

拼接型光栅对压缩器中刻线密度差对输出脉冲的影响及补偿方案

赵丹 王道 母杰 左言磊 周松 周凯南 曾小明 李志林 粟敬钦 朱启华

Effect of grating groove density error on the output pulses of the tiled grating compressor and corresponding compensation scheme

Zhao Dan Wang Xiao Mu Jie Zuo Yan-Lei Zhou Song Zhou Kai-Nan Zeng Xiao-Ming Li Zhi-Lin Su Jing-Qin Zhu Qi-Hua

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 66, 024201 (2017) DOI: 10.7498/aps.66.024201

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.66.024201>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2017/V66/I2>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

透射光学系统像平面一阶散射光照度分布规律研究

The research on the illumination distribution law of the first-order scattered light in the focal plane of transmission optical system

物理学报.2017, 66(4): 044201 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.66.044201>

部分相干条件下的弱散射样品 ptychography iterative engine 成像

Ptychographic iterative engine with partially coherent illumination for weakly scattering samples

物理学报.2016, 65(18): 184202 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.184202>

柱状磁光颗粒的局域表面等离激元共振及尺寸效应

Localized surface plasmon resonance and the size effects of magneto-optic rods

物理学报.2016, 65(11): 114202 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.65.114202>

非相干照明条件下的 ptychographic iterative engine 成像技术

Ptychographic iterative engine with the incoherent illumination

物理学报.2015, 64(24): 244201 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.244201>

高斯光束在双层云中传输的蒙特卡罗模拟

Transportation of Gaussian light beam in two-layer clouds by Monte Carlo simulation

物理学报.2015, 64(18): 184204 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.184204>

拼接型光栅对压缩器中刻线密度差对输出脉冲的影响及补偿方案*

赵丹¹⁾²⁾³⁾ 王逍^{1)3)†} 母杰¹⁾³⁾ 左言磊¹⁾ 周松¹⁾ 周凯南¹⁾³⁾ 曾小明¹⁾
李志林¹⁾³⁾ 栗敬钦¹⁾ 朱启华¹⁾³⁾

1)(中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 等离子体物理重点实验室, 绵阳 621900)

2)(中国工程物理研究院研究生院, 北京 100088)

3)(上海交通大学 IFSA 协同创新中心, 上海 200240)

(2016年8月26日收到; 2016年10月25日收到修改稿)

拼接型光栅对压缩器中子光栅的刻线密度不一致会降低压缩器的品质, 补偿刻线密度差的影响对于提高输出脉冲的性能具有十分重要的意义. 基于光线追迹的方法建立了理论模型, 数值分析了刻线密度差所导致的出射光角度偏移及输出脉冲展宽程度. 提出同时用水平角偏误差和纵向错位误差来补偿光栅刻线密度差影响的方案, 给出不同刻线密度差时的理论光栅偏转角度和对应的平移距离以及该方案的补偿范围. 利用空谱干涉测量方法, 验证了该方案在一定范围内可校正出射光的角度偏转, 较好地补偿二、三阶色散误差, 且实验与理论结果较为符合. 本研究可为拼接光栅压缩器的设计与调整提供指导.

关键词: 拼接光栅, 光栅刻线密度差, 光栅对压缩器, 啁啾脉冲放大

PACS: 42.15.Dp, 42.25.Fx, 42.65.Re

DOI: 10.7498/aps.66.024201

1 引言

自啁啾脉冲放大(chirped pulse amplification, CPA)概念提出以来, 超短超强脉冲激光技术得到了飞速发展, 为很多前沿科学领域的研究提供了有利条件和工具^[1-3]. 在CPA系统中, 压缩器是非常关键的部分^[4,5]. 在大型超短脉冲激光系统中使用最广泛的是平行光栅对压缩器^[6], 而压缩器光栅的口径和损伤阈值是装置输出能力的主要瓶颈, 利用光栅拼接技术来扩大光栅口径已成为解决问题的重要途径之一. 光栅拼接技术的核心是各种拼接误差的高精度控制, Zhang等^[6]指出拼接光栅中可能出现的几种误差类型, 并作了简要分析. 文献^[7-9]分析了光栅刻线不平行和光栅拼接缝对

光束空间特性的影响. 关于拼接光栅误差的补偿, Kessler等^[10]提出了配对误差补偿的概念, 即根据某两种拼接误差对光束影响的相似性, 通过调整某一种误差来抵消另一种误差的影响^[11]. 其中刻线密度差可用水平角偏误差(光栅绕母线偏转)来补偿, 但此种补偿方法只能校正刻线密度差引起的出射光角度偏移, 对于其引起的色散变化补偿能力有限, 甚至无法补偿. 因此, 本文在前人研究的基础上, 详细分析了拼接光栅中子光栅间存在刻线密度差时压缩器输出脉冲的特性, 数值计算了刻线密度差引起的出射光偏移角度和各阶色散误差, 提出了同时用水平角偏误差和纵向错位误差(光栅沿光栅法线方向的前后平移)来补偿光栅刻线密度差的方案, 并利用空谱干涉测量方法对该补偿方案进行了实验验证.

* 国家自然科学基金(批准号: 61308040, 61505188)和国家高技术研究发展计划(批准号: 2015AA8043047)资助的课题.

† 通信作者. E-mail: wangxiaocn@caep.cn

2 理论模型与数值分析

2.1 拼接光栅对中刻线密度差对输出脉冲的影响

拼接型双程平行光栅对压缩器的结构如图1所示. 光栅 G_{11} 和 G_{12} , G_{21} 和 G_{22} 两两拼接, 与平面反射镜 M 一起构成双程平行光栅对压缩器, 其中 G_{11} 与 G_{21} , G_{12} 与 G_{22} 分别组成两组子光栅对. 假设光栅 G_{11} , G_{12} , G_{21} 的刻线密度为 ρ (光栅周期为 d), 光栅 G_{22} 的刻线密度为 ρ' (光栅周期为 d'), $\rho \neq \rho'$, 二者的差值即刻线密度差 $\Delta\rho = \rho - \rho'$. 当光束通过压缩器时, 光栅对 G_{11} , G_{21} 之间的光路不会发生改变, 而光栅对 G_{12} , G_{22} 之间由于存在刻线密度差, 根据光线追迹可知出射光会偏移角度 α , 偏移后的光线路径如图2所示.

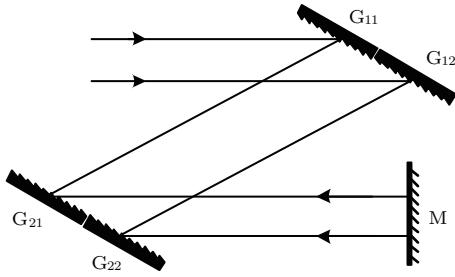


图1 拼接型双程光栅对压缩器结构示意图

Fig. 1. Schematic of double-pass tiled-grating pair compressor.

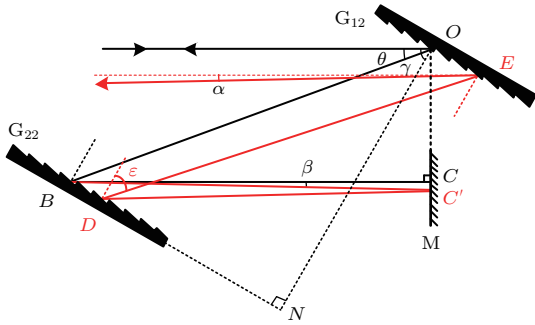


图2 (网刊彩色) 光栅对中存在刻线密度差时的光路图

Fig. 2. (color online) Ray-tracing of a grating pair with grating groove density error.

光栅对 G_{12} , G_{22} 的垂直间距为 l , 光波中心波长为 λ , 光线在光栅 G_{12} 上的入射角为 γ , 入射光线与衍射光线的夹角为 θ , 则衍射角为 $\gamma - \theta$. BC 和 BC' 分别为 G_{22} 无刻线密度差和有刻线密度差时的衍射光线, BC 与 BC' 间的夹角为 β , 光线被反射

镜 M 反射后, 在光栅 G_{22} 上的衍射角为 ε , 有

$$\beta = \arcsin \left[\frac{\lambda}{d'} - \sin(\gamma - \theta) \right] - \gamma, \quad (1)$$

$$\varepsilon = \arcsin \left[\frac{\lambda}{d'} - \sin(\gamma - \beta) \right], \quad (2)$$

则出射光偏移的角度 α 为

$$\alpha = \gamma - \arcsin \left(\frac{\lambda}{d} - \sin \varepsilon \right). \quad (3)$$

G_{22} 无刻线密度差时, 光线双程通过光栅对 G_{12} , G_{22} 时的光程 $P = 2(OB + BC)$, G_{22} 有刻线密度差时, 光程 $P' = OB + BC' + C'D + DE$.

利用几何关系有

$$OB = \frac{l}{\cos(\gamma - \theta)}, \quad (4)$$

$$BC = \frac{l \cos \theta}{\cos(\gamma - \theta)}, \quad (5)$$

$$BC' = \frac{l \cos \theta}{\cos(\gamma - \theta) \cos \beta}, \quad (6)$$

$$C'D = BC'(\cos \beta - \sin \beta \cdot \tan \gamma) \times [\cos \beta - \sin \beta \cdot \tan(\gamma - \beta)], \quad (7)$$

$$DE = OB \cdot [\cos(\varepsilon - \gamma + \theta) + \sin(\varepsilon - \gamma + \theta) \cdot \tan \varepsilon], \quad (8)$$

$$BN = l \cdot \tan(\gamma - \theta), \quad (9)$$

故光程为

$$P' = \frac{l}{\cos(\gamma - \theta)} \left\{ 1 + \frac{\cos \theta}{\cos \beta} + \frac{\cos \theta}{\cos \beta} (\cos \beta - \sin \beta \cdot \tan \gamma) \times [\cos \beta - \sin \beta \cdot \tan(\gamma - \beta)] + \cos(\varepsilon - \gamma + \theta) + \sin(\varepsilon - \gamma + \theta) \cdot \tan \varepsilon \right\}. \quad (10)$$

总的相位为

$$\phi(\omega) = \frac{\omega}{c} P' + R(\omega), \quad (11)$$

式中 ω 为光波频率, c 为光速, $R(\omega)$ 为附加相位^[12],

$$R(\omega) = 2 \times \frac{-2\pi l \cdot \tan(\gamma - \theta)}{d'}. \quad (12)$$

相应地, 各阶色散可以由方程 $\varphi_j = \frac{d^j \phi(\omega)}{d\omega^j}$ 求得,

其中 $j = 1, 2, 3, 4, \dots$ 分别对应一阶、二阶、三阶、四阶色散……由于光栅刻线密度差会改变光线的路径, 光栅对各阶色散也会相应发生变化, 从而引入色散误差, 即有刻线密度差和无刻线密度差时的色散差值.

由以上分析可以数值模拟刻线密度差引起的色散变化, 从而分析其对输出脉冲的影响. 数值计算的基本参数如表 1 所示, 输入光为高斯型短脉冲, 输出光用焦距为 f 的透镜进行聚焦. 光栅 G_{11} , G_{12} , G_{21} 的刻线密度为 ρ , 光栅 G_{22} 的刻线密度为 ρ' , 刻线密度差 $\Delta\rho = \rho - \rho'$ ($\Delta\rho$ 可正可负). 光栅刻线密度差导致出射光偏移的角度 α 、远场光斑偏移的距离 S 以及二、三阶色散误差 (分别用 E_{GVD} , E_{TOD} 表示) 和不同刻线密度差时的输出脉冲时间波形如图 3 所示.

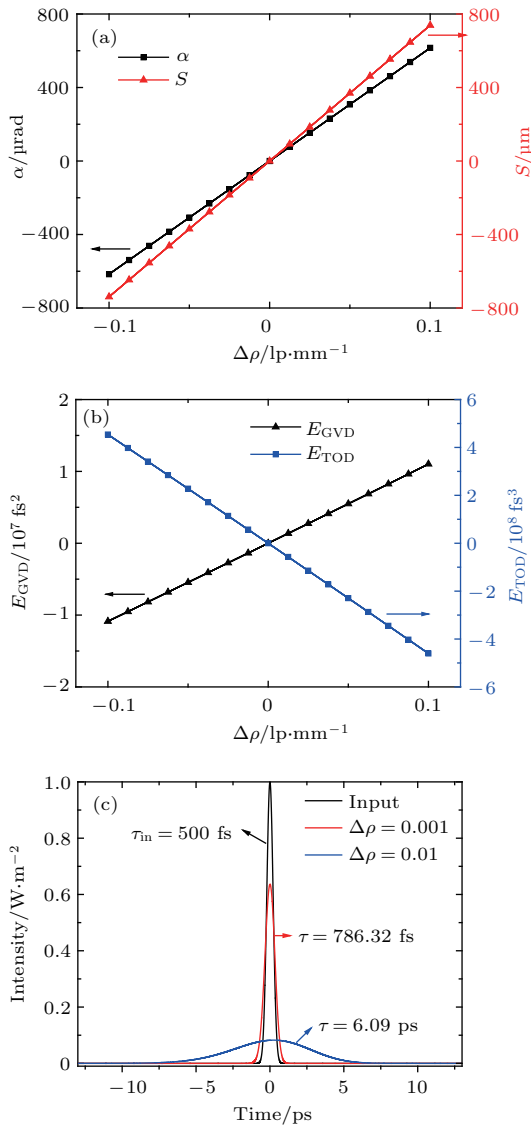


图3 (网刊彩色) (a) 出射光偏移角度 α 和光斑偏移距离 S 随刻线密度差的变化; (b) 二、三阶色散误差随刻线密度差的变化; (c) 输入脉冲波形及 $\Delta\rho$ 分别为 0.001 和 0.01 lp/mm 时的输出脉冲时间波形

Fig. 3. (color online) (a) α and S as a function of $\Delta\rho$, respectively; (b) E_{GVD} , E_{TOD} as a function of $\Delta\rho$, respectively; (c) input and output pulse temporal shapes when $\Delta\rho$ is 0.001 and 0.01 lp/mm, respectively.

表 1 计算参数

Table 1. Calculation parameters.

中心波长 λ/nm	脉宽 τ/fs	入射角 $\gamma/(\text{^\circ})$	光栅对间距 l/m	光栅刻线密度 $\rho/\text{lp}\cdot\text{mm}^{-1}$	透镜焦距 f/m
1053	500	70	4.02	1740	1.2

从图 3(a) 可以看出, 出射光偏移角度和远场光斑偏移距离与光栅刻线密度差呈正比关系, 刻线密度差越大, 出射光偏移越严重. 从图 3(b) 和图 3(c) 可以看出, 由光栅刻线密度差引起的二、三阶色散误差很明显, 二阶色散误差高达 10^7 fs² 量级, 三阶色散误差达 10^8 fs³ 量级, 输出脉冲受色散误差的影响, 脉宽展宽非常明显, 当 $\Delta\rho = 0.01$ lp/mm 时, 输出脉冲已经展宽到 6.09 ps. 可见在拼接型光栅对压缩器中刻线密度差对输出脉冲的影响非常显著, 不仅会使出射光的远场光斑偏离中心位置, 增大光斑面积, 还会展宽输出脉冲, 降低脉冲的峰值强度.

2.2 水平角偏误差校正出射光角度偏移

拼接光栅对中的刻线密度差会使出射光发生偏移, 通常用水平角偏误差来校正出射光角度偏移, 即将有刻线密度差的光栅绕母线偏转微小角度 δ , 使光栅偏转后的出射光与无刻线密度差时的出射光完全重合, 如图 4 所示, 光栅 G_{22} 偏转后的位置为 G'_{22} .

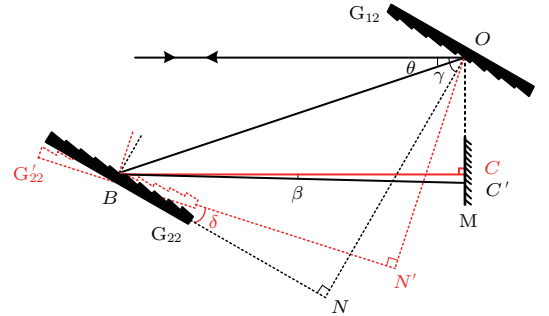


图4 (网刊彩色) 光栅偏转示意图

Fig. 4. (color online) Schematic of the grating tilt.

光栅 G_{22} 未偏转时, 光线路径为 OBC' ; 光栅 G_{22} 偏转后, 光线路径为 OBC , 经反射镜 M 后光线按原路返回, 出射光与入射光重合, 即出射光的偏移得以校正.

光栅偏转后光程 (双程) 与无刻线密度差时的光程相等, 即 $P = 2(OB + BC)$, 但附加相位会改变, 此时附加相位 $R'(\omega)$ 为

$$R'(\omega) = 2 \times \frac{-2\pi}{d'} \cdot OB$$

$$\cdot \sin \left\{ \arcsin \left[\frac{\lambda}{2d' \cos(\theta/2)} \right] - \frac{\theta}{2} \right\}. \quad (13)$$

利用水平角偏误差可以校正刻线密度差引起的出射光角度偏移, 但并不能完全补偿其带来的色

散误差. 光栅的偏转角度、光栅偏转后的剩余二、三阶色散误差以及不同刻线密度差时的输出脉冲时间波形和脉宽展宽比(输出脉宽与理想脉宽的比值)如图5所示.

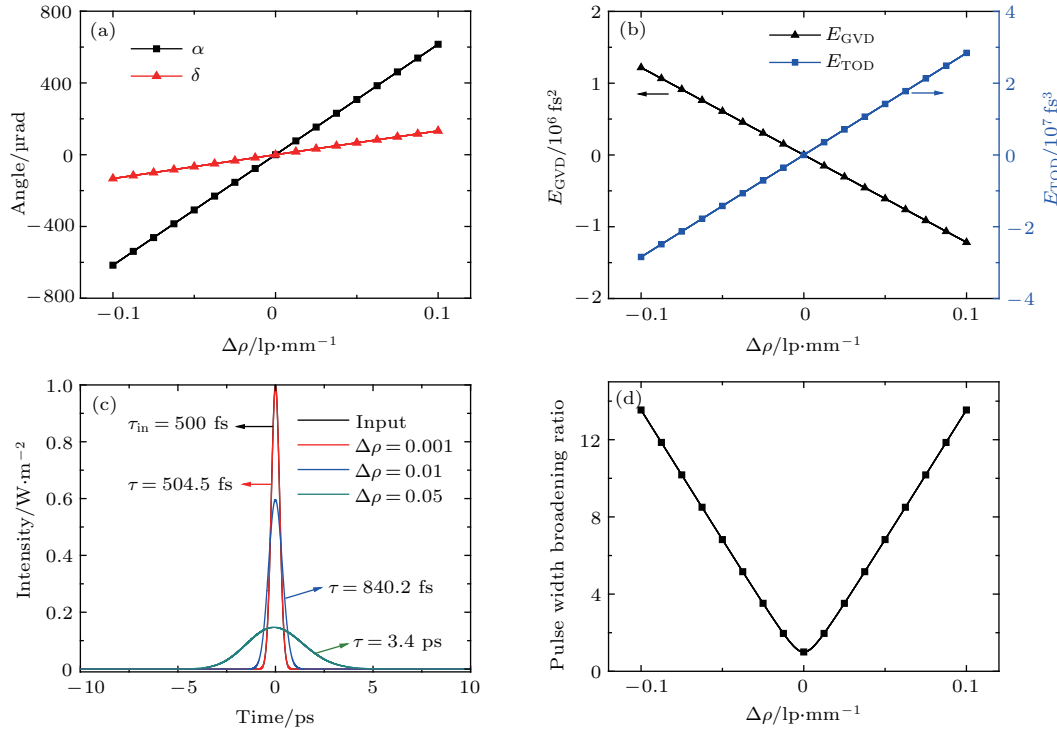


图5 (网刊彩色)(a) 出射光偏移角度 α 与对应的光栅偏转角度 δ ; (b) 光栅偏转后的剩余二、三阶色散误差; (c) 光栅偏转后不同刻线密度差对应的输出脉冲时间波形; (d) 不同刻线密度差对应的输出脉冲脉宽展宽比
Fig. 5. (color online) (a) α and δ as a function of $\Delta\rho$, respectively; (b) E_{GVD} and E_{TOD} after the grating tilting; (c) output pulse temporal shapes with different $\Delta\rho$ after the grating tilting; (d) output pulse width broadening ratio with different $\Delta\rho$.

从图5(a)可以看出要校正出射光的角度偏移, 光栅需要偏转的角度 δ 与刻线密度差 $\Delta\rho$ 呈正比关系. 从图5(b)—(d)可以看出, 光栅偏转可以减小刻线密度差引起的色散误差, 相比光栅偏转前, 二、三阶色散误差均降低了一个数量级. 输出脉冲的展宽程度也有所降低, 系统的输入脉冲脉宽为500 fs, 理想情况下, 经过展宽压缩后的脉宽仍然为500 fs. 定义脉宽展宽率为: (输出脉宽-理想脉宽)/理想脉宽 $\times 100\%$, 假设以输出脉冲的脉宽展宽率小于10%为标准, 则拼接光栅刻线密度差 $\Delta\rho$ 的容许范围为 -0.0033 — 0.0033 lp/mm.

2.3 纵向错位误差补偿剩余色散误差

光栅对各阶色散与光栅间的垂直距离成正比^[13], 故可以利用纵向错位误差来改变光栅对间距, 补偿光栅偏转后仍然剩余的部分色散误差, 进

一步降低光栅对刻线密度差对输出激光脉冲的影响. 以二阶色散误差完全被补偿为补偿标准, 光栅对间距需要改变的量为 Δl , 为保证光线始终入射到光栅中心处, 沿两光栅中心的连线方向平移光栅 G'_{22} , 平移后的位置为 G''_{22} , 如图6所示. 光栅 G'_{22} 平移斜距离 ΔL 与光栅对间距的改变量 Δl 满足 $\Delta l = \Delta L \cdot \cos(\gamma - \theta)$.

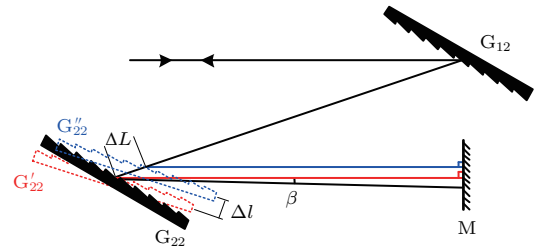


图6 (网刊彩色) 光栅偏转并平移的示意图
Fig. 6. (color online) Schematic of grating tilt and translation.

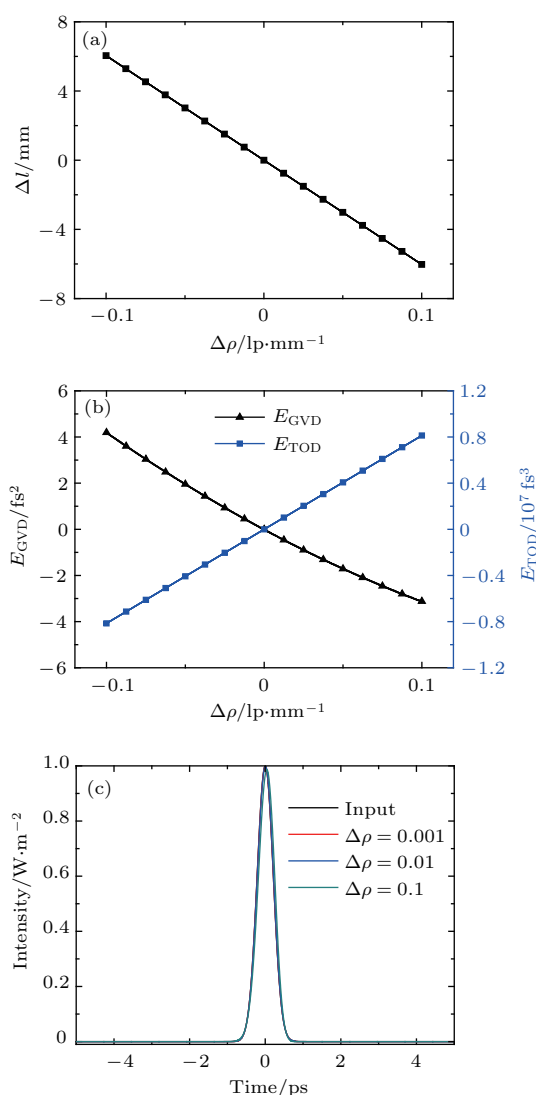


图7 (网刊彩色) (a) 不同刻线密度差 $\Delta\rho$ 对应的光栅平移距离 Δl ; (b) 光栅平移后的剩余二、三阶色散误差; (c) 光栅平移后不同刻线密度差对应的输出脉冲时间波形
Fig. 7. (color online) (a) Δl as a function of $\Delta\rho$; (b) E_{GVD} and E_{TOD} after grating translation; (c) output pulse temporal shapes with different $\Delta\rho$ after grating translation.

要补偿光栅偏转后的剩余二阶色散误差, 光栅对间距需要改变的距离 Δl 如图 7(a) 所示, Δl 与刻线密度差 $\Delta\rho$ 呈线性关系. 平移光栅, 当剩余的二阶色散误差基本得到补偿(剩余量非常小, 可忽略)时, 仍剩余部分三阶色散误差, 如图 7(b) 所示, 但剩余量较小, 对输出脉冲的影响不大, 此时输出脉冲时间波形如图 7(c) 所示, 刻线密度差 $\Delta\rho$ 在 -0.1 — 0.1 lp/mm 范围内时, 输出脉冲与输入脉冲的时间波形基本一致.

3 实验验证

采用空谱干涉^[14]测量方法验证上述方案的有效性. 空谱干涉是空间干涉与光谱干涉的结合, 所形成的干涉条纹本质上是不同光谱成分在空间上的等相位线. 根据空谱干涉的条纹图可以反演得出两相干光束间的谱位相差, 从而提取出两束光的束间延迟、高阶色散等信息^[15–16].

实验光路如图 8 所示, 光栅 G_{11} , G_{12} , G_{21} , G_{22} 组成拼接型双程平行光栅对压缩器, 四块子光栅中的 G_{22} 与其他三块光栅 G_{11} , G_{12} , G_{21} 为不同批次产品, 测量发现两批次生产的光栅之间存在刻线密度差 $\Delta\rho = 0.0544$ lp/mm.

光纤振荡器的输出光(中心波长为 1053 nm、带宽为 8 nm 的高斯型脉冲)经过扩束后由半透半反镜 S_1 注入压缩器中. 压缩器的出射光经半透半反镜 S_2 后一部分用于远场监测, 另一部分用于空谱干涉实验. 在远场观测到的压缩器出射光光斑为两瓣, 分别来自光栅对 G_{11} , G_{21} 和光栅对 G_{12} , G_{22} . 偏转光栅 G_{22} 使两光斑完全重合, 即校正了由光栅刻线密度差引起的出射光角度偏移.

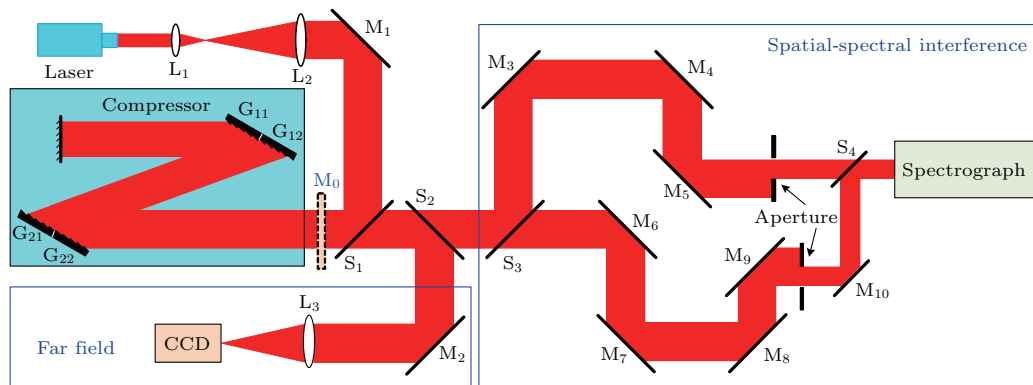


图8 (网刊彩色) 实验光路示意图 L_1 — L_3 : 透镜; S_1 — S_4 : 半透半反镜; M_0 — M_{10} : 高反镜

Fig. 8. (color online) Schematic of the experimental light path. L_1 — L_3 : lenses; S_1 — S_4 : half mirrors; M_0 — M_{10} : highly reflective mirrors.

压缩器出射光经过半透半反镜 S_3 后被分为透射和反射两路光, 通过两支光路上的光阑进行遮挡, 使反射光路中来自光栅对 G_{11} , G_{21} 的光与透射光路中来自光栅对 G_{12} , G_{22} 的光在半透半反镜 S_4 处会聚并进入光谱仪进行空谱干涉. 其中透射光路上的反射镜 M_7 , M_8 安装在精密平移导轨上, 用于调整同步.

为了消除压缩器外围光路所引入的同步误差和色散误差, 在压缩器前放置一个反射镜 M_0 , 使光不通过压缩器, 采集两路光的干涉条纹, 如图9(a)所示, 条纹为斜条纹, 说明两路光之间存在误差. 调节透射光路上的平移导轨以及多个镜子的角度, 直到干涉条纹变得水平, 如图9(b)所示, 说明两路光完全同步且无色散误差, 也说明此时由外围光路引入的误差得到补偿, 图中 $\Delta\tau$ 表示同步误差.

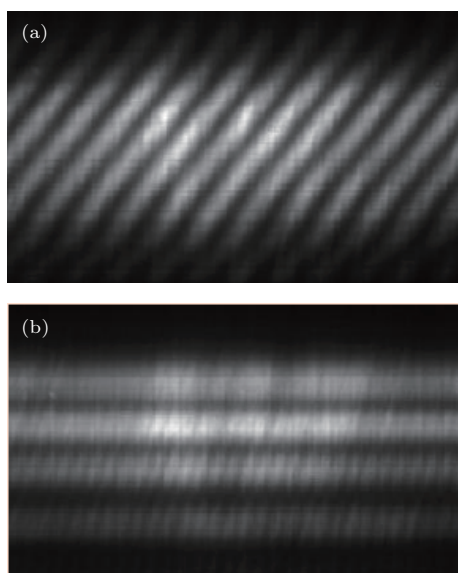


图9 光不经过压缩器时的空谱干涉条纹 (a) $\Delta\tau \neq 0$, $E_{GVD} \neq 0$; (b) $\Delta\tau = 0$, $E_{GVD} = 0$

Fig. 9. Interference fringes without light passing compressor: (a) $\Delta\tau \neq 0$, $E_{GVD} \neq 0$; (b) $\Delta\tau = 0$, $E_{GVD} = 0$.

外围光路引入的同步误差和色散误差被补偿后, 去掉反射镜 M_0 , 使光通过压缩器. 平移光栅 G_{22} , 改变光栅对的间距, 光栅 G_{22} 向内平移过程中的空谱干涉条纹如图10所示.

从图10可以看出, 光栅 G_{22} 在向内平移过程中, 谱干涉条纹的弯曲程度先变小再变大. 条纹倾斜的方向也发生变化, 先向左倾斜, 然后变水平, 最后向右倾斜, 说明在此过程中两支光路的同步误差和色散误差的符号均发生了改变. 图10(b)中的空谱干涉条纹最接近水平, 根据其条纹反推算出同步

误差为4.43 fs, 剩余二阶色散为 -1014 fs^2 , 剩余三阶色散为 $5.46 \times 10^6 \text{ fs}^3$, 此时的输出脉冲时间波形如图11所示.

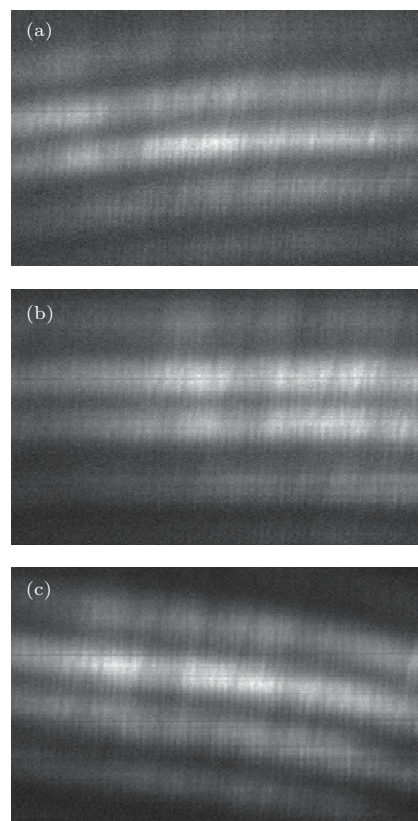


图10 光栅 G_{22} 在不同位置处的空谱干涉条纹 (a) $\Delta\tau > 0$, $E_{GVD} < 0$; (b) $\Delta\tau \approx 0$, $E_{GVD} \approx 0$; (c) $\Delta\tau < 0$, $E_{GVD} > 0$

Fig. 10. Interference fringes with different grating locations of G_{22} : (a) $\Delta\tau > 0$, $E_{GVD} < 0$; (b) $\Delta\tau \approx 0$, $E_{GVD} \approx 0$; (c) $\Delta\tau < 0$, $E_{GVD} > 0$.

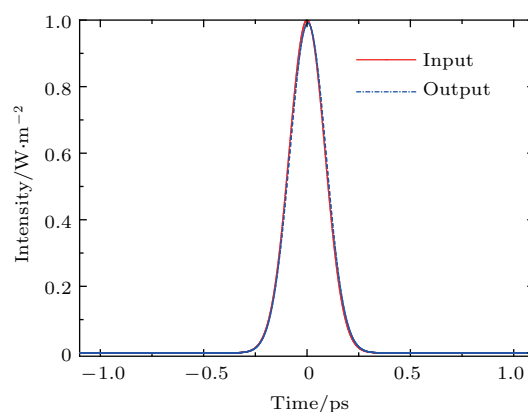


图11 输入、输出脉冲时间波形

Fig. 11. Input and output pulse temporal shapes.

虽然仍剩余少量二阶、三阶色散, 但从图11可以看出输出脉冲与输入脉冲的时间波形几乎一致, 说明剩余的色散误差对脉冲的影响很小, 这也和数

值模拟结果相符,从而验证了同时利用水平角偏误差和纵向错位误差来补偿光栅刻线密度差的影响是可行的.

4 结 论

本文详细分析了拼接型光栅对压缩器中刻线密度差对输出脉冲的影响,子光栅之间刻线密度不一致不仅会使出射光发生角度偏移,还会引入色散误差,导致输出脉冲明显展宽,降低压缩器的输出性能.对此,提出了同时利用水平角偏误差和纵向错位误差来补偿光栅刻线密度差影响的方案,并通过空谱干涉测量方法对该补偿方案进行了实验验证.结果表明适当偏转和平移有刻线密度差的光栅可以校正出射光的角度偏移,并且能较好地补偿刻线密度差引起的二阶、三阶色散误差.

参考文献

- [1] Dubietis A, Butkus R, Piskarskas A P 2006 *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.* **12** 163
- [2] Norreys P A, Allott R, Clark R J 2000 *Physics of Plasmas* **7** 3721
- [3] Kitagiwa Y, Fujita H 2004 *IEEE J. Quantum Electron.* **40** 281
- [4] Treacy E B 1969 *IEEE J. Quantum Electron.* **QE-5** 454
- [5] Martinez O E 1987 *IEEE J. Quantum Electron.* **QE-2** 359
- [6] Zhang T, Yonemura M, Kato Y 1998 *Optics Commun.* **145** 367
- [7] Liu W B, Feng G Y, Zhu Q H, Wang X 2006 *Laser Technology* **30** 334 (in Chinese) [刘文兵, 冯国英, 朱启华, 王道 2006 激光技术 **30** 334]
- [8] Ma X M, Dai Y P, Zhu J Q 2006 *Acta Optica Sinica* **26** 161 (in Chinese) [马雪梅, 戴亚平, 朱健强 2006 光学学报 **26** 161]
- [9] Cao H B, Lu X Q, Fan D Y 2011 *Acta Optica Sinica* **31** 1005004 (in Chinese) [曹华保, 卢兴强, 范滇元 2011 光学学报 **31** 1005004]
- [10] Kessler T J, Bunkenburg J, Iwan L, Kellogg C, Skulski W 2004 *LLE Review Quarterly Report* **100** 242
- [11] Zuo Y L 2007 *Ph. D. Dissertation* (Beijing: Tsinghua University) (in Chinese) [左言磊 2007 博士学位论文 (北京: 清华大学)]
- [12] Zhang Z G, Yagi T, Arisawa T 1997 *Appl. Opt.* **36** 3393
- [13] Liu L Q 2005 *Ph. D. Dissertation* (Mianyang: China Academy of Engineering Physics) (in Chinese) [刘兰琴 2005 博士学位论文 (绵阳: 中国工程物理研究院)]
- [14] Meshulach D, Yelin D, Silberberg Y 1997 *J. Opt. Soc. Am. B* **14** 2095
- [15] Zuo Y L, Zhou K N, Wu Z H, Wang X, Xie N, Su J Q, Zeng X M 2016 *Laser Phys. Lett.* **13** 055302
- [16] Bowlan P, Gabolde P, Shreenath A, McGresham K, Trebino R 2006 *Opt. Express* **14** 11892

Effect of grating groove density error on the output pulses of the tiled grating compressor and corresponding compensation scheme*

Zhao Dan¹⁾²⁾³⁾ Wang Xiao¹⁾³⁾† Mu Jie¹⁾³⁾ Zuo Yan-Lei¹⁾ Zhou Song¹⁾
 Zhou Kai-Nan¹⁾³⁾ Zeng Xiao-Ming¹⁾ Li Zhi-Lin¹⁾³⁾
 Su Jing-Qin¹⁾ Zhu Qi-Hua¹⁾³⁾

1) (Science and Technology on Plasma Physics Laboratory, Research Center of Laser Fusion, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

2) (Graduate School of China Academy of Engineering Physics, Beijing 100088, China)

3) (Collaborative Innovation Center of IFSA, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

(Received 26 August 2016; revised manuscript received 25 October 2016)

Abstract

The grating groove density error (GGDE) will degrade the performance of the tiled-grating compressor, and the compensation for GGDE is of significance for improving the characteristics of the output pulses. With the ray-tracing method, analytical expressions considering GGDE are derived to predict the output beam drift and the output pulse broadening. According to the numerical results, we propose a compensation method to reduce the degradation of the tiled-grating compressor by applying angular tilt error and longitudinal piston error simultaneously. The tilt angle and the translation distance of the grating, as well as the allowable tolerance range of GGDE are obtained with this compensation method. By using the equiphase lines in the spatial-spectral interference patterns, the experimental results demonstrate that this compensation method can correct the angular drift of the output beams effectively, and compensate for the second-order and the third-order dispersion error well. Our investigation provides an efficient way to guide the adjustment of the tiled grating with GGDE.

Keywords: tiled grating, grating groove density error, grating-pair compressor, chirped pulse amplification

PACS: 42.15.Dp, 42.25.Fx, 42.65.Re

DOI: 10.7498/aps.66.024201

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 61308040, 61505188) and the National High Technology Research and Development Program of China (Grant No. 2015AA8043047).

† Corresponding author. E-mail: wangxiaocn@caep.cn