

应用光电流光谱法测定 氖原子的高分辨光谱

金巨广 王松岳 金昌泰 生明涛

(中国科学院长春应用化学研究所)

提要: 应用光电流光谱技术, 测量了氖原子跃迁 $2P_4 \rightarrow 4S_1$ 和 $2P_3 \rightarrow 4S_1$ 的精细结构, 首次认定了氖原子谱线 5919.037 埃为 $2P_7 \rightarrow 4d_3$ 跃迁。获得的光谱谱线轮廓具有典型的对称性线型, 测得的谱线半宽度为 3.2 千兆赫。

Measuring high-resolution spectra of neon by means of optogalvanic spectroscopy

Jin Juguang, Wang Songyue, Jin Changtai, Sheng Mingtao

(Changchun Institute of Applied Chemistry, Academia Sinica)

Abstract: Fine structure of the atomic neon transitions of $2P_4-4S_1$ and $2P_3-4S_1$ were measured by means of optogalvanic spectroscopy and the neon line at 5919.037 Å was identified to the transition of $2p_7-4d_3$ for the first time. The obtained profile of spectral line has a typical and symmetrical shape of line. The line width (FWHM) was measured to be 3.2 GHz.

随着激光光谱技术的出现和发展, 为研究高分辨光谱提供了一个新手段。特别是激光光电流光谱技术^[1,2], 不用常规光谱仪器的光路系统, 不需要光学检测元件, 可以把样品处理与光谱测量结合在一起, 与其他激光光谱技术相比, 大大简化了实验装置, 成为目前研究高分辨光谱的简便方法。

我们应用光电流光谱法, 成功地观测到了 Ne-Ni 空心阴极放电产生的氖原子的高分辨光谱。对氖原子的 $2P_4 \rightarrow 4S_1$ 和 $2P_3 \rightarrow 4S_1$ 跃迁附近的精细结构光谱做了高精度的波长定标和能级认定。

实 验

实验装置示意图示于图 1。用 171 型氩离子激光泵浦的 380 A 型若丹明 6G 环形染料激光作光源(美国光谱物理公司)。染料激光的线宽为 0.1 千兆赫。在 5900 埃附近的染料激光单线输出功率为 40 毫瓦。输出激光经 800 周切光器调制, 用透镜聚焦于 Ne-Ni 空心阴极放电管的阴极孔中, 以 GDM-1000 型双光栅单色仪监测激光的粗略波长,

收稿日期: 1983 年 1 月 24 日。

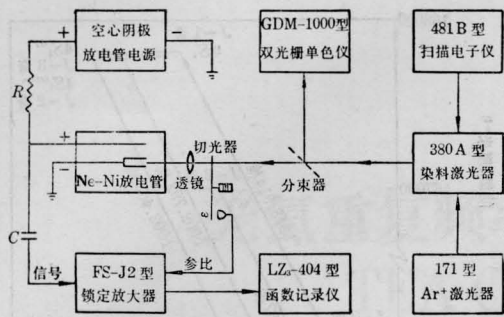


图1 光电流光谱装置示意图

以481B型扫描电子仪驱动标准具和检流片,在所研究的跃迁波长附近进行精细的波长扫描。扫描的光谱范围为30千兆赫,一次扫描的时间为10秒。产生的光电流信号经耦合电容 C (4微法)由放电管的阳极引出。为了提高信号的稳定性,放电管电源另加较大的镇流电阻 R (30千欧)。最后把信号送入FS-J2型锁相放大器中放大,在LZ-404型函数记录仪上记录相应的光电流光谱。

结果与讨论

为了测量氩原子 $2P_4 \rightarrow 4S_1$ 跃迁附近的高分辨光谱,我们首先用GDM-1000型双光栅单色仪测得Ne-Ni空心阴极放电管在5860~5950埃波段的氩的发射光谱(如图2)。找到 $2P_4 \rightarrow 4S_1$ 和 $2P_3 \rightarrow 4S_1$ 跃迁对应的发射波长,(见图2的*谱线)。然后调谐染料激光至该波长,并在30千兆赫的光谱范围内进行波长精细扫描,测量相应的氩的光电流光谱。测得跃迁 $2P_4 \rightarrow 4S_1$ 的两条精细结构光谱示于图3。测得跃迁 $2P_3 \rightarrow 4S_1$ 及其邻近的高分辨光谱示于图4。我们在过去方法^[5,6]的基础上,利用已知谱线的波长为定标点,对上述谱线进行了高精度的波长定标。并以30千兆赫的光谱范围为标尺,测得上述谱线的轮廓和半宽度。然后分别计算了各跃迁上下能级的波数。根据实验结果最后认定,在跃迁 $2P_3 \rightarrow 4S_1$ 附近出现的波长5919.037埃这根谱线,是属于氩原子 $2P_7 \rightarrow$

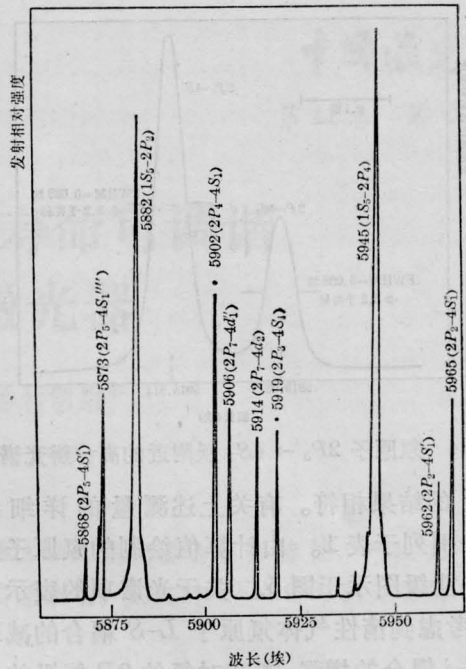


图2 氩原子的低分辨率发射光谱
Ne-Ni空心阴极放电管的放电电流为20毫安

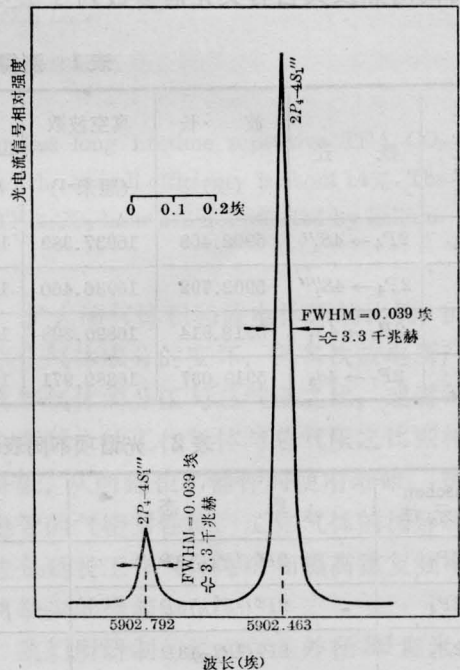


图3 氩原子 $2P_4-4S_1$ 跃迁的精细结构光谱

$4d_3$ 跃迁产生的。测得的另外三条氩原子光谱的精细结构分别为跃迁 $2P_4 \rightarrow 4S_1'$ 、 $2P_4 \rightarrow 4S_1''$ 和 $2P_3 \rightarrow 4S_1'$,与E. F. Zalewski

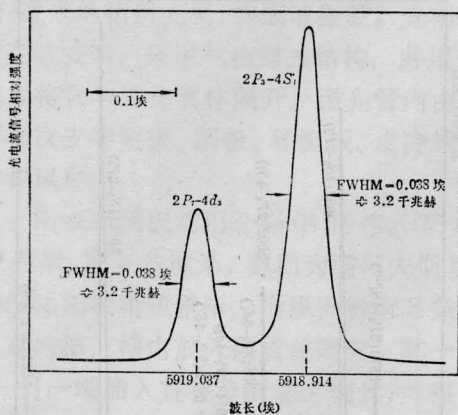


图4 氩原子 $2P_3 \rightarrow 4S_1$ 跃附近的高分辨光谱

等^[7]的结果相符。有关上述测量的详细结果分别列于表1。由计算值绘制的氩原子的有关能级图示于图5。关于光谱项的表示方法,考虑到惰性气体氩原子 $L-S$ 耦合的减弱和 $j-j$ 耦合的增强。本文对氩的 $2P$ 能级的光谱项均采用 Paschen 表示法。它与相应电子组态的对照及其它有关光谱参数列于表2。

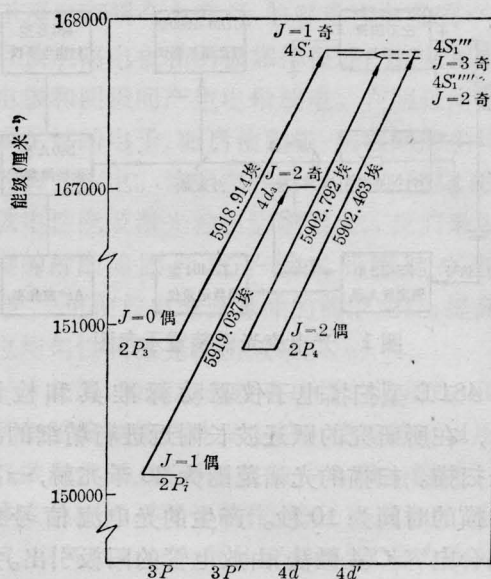


图5 由计算值绘制的氩原子的有关能级图

实验结果表明,用光电流光谱法测量高
(下转第301页)

表1 测得跃迁的有关光谱数据^[3]

光电流极性	跃迁	波长 (埃)	真空波数 (厘米 ⁻¹)	上能级			下能级			线宽 (千兆赫)	振子强度 (f)
				E(厘米 ⁻¹)	宇称	J值	E(厘米 ⁻¹)	宇称	J值		
负	$2P_4 \rightarrow 4S_1'''$	5902.463	16937.389	167795.897	奇	3	150858.508	偶	2	3.3	0.34
负	$2P_4 \rightarrow 4S_1''''$	5902.792	16936.460	167794.968	奇	2	150858.508	偶	2	3.3	0.025
负	$2P_3 \rightarrow 4S_1'$	5918.914	16890.328	167807.759	奇	1	150917.431	偶	0	3.2	0.058
负	$2P_7 \rightarrow 4d_3$	5919.037	16889.971	167011.563	奇	2	150121.592	偶	1	3.2	—

表2 光谱项不同表示法对照及其它有关光谱参数^[4]

Paschen 表示法	组态	名称	J 值	能级 (厘米 ⁻¹)
$2P_7$	$2P^5(2P_{3/2}^0)3P$	$3P[3/2]$	1	150121.592
$2P_4$	$2P^5(2P_{1/2}^0)3P$	$3P'[3/2]$	2	150858.508
$2P_3$	$2P^5(2P_{3/2}^0)3P$	$3P[1/2]$	0	150917.431
$4d_3$	$2P^5(2P_{3/2}^0)4d$	$4d[3/2]^0$	2	167011.563
$4S_1'''$	$2P^5(2P_{1/2}^0)4d$	$4d'[5/2]^0$	2	167794.968
$4S_1'''$	$2P^5(2P_{1/2}^0)4d$	$4d'[5/2]^0$	3	167795.897
$4S_1'$	$2P^5(2P_{1/2}^0)4d$	$4d'[3/2]^0$	1	167807.759

在 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 系统中, Al_2O_3 含量 $< 37\%$ 克分子能获得透明玻璃。

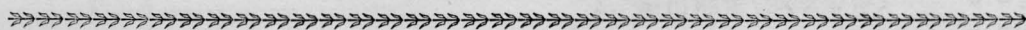
在研究高铝玻璃结构时,过去有人认为, Al^{3+} 离子以 $[\text{AlO}_4]$ 四面体存在,并假定 O^{-2} 是配位数为 3,使 Al_2O_3 达到电价平衡^[3]。我们认为这种观点是不正确的,因为所有铝硅酸盐的天然矿物及合成矿物中, O^{-2} 配位数都是 2,也还没有实验证明氧离子配位数为 3 的。

为了证明我们的看法,选择了几种与玻璃组成 (Al_2O_3 37%, SiO_2 63% 克分子) 接近的矿物作红外光谱比较。选择的矿物为硅线石、红柱石、蓝晶石(它们的化学成分都是 Al_2O_3 50, SiO_2 50% 克分子)、莫来石 (Al_2O_3 60, SiO_2 40% 克分子)。这些矿物虽然成分比较接近,但铝离子的配位并不相同。在硅线石 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) 中,铝离子的一半为 $[\text{AlO}_4]$,一半为 $[\text{AlO}_6]$;红柱石 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) 中,铝离子一半为 $[\text{AlO}_5]$,一半为 $[\text{AlO}_6]$;蓝晶石 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) 中所有铝离子是以 $[\text{AlO}_6]$ 存在,而莫来石 ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) 的结构类似

于硅线石。对比成分为 37% 克分子 Al_2O_3 、63% 克分子 SiO_2 玻璃的红外光谱和上述四种晶体的红外光谱(见图 4)可以看出,这种玻璃的结构十分类似于莫来石。对这一结果可以这样解释,尽管从组成上玻璃更接近红柱石、蓝晶石和硅线石,但当加热到高温时,上述三种矿物 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) 都转化为莫来石。在 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 二元系统相图中,37% 克分子 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 63\%$ 克分子 SiO_2 的结晶产物是莫来石,这一事实也可以反过来证明我们的解释。因此我们的结论是:含有高 Al_2O_3 的 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ 玻璃结构类似于莫来石,而不大可能是全部铝离子成为四配位数,氧离子为三配位数。

参 考 文 献

- [1] M. Nogami, Y. Moriya, *Yogyo-Kyokai-Shi*, 1977, **85**, No. 9, 448.
- [2] P. C. Schults, W. H. Dumbaugh; *J. Non-cryst. Solid*, 1980, **33** 38~39.
- [3] G. M. Jantzen *et al.*; *Phys. Chem. Glasses*, 1981, **22**, No. 5, 138.
- No. 11, 727.
- [2] W. B. Bridges; *J. Opt. Soc. Am.*, 1978, **68**, No. 3, 352.
- [3] S. Bashkin *et al.*; "Atomic energy levels and grotrian diagrams", Vol. 1, North-Holland Publishing Company 1975.
- [4] C. E. Moore; "Atomic energy levels", Vol. 1, Circular of the National Bureau of Standards (1949), 467.
- [5] 金巨广等;《激光》,1981, **8**, No. 3, 54.
- [6] 金巨广等;《激光》,1982, **9**, No. 10, 657.
- [7] E. F. Zalewski *et al.*; *J. Chem. Phys.*, 1979, **70**, No. 2, 1015.
- [8] J. E. Lawler *et al.*; *Phys. Rev. Lett.*, 1979, **42**, No. 16, 1046.



(上接第 304 页)

分辨光谱的谱线轮廓具有典型的对称性;这种方法是测量谱线的多普勒宽度,进行高精度的波长定标与能级认定,研究原子光谱的精细结构的一个简单可靠的方法。本工作的光谱分辨率主要受空心阴极放电引起的谱线的多普勒轮廓的限制。如果采用内调制技术^[8]还可以观测到无多普勒加宽光谱,研究更细小的能级差异。最后应该指出,光电流光谱法目前已广泛地应用于激光光谱学研究中,它的发展潜力是很大的。

参 考 文 献

- [1] R. B. Green *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1976, **29**,