

带抗共振环的非稳腔对撞脉冲锁模 Nd:YAG 激光器的设计和特性

孙占鳌 杨香春 朱小磊

(中国科学院上海光机所)

Design and performance of a colliding pulse mode-locked Nd:YAG laser using an unstable resonator with antiresonant ring structure

Sun Zhan'ao, Yang Xiangchun, Zhu Xiaolei

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

提要:设计了一种新的凸-抗共振环非稳腔结构,并应用于对撞脉冲锁模 Nd:YAG 激光器,得到了好的结果,它既具有凹-抗共振环稳腔脉冲窄的优点又具有虚共焦非稳腔脉冲能量高的优点。其脉冲宽度降到 10 ps 左右,脉冲串总能量高达 69 ± 4 mJ,最高单脉冲能量约为 25 mJ。

关键词:抗共振环,对撞脉冲锁模;五甲川二氯乙烷

一、引言

自从 Siegman 提出带抗共振环的半共焦腔作对撞脉冲锁模(CPM)方案以来^[1],已成功地用该种结构实现了 Nd:YAG 的 CPM^[2,3],此种 CPM 技术把原来用全反射镜-染料盒紧接触反射式的锁模结构的 30~40 ps 脉冲宽度压缩了三倍,得到 10 ps 左右的脉冲宽度,稳定性也大为提高。但是由于环中的反射镜和染料盒近光腰,易引起元件损坏,脉冲系列的能量一般限制在 10~20 mJ。中心最高脉冲能量只有 1~2 mJ。

而非稳腔 Nd:YAG 被动锁模,脉冲串中的最高脉冲能量虽高达 10~50 mJ,所用的非稳腔结构大都是用正分支虚共焦非稳腔,但脉冲宽度没有得到明显压缩,仍为 30~40 ps^[4,5]。

我们分析了上述两种锁模腔型的优缺点,认为对发射截面 σ_e 为 $10^{-18} \sim 10^{-19} \text{ cm}^2$ 的小 Nd:YAG 棒来说,可采用透射耦合输出,几何放大率 2~4 的平凸非稳腔,并用抗共振环结构代替平面耦合输出镜,这种腔结构既可压缩脉宽,又可缩短脉冲的建立时间,增大基横模体积,提高输出能量。获得脉冲串平均脉宽为 10 ps 左右(用非共线二次谐波相关测量法),脉冲系列的主要能量集中在中心三个脉冲上,而中心最高的脉冲能量约为 25 mJ,脉冲串的总能量

高达 69 ± 4 mJ。

二、共振腔结构分析与实验结果

图 1 是带抗共振环的平-凸非稳腔示意图。这种腔结构应属于半对称非稳腔。

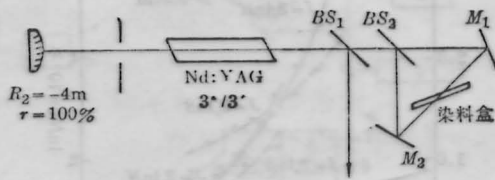


图 1 实验装置光路图,BS₁、BS₂ 为 50% 的分束器

它的几个重要参量是 g 因子、几何放大率 M 和等价 Fresnel 数 N_{eq} 。由于是平凸腔, $R_1 = \infty$, $R_2 = R$ 为凸面镜取“-”号,因此

$$g_1 = 1, g_2 = 1 + \frac{L}{|R|} \quad (1)$$

$g_1 \cdot g_2 > 1$, 是属于正分支非稳腔, L 为等效腔长, $L = \sum_i \frac{l_i}{n_i}$, 由于是单向输出,一个来回的放大倍数为

$$M = M_1 \times M_2 \quad (2)$$

$$M_1 = \frac{\rho}{\rho - L} \quad (3)$$

$$M_2 = \frac{\rho + L}{\rho} \quad (4)$$

则有

$$M = \left[\frac{\rho + L}{\rho - L} \right] \quad (5)$$

式中 ρ 是虚发光中心到输出镜的距离。按成像公式有

$$\frac{1}{\rho - L} - \frac{1}{\rho + L} = \frac{2}{R} \quad (6)$$

求得

$$\rho = L \sqrt{1 + \frac{L}{R}} \quad (7)$$

经计算, $\frac{R}{L} = \frac{4M}{(M-1)^2}$ 代入(7)式有

$$\rho = L \frac{M+1}{M-1} \quad (8)$$

非稳腔的等价 Fresnel 数为^[6]

$$N_{eq} = \frac{a_1^2}{\lambda} \left| \frac{1}{|\rho|} \pm \frac{1}{|R_1|} \right| \quad (9)$$

式中“+”、“-”号规定为 ρ 和 R_1 的曲率中心在输出镜的两侧取“+”, 在同一侧取“-”, 对我们的情况, $R_1 = \infty$, 因而有

$$N_{eq} = \frac{a_1^2}{\lambda \rho} = \frac{a_1^2}{\lambda L} \frac{M-1}{M+1} \quad (10)$$

式中 a_1 一般取为工作物质的半径或输出端镜的有效半径, λ 为激光工作波长。根据建立起衍射的脉冲分析, 应有

$$M^{n_0} = 2N_{eq} \quad (11)$$

式中 n_0 为建立衍射限脉冲光在腔内来回的次数。而为建立衍射限脉冲所需的时间为

$$\tau_0 = n_0 \frac{2L}{c} \quad (12)$$

对锁模激光器来说, 腔长 L 不宜太短, 而对 Nd:YAG 中等增益的小棒, M 不宜过大, 因此, 加快腔的响应时间只有适当选择这几个参量。

图 1 中 Nd:YAG 棒的尺寸是 $\phi 7 \times 76$, 两端分别磨斜 3° ; 根据上面的分析公式计算, 凸面镜 R 的曲率半径为 4 m, 等效腔长 $L = 1200$ mm, 几何放大率 $M = 2.85$, 等价 Fresnel 数 $N_{eq} = 3.5$, $n_0 \approx 2$, 算得衍射限脉冲建立时间 $\tau_0 = 14.9$ ns; 染料盒厚 1 mm, 内盛五甲川二氯乙烷溶液, 小光学信号透过率 $T_0 = 32\%$ 。用非共线二次谐波法测量脉冲串的平均脉宽, 在基本相同的条件下做了凸-环非稳腔与凹-环稳腔的实验比较。

图 2 是两种谐振腔结构激光输出的示波照片。从图 2 三张照片看出, 稳腔、非稳腔(有小孔)与非稳腔(无小孔)的脉冲系列中的总脉冲个数差不多相同, 但非稳腔的脉冲能量主要集中在中心三个脉冲上, 其中中心最高脉冲占总能量的三分之一以上, 如果以稳腔的中心最高脉冲幅度为 1, 那么(a)、(b)、(c)

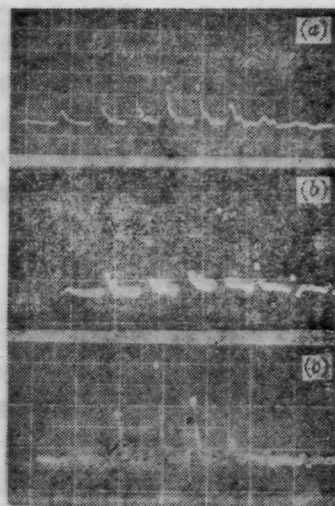


图 2 Nd:YAG 激光器的锁模脉冲串的示波照片
(a) 稳腔结构: $T_0 = 32\%$, $V = 1400$ V;
(b) 有小孔的非稳腔结构: $T_0 = 32\%$, $V = 1400$ V;
(c) 无小孔的非稳腔结构: $T_0 = 32\%$, $V = 1470$ V

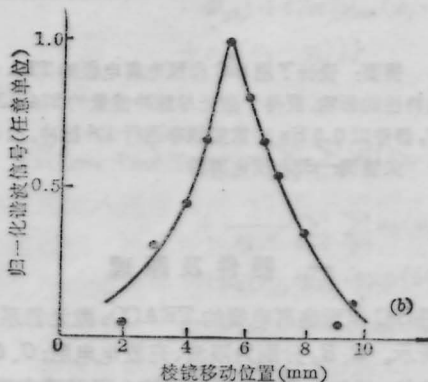
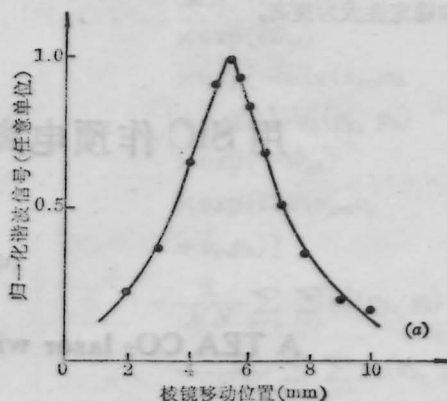


图 3 用非共线二次谐波法测量脉宽的曲线
(a) 稳腔结构; (b) 非稳腔结构

三者中心脉冲幅度之比为 1:6:7.5。明显地表现出

非稳对撞锁模系统的优点。稳腔与非稳腔结构的激光脉冲宽度用非共线二次谐波法测量的曲线如图 3 所示,从图中看出两者脉宽基本一致。非稳腔的可聚焦能量较稳腔有显著提高,其输出的发散光束经一个 $f=45\text{mm}$ 的透镜聚焦,即使衰减 10 倍也能击穿空气。从图 3 示出稳腔与非稳腔对撞锁模脉冲半功率点的全宽 $\sim 10\text{ps}$ 。

三、结 论

我们的实验结果表明,压窄脉宽的主要作用是用抗共振环引起的,而脉冲能量的提高则主要是非稳腔结构引起的。两个作用结合起来可使峰功率比通常采用的驻波式稳腔锁模结构提高一个数量级。

采用本文的腔结构,缩短了基模脉冲建立时间,使各纵模来不及竞争,也能减少非线性效应对脉冲相位和幅度的影响,等效地提高了 Nd:YAG 的 σ_a ,易于在饱和状态下工作,又有利于压缩脉宽。因此适当地选择锁模染料的初始透过率 T_0 ,可使锁模质量和稳定性大为提高。

我们采用的非稳腔有利于采用抗共振环结构,运行时损耗小,因为工作物质的作用等效于凸面镜曲率变大,从而减少增益阈值,利于多纵模振荡。因此我们认为,这里提出的非稳对撞锁模腔结构对于其它中等大小发射截面 σ_a 、荧光寿命短的均匀展宽晶体也会得以运用。

作者感谢上海光机所吴兆庆、赵世诚等同志在实验中的帮助。

参 考 文 献

- 1 A. E. Siegman, *Opt. Lett.*, **6**, 334 (1981)
- 2 H. Vanherzeeck *et al.*, *Appl. Opt.*, **20** (20), 3434 (1981)
- 3 林 星 *et al.*, *光学学报*, **5** (9), 794 (1985)
- 4 R. T. Dewhurst *et al.*, *Opt. Commun.*, **23** (1), 107 (1979)
- 5 O. P. Varnavsky *et al.*, *Opt. Commun.*, **45** (5), 342 (1988)
- 6 Yu. A. Anan'ev, *Sov. J. Quant. Electr.*, **1**, 565 (1972)

(收稿日期: 1987年10月9日)

用 SiC 作预电离电极的 TEA CO₂ 激光器

方 晓

(中国计量学院, 杭州)

A TEA CO₂ laser with SiC preionization electrodes

Fang Xiao

(China Institute of Metrology, Hangzhou)

提要: 设计了用 SiC 作预电离电极的 TEA CO₂ 激光器并运行成功。实验研究了该激光器系统参数对激光输出特性的影响, 获得了激光单脉冲能量约 274 mJ、峰值功率密度约 780 MW/L。在无气体循环、无催化剂的条件下, 器件以 0.5 Hz 的重复频率运行 10⁵ 脉冲, 以 3 Hz 的重复频率无弧运行 10⁴ 脉冲。

关键词: SiC, 预电离器

一、器件及原理

用 SiC 作预电离电极的 TEA CO₂ 激光器系统如图 1 所示。 R_1, R_2 分别为限流、充放电电阻; C_1, C_2 分别为储能、峰值电容; 激光谐振腔为平凹稳定腔, 输出腔镜为反射率 53% 的铝平镜, 全反射镜是曲率半径 8 m、反射率 99% 的镀金凹镜; 电极为铝制张氏电极, 极间距 9 mm, 放电体积 $8 \times 9 \times 160\text{mm}^3$; 预电离

器由两片 SiC 薄片构成, 将一定尺寸的两 SiC 片固定于主放电区一侧, 两电极间, 沿光轴方向与电极平行, 两 SiC 片及 SiC 片与电极间保持一定间隙, 电极、预电离器用有机玻璃支架固定后, 密封在有机玻璃放电管内, 工作气体是气压为 1.01325 的 CO₂:N₂:He=1:1:4 的混合气体。

预电离器被施加快速高电压脉冲时, 将产生放电现象, 同时产生光的辐射。为了研究预电离机理,