

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0233-03

# 用于飞秒激光啁啾脉冲放大系统的光谱滤波器的设计研究\*

张宁 邢岐荣 吴元生 柴路 张伟力 张志刚 王清月

(天津大学精密仪器与光电子工程学院, 超快激光研究室, 光电信息技术科学教育部重点实验室, 天津 300072)

**提要** 根据薄膜光学的设计原理, 针对飞秒激光脉冲放大过程中的增益特性以及对输出光谱形状的特殊要求, 通过膜系的优化计算, 设计研制了适用于飞秒激光的光谱滤波器件, 实现对飞秒激光脉冲的频谱强度与频谱分布的特殊控制, 以获得所需的具有特殊要求的飞秒激光光谱。实验结果表明, 通过这种滤波器件, 适用于飞秒激光啁啾脉冲放大系统。

**关键词** 飞秒激光脉冲; 薄膜光学; 光谱滤波器; 频谱分布

**中图分类号** TN713 **文献标识码** A

## Study on Designing a Spectrum Filter for Femtosecond Laser Chirp Pulse Amplification System

ZHANG Ning XING Qi-rong WU Yuan-sheng CHAI Lu ZHANG Wei-li  
ZHANG Zhi-gang WANG Qing-yue

(Ultrafast Laser Laboratory, College of Precision Instruments and Optoelectronics Engineering, Key Laboratory of Optoelectronic Information Technical Science, MOE, Tianjin University, Tianjin 300072)

**Abstract** Based on design principle of thin-film optics, to the special needs for output spectrum shape and gain characteristics in the process of femtosecond laser pulse amplification, a type of femtosecond laser spectrum filter is designed through optimum calculation to thin-film system. The filter can control intensity of laser spectrum and distribution of laser frequencies for a special purpose, and acquire the special femtosecond laser spectrum shape which is needed. Our results show that the femtosecond laser spectrum filter can be used in the femtosecond laser chirp pulse amplification system.

**Key words** femtosecond laser pulse, thin-film optics, spectrum filter, frequency distribution

## 1 引言

飞秒激光啁啾脉冲放大技术(CPA)是获得超短超强激光的重要手段<sup>[1,2]</sup>。随着激光放大技术的迅猛发展, TW级( $10^{12}$  W)激光系统已可达到  $10^{21}$  W/cm<sup>2</sup>的功率密度<sup>[3]</sup>。美国利弗莫尔实验室(LLNL)也已产生了高达 1.25 Petawatt( $10^{15}$  W)的超强高功率激光<sup>[4]</sup>。

在 CPA 中, 为了能有效地从固体放大介质中抽

取能量, 同时又避免光强过高而引起的非线性效应以及对光学元件的损坏, 办法是在激光脉冲进入放大器之前, 先行将其在时域展宽, 待放大器放大后再将其压缩至傅里叶变换极限脉冲。然而从光脉冲频域来看, 由振荡级直接输出的种子光脉冲的光谱大都呈现出钟型曲线, 而放大介质也具有类似的增益曲线。因此, 种子激光脉冲进入放大器放大后, 不可避免地会导致激光脉冲的光谱变窄, 影响可能获得的脉冲宽度。本文根据薄膜光学原理, 经过优化计算, 设计了一种飞秒激光脉冲光谱滤波器, 对由振荡级出来的飞秒种子脉冲的光谱进行滤波, 有目的地滤掉或消弱一些光谱成份, 实现对飞秒激光光谱形状的控制, 以满足 CPA 系统对飞秒激光种子脉冲光

\* 国家自然科学基金(69878020), 国家重点基础研究专项经营(973), 教育部高等学校优秀青年教师和科研奖励基金部分资助课题。

谱形状的特殊要求。

### 2 飞秒激光光谱滤波器设计

根据薄膜光学原理<sup>[5-7]</sup>,我们在玻璃基片上镀制类似 G-T 干涉仪的经过计算机优化软件优化的膜系。玻璃基片必须很薄,以避免给飞秒种子脉冲带来太多的色散。由于当今大多数 CPA 系统的振荡级为 Ti:sapphire 激光器,其荧光光谱为 660 nm ~ 1100 nm,中心波长约为 790 nm。因此,选取滤波器的中心波长在 790 nm 处,且为低透过率,两侧为高透过率。图 1 为飞秒激光脉冲光谱滤波器的结构示意图,图 2 为根据薄膜光学理论设计的激光光谱透过率曲线。

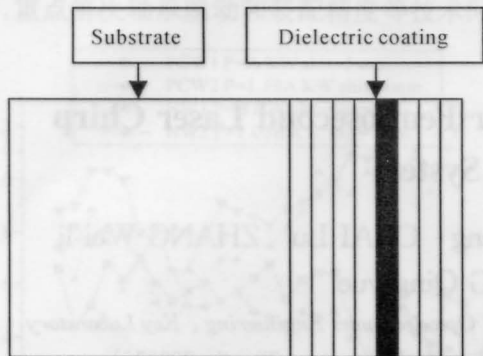


图 1 光谱滤波器结构示意图

Fig.1 Sketch of filter structure

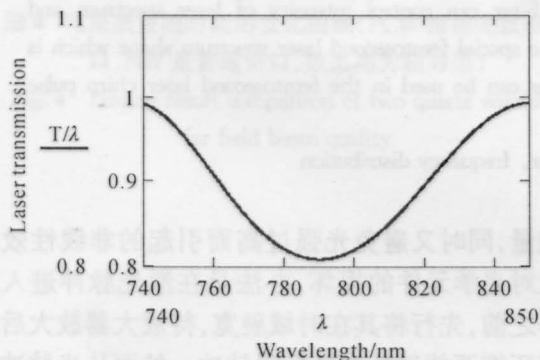


图 2 光谱滤波器的透过率

Fig.2 Laser transmission of filter

### 3 实验结果与讨论

将我们设计的飞秒激光光谱滤波器放入飞秒激光啁啾脉冲放大系统的振荡级之后,种子光脉冲的光谱如图 3(a),图 4(a)和图 5(a)所示。对从振荡级出来的飞秒种子光脉冲的光谱进行滤波,得到了如图 3(b),(c),(d)、图 4(b),(c)和图 5(b)所示的结果。

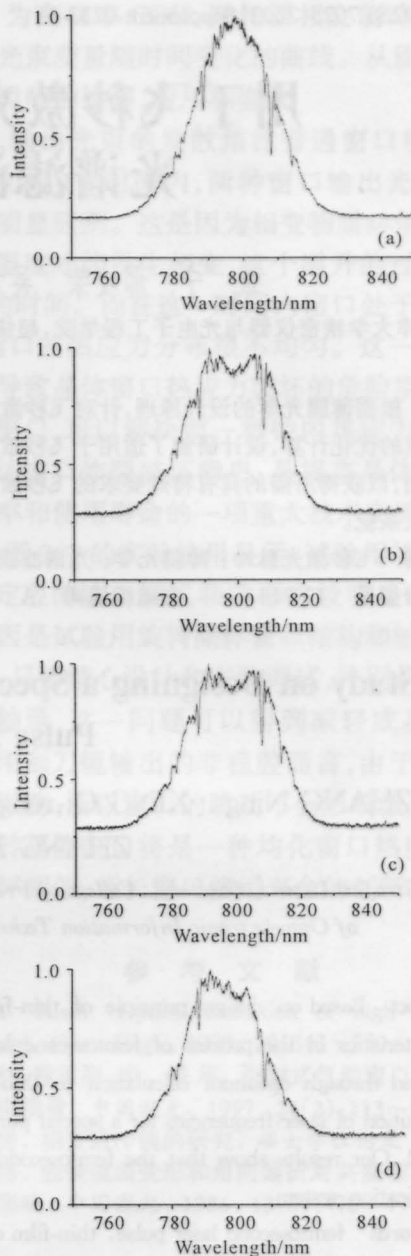


图 3 (a)飞秒激光原始光谱;(b)通过滤波器后的飞秒激光光谱,入射角为 0°;(c)通过滤波器后的飞秒激光光谱,入射角为 5°;(d)通过滤波器后的飞秒激光光谱,入射角为 60°

Fig.3 (a) Original spectrum of femtosecond laser; (b) Spectrum of femtosecond laser passing the filter, incidence is zero; (c) Spectrum of femtosecond laser passing the filter, incidence is 5°; (d) Spectrum of femtosecond laser passing the filter, incidence is 60°

我们设计的飞秒激光脉冲光谱滤波器可依据激光进入滤波器的人射角度不同而相应改变对激光脉冲光谱滤波的结果。由图 3(b),(c),(d)可以看出,改变飞秒激光对光谱滤波器的人射角度,激光脉冲的光谱曲线下陷处位置也可移动,由此可选择形状

合适的飞秒激光脉冲光谱去进行放大<sup>[8]</sup>。

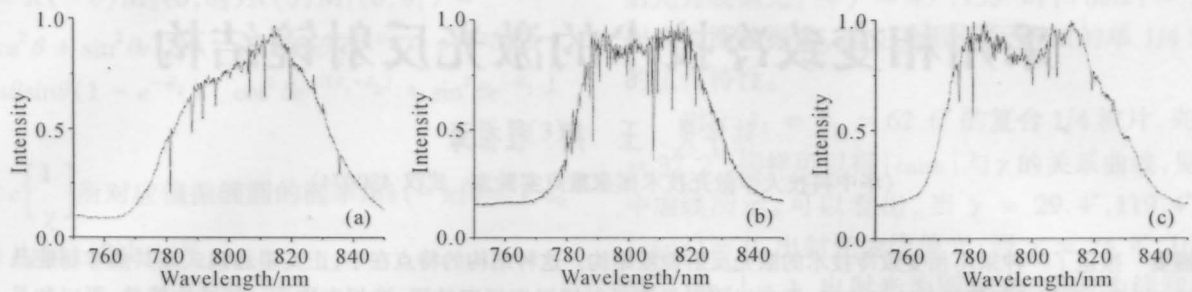


图4 (a) 较宽的飞秒激光原始光谱;(b)通过滤波器后的飞秒激光光谱,入射角为 $20^\circ$ ;  
(c)通过滤波器后的飞秒激光光谱,入射角为 $30^\circ$

Fig.4 (a) Original spectrum of wider femtosecond laser; (b) Spectrum of femtosecond laser passing the filter, incidence is  $20^\circ$ ; (c) Spectrum of femtosecond laser passing the filter, incidence is  $30^\circ$

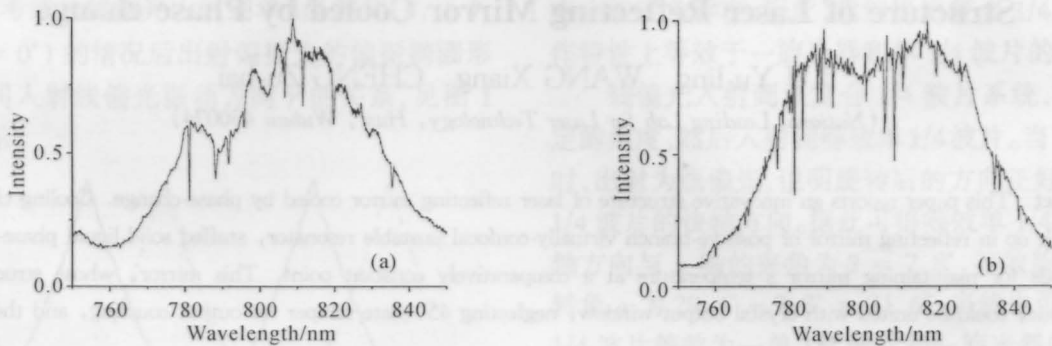


图5 (a) 宽飞秒激光原始光谱;(b)通过滤波器后的飞秒激光光谱,入射角为 $15^\circ$

Fig.5 (a) The widest original spectrum of femtosecond laser; (b) Spectrum of femtosecond laser passing the filter, incidence is  $15^\circ$

## 4 结 论

设计的光谱滤波器件能按照一定的要求,对从CPA系统振荡级输出的飞秒种子光脉冲进行滤波,实现对飞秒光脉冲的频谱强度与频谱分布的特殊控制,以获得所需的具有特殊要求的飞秒激光光谱。通过光谱滤波器后的飞秒激光脉冲适合于飞秒激光啁啾脉冲放大系统中对激光脉冲光谱窄化进行抑制。

## 参 考 文 献

- 1 C. P. J. Barty, C. L. Gordon III, B. E. Lemoff. Multiterawatt 30-fs Ti:sapphire laser system. *Opt. Lett.*, 1994, **19**(18):1442~1444
- 2 K. Yamakawa, M. Aoyama, S. Matsuoka *et al.* Generation of 16-fs, 10-TW pulses at a 10 Hz repetition rate with efficient Ti:sapphire amplifiers. *Opt. Lett.*,

- 1998, **23**(7):525~527
- 3 J. D. Bonlie, F. Patterson, D. Price *et al.* Production of  $>10^{21}$  W/cm<sup>2</sup> from a large-aperture Ti:sapphire laser system. *Appl. Phys. B*, 2000, **70**(Suppl.):155~160
- 4 M. D. Perry, D. Pennington, B. C. Stuart *et al.* Petawatt laser pulses. *Opt. Lett.*, 1999, **24**(2):160~162
- 5 H. A. Macleod. *Thin-Film Optical Filters*. 2nd ed. New York: Macmillan, 1986, Chap. 10
- 6 Qu Xixin, Guo Bijun. *Thin-Film Physics*. Beijing: Electrical Industrial Publishing Company, 1994:67~71 (in Chinese)
- 7 Gu Peifu. *Thin-Film Technology*. Hangzhou: Zhejiang University Publishing Company, 1990: Chapter 7 (in Chinese)
- 8 Wei Zhiyi, Zhang Jie, Xia Jiangfan *et al.* Efficient femtosecond Ti:sapphire system with multipass amplification. *High Power Laser and Particle Beams*(强激光与粒子束), 1999, **11**(5): 538~542 (in Chinese)