

一种行波电极调制器及光子集成芯片

技术领域

[0001] 本申请涉及光通信技术领域，尤其涉及一种行波电极调制器及光子集成芯片。

背景技术

[0002] 在硅基集成光电系统中，行波电极调制器由于具有可得到较高消光比与较易集成的特点而得到广泛应用，其一般基于SOI（silicon-on-insulator，绝缘体上硅）工艺，制成硅基电光调制器。基于SOI工艺的行波电极调制器一般由光波导负载和行波电极组成，电磁波在行波电极间传输，光载波在负载光波导中传输。在光载波和电磁波传输过程中，电磁波与光载波相互作用使光载波的相位发生变化，从而完成电信号到光信号的调制。在行波电极调制器中，其主要的性能评价指标为电光带宽以及阻抗，一般需要设计较高的电光带宽以及合适的阻抗。影响电光带宽的主要因素有两个：一为带负载行波电极的损耗，二为其微波群速度与光载波群速度的匹配程度。在实际使用中，由于电磁波在行波电极中的传播速度和光波在光波导中的传播速度不一致，通常电磁波在行波电极中的传播速度要快于光波在光波导中的传递速度，从而导致电磁波和光波会有一定的失配。这种失配会导致高速信号在调制过程中，不能完全与它进入行波电极时的光波全程作用，最后导致整个行波电极调制器的电光调制带宽下降，从而导致整个调制器性能的明显降低。

发明概述

技术问题

问题的解决方案

技术解决方案

[0003] 本申请的目的在于提供一种行波电极调制器及光子集成芯片，具有较高的电光匹配度，可有效提高其电光调制带宽。

[0004] 为了实现上述目的之一，本申请提供了一种行波电极调制器，包括硅基板、设于所述硅基板内的光波导、设于所述光波导两侧并与所述光波导连接的掺杂的

过渡区，以及与所述过渡区电连接的行波电极结构；所述行波电极结构包括至少一层沿所述光波导延伸方向连续延伸的连续电极和至少一层沿所述光波导延伸方向周期性变化的周期性电极，以及导电结构；所述连续电极和所述周期性电极之间、以及所述行波电极结构和所述过渡区之间通过所述导电结构相电连接。

[0005] 作为实施方式的进一步改进，所述行波电极结构包括两层或多层所述周期性电极，和/或两层或多层所述连续电极。

[0006] 作为实施方式的进一步改进，所述周期性电极与所述连续电极间隔设置，或者两层或多层所述周期性电极相邻设置。

[0007] 作为实施方式的进一步改进，位于不同层的所述周期性电极的结构参数相等或不等；所述结构参数包括周期和占空比。

[0008] 作为实施方式的进一步改进，所述连续电极和所述周期性电极均包括信号极和接地极；位于同一层的所述信号极和接地极之间具有电极间距，位于不同层的所述电极间距相等或不等。

[0009] 作为实施方式的进一步改进，所述导电结构包括导电过孔。

[0010] 作为实施方式的进一步改进，所述硅基板包括依次层叠的硅衬底、绝缘层和光波导层，所述光波导和所述过渡区位于所述光波导层；所述行波电极结构设于所述光波导层上方。

[0011] 作为实施方式的进一步改进，所述硅衬底靠近所述绝缘层的表面设有凹槽，所述凹槽位于所述光波导的下方，沿所述光波导设置；

[0012] 或者，所述硅衬底位于所述光波导下方的区域设有一贯穿所述硅衬底上下表面的沟槽。

[0013] 作为实施方式的进一步改进，所述光波导层上方设有覆盖层，所述行波电极结构设于所述覆盖层内。

[0014] 本申请还提供了一种光子集成芯片，包括上述任一实施例所述的行波电极调制器。

发明的有益效果

有益效果

- [0015] 本申请的有益效果：在行波电极结构上增加了周期性设计的电极，具有更多可设计的参数，提高了行波电极结构设计的灵活性，可使电磁波的传播速度与光波的传播速度具有更高的匹配度，从而可有效提高调制器的电光调制带宽。

对附图的简要说明

附图说明

- [0016] 图1是常用光调制系统示意图；
[0017] 图2是本申请实施例1的调制器的横截面示意图；
[0018] 图3是本申请的调制器中的电磁场分布示意图；
[0019] 图4是本申请实施例1的调制器结构示意图；
[0020] 图5是本申请实施例2的调制器结构示意图；
[0021] 图6是图5中A-A剖面示意图；
[0022] 图7是本申请实施例2的调制器电极结构的一种变形示意图；
[0023] 图8是本申请实施例2的调制器电极结构的另一种变形示意图；
[0024] 图9是本申请实施例3的调制器结构示意图；
[0025] 图10是本申请实施例3的调制器结构的一种变形示意图。

发明实施例

本发明的实施方式

- [0026] 以下将结合附图所示的具体实施方式对本申请进行详细描述。但这些实施方式并不限制本申请，本领域的普通技术人员根据这些实施方式所做出的结构、方法、或功能上的变换均包含在本申请的保护范围内。
- [0027] 在本申请的各个图示中，为了便于图示，结构或部分的某些尺寸会相对于其它结构或部分夸大，因此，仅用于图示本申请的主题的基本结构。
- [0028] 另外，本文使用的例如“上”、“上方”、“下”、“下方”等表示空间相对位置的术语是出于便于说明的目的来描述如附图所示的一个单元或特征相对于另一个单元或特征的关系。空间相对位置的术语可以旨在包括设备在使用或工作中除了图中所示方位以外的不同方位。例如，如果将图中的设备翻转，则被描述为位于其他单元或特征“下方”或“之下”的单元将位于其他单元或特征“上方”。因此，示例性术语“下方”可以囊括上方和下方这两种方位。设

备可以以其他方式被定向（旋转90度或其他朝向），并相应地解释本文使用的与空间相关的描述语。当元件或层被称为在另一部件或层“上”、与另一部件或层“连接”时，其可以直接在该另一部件或层上、连接到该另一部件或层，或者可以存在中间元件或层。

[0029] 行波电极调制器，按照驱动方式分有单极驱动和双极驱动方式，按照光波导的排布方式还有串联推挽式结构和分离双臂式等结构。如图1所示，一般的行波电极调制系统主要由驱动器200和行波电极调制器100构成，硅基行波电极调制器由于具有可得到较高消光比与较易集成的特点而成为首选。硅基行波电极调制器主要基于CMOS-SOI工艺，在SOI（绝缘体上硅）的基础上采用CMOS（Complementary Metal-Oxide-Semiconductor，互补金属氧化物半导体）工艺制作形成。基于CMOS-SOI工艺制成的行波电极调制器100的调制区域的截面示意如图2所示，行波电极调制器100包括依次层叠的硅衬底10、绝缘层20和光波导层30，以及设于光波导层30上方的行波电极结构40，在光波导层30上还可设有绝缘的覆盖层50。这里，硅衬底10一般采用的是低阻硅，绝缘层20一般采用的是绝缘氧化物，如二氧化硅等，光波导层30一般是SOI（绝缘体上硅）中的顶层硅蚀刻而成，光波导层30包括光波导31，以及光波导31两侧掺杂形成的过渡区32。通过蚀刻顶层硅形成光波导31之后，再通过半导体掺杂工艺在光波导31两侧掺杂形成过渡区32，以在光波导31处形成PN结。然后采用CMOS工艺在光波导层30上面沉积介质和金属材料，形成覆盖层50和沉积在覆盖层50内和上表面的金属层，以及连接各金属层的导电结构。在沉积金属材料的过程中，根据行波电极结构的设计沉积形成的金属层及导电结构即可制成行波电极42和导电结构41。行波电极42通过导电结构41与光波导31两侧的过渡区32电性连接，覆盖层50内可以根据需要沉积多层金属层，形成两层或多层行波电极。

[0030] 行波电极调制器的工作原理为：驱动器（Driver）200经过键合引线电连接行波电极调制器100，光波导31放置于行波电极结构40的电场中，由驱动器200输出高速数字信号，数字信号到达行波电极调制器100，沿行波电极结构40的电极传播，光波在光波导31中传播。如图3所示，数字信号通过行波电极42和导电结构41分别施加到光波导31两侧的过渡区32，在PN结之间形成电磁场（图3中以箭

头线表示)，同时相邻的信号极S和接地极G之间的电磁场很微弱，损耗较小。行波电极结构40中高速数字信号所带来的电场变化会使PN结之间的电磁场产生变化，从而改变光波导31中的载流子浓度，以使光波导31的有效折射率发生变化。因此当高速数字信号在行波电极结构40上传播时，高速数字信号的电场使光波导31的折射率发生变化，从而使光载波的相位发生变化，使光载波携带上数字信号信息，光载波在后端的马赫增德尔干涉仪中干涉，从而完成调制。

[0031] 本申请在行波电极的淀积过程中，通过在不同的金属层间隔淀积不同的图形，形成在导波方向上的具有周期性结构的电极，这种周期性结构可以减慢电磁波的传播速度。通过控制淀积金属层的层数及其图形的尺寸，以使电磁波与光波的具有更高的匹配度，从而提高行波电极调制器的调制带宽。具体的，将在下面的实施例中详细阐述。

[0032] 实施例1

[0033] 如图2和4所示，该实施例提供了一种行波电极调制器100，包括硅基板300、设于硅基板300内的光波导31、设于光波导31两侧并与光波导31连接的掺杂的过渡区32，以及与过渡区32电连接的行波电极结构40。这里，硅基板300采用的是SOI（绝缘体上硅）结构，包括依次层叠的硅衬底10、绝缘层20和光波导层30。其中，光波导层30为SOI结构的顶层硅蚀刻而成，包括光波导31以及光波导31两侧通过半导体掺杂形成的过渡区32，行波电极结构40设于光波导层30上方。在光波导层30与行波电极结构40及各层电极之间设有覆盖层50，图4中为了清楚显示各层电极的结构，省略了覆盖层。这里，覆盖层可以是二氧化硅等介质材料，在其它实施例中，当导电结构足以支撑各层电极的时候，也可以不需要覆盖层，即以空气作为光波导层与行波电极结构之间的介质材料。上述行波电极结构40包括至少一层沿光波导31延伸方向连续延伸的连续电极42和至少一层沿光波导31延伸方向周期性变化的周期性电极43，以及导电结构41。连续电极42和周期性电极43之间、以及行波电极结构40和过渡区32之间通过该导电结构41相电连接。

[0034] 该实施例中，行波电极结构40包括一层连续电极42和一层周期性电极43，以及导电结构41。这里，导电结构41包括电连接连续电极42和过渡区32的导电过孔

，以及电连接连续电极42和周期性电极43的导电过孔。这里，连续电极42和过渡区32之间的导电结构41可以是沿连续电极42长度方向间隔排列的导电过孔，也可以是连续的长条形的导电结构。连续电极42与过渡区32之间的高度间距（导电结构的高度）可尽量小，受工艺条件限制，该高度间距可设为工艺条件限制的极限间距，如0.1微米，或者略大于该极限间距，如0.1微米~10微米之间。连续电极42使得电磁波可沿光波导31延伸方向传播，周期性电极43减慢了电磁波的传播速度，使电磁波的传播速度与光波导31内传输的光波的速度具有更高的匹配度，从而提高行波电极调制器的调制带宽。该实施例中，周期性电极43位于连续电极42上方，其周期在 $50\ \mu\text{m}$ ~ $100\ \mu\text{m}$ 范围内，占空比在90~99%范围内。在其它实施例中，也可以综合考虑调制器的其它具体参数对电磁波传输速度的影响，来设计周期性电极的周期和占空比来，使行波电极结构上传播的电磁波与光波导内传输的光波具有更好的匹配度。

[0035] 该实施例的行波电极结构40采用的GS行波电极，其连续电极42和周期性电极43均包括信号极S和接地极G，当然，在其它实施例中，也可以采用GSG或GSSG等不同类型的电极。位于同一层（同一高度的金属层形成）的信号极S和接地极G之间具有电极间距，位于不同层的电极间距相等或不等。该实施例中，连续电极42的信号极S与接地极G之间具有电极间距D1，周期性电极43的信号极S与接地极G之间具有电极间距D2，这里，电极间距D1与电极间距D2相等。在其它实施例中，位于不同层的电极间距可以不相等。各层电极的宽度（垂直于光波导31延伸方向）可以相等，也可以不等。包括至少一层的连续电极42和至少一层的周期性电极43的行波电极结构40，增加了可灵活设计的周期、占空比、电极间距、电极宽度以及导电过孔等多种影响电磁波传播速度的参数，使得该调制器具有更好地设计灵活性，可使电磁波与光波导内传输的光波的具有更高的匹配度，从而提高行波电极调制器的调制带宽。

[0036] 实施例2

[0037] 如图5和6所示，与实施例1不同的是，该实施例中，行波电极结构40包括两层连续电极42和两层周期性电极43，周期性电极43与连续电极42间隔设置，这里为了清楚显示各层电极的结构，图5和6中省略了覆盖层。各层周期性电极43的

周期和占空比可以相同也可以不同，各层电极的信号极S与接地极G之间的电极间距也可以相同或不同，都可根据调制器实际结构设计，以使电磁波的传播速度和光波的传播速度完全匹配为目标。

[0038] 在其它实施例中，各层周期性电极和连续电极的分布顺序可以根据实际需要设计，不一定要间隔设置。如图7所示，在过渡区32上方通过导电结构41依次连接两层周期性电极43和两层连续电极42。当然，各层电极也可以通过导电结构间隔电性连接，即跳过相邻的电极，与更高一层的电极电性连接。如图8所示，过渡区32通过导电结构41与第一层的连续电极42电性连接，第一层的连续电极42跳过第二层的周期性电极43，与第三层的连续电极42电性连接，第三层的连续电极42再分别与第二层和第四层的周期性电极43电性连接。即，对各层电极的电性连接方式不做限定，可根据实际需要设计不同的电性连接方式。当然，也可以设置更多层的连续电极和/或更多层的周期性电极，连续电极的层数和周期性电极的层数也可以不相等，如可以设置两层连续电极和三层周期性电极。

[0039] 实施例3

[0040] 如图9所示，该实施例是在上述任一实施例的基础上，在硅衬底10靠近绝缘层20的表面增加凹槽11，该凹槽11位于的光波导31的下方，沿光波导31设置。在光波导31下方的硅衬底10设置凹槽11，即将光波导31下方的硅衬底10掏空一部分，在硅衬底10与绝缘层20之间形成一中空结构，可以减少电磁场在硅衬底10中的分布，从而减少电磁场在衬底层中的损耗，以降低行波电极的微波损耗，可进一步提升电光调制器的电光带宽。这里，凹槽11横截面的形状可因实际制作工艺的不同而不同，如图9所示的凹槽11横截面为矩形，在其它实施例中，也可能是半椭圆或其它规则或不规则形状等。当然，也可以在该凹槽内填上无损耗介质，如二氧化硅、陶瓷、树脂和胶水等，以提高调制器的机械强度。

[0041] 在其它实施例中，上述凹槽也可以是贯穿硅衬底的沟槽，如图10所示，在硅衬底10位于光波导31下方的区域掏出一贯穿硅衬底10上下表面的沟槽12，以减少电磁场在衬底层中的损耗，从而降低行波电极的微波损耗，进一步提升电光调制器的电光带宽。当然，该沟槽12内也可以填上无损耗介质，如二氧化硅、陶瓷、树脂和胶水等，以提高调制器的机械强度。

[0042] 实施例4

[0043] 该实施例提供一种光子集成芯片，该光子集成芯片中集成了上述实施例1-3中的行波电极调制器。该光子集成芯片内还可以设计有光探测器、波分复用/解复用器、耦合器和/或模斑变换器等光有源或光无源器件。

[0044] 上文所列出一系列的详细说明仅仅是针对本申请的可行性实施方式的具体说明，它们并非用以限制本申请的保护范围，凡未脱离本申请技艺精神所作的等效实施方式或变更均应包含在本申请的保护范围之内。

权利要求书

- [权利要求 1] 一种行波电极调制器，包括硅基板、设于所述硅基板内的光波导、设于所述光波导两侧并与所述光波导连接的掺杂的过渡区，以及与所述过渡区电连接的行波电极结构；其特征在于：所述行波电极结构包括至少一层沿所述光波导延伸方向连续延伸的连续电极和至少一层沿所述光波导延伸方向周期性变化的周期性电极，以及导电结构；所述连续电极和所述周期性电极之间、以及所述行波电极结构和所述过渡区之间通过所述导电结构相电连接。
- [权利要求 2] 根据权利要求1所述的行波电极调制器，其特征在于：所述行波电极结构包括两层或多层所述周期性电极，和/或两层或多层所述连续电极。
- [权利要求 3] 根据权利要求2所述的行波电极调制器，其特征在于：所述周期性电极与所述连续电极间隔设置，或者两层或多层所述周期性电极相邻设置。
- [权利要求 4] 根据权利要求2所述的行波电极调制器，其特征在于：位于不同层的所述周期性电极的结构参数相等或不等；所述结构参数包括周期和占空比。
- [权利要求 5] 根据权利要求1所述的行波电极调制器，其特征在于：所述连续电极和所述周期性电极均包括信号极和接地极；位于同一层的所述信号极和接地极之间具有电极间距，位于不同层的所述电极间距相等或不等。
- [权利要求 6] 根据权利要求1所述的行波电极调制器，其特征在于：所述导电结构包括导电过孔。
- [权利要求 7] 根据权利要求1所述的行波电极调制器，其特征在于：所述硅基板包括依次层叠的硅衬底、绝缘层和光波导层，所述光波导和所述过渡区位于所述光波导层；所述行波电极结构设于所述光波导层上方。
- [权利要求 8] 根据权利要求7所述的行波电极调制器，其特征在于：所述硅衬底靠近所述绝缘层的表面设有凹槽，所述凹槽位于所述光波导的下方，沿

所述光波导设置；

或者，所述硅衬底位于所述光波导下方的区域设有一贯穿所述硅衬底上下表面的沟槽。

[权利要求 9] 根据权利要求7所述的行波电极调制器，其特征在于：所述光波导层上方设有覆盖层，所述行波电极结构设于所述覆盖层内。

[权利要求 10] 一种光子集成芯片，其特征在于：包括权利要求1-9任一项所述的行波电极调制器。