



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104503185 A

(43) 申请公布日 2015. 04. 08

(21) 申请号 201410774351. 8

(22) 申请日 2014. 12. 16

(71) 申请人 兰州大学

地址 730000 甘肃省兰州市城关区天水南路
222 号

(72) 发明人 田永辉 赵永鹏 李德钊 刘子龙
肖恢芙 赵国林 吴小所 杨建红

(74) 专利代理机构 甘肃省知识产权事务中心
62100

代理人 周立新

(51) Int. Cl.

G02F 3/00(2006. 01)

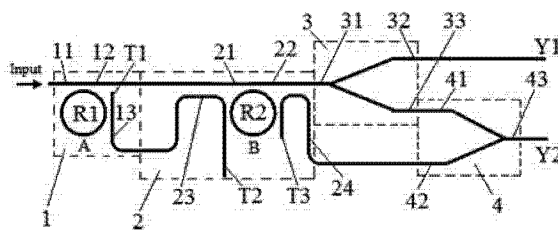
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于微环谐振器的二进制光学减法器

(57) 摘要

本发明提供了一种基于微环谐振器的二进制光学减法器,由两个微环谐振器和两个 Y 分支耦合器组成,该二进制光学半减器有两个待计算的电脉冲序列输入,输出的是经过计算后的光脉冲序列,本发明二进制光学加法器制作工艺与 COMS 工艺完全兼容,使得器件体积小、速度快、功耗低、便于集成,有望在光子计算机中发挥重要的作用。



1. 一种基于微环谐振器的二进制光学减法器,其特征在于,该光学减法器由用绝缘体上的半导体材料制成的两个微环谐振器 MRR 和 2 根 Y 分支耦合器构成。

2. 根据权利要求 1 所述的基于微环谐振器的二进制光学减法器,其特征在于,所述的两个微环谐振器 MRR 为第一微环谐振器(1)和第二微环谐振器(2),2 根 Y 分支耦合器为第一 Y 分支耦合器(3)和第二 Y 分支耦合器(4);

第一微环谐振器(1)包括第一硅基纳米线微环(R1)、第一输入光波导(11)、第一直通光波导(12)和第一下载光波导(13),第一微环谐振器(1)带有硅基电光调制器或硅基热光调制器;

第二微环谐振器(2),第二微环谐振器(2)包括第二硅基纳米线微环(R2)、第二输入光波导(21)、第二直通光波导(22)、第三输入光波导(23)和第二下载光波导(24),第二输入光波导(21)与第一直通光波导(12)相连,第三输入光波导(23)与第一下载光波导(13)相连;第二微环谐振器(2)带有硅基电光调制器或硅基热光调制器;

第一 Y 分支耦合器(3),第一 Y 分支耦合器(3)包括第四输入光波导(31)、第一输出光波导(32)和第一 Y 分支直通光波导(33);第四输入光波导(31)位于第一 Y 分支耦合器(3)的主直波导上,且与第二直通光波导(22)相连,第一输出光波导(32)和第一 Y 分支直通光波导(33)分别位于第一 Y 分支耦合器(3)的两个分支直波导上;

第二 Y 分支耦合器(4),第二 Y 分支耦合器(4)包括第五输入光波导(41)、第六输入光波导(42)和第二输出光波导(43),第五输入光波导(41)和第六输入光波导(42)分别位于第二 Y 分支耦合器(4)的两个分支直波导上,且第五输入光波导(41)与第一 Y 分支直通光波导(33)相连,第六输入光波导(42)与第二下载光波导(24)相连,第二输出光波导(43)位于第二 Y 分支耦合器(4)的主直波导上。

3. 根据权利要求 2 所述的基于微环谐振器的二进制光学减法器,其特征在于,第一输入光波导(11)、第一直通光波导(12)、第二输入光波导(21)和第二直通光波导(22)依次位于同一根水平设置的直的第一波导上,该第一波导的一端与第一 Y 分支耦合器(3)的主直波导相连接;第一下载光波导(13)和第三输入光波导(23)位于水平设置的“S”形的第二波导上,第一下载光波导(13)位于该第二波导朝向第一硅基纳米线微环(R1)的分段上,该分段的端部为第一光卸载端口(T1),第一光卸载端口(T1)朝向第一波导;第二波导朝向第二硅基纳米线微环(R2)的分段的端部为第二光卸载端口(T2),第二光卸载端口(T2)远离第一波导;第二波导中与朝向第二硅基纳米线微环(R2)的分段相连接的分段上设有第三输入光波导(23),第二硅基纳米线微环(R2)设有第三输入光波导(23)的分段朝向第一波导;第二下载光波导(24)位于倒“U”形的第三波导上,第三波导朝向第二硅基纳米线微环(R2)的分段的端部为第三光卸载端口(T3),第三光卸载端口(T3)远离第一波导,第三波导远离第二硅基纳米线微环(R2)的分段上设有第二下载光波导(24),该设置第二下载光波导(24)的分段与第二 Y 分支耦合器(4)中设置第六输入光波导(42)的分支直波导相连。

一种基于微环谐振器的二进制光学减法器

技术领域

[0001] 本发明属于光学逻辑计算领域,涉及一种适用于光通信和光计算领域的基于微环谐振器的二进制光学减法器。

背景技术

[0002] 随着半导体技术的继续发展,芯片或集成电路的集成度越来越高,集成元件的尺寸进一步缩小,传统电学器件的漏电与散热问题无法很好的解决,线路的时钟扭曲和电磁干扰也越来越严重。越来越多的迹象表明,光信息处理与光计算作为代替传统的电信息处理的一种方案具有非常光明的前景。光信号传输的并行性使得光学系统有比电学系统更宽的信息通道;用光互连代替导线互连、光子硬件代替电子硬件、以光运算代替电运算,由光纤与各种光学元件构成集成光路,可以大大提高对数据运算、传输和存储的能力,而光学逻辑器件是光计算网络中必不可少的元件,此外光子器件的耗能极低,因此光子器件已经引起了越来越多科研人员的注意。

[0003] 计算机运算都是二进制数计算,减法运算作为四种最基本的计算之一显然具有重要的意义,事实上在通信领域信号处理与分析、数学领域求解微分方程等方面二进制减法器都是不可或缺的工具。

[0004] 现有的光学减法器主要是基于非线性光学原理,如基于半导体光放大器(SOA)的全光减法器,该减法器在工作时需要使用高强度的激光作为泵浦光,实际运算过程中很难操作,而且在制作工艺方面不能与当前标准的CMOS工艺兼容,不利于大规模的集成和生产。

发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种基于微环谐振器的二进制光学减法器,不需要使用强激光作为泵浦光,易于操作。

[0006] 为实现上述目的,本发明所采用的技术方案是:一种基于微环谐振器的二进制光学减法器,由用绝缘体上的半导体材料制成的两个微环谐振器MRR和2根Y分支耦合器构成。

[0007] 本发明二进制光学减法器具有如下优点:

1、利用了光的自然特性实现的光学减法器代替传统的电学减法器,没有传统电学器件的电磁效应以及寄生电阻电容的影响,从而可以实现高速大容量的信息处理。

[0008] 2、采用的是绝缘衬底上的硅材料SOI,是指在 SiO_2 绝缘层上生长一层具有一定厚度的单晶硅薄膜,利用SOI材料制成的硅波导,其芯层是Si(折射率为3.45),包层是 SiO_2 (折射率为1.45),这样包层和芯层的折射率差很大,所以该波导对光场的限制能力很强使得其弯曲半径可以很小,利于大规模集成。

[0009] 3、仅由二个微环谐振器和两个Y型分支耦合器、两根弯曲波导构成,其中没有交叉,故整体器件损耗较小。

[0010] 4、采用现有的 CMOS 工艺制成,使得器件体积小,功耗低,扩展性好,便于与其他元件整合。

[0011] 5、有两个待计算的电学脉冲序列输入,输出是两个经过减法计算的光脉冲序列。

附图说明

[0012] 图 1 是本发明光学减法器的结构示意图。

[0013] 图 2 是本发明光学减法器中第一微环谐振器的结构示意图。

[0014] 图 3 是本发明光学减法器中第二微环谐振器的结构示意图。

[0015] 图 4 是本发明光学减法器中第一 Y 分支耦合器的结构示意图。

[0016] 图 5 是本发明光学减法器中第二 Y 分支耦合器的结构示意图。

[0017] 图 6 是本发明电光优先编码器中带硅基热光调制器的微环谐振器 MRR 的电极的结构示意图。

[0018] 图 7 是本发明电光优先编码器中带硅基电光调制器的微环谐振器 MRR 的电极的结构示意图。

[0019] 图中:1. 第一微环谐振器,2. 第二微环谐振器,3. 第一 Y 分支耦合器,4. 第二 Y 分支耦合器,5. Si 衬底,6. SiO₂ 层,7. 发热电极,8. 硅基光波导;

11. 第一输入光波导,12. 第一直通光波导,13. 第一下载光波导,21. 第二输入光波导,22. 第二直通光波导,23. 第三输入光波导,24. 第二下载光波导,31. 第四输入光波导,32. 第一输出光波导,33. 第一 Y 分支直通光波导,41. 第五输入光波导,42. 第六输入光波导,43. 第二输出光波导,T1. 第一光卸载端口,T2. 第二光卸载端口,T3. 第三光卸载端口。

具体实施方式

[0020] 下面结合附图和具体实施方式对本发明做进一步说明。

[0021] 如图 1 所示,本发明二进制光学减法器,包括:

结构如图 2 所示的第一微环谐振器 1,第一微环谐振器 1 包括第一硅基纳米线微环 R1、第一输入光波导 11、第一直通光波导 12 和第一下载光波导 13,第一微环谐振器 1 带有硅基电光调制器或硅基热光调制器;

结构如图 3 所示的第二微环谐振器 2,第二微环谐振器 2 包括第二硅基纳米线微环 R2、第二输入光波导 21、第二直通光波导 22、第三输入光波导 23 和第二下载光波导 24,第二输入光波导 21 与第一微环谐振器 1 中的第一直通光波导 12 相连,第三输入光波导 23 与第一微环谐振器 1 第一下载光波导 13 相连;第二微环谐振器 2 带有硅基电光调制器或硅基热光调制器;

结构如图 4 所示的第一 Y 分支耦合器 3,第一 Y 分支耦合器 3 包括第四输入光波导 31、第一输出光波导 32 和第一 Y 分支直通光波导 33;第四输入光波导 31 位于第一 Y 分支耦合器 3 的主直波导上,且与第二直通光波导 22 相连,第一输出光波导 32 和第一 Y 分支直通光波导 33 分别位于第一 Y 分支耦合器 3 的两个分支直波导上;

结构如图 5 所示的第二 Y 分支耦合器 4,第二 Y 分支耦合器 4 包括第五输入光波导 41、第六输入光波导 42 和第二输出光波导 43,第五输入光波导 41 和第六输入光波导 42 分别位于第二 Y 分支耦合器 4 的两个分支直波导上,且第五输入光波导 41 与第一 Y 分支直通光波

导 33 相连,第六输入光波导 42 与第二下载光波导 24 相连,第二输出光波导 43 位于第二 Y 分支耦合器 4 的主直波导上;

第一输入光波导 11、第一直通光波导 12、第二输入光波导 21 和第二直通光波导 22 依次位于同一根水平设置的直的第一波导上,该第一波导的一端与第一 Y 分支耦合器 3 的主直波导相连接;第一下载光波导 13 和第三输入光波导 23 位于水平设置的“S”形的第二波导上,第一下载光波导 13 位于该第二波导朝向第一硅基纳米线微环 R1 的分段上,该分段的端部为第一光卸载端口 T1,第一光卸载端口 T1 朝向第一波导;第二波导朝向第二硅基纳米线微环 R2 的分段的端部为第二光卸载端口 T2,第二光卸载端口 T2 远离第一波导;第二波导中与朝向第二硅基纳米线微环 R2 的分段相连接的分段上设有第三输入光波导 23,设有第三输入光波导 23 的分段朝向第一波导;第二下载光波导 24 位于倒“U”形的第三波导上,第三波导朝向第二硅基纳米线微环 R2 的分段的端部为第三光卸载端口 T3,第三光卸载端口 T3 远离第一波导,第三波导远离第二硅基纳米线微环 R2 的分段上设有第二下载光波导 24,该设置第二下载光波导 24 的分段与第二 Y 分支耦合器 4 中设置第六输入光波导 42 的分支直波导相连。

[0022] 硅基热光调制器的微环谐振器 MRR 的电极,如图 6 所示,Si 衬底 5 上有 SiO₂层 6, SiO₂层 6 上有硅基光波导 8,在硅基光波 8 的上方铺设了一层发热电极 7。在发热电极 7 的引线上施加电压,会有电流通过电极,该电流会产生热量通过热辐射的方式改变硅基光波导 8 的温度,从而改变环形波导的有效折射率 N_{eff} ,继而改变 MRR 的谐振波长,实现动态滤波。

[0023] 可以看出硅基热光调制器和图 7 所示的硅基电光调制器的调制原理是不相同的,硅基热光调制器是依靠改变硅基光波导的温度来改变波导的有效折射率。硅基电光调制器是依靠改变轨迹光波导中的载流子浓度来改变波导的折射率;由于热辐射的速度远远慢于载流子湮灭的速度。所以电光调制的速度远远大于热光调制的速度,但因为对波导掺杂的原因,电光调制器的结构要比热光调制器的结构更复杂,制作过程也更简单。故一般在需要高速的情形下使用硅基电光调制,而在对器件响应速度要求不高的场合采用硅基热光调制。

[0024] 第一硅基纳米线微环 R1 的结构参数与第二硅基纳米线微环 R2 的结构参数稍有不同,但通过对其中一个微环热调制或者 p-i-n 机构光电调制将该微环工作谐振波与另一微环工作波长调制一致,此波长即为输入光信号的波长。当入射的光信号满足谐振条件 ($m \times l = N_{\text{eff}} \times 2p \times r$) 时,光信号会通过倏逝场耦合作用从波导耦合进入微环,此时,如有除入射以外的光波导存在,微环中的光信号同样会通过倏逝场耦合作用从微环耦合进波导;谐振条件 ($m \times l = N_{\text{eff}} \times 2p \times r$) 中的 m 表示微环谐振级次,其值为正整数, l 为谐振波长, N_{eff} 为波导的有效折射率, r 为微环的半径。

[0025] 下面通过分析光信号在图 2 和图 3 所示的微环谐振器以及图 4 和图 5 所示的 Y 分支耦合器中光的传输过程,简要说明本发明二进制光学减法器的工作原理:

对于图 2 所示的第一微环谐振器 1,假定光信号由第一输入光波导 11 输入,当光信号经过耦合区(第一输入光波导 11 和第一直通光波导 12 与第一硅基纳米线微环 R1 距离最近的一个范围)时,光信号通过倏逝场耦合作用进入第一硅基纳米线微环 R1 中,第一硅基纳米线微环 R1 中的光信号也会通过倏逝场耦合作用耦合进入第一下载光波导 13 中。对于满足谐

振条件($m \times l = N_{\text{eff}} \times 2p \times r$)的光信号,在从微环耦合到第一直通光波导 12 时,由于两路光信号的相位差导致的相消干涉,会在第一直通光波导 12 中发生消光现象;而不满足该谐振条件的光由于相位差不能满足相消干涉条件,故光信号可以看作毫无影响的通过耦合区从第一直通光波导 12 输出。

[0026] 对于图 3 所示的第二微环谐振器 2,假定光信号由第二输入光波导 21 输入(从第一输入端 11 输入的光信号不满足第一硅基纳米线微环 R1 的谐振条件),当光信号经过耦合区(第二输入光波导 21 和第二直通光波导 22 与第二硅基纳米线微环 R2 距离最近的一个范围)时,满足谐振条件($m \times l = N_{\text{eff}} \times 2p \times r$)的光信号通过倏逝场耦合作用进入第二硅基纳米线微环 R1 中,第二硅基纳米线微环 R2 中的光信号也会通过倏逝场耦合作用耦合进入第二下载光波导 24 和第三输入光波导 23 中,并分别通过第三光卸载端口 T3 和第一光卸载端口 T1 卸载;对于满足谐振条件($m \times l = N_{\text{eff}} \times 2p \times r$)的光信号,在从微环耦合到第二直通光波导 22 时,由于两路光信号的相位差,光信号与第二输入光波导 21 中未被耦合进入第二硅基纳米线微环 R2 的部分相消,故而在第二直通光波导 22 中检测不到谐振波长处的光波,而不满足谐振条件的光可以看作毫无影响的通过耦合区从第二直通光波导 23 输出。当光信号由第三输入光波导 23 输入(从第一输入端输入的光信号满足第一硅基纳米线微环 R1 的谐振条件)时,光信号经过耦合区(第三输入光波导 23 和第二光卸载端口 T2 与第二硅基纳米线微环 R2 距离最近的一个范围)时,满足谐振条件($m \times l = N_{\text{eff}} \times 2p \times r$)的光信号通过倏逝场耦合作用进入第二硅基纳米线微环 R2 中,第二硅基纳米线微环 R2 中的光信号也会通过倏逝场耦合作用耦合进入第二下载光波导 24 输出;而不满足谐振条件的光可以看作毫无影响的通过耦合区从第二光卸载端口 T2 卸载。

[0027] 对于图 4 所示的第一 Y 分支耦合器 3,当光信号从第四输入光波导 31 输入,通过第一 Y 分支耦合器 3 将光信号均分为两束,分别从第一输出光波导 32 和第一 Y 分支直通波导 33 输出。

[0028] 对于图 5 所示的第二 Y 分支耦合器 4,当光信号从第五输入光波导 41 输入,或通过第六输入光波导 42 输入,通过第二 Y 分支耦合器 4 将光信号合为一束光信号,从第二输出光波导 43 输出。

[0029] 上面分析的是静态的微环谐振器工作特性,总结而言,微环谐振器会固定的是某些波长(满足谐振条件的波长)的信号被下载,某些波长的信号直通(不满足谐振条件的波长);本器件工作时,还需要微环谐振器的谐振波长动态可调。由谐振条件($m \times l = N_{\text{eff}} \times 2p \times r$)看出,改变硅基纳米线微环的半径 R 和有效折射率 N_{eff} 都将改变硅基纳米线微环的谐振波长。此处通过调节微环波导的有效折射率 N_{eff} 来改变硅基纳米线微环的谐振波长。有效折射率与制造硅基纳米线微环材料的折射率有关,而改变该材料的折射率有两种方法:一是对材料加热,改变材料的温度,利用热光效应改变材料折射率,即上述的硅基热光调制器;二是利用电光效应通过载流子注入改变材料的折射率,即上述的硅基电光调制器。由于热调制速度受热对流速度影响,而电调制速度取决于载流子寿命,故电调制速度较快,在高速系统中采用电调制。

[0030] 下面以热调制机构为例说明本发明光学二进制加法器的工作过程:

首先,定义第二硅基纳米线微环 R2 的谐振波长 λ_B 为工作波长,第一硅基纳米线微环 R1 的谐振波长为 λ_A ;对于第一硅基纳米线微环 R1,通过对其热电极加一个正向电压,改变其有

效折射率以便改变其谐振波长使之与第二硅基纳米线微环 R2 的谐振波长一致。

[0031] 对于图 1 所示的二进制光学减法器,在光信号输入端(input)输入处于工作波长的连续信号光(cw),然后分别对两个微环加上调制电压对微环加热从而改变微环的谐振波长,设定第一硅基纳米线微环 R1 在工作波长处不谐振(加高电平使之谐振波长与工作波长一致),第二硅基纳米线微环 R2 在工作波长处谐振,并假定输出端口有光输出时用逻辑“1”表示,输出端口无光输出时用逻辑“0”表示,该减法器共有四种工作状态。

[0032] 下面结合结构图详细分析本发明减法器的工作原理:当第一硅基纳米线微环 R1 加低电平(逻辑“0”)、第二硅基纳米线微环 R2 也加低电平(逻辑“0”)时,第二硅基纳米线微环 R2 处于谐振状态,第一硅基纳米线微环 R1 处于非谐振状态,在光的输出端口 Y1 和 Y2 都没有光输出(逻辑值都为“0”),即用二进制数可以表示为 $0-0=00$;当第一硅基纳米线微环 R1 加高电平(逻辑“1”)、第二硅基纳米线微环 R2 加低电平(逻辑“0”),这时该两个微环都处于谐振状态,在光的输出端口 Y2 有光输出(逻辑值为“1”),在光的输出端口 Y1 无光输出(逻辑值为“0”),即用二进制数可以表示为 $1-0=01$;当第一硅基纳米线微环 R1 加低电平(逻辑“0”)、第二硅基纳米线微环 R2 加高电平(逻辑“1”),这时该两个微环都处于非谐振状态,在光的输出端口 Y1 和 Y2 有光输出(逻辑值都为“1”),即用二进制数可以表示为 $0-1=11$;当第一硅基纳米线微环 R1 加高电平(逻辑“1”),第二硅基纳米线微环 R2 也加高电平(逻辑“1”),这时第二硅基纳米线微环 R2 处于非谐振状态,第一硅基纳米线微环 R1 处于谐振状态,在光的输出端口 Y1 和 Y2 都没有光输出(逻辑值都为“0”),即用二进制数可以表示为 $1-1=11$ 。由此可以看出本发明减法器输入的是二个待计算的一位二进制高低电平电信号和一个处于工作波长处的连续激光信号,输出的是经过减法计算后的光信号;因此本减法器可以完成二个一位二进制数的减法。各微环谐振器 MRR 的基本单元为带热调制机构或电调制机构的微环谐振器 MRR 光开关,待计算的 2 位电信号对各自的 MRR 的作用方式如下:我们设定微环 R2 在未加调制的谐振波长为工作波长,因此当加在微环 R2 上的调制电信号为高电平时,MRR 的谐振频率发生偏移,在输入激光的波长处失谐;当加在微环 R2 上的调制电信号为低电平时,MRR 在输入激光的波长处谐振,光信号被下载;当加在微环 R1 上的调制电信号为高电平时,MRR 在输入激光的波长处谐振,光信号被下载;当加在微环 R2 上的调制电信号为低电平时,因为微环 R1 与工作波长稍有不同,所以在输入激光的波长处失谐。在本减法器的一个光学端口输入特定工作波长的连续激光,待计算的 2 位高低电平电信号分别作用于第一硅基纳米线微环 R1 和第二硅基纳米线微环 R2,在两个信号输出端口就以光逻辑的形式输出与 2 位输入的电信号相对应的减法计算结果,从而完成了二进制光学减法器的减法功能。

[0033] 本发明减法器完成两个一位二进制数加法运算的真值表如表 1 所示。

[0034] 表 1 二进制光学减法器的真值表

A ^a	B ^a	Y1(借位) ^a	Y2(结果) ^a
0 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a
1 ^a	0 ^a	0 ^a	1 ^a
0 ^a	1 ^a	1 ^a	1 ^a
1 ^a	1 ^a	0 ^a	0 ^a

如表 1 所示,逻辑表达式 $A+B=Y1Y2$,其中 $Y1Y2$ 表示一个组合,不是两个数相乘。

[0035] 以上所述的具体实施例,对本发明的目的,技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述的仅为本发明的具体实施例而已,并不用于限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改,同等替换,改进等,均应该包含在本发明的保护范围之内。

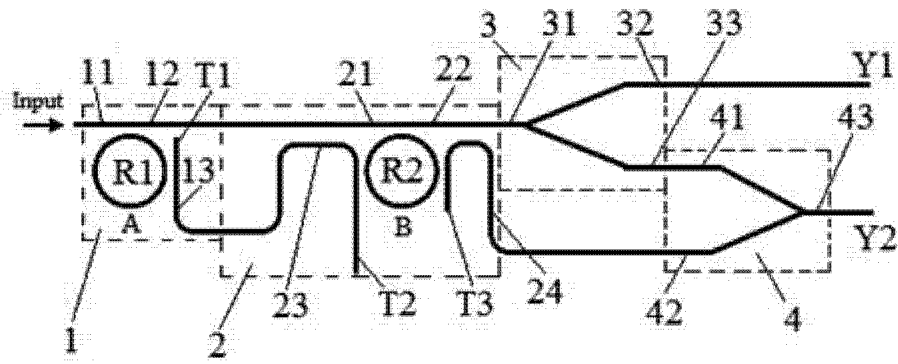


图 1

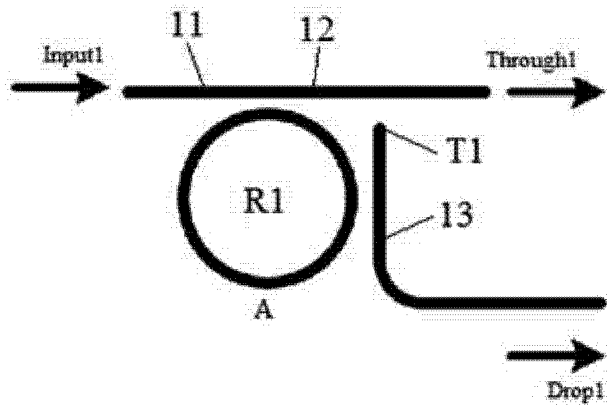


图 2

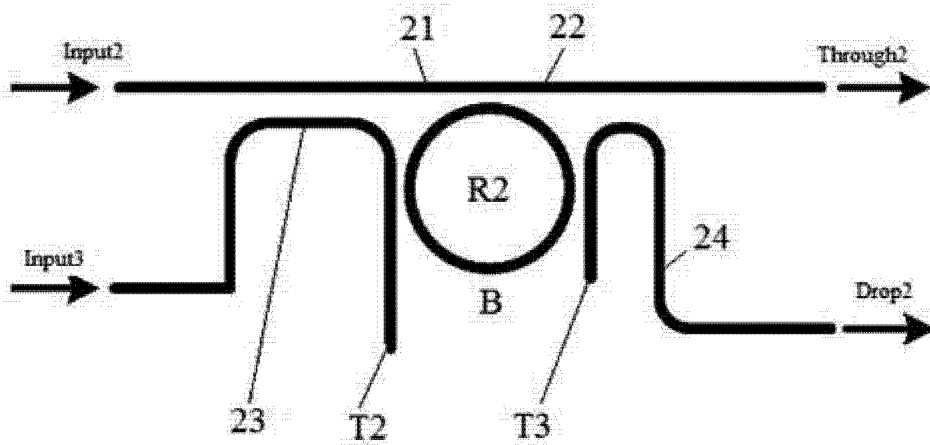


图 3

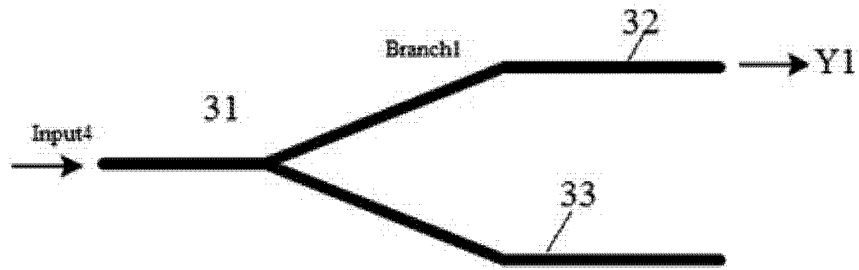


图 4

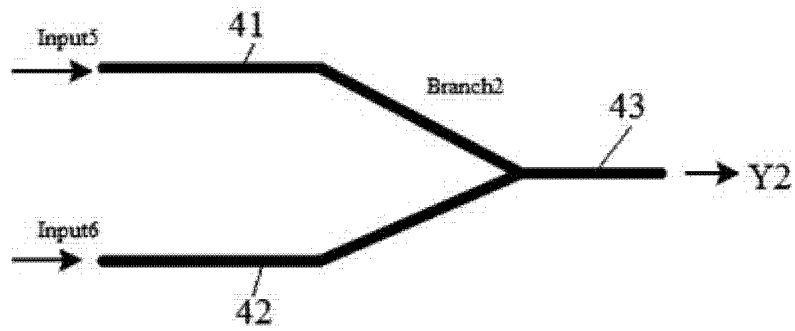


图 5

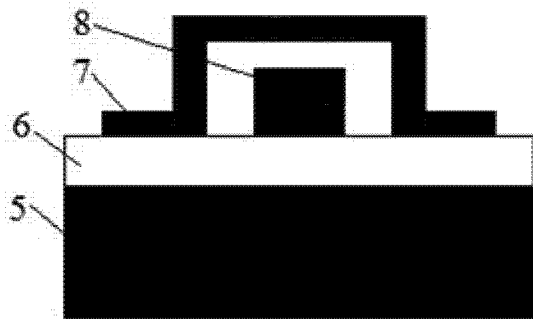


图 6

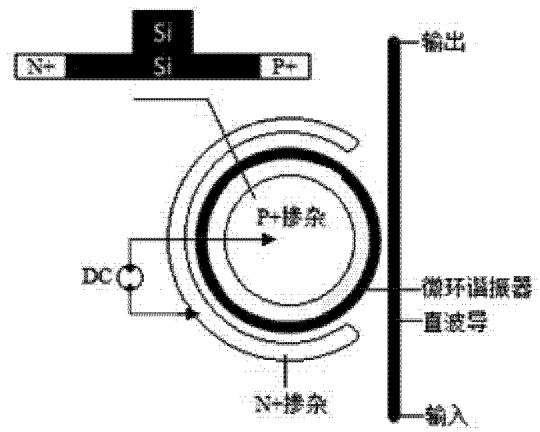


图 7