

CuBr 激光器的自锁模的极限和单纵模运转*

耿纪宏 张桂燕 钱文良 宋秀冬 林福成

(中国科学院上海光机所, 上海 201800)

提要 本文报道了在小尺寸的 CuBr 激光器中, 采用三镜复合腔的模式淬灭效应, 通过调整复合腔的结构参数, 使 CuBr 激光的纵模间隔在 660 MHz 的范围内实现可调, 从而在实验上清晰地观察到 CuBr 激光自锁模的极限。同时, 在复合腔 CuBr 激光器中, 首次实现了激光的单纵模运转。

关键词 CuBr 激光器, 复合腔, 自锁模, 单纵模

Limit of self-mode locking and operation of single longitudinal mode in a CuBr laser

GENG Jihong, ZHANG Guiyan, QIAN Wenliang, SONG Xiudong, LIN Fucheng

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

Abstract It is reported that the longitudinal mode spacing can be tunable within the range of 660 MHz by adjusting the structure parameters of the three-mirror compound resonator through the use of mode quenching effect in a small-scale CuBr laser. We have clearly observed a limit of self-mode locking experimentally. It is the first time to obtain the operation of single longitudinal mode in a CuBr laser with a compound resonator.

Key words CuBr laser, compound, resonator self-mode locking, single longitudinal mode

1 引言

CuBr 激光器和纯铜激光器一样, 由于增益水平高但增益时间短, 并且在实验上铜蒸气激光纵模的光谱结构一直都没有被观察到^[1~4], 因此, 长期以来, 人们一直误认为在激光脉冲存在的几十纳秒时间内, 来不及建立起有形的腔模结构。最近, 我们通过抑制激光高阶横模的振荡, 在 CuBr 激光器中观察到绿光和黄光分立的纵模结构, 并得到高度稳定、完全调制的自锁模脉冲串^[5,6]。同时, 我们曾通过采用三镜和四镜复合腔的模式淬灭效应, 在大尺寸的 CuBr 激光器中获得了重复频率几倍于基频纵模间隔的自锁模脉冲串^[7]。在大尺寸器件的研究中, 纵模间隔在 300 MHz 的范围内很容易实现调谐。实验结果表明, 只要抑制住激光高阶横模的振荡,

收稿日期: 1992年4月22日; 收到修改稿日期: 1992年6月10日。

* 本课题得到国家自然科学基金的资助。

就可以得到完全调制的稳定自锁模脉冲串。但是由于 CuBr 激光器的增益非常高,在大尺寸的器件中要采用模式淬灭的办法使激光纵模间隔进一步扩大是困难的。本文报道在小尺寸的 CuBr 激光器中,采用调整三镜 Fabry-Perot 复合腔的结构参数的方法,使激光振荡的纵模间隔进一步扩大,由此在实验上观察到 CuBr 激光器自锁模行为的极限。本文还报道了 CuBr 激光器的单纵模运转。

2 实验条件

小尺寸的 CuBr 激光管总长为 40 cm,两个放电电极间隔为 20 cm,放电管内径为 2 cm。放电管内充有 2 kPa 的氖气作为缓冲气体。电源的充电电容为 1000 PF,放电管放电的重复频率为 16 kHz。

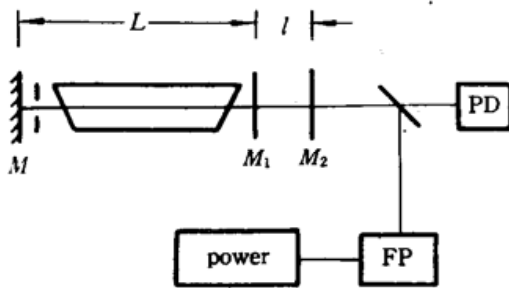


Fig. 1 Experimental set-up

图 1 所示的三镜复合腔中, M 为平面全反镜, M_1 为平板玻璃, M_2 为平面半反镜。腔内一个孔径小于 2 mm 的光阑用来抑制激光高阶横模的振荡。绿光和黄光可以同时腔内振荡。用一个快速响应的光电二极管 PD (上升时间约为 700 ps) 和一个自由光谱区为 2 GHz 的扫描干涉仪 (Spectra-Physics Model 470) 同时监测激光输出的时间波形和频谱。

在三镜复合腔中, MM_1 两镜间距为 L , 而 M_1M_2 两镜间距为 l 。显然, 三镜复合腔的纵模间隔 f 应该是两个双镜 F-P 腔 MM_1 和 MM_2 纵模间隔的整数倍。三镜腔的纵模间隔为^[7]

$$f = (q - p)c/2l \quad (1)$$

c 为光速, p, q 为两个互相不可约的正整数, 并且它们有如下比例关系

$$q/p = (L + l)/L \quad (2)$$

因此, 通过调整三镜复合腔的结构参数 (包括 L 和 l), 可以实现 CuBr 激光纵模间隔的大范围调节。

3 自锁模的极限

两镜谐振腔的激光纵模间隔为 $c/2L$, 很明显腔长越短, 纵模间隔越大。在我们的小尺寸 CuBr 激光器件中, 最短腔长可取到 $L = 45$ mm, 实验表明, 这时只要用小孔光阑将激光的高阶横模抑制掉, 立即可得到绿光和黄光的自锁模脉冲。图 2 给出的就是此时绿光的纵模频谱和自锁模脉冲的时间波形。由图中可以看出自锁模脉冲串的重复频率与相邻纵模间隔 $c/2L$ 相对应, 大约等于 330 MHz。与以前的结果相比^[7], 其脉冲调制度不是非常完全。可以认为这是由于当纵模间隔超过某一范围之后, 随着纵模间隔的继续增加, 多个纵模之间实现自锁的难度就增大。事实上, 增加两镜谐振腔的腔长后, 纵模间隔减小, 实验观察到自锁模的调制度却有明显的增加。

由于受激光管长度的限制, 为了进一步扩大激光的纵模间隔, 因此必须利用复合腔的模式淬灭效应, 通过调整腔的结构参数来实现。在图 1 所示的三镜复合腔中, 当 $L = 75$ cm, $l = 37.5$ cm 时, 由 (1)、(2) 式可以得出, 复合腔的纵模间隔为 400 MHz, 与图 2 中的绿光脉冲相

比,此时脉冲的调制度进一步下降。当 $L = 60 \text{ cm}$, $l = 30 \text{ cm}$ 时,纵模间隔扩大到 500 MHz ,图 3 给出了在这种腔结构下输出绿光的纵模频谱和时间波形,可以看出此时绿光脉冲还是存在一定的调制,但调制很不完全,这表明振荡中的几个纵模只能实现部分锁定。继续减小腔的结构参数 L 和 l ,纵模间隔进一步扩大,实验仍能观察到激光脉冲受到一个高频调制。但是,当复合腔的参数为 $L = 45 \text{ cm}$, $l = 22.5 \text{ cm}$ 时,激光纵模间隔增加到 660 MHz ,此时实验观察到激光脉冲时间波形为一非常光滑的脉冲包络,高频调制完全消失。图 4 给出的就是这种情况下绿光的纵模图样和时间波形。这一现象说明,当 CuBr 激光的纵模间隔达到 660 MHz 的宽度时,激光的多个纵模之间无法实现自发锁定。因此,对于 CuBr 激光器的自锁模行为来说,相邻的激光纵模间隔存在一个极限(660 MHz),当纵模间隔超过这一极限时,CuBr 激光器的自锁模行为无法实现。

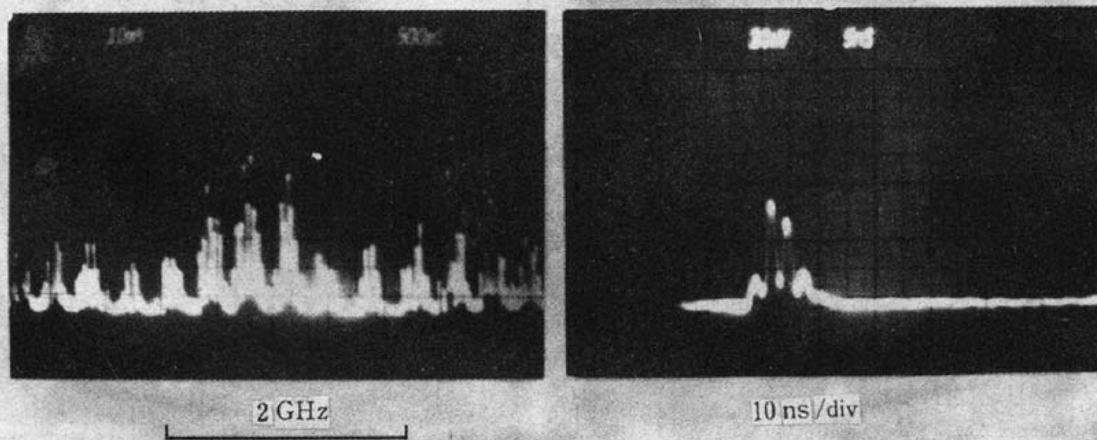


Fig. 2 Spectral and temporal properties of the green laser in the two-mirror resonator of the cavity length of 45 cm

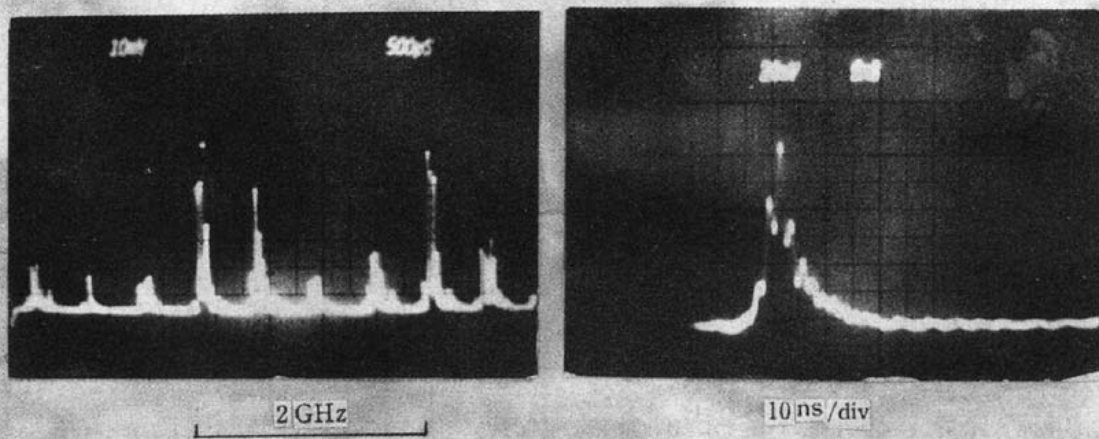


Fig. 3 Spectral and temporal properties of the green laser in the three-mirror compound resonator for $L = 60 \text{ cm}$, $l = 30 \text{ cm}$

本质上来说,激光的自锁模行为是由于谐振腔中光与增益介质的非线性作用而引起的。在多模振荡的增益介质中非线性相互作用不仅包括模式之间的增益抑制,而且还有相邻几个纵模之间的相干耦合。最近^[5],我们将 CuBr 激光器中稳定的自锁模行为解释为激光纵模之间通过腔内近简并四波混频过程(NDFWM)^[8]产生强烈的相干耦合,这种相干耦合的结果就使得振荡中的几个纵模实现相位锁定。在这种机制下,三个纵模 $\nu, \nu \pm \Delta\nu$ 之间的 NDFWM 过程只能在

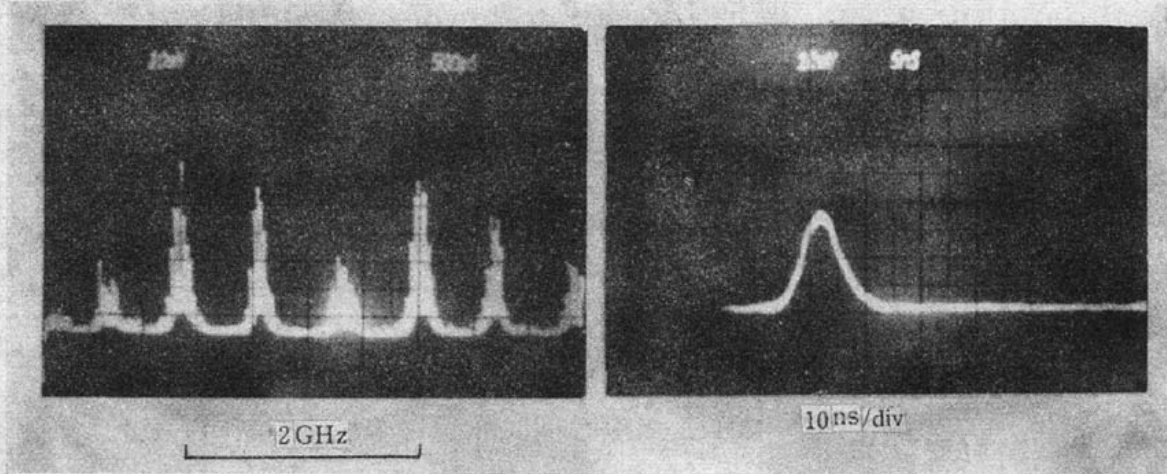


Fig. 4 Disappearance of self-mode locking. Spectral and temporal properties of the green laser in the compound resonator for $L = 45$ cm, $l = 22.5$ cm

增益介质中铜原子均匀增宽谱线的一定范围内才满足近似线性色散而实现相位匹配。因此上面实验观察到的自锁模的频率极限应该是与铜原子的均匀增宽谱线的宽度有关。

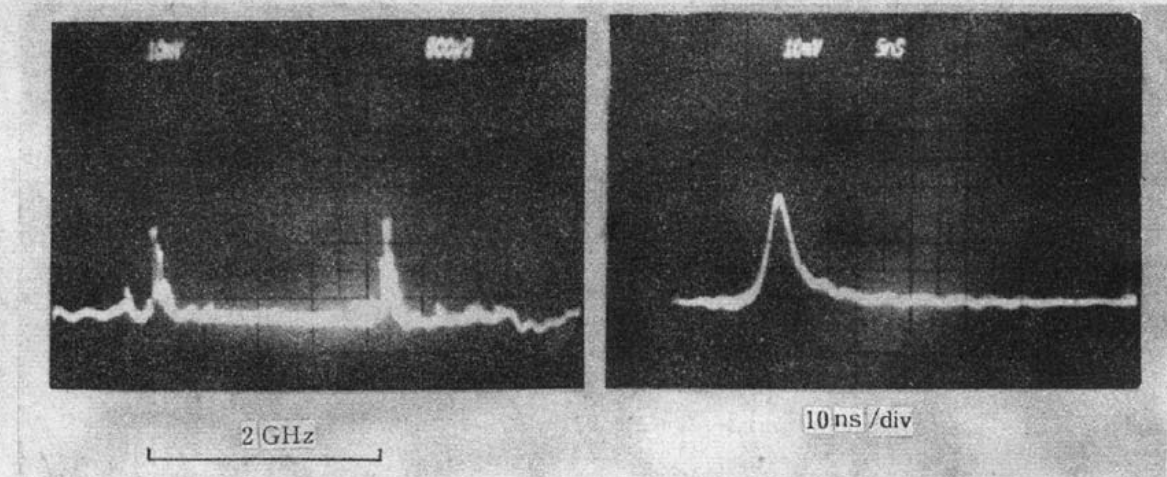


Fig. 5 Operation of single longitudinal mode. Spectral and temporal properties of the single mode of the green laser in the compound resonator for $L = 45$ cm, $l = 15$ cm

4 CuBr 激光的单纵模运转

获得单横模振荡的方法很简便,只要我们在激光器内加入一个适当大小的光阑,即可轻易地获得激光的单横模振荡。但是,由于铜激光的增益带宽比较宽,又属非均匀加宽,因此要想通过缩短腔长的办法获得 CuBr 激光的单纵模运转非常困难。所以必须采用复合腔。实验选择复合腔的结构参数为 $L = 45$ cm, $l = 15$ cm 时,在 CuBr 激光器中首次实现了激光的单纵模运转。图 5 显示的就是单纵模运转状态下绿光脉冲的频谱和时间波形。实验表明,在激光近阈值振荡的情况下,此时增益较低,单纵模运转容易实现。当增加激光的泵浦水平时,单纵模振荡就被双纵模振荡所代替。由式(1),(2)可知,在这种复合腔中,纵模间隔为 1 GHz,所以当激光增益带宽小于 1 GHz 时,可以实现激光的单纵模振荡。但是当泵浦功率提高后,激光的增益带宽也随着增加,当带宽超过 1 GHz 时,激光就又处于多纵模振荡状态。原则上讲,进一步减小 M_1M_2 两镜间距,可以使激光纵模间隔进一步扩大,从而提高激光单纵模运转的泵浦功率范围。但是实际上,由于激光的增益太高,缩短 l 后会使得复合腔的模式猝灭不完全,因而不能提高激光单纵模振荡的功率范围。可是,如果在腔内加入一个适当的 Fabry-Perot 标准具,使激光的增益带

宽得到压缩,或许能提高 CuBr 激光单纵模的运转范围。

感谢姜世杰师傅为我们制作激光器提供的帮助;感谢梁培辉研究员提供的扫描干涉仪。

参 考 文 献

- 1 T. Omatou, K. Kurada *et al.*, *Opt. Commun.*, **79**(1~2), 129(1990)
- 2 Kiegon Im, Jin J. Kim, *Appl. Phys. Lett.*, **19**(3), 131(1986)
- 3 W. C. Kreye, F. L. Roosler, *Appl. Opt.*, **22**(11), 927(1983)
- 4 Wang Yongjiang, Shen Shengpen *et al.*, *Appl. Phys.*, **B47**(1), 87(1988)
- 5 Jihong Geng, Guiyan Zhang *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, **60**(24), 2968(1992)
- 6 耿纪宏, 张桂燕, *et al.*, *光学学报*, **12**(10), 873(1992)
- 7 耿纪宏, 张桂燕, *et al.*, *光学学报*, **13**(1), 81(1993)
- 8 J. G. Provost, R. Frey, *Appl. Phys. Lett.*, **55**, 519(1989)

CHINESE JOURNAL OF LASERS B

Vol. B2, No. 3 (Series No. 9), June 20, 1993

(May/June)

CONTENTS

LASER DEVICES

- High power CW mode-locked frequency-doubled Nd : YAG laser pump source
 *Jintao Bai, Nuo Wang et al.* (193)
- Variation of Xe concentration in a high pressure Ar/Xe laser with coaxial e-beam pumping
 *Y. F. Lan, P. J. Peters et al.* (199)

EXPERIMENTAL TECHNOLOGY AND ELEMENTS

- Fluorescence spectra of uranium induced by a linearly polarized laser light in a magnetic field
 *Huang Wu, Dongkai Yan et al.* (207)
- Laser induced fluorescence of CdHg excimer *Yidong Zhou, Peilin Zhang et al.* (217)
- Spectroscopic and laser properties of Nd³⁺ ions in LaMgAl₁₁O₁₉ crystals
 *Xiurong Zhang, Xinmin Zhang et al.* (221)
- The simulation of soft X-ray optics by ray-tracing *Ruzin Li, Pinzhong Fan et al.* (229)
- The effect of laser surface treatment of Al-Si alloy on the surface hardness and structure
 *Gongying Liang, Jiajin Zhou et al.* (241)

LASER PHYSICS AND LASER CHEMISTRY

- The study of phase matching of nonlinear waves in microdroplets
 *Baolong Lu, Yuzhu Wang* (249)
- Amplitude-N-power squeezing of pure superposition states
 *Ai-qun Ma, Zhou-hong Jiang et al.* (257)

HOLOGRAPHY AND INFORMATION PROCESSING

- Optical stack filters using parallel fuzzy logic *Yaming Wu, Liren Liu et al.* (263)
- Wavefront reconstruction of Fresnel diffraction field by optical methods and digital algorithm
 *Yue Zhang, Songlin Zhuang et al.* (271)
- Optical implementation of heteroassociative loop *Changhe Zhou, Liren Liu et al.* (277)
- Multi-color encoded storage rainbow hologram *Xiangsu Zhang, Shou Liu et al.* (283)