

铜蒸气激光器加宽放大及双程放大的输出特性

任虹 沈琪敏 沈敏政 梁培辉

(中国科学院上海光机所)

提要: 在铜蒸气激光器振荡-放大系统中采用加宽脉宽放大以及双程放大技术, 其输出功率能比未加宽时行波放大的输出功率分别提高7%和8%, 铜蒸气激光放大器的输出光波形相对于输入光波形的抖动量为 $\pm 4.0\text{ ns}$, 而两台振荡器之间光波形的抖动量为 $\pm 9.0\text{ ns}$ 。

关键词: 铜蒸气激光器, 放大器, 同步

Amplification with stretched input and double-pass amplification in copper vapor lasers

Ren Hong, Sheng Qimin, Wo Minzheng, Liang Peihui

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

Abstract: We adopted amplification with stretched input and double-pass amplification in the oscillation-amplification system of copper vapor lasers. The output power of them was 7% and 8% higher than that of the travelling wave amplifier respectively. The experimental results showed that the time jitter between the output wave form and the input wave form of the amplifier was $\pm 4.0\text{ ns}$, while the time jitter between the two oscillators was $\pm 9.0\text{ ns}$.

Key words: Copper vapor laser, amplifier, synchronism.

一、引言

为了提高铜蒸气激光的输出功率, 并改善其方向性, 采用非稳腔振荡行波放大输出的激光系统可以比单台振荡器提高输出功率15%以上, 而且还能通过改变振荡器非稳腔的倍率, 使放大后的输出光接近衍射极限^[1~3]。M. Amit 等人在实验中发现加宽输入光脉冲宽度有利于提高放大器的输出功率^[4], 对此我们进行了仔细的实验研究, 指出加宽输入光脉宽是为了在较宽的时间范围内抑制放大的自发辐射, 使更多的反转粒子数转化为激光输出。其次我们在铜蒸气激光器中首次采用双程放大技术, 以增加激活区域的有效长度, 充分提取空间体积内的反转粒子数。并将两台振荡器之间与振荡放大器之间的波形抖动进行了比较, 以便提高多路激光系统的同步精度。

二、实验装置与实验条件

实验采用两台结构相同的自加热式纯铜激光器，放电管内径 $D=2.6\text{cm}$ ，电极间距为 89.0cm ，充 Ne 气作为缓冲气体，气压在 $20\sim 50\text{Torr}$ 之间。振荡器采用倍率 $M=10$ 的望远镜式非稳腔，用中心有 $\phi 6\text{mm}$ 小孔的 45° 全反射平板作输出耦合镜。

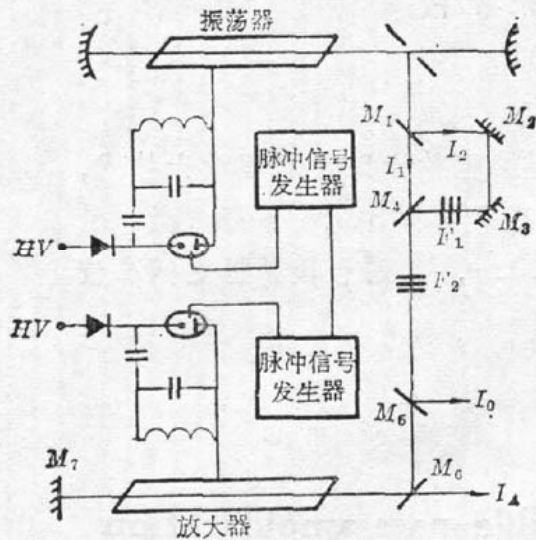


图1 实验装置示意图

实验装置如图1所示， M_1 是反射率为 23% 的镀膜平板， M_2 、 M_3 、 M_7 都是全反平板， M_4 为半透半反平板， M_5 、 M_6 都是平板玻璃， F_1 、 F_2 是滤光片， F_1 可保证 I_1 与 I_2 通过 M_4 后光强相等， F_2 可保证 I_1 和 I_2 合成后的光强与 I_1 单独通过 M_4 后的光强相等。

实验采用转移式放电线路激励，充电电容为 5000pf ，锐化电容为 1000pf ，重复频率为 6kHz ，工作电压范围 $5\sim 6\text{kV}$ ，相应的平均电流为 $0.45\sim 0.70\text{A}$ 。闸流管为国产 4050 A 型。用振荡器的脉冲信号作为放大器脉冲信号的外触发信号，这样调节 XC-46 型的脉冲信号的发生器的延时就能使振荡器与放大器之间保持同步。使用 SD 2490 型数字式功率计测量绝对功率，用快响应光电二极管 (PIN) 作接收器，由 100 MC 通用示波器观察激光波形。

实验装置如图1所示， M_1 是反射率为 23% 的镀膜

三、加宽输入光脉宽后的行波放大

由于铜蒸气激光器是高增益激光器，通常采用高损耗的谐振腔耦合输出，因此振荡器的阈值较高，输出光的脉宽也较窄，测量结果表明振荡器的输出光脉宽约为 $20\sim 30\text{ns}$ ，而放大的自发辐射的脉宽约为 $30\sim 40\text{ns}$ ，故增加输入光脉宽就能在更宽的时间范围内抑制放大的自发辐射，从而使更多的反转粒子数转化为激光输出。为此采用如图1所示的实验装置，移去全反镜 M_7 即构成行波放大，通过改变 I_1 与 I_2 之间的光程，就可得到不同合成脉宽的输入光。实验在

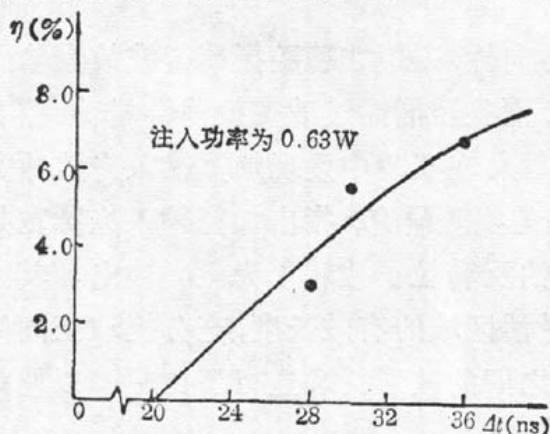


图2 脉宽与效率的关系

P_1 、 P_2 分别是未加宽与加宽后的行波放大功率

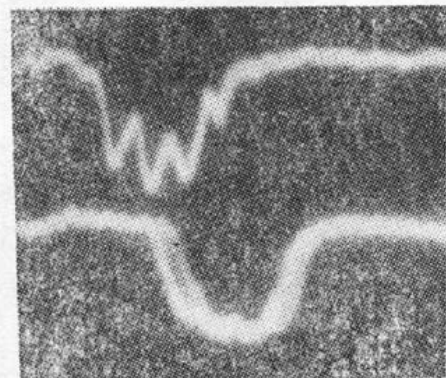


图3 输入光(上)与放大光(下)的波形

横坐标 20ns/div

最佳延时下进行,输入功率为 630 mW,此时放大器已处于饱和状态^[5],实验结果如图 2 所示。当输入光脉宽从 20 ns 增加到 36 ns 时,输出功率由 3.51 W 提高到 3.75 W,效率 η ($\eta = (P_2 - P_1)/P_1$) 提高了 6.8%。由图 2 可见,随着输入光脉宽的再增加,输出功率还能进一步提高,但已有饱和的趋势。

图 3 是脉宽增加到 36 ns 时输入光(上)与放大光(下)的波形,图中放大光波形比输入光波形光滑,这是因为此时输入光功率(630 mW)远大于放大器达到饱和输出时的输入光功率(约 220 mW),因此在输入光脉冲峰值 1/3 以上的激光波形都将得到饱和放大。

四、双程放大

由于铜蒸气激光增益高,所以我们在铜蒸气激光器中采用双程放大技术,以增加有效激活区域的长度,充分提取空间体积内的反转粒子数。图 1 中挡去 I_2 光后,首先测量了双程放大与行波放大的输出功率随输入功率变化的关系曲线(图 4)。显而易见,双程放大的优点除了输出功率比行波放大提高 8% 外,还大大降低了对输入光功率的要求,以达到饱和输出功率的 95% 计算,行波放大的输入光功率需要 250 mW,而双程放大的输入光功率只需 35 mW,减小了 7 倍。

实验中还发现达到最佳延时时,双程放大的输入光要比行波放大的输入光提前 3~4 ns,这正好与激光器的长度 1.5 m 相对应,由此得知,输入光先经过一程预放大,然后再经过一程功率放大,因此大大降低了对输入光功率的要求,同时充分提取了空间体积内的反转粒子数。

图 5 表明双程放大光的脉宽与输入光的脉宽基本相等,而且波形的形状也相似,呈小尖峰状。但通过比较三个小尖峰的放大倍率,可以发现在双程放大中光波形的前沿和中部的放大倍率略大于后沿的放大倍率。这是由于当后沿进入激活区域时,前一部分的光已第二次通过激活区域,二者同时竞争反转粒子数的缘故。另外,因为输入光的功率只有几十 mW,第一程为预放大,脉冲的峰尖和峰谷几乎得到相同的放大倍率。由于输入光各尖峰的间隔恰好等于 $2L/c \approx 13$ ns, L 为振荡器的腔长,因此当第一个峰谷第一次进入放大器的激活区域时,正好是第一个峰尖第二次进入激活区域,而第一个峰谷第二次进入激活区域时,正好是第二个

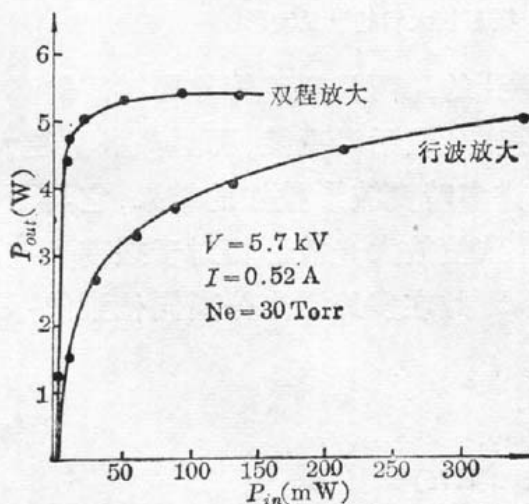


图 4 行波放大和双程放大的输出功率随注入光功率变化的关系曲线

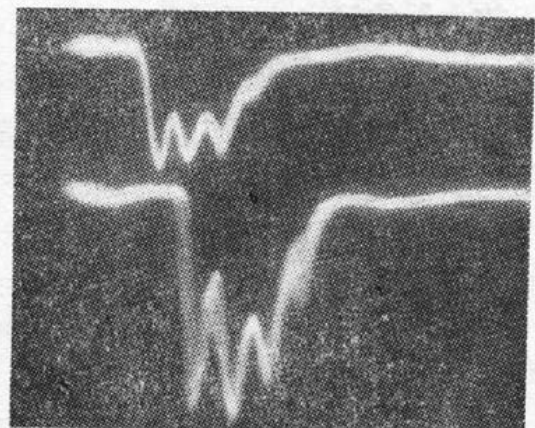


图 5 输入光波形(上)与双程放大光波形(下) (20 ns/div)

峰尖第一次进入激活区域,二者竞争反转粒子数,结果使脉冲波形调制深度反而加深了。

最后测量了双程放大输出光的方向性,其发散角与输入光的发散角相同为 1.2mrad (以输出功率的 80% 计算)。

五、放大光波形相对于振荡光波形的抖动

铜蒸气激光器都采用高重复频率的闸流管放电,通常放电时间存在一定的离散量。对于振荡器来说,这种离散仅影响出光时间的先后,并不影响激光功率的大小,但作为放大器,这种离散不仅会给脉冲波形带来一定的畸变量,而且会使激光功率在最大值附近起伏。

在激光分离同位素技术中,多路激光有各种组合方式,如用同一信号源,各自独立振荡;或用一台作为振荡器,其余并联放大。我们比较了上述二种组合方式的同步精度。图 6 是在示波器上描下的激光波形,示波器采用 A 触发 B 模式工作,图 6(a) 中前一个波形是原振荡器的输出波形,后一个是放大器改为平行平面腔振荡的输出波形。图 6(b) 分别是振荡器与放大器的输出光波形。由于脉冲重复率为 6kHz ,因此在示波器上看到的是上千次脉冲波形的迭加。在图 6 中前一个脉冲波形清晰,说明在短时间内激光脉冲的再现性很好,这是由于示波器的触发方式使头一个脉冲波形被“固定”在开始的位置。实际上每台激光器的闸流管的导通时间都有一定的离散量,因此我们在图 6(a) 中看到第二个波形的抖动量事实上是两只闸流管导通时间的抖动之和。从图 6(a) 中测出第二个波形相对于第一个波形的抖动量为 $\pm 9.0\text{ns}$,由此可知每只闸流管导通时间的平均离散量为 $\pm 4.5\text{ns}$ 。从图 6(b) 中测出第二个波形相对于第一个波形的抖动量只有 $\pm 4.0\text{ns}$ 。

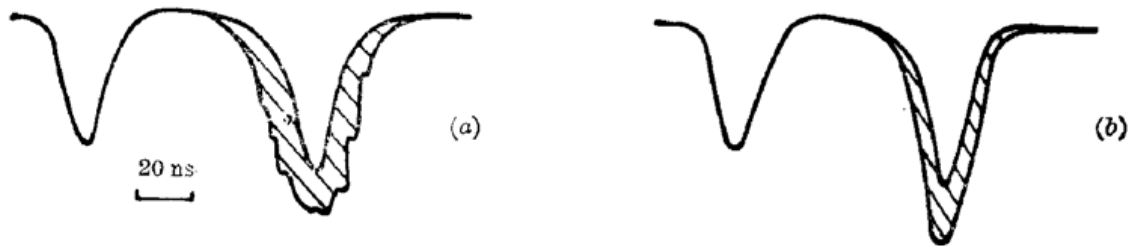


图 6

(a) 为两台振荡器的激光波形; (b) 为振荡放大器的激光波形

由于放大器的输出光正是输入光通过放大器后得到的,两只闸流管导通时间的离散量仅使输入光处于最佳延时的前后,引起波形畸变,或前沿变陡或后沿变陡,而且离散量越大,波形的峰值变化也越大。由此可知,放大光波形的抖动是许多畸变波形叠加的结果,它与两台振荡器之间的波形抖动(平移后叠加)性质是完全不同的。致使放大光波形相对于振荡光波形的抖动量比两台振荡器之间波形的抖动量要小一半以上。因此在多路激光分离同位素的技术中,采用振荡-放大系统对提高分离效率是有利的。

参 考 文 献

- 1 R. S. Anderson *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, QE-11(9), 560(1975)
- 2 V. P. Belyaer *et al.*, *Sov. J. Quant. Electr.*, QE-15(1), 40(1985)
- 3 梁培辉 *et al.*, *中国激光*, 14(1), 45(1987)
- 4 M. Amit *et al.*, *Opt. Commun.*, 62(2), 10(1987)
- 5 梁培辉 *et al.*, *中国激光*, 14(6), 355(1987)