

证书号第7606864号



专利公告信息

发明专利证书

发明名称：一种拓扑谐振腔及高维能量-时间纠缠源制备方法

专利权人：上海交通大学

地址：200240 上海市闵行区东川路800号

发明人：姜震;姜淳;何广强

专利号：ZL 2022 1 1453007.X

授权公告号：CN 115729012 B

专利申请日：2022年11月21日

授权公告日：2024年12月17日

申请日时申请人：上海交通大学

申请日时发明人：姜震;姜淳;何广强

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 115729012 A

(43) 申请公布日 2023. 03. 03

(21) 申请号 202211453007.X

(22) 申请日 2022.11.21

(71) 申请人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路800号

(72) 发明人 姜震 姜淳 何广强

(74) 专利代理机构 上海恒慧知识产权代理事务
所(特殊普通合伙) 31317

专利代理师 徐红银 张琳

(51) Int. Cl.

G02F 1/355 (2006.01)

G02F 1/35 (2006.01)

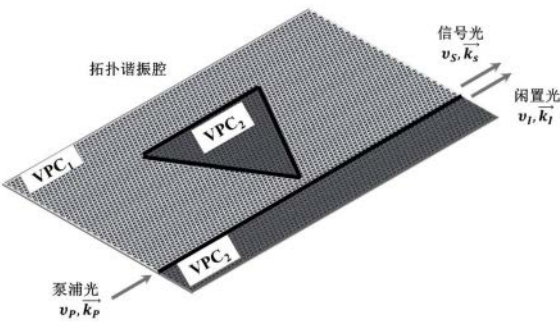
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种拓扑谐振腔及高维能量-时间纠缠源制备方法

(57) 摘要

本发明提供一种拓扑谐振腔及高维能量-时间纠缠源制备方法,包括一个拓扑直波导和一个三角形谐振腔;其中,所述拓扑直波导包括两种分布排列于波导分界面两侧的谷光子晶体,所述谷光子晶体的结构参数可调;通过调整所述结构参数调整所述波导分界面处的色散关系,产生拓扑带隙,调节所述拓扑直波导的工作带宽;其中,所述三角形谐振腔采用其中一种谷光子晶体,设置于另一种谷光子晶体的分布排列中。该拓扑谐振腔基于硅基芯片制备而成,具有优秀的色散调控能力,可以优化四波混频过程的产生效率,实现高维能量-时间纠缠。



1. 一种拓扑谐振腔, 其特征在于, 包括一个拓扑直波导和一个三角形谐振腔, 其中:

所述拓扑直波导包括波导分界面, 以及分布排列于所述波导分界面两侧的第一谷光子晶体和第二谷光子晶体, 所述第一谷光子晶体、所述第二谷光子晶体的结构参数可调, 通过调整所述结构参数调整所述波导分界面处的色散关系, 产生拓扑带隙, 调节所述拓扑直波导的工作带宽;

所述三角形谐振腔采用所述第一谷光子晶体、所述第二谷光子晶体两种谷光子晶体中任一种, 并设置于与所述三角形谐振腔不同的另一种谷光子晶体的分布排列中。

2. 根据权利要求1所述的一种拓扑谐振腔, 其特征在于, 所述第一谷光子晶体、所述第二谷光子晶体的晶胞由两个大小不同的三角形孔构成, 两种谷光子晶体的对称性是空间反演的。

3. 根据权利要求2所述的一种拓扑谐振腔, 其特征在于, 所述结构参数包括单元晶胞的晶格常数 a 、三角形孔的边长 d_1 和 d_2 以及三角形谐振腔的周长 L 。

4. 根据权利要求1所述的一种拓扑谐振腔, 其特征在于, 所述第一谷光子晶体和第二谷光子晶体边界上出现一对拓扑边界态, 所述拓扑边界态具有相反的传输方向;

泵浦光从所述拓扑直波导的一个端口输入, 产生的信号光、闲置光以及剩余的泵浦光从所述拓扑直波导的另一个端口输出;

在所述输入和输出的过程中, 符合谐振波长条件的泵浦光进入到所述三角形谐振腔中, 其余波长的泵浦光耦合不到所述三角形谐振腔当中。

5. 根据权利要求4所述的一种拓扑谐振腔, 其特征在于, 所述三角形谐振腔的谐振条件为: 在腔内留存的光的波长需要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 表示满足谐振波长条件的泵浦光波长, m 表示第 m 个谐振模式经过计算得到的拓扑谐振腔的品质因子, n 表示整数。

6. 根据权利要求4所述的一种拓扑谐振腔, 其特征在于, 所述泵浦光由所述拓扑直波导耦合到所述三角形谐振腔内, 由于谷光子晶体硅材料的三阶非线性系数 $\chi^{(3)}$, 在三角形谐振腔内发生非线性四波混频过程, 即两个泵浦光光子产生一个信号光光子和一个闲置光光子; 该过程满足能量匹配条件 $2\omega_p = \hbar\omega_s + \hbar\omega_i$, ω_p 为入射的泵浦光频率, ω_s 和 ω_i 分别为生成的信号光频率和闲置光频率。

7. 根据权利要求4或5所述的一种拓扑谐振腔, 其特征在于, 当信号光和闲置光的频率 ω_s 和 ω_i 及到达时间 t_s 和 t_i 满足不确定性关系 $\Delta(\omega_s + \omega_i) \Delta(t_s - t_i) < 1$ 时, 信号光和闲置光之间是能量-时间纠缠的。

8. 根据权利要求6所述的一种拓扑谐振腔, 其特征在于, 当所述三角谐振腔内发生一个四波混频过程时, 该四波混频过程产生的信号光、闲置光频率能够分布在不同的谐振峰上, 信号光($|1\rangle_s, |2\rangle_s, |3\rangle_s \dots$)和闲置光($|1\rangle_i, |2\rangle_i, |3\rangle_i \dots$)满足两方纠缠关系; 该四波混频过程产生的信号光和闲置光能够分布在任何谐振频率处, 在频率维度的分布是高维的, 即为高维度能量-时间纠缠。

9. 根据权利要求4或5所述的一种拓扑谐振腔, 其特征在于, 泵浦光频率 ω_p , 信号光 ω_s 和闲置光 ω_i 的频率都位于所述拓扑直波导的工作带宽内; 泵浦光、信号光以及闲置光都具备拓扑边界态的拓扑保护特性, 对拐角的结构缺陷具有鲁棒性。

10.一种基于权利要求1-9任一项所述的拓扑谐振腔的高维能量-时间纠缠源制备方法,其特征在于,包括:

调节谷光子晶体的结构参数,实现拓扑边界态;

入射泵浦光 ω_p 正入射至拓扑直波导分界面,满足谐振波长条件的泵浦光耦合到三角谐振腔内;

入射泵浦光 ω_p 在所述三角形谐振腔经过非线性自发四波混频过程后,生成高维能量-时间纠缠双光子态的信号光 ω_s 和闲置光 ω_i 。

一种拓扑谐振腔及高维能量-时间纠缠源制备方法

技术领域

[0001] 本发明涉及量子通信领域,具体地,涉及一种拓扑谐振腔及高维能量-时间纠缠源制备方法。

背景技术

[0002] 量子纠缠源是量子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_i)的非线性过程。该过程需要满足能量守恒条件($\omega_p = \omega_s + \omega_i$)和动量守恒条件($2\vec{k}_p = \vec{k}_s + \vec{k}_i$), $\vec{k}_p$ 、 $\vec{k}_s$ 和 $\vec{k}_i$ 分别是泵浦光、信号光和闲置光对应的波矢。

[0003] 目前,研究人员主要使用非线性光学晶体制备能量-时间纠缠光子对,然而,非线性晶体往往体积较大,与CMOS工艺不兼容,不能实现硅基芯片上集成,产生的纠缠光子对亮度不够,不利于构建集成化的纠缠源。此外,在量子传感、通信和成像等实际应用中,通常需要许多具有相同特性的量子纠缠源。然而,在纳米加工过程中,缺陷和不规则是不可避免的,缺陷限制了这类量子纠缠源的可扩展性。

发明内容

[0004] 针对现有技术中的缺陷,本发明的目的是提供一种拓扑谐振腔及高维能量-时间纠缠源制备方法。

[0005] 根据本发明的一个方面,提供一种拓扑谐振腔,包括一个拓扑直波导和一个三角形谐振腔,其中:

[0006] 所述拓扑直波导包括波导分界面,以及分布排列于所述波导分界面两侧的第一谷光子晶体和第二谷光子晶体,所述第一谷光子晶体、所述第二谷光子晶体的结构参数可调,通过调整所述结构参数调整所述波导分界面处的色散关系,产生拓扑带隙,调节所述拓扑直波导的工作带宽;

[0007] 所述三角形谐振腔采用所述第一谷光子晶体、所述第二谷光子晶体两种谷光子晶体中任一种,并设置于与所述三角形谐振腔不同的另一种谷光子晶体的分布排列中。

[0008] 优选地,所述第一谷光子晶体、所述第二谷光子晶体的晶胞由两个大小不同的三角形孔构成,两种谷光子晶体的对称性是空间反演的。

[0009] 优选地,所述结构参数包括单元晶胞的晶格常数 a 、三角形孔的边长 d_1 和 d_2 以及三角形谐振腔的周长 L 。

[0010] 优选地,所述第一谷光子晶体和第二谷光子晶体边界上出现一对拓扑边界态,所述拓扑边界态具有相反的传输方向;

[0011] 泵浦光从所述拓扑直波导的一个端口输入,产生的信号光、闲置光以及剩余的泵浦光从所述拓扑直波导的另一个端口输出;

[0012] 在所述输入和输出的过程中,符合谐振波长条件的泵浦光进入到所述三角形谐振

腔中,其余波长的泵浦光耦合不到所述三角形谐振腔当中。

[0013] 优选地,所述三角形谐振腔的谐振条件为:在腔内留存的光的波长需要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 表示满足谐振波长条件的泵浦光波长, m 表示第 m 个谐振模式经过计算得到的拓扑谐振腔的品质因子, n 表示整数。

[0014] 优选地,所述泵浦光由所述拓扑直波导耦合到所述三角形谐振腔内,由于谷光子晶体硅材料的三阶非线性系数 $\chi^{(3)}$,在三角形谐振腔内发生非线性四波混频过程,即两个泵浦光光子产生一个信号光光子和一个闲置光光子;该过程满足能量匹配条件 $2\omega_p = \hbar\omega_s + \hbar\omega_i$, ω_p 为入射的泵浦光频率, ω_s 和 ω_i 分别为生成的信号光频率和闲置光频率。

[0015] 优选地,当信号光和闲置光的频率 ω_s 和 ω_i 及到达时间 t_s 和 t_i 满足不确定性关系 $\Delta(\omega_s + \omega_i) \Delta(t_s - t_i) < 1$ 时,信号光和闲置光之间是能量-时间纠缠的。

[0016] 优选地,当所述三角谐振腔内发生一个四波混频过程时,该四波混频过程产生的信号光、闲置光频率能够分布在不同的谐振峰上,信号光($|1\rangle_s, |2\rangle_s, |3\rangle_s \dots$)和闲置光($|1\rangle_i, |2\rangle_i, |3\rangle_i \dots$)满足两方纠缠关系;该四波混频过程产生的信号光和闲置光能够分布在任何谐振频率处,在频率维度的分布是高维的,即为高维度能量-时间纠缠。

[0017] 优选地,泵浦光频率 ω_p ,信号光 ω_s 和闲置光 ω_i 的频率都位于所述拓扑直波导的工作带宽内;泵浦光、信号光以及闲置光都具备拓扑边界态的拓扑保护特性,对拐角的结构缺陷具有鲁棒性。

[0018] 根据本发明的第二个方面,提供一种基于上述的拓扑谐振腔的高维能量-时间纠缠源制备方法,包括:

[0019] 调节谷光子晶体的结构参数,实现拓扑边界态;

[0020] 入射泵浦光 ω_p 正入射至拓扑直波导分界面,满足谐振波长条件的泵浦光耦合到三角谐振腔内;

[0021] 入射泵浦光 ω_p 在所述三角形谐振腔经过非线性自发四波混频过程后,生成高维能量-时间纠缠双光子态的信号光 ω_s 和闲置光 ω_i 。

[0022] 与现有技术相比,本发明具有如下至少一种有益效果:

[0023] 1、本发明实施例中的拓扑谐振腔基于谷光子晶体制备而成,形成了拓扑直波导和三角形谐振腔;通过调整谷光子晶体的结构参数,使得整个拓扑谐振腔具有优秀的色散调控能力,获得预期的拓扑直波导的工作带宽,从而提供丰富的频谱资源。

[0024] 2、本发明实施例中的拓扑谐振腔,可以通过优化三角形谐振腔的品质因子,提高四波混频过程的产生效率,实现宽带的高维能量-时间纠缠。

[0025] 3、本发明实施例中的拓扑谐振腔以及高维能量-时间纠缠源制备方法,其在三角形谐振腔内发生一个四波混频过程,产生的信号光、闲置光频率可能分布在不同的谐振峰上,信号光和闲置光满足能量-时间纠缠关系,实现了高维量子纠缠的获取。

[0026] 4、本发明实施例中的拓扑谐振腔以及高维能量-时间纠缠源制备方法,产生的高维纠缠光子对在拓扑谐振腔中产生,因此纠缠光子对受到拓扑保护,对拐角等结构缺陷具有鲁棒性。

附图说明

[0027] 通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述,本发明的其它特征、

目的和优点将会变得更明显：

[0028] 图1为本发明一实施例中可产生高维能量-时间纠缠源的三角形谐振腔及用于耦合的拓扑波导设计示意图；

[0029] 图2为本发明一实施例中产生高维能量-时间纠缠的拓扑谐振腔的谷光子晶体结构示意图以及对应的能带结构；

[0030] 图3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高维纠缠的原理示意图；

[0031] 图4为本发明一实施例中产生高维能量-时间纠缠的拓扑谐振腔的透射谱；

[0032] 图5为本发明一实施例中产生高维能量-时间纠缠的拓扑谐振腔在谐振频率处的电场分布；

[0033] 图6为本发明一是实例中基于拓扑谐振腔的高维能量-时间纠缠源制备方法的流程图。

具体实施方式

[0034] 下面结合具体实施例对本发明进行详细说明。以下实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明，但不以任何形式限制本发明。应当指出的是，对本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干变形和改进。这些都属于本发明的保护范围。

[0035] 参照图1所示，本发明提供一个实施例，一种拓扑谐振腔，包括一个拓扑直波导和一个三角形谐振腔；其中，拓扑直波导包括两种分布排列于波导分界面两侧的谷光子晶体 VPC_1 和 VPC_2 ，谷光子晶体的结构参数可调；通过调整结构参数调整波导分界面处的色散关系，产生拓扑带隙，调节拓扑直波导的工作带宽；三角形谐振腔采用其中一种谷光子晶体，设置于另一种谷光子晶体的分布排列中。

[0036] 本实施例，是一种直接产生拓扑保护的高维能量-时间纠缠光子对的谐振腔，其具有优秀的色散调控能力，可以通过优化三角形谐振腔的品质因子，提高四波混频过程的产生效率，实现宽带的高维能量-时间纠缠。

[0037] 在本发明的一个优选实施例中，拓扑谐振腔由两种谷光子晶体(VPC)组成，分别为 VPC_1 和 VPC_2 ，VPC的晶胞由两个大小不一样的三角形孔构成，其中 VPC_1 和 VPC_2 的晶格对称性是空间反演的。如图2所示，优选的晶格常数为 $a=350\text{nm}$ ，对于 VPC_1 ，左上角的小三角形孔优选边长为 $d_1=0.3a$ ，右下角的大三角形孔边长优选值为 $d_2=0.7a$ ；对于 VPC_2 ，左上角的大三角形孔优选的边长为 $d_2=0.7a$ ，右下角的小三角形孔的边长优选值为 $d_1=0.3a$ 。当把 VPC_1 和 VPC_2 的晶胞按图2中(a)左边示意图来进行排列时，就构成了谷光子晶体。当晶胞内的三角形孔大小相同($d_1=d_2$)时，光子晶体在K点和K'点的TE模式有光子狄拉克锥，狄拉克锥受到原始晶格的时间反转和空间反转对称性的保护。当初始晶胞变形为 VPC_1 和 VPC_2 时，在K和K'点附近Berry曲率符号是相反，互换两个孔的尺寸会改变K点和K'点的Berry曲率符号，这意味着两个谷光子晶体具有不同的带拓扑。谷陈数的符号反映了Berry曲率的符号，谷陈数的差值表示K(K')谷边界态的个数。如果两个孔的尺寸差很小，则谷陈数可量子化为1/2或-1/2。因此，根据体态-边界对应原则时，一个界面在每个谷处最多只能存在一个拓扑边界态。

[0038] 在本发明的一个优选实施例中，通过有限元仿真软件计算谷光子晶体对应的色散

曲线,得到的结果如图2中(b)所示。由色散曲线可以得知,在频率为182-201THz的光子带隙内出现一对拓扑边界态,这一对拓扑边界态分别位于 $k_x > 0$ 和 $k_x < 0$ 处,它们具有相反的谷自旋,对应相反的传输方向。

[0039] 在本发明的一个优选实施例中,拓扑直波导的两个端口都可以作为泵浦光的输入,产生的信号光、闲置光以及剩余的泵浦光从另一个端口输出。在输入和输出的过程中,符合谐振波长条件的泵浦光进入到三角形的谐振腔中,其余波长的泵浦光耦合不到谐振腔当中。具体的,谐振波长条件为:在拓扑谐振腔内留存的光的波长需要满足绕三角形谐振腔一周的光程 L 等于波长的整数倍,即 $nL = m \cdot \lambda_m$,其中 λ_m 表示满足谐振波长条件的泵浦光波长, n 为整数。

[0040] 在本发明的一个优选实施中,由于谷光子晶体硅材料的三阶非线性系数 $\chi^{(3)}$,在三角形谐振腔内发生非线性四波混频过程,两个泵浦光子产生一个信号光光子和一个闲置光光子。如图3所示,由于三角形谐振腔的谐振特性,只有在谐振波长处才可能发生四波混频。

[0041] 在本发明的一个优选实施中,仿真得到的拓扑谐振腔传输谱如图4所示,在拓扑边界态的工作带宽能出现一个个等间隔分布的谐振模式,处于该频率的泵浦光可以耦合到三角形谐振腔内部,每个谐振模式的间隔是0.9THz。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 个谐振模式经过计算得到的拓扑谐振腔的品质因子(Q值)为 2×10^5 , n 表示整数。

[0042] 在本发明的一个优选实施中,拓扑谐振腔在谐振频率处的电场分布如图5所示,可以看到,在该频率下,泵浦光耦合到三角形谐振腔内部中,能量主要分布在三角形谐振腔的边界处。

[0043] 在本发明的一个优选实施中,当泵浦光的频率等于谐振模式的频率时,泵浦光耦合到三角形谐振腔内部,在拓扑微腔中发生四波混频效应,产生信号光和闲置光,过程满足能量守恒与动量守恒关系,即 $2\hbar\omega_p = \hbar\omega_s + \hbar\omega_i$ 与 $2\vec{k}_p = \vec{k}_s + \vec{k}_i$ 。四波混频的哈密顿量可以表示为:

$$[0044] \quad H = H_L + H_{NL} \quad (1)$$

[0045] 其中 H_L 和 H_{NL} 分别为线性哈密顿量和非线性哈密顿量。

$$[0046] \quad H_L = \sum_j \int d\omega_j \hbar\omega_j a_{j,\omega_j}^\dagger a_{j,\omega_j} \quad (2)$$

[0047] 其中 ω_j 为谐振峰处的频率, $a_{j,\omega_j}^\dagger$ 和 a_{j,ω_j} 分别为该谐振频率处光子的产生和湮灭算符。

$$[0048] \quad H_{NL} = -\gamma_0 \int d\omega_p d\omega_s d\omega_i a_{p,\omega_p}^\dagger a_{p,\omega_p}^\dagger a_{s,\omega_s} a_{i,\omega_i} e^{i(2k_p - k_s - k_i)x} + h.c. \quad (3)$$

[0049] γ_0 是有效的耦合系数, ω_p 、 ω_s 和 ω_i 分别为泵浦光、信号光和闲置光的频率, $\hat{a}_{\omega_s}^\dagger$ 和 $\hat{a}_{\omega_i}^\dagger$ 分别为信号光和闲置光的产生算符, a_{s,ω_s} 和 a_{i,ω_i} 分别为信号光和闲置光的湮灭算符, k_p 、 k_s 和 k_i 分别为泵浦光、信号光和闲置光对应的波矢, x 为传输的路径长度, $h.c.$ 表示厄密共轭。由四波混频产生的双光子态为:

$$[0050] \quad |\Psi\rangle = \iint d\omega_s d\omega_i A(\omega_s, \omega_i) \hat{a}_{\omega_s}^\dagger \hat{a}_{\omega_i}^\dagger |0\rangle \quad (4)$$

[0051] ω_s 和 ω_i 分别为信号光和闲置光的频率, $A(\omega_s, \omega_i)$ 为信号光和闲置光的联合谱幅度 (Joint-Spectral Amplitude, JSA), $\hat{a}_{\omega_s}^\dagger$ 和 $\hat{a}_{\omega_i}^\dagger$ 分别为信号光和闲置光的产生算符, $|0\rangle$ 为真空态。

[0052] 在本发明的一个优选实施中, 在三角形谐振腔内发生非线性四波混频过程, 两个泵浦光子产生一个信号光光子和一个闲置光光子, 过程满足能量守恒条件 ($2\omega_p = \omega_s + \omega_i$) 和动量守恒条件 ($2\vec{k}_p = \vec{k}_s + \vec{k}_i$), 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。当信号光和闲置光的频率 (ω_s 和 ω_i) 及到达时间 (t_s 和 t_i) 满足不确定性关系时, 信号光和闲置光之间是能量-时间纠缠的。对于能量-时间纠缠双光子态, 通常满足不等式 $\Delta(\omega_s + \omega_i) \Delta(t_s - t_i) < 1$ 。

[0053] 在本发明的一个优选实施中, 四波混频过程产生的信号光、闲置光频率可能分布在不同的谐振峰上, 信号光 ($|1\rangle_s, |2\rangle_s, |3\rangle_s \dots$) 和闲置光 ($|1\rangle_i, |2\rangle_i, |3\rangle_i \dots$) 满足两方纠缠关系, 但在频率维度的分布是高维的, 所以也被称为高维度能量-时间纠缠。其中, 达到时间是指信号光和闲置光传输同样长度路径后达到的时间点。

[0054] 在本发明的一个优选实施中, 泵浦光频率 ω_p , 信号光 ω_s 和闲置光 ω_i 的频率都位于所述拓扑直波导的工作带宽内; 泵浦光、信号光以及闲置光都具备拓扑边界态的拓扑保护特性, 对拐角的结构缺陷具有鲁棒性。在拓扑谐振腔内生成的高维度量子纠缠光子对带宽可以高达20THz, 提供丰富的频谱资源。

[0055] 基于相同的发明构思, 在本发明的其他实施例中, 提供一种基于拓扑谐振腔的高维能量-时间纠缠源制备方法, 参见图6, 过程包括:

[0056] S100, 调节谷光子晶体的结构参数, 实现拓扑边界态;

[0057] S200, 入射泵浦光 ω_p 正入射至拓扑直波导界面, 满足谐振波长条件的泵浦光可以耦合到三角形谐振腔内。

[0058] S300, 入射泵浦光 ω_p 在三角形谐振腔内经过非线性自发四波混频过程后, 生成高维能量-时间纠缠双光子态的信号光 ω_s 和闲置光 ω_i 。

[0059] 本实施例在谐振腔内发生一个四波混频过程, 产生的信号光、闲置光频率可能分布在不同的谐振峰上, 每一对信号光和闲置光满足能量-时间纠缠关系, 实现高维量子纠缠的获取。本实施例产生的高维纠缠光子对在拓扑谐振腔中产生, 因此纠缠光子对受到拓扑保护, 对拐角等结构缺陷具有鲁棒性。

[0060] 拓扑光子学中的鲁棒性与硅基芯片上集成量子纠缠源的制备结合, 解决量子纠缠源制备和传输过程中面临的高损耗问题, 从新的量子角度实现拓扑光子学的内容。采用硅基芯片光子晶体制备出的高维能量-时间纠缠源受到拓扑保护, 对拐角等缺陷具有鲁棒性。会给量子系统性能带来革新性的提升, 极大丰富了量子系统的实际应用场景, 例如量子行走、鲁棒量子光源、低损耗集成量子器件和量子隐形传态的实现等。

[0061] 以上对本发明的具体实施例进行了描述。需要理解的是, 本发明并不局限于上述特定实施方式, 本领域技术人员可以在权利要求的范围内做出各种变形或修改, 这并不影响本发明的实质内容。上述各优选特征在互不冲突的情况下, 可以任意组合使用。

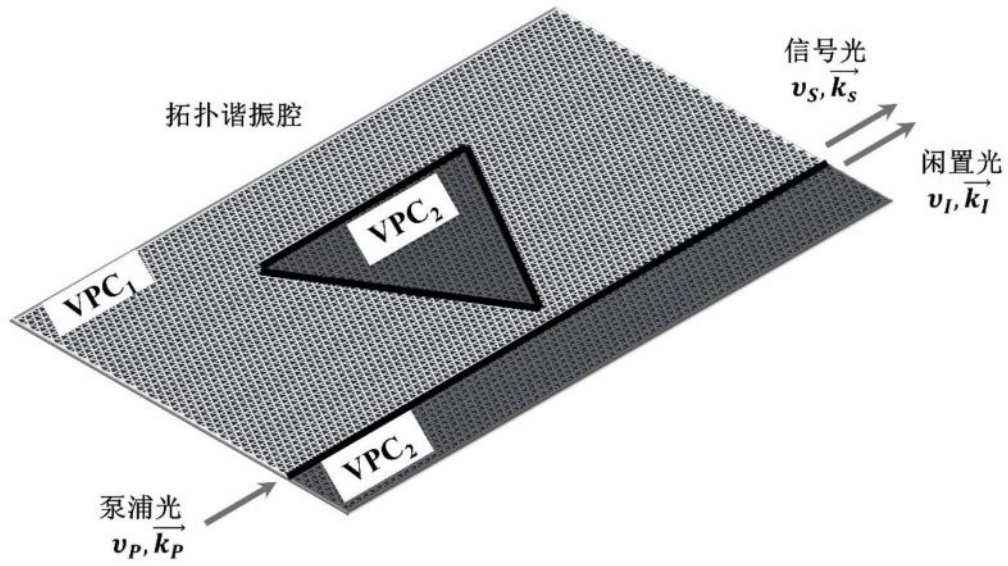


图1

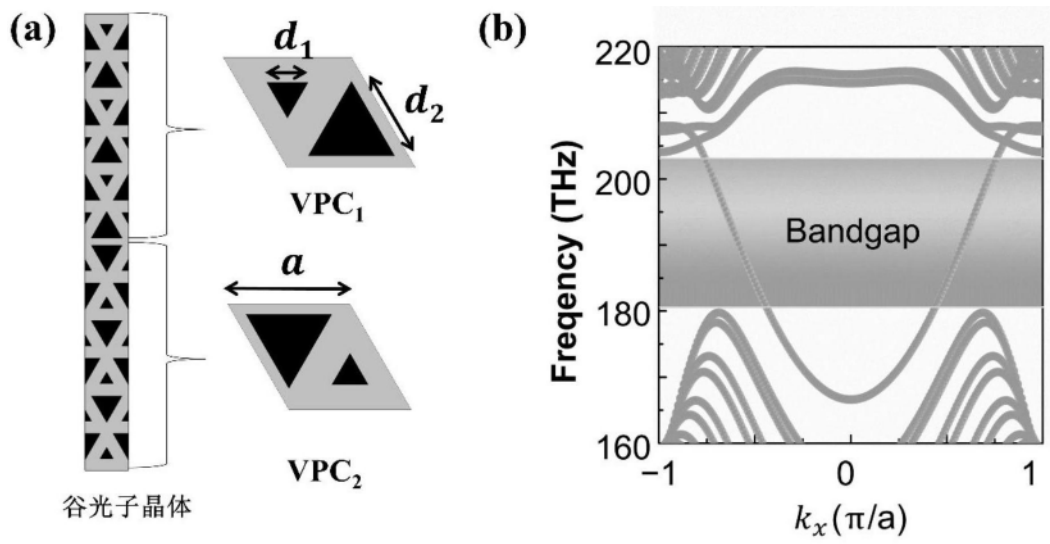


图2

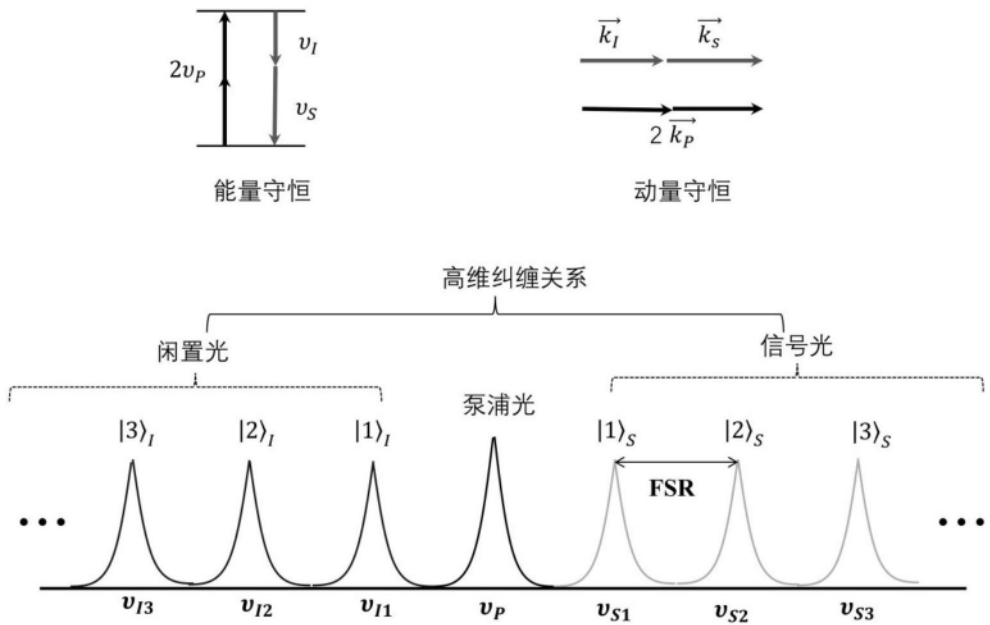


图3

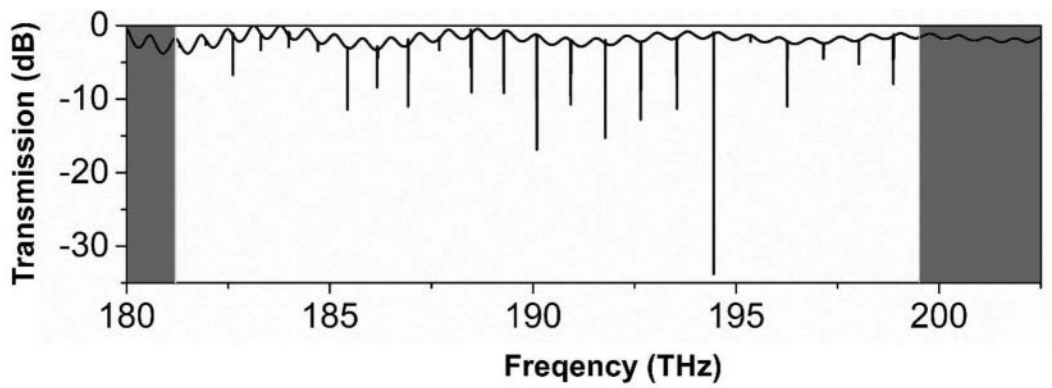


图4

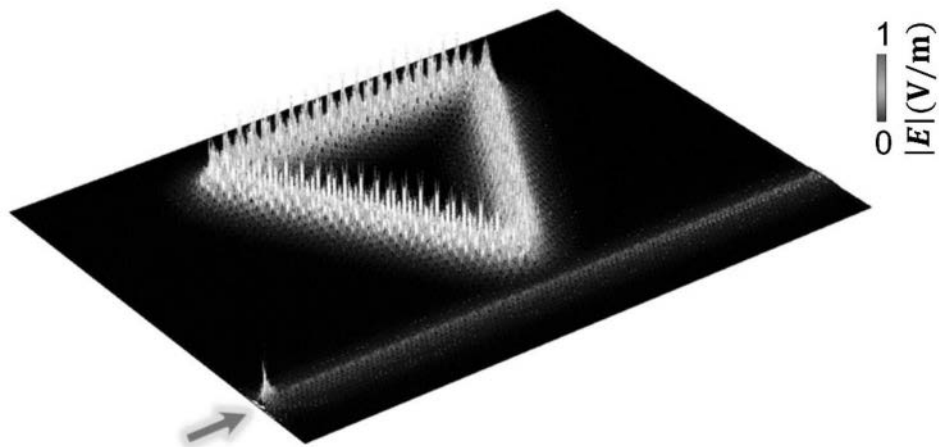


图5

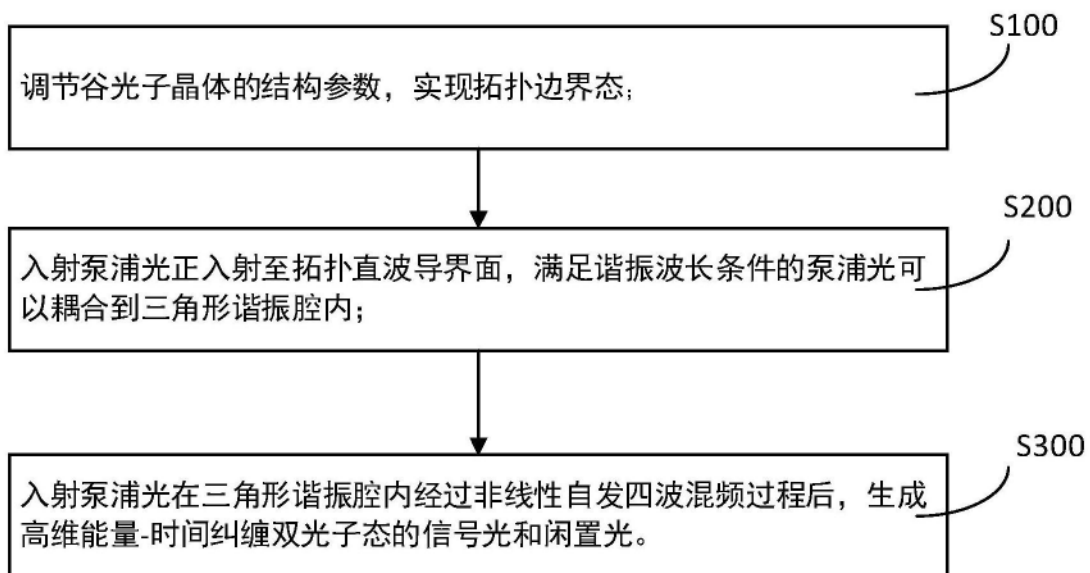


图6