



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105388638 B

(45)授权公告日 2018.01.12

(21)申请号 201510982481.5

(22)申请日 2015.12.24

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105388638 A

(43)申请公布日 2016.03.09

(73)专利权人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路800号

(72)发明人 王心怡 周林杰 陆梁军 陈建平

(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

代理人 张宁展

(51)Int.Cl.

G02F 1/015(2006.01)

G02F 1/025(2006.01)

G02F 1/01(2006.01)

(56)对比文件

JP 特开平6-97601 A,1994.04.08,
US 2010/0247029 A1,2010.09.30,
CN 103018929 A,2013.04.03,
CN 104991399 A,2015.10.21,
CN 104280899 A,2015.01.14,
Linjie Zhou等.Photoconductive effect
on p-i-p micro-heaters integrated in
silicon microring resonators.《OPTICS
EXPRESS》.2014,全文.

Linjie Zhou等.Tunable Vernier
Microring Optical Filters With p-i-p-Type
Microheaters.《IEEE Photonics Journal》
.2013,全文.

审查员 马桂英

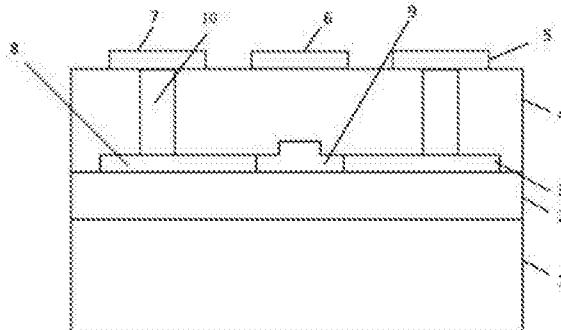
权利要求书1页 说明书3页 附图3页

(54)发明名称

一种硅波导热光调节结构

(57)摘要

本发明涉及一种硅波导热光调节结构,从下至上依次包括衬底、下包层、波导层、上包层和电极层,所述的下包层的材料为二氧化硅,波导层的材料为高折射率材料硅,上包层的材料为低折射率材料,所述的电极层由分立于两侧的金属电极和中间的金属栅极构成,所述的波导层为脊型波导,由中间的凸形内脊的轻掺杂区和两侧平板形外脊的重掺杂区构成波导热电阻结构,所述的重掺杂区通过所述的上包层的金属通孔与所述的金属电极相通。当控制电极上加载电压,波导内形成电场,使载流子浓度发生改变,调节硅波导层的电阻率。在恒定驱动电压下,电阻上的热功率发生变化,基于热光效应可以调节硅波导的有效折射率。



1. 一种硅波导热光调节结构,其特征在于,从下至上依次包括衬底(1)、下包层(2)、波导层(3)、上包层(4)和电极层(5),所述的下包层(2)的材料为二氧化硅,波导层(3)的材料为高折射率材料硅,上包层(4)的材料为低折射率材料,所述的电极层(5)由分立于两侧的金属电极(7)和中间的金属栅极(6)构成,所述的波导层(3)为脊型波导,由中间的凸形内脊的轻掺杂区(9)和两侧平板形外脊的重掺杂区(8)构成波导热电阻结构,所述的重掺杂区(8)通过所述的上包层(4)的金属通孔(10)与所述的金属电极(7)相通,所述的金属电极(7)之间施加固定的驱动电压,在所述的金属栅极(6)施加控制电压,通过改变该控制电压,实现对硅波导折射率的调节,最终实现对输出光的调节。

2. 根据权利要求1所述的硅波导热光调节结构,其特征在于,所述的脊型波导的凸形内脊的轻掺杂区(9)的宽度、高度和外脊的重掺杂区(8)的高度满足光单模传输条件,所述的凸形内脊的轻掺杂区(9)的掺杂浓度小于 10^{17}cm^{-3} ,所述的外脊的重掺杂区(8)的掺杂浓度大于 10^{18}cm^{-3} ,掺杂类型为p型或n型,形成 $p^+ - p^- - p^+$ 或 $n^+ - n^- - n^+$ 电阻结构。

3. 根据权利要求1所述的硅波导热光调节结构,其特征在于,所述的电极层的材料为铝、铜或金。

一种硅波导热光调节结构

技术领域

[0001] 本发明涉及集成光学，特别是一种硅波导热光调节结构。

背景技术

[0002] 近几年光电芯片集成度越来越高，器件尺寸也越来越小。硅材料相比较其它材料，由于其与空气和二氧化硅之间的高折射率差，具有很强的光场限制能力，可以制作亚微米级光波导器件。硅光子器件与成熟的CMOS工艺兼容，具有低制备成本、易大规模集成的特点，是未来光器件发展的重要趋势。而基于硅材料的无源及有源光器件被广泛研究并加以实现，如滤波器、分路器、调制器等。

[0003] 硅材料主要利用等离子色散效应和热光效应来实现波导层折射率调节。Qianfan Xu等人提出p-i-n电调节结构，利用了载流子色散效应，通过正向偏压注入载流子来实现波导层折射率变化，在OPTICS EXPRESS (Vol.12, No.2) 中“12.5Gbit/s carrier-injection-based silicon micro-ring silicon modulators”进行了详细介绍。Ansheng Liu等人提出p-n电调节结构，利用载流子色散效应，通过反向偏压抽取载流子来改变波导层折射率，在OPTICS EXPRESS (Vol.15, No.2) 中“High-speed optical modulation based on carrier depletion on silicon waveguide”进行了详细介绍。Jaime Cardensa等人在波导上方制作金属热电阻，利用热光效应，通过加电发热传导热量来改变波导温度，进而调节硅波导折射率，在OPTICS EXPRESS (Vol.18, No.25) 中“High-speed optical modulation based on carrier deption on silicon waveguide”进行了详细介绍。近期陆梁军等人在Optical Fiber Communication Conference上发表的“Enhanced nonlinear thermo-optic effect in silicon microring resonators with p-i-p microheaters for non-reciprocal transmission”上提出波导热电阻加热硅基微环结构，利用波导层自身作为电阻，外部通电后，热量直接作用于波导层，通过热光效应调节波导折射率。

发明内容

[0004] 本发明提供一种硅波导热光调节结构，在上述波导热电阻结构基础上增加金属控制栅极，对波导热电阻施加固定的驱动电压，对金属栅极施加控制电压。通过改变控制电压，实现对硅波导折射率的调节，最终实现对通过本结构输出光的调节。采用这种热调结构的优点在于驱动电压和控制电压分离，驱动电极提供电阻发热功率，而控制电极上无静态功耗，易于和控制电路集成。

[0005] 本发明的技术解决方案如下：

[0006] 一种硅波导热光调节结构，其特征在于，从下至上依次包括衬底、下包层、波导层、上包层和电极层，所述的下包层的材料为二氧化硅，波导层的材料为高折射率材料硅，上包层的材料为低折射率材料，所述的电极层由分立于两侧的金属电极和中间的金属栅极构成，所述的波导层为脊型波导，由中间的凸形内脊的轻掺杂区和两侧平板形外脊的重掺杂区构成波导热电阻结构，所述的重掺杂区通过所述的上包层的金属通孔与所述的金属电极

相通。

[0007] 所述的脊型波导的凸形内脊的轻掺杂区的宽度、高度和外脊的重掺杂区的高度满足光单模传输条件,所述的凸形内脊的轻掺杂区的掺杂浓度小于 10^{17}cm^{-3} ,所述的外脊的重掺杂区的掺杂浓度大于 10^{18}cm^{-3} ,掺杂类型为p型或n型,形成 $p^+ - p^- - p^+$ 或 $n^+ - n^- - n^+$ 电阻结构。

[0008] 所述的电极层的材料为铝、铜或金。

[0009] 上述硅波导热光调节结构的使用方法,在所述的两金属电极之间施加固定的驱动电压,在所述的金属栅极施加控制电压,通过改变该控制电压,实现对硅波导折射率的调节,最终实现对通过本发明结构输出光的调节。

[0010] 本发明的有益效果是:

[0011] 对波导热电阻加载一定的驱动电压,对金属栅极加载控制电压,用于在波导层上产生电场。通过改变控制电压,使作用在波导层的电场发生改变,调节波导热电阻的电阻率,从而改变电阻加热功率,实现对硅波导折射率的调节,最终实现对通过本发明结构输出光的调节。

[0012] 本发明热光调节结构可以将大功率驱动电极和小信号控制电极分离,使热光调控更容易通过集成电路实现,在集成光学中拥有广泛前景。

附图说明

[0013] 图1为本发明硅波导热光调节结构的示意图。

[0014] 图2为本发明应用于硅基微环结构的示意图。

[0015] 图3为不同控制电压下,硅波导电阻上电流与驱动电压关系图。

[0016] 图4为在15V驱动电压下,硅波导电阻值及加热功率与控制电压关系图。

[0017] 图5为在15V驱动电压下,硅基微环谐振器的谐振波长偏移量与控制电压的关系图。

[0018] 图6为集成了波导热光调节结构的微环谐振器实验测试装置示意图。

[0019] 图7为在15V驱动电压下,微环波导热光调节结构上加载5V 10KHz的方波交流控制电压时,输出光信号的时间响应图。

具体实施方式

[0020] 下面结合附图及实施例对本发明作进一步的详细描述,应当理解,此处所描述的实施示例仅用于说明和解释本发明,并不用于限定本发明。

[0021] 图1为本发明硅波导热光调节结构的示意图,如图1所示,本发明硅波导热光调节结构,,从下至上依次包括衬底1、下包层2、波导层3、上包层4和电极层5,所述的下包层2的材料为二氧化硅,波导层3的材料为高折射率材料硅,上包层4的材料为低折射率材料,所述的电极层5由分立于两侧的金属电极7和中间的金属栅极6构成,所述的波导层3为脊型波导,由中间的凸形内脊的轻掺杂区9和两侧平板形外脊的重掺杂区8构成波导热电阻结构,所述的重掺杂区8通过所述的上包层4的金属通孔10与所述的金属电极7相通。

[0022] 所述的脊型波导的内脊宽度、内脊高度和外脊高度满足光单模传输条件,所述的内脊的掺杂浓度小于 10^{17}cm^{-3} ,所述的外脊的掺杂浓度大于 10^{18}cm^{-3} ,掺杂类型为p型或n型,形成 $p^+ - p^- - p^+$ 或 $n^+ - n^- - n^+$ 电阻结构。

[0023] 所述的电极层与外部电源相连接,该电极层的材料为铝、铜、金。

[0024] 本实施例的衬底1为硅,下包层2制作在衬底1上;下包层的厚度为 $2\mu\text{m}$;该下包层为二氧化硅,对波导的光起限制作用;波导层3制作在下包层2上;波导层3的厚度为 $0.22\mu\text{m}$;该波导层的材料为硅;波导层为凸脊型结构,脊的宽度为 $0.5\mu\text{m}$,内脊高度 $0.22\mu\text{m}$,外脊高度 $0.06\mu\text{m}$;脊型区即波导芯层为p型轻掺杂区9,掺杂浓度 10^{15}cm^{-3} ;两侧平板为p型重掺杂区8,宽度为 $4\mu\text{m}$,掺杂浓度 10^{20}cm^{-3} ;重掺杂区边缘与波导内脊边缘相隔距离 $0.3\mu\text{m}$;上包层4制作在波导层3上;上包层4的厚度为 $2.57\mu\text{m}$;该上包层的材料为二氧化硅,对波导层3中的光起限制作用,同时对波导起保护作用,并使之易于制作电极;轻掺杂区9上方制作有金属栅极6,作为调节电阻的栅极;两侧的通孔10连接波导重掺杂区8和金属电极7;通孔10的宽度为 $2\mu\text{m}$,材料为铝。

[0025] 电极层5制作在上包层4上;电极层5的厚度为 $2\mu\text{m}$,与通孔10内的金属连接并与外部电源相连接;电极层5的材料为铝。

[0026] 使用时,外部电源驱动电压信号加载于与通孔相连的两侧金属电极7,电流通过波导层产生热量。

[0027] 在恒定的驱动电压下,对金属栅极6加载控制电压,用于在波导层上产生电场。通过改变控制电压,使作用在波导层上的电场发生改变,影响硅波导的电阻率,使电阻上的热功率发生变化,从而实现对硅波导折射率的调节,最终实现对通过本结构输出光的调节。

[0028] 实施例

[0029] 图2为电压可控热电阻应用于硅基微环的实施例。11区和12区为p重掺杂区,13区为金属控制栅区。微环半径为 $10\mu\text{m}$,定向耦合区长度为 $3.8\mu\text{m}$ 。

[0030] 图3所示为不同控制电压下,硅波导电阻的电流与驱动电压的关系图。由图可以看出,加载在金属栅极上的控制电压对波导层的电阻值能起到有效的控制。

[0031] 图4为在15V驱动电压下,硅波导电阻值及发热功率与控制电压关系图。

[0032] 图5为在15V驱动电压下,硅基微环谐振器的谐振波长的偏移量与控制电压的关系图。当控制电压为0V时,微环谐振处于 1549.6nm 处,当金属上加11V电压时,谐振点偏移到 1548.6nm 处,谐振点偏移量为 -0.9nm 。

[0033] 图6为波导热光调节结构的微环谐振器的实验测试装置示意图。虚线代表光路连接,实线代表电路连接。

[0034] 第一步:由数字电流表测试波导热电阻的电流-电压曲线。

[0035] 第二步:直流电压源用于提供热电阻的驱动电压,本例中为15V恒定电压;任意波形发生器用于对金属栅极加载控制电压,本例中,金属栅极加载的控制电压:峰峰值5V,频率10KHz的方波。可调谐激光器输出光耦合到测试芯片,输出光信号经过光电探测器后,再接入示波器。当激光器输出光在微环谐振中心波长附近时,可观察其时间响应图。

[0036] 图7为驱动电压15V,在微环波导热光调节结构上加载5V10KHz的方波交流控制电压时,输出光信号的时间响应图。上图为光信号时间响应图,中间为控制电压的时域波形;左下图为上升沿,显示上升延时 $0.729\mu\text{s}$;右下图为下降沿,显示下降延时 $7.887\mu\text{s}$ 。

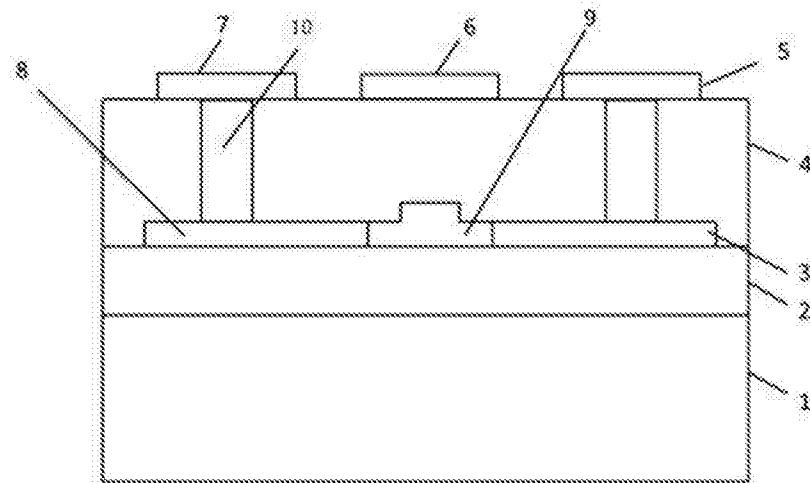


图1

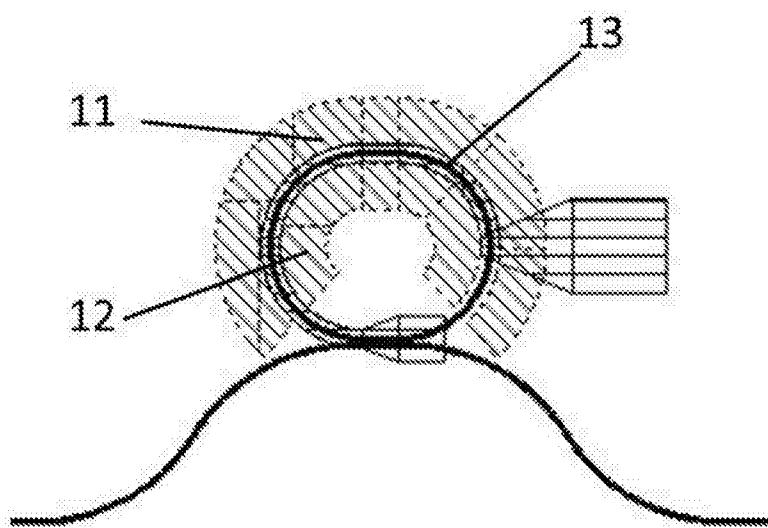


图2

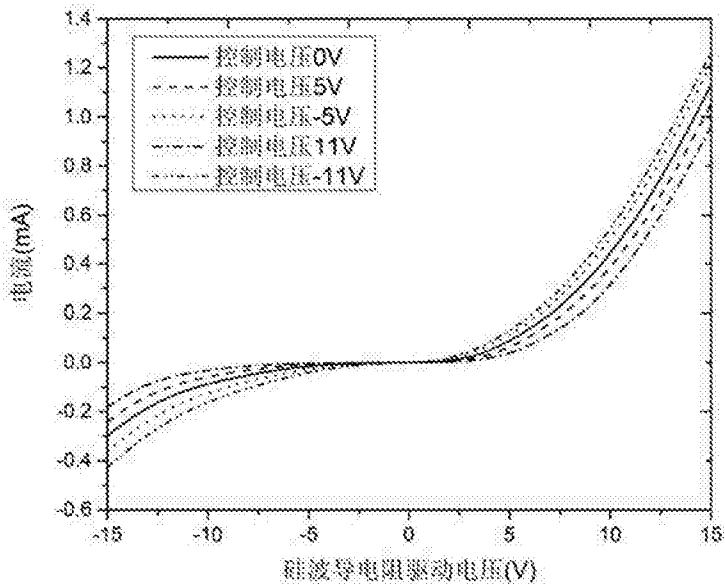


图3

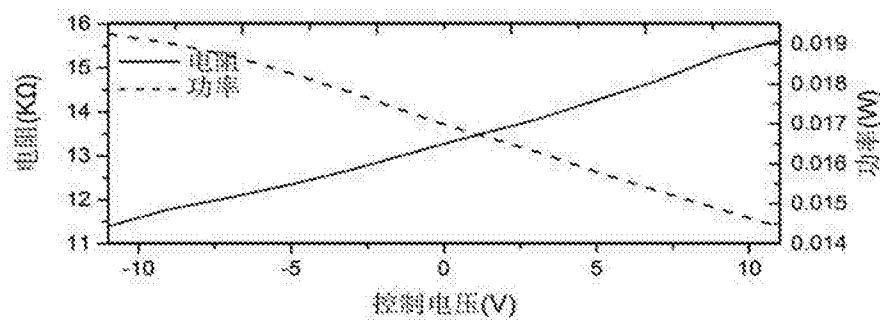


图4

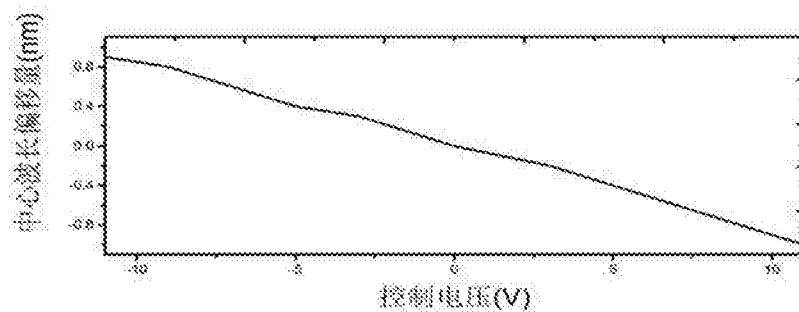


图5

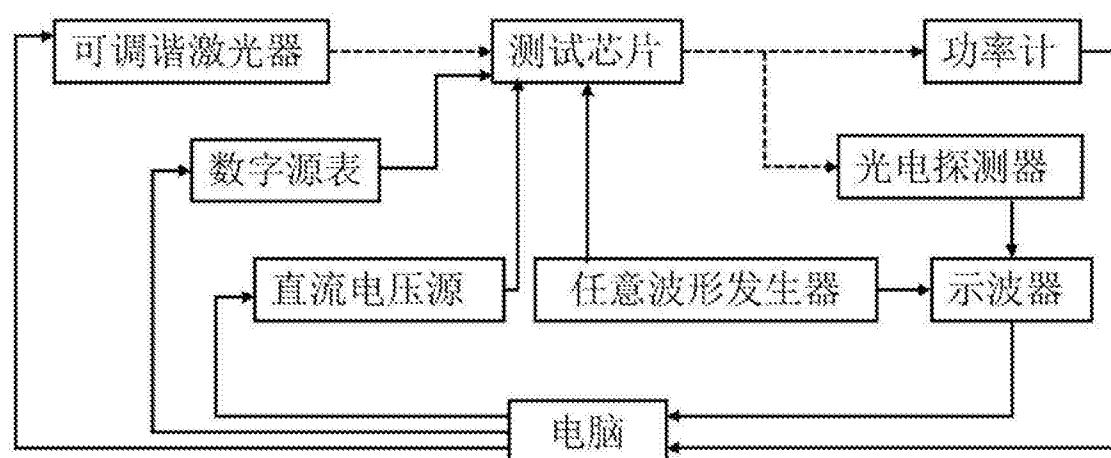


图6

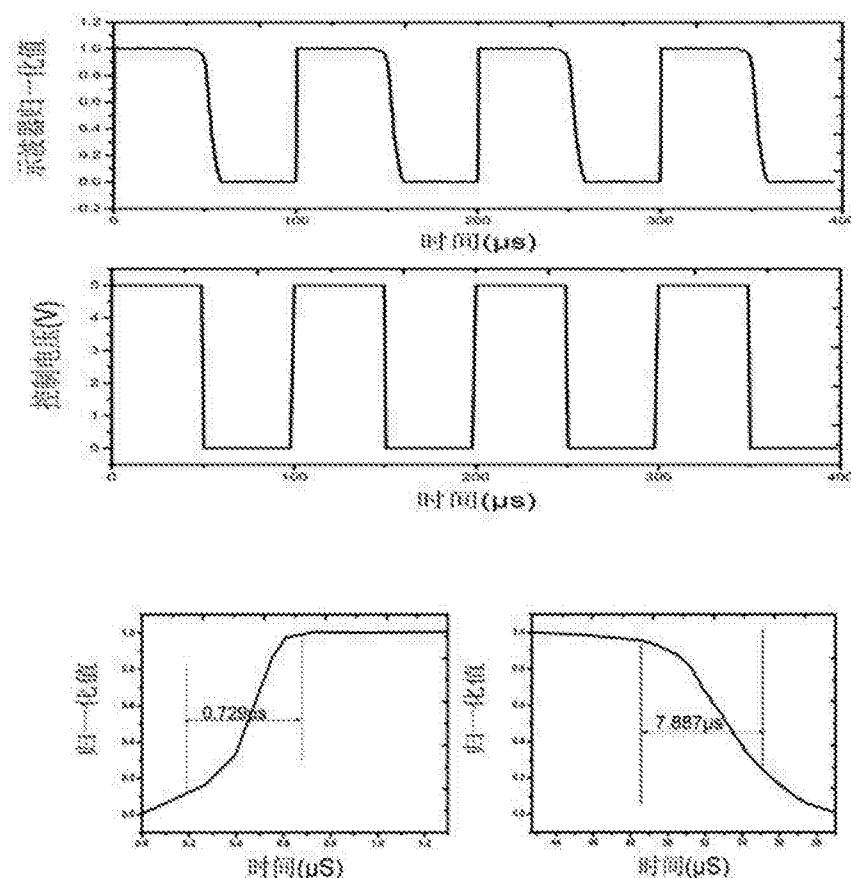


图7