

# 钠光谱灯中激光诱导的碰撞发光

吴 斌 吴自退

(武汉工业大学激光研究所)

胡企铨 林福成

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

## 提 要

本文报道非共振强激光作用于正常工作时的钠光谱灯所产生的12条激光感生的强荧光谱线,并分析了可能的产生机理。

关键词: 钠光谱灯, 激光感生荧光, 双原子分子。

## 一、引 言

激光诱导的非弹性碰撞发光是研究原子、分子之间相互作用的一种有用工具。Harris等人研究了原子之间激光感生能量转移过程<sup>[1~3]</sup>。Demtröder等人研究了原子的激光感生非弹性碰撞形成分子的过程<sup>[4~6]</sup>。上述两种过程都是在原子蒸气中利用共振激光诱导激发态原子与基态(激发态)原子之间的相互碰撞完成的。通常情况下,为了获得高的碰撞能量转移效率,要求有高密度的原子蒸气。

我们在实验中发现,用强激光照射低压钠光谱灯时,在正常放电工作情况下可以产生很强的激光诱导碰撞发光。这一发光过程中,强激光照射所起的作用不仅是激发钠原子,而且蒸发钠光谱灯管壁上沾附的钠,因此增加了原子密度和原子之间的相对速度。根据原子之间的碰撞几率不仅与原子密度而且还与原子之间的相对速度成正比的关系<sup>[7]</sup>,这将提高钠原子之间的碰撞能量转移效率,从而可能为研究钠原子间碰撞形成 $\text{Na}_2$ 分子甚至钠多原子团间的能量转移过程提供一种新的简便的实验方法。

## 二、实验装置和结果

### 1. 实验装置

如图1所示,一台调Q Nd:YAG 振荡-放大激光器经KDP晶体倍频后输出脉宽为10 ns的 $0.53 \mu\text{m}$ 强激光脉冲。用焦距 $f=100 \text{ mm}$ 的透镜将激光聚焦到低压钠光谱灯中(上海光电仪器厂产品,型号GP<sub>20</sub>Na)。焦点处的激光功率密度已足以离化空气。适当离焦,就可以控制钠光谱灯中的激光功率密度为 $10^8 \sim 10^9 \text{ W/cm}^2$ 。光学多道分析仪OMA-II系统在与激光束成 $90^\circ$ 的方向上探测钠光谱灯中激光诱导的发光。为了减小钠D线对探

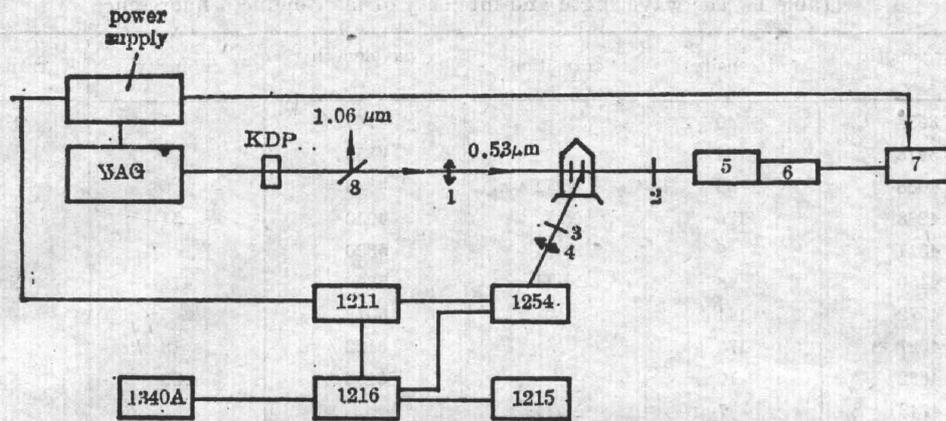


Fig. 1 Experimental set-up

1, 4—lens; 2, 3— $0.53\ \mu\text{m}$  reflector; 5—monochromator; 6—photo-multiplier tube; 7—storage oscilloscope; 8— $1.06\ \mu\text{m}$  reflector 1211, 1254, 1216, 1215, 1340A: OMA-II system

测的干扰, OMA-II 系统采用闸门控制工作方式, 单脉冲探测。为了减弱钠光谱灯玻壳对强激光的散射, 在 OMA-II 多色仪前放置  $0.532\ \mu\text{m}$  窄带激光高反射镜。用单色仪、快响应光电倍增管 R943-02 和存储示波器来记录发射光谱的时间波形。

## 2. 实验结果

低压钠光谱灯正常工作时(点燃时间大于 30 分钟)发射光谱如图 2(a)所示, 只有很强的钠  $D$  线特征谱。这时用  $0.532\ \mu\text{m}$  强激光照射钠光谱灯可看到灯内有一弥散的蓝紫发光区, 用 OMA-II 探测到如图 2(b)所示的发射光谱图。比较图 2(a)、(b)可知, 钠光谱灯在激光诱导下感生出一些强发射谱线。由于图 2(b) 发射谱已作了扣除背景处理, 可以看到在激光诱导钠蒸气发光的同时明显增强了钠  $D$  线的发射强度。表 1 列出了图 2(b) 中所有发射谱的波长及强度。根据文献 [8, 9], 对这些谱线进行了辨认。表 1 指出了钠原子或离子的可能跃迁线, 但是还有 12 条谱线没有找到相应的钠原子或离子的跃迁能级。为了进一步研究这些强的激光感生谱线的起因, 还用  $1.06\ \mu\text{m}$  强激光照射钠光谱灯, 得到了和图 2(b) 相同的谱图。

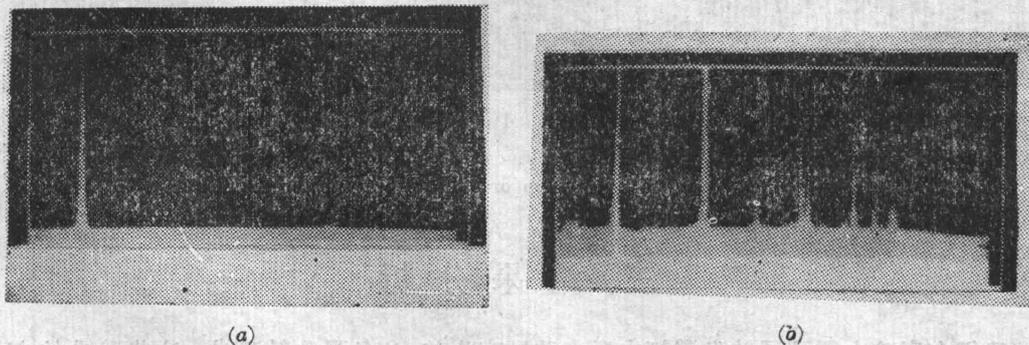


Fig. 2

(a) Spectrum of Na spectral lamp working at normal conditions  
(b) Laser ( $0.532\ \mu\text{m}$ )-induced fluorescence spectra of Na spectral lamp

Table 1 The wavelength and intensity of laser-induced fluorescence

wavelength (Å)	intensity	transition	wavelength (Å)	intensity	transition
3954	40		4767	5	NaII
3978	34		4859	5	
4088	48	NaII	4889	5	
4238	176	NaI	4950	51	
4311	9	NaII	5320		
4450	8	NaII	5890	414	NaI
4572	141		6078	5	
4627	175		6122	18	
4682	10		6156	22	NaI
4743	7	NaII			

一般钠光谱灯中都充有一定量的惰性气体或可能存在有各种杂质。为了判断它们的影响,我们探测了钠光谱灯从刚点燃起的五分钟内各不同时刻激光照射后的发射谱。没有发现类似图 2(b) 的谱线。但在刚点燃的光谱灯发射谱中发现有 Ar 线(见图 3, 不列在表 1 中)。随着点燃时间的增长, Ar 线逐渐消失, 钠 D 线不断增强。这表明 GP<sub>20</sub>-Na 灯中充有缓冲气体 Ar, 但没有其它杂质。Ar 线随时间逐渐消失的原因是由于光谱灯开始点燃对电子温度较高, 以后电子温度逐渐降低所造成的。图 4(a) 给出了激光脉冲波形, 图 4(b)、(c) 分别为钠 3<sup>2</sup>P 激发态荧光的时间波形和激光感生的发射谱线时间波形。从图 4(b)、(c) 可知感生发射谱线的时间波形与 Na 原子激发态 3<sup>2</sup>P 的荧光波形一致。

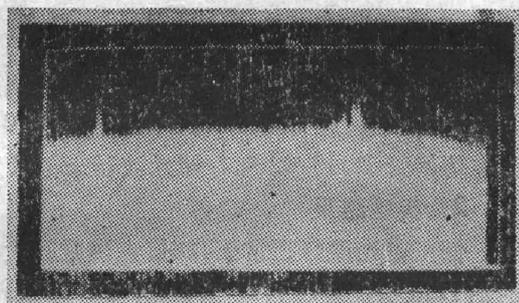


Fig. 3 Spectrum of a Na spectral lamp at the beginning



Fig. 4

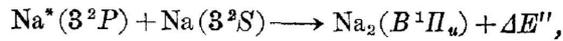
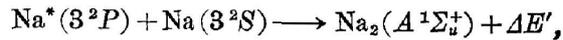
(a) Laser temporal waveform; (b) Fluorescence (3p-3s) temporal waveform;  
(c) Laser-induced temporal spectra waveform

### 三、结果分析

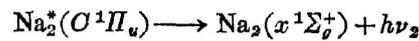
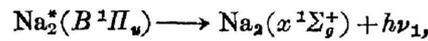
我们在实验中得到了钠光谱灯中激光诱导产生的 12 条强发射谱线。这些谱线的起因可能有两个: 杂质的发射谱; Na, Na<sup>+</sup> 和 Ar 激发态的 Raman 散射; Na<sub>2</sub> 或钠多原子团的发射谱。由于在实验中没有发现诸如 K、Cs 杂质或其它惰性气体的特征谱线, 所以没有第

一种可能:从  $\text{Na}$ 、 $\text{Na}^+$  和  $\text{Ar}$  激发态上发生的 Raman 散射,其可能产生的波长完全可以包括所得到的实验数据,甚至在实验误差范围内,实验中得到的每一条谱线可以对应好几组不同能级的 Raman 散射。但是用  $1.06 \mu\text{m}$  激光和  $0.582 \mu\text{m}$  激光照射钠光谱灯所得的实验结果相同,只是时间波形和激光波形不同,因此用 Raman 散射来解释这些强发射谱线也是不合适的。

考虑到激光蒸发金属可获得高密度、高速原子蒸气的实验事实<sup>[10]</sup>和钠光谱灯中有足够的电子碰撞激发,那末强激光照射钠光谱灯必然增强下列各式表示的动力学过程<sup>[6,13]</sup>:



从而使光谱灯放电区中激发态钠双原子分子的密度大大增加。这个过程发生的时间取决于  $\text{Na}^*$  激发态的表现寿命和激光的作用时间,因此分子的寿命与形成分子的原子激发态寿命相同<sup>[14]</sup>,这和实验结果符合[见图 4(b)、(c)]。这些激发态分子向基态的跃迁将发出荧光。据根文献[11, 12]的数据,计算了与表 1 中谱线对应的



过程中  $\text{Na}_2$  分子电子跃迁振动能级 ( $\nu'$ ,  $\nu''$ )。表 2 给出了 OMA-II 系统波长测量精度范围内可能的  $\text{Na}_2$  分子电子跃迁振动能级 ( $\nu'$ ,  $\nu''$ )。因此,激光照射钠光谱灯产生的强发射谱线最可能的起因是:激光照射钠光谱灯增加了钠原子的密度和它们之间的碰撞几率,提高了钠原子形成分子的碰撞能量转移效率,从而使钠光谱灯产生很强的激光诱导碰撞发光。

但必须指出,从表 2 所列出的 ( $\nu'$ ,  $\nu''$ ) 以及文献[11, 12]的数据可知,某些跃迁不能很好地满足夫兰克-康登原理。因此这些新跃迁线可能还有其它起因,例如是否存在钠的多原子团以及由它们产生的发射谱,所以这些新谱线的产生机理尚可进一步探讨。

Table 2 The possible transition ( $\nu'$ ,  $\nu''$ ) of collisional fluorescence

wavelength (Å)	$C^1\Pi_u(\nu')$	$B^1\Pi_u(\nu')$	$x^1\Sigma_g^+(\nu'')$	wavelength (Å)	$C^1\Pi_u(\nu')$	$B^1\Pi_u(\nu')$	$x^1\Sigma_g^+(\nu'')$	
3954	2		35	4748		8	1	
	6		40			17	7	
	8		43			22	10	
3978	3		38	4767		19	9	
	6		42			26	13	
	8		45		4859		9	5
4572		29	8			5	2	
	4627		25	8			21	13
4682			23	7	4889		21	14
		16	3			12	3	
		12	2	4950			7	6
		15	4				11	9
		20	7		23	17		

## 参 考 文 献

- [1] S. E. Harris *et al.*; *Phys. Rev. Lett.*, 1974, **33**, No. 12 (Sep), 674.  
 [2] Ph. Cahuzac *et al.*; *Phys. Rev. Lett.*, 1978, **40**, No. 16 (Apr), 1087.  
 [3] S. E. Harris *et al.*; *IEEE J. Q. E.*, 1977, **QE-13**, No. 12 (Dec), 972.  
 [4] W. Demtroder *et al.*; *J. Chem. Phys.*, 1969, **51**, No. 12 (Dec), 5495.  
 [5] K. Bergmann *et al.*; *Z. Physik*, 1971, **243**, No. 1 (Apr), 1.  
 [6] M. Allegrini *et al.*; *Opt. Commun.*, 1980, **32**, No. 1 (Jan), 91.  
 [7] 杨津基编著;《气体放电》, (科学出版社, 1983).  
 [8] S. Bashkin *et al.*; «*Atomic Energy Levels and Grotrian Diagrams*», (North-Holland Publishing Company, New York, 1975).  
 [9] J. Reader *et al.*; «*Wavelengths and Transition Probabilities for Atoms and Atomic Ions*», (Nsrds, Washington, 1980).  
 [10] 私人通信。  
 [11] W. Demtröder *et al.*; *J. Mol. Spectrosc.*, 1975, **55**, No. 1~3 (Mar), 476.  
 [12] K. K. Verma *et al.*; *J. Mol. Spectrosc.*, 1982, **91**, No. 2 (Feb), 325.  
 [13] M. Allegrini *et al.*; *Opt. Commun.*, 1977, **22**, No. 3 (Sep), 329.  
 [14] A. Kopystynska *et al.*; *Opt. Commun.*, 1979, **28**, No. 1 (Jun), 78.

## Laser-induced collisional fluorescence in a Na spectral lamp

WU BIN AND WU ZIXIA

*(Institute of Laser, Wuhan Polytechnic University)*

HU QIQUAN AND LIN FUCHENG

*(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)**(Received 18 January 1986; revised 29 August 1986)*

## Abstract

We have observed several new intensive fluorescence spectra in a Na spectral lamp working at normal conditions irradiated by nonresonant laser. The possible mechanism is analysed.

**Key Words:** sodium spectral lamp; laser-induced fluorescence; dimer.