



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112821170 B

(45) 授权公告日 2022. 02. 18

(21) 申请号 202011643009.6

(22) 申请日 2020.12.30

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 112821170 A

(43) 申请公布日 2021.05.18

(73) 专利权人 中国科学院西安光学精密机械研究所

地址 710119 陕西省西安市高新区新型工业园信息大道17号

(72) 发明人 曹华保 付玉喜 黄沛 王虎山  
袁浩 刘鑫

(74) 专利代理机构 西安智邦专利商标代理有限公司 61211

代理人 郑丽红

(51) Int. Cl.

H01S 3/00 (2006.01)

H01S 3/08 (2006.01)

H01S 3/094 (2006.01)

H01S 3/1055 (2006.01)

H01S 3/13 (2006.01)

H01S 3/136 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 107247380 A, 2017.10.13

审查员 蒋呈阅

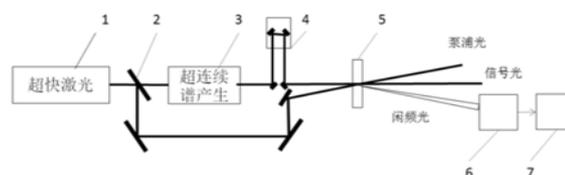
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

## (54) 发明名称

一种载波包络相位稳定可控的宽带光源及其产生方法

## (57) 摘要

本发明提供一种载波包络相位稳定可控的宽带光源及其产生方法,解决现有利用非共线光参量差频过程提供的带宽光源存在角色散补偿和CEP控制系统较为复杂,且CEP控制重复频率受限或与色散耦合的问题。该宽带光源及其产生方法通过在光栅面内平移光栅,可以补偿非共线差频过程所产生的宽带闲频光的角色散,且同时能够控制CEP。本发明提供的光源简单可靠,可以实现波长可调、载波包络相位稳定可控的宽带光源输出,在用于与光场波形直接相关的光与物质相互作用研究中具有重要意义。



1. 一种载波包络相位稳定可控的宽带光源产生方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一、发出一个超短泵浦激光,同时将该超短泵浦激光分成能量不同的两路脉冲;

步骤二、将能量较高的一路脉冲作为参量过程的泵浦光,将能量较低的一路脉冲通过超连续谱过程宽展光谱作为信号光;

步骤三、将泵浦光和信号光在时间和空间上重合,然后进行差频处理,差频处理为非共线相位匹配,经过差频处理后获得一个载波包络相位被动稳定的具有角色散的闲频光;

步骤四、将具有角色散的闲频光导入角色散补偿与载波包络相位控制模块,所述角色散补偿与载波包络相位控制模块为光栅,所述光栅的数量为1块,光栅引入角色散,补偿闲频光原有的角色散,从而获得准直的闲频光,同时,控制光栅在光栅面内的移动量,从而控制闲频光的载波包络相位,载波包络相位的改变量 $\Delta\varphi$ 与光栅位移量 $\Delta x$ 的关系为 $\Delta\varphi=2\pi\times\Delta x/d$ ,其中,d为光栅周期常数。

2. 根据权利要求1所述的载波包络相位稳定可控的宽带光源产生方法,其特征在于:步骤四中,光栅移动通过一维电动平移台实现。

3. 根据权利要求1或2所述的载波包络相位稳定可控的宽带光源产生方法,其特征在于:步骤四中,光栅为透射光栅或反射光栅。

4. 一种载波包络相位稳定可控的宽带光源,其特征在于:包括超快激光源(1)、分束镜(2)、超连续谱过程宽展光谱模块(3)、差频模块(5)、凹面镜(6)、角色散补偿与载波包络相位控制模块(7)和移动平台(8),所述角色散补偿与载波包络相位控制模块(7)为光栅,所述光栅的数量为1块;

所述超快激光源(1)用于发出超短泵浦激光;所述分束镜(2)将超短泵浦激光分成能量不同的两路脉冲,能量较高的一路脉冲作为参量过程的泵浦光,能量较低的一路脉冲通过超连续谱过程宽展光谱模块(3)后作为信号光,信号光和泵浦光在时间和空间上重合,然后通过差频模块(5)进行差频处理,差频处理为非共线相位匹配,经过差频处理后获得一个载波包络相位被动稳定的具有角色散的闲频光;所述凹面镜(6)将具有角色散的闲频光导入光栅,光栅引入角色散,补偿闲频光原有的角色散,从而获得准直的闲频光,所述光栅设置在移动平台(8)上,移动平台(8)使得光栅在光栅面内的移动量,从而控制闲频光的载波包络相位,载波包络相位的改变量 $\Delta\varphi$ 与光栅位移量 $\Delta x$ 的关系为 $\Delta\varphi=2\pi\times\Delta x/d$ ,其中,d为光栅周期常数。

5. 根据权利要求4所述的载波包络相位稳定可控的宽带光源,其特征在于:所述差频模块(5)为差频晶体,所述移动平台(8)为一维电动平移台。

6. 根据权利要求4或5所述的载波包络相位稳定可控的宽带光源,其特征在于:所述光栅为透射光栅或反射光栅。

7. 根据权利要求6所述的载波包络相位稳定可控的宽带光源,其特征在于:信号光和泵浦光在时间上通过脉冲延时线(4)重合。

8. 根据权利要求7所述的载波包络相位稳定可控的宽带光源,其特征在于:所述超连续谱过程宽展光谱模块(3)为YAG晶体或Sapphire晶体。

## 一种载波包络相位稳定可控的宽带光源及其产生方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及激光领域,具体涉及一种载波包络相位稳定可控的宽带光源及其产生方法,经过能量放大后可应用到高次谐波产生、阿秒物理、太赫兹产生和粒子加速等领域中。

### 背景技术

[0002] 在很多光与物质相互作用的过程研究中,需要极短的脉宽,且其非线性过程与光场波形直接相关,如通过高次谐波产生孤立阿秒脉冲和光场直接加速电子等,此时需要载波包络相位(CEP)稳定可控的带宽光源。

[0003] 目前产生该类光源主要有两种技术路线,第一种是CEP稳定的固体激光器结合脉宽非线性后压缩技术,第二种是光参量放大技术。第一种主要由CEP稳定的钛宝石放大器提供约30fs脉冲,然后通过充气空芯光纤进行光谱展宽,经过色散补偿后可以获得宽带的脉冲,但是,该技术路线受热效应的限制,其重复频率一般较低,且CEP噪声较高,因此近年来研究人员广泛采用第二种技术路线。第二种路线将一个超短泵浦激光(飞秒或皮秒)分成两路脉冲,较低能量的脉冲通过超连续谱过程宽展光谱作为差频过程的信号光,由于其光谱展宽过程可以理解为四波混频过程,信号光的CEP相对泵光CEP稳定,另一束较高能量脉冲作为参量过程的泵浦光,经过差频之后便可以获得一个载波包络相位被动稳定的闲频光,该CEP稳定可控的宽带光源脉冲能量提升可通过后续光参量放大器实现。

[0004] 差频过程有两种相位匹配方式,一种为共线相位匹配,另一种为非共线相位匹配。其中后者更有利于实现大的相位匹配带宽,获得大带宽放大,但是所产生的闲频光会具有角色散,因此需要使用角色散补偿系统进行校正。而控制CEP的方式有多种,如使用薄尖劈对、光栅对和可编程声光调制器等;其中,使用薄尖劈对和光栅对时无法仅改变CEP而不改变其他色散,可能造成少周期脉冲的脉宽改变,而可编程声光调制器的使用必须要有极低时间抖动的触发信号,系统较为复杂,且其有限的声波刷新速度限制了可使用的重复频率。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是解决现有利用非共线光参量差频过程提供的带宽光源存在角色散补偿和CEP控制系统较为复杂,且CEP控制重复频率受限或与色散耦合的问题,提供一种载波包络相位稳定可控的宽带光源及其产生方法。该光源简单可靠,可以实现波长可调、载波包络相位稳定可控的宽带光源输出,在用于与光场波形直接相关的光与物质相互作用研究中的重要意义。

[0006] 为实现以上发明目的,本发明的技术方案是:

[0007] 一种载波包络相位稳定可控的宽带光源产生方法,包括以下步骤:

[0008] 步骤一、发出一个超短泵浦激光,同时将该超短泵浦激光分成能量不同的两路脉冲;

[0009] 步骤二、将能量较高的一路脉冲作为参量过程的泵浦光,将能量较低的一路脉冲

通过超连续谱过程宽展光谱作为信号光；

[0010] 步骤三、将泵浦光和信号光在时间和空间上重合，然后进行差频处理，差频处理为非共线相位匹配，经过差频处理后获得一个CEP被动稳定的具有角色散的闲频光；

[0011] 步骤四、将具有角色散的闲频光导入角色散补偿与CEP控制模块，所述角色散补偿与CEP控制模块为光栅，光栅引入角色散，补偿闲频光原有的角色散，从而获得准直的闲频光，同时，控制光栅在光栅面内的移动量，从而控制闲频光的CEP。

[0012] 同时，本发明还提供一种载波包络相位稳定可控的宽带光源，包括超快激光源、分束镜、超连续谱过程宽展光谱模块、差频模块、凹面镜、角色散补偿与CEP控制模块和移动平台，所述角色散补偿与CEP控制模块为光栅；所述超快激光源用于发出超短泵浦激光；所述分束镜将超短泵浦激光分成能量不同的两路脉冲，能量较高的一路脉冲作为参量过程的泵浦光，能量较低的一路脉冲通过超连续谱过程宽展光谱模块后作为信号光，信号光和泵浦光在时间和空间上重合，然后通过差频模块进行差频处理，差频处理为非共线相位匹配，经过差频处理后获得一个CEP被动稳定的具有角色散的闲频光；所述凹面镜将具有角色散的闲频光导入光栅，光栅引入角色散，补偿闲频光原有的角色散，从而获得准直的闲频光，所述光栅设置在移动平台上，移动平台使得光栅在光栅面内的移动量，从而控制闲频光的CEP。

[0013] 进一步地，CEP的改变量 $\Delta\varphi$ 与光栅位移量 $\Delta x$ 的关系为， $\Delta\varphi=2\pi\times\Delta x/d$ ，其中， $d$ 为光栅周期常数。

[0014] 进一步地，所述差频模块为差频晶体，所述移动平台为一维电动平移台。

[0015] 进一步地，所述光栅为透射光栅或反射光栅。

[0016] 进一步地，信号光和泵浦光在时间上通过脉冲延时线重合。

[0017] 进一步地，所述超连续谱过程宽展光谱模块为YAG晶体或Sapphire晶体。

[0018] 与现有技术相比，本发明技术方案具有以下有益效果：

[0019] 1. 本发明提供的宽带光源及其产生方法将角色散与CEP控制结合到一起，可以补偿非共线差频过程所产生的宽带闲频光的角色散，且同时能够控制CEP，使得系统结构简单，稳定可靠。

[0020] 2. 本发明提供的宽带光源及其产生方法通过在光栅面内平移光栅，从而能够控制CEP，此种方式能够仅调控CEP而不影响色散量，可以适用于大能量、高重频脉冲的CEP控制。

## 附图说明

[0021] 图1为本发明载波包络相位稳定可控的宽带光源的结构示意图；

[0022] 图2为本发明透射光栅补偿闲频光原有角色散的示意图；

[0023] 图3为本发明反射光栅补偿闲频光原有角色散的示意图；

[0024] 图4为本发明光栅在光栅面内的移动示意图。

[0025] 附图标记：1-超快激光源，2-分束镜，3-超连续谱过程宽展光谱模块，4-脉冲延时线，5-差频模块，6-凹面镜，7-角色散补偿与CEP控制模块，8-移动平台。

## 具体实施方式

[0026] 以下结合附图和具体实施例对本发明的内容作进一步详细描述。

[0027] 本发明提供一种载波包络相位稳定可控的宽带光源及其产生方法,该光源和方法采用单一泵浦源的超连续谱产生结构和非共线差频过程获得宽带且CEP稳定的脉冲,使用一块光栅校正角色散且通过光栅在光栅面内的平移自由控制CEP,该宽带光源结构简单可靠,能够推动超快时间分辨的光与物质相互作用研究发展。

[0028] 如图1所示,本发明提供的载波包络相位稳定可控的宽带光源包括超快激光源1、分束镜2、超连续谱过程宽展光谱模块3、脉冲延时线4、差频模块5、凹面镜6、角色散补偿与CEP控制模块7和移动平台8,角色散补偿与CEP控制模块7为光栅。超快激光源1用于发出超短泵浦激光;分束镜2将超短泵浦激光分成能量不同的两路脉冲,能量较高的一路脉冲作为参量过程的泵浦光,能量较低的一路脉冲通过超连续谱过程宽展光谱模块3后作为信号光;泵浦光和信号光在时间和空间上重合,即两个不同角度激光在远处相交,从而在空间上重合,而时间重合由脉冲延时线实现,脉冲延时线具体为将互相垂直的反射镜放置于一位平移台上,可调整脉冲延时;在时间和空间上重合的两束激光通过差频模块5进行差频处理,差频处理为非共线相位匹配,经过差频处理之后获得一个CEP被动稳定的具有角色散的闲频光;凹面镜6将具有角色散的闲频光导入光栅,光栅引入角色散,补偿闲频光原有的角色散,从而获得准直的闲频光;光栅设置在移动平台8上,移动平台8使得光栅在光栅面内的移动量,从而控制闲频光的CEP。

[0029] 上述系统中,差频模块5为差频晶体,移动平台8为一维电动平移台,光栅为透射光栅或反射光栅。超连续谱过程宽展光谱一般使用光脉冲在固体材料(如YAG晶体,Sapphire晶体等)内的成丝过程产生超连续谱,此种方式结构较为简单。

[0030] 本发明提供的载波包络相位稳定可控的宽带光源的原理如下:一个超短泵浦激光(飞秒或皮秒)分成两路脉冲,较低能量的脉冲通过超连续谱过程宽展光谱作为差频过程的信号光,由于其光谱展宽过程可以理解为四波混频过程,信号光的CEP相对泵光CEP稳定,另一束较高能量的脉冲作为参量过程的泵浦光,差频过程为非共线相位匹配,经过差频之后可以获得一个CEP被动稳定的具有角色散的宽带光。该CEP被动稳定的具有角色散的宽带光被导入一个角色散补偿与CEP控制模块7,角色散补偿与CEP控制模块7具体为光栅,该光栅同时实现角色散补偿与CEP控制。

[0031] 角色散补偿与CEP控制模块7的基本原理为:如图2和图3所示,通过一个凹面镜6将差频晶体位置处的闲频光成像至光栅处,利用光栅引入的角色散补偿闲频光原有的角色散,从而获得准直的宽带光。使用1级衍射时光栅引入的角色散计算:

[0032] 
$$\frac{d\beta}{d\lambda} = \frac{1}{d\sqrt{1 - (\frac{\lambda}{d} - \sin\alpha)^2}}$$
, 其中 $\alpha$ 和 $\beta$ 分别为入射角和衍射角, $\lambda$ 为波长, $d$ 为光栅周期常数。

数。

[0033] 闲频光的CEP控制通过光栅在光栅面内的移动实现,如图4所示,该平移并不会改变角色散补偿效果。CEP改变量 $\Delta\varphi$ 与位移的关系为 $\Delta\varphi = 2\pi \times \Delta x / d$ 。 $\Delta x$ 为相对位移量, $d$ 为光栅周期常数,光栅移动可通过一维电动平移台实现。

[0034] 基于上述原理,本发明提供一种载波包络相位稳定可控的宽带光源产生方法,包括以下步骤:

[0035] 步骤一、发出一个超短泵浦激光,同时将该超短泵浦激光分成能量不同的两路脉

冲；

[0036] 步骤二、将能量较高的一路脉冲作为参量过程的泵浦光，将能量较低的一路脉冲通过超连续谱过程宽展光谱作为信号光；

[0037] 步骤三、将泵浦光和信号光在时间和空间上重合，然后进行差频处理，差频处理为非共线相位匹配，经过差频处理之后获得一个CEP被动稳定的具有角色散的闲频光；

[0038] 步骤四、将具有角色散的闲频光导入角色散补偿与CEP控制模块，角色散补偿与CEP控制模块为光栅，光栅引入角色散，补偿闲频光原有的角色散，从而获得准直的闲频光；同时，控制光栅在光栅面内的移动量，从而控制闲频光的CEP。

[0039] 基于上述结构和方法，本发明提供的载波包络相位稳定可控的宽带光源及其产生方法具有如下特点。

[0040] 本发明提供的宽带光源及其产生方法将角色散与CEP控制结合到一起，可以同时补偿非共线差频过程所产生的宽带闲频光的角色散，且能够控制CEP，系统结构简单，稳定可靠。

[0041] 本发明提供的宽带光源及其产生方法通过光栅在光栅面内的平移控制CEP，该方式能够仅调控CEP而不影响色散量，可以适用于大能量、高重频脉冲的CEP控制。

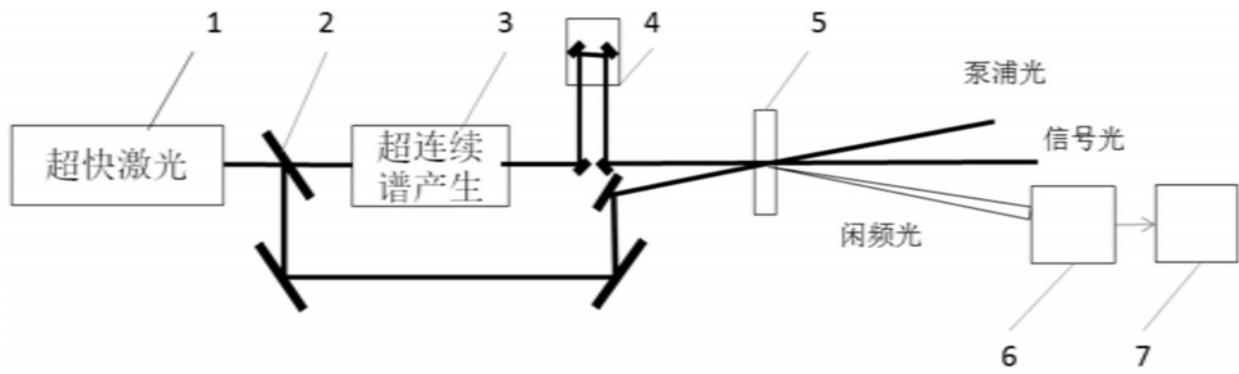


图1

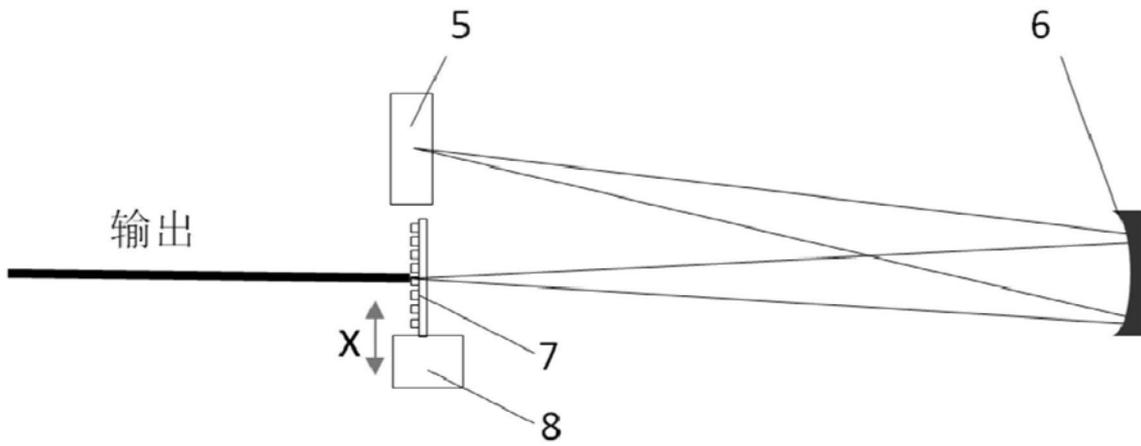


图2

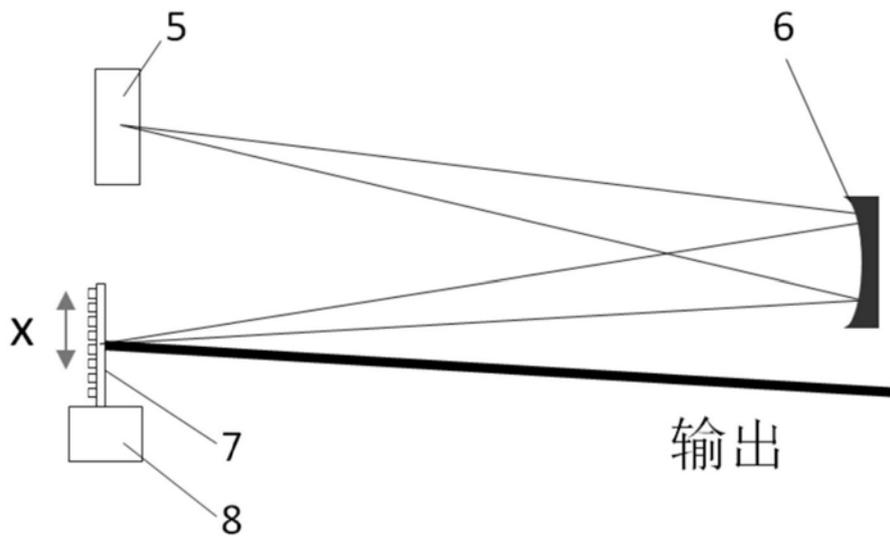


图3

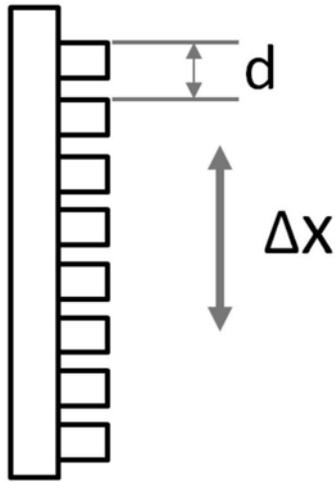


图4