

钾双原子分子 $2^3\Pi_g - x^3\Sigma_u^+$ 跃迁扩散带 增益特性研究*

吕志伟 刘 莉 何伟明 王 骥 马祖光

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 哈尔滨 150001)

摘 要 报道了用单光子激发产生 $K_2 2^3\Pi_g - x^3\Sigma_u^+$ 跃迁扩散带的实验结果, 讨论了此扩散带发射增益特性随温度和缓冲气体压力等条件的变化规律, 实验测得了 $1.2\% \text{ cm}^{-1}$ 的增益系数。

关键词 钾双原子分子, 扩散带, 增益。

碱金属扩散带, 对应于束缚-自由(或弱束缚)跃迁, 具有易实现粒子数反转和相对较宽的调谐等特点, 在发展连续可调谐准分子激光源方面有重要意义。采用各种光谱技术已观察到在紫外到红外之间的碱金属扩散带光谱。对钠双原子分子扩散带, 用连续 Ar^+ 激光泵浦已观察到了 $\text{Na}_2 2^3\Pi_g - x^3\Sigma_u^+$ 跃迁紫色扩散带的小信号增益^[1], 还获得了 Na_2 跃迁近红外辐射的激光振荡^[2]。钾双原子分子 575 nm 附近的扩散带是 Rebbeck 等在钾蒸气低功率放电中首先发现的^[3]; 随后许多小组都对这一扩散带的来源及动力学特性产生了很大的兴趣。Pichler 等提出该扩散带来自于 $2^3\Pi_g - x^3\Sigma_u^+$ 跃迁^[4], 这一观点被以后的许多实验和计算所证实^[5-8]。

本文用可调谐脉冲染料激光器泵浦钾蒸气, 观察到 K_2 575 nm 扩散带的荧光谱, 对其动力学特性进行了分析, 并获得了 575 nm 处的增益。

1 实验装置

实验装置如图 1 所示。钾蒸气在热管炉中产生, 热管的温度控制在 623 K~873 K 之间, 热管中充有氩气作为缓冲气体。染料激光器由 XeCl 准分子激光器 308 nm 泵浦, 染料采用 Stilben 3, 波长范围在 410~450 nm, 激光束由透镜聚焦到热管炉中心, 采用二色片把后向反射辐射信号收集, 用适当滤光片滤掉散射的泵浦光, 经光纤引入单色仪中, 用光电倍增管接收信号并由 Boxcar 取样平均后送至 X-Y 记录仪绘出结果。

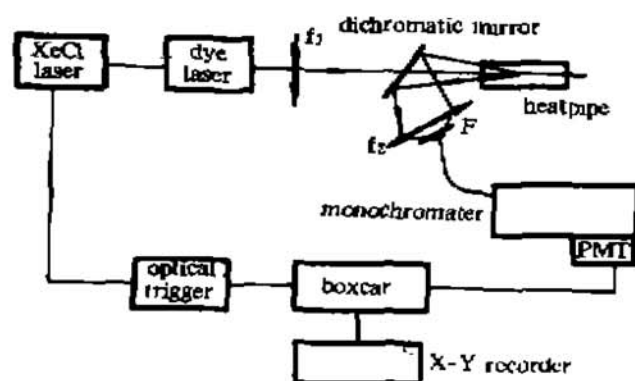


Fig. 1 Experimental setup for observing K_2 diffuse band around 575 nm

* 本工作得到国家自然科学基金资助。

收稿日期: 1995年8月10日; 收到修改稿日期: 1995年11月6日

2 结果与讨论

热管炉温度为 873 K, 缓冲气体压力为 1.33 kPa, 泵浦波长为 425 nm 时所测得的扩散带发射谱如图 2 中实线所示, 光谱峰值为 574 nm, 半宽度约为 5 nm。按照量子理论^[9], 采用 Magnier^[10] 给出的 $2^3\Pi_g$ 和 $x^3\Sigma_g^-$ 态势能曲线, 考虑了 $2^3\Pi_g$ 态最低 30 个振动态, 转动量子数选择为 873 K 时最可几值 $J_{\max} = 55$, 计算了 $2^3\Pi_g - x^3\Sigma_g^-$ 跃迁光谱, 如图 2 中虚线所示。

可见实验与理论计算符合得很好。图 3 给出了测得的扩散带发射光谱强度及其与 K_2 分子数密度之比随温度的变化规律。由图 3 可见, 尽管随着温度的升高, 钾分子粒子数增加, 荧光谱强度变强, 但转化到 $2^3\Pi_g - x^3\Sigma_g^-$ 跃迁的效率却随着温度的升高而下降, 表明钾原子和钾分子密度的增加, 粒子间碰撞加剧, 对 $2^3\Pi_g$ 态粒子集居造成猝灭, 并且随着温度的升高, $x^3\Sigma_g^-$ 态粒子数增加, 均不利于获得 $2^3\Pi_g - x^3\Sigma_g^-$ 跃迁粒子数反转。

实验中还测量了 K_2 $2^3\Pi_g - x^3\Sigma_g^-$ 跃迁的时间分辨光谱, 在 1.33 kPa 氩缓冲气体、873 K 温度下, 测得 $2^3\Pi_g$ 态分子有效寿命为 13.7 ns, 与泵浦激光脉冲宽度大致相当, 表明 $2^3\Pi_g$ 态粒子寿命很短, 利用短脉冲激光激励将有助于获得粒子数反转, 实现激光输出。

在热管后端加一个 575 nm 附近高反, 425 nm 附近高透的平镜后, 对 K_2 $2^3\Pi_g - x^3\Sigma_g^-$ 跃迁增益进行了测量, 图 4 给出了有此反射镜和无此反射镜光强之比随温度和氩缓冲气压的变化规律。在相同缓冲气体压力下, 随着温度的升高增益下降, 原因是由于 $x^3\Sigma_g^-$ 态粒子数随温度升高而增大, 造成在 575 nm 附近自吸收的增加, 以及 $2^3\Pi_g$ 态粒子随温度的增加碰撞加剧造成猝灭。这与图 3 的实验结果相一致。但在相同的温度下, 4 kPa 氩缓冲气体时增益比 667 Pa 时增益要大, 表明氩原子的动力学作用与钾原子和分子不同, 氩原子密度的适当增加, 有利于将 $C^1\Pi_u$ 态上钾分子转移到 $2^3\Pi_g$ 态上。按照文献[11]给出的增益系数计算公式, 并考虑到热管窗片的透过率, 增益系数:

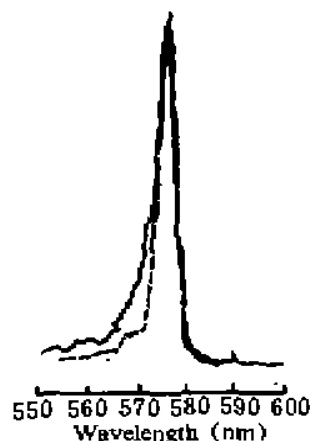


Fig. 2 Calculated (dashed line) and experiment (solid line) spectra of $2^3\Pi_g - x^3\Sigma_g^-$ transition

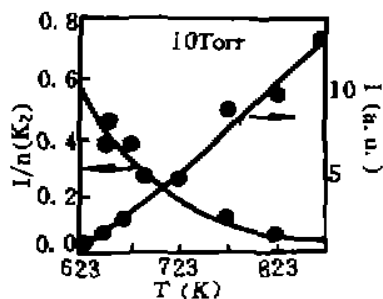


Fig. 3 Dependences of fluorescence intensity (I) and the ratio of intensity to K_2 density ($I/n(K_2)$) on the vapor temperature

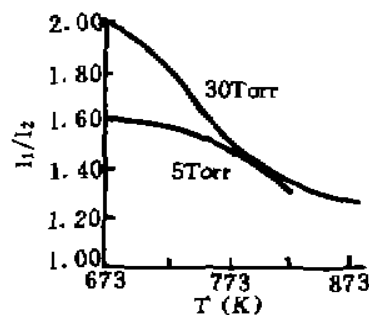


Fig. 4 Dependence of the ratio of fluorescence intensity with to without reflector on the temperature and argon buffer gas pressure

$$g = (1/L) \ln \{ [(I_1/I_2) - 1] / T^2 R \} \quad (1)$$

其中, I_1/I_2 为图 4 给出的有反射镜和无反射镜时光强之比, L 为介质激活区长度, R 为反射镜的反射率, T 为热管窗片的透过率。本实验中 $L = 14$ cm, $R = 0.99$, 热管窗片每个表面的反

射率按 0.04 计, 则 $T = (0.96)^2$ 。在 673 K、4 kPa 氩缓冲气体条件下, 由(1)式计算出 K_2 扩散带跃迁增益系数为 $1.2\% \text{ cm}^{-1}$ 。可以预期, 降低温度以减小碰撞猝灭, 选择最佳缓冲气压, 以及增加泵浦速率, 能够获得更大的增益。

结 论 利用 XeCl 准分子激光器泵浦的染料激光器作为激励源, 作者观察了 K_2 $2^3\Pi_g - x^3\Sigma_u^+$ 扩散带发射光谱, 并测得了此扩散带增益, 讨论了增益与温度及缓冲气体压力等的变化关系。结果表明: 降低温度, 选择最佳缓冲气压, 增加泵浦速率, 有利于实现 K_2 $2^3\Pi_g - x^3\Sigma_u^+$ 跃迁粒子数反转, 能够得到较大的增益。

参 考 文 献

- [1] J. T. Bahns, W. C. Stwalley, Observation of gain in the violet bands of sodium vapor. *Appl. Phys. Lett.*, 1984, 44(9): 826~828
- [2] 吕志伟, 钠双原子分子第一三重态跃迁动力学过程和激光振荡. 哈尔滨工业大学博士论文, 1993
- [3] M. M. Rebbeck, J. M. Vanghan, Unidentified diffuse bands in the spectrum of potassium. *J. Phys. B*, 1971, 4(2): 258~260
- [4] G. Pichler, S. Milosevic, D. Veza *et al.*, Diffuse bands in the visible absorption spectra of dense alkali vapours. *J. Phys. B*, 1983, 16(24): 4619~4631
- [5] S. Milosevic, G. Pichler, R. Duren *et al.*, Fluorescence studies of the K_2 diffuse band at 572.5 nm. *Chem. Phys. Lett.*, 1986, 128(2): 145~149
- [6] W. T. Luh, K. M. Sando, A. M. Lyyra *et al.*, Free-bound-free resonance fluorescence in the K_2 yellow diffuse band; theory and experiment. *Chem. Phys. Lett.*, 1988, 144(3): 221~225
- [7] D. D. Konowalow, S. Milosevic, G. Pichler, On the shape of the yellow diffuse band of potassium. *J. Mol. Spectrosc.*, 1985, 110(2): 256~261
- [8] D. King, K. Ueda, H. Takuma, K_2 yellow-band and Rb_2 orange-band excimer emissions by electron-beam excitation. *Appl. Phys. Lett.*, 1992, 60(24): 2960~2962
- [9] P. S. Herman, K. M. Sando, Theoretical study of wings of resonance lines of lithium and sodium perturbed by rare gases. *J. Chem. Phys.*, 1978, 68(3): 1153~1160
- [10] Magnier, private communication
- [11] 马祖光主编, 激光实验方法. 上海科学技术出版社, 1987: 176

Study of Gain Properties of K_2 Diffuse Band Originated from $2^3\Pi_g - x^3\Sigma_u^+$ Transition*

Lu Zhiwei Liu Li He Weiming Wang Qi Ma Zuguang

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

(Received 1995; revised 1995)

Abstract The diffuse-band emission of K_2 $2^3\Pi_g - x^3\Sigma_u^+$ transition was experimentally studied with single-photon excitation by a dye laser. The gain coefficient of $1.2\% \text{ cm}^{-1}$ has been measured.

Key words potassium dimer, diffuse band, gain