



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116562384 B

(45) 授权公告日 2023.09.12

(21) 申请号 202310833661.1

G06N 10/60 (2022.01)

(22) 申请日 2023.07.10

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 116562384 A

CN 114333522 A, 2022.04.12

CN 111542935 A, 2020.08.14

CN 112068336 A, 2020.12.11

CN 115423107 A, 2022.12.02

(43) 申请公布日 2023.08.08

(73) 专利权人 合肥硅臻芯片技术有限公司

US 2018157986 A1, 2018.06.07

US 2022156625 A1, 2022.05.19

地址 230601 安徽省合肥市经济技术开发区

区宿松路以东、观海路以北智能装备

科技园E栋10层东02室

张茜等. 飞秒激光直写光量子逻辑门.《物理学报》.2019,第68卷(第10期),第105-120页.

(72) 发明人 安雪碧 丁禹阳 刘午 周志伟

审查员 葛晓倩

(74) 专利代理机构 南京禾易知识产权代理有限公司

公司 32320

专利代理师 冯五洲

(51) Int. Cl.

G06N 10/40 (2022.01)

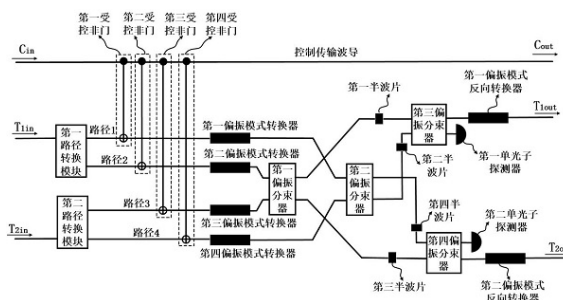
权利要求书2页 说明书11页 附图3页

(54) 发明名称

一种Fredkin量子逻辑门

(57) 摘要

本申请公开了一种Fredkin量子逻辑门,包括控制传输波导、四个受控非门、两个路径转换模块、四个偏振模式转换器、四个偏振分束器、四个半波片、两个偏振模式反向转换器和两个单光子探测器;通过采用4个受控非门以及路径转换模块、偏振模式转换器、偏振分束器、半波片、偏振模式反向转换器和单光子探测器实现基于横向波导模式编码的Fredkin量子逻辑门功能,结构简单紧凑、光路稳定性高,可以通过单片集成工艺在衬底上一体化制作而成。



1. 一种Fredkin量子逻辑门,其特征在于,包括控制传输波导、第一受控非门、第二受控非门、第三受控非门、第四受控非门、第一路径转换模块、第二路径转换模块、第一偏振模式转换器、第二偏振模式转换器、第三偏振模式转换器、第四偏振模式转换器、第一偏振分束器、第二偏振分束器、第三偏振分束器、第四偏振分束器、第一半波片、第二半波片、第三半波片、第四半波片、第一偏振模式反向转换器、第二偏振模式反向转换器、第一单光子探测器、第二单光子探测器;

所述控制传输波导用于接收、传输和输出 TE_0 模光子或 TE_1 模光子;

所述第一路径转换模块和所述第二路径转换模块均包括入射端、输出上端和输出下端,所述第一路径转换模块用于将接收的 TE_0 模光子从其输出上端输出或将接收的 TE_1 模光子从其输出下端输出,所述第二路径转换模块用于将接收的 TE_0 模光子从其输出下端输出或将接收的 TE_1 模光子从其输出上端输出,所述第一路径转换模块的输出上端与所述第一偏振模式转换器的输入端连接,所述第一路径转换模块的输出下端与所述第二偏振模式转换器的输入端连接,所述第二路径转换模块的输出上端与所述第三偏振模式转换器的输入端连接,所述第二路径转换模块的输出下端与所述第四偏振模式转换器的输入端连接;

所述第一受控非门、所述第二受控非门、所述第三受控非门、所述第四受控非门的控制位串联并依次设置在所述控制传输波导上,所述第一受控非门的目标位设置在所述第一路径转换模块的输出上端与所述第一偏振模式转换器的传输路径上,所述第二受控非门的目标位设置在所述第一路径转换模块的输出下端与所述第二偏振模式转换器的传输路径上,所述第三受控非门的目标位设置在所述第二路径转换模块的输出上端与所述第三偏振模式转换器的传输路径上,所述第四受控非门的目标位设置在所述第二路径转换模块的输出下端与所述第四偏振模式转换器的传输路径上;

所述第一偏振模式转换器、所述第二偏振模式转换器、所述第三偏振模式转换器和所述第四偏振模式转换器均用于将输入的 TE_0 模光子输出或将输入的 TE_1 模光子转换为 TM_0 模光子并输出;

所述第一偏振分束器、所述第二偏振分束器、所述第三偏振分束器和所述第四偏振分束器均包括输入上端、输入下端、输出上端和输出下端,用于将输入上/下端接收的 TE_0 模光子从其异侧的输出端输出或将输入上/下端接收的 TM_0 模光子从其同侧的输出端输出;所述第一偏振分束器的输入上端与所述第二偏振模式转换器的输出端连接,所述第一偏振分束器的输入下端与所述第三偏振模式转换器的输出端连接,所述第一偏振分束器的输出上端与所述第一半波片的输入端连接,所述第一偏振分束器的输出下端与所述第三半波片的输入端连接;所述第二偏振分束器的输入上端与所述第一偏振模式转换器的输出端连接,所述第二偏振分束器的输入下端与所述第四偏振模式转换器的输出端连接,所述第二偏振分束器的输出上端与所述第四半波片的输入端连接,所述第二偏振分束器的输出下端与所述第二半波片的输入端连接;

所述第一半波片、所述第二半波片、所述第三半波片和所述第四半波片用于改变输入光子的偏振特性,所述第一半波片和所述第三半波片的光轴角度为 67.5° ,所述第二半波片和所述第四半波片的光轴角度为 22.5° ;所述第一半波片的输出端连接所述第三偏振分束器的输入上端,所述第二半波片的输出端连接所述第三偏振分束器的输入下端,所述第三半波片的输出端连接所述第四偏振分束器的输入下端,所述第四半波片的输出端连接所

述第四偏振分束器的输入上端;所述第三偏振分束器的输出上端与所述第一偏振模式反向转换器的输入端连接,所述第三偏振分束器的输出下端与所述第一单光子探测器连接,所述第四偏振分束器的输出上端与所述第二单光子探测器连接,所述第四偏振分束器的输出下端与所述第二偏振模式反向转换器的输入端连接;

所述第一单光子探测器用于探测所述第三偏振分束器的输出下端输出的光子,所述第二单光子探测器用于探测所述第四偏振分束器的输出上端输出的光子;

所述第一偏振模式反向转换器和所述第二偏振模式反向转换器用于将接收的 TE_0 模光子直接输出或将接收的 TM_0 模光子转换为 TE_1 模光子输出。

2. 根据权利要求1所述的一种Fredkin量子逻辑门,其特征在于,所述控制传输波导、所述第一受控非门、所述第二受控非门、所述第三受控非门、所述第四受控非门、所述第一路径转换模块、所述第二路径转换模块、所述第一偏振模式转换器、所述第二偏振模式转换器、所述第三偏振模式转换器、所述第四偏振模式转换器、所述第一偏振分束器、所述第二偏振分束器、所述第三偏振分束器、所述第四偏振分束器、所述第一半波片、所述第二半波片、所述第三半波片、所述第四半波片、所述第一偏振模式反向转换器、所述第二偏振模式反向转换器、所述第一单光子探测器和所述第二单光子探测器通过单片集成工艺在衬底上一体化制作而成。

3. 根据权利要求1所述的一种Fredkin量子逻辑门,其特征在于,所述第一路径转换模块和所述第二路径转换模块均由第一横向波导模式转换器和第二横向波导模式转换器组成,所述第一横向波导模式转换器用于将接收的 TE_0 模光子输出或将接收的 TE_1 模光子转换为 TE_0 模光子;所述第二横向波导模式转换器用于将所述第一横向波导模式转换器转换获取的 TE_0 模光子转换为 TE_1 模光子并输出。

4. 根据权利要求1所述的一种Fredkin量子逻辑门,其特征在于,所述第一偏振模式转换器、所述第二偏振模式转换器、所述第三偏振模式转换器和所述第四偏振模式转换器均由依次连接的第一矩形宽波导、第一锥形波导和第一矩形窄波导组成。

5. 根据权利要求1所述的一种Fredkin量子逻辑门,其特征在于,所述第一偏振模式反向转换器和所述第二偏振模式反向转换器均由依次连接的第二矩形窄波导、第二锥形波导和第二矩形宽波导组成。

6. 根据权利要求3所述的一种Fredkin量子逻辑门,其特征在于,所述第一横向波导模式转换器包括第一主线直波导以及依次相连的第一耦合区光波导、第一弯曲光波导、第一传输直波导,所述第一耦合区光波导与所述第一主线直波导形成倏逝耦合区;所述第二横向波导模式转换器包括第二主线直波导以及依次相连的第二耦合区光波导、第二弯曲光波导、第二传输直波导,所述第二耦合区光波导与所述第二主线直波导形成倏逝耦合区;所述第一横向波导模式转换器的第一传输直波导与所述第二横向波导模式转换器的第二传输直波导连接。

一种Fredkin量子逻辑门

技术领域

[0001] 本申请属于量子信息技术领域,具体而言,涉及一种Fredkin量子逻辑门。

背景技术

[0002] 量子计算是一种新型计算模型,是量子物理学与计算机科学、信息科学相结合而产生的一门新型交叉学科。通过利用量子物理中诸如纠缠、叠加态等性质实现量子计算,在一些特定问题较经典计算效率具有较大优势。一个量子比特(Qubit)可以处于量子态 $|0\rangle$ 与量子态 $|1\rangle$ 的任意复系数组成的线性叠加态 $|\psi\rangle=\alpha|0\rangle+\beta|1\rangle$ 上。量子计算通过逻辑门操作量子比特,对应的用于操作量子比特的逻辑门可以成为量子逻辑门或量子门。

[0003] Fredkin量子逻辑门是量子计算中一种重要的三比特量子逻辑门,是三量子比特的控制交换门,当控制比特处于态 $|0\rangle$ 时,两个目标量子比特不变;当控制比特处于态 $|1\rangle$ 时,两个目标量子比特交换它们的状态。近年来,有大量的量子可逆逻辑电路被提出。FredKin量子逻辑门(也称为受控交换门)作为一种常用的可逆逻辑门,有着广泛的使用。

[0004] 片上量子横向波导模式编码可在多模波导、多模光纤中传播,光在波导中传播可以有多种波导模式,因而波导模式能够用于高维编码过程,这将大大拓展单比特通信和计算的信息容量,因此本申请提出一种采用横向波导模式编码的Fredkin量子逻辑门。

发明内容

[0005] 基于上述内容,本申请提供一种Fredkin量子逻辑门,通过采用4个受控非门以及路径转换模块、偏振模式转换器、偏振分束器、半波片、偏振模式反向转换器、单光子探测器形成基于横向波导模式编码的Fredkin量子逻辑门,具体方案如下:

[0006] 本申请公开了一种Fredkin量子逻辑门,包括控制传输波导、第一受控非门、第二受控非门、第三受控非门、第四受控非门、第一路径转换模块、第二路径转换模块、第一偏振模式转换器、第二偏振模式转换器、第三偏振模式转换器、第四偏振模式转换器、第一偏振分束器、第二偏振分束器、第三偏振分束器、第四偏振分束器、第一半波片、第二半波片、第三半波片、第四半波片、第一偏振模式反向转换器、第二偏振模式反向转换器、第一单光子探测器、第二单光子探测器;

[0007] 所述控制传输波导用于接收、传输和输出 TE_0 模光子或 TE_1 模光子;

[0008] 所述第一路径转换模块和所述第二路径转换模块均包括入射端、输出上端和输出下端,所述第一路径转换模块用于将接收的 TE_0 模光子从其输出上端输出或将接收的 TE_1 模光子从其输出下端输出,所述第二路径转换模块用于将接收的 TE_0 模光子从其输出下端输出或将接收的 TE_1 模光子从其输出上端输出,所述第一路径转换模块的输出上端与所述第一偏振模式转换器的输入端连接,所述第一路径转换模块的输出下端与所述第二偏振模式转换器的输入端连接,所述第二路径转换模块的输出上端与所述第三偏振模式转换器的输入端连接,所述第二路径转换模块的输出下端与所述第四偏振模式转换器的输入端连接;

[0009] 所述第一受控非门、所述第二受控非门、所述第三受控非门、所述第四受控非门的

控制位串联并依次设置在所述控制传输波导上,所述第一受控非门的目标位设置在所述第一路径转换模块的输出上端与所述第一偏振模式转换器的传输路径上,所述第二受控非门的目标位设置在所述第一路径转换模块的输出下端与所述第二偏振模式转换器的传输路径上,所述第三受控非门的目标位设置在所述第二路径转换模块的输出上端与所述第三偏振模式转换器的传输路径上,所述第四受控非门的目标位设置在所述第二路径转换模块的输出下端与所述第四偏振模式转换器的传输路径上;

[0010] 所述第一偏振模式转换器、所述第二偏振模式转换器、所述第三偏振模式转换器和所述第四偏振模式转换器均用于将输入的 TE_0 模光子输出或将输入的 TE_1 模光子转换为 TM_0 模光子并输出;

[0011] 所述第一偏振分束器、所述第二偏振分束器、所述第三偏振分束器和所述第四偏振分束器均包括输入上端、输入下端、输出上端和输出下端,用于将输入上/下端接收的 TE_0 模光子从其异侧的输出端输出或将输入上/下端接收的 TM_0 模光子从其同侧的输出端输出;所述第一偏振分束器的输入上端与所述第二偏振模式转换器的输出端连接,所述第一偏振分束器的输入下端与所述第三偏振模式转换器的输出端连接,所述第一偏振分束器的输出上端与所述第一半波片的输入端连接,所述第一偏振分束器的输出下端与所述第三半波片的输入端连接;所述第二偏振分束器的输入上端与所述第一偏振模式转换器的输出端连接,所述第二偏振分束器的输入下端与所述第四偏振模式转换器的输出端连接,所述第二偏振分束器的输出上端与所述第四半波片的输入端连接,所述第二偏振分束器的输出下端与所述第二半波片的输入端连接;

[0012] 所述第一半波片、所述第二半波片、所述第三半波片和所述第四半波片用于改变输入光子的偏振特性,所述第一半波片和所述第三半波片的光轴角度为 67.5° ,所述第二半波片和所述第四半波片的光轴角度为 22.5° ;所述第一半波片的输出端连接所述第三偏振分束器的输入上端,所述第二半波片的输出端连接所述第三偏振分束器的输入下端,所述第三半波片的输出端连接所述第四偏振分束器的输入下端,所述第四半波片的输出端连接所述第四偏振分束器的输入上端;所述第三偏振分束器的输出上端与所述第一偏振模式反向转换器的输入端连接,所述第三偏振分束器的输出下端与所述第一单光子探测器连接,所述第四偏振分束器的输出上端与所述第二单光子探测器连接,所述第四偏振分束器的输出下端与所述第二偏振模式反向转换器的输入端连接;

[0013] 所述第一单光子探测器用于探测所述第三偏振分束器的输出下端输出的光子,所述第二单光子探测器用于探测所述第四偏振分束器的输出上端输出的光子;

[0014] 所述第一偏振模式反向转换器和所述第二偏振模式反向转换器用于将接收的 TE_0 模光子直接输出或将接收的 TM_0 模光子转换为 TE_1 模光子输出。

[0015] 进一步地,所述控制传输波导、所述第一受控非门、所述第二受控非门、所述第三受控非门、所述第四受控非门、所述第一路径转换模块、所述第二路径转换模块、所述第一偏振模式转换器、所述第二偏振模式转换器、所述第三偏振模式转换器、所述第四偏振模式转换器、所述第一偏振分束器、所述第二偏振分束器、所述第三偏振分束器、所述第四偏振分束器、所述第一半波片、所述第二半波片、所述第三半波片、所述第四半波片、所述第一偏振模式反向转换器、所述第二偏振模式反向转换器、所述第一单光子探测器和所述第二单光子探测器通过单片集成工艺在衬底上一体化制作而成。

[0016] 进一步地,所述第一路径转换模块和所述第二路径转换模块均由第一横向波导模式转换器和第二横向波导模式转换器组成,所述第一横向波导模式转换器用于将接收的 TE_0 模光子输出或将接收的 TE_1 模光子转换为 TE_0 模光子;所述第二横向波导模式转换器用于将所述第一横向波导模式转换器转换获取的 TE_0 模光子转换为 TE_1 模光子并输出。

[0017] 进一步地,所述第一偏振模式转换器、所述第二偏振模式转换器、所述第三偏振模式转换器和所述第四偏振模式转换器均由依次连接的第一矩形宽波导、第一锥形波导和第一矩形窄波导组成。

[0018] 进一步地,所述第一偏振模式反向转换器和所述第二偏振模式反向转换器均由依次连接的第二矩形窄波导、第二锥形波导和第二矩形宽波导组成。

[0019] 进一步地,所述第一横向波导模式转换器包括第一主线直波导以及依次相连的第一耦合区光波导、第一弯曲光波导、第一传输直波导,所述第一耦合区光波导与所述第一主线直波导形成倏逝耦合区;所述第二横向波导模式转换器包括第二主线直波导以及依次相连的第二耦合区光波导、第二弯曲光波导、第二传输直波导,所述第二耦合区光波导与所述第二主线直波导形成倏逝耦合区;所述第一横向波导模式转换器的第一传输直波导与所述第二横向波导模式转换器的第二传输直波导连接。

[0020] 总体而言,通过本申请所构思的以上技术方案与现有技术相比,能够取得下列有益效果:

[0021] 本申请通过采用4个受控非门以及路径转换模块、偏振模式转换器、偏振分束器、半波片、偏振模式反向转换器、单光子探测器实现基于横向波导模式编码的Fredkin量子逻辑门功能,结构简单紧凑、光路稳定性高,可以通过单片集成工艺在衬底上一体化制作而成。

附图说明

[0022] 为更清楚地说明本实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术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,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0023] 图1为本申请实施例提供的一种Fredkin量子逻辑门的结构示意图;

[0024] 图2为本申请中第一路径转换模块的结构示意图;

[0025] 图3为本申请中第二路径转换模块的结构示意图;

[0026] 图4为本申请另一实施例提供的一种Fredkin量子逻辑门的结构示意图;

[0027] 图5为本申请中四个偏振模式转换器的结构示意图;

[0028] 图6为本申请中两个偏振模式反向转换器的结构示意图。

具体实施方式

[0029] 为使本申请的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图和具体实施方式对本申请实施例作进一步详细的说明。显然,所描述的实施例仅仅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,都属于本申请保护的范围。

[0030] 在下面的描述中阐述了很多具体细节以便于充分理解本申请,但是本申请还可以采用其他不同于在此描述的其它方式来实施,本领域技术人员可以在不违背本申请内涵的情况下做类似推广,因此本申请不受下面公开的具体实施例的限制。

[0031] 为了便于理解和解释本申请实施例提供的技术方案,下面将先对本申请的背景技术进行说明。

[0032] 量子受控非门是构建通用量子计算机必不可少的核心组成元件,是一种两比特量子逻辑门,由控制位和目标位构成,其功能是根据控制比特的状态来改变目标比特的响应,其工作方式为:如果控制量子比特为0,则目标量子比特保持不变;如果控制量子比特为1,则目标量子比特翻转。

[0033] Fredkin量子逻辑门是量子计算中一种重要的三比特量子逻辑门,是三量子比特的控制交换门,当控制比特处于态 $|0\rangle$ 时,两个目标量子比特不变;当控制比特处于态 $|1\rangle$ 时,两个目标量子比特交换它们的状态。近年来,有大量的量子可逆逻辑电路被提出。FredKin量子逻辑门(也称为受控交换门)作为一种常用的可逆逻辑门,有着广泛的使用。

[0034] 片上量子横向波导模式编码可在多模波导、多模光纤中传播,光在波导中传播可以有多种波导模式,因而波导模式能够用于高维编码过程,这将大大拓展单比特通信和计算的信息容量。

[0035] 基于此,本申请提供一种Fredkin量子逻辑门,如图1所示,包括控制传输波导、第一受控非门、第二受控非门、第三受控非门、第四受控非门、第一路径转换模块、第二路径转换模块、第一偏振模式转换器、第二偏振模式转换器、第三偏振模式转换器、第四偏振模式转换器、第一偏振分束器、第二偏振分束器、第三偏振分束器、第四偏振分束器、第一半波片、第二半波片、第三半波片、第四半波片、第一偏振模式反向转换器、第二偏振模式反向转换器、第一单光子探测器、第二单光子探测器。

[0036] 在本申请中,控制传输波导、第一受控非门、第二受控非门、第三受控非门、第四受控非门、第一路径转换模块、第二路径转换模块、第一偏振模式转换器、第二偏振模式转换器、第三偏振模式转换器、第四偏振模式转换器、第一偏振分束器、第二偏振分束器、第三偏振分束器、第四偏振分束器、第一半波片、第二半波片、第三半波片、第四半波片、第一偏振模式反向转换器、第二偏振模式反向转换器、第一单光子探测器和第二单光子探测器通过单片集成工艺在衬底上一体化制作而成,也即是Fredkin量子逻辑门为片上结构,各元器件间布局紧凑、光路稳定性高。

[0037] 控制传输波导用于接收、传输和输出 TE_0 模光子或 TE_1 模光子。

[0038] 第一路径转换模块和第二路径转换模块将接收的 TE_0 模光子或 TE_1 模光子分别从其不同的输出端输出,以使 TE_0 模光子或 TE_1 模光子输入到特定的路径上。

[0039] 具体地,第一路径转换模块和第二路径转换模块均包括入射端、输出上端和输出下端,第一路径转换模块用于将接收的 TE_0 模光子从其输出上端输出或将接收的 TE_1 模光子从其输出下端输出,第二路径转换模块用于将接收的 TE_0 模光子从其输出下端输出或将接收的 TE_1 模光子从其输出上端输出,第一路径转换模块的输出上端与第一偏振模式转换器的输入端连接,第一路径转换模块的输出下端与第二偏振模式转换器的输入端连接,第二路径转换模块的输出上端与第三偏振模式转换器的输入端连接,第二路径转换模块的输出下端与第四偏振模式转换器的输入端连接。

[0040] 参考图1,第一路径转换模块的输出上端与第一偏振模式转换器的输入端的传输路径为路径1,第一路径转换模块将接收的 TE_0 模光子传输至路径1上;第一路径转换模块的输出下端与第二偏振模式转换器的输入端的传输路径为路径2,第一路径转换模块将接收的 TE_1 模光子传输至路径2上;第二路径转换模块的输出上端与第三偏振模式转换器的输入端的传输路径为路径3,第二路径转换模块将接收的 TE_1 模光子传输至路径3上;第二路径转换模块的输出下端与第四偏振模式转换器的输入端的传输路径为路径4,第二路径转换模块将接收的 TE_0 模光子传输至路径4上。

[0041] 控制传输波导、第一路径转换模块和第二路径转换模块接收的 TE_0 模光子或 TE_1 模光子由外部光源产生,在本申请中外外部光源可以为片上单光子源也可以为片外单光子源,片上单光子源通常由螺旋波导线或微环谐振腔等能够发生片上四波混频过程的器件组成,采用片上单光子源可以提高芯片的集成度和稳定性,减小整个系统的体积,但是存在单光子发射效率低的缺点。当采用片外单光子源时,其产生的光子可以通过边缘耦合器或光栅耦合器输入至控制传输波导、第一路径转换模块和第二路径转换模块。

[0042] 本申请中, TE_0 模被编码为量子比特0, TE_1 模被编码为量子比特1。

[0043] 受控非门是一种两比特量子逻辑门,由控制位和目标位构成,其功能是根据控制比特的状态来改变目标比特的响应。

[0044] 本申请中,第一受控非门、第二受控非门、第三受控非门、第四受控非门的控制位串联并依次设置在控制传输波导上,第一受控非门的目标位设置在第一路径转换模块的输出上端与第一偏振模式转换器的传输路径上(路径1),第二受控非门的目标位设置在第一路径转换模块的输出下端与第二偏振模式转换器的传输路径上(路径2),第三受控非门的目标位设置在第二路径转换模块的输出上端与第三偏振模式转换器的传输路径上(路径3),第四受控非门的目标位设置在第二路径转换模块的输出下端与第四偏振模式转换器的传输路径上(路径4)。

[0045] 基于上述描述可知,第一受控非门根据控制传输波导输入的光量子态(控制比特)用来改变路径1上的光量子态(目标比特)的响应。第二受控非门根据控制传输波导输入的光量子态(控制比特)用来改变路径2上的光量子态(目标比特)的响应。第三受控非门根据控制传输波导输入的光量子态(控制比特)用来改变路径3上的光量子态(目标比特)的响应。第四受控非门根据控制传输波导输入的光量子态(控制比特)用来改变路径4上的光量子态(目标比特)的响应。

[0046] 具体地,若控制传输波导输入的光子为 TE_0 模光子,则传输到路径1、路径2、路径3和路径4上的光子的波导模式保持不变。若控制传输波导输入的光子为 TE_1 模光子,则输入到路径1、路径2、路径3和路径4上的光子的波导模式实现翻转,也即是 TE_0 模光子翻转为 TE_1 模光子或 TE_1 模光子翻转为 TE_0 模光子。

[0047] 第一偏振模式转换器、第二偏振模式转换器、第三偏振模式转换器和第四偏振模式转换器均用于将输入的 TE_0 模光子输出或将输入的 TE_1 模光子转换为 TM_0 模光子并输出。

[0048] 本申请中的四个偏振模式转换器将输入的 TE_1 模光子转换为 TM_0 模光子,但是对输入的 TE_0 模光子仅起到传输作用。

[0049] 第一偏振分束器、第二偏振分束器、第三偏振分束器和第四偏振分束器均包括输入上端、输入下端、输出上端和输出下端,用于将输入上/下端接收的 TE_0 模光子从其异侧的

输出端输出或将输入上/下端接收的 TM_0 模光子从其同侧的输出端输出;第一偏振分束器的输入上端与第二偏振模式转换器的输出端连接,第一偏振分束器的输入下端与第三偏振模式转换器的输出端连接,第一偏振分束器的输出上端与第一半波片的输入端连接,第一偏振分束器的输出下端与第三半波片的输入端连接;第二偏振分束器的输入上端与第一偏振模式转换器的输出端连接,第二偏振分束器的输入下端与第四偏振模式转换器的输出端连接,第二偏振分束器的输出上端与第四半波片的输入端连接,第二偏振分束器的输出下端与第二半波片的输入端连接。

[0050] 偏振分束器用于将输入其上的 TE_0 模光子和 TM_0 模光子分离,包括两个输入端和两个输出端。具体地,输入上端接收的 TE_0 模光子从输出下端输出、输入上端接收的 TM_0 模光子从输出上端输出、输入下端接收的 TE_0 模光子从输出上端输出、输入下端接收的 TM_0 模光子从输出下端输出。

[0051] 更进一步地,对于第一偏振分束器,输入上端接收的 TE_0 模光子从输出下端输出并传输至第三半波片;输入上端接收的 TM_0 模光子从输出上端输出并传输至第一半波片;输入下端接收的 TE_0 模光子从输出上端输出并传输至第一半波片;输入下端接收的 TM_0 模光子从输出下端输出并传输至第三半波片。

[0052] 对于第二偏振分束器,输入上端接收的 TE_0 模光子从输出下端输出并传输至第二半波片;输入上端接收的 TM_0 模光子从输出上端输出并传输至第四半波片;输入下端接收的 TE_0 模光子从输出上端输出并传输至第四半波片;输入下端接收的 TM_0 模光子从输出下端输出并传输至第二半波片。

[0053] 第一半波片、第二半波片、第三半波片和第四半波片用于改变输入光子的偏振特性,第一半波片和第三半波片的光轴角度为 67.5° ,第二半波片和第四半波片的光轴角度为 22.5° ;第一半波片的输出端连接第三偏振分束器的输入上端,第二半波片的输出端连接第三偏振分束器的输入下端,第三半波片的输出端连接第四偏振分束器的输入下端,第四半波片的输出端连接第四偏振分束器的输入上端;第三偏振分束器的输出上端与第一偏振模式反向转换器的输入端连接,第三偏振分束器的输出下端与第一单光子探测器连接,第四偏振分束器的输出上端与第二单光子探测器连接,第四偏振分束器的输出下端与第二偏振模式反向转换器的输入端连接。

[0054] 半波片用于改变输入光子的偏振特性,半波片的光轴角度不同引起的量子态演化也不同。在本申请中第一半波片和第三半波片的光轴角度为 67.5° ,第二半波片和第四半波片的光轴角度为 22.5° 。

[0055] 对于第三偏振分束器,输入上端接收的 TE_0 模光子从输出下端输出并传输至第一单光子探测器;输入上端接收的 TM_0 模光子从输出上端输出并传输至第一偏振模式反向转换器;输入下端接收的 TE_0 模光子从输出上端输出并传输至第一偏振模式反向转换器;输入下端接收的 TM_0 模光子从输出下端输出并传输至第一单光子探测器。

[0056] 对于第四偏振分束器,输入上端接收的 TE_0 模光子从输出下端输出并传输至第二偏振模式反向转换器;输入上端接收的 TM_0 模光子从输出上端输出并传输至第二单光子探测器;输入下端接收的 TE_0 模光子从输出上端输出并传输至第二单光子探测器;输入下端接收的 TM_0 模光子从输出下端输出并传输至第二偏振模式反向转换器。

[0057] 第一单光子探测器用于探测第三偏振分束器的输出下端输出的光子,第二单光子

探测器用于探测第四偏振分束器的输出上端输出的光子。

[0058] 第一偏振模式反向转换器和第二偏振模式反向转换器用于将接收的 TE_0 模光子直接输出或将接收的 TM_0 模光子转换为 TE_1 模光子输出。

[0059] 更进一步地,第一路径转换模块和第二路径转换模块均由第一横向波导模式转换器和第二横向波导模式转换器组成,第一路径转换模块的结构如图2所示,第二路径转换模块的结构如图3所示。第一横向波导模式转换器用于将接收的 TE_0 模光子输出或将接收的 TE_1 模光子转换为 TE_0 模光子;第二横向波导模式转换器用于将第一横向波导模式转换器转换获取的 TE_0 模光子转换为 TE_1 模光子并输出。

[0060] 参见图2和图3,第一横向波导模式转换器包括第一主线直波导以及依次相连的第一耦合区光波导、第一弯曲光波导、第一传输直波导,第一耦合区光波导与第一主线直波导形成倏逝耦合区。第二横向波导模式转换器包括第二主线直波导以及依次相连的第二耦合区光波导、第二弯曲光波导、第二传输直波导,第二耦合区光波导与第二主线直波导形成倏逝耦合区。第一横向波导模式转换器的第一传输直波导与第二横向波导模式转换器的第二传输直波导连接。基于图1、图2和图3形成的Fredkin量子逻辑门的结构如图4所示。

[0061] 对于第一横向波导模式转换器,通过设定其倏逝耦合区的长度、间距以及第一耦合区光波导的宽度和第一主线直波导的宽度,达到将接收的 TE_1 模光子转换为 TE_0 模光子的目的。

[0062] 对于第二横向波导模式转换器,通过设定其倏逝耦合区的长度、间距以及第二耦合区光波导的宽度和第二主线直波导的宽度,达到将第一横向波导模式转换器转换获取的 TE_0 模光子转换为 TE_1 模光子的目的。

[0063] 具体地,对于第一路径转换模块中的第一横向波导模式转换器和第二横向波导模式转换器,第一横向波导模式转换器中的第一主线直波导与第一偏振模式转换器的输入端连接,第一主线直波导的输出端与第一偏振模式转换器的输入端的传输路径为路径1;第二横向波导模式转换器中的第二主线直波导与第二偏振模式转换器的输入端连接,第二主线直波导与第二偏振模式转换器的输出端的传输路径为路径2。

[0064] 对于第二路径转换模块中的第一横向波导模式转换器和第二横向波导模式转换器,第一横向波导模式转换器中的第一主线直波导与第四偏振模式转换器的输入端连接,第一主线直波导的输出端与第四偏振模式转换器的输入端的传输路径为路径4;第二横向波导模式转换器中的第二主线直波导与第三偏振模式转换器的输入端连接,第二主线直波导与第三偏振模式转换器的输出端的传输路径为路径3。

[0065] 具体地,对于第一路径转换模块中的第一横向波导模式转换器和第二横向波导模式转换器,当第一横向波导模式转换器接收的是 TE_0 模光子时, TE_0 模光子通过第一横向波导模式转换器的第一主线直波导输出,若控制传输波导接收的是 TE_0 模光子,则从第一主线直波导输出的 TE_0 模光子波导模式保持不变, TE_0 模光子传输至第一偏振模式转换器,若控制传输波导接收的是 TE_1 模光子,则从第一主线直波导输出的 TE_0 模光子翻转为 TE_1 模光子,通过翻转得到的 TE_1 模光子传输至第一偏振模式转换器。

[0066] 当第一路径转换模块中的第一横向波导模式转换器接收的是 TE_1 模光子时, TE_1 模光子则通过第一横向波导模式转换器的倏逝耦合区将 TE_1 模光子转换为 TE_0 模光子, TE_0 模光子传输至第二横向波导模式转换器的倏逝耦合区,将 TE_0 模光子再次转换为 TE_1 模光子, TE_1

模光子通过第二横向波导模式转换器的第二主线直波导输出。若控制传输波导接收的是 TE_0 模光子,则从第二主线直波导输出的 TE_1 模光子波导模式保持不变, TE_1 模光子传输至第二偏振模式转换器;若控制传输波导接收的是 TE_1 模光子,则从第二主线直波导输出的 TE_1 模光子翻转为 TE_0 模光子,通过翻转得到的 TE_0 模光子传输至第二偏振模式转换器。

[0067] 第二路径转换模块中的第一横向波导模式转换器和第二横向波导模式转换器与第一路径转换模块中的第一横向波导模式转换器和第二横向波导模式转换器的结构以及工作原理相同,这里不再赘述。

[0068] 在本申请中,第一偏振模式转换器、第二偏振模式转换器、第三偏振模式转换器和第四偏振模式转换器均由依次连接的第一矩形宽波导、第一锥形波导和第一矩形窄波导组成,结构如图5所示。

[0069] 而第一偏振模式反向转换器和第二偏振模式反向转换器均由依次连接的第二矩形窄波导、第二锥形波导和第二矩形宽波导组成,结构如图6所示。偏振模式反向转换器与偏振模式转换器的结构对称。

[0070] 为了便于理解和描述,下面将结合图示举例说明光子的演化过程和传输过程。假设控制传输波导接收外部光源产生的 TE_0 模光子,第一路径转换模块接收外部光源产生的 TE_1 模光子,第二路径转换模块接收外部光源产生的 TE_0 模光子,参见图4。为了便于展示光子的演化过程和传输路径,控制传输波导接收的光子采用空心圆形表示,第一路径转换模块和第二路径转换模块接收的光子分别采用不同填充元素的圆形表示,实心圆表示第一路径转换模块接收的光子及其光子演化,填充图案的圆表示第二路径转换模块接收的光子及其光子演化。

[0071] 第一路径转换模块接收外部光源产生的 TE_1 模光子, TE_1 模光子在第一路径转换模块中的第一横向波导模式转换器和第二横向波导模式转换器的作用下,从第二横向波导模式转换器中的第二主线直波导输出,基于控制传输波导接收的是 TE_0 模光子,则从第二横向波导模式转换器中的第二主线直波导输出的 TE_1 模光子波导模式保持不变传输至第二偏振模式转换器。第二偏振模式转换器将接收的 TE_1 模光子转换为 TM_0 模光子, TM_0 模光子从第一偏振分束器的输入上端输入,然后从第一偏振分束器的输出上端输出并传输至第一半波片,在第一半波片的作用下, TM_0 模光子的量子态发生改变。

[0072] 第二路径转换模块接收外部光源产生的 TE_0 模光子, TE_0 模光子直接从第二路径转换模块中第一横向波导模式转换器的第一主线直波导输出,基于控制传输波导接收的是 TE_0 模光子,则从第二路径转换模块中的第一主线直波导输出的 TE_0 模光子波导模式保持不变传输至第四偏振模式转换器。 TE_0 模光子通过第四偏振模式转换器传输至第二偏振分束器的输出下端,然后从第二偏振分束器的输出上端输出并传输至第四半波片,在第四半波片的作用下, TE_0 模光子的量子态发生改变。

[0073] 需要注意的是,上述举例只是本申请中的其中一个实施例,基于本申请的结构,本申请具有8种光子输入状态,这里不再一一举例。

[0074] 为了使本申请更加清楚,下面将结合图1和图4对Fredkin量子逻辑门的工作原理进行详细的说明。

[0075] 本申请中, TE_0 模被编码为量子比特0, TE_1 模被编码为量子比特1。控制传输波导接收的光子为控制比特,第一路径转换模块和第二路径转换模块接收的光子为两个目标比

特。控制传输波导接收的光子记为控制量子比特 C_m ，第一路径转换模块接收的光子记为目标量子比特 T_{1m} ，第二路径转换模块接收的光子记为目标量子比特 T_{2m} ，参见图1和图4中所示，则输入至控制传输波导、第一路径转换模块和第二路径转换模块的量子态(初始输入的量子态)可表示为：

$$\begin{aligned}
 |\psi\rangle = & a_1 |0\rangle_{C_m} |0\rangle_{T_{1m}} |0\rangle_{T_{2m}} + a_2 |0\rangle_{C_m} |0\rangle_{T_{1m}} |1\rangle_{T_{2m}} + a_3 |0\rangle_{C_m} |1\rangle_{T_{1m}} |0\rangle_{T_{2m}} \\
 [0076] \quad & + a_4 |0\rangle_{C_m} |1\rangle_{T_{1m}} |1\rangle_{T_{2m}} + a_5 |1\rangle_{C_m} |0\rangle_{T_{1m}} |0\rangle_{T_{2m}} + a_6 |1\rangle_{C_m} |0\rangle_{T_{1m}} |1\rangle_{T_{2m}} \\
 & + a_7 |1\rangle_{C_m} |1\rangle_{T_{1m}} |0\rangle_{T_{2m}} + a_8 |1\rangle_{C_m} |1\rangle_{T_{1m}} |1\rangle_{T_{2m}}
 \end{aligned}$$

[0077] 其中, $a_1 \sim a_8$ 为归一化的任意复数且 $a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + a_4^2 + a_5^2 + a_6^2 + a_7^2 + a_8^2 = 1$ 。

[0078] 控制传输波导接收的光子(控制比特)依次通过四个受控非门、第一路径转换模块接收的光子(目标比特)从路径1或路径2传输,第二路径转换模块接收的光子(目标比特)从路径3或路径4传输。具体地,当控制传输波导接收的光子(目标比特)为量子比特0,则两个目标比特保持不变,当控制传输波导接收的光子(目标比特)为量子比特1,则两个目标比特相互交换状态。当第一路径转换模块接收的光子(目标比特)为量子比特0时,则从路径1传输;当第一路径转换模块接收的光子(目标比特)为量子比特1时,则从路径2传输。当第二路径转换模块接受的光子(目标比特)为量子比特0时,则从路径4传输;当第二路径转换模块接收的光子(目标比特)为量子比特1时,则从路径3传输。则光子到达相应偏振模式转换器之前的量子态演变为:

$$\begin{aligned}
 |\psi\rangle = & a_1 |0\rangle_{C_m} |0\rangle_1 |0\rangle_4 + a_2 |0\rangle_{C_m} |0\rangle_1 |1\rangle_3 + a_3 |0\rangle_{C_m} |1\rangle_2 |0\rangle_4 + a_4 |0\rangle_{C_m} |1\rangle_2 |1\rangle_3 \\
 [0079] \quad & + a_5 |1\rangle_{C_m} |1\rangle_1 |1\rangle_4 + a_6 |1\rangle_{C_m} |1\rangle_1 |0\rangle_3 + a_7 |1\rangle_{C_m} |0\rangle_2 |1\rangle_4 + a_8 |1\rangle_{C_m} |0\rangle_2 |0\rangle_3
 \end{aligned}$$

[0080] 其中,目标比特的下标表示相对应的传输路径。

[0081] 偏振模式转换器将接收的 TE_1 模光子转换为 TM_0 模光子或将接收的 TE_0 模光子直接输出,这里将 TE_0 模光子记为 $|H\rangle$, TM_0 模光子记为 $|V\rangle$,也就是目标比特对应的量子态 $|0\rangle$ 即为 $|H\rangle$, $|1\rangle$ 演化为 $|V\rangle$,从第一偏振模式转换器输出的光子为 $|H\rangle_2$ 或 $|V\rangle_2$,从第二偏振模式转换器输出的光子为 $|H\rangle_2$ 或 $|V\rangle_2$,从第三偏振模式转换器输出的光子为 $|H\rangle_3$ 或 $|V\rangle_3$,从第四偏振模式转换器输出的光子为 $|H\rangle_4$ 或 $|V\rangle_4$,则光子从偏振模式转换器输出后的量子态演化为:

$$\begin{aligned}
 |\psi\rangle = & a_1 |0\rangle_{C_m} |H\rangle_1 |H\rangle_4 + a_2 |0\rangle_{C_m} |H\rangle_1 |V\rangle_3 + a_3 |0\rangle_{C_m} |V\rangle_2 |H\rangle_4 + a_4 |0\rangle_{C_m} |V\rangle_2 |V\rangle_3 \\
 [0082] \quad & + a_5 |1\rangle_{C_m} |V\rangle_1 |V\rangle_4 + a_6 |1\rangle_{C_m} |V\rangle_1 |H\rangle_3 + a_7 |1\rangle_{C_m} |H\rangle_2 |V\rangle_4 + a_8 |1\rangle_{C_m} |H\rangle_2 |H\rangle_3
 \end{aligned}$$

[0083] 基于第一半波片和第三半波片的光轴角度为67.5度,则第一半波片和第三半波片引起的量子态演化为:

$$[0084] \quad |H\rangle \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}(-|H\rangle + |V\rangle) \quad |V\rangle \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}(|H\rangle + |V\rangle)$$

[0085] 第二半波片和第四半波片的光轴角度为22.5度,则第二半波片和第四半波片引起的量子态演化为:

$$[0086] \quad |H\rangle \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}(-|H\rangle + |V\rangle) \quad |V\rangle \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}(|H\rangle + |V\rangle)$$

[0087] 基于上述偏振分束器和半波片的功能,则:

$$|H\rangle_1|H\rangle_4 \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}(|H\rangle+|V\rangle)_2 \frac{1}{\sqrt{2}}(|H\rangle+|V\rangle)_4 \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}|H\rangle_{T_{1out}} \frac{1}{\sqrt{2}}|H\rangle_{T_{2out}} + |\psi'\rangle$$

[0088] 其中, $\frac{1}{\sqrt{2}}(|H\rangle+|V\rangle)_2$ 和 $\frac{1}{\sqrt{2}}(|H\rangle+|V\rangle)_4$ 表示第二半波片和第四半波片调制的量子态,

$\frac{1}{\sqrt{2}}(|H\rangle+|V\rangle)_2$ 中的下标2与第二半波片相对应, $\frac{1}{\sqrt{2}}(|H\rangle+|V\rangle)_4$ 中的下标4与第四半波片相对应;

从第三偏振分束器的输出上端输出的光子记为 T_{1out} , 从第四偏振分束器的输出下端输出的光子记为 T_{2out} , $|\psi'\rangle$ 表示除去两个光子分别从第三偏振分束器的输出上端和从第四偏振分束器的输出下端输出的项。以下公式中的符号表示规则与上述表示方法类似,因此不再一一解释。

$$[0089] \quad |H\rangle_1|V\rangle_3 \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}(|H\rangle+|V\rangle)_2 \frac{1}{\sqrt{2}}(|H\rangle+|V\rangle)_3 \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}|H\rangle_{T_{1out}} \frac{1}{\sqrt{2}}|V\rangle_{T_{2out}} + |\psi'\rangle$$

$$[0090] \quad |V\rangle_2|H\rangle_4 \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}(|H\rangle+|V\rangle)_1 \frac{1}{\sqrt{2}}(|H\rangle+|V\rangle)_4 \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}|V\rangle_{T_{1out}} \frac{1}{\sqrt{2}}|H\rangle_{T_{2out}} + |\psi'\rangle$$

$$[0091] \quad |V\rangle_2|V\rangle_3 \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}(|H\rangle+|V\rangle)_1 \frac{1}{\sqrt{2}}(|H\rangle+|V\rangle)_3 \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}|V\rangle_{T_{1out}} \frac{1}{\sqrt{2}}|V\rangle_{T_{2out}} + |\psi'\rangle$$

$$[0092] \quad |V\rangle_1|V\rangle_4 \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}(|H\rangle-|V\rangle)_4 \frac{1}{\sqrt{2}}(|H\rangle-|V\rangle)_2 \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}|H\rangle_{T_{1out}} \frac{1}{\sqrt{2}}|H\rangle_{T_{2out}} + |\psi'\rangle$$

$$[0093] \quad |V\rangle_1|H\rangle_3 \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}(|H\rangle-|V\rangle)_4 \frac{1}{\sqrt{2}}(-|H\rangle+|V\rangle)_1 \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}|V\rangle_{T_{1out}} \frac{1}{\sqrt{2}}|H\rangle_{T_{2out}} + |\psi'\rangle$$

$$[0094] \quad |H\rangle_2|V\rangle_4 \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}(-|H\rangle+|V\rangle)_3 \frac{1}{\sqrt{2}}(|H\rangle-|V\rangle)_2 \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}|H\rangle_{T_{1out}} \frac{1}{\sqrt{2}}|V\rangle_{T_{2out}} + |\psi'\rangle$$

$$[0095] \quad |H\rangle_2|H\rangle_3 \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}(-|H\rangle+|V\rangle)_3 \frac{1}{\sqrt{2}}(-|H\rangle+|V\rangle)_1 \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}}|V\rangle_{T_{1out}} \frac{1}{\sqrt{2}}|V\rangle_{T_{2out}} + |\psi'\rangle$$

[0096] 则光子从第三偏振分束器和第四偏振分束器的输出的量子态演化为:

$$|\psi\rangle = \frac{1}{2}(a_1|0\rangle_{C_{out}}|H\rangle_{T_{1out}}|H\rangle_{T_{2out}} + a_2|0\rangle_{C_{out}}|H\rangle_{T_{1out}}|V\rangle_{T_{2out}} + a_3|0\rangle_{C_{out}}|V\rangle_{T_{1out}}|H\rangle_{T_{2out}}$$

$$[0097] \quad + a_4|0\rangle_{C_{out}}|V\rangle_{T_{1out}}|V\rangle_{T_{2out}} + a_5|1\rangle_{C_{out}}|H\rangle_{T_{1out}}|H\rangle_{T_{2out}} + a_6|1\rangle_{C_{out}}|V\rangle_{T_{1out}}|H\rangle_{T_{2out}} \\ + a_7|1\rangle_{C_{out}}|H\rangle_{T_{1out}}|V\rangle_{T_{2out}} + a_8|1\rangle_{C_{in}}|V\rangle_{T_{1out}}|V\rangle_{T_{2out}}) + |\varphi\rangle$$

[0098] 其中,从控制传输波导输出的光子记为 C_{out} , $|\varphi\rangle$ 表示至少有一个光子输入至第一单光子探测器或第二单光子探测器的项,也即为未归一的量子态。

[0099] 第一偏振模式反向转换器和第二偏振模式反向转换器将接收的 TE_0 模光子直接输出或将接收的 TM_0 模光子转换为 TE_1 模光子输出,因此 $|H\rangle$ 即为 $|0\rangle$, $|V\rangle$ 演化为 $|1\rangle$, 因此最终输出的量子态为:

$$|\psi\rangle = \frac{1}{2}(a_1|0\rangle_{C_{out}}|0\rangle_{T_{1out}}|0\rangle_{T_{2out}} + a_2|0\rangle_{C_{out}}|0\rangle_{T_{1out}}|1\rangle_{T_{2out}} + a_3|0\rangle_{C_{out}}|1\rangle_{T_{1out}}|0\rangle_{T_{2out}}$$

$$[0100] \quad + a_4|0\rangle_{C_{out}}|1\rangle_{T_{1out}}|1\rangle_{T_{2out}} + a_5|1\rangle_{C_{out}}|0\rangle_{T_{1out}}|0\rangle_{T_{2out}} + a_6|1\rangle_{C_{out}}|1\rangle_{T_{1out}}|0\rangle_{T_{2out}} \\ + a_7|1\rangle_{C_{out}}|0\rangle_{T_{1out}}|1\rangle_{T_{2out}} + a_8|1\rangle_{C_{in}}|1\rangle_{T_{1out}}|1\rangle_{T_{2out}}) + |\varphi\rangle$$

[0101] 而初始输入的量子态为：

$$|\psi\rangle = a_1 |0\rangle_{C_{in}} |0\rangle_{T_{1in}} |0\rangle_{T_{2in}} + a_2 |0\rangle_{C_{in}} |0\rangle_{T_{1in}} |1\rangle_{T_{2in}} + a_3 |0\rangle_{C_{in}} |1\rangle_{T_{1in}} |0\rangle_{T_{2in}}$$

$$[0102] \quad + a_4 |0\rangle_{C_{in}} |1\rangle_{T_{1in}} |1\rangle_{T_{2in}} + a_5 |1\rangle_{C_{in}} |0\rangle_{T_{1in}} |0\rangle_{T_{2in}} + a_6 |1\rangle_{C_{in}} |0\rangle_{T_{1in}} |1\rangle_{T_{2in}} \\ + a_7 |1\rangle_{C_{in}} |1\rangle_{T_{1in}} |0\rangle_{T_{2in}} + a_8 |1\rangle_{C_{in}} |1\rangle_{T_{1in}} |1\rangle_{T_{2in}}$$

[0103] 对比初始输入的量子态和最终输出的量子态,以及结合Fredkin量子逻辑门的基础工作原理:当控制比特处于态 $|0\rangle$ 时,两个目标量子比特不变;当控制比特处于态 $|1\rangle$ 时,两个目标量子比特交换它们的状态可知,本申请以1/4的概率实现Fredkin量子逻辑门。

[0104] 基于上述对Fredkin量子逻辑门的结构、工作过程以及原理的描述可知,本申请通过采用4个受控非门以及路径转换模块、偏振模式转换器、偏振分束器、半波片、偏振模式反向转换器、单光子探测器实现基于横向波导模式编码的Fredkin量子逻辑门功能,结构简单紧凑、光路稳定性高,可以通过单片集成工艺在衬底上一体化制作而成且以1/4的概率实现Fredkin量子逻辑门操作。

[0105] 本说明书中各个实施例采用递进、或并列、或递进和并列结合的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处,各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。

[0106] 需要说明的是,在本文中,诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来,而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且,术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含,从而使得包括一系列要素的物品或者设备不仅包括那些要素,而且还包括没有明确列出的其他要素,或者是还包括为这种物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下,由语句“包括一个……”限定的要素,并不排除在包括上述要素的物品或者设备中还存在另外的相同要素。

[0107] 对所公开的实施例的上述说明,使本领域专业技术人员能够实现或使用本申请。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的,本文中所定义的一般原理可以在不脱离本申请的精神或范围的情况下,在其它实施例中实现。因此,本申请将不会被限制于本文所示的这些实施例,而是要符合与本文所公开的原理和和特点相一致的最宽的范围。

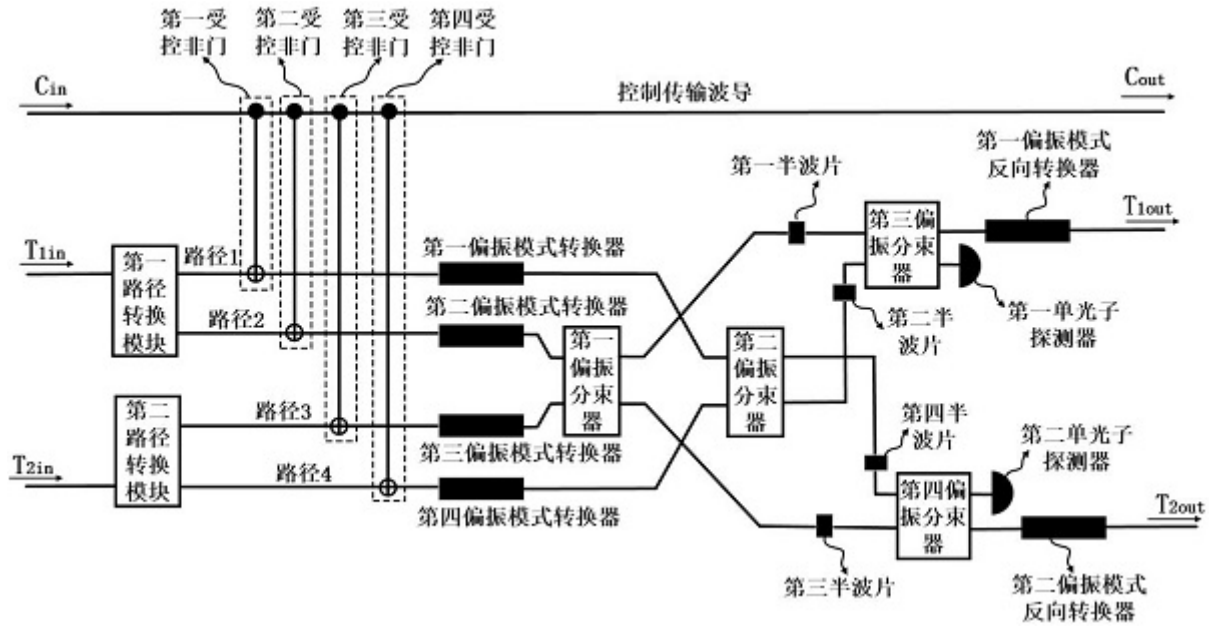


图1

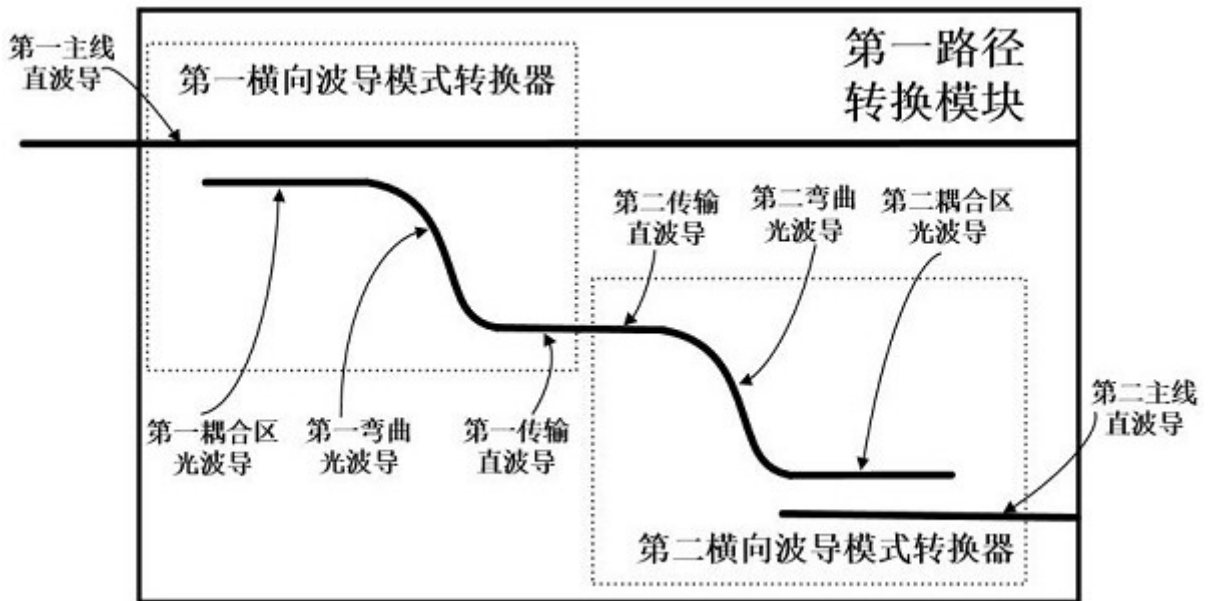


图2

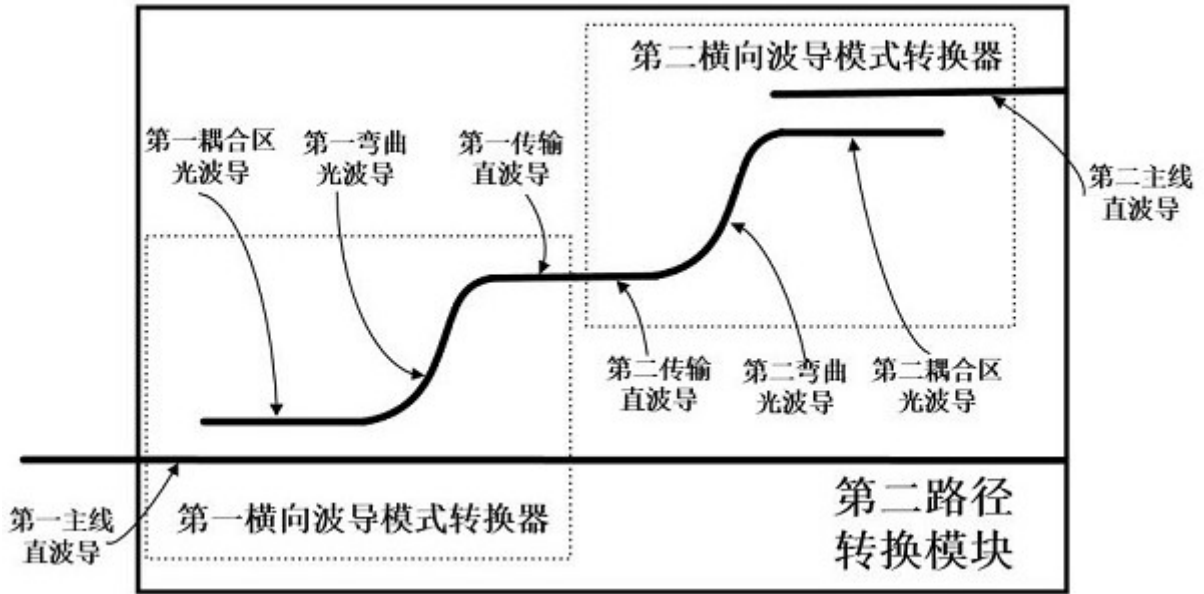


图3

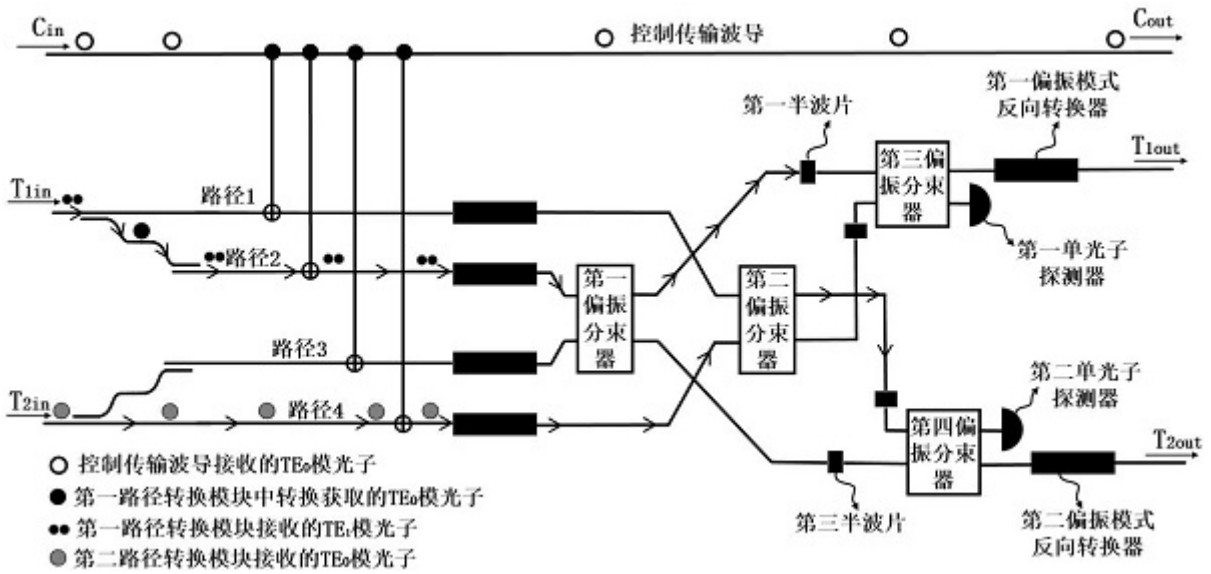


图4

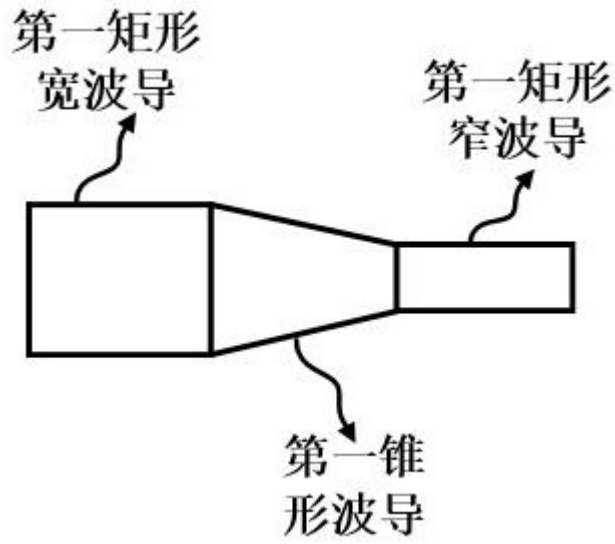


图5

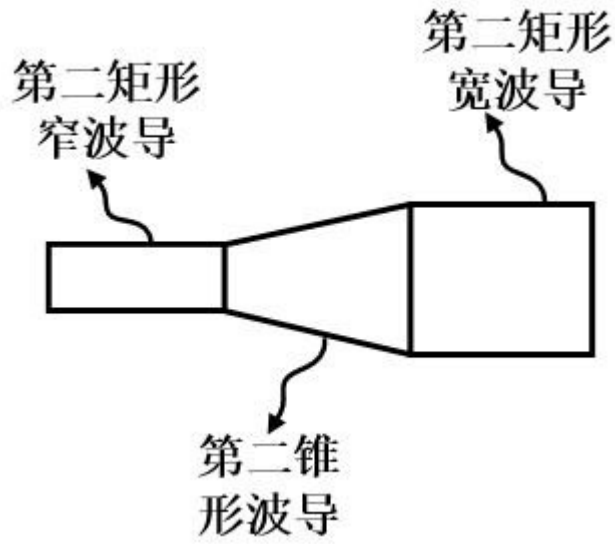


图6