列中数值差异较大, (表 1 中有 * 者) 这是由于发射电子谱精度不高, 文献[11]中只求 10meV 位数值相近即归属于同一能级。这种归属的办法过于粗糙, 实际上可能并非属于同一能级。这些问题有待更多的实验测定才能鉴别。

- [1] W. C. Martin, R. Zalubas and L. Hagan, Atomic Energy Levels-The Rare Earth Elements, NSRDS-NBS 60, Washington, (1978), p. 373.
- [2] P. Camus, A. Debarre and C. Morillon, *J. Phys. B*, **13**(1980), 1073.
- [3] M. Aymar, A. Debarre and O. Robaux, *J. Phys. B*, **13**(1980), 1089.
- [4] M. Aymar, R. J. Champeau, C. Delsart and O. Robaux, *J. Phys. B*, **17**(1984), 3645.
- [5] J. F. Wyart and P. Camus, *Physica Scripta*, **20**(1979), 43.
- [6] A. C. Parr and F. A. Elder, *J. Chem Phys.*, **49**(1968), 2665.
- [7] M. G. Kozlov, S. A. Kotochigova and B. E. Krylov, *Opt. Spectrosc. USSR*, **43**(1977), 368.
- [8] M. G. Kozlov, S. A. Kotochigova and V. N. Nikolaev, *Opt. Spectrosc. USSR*, **41**(1976), 4.
- [9] M. G. Kozlov and S. A. Kotochigova, *Opt. Spectrosc. USSR*, **43**(1978), 616.
- [10] M. A. Baig and J. P. Connerade, *J. Phys. B*, **17**(1984), L469.
- [11] L. F. Forrest, V. Pejcev, G. J. Daniell and K. J. Ross, *J. Phys. B*, **18**(1985), 2601.
- [12] G. L. Bekov, E. P. Vidolova-Angelova, V. S. Letokhov and V. I. Mishin, *Opt. Commun.*, **35**(1980), 194.
- [13] S. K. Bolisov, S. A. Kotochigova, N. A. Karpov, V. A. Mishin and A. M. Stelmash, *Opt. Spectrosc. USSR*, **61**(1986), 448.
- [14] 吴璧如、张森、陆杰、胡素芬、邱济真、孙家祯, 物理学报, **35**(1986), 956.
- [15] U. Fano, *Phys. Rev.*, **124**(1961), 1866.

THE ODD PARITY AUTOIONIZING SPECTRA OF YbI

WU BI-RU XU YUN-FEI ZHENG YOU-FENG HU YONG-YAN LU JIE

Department of Physics, Zhejiang University, Hangzhou, 310027

(Received 19 September 1988)

ABSTRACT

We report here the measurement and results of the odd parity autoionizing spectra of YbI by the laser multistep excitation technique. More than thirty autoionizing levels were obtained. Our results were compared with the previous ones obtained by one photon absorption and electron collision excitation technique.

PACC: 3280