



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102780936 B

(45) 授权公告日 2014. 11. 12

(21) 申请号 201210245590. 5

(22) 申请日 2012. 07. 17

(73) 专利权人 西安电子科技大学  
地址 710071 陕西省西安市太白南路 2 号

(72) 发明人 陈可 顾华玺 杨银堂 王琨  
陈峥 李慧

(74) 专利代理机构 陕西电子工业专利中心  
61205  
代理人 王品华 朱红星

CN 102540345 A, 2012. 07. 04,  
CN 102457782 A, 2012. 05. 16,  
查英 等. 扩展 BANYAN 网络的可重构无阻塞  
8x8 矩阵光开关. 《光学精密工程》. 2007, 第 15  
卷 (第 1 期), 全文.

巴音达拉等. 通过器件共享实现的双向  
无阻塞光互连片上网络. 《小型微型计算机系统》. 2011, 全文.

审查员 郑书鑫

(51) Int. Cl.

H04Q 11/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

- CN 102361467 A, 2012. 02. 22,
- CN 102413039 A, 2012. 04. 11,
- CN 102281478 A, 2011. 12. 14,
- CN 101917333 A, 2010. 12. 15,

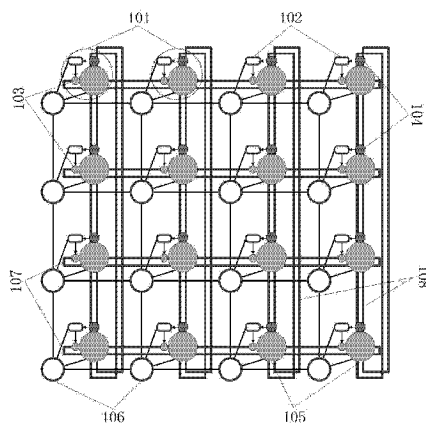
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54) 发明名称

无阻塞通信的光片上网络系统及其通信方法

(57) 摘要

本发明公开了一种无阻塞通信的光片上网络系统及其通信方法, 主要解决现有光片上网络存在的阻塞问题。其包括光传输网络和电控制网络, 光传输网络中的各节点包括 IP 核、发送单元、接收单元和光交换单元, 各发送单元的发送波长固定, 光交换单元由光垂直开关构成, 各接收单元的内部结构相同。其通信方法是: 首先为光传输网络建立二维坐标系, 读取源节点和目的节点的坐标; 其次电控制网络根据源节点和目的节点坐标打开所需的微环谐振器; 最后光传输网络将光信息传输至目的节点进行处理, 同时关闭已打开的微环谐振器。本发明将波分复用技术、空分复用技术和光电路交换技术相结合, 可实现 IP 核之间的无阻塞通信, 提高了网络的资源利用率和吞吐性能。



1. 一种无阻塞通信的光片上网络系统,包括光传输网络和电控制网络,该光片上网络系统的规模为  $N \times N$ ,  $N$  是正偶数,  $4 \leq N \leq 32$ , 其特征在于:

光传输网络,用于传输波长为  $\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_N, \lambda_{N+1}, \dots, \lambda_{2N-1}$  的光信息,它包括  $N^2$  个节点,  $N^2$  个节点按照从左至右,从下至上的方式均匀规则排布,节点之间用波导相连并形成 Torus 拓扑结构,每个节点包括一个能够产生并处理电信息和电控制信息的 IP 核、一个发送单元、一个接收单元和一个光交换单元,发送单元和接收单元均置于 IP 核与光交换单元之间;在光传输网络中,以左下角的节点为坐标原点,水平向右为  $X$  维正方向,竖直向上为  $Y$  维正方向,建立二维坐标系,依次确定所有节点的坐标  $(x, y)$ ,每个节点内的 IP 核、发送单元、接收单元和光交换单元共享该节点的坐标;

发送单元,由一个电光转换单元和一个光平行开关构成,该电光转换单元用于将 IP 核产生的电信息调制为波长是  $\lambda_i$  的光信息,该光平行开关用于将波长是  $\lambda_i$  的光信息耦合进波导,其中  $\lambda_i$  为发送单元的发送波长,发送波长  $\lambda_i$  由节点的坐标决定,  $0 \leq i \leq 2N-1$ ,  $i = \lfloor 2y/N \rfloor \times N + x$ , 其中  $x, y$  分别为发送单元的横坐标和纵坐标,“ $\lfloor \rfloor$ ”为向下取整运算;

光交换单元,由  $N/2$  个光垂直开关构成,该光垂直开关用于控制光信息转向; $N/2$  个光垂直开关水平排成一行,从左至右依次编号为  $0, 1, 2, \dots, N/2-1$ ;

接收单元由  $N/2$  组光平行开关、 $N^2$  个光电转换单元和 1 个处理单元构成;光平行开关用来从垂直波导中提取到达目的节点的光信息,光电转换单元将光信息转换成电信息,处理单元用于对多路电信息的缓存和复用,并依次交予 IP 核处理; $N/2$  组光平行开关,各组从左至右依次编号为  $0, 1, 2, \dots, N/2-1$ 。

2. 根据权利要求 1 所述的无阻塞通信的光片上网络系统,其特征在于,光垂直开关由一根水平波导、一根垂直波导和两个谐振波长不同的微环谐振器构成,该水平波导与垂直波导垂直相交,相交处形成波导交叉点,波导交叉点的左上角与左下角各放置一个微环谐振器,左上角微环谐振器的谐振波长为  $\lambda_j$ , 左下角微环谐振器的谐振波长为  $\lambda_{j+1}$ ,  $0 \leq j \leq 2N-2$ ,  $j = (2y+2k)\%N + \lfloor 2y/N \rfloor \times N$ , 其中  $y$  为光垂直开关所在光交换单元的纵坐标,  $k$  为光垂直开关的编号,“ $\%$ ”为求余运算,“ $\lfloor \rfloor$ ”为向下取整运算;当微环谐振器打开时,实现光信息转向。

3. 根据权利要求 1 所述的无阻塞通信的光片上网络系统,其特征在于,接收单元的每组光平行开关的数量均为  $2N$  个;各组中的  $2N$  个光平行开关垂直排成一列, $N/2$  组光平行开关分别放置于光交换开关单元中  $N/2$  根垂直波导的左侧;每列的  $2N$  个光平行开关,从上到下工作波长依次为  $\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_N, \lambda_{N+1}, \dots, \lambda_{2N-1}$ , 其中奇数序号工作波长的光平行开关用来提取逆时针方向传输的光信息,偶数序号工作波长的光平行开关提取顺时针方向传输的光信息。

## 无阻塞通信的光片上网络系统及其通信方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于通信技术领域,特别涉及无阻塞通信的光片上网络系统,支持芯片上处理器之间的无阻塞通信,提高网络的资源利用率和时延吞吐性能,并支持多到一无阻塞通信。

### 背景技术

[0002] 基于总线结构的片上系统,是将多个 IP 核通过总线互连集成到芯片上,这种片上系统在朝着多核化和异构化方向发展的过程中,由于总线结构的通信效率低、可扩展性差等问题逐渐成为限制片上通信性能的瓶颈。因此,片上网络应运而生。片上网络的核心思想是将计算机网络技术移植到芯片设计中,从而彻底解决总线结构带来的问题。但随着集成电路工艺特征尺寸的进一步缩小,电路集成度和时钟频率的迅速提高,片上网络中电互连带来的带宽有限、功耗较大、信号串扰等问题将成为限制片上网络性能提高的瓶颈。光片上网络通过使用光互连技术,可提供高带宽和低时延,从而解决了电互连面临的带宽瓶颈和功耗限制等诸多问题。

[0003] 现有的光片上网络大多采用光电路交换机制,在源节点发送光信息之前,需要发送电建链信息来预约从源节点到达目的节点的光链路资源,已被预约的链路不能被其它节点使用,从而导致了网络中出现阻塞,降低了网络的资源利用率和吞吐性能。现有的减少网络阻塞的两种方法分别是波分复用方法和空分复用方法。

[0004] 波分复用方法,支持同一波导中同时传输多个不同波长的光信息,可以有效地降低网络中出现阻塞的概率,但是现有实现方案主要通过增加网络中所使用的波长数量减少阻塞。由于目前光片上网络中可用的波长数目有限,单纯使用该技术会限制网络的扩展。

[0005] 空分复用方法,通过增加网络中的波导数目为光信息提供多条传输通道,减少网络阻塞。但随着波导使用数量的增加,波导交叉数增加,从而增加了信号的损耗与串扰。过多的波导也会增大芯片面积和布局复杂度。

[0006] 上述两种方法尽管能减小阻塞发生的概率,却不能真正实现无阻塞通信;同时,这两种方法的资源利用率较低,吞吐性能较差。

### 发明内容

[0007] 本发明的目的在于针对上述已有技术的不足,提出一种无阻塞通信的光片上网络系统,以实现多到一无阻塞通信,提高网络的资源利用率和吞吐性能。

[0008] 为实现上述目的,本发明无阻塞通信的光片上网络系统,包括光传输网络和电控制网络,该光片上网络系统的规模为  $N \times N$ ,  $N$  是正偶数,  $4 \leq N \leq 32$ , 其特征在于:

[0009] 光传输网络,用于传输波长为  $\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_N, \lambda_{N+1}, \dots, \lambda_{2N-1}$  的光信息,它包括  $N^2$  个节点,  $N^2$  个节点按照从左至右,从下至上的方式均匀规则排布,节点之间用波导相连并形成 Torus 拓扑结构,每个节点包括一个能够产生并处理电信息和电控制信息的 IP 核、一个发送单元、一个接收单元和一个光交换单元,发送单元和接收单元均置于 IP 核与

光交换单元之间；在光传输网络中，以左下角的节点为坐标原点，水平向右为 X 维正方向，竖直向上为 Y 维正方向，建立二维坐标系，依次确定所有节点的坐标  $(x, y)$ ，每个节点内的 IP 核、发送单元、接收单元和光交换单元共享该节点的坐标；

[0010] 电控制网络，通过传输电控制信息，控制光传输网络内部单元工作，它包括  $N^2$  个电控制单元，每个电控制单元之间通过电连接，形成 Mesh 拓扑结构。

[0011] 上述无阻塞通信的光片上网络系统，其特征在于，光传输网络中的波导，分为水平波导和垂直波导，该水平波导为单向波导，以沿顺时针方向传输多个波长的信号，该垂直波导为双向波导，以双向传输多个波长的光信号。

[0012] 上述无阻塞通信的光片上网络系统，其特征在于，发送单元由一个电光转换单元和一个光平行开关构成，该电光转换单元用于将 IP 核产生的电信息调制为波长是  $\lambda_i$  的光信息，该光平行开关用于将波长是  $\lambda_i$  的光信息耦合进波导，其中  $\lambda_i$  为发送单元的发送波长，发送波长  $\lambda_i$  由节点的坐标决定， $0 \leq i \leq 2N-1$ ， $i = \lfloor 2y/N \rfloor \times N + x$ ，其中  $x, y$  分别为发送单元的横坐标和纵坐标，“ $\lfloor \rfloor$ ”为向下取整运算。

[0013] 上述无阻塞通信的光片上网络系统，其特征在于，光平行开关由两根平行波导和一个微环谐振器构成，该微环谐振器置于两根平行波导之间，以将一根波导中的光信息耦合进另一根波导中；微环谐振器的谐振波长作为光平行开关的工作波长。

[0014] 上述无阻塞通信的光片上网络系统，其特征在于，光交换单元由  $N/2$  个光垂直开关构成，该光垂直开关用于控制光信息转向； $N/2$  个光垂直开关水平排成一行，从左至右依次编号为  $0, 1, 2, \dots, N/2-1$ ；该光垂直开关由一根水平波导、一根垂直波导和两个谐振波长不同的微环谐振器构成，该水平波导与垂直波导垂直相交，相交处形成波导交叉点，波导交叉点的左上角与左下角各放置一个微环谐振器，左上角微环谐振器的谐振波长为  $\lambda_j$ ，左下角微环谐振器的谐振波长为  $\lambda_{j+1}$ ， $0 \leq j \leq 2N-2$ ， $j = (2y+2k)\%N + \lfloor 2y/N \rfloor \times N$ ，其中  $y$  为光垂直开关所在光交换单元的纵坐标， $k$  为光垂直开关的编号，“ $\%$ ”为求余运算，“ $\lfloor \rfloor$ ”为向下取整运算；当微环谐振器打开时，实现光信息转向。

[0015] 上述无阻塞通信的光片上网络系统，其特征在于，接收单元由  $N/2$  组光平行开关、 $N^2$  个光电转换单元和 1 个处理单元构成；光平行开关用来从垂直波导中提取到达目的节点的光信息，光电转换单元将光信息转换成电信息，处理单元用于对多路电信息的缓存和复用，并依次交予 IP 核处理； $N/2$  组光平行开关，各组从左至右依次编号为  $0, 1, 2, \dots, N/2-1$ 。每组光平行开关的数量均为  $2N$  个；各组中的  $2N$  个光平行开关垂直排成一列， $N/2$  组光平行开关分别放置于光交换开关单元中  $N/2$  根垂直波导的左侧；每列的  $2N$  个光平行开关，从上到下工作波长依次为  $\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_N, \lambda_{N+1}, \dots, \lambda_{2N-1}$ ，其中奇数序号工作波长的光平行开关用来提取顺时针方向传输的光信息，偶数序号工作波长的光平行开关提取逆时针方向传输的光信息。

[0016] 为实现上述目的，本发明的通信方法，包括如下步骤：

[0017] (1) 为  $N \times N$  规模的光传输网络的  $N^2$  个节点建立二维坐标系：以左下角第一个节点为坐标原点，自左向右为 X 维正方向，自下而上为 Y 维正方向，依次确定所有节点的坐标值  $(x, y)$ ，每个节点内的所有单元共享该节点的坐标；

[0018] (2) 根据步骤 (1) 所建立的二维坐标系，读取源节点的纵坐标  $y_s$  和源节点内发送单元的发送波长  $\lambda_i$ ，读取目的节点的横坐标  $x_d$ ，确定坐标为  $(x_d, y_s)$  的节点，读取该节点内

谐振波长为  $\lambda_i$  的微环谐振器所在光垂直开关的编号  $k$ ；

[0019] (3) 源节点的 IP 核向电控制网络发送电控制信息,电控制网络通过传输电控制信息,依次打开源节点发送单元的光平行开关中谐振波长为  $\lambda_i$  的微环谐振器、坐标为  $(x_d, y_s)$  的节点中光交换单元中谐振波长为  $\lambda_i$  的微环谐振器和目的节点接收单元的第  $k$  组光平行开关中谐振波长为  $\lambda_i$  的微环谐振器；

[0020] (4) 源节点的发送单元将 IP 核发送的电信息调制为波长为  $\lambda_i$  的光信息,该光信息经光传输网络传输至目的节点,目的节点从垂直波导中提取光信息,将光信息转换成电信息,并对电信息进行缓存和复用后交予目的节点的 IP 核进行相应处理,本次通信结束；

[0021] (5) 本次通信结束后,电控制网络再次通过传输电控制信息,关闭步骤(3)中打开的微环谐振器,准备下次通信。

[0022] 本发明与现有技术相比具有以下优点：

[0023] 第一,由于本发明的光传输网络采用 Torus 拓扑结构,并结合光交换单元特有的结构设计,可实现 IP 核之间的多到一无阻塞通信。

[0024] 第二,由于本发明采用了波分复用与空分复用相结合的技术,平衡了光片上网络中波长和波导的使用数目,简化了光交换单元的设计,增强了网络的扩展性能。

[0025] 第三,由于本发明将波分复用技术、空分复用技术和光电路交换技术相结合,有效地降低了网络的通信时延,并提高了网络的资源利用率和吞吐性能。

## 附图说明

[0026] 图 1 为本发明无阻塞通信的光片上网络系统示意图；

[0027] 图 2 为本发明光传输网络的节点内部结构示意图；

[0028] 图 3 为本发明发送单元中光平行开关的工作原理示意图；

[0029] 图 4 为本发明光交换单元中光垂直开关的工作原理示意图；

[0030] 图 5 为本发明光垂直开关内的微环谐振器谐振波长分配示意图；

[0031] 图 6 为本发明无阻塞通信的光片上网络通信流程图。

## 具体实施方式

[0032] 为更清楚的介绍本发明提出的无阻塞通信的光片上网络系统,下面将结合附图和具体实例进行详细说明。

[0033] 参照图 1,本发明提出的无阻塞通信的光片上网络系统,包括光传输网络和电控制网络两部分,光片上网络系统的规模为  $4 \times 4$ 。其中,光传输网络用于传输波长为  $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7$  的光信息,它包括 16 个节点 101,16 个节点按照从左至右,从下至上的方式均匀规则排布,节点之间用波导相连并形成 Torus 拓扑结构,每个节点包括 1 个能够产生并处理电信息和电控制信息的 IP 核 102、1 个发送单元 103、1 个接收单元 104 和 1 个光交换单元 105；在光传输网络中,以左下角的节点为坐标原点,水平向右为 X 维正方向,竖直向上为 Y 维正方向,建立二维坐标系,依次确定所有节点的坐标  $(x, y)$ ,每个节点内的 IP 核、发送单元、接收单元和光交换单元共享该节点的坐标；电控制网络,通过传输电控制信息,控制光传输网络内部单元工作,它包括 16 个电控制单元 106,每个电控制单元之间通过电连接,形成 Mesh 拓扑结构。

[0034] 光传输网络中的波导,分为水平波导 107 和垂直波导 108,该水平波导为单向波导,以沿顺时针方向传输多个波长的信号,该垂直波导为双向波导,以双向传输多个波长的光信号。

[0035] 参照图 2,发送单元由 1 个电光转换单元 201 和 1 个光平行开关 202 构成;该电光转换单元用于将 IP 核产生的电信息调制为波长是  $\lambda_i$  的光信息,该光平行开关用于将波长是  $\lambda_i$  的光信息耦合进水平波导,其中  $\lambda_i$  为发送单元的发送波长,  $0 \leq i \leq 7$ ,  $i = \lfloor 2y/4 \rfloor \times 4 + x$ , 其中  $x$ 、 $y$  分别为发送单元的横坐标和纵坐标,“ $\lfloor \cdot \rfloor$ ”为向下取整运算。光交换单元由两个光垂直开关 203 构成,该光垂直开关用于控制光信息转向;这两个光垂直开关水平排成一行,左边的光垂直开关编号为 0,右边的光垂直开关编号为 1。接收单元由 2 组光平行开关 202、16 个光电转换单元 204 和 1 个处理单元 205 构成;每组光平行开关的数量均为 8 个;各组中的 8 个光平行开关垂直排成一列,2 组光平行开关分别放置于光交换单元中 2 根垂直波导的左侧;每列的 8 个光平行开关,从上到下工作波长依次为  $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7$ , 其中奇数序号工作波长的光平行开关用来提取顺时针方向传输的光信息,偶数序号工作波长的光平行开关提取逆时针方向传输的光信息。光平行开关用来从垂直波导中提取到达目的节点的光信息,光电转换单元将光信息转换成电信息,处理单元用于对多路电信息的缓存和复用,并依次交予 IP 核处理。

[0036] 参照图 3,光平行开关由两根平行波导 301 和一个微环谐振器 302 构成,该微环谐振器置于两根平行波导之间,通过调整微环谐振器的状态控制光信息的传输路径,当微环谐振器在打开状态时,一根波导中的光信息耦合进另一根波导中传输,如图 3(a) 所示,当微环谐振器在关闭状态时,光信息继续在原波导中传输,如图 3(b) 所示;微环谐振器的谐振波长作为光平行开关的工作波长。

[0037] 参照图 4,光垂直开关由一根水平波导 401、一根垂直波导 402 和两个谐振波长不同的微环谐振器构成,该水平波导与垂直波导垂直相交,相交处形成波导交叉点,波导交叉点的左上角与左下角各放置一个微环谐振器,左上角微环谐振器 403 的谐振波长为  $\lambda_j$ , 左下角微环谐振器 404 的谐振波长为  $\lambda_{j+1}$ ,  $0 \leq j \leq 6$ ,  $j = (2y+2k)\%4 + \lfloor 2y/4 \rfloor \times 4$ , 其中  $y$  为光垂直开关所在光交换单元的纵坐标,  $k$  为光垂直开关的编号,“ $\%$ ”为求余运算,“ $\lfloor \cdot \rfloor$ ”为向下取整运算;通过调整两个微环谐振器的状态控制光信息的传输方向,若左上角微环谐振器在关闭状态、左下角微环谐振器在打开状态,则光信息偏转向下传输,如图 4(a) 所示,若左上角微环谐振器在打开状态、左下角微环谐振器在关闭状态,则光信息偏转向上传输,如图 4(b) 所示,若左上角微环谐振器与左下角微环谐振器均在关闭状态,则光信息继续向前传输,如图 4(c) 所示。

[0038] 参照图 5,对于坐标为 (1, 1) 的光垂直开关 501,它的纵坐标  $y$  值为 1,它的编号  $k$  值为 0,  $j = (2 \times 1 + 2 \times 0)\%4 + \lfloor 2 \times 1/4 \rfloor \times 4 = 2$ , 光垂直开关 501 的左上角放置谐振波长确定为  $\lambda_2$  的微环谐振器,左下角放置谐振波长确定为  $\lambda_3$  的微环谐振器;从而依次在各个光垂直开关中,放置所需谐振波长的微环谐振器。

[0039] 参照图 6,本发明的通信方法,包括如下步骤:

[0040] 步骤 1,为光传输网络的 16 个节点建立二维坐标系:以左下角第一个节点为坐标原点,自左向右为 X 维正方向,自下而上为 Y 维正方向,依次确定所有节点的坐标值  $(x, y)$ , 每个节点内的所有单元共享该节点的坐标。

[0041] 步骤2,根据步骤1所建立的二维坐标系,读取源节点的纵坐标  $y_s$  和源节点内发送单元的发送波长  $\lambda_i$ ,读取目的节点的横坐标  $x_d$ ,确定坐标为  $(x_d, y_s)$  的节点,读取该节点内谐振波长为  $\lambda_i$  的微环谐振器所在光垂直开关的编号  $k$ ;

[0042] 步骤3,源节点的IP核向电控制网络发送电控制信息,电控制网络通过传输电控制信息,依次打开源节点发送单元的光平行开关中谐振波长为  $\lambda_i$  的微环谐振器、坐标为  $(x_d, y_s)$  的节点中光交换单元中谐振波长为  $\lambda_i$  的微环谐振器和目的节点接收单元的第  $k$  组光平行开关中谐振波长为  $\lambda_i$  的微环谐振器;

[0043] 步骤4,源节点的发送单元将IP核发送的电信息调制为波长为  $\lambda_i$  的光信息,该光信息经光传输网络传输至目的节点,目的节点从垂直波导中提取光信息,将光信息转换成电信息,并对电信息进行缓存和复用后交予目的节点的IP核;

[0044] 步骤5,目的节点的IP核对电信息进行相应处理:该相应处理是根据目的节点的IP核的类型确定,对于处理器类型的IP核,其相应处理是指对电信息进行计算处理,对于存储器类型的IP核,其相应处理是指对电信息进行存储处理,对于译码器类型的IP核,其相应处理是指对电信息进行译码处理;目的节点的IP核对电信息进行所述的相应处理后本次通信结束。

[0045] 步骤6,本次通信结束后,电控制网络再次通过传输电控制信息,关闭步骤3中打开的微环谐振器,准备下次通信。

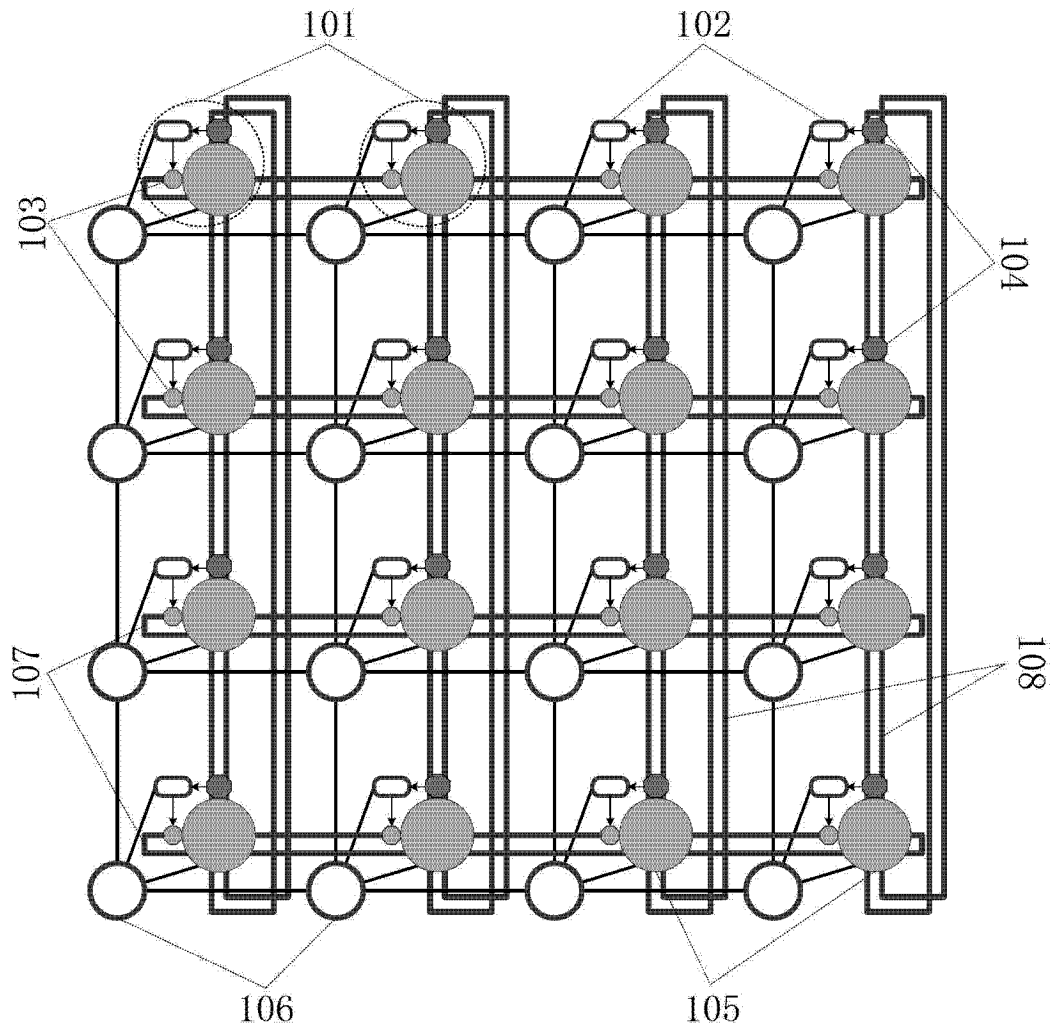


图 1

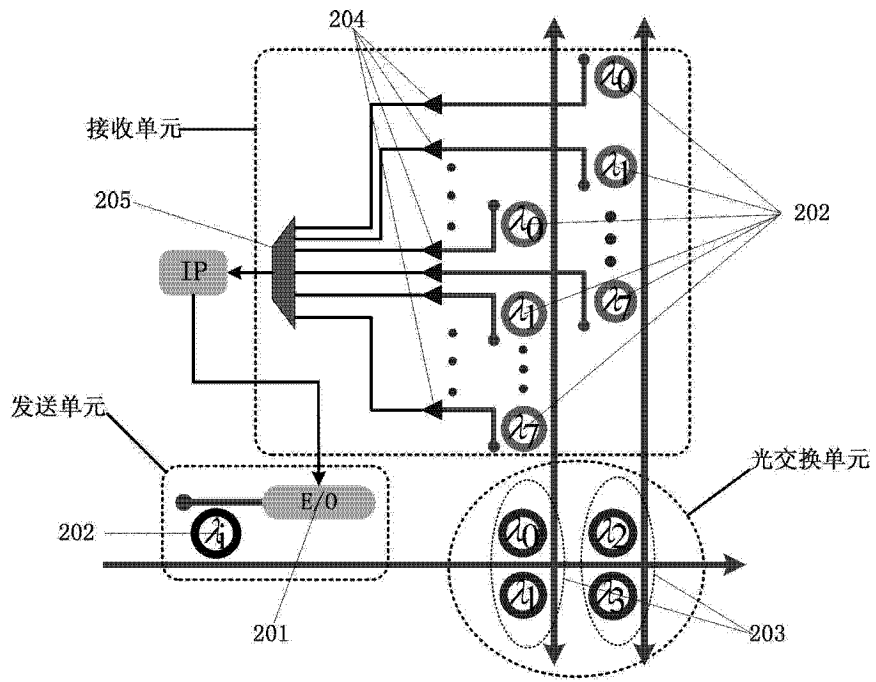


图 2

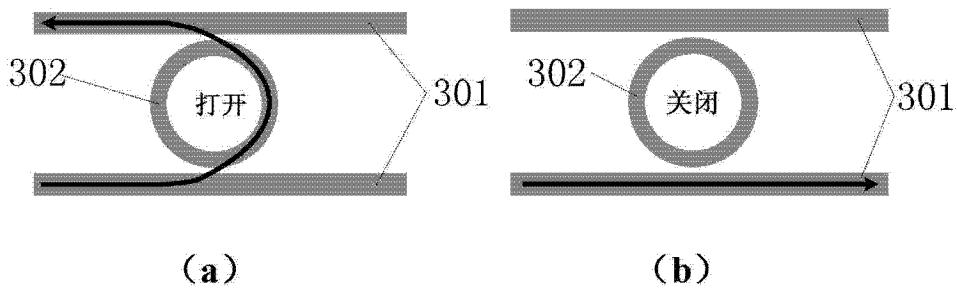


图 3

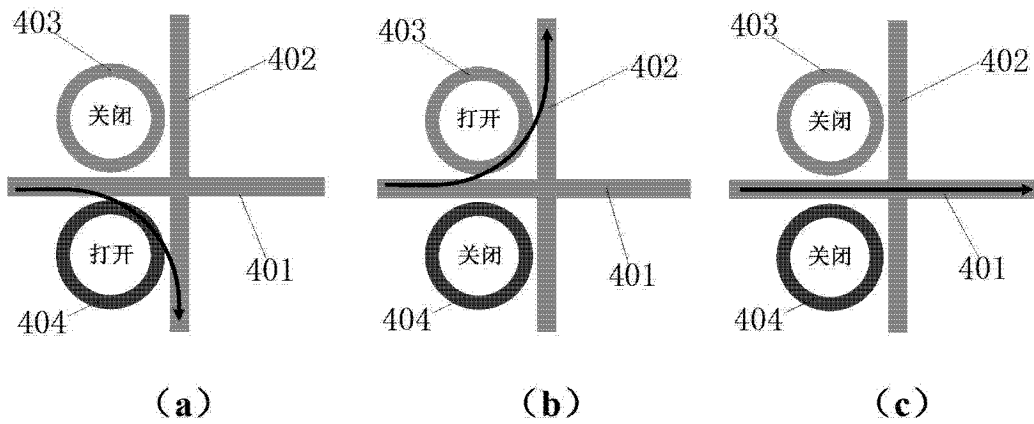


图 4

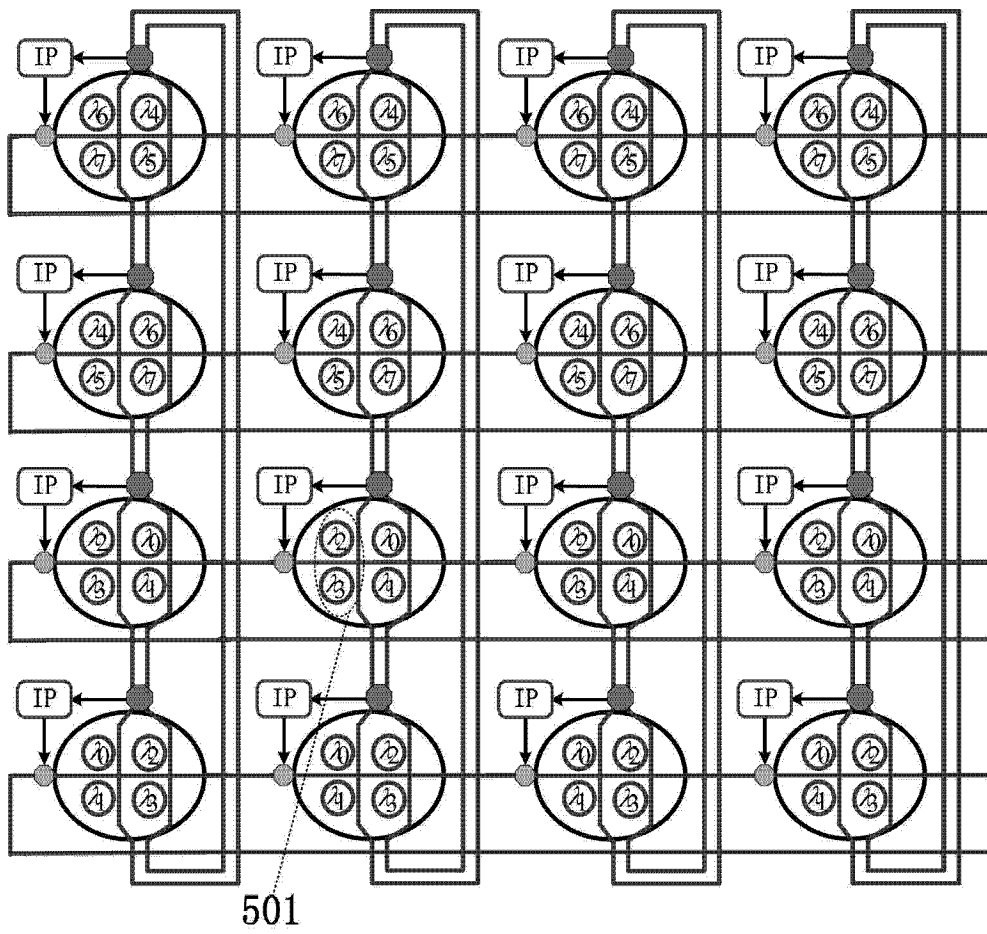


图 5

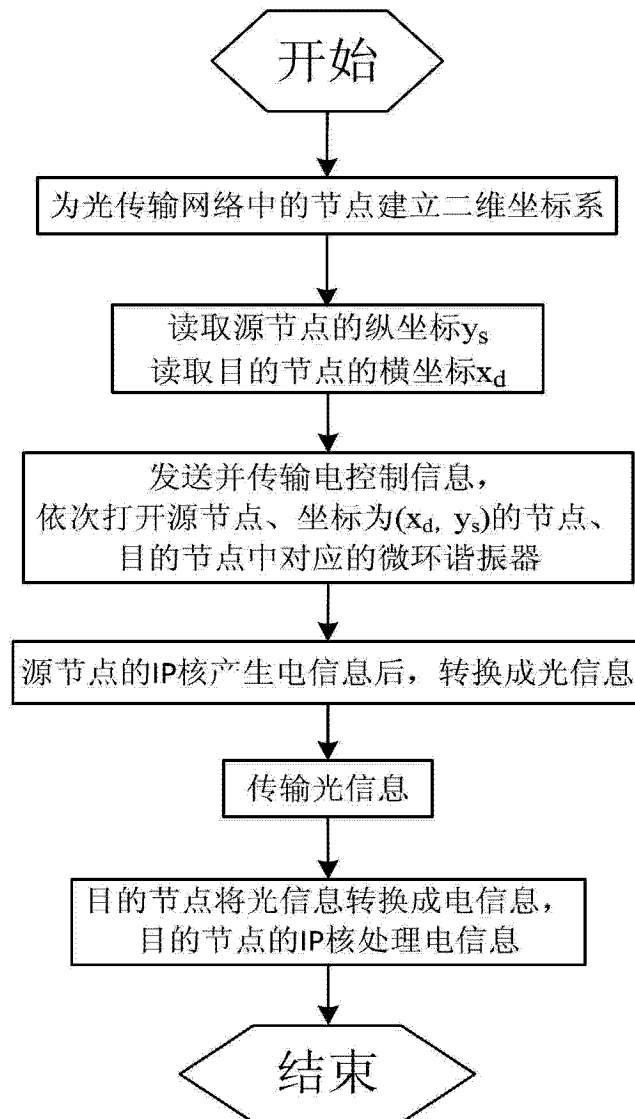


图 6