

折叠式长脉冲 XeCl 准分子激光器

曹洪如 陈永荣 车明瑜 胡雪金
(中国科学院安徽光学精密机械研究所)

提 要

本文报道一台新颖的双通道放电泵浦的准分子激光器,采用折叠式光路构成一个较长的激光腔(2m),同时适当拉长放电时间,获得了150 ns、150 mJ的激光输出。

关键词: XeCl 准分子激光器, 折叠式激光腔

一、引 言

短波长激光器有许多重要的应用,比如光化学^[1]、材料处理^[2]、核聚变^[3]需要大的脉冲能量和高的平均功率。一类方法是通过提高激光器的工作气压和激励电压以及重复频率来达到此目标。但是这往往对激光器的元件提出苛刻的要求,使器件的结构庞大和复杂。另一类方法是拉长准分子激光器的脉冲宽度,以获得长脉冲运转。因此,近几年来对放电激励的稀有气体卤化物准分子激光器长脉冲运转方面进行了大量的工作^[4]。通常,放电激励的准分子激光器的光脉冲宽度被限制在30 ns之内^[5]。脉冲宽度大于100 ns的准分子激光器,采用X光或电子束预电离,获得数百 ns 仍至1 μs量级的激光输出^[6]。利用射频激励或者微波激励也能获得百毫微秒量级的长脉冲激光输出。但是这些获得长脉冲的装置大都结构复杂,体积庞大,给实际应用带来一定的困难。

作者曾利用一台结构新颖的双通道准分子激光器,在两组主放电电容上分别连接用一个公共的火花球隙控制的两组电感电容,获得了脉冲宽度达60 ns的激光输出^[7]。本文在此基础上利用折叠式光路拉长激光腔长(~2m),获得了脉宽为150 ns,能量为150 mJ的XeCl准分子激光输出;适当降低气压时(总气压为500 Torr)获得了175 ns的长脉冲;适当比例的工作气压下,在折叠式腔中还观察到明显的自锁模现象。

二、实验装置及光路安置

实验装置电路图如图1所示。为了确证上、下两个通道高同步地运转,激光器上、下两个通道的机械结构和电路连接保持高度对称。两对电极均为铝质的Rogowski面型,电极长度为60 cm,极间距离2.0 cm。器件结构的细节已另文给出^[8]。

C_{s1} 和 C_{s2} 均为 24×2700 pF,分别为上、下两个通道的主放电储能电容。通过一个公共的球隙SG接通阳极。每个通道的紫外光预电离源置于主放电电极的二侧,分别由二排24对火花针产生。每对火花针接一个780 pF的电容器(C_p) L_1, L_2 分别为上、下两个通道的高

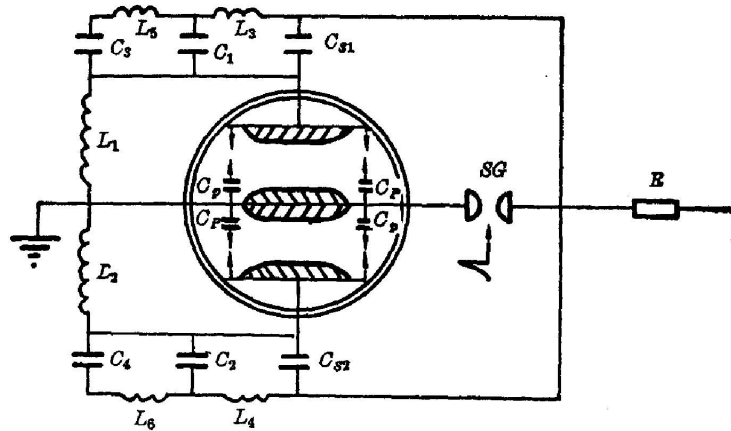


Fig. 1 Schematic discharge circuit of the experimental apparatus

压放电扼流圈, 数值在几十 μH 量级。 $L_3 \sim L_6$ 分别为与上、下两通道主放电电容器相连接的电感, 电感值均为 $1\mu\text{H}$ 量级。 C_1 、 C_2 为并联的第一组电容器, 均为 $9 \times 2700\text{ pF}$ 。 C_3 、 C_4 为并联的第二组电容器, 均为 $8 \times 2700\text{ pF}$ 。

折叠式准分子激光器的光路安置如图 2 所示。用固定在激光器法兰盘上与光轴成 45° 的两块涂铝平面镜作全反射镜, 使上、下两个光路构成一个较长的激光腔 ($\sim 2\text{ m}$)。球面全反射镜的曲率半径为 5 m , 输出窗口为石英平板。由于上、下两个通道可以高同步地运转^[7], 所以能够在上、下两个通道的长激光腔内的激光介质中同步地提取能量。

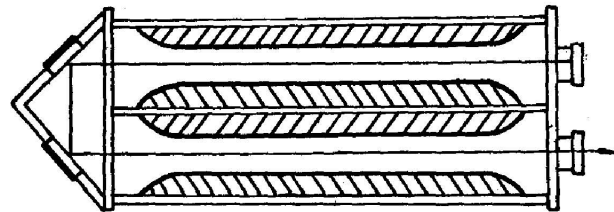


Fig. 2 Light path configuration of the folded excimer laser

三、实验结果和讨论

在上述的电路结构下, 用短腔结构 (98 cm) 已获得了脉宽为 60 ns 高同步双束长脉冲 XeCl 激光^[7]; 而利用折叠式长腔时, 获得了脉宽 150 ns 能量为 150 mJ 的激光输出。

图 3 所示是在总气压为 1.5 atm , 气体配比为 $\text{Xe}:\text{HCl}:\text{Ar}=40:7:1093$ 时获得的光脉冲波形。实验结果表明, 长腔结构, 对拉长激光脉冲宽度有明显的作用。

对于准分子激光器, 我们可以采取与染料激光器相类似的速率方程^[9], 即

$$\frac{dn}{dt} = W(t) - c\sigma nq - \frac{n}{\tau}, \quad (1)$$

$$\frac{dq}{dt} = c\sigma nq - \frac{q}{t_c}, \quad (2)$$

式中 n 为准分子密度, q 为激光腔中的光子密度, σ 为受激发射截面, $W(t)$ 为准分子形成速率, τ 为准分子的寿命, t_c 为腔衰变时间, c 为光速。设光损耗主要是由于腔镜的不完全反

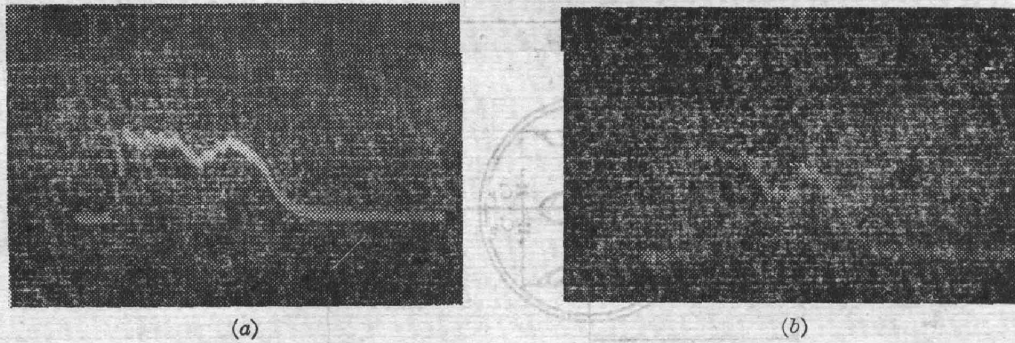


Fig. 3 Long pulse temporary profile of the folded excimer laser (total pressure: 1.5 atm)
(a) high voltage excitation; (b) low voltage excitation time scale: 50 ns/div

射引起的, 两个镜的反射率分别为 r_1, r_2 , 则 t_0 由下式给出:

$$t_0 = -2l_0 / [c \ln(r_1 r_2)], \quad (3)$$

式中 l_0 为腔长。假定 $W(t)$ 为高斯型, 半宽度取为 250 ns。对 XeCl 准分子激光器, 总气压在 2 atm 左右, 且取 $\sigma = 4.5 \times 10^{-16} \text{ cm}^2$, $\tau = 1.4 \text{ ns}^{[10]}$ 。

从速率方程(1)、(2)可知 $W(t)$ 和 t_0 是两个可变参量。它们的变化会影响到准分子密度 n 及腔中光子密度 q 的变化过程。一般来说改变放电脉冲的宽度将会改变准分子形成速率 $W(t)$ 从而达到改变光脉冲宽度的目的。另一方面提升腔衰变时间(可以通过拉长腔长和增加腔镜的反射率来实现), 使腔中光子密度的变化率提高, 从而改变光脉冲宽度。

对于 $q(t)$ 与 t_0 之间的关系, 可以这样来考虑。将速率方程(2)改写为

$$\frac{1}{q} \frac{dq}{dt} = c\sigma n - \frac{1}{t_0}, \quad (4)$$

等式两边积分化简后得:

$$q(t) = \exp\left[c\sigma \int n dt - \frac{t}{t_0}\right], \quad (5)$$

为了简化讨论的问题, 假定在相同的激励条件下来考察 $q(t)$ 与 t_0 之间的关系。即假定 $n(t)$ 为一确定函数。因此在这种情况下 $\int n dt$ 为常数。即

$$\left. \begin{aligned} q(t) &= A \exp\left(-\frac{t}{t_0}\right), \\ A &= \exp\left[c\sigma \int n dt\right]. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

由此我们可以得出这样的结论: 在本文的实验条件下, t_0 增加两倍, 其它条件都保持不变, 光子密度 $q(t)$ 的半宽度亦增加两倍左右。这与实验中观察到的激光脉冲宽度被拉长的结果是吻合的。

实验中我们观察了脉冲波形与激励电压的关系。发现激励电压升高时, 光脉冲波形的尾部有明显的上升。这可能是因为, 在高激励电压时, 激光介质中能量沉积密度更高, 在脉冲后期仍有较高的粒子数反转存在。图 3(a)、(b) 分别示出高激发电压和低激发电压时激光脉冲波形。

此外, 还发现激光介质的总气压对脉宽有比较明显的影响。当总气压从 1.5 atm 下降

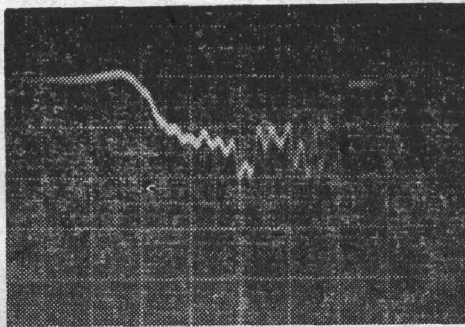


Fig. 4 Laser pulse temporary profile operating at low pressure

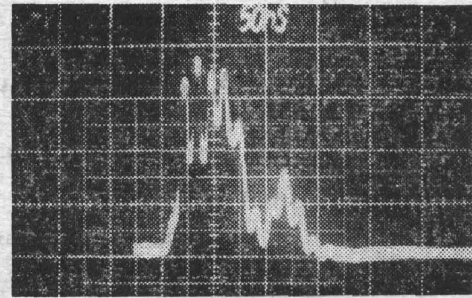


Fig. 5 Self-mode-locking in the folded laser

到 500 Torr 时, 激光脉冲宽度由 150 ns 上升到 170 ns(如图 4 所示)。

同时在适当的气体组分下(Xe:HCl:Ar=20:5:475)总气压为 500 Torr 时, 我们还观察到了折叠式激光器的自锁模现象。这可能是因为在低气压条件下近阈值运转出现的自锁模。实验中观察到的自锁模激光波形图示于图 5。

四、结 束 语

本文由一台结构简单、紧凑的双通道折叠式准分子激光器获得了脉宽为 150 ns, 能量为 150 mJ 的长脉冲大能量输出。并且从实验上验证了拉长腔长可以有效地拉长激光脉冲。如果进一步改进激发电路结构, 维持更长的放电激发时间, 可望获得更长脉冲、更高能量输出的准分子激光器。

赵震生、李昭临、殷宝龙参加了部分工作。

参 考 文 献

- [1] G. Eden *et al.*; *IEEE Spectrum*, 1979, **16**, No. 4 (Apr), 50.
- [2] J. I. Levatter *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1981, **39**, No. 4 (15 Aug), 297.
- [3] J. Goldhar *et al.*; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1980, **QE-16**, No. 2 (Feb), 235.
- [4] R. Bruzzese *et al.*; *Il Nuove Cimento (B)*, 1983, **76B**, No. 1 (11 Aug), 54.
- [5] Ch. A. Brau; in *Excimer Laser-1984*, Edited by C. K. Rhodes, (Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, Tokyo, 1984), 123.
- [6] R. S. Taylor *et al.*; *Appl. Phys. Lett.*, 1985, **47**, No. 2 (15 Jul), 81.
- [7] 曹洪如等;《中国激光》, 待发表。
- [8] 胡雪金等;《中国激光》, 1986, **13**, No. 5 (May), 270.
- [9] C. Lin; *IEEE J. Quant. Electron.*, 1975, **QE-11**, No. 8 (Aug), 602.
- [10] M. Maeda *et al.*; *Japan J. Appl. Phys.*, 1982, **21**, No. 8 (Aug), 1161.

A folded long pulse XeCl excimer laser

CAO HONGRU, CHEN YONGRONG, CHE MINGYU AND HU XUEJIN
(*Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Hefei*)

(Received 29 January 1986; revised 26 May 1986)

Abstract

A 150 ns 150 mJ laser output was obtained from a novel two channel discharge pumped excimer laser by folding two optical path to form a longer laser cavity (2 m) and elongating discharge durations appropriately.

Key Words. XeCl excimer laser, folded laser cavity