

证书号第7783960号



专利公告信息

发明专利证书

发明名称：一种产生高维量子纠缠的氟化镁谐振腔

专利权人：广东国腾量子科技有限公司;上海交通大学

地址：526238 广东省肇庆市广东省肇庆高新区北江大道18号富民大厦1319室

发明人：何广强;姜震;息朝祥;胡敏;郭邦红

专利号：ZL 2021 1 0739825.5

授权公告号：CN 113504687 B

专利申请日：2021年06月30日

授权公告日：2025年03月07日

申请日时申请人：广东国腾量子科技有限公司;上海交通大学

申请日时发明人：何广强;姜震;息朝祥;胡敏;郭邦红

国家知识产权局依照中华人民共和国专利法进行审查，决定授予专利权，并予以公告。
专利权自授权公告之日起生效。专利权有效性及专利权人变更等法律信息以专利登记簿记载为准。

局长
申长雨

申长雨





(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113504687 A

(43) 申请公布日 2021.10.15

(21) 申请号 202110739825.5

(22) 申请日 2021.06.30

(71) 申请人 广东国腾量子科技有限公司

地址 526238 广东省肇庆市广东省肇庆高
新区北江大道18号富民大厦1319室

申请人 上海交通大学

(72) 发明人 何广强 姜震 息朝祥 胡敏
郭邦红

(51) Int.Cl.

G02F 1/35 (2006.01)

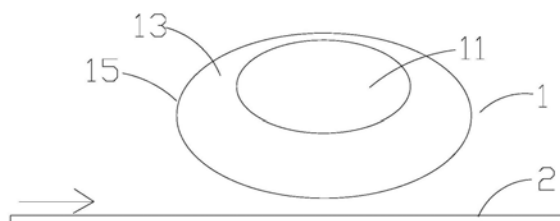
权利要求书1页 说明书3页 附图2页

(54) 发明名称

一种产生高维量子纠缠的氟化镁谐振腔

(57) 摘要

本发明公开了一种产生高维量子纠缠的氟化镁谐振腔,该谐振腔使用氟化镁(MgF_2)材料经过精密切割磨抛,制备成结构可精确控制的微腔,同时提供了一种基于谐振腔的高维超亮量子纠缠源制备方案。泵浦光通过锥型光纤耦合到氟化镁谐振腔中,在谐振腔中发生非线性四波混频过程,会产生多对离散的信号光和闲置光光子对,每一对信号光和闲置光满足频率纠缠关系,可以实现高维度量子纠缠源制备方案。通过优化设计氟化镁谐振腔结构可以优化结构色散,控制重复频率(FSR),并得到超高品质因子(Q值)的谐振腔,提高四波混频过程非线性转换效率,产生超高亮度的纠缠光子对。



1. 一种产生高维量子纠缠的氟化镁谐振腔, 其特征在于, 包括谐振腔本体, 所述谐振腔本体为封闭腔体, 所述谐振腔本体采用氟化镁材质制成;

所述谐振腔本体为中间宽两端窄的上下左右对称结构, 上表面和下表面为圆形平面, 侧壁为上下对称的上圆弧面和下圆弧面, 所述上圆弧面和下圆弧面通过圆角圆滑连接;

所述上下表面的直径R为1.5-3mm, 所述上下表面的距离H为0.8-1.5mm;

所述圆角的夹角为50-70度, 圆角的圆角半径为0.02-0.05mm。

2. 如权利要求1所述的一种产生高维量子纠缠的氟化镁谐振腔, 其特征在于, 所述圆角顶点到谐振腔本体中心点的距离为2-2.5mm。

3. 如权利要求1所述的一种产生高维量子纠缠的氟化镁谐振腔, 其特征在于, 泵浦光通过位于所述谐振腔本体一侧且与上下表面平行排列的锥形光纤输入, 满足谐振波长条件的泵浦光耦合到谐振腔本体中。

4. 如权利要求1所述的一种产生高维量子纠缠的氟化镁谐振腔, 其特征在于, 所述锥形光纤距离与其同侧的谐振腔本体表面的距离为小于6 μ m。

5. 如权利要求1所述的一种产生高维量子纠缠的氟化镁谐振腔, 其特征在于, 泵浦光耦合到所述谐振腔本体内满足以下条件:

绕腔一周的光程L等于波长的整数倍, 即 $nL = m \cdot \lambda_m$, 其中 λ_m 表示可以谐振的泵浦光波长, m表示第m个谐振模式。

6. 如权利要求3所述的一种产生高维量子纠缠的氟化镁谐振腔, 其特征在于, 所述泵浦光 ω_p 在谐振腔本体内同时发生多个非线性四波混频过程, 每个非线性四波混频过程中两个泵浦光光子产生一个信号光光子 ω_s 和一个闲置光光子 ω_i , 该过程满足能量匹配条件 $2\hbar\omega_p = \hbar\omega_s + \hbar\omega_i$ 。

7. 如权利要求6所述的一种产生高维量子纠缠的氟化镁谐振腔, 其特征在于, 所述四波混频过程满足能量守恒条件 $2\omega_p = \omega_s + \omega_i$ 和动量守恒条件 $2\vec{k}_p = \vec{k}_s + \vec{k}_i$ 。

8. 如权利要求4所述的一种产生高维量子纠缠的氟化镁谐振腔, 其特征在于, 所述谐振腔本体内的重复频率FSR满足 $FSR = c/nL$, 重复频率指第m个谐振模式与第m-1个谐振模式之间的频率间隔。

一种产生高维量子纠缠的氟化镁谐振腔

技术领域

[0001] 本发明涉及量子通信领域及量子纠缠源制备领域,具体涉及一种产生高维量子纠缠的氟化镁谐振腔。

背景技术

[0002] 量子纠缠描述的是粒子或粒子组之间的一种关联特性。量子纠缠源是量子通信系统中不可或缺的部分。基于三阶非线性构成的谐振腔结构,在腔内发生四波混频过程,是一种产生高维超亮量子纠缠源的有效方案。四波混频过程是指三阶非线性材料中泵浦光(频率为 ω_p)和非线性材料相互作用生成信号光(频率为 ω_s)和闲置光(频率为 ω_l)的非线性过程。

[0003] 现有的基于三阶非线性构成的谐振腔结构品质因子不高,产生信号光和闲置光光子对的效率较低,因而影响量子纠缠源的质量。

发明内容

[0004] 为了解决上述技术问题,本发明的提供一种产生高维量子纠缠的氟化镁谐振腔。

[0005] 为实现上述目的,本发明采取的技术方案如下:一种产生高维量子纠缠的氟化镁谐振腔,包括谐振腔本体,所述谐振腔本体为封闭腔体,所述谐振腔本体采用氟化镁材质制成;

[0006] 所述谐振腔本体为中间宽两端窄的上下左右对称结构,上表面和下表面为圆形平面,侧壁为上下对称的上圆弧面和下圆弧面,所述上圆弧面和下圆弧面通过圆角圆滑连接;

[0007] 所述上下表面的直径R为1.5-3mm,所述上下表面的距离H为0.8-1.5mm;

[0008] 所述圆角的夹角 θ 为50-70度,圆角的圆角半径为0.02-0.05mm。

[0009] 优选地,所述圆角顶点到谐振腔本体中心点的距离为2-2.5mm。

[0010] 优选地,泵浦光通过位于所述谐振腔本体一侧且与上下表面平行排列的锥形光纤输入,满足谐振波长条件的泵浦光耦合到谐振腔本体中。

[0011] 优选地,所述锥形光纤距离与其同侧的谐振腔本体表面的距离为小于 $6\mu\text{m}$ 。

[0012] 优选地,泵浦光耦合到所述谐振腔本体内满足以下条件:

[0013] 绕腔一周的光程L等于波长的整数倍,即 $nL=m \cdot \lambda_m$,其中 λ_m 表示可以谐振的泵浦光波长,m表示第m个谐振模式。

[0014] 优选地,所述泵浦光 ω_p 在谐振腔本体内同时发生多个非线性四波混频过程,每个非线性四波混频过程中两个泵浦光光子产生一个信号光光子 ω_s 和一个闲置光光子 ω_l 。

[0015] 优选地,所述四波混频过程满足能量守恒条件 $2\omega_p = \omega_s + \omega_l$ 和动量守恒条件 $2\vec{k}_p = \vec{k}_s + \vec{k}_l$ 。

[0016] 优选地,所述谐振腔本体内的重复频率FSR满足 $\text{FSR} = c/nL$,重复频率指第m个谐振模式与第m-1个谐振模式之间的频率间隔。

[0017] 本发明有益的技术效果:

[0018] 本发明的氟化镁谐振腔结构形状,改变了谐振腔的结构色散,控制重复频率,实现超高品质因子;本发明的谐振腔内发生多个四波混频过程,可以产生多对离散的信号光和闲置光光子对,每一对信号光和闲置光光子对都是纠缠关系,可以制备高维量子纠缠;本发明利用氟化镁谐振腔的高品质因子,产生的信号光和闲置光光子对的强度高,可以制备每毫瓦泵浦 (mW) 光对应的信号光闲置光光子对产生率大于1兆赫兹 (MHz) 高亮量子纠缠。

附图说明

[0019] 图1为本发明一实施例中谐振腔本体及用于耦合的光纤设计示意图。

[0020] 图2为本发明一实施例中四波混频过程能量守恒条件和动量守恒条件,以及谐振腔发生四波混频产生的多对离散的信号光和闲置光光子对。

[0021] 图3为本发明一实施例中谐振腔本体的截面示意图。

[0022] 图4为图3中A部分局部放大示意图。

[0023] 图5为本发明一实施例中产生高维超亮量子纠缠的氟化镁谐振腔的0阶横电 (TE0) 模式,0阶横磁 (TM0) 模式和1阶横电 (TE1) 模式对应的色散关系 (D_{int}) 及电场分布。

具体实施方式

[0024] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合实施例对本发明进行进一步详细说明,但本发明要求保护的范围并不局限于下述具体实施例。

[0025] 如图1-5所示,一种产生高维量子纠缠的氟化镁谐振腔,包括谐振腔本体1,所述谐振腔本体为封闭腔体,所述谐振腔本体采用氟化镁 (MgF_2) 材质制成,氟化镁 (MgF_2) 晶体材料的吸收系数低,因此其制作的微腔可以具有很高的Q值,可以通过四波混频过程高效地将泵浦光转化为量子纠缠光子对。而且氟化镁、氟化钙等晶体材料对周围环境湿度不敏感,可以长时间保持稳定的物理特性,易于保存。

[0026] 具体地,所述谐振腔本体的具体结构为:所述谐振腔本体1为中间宽两端窄的上下左右对称结构,上表面11和下表面12为圆形平面,侧壁为上下对称的上圆弧面13和下圆弧面14,所述上圆弧面和下圆弧面通过圆角15圆滑连接;

[0027] 具体尺寸为:所述上下表面的直径R为1.5-3mm,所述上下表面的距离H为0.8-1.5mm;所述圆角的夹角为50-70度,圆角的圆角半径为0.02-0.05mm。所述圆角顶点到谐振腔本体中心点的距离为2-2.5mm。

[0028] 具体地,泵浦光通过氟化镁谐振腔附近的锥形光纤2耦合到谐振腔中,锥形光纤2的优选束腰直径为4-5 μm ,与氟化镁谐振腔的优选距离小于6 μm ,本实施例中距离为5 μm ,为了实现锥形光纤内光场与氟化镁谐振腔的光学模式之间的匹配,锥形光纤与谐振腔上下表面平行。

[0029] 由于谐振腔的谐振条件,即在腔内留存的光的波长必然满足:绕腔一周的光程L等于波长的整数倍,即 $nL = m \cdot \lambda_m$,其中 λ_m 表示可以谐振的泵浦光波长,m表示第m个谐振模式。

[0030] 作为一优选实施例,在氟化镁谐振腔内发生非线性四波混频过程,四波混频过程是指三阶非线性材料中泵浦光(频率为 ω_p)和非线性材料相互作用生成信号光(频率为 ω_s)和闲置光(频率为 ω_i)的非线性过程,由于该过程中两个泵浦光光子产生一个信号光光子和一个闲置光子,同时有四个光子发生作用,所以被称为四波混频。在氟化镁谐振腔内同时

发生多个四波混频过程,可以产生多对离散的信号光和闲置光光子对。该四波混频过程满足能量守恒条件($2\omega_p = \omega_s + \omega_l$)和动量守恒条件($2\vec{k}_p = \vec{k}_s + \vec{k}_l$),产生的信号光和闲置光分布如图2所示,分别位于泵浦光两侧,每一对信号光($|1\rangle_s, |2\rangle_s, |3\rangle_s \dots$)与闲置光($|1\rangle_l, |2\rangle_l, |3\rangle_l \dots$)之间都是纠缠的,纠缠的光子对个数大于二,从而实现了高维度的量子纠缠。

[0031] 作为一优选实施例,氟化镁谐振腔的截面设计结构示意图如图3和4所示,其优选的几何参数如表1所示。通过设计截面结构几何参数可以优化结构色散,控制重复频率,重复频率指第m个谐振模式与第m-1个谐振模式之间的频率间隔(如图2所示),其满足 $FSR = c/nL$,重复频率越小,产生的信号光闲置光光子对越多,纠缠的维度越高。优选的氟化镁谐振腔在1550nm附近的0阶横电(TE0)模式,0阶横磁(TM0)模式和1阶横电(TE1)模式对应的色散关系(D_{int})及电场分布如图5所示。

[0032] 作为一优选实施例,由于超高的品质因子,氟化镁谐振腔内级联的四波混频过程可以高效地将泵浦光转化为量子纠缠光子对,产生高亮度信号光和闲置光光子对,生成的光学高维度量子纠缠光子对分布的带宽大,可以提供丰富的频谱资源。

[0033] 表1:氟化镁谐振腔的截面结构几何参数

[0034]

参数 组号	W1 (mm)	W2 (mm)	R (mm)	θ	圆角半 径r (mm)	H (mm)
1	1.25	1	2.25	60°	0.03	1.15

[0035] 表1中,W1是上下表面到中心轴线的距离,W2是圆角顶点到上下表面边线的距离,R为上下表面的直接, θ 是圆角的角度,r是圆角的半径,H是上下表面的距离。

[0036] 本发明的氟化镁谐振腔结构形状,改变了谐振腔的结构色散,控制重复频率,实现超高品质因子;本发明的谐振腔内发生多个四波混频过程,可以产生多对离散的信号光和闲置光光子对,每一对信号光和闲置光光子对都是纠缠关系,可以制备高维量子纠缠;本发明利用氟化镁谐振腔的超高品质因子,产生的信号光和闲置光光子对的强度高,可以制备高亮量子纠缠。

[0037] 根据上述说明书的揭示和教导,本发明所属领域的技术人员还可以对上述实施方式进行变更和修改。因此,本发明并不局限于上面揭示和描述的具体实施方式,对发明的一些修改和变更也应当落入本发明的权利要求的保护范围内。此外,尽管本说明书中使用了一些特定的术语,但这些术语只是为了方便说明,并不对发明构成任何限制。

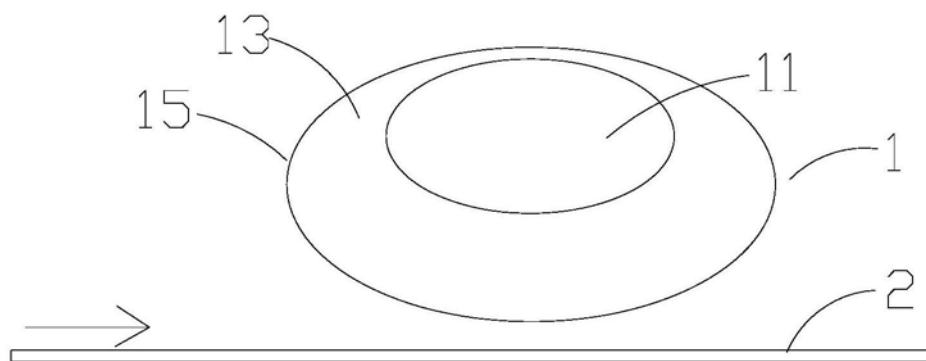


图1

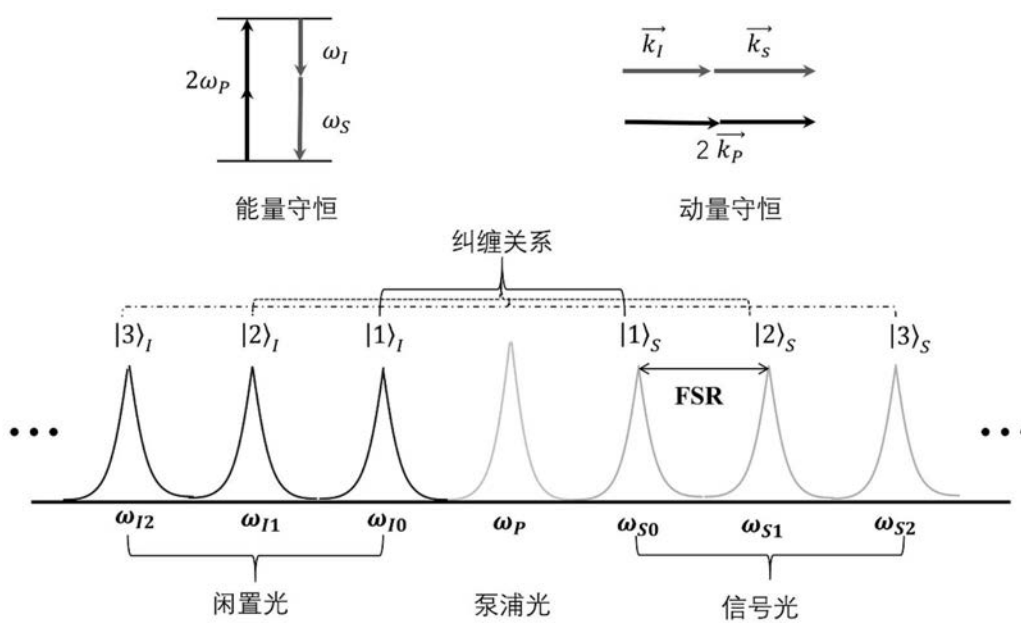


图2

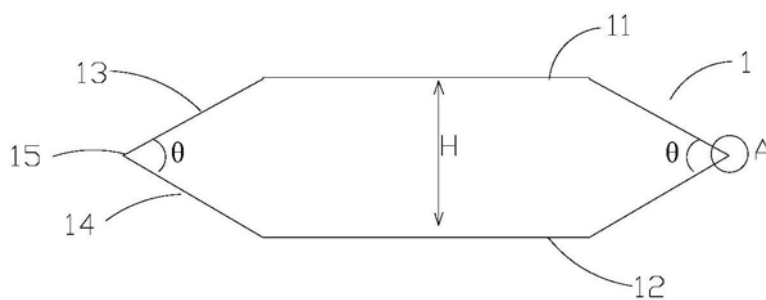


图3

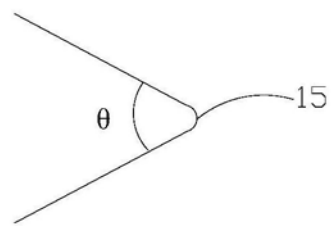


图4

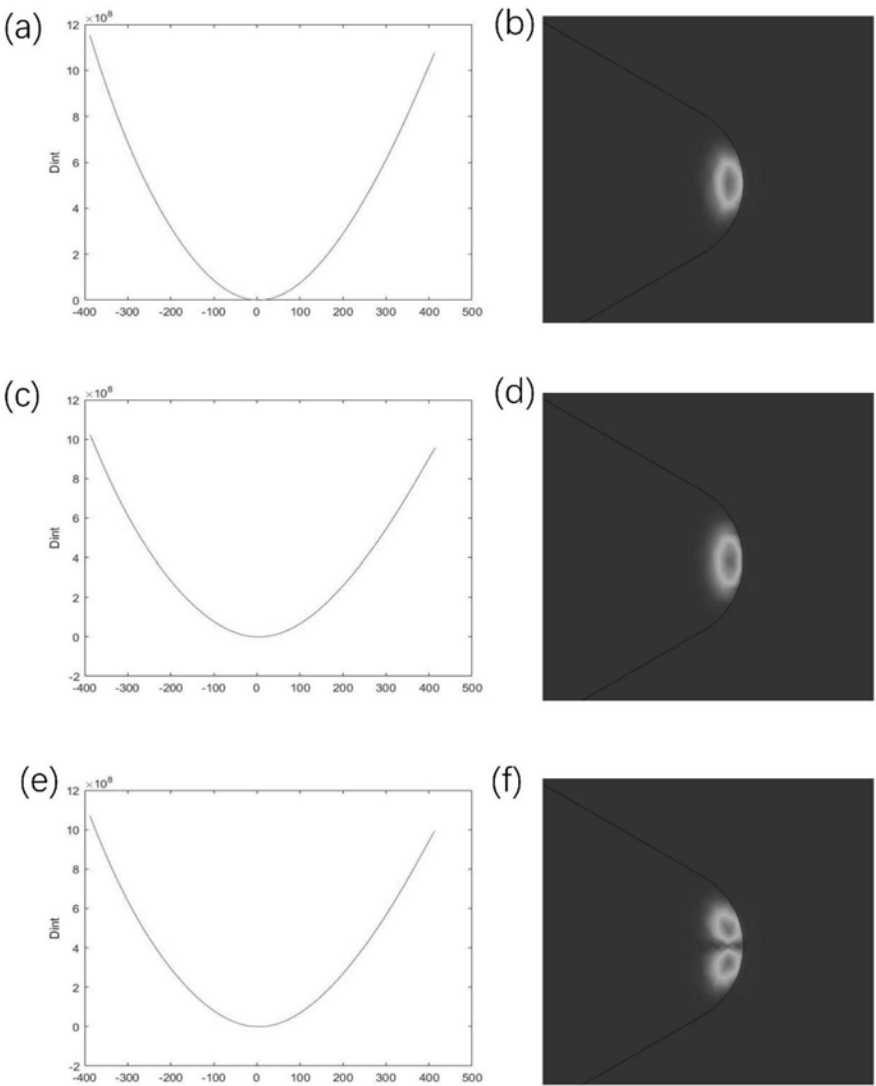


图5