

说明书

发明名称: 光调制器

[0001] 本申请要求于2023年9月18日提交中国专利局、申请号为202322533198.7、发明名称为“光调制器”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

[0002] 本实用新型涉及光通信技术领域，特别是涉及光调制器。

背景技术

[0003] 在硅基集成光电系统中，基于SOI(silicon-on-insulator，绝缘体上硅)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。

[0004] 在相关技术中，硅基行波电极调制器主要是基于CMOS（Complementary Metal-Oxide-Semiconductor，互补金属氧化物半导体）的SOI工艺制作而成，其具有成本低，易于大规模制作等特点。但是这种结构存在着电磁波与光波的群折射率不一致的情况，这会导致调制器内光电失配的问题，从而劣化调制器的调制性能。

实用新型内容

[0005] 基于此，有必要针对上述技术问题，提供一种光调制器，提高了光调制器传输电信号速度的匹配度，从而提高了光调制器调制光信号的性能。

[0006] 为了实现上述目的，本申请提供了一种光调制器，所述光调制器包括：

[0007] 第一介质层；

[0008] 第二介质层，位于所述第一介质层上，所述第二介质层中设有波导结构；

[0009] 绝缘层，位于所述第二介质层上；

- [0010] 信号传输结构，包括第一导电结构和第二导电结构，其中，所述第一导电结构位于所述绝缘层上，所述第二导电结构位于所述第二介质层中，所述第二导电结构通过过孔分别与所述波导结构、所述第一导电结构电性连接；其中，
- [0011] 所述第一导电结构和所述第二导电结构中的至少一个具有目标导电结构，所述目标导电结构为周期性结构，电信号在所述目标导电结构延伸方向上传输的路径距离大于光信号在所述波导结构延伸方向上传输的路径距离。
- [0012] 在其中一个实施例中，所述信号传输结构包括多个所述第一导电结构；其中一所述第一导电结构紧邻所述绝缘层，且通过过孔贯穿所述绝缘层与所述第二导电结构电性连接，各所述第一导电结构沿所述第一介质层指向所述绝缘层的方向层叠设置。
- [0013] 在其中一个实施例中，所述信号传输结构包括多个所述第二导电结构；其中一所述第二导电结构的一端通过过孔与所述第一导电结构，另一端通过过孔与所述波导结构电性连接，各所述第一导电结构沿所述绝缘层指向所述第一介质层的方向层叠设置。
- [0014] 在其中一个实施例中，所述信号传输结构包括多个所述第一导电结构和多个所述第二导电结构，所述第一导电结构和所述第二导电结构的总个数范围在6至8层。
- [0015] 在其中一个实施例中，所述光调制器还包括第三介质层，所述第三介质层位于所述绝缘层上，所述第二导电结构设于所述第三介质层内。
- [0016] 在其中一个实施例中，所述绝缘层和所述第三介质层为同一材料制成。
- [0017] 在其中一个实施例中，所述第一介质层为硅层或玻璃材料层。
- [0018] 在其中一个实施例中，所述第一介质层通过键合形成于所述第二介质层上。
- [0019] 在其中一个实施例中，所述第一导电结构包括两个第一子导电结构，所述两个第一子导电结构具有所述目标导电结构，且所述两个第一子导电结构相对设置或相背设置。
- [0020] 在其中一个实施例中，所述第二导电结构包括两个第二子导电结构，各所述第二子导电结构具有所述目标导电结构，且所述两个第二子导电结构相对设置或相背设置。

- [0021] 在其中一个实施例中，所述目标导电结构包括主导电结构和多个沿所述波导结构的延伸方向上呈周期性排布的侧导电结构；其中，各所述侧导电结构与所述主导电结构电性连接。
- [0022] 上述光调制器，包括信号传输结构和依次层叠设置的第一介质层、第二介质层和绝缘层，其中，第二介质层中设有波导结构，信号传输结构包括第一导电结构和第二导电结构，第一导电结构位于绝缘层上，第二导电结构位于第二介质层中，且第二导电结构通过过孔分别与波导结构、第一导电结构电性连接，由于第一导电结构和第二导电结构中的至少一个具有周期性结构的目标导电结构，并且电信号在目标导电结构延伸方向上传输的路径距离大于光信号在波导结构延伸方向上传输的路径距离，相较于光信号的传输路径，目标导电结构增长了电信号的传输路径，起到了减慢电信号传输速度的作用，使得光调制器传输电信号的速度与传输光信号的速度能够达到一致，提高了光调制器传输电光信号的速度匹配度，从而提高了光调制器对光信号的调制性能；此外，本申请的光调制器中的波导结构、第一导电结构、第二导电结构构成了新型“三明治”结构，并且用第一介质层取代了相关技术中基于CMOS-SOI工艺中的衬底层，该第一介质层不会与波导结构形成寄生电容，相较于衬底层与波导结构之间会存在寄生电容的旧式光调制器（衬底层、波导结构层和氧化层），本申请提供的光调制器提高了光调制器的电光带宽，从而提高了光调制器对光信号的调制性能。

附图说明

- [0023] 图1为一个实施例提供的光调制器的XY截面结构示意图；
- [0024] 图2为一个实施例提供的光调制器的XY截面结构示意图；
- [0025] 图3至图10为一个实施例提供的导电结构的XZ截面结构示意图；
- [0026] 图11为一个实施例提供的第一导电结构的XZ截面结构示意图；
- [0027] 图12为一个实施例提供的调制器的三维立体结构示意图。
- [0028] 附图标记说明：
- [0029] 10-第一介质层，20-第二介质层，210-波导结构，211-光波导，212-slab结构，213-contact结构，30-绝缘层，40-信号传输结构，410-第一导电结

构，411-第一子导电结构，420-第二导电结构，421-第二子导电结构，50-过孔，60-第三介质层，710-主导电结构，720-侧导电结构。

具体实施方式

- [0030] 为了便于理解本实用新型，下面将参照相关附图对本实用新型进行更全面的描述。附图中给出了本实用新型的首选实施例。但是，本实用新型可以以许多不同的形式来实现，并不限于本文所描述的实施例。相反地，提供这些实施例的目的是使对本实用新型的公开内容更加透彻全面。
- [0031] 除非另有定义，本文所使用的所有的技术和科学术语与属于本实用新型的技术领域的技术人员通常理解的含义相同。本文中在本实用新型的说明书中所使用的术语只是为了描述具体的实施例的目的，不是旨在于限制本实用新型。本文所使用的术语“及/或”包括一个或多个相关的所列项目的任意的和所有的组合。
- [0032] 在本实用新型的描述中，需要理解的是，术语“上”、“下”、“竖直”、“水平”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方法或位置关系，仅是为了便于描述本实用新型和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本实用新型的限制。
- [0033] 正如背景技术所言，相关技术中的行波电极电光调制器存在电磁波与光波的群折射率不一致的情况，一般由于光在硅波导中传播，硅波导的折射率比较大，这样导致了光波的速度较慢，其群折射率比较高，而由于电磁波其周围介质电介质常数比较低，所以电磁波的传播比较快，其群折射率比较低，这就导致调制器传输光波的速度比传输电磁波的速度慢，由此出现电光失配的问题，如此恶化了调制器对光信号的调制性能。对于此，本申请提供了一种调制器，使得调制器传输电光信号的速度达到一致，提高了调制器的调制性能。
- [0034] 在一个实施例中，如图1所示，提供了一种光调制器，该光调制器包括第一介质层10、第二介质层20、绝缘层30和信号传输结构40。
- [0035] 其中，第二介质层20位于第一介质层10上，第二介质层20中设有波导结构210，波导结构210可以包括光波导211、slab结构212和contact结构213。其中，

光波导211通过slab结构212与contact结构213电性连接，光波导211用于传输光信号，slab结构212和contact结构213可用于传输电信号。

- [0036] 绝缘层30位于第二介质层20上。信号传输结构40可以包括第一导电结构410和第二导电结构420。信号传输结构40用于传输电信号。其中，第一导电结构410紧邻绝缘层30。第一导电结构410通过过孔50贯穿绝缘层30与第二导电结构420电性连接。第一导电结构410可以作为行波电极，与外部电气连接。示例性的，光调制器还可以包括第三介质层60，第三介质层60位于绝缘层30上，第一导电结构410设于第三介质层内。可选地，第三介质层60可以与绝缘层30为同一层。第二导电结构420位于第二介质层20中。第二导电结构420通过过孔50与波导结构210电性连接。具体地，第二导电结构通过过孔50与contact结构213电性连接。其中，过孔50可以为连续的面板结构，也可以是具有周期形间隙的导电支撑柱结构，也可以是其他任意合适的结构，在此对过孔50的结构、高度等不做任何限定。
- [0037] 第一导电结构410和第二导电结构420中的至少一个具有目标导电结构。例如，第一导电结构410具有目标导电结构，或者，第二导电结构420具有目标导电结构，或者，第一导电结构410和第二导电结构420都具有目标导电结构。实际应用中，可以根据具体的应用场景设置第一导电结构410和第二导电结构420是否具有目标导电结构，在此不做任何限定。
- [0038] 其中，目标导电结构为周期性结构。并且，电信号在目标导电结构延伸方向上传输的路径距离大于光信号在波导结构210延伸方向上传输的路径距离。目标导电结构可以理解为用于增长电信号在导电结构延伸方向传输路径的结构。目标导电结构可以是整体周期性结构，也可以是部分周期性结构，具体可参见下述内容介绍。
- [0039] 示例性的，第一介质层10可以为硅层或玻璃材料层，其中，玻璃材料包括但不限于氧化硅、氧化硼等。第一介质层10相当于支撑硅，起到衬底的作用。示例性的，第二介质层20和第三介质层60可以为氮化硅层、二氧化硅层等任意合适的介质层中的任一种或多种。示例性的，第二介质层20和第三介质层60可以由二氧化硅和氮化硅的多层沉积制成。示例性的，绝缘层30可以为氧化层，如二氧化

硅层。示例性的，绝缘层30和第三介质层60可以由同一材料制成，例如，绝缘层30和第三介质层60均为二氧化硅层。示例性的，波导结构210可以为硅结构。信号传输结构40可以为金属结构，如铜、铝。在此对各层、各结构的材料不做任何限定。

[0040] 上述光调制器，包括信号传输结构40和依次层叠设置的第一介质层10、第二介质层20和绝缘层30，其中，第二介质层20中设有波导结构210，信号传输结构40包括第一导电结构410和第二导电结构420，第一导电结构410位于绝缘层30上，第二导电结构420位于第二介质层20中，且第二导电结构420通过过孔50分别与波导结构210、第一导电结构410电性连接，由于第一导电结构410和第二导电结构420中的至少一个具有周期性结构的目标导电结构，并且电信号在目标导电结构延伸方向上传输的路径距离大于光信号在波导结构210延伸方向上传输的路径距离，相较于光信号的传输路径，目标导电结构增长了电信号的传输路径，起到了减慢电信号传输速度的作用，使得光调制器传输电信号的速度与传输光信号的速度能够达到一致，提高了光调制器传输电光信号的速度匹配度，从而提高了光调制器对光信号的调制性能。

[0041] 实际应用中，可以基于CMOS-SOI技术，对SOI晶圆（wafer）进行刻蚀、沉积等工艺得到上述实施例提供的光调制器。其中，SOI wafer包括依次层叠设置的衬底层、绝缘层30和晶体硅层。首先，对晶体硅层进行刻蚀，于绝缘层30上形成波导结构210，波导结构210包括波导211、slab结构212和contact结构213。然后，经过掺杂工艺，对波导结构210掺杂载流子以便与上层的金属形成电气连接。然后，采用金属沉积工艺形成与波导结构210电性连接的第一导电结构410，以及于绝缘层30上沉积形成第二介质层20，第一导电结构410位于第二介质层20内。如此，波导结构210和第一导电结构410形成相关技术中的旧式光调制器，该旧式光调制器包括衬底层、绝缘层30和第二介质层20，其中，第二介质层20中设有与波导结构210电性连接的第一导电结构410。

[0042] 本申请在上述工艺基础上，可以采用键合的方式于第二介质层20上形成第一介质层10，并去除原有的衬底层。倒转该结构后，对绝缘层30进行刻蚀形成过孔50，并采用金属沉积工艺于绝缘层30上形成第二导电结构420，以及于绝缘层30

上再沉积形成第三介质层60，第二导电结构420位于第三介质层60内。其中，第二导电结构420通过过孔50与第一导电结构410形成电气连接。基于此，形成具有“三明治”结构的新型光调制器，其中，“三明治”结构是指波导结构210和信号传输结构40，信号传输结构40包括第一导电结构410和第二导电结构420。

[0043] 上述新型光调制器，包括自下而上层叠设置的第一介质层10、第二介质层20、绝缘层30和第三介质层60，以及设于第二介质层20中的波导结构210、第一导电结构410、设于第三介质层60中的第二导电结构420。由于具有衬底层的旧式光调制器中，波导结构210所在的硅层距离衬底层只间隔了一个绝缘层30的厚度，而绝缘层30的厚度一般在3um以内，且衬底层本身具有一定的电阻率（1-300ohm-cm），其可视为电导率较低的导体；再由于波导结构210为一定掺杂的硅，其电特性接近于导体，如此导致波导结构210所在的硅层与衬底层之间形成一个平板电容，该平板电容存在较大的寄生电容，这会导致光调制器带宽以及阻抗的明显降低，劣化行波电极调制器的性能。对于此，本申请实施例提供的新型光调制层去除了原有的衬底层，使得波导结构210所在的硅层无法再与衬底层形成平板，也即，消除了波导结构210与衬底之间的寄生电容，避免了寄生电容造成光调制器的带宽及阻抗降低的问题，从而提高了光调制器的调制性能。

[0044] 在一个实施例中，如图2所示，信号传输结构40可以包括多个第一导电结构410。其中，一个第一导电结构410位于绝缘层30上，且通过过孔50与第二导电结构420电性连接。各第一导电结构410沿第一介质层10指向绝缘层30的方向通过过孔50层叠设置。在图4中，以信号传输结构40包括两个第一导电结构410为例，两个第一导电结构410分别为第一导电结构a和第二导电结构b，其中，第一导电结构a位于绝缘层30上，第一导电结构a通过过孔50分别与第一导电结构b、第二导电结构420电性连接，且第二导电结构b位于第一导电结构a远离绝缘层30的一侧。

[0045] 请继续参阅图2，信号传输结构40可以多个第二导电结构420。其中，一第二导电结构420通过过孔50与第一导电结构410电性连接，各第一导电结构410沿绝缘层30指向第一介质层10的方向通过过孔50层叠设置。在图4中，以信号传输结构40包括三个第二导电结构420为例，三个第二导电结构420分别为第二导电结构

a、第二导电结构b和第二导电结构c，其中，第二导电结构a通过过孔50分别与波导结构210、第一导电结构410电性连接，第二导电结构a、第二导电结构b和第二导电结构c分别通过过孔50由绝缘层30指向第一介质层10的方向（即Y轴负方向）上层叠设置。

- [0046] 可选地，第一导电结构410和第二导电结构420的总个数可以为6层、7层、8层，具体可以根据实际应用需求和工艺条件进行设置，在此不做限定。
- [0047] 请继续参阅图2，第一波导结构410可以包括两个第一子导电结构411，这两个第一子导电结构411沿波导结构210的延伸方向对称设置，分别位于波导结构210的两侧，并且分别通过过孔50与波导结构210电性连接。
- [0048] 第二波导结构420可以包括两个第二子导电结构421，这两个第二子导电结构421沿波导结构210的延伸方向对称设置，分别位于波导结构210的两侧，并且分别通过过孔50对应与第一子导电结构411电性连接。
- [0049] 上述光调制器，第一波导结构410可以包括对称设置的两个第一子导电结构411，第二波导结构420可以包括对称设置的两个第二子导电结构421，其中，任一同层的两个子波导结构可以具有周期性的目标导电结构，能够更好地调制波导结构210传输的光信号，还能增长电信号在目标导电结构延伸方向上的传输路径，使得光信号的光调制器传输电信号的速度与传输光信号的速度能够达到一致，提高光调制器传输电光信号的速度匹配度，从而提高光调制器对光信号的调制性能。
- [0050] 如图3和图4所示，目标导电结构可以为整体周期性结构，可以呈锯齿波形结构或S形结构以及其他任意合适的周期性结构。以第一导电结构410具有S形目标导电结构为例，图3示出了该第一导电结构410在XZ截面的结构示意图。由于第一导电结构410具有两个第一子导电结构411，在第一导电结构410具有S形目标导电结构的情况下，两个第一子导电结构411均具有如图3所示的S形的目标导电结构。
- [0051] 如图5至图10所示，目标导电结构可以包括主导电结构710和多个沿波导结构210延伸方向呈周期性排布的侧导电结构720。其中，各侧导电结构720与主导电结构710电性连接。各侧导电结构720可以相邻设置或间隔设置。其中，各侧导

电结构720的形状相同，侧导电结构720的形状可以为矩形、三角形和弯折形中的任意一种。其中，弯折形可以为任意弯折的图形，例如T字形、ㄣ形等。示例性的，如图5和图8所示，侧导电结构720的形状为矩形，其中，各侧导电结构720周期形间隔设置；如图6和图9所示，侧导电结构720的形状为三角形，各侧导电结构720既可以间隔设置也可以相邻设置；如图7和图10所示，侧导电结构720的形状为T字形，且各侧导电结构720间隔设置。

[0052] 需要说明的是，图5至图7所示的各侧导电结构720对称设于主导电结构710的两侧，构成整体周期性的目标导电结构。图8至图10所示的各侧导电结构720设于主导电结构710电信号传输方向上的同一侧，构成部分周期性的目标导电结构。其中，各侧导电结构720既可以位于主导电结构710的左侧如图10所示，也可以位于主导电结构710的右侧如图8和图9所示，在此不做限定。基于此导电结构60，解决了调制器由于群折射率不一致导致的电光失配问题，提高了调制器的调制性能。

[0053] 上述光调制器，各侧导电结构720在主导电结构710上呈整体周期性排布或呈部分周期性排布，能够增长电信号在目标导电结构延伸方向上的传输路径距离，起到了减慢电信号传输速度的作用，使得调制器传输电信号的速度与传输光信号的速度能够达到一致，提高了调制器传输电光信号的匹配度，从而解决了调制器电光失配的问题，提高了调制器调制光信号的性能。

[0054] 由上述图1和图2所示的实施例可知，第一导电结构410和第二导电结构420可以分别包括对称设置的两个子导电结构，也即，第一导电结构410可以包括对称设置的两个第一子导电结构411，第二导电结构420可以包括对称设置的两个第二子导电结构421。其中，任一同层设置的两个子导电结构上可以分别具有目标导电结构。例如，两个第一子导电结构411具有目标导电结构，或者，两个第二子导电结构421具有目标导电结构，或者，两个第一子导电结构411和两个第二子导电结构421具有目标导电结构。

[0055] 其中，在各侧导电结构720设于主导电结构710在导电结构延伸方向上的同一侧的情况下，同层的两个子导电结构中的侧导电结构720可以相对设置或相背设

置。其中，同层设置的两个子导电结构的侧导电结构720的形状可以相同，也可以不同，使得光调制器传输电光信号的速度匹配即可。

[0056] 示例性的，两个第一子导电结构411具有周期性的目标导电结构时，这两个第一子导电结构411中的侧导电结构720可以相对设置或相背设置。如图11所示，两个第一子导电结构411（第一子导电结构411a和第一子导电结构411b）的侧导电结构720相对设置，其中，第一子导电结构411a的侧导电结构720设于主导电结构710在导电结构延伸方向上的右侧，且第一子导电结构411a的侧导电结构720的形状为矩形，第一子导电结构411b的侧导电结构720设于主导电结构710在导电结构延伸方向上的左侧，且第一子导电结构411b的侧导电结构720的形状为三角形。如图12所示，两个第一子导电结构411（第一子导电结构411a和第一子导电结构411b）的侧导电结构720相背设置，其中，第一子导电结构411a的侧导电结构720设于主导电结构710在导电结构延伸方向上的左侧，且第一子导电结构411a的侧导电结构720的形状为三角形，第一子导电结构411b的侧导电结构720设于主导电结构710在导电结构延伸方向上的右侧，且第一子导电结构411b的侧导电结构720的形状为三角形。

[0057] 以上所述实施例的各技术特征可以进行任意的组合，为使描述简洁，未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述，然而，只要这些技术特征的组合不存在矛盾，都应当认为是本说明书记载的范围。

[0058] 以上所述实施例仅表达了本实用新型的几种实施方式，其描述较为具体和详细，但并不能因此而理解为对实用新型专利范围的限制。应当指出的是，对于本领域的普通技术人员来说，在不脱离本实用新型构思的前提下，还可以做出若干变形和改进，这些都属于本实用新型的保护范围。因此，本实用新型专利的保护范围应以所附权利要求为准。

权利要求书

- [权利要求 1] 一种光调制器，其特征在于，包括：
- 第一介质层；
- 第二介质层，位于所述第一介质层上，所述第二介质层中设有波导结构；
- 绝缘层，位于所述第二介质层上；
- 信号传输结构，包括第一导电结构和第二导电结构，其中，所述第一导电结构位于所述绝缘层上，所述第二导电结构位于所述第二介质层中，所述第二导电结构通过过孔分别与所述波导结构、所述第一导电结构电性连接；其中，
- 所述第一导电结构和所述第二导电结构中的至少一个具有目标导电结构，所述目标导电结构为周期性结构，电信号在所述目标导电结构延伸方向上传输的路径距离大于光信号在所述波导结构延伸方向上传输的路径距离。
- [权利要求 2] 根据权利要求1所述的光调制器，其特征在于，所述信号传输结构包括多个所述第一导电结构；其中一所述第一导电结构紧邻所述绝缘层，且通过过孔贯穿所述绝缘层与所述第二导电结构电性连接，各所述第一导电结构沿所述第一介质层指向所述绝缘层的方向层叠设置。
- [权利要求 3] 根据权利要求1所述的光调制器，其特征在于，所述信号传输结构包括多个所述第二导电结构；其中一所述第二导电结构的一端通过过孔与所述第一导电结构，另一端通过过孔与所述波导结构电性连接，各所述第一导电结构沿所述绝缘层指向所述第一介质层的方向层叠设置。
- [权利要求 4] 根据权利要求1所述的光调制器，其特征在于，所述信号传输结构包括多个所述第一导电结构和多个所述第二导电结构，所述第一导电结构和所述第二导电结构的总个数范围在6至8层。

- [权利要求 5] 根据权利要求1所述的光调制器，其特征在于，所述光调制器还包括第三介质层，所述第三介质层位于所述绝缘层上，所述第二导电结构设于所述第三介质层内。
- [权利要求 6] 根据权利要求5所述的光调制器，其特征在于，所述绝缘层和所述第三介质层为同一材料制成。
- [权利要求 7] 根据权利要求1所述的光调制器，其特征在于，所述第一介质层为硅层或玻璃材料层。
- [权利要求 8] 根据权利要求1所述的光调制器，其特征在于，所述第一介质层通过键合形成于所述第二介质层上。
- [权利要求 9] 根据权利要求1所述的光调制器，其特征在于，所述第一导电结构包括两个第一子导电结构，所述两个第一子导电结构具有所述目标导电结构，且所述两个第一子导电结构相对设置或相背设置。
- [权利要求 10] 根据权利要求1所述的光调制器，其特征在于，所述第二导电结构包括两个第二子导电结构，各所述第二子导电结构具有所述目标导电结构，且所述两个第二子导电结构相对设置或相背设置。
- [权利要求 11] 根据权利要求1所述的光调制器，其特征在于，所述目标导电结构包括主导电结构和多个沿所述波导结构延伸方向上呈周期性排布的侧导电结构；其中，各所述侧导电结构与所述主导电结构电性连接。