

文章编号: 0253-2239(2010)05-1434-07

对交叉偏振波滤波器能量转化效率和频谱相位的研究

潘 雪¹ 王艳海^{1,2} 王江峰¹ 姜有恩¹ 李学春¹

(¹ 中国科学院上海光学精密机械研究所高功率激光物理国家实验室, 上海 201800)

² 河北科技大学理学院, 河北 石家庄 050018

摘要 交叉偏振波(XPW)滤波是一种简单灵活的非线性滤波技术,可以极大地提高超短超强飞秒激光脉冲信噪比。介绍了XPW滤波器原理,通过数值模拟得到以下结论:输入光偏振方向与晶体的[100]轴的夹角 β 、相位调制(PM)、注入光强和晶体长度以及不同的空间光束分布都会影响XPW的能量转化效率。其中PM是造成能量转化过早饱和,导致最大转化效率降低的主要原因。同时注入光的初始二阶和三阶频谱相位会导致XPW脉冲形状畸变,谱宽窄化,中心频移,能量转化效率减小。为XPW非线性滤波装置能够有效地提高超短超强脉冲的信噪比提供了理论依据。

关键词 非线性光学;交叉偏振波;相位调制;三阶频谱相位

中图分类号 O437.4 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS20103005.1434

Study on the Energy Conversion Efficiency and Spectral Phase of Cross-Polarized Wave Generation Filter

Pan Xue¹ Wang Yanhai^{1,2} Wang Jiangfeng¹ Jiang Youen¹ Li Xuechun¹

(¹ National Laboratory of High Power Laser Physics, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China
² College of Sciences, Hebei University of Science and Technology, Hebei, Shijiazhuang 050018, China)

Abstract Cross-polarized wave (XPW) generation is a simple and flexible nonlinear filter for the contrast improvement of ultra-intense femtosecond laser pulse, which could enhance signal-to-noise ratio (SNR) efficiently. The principle of XPW filter is introduced briefly. The results from numerical simulation indicate that the XPW energy conversion efficiency is determined by the angle β between the input polarization direction and its [100] axis, phase modulation (PM), input intensity, crystal length and spatial shape. Among them, PM is the main cause of shorting saturation length and decreasing maximum conversion efficiency. It also reveals that initial quadratic and third-order spectral phase induced XPW pulse shape distortion, spectrum narrowing, central spectral shift of the center and efficiency decline, which provides the theoretical basis for XPW nonlinear filter to enhance ultra-intense and ultra-short pulse effectively.

Key words nonlinear optics; cross-polarized wave; phase modulation; third-order spectral phase

收稿日期: 2009-05-11; 收到修改稿日期: 2009-07-06

基金项目: 国家 863-416 计划资助课题。

作者简介: 潘 雪(1984—),女,博士研究生,主要从事光参量啁啾脉冲放大(OPCPA)信噪比提高以及脉冲整形方面的研究。E-mail: pxll33@siom.ac.cn

导师简介: 李学春(1972—),男,研究员,博士生导师,主要从事激光技术与光纤应用等方面的研究。

E-mail: lixuechun@siom.ac.cn

1 引言

在超短超强激光脉冲打靶实验中,靶面激光强度多在 $10^{18} \sim 10^{21} \text{ W/cm}^2$, 现实装置中,激光脉冲在放大时,放大器中放大的自发辐射(ASE)、开关消光比等限制因素,脉冲信噪比一般在 $10^5 \sim 10^6$, 此时预脉冲或主脉冲底座强度已经超过 $10^8 \sim 10^{11} \text{ W/cm}^2$, 就会使靶物质气化或产生预等离子体,在主激光脉冲到来之前会改变靶物质的状态,从而影响作用过程或改变作用机制。所以信噪比成了制约快点火实验的瓶颈,因此必须采取相应措施提高超短激光脉冲的信噪比^[1,2]。

时域信噪比的提高是超强超短激光系统最主要的难题之一。超强超短激光脉冲的信噪比,主要受制于种子激光脉冲的预脉冲和放大过程中 ASE 噪声、时间相位畸变,以及参量作用(OPA)中的参量荧光噪声的影响。近几年来,出现了很多改善信噪比的方案。例如,在 fs 预防前端使用快饱和和吸收体提高种子脉冲的对比度;非线性 Sagnac 干涉仪;非线性椭圆偏振旋转(NER);交叉偏振波(XPW)滤波器以及等离子体镜滤除噪声^[3]。相对于其他非线性晶体滤波器来说,XPW 非线性滤波器具有消色差,输入能量范围宽(可以从微焦到毫焦量级)等优点,是一个简单、可靠和有效的超短脉冲清洁方法^[4],所以近几年来越来越受到人们的关注。对比度和能量转化效率是影响 XPW 滤波器性能的两个重要的指标^[5]。对于单级 XPW 装置来说,能量转化效率只能达到 10%^[4],而两级可以达到 20%以上^[5]。为了得到较高的能量输出,这就大大限制了它的使用范围。通过介绍 XPW 非线性滤波器的原理,在数值模拟的基础上分析了影响 XPW 波能量转化效率的

各个因素,指出相位调制(PM)是导致转化效率过早饱和的主要原因。

近年来的实验表明,在两级啁啾脉冲放大(CPA)装置之间,通过采用 XPW 滤波器来提高信噪比可以使信噪比提高到 10^{10} 以上^[3]。然而,在两级 CPA 系统设计中,XPW 滤波器对种子脉冲的时域和频域特性的影响是必须考虑的关键因素之一。对于 CPA 或 OPCPA 装置来说,脉冲的展宽和压缩大都是用光栅对这种色散元件来完成的。展宽器对注入的锁模超短脉冲进行展宽的过程中会引入二阶频谱相位(即线性啁啾),而压缩器在理想情况下与展宽器相匹配,引入与展宽器相反的二阶频谱相位来进行补偿。但是在实际应用中,展宽器不仅仅引入线性啁啾,还会附加三阶以及更高阶的频谱相位调制(即非线性啁啾量),即使压缩器能够完全补偿二阶频谱相位,然而很难完全补偿三阶以及更高阶频谱相位^[6,7]。此外,由于 XPW 的其他光学元件(如透镜以及偏振片)也会引入残余的色散而导致相位调制,所以研究从 OPCPA 或者 CPA 输出光束的二阶以及三阶频谱相位对 XPW 的脉冲时域、频域以及能量转化效率的影响也是非常必要的。

2 XPW 非线性滤波器的原理

XPW 非线性滤波器的原理如图 1 所示, Glan1 和 Glan2 是两个偏振方向互相垂直的偏振片, lens1 和 lens2 为透镜, FW 为入射线偏振波,产生的 XPW 为与 FW 偏振方向垂直的线偏波。 β 为输入光偏振方向与晶体的 $[100]$ 轴(即晶体的切割方向)的夹角,这个脉冲清洁装置主要由两个偏振方向正交的偏振片,两块透镜和一块非线性 BaF_2 晶体组成。

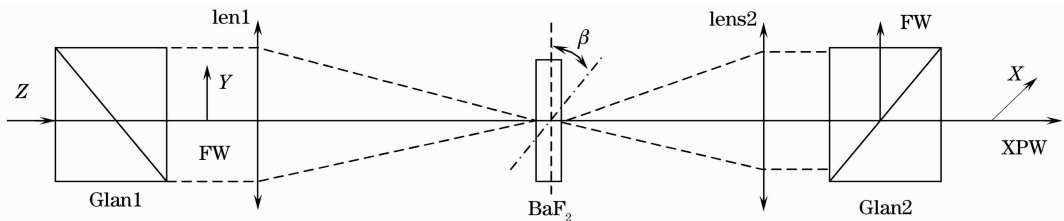


图 1 基于单级 BaF_2 晶体的 XPW 非线性滤波器的原理示意图

Fig. 1 Schematic of XPW nonlinear filter with single BaF_2 crystal

从超强超短激光系统中输出的光束沿 Z 轴传播,经过 Glan1 后变为线偏振光,在透镜 lens1 的聚焦作用下,FW 具有很高的光强,在 BaF_2 晶体中产生三阶非线性效应,生成同波长,偏振方向与 FW 垂直的 XPW。两束光波经过透镜 lens2 准直输出,由于 Glan2 与 Glan1 偏振方向正交,所以它对 FW

波反射,对 XPW 波透射,最终沿 Z 轴输出的只有产生的 XPW 光波。由于 XPW 的强度与 FW 强度成立方关系,相对于 FW 来说,XPW 能够进一步地拉大主脉冲与脉冲底座或预脉冲的强度差距,所以对于 OPCPA 或 CPA 这两种高峰值功率超短脉冲激光生成系统来说,交叉偏振滤波器可以有效地提高

输出脉冲的信噪比,它可以使信噪比提高三个量级以上^[4]。

XPW 产生是一个简并四波混频的过程,三阶非线性效应是由晶体三阶非线性张量 $\chi^{(3)}$ 的实部的各项异性所决定的。由于 BaF₂ 是 m3m 点群对称的立方晶体,介质的光学性质是各向同性的,所以对于产生同波长 XPW 来说,此非线性过程能够保证两个垂直的偏振光在沿 Z 轴传播的过程中有良好的相位匹配和群速匹配,从而有利于 FW 向 XPW 波

$$\begin{aligned} \frac{dA}{dz} &= i\gamma_1 |A|^2 A - i\gamma_2 (|B|^2 B - A^2 B^* - 2|A|^2 B) + i\gamma_3 (2|B|^2 A + B^2 A^*) \\ \frac{dB}{dz} &= i\gamma_1 |B|^2 B + i\gamma_2 (|A|^2 A - B^2 A^* - 2|B|^2 A) + i\gamma_3 (2|A|^2 B + A^2 B^*) \end{aligned} \quad (1)$$

式中

$$\gamma_1 = \gamma_0 \left[1 - \frac{\sigma}{2} \sin^2 2\beta \right], \gamma_2 = -\gamma_0 \frac{\sigma}{4} \sin 4\beta, \gamma_3 = \gamma_0 \left[\frac{\sigma}{2} \sin^2 2\beta + \frac{1-\sigma}{3} \right], r_0 = 6\pi \chi_{xxxx}^{(3)} / (8\lambda n_0). \quad (2)$$

XPW 非线性滤波器的转化效率为

$$\eta = \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty r |B(t,r)|^2 dt dr / \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty r |A_0(t,r)|^2 dt dr, \quad (3)$$

式中 $\sigma = \frac{\chi_{xxxx}^{(3)} - 2\chi_{yyyy}^{(3)} - \chi_{xyxy}^{(3)}}{\chi_{xxxx}^{(3)}}$, 是 BaF₂ 三阶非线性极化率 $\chi^{(3)}$ 张量的各项异性系数(对于 BaF₂ 来说, $\sigma = -1.2$, $\chi_{xxxx}^{(3)} = 1.59 \times 10^{-22} \text{ m}^2/\text{V}^2$); A 和 B 分别表示 FW 和 XPW 的振幅包络,由(1)式可知, A 和 B 的能量交换是完全对称的。系数 γ_1 代表 SPM 的作用, γ_2 表示由 B 到 A(或由 A 到 B)的能量交换过程, γ_3 表示 XPM($2|B|^2 A$ 或 $2|A|^2 B$)和四波混频($B^2 A^*$ 或 $A^2 B^*$)过程^[9]。

一般而言,得不到(1)式的解析解,可以采用四阶龙格-库塔算法来数值求解耦合波方程,从而得到 FW 和 XPW 的输出时域波形、空间光斑、相位变化以及能量转化效率。

3 影响 XPW 能量转化效率的因素

假设输入偏振波 FW 在时间和空间上都是高斯型,根据实际应用的要求,选择输入波长是 1053 nm,输入脉宽 100 fs,经过透镜聚焦后光束口径(即入射到 BaF₂ 晶体前表面的光斑直径)为 300 μm 。下面通过数值模拟分别讨论输入光偏振方向与晶体的[100]轴的夹角 β 、相位调制、入射光强、晶体长度以及不同的光束形状对 XPW 能量转

的能量转化。由于 BaF₂ 晶体处于聚焦透镜的焦平面位置,也就是位于光束的远场,这样就相当于在远场设置一个空间滤波器,滤除 FW 的高频调制,所以经过垂直偏振滤波器以后光束波形较 FW 更加匀滑,且频谱畸变很小。

在平面波慢变包络近似的条件下,FW 沿 Z 轴进入 BaF₂ 晶体。忽略线性吸收和非线性吸收,仅考虑自相位调制(SPM)、交叉相位调制(XPM)以及四波混频过程,得到 FW 和 XPW 的耦合方程为^[8]

化效率的影响。如无特别说明,以下图例均为上述数据的模拟计算结果。

3.1 输入光偏振方向与晶体的[100]轴的夹角 β 对 XPW 转化效率的影响

如图 1 所示,绕轴旋转 BaF₂ 晶体,改变输入光偏振方向与晶体的[100]轴的夹角 β ,考虑相位调制后得到能量转化效率图。由图 2 可以看出,最大的输入参量 S 的值为 8,超过这个值,XPW 产生的效率就会出现饱和,单级晶体最大饱和转化效率理论上被限制在 20%左右。

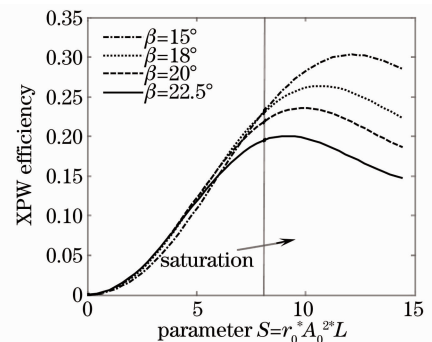


图 2 在不同的输入光偏振方向与晶体的[100]轴的夹角 β 下,XPW 转化效率随输入参量 S 的变化曲线($S = r_0 A_0^2 L$)
Fig. 2 Numerical simulation of XPW conversion efficiency as a function of parameter $S = r_0 A_0^2 L$ for different angles β between the input polarization direction and its [100] axis of the crystal

为了避免饱和带来的波形失真,在小信号输入条件下,其输入光偏振方向与晶体的[100]轴的夹角选择

22.5°比较合适,以下图例均为此角度来进行数值模拟。

3.2 相位调制对 XPW 能量转化效率的影响

由图 3 很明显地看出,考虑相位调制(PM)的影响时,当注入参量 S 增加到 8 时能量转化效率就达到饱和,相对于无相位调制 $S=12$ 效率达到最大的情况来看,PM 会使 FW 向 XPW 的能量转化过早

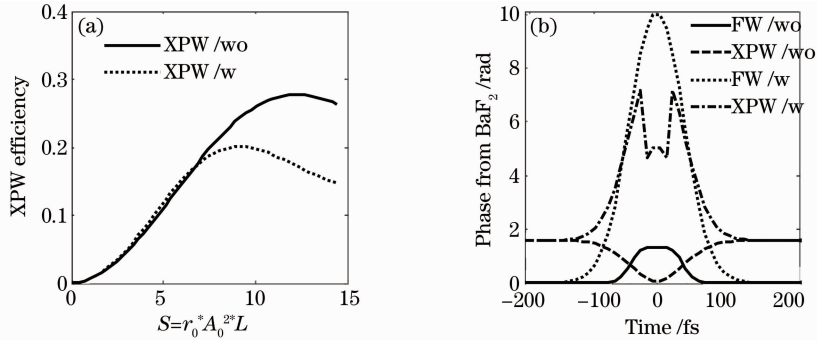


图 3 光强 $0.49 \times 10^{12} \text{ W/cm}^2$ 的高斯光束在有相位调制情况下的能量转化图和时域相位(wo:无 PM;w:有 PM)。

(a)XPW 转化效率;(b)FW 和 XPW 的时域相位

Fig. 3 Numerical simulation of Gaussian ultrashort pulse XPW generation with Gaussian beam of the intensity of $0.49 \times 10^{12} \text{ W/cm}^2$ (wo: without PM; w: with PM)(a) XPW conversion efficiency; (b) central temporal phase of FW and XPW

3.3 输入光强和晶体长度对能量转化效率的影响

由上面的分析可知,XPW 能量转化效率随输入参量 S 的增加而增大。当饱和时,进一步增加 S ,就会出现能量逆转,转化效率降低。由于 $S = r_0 A_0^2 L$,所以 XPW 能量转化效率是输入强度和晶体长度的函数。输入光强越大,晶体长度越长,转化效率就越高,但是考虑到饱和和效应,都存在临界值,效率会达

饱和,最大转化效率降低。由输出的 FW 和 XPW 光波的时域相位图可知:过早饱和是由于 PM 破坏了四波混频过程中 FW 和 XPW 的自动相位匹配条件,所以相位调制引起的相位失配是造成 XPW 能量转化速率减小,过早饱和的主要原因。以下模拟均考虑了相位调制的影响。

到最大,超过这个值,能量传递方向逆转,效率降低。因为两者对转化效率的影响是相同的,下面模拟输入光强对能量转化效率的影响。

由图 4 所示,晶体长度为 2 mm,当注入光强为 $0.49 \times 10^{12} \text{ W/cm}^2$ 时,由图 4(a)和(c)在小信号的情况下,输出的 FW 和产生的 XPW 光波在空间和时间上都为高斯型。当注入光强增加到 $1.69 \times 10^{12} \text{ W/cm}^2$ 时进

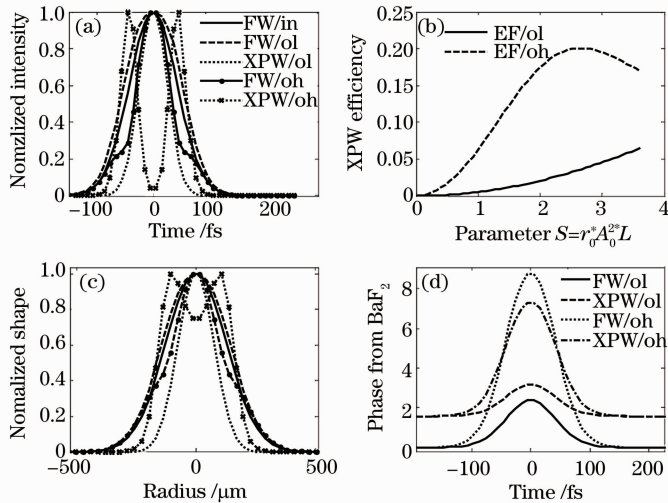


图 4 (a)输出 FW 和 XPW 中心的归一化时域波形;(b)XPW 非线性滤波装置的转换效率与输入参量 S 的关系曲线;(c)输出 FW 和 XPW 光斑中心的归一化空间波形;(d)FW 和 XPW 波时域相位波形。(in:输入;ol:注入光强 $0.49 \times 10^{12} \text{ W/cm}^2$;oh:注入光强 $1.69 \times 10^{12} \text{ W/cm}^2$;EF:转化效率)

Fig. 4 (a) Normalized pulse temporal shape of output FW and XPW output; (b)dependence of XPW conversion efficiency as a function of input parameter S ; (c) normalized pulse spectral shape of input FW and XPW spot; (d) temporal phase of FW and XPW(in: input; ol: output in low intensity of $0.49 \times 10^{12} \text{ W/cm}^2$; oh: output in high intensity of $1.69 \times 10^{12} \text{ W/cm}^2$; EF: efficiency)

入饱和区域,XPW 光波中心被抽空,能量逆转向 FW 光波。非线性作用以后的 FW 波和 XPW 波的光斑形状不再是初始的高斯形,发生了畸变。由图 4(d)时域相位图可以看出:FW 和 XPW 两个光束由于自相位调制作用在非线性晶体中经历不同的非线性相移,且自相位调制与光强有关,FW 由于其光强较高,相移比较明显。所以在空间上,非线性晶体就相当于一个克尔透镜,使两束光产生新的焦深位置和束腰大小。光强越大,自聚焦就越明显。文献[5]就是利用这个特性,采用两块晶体相隔适当距离的方法来克服能量转化过程中的过早饱和。

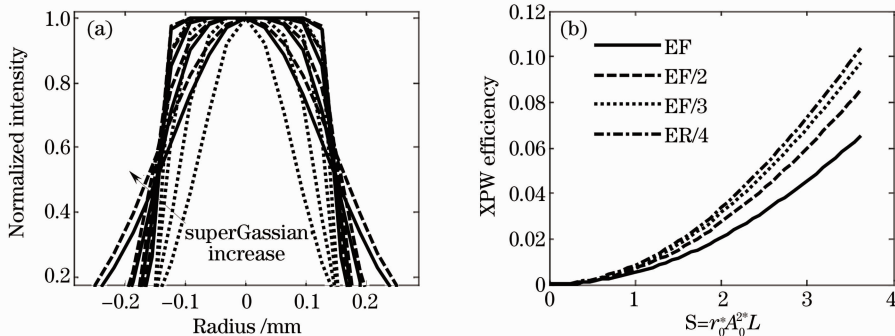


图 5 不同空间形状超高斯光束滤波。(a)输出 FW 和 XPW 光斑中心的归一化空间波形;(b)XPW 非线性滤波装置的转换效率与输入参量 S 的关系曲线(2,3,4 分别表示空间高斯脉冲的阶数;EF:转化效率)

Fig. 5 Different super-Gaussian spatial shape for XPW generation. (a)normalized pulse temporal shape of FW and XPW spot;(b)dependence of XPW conversion efficiency as a function of parameter S (2,3,4 are the order of spatial Gaussian pulse;EF:efficiency)

4 二阶和三阶频谱相位对 XPW 的影响

文献[12]已经对二阶频谱相位对 XPW 输出频谱的影响进行了详细的分析。对于超过 φ_{CR} 的二阶频谱相位调制,XPW 的脉宽会比 FW 传输极限脉宽更宽,而且频谱会窄化,不利于产生超短脉冲以及补偿 CPA 的增益窄化效应,所以要尽量控制二阶频谱相位在 φ_{CR} 以下。文献[13]用统计学方法分别定义频谱能量,频谱宽度以及频谱分布质心三个物理量来分析二阶和三阶频谱相位对 XPW 输出频谱的影响,虽然得到了容忍度范围,但较为复杂。

4.1 三阶频谱相位的影响

当仅考虑三阶频谱相位对波形的影响时,以 $\Delta t_0 = 40$ fs,中心波长 1053 nm,输入光强为 3.6×10^{11} W/cm² 的高斯脉冲为例,分别选取 $\varphi_3 = 5000$ fs³ 和 $\varphi_3 = 50000$ fs³ 进行比较分析。由图 6 可以看出,三阶频谱相位会引起高斯脉冲的时域波形畸变:三阶频谱相位在主脉冲前后沿附近会出现多个幅度较小的脉冲,前面的称为预脉冲,后面的称为后缀脉冲。而且使

3.4 输入光束波形对转化效率的影响

分别输入二阶、三阶、四阶空间超高斯光束与高斯光束进行比较。可以看到,随着空间超高斯光束阶数的增加,转化效率增长速率越来越大,且越快进入饱和区。这个不难理解,由于空间高斯光束阶数越高,就越接近平顶矩形光束(在一定时域内相当于平面波),由于能量是对光强进行时间和空间积分的结果,所以采用空间平顶高斯光束比理想高斯光束具有更大的能量(图 5)。可以利用空间整形技术^[10,11]使输入的 FW 具有空间平顶分布,这样有利于能量的提取和转化效率的提高。

脉冲整体后移,三阶频谱相位绝对值越大,后移就越明显。由于引入三阶相位后的 FW 出现非对称的脉冲振荡,所以生成的 XPW 也具有前后沿不对称结构。小的三阶频谱相位的 FW 经过 XPW 非线性滤波器之后,幅度较小的脉冲被 XPW 非线性滤波器抑制掉,由图 6(a)可以看出时域信噪比得到明显的改善。当三阶频谱相位绝对值增大了 10 倍后($\varphi_3 = 50000$ fs³),导致了更严重的脉冲波形畸变,出现了较大幅度的预脉冲,此时生成的 XPW 不能完全抑制掉幅度较大的脉冲。由图 6(b)可知,过高的三阶频谱相位会导致前后沿出现频谱调制,改变频谱强度波形,频谱窄化比较明显。与二阶频谱相位类似,频谱宽度随着三阶频谱相位的增大而减小,当减小到与 FW 基本一致时为临界状态,超过这个值,同样会出现 XPW 的脉宽展宽,频谱窄化现象。三阶频谱相位推导过于复杂,无法通过解析式来求出精确的临界值,只能通过数值模拟来估算。由于三阶频谱相位破坏了四波混频过程中所自动满足的相位匹配条件,所以能量转化速度缓慢,可以看到当三阶频域相位增加 10 倍后,在相同的输入参量下,最大能量转化效率降低了 3 倍。

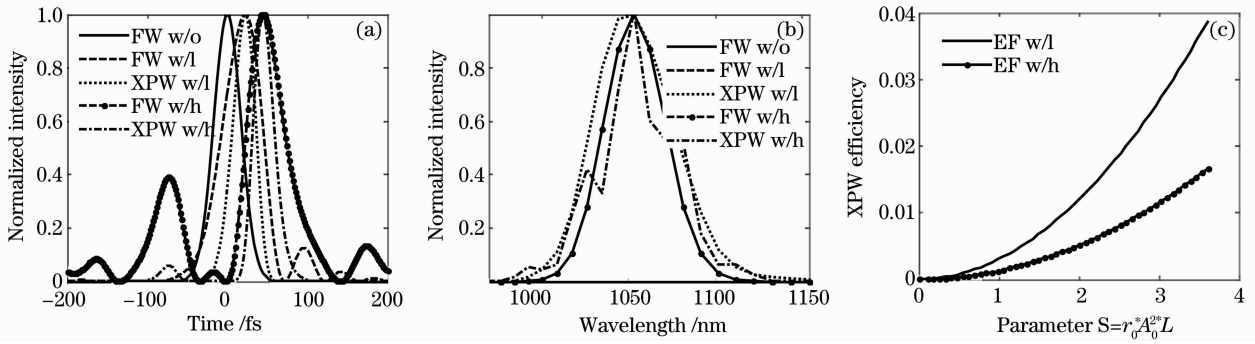


图 6 40 fs 时域高斯光束引入三阶频谱相位后的 XPW 产生的数值模拟图。(a)归一化 FW 和 XPW 的时域波形；(b)归一化 FW 和 XPW 的频域波形；(c)XPW 非线性滤波装置的转换效率与输入参量 S 的关系曲线 ($w/l: \varphi_3 = 5000 \text{ fs}^3$; $w/h: \varphi_3 = 50000 \text{ fs}^3$; EF: 转化效率)

Fig. 6 Numerical simulation of 40 fs initially Gaussian ultrashort pulse XPW generation with third-order spectral phase. (a) normalized pulse temporal shape of FW and XPW; (b) normalized pulse spectral shape of FW and XPW; (c) dependence of XPW conversion efficiency as a function of parameter S ($w/l: \varphi_3 = 5000 \text{ fs}^3$; $w/h: \varphi_3 = 50000 \text{ fs}^3$; EF: efficiency)

4.2 二阶和三阶频谱相位对波形的共同作用

同时考虑二阶和三阶频谱相位的共同影响时，若取 $\varphi_2 = 500 \text{ fs}^2$, $\varphi_3 = \pm 10000 \text{ fs}^3$ 。与仅有啁啾

量，没有三阶频谱相位的 FW 脉冲作对比，这三种情况如图 7 所示。

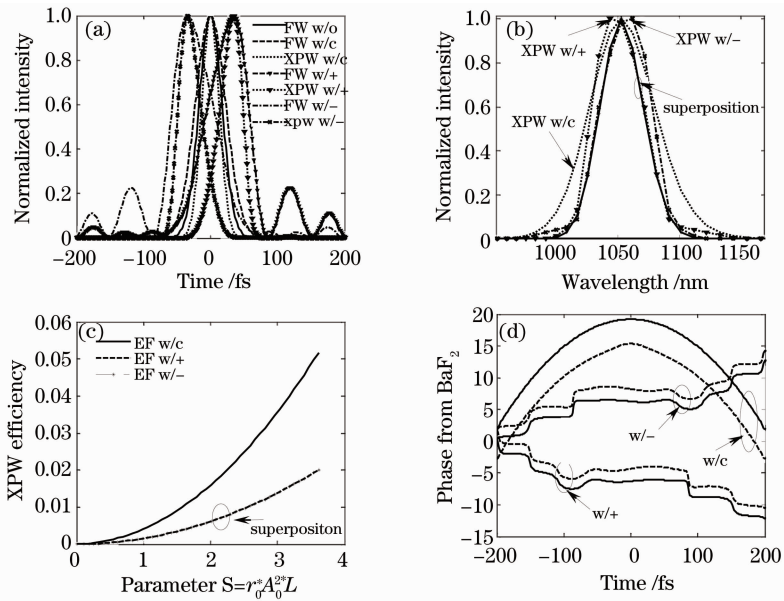


图 7 40 fs 啁啾高斯超短脉冲引入三阶频谱相位调制后的 XPW 产生的数值模拟图。(a)归一化 FW 和 XPW 的时域波形；(b)归一化 FW 和 XPW 的频域波形；(c)XPW 随输入参量 S 变化的转化效率；(d)FW 和 XPW 波时域相位波形 ($w/c: \varphi_2 = 500 \text{ fs}^2, \varphi_3 = 0$; $w/+ : \varphi_2 = 500 \text{ fs}^2, \varphi_3 = 10000 \text{ fs}^3$; $w/- : \varphi_2 = 500 \text{ fs}^2, \varphi_3 = -10000 \text{ fs}^3$; EF: 转化效率)

Fig. 7 Numerical simulation of 40 fs initially chirp Gaussian ultrashort pulse XPW generation with chirp and third-order spectral phase. (a) normalized pulse temporal shape of FW and XPW; (b) normalized pulse spectral shape of FW and XPW; (c) dependence of XPW conversion efficiency as a function of parameter S; (d) temporal phase of FW and XPW ($w/c: \varphi_2 = 500 \text{ fs}^2, \varphi_3 = 0$; $w/+ : \varphi_2 = 500 \text{ fs}^2, \varphi_3 = 10000 \text{ fs}^3$; $w/- : \varphi_2 = 500 \text{ fs}^2, \varphi_3 = -10000 \text{ fs}^3$; EF: efficiency)

从图 7 中可以看出，三阶频谱相位改变了原脉冲的对称形状，在主脉冲周围出现预脉冲和后缀脉冲。由图 7 的(a)、(b)、(d)可知： $\varphi_3 = -10000 \text{ fs}^3$ 和 $\varphi_3 = 10000 \text{ fs}^3$ 两种情况是完全对称的。中心频谱的波长在正三阶频谱相位时向短波长方向偏移，

即蓝移；负的则相反，中心波长红移。由于负三阶频谱相位会使脉冲前移，产生了较强的预脉冲。在超短超强激光脉冲打靶实验中，预脉冲在主激光脉冲到来之前会改变靶物质的状态，从而影响作用过程或改变作用机制。在时域信噪比提高的过程中，

预脉冲是要尽量避免的。所以尽量补偿负的三阶频谱相位对于信噪比提高是至关重要的。

由图 7(c)可知正负三阶频谱相位对转化效率的作用相同。从时域相位波形图可以看出:在三阶频谱相位的作用下,脉冲前后沿的时域相位变化不对称,但变化方向一致,这是由于非线性相移在后沿累加,所以相位最大值不是出现在脉冲中心,而是出现在尾部。由以上的分析可知:二阶和三阶频谱相位会导致 XPW 脉冲形状畸变,谱宽窄化,中心频移(也就是频谱质心移动^[13]),能量转化效率减小。

5 结 论

本文分析表明,输入光偏振方向与晶体的 $[100]$ 轴的夹角 β 、相位调制、注入光强、晶体长度以及光束的空间分布形状都会影响 XPW 波的能量转化效率。其中相位调制是造成能量转化过早饱和,最大转化效率降低的主要原因。为了增加饱和长度,使 XPW 能够更多地提取 FW 的能量,可采取两级 BaF₂ 晶体相隔适当的距离的方法。

较高的三阶频谱相位与过量的二阶频谱相位类似,都会使 XPW 波脉冲宽于初始的 FW 波,同时出现频谱窄化现象,同时二阶和三阶频谱相位共同作用时,会引起中心频移,能量转化效率明显降低,这些对于 XPW 滤波应用在 40 fs 以下的超短脉冲来说是非常不利的。所以要分别控制二阶和三阶频谱相位的值,在保证不出现脉冲展宽,频谱窄化的同时,利用其他的光学元件尽量补偿三阶频谱相位,这也就限制了 XPW 非线性滤波器不能在非压缩的皮秒域内提高信噪比。

参 考 文 献

- 1 Wang Yanhai, Pan Xue, Wang Jiangfeng *et al.*. Restrictions of signal-to-noise ratio by amplified spontaneous emission noise of pump pulse in optical parametric chirped pulse amplification system[J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(4): 980~985
王艳海,潘雪,王江峰等. 抽运光中 ASE 噪声对 OPCPA 信噪比的影响[J]. *光学学报*, 2009, **29**(4): 980~985
- 2 Peng Hansheng. Ultraintense solid-state lasers and applications

- to the frontiers of sciences[J]. *Chinese J. Lasers*, 2006, **33**(7): 865~872
彭翰生. 超强固体激光及其在前沿学科中的应用[J]. *中国激光*, 2006, **33**(7): 865~872
- 3 A. Cotel, A. Jullien, N. Forget *et al.*. Nonlinear temporal pulse cleaning of a 1- μ m optical parametric chirped-pulse amplification system[J]. *Appl. Phys. B-Lasers Opt.*, 2006, **83**(1): 7~10
- 4 A. Jullien, D. Albert, F. Burgy *et al.*. 10-10 temporal contrast for femtosecond ultraintense lasers by cross-polarized wave generation[J]. *Opt. Lett.*, 2005, **30**(8): 920~922
- 5 A. Jullien, S. Kourter, O. Albert *et al.*. Highly efficient temporal cleaner for femtosecond pulses based on cross-polarized wave generation in a dual crystal scheme[J]. *Appl. Phys. B-Lasers O.*, 2006, **84**(3): 409~414
- 6 Yang Qingwei, Guo Ailin, Xie Xinglong *et al.*. Influence of mirror curvature radius manufacture errors in offner stretcher on output pulse contrast[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(8): 1584~1589
杨庆伟,郭爱林,谢兴龙等. Offner 展宽器曲面镜误差对输出脉冲对比度的影响[J]. *光学学报*, 2008, **28**(8): 1584~1589
- 7 Yang Qingwei, Guo Ailin, Xie Xinglong *et al.*. Effects of asymmetric spectral clipping in the stretcher on the output pulse contrast[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(12): 1970~1974
杨庆伟,郭爱林,谢兴龙等. 展宽器中非对称光谱剪切对输出脉冲对比度的影响[J]. *中国激光*, 2008, **35**(12): 1970~1974
- 8 A. Jullien, O. Albert, G. Chériaux *et al.*. A two crystal arrangement to fight efficiency saturation in cross-polarized wave generation[J]. *Opt. Express*, 2006, **14**(7): 2760~2769
- 9 A. Jullien, O. Albert, G. Chériaux *et al.*. Nonlinear polarization rotation of elliptical light in cubic crystals, with application to cross-polarized wave generation[J]. *J. Opt. So. Am. B*, 2005, **22**(12): 2635~2641
- 10 Wang Yanhai, Wang Jiangfeng, Li Xuechun. Laser pulse shaping and modification techniques in front-end of high-power laser facility[J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(3): 477~481
王艳海,王江峰,李学春. 高功率激光装置前端系统激光脉冲的时间整形及修正技术[J]. *光学学报*, 2007, **27**(3): 477~481
- 11 Xie Jie, Fan Wei, Li Xuechun *et al.*. Spatial laser beam shaping using binary panels [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(10): 1959~1966
谢杰,范薇,李学春等. 二元振幅型面板用于光束空间整形[J]. *光学学报*, 2008, **28**(10): 1959~1966
- 12 A. Jullien, L. Canova, O. Albert *et al.*. Spectral broadening and pulse duration reduction during cross-polarized wave generation: influence of the quadratic spectral phase [J]. *Appl. Phys. B-Lasers Opt.*, 2007, **87**(4): 595~601
- 13 L. Canova, O. Albert, N. Forget *et al.*. Influence of spectral phase on cross-polarized wave generation with short femtosecond pulses [J]. *Appl. Phys. B-Lasers O.*, 2008, **93**(2~3): 443~453