

采用非谐振环的碰撞锁模 Ar⁺ 激光器

邢岐荣 张 忱 王清月

(天津大学精仪系)

提要: 本文首次报道采用非谐振环实现 Ar⁺ 激光器的脉冲碰撞锁模。分析了干涉光腔的稳定性并给出初步研究结果。

A mode-locked Ar⁺ laser with a non-resonant-ring

Xing Qirong, Zhang Chen, Wang Qingyue

(Department of Precision Instrument Engineering, Tianjin University, Tianjin)

Abstract: The first experimental study on realization of pulse collision mode-locking by an Ar⁺ laser with non-resonant-ring is reported. Stability of the optical cavity is analysed and the preliminary investigation results are given.

一、引言

Siegman^[1]指出,带非谐振环的激光器可以实现脉冲碰撞锁模,此后 Vanherzele^[2]、韩汝聪^[3]和 Diels^[4]等人分别采用这种光腔在 Nd:YAG、钕玻璃激光器和染料激光器上实现了脉冲碰撞锁模。

关于 Ar⁺ 激光器的 CPM 运转, Kühleke^[5] 等人首先在直腔内完成,后来王清月^[6] 等人在环形腔内完成,并首次实现 Ar⁺ 和染料激光的脉冲碰撞双锁模。本文报道采用非谐振环来实现 Ar⁺ 激光的碰撞锁模。

二、实验装置

考虑到实验调整和输出方便等因素,我

们采用如图 1 所示的六镜非谐振环结构。Ar⁺ 激光由分束器分为两束强度相等的光束,一束经 S 反射后再相继经 M₁、M₂、M₃、M₄ 和 M₅ 的全反射,然后达到分束器 S; 另一束由 S 透射,再经 M₅、M₄、M₃、M₂、M₁ 全反射后达到分束器 S。如果 M₁~M₅ 的位置布置得当,则沿相反方向传播的两束光脉冲将在曲面镜 M₃ 和 M₄ 之间的束腰处相迭加。在该处放置可饱和吸收体若丹明 6G,以完成脉冲碰撞,并形成粒子数分布光栅^[7]。

这种非谐振环,实质上是一个环路干涉仪。我们采用普通 Ar⁺ 激光器的全反射镜作为分束器。调整光线在分束器上的入射角,可使其反射率 R 和透射率 T 相等^[8]。M₃、M₄ 的曲率半径 ρ 为 5cm、平面反射镜的作用是减小光线在 M₃、M₄ 上的入射角,尽量

收稿日期:1987年5月14日。

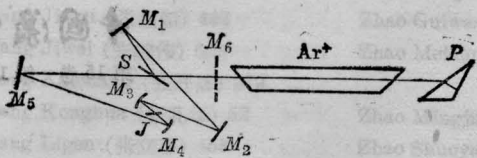


图 1

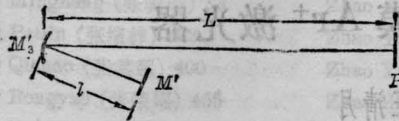


图 2

消除 M_3 、 M_4 的像散所引起的损耗。 Ar^+ 为氩离子放电管, P 为调谐棱镜, M_6 为调整光腔的辅助反射镜, J 为若丹明 6G 乙二醇溶液喷流, 喷膜厚度小于 $100 \mu\text{m}$ 。

三、光腔的分析

若环路干涉仪的分束器精确的等强度透射和反射, 即 $R=T=0.50$, 则该环路干涉仪完全等效为反射率为 100% 的全反射镜^[9]; 若 R 和 T 不等, 则会有一部分能量由分束器逸出腔外。这时, 等效于一个透射率为 T_r 的激光器输出镜, 且有

$$T_r = 1 - 4R(1-R) \quad (1)$$

若在环路干涉仪的中心位置处, 假想放一个与光轴垂直的平面全反射镜, 那么上述光腔可以简化为图 2 所示的三镜折迭腔。其中 M'_3 即为原光腔中的 M_3 (或 M_4), M' 为假想的平面反射镜。 P 即为原来的调谐棱镜。 L 为由 P 到 S 再透过 S 经 M_5 到 M_4 的光路长度, (或由 P 到 S , 经 S 反射再经 M_1 、 M_2 到 M_3 的光路长度)。 l 为 M_3 和 M_4 两镜间距的一半。讨论等效光腔的稳定性, 便可以得到原光腔的稳定性。等效光腔的往返传输矩阵为:

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{2}{\rho} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & L \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\times \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & L \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{2}{\rho} & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & l \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

利用光腔稳定性判据: $\frac{1}{2}|A+D| < 1$, 可以求得:

$$2l > \rho > 2l \frac{L}{L+l} \quad (2)$$

(2) 式表明, 若 ρ 取值很小, 那么光腔的稳定性区域便很小。这给光腔的调整带来不便。

四、实验结果

图 3 给出激光器输出的锁模脉冲序列, 其平均功率大于 40 mW 。表 1 列出了可饱和吸收体的浓度与锁模范围之间的关系, 表明可饱和吸收体的浓度越高, 激光器的阈值越高, 而锁模范围越大。表中的 ΔI 是 Ar^+ 激光器处于非锁定时的泵浦电流和激光器的阈值电流之差。

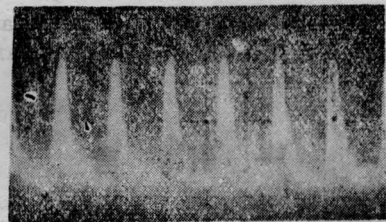


图 3
(10 ns/div)

表 1

6G 浓度 (mol/L)	5.83×10^{-4}	6.55×10^{-4}	6.91×10^{-4}
ΔI (A)	1	3.5	4

五、结论和讨论

实验表明, 用非谐振环代替目前市售 Ar^+ 激光器的输出镜, 可以方便地实现 Ar^+ 激光器的脉冲碰撞锁模; 用介质膜反射镜作为分束器, 通过调整光线的入射角, 可以方便

(下转第 714 页)

其中 $(M_{ij})_2 =$

$$M_{ij} = \frac{1}{\mu} \begin{pmatrix} \frac{1}{\mu_+ \mu_-} [-|c|^2 \bar{\mu} - |b|^2 (\mu_- \beta_+^- - \mu_+ \beta_-^-)], & -b^* (\beta_+^- - \beta_-^-), & \frac{b^* c^*}{\mu_+ \mu_-} (\bar{\mu} - \mu_- \beta_+^- + \mu_+ \beta_-^-) \\ -b (\beta_+^- - \beta_-^-), & \mu_- \beta_-^- - \mu_+ \beta_+^+, & -c^* (\beta_+^- - \beta_-^-) \\ \frac{bc}{\mu_+ \mu_-} (\bar{\mu} - \mu_- \beta_+^- + \mu_+ \beta_-^-), & -c (\beta_+^- - \beta_-^-), & \frac{1}{\mu_+ \mu_-} [-|b|^2 \bar{\mu} - |c|^2 (\mu_- \beta_+^- - \mu_+ \beta_-^-)] \end{pmatrix}$$

$$\theta_{1:} = \frac{2|a|\tau_1}{\hbar}, \quad \frac{2|a|\tau_1}{\hbar},$$

$$\theta_{2:} = \frac{2|a|\tau_2}{\hbar}, \quad \frac{2|a|\tau_2}{\hbar}$$

$$\theta_{\pm:} = \frac{\mu \pm \tau_1}{\hbar}, \quad \frac{\mu \pm \tau_2}{\hbar}, \quad \frac{\mu \pm \tau_1}{\hbar}, \quad \frac{\mu \pm \tau_1}{\hbar}$$

其中 a 对应单光子跃迁的光脉冲 $a = -\frac{1}{2} p_{ij} e_i \exp[ik_l z]$ ($l=1, 2$ 表示第一或第二个激发脉冲)

b, c 对应双光子跃迁的光脉冲 $b = -\frac{1}{2} p_{ij} e_i \exp[ik_l z]$, $c = -\frac{1}{2} P_{jk} e_k \exp[ik_l z]$

$\mu_{\pm} = \frac{1}{2} \{ \hbar \Delta \pm [\hbar^2 \Delta^2 + 4(|b|^2 + |c|^2)]^{1/2} \}$ Δ 为失谐量

注: A 型各矩阵引自文献[1]。

参 考 文 献

- 1 陈天杰 and S. R. Hartmann, 物理学报, **34**(8), 1034 (1985)
- 2 T. J. Chen *et al.*, *JOSA B*, **3**(4), 493 (1986)
- 3 T. W. Mossberg *et al.*, *Phys. Rev.*, **A20**(5), 1976

- (1979)
- 4 A. Flusberg *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **41**, 305 (1978)
- 5 T. W. Mossberg and S. R. Hartmann, *Phys. Rev.* **A23**(3), 1271 (1981)
- 6 Ye Peixian and Y. R. Shen, *Phys. Rev.*, **A25**(4), 2183 (1982)
- 7 A. Flusberg *et al.*, *Phys. Rev.*, **A19**, 1607 (1979)

(上接第 706 页)

地实现分束器的透射光强和反射光强相等, 以增加腔内光强, 降低激光阈值, 并减小环路干涉仪的耦合输出, 使锁模稳定运转。

参 考 文 献

- 1 A. E. Siegman, *Opt. Lett.*, **6**(7), 334 (1981)
- 2 H. Vanherzeele, J. -L. Van Eck and A. E. Siegman, *Appl. Opt.*, **20**, 3484 (1981)

- 3 韩汝聪 *et al.*, 应用激光联刊, **4**(6), 5 (1984)
- 4 H. Vanherzeele, J. -C. Diels and R. Torti, *Opt. Lett.*, **9**(12), 549 (1984)
- 5 D. Kuhlke and W. Rudolph, *Opt. Commun.*, **47**, 7 (1983)
- 6 Wang Chingyue, Xing Qirong and Zhao Xinmiao, *Opt. Commun.*, **55**, 135 (1985)
- 7 王清月, 应用激光, **4**(5), 225 (1984)
- 8 龚正烈 *et al.*, 天津大学学报, **1**, 119 (1983)
- 9 A. E. Siegman, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-9**, 247 (1973)