

一种新的长短光脉冲同步方案*

高云凯 蒋运涛 李学春

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘 要 单纵模长激光脉冲经分束后分别输入到两个波导调制器中, 同时分别输入两个具有高同步准确度的电脉冲到调制器中. 通过这种方式可以实现具有高同步准确度的长短光脉冲的输出. 研究表明: 该方案下长短脉冲的同步准确度可小于 3.5 ps(rms).

关键词 激光技术; 整形脉冲; 激光探针; 时间同步

中图分类号 TN248.1 **文献标识码** A

0 引言

惯性约束聚变是依赖物质惯性压缩、加热热核材料, 使之发生热核反应, 释放能量的过程^[1]. 氢弹就是一种惯性约束聚变装置, 但那是不可控热核反应装置. 从 20 世纪 60 年代激光问世, 人们提出激光驱动惯性约束聚变的设想, 70 年代开始建造高功率激光器, 开始对可控核聚变的探索以及相关物理实验的研究. 高功率激光器能够输出若干束纳秒级高功率激光脉冲, 将这些激光脉冲同时均匀地辐照在热核材料制成的靶核上, 使之被高度压缩并发生热核聚变.

上述若干束激光脉冲实际上是由一束低功率种子激光脉冲经分束并被若干钜玻璃放大器放大后形成. 因为放大过程中存在明显的增益饱和现象^[2], 所以需要高功率激光器前端部分输出经过时间整形的种子激光脉冲以预补偿过大过程带来的时域畸变. 另外, 物理实验要求在纳秒长激光脉冲压缩靶核的同时, 输出一束百皮秒的短激光脉冲到被压缩靶核上, 这个短激光脉冲也被称为激光探针, 它具有很高的时间分辨率、可在短时间内捕获等离子体像, 给出重要的物理信息^[3]. 为了激光探针能够提供准确的实验信息, 需要它与纳秒级长脉冲具有精确的时间同步关系^[4]. 本文提出的同步方案可使长短脉冲的同步准确度小于 3.5 ps(rms).

1 技术方案背景

目前, 实现以上技术要求的方案主要为长单纵模脉冲削波方案. 该方案代表之一为美国的 OMEGA 装置上的脉冲整形与长短脉冲同步方案, 其长短脉冲之间的同步准确度为 10 ps(rms)^[5]. 在 OMEGA 装置中, 长激光脉冲是由基于波导调制器

的光脉冲整形系统产生, 其中波导调制器的驱动电压是由整形电脉冲单元提供. 整形光脉冲与整形电脉冲之间具有以下的定量关系^[6]

$$I_{out}(t) = I_{in}(t) \sin^2\left(\frac{\pi}{2} \frac{V_{shape}(t)}{V_{\pi}}\right) \quad (1)$$

式中, I_{in} 为激光输入脉冲, V_{shape} 为整形电脉冲, V_{π} 为电光调制器的半波电压, I_{out} 为整形后的主激光脉冲.

该装置由另一台锁模激光器提供百皮秒短脉冲, 其锁模器的驱动信号为 38MHz 的正弦电信号, 而这个正弦信号的一部分转化为方波信号以后, 被作为上面所提整形电脉冲单元的触发信号. 由于其具有门触发性质, 整形电脉冲单元将在正弦信号过零处被触发. 通过这种方式, 整形主激光脉冲和锁模光脉冲之间的同步准确度将由正弦信号转换过程和触发整形电脉冲单元过程所引入的时间晃动来决定

$$\Delta t_{total} = \sqrt{\Delta t_{con}^2 + \Delta t_{elt}^2} \quad (2)$$

式中, Δt_{con} 为正弦信号转化过程引入的时间晃动, Δt_{elt} 为触发整形电脉冲单元过程所引入的时间晃动, Δt_{total} 为两光脉冲之间总的的时间晃动.

在 OMEGA 装置(见图 1)双激光器技术方案的基础上, 为了简化系统的结果, 获取更高的同步准确度, 提出了一种新的长短脉冲同步方案. 在本方案中, 不仅免去了锁模激光器, 而且还能够实现长短脉冲之间更高的同步准确度.

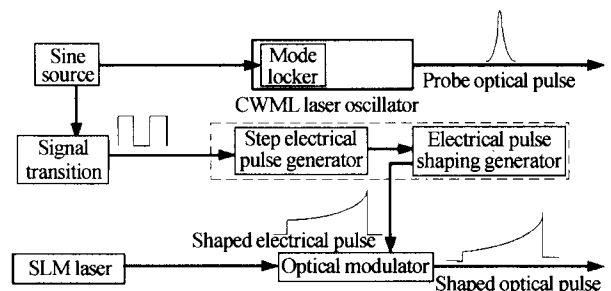


图 1 OMEGA 装置上长短脉冲同步方案
Fig. 1 Time-synchronization between the CWML optical pulse and the shaped optical pulse on OMEGA

*863-804 前端专项课题资助项目
Tel: 021-69918809 Email: gao_yunkai@163.com
收稿日期: 2005-01-25

2 实验方案及装置

在本方案中,纳秒级整形长脉冲和百皮秒级短脉冲均由同一光脉冲经削波产生,其光路如图 2. 首先,单纵模激光振荡源输出的光脉冲分束后分别进入两个波导调制器中. 同时,电脉冲整形技术单元将分别输出一个纳秒级整形电脉冲和百皮秒级电脉冲到两个波导调制器中. 这样,从调制器中将输出一个纳秒级任意整形光脉冲和一个百皮秒级光脉冲,且两光脉冲之间的同步准确度将主要取决于两个电脉冲之间的同步关系.

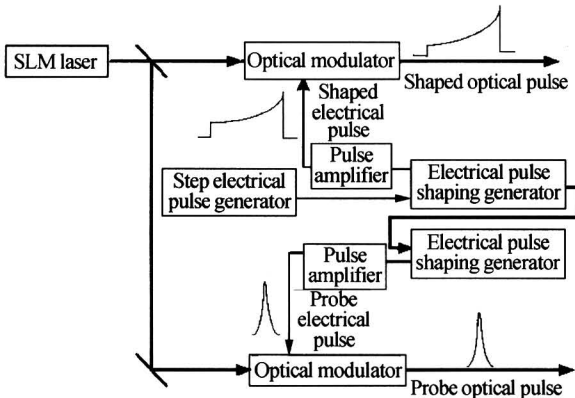


图 2 单激光源条件下的长短脉冲同步方案
Fig. 2 The new technique of time synchronization between short optic pulse and long shaped optic pulse

整形电脉冲单元是由一个快前沿阶跃电脉冲源、两个孔耦合电脉冲整形器组成的. 孔耦合电脉冲整形器是一个四层四端口装置,其结构如图 3. 通过公共接地板上的耦合孔,从端口 1 输入到传输线 1 的阶跃电脉冲中一小部分能量耦合到传输线 2 上,并从端口 4 作为整形电脉冲输出(实验和理论计算表明整形电脉冲和特定的耦合孔径之间存在着—对应的关系,其具体的关系在文献[6,7]中有详细的论述). 从端口 1 和端口 2 看上去,电脉冲整形器可认为是无源电脉冲衰减器,因此可以将端口 2 数出的电脉冲作为另一个电脉冲器的输入电脉冲,在这个整形器的端口 4 也将会输出一个整形电脉冲.

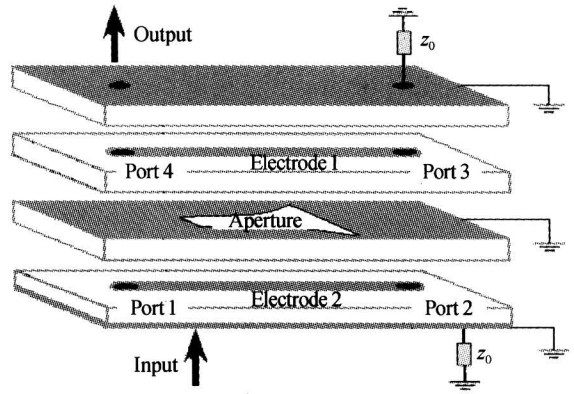


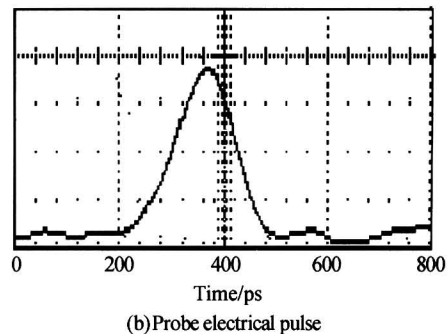
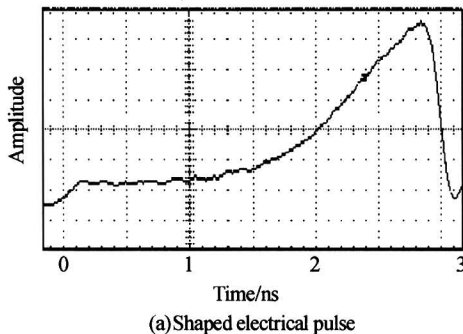
图 3 电脉冲整形发生器
Fig. 3 The electrical-pulse-shaping generator

因为两个孔耦合电脉冲整形器是无源被动型器件,由一个阶跃电脉冲激励出的两个电脉冲将具有精确的同步关系. 由于整形电脉冲的峰值电压小于波导调制器的半波电压,所以加入两个宽频带脉冲放大模块,使整形电脉冲得到适当放大.

尽管阶跃电脉冲源固有的输出时间晃动会引起每一个整形电脉冲的输出晃动,但对两个整形电脉冲之间的同步准确度却没有影响,所以本方案能够避免触发阶跃电脉冲源过程所引起的时间晃动.

3 结果与讨论

在演示实验中,长光脉冲的脉宽为 3 ns,波形为指数型上升型,短光脉冲脉宽为 117 ps 左右,波形为近高斯型,相应的电脉冲的波形也具有与光脉冲相类似的形状,测量结果如图 4. 因为波导调制器属于无源被动型器件,光脉冲仅在整形电脉冲作用期间才能通过,即光脉冲在时间与相应的电脉冲完全同步,所以本文采用测量电脉冲间的同步准确度来表征光脉冲间的同步准确度. 测量使用的示波器选用 Agilent DSO81004A 示波器,其带宽为 10 GHz、采样率为 40 GSa/s,以百皮秒电脉冲作为示波器的触发信号,观测纳秒级长电脉冲的时间晃动,测量结果如图 5. 测量结果表明:两电脉冲之间的时间晃动为 3.26 ps,小于 3.5 ps.



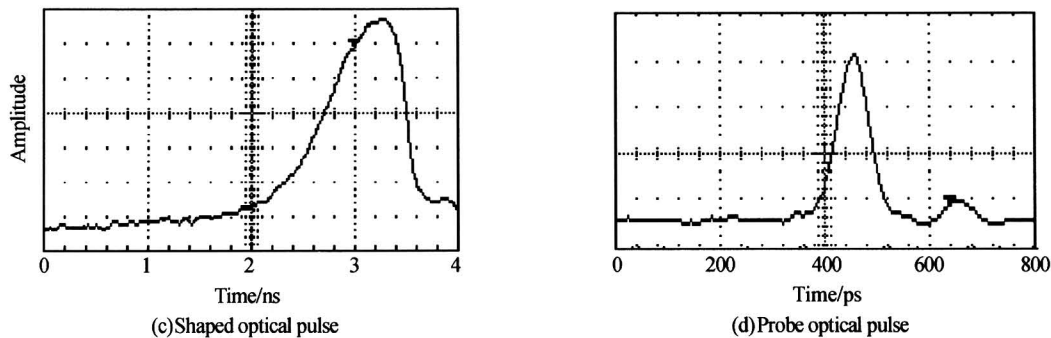


图 4 整形电脉冲和光脉冲、探针电脉冲和光脉冲的测量结果

Fig. 4 Measured shaped electrical and optical pulse and measured short electrical and optic pulse

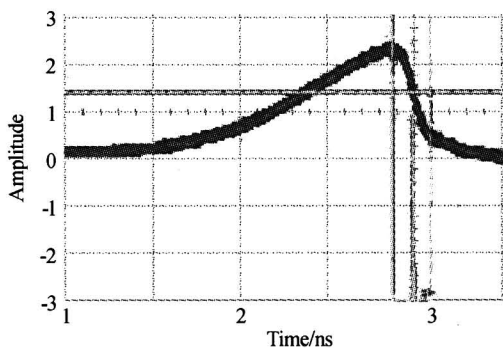


图 5 长短脉冲之间的同步准确度

Fig. 5 The jitter between the probe optic pulse and the shaped optic pulse

由于在测量过程中,纳秒电脉冲信号自身波形会发生微小的变化,这既有示波器自身的基线噪声的影响,也有来自实验环境干扰的影响.这些因素在电脉冲时间晃动的测量上有所体现,所以实际的时间晃动应该更小一些.另外,示波器本身存在着固有的时间晃动,所以在前述的结果上,实际的时间晃动还应该再小一些.

与 OMEGA 装置的双激光器振荡源方案相比,本文所提方案节省了一台锁模脉冲激光器,可降低系统造价,减化系统构成,且能够提供更高的长短脉冲同步准确度.

4 结论

提出并验证一种新的长短脉冲同步方案,在只有一台激光振荡源的同时输出纳秒级长激光脉冲和百皮秒短激光脉冲,其同步准确度小于 3.5 ps,并且还具有结构简单,维护容易等特点.

参考文献

- 1 Nuckolls J H, Wood L, Thiessen A, *et al.* Laser compression mater to super-high densities; thermonuclear (CTR) application. *Nature*, 1972, **239** (15): 129~142
- 2 楚晓亮,张彬.超短脉冲在放大介质中传输特性研究. *光子学报*, 2004, **33**(6): 641~644
Chu X L, Zhang B. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(6): 641~644
- 3 李辉,刘百玉,欧阳娴,等.激光打靶装置中的集散式数字同步系统的研究. *光子学报*, 2004, **33**(7): 786~788
Li H, Liu B Y, Ouyang X, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(7): 786~788
- 4 Gremillet L, Amiranoff F, Baton S D, *et al.* Time-resolved observation of ultrahigh intensity laser-produced electron jets propagating through transparent solid targets. *Phys Rev Lett*, 1999, **83**(24): 5015~5018
- 5 赵文怡,金国良,应再生,等.基于有限差分束传播法的 Mach-Zehnder 型波导电光调制器的模拟设计. *光子学报*, 1998, **27**(2): 156~161
Zhao W Y, Jin G L, Ying Z S, *et al.* *Acta Photonica Sinica*, 1999, **27**(2): 156~161
- 6 Skeldon M D. A high bandwidth electrical waveform generation based on an aperture coupled stripline. *Review of Scientific Instruments*, 2000, **71**(9): 3559~3566
- 7 Burkhart S C, Wilcox R B. Arbitrary pulse shape synthesis via nonuniform transmission lines. *IEEE Trans Microwave Theory Tech*, 1990, **38**(10): 1514~1518

A New Scheme of Time-synchronization Between Long Optical Pulse and Short Optical Pulse

Gao Yunkai, Jiang Yuntao, Li Xuechun

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

Received date: 2005-01-25

Abstract A long pulse of single longitudinal laser is input into two waveguide modulators respectively after beam splitting, meanwhile two shaped electric pulses with high time synchronization are input into the modulators respectively, which carries out high synchronization between the shaped optic pulse and the probe optic pulse. The research result indicates that the synchronization between the two pulses is less than 3.5 ps generated by this method.

Keywords Laser technique; Shaped pulse; Laser probe; Time-synchronization



Gao Yunkai was born in 1977. He got Physics Bachelor from Northeast University in 2001. Now he is studying for Optic Master in Shanghai Institute of Optic and Fine Mechanics Chinese Academy of Sciences. His research field is laser pulse-shaping.