

脉冲放电金属蒸气激光的新进展*

方本民 姚志欣 潘佰良 陈钢 陈坤

(浙江大学物理系, 杭州 310027)

摘要 在研究传统的自终止跃迁和等离子体复合跃迁二类不同机制的脉冲放电金属蒸气激光器件的基础上, 获得了一系列新的进展; 对自终止跃迁激光的深入研究, 发现了一种新型激光, 并据此做出了新的分类。

关键词 脉冲放电, 金属蒸气, 新型激光

中图分类号 TN248.2⁺1 **文献标识码** A

The Recent Progress of Pulsed Discharge Laser in Metal Vapor

FANG Ben-min YAO Zhi-xin PAN Bai-liang CHEN Gang CHEN Kun

(Physics Department of Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract A Series of new development in pulsed discharge metal vapor laser are introduced, which are stimulated by two different mechanism, self-terminating transition and plasma recombination transition individually. A sort of metal vapor laser with new pattern has been discovered. On the basis of self-terminating transition laser, a new classification of pulsed discharge metal vapor lasers was suggested.

Key words pulsed discharge, metal vapor, new pattern of laser

1 引言

气体激光器件, 包括金属蒸气激光器件在内, 多数采用放电激励方式。一些器件既可以采用连续放电激励方式, 也可以采用脉冲放电放大方式。但是有二类熟知器件, 由于其本身的激光振荡机制的原因, 只能采用脉冲方式运转。以铯离子激光器所代表的等离子体复合跃迁类型, 只能采取脉冲方式运转, 是因为其激光仅仅产生于每次放电结束之后短暂的余辉期间^[1]。

我们最近的工作表明, 在一定的放电脉冲、缓冲气体压强和激光共振腔等组合条件下, 对铯、钙等碱土金属的一价离子介质, 有可能在同一个放电激励脉冲的前沿阶段和结束之后交替出现激光^[2], 为多波段可调谐激光提供了新的原型; 对铯、钙等碱土金属蒸气, 还有可能从共生的原子蒸气和离子蒸气这二种不同的工作介质中同时获得同一种类型但却是不同的激光振荡; 此外还首次采用溴化铯替代金属铯获得了铯蒸气激光。

一般说来, 自终止跃迁类型激光的关键仅仅因

为激光下能级相对于基态是亚稳(M)态, 并没有一定要求激光上能级相对于基态必须是共振(R)态。我们最近在铯蒸气中的脉冲放电实验结果表明, 当上能级相对于基态也是亚稳(M)态时, 也有可能获得激光脉冲, 对照 R - M 跃迁激光, 我们将其命名为 M - M 跃迁激光^[3]。对此稍作演绎推广, 自然可以设想是否存在 M - R 跃迁激光。

2 新的进展

2.1 二种不同类型激光的同时振荡

图1是以铯离子作为激光工作物质的铯蒸气的脉冲放电激光实验中, 用电流转换线圈和光电二极管同时接收并显示在示波器上的脉冲电流波形和二种不同类型的脉冲激光波形^[2]。中间的是电流脉冲, 电流峰值约 110 A, 脉冲宽度约 140 ns; 左面领先的是铯离子波长 1.03 μm /1.09 μm 的自终止跃迁激光脉冲, 位于电流脉冲的上升前沿, 特征宽度 (FWHM) 约 20 ns; 右面滞后的是铯离子波长 430.5 nm/416.2 nm 的复合跃迁激光脉冲, 位于电流脉冲完全结束之后的余辉阶段, 特征宽度 (FWHM) 约 170 ns。我们在钙蒸气的脉冲放电激光实验中得到

* 国家自然科学基金(19974037、10004008)资助课题。

了类似的结果^[4],目前正在钡蒸气中进行探索。

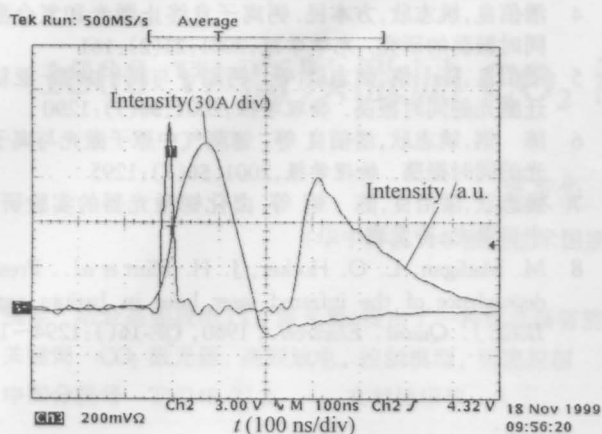


图1 在示波器上同时显示的1个电流脉冲和2个激光脉冲波形

Fig.1 The waveforms of one current pulse and two laser pulses displayed on the oscilloscope at the same time

2.2 二种不同工作物质的激光同时振荡

碱土金属中的钙或锶都比较容易挥发,在约600℃的环境中形成足够压强的蒸气,主要是原子状态,经过放电激励,其中有相当数量处于离子状态。对于钙或锶来说,无论原子状态还是离子状态,虽然都是相同的金属蒸气粒子,但严格说来,它们却是不同的激光工作物质。

图2给出的是钙原子和钙离子的能级图和相关的激光跃迁,注意钙离子的基态是钙原子的电离态。我们最近的实验分别获得了钙原子的5.54μm波长激光和钙离子的854.2nm/866.2nm波长激光同时振荡^[5],以及锶原子的6.45μm波长激光和锶离子的1.03μm/1.09μm波长激光的同时振荡^[6]。

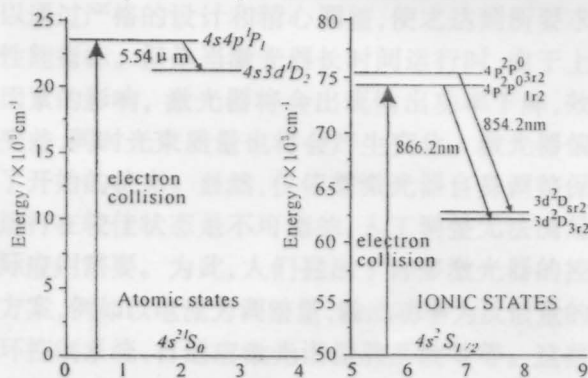


图2 钙原子和钙离子的相关能级和激光跃迁示意图

Fig.2 Energy level diagram of Ca and Ca⁺ laser transitions

2.3 溴化锶激光

我们借鉴溴化亚铜替代金属铜作为铜激光器原材料的经验,尝试采用溴化锶替代金属锶作为锶激光器原材料。然而具体的实验表明,它们之间的差

异是很大的。首先,运转温度不是降低了,而是升高了;其次,在将溴化锶分解为游离态的溴和锶后,还要进一步将锶原子电离才能产生锶离子激光,其反应动力学要复杂许多。我们首次利用溴化锶实现了锶激光振荡。获得了包括波长6.45μm的锶原子自终止激光,波长1.03μm/1.09μm的锶离子自终止激光和波长416.2nm/430.5nm的锶离子复合激光等多组激光振荡,最大激光平均功率达到50mW,激光放电管已经累计运转数十小时没有损坏的迹象^[7]。

3 三能级金属蒸气激光系统的新分类

我们在锶蒸气中的脉冲放电实验中获得了一组新的激光谱线,其相应的能级组态如图3所示。图中标示的是4条证实为激光振荡谱线的波长,分别是2.92μm,3.01μm,2.69μm和2.60μm。除了3.01μm激光外,其他均未见过报道,其激光平均功率合计约10mW^[3]。其激光下能级5p³P_{2,1,0}组态为自旋三重态,与自旋单态的基态5s¹S₀属于不同的自旋组态,自发跃迁禁戒,特别是其中的³P_{2,0}相对于¹S₀由于J-J跃迁选择定则属于强禁戒,整个5p³P_{2,1,0}组态都可以认为是亚稳态;而其激光上能级4d³D_{3,2,1}组态相对于基态5s¹S₀更是严格意义上的亚稳态;对照先前的R-M跃迁新类型的激光,我们将其命名为M-M跃迁激光^[3]。

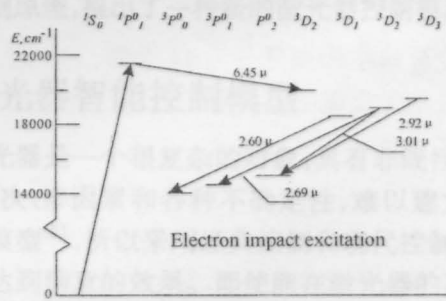


图3 锶原子相关能级和激光跃迁

Fig.3 Energy level diagram of strontium laser transitions

在钡的亚稳态原子能级的5d³D_{3,2,1}组态与6p³P_{2,1,0}组态之间的多谱线跃迁中,实现过4条谱线的激光振荡^[8],符合我们关于M-M跃迁激光的定义。

推而广之,因为无论是激光的上能级还是激光的下能级,必定都是激发态;用电偶极光学跃迁选择定则为根据,以其相对基态的自发跃迁行为作判断,可知其要么是光学跃迁允许的共振态,要么是激光

跃迁禁戒的亚稳态。因此对三能级激光系统就一般情况而言,按照激光上下能级与基态的跃迁关系,可以分为4种类型,即 R-M 跃迁激光。

参 考 文 献

- 1 姚志欣,潘佰良,王军营等. 放电激励的铯离子激光器. 中国激光,1996, A23(7):600
- 2 方本民,姚志欣,潘佰良等. 碱土金属蒸气中两种不同机理的高重复率脉冲激光交替振荡现象. 物理学报,2000, 49(8):1652
- 3 姚志欣,潘佰良,陈 钢等. 铯蒸气 M-M 跃迁激光. 物

理学报,2001, 50(6):1070

- 4 潘佰良,姚志欣,方本民. 钙离子自终止激光和复合激光同时振荡的研究. 光学学报,2001,21(2):161
- 5 潘佰良,陈 钢,姚志欣等. 钙原子与离子共振-亚稳跃迁激光的同时振荡. 物理学报,2001,50(7):1290
- 6 陈 钢,姚志欣,潘佰良等. 铯蒸气中原子激光与离子激光的同时振荡. 物理学报,2001,50(7):1295
- 7 姚志欣,潘佰良,陈 钢等. 卤化铯激光器的实验研究. 中国激光,待发表
- 8 M. Madigan, L. O. Hocker, J. H. Flint *et al.*. Pressure dependence of the infrared laser lines in barium vapor. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1980, QE-16():1294~1296