

飞秒激光脉冲压缩用啁啾镜新设计方法

王 希 陈玲玲 杨晔健 张志刚

(北京大学信息科学技术学院量子电子学研究所区域光纤通信网与新型光通信系统国家重点实验室, 北京 100871)

摘要 对配对啁啾镜传统的优化过程进行了改进, 并且尝试了新的多个啁啾镜匹配的方法。理论上实现了在 700~1050 nm 光谱范围内, 两个啁啾镜配对色散总和振荡小于 $\pm 10 \text{ fs}^2$, 三个啁啾镜配对色散总和振荡小于 $\pm 15 \text{ fs}^2$ 。此配对啁啾镜所实现的精确补偿色散, 是获得极短光脉冲的基础, 可以用于飞秒激光的脉冲压缩。

关键词 超快光学; 啁啾镜; 色散补偿; 群延迟; 周期量级脉冲

中图分类号 O436 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS200828s1.0089

New Design of Chirped Mirrors for Femtosecond Pulse Compression

Wang Xi Chen Lingling Yang Weijian Zhang Zhigang

(State Key Laboratory of Advanced Optical Communication System and Networks, Institute of Quantum Electronics, School of Electronics Engineering and Computer Science, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract A novel technique of optimizing chirped mirrors is proposed. Simulation demonstrates that the residual group delay dispersion ripples of two matched chirped mirrors is less than 10 fs^2 over the wavelength range of 700~1050 nm and that of three matched chirped mirrors is less than 15 fs^2 over the same range. These kinds of chirped mirrors have precisely controlled group delay dispersion, which plays a critical role in the generation of ultrashort pulses and compression of few-cycle to monocycle femtosecond pulses.

Key words ultrafast optics; chirped mirror; dispersion compensation; group delay; few-cycle pulse

1 引 言

啁啾镜(Chirped mirror)是利用布拉格干涉原理, 在一个介质镜中镀上多层折射率不同的膜层, 保证啁啾镜在保持高反射率的同时, 对不同波长的光在镜子的不同深度发生反射, 从而使脉冲获得群延迟色散(Group delay dispersion, GDD)补偿^[1]。精确补偿色散是获得极短光脉冲的基础, 啁啾反射镜由于其可设计的可控性使得它对激光脉冲色散能进行相当精确的补偿, 可以得到的脉宽越来越短。

啁啾镜最初的设计方法是傅里叶变化法, 但是设计结果的色散曲线上有较大的震荡。为了减小震荡, 人们又提出双啁啾法、计算机优化法、窄带滤波器法等设计方法, 但仍然无法完全克服震荡, 特别是在相当较宽的带宽下, 进而又提出了啁啾镜配对的思想。在啁啾镜的发展过程中, 如何减小色散曲线上的震荡是啁啾镜的改进的目标之一。最近, 有研

究组利用商用软件 OptiLayer, 设计出了成 1.5 个倍频程带宽的啁啾镜^[1]。但是商用软件 OptiLayer 软件极其昂贵, 一般研究组很难负担得起。TFCalc 相对廉价, 一般镀膜实验室都有配置。但是, 该软件没有配对设计的功能。我们利用自己设计的辅助软件, 对 TFCalc 软件功能进行了开发, 进行啁啾镜配对设计, 得出一些有意义的结果。计算结果表明, 在一定波长范围内, 利用 TFCalc 软件, 仍然可以设计出和用 OptiLayer 软件相近甚至更优的配对结果。

2 设计思想及实现结果

2.1 设计思想

总体设计方法是: 首先选择初始设计方案, 然后进入优化过程, 最终得到最优膜系。而其中优化过程中所采用的具体方法, 比如所选取的优化目标、优化算法或者优化镜子的数目等, 对最终的优化结果

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(60490280)、面上项目(60578007)资助课题。

作者简介: 王 希(1986—), 女, 本科, 主要从事啁啾镜设计方面的研究。E-mail: fishmao@pku.edu.cn

导师简介: 张志刚(1952—), 男, 博士, 教授, 主要从事超快光学、光纤时频传输等方面的研究。

E-mail: zhgzhang@pku.edu.cn

有很大的影响。而本文中所展示的两组配对啾啾镜设计的关键点,主要体现在:1)优化参量始终选择群延迟(Group delay, GD);2)除了第一次优化的啾啾镜,每次优化以与之配对的啾啾镜的当前优化结果的互补值目标,反复优化到达最优结果;3)修改设计三个啾啾镜独立配对的方法,令其中两个啾啾镜膜系相同并与第三个配对,从而减少镀膜的次数。

2.2 啾啾镜的设计和结果讨论

2.2.1 两个啾啾镜配对的实现

两个啾啾镜配对设计的优化参数为:反射率在 510~545 nm 带宽内要求均小于 0.5%,反射率在 620~1100 nm 带宽内要求均大于 99.8%;两个啾啾镜 GDD 总和在中心波长 800 nm 处要求为 -140 fs^2 ,其中单个啾啾镜(CM1、CM2)GDD 为 -70 fs^2 。初始设计方案选择的窄带滤波器法,优化过程在 620~1100 nm 带宽共设置 301 个点进行计算,采用的优化软件为 TFCalc 软件。

最终得到的优化结果包括反射率、GD 和 GDD 如图 1、图 2 和图 3 所示。可以看出,优化后的配对

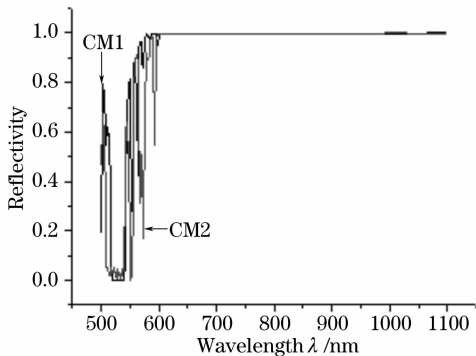


图 1 两个配对啾啾镜的反射率

Fig. 1 Reflectivity of two matched chirped mirrors

啾啾镜不仅让实际 GD 曲线和 GDD 曲线与设计值

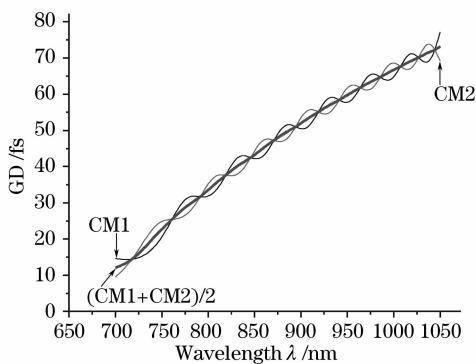


图 2 两个配对啾啾镜单独和平均 GD

Fig. 2 Individual and averaged GD of two matched chirped mirrors

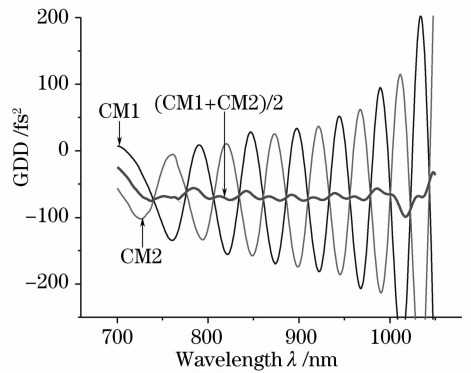


图 3 两个配对啾啾镜单独和平均 GDD

Fig. 3 Individual and averaged group delay dispersion (GDD) of two matched chirped mirrors

准确地符合,并且保证了实际的 GDD 总和的振荡在 700~1050 nm 光谱范围内均小于 $\pm 10 \text{ fs}^2$ 。反射率在 620~1100 nm 光谱范围内均高于 99.8%,在 510~545 nm 光谱范围内均小于 0.5%。可以认为,用上述两个啾啾镜在满足设计指标前提下,实现了很好的配对效果。

2.2.2 三个啾啾镜配对的实现

三个啾啾镜配对设计的优化参数为:反射率在 510~545 nm 带宽内要求小于 0.5%,反射率在 620~1100 nm 带宽内要求大于 99.8%;三个啾啾镜 GDD 总和在中心波长 800 nm 处要求为 -210 fs^2 ,其中第一个啾啾镜(CM1)GDD 为 -90 fs^2 ,第二个啾啾镜和第三个啾啾镜采用相同膜系(CM2),GDD 为 -60 fs^2 。初始设计方法选择的窄带滤波器法,优化过程在 620~1100 nm 带宽共设置 301 个点进行计算,采用的优化软件为 TFCalc 软件。

最终得到的优化结果包括反射率、GD 和 GDD 如图 4、图 5 和图 6 所示。

与两个配对相比,三个配对啾啾镜的优化结果

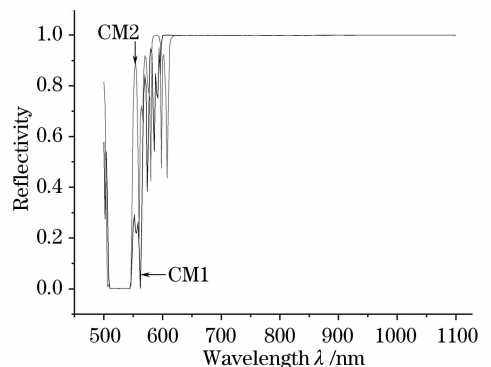


图 4 三个配对啾啾镜的反射率

Fig. 4 Reflectivity of three matched chirped mirrors

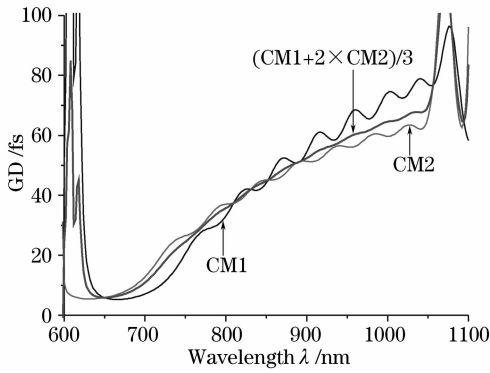


图 5 三个配对啁啾镜的 GD

Fig. 5 Individual and averaged GD of three matched chirped mirrors

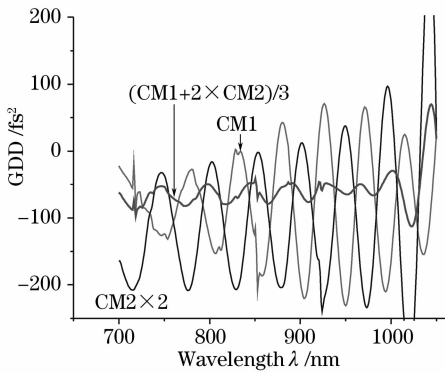


图 6 三个配对啁啾镜的 GDD

Fig. 6 Individual and averaged GDD of three matched chirped mirrors

同样让实际 GD 曲线和 GDD 曲线与设计值准确地符合,以及反射率在 620~1100 nm 光谱范围内均高于 99.8%,在 510~545 nm 光谱范围内均小于 0.5%。稍微有所差别的是实际的 GDD 总和的振荡在 700~1050 nm 光谱范围内均小于 ±15 fs²,略大于两个配对的结果,原因可能是三个配对时第一个镜子所要求的 GDD 为 -90 fs²,由此会使 GDD 产生更大的振荡。但是我们仍然可以认为这组啁啾镜实现了比较好的配对。

3 结 论

本文通过对啁啾镜优化过程中优化参量的改进,以及采用新的匹配方式,理论上实现了符合设计指标的平滑的配对啁啾镜 GDD 曲线,为提高色散补偿的精确性提供了基础,对飞秒激光的脉冲压缩将起到一定作用。期待镀制定啁啾镜得到的结果与理论结果比较,对该设计进一步完善并且最终用于飞秒激光器中。

参 考 文 献

1 V. Pervak, V. Tikhonravov, M. K. Trubetskov *et al.*. 1.5-octave chirped mirror for pulse compression down to sub-3 fs[J] *Appl. Phys. B*, 2007, **87**: 5