

# (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  
2020 年 6 月 18 日 (18.06.2020)



(10) 国际公布号  
**WO 2020/118864 A1**

- (51) 国际专利分类号:  
**H01S 3/091** (2006.01) **H01S 3/22** (2006.01)  
**H01S 3/097** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2019/072301
- (22) 国际申请日: 2019 年 1 月 18 日 (18.01.2019)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:  
201811522907.9 2018 年 12 月 12 日 (12.12.2018) CN
- (71) 申请人: 华中科技大学(HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) [CN/CN]; 中国湖北省武汉市洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。
- (72) 发明人: 唐霞辉(TANG, Xiahui); 中国湖北省武汉市洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 宋宇燕(SONG, Yuyan); 中国湖北省武汉市洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 夏燃(XIA, Ran); 中国湖北省武汉市洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 肖瑜(XIAO, Yu); 中国湖

北省武汉市洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 秦应雄(QIN, Yingxiong); 中国湖北省武汉市洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 胡聪(HU, Cong); 中国湖北省武汉市洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 李想(LI, Xiang); 中国湖北省武汉市洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 陈汉元(CHEN, Hanyuan); 中国湖北省武汉市洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。 龙思琛(LONG, Sichen); 中国湖北省武汉市洪山珞喻路 1037 号, Hubei 430074 (CN)。

(74) 代理人: 华中科技大学专利中心 (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PATENT AGENCY CENTER); 中国湖北省武汉市洪山区珞喻路 1037 号华中科技大学东一楼 340 室, Hubei 430074 (CN)。

(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, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK,

(54) Title: PICOSECOND TERAWATT CO<sub>2</sub> LASER AMPLIFIER PUMPING DEVICE

(54) 发明名称: 一种皮秒太瓦 CO<sub>2</sub> 激光放大器泵浦装置

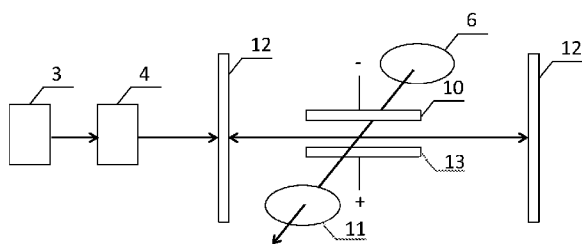


图 1

(57) Abstract: Disclosed is a picosecond terawatt CO<sub>2</sub> laser amplifier pumping device, comprising a laser pumping module, an electric pumping module and a laser resonant cavity, wherein the axis of the laser pumping module, the electric field direction of the electric pumping module and the axis of the laser resonant cavity are mutually orthogonal; the laser pumping module is used for pumping a CO<sub>2</sub> molecule 00<sup>0</sup><sub>3</sub> sequence band; the electric pumping module is used for pumping a CO<sub>2</sub> molecule 00<sup>0</sup><sub>1</sub> conventional band; and the laser resonant cavity is used for realizing a laser output. By means of the picosecond terawatt CO<sub>2</sub> laser amplifier pumping device, optical pumping is carried out while discharge excitation is carried out, and a gain spectrum is encrypted by means of a characteristic that a sequence band gain spectral line and a conventional band gain spectral line intersect and overlap with each other, such that a mixed gain spectral line is broadened, thereby realizing continuous spectrum picosecond CO<sub>2</sub> pulse amplification. In addition, a frequency spectrum splitting phenomenon after a pulse passes is alleviated, avoiding the energy of a single ps pulse being too low because the laser energy is allocated to a series of separate ps pulses split from an input single pulse after modulation, and improving the ultra-short pulse amplification efficiency.

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))。

(57) 摘要: 一种皮秒太瓦CO<sub>2</sub>激光放大器泵浦装置, 包括激光泵浦模块、电泵浦模块和激光谐振腔; 激光泵浦模块的轴线、电泵浦模块的电场方向和激光谐振腔的轴线三者彼此正交; 激光泵浦模块用于泵浦CO<sub>2</sub>分子00<sup>0</sup>3序列带; 电泵浦模块用于泵浦CO<sub>2</sub>分子00<sup>0</sup>1常规带; 激光谐振腔用于实现激光输出。皮秒太瓦CO<sub>2</sub>激光放大器泵浦装置, 通过在放电激励的同时进行光泵浦, 利用序列带增益谱线与常规带增益谱线交叉重叠的特性加密增益谱, 使得混合增益谱线展宽, 实现连续谱皮秒CO<sub>2</sub>脉冲放大。并且减缓脉冲经过后的频谱分裂现象, 避免激光能量能分配到输入的单脉冲被调制后分裂为一系列分立的ps脉冲上去导致单个ps脉冲的能量过低, 提高超短脉冲的放大效率。

## 一种皮秒太瓦 CO<sub>2</sub> 激光放大器泵浦装置

### [技术领域]

本发明涉及光学技术领域，尤其涉及一种皮秒太瓦 CO<sub>2</sub> 激光放大器泵浦装置。

### [背景技术]

近年来，由于激光等离子加速（LPA）应用对中红外超短超强激光驱动器的需求牵引，CO<sub>2</sub> 超短脉冲放大器的研究有了很大突破。在激光脉冲与等离子体相互作用过程中，由于强激光脉冲传递给带电粒子的能量正比于  $I\lambda^2$ （ $I$  为光强， $\lambda$  为波长），长波长红外激光与短波长的固体激光相比有着非常大的优势。要获得波长在 10 $\mu\text{m}$  附近中红外波段的高增益、高能量的激光输出，CO<sub>2</sub> 激光是目前唯一的选择。由于激光等离子体加速等需求，超短超强 CO<sub>2</sub> 激光系统极有可能成为下一代 LPA 产生高能质子（离子）、电子束的主力光源，皮秒太瓦 CO<sub>2</sub> 激光放大器加快发展。

超短激光脉冲的多级放大需要一个连续平滑增益谱，其带宽需要比傅里叶变换受限的输入脉冲的频谱更宽。然而，CO<sub>2</sub> 分子增益谱线是不连续的，CO<sub>2</sub> 分子的增益谱是由一系列分立的窄带的谱线组成，每根谱线对应于一个分子转动能级跃迁。只有当放电气压高达 25atm 时，由于碰撞加宽的作用，CO<sub>2</sub> 分子的常规带 10P 支（10.6 $\mu\text{m}$  带）的增益谱才接近连续，增益的带宽约为 1.2THz。前级再生放大输入脉冲一般为 ps-nJ 或 ps- $\mu\text{J}$  量级，这种强度脉冲光束的电场引起谱线的场致加宽（交流 Stark 效应）不足以使得在整个增益带上实现一个连续谱线。由于 CO<sub>2</sub> 分子增益谱特性，输入再生放大器的单脉冲会分裂为一系列分立的脉冲，影响下一级放大器。受限于 CO<sub>2</sub> 分子的增益谱线窄带宽、离散化的特性，在高增益带宽介质中广泛应用的啁啾放大技术（CPA）很难在 CO<sub>2</sub> 激光器中实现。要解决离散周期谱线的调制问题，主要通过两个途径：采用同位素增加谱线密度和高气压使单个转动能级的谱线加

宽。然而，高纯同位素非常昂贵，精确控制同位素分子的浓度也相当困难。TEA（Transversely Excited Atmospheric，横向激励大气压）放电系统的实际工作电压远远小于 25atm，此时  $\text{CO}_2$  分子的增益谱表现出离散的分离特性。一个超短脉冲通过增益谱为离散或者离散的放大器后，超短脉冲中只有部分频率分量被放大，而有一部分频率分量得不到有效放大，在时域的表现输入为单个脉动受到谱线间隔决定的固有频率的调制而分裂为一系列固定时间间隔的脉冲。当放电气压提高到 25atm 时，增益谱为近似连续，可是，在如此高的气压条件下很难获得稳定的大体积辉光放电。15atm 稳定辉光放电已经接近目前放电技术条件的极限，且放电区体积很小。因此，想要通过提高放电气压来实现连续谱  $\text{CO}_2$  放大也非常困难。

## [发明内容]

针对现有技术的以上缺陷或改进需求，本申请提供了一种皮秒太瓦  $\text{CO}_2$  激光放大器泵浦装置，旨在解决  $\text{CO}_2$  分子增益谱离散化与窄线宽的问题。

为实现上述目的，本发明提供了一种皮秒太瓦  $\text{CO}_2$  激光放大器泵浦装置，包括激光泵浦模块、电泵浦模块和激光谐振腔；激光泵浦模块的轴线、电泵浦模块的电场方向和激光谐振腔的轴线三者彼此正交且相交于激光谐振腔的中心；激光泵浦模块用于泵浦  $\text{CO}_2$  分子  $00^0_3$  序列带；电泵浦模块用于泵浦  $\text{CO}_2$  分子  $00^0_1$  常规带；激光谐振腔通过激光泵浦模块和电泵浦模块同时泵浦的方法，利用谱线交叉重叠使得混合增益谱线展宽，用于实现激光输出。

激光泵浦模块包括依次同轴设置的半导体泵浦固体激光器和准直器，准直器用于将所述半导体泵浦固体激光器产生的泵浦光准直。其中，在  $\text{CO}_2$  激光器运行状态下，半导体泵浦固体激光器输出泵浦激光，通过准直器将泵浦光准直，经过泵浦光输入窗口进入激光谐振腔，在激光谐振腔来回反射，形成泵浦激光振荡方向，使  $\text{CO}_2$  分子跃迁到  $00^0_3$  能级，提高泵浦效率。同时，通过阴极和阳极在激光  $\text{CO}_2$  激光放电区放电，使  $\text{CO}_2$  分子跃迁到  $00^0_1$  能级。本发明能够利用序列带增益谱线与常规带增益交叉重叠特性，加密增益谱，

提升 CO<sub>2</sub> 分子序列带增益。

优选地，半导体泵浦固体激光器的固体增益介质为 Cr<sup>4+</sup>: YAG。

优选地，半导体泵浦固体激光器的泵浦源为半导体激光、高效 Yb 光纤激光或者 Nd: YAG 激光。

电泵浦模块包括阴极和阳极，在阴极和阳极之间加高压放电。

激光谐振腔包括泵浦柱面聚光腔、3 个泵浦激光反射镜、CO<sub>2</sub> 激光后反射镜和 CO<sub>2</sub> 激光输出镜；泵浦柱面聚光腔和设置于泵浦柱面聚光腔的三个角的 3 个泵浦激光反射镜用于搭建泵浦激光来回反射光路，CO<sub>2</sub> 激光后反射镜用于反射 CO<sub>2</sub> 激光，CO<sub>2</sub> 激光输出镜用于输出 CO<sub>2</sub> 激光。

本发明的有益效果在于：

(1) 本发明提出了一种基于电光混合泵浦序列带增益的皮秒太瓦 CO<sub>2</sub> 激光放大器，通过在放电激励的同时进行光泵浦，利用序列带增益谱线与常规带增益谱线交叉重叠的特性加密增益谱，使得混合增益谱线展宽，实现连续谱皮秒 CO<sub>2</sub> 脉冲放大；

(2) 本发明提出的皮秒太瓦 CO<sub>2</sub> 激光放大器，利用序列带增益谱线与常规带增益谱线交叉重叠的特性，减缓脉冲经过后的频谱分裂现象，避免激光能量能分配到输入的单脉冲被调制后分裂为一系列分立的 ps 脉冲上去导致单个 ps 脉冲的能量过低，提高超短脉冲的放大效率。

## [附图说明]

为了更清楚地说明本申请实施例中的技术方案，下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图 1 为本发明提供的 CO<sub>2</sub> 激光放大器泵浦装置的结构示意图；

图 2 (a) 为本发明提供的 CO<sub>2</sub> 激光放大器泵浦装置的 CO<sub>2</sub> 分子 00<sup>0</sup>3 序列带与 00<sup>0</sup>1 常规带谱线示意图；

图 2 (b) 为本发明提供的 CO<sub>2</sub> 激光放大器泵浦装置的 CO<sub>2</sub> 分子 00<sup>0</sup>3 序列带与 00<sup>0</sup>1 常规带增益谱在 10.6μm 区域的交叉重叠示意图；

图 3 为本发明实施例提供的 CO<sub>2</sub> 激光放大器的结构示意图；

图 4 为本发明实施例提供的 CO<sub>2</sub> 激光放大器的激光谐振腔的结构示意图；

图 5 (a) ~ (c) 为本发明实施例提供的 CO<sub>2</sub> 激光放大器泵浦装置的效果图。

其中，1 为固体激光工作物质晶体，2 为半导体泵浦，3 为 1.47μm 半导体泵浦固体激光器，4 为准直器，5 为泵浦光输入窗口，6 为 CO<sub>2</sub> 激光后反射镜，7 为气体放电观察窗，8 为导流板，9 为主热交换器，10 为阴极，11 为 CO<sub>2</sub> 激光输出镜，12 为泵浦柱面聚光腔，13 为阳极，14 为光桥，15 为副热交换器，16 为风机，17 为供电输入端，18 为高压变压器，19 为高压整流器，20 为充气部分，21 为真空系统，22 为 1.47μm 泵浦激光，23 为激光 CO<sub>2</sub> 气流方向，24 为 CO<sub>2</sub> 气流导向板，25 为泵浦激光反射镜，26 为激光输出方向，27 为泵浦激光振荡方向，28 为激光 CO<sub>2</sub> 气体放电区。

### [具体实施方式]

为使本申请实施例的目的、技术方案和优点更加清楚，下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本申请一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，本领域普通技术人员所获得的所有其他实施例，都属于本申请保护的范围。

本发明提供了一种皮秒太瓦 CO<sub>2</sub> 激光放大器泵浦装置，包括激光泵浦模块、激光谐振腔和电泵浦模块；激光泵浦模块的轴线、电泵浦模块的电场方向和激光谐振腔的轴线三者彼此正交且相交于激光谐振腔的中心；激光泵浦模块用于泵浦 CO<sub>2</sub> 分子 00<sup>0</sup>3 序列带；电泵浦模块用于泵浦 CO<sub>2</sub> 分子 00<sup>0</sup>1 常规带；激光谐振腔通过激光泵浦模块和电泵浦模块同时泵浦的方法，利用谱线交叉重叠使得混合增益谱线展宽，用于实现激光输出。

如图 1 所示, 激光泵浦模块包括依次同轴设置的半导体泵浦固体激光器 3 和准直器 4, 准直器 4 用于将所述半导体泵浦固体激光器 3 产生的泵浦光准直。如图 2 所示,  $\text{CO}_2$  分子吸收谱中从基态  $00^0_0$  到序列带  $00^0_3$  的跃迁有一条较强的吸收线, 该谱线对应的光波长约为  $1.47\mu\text{m}$ , 因此采用  $1.47\mu\text{m}$  半导体泵浦固体激光器 3 进行泵浦。固体高效增益介质采用的  $\text{Cr}^{4+}$ : YAG 是非常理想的近红外波长工作的高效增益介质, 泵浦源采用的 Nd: YAG 具有体积小、效率高的优势。

电泵浦模块包括阴极 10 和阳极 13, 在阴极 10 和阳极 13 之间加高压, 阴极 10 和阳极 13 在激光  $\text{CO}_2$  气体放电区 28 放电。

激光谐振腔包括泵浦柱面聚光腔 12、3 个泵浦激光反射镜 25、 $\text{CO}_2$  激光后反射镜 6 和  $\text{CO}_2$  激光输出镜 11; 泵浦柱面聚光腔 12 和设置于泵浦柱面聚光腔 12 的三个角的 3 个泵浦激光反射镜 25 用于搭建泵浦激光来回反射光路, 将泵浦光限制在激光谐振腔内,  $\text{CO}_2$  激光后反射镜 6 用于反射  $\text{CO}_2$  激光, 形成泵浦激光振荡方向 27,  $\text{CO}_2$  激光输出镜 11 用于输出  $\text{CO}_2$  激光。

其中, 在  $\text{CO}_2$  激光器运行状态下, 半导体泵浦固体激光器 3 输出泵浦激光, 通过准直器 4 将泵浦光准直, 经过泵浦光输入窗口进入激光谐振腔, 泵浦激光反射镜 25 和泵浦激光柱面腔 12 将泵浦光限制在激光谐振腔内来回反射, 形成泵浦激光振荡方向, 使  $\text{CO}_2$  分子跃迁到  $00^0_3$  能级, 得到序列带增益谱。同时, 混合气体通过充气部分 20 输入激光谐振腔, 电控部分控制风机 16 使气体循环, 高压变压器 18 和高压整流器 19 为阴极 10 和阳极 13 提供高压, 通过阴极 10 和阳极 13 在激光  $\text{CO}_2$  激光放电区 28 放电, 使  $\text{CO}_2$  分子跃迁到  $00^0_1$  能级, 得到常规带增益谱。本实施例构建了一个高效率的脉冲电光泵浦的连续谱  $\text{CO}_2$  激光放大器, 以期在 3ps、1nJ 的种子光输入条件下, 得到 3ps 脉宽及 10mJ 级单脉冲  $\text{CO}_2$  激光输出, 为下一级功率放大器放大提供理想的种子源。

如图 5 所示, 当使用电光混合泵浦时, 我们看到混合增益谱线的展宽更

加明显，脉冲经过后的频谱分裂现象有所减缓，时域脉冲分裂减少，主峰的能量更大，与旁瓣的对比度越来越明显。

本领域的技术人员容易理解，以上所述仅为本发明的较佳实施例而已，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等，均应包含在本发明的保护范围之内。

## 权 利 要 求

1、一种皮秒太瓦 CO<sub>2</sub> 激光放大器泵浦装置，其特征在于，包括激光泵浦模块、电泵浦模块和激光谐振腔；

所述激光泵浦模块的轴线、所述电泵浦模块的电场方向和所述激光谐振腔的轴线三者彼此正交且相交于所述激光谐振腔的中心；

所述激光泵浦模块用于泵浦 CO<sub>2</sub> 分子 00<sup>0</sup>3 序列带；所述电泵浦模块用于泵浦 CO<sub>2</sub> 分子 00<sup>0</sup>1 常规带；所述激光谐振腔通过所述激光泵浦模块和所述电泵浦模块同时泵浦的方法，利用谱线交叉重叠使得混合增益谱线展宽，用于实现激光输出。

2、根据权利要求 1 所述的 CO<sub>2</sub> 激光放大器泵浦装置，其特征在于，所述激光泵浦模块包括依次同轴设置的半导体泵浦固体激光器（3）和准直器（4）；

所述准直器（4）用于将所述半导体泵浦固体激光器（3）产生的泵浦光准直。

3、根据权利要求 1 或 2 所述的 CO<sub>2</sub> 激光放大器泵浦装置，其特征在于，所述半导体泵浦固体激光器（3）的固体激光工作物质晶体为 Cr<sup>4+</sup>: YAG。

4、根据权利要求 1 或 2 所述的 CO<sub>2</sub> 激光放大器泵浦装置，其特征在于，所述半导体泵浦固体激光器（3）的泵浦源为半导体激光、高效 Yb 光纤激光或者 Nd: YAG 激光。

5、根据权利要求 1 所述的 CO<sub>2</sub> 激光放大器泵浦装置，其特征在于，所述

电泵浦模块包括阴极（10）和阳极（13），在所述的阴极（10）和阳极（13）之间加高压放电。

6、根据权利要求 1 所述的 CO<sub>2</sub> 激光放大器泵浦装置，其特征在于，所述激光谐振腔包括泵浦柱面聚光腔（12）、3 个泵浦激光反射镜（25）、CO<sub>2</sub> 激光后反射镜（6）和 CO<sub>2</sub> 激光输出镜（11）；

所述泵浦柱面聚光腔（12）和设置于所述泵浦柱面聚光腔（12）的三个角的所述 3 个泵浦激光反射镜（25）用于搭建泵浦激光来回反射光路，所述 CO<sub>2</sub> 激光后反射镜（6）用于反射 CO<sub>2</sub> 激光，所述 CO<sub>2</sub> 激光输出镜（11）用于输出 CO<sub>2</sub> 激光。

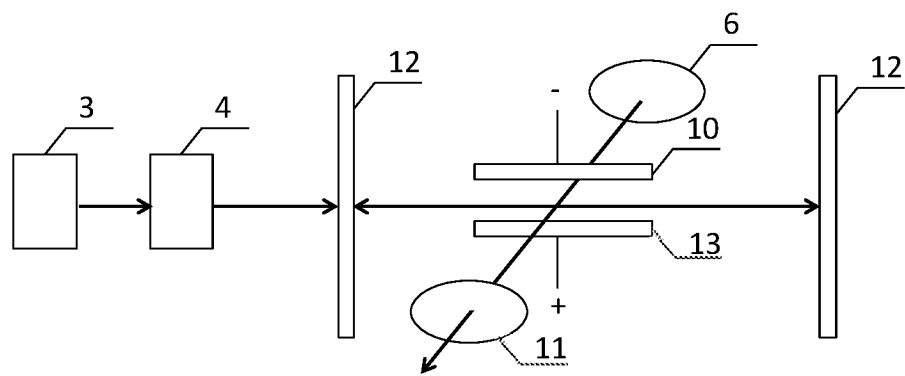


图 1

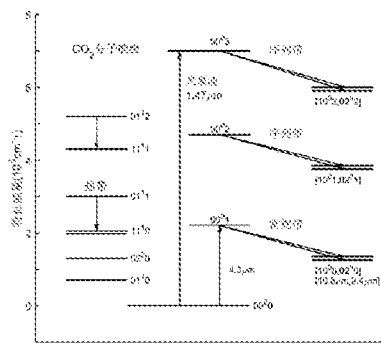


图 2 (a)

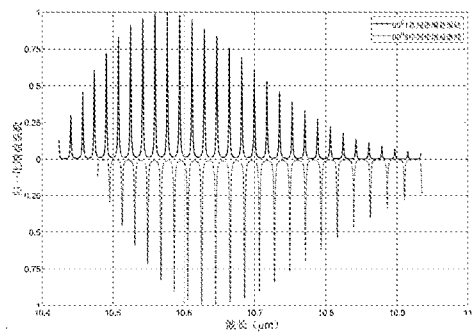


图 2 (b)

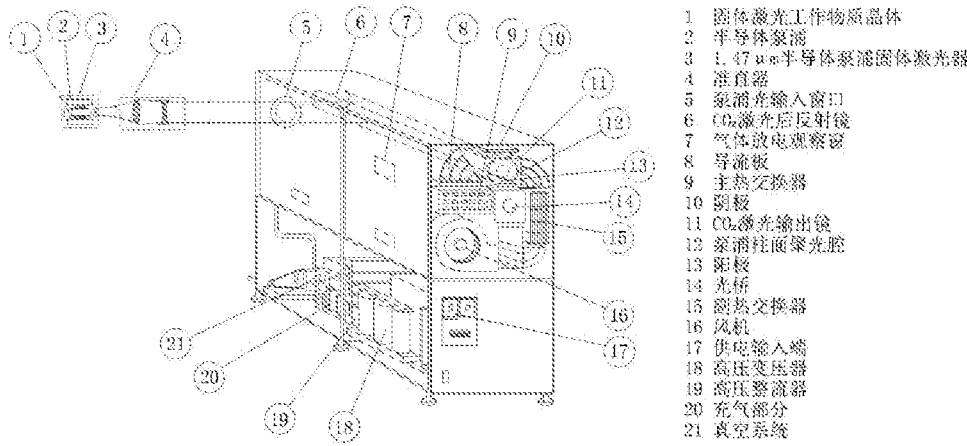


图 3

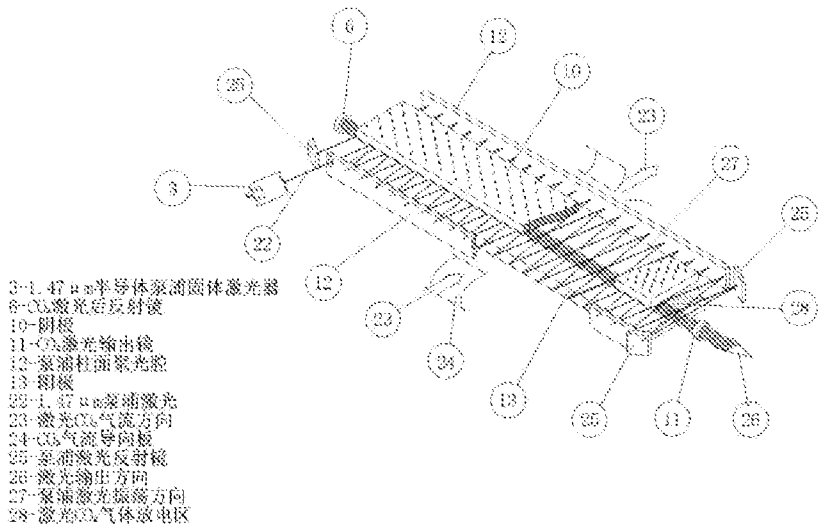


图 4

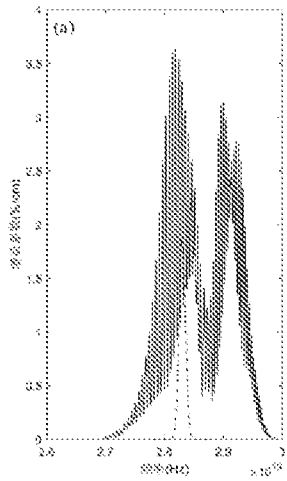


图 5 (a)

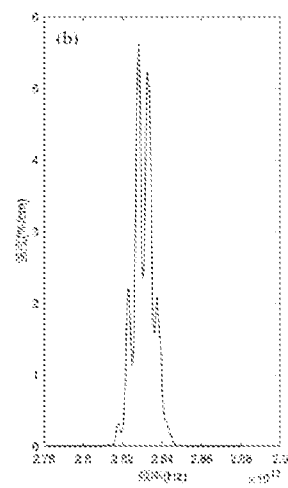


图 5 (b)

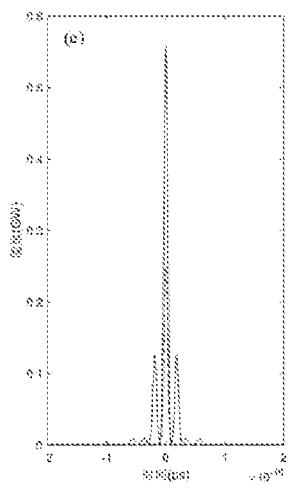


图 5 (c)

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/072301

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

H01S 3/091(2006.01)i; H01S 3/097(2006.01)i; H01S 3/22(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)

H01S3

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: CO<sub>2</sub>, 交叠, 离散, 增益谱, 能带, 展宽, 二氧化碳, 分子, 加宽, 交叉, 混合泵浦, 谱, 增益, 序列带, 重叠, 气体, 能级, laser, gas, spectrum, gain, electric+, optical+, pump+, mix+, excit+, overlap+**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                              | Relevant to claim No. |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | CN 106129792 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 16 November 2016 (2016-11-16)<br>entire document | 1-6                   |
| A         | CN 104466639 A (NATIONAL UNIVERSITY OF DEFENSE TECHNOLOGY, PLA) 25 March 2015 (2015-03-25)<br>entire document   | 1-6                   |
| A         | US 2018019567 A1 (CAMPBELL ROBERT NEIL) 18 January 2018 (2018-01-18)<br>entire document                         | 1-6                   |
| A         | AU 8022382 A (KRAFTWERK UNION A.G.) 28 April 1983 (1983-04-28)<br>entire document                               | 1-6                   |
| A         | US 4249139 A (JERSEY NUCLEAR-AVCO ISOTOPES, INC.) 03 February 1981 (1981-02-03)<br>entire document              | 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

12 July 2019

Date of mailing of the international search report

19 July 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

**China National Intellectual Property Administration (ISA/CN)**  
**No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing**  
**100088**  
**China**

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/CN2019/072301**

| Patent document<br>cited in search report |            |    | Publication date<br>(day/month/year) | Patent family member(s) |            |    | Publication date<br>(day/month/year) |
|-------------------------------------------|------------|----|--------------------------------------|-------------------------|------------|----|--------------------------------------|
| CN                                        | 106129792  | A  | 16 November 2016                     | WO                      | 2018010288 | A1 | 18 January 2018                      |
|                                           |            |    |                                      | CN                      | 106129792  | B  | 22 May 2018                          |
| CN                                        | 104466639  | A  | 25 March 2015                        | None                    |            |    |                                      |
| US                                        | 2018019567 | A1 | 18 January 2018                      | US                      | 2013003774 | A1 | 03 January 2013                      |
| AU                                        | 8022382    | A  | 28 April 1983                        | CA                      | 1159938    | A  | 03 January 1984                      |
|                                           |            |    |                                      | JP                      | S57176787  | A  | 30 October 1982                      |
|                                           |            |    |                                      | DE                      | 3104229    | A1 | 19 August 1982                       |
|                                           |            |    |                                      | EP                      | 0057762    | A2 | 18 August 1982                       |
|                                           |            |    |                                      | EP                      | 0057762    | A3 | 08 December 1982                     |
| US                                        | 4249139    | A  | 03 February 1981                     | None                    |            |    |                                      |

## 国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/072301

## A. 主题的分类

H01S 3/091(2006.01)i; H01S 3/097(2006.01)i; H01S 3/22(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: C02, 交叠, 离散, 增益谱, 能带, 展宽, 二氧化碳, 分子, 加宽, 交叉, 混合泵浦, 谱, 增益, 序列带, 重叠, 气体, 能级, laser, gas, spectrum, gain, electric+, optical+, pump+, mix+, excit+, over-lap+

## 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 106129792 A (华中科技大学) 2016年 11月 16日 (2016 - 11 - 16)<br>全文                   | 1-6     |
| A    | CN 104466639 A (中国人民解放军国防科学技术大学) 2015年 3月 25日 (2015 - 03 - 25)<br>全文           | 1-6     |
| A    | US 2018019567 A1 (CAMPBELL ROBERT NEIL) 2018年 1月 18日 (2018 - 01 - 18)<br>全文    | 1-6     |
| A    | AU 8022382 A (KRAFTWERK UNION AG) 1983年 4月 28日 (1983 - 04 - 28)<br>全文          | 1-6     |
| A    | US 4249139 A (JERSEY NUCLEAR AVCO ISOTOPES) 1981年 2月 3日 (1981 - 02 - 03)<br>全文 | 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

“&amp;” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2019年 7月 12日

国际检索报告邮寄日期

2019年 7月 19日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局(ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

授权官员

程灿

电话号码 62085714

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/072301

| 检索报告引用的专利文件 |            |    | 公布日<br>(年/月/日) | 同族专利 |            |    | 公布日<br>(年/月/日) |
|-------------|------------|----|----------------|------|------------|----|----------------|
| CN          | 106129792  | A  | 2016年 11月 16日  | WO   | 2018010288 | A1 | 2018年 1月 18日   |
|             |            |    |                | CN   | 106129792  | B  | 2018年 5月 22日   |
| CN          | 104466639  | A  | 2015年 3月 25日   | 无    |            |    |                |
| US          | 2018019567 | A1 | 2018年 1月 18日   | US   | 2013003774 | A1 | 2013年 1月 3日    |
| AU          | 8022382    | A  | 1983年 4月 28日   | CA   | 1159938    | A  | 1984年 1月 3日    |
|             |            |    |                | JP   | S57176787  | A  | 1982年 10月 30日  |
|             |            |    |                | DE   | 3104229    | A1 | 1982年 8月 19日   |
|             |            |    |                | EP   | 0057762    | A2 | 1982年 8月 18日   |
|             |            |    |                | EP   | 0057762    | A3 | 1982年 12月 8日   |
| US          | 4249139    | A  | 1981年 2月 3日    | 无    |            |    |                |