

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202322529355.7、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。评价行波电极调制器的性能指标主要包括电光带宽以及阻抗。

[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。基于CMOS-SOI工艺的行波电极调制器结构由上至下依次为顶层硅、绝缘层和硅衬底。由于硅衬底会和光波导两侧的掺杂接触区通过绝缘层形成一个寄生电容结构，这会降低行波电极调制器的电光带宽及阻抗，如此会劣化调制器对光信号的调制性能。

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，提高了光调制器的电光带宽。

[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和第一金属层，所述波导结构与所述第一金属层电性连接；

- [0009] 绝缘层，位于所述第二介质层上；
- [0010] 第三介质层，位于所述绝缘层上，所述第三介质层中设有第二金属层，所述第二金属层通过过孔与所述第一金属层电性连接；
- [0011] 金属栅层，包括多个间隔排布的金属栅极结构，各所述金属栅极结构在所述波导结构的信号传输方向上呈周期性排列，所述金属栅层分别与所述第一金属层、所述第二金属层绝缘设置。
- [0012] 在其中一个实施例中，所述第二金属层通过过孔、各所述第一金属层与所述波导结构电性连接。
- [0013] 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。
- [0014] 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。
- [0015] 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。
- [0016] 在其中一个实施例中，所述金属栅层设于所述第三介质层内且与所述第二金属层间隔设置，或者，所述金属栅层设于所述第二介质层内且与所述第一金属层间隔设置。
- [0017] 在其中一个实施例中，所述金属栅层设于所述第二介质层和所述第三介质层，且所述金属栅层分别与所述第一金属层、所述第二金属层间隔设置。
- [0018] 在其中一个实施例中，所述金属栅层包括第一子栅层和第二子栅层；其中，所述第一子栅层和所述第二子栅层分别对称位于所述第二金属层的两侧，所述第一子栅层和所述第二子栅层分别包括多个沿所述波导结构信号传输方向呈周期性排列的栅极结构。
- [0019] 在其中一个实施例中，所述光调制器包括至少两层第二金属层，其中，所述至少两层第二金属层之间通过过孔电性连接，所述金属栅层包括多个沿所述波导结构的信号传输方向呈周期性排列的第一子栅极结构，各所述第一子栅极结构位于同一第二金属层上方的相邻两个所述过孔之间的空隙中。
- [0020] 在其中一个实施例中，所述金属栅层还包括多个沿所述波导结构的信号传输方向呈周期性排列的第二子栅极结构；其中，各所述第一子栅极结构设于所述绝缘层上，与所述各第二子栅极结构在所述波导结构的信号传输方向上交错设置。

[0021] 上述光调制器，包括金属栅层和自下而上依次层叠设置的第一介质层、第二介质层、绝缘层和第三介质层，其中，第二介质层中设有波导结构和第一金属层，第三介质层中设有第二金属层，其中，第一金属层通过过孔分别与波导结构、第二金属层电性连接，形成新型“三明治”结构，并且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；此外，金属栅层包括沿波导结构信号传输方向呈周期性排布的金属栅极结构，可有效减小电磁波的传输速度，也即，减慢了电磁波的传输速度，使得电磁波的传输速度与光的传输速度相匹配，解决了电光调制器中电光失配的问题，提升了调制器的电光带宽。

附图说明

- [0022] 图1为一个实施例提供的光调制器的截面结构示意图之一；
- [0023] 图2为一个实施例提供的光调制器的三维立体结构示意图之一；
- [0024] 图3为一个实施例提供的光调制器的截面结构示意图之二；
- [0025] 图4为一个实施例提供的光调制器的三维立体结构示意图之二；
- [0026] 图5为一个实施例提供的光调制器的三维立体结构示意图之三；
- [0027] 图6为一个实施例提供的光调制器的截面结构示意图之三；
- [0028] 图7为一个实施例提供的图6所示光调制器的三维立体结构示意图；
- [0029] 图8为一个实施例提供的光调制器的三维立体结构示意图之四；
- [0030] 图9为一个实施例提供的光调制器的截面结构示意图之四；
- [0031] 图10为一个实施例提供的图9所示光调制器的三维立体结构示意图；
- [0032] 图11为一个实施例提供的光调制器的截面结构示意图之五；
- [0033] 图12为一个实施例提供的图11所示光调制器的三维立体结构示意图；
- [0034] 图13为一个实施例提供的光调制器的截面结构示意图之五。
- [0035] 附图标记说明：
- [0036] 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，220-第一金属层，30-绝缘层，40-第三介质层，410-

第二金属层，50-过孔，60-金属栅层，610-金属栅极结构，620-第一子栅层，630-第二子栅层，640-第一子栅极结构，650-第二子栅极结构。

具体实施方式

- [0037] 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。
- [0038] 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。
- [0039] 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。
- [0040] 正如背景技术所言，基于COMS-SOI工艺的硅基行波电极调制器，其波导所在的膜层距离衬底层只间隔了一个绝缘层，且衬底本身具有一定的电阻率，衬底可视为电导率较低的导体。并且，波导与平板(slab)层、接触(contact)层一般为一定掺杂浓度的硅，其电特性已经接近于导体，这样就导致了波导、平板层、接触层所在的膜层与衬底层形成了一个平板电容结构，其存在较大的寄生电容，这个较大的寄生电容会导致行波电极调制器带宽以及阻抗的明显降低，劣化行波电极调制器的调制性能。对于此，本申请提供了一种调制器，形成了没有衬底的新型“三明治”调制器结构，消除了第二介质层与衬底层之间的寄生电容，提高了调制器的电光带宽，进而提高了调制器对光信号的调制性能。

- [0041] 在一个实施例中，如图1和图2所示，提供了一种光调制器。该光调制器包括自下而上依次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40，以及金属栅层60。
- [0042] 第二介质层20中设有波导结构210和第一金属层220，波导结构210与第一金属层220电性连接。其中，波导结构210可以包括光波导211、slab结构212和contact结构213。slab结构212和contact结构213分别位于光波导211的两侧，且对称设置。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。波导结构210通过过孔50与第一金属层220电性连接。第三介质层40中设有第二金属层410，第二金属层410通过过孔50与第一金属层220电性连接。其中，过孔50可以为连续的导电面板结构，过孔50也可以为具有多个间隙的导电结构，在此对过孔50的材料和结构不做具体限定。
- [0043] 金属栅层60包括多个间隔排布的金属栅极结构610，各金属栅极结构610在波导结构的信号传输方向上呈周期性排列，金属栅层60分别与第一金属层220、第二金属层410绝缘设置。金属栅极结构610的周期及占空比可以通过仿真设计，使得电磁波的传输速度与光的传输速度达到一致，以解决电光调制器中电光失配的问题。可选的，金属栅极结构610的周期可以设置为4微米~15微米，占空比可以设置为10%~25%，如此可以使得电信号的群速度与光载波的群速度相匹配。
- [0044] 上述光调制器，第一介质层10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10不会与波导结构210形成寄生电容，相较于衬底层与波导结构210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；此外，金属栅层60包括沿波导结构信号传输方向呈周期性排布的金属栅极结构610，可有效减小电磁波的传输速度，也即，减慢了电磁波的传输速度，使得电磁波的传输速度与光的传输速度相匹配，解决了电光调制器中电光失配的问题，提升了调制器的电光带宽。
- [0045] 示例性的，第一金属层220可以为一层或多层，在本申请实施例中，不限制第一金属层220的层数。在光调制器包括多个第一金属层220的情况下，其中一金属

层220通过过孔50与contact结构213电性连接，各第一金属层220沿第二介质层20指向第一介质层10的方向上层叠设置，相邻两层第一金属层220之间通过过孔50电性连接。示例性的，第一金属层220对称设于光波导211的两侧。

[0046] 示例性的，第二金属层410可以为一层或多层，在本申请实施例中，不限制第二金属层410的层数。在光调制器包括多个第二金属层410的情况下，其中一第二金属层410邻近绝缘层30，且通过过孔50与第一金属层220电性连接，各第二金属层410沿第一介质层10指向绝缘层30的方向上层叠设置，相邻两层第二金属层410通过过孔50电性连接。示例性的，第二金属层410对称设于光波导211的两侧。

[0047] 示例性的，第一金属层220和第二金属层410的总层数在6至8层。实际应用中，可以应用需求设置第一金属层220和第二金属层410的层数，在此不做限定。

[0048] 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40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40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40可以由同一材料制成，例如，绝缘层30和第三介质层40均为二氧化硅层。示例性的，波导结构210可以硅结构。屏蔽结构50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。

[0049] 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，包括波导211、contact结构213和slab结构212。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电性连接的第一金属层220，以及于绝缘层30上沉积形成第二介质层20，第一金属层220位于第二介质层20内。如此，波导结构210和第一金属层220形成相关技术中的旧式光调制器。

- [0050] 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，并采用金属沉积工艺于绝缘层30上形成第二金属层410和金属栅层60，以及于绝缘层30上再沉积形成第三介质层40，第二金属层410位于第三介质层40内。其中，第一金属层220通过过孔50与第二金属层410形成电气连接。基于此，波导结构210、第一金属层220和第二金属层220形成具有“三明治”结构的新型光调制器。
- [0051] 上述光调制器，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40。其中，第二介质层20中的波导结构210、第一金属层220与第三介质层40中的第二金属层410构成“三明治”结构的新型光调制器。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（ $1-3000\text{ohm-cm}$ ），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。此外，本申请实施例提供的光调制器还包括金属栅层60，金属栅层60包括沿波导结构信号传输方向呈周期性排布的金属栅极结构610，这可以有效地减小电磁波的传输速度，也即，通过减慢电磁波的传输速度，使得电磁波的传输速度与光的传输速度相匹配，从而解决了电光调制器中电光失配的问题，提升了调制器的电光带宽。
- [0052] 示例性的，如图3至图8所示，金属栅层60可以设于第二介质层20内且与第一金属层220间隔设置，金属栅层60分别与第一金属层60、波导结构210不产生电性连接。示例性的，如图9至图12所示，金属栅层60也可以设于第三介质层40内且与第二金属层410间隔设置，也即，金属栅层60与第二金属层410不产生电性连接。

示例性的，如图13所示，金属栅层60可以设于第二介质层20和第三介质层40内，且金属栅层60分别与波导结构210、第一金属层220、第二金属层410间隔设置。在金属栅层60设于第二介质层20和第三介质层40的情况下，金属栅层60可以具有图3至图12所示的金属栅层60结构。需要说明的是，图3至图13仅为示例性说明，并不用于限定本申请。

[0053] 以金属栅层60设于第三介质层40为例，示例性的，如图3和图4所示，金属栅层60包括第一子栅层620和第二子栅层630。其中，第一子栅层620和第二子栅层630分别对称位于第二金属层410的两侧，第一子栅层620和第二子栅层630分别包括多个沿波导结构210信号传输方向呈周期性排列的栅极结构。在本申请实施例中，可以通过仿真设计第一子栅层620和第二子栅层630的周期及占空比，使得电信号的传输速度与光信号的传输速度达到一致，在此不做任何限定。

[0054] 示例性的，如图5所示，第二金属层410可以包括两个间隔且平行设置的第一子金属层401和第二子金属层402，且第一子金属层401包括多个沿波导结构210信号传输方向间隔排列的第一子金属层401a，第二子金属层402包括多个沿波导结构210信号传输方向间隔排列的第二子金属层402a。其中，各金属栅极结构610位于相邻两个第一子金属层401a和相邻两个第二子金属层402a之间的间隙中。需要说明的是，在第一子金属层401a和第二子金属层402a的两侧、第一子金属层401a和第二子金属层402a之间的任意位置也可以设置金属栅层结构610，在此并不限定金属栅极结构610的具体设置，图11仅为示例性的说明。

[0055] 示例性的，如图6和图7所示，在光调制器包括至少两层第二金属层410的情况下，至少两层第二金属层410通过过孔50电性连接，金属栅层60可以包括多个沿波导结构210信号传输方向呈周期性排列的第一子栅极结构640，各第一子栅极结构640位于同一第二金属层410上方的相邻两个过孔50之间的空隙中，各第一子栅极结构640与过孔50、各第二金属层410绝缘设置。示例性的，过孔50的间隙周期可以为第一子栅极结构640周期的N倍，N为大于或等于1的正整数。图13为了清楚地示意，未示出第三介质层40。

[0056] 基于上述实施例以及图6和图7提供的光调制器，示例性的，如图8所示，金属栅层60还可以包括多个沿波导结构210信号传输方向呈周期性排列的第二子栅

极结构650。其中，各第一子栅极结构640设于绝缘层30上，且各第一子栅极结构640与各第二子栅极结构650在波导结构210的信号传输方向上交错设置。基于此，能够进一步使得电磁波传输速度与光波传输速度相互匹配，进一步提高了光调制器的电光带宽。

[0057] 上述实施例提供的光调制器，金属栅层60位于第三介质层40内，由于金属栅层60具有沿波导结构210信号传输方向周期排布的金属结构，且金属栅层60与第三介质层40内的第二金属层410绝缘设置，如此可有效地减慢电磁波的传输速度，使得电磁波的传输速度与光波的传输速度相匹配，解决了电光失配的问题，提高了光调制器的电光带宽。

[0058] 以金属栅层60设于第二介质层20为例，示例性的，如图9和图10所示，金属栅层60可以包括两个对称设置的子栅层，且各子栅层分别位于第一金属层220的两侧。可选地，各子栅层的厚度可以与第二介质层20的厚度相同，以降低工艺难度，提高产品良率。为了更清楚地示意，图16未示出第三介质层40和第一介质层10。示例性的，如图11和图12所示，金属栅层60也可以位于最下层第一金属层210的下方区域。其中，为了清楚示意，图12未示出第三介质层40和第一介质层10。

[0059] 上述实施例提供的光调制器，金属栅层60位于第二介质层20内，由于金属栅层60具有沿波导结构210信号传输方向周期排布的金属结构，且金属栅层60与第二介质层20内的第二金属层410绝缘设置，如此可有效减小电磁波的传输速度，即减慢了电磁波的传输速度，使得电信号的传输速度与光载波的传输速度相匹配，解决了光调制器中电光失配的问题，提升了光调制器的电光带宽。

[0060] 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。

[0061] 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和第一金属层，所述波导结构与所述第一金属层电性连接；
- 绝缘层，位于所述第二介质层上；
- 第三介质层，位于所述绝缘层上，所述第三介质层中设有第二金属层，所述第二金属层通过过孔与所述第一金属层电性连接；
- 金属栅层，包括多个间隔排布的金属栅极结构，各所述金属栅极结构在所述波导结构的信号传输方向上呈周期性排列，所述金属栅层分别与所述第一金属层、所述第二金属层绝缘设置。
- [权利要求 2] 根据权利要求1所述的光调制器，其特征在于，所述第二金属层通过过孔、所述第一金属层与所述波导结构电性连接。
- [权利要求 3] 根据权利要求1所述的光调制器，其特征在于，所述第一介质层为硅层或玻璃材料层。
- [权利要求 4] 根据权利要求1所述的光调制器，其特征在于，所述第一介质层通过键合形成于所述第二介质层上。
- [权利要求 5] 根据权利要求1所述的光调制器，其特征在于，所述绝缘层和所述第三介质层为同一材料制成。
- [权利要求 6] 根据权利要求1所述的光调制器，其特征在于，所述金属栅层设于所述第三介质层内且与所述第二金属层间隔设置，或者，所述金属栅层设于所述第二介质层内且与所述第一金属层间隔设置。
- [权利要求 7] 根据权利要求1所述的光调制器，其特征在于，所述金属栅层设于所述第二介质层和所述第三介质层，且所述金属栅层分别与所述第一金属层、所述第二金属层间隔设置。
- [权利要求 8] 根据权利要求6或7所述的光调制器，其特征在于，所述金属栅层包括第一子栅层和第二子栅层；其中，所述第一子栅层和所述第二子栅层分别对称位于所述第二金属层的两侧，所述第一子栅层和所述

第二子栅层分别包括多个沿所述波导结构信号传输方向呈周期性排列的栅极结构。

[权利要求 9]

根据权利要求6或7所述的光调制器，其特征在于，所述光调制器包括至少两层第二金属层，其中，所述至少两层第二金属层之间通过过孔电性连接，所述金属栅层包括多个沿所述波导结构的信号传输方向呈周期性排列的第一子栅极结构，各所述第一子栅极结构位于同一第二金属层上方的相邻两个所述过孔之间的空隙中。

[权利要求 10]

根据权利要求9所述的光调制器，其特征在于，所述金属栅层还包括多个沿所述波导结构的信号传输方向呈周期性排列的第二子栅极结构；其中，各所述第一子栅极结构设于所述绝缘层上，与所述各第二子栅极结构在所述波导结构的信号传输方向上交错设置。