



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106324865 B

(45)授权公告日 2018.12.07

(21)申请号 201610694617.7

(22)申请日 2016.08.19

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106324865 A

(43)申请公布日 2017.01.11

(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 张涵予 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 1/00(2006.01)

审查员 叶菲

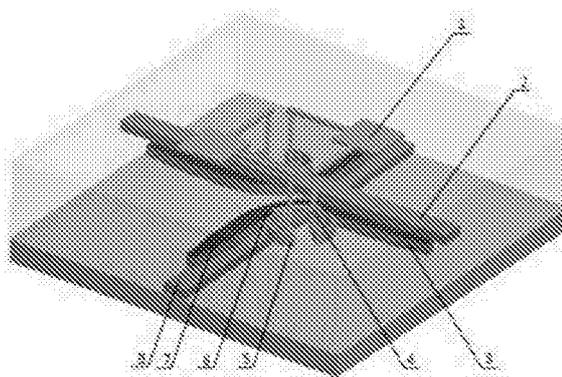
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54)发明名称

一种基于相变材料三维集成光开关

(57)摘要

本发明公开了一种基于相变材料三维集成光开关,包括:一下波导层;一上波导层,该上层波导与下层波导呈垂直交叉分布;一中间混合波导层,该波导层由介质波导和相变材料构成,中间混合波导层由三部分组成:输入锥形波导、90度弯曲波导和输出锥形波导,其中90度弯曲波导内侧制作由掺杂硅构成的电极,通过外加电脉冲使中间波导层形成局部热点,从而诱导相变材料进行相变。相对于传统的 $1 \times 2$ 或者 $2 \times 2$ 光开关单元,本发明将相变材料与传统波导结合起来构成一种复合波导以此实现超紧凑的光开关,具有数字式调节、功耗低、集成度高等特点。此外,制备工艺与现有的CMOS工艺兼容,因此该技术具有大规模低成本生产潜力。



1. 一种基于相变材料的三维集成光开关,其特征在于,包括:由上至下依次分布的上波导层、中间混合波导层和下波导层,所述的上波导层与下波导层呈垂直交叉分布,所述的中间混合波导层由依次连接的输入锥形波导、90度弯曲波导和输出锥形波导构成,所述的输入锥形波导位于所述的下波导层上,所述的输出锥形波导位于所述的上波导层下,在所述的90度弯曲波导内侧设有电极,该电极通过金属通孔与外部金属焊盘相连,所述的中间混合波导层是在硅波导上直接溅射一层几纳米或几十纳米的相变材料构成,该相变材料是由Ge、Sb或Te元素组成化合物,所述的中间混合波导层的有效折射率要满足:在相变材料非晶态时低于下层波导的有效折射率,在相变材料为晶态时高于下层波导的有效折射率。

2. 根据权利要求1所述的基于相变材料的三维集成光开关,其特征在于,所述的下波导层是硅波导层或氮化硅波导层。

3. 根据权利要求1所述的基于相变材料的三维集成光开关,其特征在于,所述的上波导层是硅波导层或氮化硅波导层。

4. 根据权利要求1所述的基于相变材料的三维集成光开关,其特征在于,所述的上波导层、中间混合波导层和下波导层之间均存在间隙,该间隙的填充材料为二氧化硅或氮氧化硅低折射率材料。

5. 根据权利要求1所述的基于相变材料的三维集成光开关,其特征在于,所述的输入锥形波导和输出波导是正锥形,即从边缘向内逐渐变宽,或者是倒锥形,即从边缘向内逐渐变窄。

6. 根据权利要求1所述的基于相变材料的三维集成光开关,其特征在于,所述的电极由掺杂硅构成,通过金属通孔与外部金属焊盘相连接,金属焊盘上外加电脉冲使中间波导层形成局部热点,从而诱导相变材料进行相变。

## 一种基于相变材料三维集成光开关

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种基于相变材料三维集成光开关,属于集成光电子学领域。

### 背景技术

[0002] 全光交换直接在光域对光信号进行处理,无需经过光—电—光转换,因而不受“电子瓶颈”的限制,具有高速、宽带、透明、低功耗以及潜在的低成本等诸多优点。其中, $N \times N$ 高速光开关芯片和模块是光交换最基本和最核心的部件,其重要性等同于电子设备中的处理器。未来全光交换要满足高速大容量和低时延交换要求,大端口、快速切换的光交换芯片和模块是必需的,实验系统中主要是由 $1 \times 2$ 或 $2 \times 2$ 的光开关器件搭建而成, $1 \times 2$ 或 $2 \times 2$ 的光开关单元的开关性能,影响了 $N \times N$ 光开关的性能,所以发展 $1 \times 2$ 和 $2 \times 2$ 的光开关单元至关重要。

[0003] 光子集成技术能够大幅度减小设备体积、降低耗能、节约成本,因此光子集成技术非常适合来实现全光交换网络中使用的大规模光交换。由于硅基光电子器件具有尺寸小、集成度高、制作工艺与传统微电子CMOS工艺相兼容的优点,因此硅基光电子技术可以大幅度降低光开关芯片成本。硅基光开关是近年来国内外的热门研究领域。IBM公司的研究人员在JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY (VOL.32,NO.4)上报道了4端口和8端口的光开关集成芯片,该芯片利用IBM 90nm硅光工艺,芯片中包含有CMOS逻辑门、开关驱动、多级光开关阵列和热光相位调节器等,实现了光路与电路的单片集成。为了解决电光调节串扰大的问题,他们又在JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY (VOL.33,NO.20)上,采用推挽式驱动实现了低串扰的 $4 \times 4$ 马赫-增德尔干涉器(MZI)光开关芯片。贝尔实验室2012在OPTICS EXPRESS (Vol.20, No.17)上报道了基于硅基MZI的 $8 \times 8$ 光开关芯片,芯片利用switch-and-select拓扑方案,由112个MZI构成,开关调节采用热光效应。加州大学伯克利分校的M.C.Wu小组在OPTICA (Vol.3, No.1)利用MEMS驱动来控制平面光路,芯片采用Crossbar拓扑结构,实现了 $64 \times 64$ 光开关芯片。与此同时,浙江大学在OPTICS LETTERS (Vol.37, No.12)报道了一种基于多模干涉器(MMI)结构的硅基 $3 \times 3$ 光开关。上海交通大学在OPTICS EXPRESS (VOL.24, NO.9)上实现了 $16 \times 16$ 无阻塞光开关芯片。该芯片基于Benes拓扑结构,总共包含了56个交换单元,每个单元上均集成了热光和电光调节电极,可实现相位误差补偿和ns量级高速光交换,整个开关芯片总共集成了几百个光电元件,很好地展现了硅光技术的高密度光电集成能力。

[0004] 通常情况下,硅基光电子集成器件通过热光效应或者载流子色散效应来改变硅材料的特性,从而实现对硅波导的调节。但热光效应的响应速度比较慢,通常在微秒量级;载流子色散效应虽然响应时间快,但其折射率的调节范围有限,通常折射率改变在0.001量级,因此为了达到180度相位的变化,需要毫米量级的长度,导致光开关通常很长、功耗很高。虽然采用高Q值谐振腔结构或光子晶体慢光结构可以减小器件尺寸,但其工作带宽通常很小、损耗较大,无法大规模级联,且对环境温度变化非常敏感。因此需要寻找一种可以实现对折射率大幅度、快速调节的材料,以此来弥补硅材料的不足,从而大幅度减小硅光开

关的尺寸和功耗。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于针对上述现有技术的不足,结合相变材料的优点,提出一种基于相变材料三维集成光开关,通过将相变材料与传统波导结合起来构成复合波导以此实现超紧凑的光开关。

[0006] 为达到上述目的,本发明的技术解决方案如下:

[0007] 一种基于相变材料的三维集成光开关,包括:由上至下依次分布的上波导层、中间混合波导层和下波导层,所述的上层波导层与下层波导层呈垂直交叉分布,所述的中间混合波导层由依次连接的输入锥形波导、90度弯曲波导和输出锥形波导构成,所述的输入锥形波导位于所述的下层波导上,所述的输出锥形波导位于所述的上层波导层下,在所述的90度弯曲波导内侧设有电极,该电极通过金属通孔与外部金属焊盘相连。

[0008] 所述的下波导层是硅波导层或氮化硅波导层。

[0009] 所述的上波导层是硅波导层或氮化硅波导层。

[0010] 所述的中间混合波导层是在硅波导上直接溅射一层几纳米或几十纳米的相变材料构成,该相变材料是由Ge、Sb或Te元素组成化合物,比如 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 、GeTe、GeSe等。

[0011] 所述的中间混合波导层的有效折射率要满足:在相变材料非晶态时低于下层波导的有效折射率,在相变材料为晶态时高于下层波导的有效折射率。

[0012] 所述的三个波导层之间均存在间隙,该间隙的填充材料为二氧化硅或氮氧化硅等低折射率材料。

[0013] 所述的输入锥形波导和输出波导是正锥形(从边缘向内逐渐变宽),或者是倒锥形(从边缘向内逐渐变窄)。

[0014] 所述的电极由掺杂硅构成,通过金属通孔与外部金属焊盘相连接,金属焊盘上外加电脉冲使中间波导层形成局部热点,从而诱导相变材料进行相变。

[0015] 通过外加电信号激励使中间波导层形成局部热点,从而使相变材料发生相变,导致复合波导的有效折射率改变,以实现光信号从不同端口输出。

[0016] 将其作为开关单元,通过不同的开关拓扑结构,可以实现多端口进、多端口出的光开关阵列芯片,用于光通信、片上光网络等领域。

[0017] 本发明光开关的基本原理是:通过改变相变材料的状态来改变复合波导的有效折射率,从而实现光信号从不同输出端口输出,从而实现光开关功能。

[0018] 与现有技术相比,本发明的技术效果是:将相变材料应用于光开关芯片中,具有速度高、功耗低,循环次数高的特点。将相变薄膜材料作为存储介质来实现数据存储,除具有读写速度快(ns量级)、循环次数高( $>10^{12}$ )、功耗低等特点之外,还与现有的CMOS工艺兼容,技术实现难度和产业成本较低。

### 附图说明

[0019] 图1为本发明基于相变材料三维集成光开关的示意图,其中中间波导层输入和输出锥形波导为正锥形。

[0020] 图2为本发明基于相变材料三维集成光开关的示意图,其中中间波导层输入和输

出锥形波导为倒锥形。

[0021] 图3为本发明基于相变材料三维集成光开关波导有效折射率随中间波导层宽度( $W_2$ )变化曲线。

[0022] 图4为本发明基于相变材料三维集成光开关复合波导模场分布沿传播方向变化。

[0023] 图5为本发明基于相变材料三维集成光开关GST材料在电流脉冲下的相变。

### 具体实施方式

[0024] 下面结合附图和实施例对本发明做进一步阐述,但不应以此限制本发明的保护范围。

[0025] 图1为本发明基于相变材料三维集成光开关的示意图,其中中间波导层的输入锥形波导7和输出锥形波导3均为正锥形。如图1所示,本发明包括:

[0026] 一上波导层2;

[0027] 一下波导层8,该上层波导2与下层波导8呈垂直交叉分布;

[0028] 一中间混合波导层,由三部分组成:输入正锥形波导7、90度弯曲波导6和输出正锥形波导3,其中90度弯曲波导6内侧制作由掺杂硅构成的电极5,经由金属通孔4与金属焊盘1相连,在金属焊盘1上外加电脉冲,便可在中间波导层形成局部热点,从而诱导相变材料进行相变。

[0029] 本发明的光开关可以通过硅基或者氮化硅基材料实现。设计中间混合波导的结构和尺寸,使得其有效折射率在相变材料非晶态时低于下层波导的有效折射率,而在相变材料为晶态时高于下层波导有效折射率。相变材料在非晶态和晶态时的折射率差别巨大,因而可以通过设计中间层波导的尺寸,满足上述条件。根据耦合模理论,两根波导耦合后可看成是复合波导结构,存在两个超模:TE0和TE1(TE0具有偶对称,而TE1具有奇对称,TE0有效折射率高于TE1)。TE0靠近高折射率波导,TE1靠近低折射率波导;当两根波导有效折射率接近(即相位匹配)时,它们之间耦合变强,超模能量更均匀分布在两波导中。根据这样的特点,我们可以设计一种耦合结构,其中下层波导为均匀波导,中间波导为锥形波导,宽度由窄变宽。从下层硅波导输入光可激发TE0超模,在中间混合波导中模式逐渐演变。在中间末端,模式能量在两波导中的分配与相变材料状态相关:当相变材料为非晶态时,能量主要集中在下层波导中;而当相变材料为晶态时,能量主要中间到中间层波导中。同样地,锥形波导也可以设计为由宽变窄,这样输入激发TE1超模后,经过模式演变,也能将光能量保留在下层硅波导或中间到中间波导中。

[0030] 实施例

[0031] 以图1基于相变材料三维集成光开关,中间混合波导层的输入和输出波导均为正锥形为实施例,波导采用硅材料,相变材料为 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ (GST),图3为这两个超模的有效折射率随Si-GST波导宽度( $W_2$ )的变化曲线,计算时其他参数取为:下波导层宽度 $0.5\mu\text{m}$ ,下波导层高度 $0.22\mu\text{m}$ ,中间波导层总高度 $0.21\mu\text{m}$ ,其中溅射的GST高度 $10\text{nm}$ ,中间波导层与下波导层之间间距 $0.2\mu\text{m}$ 。当中间波导层宽度较小或较大时,两根波导之间的有效折射率差别比较大,它们之间的耦合比较弱,因而超模的有效折射率更接近于单根波导的有效折射率。图4显示了中间波导不同位置处的光模场分布,可以清楚看到GST在非晶态和晶态下具有不同的耦合效果。光开关器件中耦合波导后面连接Si-GST 90度弯曲波导,可以让光模式从中间

波导超模逐渐转变为单波导模式。在输出端, Si-GST波导宽度逐渐变窄, 让其有效折射率小于最上层波导有效折射率, 这样光就能从Si-GST波导耦合到输出波导。在光开关设计中采用锥形波导, 相比于均匀波导具有更高的带宽, 且工艺容差性也更好。由于GST材料在非晶态和晶态时的高折射率变化, 开关单元可以做到几个微米尺寸大小, 并且采用三维波导结构避免了波导交叉结, 使器件结构更加紧凑, 适合开关阵列的高密度集成。

[0032] 实现光开关状态的翻转, 需要利用电脉冲加热诱导使GST相变材料在非晶态和晶态之间发生可逆相变。在GST从低折射率到高折射率的结晶化过程中, 需要施加一个弱而宽的电脉冲对其进行局部加热, 当材料的温度介于结晶温度和熔点之间, 相变材料就会结晶, 从而形成具有较高折射率的晶态, 如图5所示。在GST从高折射率到低折射率的非晶化过程中, 施加一个强而窄的电脉冲进行加热, 使相变材料的温度超过材料的熔点, 达到打断晶态材料中化学键的目的。之后经过一个快速冷却的淬火过程, 使熔化状态的相变材料中的原子来不及重新成键排列, 形成短程有序, 长程无序的非晶态。在光信号经过光开关传输时, GST材料对光的吸收很弱, 产生的微弱的焦耳热不足以引起GST的相变, 不会改变开关的状态。

[0033] 以上所述, 仅为本发明中的具体实施方式和实施例, 但本发明的保护范围并不局限于此, 任何熟悉该技术的人在本发明所揭露的技术范围内, 可轻易想到的变换或替换, 都应涵盖在本发明的包含范围之内。因此, 本发明的保护范围应该以权利要求书的保护范围为准。

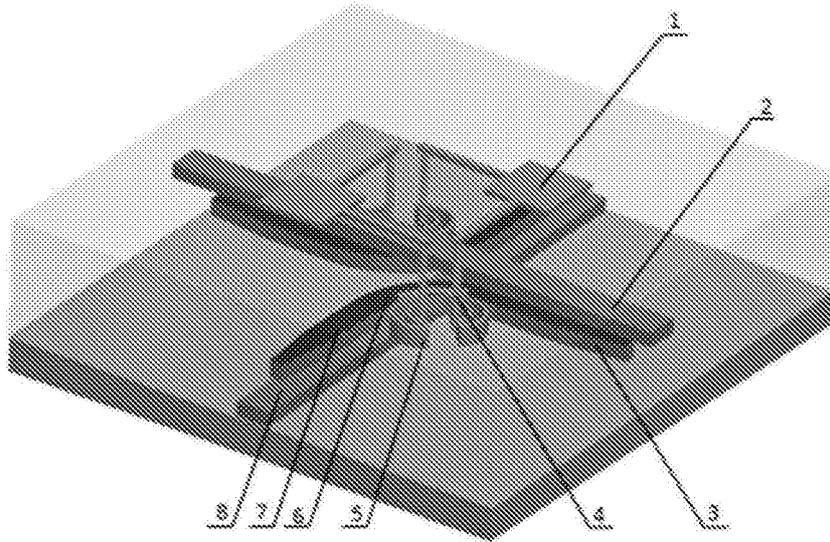


图1

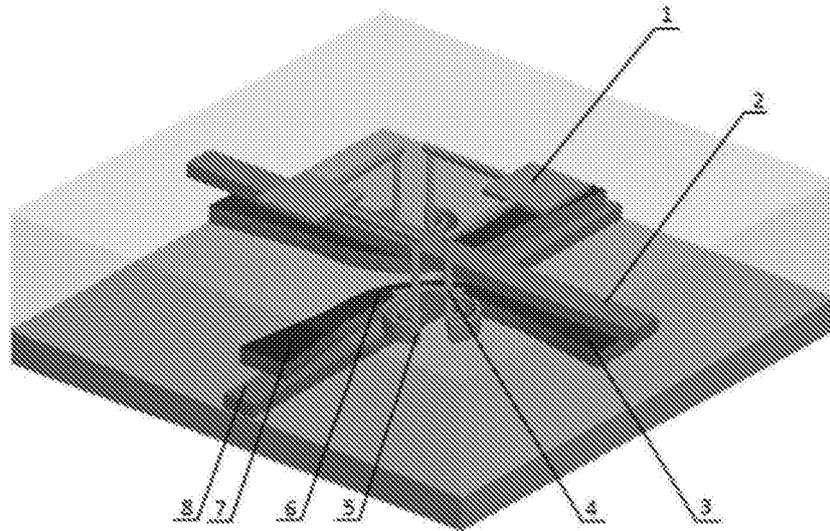


图2

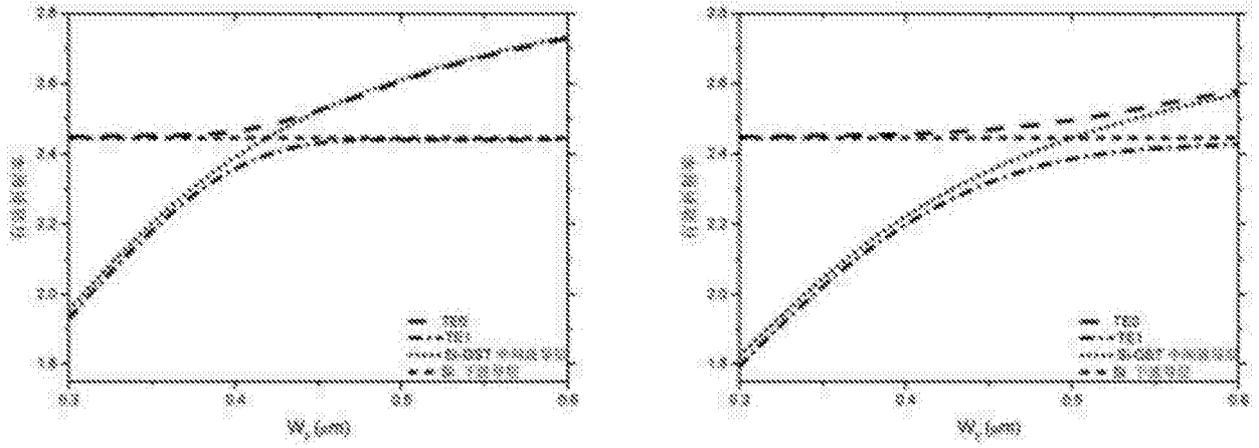


图3

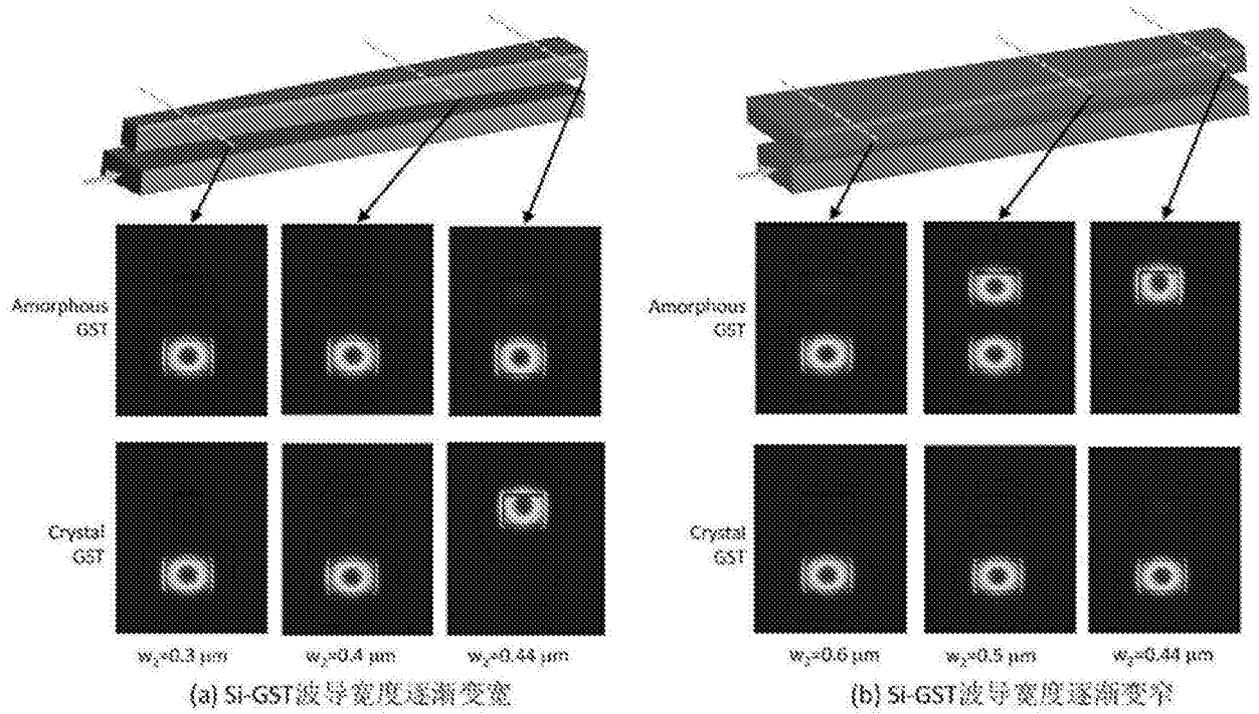


图4

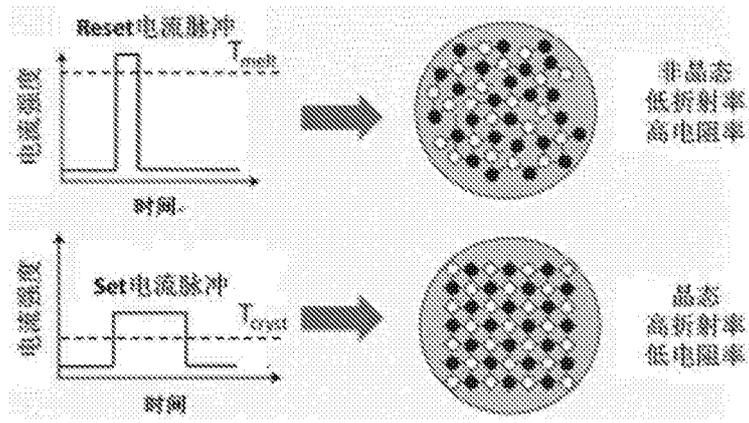


图5