

铜蒸气激光振荡器与放大器中的黄绿光脉冲 及其对 R6G 染料激光输出效率的影响

梁培辉 任虹 孙晓翔 王志英

(中国科学院上海光机所)

摘要: 本文从实验上研究了铜蒸气激光振荡器从振荡到稳定输出过程中黄光脉冲(578.2nm)与绿光脉冲(510.6nm)的强度变化、振荡放大系统中触发延时对放大器两种激光脉冲的强度和相对延迟的作用,并指出 R6G 染料激光的输出效率不但与泵浦光-铜蒸气激光的黄绿光强度比的大小有关,并且还与这两种光脉冲的相对延迟的大小有明显关系。

Green and yellow pulses of copper vapor laser oscillator/amplifier and their influence on output of R6G dye laser

Liang Peihui, Ren Hong, Sun Xiaoxiang, Wang Zhiying

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

Abstract: This paper experimentally shows that (1) the intensity evolution of green (510.6 nm) and yellow (578.2 nm) pulses of a copper vapor laser oscillator from lasing to steady operation, (2) the effect of switching delay time in an oscillator/amplifier system on the amplitudes and the relative delay between both pulses. It is demonstrated that for a R6G dye laser, the conversion efficiency not only depends on the intensity ratio, but also on the relative delay of the green and yellow pulses.

铜蒸气激光器输出波长为 578.2nm 和 510.6nm 的黄绿色脉冲激光。由于容易获得高的平均功率,故用它来泵浦染料激光器以产生高功率的波长可调谐激光束,已经成为一种有效的实验方法,应用于激光分离同位素和激光共振电离质谱术等工作中。

若丹明 6G(R6G)是一种常用的转换效率高的激光染料,用于 520.0nm 到 600.0nm 波段范围。510.6nm 的绿光很适合作为 R6G 的激发光源,但是处于激发态的 R6G 也能对

578.2nm 光起放大作用,因此在黄绿光双波长激励下,绿光起激发作用,黄光则起消激发作用,而且所形成的被放大的黄光还会成为有害的背景辐射。

正常条件下,黄光的强度约为绿光的一半左右。因为相应的两种辐射的上下能级各自独立,而且介质的增益都很高,因此铜蒸气激光振荡器即使选用绿光高反射、黄光低反射的介质膜作谐振腔,也难以获得纯绿光输

收稿日期: 1987年3月16日。

出。由于两种波长相差只有 67.6 nm, 就目前的工艺水平来说, 要制造出绿光全反射、黄光全透过的介质膜还是十分困难的。故可行的途径是将振荡器输出的双色光束通过色散元件使之分开, 选出绿色光束再行放大^[1]。这样一来, 不可避免地使光路加长, 损耗加大。

因此, 定量地研究铜蒸气激光振荡器与放大器中, 578.2 nm 脉冲与 510.6 nm 脉冲的强度与峰值出现时间, 以及它们对 R6G 染料激光输出功率的影响是很有必要的。

实验用的铜蒸气激光器是自加热式, 放电管内径 $\phi 27$ mm, 电极间距离 900 mm, 重复率为 6 kHz, 激光脉冲宽度 20~30 ns。使用氩作缓冲气体。谐振腔是平行平面型稳定腔, 镀铝镜作全反射面。输出光束经光栅分光后, 黄光与绿光分别馈入激光功率计 (SD 2490 型), 每个功率计输出模拟信号, 用函数记录仪记录光束强度的时间发展过程, 从而得到黄光与绿光从开始振荡到稳定输出的动态过程, 结果表明, 这个过程约需 40 分钟。

定义两种激光强度之比为 η , $\eta = I_g / I_y$, 其中 I_g 表示 510.6 nm 的光强, I_y 为 578.2 nm 的光强。从实验结果可以看到 (见图 1),

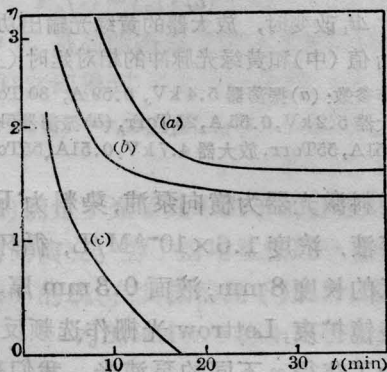


图 1 不同工作条件下 η 值 (I_g/I_y) 的时间特性

参数分别为: (a) 5kV, 0.56 A, 40 Torr;
(b) 5.6 kV, 0.6 A, 40 Torr;
(c) 6 kV, 0.62 A, 130 Torr

在激光操作过程中, η 单调下降至一个稳定值, 该值与工作条件有关。这一过程反映了激光管内的温度关系。从而也即表现了工作气体电子温度的变化关系^[2]。

在我们以前的工作^[1]中已经指出, 铜蒸气激光器介质中黄光与绿光的增益-时间特性并不完全一样, 并且大多数情况下, 其分布曲线呈非对称状。因此不难想象, 在一个铜蒸气振荡放大系统中, 当振荡器与放大器的延时改变时, 经放大器输出的黄光与绿光, 在幅度和脉冲出现的时间先后关系上, 都会受到延时量的影响。实验证实这一论断的正确性。

采用如 [1] 所介绍的铜蒸气激光振荡放大系统, 在光路上插入光学分光和色散元件, 使振荡器和放大器输出的黄光与绿光在时间上和空间上分开, 然后将振荡器的与放大器的绿光照到一只硅光电二极管上, 将振荡器的与放大器的黄光照到另一只硅光电二极管上, 用前者的光电信号触发并显示于双线示波器的 A 路上, 而令后者的光电信号显示于示波器的 B 路上。改变振荡器与放大器之间的触发延时 Δt_i , 我们可以得到不同的示波器描述, 图 2 是其中的三幅照片。上方的描述是绿光信号, 左为振荡器脉冲, 随后的是放大器脉冲。下方的描述是黄光信号, 顺序相同。通过类似照片, 我们可以测量出对应于不同的 Δt_i 时放大器输出的激光束中黄光脉冲对绿光脉冲的延时 Δt 。

在改变 Δt_i 时, 我们用两台功率计分别记录黄光与绿光的输出功率幅度, 就可以得出绿光与黄光的强度比 η 与 Δt_i 的函数关系。连同上述的示波器描述得到的 Δt 与 Δt_i 的关系, 我们便可以全面地了解振荡放大系统中黄绿光脉冲与振荡放大器延时的特性。显然, 这些特性与铜激光器的工作参数有关。图

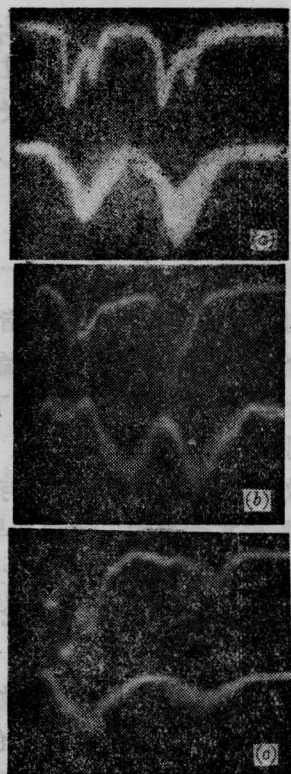


图2 铜蒸气振荡放大系统中,黄绿光脉冲与振荡放大系统的触发延时 Δt_s 的关系
示波器带宽 350 MHz, 扫描速度每大格 20 ns
(a)、(b)、(c)的 Δt_s 分别为 0、40 ns、-30 ns

4 给出两种工作参数条件下的实验结果。

和 [1] 的规定一样,我们定义放大器增益最大时的 Δt_s 为零。从图 3 可以看到, $|\Delta t_s|$ 增加时,黄光脉冲更落后于绿光,但 η 的变化则与激光器的工作参数有关。

通过这个实验我们还可以得出一种变更 η 的办法,即改变振荡放大系统的 Δt_s 。这种变 η 的方法的优点是方便迅速。

三

本文的开始部分已经说过,铜蒸气激光的黄光脉冲波长 578.2 nm 落在染料 R6G 的荧光带中,因此用铜蒸气激光泵浦 R6G 染料激光器时,泵浦脉冲的黄光成份会消耗染料的增益从而导致染料激光输出效率的降低。为了定量测定这种效应的大小,我们做了如下的实验。

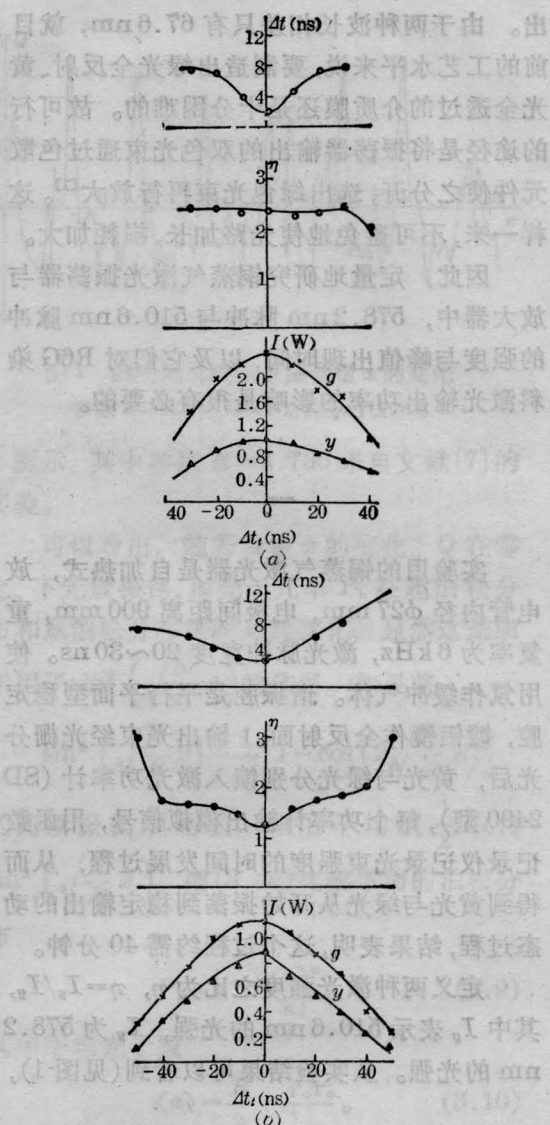


图3 Δt_s 改变时,放大器的黄绿光输出功率(下) η 值(中)和黄绿光脉冲的相对延时(上)
工作参数:(a)振荡器 5.4 kV, 0.59 A, 30 Torr, 放大器 5.2 kV, 0.55 A, 25 Torr, (b)振荡器 5 kV, 0.51 A, 55 Torr, 放大器 4.7 kV, 0.51 A, 55 Torr

染料激光器为横向泵浦,染料为 R6G 的酒精溶液,浓度 1.6×10^{-4} M/L, 循环流动,激活区的长度 8 mm,液面 0.3 mm 厚。腔内四个棱镜扩束, Lettrow 光栅作选频反射。

为了获得 η 不同的泵浦光,我们采用两种方式:一种是选用不同的介质膜作光路上的反射镜,两种介质膜对黄绿光的反射特性

(下转第 491 页)

以下设想。

1. 采用碱金属原子束(如 Cs, Rb等)作为工作物质。这是因为碱金属原子谱线数据比较丰富, 而利用原子束可以消除多普勒效应。从技术上讲, 碱金属原子束的产生和控制技术已经比较成熟。

2. 利用 Rydberg 态的跃迁获得单模场。这是因为: 第一, Rydberg 原子的偶极矩矩阵元非常大, 原子与场的相互作用很强; 第二, 相邻能级的跃迁如 $ns \rightarrow (n-1)P$ 处在毫米波甚至微波范围, 这就允许谐振腔可以做足够长以提供相当长的相互作用时间 τ ; 第三, Rydberg 原子的自发辐射寿命 τ_A 比较长, 这就允许 τ 可以比较大。因为高能态原子与场的相互作用时间受到 τ_A 的限制, 即 $\tau \ll \tau_A$; 第四, 可以从实验上获得非常小的高能态原子注入速率 r_a (与通常的 r_a 相比较), 允许产生反聚束效应的泵浦参量 x 可以在若干个较宽的区域内调节, 容易满足实验参数匹

配条件。

3. 直接测量毫米波或微波的光子统计是很困难的, 但可以在谐振腔后面安置场——离子探测设备(或用其他方法), 探测从腔中出射的原子, 从中可能获得光子统计的信息。

感谢张纪岳教授的指导及邵成辉先生的帮助。

参 考 文 献

- 1 Sargent M III *et al.* 激光物理学, 北京: 科学出版社, 1982: 337~350
- 2 顾樵. in "Second International Conference, Trends in Quantum Electronics", ed. Bochum S M, European Physical Society, 1985: 359
- 3 Louisell W H. 辐射的量子统计性质, 北京: 科学出版社, 1982: 380
- 4 Jaynes E T *et al.* *Proc. IEEE*, 1963; **51** (1): 89
- 5 Loudon R. "The quantum theory of light", Clarendon Press, Oxford, 1978: 248
- 6 顾樵. 中国激光, 1986; **13**(2): 119
- 7 Meschede D *et al.* *Phys. Rev. Lett.*, 1985; **54**(6): 551

(上接第 472 页)

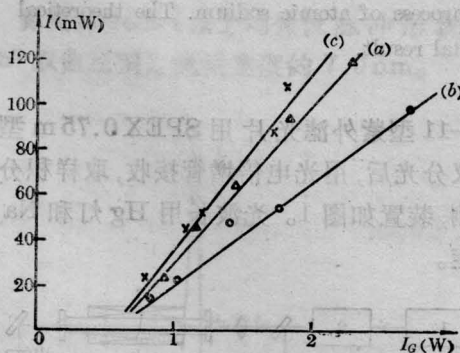


图 4 η 值不同时染料激光输出功率与泵浦绿光功率的关系
(对应于(a)、(b)、(c) η 值分别为 2.5、1.7、1.2)

不同, 从而获得黄绿光比例不同的光束; 另一种方式是前面介绍的改变 Δt_i 。

染料激光波长为 575.5 nm, 我们对三种不同的 η 的泵浦光作了染料激光器的输入绿光功率与输出功率的特性曲线, 结果示于图 4。其中(a)、(b)曲线对应前一种变 η 方式,

此时放大器处于最佳延时。(c)曲线对应于后一种变 η 方式, 此时 Δt_i 较大。

比较(a)、(b)两种情况, 非常明显, $\eta=2.5$ 情况下染料激光的输出功率约比 $\eta=1.7$ 情况下的高 50%, 因为 η 越小, 泵浦光里混的黄光越多, 对染料的增益的损耗越大, 结果染料激光输出越小。

但是, 在(c)的情况下, $\eta=1.2$, 可是染料激光的效率反而比 $\eta=2.5$ 的更高, 原因在于: 虽然泵浦光里含的黄光多了, 但是由于 Δt_i 改变而造成黄光脉冲显著落后于绿光脉冲(当 $\Delta t_i \sim 8$ ns), 当黄光脉冲注入到染料池时, 染料激光已有很强输出, 故黄光对染料反转布居数的消耗作用明显减小。

参 考 文 献

- 1 梁培辉 *et al.* 中国激光, 1987; **14**: 45
- 2 应锡雄 *et al.* 光学学报, 1986; **6**: 870