

文章编号: 1000-2618(2009)01-0009-03

【光学工程】

## 光脉冲测量系统中菲涅尔双棱镜参数设计

刘承香<sup>1</sup>, 刘春平<sup>1</sup>, 龙井华<sup>2</sup>, 阮双琛<sup>1</sup>

(1. 深圳大学电子科学与技术学院, 深圳 518060; 2. 深圳大学物理科学与技术学院, 深圳 518060)

**摘要:** 基于单发频率分辨光学开关法的飞秒脉冲测量系统, 理论推导光束经菲涅尔双棱镜分光与聚合产生的时间延迟, 得到菲涅尔双棱镜底角、折射率和脉冲光斑半径的关系. 时间延迟在  $x$  方向成线性关系, 有利于进行时间延迟标定. 根据所测飞秒脉冲的半高全宽, 可估算所需光斑大小和菲涅尔双棱镜底角, 为菲涅尔双棱镜的选择提供了理论依据.

**关键词:** 脉冲测量; 单发频率分辨光学开关; 菲涅尔双棱镜; 半高全宽; 飞秒激光

**中图分类号:** TN 247

**文献标识码:** A

基于时频技术的频率分辨光学快门 (frequency-resolved optical gating, FROG) 能严格、全面地测量脉冲的振幅和相位<sup>[1-3]</sup>. FROG 包括实验和算法, 其基本思路是将待测脉冲经分束器后形成两个具有相对时间延迟的脉冲, 在非线性和介质中混合, 产生一个在系列时间段内频率分辨的信号脉冲, 并用信号采集卡和算法程序获取光脉冲的脉宽和相位信息. 传统实验装置采用精密步进电机或 PIZ 作为光学延迟器的驱动器件. 本文采用单发频率分辨光学开关法 (grating eliminated no-nonsense observation of ultrafast laser light E-fields, GRENOUILLE) 实验装置<sup>[4-5]</sup>, 其结构较传统装置简化很多, 但各个元器件的参数选择都会影响测量结果<sup>[6]</sup>. 理论推导了飞秒激光在倍频晶体  $x$  方向产生光程差的公式, 以及根据所测光脉冲半高全宽估算光斑和菲涅尔双棱镜底角, 为选择菲涅尔双棱镜提供理论依据.

## 1 菲涅尔双棱镜产生的延迟

飞秒激光通过菲涅尔双棱镜分光、聚合后, 在倍频晶体相交处产生了延迟. 其空间延迟 (又称光程差) 在  $x$  方向上与  $\Delta x$  的关系如图 1 所示. 图 1 (b) 是图 1 (a) 中虚线框的详细图.

图 1 中,  $O$  点为光程差为 0 的位置, 亦即  $x$  方

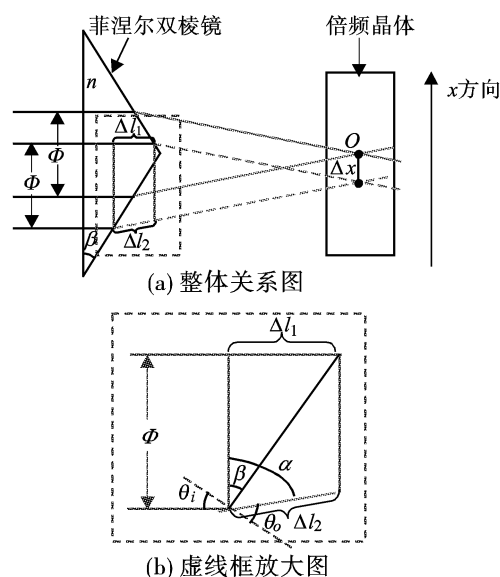


图 1 光程差与  $\Delta x$  的关系

Fig. 1 Relation between optical path difference and  $\Delta x$

向的原点;  $\Phi$  为入射光斑半径;  $\beta$  为菲涅尔双棱镜底角;  $\alpha$  为线段  $l_1$  和  $l_2$  间的夹角;  $\theta_i$  为光入射角;  $\theta_o$  为光出射角;  $n$  为菲涅尔双棱镜的折射率;  $\Delta x$  为光束交点与  $O$  点的距离;  $\Delta C$  为相交于  $\Delta x$  处两束光的光程差. 以上参数满足

$$n \sin \theta_i = \sin \theta_o, \quad (1)$$

$$\alpha = 180^\circ - (90^\circ - \beta) - \theta_o, \quad \theta_i = \beta. \quad (2)$$

收稿日期: 2008-06-01; 修回日期: 2008-10-28

基金项目: 深圳市科技计划资助项目 (200428; 200521); 深圳大学科研基金资助项目 (200554)

作者简介: 刘承香 (1976-), 女 (汉族), 重庆市忠县人, 深圳大学副教授、博士. E-mail: chxliu@szu.edu.cn

通讯作者: 阮双琛 (1963-), 男 (汉族), 深圳大学教授、博士生导师. E-mail: scruan@szu.edu.cn

由式 (1) 和式 (2) 可得

$$\alpha = 90^\circ - \arcsin(n \sin \beta) + \beta. \quad (3)$$

$$\text{而 } \Delta l_1 = \Delta l_2 \sin \alpha, \quad (4)$$

由  $\Delta l_2 / \sin \theta_i = 2 \Delta x / \sin(\alpha - \theta_i)$  可得

$$\Delta l_2 = 2 \Delta x \sin \theta_i / \sin(\alpha - \theta_i) = 2 \Delta x \sin \beta / \sin(\alpha - \beta). \quad (5)$$

空间延迟为

$$\Delta C = n \Delta l_1 - \Delta l_2 = 2(n \sin \alpha - 1) \sin \beta \Delta x / \sin(\alpha - \beta). \quad (6)$$

时间延迟和空间延迟的关系为

$$\Delta \tau = \frac{1}{3 \times 10^8} \cdot \frac{2(n \sin \alpha - 1) \sin \beta}{\sin(\alpha - \beta)} \Delta x. \quad (7)$$

式 (6) 与式 (7) 为距中心点  $\Delta x$  处两束光间引入的空间延迟  $\Delta C$  和时间延迟  $\Delta \tau$ . 可以看出, 菲涅尔双棱镜的折射率  $n$  和底角  $\beta$  确定后,  $\Delta C$  和  $\Delta \tau$  都与  $\Delta x$  成比例关系, 这对进行  $x$  方向空间延迟和时间延迟的标定非常有用, 有利于将采集到的 FROG 图进行脉冲恢复算法求解.

## 2 菲涅尔双棱镜与光脉冲测量

半径为  $\Phi$  的光斑, 其边缘光线与中心光线在倍频晶体上的交点离  $O$  点最远, 此时  $\Delta l_1 = \Phi \tan \beta$ ,  $\Delta l_2 = \Phi \tan \beta / \sin \alpha$ , 代入式 (6), 得

$$\Delta \tau_{\max} = \frac{\Phi \tan \beta}{3 \times 10^8} \left\{ n - \frac{1}{\cos[\arcsin(n \sin \beta) - \beta]} \right\}. \quad (8)$$

式 (8) 为最大时延与光斑半径和菲涅尔双棱镜参数 (折射率和底角) 间的函数关系. 菲涅耳双棱镜参数选定后, 所能测量的最大时延与光斑半径成正比; 同时若光斑半径确定, 可通过选取较大角度增加测量范围. 测量中  $\Delta \tau_{\max}$  的选取需适当,  $\Delta \tau_{\max}$  太小不能正确反映光脉冲的形状, 尤其是边缘信息, 太大又会降低  $x$  方向的时间分辨率.

图 2 给出了开关光和门限光之间能够产生自相关的条件<sup>[4,7-8]</sup>. 假设光脉冲为高斯型, 其半高全宽  $\Delta T = 180 \text{ fs}$ , 脉冲宽度  $\tau_p$  约为  $2.3 \times 180 \text{ fs}$ , 则菲涅尔棱镜的最大光程差要大于  $2.3 \times 180 \text{ fs}$ . 取  $\Delta \tau_{\max} = 3 \times 180 \text{ fs} = 3 \Delta T$ , 此时式 (8) 可表示为

$$3 \Delta T = \frac{\Phi \tan \beta}{3 \times 10^8} \left\{ n - \frac{1}{\cos[\arcsin(n \sin \beta) - \beta]} \right\}. \quad (9)$$

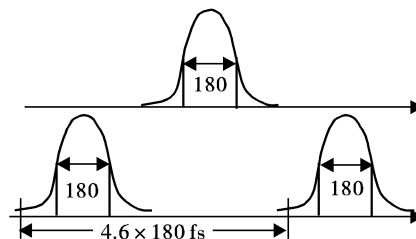


图 2 两束光能发生自相关的条件

Fig. 2 Condition of autocorrelation

图 3 显示了  $\Delta T$  为  $180 \text{ fs}$ ,  $n$  分别取  $1.5$ 、 $1.7$  和  $2.0$  时  $\Phi$  和  $\beta$  的函数关系. 从图 3 可以看出, 当  $n = 1.5$  时, 如果  $\beta$  为  $2^\circ$ , 则  $\Phi$  需  $9 \text{ mm}$ , 飞秒激光很难达到如此大的光斑; 如果  $\beta$  为  $8^\circ$ , 则  $\Phi$  为  $2.35 \text{ mm}$ , 采用一个 6 倍的光束扩展装置可以实现半径为  $2.35 \text{ mm}$  的光斑. 所以测量  $\Delta T$  约  $180 \text{ fs}$  的飞秒激光时, 选底角为  $7^\circ 41''$  的常用菲涅尔双棱镜就可满足要求. 根据前面的推导, 菲涅尔双棱镜的参数设计为: ① 估算所测量光脉冲的半高全宽; ② 选择菲涅尔双棱镜的材料, 得到折射率  $n$ ; ③ 利用式 (9) 得到菲涅尔双棱镜底角和输入光斑半径的关系, 在光斑大小适当时选择对应的底角加工菲涅尔双棱镜; ④ 测量结果同时用式 (7) 进行标定.

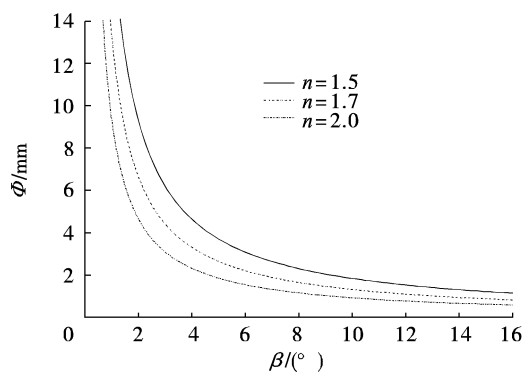


图 3 菲涅尔双棱镜底角和输入光斑半径的关系曲线

Fig. 3 The relation curves between Fresnel biprism's base angle and the radius of incident beams

## 结 语

本文对在 GRENOUILLE 光脉冲形状测量系统中起分光、延迟和聚焦作用的菲涅尔双棱镜进行了  $x$  方向时间延迟的推导, 并计算了棱镜底角、折射率和光斑半径之间的关系, 其结果对于菲涅尔双棱镜的参数选择和标定提供了理论依据.

## 参考文献:

- [1] 王兆华,魏志义,滕浩,等. 飞秒激光脉冲的谐波频率分辨光学开关法测量研究 [J]. 物理学报, 2003, 52(2): 362-366.
- [2] 王兆华,魏志义,张杰. 飞秒激光脉冲的频率分辨偏振光学开关法测量研究 [J]. 物理学报, 2005, 54(3): 1194-1199.
- [3] 雷亮,吴住文,邓莉,等. FROG方法诊断飞秒脉冲的振幅与相位 [J]. 中山大学学报, 2002, 41(6): 128-130.
- [4] O'Shea P, Akturk S, Kimmel M, 等. 用 GRENOUILLE 测量超短脉冲的实际问题 [J]. 应用物理 B, 2004, 79: 683-691 (英文版).
- [5] O'Shea P, Kimmel M, GU Xun, 等. 测量超短脉冲的高度简化装置 [J]. 光学快报, 2001, 26: 932-934 (英文版).
- [6] 柴路,何铁英,张志刚,等. BBO晶体厚度对光谱相位干涉仪性能的影响 [J]. 光电子·激光, 2005, 16(3): 289-293.
- [7] DeLong K W, Fittinghoff D N, Trebino R. 采用频率分辨光学开关法测量超短脉冲的实际问题 [J]. IEEE量子电子学杂志, 1996, 32(7): 1253-1264 (英文版).
- [8] 刘文军,王卫京,戴恩文,等. 频率分辨光学开关法测量飞秒脉冲 [J]. 激光与光电子学进展, 2007, 44(3): 50-56.

Abstract: 1000-2618(2009)01-0011-EA

## Design on Fresnel biprism in the optical pulse measurement system

LIU Cheng-xiang<sup>1</sup>, LIU Chun-ping<sup>1</sup>, LONG Jing-hua<sup>2</sup>,  
and RUAN Shuang-chen<sup>1</sup>

- |  |   |
|--|---|
| <p>1) College of Electronic Science and Technology<br/>Shenzhen University<br/>Shenzhen 518060<br/>P. R. China</p> | <p>2) College of Physics Science and Technology<br/>Shenzhen University<br/>Shenzhen 518060<br/>P. R. China</p> |
|--|---|

**Abstract:** In the pulse measurement system based on grating eliminated no-nonsense observation of ultrafast laser light E-fields, the time delay between beams that were split and crossed by Fresnel biprism was theoretically derived. Meanwhile, the relation among Fresnel biprism's base angle, refractive index, and the radius of incident femtosecond pulse beam was obtained. The time delay is linear in the  $x$  direction, very useful for delay calibration. Based on the full-width at half-maximum of optical pulse, one can estimate the radius of incident beams and Fresnel biprism's base angle. This approach provides theoretical basis for selecting Fresnel biprism.

**Key words:** pulse measurement; grating eliminated no-nonsense observation of ultrafast laser light E-fields; Fresnel biprism; full-width at half-maximum; femtosecond beams

## References:

- |   |  |
|---|--|
| <p>[1] WANG Zhao-hua, WEI Zi-yi, TENG Hao, et al. Measurement of femtosecond laser pulses using SHG frequency-resolved optical gating technique [J]. Acta Physica Sinica, 2003, 52(2): 362-366 (in Chinese).</p> <p>[2] WANG Zhao-hua, WEI Zi-yi, ZHANG Jie. Measurement of femtosecond laser pulses using PG frequency-resolved optical gating [J]. Acta Physica Sinica, 2005, 54(3): 1194-1199 (in Chinese).</p> <p>[3] LEI Liang, WU Zhu-wen, DENG Li, et al. Diagnosis of intensity and phase of femtosecond pulses using frequency-resolved optical gating [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2002, 41(6): 128-130 (in Chinese).</p> <p>[4] O'Shea P, Akturk S, Kimmel M, et al. Practical issues in ultra-short-pulse measurements with "GRENOUILLE" [J]. Applied Physics B, 2004, 79: 683-691.</p> | <p>[5] O'Shea P, Kimmel M, GU Xun, et al. Highly simplified device for ultrashort-pulse measurement [J]. Optics Letters, 2001, 26: 932-934.</p> <p>[6] CHAI Lu, HE Tie-ying, ZHANG Zhi-gang, et al. Influence of BBO crystal thickness on performance of a spectral phase interferometry [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2005, 16(3): 289-293 (in Chinese).</p> <p>[7] DeLong K W, Fittinghoff D N, Trebino R. Practical issues in ultrashort-laser-pulse measurement using frequency-resolved optical gating [J]. IEEE Journal of Quantum Electronics, 1996, 32(7): 1253-1264.</p> <p>[8] LIU Wen-jun, WANG Wei-jing, DAI En-wen, et al. Measurement of femtosecond laser pulse with frequency-resolved optical gating [J]. Laser &amp; Optoelectronics Progress, 2007, 44(3): 50-56 (in Chinese).</p> |
|---|--|

【中文责编: 坪梓; 英文责编: 卫栋】

<http://journal.szu.edu.cn>