



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105404028 B

(45)授权公告日 2018.02.13

(21)申请号 201511005182.2

CN 104991399 A, 2015.10.21,

(22)申请日 2015.12.28

Linjie Zhou等.Photoconductive effect  
on p-i-p micro-heaters integrated in  
silicon microring resonators.《OPTICS  
EXPRESS》.2014,Device structure部分及图1.(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 105404028 AYule Xiong and Winnie N. Ye.Silicon  
MMI-Coupled Slotted Conventional and MZI  
Racetrack Microring Resonators.《IEEE  
PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS》.2013,MMI-  
COUPLED SLOTTED MICRORING RESONATOR部分及  
图1.

(43)申请公布日 2016.03.16

Yule Xiong and Winnie N. Ye.Silicon

(73)专利权人 上海交通大学

MMI-Coupled Slotted Conventional and MZI  
Racetrack Microring Resonators.《IEEE  
PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS》.2013,MMI-  
COUPLED SLOTTED MICRORING RESONATOR部分及  
图1.

(72)发明人 王敏娟 周林杰 周砚扬 陈建平

Yule Xiong and Winnie N. Ye.Silicon

(74)专利代理机构 上海新天专利代理有限公司

MMI-Coupled Slotted Conventional and MZI  
Racetrack Microring Resonators.《IEEE  
PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS》.2013,MMI-  
COUPLED SLOTTED MICRORING RESONATOR部分及  
图1.

31213

代理人 张宁展

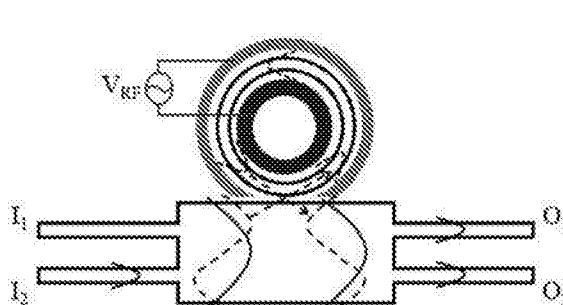
审查员 马桂英

(51)Int.Cl.

权利要求书1页 说明书4页 附图3页

G02F 1/01(2006.01)

(56)对比文件

CN 1460869 A, 2003.12.10,  
WO 2005/084308 A2, 2005.09.15,  
CN 1727978 A, 2006.02.01,

(54)发明名称

一种微腔耦合多模干涉仪的硅基电光调制器

(57)摘要

一种微腔耦合多模干涉仪的硅基电光调制器，包括可调微型谐振腔和多模干涉仪，输入光在多模干涉波导内激发两个模式，其中一个模式与旁侧微型谐振腔耦合，另一个模式与微型谐振腔无耦合，这两路光在多模波导中干涉，使输出呈现非对称的谐振频谱。通过调制微型谐振腔，可以获得高线性度的强度调制，在光通信和微波光子信号处理中具有广泛的应用前景。

1. 一种微腔耦合多模干涉仪的硅基电光调制器，特征在于其构成包括多模干涉仪和腔长可调的微型谐振腔，所述的微型谐振腔置于所述的多模干涉仪的一侧并与多模干涉仪的形成耦合结构，所述的多模干涉仪的两个输入端口和两个输出端口相对该多模干涉仪中轴线对称放置。

2. 根据权利要求1所述的微腔耦合多模干涉仪的硅基电光调制器，其特征在于，所述的微型谐振腔为圆形微型谐振腔、跑道型微型谐振腔、微盘谐振腔、光子晶体谐振腔、光栅或者法布里-珀罗谐振腔。

3. 根据权利要求1所述的微腔耦合多模干涉仪的硅基电光调制器，其特征在于，所述的微型谐振腔为圆形微型谐振腔或跑道型微型谐振腔，构成自下而上依次是衬底层(1)、下包层(2)、波导层(3)、上包层(7)和电极层(8)，所述的波导层由中间的凸型脊波导(3)和两侧的平板型重掺杂区(4、5)构成，所述的上包层(7)有两个分立的通孔(6)，该通孔(6)内为高导电性金属材料；所述的电极层(8)为分立的两个环形金属电极，该两个环形金属电极经所述的通孔(6)与所述的两侧的平板型重掺杂区(4、5)相连，所述的金属电极与外部的电信号源相连。

## 一种微腔耦合多模干涉仪的硅基电光调制器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及集成光子学,特别是一种微腔耦合多模干涉仪的硅基电光调制器,利用一路耦合谐振光与另一路非谐振光在多模干涉仪中进行干涉,在输出端口获得非对称谐振频谱,通过调制微型谐振腔,可以实现高线性度的强度调制。

### 背景技术

[0002] 随着现代社会对信息量的获取不断激增,人们对于高速率、大容量的通信网络提出了迫切需求,光纤通信凭借其高带宽、高保密性,已经成为世界上最主流的通信方式。然而在短距离通信方面,鉴于芯片尺寸越做越小,片上处理功能越来越强,信息处理速度越来越快,传统的电互连系统面临着传输带宽有限、寄生效应加剧等一系列问题,已无法负荷未来通信网络的传输重任,而光互连因其低延迟、低功耗、低串扰、大带宽等优势,成为了替代金属电互连的最佳解决方案。

[0003] 光调制器作为光互联系统的核心器件之一,能利用不同光载波信号对信息进行实时选择处理,调制原理承袭传统电通信技术,简单易实现,成为了广大科研人员的研究热点,国内外高校、企业、研究所都相继开展高速率、大带宽、高消光比、低功耗、易集成及低成本的光调制器相关项目,并取得了丰硕的研究成果。近年来,硅基光子器件因具有极强的光场限制能力,以及低廉的制造成本及高性能的光电子集成特性,与CMOS工艺兼容,成为了光电子领域最热门的研究方向之一。

[0004] 二进制相移键控调制(Binary Phase Shift Keying,BPSK)作为高阶调制码型的基本调制方式被广泛研究。日前,哥伦比亚大学的Qi Li等人在IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS杂志上报道研制出了具有48Gb/s的超高速硅基行波调制器,在此之前文献报道的硅光调制器最高速率也仅只有25Gb/s。为实现更高速率的信号传输,以满足日益增长的生产生活需求,越来越多的新型高阶调制码型诸如正交相移键控(Quadrature Phase Shift Keying,QPSK)、脉冲振幅调制(Pulse Amplitude Modulation,PAM)、正交振幅调制(Quadrature Amplitude Modulation,QAM)被引入硅基光调制器中。

[0005] 为实现更有效的高阶硅基电光调制器,要求调制器具有高线性度,而硅材料本身没有类似铌酸锂(LiNbO<sub>3</sub>)材料的线性电光效应,当前实现线性硅基电光调制器的方式大都基于微环耦合马赫-曾德尔结构(RAMZI)。

### 发明内容

[0006] 本发明是基于现有的光子学理论和成熟的制备工艺基础,针对上述问题和现有技术的不足,提出一种微腔耦合多模干涉仪的硅基电光调制器,该硅基电光调制器利用一路耦合谐振光与另一路非谐振背景光在多模干涉仪中进行干涉,通过调制微型谐振腔,可以实现高线性度的强度调制,相比微环耦合马赫-曾德尔结构(RAMZI),该结构更为简单紧凑,有利于减小器件尺寸,实现高密度集成。

[0007] 为达到上述目的,本发明的技术解决方案如下:

[0008] 一种微腔耦合多模干涉仪的硅基电光调制器，特点在于其构成包括多模干涉仪和腔长可调的微型谐振腔，所述的微型谐振腔置于所述的多模干涉仪的一侧并与多模干涉仪的形成耦合结构，所述的多模干涉仪的两个输入端口和两个输出端口相对该多模干涉仪中轴线对称放置。

[0009] 所述的微型谐振腔为圆形微型谐振腔、跑道型微型谐振腔、微盘谐振腔、光子晶体谐振腔、光栅或者法布里-珀罗谐振腔。

[0010] 所述的微型谐振腔为圆形微型谐振腔或跑道型微型谐振腔，构成自下而上依次是环形的衬底层、下包层、波导层、上包层和电极层，所述的波导层由中间的凸型脊波导和两侧的平板型重掺杂区构成，所述的上包层有两个分立的通孔，该通孔内为高导电性金属材料；所述的电极层为分立的两个环形金属电极，该两个环形金属电极经所述的通孔与所述的两侧的平板型重掺杂区相连，所述的金属电极与外部的电信号源相连。

[0011] 本发明一种微腔耦合多模干涉仪的硅基电光调制器工作时，激光器输出连续光，从本发明硅基电光调制器的多模干涉仪的输入端口输入至所述的多模干涉仪的宽波导，在宽波导中激发出两个模式，其中一个模式不能与旁侧的微型谐振腔发生耦合，称为非谐振光，而另一个模式能与微谐振腔耦合，称之为谐振光。该谐振光经所述的微型谐振腔后又耦合回所述的多模干涉仪中，当所述的谐振光和非谐振光在多模波导中干涉，在输出端口O<sub>3</sub>或O<sub>4</sub>输出高线性的非对称透过频谱。通过调制微型谐振腔，可以实现高线性度的强度调制，为模拟信号调制和高阶码型调制奠定基础。

[0012] 与现有技术相比，本发明的有益效果是：

[0013] 1) 本发明依据法诺谐振(Fano resonance)原理，一路谐振光与一路相干非谐振背景光进行干涉，其输出频谱在谐振波长呈现特有的非对称形状，利用该谱线具有的高线性特性能实现高线性度的强度调制，从而实现高阶码型调制。

[0014] 2) 本发明结构简单，易设计和制备，成本低。

[0015] 3) 本发明利用微型谐振腔耦合多模干涉仪产生谐振谱线，结构更为紧凑，利于光子集成。

## 附图说明

[0016] 图1为本发明一种微腔耦合多模干涉仪的硅基电光调制器实施例1-微环谐振腔耦合多模干涉仪结构示意图

[0017] 图2为本发明一种微腔耦合多模干涉仪的硅基电光调制器实施例2-跑道型微谐振腔耦合多模干涉仪结构示意图

[0018] 图3为本发明一种微腔耦合多模干涉仪的硅基电光调制器实施例1的外观整体结构图

[0019] 图4为本发明微型谐振腔有源调制部分纵向截面图，对应图3虚线部分

[0020] 图5为本发明一种微腔耦合多模干涉仪的硅基电光调制器的透射谱线图

## 具体实施方式

[0021] 下面结合附图和实施例对本发明的实施例作详细说明，本实施例在以本发明的技术方案为前提进行实施，给出了详细的实施方式和操作过程，但本发明的保护范围不限于

下述的实施例。

[0022] 先请参阅图1和图2,图1为本发明一种微腔耦合多模干涉仪的硅基电光调制器实施例1-微环谐振腔耦合多模干涉仪结构示意图,图2为本发明一种微腔耦合多模干涉仪的硅基电光调制器实施例2-跑道型微谐振腔耦合多模干涉仪结构示意图,由图可见,本发明硅基电光调制器,包括多模干涉仪和微型谐振腔,所述的微型谐振腔置于所述的多模干涉仪的一侧构成耦合结构,所述的多模干涉仪的两个输入端口I<sub>1</sub>、I<sub>2</sub>和两输出端口O<sub>3</sub>、O<sub>4</sub>,相对该多模干涉仪中轴线对称设置。

[0023] 所述的多模干涉仪与所述的微型谐振腔之间被一条细细的沟道分开,沟道为上包层材料。

[0024] 工作时激光器输出连续光,从本发明一种微腔耦合多模干涉仪的硅基电光调制器的多模干涉仪的端口I<sub>2</sub>输入至所述的多模干涉仪的宽波导,在宽波导中激发出两个模式,其中一个模式不能与旁侧的微型谐振腔发生耦合,称为非谐振光,而另一个模式能与微谐振腔耦合,称之为谐振光。该谐振光经所述的微型谐振腔后又耦合回所述的多模干涉仪中,该路谐振光和一路非谐振光在多模波导中干涉,在输出端口O<sub>3</sub>或O<sub>4</sub>呈现如图5所示的非对称法诺谐振频谱。当在所述的微型谐振腔的电极层8的两电极上施加一可调电信号,外加电信号的变化会改变所述的微型谐振腔的谐振波长位置,即在本发明硅基电光调制器的输出端口O<sub>3</sub>或O<sub>4</sub>输出高线性度的强度调制信号。

[0025] 图3为本发明一种微腔耦合多模干涉仪的硅基电光调制器实施例1的外观整体结构图。

[0026] 图4为本发明微型谐振腔有源调制部分纵向截面图,对应图3虚线部分。

[0027] 所述的微型谐振腔,包括:

[0028] 一硅基衬底1。

[0029] 一下包层2,该下包层制作在衬底1上;下包层2的厚度等于2~3μm;该下包层为SiO<sub>2</sub>材料,折射率小于波导层,对波导层中的光起限制作用。

[0030] 一硅波导层3,该波导层制作在下包层2上;波导层3的厚度小于1μm;该波导层材料折射率高于下包层2和上包层7;该波导层为脊型结构,两侧平板分别为p型重掺杂区4和n型重掺杂区5,重掺杂浓度大于10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup>,重掺杂区4、5边缘与波导芯区3边缘相隔距离大于0.2μm。

[0031] 一上包层7,该上包层制作在波导层上,厚度大于0.5μm;该上包层的材料可采用二氧化硅、氮化硅等介质材料,折射率低于波导层,对其中的光模场起限制作用,同时对波导起保护作用,并使之易于制作电极;上包层7中制作有通孔6;该通孔连接波导层两侧重掺杂区4、5和电极层;通孔6的材料为铝、铜、金等高导电性的金属材料;通孔6宽度小于重掺杂区的宽度。

[0032] 一电极层8,该电极层制作在上包层7上,厚度大于100nm;电极层8分别位于两侧通孔6之上,与外部电信号相连;电极层8的材料为铝、铜、金等高导电性的金属材料。

[0033] 改变波导芯区3结构,可实现三种不同调制形式:

[0034] (a) 载流子累积型调制结构,其波导层3被一层薄薄的氧化层分两部分,形成类似电容的结构,加电后载流子在氧化层两侧的波导层中迅速积累,从而改变该区域附近的材料折射率,实现了调制;

[0035] (b) 载流子注入型调制结构,在硅波导区轻掺杂形成p-i-n结,通过加正向电压注入载流子,改变该区域附近的材料折射率,实现调制;

[0036] (c) 载流子耗尽型调制结构,通过施加反偏电压,抽取波导芯区载流子,改变波导折射率,实现了调制作用。

[0037] 下面给出实施例2的具体结构参数,整体结构如图2所示,本发明一种微腔耦合多模干涉仪的硅基电光调制器,包括跑道型微谐振腔与多模干涉仪,所述的跑道型微谐振腔的其结构参数为:下包层2厚度为 $2\mu\text{m}$ ,上包层7厚度为 $2\mu\text{m}$ 。所述的多模干涉仪的两个输入端口I<sub>1</sub>、I<sub>2</sub>和两输出端口O<sub>3</sub>、O<sub>4</sub>相对多模干涉仪中轴线对称放置,相距中轴线260nm,输入和输出波导脊的宽度为400nm,长为10μm;多模干涉宽波导脊的宽度为960nm,长5.18μm。跑道型微谐振腔与多模干涉仪的中间沟道宽50nm,微谐振腔波导内脊宽度为440nm,直线部分长2μm,弯曲部分为半圆形,半径为4μm。多模干涉仪和微谐振腔的内脊高均为220nm,外脊高均为60nm。

[0038] 设置光源从端口I<sub>2</sub>输入,经过上述结构,从端口O<sub>3</sub>得到了如图5所示的为1500nm至1600nm范围内的非对称谐振谱线,从任一谐振波长附近的谱线形状可以观测到,其斜率呈现一条十分平滑的直线,表示该结构具有极高的线性度,且消光比均在22dB以上。

[0039] 最后所应说明的是,以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制,尽管参照较佳实施例对本发明进行了详细说明,本领域的普通技术人员应当理解,可以对发明的技术方案进行修改或者等同替换,而不脱离本发明技术方案的精神和范围,其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

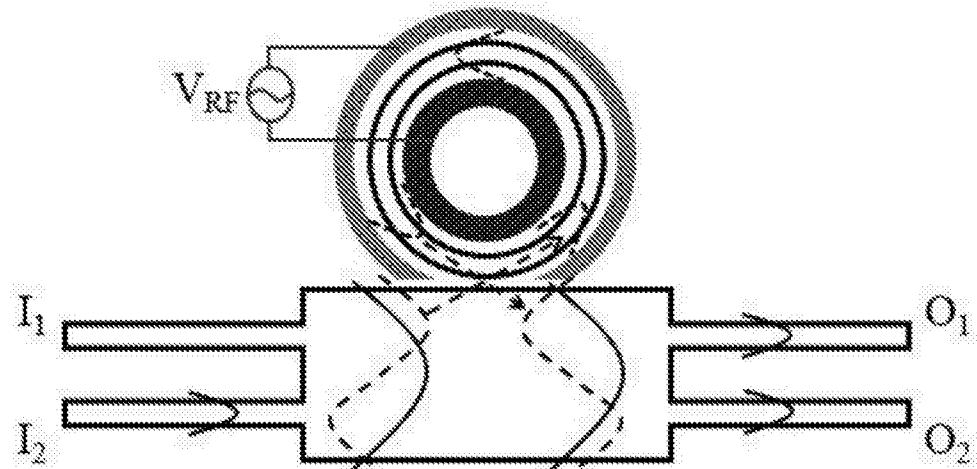


图1

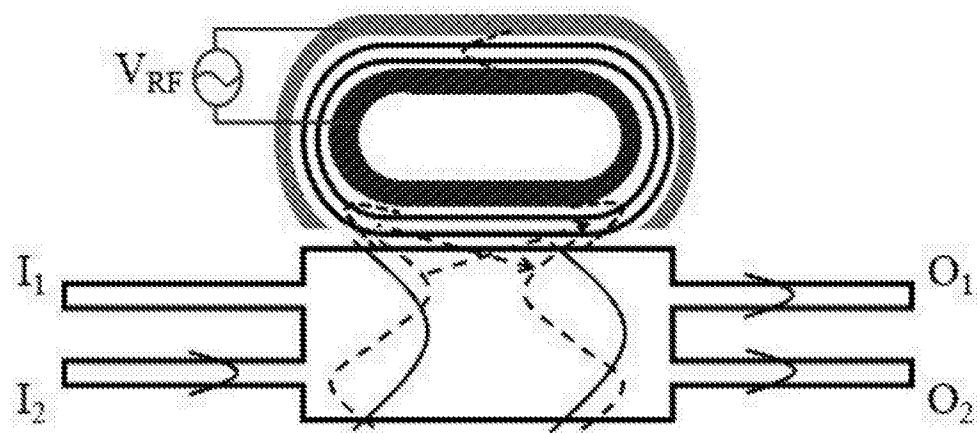


图2

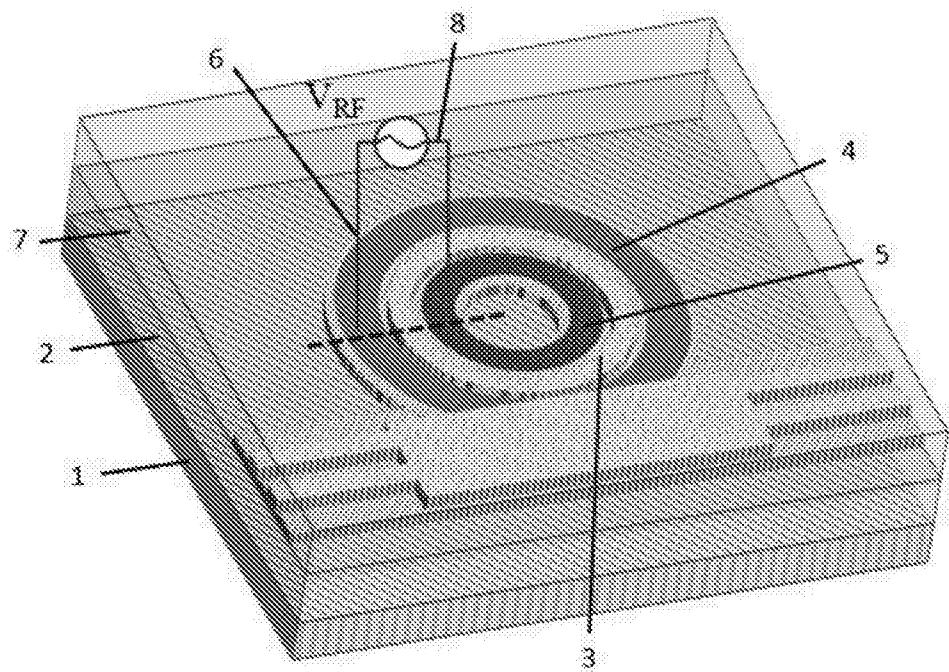


图3

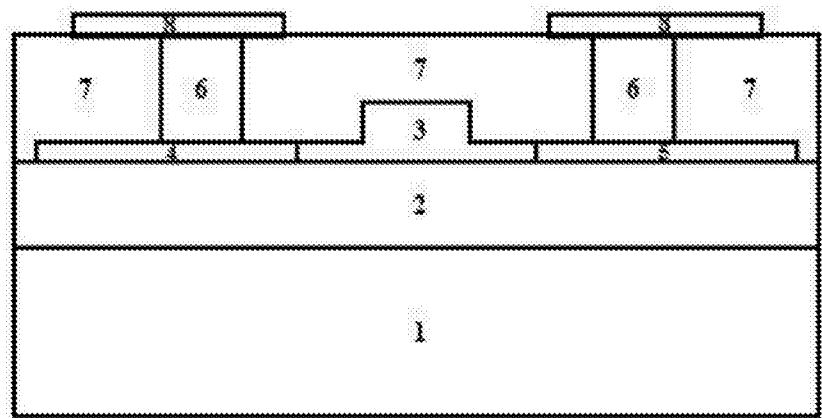


图4

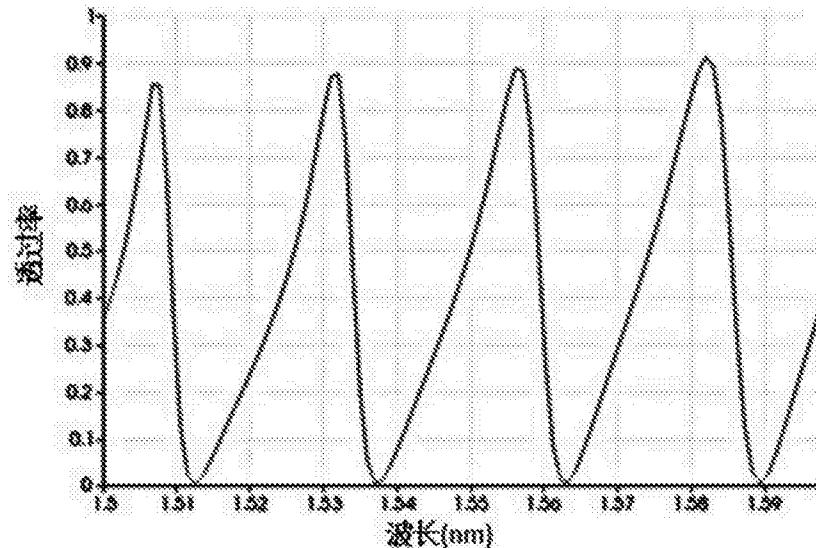


图5