

钠双原子分子 $b^3\Sigma_g^+ - x^3\Sigma_u^+$ 跃迁激光 振荡探索及几个新谱区观察*

王 骥 邢 达 刘 伟 马祖光

(哈尔滨工业大学激光教研室)

提 要

本文报道了钠金属蒸气热管炉中填充气体气压变化, $\text{Na}_2 b^3\Sigma_g^+ - x^3\Sigma_u^+$ 跃迁的不同行为。测量了小信号增益系数, 实验证明了该跃迁实现激光振荡的可能, 谐振腔效应预示着该谱区内的激光作用。本文还报道了 $0.78\ \mu\text{m}$ 附近的新的光谱区。

一、引 言

本文作者之一于1981年用 $351.1\ \text{nm}$ 宽带激光激励首次观察到 $\text{Na}_2 b^3\Sigma_g^+ - x^3\Sigma_u^+$ 跃迁荧光谱^[1,2](见图1)。当填充气压改变时, 明显地观察到峰值为 $855.5\ \text{nm}$ 第一三重态跃迁 ($b^3\Sigma_g^+ - x^3\Sigma_u^+$) 荧光强度单调变化的趋势, 随气压增加而减弱(见图2中曲线1)。这预示着, 加热区内粒子间碰撞, 对 $b^3\Sigma_g^+$ 态粒子数布居起到猝灭作用, 而 $b^3\Sigma_g^+$ 态粒子数可能通过能级交叉及间接辐射泵浦被布居。这点被低气压下用窄带的 $351.1\ \text{nm}$ 激光泵浦(TMQ

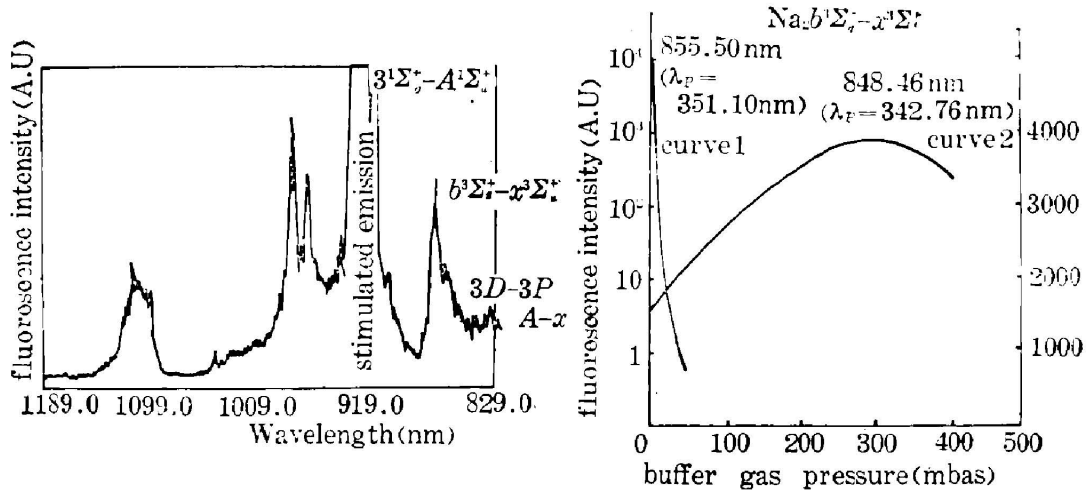


Fig. 1 Na_2 fluorescence spectrum. pump wavelength: $351.0\ \text{nm}$; buffer gas pressure: $1\ \text{mbar}$; $T = 560^\circ\text{C}$

Fig. 2 Dependence of intensities of transitions of $\text{Na}_2 b^3\Sigma_g^+ - x^3\Sigma_u^+$ on buffer gas pressure λ_p , pumping wavelength

收稿日期: 1986年2月4日

* 中国科学院科学基金资助的课题。

染料, 线宽 0.016 nm) 得到证实(1983 年)。

1984 年美国普林斯顿大学小组在填充气压为 96.5 mbar 下, 用 $\text{Nd}^{+3}:\text{YAG}$ 倍频激光泵浦热管炉中钠双原子分子, 证实了上述对第一、三重态跃迁的观察^[3]。同一年 S. G. Dinev 等用双光子激励 Na 由 $3s$ 到 $4d$ 态, 在 30 mbar 的填充气压下亦观察到 $\text{Na}_2 b^3\Sigma_g^+ - x^3\Sigma_g^+$ 跃迁^[4]。

二、实验结果与讨论

实验装置与[1]中类似, 钠蒸气由 EMG 101 准分子激光器激励的 FL2002E 染料激光器泵浦, 测量系统由 OMA-II 完成。

1. 关于 $b^3\Sigma_g^+ - x^3\Sigma_g^+$

在 50 mbar 填充气压条件下, 热管温度 560°C , 用 342.76 nm 泵浦钠蒸气, 结果如图 3 所示, $b^3\Sigma_g^+ - x^3\Sigma_g^+$ 峰值在 848.46 nm, 实验中已证明该谱区不是由非线性效应引起。其强度随填充气压变化示于图 2 中曲线 2。曲线 2 与曲线 1 是截然相反的两种变化趋势。图 4 是波长为 910.00 nm, 848.46 nm, 819.55 nm 谱线的激发函数, 由图中可看到, 848.46 nm 与 819.55 nm ($3D-3P$) 间变化趋势极为相似。 $3D-3P$ 的展宽是由于 Na 与 Ar 的碰撞及其它未知的因素。

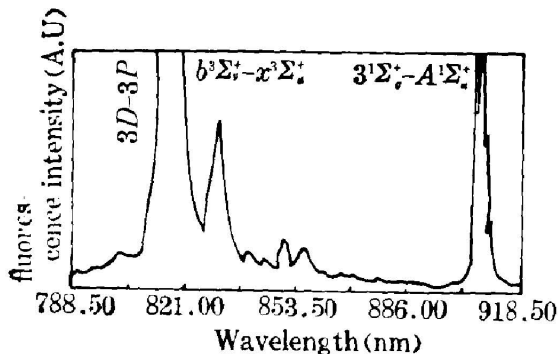


Fig. 3 Na_2 fluorescence spectrum.
pumping wavelength: 342.76 nm;
buffer gas pressure: 50 mbar;
temperature 560°C

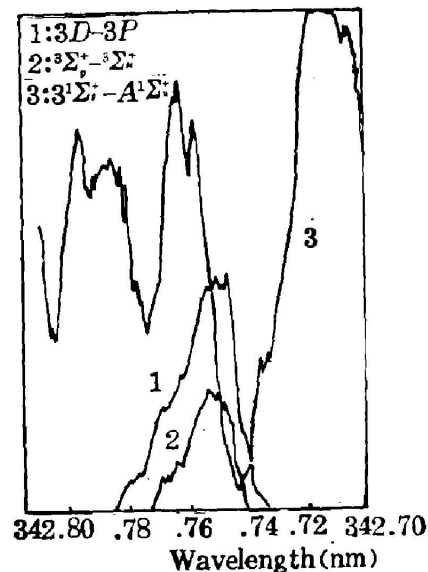


Fig. 4 Excitation function at 910.00 nm
($3^1\Sigma_g^+ - A^1\Sigma_g^+$), 848.46 nm ($b^3\Sigma_g^+ - x^3\Sigma_g^+$),
and 819.55 nm ($3D-3P$). $T=560^\circ\text{C}$;
buffer gas pressure 50 mbar

这不同的结果预示着 $b^3\Sigma_g^+$ 布居不同的动力学过程, 与[1]、[2]中所指出的完全不同, $b^3\Sigma_g^+$ 态的布居或者是由于碰撞, 或者是由于 $3p$ 与 $3s$ 态的钠原子复合成 $\text{Na}_2 b^3\Sigma_g^+$ 使粒子被布居, 而 $3p$ 态原子来自 $3D-3P$ 跃迁也是可能的。

对应 $3p+3s$ 原子态的 Na_2 存在 8 个能态, 其中 $3\Pi_g$ 和 $^3\Sigma_g^+$ 是排斥电子态, $^1\Pi_g$ 是弱束缚

态, $b^3 \Sigma_g^+$ 是一个三重态, 其统计权比单态大三倍, 因而复合成三重态的分子比单态分子多三倍^[5]. 对 $\text{Na}_2 3\Pi_u$ 态分子受到来自 $A-x$ 跃迁的扰动, $a^3\Pi_u$ 态又与 $b^3 \Sigma_g^+$ 态交叉, 这就使 $a^3\Pi_u$ 高振动能级上的粒子可通过能级交叉过渡到 $b^3 \Sigma_g^+$. $A-x$ 跃迁与 $3p-3s$ 跃迁将是 $b^3 \Sigma_g^+ - x^3 \Sigma_u^+$ 的竞争过程. 更详细的讨论见另文.

2. $b^3 \Sigma_g^+ - x^3 \Sigma_u^+$ 吸收和小信号增益系数

为了探索激光振荡, 必须测量吸收系数 α 和小信号增益系数 g . 本实验中采用测量吸收系数的装置与[6]类同, 而探测系统用 OMA-II, 分别做出不同温度下的几个谱区的吸收谱,

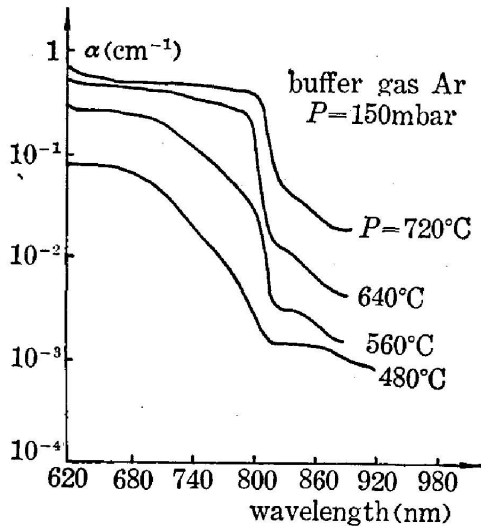


Fig. 5 Absorption coefficients of sodium vapor at different temperatures

其中截止到 820.0 nm 的是 $A-x$ 带, 827.0 nm ~ 900.0 nm 的谱带属于 $b^3 \Sigma_g^+ - x^3 \Sigma_u^+$ 跃迁, 在图 5 中, $A-x$ 带吸收很明显, $b^3 \Sigma_g^+ - x^3 \Sigma_u^+$ 吸收很弱 (只有 10^{-3} cm^{-1}), 但是当温度从 480°C 增加到 720°C 时, $A-x$ 带吸收系数增长 10 倍, 但 $b^3 \Sigma_g^+ - x^3 \Sigma_u^+$ 却增长 100 倍, 这种现象正与 $\text{Na}_2 b^3 \Sigma_g^+ - x^3 \Sigma_u^+$ 发射谱的最佳温度相对应.

根据 [7] 中介绍的方法可测得小信号增益系数, 它与泵浦波长关系密切. 图 6 给出了 $b^3 \Sigma_g^+ - x^3 \Sigma_u^+$ 对应波长范围内 αl 和 $g l$ 曲线, 此处 l 是热管炉中钠蒸气激活长度. 泵浦波长是 342.76 nm. 线宽 0.016 nm, 泵浦能量 0.8 mJ, 其它条件是, 填充气压 50 mbar, 温度 560°C, 波长范围 830.0 nm ~ 870.0 nm, 小信号增益系数总大于吸收系数,

这个实验结果对研究激光振荡器可能是非常主要的, g 的最佳值大约是 0.15 cm^{-1} (见图 7).

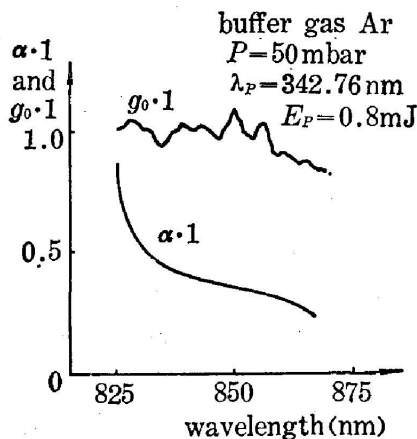


Fig. 6 g_0 : small signal gain coefficient; α : absorption coefficient; l : active length of heat pipe

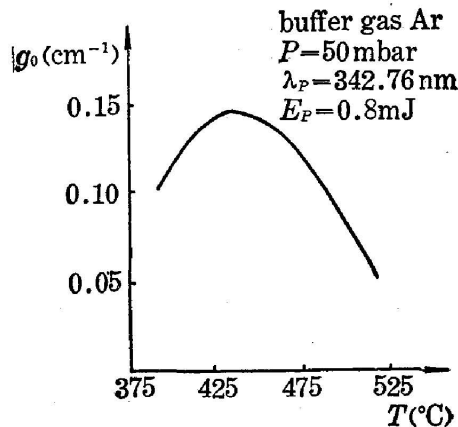


Fig. 7 g_0 : small signal coefficient; T : temperature of sodium vapor in the heat pipe

3. 光学谐振腔效应

一般情况下, $b^3\Sigma_g^+ - x^3\Sigma_g^+$ 在峰值光谱范围内, 强度总是比 $A-x$ 带弱得多(图 8 的虚线所示)。但当加光学谐振腔后, 在峰值为 852.5 nm 处隆起一个很窄的高峰(见图 8), 这预示着激光作用的产生。

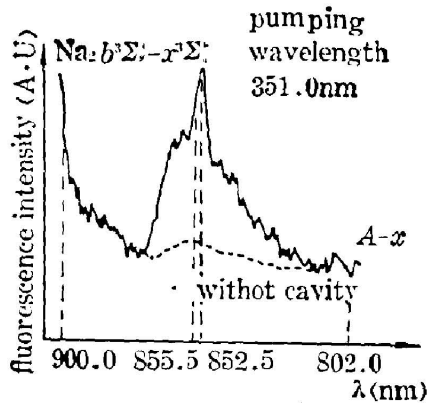


Fig. 8 Optical resonator effect

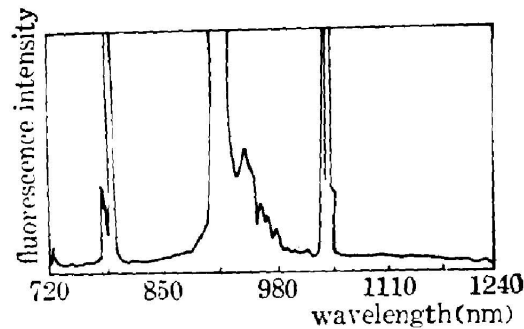


Fig. 9 A new spectral region at 760 nm ~ 796 nm.
pumping wavelength: 348.710 nm; $T = 530^\circ\text{C}$

4. 新的光谱观察

在 0.760~0.796 μm 范围内观察到一个新的受激发射, 峰值在 0.780 μm 处(见图 9)。该谱比 $A-x$ 带强度强数个量级, 从 333.16~336.44 nm, 348.39~351.02 nm 连续改变泵浦波长, 比受激发射并不总出现, 泵浦波长短波限是 333.16 nm。

当泵浦波长短于 355.80 nm 时, 也观察到文献[8]看到的 1.033 μm 受激发射, 当泵浦波长向短波方向扫描, 1.033 μm 的受激发射时有出现, 当泵浦波长短于 345.0 nm 时, 1.033 μm 的强度急剧降低, 当泵浦波长短于 333.95 nm 时, 1.033 μm 强度变得很弱。

结论: 本文提出了, 存在着 $\text{Na}_2 b^3\Sigma_g^+$ 态粒子数布居的不同途径, 实验证实了 $\text{Na}_2 b^3\Sigma_g^+ - x^3\Sigma_g^+$ 激光振荡的可能性, 当加谐振腔时, 谱线变窄, 峰值移动, 预示着激光的产生。0.78 μm 受激发射不属于 $A-x$ 带。

我们感谢 W. C. 斯特涅里教授与我们进行的有益的讨论。

参 考 文 献

- [1] 马祖光;《光学学报》, 1982, 2, No. 3 (May), 233.
- [2] S. Shahdin *et al.*; *Appl. Phys.*, 1982, B29, 195.
- [3] J. Huennekens *et al.*; *J. Chem. Phys.*, 1984, 80, No. 10 (May), 4794.
- [4] S. G. Dinev *et al.*; *Opt. Commun.*, 1984, 52, No. 3 (Jun), 199.
- [5] D. D. Konowallow *et al.*; *Chem. Phys.*, 1984, 84, No. 3 (Mar), 463.
- [6] A. Vasilakis; *J. Chem. Phys.*, 1980, 73, No. 4 (Aug), 1490.
- [7] 马祖光主编;《激光实验方法》, (上海科学技术出版社, 1986年)。
- [8] Z. G. Wang *et al.*; *Opt. Commun.*, 1984, 48, No. 6 (Jan), 393.

**Investigation of laser oscillation on $\text{Na}_2 b^3\Sigma_g^+ - x^3\Sigma_u^+$ transition
and observation of several new spectral regions**

WANG QI, XIN DA, LIU WEI AND MA ZUGUANG
(*Harbin Institute of Technology, Harbin*)

(Received 4 February 1986)

Abstract

Behavior of $\text{Na}_2 b^3\Sigma_g^+ - x^3\Sigma_u^+$ transition as a function of buffer gas pressure is reported. It is found experimentally that laser oscillation is possible on this transition. The optical resonator effect might be an indication of laser action in this spectral range. A new spectral region around $0.78 \mu\text{m}$ has been observed.