

钾蒸汽中双光子激发产生 $2^3\Pi_g - a^3\Sigma_u^+$ 扩散带受激辐射*

贾锁堂 邓仕兰 秦莉娟 王祖庚

(华东师范大学物理系, 上海 200062)

(中国科学院上海光学精密机械研究所、华东师大量子光学联合开放实验室, 上海 201800)

王 勇 王 钢 李建庆 周国生

(山西大学物理系, 太原 030006)

提 要

本文报道了在 K_2-K 中通过双光子共振激发原子或双光子激发分子产生 $2^3\Pi_g - a^3\Sigma_u^+$ 扩散带辐射的实验结果, 并对激发机制以及扩散带辐射随激发能量和温度的变化进行了讨论.

关键词 扩散带, 双光子激发.

1 引 言

分子扩散带辐射及其产生机制是激光光谱学和激光物理学的一个重要课题. 在钠蒸汽中, 由单光子或双光子激发钠原子 $3P$ 、 $4D$ 、 $4F$ 等能级以及宽波段范围内任何波长激发分子高位态, 获得了紫区 430 nm 附近的 $2^3\Pi_g - a^3\Sigma_u^+$ 的扩散带受激辐射^[1], 在锂蒸汽中, 用双光子共振激发原子 $4S$ 能级, 以及紫外单光子激发分子产生了 $2^3\Pi_g - a^3\Sigma_u^+$ 蓝区扩散带辐射^[2].

在钾分子中, 用单光子激发 $C_1\Pi_u$ 态^[3], 测得了 572.5 nm 附近的对应于 $2^3\Pi_g - a^3\Sigma_u^+$ 的扩散带荧光辐射, 最近金海燕等人在 K_2-K 中, 通过混合共振等激发机制产生了 $2^3\Pi_g - a^3\Sigma_u^+$ 跃迁的扩散带受激辐射^[4]. 本文用 YAG 激光泵浦的 LD750 脉冲染料激光双光子直接激发钾分子或双光子共振激发钾原子通过碰撞转移而使钾分子的高位三重态获得相当的布居, 从而产生了 $2^3\Pi_g - a^3\Sigma_u^+$ 的扩散带受激辐射, 实验中观察了扩散带辐射随温度及激光能量的变化, 并对激发机制进行了分析.

2 实验装置

实验装置如图 1 所示, YAG 脉冲激光经倍频后泵浦染料激光器(美 Spectra-Physics Inc. DCR-3D, PDPL-2 型), 使用 LD750 染料时, 调谐范围为 $700\sim 750\text{ nm}$, 最大输出能量为 10 mJ/pulse , 激光线宽和脉宽分别为 0.3 cm^{-1} 和 8 ns . 钾分子和钾原子的混合蒸汽由加热十字

收稿日期: 1992年11月11日

* 本课题得到国家自然科学基金和山西大学青年基金资助

型热管产生,实验时没有充缓冲气,工作温度为 280 °C~540 °C. 激光束由光学系统聚焦到热管炉中心,由热管炉前向或侧向辐射出的信号,经适当的滤光片滤掉剩余的或散射的泵浦光后由光学系统引入 0.66 m 的光栅单色仪(美 AM-566 型),然后由光电倍增管接收信号并经 Boxcar(美 Stanford)取样平均后由计算机存贮处理,最后打印机或绘图仪输出结果. 经测定,热管前向出射的定向辐射的发散角约为 8 mrad.

3 结果与讨论

所测得的扩散带发射光谱如图 2 所示,其波长范围为 560~585 nm,与用其它激发机制得到的扩散带相同. 图 3 为不同温度下,发射波长 572.5 nm 时,在前向测得的扩散的激发函数,激发函数虽没有用泵浦激光能量归一化,但在图 3 的调谐范围内,激光能量基本上不变,起伏仅为 5%左右.

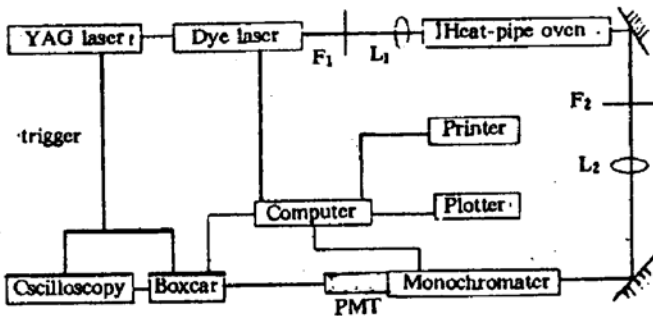


Fig. 1 Experimental setup

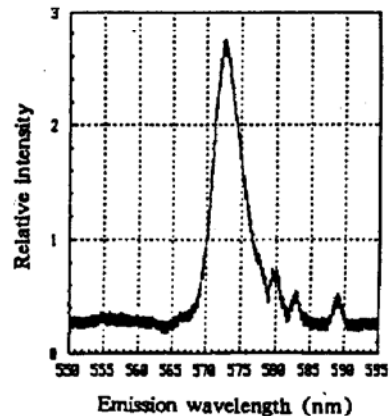
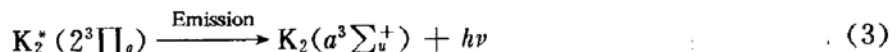
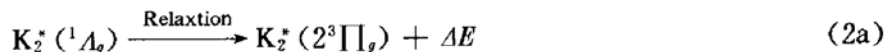
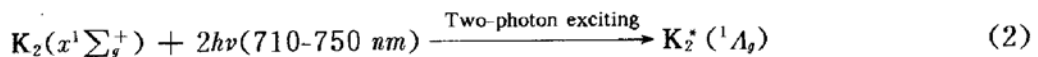
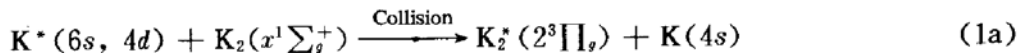
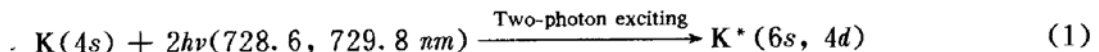


Fig. 2 Stimulated diffuse-band radiation from molecular potassium (pumping wavelength: 728.6 nm. Oven temperature: 500 °C)

双光子激发产生扩散带的机制,已在钠、钾蒸汽的工作中作过一些讨论^[5],通过考察钾分子和钾原子的有关能态结构可知:双光子共振激发钾原子和双光子激发钾分子产生 $2^3\Pi_g - a^3\Sigma_u^+$ 扩散带辐射的主要过程为:



定义 $\Delta = 2\omega_L - \omega_{4s-6s}$, ω_L 为泵浦激光频率, ω_{4s-6s} 为 K 原子 4s-6s 能级的跃迁频率,所对应的双光子共振激发波长为 728.6 nm. 当 $\Delta = 0$, 由双光子共振激发钾原子使 6s 能级获得大量布居,通过被激发的钾原子与基态钾分子的碰能量转移过程 1(a) 使分子高位三重态 $2^3\Pi_g$ 得到布居. 当 $\Delta < kT$ 时(k 为玻尔兹曼常数),虽偏离共振,但由于热扰动,也会导致原子在 6s 能级有一定布居. 当 Δ 过大时,原子贡献消失,但辐射信号并不为零,这是双光子激发分子(过程(2))所产生的贡献.

当温度较低(如 280 °C),只有 Δ 很小时,即激光近乎调谐于 4s-6s 的共振激发波长时,才可

测得扩散带辐射信号,这时过程(2)因分子浓度过低而几乎没有发生,如图 3(a)所示.当温度升高(如 380°C)时,量 kT 以及饱和蒸汽密度随之增加,可测得辐射信号所允许的离共振量 Δ 随之增大(即图 3(b)、3(c)中的峰值增宽),同时过程(2)也因分子浓度的增加而增大.当温度高于 460°C 时,激发函数在 $4s-6s$ 的共振位置上出现了一“凹陷”,并且随着温度的升高,“凹陷”越来越深,这是由于第一激发态原子能量的“自囚禁”所致^[6,7].由于能量被“囚禁”于原子中,因而转移到分子的能量相对减小,温度越高,原子密度越高,激发态原子能量的这种“自囚禁”就越烈.在高温时,由于分子相对于原子的比例增加,过程(2)的作用更为明显.当温度为 480°C 时,因双光子激发分子而产生的辐射信号最大,如图 3(e)所示.

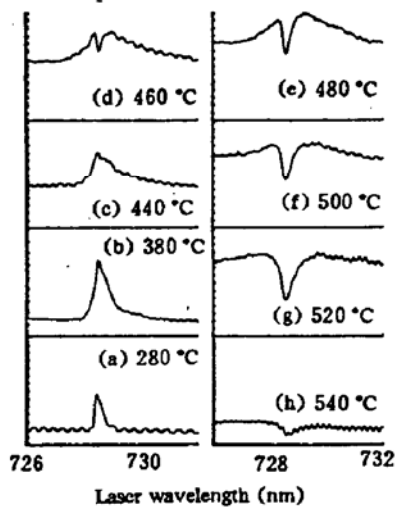


Fig. 3 Excitation function for generating stimulated diffuse-band at various heat pipe temperature

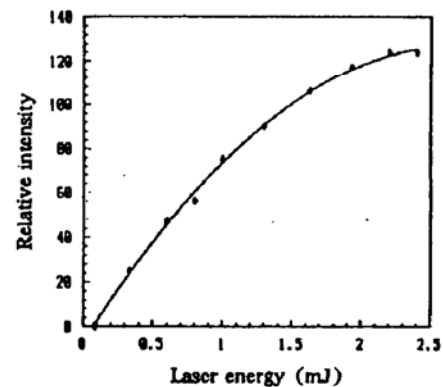


Fig. 4 The dependence of the radiation at diffuse-band on laser energy ($T = 460^\circ\text{C}$, $\lambda_L = 728.6 \text{ nm}$)

图 4 为辐射信号相对于激光能量的变化曲线.当能量较小时,信号随能量的增加而较快地增加,当能量较大时,信号增加缓慢,继续增加能量,将逐步导致饱和,阈值能量为 0.1 mJ .

4 结 论

本文报道了在 K_2-K 混合系统中由双光子共振或近共振激发原子到 $6s$ 能级,通过原子-原子碰撞能量转移过程,以及双光子直接激发分子和随后的分子-分子碰撞能量转移过程使分子的高位三重态 $2^3\Pi_g$ 获得布居,从而产生 $2^3\Pi_g - a^3\Sigma_g^+$ 的扩散带受激辐射.实验表明:温度是扩散带产生的重要参数之一,当温度较低时,双光子共振激发原子起主导作用.温度较高时,在原子共振激发位置上出现“凹陷”,激发分子比激发原子更为有效,产生扩散带辐射信号的最佳温度应为 480°C .

实验工作是在山西大学进行的,感谢彭望堃教授、孙孟嘉教授以及其他老师的热情鼓励与支持.

参 考 文 献

- [1] Z. G. Wang, L. S. Ma, H. R. Xia *et al.*, The generation of UV and violet diffuse band stimulated radiation in a sodium dimer. *Opt. Commun.*, 1986, 58(2): 315

- [2] H. H. Wu, T. C. Chu, C. Y. R. Wu, Intense spontaneous amplified emission of Li_2 diffuse violet bands in the 4400 Å region. *Appl. Phys. (B)*, 1987, **43**(2) : 225
- [3] Ya. P. Klyavinsh, M. L. Yanson, Population processes of certain atomic and molecular states in laser excited potassium vapor. *Opt. Spectrosc.*, 1982, **52**(2) : 376
- [4] H. Y. Jin, L. J. Qin, S. L. Deng *et al.*, Stimulated diffuse-band radiation generated by hybrid and two-photon pumping in K_2 -K system. *Proc. 1726 (1992' SISQO)* : 274~277
- [5] C. Y. Robert Wu, J. K. Chen, D. L. Judge *et al.*, Spontaneous amplified emission of a Na_2 diffuse violet band produced through two-photon excitation of sodium vapor. *Opt. Commu.*, 1983, **48**(1) : 28
- [6] T. Holstein, Imprisonment of resonance radiation in gases. I. *Phys. Rev.*, 1951, **83**(6) : 1159
- [7] T. Holstein, Imprisonment of resonance radiation in gases. *Phys. Rev.*, 1947, **72**(12) : 1212

Stimulated diffuse-band radiation produced by two-photon excitation of potassium vapor*

JIA Suotang DEN Shilan QIN Lijuan WANG Zugeng

(*Department of Physics, East China Normal University, Shanghai 200062*)

(*Joint Laboratory for Quantum Optics, Shanghai, Institute of Optics and Fine Mechanics,
Academia Sinica, and East China Normal University, Shanghai 201800*)

WANG Yong WANG Gang LI Jianqing ZHOU Guosheng

(*Department of Physics, Shanxi University, Taiyuan 030006*)

(Received 11 November 1992)

Abstract

By two-photon pumping covering a wide wavelength region of 720-740 nm in potassium vapor, yellow stimulated diffuse-band radiation corresponding to the transition $2^3\text{I}_1 \rightarrow a^3\sum_u^+$ of molecular potassium is generated. The excitation mechanism is discussed in detail.

Key words diffuse band, two-photon excitation.

* The Project supported by the National Natural Science Fundation of China and Young Fundation of Shanxi University.