

# 铜蒸气激光器激光上能级间粒子碰撞跃迁的实验研究

梁 爽 王小伟 张降元 符春保 张志忠 吴学圃

(核工业理化工程研究院, 天津 300180)

**提要** 本实验利用铜蒸气激光器振荡—放大链,通过比较当黄绿光同时注入放大器时和仅以绿光或黄光注入放大器时所测得的绿光和黄光光脉冲的波形,观察到了在高气压下,粒子在激光上能级之间跃迁的现象,从而证实了这种碰撞跃迁的存在,并对其物理过程和机理做出了定性解释。

**关键词** 激光上能级,碰撞跃迁,光脉冲波形

## Experimental research on transition between laser upper levels of copper atom in copper vapor laser

LIANG Shuang, WANG Xiaowei, ZHANG Jiangyuan, FU Chumbao,  
ZHANG Zhizhong, WU Xuepu

(Tianjin Institute of Physical and Chemical Engineering, CNNC, Tianjin 300180)

**Abstract** This paper presents an experimental research on the collision transition between two upper levels of copper atom with an oscillator-amplifier chain of copper vapor laser. In this experiment, the phenomenon of this kind of collision transition in case of high buffer gas pressure was observed through the comparison of laser pulse waveform which was obtained when different oscillation laser was fed into amplifier. Therefore, the existance of this kind of transition was proved by this experiment. The mechanism of this kind of transition is also discussed.

**Key words** laser upper level, collision transition, laser pulse wave pattern

## 1 引 言

铜蒸气激光器同时发射 578 nm 和 511 nm 的黄绿激光谱线,它的两个激光上能级之间的跃迁属禁戒跃迁。但由于它们相差仅为 0.02 eV<sup>[1]</sup>,且自发辐射寿命较长(绿光上能级  $^2P_{3/2}$  为 615 ns,黄光上能级  $^2P_{1/2}$  为 370 ns)<sup>[2]</sup>,因而在一定条件下,粒子有可能在激光上能级间进行碰撞跃迁。

然而,这种碰撞跃迁的效应是十分微弱且不易观察的。国外的 J. J. Kim<sup>[3]</sup>, R. R. Lewis<sup>[4]</sup>

在实验中观察到了这种现象,而 Hollins<sup>[5]</sup>却没有。本实验首次采用一振一放的铜蒸气振放链,在高气压下,十分明显地观察到了该碰撞跃迁对光脉冲波形的影响,从而证实了该碰撞跃迁的存在。

## 2 实验现象及讨论

实验装置如图 1 所示。振荡光经滤光片 3 后注入放大器,根据实验要求,它可以是透黄光和透绿光的滤光片,或者是全透玻璃片。放大器的输出光由黄绿分光镜分开,Boxcar 分别记录黄绿激光脉冲波形。实验测得的光脉冲波形如图 2、图 3 所示。在实验过程中,除采用不同的振荡光外,其余工作参数均不改变。其中电压为 6 kV,电流为 0.5 A,氖气压为  $39.9 \times 10^3$  Pa。

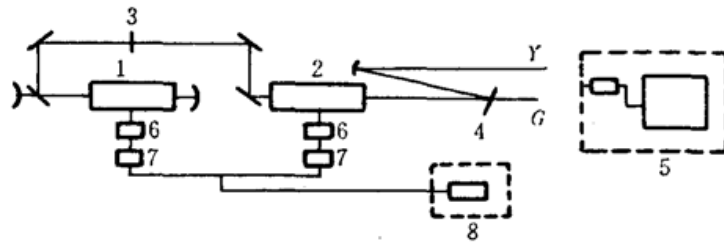


Fig. 1 Experimental set-up

1—Oscillator; 2—Amplifier; 3—Filter; 4—Yellow-green splitter; 5—Boxcar;  
6—Laser power supply; 7—Pulse generator; 8—Computer synchronize

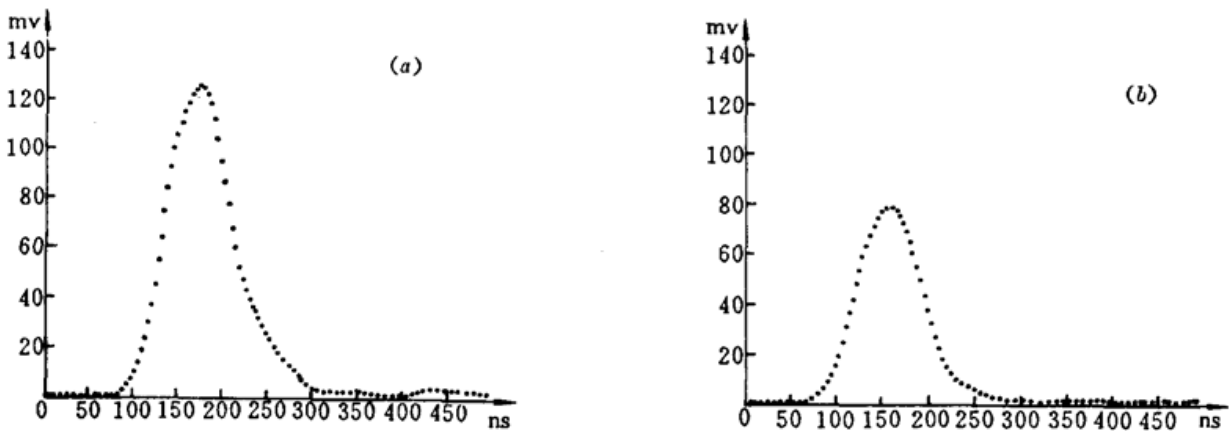


Fig. 2 Wave pattern of green laser pulse

(a) Only green oscillating laser is fed; (b) Green and yellow oscillating lasers are fed together

首先,我们讨论这种上能级间碰撞跃迁发生的可能性。在本实验中,缓冲气压为  $39.9 \times 10^3$  Pa,温度为 1800 K 左右,通过计算可得铜原子与氖原子的平均碰撞频率为  $1.47 \times 10^8$  次/s。而激光脉冲宽度约为几十 ns,激光上能级自发辐射寿命有几百 ns,因此有足够多的碰撞次数为上述碰撞跃迁提供了可能性。

下面我们来比较测得的光脉冲波形。

(1) 从图 2 可清楚地看出,当只有绿光注入时,在激光余辉区 400~500 ns 范围内明显有一小峰,而黄绿光同时注入时则没有。

这是由于激光上能级的自发辐射寿命相对于激光脉冲宽度是相当长的。因此,只有绿光注入时,当激光脉冲刚刚结束后, $^2P_{3/2}$  可以近似地被看做是空的。而此时  $^2P_{1/2}$  上仍有很多的粒子,这些粒子会通过碰撞从  $^2P_{1/2}$  无辐射跃迁到  $^2P_{3/2}$  能级,并以自发辐射形式跃迁到激光下能级,同时发出 511 nm 的荧光。但此时  $^2P_{3/2}$  上粒子数较少,荧光也很弱, $^2P_{3/2}$  上粒子数呈上升趋势。

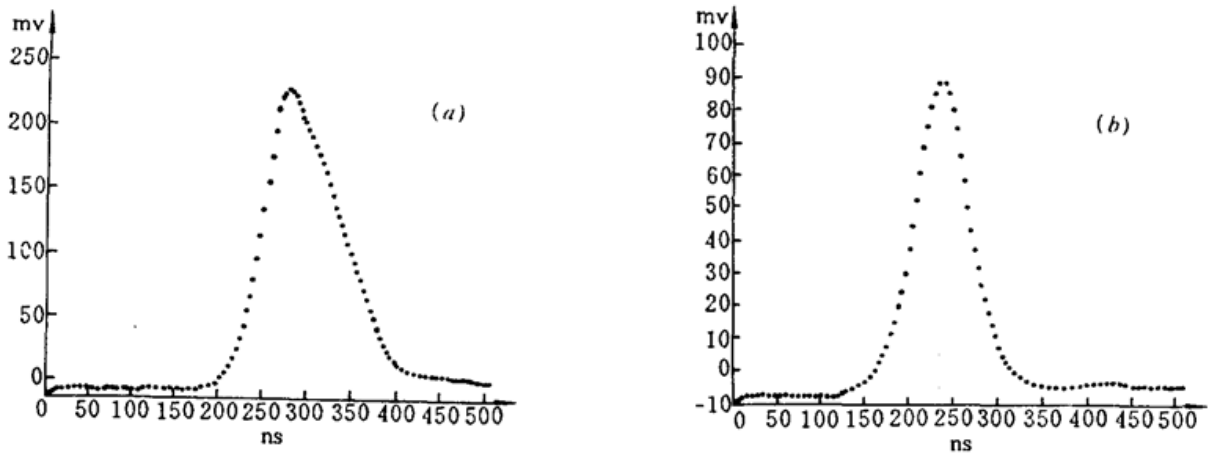


Fig. 3 Wave pattern of yellow laser pulse

(a) Only yellow oscillating laser is fed; (b) Green and yellow oscillating lasers are fed together

势。经过一段时间的积累,荧光相对增强并产生放大形成 ASE,所以出现小峰。而当黄绿光同时注入时,黄绿光上能级几乎被同时抽空,因而在激光余辉区不会有小峰形成。

(2) 从图 3 可看出,当黄光单独注入时,黄光脉冲宽度较宽,特别是下降沿较缓,且后余辉区荧光强度较强。

在激光脉冲的上升沿,黄绿光上能级粒子数都处于上升阶段,此时同时存在  ${}^2P_{1/2} \rightleftharpoons {}^2P_{3/2}$  的碰撞跃迁,因此图 3 (a) 和 (b) 的上升沿相差不多。而在下降沿阶段,由于  ${}^2P_{1/2}$  能级的粒子数急剧减少,  ${}^2P_{3/2} \rightarrow {}^2P_{1/2}$  的碰撞跃迁占绝对优势。由于它不断地为黄光上能级补充粒子,因而下降沿变缓,脉冲宽度也随之加宽。当振荡光脉冲结束后,碰撞跃迁到  ${}^2P_{1/2}$  上的粒子以自发辐射形式跃迁到黄光下能级,并发出波长为 578 nm 的荧光。

(3) 最后,再比较图 2 与图 3。从理论上讲,泵浦到黄绿光上能级上的粒子数之比为 5 : 9<sup>[6]</sup> 且  ${}^2P_{3/2}$  的自发辐射寿命几乎比  ${}^2P_{1/2}$  大一倍。因而在相同情况下  ${}^2P_{3/2} \rightarrow {}^2P_{1/2}$  的粒子数较多。当只有绿光注入时,碰撞跃迁比受激辐射弱得多,不足以影响激光脉冲波形。在激光余辉区,绿光荧光很弱,在 400~500 ns 处有小峰形成。当仅有黄光注入时,较多的粒子通过碰撞无辐射跃迁到  ${}^2P_{1/2}$ ,并足以影响激光脉冲形状,因此脉冲后沿明显变缓,且脉冲宽度变宽。激光脉冲结束,仍有较多的粒子无辐射跃迁到  ${}^2P_{1/2}$ ,并以较快的速度自发辐射到黄光下能级,因此在激光余辉区,黄光荧光较强并逐渐减弱,而没有小峰形成。

通过实验我们还发现,缓冲气压对该碰撞跃迁起着极其重要的作用。当气压仅为  $2.7 \sim 4.0 \times 10^3$  Pa 时,我们几乎观察不到这种现象。这是由于缓冲气体直接参与激光器内各种弛豫过程,而较高的缓冲气压增加了碰撞的几率,同时也就增加了碰撞跃迁的几率。

另外,对输出功率的测量也证实了上述碰撞跃迁的存在。当只有绿光或黄光注入时,绿光或黄光的能量比黄绿光同时注入时大 3~6%。

在本实验过程中,徐品芳研究员始终对本实验给与了很大帮助和支持,特此表示衷心的感谢。

### 参 考 文 献

- 1 应锡雄 *et al.*, 光学学报, 6(10), 870(1986)
- 2 L. A. Weaver *et al.*, *IEEE J. Quant. Elect.*, QE-10(2), 140(1974)
- 3 J. J. Kim, N. Sung, *Opt. Lett.*, 12, 885(1987)
- 4 R. R. Lewis *et al.*, *SPIE*, 1041, 54(1989)
- 5 R. Hollins, Dphil thesis, Oxford University, 1980
- 6 M. J. Kushner *et al.*, *J. Appl. Phys.*, 54(6), 2970(1983)