

利用光电流光谱确定 CO 激光谱线的归属

归振兴 张顺怡 王裕民
(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

利用光电流信号的正负特性对室温选支 CO 激光器输出的谱线进行了分辨和识别,该方法简便且分辨率较高。

室温选支 CO 激光器的输出光谱从 $5.2\sim 6.4\ \mu\text{m}$ 内约有 140 余条谱线,其中不少谱线的波长差小于 $10\ \text{\AA}$,用一般光谱仪较难分辨。我们曾用红外 F-P 标准具测量了选支 CO 激光器的输出光谱成份^[1],但因为是红外线,在测量调整光路中,显得不方便,特别是弱谱线,更难测量。本文利用 CO 放电介质的光电流光谱和光谱仪配合使用,能够方便地测定 CO 激光器的输出波长,精细地分辨两条同时振荡的谱线成份。同时,根据光电流的符号,还能够准确地判定谱线振转支的归属。在测量光谱方面,具有简单方便,灵敏度高,分辨率高的特点。

一、原理、装置和测量结果

CO 放电介质的增益特性密切地依赖于气体组份比、压力和温度。文献[2]指出:在一定条件下,CO 放电介质的光电流谱呈现出正、负符号的现象,这反映了介质分别处在增益和吸收状态。如果我们能适当控制吸收池内 CO 混合气体的气压和冷却温度,使其振动能级的增益分布呈图 1 的状态,那么当激光器输出的同时振荡的两条谱线(一般地说,是 $v\rightarrow v-1P(J+6)$ 和 $v+1\rightarrow vP(J)$ 的两个跃迁^[3],见图 1 中交叠部分)通过吸收池中的放电介质时,便分别感应出两种相反的光电流符号,调谐光栅角度,改变两谱线强度的相对量,从光电流符号的变化就可鉴别出激光谱线的成份,见示意图 2(b)。然后,根据光谱仪测得的波长位置,对照 CO 光谱表^[4],按照光电流符号的次序和振转支波长顺序,便准确地测定了 CO 激光器的输出波长和其振转支。

本文用图 3 测量装置测量了文献[5]中所描述的选支 CO 激光器的输出光谱。

激光束被一个扇形面积不等的斩波器调制后通过放电池进入红外光谱仪,放电管上被感应的光电压信号在示波器上显示,选频放大器用来监视信号的最佳化,光电测量灵敏度为 mV/mV 量级,光谱仪分辨率约 $10\ \text{\AA}$ 。

放电池的放电毛细管内径为 $\phi 4\ \text{mm}$,长 $25\ \text{cm}$,两端用 CaF_2 密封,管内充有 20 Torr 的 CO、Xe、He(1:1.5:15)的混合气体,在放电电流 $8\ \text{mA}$,冷却水温 8°C 时,CO 放电介质的增

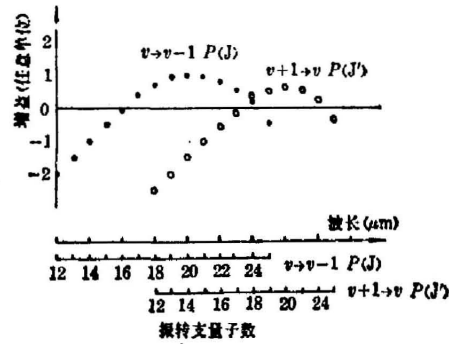


图 1 CO 放电介质中不同振动态 P 支跃迁的增益分布示意图

Fig. 1 Scheme of gain distribution for different vibrational states in CO discharge medium

● — $P_{v \rightarrow v-1}(J)$ 的增益 ○ — $P_{v+1 \rightarrow v}(J')$ 的增益

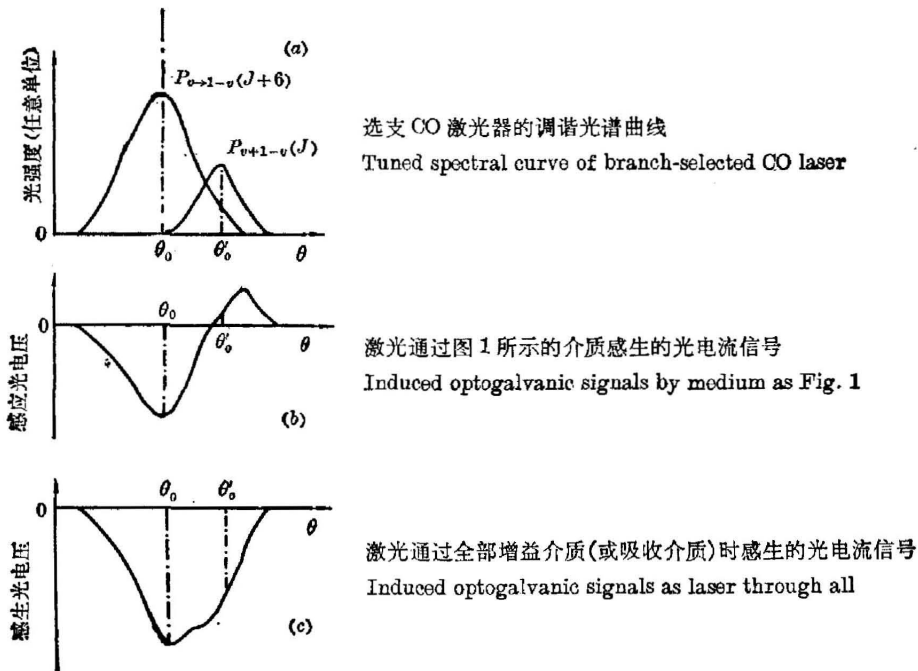


图 2 用电流效应分辨光谱的原理图

Fig. 2 Scheme of resolved spectrum by means of optogalvanic effect

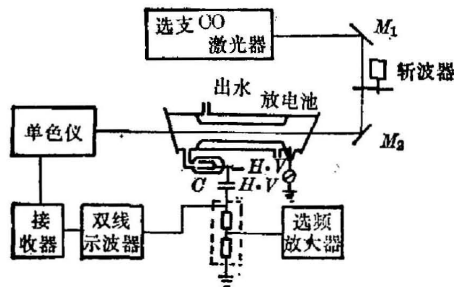


图 3 测量装置图

Fig. 3 Experimental set-up

表 1 用光电流法测量选支 CO 激光器的输出光谱表

Table 1 Measured spectrum of the branch-selected CO laser by using optogalvanic technique

激光器输出谱线		放电池光 电压符号	激光器输出谱线		放电池光 电压符号
波 长 (μm)	P 支跃迁		波 长 (μm)	P 支跃迁	
5.29285	8—7(18)	-	5.56506	11—10(22)	-
5.30465	8—7(19)	-	5.56659	12—11(16)	+
5.31660	8—7(20)	-	5.57818	11—10(23)**	-
5.31817	9—8(14)*	+	5.58454	13—12(11)**	+
5.32869	8—7(21)	-	5.59146	11—10(24)	-
5.32962	8—8(15)*	+	5.59159	12—11(18)	-
5.34094	8—7(22)*	-	5.59641	13—12(12)	+
5.34122	9—8(16)	+	5.60433	12—11(19)	-
5.35295	9—8(17)	-	5.60844	13—12(13)**	+
5.36484	9—8(18)	-	5.61722	12—11(20)	-
5.36586	8—7(24)*	+	5.63028	12—11(21)**	-
5.37687	9—8(19)	-	5.63298	13—12(15)	+
5.37855	8—7(25)*	+	5.64350	12—11(22)	-
5.38904	9—8(20)	-	5.64549	13—12(16)**	+
5.39105	10—9(14)*	+	5.65688	12—11(23)	-
5.40136	9—8(21)	-	5.67097	13—12(18)	-
5.40271	10—9(15)**	+	5.67083	12—11(24)	-
5.41384	9—8(22)	-	5.67635	14—13(12)**	+
5.41452	10—9(16)*	+	5.68396	13—12(19)	-
5.42646	9—8(23)	-	5.68415	12—11(25)	-
5.42647	10—9(17)*	+	5.68861	14—13(13)**	+
5.43922	9—8(24)	-	5.69711	13—12(20)	-
5.44238	11—10(12)	+	5.70104	14—13(14)	+
5.45084	10—9(19)	-	5.71043	13—12(11)	-
5.45397	11—10(13)	+	5.71362	14—13(15)	+
5.46325	10—9(20)	-	5.72392	13—12(22)**	-
5.46570	11—10(14)	+	5.72638	14—13(16)	+
5.47581	10—9(21)	-	5.73757	13—12(23)**	-
5.47758	11—10(15)	+	5.73929	14—13(17)	+
5.48852	10—9(22)	-	5.75139	13—12(24)*	+
5.48962	11—10(16)*	+	5.75237	14—13(18)	-
5.50139	10—9(23)	-	5.76538	13—12(25)**	+
5.50181	11—10(17)	+	5.77904	14—13(20)	-
5.51415	11—10(18)	-	5.78349	15—14(14)	+
5.51845	12—11(12)**	+	5.79262	14—13(21)	-
5.52664	11—10(19)	-	5.79634	15—14(15)	+
5.52761	10—9(25)*	-	5.80638	14—13(22)	-
5.53025	12—11(13)	+	5.80934	15—14(16)	+
5.53929	11—10(20)	-	5.82031	14—13(23)	+
5.54221	12—11(14)	+	5.82252	15—14(17)	-
5.55209	11—10(21)	-	5.83442	14—13(24)*	+
5.55432	12—11(15)	+	5.83586	15—14(18)	-

注: 大括号表示激光器输出含有二条或三条谱线成份。

(续表)

激光器输出谱线		放电池光 电压符号	激光器输出谱线		放电池光 电压符号
波 长 (μm)	P 支跃迁		波 长 (μm)	P 支跃迁	
5.84869	14—13(25)*	+	6.12552	18—17(20)	+
5.84937	15—14(19)	-	6.14327	18—17(21)	+
5.85517	16—15(13)**	+	6.14941	19—18(15)	+
5.86306	15—14(20)	-	6.15825	18—17(22)	+
5.87693	15—14(21)	-	6.16351	19—18(16)	+
5.88112	16—15(15)**	+	6.17338	18—17(23)	+
5.89449	16—15(16)	-	6.17781	19—18(17)	+
5.90518	15—14(23)	+	6.19229	19—18(18)	+
5.90790	16—15(17)	-	6.20697	19—18(19)	+
5.91958	15—14(24)**	+	6.21544	20—19(13)	+
5.92151	16—15(18)	-	6.22184	19—18(20)	+
5.92870	17—16(12)	-	6.22946	20—19(14)	+
5.94927	16—15(20)	-	6.2368	19—18(21)	+
5.95484	17—16(14)	+	6.24367	20—19(15)	+
5.96342	16—15(21)	-	6.2521	19—18(22)	+
5.97775	16—15(22)	-	6.25808	20—19(16)	+
5.99226	16—15(23)**	+	6.2696	19—18(23)	+
5.99551	17—16(17)	-	6.27268	20—19(17)	+
6.00696	16—15(24)	+	6.28747	20—19(18)	+
6.00941	17—16(18)	-	6.30247	20—19(19)	+
6.02184	16—15(25)*	+	6.31767	20—19(20)	+
6.02348	17—16(19)	-	6.32602	21—20(14)	+
6.03774	17—16(20)	+	6.3330	20—19(21)	+
6.05760	18—17(15)	+	6.34054	21—20(15)	+
6.07142	18—17(16)	+	6.3486	20—19(22)	+
6.08162	17—16(23)	+	6.35525	21—20(16)	+
6.08542	18—17(17)	-	6.3644	20—19(23)	+
6.09960	18—17(18)	+	6.38528	21—20(18)	+
6.12175	19—18(13)	+			

益状态基本处于图 1 状态。实验表明,气压过高(大于 30 Torr)或过低(低于 12 Torr)对于分辨光谱都是不利的,因为它或者全部处在增益状态(≥ 30 Torr)或者全部处在吸收状态(≤ 12 Torr),这样就无法分辨光谱了。当然,改变冷却水的温度,也是能够实现图 1 状态的。

连续调谐选支激光器输出光谱,观察光电压符号,测量了激光波长,结果列于表 1。表 1 中还给出了谱线在通过放电池时感应出光电压信号的符号,由于放电管是负高压输入,因此负信号代表介质的增益状态,正信号代表吸收状态。可以看出,放电池中的 CO 介质对所有相邻两振动态的 P 支跃迁分别呈增益和吸收状态,因此感应的光电流符号正、负相间。这样,可以很方便地识别光谱。

观察选支 CO 激光器的输出光谱,可以发现,室温 CO 激光器的激光跃迁主要发生在从 $v=7 \rightarrow v=21$ 、转动量子数从 $J=12 \rightarrow J=26$ 之间,在这个范围内,谱线基本上是齐全的。同时还可以看到,由于谱线密集和光栅分辨率的限制,往往发生谱线互相交迭的所谓双线至三线同时振荡的现象。用通常的光谱测量,是较难得到表 1 的光谱结果的。

二、讨 论

利用光电流光谱来测量光谱有以下几个特点:

1. 能方便地分辨光谱且具有很高的分辨率

上面已讲到,利用光电流效应能方便地将处于不同振动态的相邻谱线加以识别。结果还表明,这种识别能力具有很高的波长分辨率,象 $9 \rightarrow 8P(23)$ 和 $10 \rightarrow 9P(17)$ 两条谱线,波温仅差 0.1 \AA ,用光谱仪不能分辨,但当光栅处 α_0 的位置时光电流呈负极值,而转动 $\Delta\alpha$,光电流变为正极值,其 $\Delta\alpha$ 只有 0.0039 度,相当于自准位置的波长差为 6 \AA ,从图 2 可知,此时的两波长差必定 $\leq 6 \text{ \AA}$ 。查文献[4],可得谱线分别为 $9 \rightarrow 8P(23)$ 和 $10 \rightarrow 9P(17)$ 。

类似的情况很多,表 1 中标记 * 者都表示以前用光谱仪未能分辨开的谱线,现在用光电流法分辨测出的结果。

2. 检测光谱灵敏度高,不易发生漏线现象

用光电流法测出的激光器输出谱线有 141 条,远大于以往所测得的光谱^[5,6]。在光电流测量中,连续调谐激光器的光栅,凡是能振荡的谱线通过放电池时必定得到一一对应的光电流谱,结合光谱仪测量,就不会发生漏线现象,见表 1 ** 的谱线,而且,通过观察光电流的幅值位置,可以基本上调在该谱线最佳振荡的位置,这对光谱仪检测一些几 mW 到数十 mW 的弱谱线是十分有利的。

3. 能正确地确定谱线的振转支归属

由于 CO 分子振动能级的非谐性,其光谱十分密集,要正确确定谱线振转的归属是一件较困难的事。现在,我们较好地解决了这个问题。纵观表 1,可以发现各个振动态谱线所感应的光电流符号是有规律的,即随着转动量子数的增加,光电流符号从正到负变到正,这反映了放电池中的 CO 介质的增益特性处在图 1 的状态,在这个状态下就能方便、正确地确定激光谱线的振转支。举例说,光谱仪测得光谱波长在 $5.4020 \mu\text{m}$ 附近,在这位置,调谐光栅观察到先负后正两种光电流符号,查表得 $5.40136 \mu\text{m}$ 和 $5.40271 \mu\text{m}$ 两谱线的波长接近,次序是先 $9 \rightarrow 8P(21)$ 后 $10 \rightarrow 9P(15)$,再看 $v9 \rightarrow 8$ 和 $v10 \rightarrow 9P$ 支的前后光电流符号,就可以确定其波长和振转支。

用光电流光谱法测量激光光谱将是很有前途的方法之一,有可能适用于其它线调谐激光器的光谱测量。但它也存在一些局限性,如果相邻两振转支的谱线处在同一种增益或吸收状态,或者一条谱线的强度调谐轮廓落在另一谱线轮廓之内,用该法就无法分辨了。例如, $12 \rightarrow 11P(25)$ 和 $13 \rightarrow 12P(19)$,我们曾用 F-P 是分辨开的,而在这里却未能分开。

参 考 文 献

- [1] 王裕民等;《中国激光》,1984, 11, No. 6.
- [2] 张顺怡等;《中国激光》,1984, 11, No. 1, 13.
- [3] V. I. Masychev, V. G. Plotnichenko et al.; *Sov. J. Q. E.*, 1981, 11, No. 7, 928.
- [4] R. Beck, W. English et al.; *Table of laser lines in gases and vapors*, (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, New York), 61.
- [5] 归振兴等;《中国激光》,待发表.
- [6] 张顺怡等;《激光》,1982, 9, No. 10, 643.

Spectral identification of CO laser by optogalvanic spectroscopy

GUI ZHENXIN ZHANG SHUNYI AND WANG YUMIN

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

(Received 23 March 1984)

Abstract

Spectral identification and resolution of CO laser at room temperature have been made by using optogalvanic signal of positive and negative characteristics. This method has the advantages of simplicity and high resolution.