

注入锁定改善大口径稳定腔 CuBr 激光器的输出特性*

耿纪宏 张桂燕 宋秀冬 林福成

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘 要 报道了在稳定腔中采用注入锁定技术, 将自锁模 CuBr 激光脉冲成功地进行了注入锁定放大, 得到了高平均功率的锁模铜激光脉冲; 并且通过这种注入锁定, 首次在稳定腔中得到了在 20 mm 光斑内空间高度相干的高功率铜激光辐射。

关键词 注入锁定, 自锁模, 空间相干性, CuBr 激光器。

铜蒸汽激光器, 包括卤化铜激光器, 是一类常见的高增益激光器。由于高增益的特点, 这类激光器输出的激光特性很不理想, 例如多横模振荡, 使激光的空间相干性非常差^[1]。而在许多实际应用中, 人们对铜蒸汽激光器输出的光束质量却提出了各种各样的要求, 如全息实验需要高度相干的铜蒸汽激光束^[2]。注入锁定技术是一种获得高质量、高功率激光输出的简单却又高度可靠和有效的方法。这种技术已经被广泛应用于各种固体、染料和气体激光系统中。国内外也曾有将注入锁定技术应用到铜蒸汽激光器系统的报道^[3~5]。本文报道用注入锁定的方法, 首次在大口径稳定腔 CuBr 激光器中演示了自锁模激光脉冲的注入锁定放大, 并得到了空间高度相干的高功率铜激光辐射。

1 实验装置

实验装置如图 1 所示。整个系统包括两台 CuBr 激光器, 其中小尺寸的激光器作为主振

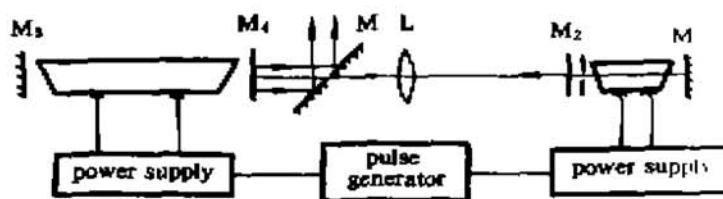


Fig. 1 Schematic diagram of the injection locking experiment

荡器, 其放电管总长为 48 cm, 内径为 3cm; 另一台大尺寸的激光器为被注入的放大器, 总长为 100 cm, 内径也是 3 cm。由主振荡器产生的种子激光, 在放大器中实现注入锁定, 从而得到功率放大。

两台激光器由两个独立的电源作为泵浦源。由一台脉冲发生器产生两个相对延

* 国家自然科学基金资助课题。

收稿日期: 1995年3月16日; 收到修改稿日期: 1995年4月13日

迟时间可调的电脉冲信号, 分别触发两台放电电源。放电重复频率为 16 kHz。主振荡器的谐振腔由 M_1 和 M_2 组成稳定腔。被注入激光器由曲率半径为 4 m 的凹面镜 M_3 和平板玻璃 M_4 也组成稳定腔。平面全反镜 M 是输出耦合镜, 它的中心有一个 4 mm 的小孔, 以确保种子激光穿过该镜注入到被注入激光器中。透镜 L 对种子激光进行扩束, 其焦点与球面镜 M_3 的焦点重合, 使种子光束在被注入激光器中经 M_3 反射后变成平行光, 从而有效地在被注入激光器中提取能量。为了避免两台激光器中其它的激光寄生振荡, 两台激光器的位置相距 3 m 以上。

2 自锁模脉冲的注入锁定

在通常的自由运转状态下铜激光的脉冲宽度为几十纳秒, 要想获得更短的铜激光脉冲相当困难。通过控制激光振荡的横模, 作者在 CuBr 激光器中得到了一种高度稳定完全调制的自锁激光脉冲^[6~8], 但其输出功率受到极大限制, 只有几个毫瓦。本文采用注入锁定方法获得了高功率的自锁模激光脉冲

对于主振荡器, 在腔内加一个适当口径的光阑, 立刻就可以得绿光和黄光的自锁模脉冲, 如图 2 所示。当种子脉冲在被注入激光器的增益建立阶段注入到其中时, 注入锁定便可发生。图 3 显示的就是种子激光(上面曲线)和注入锁定后输出激光(下面曲线)的时间波形, 其中两个脉冲的相对时间在照片中没有给出。可以看出, 注入锁定后的激光脉冲也显示出强烈的调制, 并且调制频率同种子脉冲的频率相同。

对于成功的注入锁定, 两台激光器被触发的相对延迟是相当重要的, 因为种子脉冲的注入必须正好处于被注入激光器增益建立阶段, 并且其强度要超过自发辐射, 这样才能以注入脉冲的模式激励被注入激光器。实验表明, 当主振荡器触发、而被注入激光器的延迟时间在 30 ns~120 ns 的范围内, 注入锁定行为始终可以发生, 但在这个延迟范围的两端, 注入锁定脉冲的调制度变得很差。最佳延迟位置是 70 ns 附近。超出上述延迟范围, 注入锁定则不能发生, 如图 4 所示。

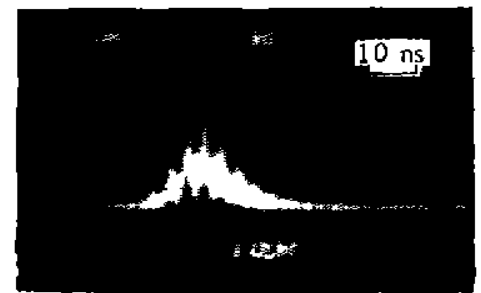


Fig. 2 Real-time trace injected train of complete modulation self-mode locked pulses of the green laser from the master CuBr laser with an aperture inside the master cavity



Fig. 3 Oscilloscope traces of injection mode-locking (green laser line). (a) Real-time trace of the temporal waveforms of the injection locked slave laser (bottom) and the injected seed laser (top). (b) Single-shot trace of the temporal waveform of the injection mode-locked pulses.

实验表明, 被注入激光器在锁定和未锁定两种状态下, 输出功率几乎完全一样。图 5 为注入锁定后的激光功率随放电功率密度的依赖关系。随着功率的提高, 注入锁定脉冲的调制度逐渐降低。实验还表明, 种子脉冲的功率变化对注入锁定激光输出功率没有影响, 但是种子脉冲强度太弱时, 注入锁定脉冲的调制度将下降。

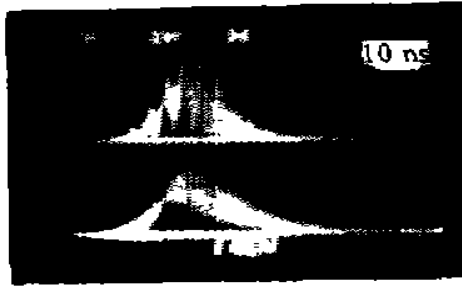


Fig. 4 The injection locking fails when the relative timing of the master laser (top) and the slave (bottom) is beyond the above delay range. The relative timing of the two pulses of the green laser line is not presented in the photography

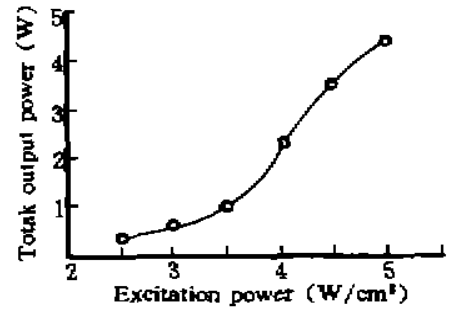


Fig. 5 The injection locking average power of the slave laser as a function of the discharging excitation power

3 稳定腔中空间相干的大光斑光束

高增益的铜蒸汽激光器的光束质量很差，即使在非稳腔的情况下，输出激光的平均空间相干宽度也不到 5 mm^[9,10]，稳定腔中输出激光的空间相干宽度则更小。采用注入锁定方法，在两个稳定腔的 CuBr 激光器中，可以得到高功率大光斑、空间高度相干的铜激光辐射。

注入锁定仍然采用图 1 所示的装置。空间相干宽度的测量则采用反转剪切干涉仪^[9-11]，如图 6 所示。由图 1 中平面全反镜 M 输出的激光通过图 6 中分束镜 BS₁ 进入干涉仪，干涉仪的两臂光程相等。二束光在干涉仪中因反射的次数不相等，在分束镜 BS₂ 处合并时，激光波面实现了反转剪切。从 BS₂ 输出的光斑，有干涉条纹存在的区域即为光束的空间相干宽度。

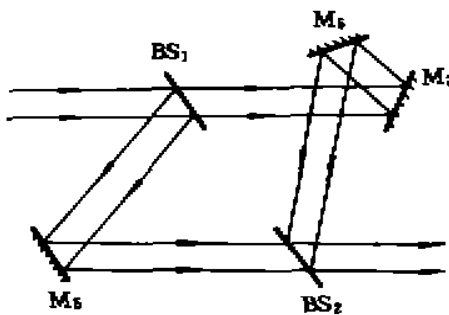


Fig. 6 The reversal shear interferometer 心处直径为 4 mm 的小孔。可以看出干涉条纹布满整个光斑，空间相干宽度达到 20 mm(光斑直径)。需要指出的是，照片的曝光时间为 0.125 s，包含着 2000 个激光脉冲。因此，不仅每个脉冲时间内激光光束是空间相干的，而且几千个脉冲的重复性非常好，这说明每个种子激光都能很好地被注入锁定。

事实上，即使主振荡器腔内不加小孔，让它处于多横模振荡状态，只要扩束透镜 L 仍在光路中，放大器输出的仍然是空间相干的激光。因为此时主振荡器激光束的空间相干宽度为 1 mm 左右，扩束透镜 L 只把 1 mm 范围内的相干激光发散并有效地注入到内径为 3 cm 的放大器中。如果改用长焦距透镜进行扩束，则由于相干的种子激光不能充分扩束并完全覆盖放大器的增益区，那么锁定后输出激光的空间相干宽度就要降低，因为光斑边缘部分不能很好地被相干光锁定住。当两台激光器的相对延迟超出了能发生注入锁定的时间范围时，注入锁定失败，这时被注入激光器输出激光的空间相干宽度只有 0.6 mm，如图 7(b)所示。当停止

种子激光的注入时, 放大器输出激光的相干性与锁定失败的情况完全一样。

结 论 注入锁定技术是获得高功率、高质量激光辐射的有效途径。利用注入锁定技术, 成功地实现了自锁模 CuBr 激光脉冲的注入锁定放大。在高增益 CuBr 激光器的稳定腔中, 首次得到了大光斑空间高度相干的高功率激光辐射, 这对于铜激光的全息研究是至关重要的。同时它对改善准分子激光器等其它高增益激光器同样适用。

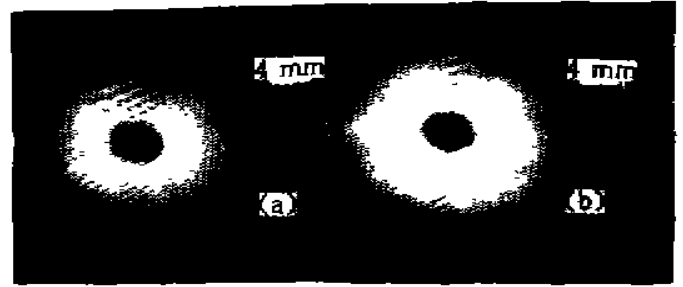


Fig. 7 (a) Highly spatial coherent radiation in an injection-locked stable resonator CuBr laser
(b) Poor spatial coherence of the CuBr laser without the injected seed laser

参 考 文 献

- [1] A. M. Bakiev, S. Kh. Valiev, N. V. Kryazhev, Investigation of the coherence properties of radiation in active optical systems utilizing copper vapor amplifiers. *Sov. J. Quant. Electron.*, 1991, QE-21(10): 1141~1143
- [2] W. Lauterborn, A. Judt, E. Schmitz, High-speed off-axis holographic cinematography with a copper-vapor-pumped dye laser. *Opt. Lett.*, 1993, 18(1): 4~6
- [3] B. E. Warner, *Digest of CLEO'86 (WE1)*, San Francisco, CA, U. S. A.
- [4] G. A. Maylor, *Digest of CLEO'86 (WE2)*, San Francisco, CA, U. S. A.
- [5] 任虹, 沃敏政, 沈琪敏等, 注入锁定铜蒸气激光器的时空、能量以及偏振特性. *中国激光*, 1990, 17(3): 129~133
- [6] Jihong Geng, Guiyan Zhang, Xiudong Song *et al.*, Highly stable self-mode locking and the longitudinal mode structure in a CuBr laser. *Appl. Phys. Lett.*, 1992, 60(24): 2969~2970
- [7] Jihong Geng, Guiyan Zhang, Xiudong Song *et al.*, Mode quenching and locking in a CuBr laser. *Opt. Commun.*, 1993, 98(1~3): 105~110
- [8] 耿纪宏, 张桂燕, 宋秀冬等, CuBr 自锁模激光器的实验研究. *光学学报*, 1992, 12(10): 873~878
- [9] T. Omatsu, K. Kuroda, T. Shimura *et al.*, Measurement of spatial coherence of a copper vapor laser beam using a reversal shear interferometer. *Opt. and Quant. Electron.*, 1991, 23(11): S477~S484
- [10] T. Omatsu, K. Kuroda, T. Takase, Time-resolved measurement of spatial coherence of a copper vapor beam using a reversal shear interferometer. *Opt. Commun.*, 1992, 87(5~6): 278~286
- [11] D. W. Coutts, M. D. Ainsworth, J. A. Piper, Observation of the temporal evolution of transverse coherence in copper vapor laser. *Opt. Commun.*, 1992, 87(5~6): 245~248
- [12] Jihong Geng, Guiyan Zhang, Xiudong Song *et al.*, Completely coherent laser pulses in a CuBr laser. *CLEO'93, CWJ8*

Improvement of Output Feature in a Large-Aperture Stable Resonator CuBr Laser Using Injection Locking

Geng Jihong Zhang Guiyan Song Xiudong Lin Fucheng

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

(Received 16 March 1995; revised 13 April 1995)

Abstract The self-mode locking CuBr laser pulses can be successfully injection-locked and high-average power mode-locked pulses can be obtained in a stable resonator CuBr laser by using injection locking technique. It is the first time to obtain highly spatial coherent high-power radiation in a stable resonator CuBr laser with a beam diameter of 20 mm.

Key words injection locking, self-mode locking, spatial coherence, CuBr laser.