



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104577690 B

(45)授权公告日 2017.07.14

(21)申请号 201510031289.8

G02F 1/39(2006.01)

(22)申请日 2015.01.22

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号

CN 101449438 A, 2009.06.03,

申请公布号 CN 104577690 A

US 2011/0026105 A1, 2011.02.03,

(43)申请公布日 2015.04.29

CN 103208734 A, 2013.07.17,

(73)专利权人 中国科学院上海光学精密机械研究所

CN 104051945 A, 2014.09.17,

地址 201800 上海市嘉定区上海市800—
211邮政信箱

US 5095487 A, 1992.03.10,

(72)发明人 李朝阳 冷雨欣 李儒新 王乘
李帅 郭晓杨 李妍妍 王丁

Gunther Krauss et.al..Synthesis of a
single cycle of light with compact
erbium-doped fibre technology.《Nature
Photonics》.2009, 第4卷(第1期), 33–36.

(74)专利代理机构 上海新天专利代理有限公司
31213

Bruno E.Schnidt et.al..Frequency
domain optical parametric amplification.
《Nature Communications》.2014, (第5期), 36–
43.

代理人 张泽纯 张宁展

审查员 周宇畅

(51)Int.Cl.

权利要求书1页 说明书5页 附图1页

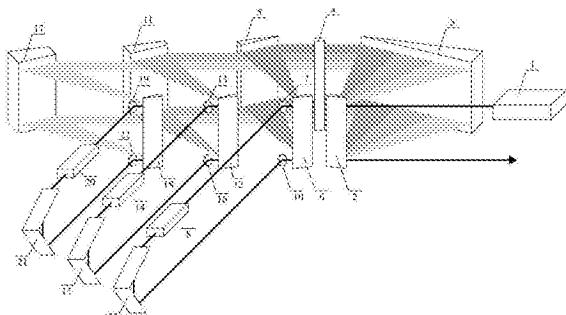
H01S 3/10(2006.01)

(54)发明名称

超宽带相干合成啁啾脉冲放大激光系统

(57)摘要

超宽带相干合成啁啾脉冲放大激光系统，该系统包括超宽带种子源、脉冲展宽压缩及光谱分束合束单元、光参量放大单元、反射镜和折反镜，所述的脉冲展宽压缩及光谱分束合束单元包括一块高色散透射平板和八块衍射棱栅，所述的光参量放大单元包括三个不同增益带宽的光参量放大器。本发明可对超宽带激光脉冲进行高增益放大，避免了增益窄化效应、非线性效应和增益介质损伤，可产生焦耳级单周期激光脉冲。



1. 一种超宽带相干合成啁啾脉冲放大激光系统，其特征在于，该系统包括超宽带种子源(1)、脉冲展宽压缩及光谱分束合束单元、光参量放大单元、反射镜和折反镜，所述的脉冲展宽压缩及光谱分束合束单元包括一块高色散透射平板(4)、第一衍射棱栅(2)、第二衍射棱栅(3)、第三衍射棱栅(5)、第四衍射棱栅(6)、第五衍射棱栅(11)、第六衍射棱栅(12)、第七衍射棱栅(17)和第八衍射棱栅(18)，所述的光参量放大单元包括具有不同增益带宽的第一光参量放大器(8)、第二光参量放大器(14)和第三光参量放大器(20)，所述的反射镜包括第一反射镜(7)、第二反射镜(10)、第三反射镜(13)、第四反射镜(16)、第五反射镜(19)和第六反射镜(22)；所述的折反镜包括第一折反镜(9)、第二折反镜(15)和第三折反镜(21)；

上述元部件的位置关系如下：

所述的超宽带种子源(1)输出的信号光进入脉冲展宽压缩及光谱分束合束单元：经第一衍射棱栅(2)和第二衍射棱栅(3)衍射后在空间散开产生空间啁啾，透过所述的高色散透射平板(4)后被分为高频波段光束、中频波段光束和低频波段光束：

所述的高频波段光束经第三衍射棱栅(5)和第四衍射棱栅(6)衍射消除空间啁啾，经第一反射镜(7)反射进入第一光参量放大器(8)，放大后的闲频光经第一折反镜(9)折返并改变高度位置，经第二反射镜(10)反射经第四衍射棱栅(6)衍射、经第三衍射棱栅(5)衍射、经高色散透射平板(4)透射，经第二衍射棱栅(3)衍射、经第一衍射棱栅(2)衍射输出；

所述的中频波段光束经第五衍射棱栅(11)和第六衍射棱栅(12)衍射消除空间啁啾，经第三反射镜(13)反射进入第二光参量放大器(14)，放大后的闲频光经第二折反镜(15)折返并改变高度位置，经第四反射镜(16)反射，经第六衍射棱栅(12)和第五衍射棱栅(11)衍射，经高色散透射平板(4)透射，经第二衍射棱栅(3)和经第一衍射棱栅(2)衍射输出；

所述的低频波段光束经第七衍射棱栅(17)和第八衍射棱栅(18)衍射消除空间啁啾，经第五反射镜(19)反射进入第三光参量放大器(20)，放大后的闲频光经第三折反镜(21)折返并改变高度位置，经第六反射镜(22)反射，经第八衍射棱栅(18)和第七衍射棱栅(17)衍射，经高色散透射平板(4)透射，经第二衍射棱栅(3)和第一衍射棱栅(2)衍射输出。

2. 根据权利要求1所述的超宽带相干合成啁啾脉冲放大激光系统，其特征在于，所述的第一衍射棱栅(2)与第二衍射棱栅(3)平行，第三衍射棱栅(5)、第四衍射棱栅(6)、第五衍射棱栅(11)、第六衍射棱栅(12)、第七衍射棱栅(17)与第八衍射棱栅(18)相互平行，第一衍射棱栅、第二衍射棱栅与第三衍射棱栅、第四衍射棱栅、第五衍射棱栅、第六衍射棱栅、第七衍射棱栅、第八衍射棱栅关于高色散透射平板(4)镜像反平行，所述的脉冲展宽压缩及光谱分束合束单元引入的二阶色散为负、三阶色散为零。

3. 根据权利要求1所述的超宽带相干合成啁啾脉冲放大激光系统，其特征在于，所述的第一折返镜(9)、第二折返镜(15)和第三折返镜(21)均具有沿折返光路方向的平移调节机构，实现相干合成的延时调节。

超宽带相干合成啁啾脉冲放大激光系统

技术领域

[0001] 本发明涉及激光领域,特别涉及一种超宽带相干合成啁啾脉冲放大激光系统,其主要适用于超宽带激光系统、相干合成激光系统、单周期激光系统、焦耳级高能单周期激光系统。

背景技术

[0002] 高能量单周期($\sim 3\text{fs}$)激光脉冲是当前国际激光技术研究的最前沿之一。2009年Gunther Krauss等将两路同源但不同波段的飞秒光纤激光相干合成产生了纳焦耳 4.3fs 单周期激光脉冲(Gunther Krauss,et.al.Synthesis of a single cycle of light with compact erbium-doped fibre technology,Nature photonics,Vol 4,pp33,2010.)。2011年Shu-Wei Huang等将两路同源但不同波段的光参量放大激光相干合成产生了 $15\mu\text{J}$ 单周期内激光脉冲(Shu-Wei Huang,et.al.High-energy pulse synthesis with sub-cycle waveform control for strong-field physics,Nature photonics,Vol 5,pp 475,2011.)。上述两种方法尽管均取得了单周期激光脉冲,但单脉冲能量很小,主要原因包括:

[0003] 1. 上述两种方法均是对转换极限短脉冲进行相干合成,因此透射介质中高功率脉冲的非线性效应和介质损伤阈值限制了合成脉冲能量提升;

[0004] 2. 上述两种方法均是利用双色片实现两个脉冲的相干合成,因此高功率透射光的非线性效应和双色片损伤阈值限制了合成脉冲能量提升。

[0005] 2013年Bruno E.Schmidt等在基于光栅的4f系统的傅里叶面上进行频率域分波段光参量放大避免了增益窄化效应,同时由于傅里叶转换极限脉冲展宽提高了放大的单脉冲能量,产生了 1.43mJ 双周期激光脉冲(Bruno E.Schmidt,et.al.Frequency domain optical parametric amplification,Nature communications,ncomms4643,2014.)。该方法尽管将周期级激光脉冲的能量提升至毫焦耳水平,但很难再次提升至焦耳、数焦耳、甚至数十焦耳水平。主要原因因为该方法在傅里叶面上对不同频率波段脉冲进行放大,每段频率波段有限的带宽避免了放大介质的增益窄化,同时展宽的时间脉宽降低了非线性效应、提高了损伤阈值。但若进一步缩小每段频率波段的带宽需要非常高密度的光栅,以及非常大口径和非常长焦距的凹面镜,因此系统规模将极为庞大而变得不可行。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于克服上述现有技术存在的不足,提出了一种超宽带相干合成啁啾脉冲放大激光系统。该系统可对超宽带激光脉冲进行高增益放大,避免了增益窄化效应、非线性效应和增益介质损伤,可产生焦耳级单周期激光脉冲。

[0007] 为了达到上述发明目的,本发明的技术方案如下:

[0008] 一种超宽带相干合成啁啾脉冲放大激光系统,其特点在于,该系统包括超宽带种子源、脉冲展宽压缩及光谱分束合束单元、光参量放大单元、反射镜和折反镜,所述的脉冲展宽压缩及光谱分束合束单元包括一块高色散透射平板和八块衍射棱栅:第一衍射棱栅、

第二衍射棱栅、第三衍射棱栅、第四衍射棱栅、第五衍射棱栅、第六衍射棱栅、第七衍射棱栅和第八衍射棱栅，所述的光参量放大单元包括三个不同增益带宽的光参量放大器：第一光参量放大器、第二光参量放大器和第三光参量放大器，上述元部件的位置关系如下：

[0009] 所述的超宽带种子源输出的信号光进入脉冲展宽压缩及光谱分束合束单元：经第一衍射棱栅和第二衍射棱栅衍射后光束基于光谱在空间散开产生空间啁啾，透过高色散透射平板后被分为高频波段光束、中频波段光束和低频波段光束；

[0010] 所述的高频波段光束经第三衍射棱栅和第四衍射棱栅衍射消除空间啁啾，经第一反射镜反射进入第一光参量放大器，放大后的闲频光经第一折反镜折返并改变高度位置，经第二反射镜反射再次经第四衍射棱栅和第三衍射棱栅衍射，经高色散透射平板透射、经第二衍射棱栅和第一衍射棱栅衍射输出；

[0011] 所述的中频波段光束经第五衍射棱栅和第六衍射棱栅衍射消除空间啁啾，经第三反射镜反射进入第二光参量放大器，放大后的闲频光经第二折反镜折返并改变高度位置，经第四反射镜反射经第六衍射棱栅和第五衍射棱栅衍射，经高色散透射平板透射，经第二衍射棱栅和第一衍射棱栅衍射输出；

[0012] 所述的低频波段光束经第七衍射棱栅和第八衍射棱栅衍射消除空间啁啾，经第五反射镜反射进入第三光参量放大器，放大后的闲频光经第三折反镜折返并改变高度位置，经第六反射镜反射，经第八衍射棱栅和第七衍射棱栅衍射，经高色散透射平板透射，经第二衍射棱栅和第一衍射棱栅衍射输出。

[0013] 所述的脉冲展宽压缩及光谱分束合束单元中第一衍射棱栅与第二衍射棱栅平行，第三衍射棱栅、第四衍射棱栅、第五衍射棱栅、第六衍射棱栅、第七衍射棱栅与第八衍射棱栅相互平行，第一衍射棱栅、第二衍射棱栅与第三衍射棱栅、第四衍射棱栅、第五衍射棱栅、第六衍射棱栅、第七衍射棱栅与第八衍射棱栅关于高色散透射平板镜像反平行。

[0014] 所述的脉冲展宽压缩及光谱分束合束单元引入的二阶色散为负、三阶色散为零。

[0015] 所述的光参量放大单元中第一光参量放大器、第二光参量放大器和第三光参量放大器的增益带宽不同，分别对高频波段光束、中频波段光束和低频波段光束进行放大。

[0016] 所述的第一折返镜、第二折返镜和第三折返镜均具有沿折返光路方向的平移调节机构，实现相干合成的延时调节。

[0017] 所述的脉冲展宽压缩及光谱分束合束单元，对于光参量放大单元前的信号光实现基于啁啾的时间展宽以及基于光谱的空间分束，对于光参量放大单元后的闲频光实现基于啁啾的时间压缩以及基于光谱的空间合束。

[0018] 本发明的技术效果如下：

[0019] 本发明超宽带相干合成啁啾脉冲放大激光系统，在首次通过脉冲展宽压缩及光谱分束合束单元中，信号光经过第一衍射棱栅和第二衍射棱栅后基于光谱在空间散开，透过高色散透射平板后被第三衍射棱栅和第四衍射棱栅、第五衍射棱栅和第六衍射棱栅、以及第七衍射棱栅和第八衍射棱栅分为高频波段光束、中频波段光束、以及低频波段光束，完全补偿空间啁啾的同时实现了基于光谱的空间分束。此外，该过程中信号光被引入二阶负时间啁啾实现了脉冲的时间展宽。

[0020] 在光参量放大单元中，高频波段光束、中频波段光束和低频波段光束分别被第一光参量放大器、第二光参量放大器和第三光参量放大器分波段放大，从而避免了增益窄化

效应。由于放大的是时间展宽脉冲,从而避免了非线性效应和增益介质损伤。光参量放大单元输出放大的闲频光具有与信号光相反的时间啁啾,从而实现了时间啁啾反转,即闲频光具有正时间啁啾。

[0021] 在再次通过脉冲展宽压缩及光谱分束合束单元中,高频波段光束闲频光、中频波段光束闲频光、以及低频波段光束闲频光分别被第四衍射棱栅和第三衍射棱栅、第六衍射棱栅和第五衍射棱栅、以及第八衍射棱栅和第七衍射棱栅衍射后,透过高色散透射平板后经第二衍射棱栅和第一衍射棱栅衍射,完全补偿空间啁啾的同时实现了基于光谱的空间合束。此外,该过程中闲频光被引入二阶负时间啁啾实现了脉冲的时间压缩。

[0022] 本发明的超宽带相干合成啁啾脉冲放大激光系统与现有技术相比具有如下技术特点:

[0023] 本发明可对超宽带激光脉冲进行高增益放大,避免了增益窄化效应、非线性效应和增益介质损伤,可产生焦耳级单周期激光脉冲。

附图说明

[0024] 图1是本发明超宽带相干合成啁啾脉冲放大激光系统实施例示意图。

具体实施方式

[0025] 下面结合附图和实施例来对本发明作进一步的详细阐述,以求更为清楚明了地理解本发明的结构组成情况和工作流程,但不能以此来限制本发明专利的保护范围。

[0026] 图1是本发明超宽带相干合成啁啾脉冲放大激光系统实施例示意图,由图可见,本发明包括超宽带种子源1、脉冲展宽压缩及光谱分束合束单元、光参量放大单元、反射镜和折反镜,所述的脉冲展宽压缩及光谱分束合束单元包括一块高色散透射平板4和八块衍射棱栅:第一衍射棱栅2、第二衍射棱栅3、第三衍射棱栅5、第四衍射棱栅6、第五衍射棱栅11、第六衍射棱栅12、第七衍射棱栅17和第八衍射棱栅18,所述的光参量放大单元包括三个不同增益带宽的光参量放大器:第一光参量放大器8、第二光参量放大器14和第三光参量放大器20,上述元部件的位置关系如下:

[0027] 超宽带种子源1输出600nm-1200nm超宽带信号光进入脉冲展宽压缩及光谱分束合束单元:经第一衍射棱栅2和第二衍射棱栅3衍射后光束基于光谱在空间散开产生空间啁啾,透过高色散透射平板4后被分为600nm-800nm高频波段光束、800nm-1000nm中频波段光束和1000nm-1200nm低频波段光束:

[0028] 600-800nm高频波段光束经第三衍射棱栅5和第四衍射棱栅6衍射消除空间啁啾,经第一反射镜7反射进入第一光参量放大器8,放大后的闲频光经第一折反镜9折返并改变高度位置,经第二反射镜10反射再次进入脉冲展宽压缩及光谱分束合束单元:经第四衍射棱栅6衍射、经第三衍射棱栅5衍射、经高色散透射平板4透射、经第二衍射棱栅3衍射、经第一衍射棱栅2衍射输出。

[0029] 800nm-1000nm中频波段光束经第五衍射棱栅11和第六衍射棱栅12衍射消除空间啁啾,经第三反射镜13反射进入第二光参量放大器14,放大后的闲频光经第二折反镜15折返并改变高度位置,经第四反射镜16反射再次进入脉冲展宽压缩及光谱分束合束单元:经第六衍射棱栅12衍射、经第五衍射棱栅11衍射、经高色散透射平板4透射、经第二衍射棱栅3

衍射、经第一衍射棱栅2衍射输出。

[0030] 1000nm-1200nm低频波段光束经第七衍射棱栅17和第八衍射棱栅18衍射消除空间啁啾,经第五反射镜19反射进入第三光参量放大器20,放大后的闲频光经第三折反镜21折返并改变高度位置,经第六反射镜22反射再次进入脉冲展宽压缩及光谱分束合束单元:经第八衍射棱栅18衍射、经第七衍射棱栅17衍射、经高色散透射平板4透射、经第二衍射棱栅3衍射、经第一衍射棱栅2衍射输出。

[0031] 所述的脉冲展宽压缩及光谱分束合束单元中第一衍射棱栅2与第二衍射棱栅3平行,第三衍射棱栅5、第四衍射棱栅6、第五衍射棱栅11、第六衍射棱栅12、第七衍射棱栅17与第八衍射棱栅18相互平行,第一、二衍射棱栅与第三、四、五、六、七、八衍射棱栅关于高色散透射平板4镜像反平行。所述的脉冲展宽压缩及光谱分束合束单元引入的二阶色散为负、三阶色散为零。

[0032] 所述的光参量放大单元中第一光参量放大器8、第二光参量放大器14和第三光参量放大器20的增益带宽不同,分别对应600-800nm高频波段光束、800nm-1000nm中频波段光束和1000nm-1200nm低频波段光束完成能量放大。

[0033] 所述的第一折返镜9、第二折返镜15和第三折返镜21分别对第一光参量放大器8、第二光参量放大器14和第三光参量放大器20放大的闲频光折返并改变高度位置。所述的第一折返镜9、第二折返镜15和第三折返镜21均具有沿折返光路方向的平移调节,实现相干合成的延时调节。

[0034] 所述的脉冲展宽压缩及光谱分束合束单元,对于光参量放大单元前的信号光实现基于啁啾的时间展宽以及基于光谱的空间分束,对于光参量放大单元后的闲频光实现基于啁啾的时间压缩以及基于光谱的空间合束。

[0035] 在首次通过脉冲展宽压缩及光谱分束合束单元中,信号光经过第一衍射棱栅2和第二衍射棱栅3后基于光谱在空间散开,透过高色散透射平板4后被第三衍射棱栅5和第四衍射棱栅6、第五衍射棱栅11和第六衍射棱栅12、以及第七衍射棱栅17和第八衍射棱栅18分为600-800nm高频波段光束、800nm-1000nm中频波段光束、以及1000nm-1200nm低频波段光束,完全补偿空间啁啾的同时实现了基于光谱的空间分束。此外,该过程中信号光被引入二阶负时间啁啾实现了脉冲的时间展宽。

[0036] 在光参量放大单元中,600-800nm高频波段光束、800nm-1000nm中频波段光束和1000nm-1200nm低频波段光束分别被第一光参量放大器8、第二光参量放大器14和第三光参量放大器20分波段放大,从而避免了增益窄化效应。由于放大的是时间展宽脉冲,从而避免了非线性效应和增益介质损伤。光参量放大单元输出放大的闲频光具有与信号光相反的时间啁啾,从而实现了时间啁啾反转,即闲频光具有正时间啁啾。

[0037] 在再次通过脉冲展宽压缩及光谱分束合束单元中,600-800nm高频波段光束闲频光、800nm-1000nm中频波段光束闲频光、以及800nm-1000nm低频波段光束闲频光分别被第四衍射棱栅6和第三衍射棱栅5、第六衍射棱栅12和第五衍射棱栅11、以及第八衍射棱栅18和第七衍射棱栅17衍射后,透过高色散透射平板4后经第二衍射棱栅3和第一衍射棱栅2衍射,完全补偿空间啁啾的同时实现了基于光谱的空间合束。此外,该过程中闲频光被引入二阶负时间啁啾实现了脉冲的时间压缩。

[0038] 实验表明,与在先技术相比,本发明可对600nm-1200nm超宽带激光脉冲进行高增

益放大,避免了增益窄化效应、非线性效应和增益介质损伤,可产生焦耳级单周期激光脉冲。

[0039] 最后所应说明的是,本发明中超宽带激光基于光谱被分为三束即三个频率波段进行展宽、分束、放大、合束、压缩,依据本发明方法超宽带激光基于光谱可被分为任意束即任意个频率波段进行展宽、分束、放大、合束、压缩。本领域的普通技术人员应当理解,对本发明的技术方案进行修改或者等同替换,都不脱离本发明的精神和范围,其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

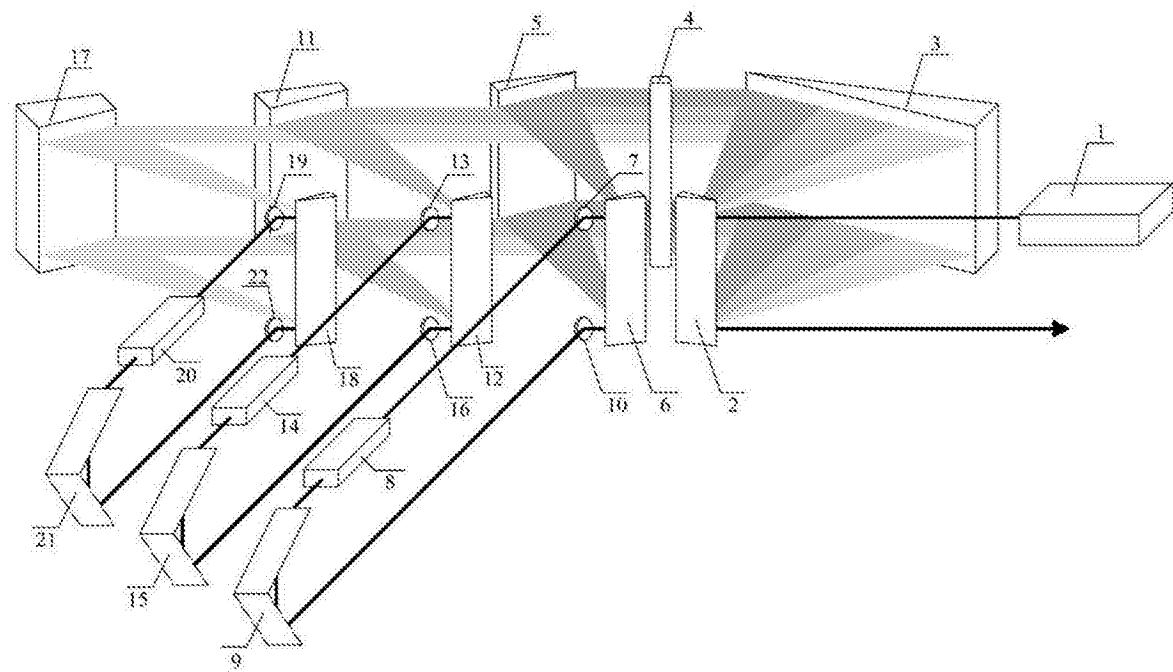


图1