

文章编号: 0258-7025(2004)09-1061-04

等离子体开关在 TEA CO₂ 激光倍频中的应用

任德明, 张莉莉, 曲彦臣, 黄金哲, 胡孝勇

(哈尔滨工业大学光电子研究所, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要 简要分析了脉冲整形对于 TEA CO₂ 激光倍频实验的重要性和必要性。目前, 获得短脉冲的激光脉冲整形技术中, 等离子体开关结构简单, 而且脉冲整形效果好, 是获得高质量短脉冲比较好的方法。设计了利用激光触发气体击穿产生等离子体的方式进行脉冲整形的等离子体开关, 并利用电磁波在等离子体中的反射和传播对其工作原理进行了说明。利用自行研制的等离子体开关进行了 TEA CO₂ 激光脉冲整形实验, 将主峰半高全宽 (FWHM) 60 ns, 带有长达数百纳秒的氮气拖尾的 TEA CO₂ 激光脉冲斩去拖尾、整形, 得到了 FWHM 30 ns 的窄脉冲。在双块 AgGaSe₂ 晶体 (长分别为 11.7 mm 和 19.5 mm) 倍频实验光路图中加入等离子体开关所得倍频转换效率达 12.9%, 比起未加等离子体开关时最高转换效率 2% 有明显的增加。

关键词 激光技术; 倍频; 脉冲整形; 等离子体开关; 转换效率

中图分类号 O 437.1 **文献标识码** A

Application of Plasma Shutter in Second Harmonic Generation of TEA CO₂ Laser

REN De-ming, ZHANG Li-li, QU Yan-chen, HUANG Jin-zhe, HU Xiao-yong

(Institute of Opto-Electronics, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China)

Abstract The essentiality and necessity of pulse shaping to second harmonic generation (SHG) experiment of laser are analyzed. At present, the plasma shutter which has compact structure and good effect on the pulse shaping is a better method by which the high-quality short pulse can be obtained. The plasma shutter in which laser triggering gas breakdown is used to shape the laser pulse is devised. The principle is explained by using reflection and transmission of electromagnetic wave in plasma. Plasma shutter is used to shape the transversely excited atmospheric pressure (TEA) CO₂ laser pulse. The TEA CO₂ laser pulse with full width at half maximum (FWHM) of 60 ns and the nitrogen tail of several hundred ns is shorten to the pulse with FWHM of 30 ns and free of nitrogen tail. When adding plasma shutter to the SHG experiment using two crystals, the conversion efficiency is 12.9%. This figure is bigger than 2% which is gained without plasma shutter.

Key words laser technique; second harmonic generation; pulse shaping; plasma shutter; conversion efficiency

1 引 言

获得 3~5 μm 的激光光源, 一直是人们关注的焦点。因为这一波段处于大气窗口, 可用于高密度的空中光通信、激光遥感、目标探测、激光测距, 以及军事上的某些应用。但是, 目前在这一波段没有直接振荡且小型的理想激光光源。获得较高能量的 3~5 μm 激光光源最为简便而实用的方法是对 CO₂

激光束倍频或三倍频。其中, 引人注目的是利用 AgGaSe₂ 非线性光学晶体产生 TEA CO₂ 激光的高次谐波来实现这一目的^[1~5]。然而, 人们发现 TEA CO₂ 激光脉冲波形对倍频的转换效率有很大的影响。TEA CO₂ 激光中, 由于 N₂ 的振动激发的能量转移效果, 在增益开关峰值后面, 存在着长达数百纳秒甚至更长的拖尾, 它约占总能量的 40%~60% 左右, 这部分能量对于高次谐波的发生不但无用, 降低

收稿日期: 2003-08-18; 收到修改稿日期: 2004-03-11

作者简介: 任德明 (1968—), 男, 河北省人, 哈尔滨工业大学光电子研究所副教授, 博士, 主要从事激光辅助化学气相沉积金刚石薄膜及变频 TEA CO₂ 激光器和 CO₂ 激光倍频技术等方面的研究。E-mail: co2@hit.edu.cn

转换效率,而且还会造成对昂贵的非线性晶体严重损伤。因此,脉冲整形已经成了 TEA CO₂ 激光产生高次谐波必不可少的技术。除此之外,在 TEA CO₂ 激光诸如差分吸收雷达、远红外激光抽运等其他应用中,也都要求短脉冲。

目前,获得短脉冲的激光脉冲整形技术有锁模、自感应衰变、光电开关、等离子体开关等方法。其中,锁模和自感应衰变技术,由于整形后输出脉冲的能量很低,需要对其进一步放大后才能应用。等离子体开关结构简单,易于研制,而且脉冲整形效果好,是获得高质量短脉冲比较好的方法^[6~8]。

作者进行了未经脉冲整形的激光倍频实验,由所得实验数据可以看出倍频的转换效率比较低,最高仅达 2% 左右。为了提高倍频转换效率,防止晶体损伤,本文自行设计了等离子体开关,进行了激光脉冲经整形斩掉“拖尾”后的倍频实验。

2 实验装置及研究

实验中所用的等离子体开关^[9]如图 1 所示,它由一个封离的、可拆卸的不锈钢盒和装在两端的两个完全相同的 ZnSe 透镜组成,后者构成了一个开普勒望远镜系统。盒子里充满一定压力的纯净气体(稀有气体, N₂ 等)。它利用激光触发气体击穿产生等离子体的方式进行脉冲整形,其工作原理可由电磁波在等离子体中的反射和传播来说明。频率为 ω 的激光入射到频率为 ω_p 的等离子体中,在 $\omega > \omega_p$ 的场合,激光在等离子体中传播。而当 $\omega < \omega_p$ 时,激光将被等离子体反射。激光入射到等离子体开关的气体中时,在焦点附近产生等离子体,并且它的电子密度 n 在一直增加。由于 $\omega_p = [(e^2 n)/(m\epsilon_0)]^{1/2}$ 是与 n 的平方根成比例,这样随着 n 的增加,等离子体频率 ω_p 上升,当 $\omega_p > \omega$ 时,激光脉冲的后面部分被反射而遮断,脉冲宽度变窄。

为了改善激光器输出脉冲波形,提高倍频转换效率,进行了采用等离子体开关斩去脉冲“拖尾”的

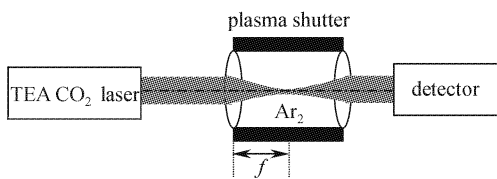


图 1 光触发等离子体开关脉冲整形光路图
Fig.1 Schematic drawing of optical-triggering gas breakdown plasma shutter truncating TEA CO₂ laser pulses

实验。实验装置如图 1 所示。

实验过程中首先利用 HgCdTe 探测器和 TDS380 示波器测得了 TEA CO₂ 激光器输出脉冲波形,如图 2 所示。从图 2 可以清楚看到,TEA CO₂ 激光主脉冲峰值后面存在氮气引起的长的拖尾,实验测得 TEA CO₂ 激光主脉冲峰值最大半宽度为 60 ns,并带有长达数百纳秒的拖尾,脉冲能量达到 150 mJ。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。

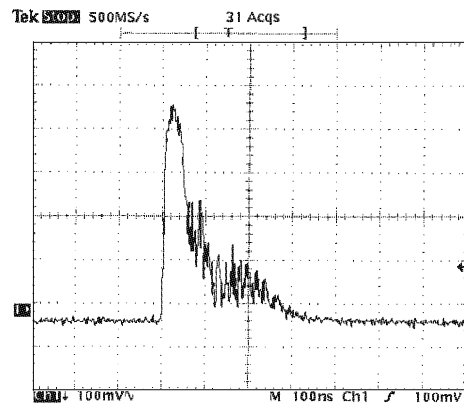


图 2 TEA CO₂ 激光器输出脉冲波形
Fig.2 Output pulse-shape of TEA CO₂ laser

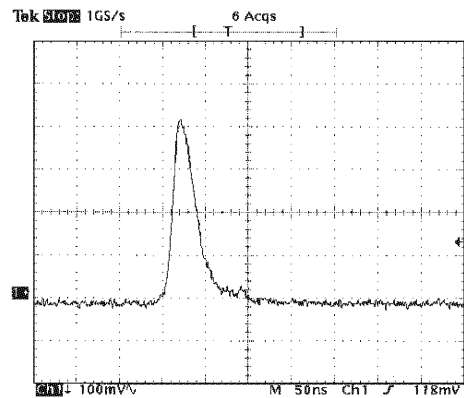


图 3 等离子体开关截断的输出脉冲
Fig.3 Output pulse truncated by plasma shutter

调整光路,使等离子体开关的光轴和激光器的输出在同一条直线上。TEA CO₂ 激光脉冲经等离子体开关前端的 ZnSe 透镜进入等离子体开关,聚焦在所充的 101.325 kPa 氩气中。在焦点区域由于光学自击穿使氩气电离,产生等离子体。当等离子体频率 ω_p 增长到大于激光频率 ω 时,将包括拖尾的激光脉冲后续部分反射截断。从开关后端输出的脉冲经过衰减后由 HgCdTe 探测器探测。使用 TDS380 示波器观察输出脉冲波形并记录实验结

果,测量输出脉冲脉宽和能量。所得截断后的 TEA CO₂ 激光脉冲波形如图 3 所示。测得的激光脉冲宽度约为 30 ns,获得脉冲能量为 60 mJ,与未被截断的激光脉冲相比,去掉了拖尾,缩短了脉宽,获得了较好的脉冲整形效果。

我们还透过等离子体开关的观测窗观察并记录了光束击穿 1.00×10^5 Pa 氩气时的光斑,如图 4 所

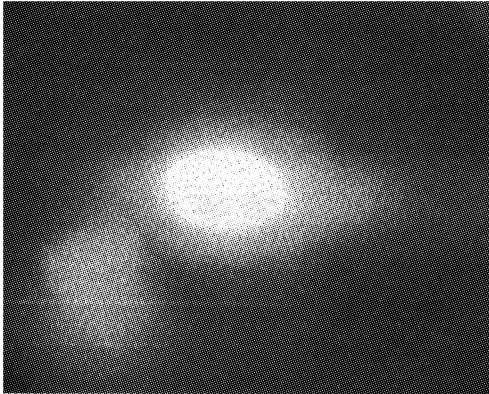


图 4 在 1.00×10^5 Pa 压强下等离子体开关内气体击穿形成的光斑

Fig. 4 Plasma flame formed by optical-triggering gas breakdown under 1.00×10^5 Pa pressure

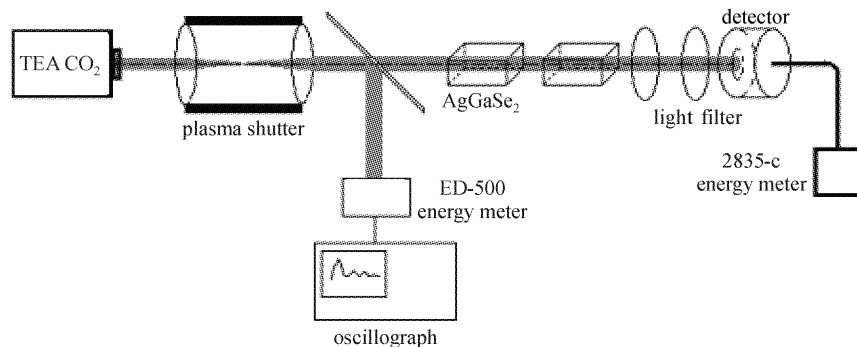


图 5 加等离子体开关的倍频实验

Fig. 5 SHG experiment after adding the plasma shutter

引入等离子体开关后,测得晶体在等离子体开关后 33 cm 处倍频转换效率最高,在等离子体开关后三十几厘米处,前后大约 20 cm 的范围内的光束质量比较好。为使 11.7 mm 和 19.5 mm 的 AgGaSe₂ 晶体串联达到最佳耦合,将 11.7 mm 长的晶体固定于等离子体开关后 32 cm 处,将 19.5 mm 长的晶体固定于等离子体开关后 34 cm 处,使其都达到相位匹配。在此最佳条件下测量其谐波输出能量,得到最高倍频输出为 1.14 mJ,与未加等离子体开关时相差无几,而抽运激光脉冲宽度约为 38 ns,

在激光束触发气体电离击穿的实验过程中,发现气体击穿和等离子体形成发生在焦平面之前的区域,而不是正好发生在焦平面内。这是因为激光击穿产生的等离子体主要向入射激光方向扩张,从而在焦平面之前的区域内产生最强的雪崩击穿,形成等离子体。其后,利用经等离子体开关整形去拖尾后的 TEA CO₂ 激光脉冲,进行了双晶体串联的倍频实验研究。从晶体的倍频效率公式 $\eta = \frac{|I_2|}{|I_1|} = \frac{8\pi^2 L^2 d_{\text{eff}}^2}{n_1^2 n_2 \lambda_1^2 \epsilon_0 c} |I_1| \text{sinc}^2\left(\frac{\Delta k L}{2}\right)$ 中看出,倍频效率与入射光强成正比,但是入射光强度不能无限制地提高,它要受到晶体的损伤阈值的限制。理想的抽运输入波形应为峰值功率较高的矩形脉冲,既能保证倍频的效率,又不至于因为能量密度过高而损伤晶体。利用等离子体开关改善波形去掉占脉冲大部分能量而又无益于倍频的“拖尾”,将具有非常积极的意义。

在未加等离子体开关的情况下,将长 11.7 mm 和 19.5 mm 的两块 AgGaSe₂ 晶体串联进行了倍频研究,光路如图 5 所示(去掉等离子体开关),当抽运能量增加到 67.2 mJ 时,得到最大谐波输出能量 1.44 mJ,此时倍频效率达 2%。

能量仅为 8.8 mJ,约为未加等离子体开关时抽运能量的 1/8,倍频转换效率达 12.9%。显然,在加与不加等离子体开关两种情况下,如果抽运能量相同,脉冲整形后的谐波输出能量远大于未经整形的谐波输出能量,且前者的输出波形要比后者好。

3 结 论

在利用充有氩气的等离子体开关斩去脉冲“拖尾”的实验中,将带有长达数百纳秒拖尾的主脉冲峰

值宽度为 60 ns 的 TEA CO₂ 激光脉冲斩去拖尾,得到脉冲宽度约 30 ns 的激光脉冲,获得了较好的脉冲整形效果。

加等离子体开关后的双晶体串联倍频实验最佳转换效率为 12.9%,比起未加等离子体开关时最高转换效率 2%有明显的增加,可见在光路中加入等离子体开关对激光脉冲进行整形是一种有效而可行的办法。

参 考 文 献

- 1 R. C. Eckardt, Y. X. Fan, R. L. Byer *et al.*. Efficient second harmonic generation of 10- μm radiation in AgGaSe₂ [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1985, **47**(8):786~788
- 2 Ren Deming, Huang Jinzhe, Qu Yanchen *et al.*. Optical properties and CO₂ laser SHG with HgGa₂S₄ [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2003, **1**(10):613~615
- 3 Huang Jinzhe, Ren Deming, Hu Xiangyong *et al.*. Optical properties and phase-matching in LiInS₂ [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2003, **1**(4):237~240
- 4 Cheng Ganchao, Yang Lin, Shi Baoshen *et al.*. Infrared frequency doublers of AgGaSe₂ crystals [J]. *Chinese J. Lasers*, 1995, **A22**(3):214~218
- 5 程干超,杨琳,史保森等. 单晶 AgGaSe₂ 红外倍频器 [J]. *中国激光*, 1995, **A22**(3):214~218
- 5 Huang Jinzhe, Hu Xiaoyong, Qu Yanchen *et al.*. Second harmonic generation in tunable mini-TEA CO₂ laser [J]. *Acta Optica Sinica*, 2002, **22**(3):294~297
- 6 黄金哲,胡孝勇,曲彦臣等. 小型可调谐 TEA CO₂ 激光的二次谐波产生 [J]. *光学学报*, 2002, **22**(3):294~297
- 6 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
- 6 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 Zeng Wenzhang, Zhang Shengjia, Wei Hui *et al.*. Study of the ability to produce shaping laser pulse by using the cascade electro-optic deflector in the temporal-spatial transformation instrument [J]. *Chinese J. Lasers*, 2003, **30**(11):985~988
- 7 曾文章,张生佳,韦辉等. 用串接电光偏转器提高时空变换装置进行激光脉冲整形的能力 [J]. *中国激光*, 2003, **30**(11):985~988
- 8 Shen Lei, Chen Shaohu, Liu Baiyu *et al.*. New temporary pulse-shaping system using integrated optics technology [J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(5):598~603
- 8 沈磊,陈绍和,刘百玉等. 利用集成光学技术的新型时间脉冲整形系统 [J]. *光学学报*, 2003, **23**(5):598~603
- 9 C. Bellecci, P. Gaudio, S. Martellucci *et al.*. Plasma shutter for CO₂ TEA laser for high range resolved mapping of chemical plume [C]. *SPIE*, 1998, **3493**:184~189