(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2018 年 6 月 28 日 (28.06.2018)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2018/112752 A1

(51) 国际专利分类号:
H01S 3/108 (2006.01) *H01S 3/094* (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2016/111069

(22) 国际申请日: 2016 年 12 月 20 日 (20.12.2016)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(71) 申请人: 深圳大学(SHENZHEN UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区南海大道3688号, Guangdong 518060 (CN)。

(72) 发明人: 钟亥哲(ZHONG, Haizhe); 中国广东省深圳市南山区南海大道3688号, Guangdong 518060 (CN)。 李瑛(LI, Ying); 中国广东省深圳市南山区南海大道3688号, Guangdong 518060 (CN)。 杨建龙(YANG, Jianlong); 中国广东省深圳市南山区南海大道3688号, Guangdong 518060 (CN)。 章礼富(ZHANG, Lifu); 中国广东省深圳市南山区南海大道3688号, Guangdong 518060 (CN)。 梁宇海(LIANG, Yuhai); 中国广东省深圳市南山区南海大道3688号, Guangdong 518060 (CN)。 范滇元(FAN, Dianyuan); 中国广东省深圳市南山区南海大道3688号, Guangdong 518060 (CN)。

(74) 代理人: 深圳市恒申知识产权事务所（普通合伙)(HENSEN INTELLECTUAL PROPERTY FIRM); 中国广东省深圳市福田区南园路68号上步大厦10H, Guangdong 518000 (CN)。

(54) **Title:** TUNABLE DUAL-WAVELENGTH ULTRAFAST OPTICAL PARAMETRIC OSCILLATOR

(54) **发明名称**: 一种可调谐双波长超快光参量振荡器

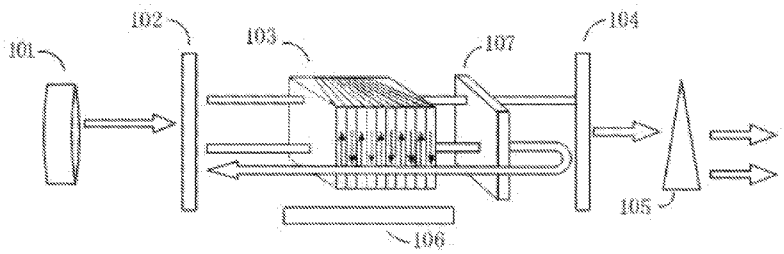


图 3

(57) **Abstract:** The present invention relates to the technical field of laser, and provides a tunable dual-wavelength ultrafast optical parametric oscillator. The oscillator comprises: a pulsed laser pump source (101), an input coupling lens (102), a periodically poled crystal (103) having a sector-shaped structure, a dispersion compensation device (107), an output coupling lens (104), a splitter (105), and a crystal temperature control device (106) arranged in sequence. Compared with the prior art, the oscillator of the present invention eliminates the group velocity mismatch between signal light and idler light of the periodically poled crystal (103) by employing a dispersion relationship between a group velocity of the pulsed laser and the crystal temperature to regulate and control the operation temperature of the periodically poled crystal (103). Furthermore, the present invention synchronously amplifies the signal light and idler light, thus improving a match bandwidth of the optical parametric oscillator while preventing pulse distortion caused by temporal walk-off, and enabling the optical parametric oscillator to simultaneously output two high-quality ultrashort pulsed laser signals.

(57) **摘要**: 涉及激光技术领域，提供了一种可调谐双波长超快光参量振荡器，包括：依次放置的脉冲激光泵浦源（101）、输入耦合镜（102）、带扇形结构的周期性极化晶体（103）、色散补偿装置（107）、输出耦合镜（104）、分光镜（105），以及晶体控温装置（106），相较于现有技术，这种振荡器利用脉冲激光的群速度与晶体温度之间的色散关系，通过调控周期性极化晶体（103）的工作温度，消除周期性极化晶体（103）内信号光与闲频光间的群速度失配。信号光与闲频光的同步放大，不但可以提升光参量振荡器的匹配带宽，更是避免了由于时间走离造成的脉冲畸变，使光参量振荡器能够同时输出两路高质量的超短脉冲激光。

WO 2018/112752 A1

[见续页]

(81) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的国家保护)：AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

发明名称: 一种可调谐双波长超快光参量振荡器

技术领域

[1] 本发明涉及激光技术领域，尤其涉及 一种可调谐双波长超快光参量振荡器。

背景技术

[2] 激光介质的能级结构和荧光发射谱线对能够产生何种波长的激光起着决定性的作用。不同激光介质可以产生不同波长的激光，但是，大多数情况下，使用单一激光介质的激光器，通常也只能输出一种特定波长的激光。然而，从物理、化学学科的基础研究到医学，甚至工业应用，越来越多的研究或者应用领域需要同时用到两束不同波长的激光。比如广泛应用于超快动力学过程研究的泵浦探测（pump-probe）技术，就需要用一束超快激光激发样品，再用另一束波长不同的超快激光探测其发出的受激信号，以此确定被测样品的状态。此外，通过非线性差频产生中红外，甚至太赫兹（THz）波段的辐射源；基于被测气体对不同波长的激光存在吸收差异的差分吸收式激光雷达；CARS（相干反斯托克斯喇曼散射）显微成像技术等都需要同时使用不同波长的激光。

[3] 人们已经在固体激光系统，例如钛宝石激光器，利用分裂（self-spectrum splitting），受激粒子的能级分裂以及布里渊散射等方法实现了双波长的激光输出。但是，基于非线性频率转换的光参量振荡器（OPO），仍是目前获得双波长激光最有效的途径之一。利用二阶非线性效应，OPO能够将入射激光（称为泵浦光）转变为两束波长各异的出射激光，对于单谐振的OPO，一般将在谐振腔内来回振荡的激光称为信号光，将与信号光共存的另一束激光称为闲频光。信号光、闲频光与泵浦光之间始终满足能量守恒。OPO天然具有双波长激光输出的特点，因此被广泛用作双波长激光器。

[4] 随着科技的进步，人们对医学、生物、物理等学科的研究已进入纳米、原子尺度，无论是泵浦探测，还是CARS，都需要借助超短脉冲激光来获得更高的分辨率，这对双波长激光器的输出脉宽以及光束质量均提出了更高的要求。但是，通常情况下，在光参量振荡过程中，相互作用的泵浦光、信号光和闲频光在晶

体中的速度（即群速度）并不相同，一般称之为群速度失配（GVM）。当OPO工作在超快时间尺度（例如飞秒，即10^{-15}秒）的时候，由于会在光参量振荡过程中相互走离，信号光与闲频光都会出现不同程度的脉冲畸变，尤其是闲频光。泵浦光的脉宽越短，群速度失配的影响越显著。这极大限制了飞秒OPO输出的信号光与闲频光的脉宽，以及光束质量。

对发明的公开

技术问题

[5] 本发明实施例提供了一种可调谐双波长超快光参量振荡器，旨在解决现有技术中的双波长光参量振荡器无法有效地产生脉冲波形无畸变的双波长飞秒脉冲激光的问题。

问题的解决方案

技术解决方案

[6] 本发明实施例提供了一种可调谐双波长超快光参量振荡器，包括：依次放置的脉冲激光泵浦源、输入耦合镜、带扇形结构的周期性极化晶体、输出耦合镜及分光镜；

[7] 所述脉冲激光泵浦源输出的泵浦光经过所述输入耦合镜进入所述带扇形结构的周期性极化晶体，在所述带扇形结构的周期性极化晶体中产生来回振荡的信号光，以及闲频光，并从所述输出耦合镜输出混合光，所述混合光经所述分光镜分离后，分别得到信号光脉冲激光和闲频光脉冲激光；

[8] 所述带扇形结构的周期性极化晶体为满足II类准位相匹配的周期性极化晶体，所述信号光与所述闲频光在预置温度下在所述带扇形结构的周期性极化晶体中的群速度匹配，所述混合光中包含所述信号光、所述闲频光以及残留的所述泵浦光。

[9] 进一步地，所述可调谐双波长超快光参量振荡器，还包括：

[10] 晶体控温装置，用于调控所述带扇形结构的周期性极化晶体的温度。

[11] 进一步地，所述带扇形结构的周期性极化晶体的极化周期能够连续调谐。

[12] 进一步地，根据所述脉冲激光泵浦源输出的泵浦光的波长及预置的调谐规则，对所述带扇形结构的周期性极化晶体的温度以及极化周期联动调谐，以使调谐

范围内的任意波长的所述信号光与所述闲频光在所述带扇形结构的周期性极化晶体中的群速度始终匹配。

[13] 进一步地，所述可调谐双波长超快光参量振荡器还包括：

[14] 色散补偿装置，所述色散补偿装置设置在所述周期性极化晶体与所述输出耦合镜之间的光路上，用于补偿所述信号光在所述周期性极化晶体内累积的群速度色散。

[15] 进一步地，所述信号光在所述输入耦合镜和所述输出耦合镜之间来回振荡，所述输入耦合镜对所述信号光高反射，对所述泵浦光高透射，所述输出耦合镜对所述信号光部分透射，对所述泵浦光和所述闲频光高透射。

发明的有益效果

有益效果

[16] 从上述本发明实施例可知，本发明提供了一种可调谐双波长超快光参量振荡器，包括：依次放置的脉冲激光泵浦源、输入耦合镜、带扇形结构的周期性极化晶体、色散补偿装置、输出耦合镜、分光镜，以及晶体控温装置，相较于现有技术，本发明利用脉冲激光的群速度与晶体温度之间的色散关系，通过调控周期性极化晶体的工作温度，消除周期性极化晶体内信号光与闲频光间的群速度失配。信号光与闲频光的同步放大，不但可以提升光参量振荡器的匹配带宽，更是避免了由于时间走离造成的脉冲畸变，使光参量振荡器能够同时输出两路高质量的超短脉冲激光。

对附图的简要说明

附图说明

[17] 图1是当脉冲激光泵浦源的波长为1064 nm时，周期性极化晶体内3.5μm-2.9μm的e偏振光信号光和与之对应的1.5μm-1.7μm的o偏振闲频光满足群速度匹配所需工作温度随波长的变化曲线；

[18] 图2是当脉冲激光泵浦源的波长为790 nm时，周期性极化晶体内3.1μm-1.7μm的e偏振信号光和与之对应的1μm-1.5μm的o偏振闲频光满足群速度匹配所需工作温度随波长的变化曲线；

[19] 图3是本发明实施例提供的可调谐双波长超快光参量振荡器的结构示意图；

[20] 图4是本发明实施例中的双波长超快光参量振荡器的转换效率，以及中红外信号光与近红外闲频光的光谱带宽随泵浦光强的变化曲线，其中,泵浦光波长为1064nm，信号光波长为3.2μm，对应的，闲频光波长为1.59μm；

[21] 图5是本发明实施例中的双波长超快光参量振荡器输出的信号光与闲频光的时间波形图，其中, 泵浦光波长为1064nm，信号光波长为3.2μm，对应的，闲频光波长为1.59μm；

[22] 图6是本发明实施例中的双波长超快光参量振荡器输出的信号光与闲频光的光谱带宽随信号光/闲频光波长的变化曲线。其中, 泵浦光波长为1064nm。

发明实施例

本发明的实施方式

[23] 为使得本发明实施例的发明目的、特征、优点能够更加的明显和易懂，下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而非全部实施例。基于本发明中的实施例，本领域技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[24] 如图1、图2所示，图中给出了当泵浦源的激光波长分别为1064 nm和790 nm的时候，周期性极化晶体内e偏振信号光和与之对应的o偏振闲频光满足群速度匹配所需工作温度随波长的变化曲线，周期性极化晶体在本实施例中选用的是8%掺杂MgO:PPLN晶体。从图中可以看出，仅考虑以1064 nm 和790 nm的脉冲激光器为泵浦源，就可实现输出激光波长从1 μm到3.5 μm，近红外到中红外波段的全覆盖。若再配合其它波长的泵浦源，其应用范围可以扩展到5 μm（MgO:PPLN晶体的极限透射波长）。

[25] 请参阅图3，图3是本发明实施例提供的可调谐双波长超快光参量振荡器的结构示意图，为了便于说明，仅示出了与本发明实施例相关的部分。图3示例的可调谐双波长超快光参量振荡器，主要包括：脉冲激光泵浦源101、输入耦合镜102、带扇形结构的周期性极化晶体103、输出耦合镜104以及分光镜105、晶体控温装置106以及色散补偿装置107。

[26] 脉冲激光泵浦源101可以但不限于选用1064

nm飞秒脉冲激光器，将其输出的1064 nm脉冲激光作为泵浦光，该泵浦光经输入耦合镜102，进入光学谐振腔，在带扇形结构的周期性极化晶体103中产生在输入耦合镜102和输出耦合镜104之间来回振荡的信号光，以及闲频光。其中该信号光与该闲频光在该带扇形结构的周期性极化晶体103中的群速度相同。通过光参量放大，信号光从泵浦光中获取能量，并从输出耦合镜104中输出混合光，该混合光中包含部分信号光、闲频光以及残留的泵浦光。该混合光经分光镜105分离后，输出两种不同波长的超短脉冲激光，分别是信号光脉冲激光和闲频光脉冲激光。分光镜105可以但不限于包括：分光棱镜、双色镜等可以将不同波长的混合光相互分离的光学元件。

[27] 晶体控温装置106，用于调控带扇形结构的周期性极化晶体103的温度，其包括设置于带扇形结构的周期性极化晶体103的下方的晶体控温炉。

[28] 带扇形结构的周期性极化晶体103和输出耦合镜104之间还设置有色散补偿元件107，该色散补偿元件107用于消除来回振荡的信号光在周期性极化晶体103内累积的群速度色散。

[29] 其中，带扇形结构的周期性极化晶体103是满足II类准位相匹配的周期性极化晶体，在本实施例中选用的是8%掺杂MgO:PPLN晶体。晶体折射率（n）会随温度的不同而变化，晶体内脉冲激光的群速度（v）也是与温度有关的物理量。为了利用非线性晶体最大的非线性系数（d33），周期性极化晶体通常都需要满足0类的准相位匹配条件（e+e->e），要求泵浦光、信号光和闲频光均为e偏振光。处于同一偏振态的两种脉冲激光，其群速度存在比较大的差别，而且，这种差异并不能简单地通过改变周期性极化晶体的工作温度来消除。但是，当这两束激光以正交的方式在晶体中传播（例如，信号光为o偏振光、闲频光为e偏振光；或者信号光为e偏振光、闲频光为o偏振光），它们的群速度有可能在特定温度下相等。为了得到高质量的双波长超短脉冲激光，信号光与闲频光需要有相同的群速度，本实施例中的双波长光参量振荡器采用II类准相位匹配技术，利用脉冲激光的群速度与晶体温度之间的色散关系，通过调控带扇形结构的周期性极化晶体103的工作温度，使信号光与闲频光满足群速度匹配（GVM=0），再在此温度基础上，设计出合适的极化周期，使OPO满足相速度匹配，从而使OPO能够

同时满足相速度匹配与群速度匹配。信号光与闲频光的同步放大，不但可以提升光参量振荡器的匹配带宽，更是避免了由于时间走离造成的脉冲畸变，使光参量振荡器能够同时输出高质量的双波长超短脉冲激光。

[30] 群速度匹配与相速度匹配的同时实现，要求周期性极化晶体工作在特定的温度，而且，该周期性极化晶体的极化周期也是特定的。对不同波长的信号光与闲频光，其群速度匹配所需要的预置温度，以及相速度匹配所需要的极化周期均各不相同。

[31] 为了实现双波长超快光参量振荡器的激光波长的可调谐，本发明实施例采用带扇形结构的周期性极化晶体103，且该带扇形结构的周期性极化晶体103满足II类准位相匹配。带扇形结构的周期性极化晶体103相较于常用的周期性极化晶体，能够通过改变信号光、闲频光与泵浦光在带扇形结构的周期性极化晶体103中的横向维度的位置，对其极化周期进行连续调谐。晶体控温装置106，用于调控带扇形结构的周期性极化晶体103的温度。通过对该带扇形结构的周期性极化晶体103的工作温度以及极化周期的联动调谐，实现所述可调谐双波长超快光参量振荡器输出激光波长的可调谐。对调谐范围内的任意激光波长，信号光与所述闲频光的群速度始终相等。

[32] 具体的，脉冲激光泵浦源101选用1064 nm飞秒脉冲激光器，其输出的1064 nm脉冲激光作为泵浦光。所述扇形周期性极化晶体5选用满足II类准位相匹配的8%掺杂MgO:PPLN晶体。其极化周期在36 μm - 46 μm范围内连续可调。所述可调谐双波长超快光参量振荡器的信号光与闲频光正好分别处于中红外与近红外波段。在20 oC – 250 oC的温度区间内，输出的信号光可以在2.9 μm至3.5 μm范围内连续调谐，相应的，闲频光的波长为~1.7 μm至1.5 μm。

[33] 采用同步泵浦单谐振设计，该1064 nm泵浦脉冲激光的脉冲宽度为100 fs。将信号光调谐至3.2

μm的中红外脉冲激光。泵浦光、信号光、闲频光的波长分别为1064 nm、3.2 μm和1.59 μm。为了使e偏振的3.2 μm信号光与o偏振的1.59 μm闲频光满足群速度匹配，需要将8%掺杂MgO:PPLN晶体的温度控制在145 oC。在这样的工作温度下，满足相速度匹配所需要的极化周期为40 μm。基于非线性耦合波方程组，我们

对所述光参量振荡器的运行情况进行了数值模拟。所述8%掺杂MgO:PPLN晶体的长度为2 mm。如图4所示，图中给出了所述光参量振荡器的转换效率，3.2 μm中红外信号光与1.59 μm近红外闲频光的光谱带宽随泵浦光强的变化曲线。随着泵浦光强的增加，所述光参量振荡器逐渐进入饱和区域，信号光与闲频光的光谱带宽也都因为“回流”，出现了不同程度的下降。即便如此，由于信号光与闲频光的群速度相同，它们的光谱带宽依然保持良好，可以支持小于50 fs的傅氏变换极限的超短脉冲激光。图5为所述光参量振荡器的量子转换效率为~30 %的时候，输出经色散补偿后的信号光与闲频光的时间波形图，如图所示，信号光与闲频光均未出现任何脉冲畸变，它们的脉冲宽度基本相同，约为50 fs，对应所述光参量振荡器输出的两种不同波长的超短脉冲激光。

[34] 图6为双波长光参量振荡器输出的信号光与闲频光的光谱带宽随信号光/闲频光波长的变化曲线。图中给出的信号光与闲频光的光谱带宽均为当所述光参量振荡器的量子转换效率为~30 %时的结果。在2.9 μm - 3.4 μm的信号光调谐范围内（对应闲频光波长为1.63 μm - 1.58 μm），输出信号光与闲频光的光谱带宽均保持稳定。表现出优越的针对超短脉冲激光的波长调谐能力。

[35] 本发明提供的可调谐双波长超快光参量振荡器，包括：依次放置的脉冲激光泵浦源、输入耦合镜、带扇形结构的周期性极化晶体、色散补偿装置、输出耦合镜、分光镜，以及晶体控温装置，相较于现有技术，本发明利用脉冲激光的群速度与晶体温度之间的色散关系，通过调控周期性极化晶体的工作温度，消除周期性极化晶体内信号光与闲频光间的群速度失配。信号光与闲频光的同步放大，不但可以提升光参量振荡器的匹配带宽，更是避免了由于时间走离造成的脉冲畸变，使光参量振荡器能够同时输出两路高质量的的超短脉冲激光。

[36] 需要说明的是，对于前述的各方法实施例，为了简便描述，故将其都表述为一系列的动作组合，但是本领域技术人员应该知悉，本发明并不受所描述的动作顺序的限制，因为依据本发明，某些步骤可以采用其它顺序或者同时进行。其次，本领域技术人员也应该知悉，说明书中所描述的实施例均属于优选实施例，所涉及的动作和模块并不一定都是本发明所必须的。

[37] 在上述实施例中，对各个实施例的描述都各有侧重，某个实施例中没有详述的

部分，可以参见其它实施例的相关描述。

[38] 以上为对本发明所提供的可调谐双波长超快光参量振荡器的描述，对于本领域的技术人员，依据本发明实施例的思想，在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处，综上，本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

权利要求书

[权利要求 1] 一种可调谐双波长超快光参量振荡器，包括：依次放置的脉冲激光泵浦源、输入耦合镜、带扇形结构的周期性极化晶体、输出耦合镜及分光镜；

所述脉冲激光泵浦源输出的泵浦光经过所述输入耦合镜进入所述带扇形结构的周期性极化晶体，在所述带扇形结构的周期性极化晶体中产生来回振荡的信号光，以及闲频光，并从所述输出耦合镜输出混合光，所述混合光经所述分光镜分离后，分别得到信号光脉冲激光和闲频光脉冲激光；

所述带扇形结构的周期性极化晶体为满足II类准位相匹配的周期性极化晶体，所述信号光与所述闲频光在预置温度下在所述带扇形结构的周期性极化晶体中的群速度匹配，所述混合光中包含所述信号光、所述闲频光以及残留的所述泵浦光。

[权利要求 2] 根据权利要求1所述的可调谐双波长超快光参量振荡器，其特征在于，所述可调谐双波长超快光参量振荡器，还包括：

晶体控温装置，用于调控所述带扇形结构的周期性极化晶体的温度。

[权利要求 3] 根据权利要求2所述的可调谐双波长超快光参量振荡器，其特征在于，所述带扇形结构的周期性极化晶体的极化周期能够连续调谐。

[权利要求 4] 根据权利要求3所述可调谐双波长超快光参量振荡器，其特征在于，根据所述脉冲激光泵浦源输出的泵浦光的波长及预置的调谐规则，对所述带扇形结构的周期性极化晶体的温度以及极化周期联动调谐，以使调谐范围内的任意波长的所述信号光与所述闲频光在所述带扇形结构的周期性极化晶体中的群速度始终匹配。

[权利要求 5] 根据权利要求1至4任一项所述可调谐双波长超快光参量振荡器，其特征在于，所述可调谐双波长超快光参量振荡器还包括：

色散补偿装置，所述色散补偿装置设置在所述周期性极化晶体与

所述输出耦合镜之间的光路上，用于补偿所述信号光在所述周期性极化晶体内累积的群速度色散。

[权利要求 6] 根据权利要求1至4任一项所述可调谐双波长超快光参量振荡器，其特征在于，所述信号光在所述输入耦合镜和所述输出耦合镜之间来回振荡，所述输入耦合镜对所述信号光高反射，对所述泵浦光高透射，所述输出耦合镜对所述信号光部分透射，对所述泵浦光和所述闲频光高透射。

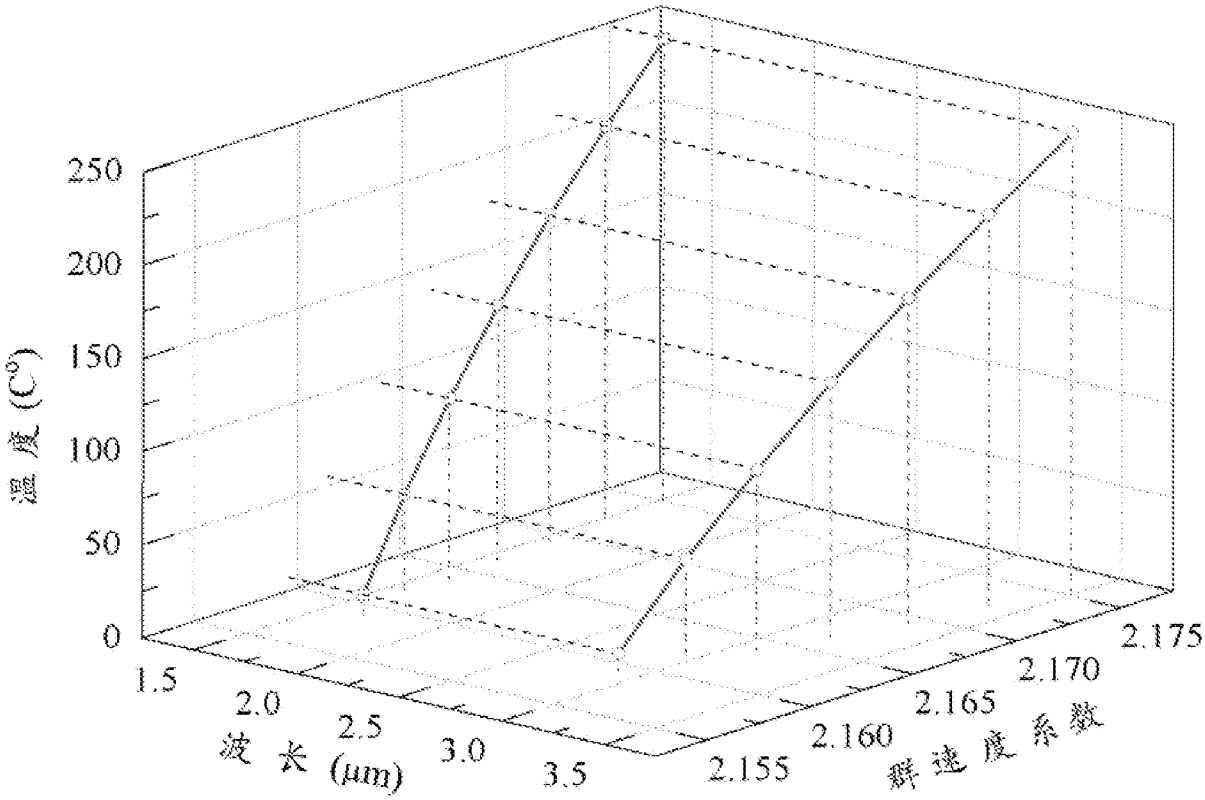

250
200
150
100
50
0
温度 (C°)
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
波长 (μm)
2.155
2.160
2.165
2.170
2.175
群速度系数

图 1

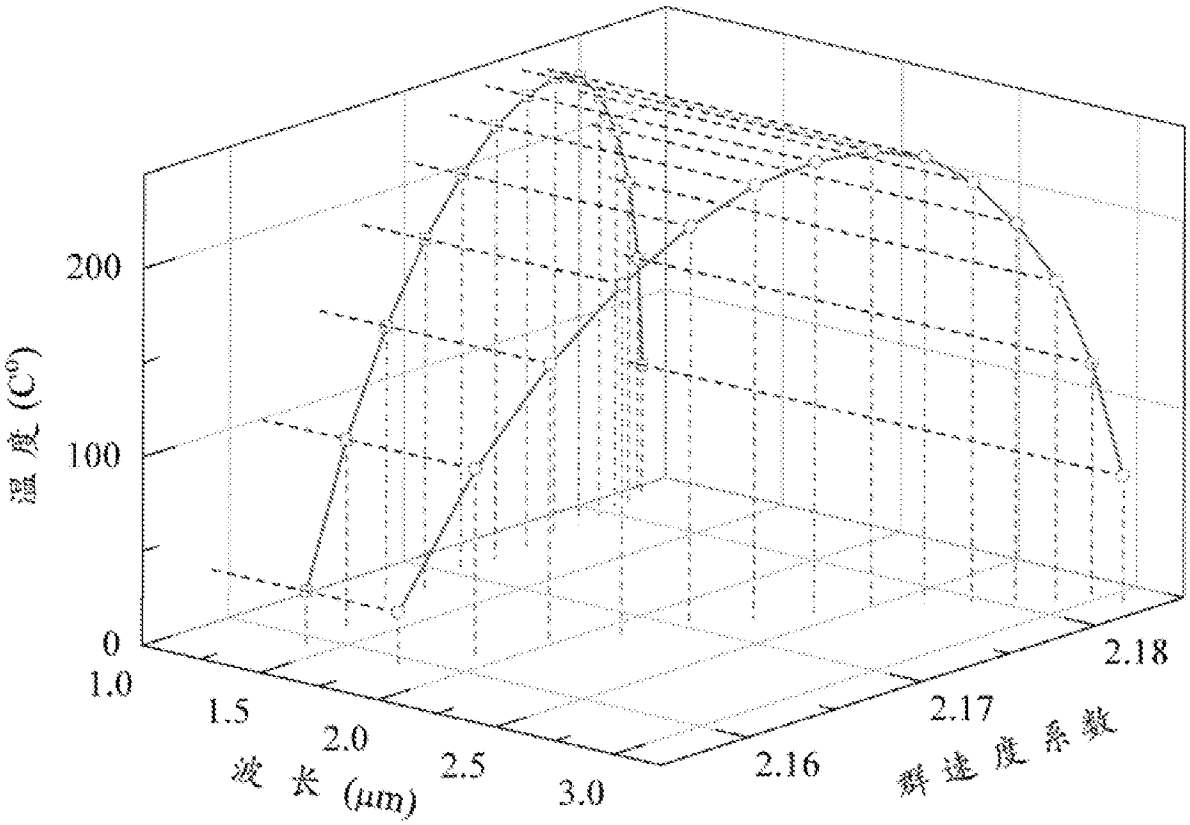

温度 (C°)
200
100
0
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
波长 (μm)
2.16
2.17
2.18
群速度系数

图 2

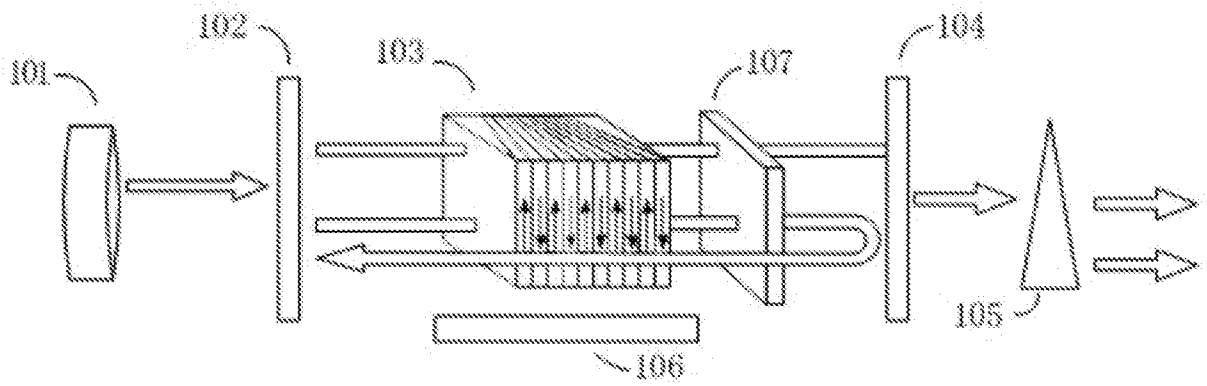

101
102
103
104
105
106
107

图 3

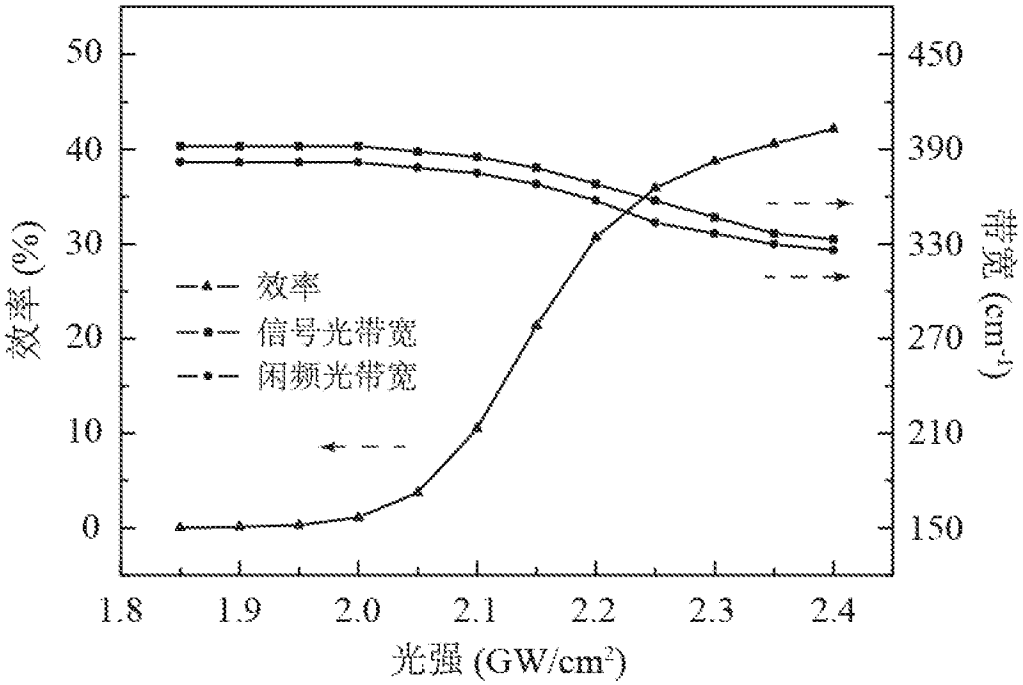

效率 (%)
带宽 (cm-1)
光强 (GW/cm2)
效率
信号光带宽
闲频光带宽
50
40
30
20
10
0
450
390
330
270
210
150
1.8
1.9
2.0
2.1
2.2
2.3
2.4

图 4

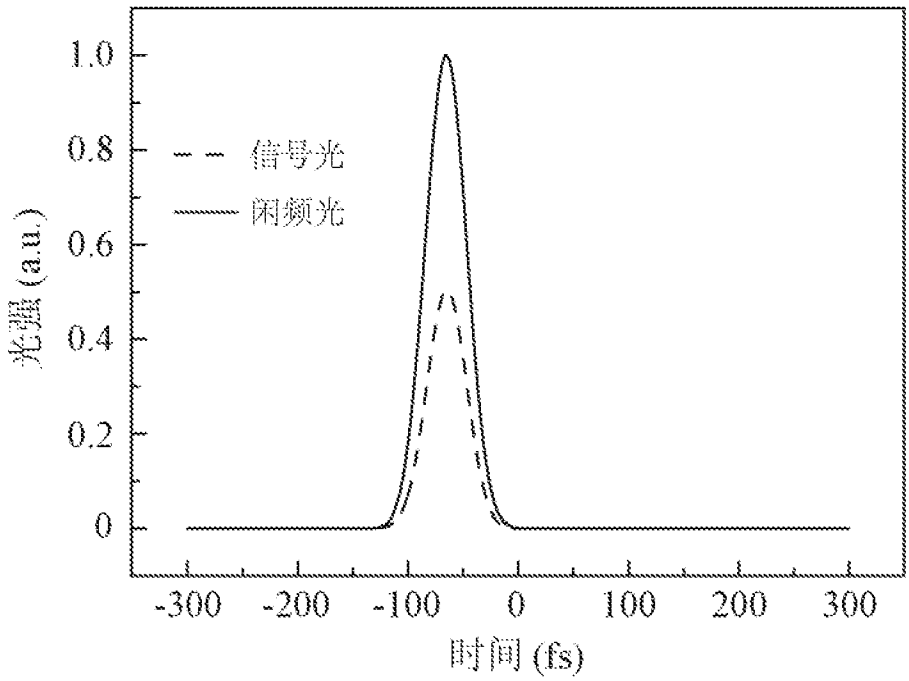

光强 (a.u.)
时间 (fs)
信号光
闲频光
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-300
-200
-100
0
100
200
300

图 5

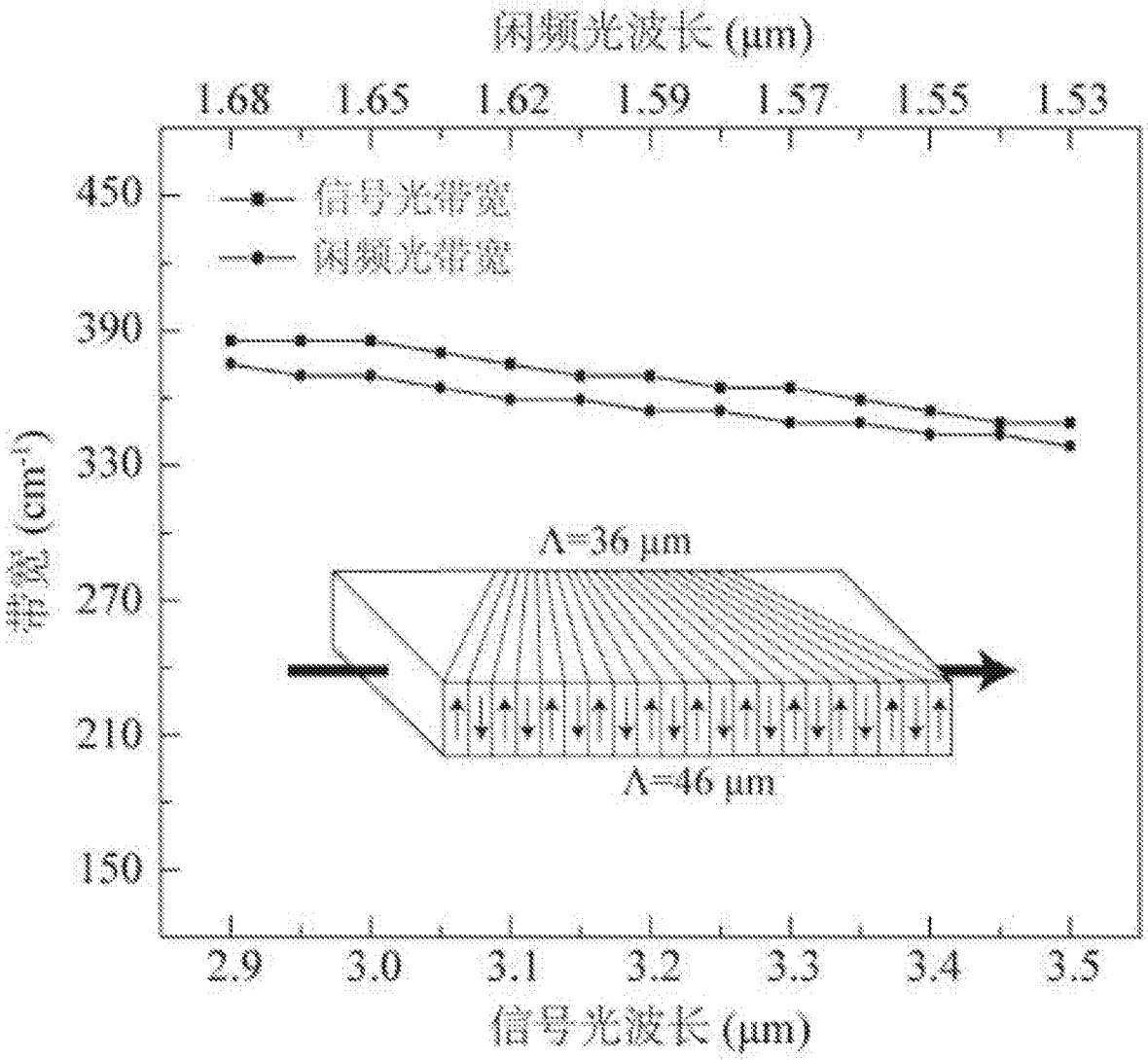

闲频光波长 (μm)
1.68
1.65
1.62
1.59
1.57
1.55
1.53
450
390
330
270
210
150
带宽 (cm-1)
信号光带宽
闲频光带宽
Λ=36 μm
Λ=46 μm
2.9
3.0
3.1
3.2
3.3
3.4
3.5
信号光波长 (μm)

图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2016/111069

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S 3/108 (2006.01) i; H01S 3/094 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01S 3

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

VEN, CNABS, CNTXT; 光参量振荡器, 二类, II 类, 闲频光, 信号光, 位相匹配, 极化晶体, 群速, 失配, 波形, 畸变, 飞秒, 扇; OPO, GVM, group, velocity, match+, II, polariz+, aberra+, femto+, second, fan-out.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 104300354 A (SHENZHEN UNIVERSITY) 21 January 2015 (21.01.2015), description, paragraphs [0018]-[0025], and figure 1	1-6
A	CN 106159642 A (NORTH CHINA UNIVERSITY OF WATER RESOURCES AND ELECTRIC POWER) 23 November 2016 (23.11.2016), entire document	1-6
A	CN 102064462 A (INSTITUTE OF SEMICONDUCTORS, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 18 May 2011 (18.05.2011), entire document	1-6
A	US 7620077 B2 (LOCKHEED MARTIN CORP.) 17 November 2009 (17.11.2009), entire document	1-6
A	D. B. Kolker et al. Continuously Wavelength Tuned Optical Parametric Oscillator Based on Fan-out Periodically Poled Lithium Niobate. Instruments and Experimental Techniques. 31 December 2014 (31.12.2014), 57(1), ISSN: 0020-4412, pp. 50-53	1-6

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
09 September 2017	30 September 2017
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer SUN, Shuxu Telephone No. (86-10) 62085765

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2016/111069

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	陈列尊等. 可调谐超短中红外激光脉冲的参变产生与放大及其进展. 激光与光电子学进展. 07 July 2011 (07.07.2011), 48(08), ISSN: 1006-4125, pp. 1-11. (CHEN, Liezun et al. Recent Advances and Methods of Optical Parametric Generation and Amplification for Tunable Ultra-Short Mid-Infrared Pulse. Laser & Optoelectronics Progress.)	1-6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2016/111069

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 104300354 A	21 January 2015	US 2017018904 A1	19 January 2017
		CN 104300354 B	18 July 2017
		US 9748728 B2	29 August 2017
		WO 2016065905 A1	06 May 2016
CN 106159642 A	23 November 2016	None	
CN 102064462 A	18 May 2011	CN 102064462 B	08 August 2012
US 7620077 B2	17 November 2009	US 2007035810 A1	15 February 2007
		US 8165178 B2	24 April 2012
		US 2010085632 A1	08 April 2010

国际检索报告

国际申请号 PCT/CN2016/111069

A. 主题的分类

H01S 3/108(2006.01)i; H01S 3/094(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

H01S3

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用）)

VEN, CNABS, CNTXT; 光参量振荡器，二类，II类，闲频光，信号光，位相匹配，极化晶体，群速，失配，波形，畸变，飞秒，扇; OPO, GVM, group, velocity, match+, II, polariz+, aberra+, femto+, second, fan-out.

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 104300354 A (深圳大学) 2015年 1月 21日 (2015-01-21) 说明书第[0018]-[0025]段，图1	1-6
A	CN 106159642 A (华北水利水电大学) 2016年 11月 23日 (2016-11-23) 全文	1-6
A	CN 102064462 A (中国科学院半导体研究所) 2011年 5月 18日 (2011-05-18) 全文	1-6
A	US 7620077 B2 (LOCKHEED MARTIN CORP) 2009年 11月 17日 (2009-11-17) 全文	1-6
A	D.B.Kolker等. "Continuously Wavelength Tuned Optical Parametric Oscillator Based on Fan-out Periodically Poled Lithium Niobate" Instruments and Experimental Techniques, 第57卷，第1期，2014年 12月 31日 (2014-12-31), ISSN: 0020-4412, 第50-53页	1-6

☑ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

"A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

"E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

"L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

"O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

"P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

"T" 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

"X" 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

"Y" 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

"&" 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2017年 9月 9日	2017年 9月 30日

ISA/CN的名称和邮寄地址	受权官员
中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088	孙曙旭
传真号 (86-10)62019451	电话号码 (86-10)6208 5765

表 PCT/ISA/210 (第2页) (2009年7月)

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2016/111069

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	陈列尊等. "可调谐超短中红外激光脉冲的参变产生与放大及其进展" 激光与光电子学进展, 第48卷，第08期，2011年 7月 7日 (2011 - 07 - 07)， ISSN：1006-4125, 第1-11页	1-6

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2016/111069

检索报告引用的专利文件			公布日（年/月/日）	同族专利			公布日（年/月/日）
CN	104300354	A	2015年 1月 21日	US	2017018904	A1	2017年 1月 19日
				CN	104300354	B	2017年 7月 18日
				US	9748728	B2	2017年 8月 29日
				WO	2016065905	A1	2016年 5月 6日
CN	106159642	A	2016年 11月 23日		无		
CN	102064462	A	2011年 5月 18日	CN	102064462	B	2012年 8月 8日
US	7620077	B2	2009年 11月 17日	US	2007035810	A1	2007年 2月 15日
				US	8165178	B2	2012年 4月 24日
				US	2010085632	A1	2010年 4月 8日