



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118202449 A

(43) 申请公布日 2024.06.14

(21) 申请号 202280073754.2

(22) 申请日 2022.11.02

(30) 优先权数据

63/263,494 2021.11.03 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.05.06

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2022/079143 2022.11.02

(87) PCT国际申请的公布数据

WO2023/081703 EN 2023.05.11

(71) 申请人 朗姆研究公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 张贺 李辰 凯文·赖

尼尔·马卡雷格·麦基 许东浩

(74) 专利代理机构 上海胜康律师事务所 31263

专利代理人 李献忠 张华

(51) Int.Cl.

H01L 21/311 (2006.01)

H01L 21/67 (2006.01)

H01J 37/32 (2006.01)

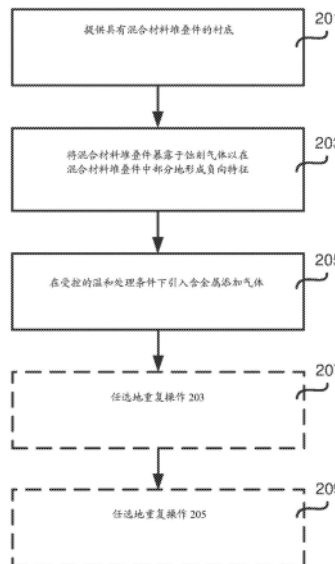
权利要求书2页 说明书11页 附图5页

## (54) 发明名称

高深宽比等离子体蚀刻中的含金属表面的改性

## (57) 摘要

本文提供用于在具有混合材料堆叠件的衬底上蚀刻高深宽比特征的方法和装置。本方法涉及使用低等离子体功率、高室压强和/或低温,同时在使用氟碳气体进行蚀刻期间将衬底暴露于含金属添加气体。



1. 一种用于处理衬底的方法,所述方法包含:  
提供具有混合材料堆叠件的衬底;  
将所述混合材料堆叠件暴露于一或多种蚀刻气体,并在第一等离子体功率下点燃第一等离子体,以将特征部分地蚀刻至所述混合材料堆叠件而形成部分地被蚀刻的混合材料堆叠件;以及  
将所述部分地被蚀刻的混合材料堆叠件暴露于第二等离子体,所述第二等离子体是在第二等离子体功率下由点燃含金属添加气体产生的,其中所述第二等离子体功率小于所述第一等离子体功率。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述含金属添加气体包含卤素。
3. 根据权利要求1所述的方法,其中所述含金属添加气体包含选自由钨、锡、钼和钛组成的群组的金属。
4. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第二等离子体功率小于所述第一等离子体功率的约1%至约10%。
5. 根据权利要求1所述的方法,其中将所述部分地被蚀刻的混合材料堆叠件暴露于所述第二等离子体是在第一室压强下执行,所述第一室压强大于在将所述混合材料堆叠件暴露于所述一或多种蚀刻气体期间使用的第二室压强。
6. 根据权利要求1所述的方法,其中将所述部分地被蚀刻的混合材料堆叠件暴露于所述第二等离子体是使用第一衬底温度执行的,所述第一衬底温度低于在将所述混合材料堆叠件暴露于所述一或多种蚀刻气体期间使用的第二衬底温度。
7. 根据权利要求1所述的方法,其中将所述部分地被蚀刻的混合材料堆叠件暴露于所述第二等离子体被执行:少于约20秒的持续时间。
8. 根据权利要求1所述的方法,其中所述一或多种蚀刻气体包含至少一种含有氟和碳原子的气体。
9. 根据权利要求1所述的方法,其中所述含金属添加气体在惰性气体中稀释。
10. 一种用于处理衬底的装置,所述装置包含:  
一或多个处理室,所述每一处理室均包含卡盘;  
等离子体产生器;  
第一气体源,其用于容纳一或多种蚀刻气体;  
第二气体源,其用于容纳含金属添加气体;  
一或多个气体入口,其通往所述处理室和相关联的流动控制硬件,以将气体从所述第一气体源和所述第二气体源输送至所述一或多个处理室中;以及  
控制器,其具有存储器和至少一个处理器,其中:  
所述存储器和所述至少一个处理器彼此通信连接,  
所述至少一个处理器与所述流动控制硬件至少能操作地连接,以及  
所述存储器储存计算机可执行指令,所述计算机可执行指令用于控制所述至少一个处理器,从而至少控制所述流动控制硬件以:  
致使衬底被提供至所述一或多个处理室中的第一处理室;  
致使在第一等离子体功率下使用一或多种蚀刻气体来产生第一等离子体;以及  
致使在第二等离子体功率下使用含金属添加气体来产生第二等离子体,

其中所述第二等离子体功率小于所述第一等离子体功率。

## 高深宽比等离子体蚀刻中的含金属表面的改性

### 相关申请

[0001] PCT申请表作为本申请的一部分与本说明书同时提交。在同时提交的PCT申请表中所标识的本申请要求享有其权益或优先权的每个申请均通过引用全文并入本文且用于所有目的。

### 背景技术

[0002] 半导体制造处理涉及蚀刻某些结构,包含具有含一种以上材料或组成物的暴露表面的结构。此外,可能执行蚀刻来为某些结构形成小的特征尺寸,且在后续处理中,用于维持特征的尺寸和形状(在某些情况下)的特征可靠性可以用于形成所需结构。

[0003] 这里提供的背景描述是为了总体呈现本公开的背景的目的。在此背景技术部分中描述的范围内的当前指定的发明人的工作以及在提交申请时不能确定为现有技术的说明书的各方面既不明确也不暗示地承认是针对本公开的现有技术。

### 发明内容

[0004] 一方面涉及一种用于处理衬底的方法,所述方法包含:提供具有混合材料堆叠件的衬底;将所述混合材料堆叠件暴露于一或多种蚀刻气体,并在第一等离子体功率下点燃第一等离子体,以将特征部分地蚀刻至所述混合材料堆叠件而形成部分地被蚀刻的混合材料堆叠件;以及将所述部分地被蚀刻的混合材料堆叠件暴露于第二等离子体,所述第二等离子体是在第二等离子体功率下由点燃含金属添加气体产生的,其中所述第二等离子体功率小于所述第一等离子体功率。

[0005] 在多种实施方案中,所述含金属添加气体包含卤素。

[0006] 在多种实施方案中,所述含金属添加气体包含金属,例如钨、锡、钼和钛中的任何一种。

[0007] 在多种实施方案中,所述第二等离子体功率小于所述第一等离子体功率的约1%至约10%。

[0008] 在多种实施方案中,将所述部分地被蚀刻的混合材料堆叠件暴露于所述第二等离子体是在第一室压强下执行,所述第一室压强大于在将所述混合材料堆叠件暴露于所述一或多种蚀刻气体期间使用的第二室压强。在一些实施方案中,所述第一室压强比所述第二室压强大约1.5倍到约4倍。

[0009] 在多种实施方案中,将所述部分地被蚀刻的混合材料堆叠件暴露于所述第二等离子体是使用第一衬底温度执行的,所述第一衬底温度低于在将所述混合材料堆叠件暴露于所述一或多种蚀刻气体期间使用的第二衬底温度。在一些实施方案中,所述第一室温度为约20°C到约60°C。

[0010] 在多种实施方案中,将所述部分地被蚀刻的混合材料堆叠件暴露于所述第二等离子体被执行:少于约20秒的持续时间。

[0011] 在多种实施方案中,所述一或多种蚀刻气体包含至少一种含有氟和碳原子的气

体。

[0012] 在多种实施方案中,所述含金属添加气体在惰性气体中稀释。在一些实施方案中,所述含金属添加气体和所述惰性气体使用所述含金属添加气体的流速比所述惰性气体的流速为约1:40至约1:100的比率来共同流动。在一些实施方案中,所述惰性气体为氩或氦。

[0013] 在上述实施方案中的任一种中,所述混合材料堆叠件包含两层或更多层,每层具有选自氧化物、氮化物、碳化物和多晶硅组成的群组的成分。

[0014] 在上述实施方案中的任一种中,所述混合材料堆叠件包含ONON堆叠件和氧化物。

[0015] 在上述实施方案中的任一种中,所述特征的侧壁包含两种或更多种包含氧化物、氮化物、碳化物和多晶硅中的任何一者或更多者的材料。

[0016] 在上述实施方案中的任一种中,将所述混合材料堆叠件暴露于所述一或多种蚀刻气体包含:将所述混合材料堆叠件暴露于氟碳气体和含氢氟碳气体的顺序交替脉冲的一或多个循环。

[0017] 在一些实施方案中,在所述顺序交替脉冲中的每n个循环时执行:将所述部分地被蚀刻的混合材料堆叠件暴露于所述第二等离子体,其中n为等于或大于1的整数。

[0018] 另一方面涉及一种衬底的处理装置,所述装置包含:一或多个处理室,所述每一处理室均包含卡盘;等离子体产生器;第一气体源,其用于容纳一或多种蚀刻气体;第二气体源,其用于容纳含金属添加气体;一或多个气体入口,其通往所述处理室和相关联的流动控制硬件,以将气体从所述第一气体源和所述第二气体源输送至所述一或多个处理室中;以及控制器,其具有存储器和至少一个处理器,其中:所述存储器和所述至少一个处理器彼此通信连接,所述至少一个处理器与所述流动控制硬件至少能操作地连接,以及所述存储器储存计算机可执行指令,所述计算机可执行指令用于控制所述至少一个处理器,从而至少控制所述流动控制硬件以:致使衬底被提供至所述一或多个处理室中的第一处理室;致使在第一等离子体功率下使用一或多种蚀刻气体来产生第一等离子体;以及致使在第二等离子体功率下使用含金属添加气体来产生第二等离子体,其中使用小于所述第一等离子体功率的第二等离子体功率。例如,在一些实施方案中,所述第二等离子体功率小于所述第一等离子体功率的约1%至约10%。

[0019] 在多种实施方案中,所述存储器还储存用于以下操作的计算机可执行指令:在致使第二等离子体在所述一或多个处理室中的第二处理室中产生之前致使先将所述衬底运送到所述一或多个处理室中的所述第二处理室。

[0020] 在一些实施方案中,所述一或多个处理室中的所述第二处理室的第一室压强大于所述一或多个处理室中的所述第一处理室的第二室压强。例如,在一些实施方案中,所述第一室压强比所述第二室压强大约1.5倍到约4倍。

[0021] 在一些实施方案中,夹持所述衬底的所述卡盘是在致使所述第一等离子体产生与致使所述第二等离子体产生之间进行冷却。例如,在一些实施方案中,所述衬底被冷却至约20°C到约60°C的温度。

[0022] 在一些实施方案中,所述存储器还储存用于致使稀释气体与所述含金属添加气体共同流动的计算机可执行指令。例如,在一些实施方案中,所述含金属添加气体的流速比所述稀释气体的流速的比率为约1:40至约1:100。

[0023] 下面参考附图进一步描述这些和其他方面。

## 附图说明

- [0024] 图1A和1B是在其侧壁上具有各种材料的特征的侧视图。
- [0025] 图1C是具有不同形状特征的衬底的俯视图。
- [0026] 图2为一处理流程图,其描绘了根据某些公开实施方案所执行的方法的操作。
- [0027] 图3A-3C图示了根据多种实施方案中用于等离子体蚀刻的装置。

## 具体实施方式

[0028] 在下面的描述中,阐述了许多具体细节以提供对所呈现的实施方案的透彻理解。可以在没有这些具体细节中的一些或全部的情况下实践所公开的实施方案。在其他情况下,并不详细描述公知的处理操作,以免不必要地使所公开的实施方案难以理解。虽然将结合特定实施方案来描述所公开的实施方案,但应理解其并不意在限制所公开的实施方案。

[0029] 半导体制造处理会涉及多种结构的制造。在某些情况下,可以形成一些结构,由此在衬底上形成堆叠件中的多个交替材料层,然后将竖直特征蚀刻到材料层中。在一些实施方案中,交替层可以是交替的氧化物层和氮化物层,例如用于制造3D-NAND设备。在一些实施方案中,一些结构可能涉及根据材料层的深度而改变组成的多个交替层,其中形成在交替层中的特征侧壁包含第一两种交替材料和随后的第二两种交替材料,使得交替材料变化的点根据交替层在整个堆叠件中的深度而有所不同。在一些实施方案中,某些特征的一部分可能包含一种材料,而某些特征的一部分则包含多种材料,且另一部分则包含交替的多种材料。此外,某些结构可以包含具有侧壁的特征,该侧壁包含第一组交替层,接着是第二组交替层,接着是第三组或更多组交替层,而在交替层中的材料或位于在特征的一侧壁中的组成成分发生变化的点可能与同一特征内的第二侧壁的组成成分不同。这种特征可称为“混合特征”,也就是说特征在其侧壁中具有多种交替的材料组成。

[0030] 图1A显示具有负向特征101的堆叠件的侧视图的示例性横剖面图,负向特征101具有侧壁,在右侧壁上全部都是氧化物103,但在左侧仅有一些氧化物103以及交替的氧化物103和氮化物105。图1B显示具有负向特征101的堆叠件的侧视图的示例性横剖面图,负向特征101具有侧壁,侧壁上具有一些氧化物103、一些氮化物105以及例如碳化物之类的第三材料107。虽然此处仅显示单一特征,但应理解在单一衬底上可存在多个特征,在每一特征中具有不同变化的侧壁。这种衬底可能难以在各特征、既在整个晶片且在特征的深度内(尤其是非常深的特征,例如具有至少约8000nm深度的特征)进行一致且均匀的蚀刻。

[0031] 特征在整个衬底上也可能具有不同的尺寸或形状,并且可能难以保持特征的轮廓和形状。图1C中提供了示例,显示出具有不同直径、形状和x:y比的各个特征109、111和113。此外,这些特征可能具有特定的特征尺寸,这可以通过其深宽比或其深度和宽度来测量。这些特征也可能具有特定形状,例如具有竖直侧壁、或具有从俯视图看起来是圆形、或从俯视图看起来是沟槽的形状。现有技术蚀刻这样的特征时面临了各种挑战,包含底切、沿着特征侧壁的不均匀蚀刻、在蚀刻和后续操作中特征尺寸的变化、图案负载效应、侧壁上的不均匀破裂、氧化物以及氧化物/氮化物区域之间的充电效应、蚀刻期间特征形状的变化、特征轮廓扭曲、特征弯曲等。此外,使用单一蚀刻操作来均匀地蚀刻不同材料、不同特征尺寸、不同特征形状和不同特征深度是具有挑战性的。

[0032] 本文提供了用于蚀刻混合特征,同时保持特征形状和尺寸的方法和装置,从而降

低图案负载效应。本方法涉及使用低等离子体功率、低温高压,在蚀刻期间、或蚀刻后、或两者都包含含金属气体暴露操作。在多种实施方案中,含金属气体包含钨。在一些实施方案中,含金属气体包含卤素。在多种实施方案中,含金属气体为六氟化钨。等离子体功率被调节以防止破裂至特征的侧壁;例如,在使用含金属气体的高等离子体功率下,该气体可充当苛刻的蚀刻剂。钨可能在侧壁表面上引起钨副产物的形成,进而导致结晶化钨副产物的变化或纹路。在引入含金属气体期间使用高等离子体功率的情况下,特征中包含氮或氮化物的侧壁表面可能比氧化物表面蚀刻得更快。因此,等离子体功率的调节会显著影响特征轮廓。低温和高压可用于减少结晶金属副产物的形成。在多种实施方案中,使用惰性气体(例如氩气或氦气)来稀释含金属气体。含金属气体在主要蚀刻期间(例如当引入主要蚀刻气体时)添加或者可以作为单独的闪蒸操作(flash operation)执行而插入多个蚀刻操作之间的短周期暴露中。在一些实施方案中,闪蒸操作只是在高等离子体下执行的主要蚀刻操作之间偶尔执行。不受特定理论的束缚,相信含金属气体的短时间暴露和调节的处理条件会导致一种表面改性,其使得在复杂的混合材料堆叠件中形成负向特征期间让侧壁蚀刻均匀。

[0033] 虽然下面的描述集中于使用含金属添加气体来蚀刻某些混合材料堆叠件,但是本公开内容的方面也可以实施为蚀刻包含一种材料或其他结构的其他材料以维持特征轮廓。

[0034] 图2提供了描述根据某些公开的实施方案可以执行的操作的示例性处理流程图。在操作201中,提供其上形成有混合材料堆叠件的衬底。下面所公开的实施方案描述了在例如晶片、衬底或其他工件之类的衬底上沉积材料。工件可以具有各种形状、尺寸和材料。在本申请中,“半导体晶片”、“晶片”、“衬底”、“晶片衬底”以及“部分制造的集成电路”可互换使用。本领域技术人员应理解术语“部分制造的集成电路”可以指代集成电路制造的许多阶段中的任一阶段的硅晶片。半导体设备行业中使用的晶片或衬底通常具有200mm、300mm或450mm的直径。除非另外说明,否则本文所陈述的处理细节(例如流速、功率电平等)与处理直径为300mm的衬底相关,或与配置用于处理直径为300mm的衬底的处理室相关,并且可以适当缩放以适用于其他尺寸的衬底或处理室。除了半导体晶片之外,也可用于所公开的实施方案中的其他工件,包含例如印刷电路板等各种物品。这些处理和装置可用于制造半导体设备、显示器、LED、太阳能光电板等。衬底可以是硅晶片,例如200-mm晶片、300-mm晶片或450-mm晶片,包含具有一层或多层材料的晶片,所述材料例如沉积在其上的电介质、导电或半导体材料。

[0035] 衬底具有形成在其上的混合材料堆叠件。混合材料堆叠件包含两层或更多层,每层在单层中具有一种、两种或更多种材料。每层厚度可能为约100Å到约500Å或高达约50nm。每层可具有不同的厚度。在一些实施方案中,混合材料堆叠件包含氧化物、碳化物和/或氮化物中的一或多种。在一些实施方案中,混合材料堆叠件包含下列各项中的一或多项:氧化物材料;氮化物材料;氧化物和氮化物的交替层;多晶硅和氧化物的交替层;氧化物、氮化物和多晶硅的三个交替层;以及硅氮氧化物。例如,混合材料堆叠件可能包含ONON(氧化物-氮化物-氧化物-氮化物)堆叠件、OPOP(多晶硅上的硅氧化物)堆叠件或OMOM堆叠件(例如钨、钴或钼之类的金属上的硅氧化物),且特征可以形成在这样的多层衬底中,其中特征的侧壁包含两种或更多种组成成分。多层堆叠件的范围可以从双层(例如ON)到5000个组合层(例如{ON}<sub>150</sub>)。

[0036] 氧化物包含但不限于金属氧化物、半导体氧化物和电介质氧化物。氧化物包含未掺杂的氧化物和掺杂的氧化物。氧化物的一个示例是硅氧化物。氧化物的一个示例是未掺杂的二氧化硅。此处的“硅氧化物”是指包括含有硅和氧原子的化合物，其包含 $\text{Si}_x\text{O}_y$ 的任何和所有化学计量可能性，其包含x和y的整数值以及x和y的非整数值。例如，“硅氧化物”包含具有化学式 $\text{SiO}_n$ 的化合物，其中 $1 \leq n \leq 2$ ，其中n可以是整数或非整数值。“硅氧化物”可以包含例如 $\text{SiO}_{1.8}$ 的亚化学计量化合物。“硅氧化物”还包含二氧化硅( $\text{SiO}_2$ )以及一氧化硅( $\text{SiO}$ )。“硅氧化物”还包含天然和合成变体，且还包含任何和所有的晶体及分子结构，包含围绕中心硅原子的氧原子的四面体配位。“硅氧化物”还包含非晶硅氧和硅酸盐。

[0037] 碳化物包含但不限于金属碳化物、半导体碳化物和电介质碳化物。碳化物包含未掺杂的碳化物和掺杂的碳化物。碳化物的一个示例是碳化硅。

[0038] 氮化物包含但不限于金属氮化物、半导体氮化物和电介质氮化物。氮化物包含未掺杂氮化物和掺杂氮化物。氮化物的一个示例是未掺杂的硅氮化物。此处的“硅氮化物”是指包含 $\text{Si}_x\text{N}_y$ 的任何和所有化学计量可能性，其包含x和y的整数值以及x和y的非整数值，例如x=3和y=4。例如，“硅氮化物”包含具有化学式 $\text{SiN}_n$ 的化合物，其中 $1 \leq n \leq 2$ ，其中n可以是整数或非整数值。“硅氮化物”可以包含例如 $\text{SiN}_{1.8}$ 之类的亚化学计量化合物。“硅氮化物”也可以包含 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、具有微量和/或间隙氢的硅氮化物( $\text{SiNH}$ )以及具有微量和/或间隙氧的硅氮化物( $\text{SiON}$ )。“硅氮化物”还包含天然和合成变体，且还包含任何和所有的晶格、晶体及分子结构，包含三方 $\alpha$ -硅氮化物、六方 $\beta$ -硅氮化物和立方 $\gamma$ -硅氮化物。“硅氮化物”还包含非晶硅氮化物，且可包含具有微量杂质的硅氮化物。

[0039] 在一些实施方案中，混合材料堆叠件包含一些具有硅氧化物的区域和一些具有交替的硅氧化物和硅氮化物层的区域，每层具有约 $10\text{\AA}$ 至约 $50\text{\AA}$ 的厚度。混合材料堆叠件的整体厚度可以在约 $8000\text{nm}$ 至约 $20000\text{nm}$ 。混合材料堆叠件可以形成在半导体衬底上。混合材料堆叠件可以没有被蚀刻在其上的特征。在一些实施方案中，一些特征可以被蚀刻在其上。在一些实施方案中，混合材料堆叠件可以在其上具有一或多个蚀刻掩模。

[0040] 在操作203中，混合材料堆叠件被暴露于蚀刻气体以在混合材料堆叠件中部分地形成负向特征。任何用来蚀刻混合材料堆叠件的处理均可用于操作203中。蚀刻气体可包含含卤素气体，例如碳氟气体或氢氟碳气体。用于蚀刻硅氧化物的示例性蚀刻剂包含三氟化氮、三氟甲烷( $\text{CHF}_3$ )、八氟环丁烷( $\text{C}_4\text{F}_8$ )、四氟甲烷( $\text{CF}_4$ )及其组合。用于蚀刻硅碳化物、硅氮化物、硅、钨、钽、铜、钴和钼以及使用这些材料进行特征填充的示例性蚀刻剂包含氢溴酸( $\text{HBr}$ )、氟甲烷( $\text{CH}_3\text{F}$ )、氯气( $\text{Cl}_2$ )、四氟化硅( $\text{SiF}_4$ )、四氟甲烷( $\text{CF}_4$ )、三氯化硼( $\text{BCl}_3$ )、三氟甲烷( $\text{CHF}_3$ )及其组合。在多种实施方案中，蚀刻剂可以与一或多种例如氩气之类的惰性气体一起流动。

[0041] 在多种实施方案中，操作203是通过连续流动一或多种蚀刻气体的连续蚀刻处理。在多种实施方案中，操作203涉及通过将混合材料堆叠件暴露于时间上分离的蚀刻气体脉冲的循环蚀刻处理。在一些实施方案中，在操作203中通过点燃等离子体来执行蚀刻。在一些实施方案中，使用射频等离子体来点燃等离子体。在多种实施方案中，等离子体原位产生。在一些实施方案中，等离子体可能在输送至容纳衬底的处理室之前先在远程等离子体室远程产生。在多种实施方案中，在单站式室中使用介于约 $10000\text{W}$ 至约 $50000\text{W}$ 的等离子体

功率在使蚀刻气体流动的同时点燃等离子体。

[0042] 在多种实施方案中,操作203涉及使用至少一种含卤素气体的高等离子体功率蚀刻处理。在一示例中,操作203涉及通过(i)以脉冲形式引入氟碳气体以及(2)以脉冲形式引入氢氟碳气体来执行至少一个循环的蚀刻,两脉冲都在单站式室中使用例如至少约30000W或更高的高等离子体功率来点燃等离子体的同时执行。该单站式室可以位于最多可容纳约10个室的平台上。引入氢氟碳气体可称为富氢蚀刻操作。在一些实施方案中,操作203通过在碳氟气体暴露和富氢碳氟气体暴露之间交替来执行。蚀刻气体的流速取决于蚀刻气体混合物和成分、室尺寸以及其他因素。在一些实施方案中,对于20秒的暴露,蚀刻气体的流速为约4sccm。

[0043] 在多种实施方案中,操作203可在约10milliTorr至约50milliTorr的室压强下执行。在多种实施方案中,可使用约-20°C至约100°C的衬底温度来执行操作203。衬底温度将被理解为支撑衬底的基座所设定的温度。

[0044] 在操作205中,在受控的温和处理条件下引入含金属添加气体以向混合材料堆叠件的暴露表面提供金属。所提供的金属减少并防止线弯曲、维持特征结构的结构完整性和轮廓,并使混合材料堆叠件表面上金属副产物的形成最小化。含金属添加气体可以是含钨气体。在一些实施方案中,含金属添加气体为含卤素的气体。在多种实施方案中,含金属添加气体为挥发性金属化合物。在一些实施方案中,含金属添加气体为六氟化钨(WF<sub>6</sub>)。其他非限制性的示例包含六氟化钼(MoF<sub>6</sub>)、四氯化钛(TiCl<sub>4</sub>)、氯化锡(IV)(SnCl<sub>4</sub>)、六羰基钨(W(CO)<sub>6</sub>)、六羰基钼(Mo(CO)<sub>6</sub>)、四(二乙基氨基)钛(IV)([(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>N]<sub>4</sub>Ti)、(C<sub>5</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>WH<sub>2</sub>及其组合。在一些实施方案中,含金属添加气体被稀释在例如氩气、氮气、氦气或其组合之类的惰性气体中。

[0045] 受控的温和处理条件包含低等离子体功率、高室压强和低温中的一者或多者。在多种实施方案中,在操作205中使用的功率小于在操作203中使用的等离子体功率。在一些实施方案中,在操作205中使用的等离子体功率小于操作203中使用的等离子体功率的约20%。在一些实施方案中,在操作205中使用的等离子体功率小于操作203中使用的等离子体功率的约10%。在一些实施方案中,在操作205中使用的等离子体功率是在操作203中使用的等离子体功率的约1%至约2%。在一些实施方案中,操作205中使用的等离子体功率对于4站式室来说为约200W。

[0046] 在多种实施方案中,操作205中使用的室压强大于操作203中使用的室压强。在一些实施方案中,操作205中使用的室压强比操作203中使用的室压强大1.5倍。在一些实施方案中,操作205中使用的室压强比操作203中使用的室压强大4倍。在一些实施方案中,室压强为约20milliTorr至约100milliTorr。

[0047] 在多种实施方案中,操作205中使用的衬底温度小于操作203中使用的衬底温度。在一些实施方案中,操作205中使用的衬底温度小于约20°C。在一些实施方案中,操作205中使用的衬底温度小于约60°C。在一些实施方案中,在操作205中使用的衬底温度为约20°C至约100°C。

[0048] 在操作205中选择在较温和的条件下使用哪些处理条件取决于待蚀刻的材料以及混合材料堆叠件的结构。在一些实施方案中,至少调节一个处理条件。在一些实施方案中,调节多于一个的处理条件。在一些实施方案中,仅调节等离子体功率。在一些实施方案中,

仅调节压强。在一些实施方案中,仅调节衬底温度。在一些实施方案中,仅调节等离子体功率和压强。在一些实施方案中,仅调节等离子体功率和衬底温度。在一些实施方案中,仅调节压强和衬底温度。在一些实施方案中,调节等离子体功率、压强和温度。在一些实施方案中,调节其他处理条件——这些条件要不单独调节,要不与一或多个其他处理条件一起调节。例如可以调节暴露于含金属添加气体的持续时间。在操作205中可以使用非常少量的金属来实现使用含金属添加气体的效果。在另一示例中,可以调节与含金属添加气体一起流动的稀释气体的量及稀释气体的选择。示例性稀释气体包含氩气或氮气。稀释气体为惰性气体并且可以与含金属添加气体一起共流。

[0049] 含金属添加气体的流速可取决于室尺寸和其他因素。在一些实施方案中,含金属添加气体的流速小于操作203中使用的流速的25%。在一些实施方案中,含金属添加气体的流速为约0.5sccm至约5sccm。对于与含金属添加气体共流的稀释气体或惰性气体的流速取决于含金属添加气体的流速。对于较低流速的含金属添加气体,稀释气体或惰性气体可以以较高流速或占总流速的组成百分比来流动,以允许将气体有效地输送到容纳衬底的处理室中。在一些实施方案中,含金属添加气体与惰性气体的流速为约1:40至约1:100。

[0050] 在一些实施方案中,操作205执行特定的持续时间。例如,操作205可以在操作203中执行一些蚀刻之后、在完成混合材料堆叠件中的特征的蚀刻之前作为“闪蒸”操作执行。“闪蒸”操作可以持续约1秒至约30秒或约10秒至约20秒的持续时间。操作205的持续时间可以随着蚀刻更深入混合材料堆叠件中而增加。

[0051] 在一些实施方案中,操作203和205在不同的室中执行。在一些实施方案中,操作203和205在相同的室中执行。在一些实施方案中,操作203和205在不破坏真空的情况下执行。例如,在一些实施方案中,操作203和205在多站式室中的不同站中在不破坏真空的情况下执行。所公开的实施方案提高了效率,因为沉积和蚀刻可以在相同的室中或在相同的工具下执行。在一些实施方案中,处理室在操作203和205之间进行清扫。清扫室可能涉及使清扫气体或吹扫气体流动,其可以是用于其他操作的载气或可以是不同的气体。示例性的清扫气体包含氩气、氮气、氢气和氦气。在多种实施方案中,清扫气体是惰性气体。示例性的惰性气体包含氩气、氮气和氦气。在一些实施方案中,清扫可包含抽空室。在一些实施方案中,清扫可能包含一或多个抽空子阶段以抽空处理室。替代地,应当理解,在一些实施方案中可以省略清扫。清扫可以进行任何合适的持续时间,例如介于约0.1秒和约2秒之间的持续时间。

[0052] 在操作207中,任选地重复操作203。在操作209中,任选地重复操作205。在一些实施方案中,操作205在操作203之前执行。在一些实施方案中,操作205在操作203之后执行。在一些实施方案中,操作203和205被执行多次。操作203和操作205的重复操作可以顺序地执行,或者可以可变地执行。在一些实施方案中,操作205在操作203期间周期性的执行。在一些实施方案(其中操作205涉及循环性暴露于蚀刻气体)中,在每n个循环之后插入操作205,其中n为等于或大于1的任何整数。在一些实施方案中,操作205在每n个循环中偶尔执行、或者在操作203中执行所有循环之后执行、或者根据混合材料堆叠件的条件、在操作203中蚀刻形成的特征中的侧壁的组成来执行、以及根据其他因素来执行。

[0053] 执行操作205以达成降低特征扭转、减少特征扭曲、改善或维持特征椭圆率(例如对于某些特征保持约1的特征椭圆率,或在输入特征和所得特征之间具有约0的特征椭圆率

增量),降低侧壁粗糙度,减少或消除破裂效应。

#### 装置

[0054] 本文所述的方法可以通过任何合适的装置来执行。在多种实施方案中,适当的装置包含被配置用于进行等离子体处理的处理室以及配置用于执行本文所述的任一方法的控制器。如上所述,用于执行本文所述的蚀刻处理的示例性装置包含可从Lam Research Corporation(Fremont,CA)获得的反应性离子蚀刻反应器的FLEX™和VANTEX™产品系列。

[0055] 图3A-3C示出了可用于执行这里所描述的蚀刻操作的可调节间隙电容耦合约束射频(RF)等离子体反应器300的实施方案。如所描绘的,真空室302包括室壳体304,室壳体304围绕容纳下电极306的内部空间。在室302的上部,上电极308与下电极306竖直隔开。上电极308和下电极306的平坦表面基本平行并正交于电极间的竖直方向。优选地,上电极308和下电极306是圆形的,并且相对于竖直轴线同轴。上电极308的下表面朝向下电极306的上表面。间隔开的面对的电极表面限定其间存在的可调节间隙310。在操作期间,下电极306由RF功率源(匹配)320供给RF功率。RF功率通过RF供应管线322、RF带324和RF功率构件326被供给到下电极306。接地屏蔽件336可以围绕RF功率构件326,以供应更均匀的RF场到下电极306。如在共同拥有的美国专利No.7,732,728(其全部内容通过引用并入本文并用于所有目的)中描述的,晶片通过晶片端口382插入并被支撑在下电极306上的间隙310中以供处理,处理气体被供给到间隙310并由RF功率激发成等离子体状态。上电极308可被供电或接地。

[0056] 在输送到等离子体反应器300的一或多种物质以液体储存的情况下,可以使用改良的气体输送系统(未显示)。例如,改良的气体输送系统可包含用于汽化液相物质的硬件(例如起泡器、汽化器等),以及用于实现反应物输送的适当管道(例如高温气体管线和阀)及控制设备(例如高温质量流量控制器和/或液体流量控制器)。

[0057] 在图3A-图3C中所示的实施方案中,下电极306被支撑在下电极支撑板316上。插在下电极306和下电极支撑板316之间的绝缘环314使下电极306与支撑板316绝缘。

[0058] RF偏置壳体330将下电极306支撑在RF偏置壳体盆332上。盆332穿过在室壁板318中的开口通过RF偏置壳体330的臂334连接到导管支撑板338。在优选实施方案中,RF偏置壳体盆332和RF偏置壳体臂334一体地形成一个部件,但是,臂334和盆332也可以是栓接或接合在一起的两个单独的部件。

[0059] RF偏置壳体臂334包括一个或多个中空通路用于传递RF功率和设施,诸如气体冷却剂、液体冷却剂、RF能量、用于升降销控制的电缆、电气监测和启动从真空室302外到真空室302内在下电极306的背面上的空间的信号。RF供应导管322与RF偏置壳体臂334绝缘,该RF偏置壳体臂334提供RF功率到RF功率源320的返回路径。设施管道340提供了用于设施组件的通道。设施组件的进一步的细节在美国专利No.5,348,704和美国专利No.7,732,728中描述,并且为了描述的简单这里未示出。间隙310优选地由约束环组件或罩(未示出)包围,其中的细节可以在通过引用并入本文的共同拥有的公布的美国专利No.7,740,736中得到。真空室302的内部经由通过真空端口380连接到真空泵而维持在低压下。

[0060] 导管支撑板338被附接到致动机构342。致动机构的细节在上文已并入的共同拥有的美国专利No.7,732,728中有描述。致动机构342,例如何服机械电机、步进电机或类似物,通过例如螺旋齿轮346(如滚珠丝杠)和用于转动滚珠丝杠的马达附接到竖直线性轴承344。在调整间隙310的大小的操作过程中,致动机构342沿着竖直线性轴承344行进。图3A示出了

当致动机构342在线性轴承344上处于产生小的间隙310a的高的位置时的布置。图3B示出了当致动机构342处于在线性轴承344上中间的位置时的布置。如图所示,下电极306、RF偏置壳体330、导管支撑板338、RF功率源320均相对于室壳体304和上电极308向下移动,从而产生中等大小的间隙310b。

[0061] 图3C示出了当致动机构342处于在线性轴承上的低的位置时的大的间隙310c。优选地,上电极308和下电极306在间隙调整期间保持同轴并且跨越间隙的上电极和下电极的相对表面保持平行。

[0062] 例如,为了保持跨越大直径衬底(例如300毫米晶片或平板显示器)的均匀蚀刻,本实施方案使得在多步骤蚀刻处理配方(BARC、HARC、和STRIP等)期间在CCP室302中上电极308和下电极306之间的间隙310能进行调节。特别地,该室涉及一种机械装置,该机械装置使得能提供下电极306和上电极308之间可调的间隙所需的直线运动。

[0063] 图3A示出了在导管支撑板338的近端并在室壁板318的阶梯式凸缘328的远端密封的横向偏转的波纹管350。阶梯式凸缘的内径限定室壁板318中的开口312,RF偏置壳体臂334通过开口312。波纹管350的远端被夹持环352夹持。

[0064] 横向偏转的波纹管350提供真空密封,同时允许RF偏置壳体330、导管支撑板338和致动机构342的竖直移动。RF偏置壳体330、导管支撑板338和致动机构342可以被称为悬臂组件。优选地,RF功率源320与该悬臂组件一起移动并可以附接到导管支撑板338。图3B示出了当悬臂组件在中间位置时处于中间位置的波纹管350。图3C示出了当悬臂组件处于低的位置时横向偏转的波纹管350。

[0065] 迷宫式密封件348提供了波纹管350和等离子体处理室壳体304的内部之间的颗粒屏障。固定屏蔽件356在室壁板318处不可移动地连接到室壳体304的内壁内,以便提供迷宫式槽360(缝隙),其中可移动屏蔽板358竖直移动,以适应悬臂组件的竖直移动。可移动屏蔽板358的外部在下电极306的所有竖直位置保持在缝隙中。

[0066] 在示出的实施方案中,迷宫式密封件348包括在限定迷宫式槽360的室壁板318的开口312的周边附接到室壁板318的内表面上的固定屏蔽件356。可移动屏蔽板358附接RF偏置壳体臂334并从该RF偏置壳体臂334径向延伸,其中臂334穿过该室壁板318中的开口312。可移动屏蔽板358延伸进入迷宫式槽360,同时与固定屏蔽件356间隔开第一间隙,并与室壁板318的内表面间隔开第二间隙,从而使得悬臂组件能竖直移动。迷宫式密封件348阻止从波纹管350剥落的颗粒迁移进入真空室内部305,并阻挡来自处理气体等离子体的自由基迁移到波纹管350,在波纹管350中自由基可以形成随后剥落的沉积物。

[0067] 图3A示出了当悬臂组件处于高位置(小的间隙310a)时在RF偏置壳体臂334上方的迷宫式槽360中较高的位置的可移动屏蔽板358。图3C示出了当悬臂组件处于低位置(大的间隙310c)时在RF偏置壳体臂334上方的迷宫式槽360中较低位置的可移动屏蔽板358。图3B示出了当悬臂组件处于中间位置(中等的间隙310b)时在迷宫式槽360内中等或中间位置的可移动屏蔽板358。尽管迷宫式密封件348被示出为相对于RF偏置壳体臂334是对称的,但在其他实施方案中迷宫式密封件348相对于RF偏置壳体臂334可以是不对称的。

[0068] 图3A-3C中所示的装置包含被配置成执行本文所描述的方法的控制器。在一些实现方案中,控制器是系统的一部分,该系统可以是上述示例的一部分。这样的系统可以包括半导体处理设备,半导体处理设备包括一个或多个处理工具、一个或多个室、用于处理的一

个或多个平台、和/或特定处理部件(晶片基座、气体流系统等)。这些系统可以与用于在半导体晶片或衬底的处理之前、期间和之后控制它们的操作的电子器件集成。电子器件可以被称为“控制器”,其可以控制一个或多个系统的各种部件或子部件。根据处理条件和/或系统类型,控制器可以被编程以控制本文公开的任何处理,包括处理气体的输送、温度设置(例如加热和/或冷却)、压力设置、真空设置、功率设置、射频(RF)产生器设置、RF匹配电路设置、频率设置、流率设置、流体输送设置、位置和操作设置、晶片转移进出与具体系统连接或通过接口连接的工具和其他转移工具和/或装载锁。

[0069] 概括地说,控制器可以定义为电子器件,电子器件具有接收指令、发出指令、控制操作、启用清洁操作、启用端点测量等的各种集成电路、逻辑、存储器和/或软件。集成电路可以包括存储程序指令的固件形式的芯片、数字信号处理器(DSP)、定义为专用集成电路(ASIC)的芯片、和/或执行程序指令(例如,软件)的一个或多个微处理器或微控制器。程序指令可以是以各种单独设置(或程序文件)的形式发送到控制器的指令,单独设置(或程序文件)定义用于在半导体晶片或系统上或针对半导体晶片或系统执行特定处理的操作参数。在一些实施方案中,操作参数可以是由工艺工程师定义的配方的一部分,以在一或多个(种)层、材料、金属、氧化物、硅、二氧化硅、表面、电路和/或晶片的管芯的制造期间完成一个或多个处理步骤。

[0070] 在一些实现方案中,控制器可以是与系统集成、耦合到系统、以其它方式联网到系统或其组合的计算机的一部分或耦合到该计算机。例如,控制器可以在“云”中或是晶片厂(fab)主机系统的全部或一部分,其可以允许对晶片处理的远程访问。计算机可以实现对系统的远程访问以监视制造操作的当前进展、检查过去制造操作的历史、检查多个制造操作的趋势或性能标准,以改变当前处理的参数、设置处理步骤以跟随当前的处理、或者开始新的处理。在一些示例中,远程计算机(例如服务器)可以通过网络(其可以包括本地网络或因特网)向系统提供处理配方。远程计算机可以包括使得能够输入或编程参数和/或设置的用户界面,然后将该参数和/或设置从远程计算机发送到系统。在一些示例中,控制器接收数据形式的指令,其指定在一个或多个操作期间要执行的每个处理步骤的参数。应当理解,参数可以特定于要执行的处理的类型和工具的类型,控制器被配置为与该工具接口或控制该工具。因此,如上所述,控制器可以是例如通过包括联网在一起并朝着共同目的(例如本文所述的处理和控制的)工作的一个或多个分立的控制器而呈分布式。用于这种目的的分布式控制器的示例是在与远程(例如在平台级或作为远程计算机的一部分)的一个或多个集成电路通信的室上的一个或多个集成电路,其组合以控制在室上的处理。

[0071] 示例性系统可以包括但不限于等离子体蚀刻室或模块、沉积室或模块、旋转漂洗室或模块、金属电镀室或模块、清洁室或模块、倒角边缘蚀刻室或模块、物理气相沉积(PVD)室或模块、化学气相沉积(CVD)室或模块、原子层沉积(ALD)室或模块、原子层蚀刻(ALE)室或模块、离子注入室或模块、轨道室或模块、以及可以与半导体晶片的制造和/或制备相关联或用于半导体晶片的制造和/或制备的任何其它半导体处理系统。

[0072] 如上所述,根据将由工具执行的一个或多个处理步骤,控制器可以与一个或多个其他工具电路或模块、其它工具部件、群集工具、其他工具接口、相邻工具、邻近工具、位于整个工厂中的工具、主计算机、另一控制器、或在将晶片容器往返半导体制造工厂中的工具位置和/或装载口运输的材料运输中使用的工具通信。

### 实验

[0073] 通过使用蚀刻气体而不使用含金属添加气体来将高深宽比特征蚀刻到ONON堆叠件和仅有氧化物的材料中来进行实验。在ONON堆叠件的高深宽比特征的底部,蚀刻在某些区域没有到达堆叠件底部的蚀刻停止层,但在其他区域到达了蚀刻停止层而导致了深度负载(depth loading)问题。孔的轮廓显示出一些部分地被蚀刻的特征。在蚀刻期间,在低等离子体功率及高压下使用六氟化钨添加气体,同时将类似的衬底暴露于蚀刻气体。所得的衬底显示出维护较佳的轮廓形状、减少氧化物衬底上的弯曲和较佳的深度负载。

### 结论

[0074] 尽管为了清楚理解的目的已经对前述实施方案进行了一些详细描述,但是显然可以在所附权利要求的范围内实施某些变更和修改。应注意有许多实现所呈现的实施方案的处理、系统及装置的不同方式。因此,所呈现的实施方案被视为说明性而非限制性,且所述实施方案对本文给出的细节并未有任何限制。

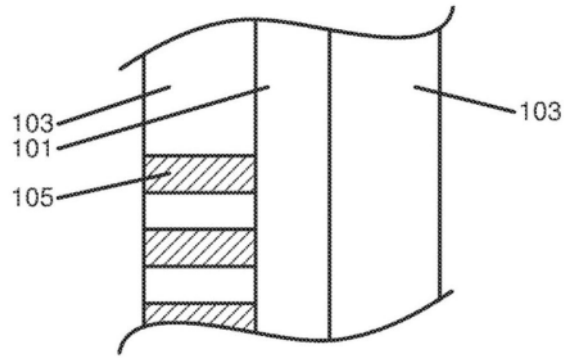


图1A

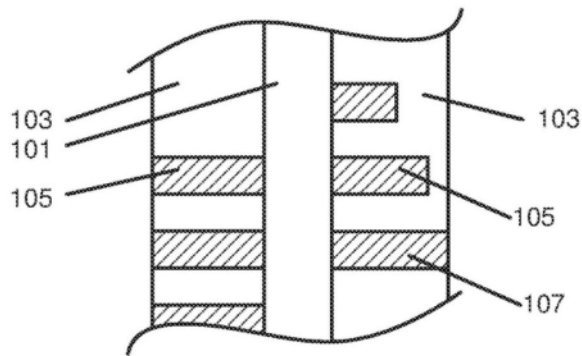


图1B

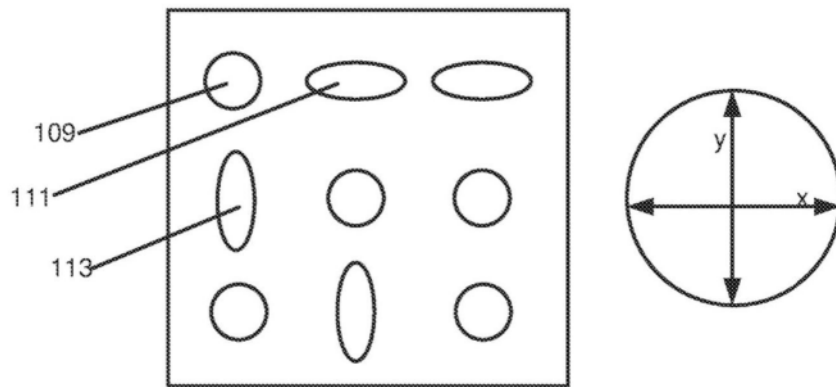


图1C

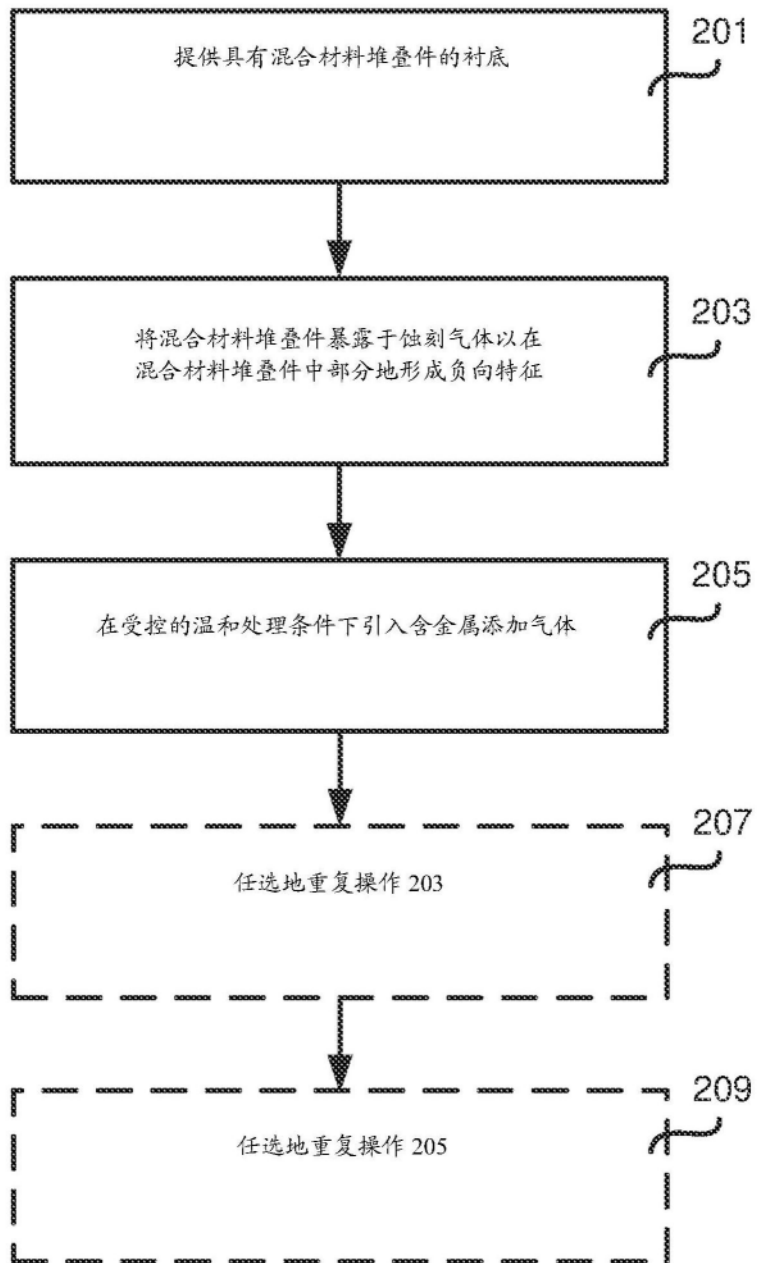


图2

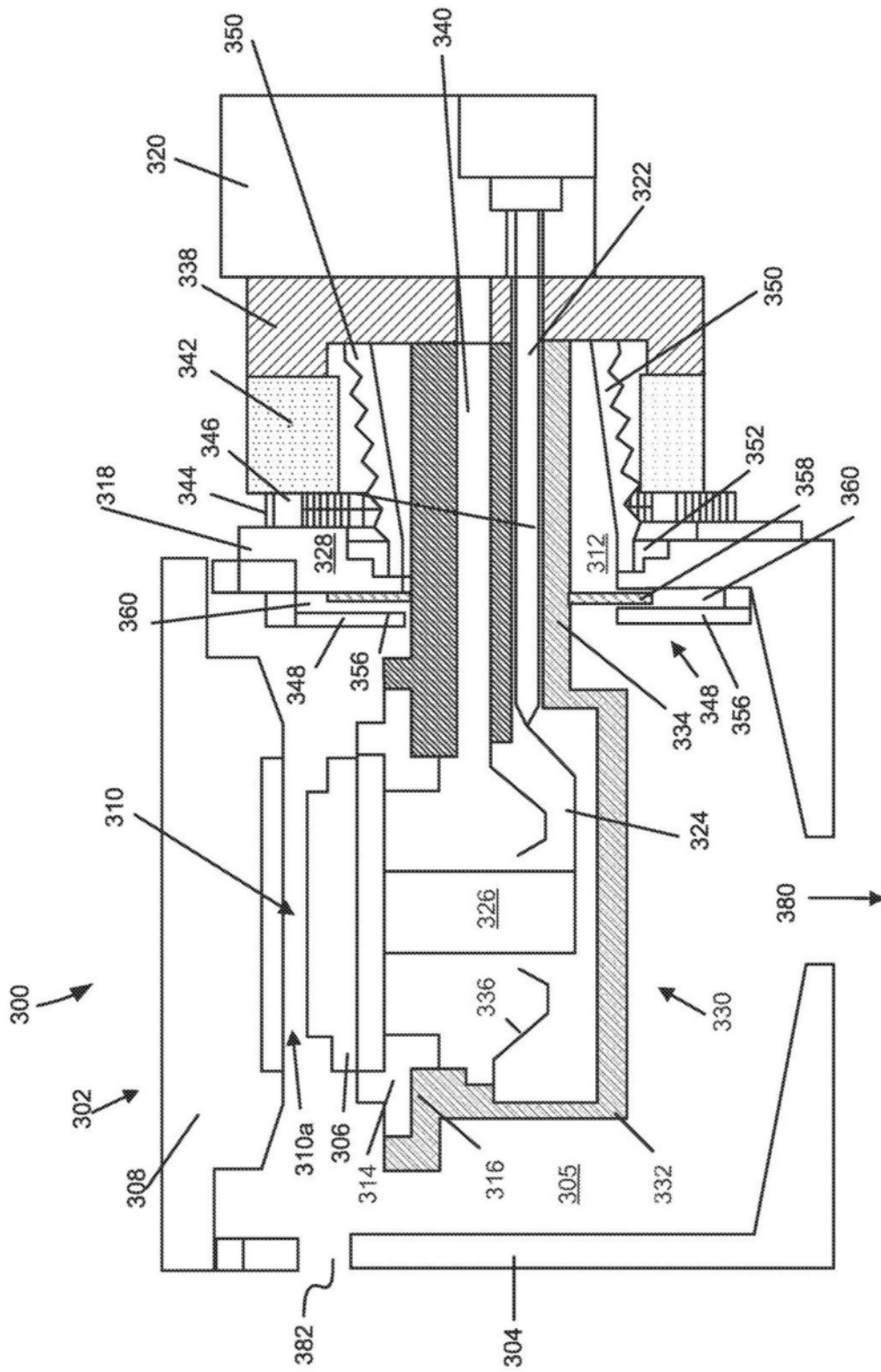


图3A

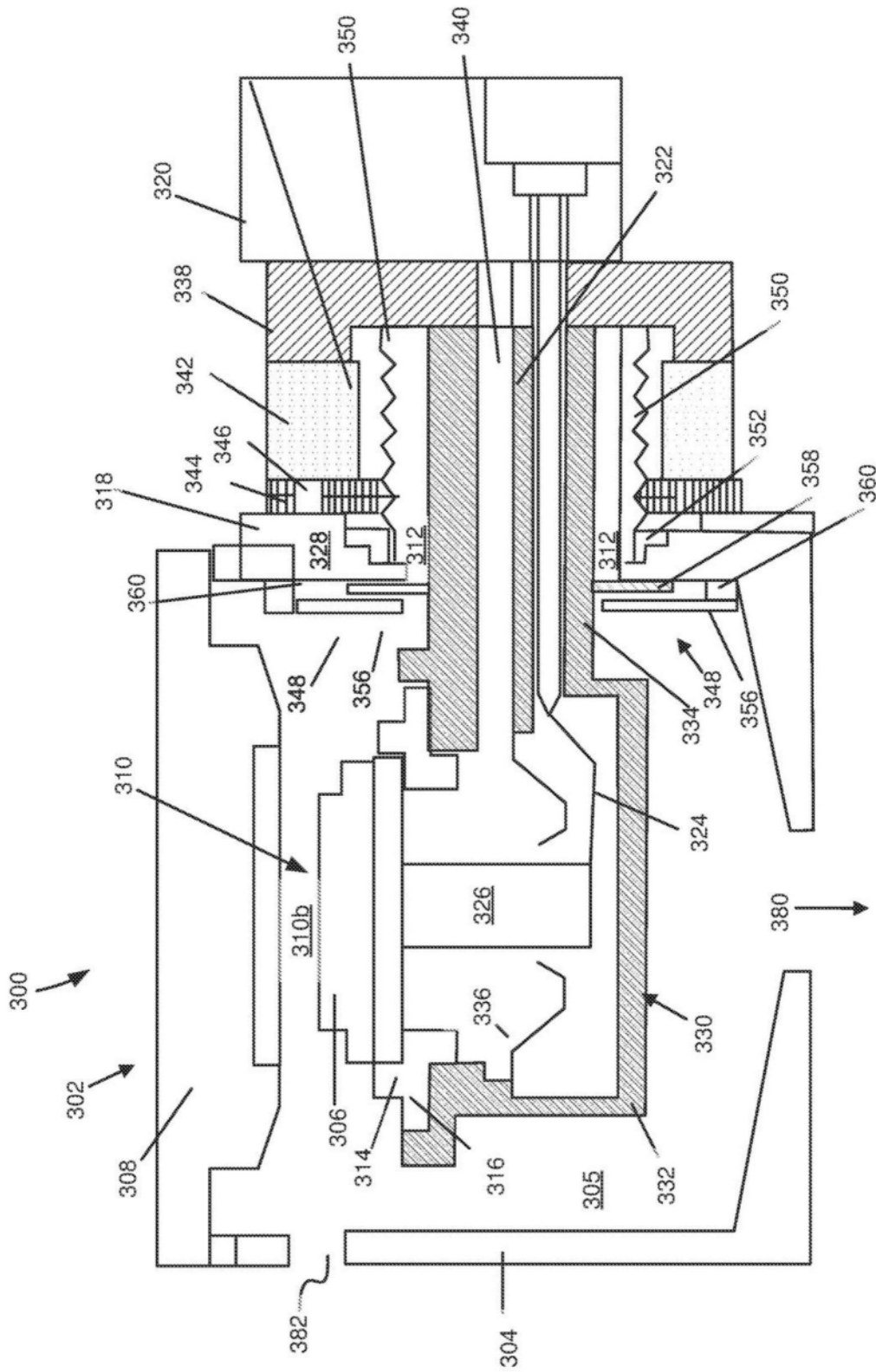


图3B

