

电光开关削波产生 2~10 ns 准分子 激光输出脉冲*

向世清 董景星 莽燕萍 楼祺洪 王之江

(中国科学院上海光机所, 上海 201800)

摘要 通过电光开关直接削波的方法, 从实验上在一普通紫外预电离 XeCl 准分子激光器上获得了 2~10 ns 的准分子激光短脉冲; 方案适用于任何其他准分子器件。给出了实验报道, 并就实验结果的稳定性和方案进行了讨论。

关键词 电光开关削波, 2~10 ns 输出脉冲, 准分子激光

将放电型准分子激光器通常 15~60 ns 的输出脉冲缩短至 1~10 ns 已成为多种应用的需求, 尤其是满足激光驱动核聚变驱动源前级振荡器的需要。使准分子器件产生短脉冲的方法迄今为止包括主动或被动锁模^[1,2]、同频脉冲放大^[3]或变频压缩放大(受激拉曼散射等)^[4]、短微腔器件直接输出^[5]等, 这些方法需要的器件系统复杂、价格比较高; 而产生 1~10 ns 脉冲则可采用较简单的系统, 方法包括应用饱和吸收技术^[6]、受激布里渊效应^[7]等。利用电光开关直接对单激光器件输出脉冲削波也是十分直接的技术手段, 在多种激光器如固体器件上已广泛被使用。此方法若能在准分子器件上实现, 则从系统简化、运用方便等方面会大大增加应用价值。因准分子器件上存在下列关键问题: (1) 紫外光波段对光学元件和传感元件形成特殊要求; (2) 脉宽相对短促对开关构成技术困难; (3) 光束质量较差使高偏振度光难于实现等, 不能直接平移常用的直接削波技术, 因而具有大的研究难度。

我们通过研制可以与激光放电系统恰当结合的电光开关控制驱动电路电源, 按特殊同步方案, 用特殊设计的偏振光控制和光脉冲选取方法, 在一紫外预电离准分子器件上获得了 2~10 ns 范围的可调脉冲输出。本文对实验和结果给与报道和讨论。

1 实验概述

图 1 为实验概图。主体为一通用的 SY-200 型紫外预电离 XeCl 激光器^[8]。

1.1 光学设置

如图 1 所示, 激光放电腔一端为全反镜, 另一端依次序为一增透石英平镜(作用是密封放电腔)、一圆孔光阑、三至四片石英平片的布儒斯特角($\sim 56^\circ$)片堆、反射率 R 的输出石英平镜,

* 国家高技术惯性约束核聚变主题支持项目。

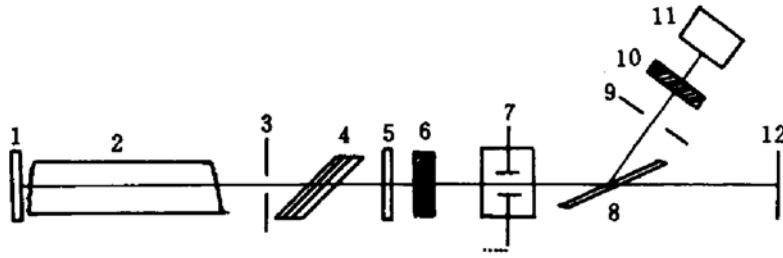


Fig. 1 Experimental arrangement for the 2~10 ns pulse generation

1; Total reflector; 2; Laser discharge volume; 3; Aperture; 4; Pile-plates polarizer; 5; R-reflector; 6; Attenuator; 7; Pockels cell; 8; Brewster angle sapphire plate; 9; Aperture; 10; Attenuator; 11; Measuring device (detector); 12; Screen

构成半外腔设置,其中光阑将通常 $15 \times 30 \text{ mm}^2$ 的输出光斑限束,部分地改善光束质量,使光束直径匹配其后的电光开关等孔径。激光脉冲经过 KD·P 晶体普克尔盒削波,以布儒斯特角 ($\sim 61^\circ$) 放置的白宝石平片的反射光束即变为窄脉冲输出;而其透射光仍为全脉宽,实验中用于监测。图中白宝石片的法线与石英片堆法线在同一平面内,同时 KD·P 晶体光轴和方位均通过 He-Ne 光和偏光棱镜调至准确位置,并最终用偏振光消光来确认。布氏角的调节精细至 0.01° 连续改变。直流高压稳压电源加压于晶体,用以判定光偏转的准确并初步判断半波电压大小。

1.2 电源控制同步方式

普克尔盒的电源控制方框图如图 2,这与通常控制方式有所不同。晶体控制电源每次输出一个触发脉冲 S_1 外触发激光器放电电路的可控硅,使激光器经闸流管、电容转移电路、预电离及放电从而输出原始光脉冲 S_2 ;控制电源本身从输出 S_1 脉冲时刻开始延时(此延时可调),至合适的时刻由以 Krytron 管为主体的高压脉冲电路输出一幅值(晶体半波电压)和脉宽均可调的电脉冲 S_3 加到普克尔盒上,使光、电脉冲同步实现削波。 S_3 脉宽的调节由改变脉冲形成线 (50Ω 同轴电缆)长度实现。一体化晶体电源所有的调节均在面板上实现, S_3 幅值和延时均从面板上相应仪表读出。图 3 示出削波原理及不同同步位置对削波结果的影响。

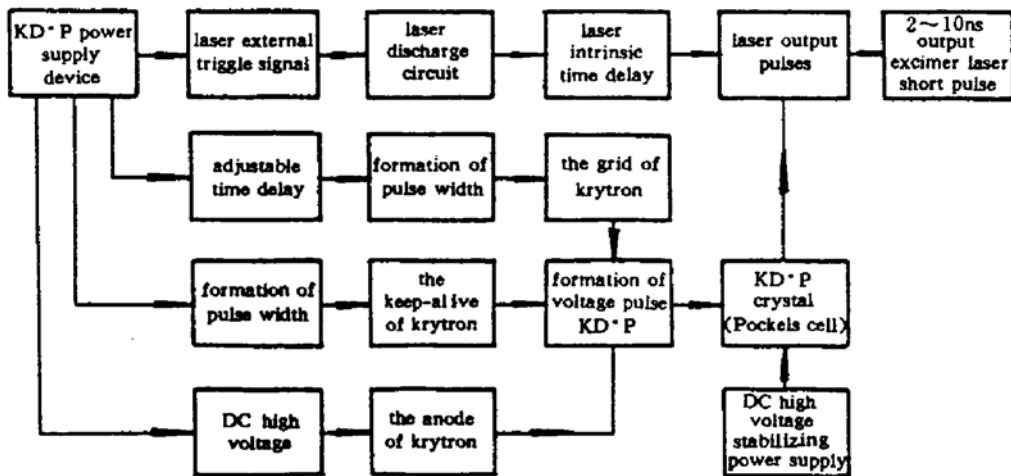


Fig. 2 Block diagram of the experimental circuit control scheme

1.3 实验监测方法

实验测量以强流管、宽带示波器和 LPT-1 型激光能量计为主体。在示波器上直接观察输出光脉冲波形 S_4 、及 S_1 、 S_2 、 S_3 ,并用附件相机拍摄照片。

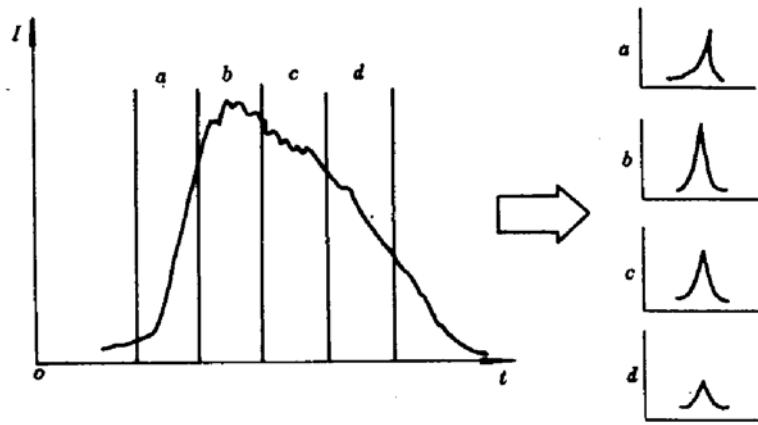


Fig. 3 Conceptual schematic diagram of wave clipping to excimer laser pulse. It is the ideal case shown in the diagram. In practice, the wavefronts of the clipped waves depend on the wavefront of the initial laser output pulse, the transmission of Pockels cell and the synchronous place of laser pulse with the voltage pulse on Pockels cell at the wavefront of laser pulse

用示波器的两个通道可方便地直接监测 S_1 、 S_2 、 S_3 两两间的相对延时,借此可监控同步作为调节延时的捷径,并直接将同步抖动情况呈现出来。系统的偏光特性则通过测定晶体加半波电压前后的 S_4 光强的强弱对比度来判定。

示波器测量系统响应时间综合约为 0.1 ns,所以实验中不考虑误差效应。

2 实验方式与结果

在激光器正常工作、晶体控制电源外触发激光器经研制调试能正常实现、偏光系统调节准确后,首先改变片堆的石英片数、输出镜反射率和限束光阑的直径,测量晶体开关加否直流半波电压时 S_4 光强的强弱对比度,结果列于表 1。这里未列出限束光阑的影响,是因为实验中发现该直径取得越小对比度越高,考虑到光阑太小时 S_4 光太弱,最后该直径取为 6 mm。取最好对比度情形继续后续测量。

Table 1 The influence of the pile-of-plates and the reflectivity of the laser output mirror on the polarization characteristics of the experimental polarization system

Plate numbers of pile-plates	1	1	2	2	3	3
Reflectivity of laser output mirror	36%	60%	36%	60%	36%	60%
The ratio of intensity at short pulse output point existing to on existing output pulse	~3	~5	~6	~20	~35	>50

撤走直流电源,以 S_3 控制晶体,调节延时,至示波器上可观察到 S_4 脉冲的波形时,细调同步及 S_3 幅度,使示波器上显示 S_4 最佳波形且具有好的脉冲本底对比度,拍下照片;并继续观测 S_4 波形的稳定性。改变 S_3 脉宽重复实验。

图 4 示出实验脉冲结果,由拍得照片直接临摹描出。图中(a)为 S_2 波形;(b)、(c)、(d)分别为采用 1.0、0.6、0.2 m 长同轴电缆形成 10、6、2 ns 的 S_3 宽度时,输出的最佳 S_4 脉冲,脉宽分别约为 8、5、2 ns。结果表明可简单地通过改变脉冲形成线长度来实现 2~10 ns 短脉冲的脉宽可调。获得这些结果时晶体半波电压值为 3.95 ± 0.05 kV,这比用直流电源变化测定出的该值大

约高 10%；延时器指示 $8.650 \pm 0.002 \mu\text{s}$ ，同由单独测量的 S_1 与 S_2 间固有延时值十分接近，表明晶体电源的本身电路从输出 S_1 至输出 S_3 的延时十分小，在 2 ns 以下。

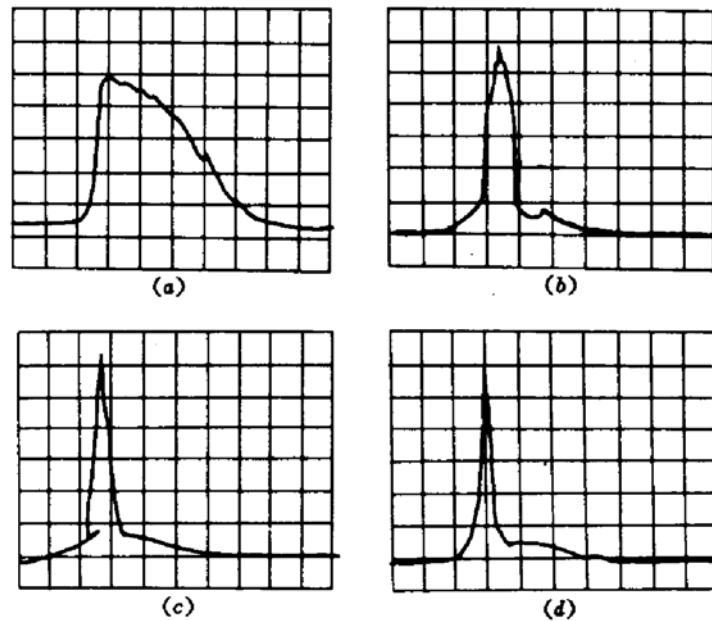


Fig. 4 Experimental results; all taken from the photograph of the oscilloscope directly. Temporal waveforms of (a) laser initial output pulse; (b), (c), (d) clipped output pulses by 10, 6, 2 ns Pockels cell voltage pulses, respectively. Horizontal; 10 ns/div on 300 MHz oscilloscope; Vertical; arbitrary

用同样方法，采用约 0.1 m 长同轴电缆形成 S_3 脉冲时，发现 S_4 脉冲基本无法为好的窄脉冲波形；此时直接观察 S_3 时，发现其不是近于单方波的波形，而是一振荡衰减形复杂波形，表明我们研制的电路已无法准确产生低于 1 ns 的波形。

测量 S_4 脉宽为 8 ns 时的短脉冲能量，结果在 0.4~1.1 mJ 范围抖动，此时进入晶体前窗口的光能量约 8 mJ 左右，脉宽更短时能量更小，因能量计下限而未详细测量。由于为防激光太强打坏 KD*P 晶体而在晶体前加有衰减，所以脉冲强度较小，实际可达到比这高的值。因为能量参数对本实验不重要，故未深入测量。但结果已表明此方案能量损耗比例较大。

在图 4 (b)~(d) 中我们可看到有一台式宽脉冲本底，经仔细观察发现它实际是 S_2 原始脉冲被压低了幅值的结果。实验中降低气压、泵浦强度及 HCl 的浓度，以及改变晶体前光衰减强弱、图 1 中光阑 3 和 9 大小时（这些方法实际是减弱了自发放大辐射即 ASE）均发现该本底减小， S_4 脉冲有更好的对比度。这表明该本底是 S_2 脉冲未被偏光系统完全消光的结果，除反射偏振的原因外，主要应归因于 ASE 的贡献。

最后，我们发现随激光的每一枪输出， S_4 脉冲呈现一定的抖动，表现为 S_4 能量大小抖动但输出脉宽基本不受大的影响，有少数时候则完全不出现 S_4 输出；脉宽变短时抖动情况基本一致，脉宽越短抖动稍强。现已发现这主要是激光器放电抖动引起同步抖动所致，关于这点，我们正从实验上继续研究。

3 结果的讨论和分析

3.1 偏振方式对偏光程度和削波结果的影响

因 KD*P 等一般材料紫外透过率降低，且光破坏阈值低，所以目前我们采用布氏角反射白

宝石片(其反射偏振光在现有材料中接近最强)作偏光元件。最初用两块白宝石片按偏振面垂直构成偏光系统,除能量损耗太大外,在 S_4 处也未能获得好的强弱光对比度。当在激光腔内放置石英片堆后,情况有了显著改善,但仍不完善。

分析原因,一是布氏角反射法本身理论上即没有高的消光比,光完全以布氏角入射也不能全部消光;二则主要是准分子介质自身 ASE 成分强及激光在腔内振荡来回次数太少(2~3 次),光束准直度不高,即使布氏角调节准确,仍有相当的光成分偏离布氏角入射,使两反射片的合成偏光效果和加片堆两种情形均不能达到完全消光。这两个根本的基础原因限制了偏振度的提高,从而限制了更好的削波性能的获得。石英片堆和减弱 ASE 则使效果有所改善,证实了后一原因。表 1 的结果表明了实现偏光的难度,给出了激光效率与获取偏光程度的折衷。片堆必须多片也说明激光腔内若只采用通常单片布氏窗结构,即使腔两端均使用对普通准分子器件也并不足够。而放置片堆后也仍旧不能很好地避免 ASE 的影响。

具体说来,本实验方案中偏光特性与下列因素有关:激光束孔径、片堆的石英片数及相互平行度、激光输出镜反射率、两个布氏角的准确性及该两处偏振面的平行度、晶体的质量和方位、半波电压的准确性,以及介质的固有高增益和短脉冲特性等,且后两因素关系特别大。而偏光特性好坏直接影响削波,故必须就上述各因素完备调整。图 4 中的台式宽脉冲本底表明偏光特性最佳情形并未达到。但实验中已精细调节,这表明本方案只能达到现有削波程度,本底要完全消去需要从方案上重新考虑,估计最关键的是要将反射式偏振改换效果更好且适用的偏光元件方式以提高偏振度,才能达到对比度更高的 S_4 脉冲及提高 S_4 脉冲能量。

3.2 输出脉冲波形和稳定性的有关讨论

图 3 示出的是理想情况,实际中 S_4 波形还受非理想方波 S_3 脉冲形成的晶体开关透过率的影响,脉宽 > 4 ns 时 S_3 近于方波脉冲, S_4 波形相对较稳定;脉宽 < 4 ns 时电路本身原因使得 S_3 变化较大,所以 S_4 波形也就被限定了稳定性和脉宽。2 ns 以下脉冲已不能通过进一步缩短脉冲形成电缆长度稳定获得的实验结果证实了这点。

对 S_4 重复输出时的抖动,我们通过改变激光器充气总压力(由 2.0 atm 不连续变至 1.2 atm)和 HCl 的含量(从比分 1.5 : 2280 逐渐降低),证实结果没有明显变化。通过长时间观察 S_1 与 S_3 的相对延时证明晶体电源本身不是抖动源。而经观测 S_2 与 S_1 的相对延时,证实抖动源是预电离引起放电的抖动,这种抖动难以完全消除。因为目前缺乏紫外光电快速响应的合适元件,所以这里设计了特殊的同步方式。在进一步的实验中,我们将考虑完全避开激光器本身的抖动,用 S_2 脉冲触发晶体电源,此方案由于缺乏快速紫外探头和电路的固有延时使同步不易完成等原因目前尚在研究中。

值得一提的是这里有一个十分有趣的现象。若能准确地将 S_2 与 S_3 同步于 S_2 的稍超前位置,并稍对 S_3 的上升沿加以控制,利用本实验中观察到的准分子 ASE 成分可以透过偏光系统到达最后输出位置的现象,让该成分成为 S_4 脉冲的前段而不被滤掉,就可构成 S_4 的预脉冲,直接形成与激光驱动核聚变所需的打靶波形^[12]十分相近的脉冲,这是其它方案所不能简单达到的。此问题十分值得进一步研究。

4 结 论

本实验工作用电光开关直接获得了 2~10 ns 的 XeCl 准分子激光脉冲输出,结果表明除

遇到一般削波的问题外,准分子器件还有介质本身性质限制偏光特性的提高以及激光放电抖动使输出脉冲稳定性变差等基本因素的影响,证实了准分子激光直接削波方案的难点所在。方案的考虑和元件对任何种类的准分子激光器件具有通用性。实验结果还证实了下列结论:(1)白宝石片作为一种较合适的紫外偏光元件具有高的抗破坏阈值和较高的偏光反射率;(2)对准分子器件必须考虑特殊的同步方案以达到更高输出稳定性,光触发方案因光波段原因较难实现;(3)采用更好的偏光元件代替白宝石片可使本方案获得更好的输出脉冲与本底的对比如,并有望使输出脉冲能量有大的提高。

致谢 感谢魏运荣、张秉钧、高鸿弈等同志的大力支持;对本所陈绍和研究员、肖纲要博士及核工业部九院郭小东同志在电光开关上的大力协助表示感谢。

参 考 文 献

- 1 G. Reksten, T. Varghese *et al.*. Active modelocking of a XeCl laser. *Appl. Phys. Lett.*, 1981, **39**:129~131
- 2 T. Efthimiopoulos, J. Banic *et al.*. Passive mode-locking of KrF excimer laser. *Can. J. Phys.*, 1979, **57**:1437~1438
- 3 S. Szatmari, F. P. Schafer. Simplified laser system for the generation of 60 fs pulses at 248 nm. *Opt. Commun.*, 1988, **68**:196~202
- 4 J. Goldhar, M. W. Taylor, J. R. Murray. An efficient double-pass Raman amplifier with pump intensity averaging in a light guide. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1984, **QE-20**(7):772~785
- 5 Z. M. Xia, E. A. Ballik. Investigations of a compact short-pulse discharge-excited XeCl laser. *Opt. Commun.*, 1993, **98**:172~180
- 6 Ch. G. Christov, I. V. Tomov, I. V. Chaltakov *et al.*. Shortening of excimer laser pulses with saturable absorbers. *Opt. Commun.*, 1984, **52**:211~214
- 7 A. A. Filippo, M. R. Perrone. Shortening of free-running XeCl laser pulses by stimulated Brillouin scattering. *J. Modern Opt.*, 1992, **39**:1829~1836
- 8 霍芸生,楼祺洪,魏运荣等.紫外预电离 20 W XeCl 准分子激光器的研究. *中国激光*, 1990, 17(增刊):7~11

Generation of 2~10 ns XeCl Laser Pulses by Direct Wave Clipping with an Electro-Optical Q-switching

Xiang Shiqing Dong Jingxing Mang Yanping Lou Qihong Wang Zhijiang
(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinia, Shanghai 201800)

Abstract By direct wave clipping with an electro-optical Q-switching, we have obtained 2~10 ns short output pulses from a normal UV-preionized XeCl excimer laser. This paper reports on our experimental work and a discussion about the experimental results. The experimental scheme and the stability of output pulses are also presented.

Key words wave clipping, electro-optical Q-switching, excimer laser