

文章编号: 0258-7025(2007)06-0759-06

355 nm 脉冲激光诱导等离子体开关削波

张芳沛, 楼祺洪, 董景星, 周 军, 赵宏明, 何 兵, 魏运荣, 朱健强, 王之江

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘要 利用激光诱导等离子体开关技术,对 355 nm 脉冲激光自削波进行了实验和理论研究。分别采用 5 种不同焦距的透镜,集中讨论了透镜焦距及激光器输出单脉冲能量对脉宽压缩的影响,发现采用焦距为 200 mm 的透镜能够获得最佳的脉冲压缩效果。在聚焦透镜焦距 200 mm,单脉冲能量 160 mJ 时,获得最短脉宽 3.47 ns;在激光电离 Cu 小孔内壁表面及空气击穿共同作用下,获得了脉宽最短达 2.11 ns 的脉冲激光输出。此外,根据实验结果得到了 355 nm 激光空气击穿阈值,并与理论估算值进行比较,两者结果较为一致。

关键词 激光技术;削波;等离子体开关;脉宽压缩

中图分类号 TN 241 **文献标识码** A

Laser Induced Plasma Shutter for Wave Clipping of 355 nm Radiation

ZHANG Fang-pei, LOU Qi-hong, DONG Jing-xing, ZHOU Jun, ZHAO Hong-ming,
HE Bing, WEI Yun-rong, ZHU Jian-qiang, WANG Zhi-jiang

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

Abstract An experimental and theoretical study on the wave clipping of 355 nm laser is conducted by using the laser induced plasma shutter technique. Five lenses with different focus are adopted to investigate the effects of the focus of lens and the laser pulse energies on pulse compression, and it is found that the best result can be obtained with the focus of 200 mm. While the focus of lens is 200 mm and the pulse energy is 160 mJ, the shortest pulse width of 3.47 ns is obtained. Under the ionization of the Cu pinhole and the atmospheric breakdown, the output pulse width can be further shortened to 2.11 ns. In addition, the measured atmospheric breakdown threshold induced by laser at 355 nm is in agreement with theoretical data.

Key words laser technique; wave clipping; plasma shutter; pulse compression

1 引 言

在非线性光学中,激光的脉冲波形对利用非线性晶体进行倍频的转换效率有着很大的影响,激光脉冲前后沿的扩展部分不仅不能转换成二次谐波,而且还会对非线性晶体造成严重损伤。因此,有必要对倍频激光进行脉冲整形,从而压缩脉冲宽度,提高峰值功率。在激光惯性约束核聚变(ICF)的研究中,用高功率激光实现惯性约束核聚变,不仅需要驱动器提供兆焦耳量级的激光能量,而且要求激光具

有合适的波长和时空特性,空间上要求均匀照明,时间上则要求脉冲宽度和形状可以控制^[1],即要求主振荡器系统应该有脉冲的任意整形能力。为了对激光脉冲的宽度和形状进行控制,人们已经进行了大量的研究^[2,3]。

目前应用较广泛、发展前景较好的两种获得短脉冲的激光脉冲整形技术是:电光开关和等离子体开关。用电光开关对激光脉冲进行削波,由于只利用了驱动电脉冲的前沿,对电脉冲的要求大大降低,即降低了对驱动电脉冲的要求,而且提高了信噪比,

收稿日期:2006-11-21;收到修改稿日期:2007-01-08

基金项目:国家 863ICF(2005AA846020)和国家自然科学基金重点基金(10334110)资助项目。

作者简介:张芳沛(1977—),男,河南人,博士研究生,主要从事脉冲整形、高功率双包层光纤激光器和光纤放大器的研究。

E-mail: zhangfangpei@sohu.com

导师简介:楼祺洪(1942—),男,浙江人,研究员,博士生导师,目前研究方向为高功率双包层光纤激光器及相干组束技术。

E-mail: qhlou@mail.shcnc.ac.cn

因此电光开关已成为激光系统的重要单元^[4,5]。但是,对紫外光波段的激光进行削波,电光开关仍存在一定的局限性:1) 为控制电光开关时间,获得较好的脉冲压缩效果,需设计特殊的同步方案以解决激光放电系统与电光开关驱动电路的精确同步控制问题,特别是用在气体放电的准分子激光器中,这是一项难度相对较高的工作;2) 目前广泛应用的电光开关晶体(如 BBO 晶体, LiNbO₃ 晶体等)对紫外波段的激光存在相当大的损耗,因此削波的效率很低;3) 利用电光开关对紫外波段激光削波,使输出脉冲宽度达到 5 ns 以下,在技术上也有一定的困难。而等离子体开关结构简单、操作方便,在某些方面恰好可以弥补电光开关的缺陷,且脉冲整形效果好,是获得高质量短脉冲比较好的方法^[6,7]。

2 原理与装置

激光经透镜聚焦后引起空气击穿,在焦点区域等离子体开始形成,气体被快速加热。在入射光方向上,激光的辐射能极快地注入焦点区,被等离子体吸收,产生的等离子体沿着激光传播方向不断快速增长并向四周扩散。等离子体波前沿传播速率是依靠激光的强度和等离子体的传播机制来确定的。因此,激光通过局部瞬时变化的等离子体区域时被强烈地吸收了,其折射率将发生快速的变化,折射率为

$$n(x, t) = [1 - N(x, t)/N_c]^{1/2}, \quad (1)$$

$$N_c = m_e \omega_0^2 / 4\pi e^2, \quad (2)$$

$$\Omega_p = (4\pi N_e e^2 / m_e)^{1/2}, \quad (3)$$

式中 $N(x, t)$ 为等离子体中电子的密度, N_c 为等离子体的频率 Ω_p 达到激光频率 ω_0 时的临界密度, N_e 和 m_e 分别为电子的密度和电子的质量。当 $N(x, t) \ll N_c$ 时,等离子体对于激光是透明的,光束可以传输;当达到临界密度时,等离子体对于激光是不透明的,入射激光被截断。因此,对于一定脉宽的激光,脉冲前沿能够顺利通过,脉冲后沿则被阻挡,从而达到截断脉冲、压缩脉宽的目的。

实验装置如图 1 所示,由 SL454G 型 Nd:YAG 脉冲固体激光器(波长 1064 nm, 重复频率 30 Hz, 光束直径 8 mm, 发散角 1.5 mrad)发出的三倍频 355 nm 激光经透镜 L_1 聚焦,如果在该透镜聚焦区域的激光功率密度超过 355 nm 脉冲激光的空气击穿阈值,在该区域的大气分子将会产生迅速的电离,气体分子温度迅速升高,最终导致聚焦区域内的气

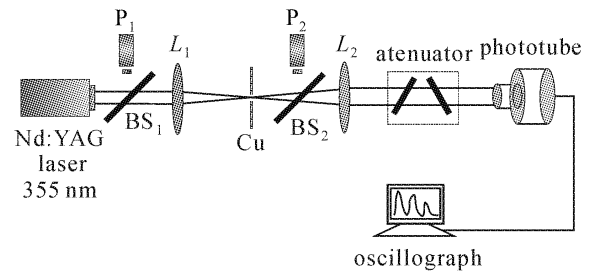


图 1 实验装置图

Fig. 1 Experimental setup

体完全电离而形成等离子体。为约束等离子体,在焦点处放置一块带小孔的 Cu 板。穿过等离子体的激光脉冲经透镜 L_2 准直后由光电管 (Thorlabs Det210) 探测并输入 Lecroy 9362 型示波器。同光路连续可调衰减器用于控制激光光强,保护光电探测器。此外,功率计 P_1 和 P_2 分别通过两石英分光片 BS_1, BS_2 对激光脉冲压缩前后的功率进行实时监测。

3 实验结果

在光路中未放置任何聚焦透镜,355 nm 脉冲激光经衰减器衰减后,直接由光电探测管接收并输入示波器。当激光器单脉冲输出能量为 89 mJ 时,测得脉宽为 13.42 ns, 脉冲波形如图 2 所示。在能量逐渐增大的过程中,脉冲波形产生很多毛刺,并有双峰甚至多峰出现。这样的脉冲严重影响激光器的性能和应用,故需要对其进行整形。采用焦距为 500 mm 的透镜,由小到大调节激光器单脉冲输出能量,同时通过示波器监测接收到的脉冲信号的波形及脉宽的变化。随着能量的逐渐增大,直至增加到激光器的最大输出能量,空气中都未出现电火花,脉冲信号波形也未发生明显的变化。这说明,聚焦后的能量密度相对较低,在焦点区域无法达到激光表

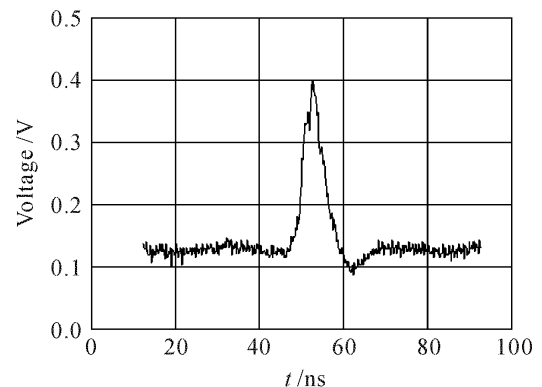


图 2 Nd:YAG 激光器脉冲波形

Fig. 2 Laser pulse of Nd:YAG laser

面空气击穿阈值,以至于在激光器输出能量最大时,都无法观测到有电火花出现。采用300 mm透镜,在输出能量高于160 mJ时,可观察到电火花,此时透过等离子体后的脉宽一般在8 ns左右,表明等离子体开关已起作用。类似地,研究焦距为200 mm的透镜对脉宽的影响。当输出能量达到89 mJ时,在焦点区域的空气中出现若隐若现的电火花,并且伴有断断续续的“啪啪”声,表明此刻正处于等离子体产生的临界状态,产生的等离子体并不稳定。穿过等离子体的脉冲波形较先前并没有发生明显的改善,脉宽13.25 ns。继续增大激光器输出能量,在焦点区域出现耀眼的闪光,表明此时空气已被完全击穿而产生稳定的等离子体,脉冲波形得到明显的改善,整个曲线变得十分平滑,先前的双峰现象也随之消失,后沿逐渐前移并出现很陡的下降沿,同时透过的激光脉冲能量逐渐下降。由表1可以看出,压缩后的脉宽随能量的增加逐渐缩短,在单脉冲能量160 mJ时,获得最短脉宽3.47 ns,此时透过的能量为82 mJ,透过率约为50%。激光器输出能量由160 mJ升至178 mJ范围时,脉冲信号波形变化缓慢,脉宽稍有加宽,并且透过脉冲能量近似保持不变。这是因为随着等离子体电子密度的增加,电离过程的扩散吸附和复合等作用相应增强,电离与扩散复合逐渐达到平衡,使电子密度达到临界密度所需的时间保持稳定而不再随脉冲能量的增加而缩短,从而使压缩后脉宽近似不变。最后,选择两焦距相对较小的透镜($F = 100$ mm, 50 mm)来进行比较。和采用较长焦距透镜显著不同的是,在输出能量低于89 mJ时,即在焦点区域迅速地产生明亮耀眼的电火花,此时削波后的脉宽分别为7.58 ns ($F = 100$ mm)和11.13 ns ($F = 50$ mm)。在较高能量时,经等离子体开关压缩后的脉宽分别维持在5 ns左右和7 ns左右。在输出能量160 mJ时,两者同时

表1 不同激光能量、不同焦距透镜下的压缩脉宽(ns)

Table 1 Shortened pulse widths (ns) at different pulse energies and different foci of lens

I /mJ	F /mm			
	300	200	100	50
89		13.25	7.58	11.13
130		5.33	5.23	10.43
150		4.65	5.09	8.39
160	8.32	3.47	4.84	5.05
167	8.57	4.03	4.89	6.96
178	9.02	4.80	4.85	7.05

获得最短的脉宽,前者为4.84 ns,后者为5.05 ns。

4 分析与讨论

对于355 nm的短波长脉冲激光,经过长焦距(如 $F = 500$ mm)的透镜聚焦后,在很宽的一个能量调节范围内都无法击穿空气而产生等离子体,从而也达不到通过激光诱导等离子体控制脉宽的目的。而采用短焦距(如 $F = 100$ mm)的透镜,虽在能量较低、时间较短的情况下即可观察到有明亮的电火花出现,但随着能量的逐渐增大,穿过等离子体的脉冲信号的脉宽对能量的变化并不灵敏,尤其在能量高于160 mJ时,脉冲宽度几乎保持不变。图3为不同焦距透镜下,压缩脉宽与能量的关系。可以看出,在所有的透镜中,采用焦距为200 mm的透镜所获得的脉宽是最短的(3.47 ns)。虽然削波后的脉冲能量因等离子体的截断作用而减小,透过率约为50%,但是脉冲峰值功率相比削波前却大大提高了,在较高能量时近似为原来的2倍,见表2。表明削波有利于提高峰值功率。此外,在整个能量调节范围内,该透镜聚焦产生的等离子体开关对能量的变化最灵敏,脉宽变化的范围最广,介于13.25 ns(89 mJ)~3.47 ns(160 mJ)之间。因此,对于实验系统,采用焦

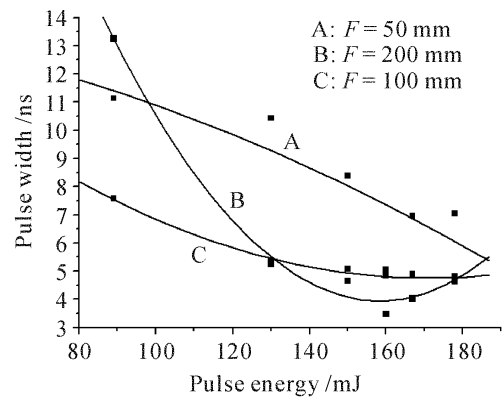


图3 不同焦距透镜下压缩脉宽随激光能量的变化关系
Fig. 3 Relationship between the shortened pulse widths and the pulse energies at different foci of lens

表2 削波前后的脉冲平均功率与峰值功率

Table 2 Pulse average powers and peak powers before and after wave clipping

I /mJ	P_1 /W	P_2 /W	P_{peak}^1 /MW	P_{peak}^2 /MW
130	3.80	2.40	9.7	15.0
150	4.48	2.55	11.2	18.3
160	4.80	2.46	11.9	23.6
167	5.01	2.85	12.4	23.6
178	5.35	2.64	13.3	18.3

距为200 mm的透镜最易实现等离子体开关控制脉宽的目的。

综上所述,在利用等离子体开关控制脉宽时,所采用透镜的焦距对脉宽压缩效果有一定的影响。并不是随着焦距的单调递增或递减,脉宽压缩的效果就越好,而是在其间存在一个最佳焦距。对于355 nm紫外光来说,200 mm焦距的透镜是最佳的选择。焦距越长,聚焦后的功率密度越小,达不到空气击穿阈值而无法产生等离子体;焦距越短,则透镜的球差也就越大,在焦点区域聚焦产生的单位功率密度同样也达不到空气击穿阈值。此外,由表1和图3可以看出,对于任一焦距的透镜,随着能量的逐渐增大,脉宽逐渐减小,当达到某一特定值时(160 mJ)脉宽最短。输出能量为160 mJ,经等离子体开关削波后的脉冲波形比较如图4所示。随后继续增大能量,脉冲波形变化缓慢,脉宽都有不同程度的加宽。因此,脉宽并不是随着能量的单调递增而逐渐缩短,而是也存在一个最佳能量值。进一步讲,无论是透镜焦距,还是输出能量,都是激光诱导产生等离子体的能量密度的外在体现,即存在一个最佳的能量密度,使得在该能量密度下得到的削波效果最好。该结论对今后采用等离子体开关技术控制紫外波段激光的脉宽有一定的指导意义。

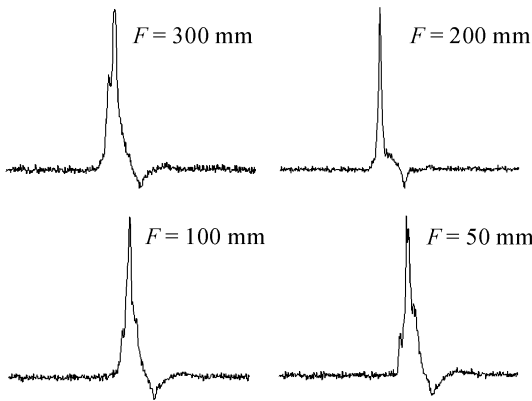


图4 最佳能量时的脉冲波形比较

Fig. 4 Comparison of laser pulse under the optimal pulse energy

5 Cu小孔对等离子体的约束作用

仅凭增大脉冲能量和采用更短焦距的透镜均无法获得更窄的脉宽,因此,在光路中焦点处放置一块带小孔的Cu板,并调节Cu板的位置使激光束经透镜后聚焦于Cu板小孔的中心,以提高等离子体密度并抑制等离子体的扩散。由于Cu板蒸气的一次

电离势比空气的电离势低,并且在Cu靶表面形成激光吸收区所需要的光强比环境气体单纯的光学击穿所需的光强低2~3个量级^[8],因此在激光脉冲电离空气产生等离子体的同时,Cu小孔内壁表面吸收激光能量,熔融气化电离也迅速形成等离子体,这些等离子体被一起约束于小孔的范围内,缩短了到达临界等离子体电子密度的时间。

图5表示在焦点处放置Cu板前后两种情况下脉宽随能量的变化关系,此时采用的透镜焦距为200 mm。明显地,放置Cu小孔之后,任一能量下的脉宽都比未放置Cu小孔时窄了很多(几乎都减小了2 ns左右),并且波形也发生了显著改善。脉冲能量为160 mJ时,利用激光电离Cu小孔内壁表面及空气击穿共同作用产生的等离子体开关,得到355 nm脉冲激光诱导等离子体开关自削波的最短脉宽2.11 ns,脉冲波形如图6所示。图7为在两者共同作用下,不同能量时的脉宽压缩波形比较。

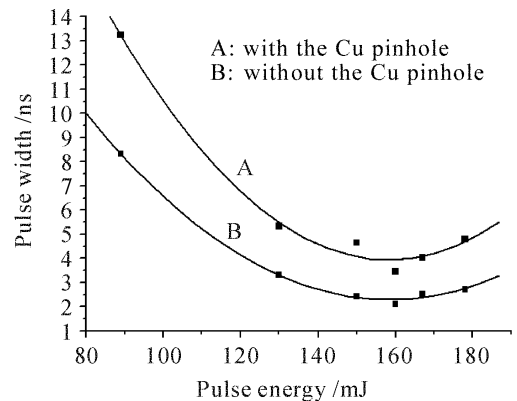


图5 放置Cu小孔前后压缩脉宽随激光能量的变化关系

Fig. 5 Relationship between the shortened pulse widths and the pulse energies with and without the Cu pinhole

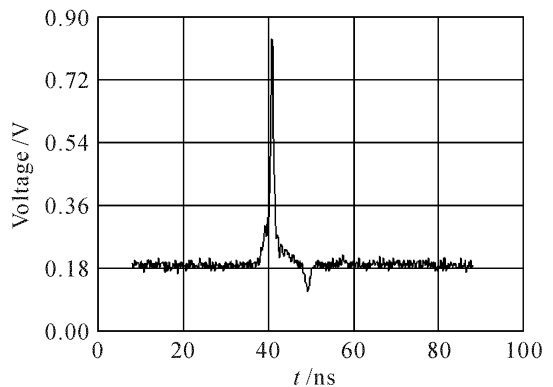


图6 最短脉宽所对应的脉冲波形

Fig. 6 Laser pulse profile corresponding to the shortest pulse width

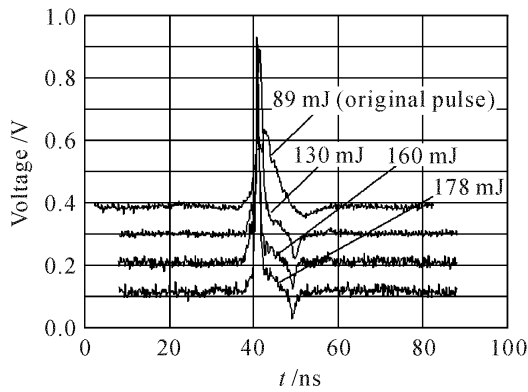


图7 Cu小孔电离与空气击穿共同作用下,不同激光能量时的脉宽压缩波形比较

Fig.7 Comparison of the shortened pulse at different pulse energies under the ionization of the Cu pinhole and the atmospheric breakdown

6 355 nm 激光空气击穿阈值

强激光场中的原子,可同时吸收多个光子达到跃迁的能量,从而实现从基态或激发态跃迁到连续态,产生光电离;而光电离产生的电子和空气中原有的一些电子在强激光场中通过逆韧致辐射加热,然后再与中性气体分子发生碰撞,可产生碰撞电离(级联电离或雪崩电离),这两种电离的共同作用导致空气被击穿。

对强激光脉冲在空气中的击穿阈值已经开展了大量的理论研究^[9,10]。根据实验中所测数据,采用

$$P_{\text{peak}} = \frac{P_{\text{avg}}}{f \cdot \Delta t}, \quad (4)$$

$$P_{\text{th}} = \frac{P_{\text{p}}}{\pi(\omega_0')^2}, \quad (5)$$

$$P_{\text{th}} = \frac{3.55 \times 10^{11}}{\lambda_{\mu\text{m}}^2}, \quad (6)$$

得到了355 nm脉冲激光在空气中的击穿阈值 $P_{\text{th}} = 2.0 \times 10^{10} \text{ W/cm}^2$ 。其中 P_{avg} 为激光诱导等离子体的临界平均功率, P_{peak} 为峰值功率, f 为激光器重复频率, Δt 为脉宽, ω_0' 为透镜聚焦后的焦斑半径(利用刀口法测量得到), 公式中各参数的值见表3。强希文^[11]通过理论分析,给出了激光大气击穿阈值的估算公式(6)。把 $\lambda_{\mu\text{m}} = 0.355 \mu\text{m}$ 代入(6)式,计算得到 $P_{\text{th}} = 2.8 \times 10^{12} \text{ W/cm}^2$ 。由于在实际大气中总是或多或少地存在气溶胶等杂质粒子,因此在实际大气中的击穿阈值一般要低于理论计算值2~3个数量级^[11]。由此可见,测量的空气击穿阈值与理论计算值基本上还是一致的。

表3 参数值

Table 3 Values of the parameters

Parameter	$P_{\text{avg}} / \text{W}$	f / Hz	$\Delta t / \text{ns}$	$\omega_0' / \mu\text{m}$	$\lambda_{\mu\text{m}} / \mu\text{m}$
Value	2.66	30	10	120	0.355

7 结 论

利用等离子体开关技术,对355 nm脉冲激光自削波进行了实验和理论研究。实验中分别采用焦距500 mm, 300 mm, 200 mm, 100 mm, 50 mm的透镜,对等离子体开关的脉冲压缩效果进行了分析讨论。结果发现,聚焦透镜的焦距太长或太短,都不利于得到最佳的脉宽压缩效果,而是在其间存在一个最佳焦距。对于355 nm紫外光,200 mm焦距的透镜是最合适的选择。此外,激光器单脉冲输出能量对等离子体开关削波的最终结果也有一定的影响。在透镜焦距200 mm,单脉冲能量160 mJ时,获得最短脉宽3.47 ns,利用激光电离Cu小孔内壁表面及空气击穿共同作用产生的等离子体开关,在同一脉冲能量下得到355 nm脉冲激光诱导等离子体开关自削波的最短脉宽2.11 ns。最后,根据实验所测数据,得到了355 nm脉冲激光的空气击穿阈值,并与理论估算的击穿阈值进行比较,发现两者结果较为一致。

参 考 文 献

- W. K. Hamoudi, B. G. Rasheed. Parameters affecting Nd:YAG laser drilling of metals [J]. *International Journal for the Joining of Materials*, 1995, 7(2-3):63~69
- Gao Yunkai, Jiang Yuntao, Li Xuechun. Laser pulse-shaping system based on aperture-coupled striplines [J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, 32(12):1619~1622
高云凯,蒋运涛,李学春. 基于孔径耦合带状线的激光脉冲整形系统[J]. *中国激光*, 2005, 32(12):1619~1622
- Jun Kang, Wei Zhang, Hui Wei *et al.*. Pulse re-shaping by using a liquid crystal spatial light modulator and deflector for producing a specific waveform [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2006, 4(3):184~186
- Xiang Shiqing, Dong Jingxing, Mang Yanping *et al.*. Generation of 2~10 ns XeCl laser pulses by direct wave clipping with an electro-optical Q-switching [J]. *Chinese J. Lasers*, 1995, A22(9):675~680
向世清,董景星,莽燕萍等. 电光开关削波产生2~10 ns准分子激光输出脉冲[J]. *中国激光*, 1995, A22(9):675~680
- Zhang Xiongjun, Wu Dengsheng, Zheng Kuixing *et al.*. Electro-optical switch with 280 mm×280 mm aperture driven by one-pulse process [J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, 26(2):254~258
张雄军,吴登生,郑奎兴等. 280 mm×280 mm口径单脉冲过程电光开关[J]. *光学学报*, 2006, 26(2):254~258
- Ren Deming, Hu Xiaoyong, Zhou Bo *et al.*. The development of plasma shutter pulse-shaping technique for TEA CO₂ laser [J]. *Laser Technology*, 2001, 25(6):449~453

- 任德明,胡孝勇,周波等. TEA CO₂ 激光脉冲整形用等离子体开关技术的进展[J]. 激光技术, 2001, **25**(6):449~453
- 7 Li Hongxia, Lou Qihong, Dong Jingxing *et al.*. Pulse duration control by laser induced plasma switch [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2006, **18**(6):899~902
- 李红霞,楼祺洪,董景星等. 激光诱导等离子体开关控制脉宽实验研究[J]. 强激光与粒子束, 2006, **18**(6):899~902
- 8 Sun Chengwei. Laser Irradiation Effect [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2002. 100
- 孙承伟. 激光辐照效应[M]. 北京:国防工业出版社, 2002. 100
- 9 Y. E. E.-D. Gamal, N. M. Abdel-Moneim. Theoretical study of electrical breakdown in nitrogen induced by laser radiation at 1.06 μm [J]. *J. Phys. D*, 1987, **20**(6):757~761
- 10 A. Sircar, R. K. Dwivedi, R. K. Thareja. Laser induced breakdown of Ar, N₂ and O₂ gases using 1.064, 0.532, 0.355 and 0.266 μm radiation [J]. *Appl. Phys. B*, 1996, **63**(6):623~627
- 11 Qiang Xiwen. Dependence of atmospheric breakdown threshold induced by laser beams on the laser-wavelengths [J]. *Optical Technique*, 1999, (5):37~39
- 强希文. 高功率激光表面大气击穿阈值的波长关系[J]. 光学技术, 1999, (5):37~39

LASER2007' Harbin

第十八届全国激光学术会议第一轮通知

中国光学学会与中国电子学会联合主办的系列会议——第十八届全国激光学术会议,定于2007年8月在黑龙江哈尔滨举行。本次会议将为我国激光与光电子新老学者提供探讨新思想、新概念、新技术的交流平台,促进学术领域的科技创新和科技成果转化。多名院士和著名专家到会作大会报告,各分会设立高水平的邀请报告。欢迎积极投稿,踊跃参加。同时欢迎各公司、企事业单位刊登广告、到会展示科技成果产品和发布信息。

会议时间:2007年8月,会期4天

会议地点:中国·黑龙江·哈尔滨

主办单位:中国光学学会、中国电子学会

承办单位:哈尔滨工业大学 可调谐激光技术国家级重点实验室

名誉主席:周炳琨院士

会议主席:范滇元院士、周寿桓院士

会议副主席:姚建铨、彭堃堦、朱健强、王 骐、王树国

秘书长:陈德应

会议主题/征稿范围:1) 激光物理(激光器动力学、激光等离子体物理、X光激光、激光光谱等);2) 非线性光学与量子光学;3) 全固态激光器及新型激光器;4) 激光信息及处理技术;5) 激光生物与激光医学;6) 工业激光及其应用;7) 激光材料、薄膜及元器件;8) 光束传输、控制及光束特性

征文要求:将500~800字摘要(用于审稿)和300字提要(用于出版)各一份,以电子邮件附件的形式发送至:Laser2007@hit.edu.cn,摘要应能准确反映研究成果的创新点,包括研究目的、方法结果、结论等内容。不引用参考文献、数学公式和化学式。不接受已在国内外正式出版刊物上发表过的论文,提交截稿日期为2007年5月31日。

来稿需注明论文题目、作者姓名、单位、通讯地址(包括邮编、电话、E-mail等)、关键词3~6个。题目用小三号黑体,摘要用宋体小四号字按word格式编排,务必在左上角标明所属征稿范围的第几类。一般不接受书面邮附件。

会议将推荐优秀论文,在《中国激光》上正式发表。

会议秘书组联系人及联系电话:

陈德应 0451-86402837,何伟明 0451-86412710-214,

程元丽 0451-86402920,王春晖 0451-86402910,王瑞环 0451-86413164

传真:0451-86413164,E-mail:Laser2007@hit.edu.cn,网页:www.Laser2007.hit.edu.cn

地址:黑龙江哈尔滨南岗区一匡街2号哈工大科学园3031信箱(王瑞环收),邮编:150001

中国光学学会激光专业委员会

中国电子学会量子电子学与光电子学分会

哈尔滨工业大学

可调谐激光技术国家级重点实验室

哈尔滨工业大学光电子技术研究所(代章)

二〇〇七年一月二十二日