

文章编号: 1001-4322(1999)05-0517-04

氧碘化学激光器增益谱线的 精细结构及腔内温度*

多丽萍, 曲英丽, 闵祥德, 李国富, 崔铁基, 王 麟, 杨柏龄, 庄 琦, 桑风亭

(中国科学院大连化学物理研究所, 大连 110 信箱, 116023)

摘 要: 采用可调谐二极管激光器做探测光源, 测量了超音速氧碘化学激光器增益谱线的精细结构, 得到了各谱线相对强度的百分比。同时也推得了增益线宽与腔内温度。

关键词: 氧碘化学激光器; 增益谱线; 腔内温度

中图分类号: TN248.5 **文献标识码:** A

作为氧碘化学激光器的出光介质碘原子, 早在 1972 年 V. S. Zuev 等人^[1]就已经对其精细谱线做过理论和实验研究。1980 年 R. Engleman 等人^[2]在做碘原子同位素¹²⁹I 精细光谱位移研究时, 也做了天然碘原子¹²⁷I 的荧光精细谱。理论和实验都证实了碘原子光谱有六条精细谱线。1991 年, 美国空军武器实验室经费支持的 M. A. Kelly 等人^[3]用连续光解碘激光器, 加不同强度的磁场, 用 F-P 干涉仪测量, 研究了碘激光器的激光输出谱线的特性。对氧碘激光器增益线型的研究, 也只有日本 Mito 等人^[4]利用二极管激光器, 调谐了两个不同波长位置, 测量了氧碘激光器的增益值, 从而拟合出了增益线型。由于有限的点拟合出的增益线型, 存在很大误差。我们利用可调谐二极管激光器, 对超音速氧碘化学激光器的增益谱线和增益线宽进行了测量。得到了增益谱线及各谱线相对强度, 增益线宽, 腔内温度, 这在国际上还未见文章报道。

1 实验部分

采用可调谐型号为 M6248 的二极管激光器做探测光源, 用信号发生器发出的三角波来驱动二极管激光器的 PZT 晶体, 从而达到调谐波长的目的。可调谐二极管激光测量氧碘化学激光器增益谱线的实验装置见图 1, 二极管激光经过氧碘激光器的增益池, 由全反凹面镜经透镜聚焦, 经由 $1.315\mu\text{m}$ 带通约 10nm 的 Filter 后, 由 Ge 探头收集, 接到 LeCroy M9350AM 示波器的通道 1 上, 记录并显示。信号发生器发生的三角波驱动 PZT 晶体的同时, 由示波器的通道 2 进行记录以便作同步比较。二极管激光器的输出激光也

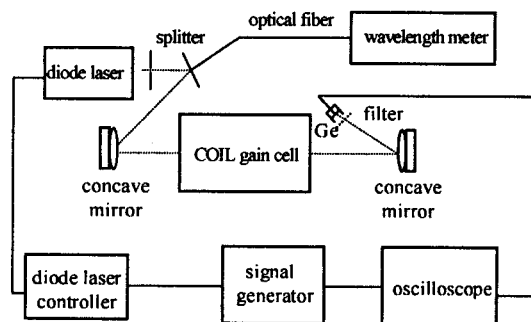


Fig. 1 The schematic of gain spectra measurements for a supersonic COIL

图 1 氧碘化学激光器增益谱线测试装置示意图

* 国家 863 激光技术领域资助课题

1999 年 6 月 15 日收到原稿, 1999 年 9 月 20 日收到修改稿。第五届全国激光科学技术青年学术交流会优秀论文
多丽萍, 女, 1968 年 3 月出生, 博士, 副研究员

可通过光纤,接到 Burleigh 公司的 WA1000 型的波长计上,监测二极管激光器的输出波长。波长计的测试精度为 0.001nm,它为测得增益线宽提供了条件。

2 结果与讨论

2.1 增益谱线

图 2 为本文测得的氧碘化学激光器的增益谱线。由图 2 可见,由能级简并引起的六条精细谱线在碘原子实现粒子数反转时均有增益存在。没有增益时二极管激光器的基底信号强度为 I_0 , ΔI_i 为有增益时各谱线信号增加的幅度。 g_i 为小信号增益系数, $g_i = (\ln[(I_0 + \Delta I_i)/I_0])/L$, 下标 $i=1, 2, 3, 4, 5, 6$ 表示六条增益谱线。 L 为增益区的长度。各谱线所占总强度的百分比为 $P_i = \Delta I_i / \sum \Delta I_i$, 由此计算的各项谱线的小信号增益系数和各增益谱线所占总强度的百分比见表 1。六条谱线中心频率的小信号增益是不同的。3-4 增益谱线的小信号增益系数最大,其它五条的增益较小。与亚音速氧碘激光器做探测光源相比,从总体上说,增益系数偏小,这是由于在快速扫描过程中,接收探头的频率响应跟不上所致。

表 1 增益谱线的小信号增益系数和各增益谱线所占总强度的相对百分比

Table 1 The values of relative percentages and small-signal gain of each fine spectra

test No.	$P_1/\%$	$g_1/\%cm^{-1}$	$P_2/\%$	$g_2/\%cm^{-1}$	$P_3/\%$	$g_3/\%cm^{-1}$	$P_4/\%$	$g_4/\%cm^{-1}$	$P_5/\%$	$g_5/\%cm^{-1}$	$P_6/\%$	$g_6/\%cm^{-1}$
3061	8.5	0.080	16.2	0.14	35.8	0.27	11.5	0.10	18.0	0.15	10.0	0.090
3062	7.5	0.060	16.2	0.12	36.3	0.24	10.8	0.090	18.4	0.14	10.8	0.090
3063	7.1	0.050	17.1	0.11	38.9	0.23	10.7	0.070	15.5	0.10	10.7	0.070
3064	9.1	0.070	15.6	0.11	35.2	0.23	11.4	0.080	17.3	0.12	11.4	0.080
3065	7.5	0.060	16.4	0.13	35.2	0.24	13.4	0.11	14.9	0.12	11.6	0.090

我们测量到的各谱线强度所占比例的多次平均结果与文献[1]的结果很接近。

我们还用碘吸收池代替被测氧碘激光器的增益池,加热 600~700℃,气压约为 66500Pa,碘分子解离成碘原子的比例约(60~70)%,其它扫描条件不变,做了碘原子的精细吸收光谱。将碘原子的吸收光谱与测得的增益谱线相比较,除了线宽因各种加宽因素影响有些差别外,各谱线所在位置完全相同。由于碘吸收池可以长期稳定地工作,我们用碘吸收池和波长计标定了各吸收谱线的波长,最高吸收峰为 1315.246nm,它为 3-4 的精细跃迁。同理其它谱线分别为 3-3, 3-2, 2-3, 2-2, 2-1 的跃迁,相应的波长如图 3。

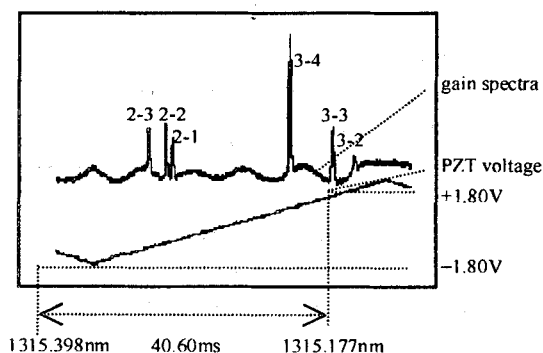


Fig. 2 Gain spectra of COIL without cavity
(line right to left: 1, 2, 3, 4, 5, 6)

图 2 氧碘化学激光器增益谱线精细结构实验结果

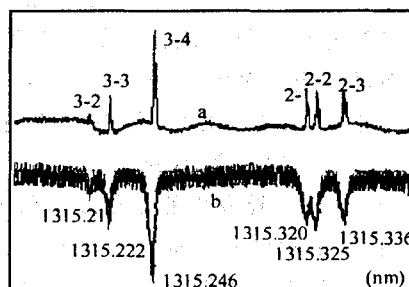


Fig. 3 (a) Gain spectra of COIL and (b) absorption spectra of atomic iodine

图 3 氧碘化学激光器增益谱线(a)与碘原子的精细吸收谱线(b)

2.2 增益线宽

如图 2 所示,示波器显示扫描三角波的电压变化范围为 -1.80V 到 $+1.80\text{V}$,单程扫描时间 $t_f=40.60\text{ms}$ 。用波长计测量二极管激光器输出激光在扫描起始和终点时的波长为 $\lambda_1=1315.177\text{nm}$ 和 $\lambda_2=1315.398\text{nm}$ 。取最高峰 3-4 的跃迁谱线为计算谱线线宽的对象,由示波器可以测得谱线半高宽的时间间隔 t_h ,则增益谱线的线宽为

$$\Delta\nu_h = (t_h/t_f)(\lambda_2 - \lambda_1)(c/\lambda_0^2) \quad (1)$$

其中: c 为光速, λ_0 为谱线的中心波长(1315.246nm)。

表 2 几组增益线宽的实验结果

Table 2 Experimental results of the line width of 3-4 transition profiles

Serial No.	t_h/ms	$\Delta\lambda/10^{-3}\text{nm}$	$\Delta\nu_h/\text{MHz}$
1s325	0.2575	1.166	202.2
2s325	0.2425	1.098	190.4
1s326	0.2375	1.075	186.4
2s326	0.2500	1.132	196.3
1s327	0.2500	1.132	196.3
2s327	0.2500	1.132	196.3
1s331	0.2250	1.019	176.7

几组增益谱线线宽的实验数据见表 2。从表 2 中可以看到,增益谱线线宽大都在 $180\text{MHz} \sim 200\text{MHz}$ 之间。依同样方法测量其它五条增益谱线的半宽时间,所得结果与 3-4 的线宽基本一致。

由于氧碘激光器中激发态碘原子的平均弛豫时间为 $6.0 \times 10^{-7} \text{s}$ ^[5],得自然展宽 $\Delta\nu_N$ 约为 1.6MHz 。氧碘激光器腔内的粒子主要是 He 和 O_2 (He, O_2 按 4:1 配比, I_2 为 O_2 的 1%,可忽略),在腔压为 532Pa 时,按低压气体下均匀展宽的公式,得碰撞展宽

$$\Delta\nu_c = \sum a_i p_i \quad (2)$$

其中: i 为第 i 种气体, a_i 为第 i 种气体的碰撞展宽系数, p_i 为第 i 种气体的分压。 $a_{(\text{He}-1^*)} = 3.6\text{MHz}$, $a_{(\text{O}_2-1^*)} = 1.7\text{MHz}$ ^[6],由此得碰撞展宽 $\Delta\nu_c \approx 12\text{MHz}$ 。

自然展宽 $\Delta\nu_N$ 和均匀展宽 $\Delta\nu_c$ 与增益谱线的宽度 $\Delta\nu_h$ 相比,均为小量。因此我们可视为氧碘激光器的谱线加宽完全为非均匀展宽 $\Delta\nu_D$,即 $\Delta\nu_h = \Delta\nu_D$ 。

2.3 腔内温度

由实验测得的谱线半宽,根据多卜勒展宽表达式,对氧碘激光器而言

$$\Delta\nu_D = 2\nu_0(2kT \cdot (\ln 2)/mc^2)^{1/2} = 14.495T^{1/2} \quad (3)$$

其中: T 为光腔温度, ν_0 为谱线中心频率, m 为出光原子的质量, c 为光速, k 为玻尔兹曼常数。

由此我们得出氧碘化学激光器光腔温度为 $154 \sim 190\text{K}$ 。

误差讨论:

$$\text{腔内温度的相对误差: } \frac{|dT|}{T} = \frac{2d\Delta\nu_D}{\Delta\nu_D} = \frac{2d\Delta\nu_h}{\Delta\nu_h}$$

$$\text{测得增益线宽的相对误差为: } \frac{d\Delta\nu_h}{\Delta\nu_h} = \frac{dt_h}{t_h} + \frac{dt_f}{t_f} + \frac{d\nu_1}{(\nu_1 - \nu_2)} + \frac{d\nu_2}{(\nu_1 - \nu_2)}$$

示波器时间读数误差为 0.01ms ,波长计测量精度为 0.1GHz ,因此:

$$\frac{d\Delta\nu_h}{\Delta\nu_h} = 5\%$$

因此,腔内温度的相对误差为: $\frac{dT}{T} = 10\%$

腔内温度为: $T = 170 \pm 20\text{K}$

4 结 论

(1) 用可调谐二极管激光器做探测光源,测量超音速氧碘激光器的增益谱线,从实验上得到了氧碘激光器增益谱线的六条精细结构和每条谱线相对强度的百分比。

(2) 用波长计对可调谐二极管激光的输出波长进行测量,从测得的增益谱线的精细结构,计算得到了谱线的半宽为 180~200MHz。根据多卜勒展宽,进而得到了超音速氧碘激光器的腔内温度为 150~190K。

参 考 文 献

- 1 Zuev V S, Katulin V A, Nosach V Yu, Nosach O Yu. Investigation of the luminescence spectrum of atomic iodine ($^2P_{1/2}$ - $^2P_{3/2}$ laser transition). *Sov Phys JETP*, 1972, **35**(5):870
- 2 Engleman R, Keller Jr R A, Palmer B A. Hyperfine structure and isotope shift of the 1.3 μm transition of ^{129}I . *Appl Optics*, 1980, **19**(16):2767
- 3 Kelly M A, McIver J K, Shea R F, Hager G D. Frequency tuning of a cw atomic iodine laser via the zeeman effect. *IEEE J Quantum Electronics*, 1991, **27**(2):263
- 4 Mito K, Ohue H, Fukuda T, Fujii H, Kashara E. Measurements of gain profile in COIL using a tunable laser diode. *SPIE*, 1993, **1810**:505
- 5 庄 琦, 桑凤亭, 周大正编著. 短波长化学激光. 北京:国防工业出版社, 1997
- 6 Keating P B, Helms C A, et al. Two-dimension gain and cavity temperature maps of a small-scale supersonic COIL. *Photonics West/Laser'98, Symposium, San Jose, CA, US, Jan. 1998*, 24~30

SUPER-FINE GAIN SPECTRUM AND CAVITY TEMPERATURE OF A SUPERSONIC COIL

DUO Li-ping, QU Ying-li, MIN Xiang-de, LI Guo-fu, CUI Tie-ji

WANG Lin, YANG Bai-ling, ZHUANG Qi, SANG Feng-ting

Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Dalian 116023

ABSTRACT: Hyperfine gain spectrum of a chemical oxygen-iodine laser (COIL) is investigated experimentally. Six hyperfine lines are obtained in a COIL gain medium as well as an iodine absorption cell. Meanwhile, gain profiles and cavity temperatures are calculated.

KEY WORDS: COIL; Gain spectrum; Cavity temperature