

一种基于 MEMS 结构的可调电容

技术领域

本发明属于电容器件技术领域，具体涉及一种基于 MEMS 结构的可调电容。

背景技术

现有射频电路应用中，经常需要使同一射频电路工作在不同的工作频段，由于射频电路工作在不同的频段时其对应的匹配电路的电容容值需要做相应的调整，才能获得最佳的射频性能，因此为了使射频电路工作在不同的频段，需要对射频电路中匹配电容的参数值进行调整，在这一类射频电路中采用可调电容是最合适的设计方案，现有可调电容实现的方式有四种：第一种是用变容二极管实现电容的可调，通过调整变容二极管的偏置电压值可实现变容二极管电容值的调整，然而采用变容二极管存在的问题是其耐压值比较低，只能应用在小功率射频电路中，不能满足射频大功率放大器中大功率高耐压的要求；第二种可调电容的实现方案是采用机械可变电容，通过调整电容上、下极板的机械尺寸或者间距来调整电容的容值，采用纯机械结构实现的可调电容方案存在的问题是，可调电容的体积比较大、电容的可调步进和可调范围有限、不能实现实时可调等不足；第三种可调电容的实现方案是采用由多组电容串联或者并联，并在串、并联线路中间串上射频开关，通过控制射频开关的通断来实现不同串联或者并联电容的组合，方案三的缺点是由于可调电容需要高耐压和耐流值，因此对应的开关也需要选用大功率的开关，其对应的成本偏高，同时开关会带来额外的损耗影响效率，另外方案三的可调范围和可调步进固定死了不能变化，或者不能任意变化可调，方案四是采用介质开关型 MEMS 电容，通常触点臂为电容的一端，当电路应用有较高直流偏置时，触点臂与电容另一端会产生静电引力，给开关电容开启带来困难；同时，由于触点弯曲、形变使得闭合时电容相对减小。针对以上各种可调电容存在的问题，开发出一款容值步进任意可调，同时具备高 Q 值、高耐压值、小体积低成本的可调电容是一个值得深入研究的课题。

发明内容

本发明的目的是针对现有可调电容的缺陷，提供一种具备高 Q 值、高耐压值、小体积、低成本的可调电容。

为此，本发明的构成是，其包括下极板 A，活动极板 B、上极板 C、固定装置 D 和连接导体 E，所述固定装置 D 的下端与下极板 A 固定连接，固定装置 D 的上端与上极板 C 固定连接，所述活动极板 B 设置有配合固定装置能够自由平行移动的结构 B4，活动极板 B 通过结构 B4 安装于固定装置 D 上并且活动极板 B 能沿固定装置 D 进行上、下移动；

所述下极板 A 上设置有下电极 A1, 所述活动极板 B 上设置有活动电极 B1, 调整电极 B2;

所述下电极 A1 与活动电极 B1 组成单元电容, 且下电极 A1 和活动电极 B1 之间通过介质隔离;

所述上极板 C 上设置有上电极 C1、调整电极 C2; 所述连接导体 E 两端分别与上电极 C1、活动电极 B1 电连接;

所述调整电极 C2 与调整电极 B2 组成调整单元, 且调整电极 C2 和调整电极 B2 之间通过介质隔离;

所述下电极 A1 在工作状态下一直加有工作电压, 工作电压对活动电极 B1 产生静电吸引力, 通过控制调整电极 C2 上所加可调电压或 C2 的面积、间距、材料来调节调整单元 C2 对调整电极 B2 的静电吸引力, 使活动极板受下电极 A1 的吸引力与调整电极 C2 的吸引力的大小关系发生改变, 从而使活动极板 B 沿固定装置 D 上、下移动调整电容的容值。

优选地, 所述下电极 A1 与活动电极 B1 组成单元电容, 所述下电极 A1 上设置有介质层 A2 用于隔离下电极 A1 和活动电极 B1。

优选地, 所述调整电极 C2 与调整电极 B2 组成调整单元, 且调整电极 C2 上设置有介质层 C3 用于隔离调整电极 C2 和调整电极 B2, 调整电极 C2 与活动电极 B1、下电极 A1 不重叠, 调整电极 B2 与上电极 C1 和下电极 A1 不重叠。

优选地, 所述下极板 A 由介质材料构成, 在下极板 A 的介质材料表面覆盖或镶嵌的金属导体形成下电极 A1, 在下电极 A1 表面设置有单层或者多层介质材料层 A2, 用于隔离电极 A1 和活动电极 B2, 同时可以调节电容的容值和 Q 值。

优选地, 所述活动极板 B 由介质材料构成, 活动极板 B 中间设有配合固定装置能够自由平行移动的结构 B4, 并通过 B4 套装于固定装置 D 上, 在活动极板 B 的介质材料表面上覆盖或镶嵌的金属导体形成活动电极 B1、调整电极 B2, 调整电极 B2 分布在活动电极 B1 的外围且相互之间通过介质隔离, 活动电极 B1 与下电极 A1、上电极 C1 形状相同, 在垂直面上对齐, 调整电极 B2 和调整电极 C2 形状相同在垂直面上对齐。

优选地, 所述上极板 C 由介质材料构成, 在上极板 C 的介质材料表面覆盖或镶嵌金属导体形成上电极 C1, 在上电极 C1 的外围介质材料表面覆盖或镶嵌金属导体形成调整电极 C2, 上电极 C1 和调整电极 C2 之间由介质材料隔离, 调整电极 C2 表面设置有介质层 C3, 在上极板 C 设置有控制层 C4, 调整电极 C2 与控制层 C4 中开关的一端相连, 开

关的另一端连接到可调单元电容的可调电压引脚。

优选地，所述固定装置 D 的一端与上极板 C 的上电极 C1 固定在一起，另一端与下极板 A 的下电极 A1 固定在一起，用于支撑上极板 C 和下极板 A，保持上、下极板之间平行，其固定方式包括但不限于焊接、压接、粘接。

优选地，所述连接导体 E 由 1 至 M 根连接导体组成；所述活动电极 B1 的上表面对应设计有 1 至 M 个开槽，所述上电极 C1 的下表面对应设置有 1 至 M 个开槽；所述的 1 至 M 根连接导体的一端与上电极 C1 下表面的 1 至 M 个开槽电连接，1 至 M 根连接导体的另一端与活动电极 B1 上表面的 1 至 M 个槽电连接；1 至 M 根连接导体的长度相等使活动极板在自然状态下能与上极板、下极板保持平行。

优选地，所述连接导体 E 在静止或活动状态下与调整电极 C2、B2 都不短路；所述连接导体 E 具备伸缩性能，其拉伸和弹力保持不变，其尺寸能满足使活动极板 B 被压缩时能与上极板 C 紧贴，向下被拉伸时能与下极板 A 紧贴。

优选地，所述连接导体 E、下电极 A1、活动电极 B1，调整电极 B2、上电极 C1、调整电极 C2 均是由金属材料制成，所述上极板 A、活动极板 B、下极板 C 的基板板材均为介质材料构成。

优选地，所述下电极 A1 加工作电压后对活动电极 B1 产生的静电吸引力为 F_x ，调整电极 C2 加可调电压后对调整电极 B2 产生的静电吸引力为 F_s ，当 F_s 小于 F_x 时，活动极板 B 移向并贴近下极板 A，此时可调单元电容的容值最大；当 F_s 大于 F_x 时，活动极板 B 移向并贴近上极板 C，此时可调单元电容的容值最小；当调整电极 C2 所加可调电压为零，下电极 A1 所加工作电压不为零时，使活动极板 B 移向下极板 A，保持可调单元电容处于容值最大状态。

优选地，所述单元电容通过活动极板 B 与调整单元组成可调单元电容，可调单元电容中下电极 A1 连接到工作电压引脚、上电极 C1 连接到接地引脚、调整电极 C2 通过金属过孔连接到控制层 C4 上的开关的一端，开关的另一端连接到可调电压引脚，开关数据收发总线连接到控制引脚，处理器通过总线控制开关的通断和可调电压引脚上的电压来控制可调单元电容中活动电极的移动，从而改变可调单元电容的容值。

优选地，采用非金属材料封装上、下极板，留出组合电容的两个引脚，并标记地，控制引脚在电容引脚空出的位置或放置在其中接地引脚，作为控制引脚，最后封装密封，或者以上极板 C 和下极板 A 作为器件封装的一部分，外加封装材料实现对 MEMS 电容的封装。

优选地，通过设置下电极 A1 上覆盖介质材料层 A2 的形状、厚度参数，使两路信号的幅度相等、相位相反，互相抵消或防止加射频信号后产生的谐振。

优选地，所述 N 个可调单元电容组成组合电容。

优选地，所述组合电容的构成方式之一是 N 个可调单元电容可以纵向叠加构成一个组合电容，其中每个单元电容的下电极 A1 通过引出线连接到组合电容的工作电压引脚，上电极 C1 通过引出线连接到接地引脚，调整电极 C2 连接到所在电容的开关的一端，开关的另一端引出到组合电容的 N 个可调电压控制引脚之一，N 个下电极都接到一个工作电压引脚，N 个上电极都连接到地。

优选地，所述的组合电容的组合构成方式之二是组合电容中 N 个上电极分布在一个上极板上，并通过引线连接至组合电容的接地引脚，N 个下电极分布在一个下极板上，并通过引线连接至组合电容的工作电压引脚，N 个调整电极 C21 至 C2N 分别通过金属过孔连接至控制层 C4 上分布的 N 个开关的一端，N 个开关的另一端连接至组合电容的 N 个可调电压控制引脚，所有的引线与上电极 C1、活动电极 B1、下电极 A1 不重叠。

优选地，所述的组合电容的构成之三是先 M 个组合电容按照权利要求 17 的方式横向扩展，N 个 M 的组合再按照权利要求 16 的纵向扩展构成组合电容。

优选地，所述组合电容中控制层的 N 个开关中的每个开关的总线控制器都分别连接到控制总线上，连接到总线上的 N 个开关中的每个开关都被分配有一个地址，总线控制协议通过地址来具体识别每个开关，由外部或内部主控制器通过地址来实现对每个开关的通、断进行控制；所述总线通过相应的导线连接到电容封装外部相应的总线控制引脚，所述导线与上极板电极层上电极、活动极板活动电极、下极板电极层下电极不重叠，并由外部处理器根据每个开关的地址来控制 N 个开关的通断，实现调整组合电容的步进调整，以及对组合电容容值的任意调整；其中内部控制器与外部控制器通过总线连接，传递所需电容的容值大小。

优选地，所述组合电容中 N 个可调单元电容的使用模式为：初次使用或重置使用时的模式为，顺序通过控制器控制开关矩阵使每个可调单元电容上极板的调整电极加可调电压或不加可调电压，而每个下极板的下电极不工作电压或加工作电压，从而使组合电容中的 N 个可调单元电容的容值为最小或最大值，完成初次或重置；

在加电后组合电容容值最小时，给组合电容的所有下电极加上工作电压，通过调整控制器控制开关矩阵的开关通、断和调整或不调整可调电压大小实现组合电容的总容值的调整到期望的容值状态，同时保持控制开关矩阵的地址记忆并存储；

在加电后组合电容容值为最大时，通过控制组合电容的所有调整电极加调整电压，所有的下电极加上工作电压，调整控制开关矩阵的通、断和调整或不调整可调电压的大小，从而实现组合电容的总容值调整到期望的容值状态，同时保持此时控制开关地址的记忆并存储；

在组合电容已经调整到组合电容值期望容值时，再重新加电后，通过主控制器的开关矩阵地址的记忆，将开关矩阵调整到组合电容期望容值的开关矩阵通断状态，再加下电极工作电压和调整电极的调整电压，则可以实现组合电容期望的容值，实现之后，组合电容的容值还可以通过控制器控制开关矩阵中相应的地址通、断，实现新的组合电容容值的调整；

如果上述可调单元电容上电顺序和容值的调整变化及初始容值对使用电炉有影响，需要考虑在应用本组合电容的电路中设计保护措施，比如将可调电容的容值调整到位后，再使应用电路处于工作状态。

优选地，所述组合电容的封装外壳将N个可调电容封装在一个密封空间，组合电容的外部工作电压引脚、接地引脚、可调电压引脚和控制引脚分别通过引线、过孔连接到上极板和下极板板上的下电极、上电极、调整电极和控制开关实现对N个可调电容的封装。

优选地，所述供电引脚、接地引脚和控制引脚表面均焊接有材料涂覆，所述封装外壳是非金属材料。

优选地，所述组合电容中每个可调单元电容都可以单独可调，也可以多个电容进行任意组合调整，实现组合电容多种调节步进，具体实现方式是通过内部或外部处理器来控制控制层C4中的N个射频开关的通断实现对N个可调电容的容值的调整，从而实现对整个电容的容值调整。

本发明的有益效果：本发明提供的这种基于MEMS结构的可调电容，不仅具备高Q值，同时还具备高耐电压、耐电流的能力，而且通过多个单元电容封装在一个封装里面可以实现组合电容的容值连续、步进可调，电容的容值可以通过外部或者内部的处理器实现可编程可调，具备良好的应用环境适应性，且调节电极为可移动电极，且电位状态固定，避免了可变电容两端射频电路直流偏置对开关臂移动的影响；与常规可变电容不同的是，活动电极水平上下移动，电极本身无形变，可减少寄生电容且电容变化线性度更高；调节电极始终处于电场阻滞状态，减小了外来机械振动的影响；使用较低温度焊料将半导体与介质材料焊接，同时实现了圆片级封装。

以下将结合附图对本发明做进一步详细说明。

附图说明

- 图 1 为本发明实施例一可调电容的构成整体剖面图。
- 图 2 为本发明实施例一可调电容的下极板的结构图。
- 图 3 为本发明实施例一可调电容的活动极板的实施例结构图。
- 图 4 为本发明实施例一可调电容的上极板极的实施例结构图。
- 图 5 为本发明实施例一可调电容的上极板极的控制层实施例结构图。
- 图 6 为本发明实施例一可调电容的固定装置的结构图。
- 图 7 为本发明实施例一可调电容的连接线导体的结构图。
- 图 8 为本发明实施例一可调电容的封装的结构图。
- 图 9 为本发明实施例二组合电容的横截面剖析结构图。
- 图 10 为本发明实施例二组合电容下极板结构图。
- 图 11 为本发明实施例二组合电容的上极板结构图。
- 图 12 为本发明实施例二组合电容的上极板极的控制层结构图。
- 图 13 为本发明实施例二可调单元电容的构成整体剖面图。
- 图 14 为本发明实施例二组合电容的封装的仰视图。
- 图 15 为本发明实施例二组合电容的连接线导体的结构图。
- 图 16 为本发明实施例二组合电容的封装俯视图。
- 图 17 为本发明实施例三组合电容的组合之二。
- 图 18 为本发明实施例三组合电容的组合之三。

具体实施方式

为进一步阐述本发明达成预定目的所采取的技术手段及功效，以下结合附图及实施例对本发明的具体实施方式、结构特征及其功效，详细说明如下。

下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其它实施例，都属于本发明保护的范围。

在本发明的描述中，需要理解的是，术语“中心”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“垂直”、“水平”、“对齐”、“重叠”、“底”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本发明和简化描述，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发明的限制。

术语“第一”、“第二”仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性或者隐含指明所指示的技术特征的数量。由此，限定有“第一”、“第二”的特征可以明示或者隐含地包括一个或者更多个该特征；在本发明的描述中，除非另有说明，“多个”的含义是两个或两个以上。

实施例 1

本发明提供了一种基于 MEMS 结构的可调电容，包括下极板 A，活动极板 B、上极板 C、固定装置 D 和连接导体 E，所述固定装置 D 的下端与下极板 A 固定垂直连接，固定装置 D 的上端与上极板 C 固定垂直连接，所述活动极板 B 的中部设置有开槽或通孔 B4，活动极板 B 通过开槽或通孔 B4 设置于固定装置 D 中部，并且活动极板 B 在固定装置 D 上进行上下移动；所述下极板 A 上设置有下电极 A1，所述活动极板 B 上设置有活动电极 B1，调整电极 B2；所述下电极 A1 与活动电极 B1 组成单元电容，该可单元电容为平行板电容；所述上极板 C 上设置有上电极 C1、调整电极 C2；所述连接导体 E 两端分别与上电极 C1、活动电极 B1 电连接；所述调整电极 C2 与调整电极 B2 组成调整单元。

所述连接导体 E 包括连接导体 E1、连接导体 E2；所述活动电极 B1 的上表面设置有槽 B3-1、槽 B3-2，所述上电极 C1 的下表面设置有槽 C1-1、槽 C1-2；所述连接导体 E1 的一端与上电极 C1 上的槽 C1-1 电连接，连接导体 E1 的另一端与活动电极 B1 上的槽 B3-1 电连接；所述连接导体 E2 的一端与上电极 C1 上的槽 C1-2 电连接，连接导体 E2 的另一端与活动电极 B1 上的槽 B3-2 电连接；这样，活动电极 B1 与上电极 C1 保持电性连接，活动电极 B1 与上电极 C1 之间的电路处于连通状态。

所述调整电极 B2 包括调整电极 B2-1、调整电极 B2-2，所述调整电极 C2 包括调整电极 C2-1、调整电极 C2-2；所述调整电极 C2-1 与调整电极 B2-1 相对设置，所述调整电极 C2-2 与调整电极 B2-2 相对设置。

所述上极板 C 的上表面设置有控制层 C4，所述控制层 C4 包括连接引线 C4-2、连接引线 C4-3、开关 C4-1；所述连接引线 C4-2 将上电极 C1 连接至单元电容封装的接地引脚，所述连接引线 C4-3 将调整电极 C2-1 和调整电极 C2-2 连接起来，然后连接到开关 C4-1 的一端，开关 C4-1 的另一端连接到单元电容的可调电压引脚。

所述下电极 A1 的上表面设置有介质隔离层 A2。

所述调整电极 C2 的下表面设置有介质隔离层 C3。

具体的说，所述固定装置 D 的一端固定在下极板 A 的电极层的下电极 A1 的中心位置，且与下电极 A1 保持垂直，固定装置 D 的另一端固定在上极板的电极层的上电极 C1 的

中心位置，且与上电极 C1 保持垂直，由固定装置 D 来固定、支撑上极板 C 和下极板 A，并使上极板 C 和下极板 A 之间保持平行、并相隔一定的间距，活动极板 B 在静电力的作用下可以在上极板 C 和下极板 A 之间上下移动，由活动极板 B 移动导致活动电极 B1 和下电极 A1 之间的距离产生变化，从而改变单元电容的大小，所述调整电极 C2 与调整电极 B2 组成调整单元，调整电极 C2 位于上电极 C1 的外围且与上电极 C1 之间通过介质材料隔离，调整电极 C2 与活动电极 B1、下电极 A1 不重叠，调整电极 C2 与活动极板 B 的调整电极 B2 由介质覆盖层 C3 进行隔离；调整电极 B2 位于活动电极 B1 的外围，调整电极 B2 与活动电极 B1 之间通过介质材料隔离，调整电极 B2 与上电极 C1、下电极 A1 都不重叠，下电极 A1、活动电极 B1、调整电极 B2 和上电极 C1、调整电极 C2 都为金属构成。

所述下极板 A，活动极板 B、上极板 C 均是由单晶硅制成。

本实施例中的可调电容的容值具体与下电极 A1、活动电极 B1 的面积，下电极 A1 上覆盖的介质隔离层 A2 的层数、厚度以及介质隔离层 A2 的介电常数，下电极 A1 和活动电极 B1 之间的间距决定，具体的计算过程如下：

本实施例中下电极 A1 上覆盖的介质隔离层 A2 在本实施例中为单层，也可以为多层，介质隔离层 A2 的厚度为 d_1 ，介电常数为 ϵ_1 ，活动电极 B1 和下电极 A1 间的空气距离为 d_2 ，空气介电常数分别是 ϵ_2 ，两者的电容分别是 C_1 、 C_2 ，在本实施例中活动电极 B1 和下电极 A1 的面积都是 S，按照该平行板电容的计算公式，其中：

$$C_1 = \epsilon_0 \epsilon_1 \frac{S}{d_1} \quad (1)$$

$$C_2 = \epsilon_0 \epsilon_2 \frac{S}{d_2} \quad (2)$$

则本实施例中，可调单元电容 C 为 C_1 和 C_2 的串联值之和为：

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_1 \epsilon_2 S}{\epsilon_2 d_1 + \epsilon_1 d_2} \quad (3)$$

其中 d_2 为活动电极 B1 和下电极 A1 之间的间距，可以通过调整静电力来调整 d_2 的值，具体 d_2 的调整方法如下：

本实施例中假设下极板 A 上的电极层下电极 A1 加工作电压 V 后对活动极板 B 上的活动电极 B1 产生的静电力为 F_x ，上极板 C 上的电极层调整电极 C2 加可调电压 V1 后对活动极板 B 上调整电极 B2 产生的静电力为 F_s ，活动极板 B 的自重力为 F_g ，活动极板 B 在固定装置 D 上移动时与固定装置 D 之间的摩擦力为 F_z ，连接导体 E1 和连接导体 E2 的拉力的合力在整个拉伸过程中都是均匀的且拉力值为 F_l ，连接导体 E1 和连接导体 E2 的弹力在连接导体整个被压缩过程中都是均匀的且弹力的值都为 F_t ，当 $F_s > F_x + F_g + F_z + F_t$ 时，活动极板 B 受向上的静电力拉向并贴近上极板 C，此时 d_2 的取值

最大, 由公式 3 可以知道, 其它参数不变, 当 d_2 取值最大时, 可调单元电容的容值 C 最小; 当 $F_x + F_g > F_s + F_l + F_z$ 时, 活动极板受向下的静电拉力移向并贴近下极板, 此时 d_2 的取值最小, 由公式 3 可以知道, 其它参数不变, 当 d_2 取值最小时, 可调单元电容的容值 C 最大; 当 $F_s + F_l = F_x + F_g + F_t$ 时, 活动极板 B 处于上、下极板之间某个不确定的位置, 此时可调单元电容的容值处于中间不确定值, 为避免可调电容的容值处于不确定状态, 因此要通过控制可调电压的电压值来避免出现 $F_s + F_l = F_x + F_g + F_t$ 这种状态, 从而避免可调单元电容的容值处于不确定状态。

另外本实施例中的可调电容在受到外界机械扰动或振动条件下, d_2 会因振动产生微小变化, 假设变化量为 Δd_2 , 相应地总电容 C 的变化量是 ΔC , 根据上式 3 把 d_2 作为自变量的关于 C 的函数, $C = f(d_2)$, 求微分可得:

$$\Delta C = \frac{-\varepsilon_0 \varepsilon_1^2 \varepsilon_2 S}{(\varepsilon_2 d_1 + \varepsilon_1 d_2)^2} \Delta d_2$$

则可计算得出总电容变化的百分比是:

$$\left| \frac{\Delta C}{C} \right| = \frac{\varepsilon_1 |\Delta d_2|}{\varepsilon_2 d_1 + \varepsilon_1 d_2}$$

根据上式, 可得出结论 $\left| \frac{\Delta C}{C} \right|$ 远小于 $\left| \frac{\Delta d_2}{d_2} \right|$, 说明该结构能有效克服外来机械振动的影响, 外界的扰动对于电容值的影响可忽略。

本实施例中, 所述可调电容的 Q 值的计算公式如下: $Q = 1/wCR$, 其中 R 为电容的等效电阻值, 该值主要由下电极 A1 到电容引脚电阻 R_1 , 下电极阻值 R_2 , 活动电极 B1 的阻值 R_3 , 上电极 C1 的电阻值 R_4 , 连接导体 E1 和连接导体 E2 的阻值之和 R_5 , $R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$, 要保证 R 的取值是最小的, 则要, 尽量保证各部分的阻值都取最小值, 此时本实施例中可调单元电容的 Q 值才能取值为最小。

所述本实施例中, 上电极 C1、活动电极 B1、下电极 A1 的形状和尺寸完全相同为长方形, 所述的上极板 C 上的调整电极 C2, 活动极板 B 上调整电极 B2, 由调整电极 C2-1、调整电极 C2-2, 以及调整电极 B2-1、调整电极 B2-2 组成, 且调整电极 C2-1 和调整电极 C2-2 对称分布在上电极 C1 两边, 调整电极 B2-1 和调整电极 B2-2 对称分布在活动电极 B1 两边, 调整电极 C2-1 和调整电极 B2-1 在垂直方向上重叠, 调整电极 C2-2 和调整电极 B2-2 在垂直方向上重叠, 固定装置 D 的一端固定在上电极 C1 的中心位置, 固定装置 D 的另一端固定在下电极 A1 的中心位置, 活动极板 B 上中心位置有开槽或通孔 B4, 开槽或通孔 B4 的形状与固定装置 D 的横截面形状相同, 尺寸略大, 两个连接导体 E1 和连接导体 E2 的固定点处于活动极板的中心平衡线上, 在连接导体 E1 和连接导体 E2 自然悬挂状态下, 活动极板 B 能够自然平行于上极板 C、下极板 A, 以上尺寸和外

观的设计，确保了调整电极 C2-1 和调整电极 C2-2 加电后对调整电极 B2-1 和调整电极 B2-2 的静电吸引力均匀对称，下电极 A1 加电后对活动电极 B1 产生的静电力均匀对称，从而保证活动极板 B 在上极板 C 和下极板 A 之间上下移动时能够稳定移动，活动极板 B 和固定装置 D 之间产生的摩擦力最小。

图 2 为本实施例中可调电容的下极板 A 的结构斜视图和剖面图，本实施例中下极板 A 的实现工艺是先通过在单晶硅上形成下极板 A 的基板，在形成电容区域刻蚀浅槽，溅射金属形成可调电容下电极 A1，再在可调电容下电极 A1 上沉淀介质材料形成介质隔离层 A2，该介质材料沉淀的层数，可以根据需要实现的电容的容值和 Q 值来选择，本实施例中沉淀的介质材料为一层，也可以为多层，沉淀介质隔离层 A2 的表面为平滑表面，以便活动电极 B1 与下电极 A1 接近时，介质隔离层 A2 和活动电极 B1 能够紧密接触，从而增强电容在此状态下的防震能力，同时介质材料层 A2 的厚度值的选择还要参考可调电容的工作频段，使可调电容的谐振频率和电容的工作频率不同频，从而避免产生谐振，在下电极 A1 同时加射频信号和直流型号时，震荡信号的幅度相等、相位相反互相抵消或防止加射频信号后产生的谐振，同时下电极 A1 金属导体阻值还影响可调电容的 Q 值，其电阻值越小，可调电容的 Q 值就越大，同时下电极 A1 和上面覆盖的介质材料 A2 的阻值、尺寸还影响可调电容的下电极的耐压和耐流能力

图 3 为本实施例中可调电容活动极板 B 的结构斜视图和横截面图，本实施例中其实现工艺是以单晶硅为基板制作活动极板 B，在活动电极区和调整电极区分别刻蚀浅槽，溅射金属并平坦化，将槽内填满金属分别形成活动电极 B1 和调整电极 B2，其中活动电极 B1 的面积和形状与下电极 A1 的面积和形状完全一致，以保证下电极 A1 加电后对活动电极 B1 的静电力在活动电极的各个受力点均匀对称分布，调整电极 B2-1 和调整电极 B2-2 的面积和形状与调整电极 C2-1 和调整电极 C2-2 的面积和形状完全一致，以确保调整电极 C2 加电后对调整电极 B2 各个受力点均匀对称分布，再把活动板 B 中央刻蚀掉与固定装置截面形状相同的开槽或通孔 B4，与固定装置 D 配合实现上下稳定移动，开槽或通孔 B4 的两边对称的活动极板 B 的纵向中轴线上固定连接导体的地方设置槽 B3-1 和槽 B3-2，开槽深度要能够确保连接导体 E1 和连接导体 E2 被压缩后能够隐藏至少 50% 在活动极板的槽 B3-1 和槽 B3-2 内部，并将连接导体 E1 和连接导体 E2 的一端分别固定在槽 B3-1 和槽 B3-2 内，使 E1 和 E2 分别与活动电极在电路上互通。

图 4 本实施例中可调电容上极板 C 的结构斜视图和横截面图，本实施例中其实现工艺是以单晶硅为基板制作上极板 C，在上电极区域及其两侧的调整电极区域刻蚀浅槽，

形成浅槽后在可调电极区域的中央继续钻孔刻蚀出深槽，然后溅射金属并平坦化，将槽内填满金属，上层浅槽的金属形成可调电容上电极 C1 和调整电极 C2-1、调整电极 C2-2，调整电极 C2-1、调整电极 C2-2 和调整电极 B2-1、调整电极 B2-2 位置相对、形状接近，以使调整电极 C2 加可调电压后对活动电极 B2 各个受力点的静电吸引力是均匀对称分布的，再在调整电极 C2-1 和调整电极 C2-2 的表面沉淀介质形成介质保护层 C3-1 和介质保护层 C3-2，保护介质层 C3 的表面光滑，用于隔离调整电极 C2 和活调整电极 B2，在上电极 C1 的横向中轴线上两边对称的和活动极板调整电极类似对应的位置，分别通过刻蚀设置槽 C1-1 和槽 C1-2，槽深度长、宽尺寸要能够满足连接导体 E1 和连接导体 E2 被压缩时能够在开槽内被隐藏 50%以上，再将连接导体 E1 和连接导体 E2 的另一端分别固定在槽 C1-1 和槽 C1-2 内部，使连接导体 E 和上电极 C1 之间电路上保持连通。

图 5 本实施例中可调电容上极板的控制层剖面图，在上极板 C 的上表层为控制层 C4，控制层 C4 主要分布用连接引线 C4-2、连接引线 C4-3 和开关 C4-1，其中连接引线 C4-2 主要是将上电极 C1 连接至电容封装的接地引脚，引线导体 C4-3 的功能是将调整电极 C2-1 和调整电极 C2-2 连接起来然后连接到开关 C4-1，开关 C4-1 的另一端连接到可调电容的可调电压引脚，同时开关 C4-1 的数据收发控制总线通过引出线连接到电容控制引脚。

图 6 为本实施例中可调电容固定装置 D 的实施例结构图，其具体实现工艺是，可以通过淀积或键合的方式实现固定装置 D，将固定装置 D 的一端固定在下极板 A 的下电极 A1 中心，且与下极板 A 垂直，固定装置 D 的另一端固定在可调电容的上极板 C 的上电极 C1 的中心位置，且与上极板 C 垂直，固定装置 D 在上极板 C、下极板 A 之间支撑上极板 C 和下极板 A，并保持上极板 C、下极板 A 平行，固定装置 D 的固定形式包括但不限于固定轴、固定板、固定腔体、固定弹簧等形式。

图 7 为本实施例中可调电容连接导体 E 的实施例结构图，所述的连接导体 E1 和连接导体 E2 由具备伸、缩性能的金属导体构成，连接导体 E1 的一端固定在槽 B3-1 内，连接导体 E1 另一端固定在槽 C1-1 内，连接导体 E2 的一端固定在槽 B3-2 内，连接导体 E2 的另一端固定在槽 C1-2 内，从结构图中可以看出连接导体 E1 和连接导体 E2 有三种典型的状态，分别是第一种状态为连接导体 E1 和连接导体 E2 被拉伸到了最长的状态，此时活动电极 B1 受的下极板下电极 A1 加上工作电压后，且工作电压产生的静电力加活动极板的自重力大于活动极板的摩擦力、向上的拉伸力、上极板

调整电极 C2-1、C2-2 对活动极板的静电吸引力之和后活动极板 B 和下极板 A 紧密接触；第二种状态为连接导体 E1 和连接导体 E2 被压缩到了最短的状态，此时活动极板 B 的调整电极 B2-1 和调整电极 B2-2 受上极板 C 的调整电极 C2-1 和调整电极 C2-2 加上可调电压后产生的静电力大于活动极板的自重力、摩擦力、向下的弹力、下极板下电极 A1 对活动极板的静电力之和，此时由上极板调整电极 C2-1 和 C2-2 将活动极板 B 吸引到与上极板 C 紧密接触，在这种状态下，连接导体 E1 和连接导体 E2 被隐藏在槽 B3-1、槽 B3-2 和槽 C1-1、槽 C1-2 内部；第三种状态为连接导体 E 处于中间任意值状态，正常情况下电容工作过程中应该避免出现这种状态，因为该状态下可调电容的容值是不确定值，所选的连接导体 E1 和槽 E2 有抗疲劳特性能够被反复拉伸和压缩，连接导体都不会断，同时拉伸和压缩过程中连接导体的拉伸力和压缩时的弹力始终保持为恒定值；为减少连接导体的电阻值对可调电容的 Q 值的影响，所选连接导体的材料为高导电率的材料。

图 8 本实施例中可调电容封装的实施例结构图，单个可调电容溅射金属形成电容下电极 A1，在下电极 A1 的基础上沉淀介质材料形成介质隔离层 A2，淀积金属引线将电容下电极 A1 连接，引出到工作电压引脚，通过淀积或键合的方式，在介质材料 A2 的中兴位置制作固定装置 D，固定装置的形式包括但不限于固定轴、固定板、固定腔体、固定弹簧等形式，固定装置 D 使活动板 B 在上极板 C、下极板 A 之间上下稳定移动，且在水平方向上不偏移，移动时不卡顿、不增加阻力。

以单晶硅为基板制作活动极板 B，在活动电极 B1 区和调整电极 B2 区分别刻蚀浅槽，溅射金属并平坦化，将槽内填满金属，形成活动电极 B1 和调整电极 B2，在在活动极板上设置槽 B3-1 和槽 B3-2，再把活动板中央刻蚀掉与固定装置截面形状相同的开槽或通孔 B4，然后将活动极板上的开槽或通孔 B4 穿过固定装置 D，活动电极 B1 那一面朝下，调整电极 B2 面朝上，然后在槽 B3-1 和槽 B3-2 上分别固定连接导体 E1 和连接导体 E2 的一端。

以单晶硅为基板制作上极板 C，在形成电容区域及其两侧的可调电极区域刻蚀浅槽，形成浅槽后在可调电极区域的中央继续钻孔刻蚀出深槽，然后溅射金属并平坦化，将槽内填满金属，上层浅槽的金属形成电容上电极 C1 和调整电极 C2-1、调整电极 C2-2，下部深槽填充金属形成引出导线，并与开关 C4-1 相连，淀积金属引线将上电极和调整电极引出到上极板边缘，上极板制作完成后，将上极板 C 与固定装置 D 键合，使上极板 C 和下极板 A 电气装配在一起，再从封装两端，分别将上极板 C 上的控制层 C4 的上电极

引出线、开关的控制引出线和可调电压引出线，从电容的两端侧面分别引出到电容的接地引脚、控制引脚和可调电压引脚上。

实施例 2

本实施例提供了一种如图 9~图 16 所示的该组合电容由 9 个可调单元电容构成，9 个可调单元电容的上电极 C11、C12、C13、C14、C15、C16、C17、C18、C19，以及 9 对上极板调整电极 C211、C221，C212、C222，C213、C223，C214、C224，C215、C225，C216、C226，C217、C227，C218、C228，C219、C229 共同分布在一个上极板上且相互之间相互隔离，其中 C11、C12、C13 在电极层相互连接为一组，C14、C15、C16 在电极层相互连接为一组，C17、C18、C19 在电极层相互连接为一组，一共三组，然后每一组再分别连接到一个总引线导体上，再由总引线导体连接到电容的接地引脚，上极板 9 对调整电极中的每对调整电极都通过引线导体相互连接，然后每对调整电极再连接到开关矩阵中的一个开关的一端，该开关的另一端都通过引线导体连接到可调单元电容的可调电压引脚；组合电容中的 9 个下电极 A11、A12、A13、A14、A15、A16、A17、A18、A19 共同分布在一个下极板上且相互之间相互隔离，然后 A11、A12、A13 通过相互连接成一组，A14、A15、A16 通过相互连接成一组，A17、A18、A19 通过相互连接成一组，共三组下电极再分别连接到一根引线导体，引线导体再连接到组合电容工作电压引脚；其中上极板电极层中的上电极与上电极引线之间，上电极和调整电极引线之间由介质相互绝缘隔离，下极板下电极之间的引线与引线之间隔离，引线与上极板电极层上电极、调整电极、下极板的下电极之间隔离或者不重叠；9 个上电极和 9 个下电极之间有相同的外形尺寸，并且在垂直方向上严格对齐，对应的 9 个固定装置和 9 组连接线导体共同组成组合电容，下极板上的电极层的分布的 9 个下电极与可以在 9 个固定装置上移动的 9 个相对应的活动极板的活动电极组成 9 个单元电容，每个单元电容中活动极板上的活动电极与下极板上的下电极在垂直方向严格对齐，其中 9 个活动极板的活动电极上的对应的 9 对开槽分别与相对应的 9 对连接线导体的一端相连，9 对连接线导体的另一端与 9 个活动极板活动电极相对应的上极板电极层的 9 个上电极上的 9 对开槽相连；上极板电极层分布的 9 个上电极的中心位置分别与 9 个对应固定装置的中心位置垂直连接固定，9 个固定装置的中心位置的另一端分别与 9 个下电极的中心位置垂直连接固定在一起，由 9 个固定装置固定组合电容上极板和下极板，并使组合电容的上极板和下极板平行，相隔一定的间距，且使上、下极板外围边对齐，9 个活动极板在上极板和下极板之间分别任意组合移动来调节组合电容的大、小；所述上极板电极层的 9 个调整电极与 9 个固定装置上的可

以平行移动的 9 个平行活动极板相对应的调整电极组成 9 个调整单元，所述组合电容中的 9 个单元电容和 9 个相对应的调整单元通过 9 个固定装置上装配的 9 个活动极板组成 9 个可调单元电容。

本实施例中的组合电容中的 9 个可调单元电容的每个电容的容值都可以单独调整，也可以多个可调单元电容的容值进行任意组合调整，从而实现不同的组合电容的容值，具体的调整方法是，由外部的控制器通过 IIC 总线连接到本实施例中组合电容的 IIC 控制引脚，外部设置为主控制器，组合电容内部的 9 个开关上的 IIC 都为从控制器，9 个单元电容中的每个单元电容的控制开关都分配有一个地址，由主控制器通过总线地址来识别 9 个开关中具体的每个开关，然后实现对具体的某一个或者一组开关进行精确的开、关控制，从而实现组合电容的不同容值。

所述本实施例中组合电容的在应用过程中要控制器上电顺序，具体的上电顺序是先加可调电压引脚上的可调电压，然后在加工作电压引脚上的工作电压，再根据匹配电路的工作需要加调整控制开关矩阵中的 9 个开关的通、断，实现将组合电容的容值调整到所需的容值，将电容的容值调整好后，最后在给应用电路上工作电压，如果该组合电容应用在功放电路时，按照以上的顺序将电容的容值调整好后，最后再给功放管的栅极电压供电，从而可以避免容值调整和切换过程中可能给应用电路带来不稳定的问题。

图 10 为本发明实施例二组合电容的下极板的结构图，本实施例中所述的下极板上分布有 9 个下电极 A11、A12、A13、A14、A15、A16、A17、A18、A19，且 9 个下电极之间由介质材料相互隔离，其中 A11、A12、A13 通过溅射引线导体相互连接后，A14、A15、A16 通过溅射引线导体相互连接，A17、A18、A19 通过溅射导相互连接，然后三组下电极分别连接到一根总引线导体上，该总引线导体再连接到组合电容的工作电压引脚，以上所有的引线导体在走线过程中与上极板电极层的上电极、活动极板的活动电极都不重叠，从而避免引线可能产生的寄生电容，同时引线导线和单个下电极的材料、尺寸、电阻值决定了组合电容工作电压电极的耐压能力，在每个下电极的上面覆盖介质材料分别形成隔离层 A21、A22、A23、A24、A25、A26、A27、A28、A29 用于隔离每个可调电容中的活动电极和下电极。

图 11 为本实施例二中组合电容的上极板电极层的结构示意图，本实施例总上极板电极层分布有 9 个上电极 C11、C12、C13、C14、C15、C16、C17、C18、C19，分别与对应的下极板上的 9 个下电极 A11、A12、A13、A14、A15、A16、A17、A18、A19 形状、面积大小相同，且在分布上对齐，9 个上电极之间通过介质材料相互隔离，其中 C11、C12、

C13 为一组相互由引线导体相互连接, C14、C15、C16 为一组相互由引线导体相互连接, C17、C18、C19 为一组相互由引线导体相互连接, 每一组上电极通过引线连接到一根总引线, 该总引线再通过电容的侧边封装外路径连接到电容的接地引脚; 在每个上电极的两边分别分布有一对调整电极, 共计 9 对调整电极, 分别是 C211、C221, C212、C222, C213、C223, C214、C224, C215、C225, C216、C226, C217、C227, C218、C227, C219、C229, 9 对调整电极中的每对调整电极分别与对应的 9 个活动极板中一个活动极板一对调整电极对齐, 然后每个调整电极上都有金属过孔连接到上极板上控制层对应的引线导体, 以上所述的引线导体与上极板电极层的上电极、活动极板的活动电极、下极板电极层的下电极都不重叠, 引线与引线之间尽量避免交叉, 从而减小可能产生的寄生电容。

图 12 为本实施例二中组合电容的上极板控制层的结构示意图, 本实施例中所述组合电容中上极板控制层分布的 9 个开关分别是 C41、C42、C43、C44、C45、C46、C47、C48、C49、每对调整电极都通过金属过孔连接到控制层的 9 个开关中的一个开关的一端, 然后每三个开关形成一组连接到控制总线上, 在控制总线上给每个开关分配有一个地址, 9 个开关共分配有 9 个地址, 外部或内部处理器通过总线地址来识别每个开关, 然后实现对每个开关的通断控制, 最后 9 个开关的另一端分别连接在一起后通过引线连接至电容的可调电压引脚, 所述总线通过相应的导线连接到电容封装外部相应的总线控制引脚, 以上所述导线与上极板电极层上电极、活动极板活动电极、下极板电极层下电极都不重叠。

图 13-16 为本实施例中组合电容的封装相关示意图, 所述的组合电容被封装在一个密封空间, 具体的封装实现过程如下: 先在单晶硅上, 以单晶硅为通过在单晶硅上刻蚀形成组合电容的下极板和封装四周的壁板, 然后在下极板的表面通过溅射形成形状规则的 9 个下电极, 再在 9 个下电极表面通过沉淀高 Q 值、高介电常数的介质形成 9 个下电极上分别形成隔离层, 再通过溅射金属引线将 9 个下电极分成 3 组, 每一列的 3 个下电极相互连接, 然后连接到一个溅射的总线上, 总线连接至组合电容的工作电压引脚, 然后通过淀积或键合的方式, 在下极板上的 9 个下电极的中心位置形成或制作 9 个固定装置, 固定装置的形式包括但不限于固定轴、固定板、固定腔体、固定弹簧等形式; 再以单晶硅为基板制作 9 块形状相同, 尺寸相等的活动极板, 在每个活动极板两边的活动电极区和调整电极取分别刻蚀槽, 通过溅射金属并平坦化将槽内填满金属, 形成每个活动极板的活动电极和调整电极, 再在活动极板的正中央刻蚀掉与固定装置截面形状相同, 尺寸略大的通孔, 同时在活动电极上面刻蚀开槽用于连接导体的连接, 并在每个活动极

板的开槽内固定一个连接线导体。

以单晶硅为基板制作上极板，在上极板上分布 9 个与活动极板面积和形状相同的 9 块区域，然后在这 9 块区域的一面作为电极层分别通过溅射金属形成上极板的调整电极和上电极，将另一面作为控制层将相应的开关的晶圆电路刻蚀在控制层上，并通过溅射相应的连接线导体，所有的开关和连接线导体都分布在上电极、调整电极之间的缝隙里面，与上电极和调整电极不重叠，并通过开金属化过孔将调整电极与对应的开关连接起来，并溅射相应的连接导线到电极层和控制层的边缘，用于引出连接至组合电容的接地极和可调电压电极，最后将 9 个活动极板上的连接线导体的另一端分别与 9 个上电极上开槽相应的连接和固定，再将整个上极板和 9 个活动极板一起安装在下极板基槽上，在对整个组合电容进行密封和外部引脚表层的处理，最终实现电容的封装。

为了描述的方便，以上装置在描述过程中分别只进行了单个可调单元电容以及 9 个可调单元电容组成的组合电容的描述。当然，在实施本申请时可以 N 个不同的单元电容进行任意组合来实可以把各模块或单元的功能在同一个或多个硬件中实现。本领域内的技术人员应明白，本申请的实施例可提供为方法、器件、实现工艺及产品。

图 17 为本组发明的实施例之三，在本实施例中 N 个组合电容可以纵向叠加在一起形成组合电容，本实施例中选择 N 个叠加电容中的 2 个电容叠加在一起形成组合电容的示意图，在该实施例中 2 个可调单元电容 100 和可调单元电容 200 纵向叠加在一起形成组合电容，可调单元电容 100 的下极板 A0 和可调单元电容 200 的上极板 C 共用一个极板，可调单元电容 200 的调整电极 B2 通过过孔连接到控制层的开关的一端，开关的另一端通过引线连接可调电压控制引脚 Y2，可调单元电容 100 的调整电极 B22 通过过孔连接到控制层开关的一端，开关的另一端再通过引线连接连接到可调电压控制引脚 Y3，可调电压 Y2 和 Y3 可以分别加不同的控制电压分别进行控制，或者连接到同一个控制电压上一起控制；所述的可调单元电容 100 的上电极 C11 和可调单元电容 200 的上电极 C1 分别通过引线连接到接地引脚 Y0 上；所述的可调单元电容 100 的下电极 A0 和可调单元电容 200 的下电极 A1 分别通过引线连接到供电工作电压引脚 Y1 上。纵向封装的组合电容中的 N 个可调单元电容纵向封装在一起，其特点是电容的封装小，占用面积小。

图 18 为本组发明的实施例之三，在本实施例中先是三个横向组合的可调单元电容 300、310、320 组合成一个组合电容 500，再是三个横向组合的可调单元电容 330、340、350 组合成一个组合电容 400，两个组合电容 400 和 500 叠加在一起组成新的组合电容，组合电容 400 的下极板和组合电容 500 的上极板共用在同一个极板。其中可调单元电容

300、310、320 的下电极 A11、A12、A13 都分布在同一个下极板上，相互之间通过介质材料隔离，三个下电极通过导线相互连接后最后连接到供电电压引脚 Y1；可调单元电容 300、310、320 的上电极 C11、C12、C13 都分布在同一个上极板上，相互之间通过介质材料隔离，三个上电极通过导线相互连接后再连接到组合电容的接地引脚 Y0，可调单元电容 300、310、320 的调整电极 B211、B221 通过导线相互连接后再通过导线连接到开关 C41 的一端，开关 C41 的另一端通过导线连接到可调电压控制引脚 Y2；B212、B222 通过导线相互连接后再通过导线连接到开关 C42 的一端，开关 C42 的另一端通过导线连接到可调电压控制引脚 Y2，B213、B223 通过导线相互连接后再通过导线连接到开关 C43 的一端，开关 C43 的另一端通过导线连接到可调电压控制引脚 Y2；

其中可调单元电容 330、340、350 的下电极 A14、A15、A16 都分布在一个下极板上，相互之间通过介质材料隔离，三个下电极通过导线相互连接后最后连接到供电电压引脚 Y1；可调单元电容 330、340、350 的上电极 C14、C15、C16 都分布在上极板上，相互之间通过介质材料隔离，三个上电极通过导线相互连接后再连接到组合电容的接地引脚 Y0；可调单元电容 330、340、350 的调整电极 B214、B224 通过导线相互连接后再通过导线连接到开关 C44 的一端，开关 C44 的另一端通过导线连接到可调电压控制引脚 Y3；B215、B225 通过导线相互连接后再通过导线连接到开关 C45 的一端，开关 C45 的另一端通过导线连接到可调电压控制引脚 Y3，B216、B226 通过导线相互连接后再通过导线连接到开关 C46 的一端，开关 C46 的另一端通过导线连接到可调电压控制引脚 Y3。

综上所述，该基于 MEMS 结构的可调电容，不仅具备高 Q 值，同时还具备高耐电压、耐电流的能力，而且通过多个可调电容封装在一个封装里面可以实现组合电容的容值连续、步进可调，电容的容值可以通过外部或者内部的处理器实现可编程可调，具备良好的应用环境适应性，且调节电极为可移动电极，且电位状态固定，避免了可变电容两端射频电路直流偏置对开关臂移动的影响；与常规可变电容不同的是，活动电极水平上下移动，电极本身无形变，可减少寄生电容且电容变化线性度更高；调节电极始终处于电场阻滞状态，减小了外来机械振动的影响；使用较低温度焊料将半导体与介质材料焊接，同时实现了圆片级封装。

以上内容是结合具体的优选实施方式对本发明所作的进一步详细说明，不能认定本发明的具体实施只局限于这些说明。对于本发明所属技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干简单推演或替换，都应当视为属于本发明的保护范围。