

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202322533194.9、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] 光调制系统一般由驱动器和调制器构成，行波电极调制器由于具有可得到较高消光比较易集成的特点而得到广泛应用，其工作原理为：驱动器经过键合引线连接到行波电极调制器，光波导放置于行波电极电场中，由驱动器输出高速数字信号，数字信号到达行波电极调制器，沿行波电极传播，光波在光波导中传播，行波电极中高速数字信号所带来的电场变化会使光波导的有效折射率发生变化，因此当高速数字信号在行波电极上传输时，高速数字信号的电场使光波导的折射率发生变化，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曾德尔干涉仪中干涉，从而完成调制。

[0004] 在调制过程中，由于硅基行波电极调制器需要较大的驱动电压，而较大的驱动电压会产生较大的电磁辐射，较大的电磁辐射会导致敏感元器件受到干扰，而且会同时导致调制器具有较大的电磁辐射，影响调制器的调制性能。

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，可有效地屏蔽光调制器与外界之间的电磁辐射干扰，进而提高光调制器的调制性能。

[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和第一导电层；其中，所述波导结构通过过孔与所述第一导电层电性连接；所述第一导电层用于调节通过所述波导结构传输的光；
- [0009] 绝缘层，位于所述波导层上；
- [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导电层，所述第二导电层通过过孔与所述第一导电层电性连接；
- [0011] 屏蔽结构，包括相互电性连接的第一屏蔽结构和第二屏蔽结构；其中，所述第一屏蔽结构位于所述第二介质层内，所述第二屏蔽结构位于所述绝缘层和所述第三介质层内，所述第一屏蔽结构与所述第二屏蔽结构围合形成笼体；其中，所述波导结构、所述第一导电层和所述第二导电层位于所述笼体内。
- [0012] 在其中一个实施例中，所述第二导电层通过过孔、各所述第一导电层与所述波导结构电性连接，各所述第一导电层沿所述绝缘层指向所述第一介质层的方向层叠设置。
- [0013] 在其中一个实施例中，其中一所述第二导电层邻近所述绝缘层，且通过过孔与所述第一导电层电性连接，各所述第二导电层沿所述第一介质层指向所述绝缘层的方向层叠设置。
- [0014] 在其中一个实施例中，所述第一导电层和所述第二导电层的总层数范围在6至8层。
- [0015] 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。
- [0016] 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。
- [0017] 在其中一个实施例中，所述第一屏蔽结构包括位于所述第二介质层内的第一金属层和第一支撑层；其中，所述第一金属层位于所述第一导电层上远离所述绝缘层一侧，所述第一支撑层位于所述第一导电层的两侧，所述第一金属层通过过孔与所述第一支撑层电性连接；
- [0018] 所述第二屏蔽结构包括位于所述第三介质层内的第二金属层和第二支撑层；其中，所述第二金属层位于所述第二导电层远离所述绝缘层一侧，所述第二支撑层位于所述第二导电层的两侧，所述第二金属层通过过孔与所述第二支撑层电性连接。

- [0019] 在其中一个实施例中，所述第一支撑层包括至少两个间隔设置的第一子支撑层，所述至少两个第一子支撑层位于所述第二介质层内，且所述至少两个第一子支撑层分别位于所述第二导电层两侧，所述第一导电层朝向所述绝缘层的正投影位于所述第一金属层朝向所述绝缘层的正投影内。
- [0020] 在其中一个实施例中，所述第二支撑层包括至少两个间隔设置的第二子支撑层，所述至少两个第二子支撑层位于所述第三介质层内，且所述至少两个第二子支撑层分别位于所述第一导电层两侧，所述第二导电层位于朝向所述绝缘层的正投影位于所述第二金属层朝向所述绝缘层的正投影内。
- [0021] 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。
- [0022] 在其中一个实施例中，所述屏蔽结构开设有镂空结构，所述镂空结构的镂空尺寸小于所述光调制器传输的电磁波的 $1/4$ 波长。
- [0023] 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质制成。
- [0024] 在其中一个实施例中，所述屏蔽结构与所述第一导电层、第二导电层绝缘分离。
- [0025] 上述光调制器，包括第一介质层、第二介质层、绝缘层、第三介质层和屏蔽结构，其中，第二介质层中的波导结构、第一导电层与第二介质层中的第二导电层构成光调制器，屏蔽结构包括电性连接的第一屏蔽结构和第二屏蔽结构，由于第一屏蔽结构和第二屏蔽结构围合形成的笼体包围了光调制器，因此，屏蔽结构能够将光调制器的电磁辐射限制在笼体内，也能将外界的电磁辐射限制在笼体外，既有效地屏蔽了光调制器的电磁辐射，又有效地降低了外界电磁辐射对光调制器的干扰，实现了光调制器与外界之间的电磁屏蔽，从而提高了光调制器的调制性能。此外，该屏蔽结构可以在光调制器结构的形成过程中同步沉积形成，不需要在光调制器制造完成之后增加额外的工艺流程，相较于相关技术中在制成光调制器之后再通过贴装打线等方式增加结构形成电磁屏蔽的方式，本实施例提供的方案工艺流程更少，且屏蔽效果更好。

附图说明

- [0026] 图1为一个实施例提供的光调制器的XY截面结构示意图；
- [0027] 图2为另一个实施例提供的光调制器的XY截面结构示意图；

[0028] 图3为一个实施例提供的第一金属层的XZ截面结构示意图。

[0029] 附图标记说明：

[0030] 10-第一介质层，20-第二介质层，210-波导结构，211-波导，212-contact结构，213-slab结构，220-第一导电层，30-绝缘层，40-第三介质层，410-第二导电层，50-屏蔽结构，510-第一屏蔽结构，511-第一金属层，512-第一支撑层，512a-第一子支撑层，520-第二屏蔽结构，521-第二金属层，522-第二支撑层，522a-第二子支撑层，530-镂空结构，60-过孔。

具体实施方式

[0031] 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。

[0032] 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。

[0033] 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。

[0034] 正如背景技术所言，调制器需要较大的驱动电压进行驱动，而较大的驱动电压会产生较大的电磁辐射，进而使一些敏感元器件受到干扰。对于此，本申请提供了一种光调制器，既能有效屏蔽光调制器对外界的电磁辐射，也能有效降低外界电磁辐射对光调制器的干扰，从而提高光调制器的调制性能。

- [0035] 在一个实施例中，如图1所示，提供了一种光调制器，该光调制器包括屏蔽结构50和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。
- [0036] 其中，第二介质层20中设有波导结构210和第一导电层220。波导结构210通过过孔60与第一导电层220电性连接。波导结构210用于传输光。示例性的，波导结构210可以由绝缘体上硅（Silicon-On-Insulator，SOI）中的顶层硅蚀刻而成，可以包括波导211、在波导211两侧制作掺杂区域形成的contact结构212，以及用于连接波导211和掺杂结构212的slab结构。第三介质层40中设有第二导电层410，第二导电层410通过过孔60与第一导电层220电性连接。第二导电层410作为行波电极用于传输电磁波，并用于调节通过波导结构210传输的光。
- [0037] 示例性的，第三介质层40可以与绝缘层30为同一层，换言之，第三介质层40与绝缘层30的材料相同。示例性的，光调制器可以包括位于第二介质层20内的多个第一导电层220。其中，第二导电层410通过过孔60、各第一导电层220与波导结构210电性连接，各第一导电层220沿绝缘层30指向第一介质层10的方向层叠设置。示例性的，光调制器也可以包括多个第二导电层410。其中，一第二导电层410位于绝缘层30上且通过过孔60与第一导电层220电性连接，并且各第二导电层410通过过孔60由第一介质层10向绝缘层30的方向上层叠设置。示例性的，第一导电层220和第二导电层410的总层数可以为6层、7层或8层，实际应用中可以根据需求设置合适的总层数。
- [0038] 屏蔽结构50包括相互电性连接的第一屏蔽结构510和第二屏蔽结构520。其中，第一屏蔽结构510位于第二介质层20内，第二屏蔽结构520位于绝缘层30和第三介质层40内。第一屏蔽结构510通过过孔60与第二屏蔽结构520电性连接。第一屏蔽结构510和第二屏蔽结构520围合形成笼体，即法拉第笼。其中，波导结构210、第一导电层220和第二导电层410构成“三明治”结构的光调制器，且位于笼体内。屏蔽结构50分别与第一导电层220、第二导电层410绝缘分离。
- [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可以为硅结构。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。

[0040] 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212和slab结构。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层220，以及于绝缘层30上沉积形成第二介质层20，第一导电层220位于第二介质层20内。如此，波导结构210和第一导电层220形成相关技术中的旧式光调制器。

[0041] 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上形成第二导电层410，以及于绝缘层30上再沉积形成第三介质层40，第二导电层410位于第三介质层40内。其中，第一导电层220通过过孔与第二导电层410形成电气连接。基于此，波导结构210、第一导电层220和第二导电层410形成具有“三明治”结构的新型光调制器。

[0042] 需要说明的是，在形成第一导电层210和第二导电层220的同时，可以同步沉积形成第一屏蔽结构510和第二屏蔽结构520，以形成包围“三明治”结构的笼体，用于屏蔽电磁干扰。

[0043] 上述实施例提供的光调制器，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，以及屏蔽结构50。其中，第二介质层20中的波导结构210、第一导电层220与第三介质层40中的第二导电层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3 μm 以内，且衬底层本身具有一定的电阻率（1–3000 $\Omega\cdot\text{cm}$ ），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，由于“三明治”结构的新型光调制器被包围在屏蔽结构50的第一屏蔽结构510和第二屏蔽结构520围合形成的笼体内，该笼体为一个等位体，也即，法拉第笼，因此，屏蔽结构50能够将光调制器的电磁辐射限制在笼体内，也能将外界的电磁辐射限制在笼体外，既有效地屏蔽了光调制器的电磁辐射，又有效地降低了外界电磁辐射对光调制器的干扰，实现了光调制器与外界之间的电磁屏蔽，从而提高了光调制器的调制性能。并且，该屏蔽结构50可以在光调制器结构的形成过程中同步沉积形成，不需要在光调制器制造完成之后增加额外的工艺流程，相较于相关技术中在制成光调制器之后再通过贴装打线等方式增加结构形成电磁屏蔽的方式，本实施例提供的方案工艺流程更少，且屏蔽效果更好。

[0044] 请继续参阅图1，第一屏蔽结构510可以包括位于第二介质层20内的第一金属层511和第一支撑层512。其中，第一金属层511位于第一导电层220上远离绝缘层30一侧，第一支撑层512位于第一导电层220的两侧，第一金属层511通过过孔60与第一支撑层512电性连接。其中，第一导电层220朝向绝缘层30的正投影位于第一金属层511朝向绝缘层30的正投影内。示例性的，在图2所示的XY截面视图中，第一导电层220位于第一金属层511远离第一介质层10的一侧。

[0045] 示例性的，第二屏蔽结构520可以包括位于第三介质层40内的第二金属层521和第二支撑层522。其中，第二金属层521位于第二导电层420远离绝缘层30一侧。第二支撑层522位于第二导电层410的两侧，第二金属层521通过过孔60与第二支撑层522电性连接。其中，第二导电层410朝向绝缘层30的正投影位于第二金属层

521朝向绝缘层30的正投影内。示例性的，在图2所示的XY截面视图中，第二导电层410位于第二金属层521靠近绝缘层30的一侧。

- [0046] 上述光调制器，第一金属层511、第一支撑层512、第二金属层521和第二支撑层522围合形成四个面的法拉第笼，将波导结构210、第一导电层210和第二导电层410包围在内，使得调制器的电磁辐射不会逃逸到笼体外、外界的电磁辐射也不会辐射进笼体内，对调制器造成干扰，从而提高调制器的调制性能。需要说明的是，屏蔽结构50还可以是具有六个面的完全包围结构，将波导结构210、第一导电层210和第二导电层410完全包围在笼体内，以达到更好的屏蔽效果。
- [0047] 请参阅图2，第一支撑层512可以包括至少两个间隔设置的第一子支撑层512a，各第一子支撑层512a位于第二介质层20内，且各第一子支撑层512a分别位于第一导电层220的两侧。其中，一第一子支撑层512a通过过孔60与第一金属层511电性连接，另一第一子支撑层512a通过过孔60与第二屏蔽结构520中的第二支撑层522电性连接，相邻两个第一子支撑层512a通过过孔60电性连接。示例性的，第二支撑层522可以包括至少两个间隔设置的第二子支撑层522a，各第二子支撑层522a位于第三介质层40内，且各第二子支撑层522a分别位于第二导电层410的两侧。其中，一第二子支撑层522a通过过孔60与第二金属层522电性连接，另一第二子支撑层522a通过过孔60与第一屏蔽结构510的第一支撑层511电性连接，相邻两个第二子支撑层522a通过过孔60电性连接。基于此，位于第一导电层220两侧的多第一子支撑层512a、位于第二导电层410两侧的多第二子支撑层522a、与第一金属层511、第二金属层521构成具有四个面的屏蔽结构50。
- [0048] 示例性的，多个第一子支撑层512a可以位于第一导电层220的四周，多个第二子支撑层522a可以位于第二导电层410的四周，基于此，与第一金属层511、第二金属层521构成具有六个面的屏蔽结构50。
- [0049] 上述光调制器，第一屏蔽结构510可以包括第一金属层511和多个第一子支撑层512a，第二屏蔽结构520可以包括第二金属层521和多个第二子支撑层522a，形成具有四个面或六个面的屏蔽结构50，将波导结构210、第一导电层210和第二导电层410包围在笼体内，屏蔽了光调制器与外界之间的电磁干扰，提高了光调制的调制性能。此外，屏蔽结构50中的各子支撑层可以在沉积形成各导电层的过程

中完成，不需要在完成光调制器之后增加额外的工艺流程，相较于形成光调制器之后再通过贴装打线等方式增加结构形成电磁屏蔽，本申请实施例提供的光调制器制作工艺难度更小，工艺流程更简单。

- [0050] 在一个实施例中，如图3所示，由于法拉第笼的屏蔽原理允许屏蔽结构50不必为完整的平面，因此，屏蔽结构50可以开设有镂空结构530，在XY截面视图上为完整的包围结构即可，在沿XZ截面视图上可以是分离的结构。示例性的，镂空结构530可以开设于第一金属层511和第二金属层521中的任一个上。实际应用中，可以于各金属层的镂空结构处填充非金属物质，使得金属层为不连续的平板结构即可。
- [0051] 镂空结构530可以为任意形状，例如圆形、椭圆形、正方向、矩形或不规则图形。屏蔽结构50上可以设有一种或多种形状的镂空结构530。示例性的，镂空结构530为圆形时，则圆形镂空结构530的直径小于调制器传输的电磁波的1/4波长；镂空结构为矩形时，则矩形镂空结构530的长边尺寸小于调制器传输的电磁波的1/4波长。也即，镂空结构的最大尺寸小于调制器传输的电磁波的1/4波长，这里所指的电磁波为光调制器传输的最大频率的电磁波。可选地，镂空结构530的最大尺寸小于300微米，例如，圆形镂空结构530的直径小于300微米、矩形镂空结构530的长边尺寸小于300微米。
- [0052] 镂空结构530可以在屏蔽结构50上周期性排布，也可以不规则排布。示例性的，以第一金属层511具有椭圆形、圆形、矩形的镂空结构530为例，该镂空结构530不规则地排布在第一金属层511上，第一金属层511在XZ轴的截面图如图3所示。示例性的，镂空结构530也可呈周期排列，使得金属层为栅状或网格状。镂空结构530具体可以根据实际应用场景进行相应的设置，在此不做任何限定。
- [0053] 上述实施例提供的调制器，屏蔽结构50可以开设镂空结构530，如此降低了工艺要求，在有效地屏蔽了外界与调制器之间的电磁辐射的同时，进一步提高了调制器的调制性能。
- [0054] 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。

[0055] 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导电层；其中，所述波导结构通过过孔与所述第一导电层电性连接；所述第一导电层用于调节通过所述波导结构传输的光；
- 绝缘层，位于所述波导层上；
- 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导电层，所述第二导电层通过过孔与所述第一导电层电性连接；
- 屏蔽结构，包括相互电性连接的第一屏蔽结构和第二屏蔽结构；其中，所述第一屏蔽结构位于所述第二介质层内，所述第二屏蔽结构位于所述绝缘层和所述第三介质层内，所述第一屏蔽结构与所述第二屏蔽结构围合形成笼体；其中，所述波导结构、所述第一导电层和所述第二导电层位于所述笼体内。
- [权利要求 2] 根据权利要求1所述的光调制器，其特征在于，所述第二导电层通过过孔、各所述第一导电层与所述波导结构电性连接，各所述第一导电层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 3] 根据权利要求1所述的光调制器，其特征在于，其中一所述第二导电层邻近所述绝缘层，且通过过孔与所述第一导电层电性连接，各所述第二导电层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 4] 根据权利要求1所述的光调制器，其特征在于，所述第一导电层和所述第二导电层的总层数范围在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，所述第一介质层为硅层或玻璃材料层。
- [权利要求 6] 根据权利要求1所述的光调制器，其特征在于，所述第一介质层通过键合形成于所述第二介质层上。

- [权利要求 7] 根据权利要求1所述的光调制器，其特征在于，所述第一屏蔽结构包括位于所述第二介质层内的第一金属层和第一支撑层；其中，所述第一金属层位于所述第一导电层远离所述绝缘层一侧，所述第一支撑层位于所述第一导电层的两侧，所述第一金属层通过过孔与所述第一支撑层电性连接；其中，所述第一导电层朝向所述绝缘层的正投影位于所述第一金属层朝向所述绝缘层的正投影内；
- 所述第二屏蔽结构包括位于所述第三介质层内的第二金属层和第二支撑层；其中，所述第二金属层位于所述第二导电层远离所述绝缘层一侧，所述第二支撑层位于所述第二导电层的两侧，所述第二金属层通过过孔与所述第二支撑层电性连接；其中，所述第二导电层位于朝向所述绝缘层的正投影位于所述第二金属层朝向所述绝缘层的正投影内。
- [权利要求 8] 根据权利要求7所述的光调制器，其特征在于，所述第一支撑层包括至少两个间隔设置的第一子支撑层，所述至少两个第一子支撑层位于所述第二介质层内，且所述至少两个第一子支撑层分别位于所述第一导电层两侧。
- [权利要求 9] 根据权利要求7所述的光调制器，其特征在于，所述第二支撑层包括至少两个间隔设置的第二子支撑层，所述至少两个第二子支撑层位于所述第三介质层内，且所述至少两个第二子支撑层分别位于所述第一导电层两侧。
- [权利要求 10] 根据权利要求1所述的光调制器，其特征在于，所述屏蔽结构开设有镂空结构，所述镂空结构的镂空尺寸小于所述光调制器传输的电磁波的 $1/4$ 波长。
- [权利要求 11] 根据权利要求1所述的光调制器，其特征在于，所述绝缘层和所述第三介质层为同一材质制成。
- [权利要求 12] 根据权利要求1所述的光调制器，其特征在于，所述屏蔽结构与所述第一导电层、第二导电层绝缘分离。