

钾蒸气中由能量积聚效应产生的分子 扩散带受激辐射*

肖连团 李昌勇 郭淑琴 贾锁堂 周国生

(山西大学电子信息技术系 太原 030006)

提要 报道了在钾蒸气中由能量积聚效应产生的分子扩散带辐射。对产生的机制和原子的囚禁效应作了讨论。

关键词 能量积聚效应, 扩散带辐射, 碰撞能量转移

1 引言

分子扩散带受激辐射的产生和利用,已成为人们研究准分子型激光和原子分子物理学的重要课题。至今已发现了多种产生扩散带的机制。在钠分子中,由单光子或双光子激发钠原子于 $3P$ 能级或 $4D$ (或 $4F$)能级,以及在宽波段范围内由可调谐激光双光子激发钠分子获得了紫区 430.0 nm 附近的 $2^3\Pi_g \rightarrow a^3\Sigma_u^+$ 扩散带受激辐射以及 360.0 nm 附近的扩散带受激辐射^[1~5];对于锂分子,以双光子共振激发锂原子 $4S$ 能级,产生 $2^3\Pi_g \rightarrow a^3\Sigma_u^+$ 蓝区扩散带的受激辐射^[6],以紫外单光子激发锂分子 $C^1\Pi_u$ 态或光-光双共振的激发过程,产生了 $2^3\Pi_g \rightarrow a^3\Sigma_u^+$ 扩散带的荧光辐射^[7,8];对于钾分子,人们已通过以下激发方式对扩散带进行了研究:(1)单光子激发 $C^1\Pi_u$ 态,通过 $C^1\Pi_u$ 态分子与基态分子的碰撞能量转移过程布居 $2^3\Pi_g$ 态;(2)直接单光子激发处于基三重态排斥部分的原子,由 $a^3\Sigma_u^+ \rightarrow 2^3\Pi_g$ 的跃迁布居 $2^3\Pi_g$ 态;(3)用双光子共振激发钾原子 $6S$ 态和用分子-原子的双光子混合共振激发方式,并由激发态原子与分子的碰撞能量转移,使分子在 $2^3\Pi_g$ 态布居,进而实现钾分子 $2^3\Pi_g \rightarrow a^3\Sigma_u^+$ 扩散带受激辐射^[9~13]。本文作者从实验上观察到:当单光子激发钾原子于 $4P$ 态后,由于 $4P$ 态钾原子的能量积聚效应,使钾分子在高位态得到有效布居后而产生钾分子扩散带受激辐射。

2 实验装置与结果讨论

实验装置与文献^[12]所描述的基本相同,YAG激光经倍频后泵浦染料激光器(美Spectra-Physics Inc. DCR-3D, PDL-2型),当使用LD751染料时,激光波长的调谐范围为 $710\sim 780\text{ nm}$,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

* 国家自然科学基金和山西省自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1998-04-27; 收到修改稿日期: 1998-06-04

合蒸气由加热十字型热管产生,实验时没有充缓冲气,工作温度为 300~520℃,由热管炉前向辐射出的信号,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,然后由光电倍增管接收信号并经 Boxcar 取样平均后由计算机存贮处理,最后由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。

所测得的扩散带发射光谱如图 1 所示,其波长范围为 570~585 nm,与用其他激发机制^[11~13]得到的扩散带相同。

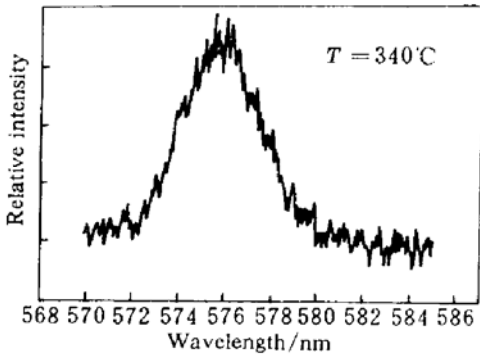


图 1 575.7 nm 扩散带发射谱

Fig. 1 The 575.7 nm diffuse band emission spectrum of K₂

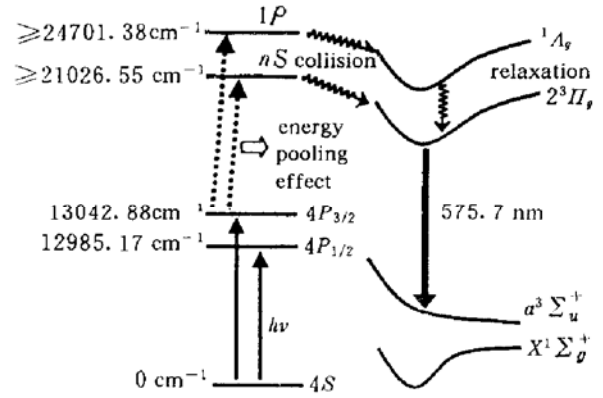
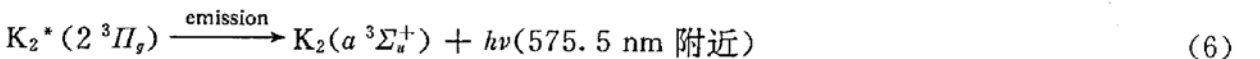
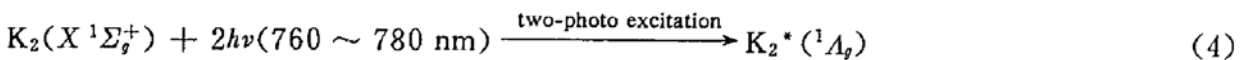
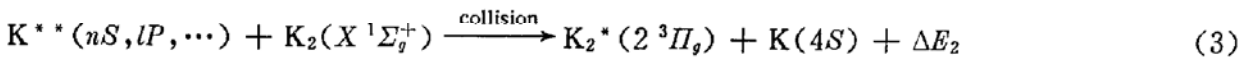
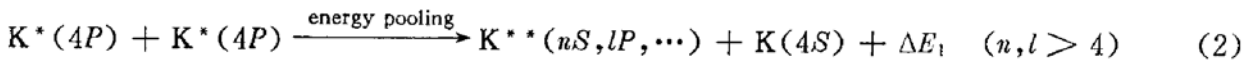
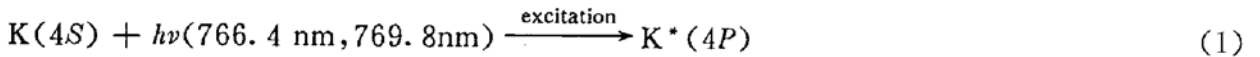


图 2 K₂ 和 K 的相关能级图

Fig. 2 The relative energy level scheme of the K-K₂ system

由图 2 的钾原子和钾分子的有关能级图可知,当用激光单光子激发钾原子于 4P 态时,4P 态原子的能量积聚效应而导致的分子扩散带辐射的产生过程可描述为



在热管温度 T 较低时(如 340℃),仅当激光调谐于(4S → 4P) 的共振激发波长时,才可测得扩散带辐射信号,这时过程(4) 因分子浓度过低而几乎没有发生,如图 3(a) 所示。当温度升高到 360℃ 时,分子密度随之增加,过程(4) 也随之发生,当温度超过 360℃ 时,激光光谱在 4S → 4P 的共振位置上出现了一“凹陷”,这与我们在双光子共振激发钾原子产生分子扩散带辐射的结果相类似^[12]。这是由于温度较高时,原子密度也较大,原子在 4S → 4P 的位置上所吸收的激光辐射会在原子内形成辐射的“囚禁”^[14] 效应,钾原子不断在 4S → 4P 之间进行辐射 → 激发 → 辐射的循环,导致 4P 态的布居数减少,参与能量积聚效应的原子数减少,即原子在高激发态的布居数减少,使高激发态的原子与基态分子的碰撞能量转移过程变弱。结果使 2³Π_g 态分子数减少,从而分子扩散带辐射变弱,从激光光谱的 4S → 4P 的单光子共振激发位置出现强的吸收。

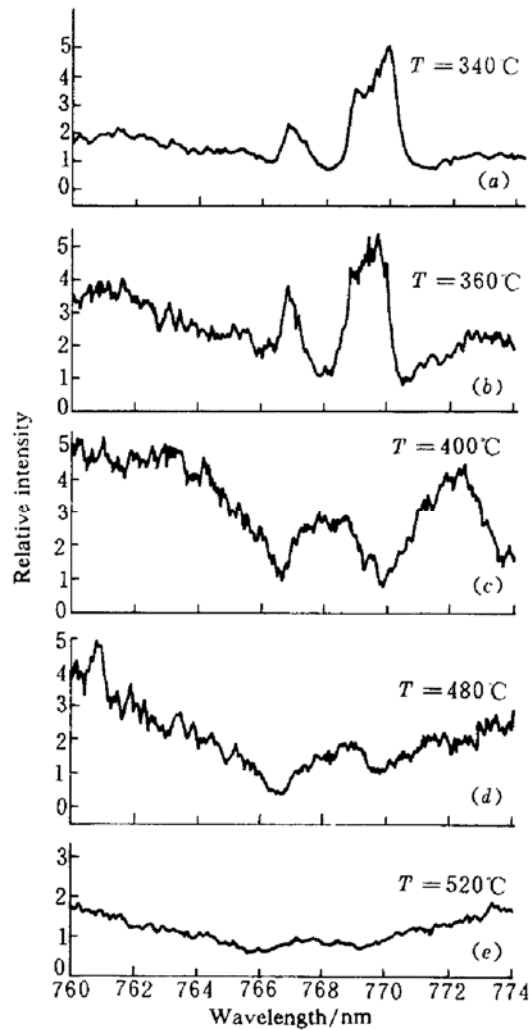


图 3 575.7 nm 扩散带激发谱

Fig. 3 The emission spectra of 575.7 nm diffuse band (emission wavelength: 575.7 nm)

3 结 论

本文报道了在 K_2 -K 混合系统中由单光子共振激发原子于 $4P$ 能级, 通过 $4P$ 原子的能量积聚效应及原子 - 分子的碰撞能量转移过程使分子在高位三重态 $2^3\Pi_g$ 获得布居, 从而产生 $2^3\Pi_g \rightarrow a^3\Sigma_u^+$ 的扩散带受激辐射。实验表明: 在温度较低时, 能量积聚效应是产生分子扩散带辐射的有效途径; 而温度较高时, 由于 $4P$ 原子的辐射“囚禁”效应, 而导致分子扩散带辐射变弱, 这时离开 $4S \rightarrow 4P$ 态的共振激发位置的双光子直接激发分子, 对于分子扩散带辐射的产生更为有利。

参 考 文 献

- 1 Z. G. Wang, H. R. Xia. *Molecular and Laser Spectroscopy*. New York; Springer-Verlag, 1991. 312~316
- 2 Z. G. Wang, L. A. Ma, H. R. Xia *et al.*. The generation of UV and violet diffuse band stimulated radiation in a sodium dimer. *Opt. Commun.*, 1986, **58**(5):315~318
- 3 Wang Zugeng, Zhang Kechang, Tang Xiaoling *et al.*. Stimulated radiation of UV and violet diffuse bands by two-photon pumping covering a wide wavelength region in Na_2 . *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1986, **6**(12):1081~1085 (in Chinese)
- 4 C. Y. R. Wu, J. K. Chen, D. L. Judege. Spontaneous amplified emission of a Na_2 diffuse violet band produced through two-photon excitation of sodium vapor. *Opt. Commun.*, 1983, **48**(1):28~32

- 5 J. T. Bahns, W. C. Stwally. Observation of gain in the violet bands of sodium vapor. *Appl. Phys. Lett.*, 1984, **44**:826~828
- 6 H. H. Wu, T. C. Chu, C. Y. R. Wu. Intense spontaneous amplified emission of Li_2 diffuse violet bands in the 440.0 nm region. *Appl. Phys. B*, 1987, **B43**(4):225~230
- 7 Xingbin Xie, R. W. Fied. Perturbation facilitated optical-optical double resonance spectroscopy of the ${}^7\text{Li}_2$ $3^3\Sigma_g^+$, $2^3\Pi_g$, $b^3\Pi_g$, and $a^3\Sigma_u^+$ states. *J. Mol. Spectra*, 1986, **117**(2):228~244
- 8 M. A. Gondal, S. Shahdin, A. Shaban *et al.*. First observation of a collisionally induced diffuse band Li_2 around 452 nm. *Opt. Commun.*, 1991, **86**(2):128~134
- 9 Ya. P. Kiyavinsh, M. L. Yanson. Population processes of certain atomic and molecular states in laser excited potassium vapor. *Opt. Spectra*, 1982, **52**(4):376~383
- 10 H. Y. Jin, L. J. Qin, Y. F. Li *et al.*. Stimulated diffuse-band radiation generated by hybrid and two-photon pumping in K_2 -K system. *SPIE*, 1992, **1726**:178~183
- 11 S. T. Jia, Y. Wang, L. J. Qin *et al.*. 599.2 nm diffuse band radiation generated by two-photon exciting molecular and atomic potassium. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1993, **B2**:527~532 (in English)
- 12 Jia Suotang, Den Shilan, Qin Lijuan *et al.*. Stimulated diffuse-band radiation produced by two-photon excitation of potassium vapor. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1993, **13**(10):865~868 (in Chinese)
- 13 Jia Suotang, Qin Lijuan, Qian Zuliang *et al.*. Stimulated diffuse-band radiation produced by multi-excitation of molecular and atomic potassium. *Chinese Science (A)* (中国科学 A), 1996, **26**(4):328~335 (in Chinese)
- 14 T. Holstein. Imprisonment of resonance radiation in gases. *Phys. Rev.*, 1951, **83**(6):1159~1168

Molecular Diffuse Band Radiation Produced through Atomic Energy-pooling Effect in a Potassium Vapor

Xiao Liantuan Li Changyong Guo Shuqin Jia Suotang Zhou Guosheng

(Department of Electronic Information Technology, Shanxi University, Taiyuan 030006)

Abstract The stimulated diffuse band radiation of molecular potassium generated by the energy-pooling effect is reported. The generation mechanism of the diffuse band radiation and the appearance of the atomic trapping effect are discussed.

Key words energy-pooling effect, diffuse band radiation, collisional energy transfer