

一种含硅有机介电层的刻蚀方法和半导体工艺设备

技术领域

[0001] 本申请涉及半导体制造技术领域，具体涉及一种含硅有机介电层的刻蚀方法和半导体工艺设备。

背景技术

[0002] 随着集成电路的高速发展，苯丙环丁烯(benzocyclobutene，简称BCB)等含硅有机材料因具有较宽的固化温度范围、较低的固化温度、较低的介电常数、更佳的粘附性能以及更优的疏水性，而被作为介电材料广泛应用到各个领域的电子器件中。但是，在对BCB等含硅有机材料制作的含硅有机介电层进行刻蚀时，刻蚀出的沟槽或通孔底部容易出现微沟槽(sub-trench)或凹凸不平的形貌，导致沟槽或通孔底部的电场应力过于集中，影响电子器件的性能。

[0003] 发明内容

[0004] 本申请公开一种含硅有机介电层的刻蚀方法和半导体工艺设备，以减少含硅有机介电层刻蚀的沟槽或通孔底部的微沟槽或凸起，使得沟槽或通孔底部具有光滑的形貌。

[0005] 第一方面，本申请公开了一种含硅有机介电层的刻蚀方法，包括：利用循环交替的至少两个刻蚀步对所述含硅有机介电层进行刻蚀；其中，所述至少两个刻蚀步包括第一刻蚀步和第二刻蚀步，所述第一刻蚀步采用的刻蚀气体至少包括含氧气体，所述第二刻蚀步采用的刻蚀气体至少包括含氧气体和含氟气体。

[0006] 在一些可选示例中，在至少两个刻蚀步循环交替的过程中，氟元素与氧元素的比例范围大于0，且小于等于15，或所述氟元素的含量为0；或者在所述第一刻蚀步中，氟元素与氧元素的比例小于0.01，或所述氟元素的含量为0。

[0007] 在一些可选示例中，所述第一刻蚀步采用的含氧气体气体流量范围为5sccm ~ 200sccm；和/或所述第二刻蚀步采用的含氧气体气体流量范围为5sccm ~ 200sccm，所述第二刻蚀步采用的含氟气体气体流量范围为5sccm ~ 20sccm。

- [0008] 在一些可选示例中，所述含硅有机介电层的材料包括BCB，所述含氧气体包括O₂、CO₂、CO和SO₂中的至少一种，所述含氟气体包括SF₆、CF₄、C₄F₈、CHF₃、NF₃、SF₆、CH₂F₂和C₂F₆中的至少一种。
- [0009] 在一些可选示例中，所述第一刻蚀步和所述第二刻蚀步采用的刻蚀气体还包括惰性气体；所述惰性气体包括Ar、He和Ne中的至少一种。
- [0010] 在一些可选示例中，所述第一刻蚀步采用的惰性气体的气体流量范围为5sccm ~ 200sccm，所述第二刻蚀步采用的惰性气体的气体流量范围为5sccm ~ 200sccm。
- [0011] 在一些可选示例中，在至少两个刻蚀步循环交替的过程中，氟元素与惰性元素的比例范围为大于0，且小于等于60，或所述氟元素的含量为0；或者
- [0012] 在所述第一刻蚀步中，氟元素与惰性元素的比例小于0.01，或所述氟元素的含量为0。
- [0013] 在一些可选示例中，在至少两个刻蚀步循环交替的过程中，含氧气体的气体流量保持不变，惰性气体的气体流量保持不变，含氟气体的气体流量变化曲线呈脉冲波形。
- [0014] 在一些可选示例中，所述第一刻蚀步采用的工艺时间范围为0.2s ~ 8s，和/或所述第二刻蚀步采用的工艺时间范围为0.2s ~ 5s。
- [0015] 在一些可选示例中，所述第一刻蚀步采用的腔压范围为2mTorr ~ 30mTorr；和/或所述第二刻蚀步采用的腔压范围为2mTorr ~ 30mTorr。
- [0016] 在一些可选示例中，所述至少两个刻蚀步还包括至少一个第三刻蚀步，所述至少一个第三刻蚀步位于所述第一刻蚀步和所述第二刻蚀步之间，所述第三刻蚀步采用的刻蚀气体的流量小于所述第一刻蚀步和所述第二刻蚀步采用的刻蚀气体的流量。
- [0017] 第二方面，本申请公开了一种半导体工艺设备，包括工艺腔室、进气组件、上电极组件、下电极组件和控制装置，所述控制装置包括至少一个存储器和至少一个处理器，所述存储器内存储有计算机程序，所述处理器执行所述计算机程序以实现如上所述的含硅有机介电层的刻蚀方法。

[0018] 本申请公开的含硅有机介电层的刻蚀方法和半导体工艺设备，利用循环交替的至少两个刻蚀步对含硅有机介电层进行刻蚀，其中，至少两个刻蚀步包括第一刻蚀步和第二刻蚀步，第一刻蚀步采用的刻蚀气体至少包括含氧气体，第二刻蚀步采用的刻蚀气体至少包括含氧气体和含氟气体，从而可以通过循环交替进行第一刻蚀步和第二刻蚀步，调节含氟气体与含氧气体的气体流量比例，进而可以调节含硅有机介电层中不同元素的刻蚀速率，进而可以减少含硅有机介电层的沟槽或通孔底部的微沟槽或凸起等，使得沟槽或通孔底部具有光滑的形貌，进而可以避免沟槽或通孔底部的电场应力过于集中影响电子器件的性能。

附图说明

[0019] 为了更清楚地说明本申请实施例或背景技术中的技术方案，下面将对本申请实施例或背景技术中所需要使用的附图进行说明。

[0020] 图1为目前的一种刻蚀方法刻蚀出的含硅有机介电层的沟槽SEM图。

[0021] 图2至图8为本申请实施例公开的一种含硅有机介电层的刻蚀方法中各个流程的电子器件的剖面结构示意图。

[0022] 图9为本申请实施例公开的一种底部具有凹凸不平形貌的沟槽SEM图。

[0023] 图10为本申请实施例公开的一种底部具有微沟槽形貌的沟槽SEM图。

[0024] 图11为本申请实施例公开的一种含硅有机介电层的刻蚀方法刻蚀出的沟槽的SEM图。

[0025] 图12为本申请实施例公开的一种侧壁具有弓形形貌的沟槽SEM图。

[0026] 图13为本申请实施例公开的一种含硅有机介电层的刻蚀方法中含氧气体(如 O_2)、含氟气体(如 SF_6)和惰性气体(如Ar)的气体流量随时间变化的曲线示意图。

[0027] 图14为本申请实施例公开的一种含硅有机介电层的刻蚀方法中含氟气体(如 SF_6)与惰性气体(如Ar)的流量比例随时间变化的曲线以及含氟气体(如 SF_6)与含氧气体(如 O_2)的流量比例随时间变化的曲线示意图。

[0028] 图15为本申请实施例公开的一种半导体工艺设备的结构示意图。

具体实施方式

- [0029] 下面将结合本申请实施例中的附图，对本申请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申请一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例，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他实施例，都属于本申请保护的范围。
- [0030] 如图1所示，采用目前的刻蚀方法对BCB等含硅有机材料制作的含硅有机介电层进行刻蚀时，刻蚀出的沟槽或通孔底部容易出现微沟槽(sub-trench)或凹凸不平的形貌，导致沟槽或通孔底部的电场应力过于集中，影响电子器件的性能。
- [0031] 发明人研究发现，含硅有机介电层中的不同元素的刻蚀速率失衡，是导致微沟槽或凹凸不平的形貌出现的主要原因。例如，若含硅有机介电层中的 Si 的刻蚀速率高于 C-H 的刻蚀速率，会导致含硅有机介电层底部出现凹凸不平的形貌，若 Si 的刻蚀速率低于 C-H 的刻蚀速率，会导致含硅有机介电层底部出现微沟槽的形貌。
- [0032] 基于此，本申请公开了一种含硅有机介电层的刻蚀方法，包括：
- [0033] 利用循环交替的至少两个刻蚀步对含硅有机介电层进行刻蚀，并且循环交替的至少两个刻蚀步中至少一个刻蚀步采用的刻蚀气体包括含氧气体、至少一个刻蚀步采用的刻蚀气体包括含氧气体和含氟气体，以使得含硅有机介电层的沟槽或通孔底部具有光滑的形貌。
- [0034] 作为本申请公开内容的一种可选实现，本申请实施例公开了一种含硅有机介电层的刻蚀方法，该刻蚀方法包括：
- [0035] 利用循环交替的至少两个刻蚀步对含硅有机介电层进行刻蚀，其中，至少两个刻蚀步包括第一刻蚀步和第二刻蚀步，第一刻蚀步采用的刻蚀气体至少包括含氧气体，第二刻蚀步采用的刻蚀气体至少包括含氧气体和含氟气体。
- [0036] 本申请实施例中，含硅有机介电层所制备的电子器件可以用于无线通信基站、卫星导航和移动通信等领域，该电子器件可以是功率放大器、整流器、振荡器、锁相器、控制器和存储器等。
- [0037] 如图2所示，该电子器件例如可以包括衬底101以及位于衬底101一侧的含硅有机介电层11，在一些可选实施方式中，衬底101和含硅有机介电层11之间还可以包括金属层102和隔离层103。

[0038] 其中，衬底101可以包括砷化镓(GaAs)衬底、硅衬底、锗衬底或硅锗衬底等，金属层102可以包括Au金属层等，隔离层103可以包括氮化硅层等，含硅有机介电层11的材料包括BCB。

[0039] 本申请一些实施例中，在对含硅有机介电层11进行刻蚀时，首先，如图3所示，在含硅有机介电层11背离衬底101的一侧表面依次形成抗反射层12和图形化的光刻胶层13，抗反射层12的材料可以为氮化硅或氮氧化硅等。其中，可以利用具有预设掩膜图形的掩模板对整面的光刻胶层进行曝光，来将掩膜图形转移到光刻胶层上，然后对光刻胶层进行显影，形成图形化的光刻胶层13。

[0040] 然后，如图4所示，以图形化的光刻胶层13为掩膜，对抗反射层12进行刻蚀，使得掩膜图形转移到抗反射层12上。其中，抗反射层12能够缓解或消除光刻胶层13的驻波效应，增加掩膜图形从掩模板转移到光刻胶层上的精准性。当然，在本申请的一些实施例中，也可以不包括抗反射层12，在此不再赘述。

[0041] 之后，如图5所示，以图形化的光刻胶层13为掩膜，利用第一刻蚀步对含硅有机介电层11进行刻蚀，使得沟槽110的深度为第一预设深度 h_1 ，然后，如图6所示，利用第二刻蚀步对含硅有机介电层11进行刻蚀，使得沟槽110的深度为第二预设深度 h_2 ， h_2 大于 h_1 ，然后，如图7所示，利用第一刻蚀步对含硅有机介电层11进行刻蚀，使得沟槽110的深度为第三预设深度 h_3 ， h_3 大于 h_2 ，然后，如图8所示，利用第二刻蚀步对含硅有机介电层11进行刻蚀，使得沟槽110的深度为第四预设深度 h_4 ， h_4 大于 h_3 ，如此循环直到沟槽110的深度达到所需的深度，形成所需的沟槽或通孔。需要说明的是，本申请实施例中对含硅有机介电层11进行刻蚀的至少两个刻蚀步都采用干法刻蚀工艺，例如等离子体刻蚀工艺。

[0042] 在一些实施例中，可以先对抗反射层12进行刻蚀，再利用第一刻蚀步对含硅有机介电层11进行刻蚀，当然，本申请并不仅限于此，在另一些实施例中，也可以在利用第一刻蚀步对含硅有机介电层11进行刻蚀的同时，对抗反射层12进行刻蚀，在此不再赘述。

[0043] 本申请一些实施例中，可以先利用第一刻蚀步对含硅有机介电层11进行刻蚀，再利用第二刻蚀步对含硅有机介电层11进行刻蚀，但是，本申请并不仅限于

此，在另一些实施例中，也可以先利用第二刻蚀步对含硅有机介电层11进行刻蚀，再利用第一刻蚀步对含硅有机介电层11进行刻蚀，在此不再赘述。

[0044] 本申请一些实施例中，含氧气体包括 O_2 、 CO_2 、 CO 和 SO_2 中的至少一种，含氟气体包括 SF_6 、 CF_4 、 C_4F_8 、 CHF_3 、 NF_3 、 SF_6 、 CH_2F_2 和 C_2F_6 中的至少一种。进一步地，在一些实施例中，含氧气体包括 O_2 ，含氟气体包括 SF_6 。基于此，在一些实施例中，第一刻蚀步中的刻蚀气体包括 O_2 ，第二刻蚀步中的刻蚀气体包括 O_2 和 SF_6 。

[0045] 由于第一刻蚀步采用的刻蚀气体至少包括含氧气体(如 O_2)，第一刻蚀步采用的刻蚀气体基本不含氟，氟元素与氧元素的流量比例小于0.01，或氟元素的含量为0，第二刻蚀步采用的刻蚀气体至少包括含氧气体(如 O_2)和含氟气体(如 SF_6)，而第一刻蚀步和第二刻蚀步又循环交替进行，因此，可以通过循环交替进行第一刻蚀步和第二刻蚀步，例如间歇性地通入含氟气体，调节工艺腔室内含氟气体与含氧气体(如 O_2)的气体流量比例，以调节工艺腔室内氟元素与氧元素的比例，从而可以调节含硅有机介电层11中不同元素的刻蚀速率，进而可以减少含硅有机介电层11刻蚀出的沟槽或通孔底部的微沟槽或凸起等，使得沟槽或通孔底部具有光滑的形貌，进而可以避免沟槽或通孔底部的电场应力过于集中影响电子器件的性能。

[0046] 本申请一些实施例中，在至少两个刻蚀步循环交替的过程中，工艺腔室内氟元素与氧元素的比例范围大于0，且小于等于15，或氟元素的含量为0，以使沟槽或通孔底部具有更光滑的形貌。可以理解的是，在一些实施例中，因为第一刻蚀步不包括含氟气体，即氟元素的含量为0，所以，在至少两个刻蚀步循环交替的过程中，在进行到第一刻蚀步时，氟元素与氧元素的比例范围为0；在另一些实施例中，第一刻蚀步也可以包括少量的含氟气体，例如氟元素与氧元素的比例小于0.01。在一些实施例中，可以通过使 SF_6 与 O_2 的气体流量比例范围为大于0，且小于等于5，或 SF_6 的气体流量为0，来使得氟元素与氧元素的比例范围为大于0，且小于等于15，或氟元素的含量为0。当然，本申请并不仅限于此，在实际应用中，可以根据含氟气体与含氧气体的成分，调节含氟气体与含氧气体的流量比例范围，在此不再赘述。

- [0047] 可以理解的是，在一些实施例中，第一刻蚀步采用的刻蚀气体不包括含氟气体(如 SF_6)，或者说，第一刻蚀步采用的含氟气体(如 SF_6)的气体流量为0，但是，本申请并不限于此，在另一些实施例中，第一刻蚀步采用的刻蚀气体也可以包括含氟气体(如 SF_6)，但需保证第一刻蚀步采用的刻蚀气体中含氟气体(如 SF_6)的气体流量小于第二刻蚀步采用的刻蚀气体中含氟气体(如 SF_6)的气体流量，或者说，只要保证在至少两个刻蚀步循环交替的过程中，工艺腔室内氟元素与氧元素的比例范围为大于0，且小于等于15，或氟元素的含量为0即可。
- [0048] 下面以BCB材料为例，对调节含硅有机介电层11中不同元素的刻蚀速率的原理进行说明。BCB的分子式为 $\text{C}_4\text{H}_{12}\text{OSi}_2$ ，对BCB刻蚀的过程包括对C-H元素的刻蚀以及对Si元素的刻蚀。含氟气体(如 SF_6)在高频电磁场下解离出的F离子及含F自由基对Si元素进行刻蚀，生成物为气态的 SiFx ，F离子及含F自由基对C-H元素进行刻蚀，生成物为气态的 CFx 和 HFx 。含氧气体(如 O_2)解离出的O离子及含O自由基对Si元素进行刻蚀，生成物为难以挥发的 SiO_x 沉积物，会阻碍对Si元素的刻蚀，O离子及含O自由基对C-H元素进行刻蚀，生成易挥发的气态物质 CO 、 CO_2 和 H-O 。也就是说，含氧气体(如 O_2)对Si的刻蚀速率小于含氟气体(如 SF_6)对Si的刻蚀速率。
- [0049] 从BCB的分子式可以看出，BCB中Si元素的含量相对较小，C-H元素的含量相对较大，且 SiFx 的生成速率大于 CFx 和 HFx 的生成速率，因此，若仅采用含氟气体如 SF_6 对BCB进行刻蚀，或者说，若含氟气体(如 SF_6)与含氧气体(如 O_2)的气体流量比例大于5，会使得Si元素的刻蚀速率大于C-H元素的刻蚀速率，不仅使得BCB材料的刻蚀速率明显下降，而且会使得BCB的沟槽或通孔底部出现如图9所示的凹凸不平的形貌，导致沟槽或通孔底部的电场应力过于集中，影响电子器件的性能。
- [0050] 若仅采用含氧气体(如 O_2)对BCB进行刻蚀，或者说，若含氟气体(如 SF_6)与含氧气体(如 O_2)的气体流量比例大于并接近0，或者含氟气体(如 SF_6)的气体流量为0，会使得Si元素的刻蚀速率小于C-H元素的刻蚀速率，会使得BCB的沟槽或通孔底部出现如图10所示的微沟槽的形貌，导致沟槽或通孔底部的电场应力过于集中，影响电子器件的性能。

- [0051] 而采用循环交替的第一刻蚀步和第二刻蚀步对BCB进行刻蚀，可以通过循环交替进行第一刻蚀步和第二刻蚀步，例如间歇性地通入含氟气体(如 SF_6)，调节工艺腔室内含氟气体(如 SF_6)与含氧气体(如 O_2)的气体流量比例，例如使得 SF_6 与 O_2 的流量比例范围为大于0，且小于等于15，或 SF_6 的气体流量为0，从而可以调节氟元素与氧元素的比例，进而可以使得Si元素的刻蚀速率与C-H元素的刻蚀速率达到平衡，不仅可以保证BCB的刻蚀速率满足要求，而且可以使得BCB的沟槽或通孔底部为如图11所示的光滑的形貌，进而可以避免沟槽或通孔底部的电场应力过于集中影响电子器件的性能。
- [0052] 或者说，氧元素与氟元素对Si元素的刻蚀速率不同，氧元素与氟元素对C-H元素的刻蚀速率也不同，例如，氟元素对Si元素的刻蚀速率大于氧元素对Si元素的刻蚀速率，氟元素对C-H元素的刻蚀速率小于氧元素对C-H元素的刻蚀速率，通过间歇性地通入含氟气体(如 SF_6)调节工艺腔室内含氟气体(如 SF_6)与含氧气体(如 O_2)的气体流量比例，可以调节氟元素与氧元素的流量比例，进而可以调节Si元素的刻蚀速率与C-H元素的刻蚀速率，使得Si元素的刻蚀速率与C-H元素的刻蚀速率达到平衡。
- [0053] 当然，在一些实施例中，还可以通过调节第一刻蚀步和/或第二刻蚀步的气体流量和/或工艺时间等，调节工艺腔室内含氟气体(如 SF_6)与含氧气体(如 O_2)的气体流量比例，或者说调节工艺腔室内氟元素与氧元素的流量比例。
- [0054] 需要说明的是，虽然采用第二刻蚀步对BCB进行刻蚀，通过调节第二刻蚀步中含氟气体(如 SF_6)与含氧气体(如 O_2)的气体流量比例，也可以调节Si元素的刻蚀速率与C-H元素的刻蚀速率，但是，如图12所示，会导致沟槽或通孔的侧壁出现弓形(Bowing)形貌，使得相邻的沟槽或通孔具有交联或短路风险。而采用循环交替的第一刻蚀步和第二刻蚀步，可以有效避免腔室中一直存在F离子及含F自由基，进而可以避免沟槽或通孔的侧壁出现弓形形貌。
- [0055] 本申请一些实施例中，第一刻蚀步采用的含氧气体(如 O_2)的气体流量范围为5sccm ~ 200sccm；和/或，第二刻蚀步采用的含氧气体(如 O_2)的气体流量范围为5sccm ~ 200sccm，含氟气体(如 SF_6)的气体流量范围为5sccm ~ 20sccm。

- [0056] 本申请一些实施例中，第一刻蚀步采用的工艺时间范围为0.2s ~ 8s，和/或，第二刻蚀步采用的工艺时间范围为0.2s ~ 5s。基于此，不仅有利于刻蚀气体的控制，而且有利于使得含硅有机介电层的沟槽或通孔底部具有光滑的形貌。
- [0057] 需要说明的是，若第一刻蚀步和第二刻蚀步采用的工艺时间小于0.2s，就会超出进气可控的最短时间，不利于气体控制，若第二刻蚀步采用的工艺时间大于5s，就会导致SF₆与O₂的流量比例大于5，导致BCB的沟槽或通孔底部出现凹凸不平的形貌，若第一刻蚀步采用的工艺时间大于8s，就会导致SF₆与O₂的流量比例大于并接近0，或者SF₆的气体流量为0，导致BCB的沟槽或通孔底部出现微沟槽的形貌。
- [0058] 本申请一些实施例中，第一刻蚀步采用的腔压范围为2mTorr ~ 30mTorr，和/或第二刻蚀步采用的腔压范围为2mTorr ~ 30mTorr，基于此，可以避免腔压过大或过小影响含硅有机介电层的刻蚀效果。在一些实施例中，第一刻蚀步采用的腔压与第二刻蚀步采用的腔压相同。
- [0059] 本申请一些实施例中，第一刻蚀步采用的上射频功率范围为300W ~ 2500W，下射频功率范围为100W ~ 1200W，和/或，第二刻蚀步采用的上射频功率范围为300W ~ 2500W，下射频功率范围为100W ~ 1200W。在一些实施例中，第一刻蚀步采用的上射频功率与第二刻蚀步采用的上射频功率相同，第一刻蚀步采用的下射频功率与第二刻蚀步采用的下射频功率相同。
- [0060] 在一些具体示例中，第一刻蚀步采用的含氧气体(如O₂)的气体流量为32sccm，工艺时间范围为3s，腔压范围为4mTorr，上射频功率范围为300W，下射频功率范围为100W。第二刻蚀步采用的含氧气体(如O₂)的气体流量范围为32sccm，含氟气体(如SF₆)的气体流量范围为8sccm，工艺时间范围为2s，腔压范围为4mTorr，上射频功率范围为300W，下射频功率范围为100W。
- [0061] 本申请一些实施例中，第一刻蚀步和第二刻蚀步采用的刻蚀气体还包括惰性气体，惰性气体包括Ar、He和Ne中的至少一种。在一些实施例中，第一刻蚀步和第二刻蚀步采用的刻蚀气体还包括惰性气体Ar。此时，第一刻蚀步采用的刻蚀气体包括Ar和O₂，第二刻蚀步采用的刻蚀气体包括Ar、O₂和SF₆。

- [0062] 由于惰性气体如Ar在高频电磁场下解离出的Ar自由基及Ar离子起到物理轰击的作用，不参与化学反应，因此，不仅可以清除刻蚀过程中产生的聚合物，而且可以提高刻蚀形成的沟槽或通孔的侧壁的垂直度，避免垂直度过低导致相邻通孔交联，导致沟槽或通孔内导电体传输信号的短路等。
- [0063] 本申请一些实施例中，第一刻蚀步采用的含氧气体(如O₂)的气体流量范围为5sccm ~ 200sccm，惰性气体如Ar的气体流量范围为5sccm ~ 200sccm，工艺时间范围为0.2s ~ 8s，腔压范围为2mTorr ~ 30mTorr，上射频功率范围为300W ~ 2500W，下射频功率范围为100W ~ 1200W。第二刻蚀步采用的含氧气体(如O₂)的气体流量范围为5sccm ~ 200sccm，含氟气体(如SF₆)的气体流量范围为5sccm ~ 20sccm，惰性气体如Ar的气体流量范围为5sccm ~ 200sccm，工艺时间范围为0.2s ~ 5s，腔压范围为2mTorr ~ 30mTorr，上射频功率范围为300W ~ 2500W，下射频功率范围为100W ~ 1200W。
- [0064] 在一些具体示例中，第一刻蚀步采用的含氧气体(如O₂)的气体流量为32sccm，惰性气体如Ar的气体流量为10sccm，工艺时间为3s，腔压为4mTorr，上射频功率为300W，下射频功率为100W。第二刻蚀步采用的含氧气体(如O₂)的气体流量范围为32sccm，含氟气体(如SF₆)的气体流量为8sccm，惰性气体如Ar的气体流量为10sccm，工艺时间为2s，腔压为4mTorr，上射频功率为300W，下射频功率为100W。
- [0065] 在一些实施例中，在至少两个刻蚀步循环交替的过程中，工艺腔室内氟元素与惰性元素的比例范围为大于0，且小于等于60，或氟元素的含量为0，以使沟槽或通孔底部为更光滑的圆角形貌。同样，因为第一刻蚀步不包括含氟气体或氟元素含量极低，即氟元素与惰性元素的比例小于0.01，或氟元素的含量为0，所以，在至少两个刻蚀步循环交替的过程中，在进行到第一刻蚀步时，氟元素与惰性元素的比例范围为大于0，且小于等于0.01，或氟元素的含量为0。在一些实施例中，可以通过使得含氟气体(如SF₆)与惰性气体(如Ar)的流量比例范围为大于0，且小于等于10，或含氟气体(如SF₆)的气体流量为0，来使得氟元素与惰性元素的比例范围为大于0，且小于等于60，或氟元素的含量为0。

- [0066] 在至少两个刻蚀步循环交替的过程中，含氧气体(如 O_2)、含氟气体(如 SF_6)和惰性气体(如Ar)气体流量随时间变化曲线如图13所示，其中，V1表示 SF_6 的气体流量，V2表示Ar的气体流量，V3表示 O_2 的气体流量，T1表示第二刻蚀步的工艺时间，T2表示第一刻蚀步的工艺时间。在至少两个刻蚀步循环交替的过程中，含氟气体(如 SF_6)与惰性气体(如Ar)的流量比例随时间变化的曲线以及含氟气体(如 SF_6)与含氧气体(如 O_2)的流量比例随时间变化的曲线如图14所示。其中，在至少两个刻蚀步循环交替的过程中，含氧气体(如 O_2)的气体流量保持不变，惰性气体(如Ar)的气体流量保持不变，含氟气体(如 SF_6)的气体流量变化曲线呈脉冲波形。
- [0067] 因为停止向工艺腔室内通入气体后，工艺腔室内的气体也需要一定的时间消耗才能变为零，因此，含氟气体(如 SF_6)与惰性气体(如Ar)的流量比例以及含氟气体(如 SF_6)与含氧气体(如 O_2)的流量比例是动态变化的，含氟气体(如 SF_6)与惰性气体(如Ar)的流量比例随时间变化的曲线的斜率在大于0，且小于等于10的范围内，或含氟气体(如 SF_6)的气体流量为0变化，含氟气体(如 SF_6)与含氧气体(如 O_2)的流量比例随时间变化的曲线的斜率在大于0，且小于等于5的范围内，或含氟气体(如 SF_6)的气体流量为0变化。
- [0068] 本申请一些实施例中，至少两个刻蚀步仅包括第一刻蚀步和第二刻蚀步，也就是说，仅利用循环交替的第一刻蚀步和第二刻蚀步对含硅有机介电层11进行刻蚀，但是，本申请并不仅限于此，在另一些实施例中，至少两个刻蚀步还可以包括至少一个第三刻蚀步，至少一个第三刻蚀步位于第一刻蚀步和第二刻蚀步之间，或者位于第二刻蚀步和第一刻蚀步之间，第三刻蚀步采用的刻蚀气体的流量小于第一刻蚀步和第二刻蚀步采用的刻蚀气体的流量。其中，第三刻蚀步中刻蚀气体的流量可以为0，即在第三刻蚀步中工艺腔室内不通入气体，或者，在第三刻蚀步中工艺腔室内进行抽真空制程。
- [0069] 作为本申请公开内容的另一种可选实现，本申请实施例还公开了一种半导体工艺设备，该半导体工艺设备包括但不限于电感耦合等离子体刻蚀设备或电容耦合等离子体刻蚀设备等。

- [0070] 在一些可选实施例中，如图15所示，以电感耦合等离子体刻蚀设备为例，半导体工艺设备包括工艺腔室1、进气组件2、抽气组件(图中未示出)、上电极组件、下电极组件和控制装置(图中未示出)等。
- [0071] 其中，进气组件2用于向工艺腔室1内通入气体，该气体包括工艺气体等。控制装置用于控制进气组件2的电子阀门的开启或关闭，以控制进气组件2开始或停止向工艺腔室1内通入气体。
- [0072] 抽气组件用于抽出工艺腔室1内的气体，该气体包括刻蚀反应后产生的副产物气体等。控制装置还可以用于控制抽气组件的电子阀门的开启或关闭，以控制抽气组件开始或停止抽出工艺腔室1内的气体。并且，控制装置还可以用于控制进气组件2的电子阀门的阀门大小和抽气组件的电子阀门的阀门大小，以控制工艺腔室1的腔室压力大小。
- [0073] 上电极组件包括上射频电源31、与上射频电源31电连接的第一匹配器32和与第一匹配器32电连接的射频线圈33。其中，上射频电源31可以通过第一匹配器32与工艺腔室1内的射频线圈33电连接，用于将射频功率加载至射频线圈33，使得射频线圈33通过介质窗5将射频功率耦合至工艺腔室1内，将工艺腔室1内的气体电离成等离子体6。控制装置还可以用于控制上射频电源31通过第一匹配器32加载至射频线圈33上的射频功率大小。
- [0074] 下电极组件包括下射频电源41、与下射频电源41电连接的第二匹配器42和与第二匹配器42电连接的承载装置43，该承载装置43包括静电卡盘等。其中，下射频电源41通过第二匹配器42与承载装置43电连接，用于向承载装置43施加偏压功率，以对等离子体进行加速。承载装置43用于承载待制备器件7，并对待制备器件7进行加热或冷却。
- [0075] 以上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。
- [0076] 以上实施例仅表达了本说明书的几种实施方式，其描述较为具体和详细，但并不能因此而理解为对申请专利范围的限制。应当指出的是，对于本领域的普通技术人员来说，在不脱离本说明书构思的前提下，还可以做出若干变形和改

进，这些都属于本说明书的保护范围。因此，本说明书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] 一种含硅有机介电层的刻蚀方法，其特征在于，包括：
利用循环交替的至少两个刻蚀步对所述含硅有机介电层进行刻蚀；
其中，所述至少两个刻蚀步包括第一刻蚀步和第二刻蚀步，所述第一刻蚀步采用的刻蚀气体至少包括含氧气体，所述第二刻蚀步采用的刻蚀气体至少包括含氧气体和含氟气体。
- [权利要求 2] 根据权利要求1所述的刻蚀方法，其特征在于，在至少两个刻蚀步循环交替的过程中，氟元素与氧元素的比例范围大于0，且小于等于15，或所述氟元素的含量为0；或者
在所述第一刻蚀步中，氟元素与氧元素的比例小于0.01，或所述氟元素的含量为0。
- [权利要求 3] 根据权利要求1或2所述的刻蚀方法，其特征在于，所述第一刻蚀步采用的含氧气体气体流量范围为5sccm ~ 200sccm；
所述第二刻蚀步采用的含氧气体气体流量范围为5sccm ~ 200sccm，所述第二刻蚀步采用的含氟气体气体流量范围为5sccm ~ 20sccm。
- [权利要求 4] 根据权利要求1所述的刻蚀方法，其特征在于，所述含硅有机介电层的材料包括BCB，所述含氧气体包括O₂、CO₂、CO和SO₂中的至少一种，所述含氟气体包括SF₆、CF₄、C₄F₈、CHF₃、NF₃、SF₆、CH₂F₂和C₂F₆中的至少一种。
- [权利要求 5] 根据权利要求1所述的刻蚀方法，其特征在于，所述第一刻蚀步和所述第二刻蚀步采用的刻蚀气体还包括惰性气体；所述惰性气体包括Ar、He和Ne中的至少一种。
- [权利要求 6] 根据权利要求5所述的刻蚀方法，其特征在于，所述第一刻蚀步采用的惰性气体气体流量范围为5sccm ~ 200sccm；所述第二刻蚀步采用的惰性气体气体流量范围为5sccm ~ 200sccm。

- [权利要求 7] 根据权利要求5所述的刻蚀方法，其特征在于，在至少两个刻蚀步循环交替的过程中，氟元素与惰性元素的比例范围为大于0，且小于等于60，或所述氟元素的含量为0；或者
在所述第一刻蚀步中，氟元素与惰性元素的比例小于0.01，或所述氟元素的含量为0。
- [权利要求 8] 根据权利要求5所述的刻蚀方法，其特征在于，在至少两个刻蚀步循环交替的过程中，含氧气体的气体流量保持不变，惰性气体的气体流量保持不变，含氟气体的气体流量变化曲线呈脉冲波形。
- [权利要求 9] 根据权利要求1所述的刻蚀方法，其特征在于，所述第一刻蚀步采用的工艺时间范围为0.2s ~ 8s；和/或
所述第二刻蚀步采用的工艺时间范围为0.2s ~ 5s。
- [权利要求 10] 根据权利要求1所述的刻蚀方法，其特征在于，所述第一刻蚀步采用的腔压范围为2mTorr ~ 30mTorr；和/或
所述第二刻蚀步采用的腔压范围为2mTorr ~ 30mTorr。
- [权利要求 11] 根据权利要求1所述的刻蚀方法，其特征在于，所述至少两个刻蚀步还包括至少一个第三刻蚀步，所述至少一个第三刻蚀步位于所述第一刻蚀步和所述第二刻蚀步之间，所述第三刻蚀步采用的刻蚀气体的流量小于所述第一刻蚀步和所述第二刻蚀步采用的刻蚀气体的流量。
- [权利要求 12] 一种半导体工艺设备，包括工艺腔室、进气组件、上电极组件、下电极组件和控制装置，其特征在于，所述控制装置包括至少一个存储器和至少一个处理器，所述存储器内存储有计算机程序，所述处理器执行所述计算机程序以实现权利要求1至11任一项所述的含硅有机介电层的刻蚀方法。