

一种刻蚀方法、空气隙型介电层及动态随机存取存储器

技术领域

本发明涉及半导体制造技术领域，尤其涉及一种用于选择性地刻蚀氧化硅膜的刻蚀方法、空气隙型介电层及动态随机存取存储器。

背景技术

随着集成电路的特征尺寸的不断缩小，工艺复杂程度急剧增加。另外，由于线宽尺寸的微缩，需要开发更精准、更高选择比的薄膜去除工艺。如在动态随机存取存储器（Dynamic Random Access Memory, DRAM）芯片制程的空气隙（AirGap）工艺中，需要将深宽比为 20:1 的深槽结构内的氧化硅层（ SiO_2 ）完全去除，且不能对槽侧壁的氮化硅（ SiN ）造成刻蚀，要求（ SiO_2/SiN ）的刻蚀选择比在 100:1 以上，最好能达到 500:1，甚至 1000:1 的水平。

对于氮化硅的刻蚀，一种方法是采用干法刻蚀（Dry clean），其是从传统的湿法清洗（Wet clean）分离出来的，其使用化学反应气体和催化剂直接与薄膜发生化学反应，通过工艺集成控制达到精确、高效率的孔洞底部去除，且无衬底损伤（无等离子体）、无再氧化。还有一种方法是采用氟化氢（ HF ）气体辅以醇类（如甲醇）或碱性气体（如 NH_3 ）进行催化刻蚀，俗称甲醇催化工艺或氨气催化工艺。上述两种工艺通常也用来刻蚀氮化硅。

但是，经过大量的工艺实验发现：在采用现有的甲醇催化工艺时， SiO_2/SiN 的刻蚀选择比基本处于 30:1 的水平；采用现有的氨气催化工艺时， SiO_2/SiN 的刻蚀选择比也不会高于 20:1。现有两种工艺均无法满足 SiO_2/SiN 的刻蚀选择比的需求。

发明内容

为解决上述问题，本发明实施例提供一种刻蚀方法、空气隙型介电层及动态随机存取存储器，旨在改善采用现有的氨气催化工艺时， SiO_2/SiN 的刻蚀选择比不足的问题。

根据本发明实施例的一个方面，提供一种刻蚀方法，用于在形成于晶圆表面上分布的氮化硅膜和氧化硅膜之间选择性地刻蚀所述氧化硅膜，其特征在于，包括：

表面去除步骤：以第一刻蚀速率刻蚀所述氧化硅膜，并清除覆于所述氮化硅膜的表面上的表面变性层；以及

刻蚀步骤：以第二刻蚀速率刻蚀所述氧化硅膜，

其中，所述第一刻蚀速率小于所述第二刻蚀速率。

可选的，所述表面去除步骤包括：

第一刻蚀步：在第一预定压力下以及第一刻蚀时长内，以刻蚀气体刻蚀所述晶圆表面，以及

第一吹扫步：在第一吹扫压力下以及第一吹扫时长内，以吹扫气体吹扫所述晶圆，并且

循环进行所述第一刻蚀步和所述第一吹扫步，直至清除所述表面变性层为止。

可选的，所述刻蚀步骤包括：

第二刻蚀步：在第二预定压力下以及第二刻蚀时长内，以刻蚀气体选择性地刻蚀所述氧化硅膜，以及

第二吹扫步：在第二吹扫压力下以及第二吹扫时长内，以所述吹扫气体吹扫所述晶圆，并且

重复循环所述第二刻蚀步和第二吹扫步，直至达到所述氧化硅膜的目标刻蚀量。

可选的，所述第一预定压力小于所述第二预定压力。

可选的，所述第一预定压力的范围为 1Torr-3Torr；所述第二预定压力的范围为 5Torr-10Torr。

可选的，所述第一刻蚀时长小于所述第二刻蚀时长。

可选的，所述第一刻蚀时长的范围为 1s-3s；所述第二刻蚀时长的范围为 1s-5s。

可选的，所述刻蚀气体包括第一组分气体和第二组分气体，其中，所述第一组分气体为氟化氢气体，所述第二组分气体为氨气。

可选的，所述第二吹扫步，还包括，在所述第二吹扫压力下以及所述第二吹扫时长内，以所述第二组分气体吹扫所述晶圆。

可选的，所述吹扫气体包括氨气和惰性气体中的至少一种。

可选的，在所述表面去除步骤中，所述第一组分气体以第一流量供应；在所述刻蚀步骤中，所述第一组分气体以第二流量供应；其中，所述第一流量大于所述第二流量。

可选的，所述表面去除步骤和所述刻蚀步骤的工艺温度均不小于 120°C。

可选的，在所述表面去除步骤和所述刻蚀步骤之间还包括，对所述晶圆进行加热升华处理，并在所述升华处理之后，对所述晶圆冷却至室温。

可选的，所述升华处理的温度大于等于 180°C。

可选的，在所述刻蚀步骤之前还包括，将升华冷却后的所述晶圆取出并静置预设时间。

可选的，在所述表面去除步骤之前，还包括，检测所述晶圆表面上的表面变性层厚度，以基于所述表面变性层厚度确定所述第一刻蚀步和所述第一吹扫步的循环次数。

可选的，所述第二刻蚀步中的总气流量与所述第二吹扫步中的总气流量相同。

可选的，所述表面变性层至少由硅、氮和氧三种元素组成。

根据本发明实施例的另一个方面，提供一种空气隙型介电层，采用上述刻蚀方法制备。

根据本发明实施例的另一个方面，提供一种动态随机存取存储器，包括上述空气隙型介电层。

本发明实施例的技术效果：

本发明实施例提供的刻蚀方法，其采用两步法刻蚀，首先通过清除覆于氮化硅膜的表面上的表面变性层，避免了由于该表面变性层的存在导致的 SiO_2/SiN 的刻蚀选择比大大降低的问题。并且，通过使第一刻蚀速率小于第二刻蚀速率，可以在进行表面去除步骤时避免过度刻蚀，进一步保障了高选择比；之后，在进行刻蚀步骤时，较高的刻蚀速率可以保证刻蚀效率。本发明实施例提供的刻蚀方法还可以获得高 SiO_2/SiN 刻蚀选择比的空气隙型介电层及其高性能动态随机存取存储器。

附图说明

为了更清楚地说明本发明的实施方式或现有技术中的技术方案，下面将对实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍。显而易见地，下面描述中的附图仅仅是示例性的，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据提供的附图引伸获得其它的实施附图。

本说明书所绘示的结构、比例、大小等，均仅用以配合说明书所揭示的内容，以供熟悉此技术的人士了解与阅读，并非用以限定本发明可实施的限定条件，故不具技术上的实质意义，任何结构的修饰、比例关系的改变或大小的调整，在不影响本发明所能产生的功效及所能达成的目的下，均应仍落在本发明所揭示的技术内容得能涵盖的范围内。

图1为深槽刻蚀结构示意图；

图2为具有表面氧化变性层的晶圆和没有表面氧化变性层的晶圆在某相同刻蚀工艺下的刻蚀效果对比图；

图3为SiO₂与SiN刻蚀孕育时间比较示意图；

图4为本发明一种实施例中的刻蚀气体通入时序示意图；

图5为本发明一种实施例中的刻蚀工艺流程示意图；

图6为本发明另一种实施例中的刻蚀工艺流程示意图；

图7为本发明刻蚀工艺所用的一种刻蚀装置结构示意图；

图8为本发明一种实施例中的刻蚀工艺条件下的SiO₂与SiN刻蚀孕育时间实测比对图。

附图标记说明：

W-晶圆，11-氧化硅膜，12-氮化硅膜，13-氧化变性层，210-刻蚀工艺腔体，220-匀流腔，230-气体分配盘，240-基座，311-HF气源，312-N₂气源，313-NH₃气源，321-第一质量流量控制器，322-第二质量流量控制器，323-第三质量流量控制器，324-第四质量流量控制器，331-第一汇合点，332-第二汇合点，333-第三汇合点。

具体实施方式

以下由特定的具体实施例说明本发明的实施方式，熟悉此技术的人士可由本说明书所揭露的内容轻易地了解本发明的其他优点及功效，显然，所描述的实施例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他实施例，都属于本发明保护的范围。

在本发明的描述中，术语“第一”、“第二”、“第三”仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性。在不冲突的情况下，本发明中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。为使本发明的上述目的、特征和优点能够

更为明显易懂，下面结合附图对本发明的具体实施例做详细的说明。

本发明实施例的一个方面，提供一种刻蚀方法，用于在形成于待处理晶圆的表面上分布的氮化硅膜（SiN）和氧化硅膜（SiO₂）之间选择性地刻蚀氧化硅膜。例如，如图 1 所示，在动态随机存取存储器（Dynamic Random Access Memory, DRAM）芯片制程的空气隙（AirGap）工艺中，需要将深宽比为 20:1 的深槽结构内的氧化硅（SiO₂）膜 11 完全去除，且不能对槽侧壁的氮化硅（SiN）膜 12 造成刻蚀。

在实际制程中，暴露在大气中的氮化硅膜 12，其表层已被氧化改性，形成至少由硅、氮和氧三种元素组成的表面变性层 13，该表面变性层 13 的存在会对刻蚀过程造成负面影响，如图 2 所示，选用两片晶圆样品 a、b 进行对比实验，其中，晶圆样品 a 的氮化硅膜 12 的表面存在氧化变性层 13，而晶圆样品 b 的氮化硅膜 12 的表面不存在氧化变性层 13。经过对两片晶圆样品 a、b 采用相同的刻蚀工艺进行刻蚀后，测量每片晶圆样品上 SiO₂ 和 SiN 的刻蚀量，发现晶圆样品 a 的氮化硅膜 12 的刻蚀量明显高于晶圆样品 b 的氮化硅膜 12 的刻蚀量。具体对比数值如下述表 1 所示。

表 1，为两片晶圆样品 a、b 的刻蚀参数的对比表

晶圆样品	SiO ₂ 刻蚀量	SiN 刻蚀量	SiO ₂ /SiN 刻蚀选择比
a-含表面变性层	-520 Å	-60 Å	8.7
b-不含表面变性层	-520 Å	-0.5 Å	1040.0

由上述表 1 可以看出，表面变性层 13 的存在，会影响刻蚀气体的吸附，导致 SiN 刻蚀量骤增。此外，表面变性层 13 在被刻蚀时，产生的固态生成物对其下方的 SiN 造成了进一步的刻蚀。

基于上述发现，为了避免表面变性层 13 对 SiO₂/SiN 的刻蚀选择比的影响，本发明实施例提供的刻蚀方法，将整个刻蚀过程分成两步实现，包括：

表面去除步骤：以第一刻蚀速率刻蚀氧化硅膜，并清除覆于该氮化硅膜的表面上的表面变性层；以及，

刻蚀步骤：以第二刻蚀速率刻蚀氧化硅膜；

其中，第一刻蚀速率小于第二刻蚀速率。

通过清除覆于氮化硅膜的表面上的表面变性层，避免了由于该表面变性层的存在导致的 SiO_2/SiN 的刻蚀选择比大大降低的问题。并且，通过使第一刻蚀速率小于第二刻蚀速率，可以在进行表面去除步骤时避免过度刻蚀，进一步保障了高选择比；同时，在进行刻蚀步骤时，较高的刻蚀速率可以保证刻蚀效率。

其中，刻蚀所用的气体主要包括第一组分气体和第二组分气体，在一些实施例中，第一组分气体包括氟化氢气体（HF），第二组分气体包括氨气（ NH_3 ），该刻蚀气体组合具有更高的刻蚀效率。

具体的，在一个实施例中，上述表面去除步骤，具体包括：

第一刻蚀步：在第一预定压力下以及第一刻蚀时长内，以刻蚀气体刻蚀晶圆表面；以及

第一吹扫步：在第一吹扫压力下以及第一吹扫时长内，以吹扫气体吹扫晶圆；

循环进行上述第一刻蚀步和第一吹扫步，直至清除表面变性层为止。

其中，刻蚀气体主要包括第一组分气体和第二组分气体，在一些实施例中，第一组分气体包括氟化氢气体（HF），第二组分气体包括氨气（ NH_3 ），该刻蚀气体组合具有更高的刻蚀效率。

吹扫气体主要包含 N_2 和惰性气体中的至少一种，其中，惰性气体包括但不限于氦、氖、氩等。

上述表面去除步骤采用的典型的工艺参数如下：

a. 第一刻蚀步：第一预定压力为 2.2Torr；刻蚀气体包括 N_2 、HF 和 NH_3 ，

其中，N₂的气体流量为450sccm；HF的气体流量为300sccm；NH₃的气体流量为100sccm；第一刻蚀时长为2s；工艺温度为120℃；

b.第一吹扫步：第一吹扫压力为6Torr；吹扫气体包括N₂，N₂的气体流量为2700sccm；第一吹扫时长为2s；工艺温度为120℃；

c.小循环：循环进行第一刻蚀步与第一吹扫步，循环次数根据SiN的表面变性层的目标刻蚀量而定，例如，若该目标刻蚀量为5Å时，循环次数约30次。上述目标刻蚀量的设定与SiN的表面变性层的厚度有关，通常为1-10Å，不同方式生长的SiN的表面变性层的厚度会存在差异。

可选的，在第一刻蚀步中，HF的流量较高，而NH₃的气体流量较低，从而使HF在腔室内的体积占比相对于NH₃较高，这可以在一定程度上抑制HF与NH₃结合的刻蚀速率，从而避免过度刻蚀。表面去除步骤中的第一预定压力范围为1-3Torr，且以2Torr为优，通过将该第一预定压力设定在较低的数值范围内，有利于进一步抑制刻蚀速率。表面去除步骤中的第一刻蚀时长范围为1-3s，且以2s为优，通过将该第一刻蚀时长设定在较短的数值范围内，有利于刻蚀量的精准控制并减缓刻蚀速率，

在第一吹扫步中，第一吹扫时长不小于第一刻蚀时长，以充分吹扫排净刻蚀反应物和生成物。并且，为了降低刻蚀速率，在第一吹扫步中没有通NH₃气体，避免预吸附（presoak）的产生，从而延长了刻蚀气体化合吸附于晶圆表面所需要的时间，从而达到降低刻蚀速率的目的，进而可以在避免对SiN的过度刻蚀的前提下清除氮化硅膜上的表面变性层。

在一些实施例中，上述表面去除步骤过程中可以采用如下通气方式：

1) 在第一时刻，向腔室内通入一定量的N₂（如450sccm），以使腔室内压力达到第一预定压力（如2.2Torr）；

2) 在第二时刻，保持腔室压力不变，开始通入NH₃（如100sccm），同时通入HF（如300sccm），反应开始，即第一刻蚀步。

3) 在第三时刻, 停止通 HF 和 NH_3 , 第一刻蚀步结束, 进入第一吹扫步 (purge), 此时 N_2 仍持续供应, 以利于反应生成物的及时排除。

4) 以此类推, 通过脉冲式通入 HF 和 NH_3 , 让整个表面去除过程在刻蚀与吹扫步骤间多次循环进行, 以清除表面变性层。

5) 第一刻蚀步的第一刻蚀时长低于该工艺条件下的 SiN 的刻蚀孕育时间 (incubation time)。

如图 3 所示, 横坐标为刻蚀时长 (Etch Time); 纵坐标为刻蚀量 (Etch Amount)。刻蚀气体并不是一抵达至晶圆表面就会立刻发生刻蚀反应, 而是需要孕育孵化一段时间, 即孕育时间 (incubation time)。超出 SiN 的刻蚀孕育时间 (incubation time), 会造成对 SiN 的刻蚀, 影响选择比的提升。同时, 第一吹扫步的第一吹扫时长不低于第一刻蚀时长, 这可以避免过度刻蚀并提供充分的吹扫时长以使刻蚀气体的快速排除, 避免因残气滞留时间过长。

在一个实施例中, 上述刻蚀步骤, 具体包括:

第二刻蚀步: 在第二预定压力下以及第二刻蚀时长内, 以刻蚀气体选择性地刻蚀氧化硅膜; 以及

第二吹扫步: 在第二吹扫压力下以及第二吹扫时长内, 以吹扫气体吹扫晶圆表面;

循环进行上述第二刻蚀步和第二吹扫步, 直至达到氧化硅膜的目标刻蚀量。

其中, 刻蚀气体主要包括第一组分气体和第二组分气体, 在一些实施例中, 第一组分气体包括氟化氢气体 (HF), 第二组分气体包括氨气 (NH_3), 该刻蚀气体组合具有更高的刻蚀效率。

吹扫气体主要包含 N_2 和惰性气体中的至少一种, 其中, 惰性气体包括但不限于氦、氖、氩等。

上述刻蚀步骤采用的典型的工艺参数如下:

a.第二刻蚀步：第二预定压力为 8Torr；刻蚀气体包括 N_2 、HF 和 NH_3 ，其中， N_2 的气体流量为 450sccm；HF 的气体流量为 20sccm； NH_3 的气体流量为 100sccm；第二刻蚀时长为 3s；工艺温度为 120°C

b.第二吹扫步：第二吹扫压力为 8Torr；吹扫气体包括 N_2 ， N_2 的气体流量为 470sccm； NH_3 的气体流量为 100sccm；第二吹扫时长为 6s；工艺温度为 120°C。

c.小循环：循环进行第二刻蚀步与第二吹扫步，循环次数根据 SiO_2 的目标刻蚀量而定。

可选的，在第二刻蚀步中，HF 的流量较低，而 NH_3 的气体流量较高，从而使 HF 在腔室内的体积占比相对于 NH_3 较低，以利于提高刻蚀速率。特别的，第二刻蚀步采用的 HF 的流量小于上述第一刻蚀步采用的 HF 的第一流量，以使第二刻蚀速率大于第一刻蚀速率。

在第二刻蚀步中，第二预定压力范围为 5 Torr -10Torr，且以 8 Torr 为优，通过将该第二预定压力设定在较高的数值范围内，有利于加速刻蚀速率。

在第二刻蚀步中，第二刻蚀时长范围为 1s-5s，通过将该第二刻蚀时长设定在较长的数值范围内，有利于刻蚀气体在晶圆表面的充分浸渍反应，而为了避免刻蚀单步时长接近 SiN 的刻蚀孕育时间造成对 SiN 的刻蚀，第二刻蚀时长以 3s 为优。在 SiN 刻蚀孕育时间内，第二刻蚀步对 SiN 基本无刻蚀。

在第二吹扫步中，第二吹扫时长不小于第二刻蚀时长，以充分吹扫排净刻蚀反应物和生成物。可选的，在第二吹扫步中 NH_3 仍持续供应，即第二吹扫步中的吹扫气体还包括与第二刻蚀步中相同流量的 NH_3 ，连续供应的 NH_3 气体可以充分浸渍晶圆表面，以使晶圆表面在下一次刻蚀步之前预先吸附足量的 NH_3 气体，从而当通入 HF 时，缩短了气体混合和附着于晶圆表面发生刻蚀反应的时间，进而加快了下一次刻蚀步的刻蚀气体反应速率，提高刻蚀效率。

可选的，第二刻蚀步中的总气流量与第二吹扫步中的总气流量相同，从而流量不变，腔室的用于控制流量的蝶阀无需频繁开关，简化操作并提高了系统的稳定性和精确度。

示例 1 给出了不同刻蚀工艺步骤的 SiO_2/SiN 选择比实验对照，由对照表可看出，在增加表面去除步骤后，刻蚀选择比大幅度提升。

进一步的，在进行刻蚀步骤时，单次刻蚀时间不能过长，否则 SiN 的刻蚀量一旦上涨起来，选择比就很难提高，为此，就需要要把整个刻蚀步骤的刻蚀时长拆分，形成多次循环刻蚀步骤，每次刻蚀的结束点为 SiN 刚开始要被刻蚀的起始点，即每次刻蚀步骤的刻蚀时长为 SiN 的刻蚀孕育时间 (incubation time)。刻蚀气体并不是一抵达至晶圆表面就会立刻发生刻蚀反应，而是需要孕育孵化一段时间，即孕育时间 (incubation time)。通常讲，刻蚀速率越快，所需的孵化时间越短。如图 3 所示，由于 SiO_2 的刻蚀速率比 SiN 的刻蚀速率快，两者存在孕育时间 (incubation time) 的时间差，在该时间差内进行刻蚀，可以获得较高的刻蚀选择比。

由此，在一些实施例中，上述刻蚀步骤可以采用如图 4 所示的如下通气方式：

1) 在 t_0 时刻，向腔室内通入一定量的 N_2 (如 450sccm)，使腔室内压力达到预定压力 (如 8Torr)；

2) 在 t_1 时刻，保持腔室压力不变，开始通入一定量的 NH_3 (如 100sccm)，使晶圆表面预先吸附足量的 NH_3 ，即 NH_3 预吸附 (presoak)；

3) 在 t_2 时刻，保持腔室压力不变，开始通气 HF，反应开始，即第二刻蚀步 (Etch)。在 t_3 时间，停止通 HF，刻蚀步结束，进入第二吹扫步 (purge)，此时 NH_3 和 N_2 仍持续供应，以利于反应生成物的及时排除，同时， NH_3 持续供应利于晶圆表面的预吸附效应。

4) 以此类推，通过脉冲式通入 HF，让整个刻蚀过程在刻蚀与吹扫步骤

间多次循环进行，以实现 SiO_2 的持续性刻蚀。

5) 第二刻蚀步的第二刻蚀时长 T_a 低于该工艺条件下的 SiN 的刻蚀孕育时间 (incubation time)，第二吹扫步的第二吹扫时长 T_b 不低于第二刻蚀步的第二刻蚀时长 T_a ，从而避免过度刻蚀并提供充分的吹扫时间以使刻蚀气体的快速排除，避免因残气滞留时间过长，超出 SiN 的刻蚀孕育时间 (incubation time)，造成对 SiN 的刻蚀，影响选择比的提升。

在第二吹扫步中， NH_3 仍持续供应，可以使连续供应的 NH_3 气体充分浸渍晶圆表面，以使晶圆表面在下一次刻蚀步之前预先吸附足量的 NH_3 ，从而当通入 HF 时，缩短了气体混合和附着于晶圆表面发生刻蚀反应的时间，可加快下一次刻蚀步的刻蚀气体反应速率，提高刻蚀效率。

从而，在确保单次工艺不刻蚀 SiN 的情况下，最大限度拓展工艺窗口，以最大限度的提升 SiO_2 的刻蚀。然后通过多次循环刻蚀，最终实现较高的 SiO_2/SiN 刻蚀选择比。

上述通气顺序中，在第二刻蚀步与第二吹扫步中， NH_3 是一直保持通气状态，而 HF 是脉冲式供气。在一些实施例中，也可以将两种气体对换，即 HF 是一直保持通气状态，而 NH_3 是脉冲式供气。通过优化工艺参数，同样可以获得较好的刻蚀孕育时间 (incubation time)，实现高选择比。其原因在于，在无 NH_3 催化剂存在的情况下， HF 气体不会刻蚀 SiO_2 及 SiN 。

在一些实施例中，考虑到刻蚀反应生成物沉积于晶圆表面，吸附刻蚀气体难以吹扫除尽而造成对氮化硅膜的加速刻蚀，且沉积于氧化硅膜上的反应副产物部分地阻碍了刻蚀气体与 SiO_2 的直接接触反应，降低了 SiO_2 的刻蚀速率，从而一方面造成 SiN 的过度刻蚀，一方面阻碍了 SiO_2 的刻蚀，使选择比降低。因此在整个刻蚀工艺周期中，将表面去除步骤与刻蚀步骤完全分开，如图 5 所示，即表面去除步骤结束后，晶圆 W 移出整机刻蚀系统，进入前开式晶圆传送盒 (Front Opening Unified Pod, FOUP) 中，然后再重新开始，

进行刻蚀工艺。其中，刻蚀工艺根据需要决定是否需要进行多次大循环刻蚀。大循环的主要目的是充分升华排出反应副产物，由于排除了反应副产物对 SiO_2 刻蚀速率的抑制作用，增加大循环次数可以提升 SiO_2 的刻蚀量。其中，升华处理的温度大于等于 180°C ，以保证充分升华排出晶圆 W 表面残留的刻蚀反应物和副产物。

具体的，如图 5 所示，整个刻蚀工艺包括：

S100，表面去除工艺，其依次包括：

S110，表面去除步骤准备开始阶段；

S120，将晶圆 W 送入刻蚀工艺腔进行表面去除步骤；

S130，将晶圆 W 取出放入升华腔加热充分升华排出晶圆 W 表面上的表面去除步骤产物；

S140，将除尽表面去除步骤产物的晶圆 W 取出放入冷却腔冷却；

S150，将晶圆 W 放入晶圆传送盒中静置几分钟，再进行刻蚀工艺 S200，或者在真空腔中静置几分钟。

静置时长不超过 5 分钟。从而，脱离冷却腔室静置后使一些游离于晶圆 W 表面的反应物或刻蚀气体进一步挥发脱离晶圆 W 表面，并且，脱离了冷却腔室内残存的游离成分环境，利于使晶圆 W 表面刻蚀气体和残留物完全析出挥发净化。静置一定时间可使 SiN 表面原子间化学反应应力抵消，使原子结构排布规律，提高了表面平整度，减少了 SiN 表面对刻蚀气体的吸附和接触面积。同时，静置所处环境可以是 FOUP 内或真空腔室中，由于 SiN 在常温下短时间内不易氧化，因此，冷却后的晶圆 W 可于 FOUP 内静置几分钟而不会再次生成氧化变性层。

S200，刻蚀工艺，其依次包括：

S210，刻蚀准备阶段；

S220，将晶圆 W 送入刻蚀工艺腔进行刻蚀；

S230, 将晶圆 W 取出放入升华腔加热充分升华排出晶圆表面上的刻蚀产物;

S240, 将除尽刻蚀产物的晶圆 W 取出放入冷却腔冷却。

S250, 重复步骤 S220 至步骤 S240, 直至氧化硅膜刻蚀量满足目标刻蚀量, 然后放入晶圆传送盒中结束。

其中, 重复步骤 S220 至步骤 S240 相比于直接在工艺腔中升华吹扫可以进一步充分升华排出反应副产物, 使晶圆 W 表面的反应副产物得以除尽, 避免因反应副产物的沉积导致刻蚀速率的下降以及刻蚀 SiO_2/SiN 的刻蚀选择比的降低。

在一些实施例中, 可以简化上述步骤, 如图 6 所示, 表面去除步骤 S100' 与刻蚀步骤 S200' 衔接进行: 步骤 S120 结束后, 经过步骤 S130 和步骤 S140 的升华和冷却处理后, 直接进行刻蚀步骤 S200', 不再出整体刻蚀系统, 不进入晶圆传送盒。此时需要强化表面去除步骤 S100' 的步骤 S130, 保证表面去除步骤副产物处理干净, 否则会影响 SiN 的刻蚀。

示例 2 给出了不同刻蚀衔接步骤的 SiO_2/SiN 选择比实验对照, 从中可以看出, 表面去除步骤与刻蚀步骤分开进行, 即将经步骤 S140 冷却后的晶圆 W 取出脱离整个系统然后放入晶圆传送盒中或者在真空腔中静置几分钟, 与直接将经步骤 S140 在冷却腔冷却后的晶圆 W 放入刻蚀步骤 S200 中刻蚀相比, 选择比有明显提升。

在一些实施例中, 为了精确掌握晶圆 W 表面上的表面变性层厚度, 从而精准控制与可是循环次数和单步时间步长, 在步骤 S110 的表面去除步骤准备开始阶段中, 先检测晶圆表面上的表面变性层厚度, 以基于表面变性层厚度确定表面去除步骤的循环次数。从而针对性的实施所述表面去除步骤, 保证除尽表面变性层的同时, 避免过度刻蚀。

特别的, 当检测到表面变性层厚度为零时, 表面去除步骤的循环次数为

零，即跳过表面去除步骤工艺中的步骤 S120 至步骤 S150，直接进入步骤 S200。从而在确保没有表面变性层影响高选择比刻蚀的同时，简化工艺，提升效率。

在一些实施例中，步骤 S210 包括对晶圆 W 表面上的表面变性层厚度的再次检测，以确保在进入步骤 S220 之前，晶圆 W 表面上没有氧化变性层，以确保高选择比的实现。

在一些实施例中，刻蚀反应与固态生成物的升华在同一个腔室中实现，即刻蚀量的提升通过增加刻蚀与吹扫的循环次数来实现，实际工艺时，仅增加自动化工艺配方（recipe）中的循环次数即可，晶圆不需要频繁进出工艺腔室。也可以将刻上述两个步骤在分别在刻蚀腔与升华腔中分开完成，实际工艺时，晶圆需要反复在两个腔室中循环。此外，还可以将上述两种方法结合起来。分腔处理有利于使晶圆脱离原反应环境氛围，避免原腔室游离的刻蚀气体和反应副产物在晶圆表面上二次沉降以及抑制晶圆表面的上述成分的升华排净。

在一些实施例中，对刻蚀工艺参数进行改进，降低刻蚀气体供气压力、降低 NH_3 气体比例等方式将刻蚀步骤的初始刻蚀速率降低后，同样可以用于表面去除步骤工艺。

在一些实施例中，刻蚀步的单步刻蚀时间在满足单步刻蚀时间不小于 SiO_2 膜刻蚀孕育时间的情况下，该单步刻蚀时间相对于 SiN 膜的刻蚀孕育时间更接近 SiO_2 膜的刻蚀孕育时间，从而保障高 SiO_2/SiN 选择比的实现。即 SiO_2 膜的刻蚀孕育时间 $\leq$ 第一刻蚀时长 $<$ 第二刻蚀时长 $\ll$ SiN 膜的刻蚀孕育时间。

如示例 3 所示，在满足单步刻蚀时间不小于 SiO_2 膜的刻蚀孕育时间的情况下，单步刻蚀时间远小于 SiN 膜的刻蚀孕育时间可以进一步避免由吹扫不及时不充分导致的刻蚀气体和刻蚀反应产物附着在晶圆 W 表面的时间延长

至接近甚至超过 SiN 膜的刻蚀孕育时间，从而，单步刻蚀时间越小，越能够为吹扫提供响应时间，从而，在接近甚至超过 SiN 膜刻蚀孕育时间之前，除尽刻蚀气体和刻蚀反应产物，避免发生对 SiN 膜的刻蚀。且单步刻蚀时间较长会使刻蚀反应产物过多地附着沉积在晶圆 W 表面，造成升华吹扫除尽困难，从而导致进一步吸附刻蚀气体，对 SiN 膜造成刻蚀。由此，单步刻蚀时间相对于 SiN 膜的刻蚀孕育时间更接近 SiO₂ 膜的刻蚀孕育时间，可以保障高 SiO₂/SiN 的刻蚀选择比的实现。

为满足上述刻蚀方法的实施例的工艺要求，本发明实施例提出了一种刻蚀装置，用于在形成于晶圆 W 表面上的氮化硅膜和氧化硅膜之间选择性地刻蚀氧化硅膜，如图 7 所示，该刻蚀装置包括：工艺腔 210，该工艺腔 210 包括气体供应单元和基座 240，该气体供应单元依次包括供气气路、匀流腔 220 和气体分配盘 230，供气气路依次包括气源段和预混段，气源段分别输出供应单一气源并在交汇于预混段中预混。具体的，气源段包括 HF 气源 311、N₂ 气源 312 和 NH₃ 气源 313，以及分别控制上述气源的第一质量流量控制器 321、第二质量流量控制器 322、第三质量流量控制器 323 和第四质量流量控制器 324。第一质量流量控制器 321 控制 HF 气源 311 的供气量，第四质量流量控制器 324 控制 NH₃ 气源 313 的供气量，N₂ 气源 312 具有两路气路出口，分别由第二质量流量控制器 322 和第三质量流量控制器 323 控制。第一质量流量控制器 321 和第二质量流量控制器 322 所控气路由第一汇合点 331 汇合，第三质量流量控制器 323 和第四质量流量控制器 324 所控气路由第二汇合点 332 汇合，第一汇合点 331 所在气路与第二汇合点 332 所在气路由第三汇合点 333 并通入匀流腔 220 中，然后在匀流腔 220 中充分混合。之后，混合后的气体由单一气体分配盘 230 喷到晶圆 W 待处理表面上，匀流腔 220 可使通入气体在匀流腔 220 中充分混合后再经由气体分配盘 230 喷出去，从而可有效提高刻蚀效率。汇合点提前后，可以确保流出气体分配盘 230 表面的气

体中具有较高浓度的 NH_4F 。由于 HN_4F 低温下为固态，故，需要将气体分配盘 230 的加热至 120 度以上。

在一些实施例中，本发明实施例将基座 240 设置高温加热装置，基座 240 温度提升至 120 度甚至更高，确保反应生成的固态产物会可快速升华而脱离晶圆 W 表面，防止其阻碍刻蚀剂在晶圆 W 表面的吸附。并且，将基座 240 设置为可升降基座，同时对工艺腔 210 进行缩小化处理，去除腔室中的适配器，通过腔室 210 与基座 240 的升降配合，尽量缩小晶圆 W 表面与气体分配盘 230 间的空间体积。这有助于刻蚀气体的快速排除，避免因残气滞留时间过长，超出 SiN 的刻蚀孕育时间 (incubation time)，造成对 SiN 的刻蚀，影响选择比的提升。

在一些实施例中，供气气路依次包括气源段和预混段，该气源段分别输出供应单一气源并在交汇于预混段中预混。在预混段中进行预混进一步提高了刻蚀反应气体的预混效果，提高刻蚀效率。

在一些实施例中，气体供应单元和基座设有加热装置，以使刻蚀工艺温度不小于 120°C 。一方面防止预混生成的 NH_4F 因温度低而凝结堵塞供气道，另一方面，可以加速晶圆表面的反应产物的升华速率，提高刻蚀速率的同时，避免了反应产物的沉积导致的选择比的下降。

根据本发明实施例的另一个方面，提供一种空气隙型介电层，采用上述刻蚀方法制备，从而获得的空气隙型介电层具有高选择比。

根据本发明实施例的另一个方面，提供一种动态随机存取存储器，包括上述空气隙型介电层，以使动态随机存取存储器的性能提升。

在本申请所提供的几个实施例中，应该理解到，所揭露的装置和方法，也可以通过其它的方式实现。以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的。上述刻蚀方法如果以软件功能模块的形式实现并作为独立的产品销售或使用，可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解，本发明的

技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的部分可以以软件产品的形式体现出来，该计算机软件产品存储在一个存储介质中，包括若干指令用以使得一台计算机设备(可以是个人计算机，服务器，或者网络设备)执行本发明各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括：U 盘、移动硬盘、只读存储器(ROM, Read-Only Memory)、随机存取存储器(RAM, Random Access Memory)、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

效果示例

现在，将描述各种示例以验证本发明公开的实施例的效果。

示例 1:

针对于有表面氧化变性层的情况，如表 2 所示，本发明将样片 c 和 d 分别进行两种刻蚀方法的对比，其中 c 进行表面去除步骤+刻蚀步骤，d 仅进行刻蚀步骤。两样品的 SiO₂ 刻蚀量基本相当，SiN 的刻蚀量存在明显差异。由此说明，表面去除步骤工艺可显著提升整体刻蚀选择比。

表 2 不同刻蚀工艺步骤的 SiO₂/SiN 选择比实验对照表

晶圆样品	SiO ₂ 刻蚀量	SiN 刻蚀量	SiO ₂ /SiN 刻蚀选择比
c- (表面去除步骤+刻蚀步骤)	1869.6	9.0	207.8
d- (仅刻蚀步骤)	1874.5	51.0	36.6

示例 2:

对于表面去除步骤和刻蚀步骤之间的衔接步骤对比，如表 3 所示。

表 3 不同刻蚀衔接步骤的 SiO₂/SiN 选择比实验对照表

晶圆样品	SiO ₂ 刻蚀量	SiN 刻蚀量	SiO ₂ /SiN 选择比
------	----------------------	---------	---------------------------

e- (表面去除步骤与刻蚀步骤分开进行)	2277.2	10.7	229.2
f- (表面去除步骤与刻蚀步骤连续进行)	2445.4	117.6	19.4

由此可以得出，可选的，表面去除步骤与刻蚀步骤分开进行。即表面去除步骤工艺完成后，晶圆需要进行充分的加热处理，将表面生成的反应副产物排除干净后，方可进行后续的刻蚀工艺。通常做法是表面去除步骤工艺结束后，晶圆传输至升华腔室进行充分的升华，然后再传输至工艺腔进行刻蚀工艺。而不在工艺腔室先后一次性的完成表面去除步骤和刻蚀工艺。表 3 的对比试验说明了表面去除步骤与刻蚀步骤分开进行，可避免 SiN 刻蚀量的大幅增加，从而提高选择比。

示例 3:

针对于无表面氧化变性层的情况，采用上述方式，经过实验测试，本发明绘制出在 120°C 工艺温度下，某工艺条件 SiO₂ 和 SiN 刻蚀量随刻蚀时间的变化曲线，如图 8 所示。由图可知，SiO₂ 和 SiN 刻蚀量开始明显增加的刻蚀时间点分别为 1->2s 和 5->6s，由此推断该条件下，SiN 的 incubation time 约为 5s-6s，SiO₂ 的 incubation time 约为 1s-2s。同时测试出，SiN 未刻蚀前提下的 SiO₂ 最大刻蚀量约为 250Å。需要说明的是，不同的工艺参数（如压力、气体流量、温度等），incubation time 是不同的，以此方法能实现的 SiO₂/SiN 的选择比也是不同的。图 8 是在 120°C、8torr、流量为 20sccm 的 HF、流量为 100sccm 的 NH₃、流量为 450sccm 的 N₂ 条件下获得的实验数据。

鉴于以上实验结果，本发明实施例通过单步刻蚀时间与循环次数等参数的细化调试，在 SiO₂ 刻蚀量高于 1500 Å 的情况下，获得了不低于 500:1 的选择比，部分工艺的选择比数据甚至达 1000:1，明显高于常规的氨气催化工

艺。

通过表 4 可得出,在满足单步刻蚀时间不小于 SiO_2 膜刻蚀孕育时间的情况下,单步刻蚀时间越小, SiO_2/SiN 选择比越高,本发明分析得出,在满足单步刻蚀时间不小于 SiO_2 膜刻蚀孕育时间的情况下,单步刻蚀时间远小于 SiN 膜刻蚀孕育时间可以进一步避免由吹扫不及时不充分导致的刻蚀气体和刻蚀反应产物附着在晶圆 W 表面的时间延长至接近甚至超过 SiN 膜刻蚀孕育时间,从而,单步刻蚀时间越小,越能够为吹扫提供响应时间,从而,在接近甚至超过 SiN 膜刻蚀孕育时间之前,除尽刻蚀气体和刻蚀反应产物,避免发生对 SiN 膜的刻蚀。且单步刻蚀时间较长会使刻蚀反应产物过多地附着沉积在晶圆 W 表面,造成升华吹扫除尽困难,从而导致进一步吸附刻蚀气体,对 SiN 膜造成刻蚀。

因此,可选的,单步刻蚀时间相对于 SiN 膜刻蚀孕育时间更接近 SiO_2 膜刻蚀孕育时间,从而保障高 SiO_2/SiN 选择比的实现。

表 4 不同单步刻蚀时间与循环次数的 SiO_2/SiN 选择比实验对照表

工艺	刻蚀时间	循环次数	SiO_2 的刻蚀量	SiN 的刻蚀量	SiO_2/SiN 刻蚀选择比
1	6s	180	1615.5	2.4	673.1
2	4s	320	1942.6	2.0	986.1
3	3s	300	1563.6	1.3	1193.6

虽然,上文中已经用一般性说明及具体实施例对本发明作了详尽的描述,在本发明基础上,可以对之作一些修改或改进,这对本领域技术人员而言是显而易见的。因此,在不偏离本发明精神的基础上所做的这些修改或改进,均属于本发明要求保护的范围。