

# $O_2(^1\Delta_g)$ 二聚物的兰色激光振荡

高惠德 申作春 董蕴华 马祖光

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 哈尔滨 150001)

**摘 要** 通过微波(2.450 GHz)激励高纯氧产生  $O_2(^1\Delta_g)$  二聚物, 利用放大自发辐射法首次测得了  $O_2(^1\Delta_g)$  二聚物在 486 nm 处的小信号增益系数。采用平凹稳定谐振腔观察到了 486 nm 的兰色激光振荡, 最大激光输出功率为 130  $\mu$ W, 发散角为 28 mrad。

**关键词** 增益系数, 二聚物, 激光振荡, 束散角。

## 1 引 言

关于氧分子二聚物, 特别是氧分子二聚物的发射谱及其存在构型, 许多学者对此作了大量研究。Arnold 及其合作者<sup>[1]</sup>首次观察到了氧分子二聚物的两个谱带, 它们的峰值波长分别为 634 nm 和 703 nm。这两个谱带后来被看成是氧分子二聚物是否存在的证据之一。Borrell 等人<sup>[2]</sup>的研究表明氧分子二聚物具有  $D_{2h}$  群几何构型, 并把 Arnold 等人观察到的上述两个谱带归因于下述跃迁过程:  $^1B_{2u} \rightarrow ^1A_g$ ,  $^1B_{2u}$ ,  $^1A_g$  分别为  $D_{2h}$  群构型的氧分子二聚物的激发态和基态。另外, Borrell 等人<sup>[2]</sup>还首次在实验中测得 295 K 时  $O_2 + O_2 \rightleftharpoons O_4$  反应的速率常数为  $(3.3 \pm 0.6) \times 10^{-2} \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。Yoshida 等人<sup>[3]</sup>首次在实验中测得氧分子二聚物在 703 nm 处的净增益为 2.8%  $\text{cm}^{-1}$ 。本文的计算结果表明, 氧分子二聚物也具有  $D_{2h}$  群构型, 且上能级是由两个  $O_2(^1\Delta_g)$  形成的弱束缚态, 下能级是由两个  $O_2(^3\Sigma_g^-)$  形成的排斥态。在微波(2.450 GHz)激励高纯氧产生  $O_2(^1\Delta_g)$  二聚物的系统中, 已观察到了峰值波长分别为 703 nm、656 nm、634 nm 和 486 nm 的四个谱带, 其中 656 nm 和 486 nm 两个谱带的信号特别强, 实验测得这两个谱带的宽度分别为 2 nm 和 3 nm。对于 656 nm 谱带的增益特性和激光振荡研究已报道过。本文报道首次获得的 486 nm 谱带的增益特性和激光振荡。

## 2 增益特性

用放大自发辐射法研究 486 nm 辐射的增益特性。测量介质小信号增益系数的原理是<sup>[4]</sup>

$$G(\nu) = \frac{1}{l} \ln \left[ \frac{I_{2l}(\nu)/I_l(\nu) - 1}{rT^2} \right] \quad (1)$$

式中  $r$ 、 $T$  分别为反射镜的反射率和放电管窗口的透过率, 是已知的常数。 $l$  为放电管内激活区的长度,  $I_{2l}(\nu)$ 、 $I_l(\nu)$  分别为加反射镜和不加反射镜时, 测得频率为  $\nu$  的光的相对光强。

利用文献[4]中所设计的实验装置和(1)式,对 486 nm 辐射在不同氧气压和微波功率下的小信号增益系数进行了测量,并获得了较好的结果。图 1 是氧气压为 80 Pa,微波功率为 450 W 时,加反射镜和不加反射镜探测到的 486 nm 辐射的相对光强对比值,利用(1)式求得此时的净增益为  $2.10\% \text{ cm}^{-1}$ 。测量结果表明,氧气压在 50~300 Pa 范围内(氧气压大于 300 Pa 时,光信号太弱),当微波功率大于 450 W 时,486 nm 兰光的增益系数趋于饱和。如图 2 所示。

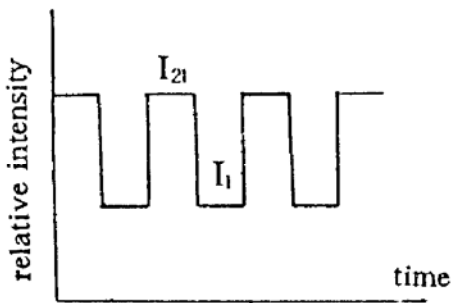


Fig. 1 Comparison of two relative intensity

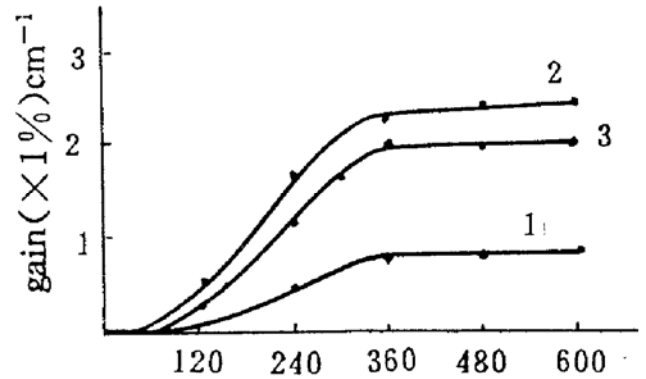


Fig. 2 The gain change of the emission at 486 nm. where 1, 2, 3 show that oxygen pressure is 200, 100, 80 Pa, respectively

图 3 给出了微粒功率为 450 W 时,486 nm 辐射的小信号增益系数随氧气压强变化的情况。由图 3 可见,氧气压在 100 Pa 附近,增益存在极大值,这是因为氧气压增大时,受微波功率所限, $O_2$  不易被更多激活,因而  $O_2(^1A_g)$  的密度较小;而气压降低时,虽然  $O_2$  容易被激活,但是  $O_2(^1A_g)$  的密度还是比较小, $O_2(^1A_g)$  二聚物的密度当然也就比较小。

从 486 nm 辐射的增益曲线看,其净增益与 656 nm 辐射的增益相近, $O_2(^1A_g)$  二聚物在 486 nm 处也有可能实现激光振荡。因此,对 486 nm 辐射的腔镜效应进行了观察。

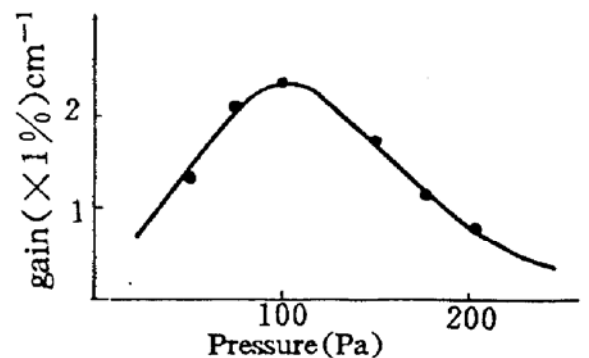


Fig. 3 The pressure dependence of gain under the condition of microwave power being 450 W

### 3 腔镜效应

图 4 是观察 486 nm 兰光腔镜效应的实验装置简图。实验采用平凹稳定谐振腔,全反镜为球面镜,输出镜为平面镜。图中两个光阑孔径均为 20 mm,与腔片直径相等,这样可以防止四周环境荧光进入探头。实验利用 GG-1 型激光功率计探测成腔时 486 nm 兰光的输出功率。为了保证探测到的光功率是 486 nm 兰光,在探头上贴有兰色滤光片。

分别采用了透过率为 1%、2% 两种平面镜成腔,观察了 486 nm 兰光的腔镜效应。当微波功率为 400 W,充入氧气压在 80~100 Pa 时,这两种谐振腔都能通过布儒斯特窗口看到一个兰色光斑,而当把平面镜移走后,却看不到光斑。另外,沿放电管轴线方向可以看到放电管内有束较强的兰光;而沿垂直于轴线方向却看不到兰色光束。这表明在上述氧气压强和微波功率的情况下,采用透过率分别为 1%、2% 的平面耦合镜成腔时, $O_2(^1A_g)$  二聚物在 486

nm 处实现了激光振荡。

为了获得最大输出功率,分别利用上述两种谐振腔,测量了 486 nm 兰光的输出功率随氧气压强和微波功率变化的情况。结果表明,采用透过率为 2% 的平面耦合镜成腔时,在气压和微波功率相同的条件下,获得的 486 nm 兰光的输出功率始终较大。图 5 为 486 nm 兰光的输出功率随充入氧气压强和微波功率变化的规律。由图 5 可以看出 486 nm 兰光的最大输出功率为 130  $\mu\text{W}$ ,当微波功率一定时,存在一个最佳氧气压,使 486 nm 兰光的输出功率最大,且最佳气压随微波功率的增大而略有升高。486 nm 兰光的输出功率存在最佳气压与增益存在最佳气压的原因是一样的。

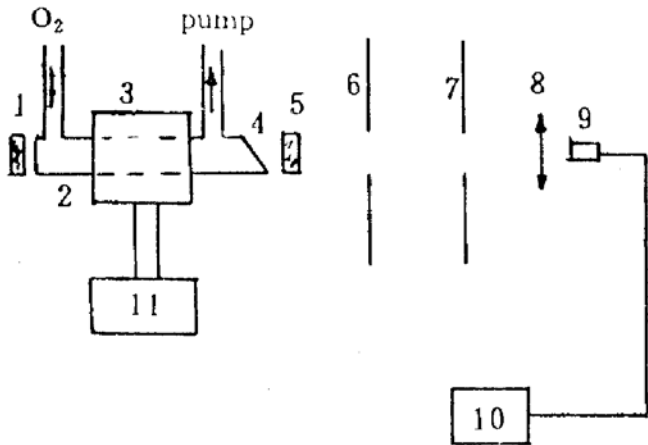


Fig. 4 The diagram of experimental set-up

1. spherical total reflector, 2. discharge tube, 3. microwave resonator, 4. Brewster window, 5. flat output mirror, 6. stop A, 7. stop B, 8. convergent lens, 9. detector, 10. GG-1 laser dynamometer, 11. microwave source

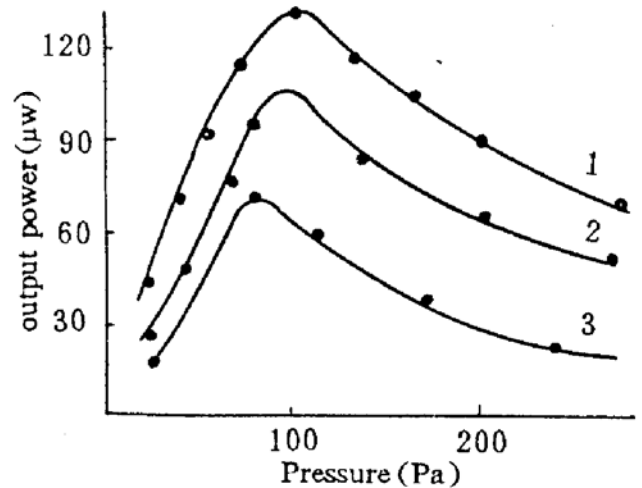


Fig. 5 The output power change of the emission at 486 nm, where 1, 2, 3 show that microwave power is 600, 400, 200 W respectively

#### 4 束散特性

当存在谐振腔时,对 486 nm 兰光的发散特性进行了检测。利用小孔扫描法,测得输出光束散角约为 28 mrad。而根据放电管的尺寸估算的荧光发散角约为 200 mrad。由此可见,存在谐振腔时,发散角被明显地压缩了。这就更进一步证明  $\text{O}_2(^1\text{A}_g)$  二聚物在 486 nm 处实现了激光振荡。腔镜效应和束散特性表明,采用透过率为 1% 和 2% 的输出耦合镜分别成腔时,  $\text{O}_2(^1\text{A}_g)$  二聚物在 486 nm 处实现了激光振荡。486 nm 兰光的增益较大,而激光输出功率最大仅为 130  $\mu\text{W}$ 。作者认为这是由于  $\text{O}_2(^1\text{A}_g)$  二聚物的寿命太小的缘故,而反转粒子数密度肯定比较小。因为微波能激活的气体气压较低,对于  $\text{O}_2$  最佳激活气压仅 120 Pa 左右,而产生的  $\text{O}_2(^1\text{A}_g)$  粒子数仅占总粒子数的 10% 左右<sup>[5]</sup>,  $\text{O}_2(^1\text{A}_g)$  形成  $\text{O}_2(^1\text{A}_g)$  二聚物的速率常数也较小<sup>[2]</sup>, 所以粒子数密度也比较小。因此,尽管增益较大,但输出的激光功率还是比较小。

**结 论** 首次报道了采用放大自发辐射法,获得了  $\text{O}_2(^1\text{A}_g)$  二聚物在 486 nm 处的小信号增益系数,并首次观察到了 486 nm 兰光的激光振荡,其激光输出功率可达 130  $\mu\text{W}$ ,束散角为 28 mrad。这个结果对深入探讨新型激光介质作出了一定的贡献。今后将进一步提高  $\text{O}_2(^1\text{A}_g)$  二聚物的激光输出功率,并改善光束质量。

## 参 考 文 献

- [1] S. J. Arnold, E. A. Ogryzlo, N. Witzke, Some new emission bands of molecular oxygen. *J. Chem. Phys.*, 1964, **40**(6): 1769~1770
- [2] P. Borrel, N. H. Rich, The rate constant for the "dimol" transition of singlet oxygen,  $O_2(^1\Delta_g)$ , and the likely symmetry of the emitting species. *Chem. Phys. Lett.*, 1983, **99**(2): 144~147
- [3] S. Yashida, M. Taniwaki, T. Sawano *et al.*, Observation of high laser gain at 703 nm in a new chemical system. *Japan. J. Appl. Phys.*, 1989, **28**(5): 831~833
- [4] 高惠德, 赵科仁, 赵砚石等, 新型准分子—— $O_2(^1\Delta_g)$  二聚物增益特性的研究. *光学学报*, 1991, **11**(6): 520~523
- [5] A. M. Falics, B. H. Mahan, Collisional-radiative reaction of  $O_2(^1\Delta_g)$ . *J. Chem. Phys.*, 1967, **47**(11): 4778~4782

The Blue Laser Oscillation of  $O_2(^1\Delta_g)$  Dimer

Gao Huide      Shen Zuochun      Dong Yunhua      Ma Zuguang

(*Institute of Opto-Electronics Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001*)

(Received 19 January 1994; revised 18 April 1994)

**Abstract** By means of microwave (2.45 GHz) exciting high pure oxygen to generate  $O_2(^1\Delta_g)$  dimer, the gain coefficients of  $O_2(^1\Delta_g)$  dimer at 486 nm was obtained for the first time by the method of amplified spontaneous emission. The laser oscillation of the emission at 486 nm was observed with a flat-concave stable resonator. The maximum laser power measured was 130  $\mu$ W and the divergent angle was 28 mrad.

**Key words** gain coefficient, dimer, laser oscillation, divergent angle.