

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2022 年 5 月 19 日 (19.05.2022)



(10) 国际公布号
WO 2022/100725 A1

(51) 国际专利分类号:
H01L 21/3065 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2021/130553

(22) 国际申请日: 2021 年 11 月 15 日 (15.11.2021)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202011281017.0 2020 年 11 月 16 日 (16.11.2020) CN

(71) 申请人: 北京北方华创微电子装备有限公司 (BEIJING NAURA MICROELECTRONICS EQUIPMENT CO., LTD.) [CN/CN]; 中国北京市北京经济技术开发区文昌大道 8 号, Beijing 100176 (CN)。

(72) 发明人: 朱海云 (ZHU, Haiyun); 中国北京市北京经济技术开发区文昌大道 8 号, Beijing 100176 (CN)。 蒋中伟 (JIANG, Zhongwei); 中国北京市北京经济技术开发区文昌大道 8 号, Beijing 100176 (CN)。 王京 (WANG, Jing); 中国北京市北京经济技术开发区文昌大道 8 号, Beijing 100176 (CN)。

(74) 代理人: 北京天昊联合知识产权代理有限公司 (TEE & HOWE INTELLECTUAL PROPERTY ATTORNEYS); 中国北京市东城区东长安街 1 号东方广场东方经贸城西一办公楼 5 层 1, 6-12 室彭瑞欣, Beijing 100738 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,

(54) Title: METHOD FOR ETCHING SILICON WAFER

(54) 发明名称: 硅片的刻蚀方法

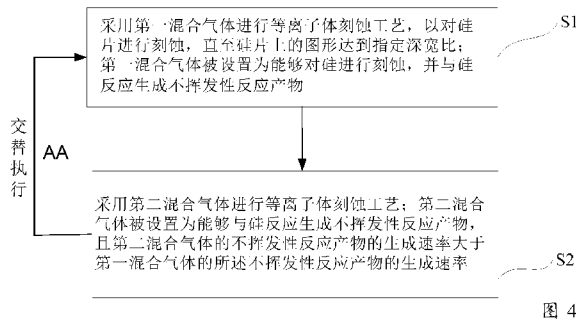


图 4

S1 Perform a plasma etching process by using a first mixed gas, so as to etch a silicon wafer until a pattern on the silicon wafer reaches a specified depth-width ratio, wherein the first mixed gas is set to be able to etch silicon and react with the silicon to generate a non-volatile reaction product

S2 Perform a plasma etching process by using a second mixed gas, which is set to be able to react with silicon to generate a non-volatile reaction product, wherein the generation rate of the non-volatile reaction product of the second mixed gas is greater than the generation rate of the non-volatile reaction product of the first mixed gas

AA Alternately perform

(57) Abstract: Provided is a method for etching a silicon wafer, the method comprising: a main etching step: involving performing a plasma etching process by using a first mixed gas, so as to etch a silicon wafer until a pattern on the silicon wafer reaches a specified depth-width ratio, wherein the first mixed gas is set to be able to etch silicon and react with the silicon to generate a non-volatile reaction product; an auxiliary etching step: involving performing a plasma etching process by using a second mixed gas, which is set to be able to react with silicon to generate a non-volatile reaction product, wherein the generation rate of the non-volatile reaction product of the auxiliary etching step is greater than the generation rate of the non-volatile reaction product of the main etching step; and alternately performing the main etching step and the auxiliary etching step at least once until the pattern on the silicon wafer reaches a specified etching depth. By applying the present application, the problem that deep silicon etching with a high depth-width ratio easily leads to a rough and uneven profile of the sidewalls in the prior art can be solved.

(57) 摘要: 本申请提供一种硅片的刻蚀方法, 包括: 主刻蚀步骤: 采用第一混合气体进行等离子体刻蚀工艺, 以对硅片进行刻蚀, 直至硅片上的图形达到指定深宽比; 第一混合气体被设置为能够对硅进行刻蚀, 并与硅反应生成不挥发性反应产物; 辅刻蚀步骤: 采用第二混合气体进行等离子体刻蚀工艺; 第二混合气体被设置为能够与硅反应生成不挥发性反应产物, 且辅刻蚀步骤的不挥发性反应产物的生成速率大于主刻蚀步骤的不挥发性反应产物的生成速率; 交替执行主刻蚀步骤和辅刻蚀步骤至少一次, 直至硅片上的图形达到指定刻蚀深度。应用本申请, 可以解决现有技术中高深宽比的深硅刻蚀容易出现侧壁形貌粗糙、不平整的问题。

GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国 (除另有指明，要求每一种可提供的地区保护)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

- 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

硅片的刻蚀方法

技术领域

本发明涉及半导体工艺技术领域，具体地，涉及一种的硅片的刻蚀方法。

背景技术

等离子体刻蚀工艺被广泛应用于半导体制备过程中。等离子体的各向异性刻蚀特性使得集成电路元器件的尺寸得以进一步缩小，从而为集成电路后来几十年的持续繁荣打下了坚实基础。

而随着集成电路元器件尺寸的不断缩小，摩尔定律（集成电路上可以容纳的晶体管数目在大约每经过 24 个月便会增加一倍）的极限越来越近，人们试图在硅片（又称晶圆或硅晶圆）的垂直方向上制造更多的空间，从而放置更多的电子元器件。应用高深宽比刻蚀工艺可以制备更加精细的微纳结构，但是在现有的高深宽比刻蚀工艺如深槽硅的刻蚀中，刻蚀图形表现为各向同性刻蚀，即，横向刻蚀严重，例如在采用 bosh 工艺进行深硅刻蚀时，在图形（沟槽或通孔）侧壁会出现扇贝效应（Scallop），导致侧壁形貌粗糙、不平整。

发明内容

本发明旨在至少解决现有技术中存在的技术问题之一，提出了一种硅片的刻蚀方法，解决现有技术中高深宽比的深硅刻蚀容易出现侧壁形貌粗糙、不平整的问题。

为实现本发明的目的而提供一种硅片的刻蚀方法，包括：

主刻蚀步骤：采用第一混合气体进行等离子体刻蚀工艺，以对所述硅片进行刻蚀，直至所述硅片上的图形达到指定深宽比；所述第一混合气体被设置为能够对硅进行刻蚀，并与硅反应生成不挥发性反应产物；

辅刻蚀步骤：采用第二混合气体进行等离子体刻蚀工艺；所述第二混合气体被设置为能够与硅反应生成不挥发性反应产物，且所述辅刻蚀步骤的所述不挥发性反应产物的生成速率大于所述主刻蚀步骤的所述不挥发性反应产物的生成速率；

交替执行所述主刻蚀步骤和所述辅刻蚀步骤至少一次，直至所述硅片上的图形达到指定刻蚀深度。

可选地，所述指定刻蚀深度小于目标刻蚀深度；

在交替执行所述主刻蚀步骤和所述辅刻蚀步骤至少一次之后，再执行一次所述主刻蚀步骤，以使所述硅片上的图形达到所述目标刻蚀深度。

可选地，每次所述主刻蚀步骤完成后达到的所述指定深宽比大于等于 $N-1:1$ ，且小于等于 $N:1$ ，其中， N 为所述主刻蚀步骤的次序号。

可选地，所述指定深宽比大于等于 $3:1$ ，且小于等于 $5:1$ 。

可选地，所述辅刻蚀步骤的执行时长大于等于 2 s ，且小于等于 3 s 。

可选地，所述第一混合气体包括六氟化硫，还包括氧气、溴化氢、四氟化硅及四氯化硅中的一种或多种；所述第二混合气体包括氧气、溴化氢、四氟化硅及四氯化硅中的一种或多种。

可选的，若所述第一混合气体和第二混合气体在氧气、溴化氢、四氟化硅及四氯化硅这四种气体中所包括的气体种类完全相同，则所述第一混合气体在这四种气体中所包括的每种气体的流量均小于所述第二混合气体在这四种气体中所包括的同种气体的流量；

若所述第一混合气体和第二混合气体在氧气、溴化氢、四氟化硅及四氯化硅这四种气体中所包括的气体种类至少部分不同，则所述第一混合气体中这四种气体的总流量小于所述第二混合气体中这四种气体的总流量。

可选地，所述第二混合气体还包括六氟化硫。

可选地，所述第一混合气体包括六氟化硫、氧气、溴化氢及四氟化硅，

且所述六氟化硫、氧气、溴化氢及四氟化硅的流量比为 (1.7-2.3) : (1.3-1.7) : (13-17) : 1。

可选地，当执行所述主刻蚀步骤时，上射频功率大于等于 300W，且小于等于 2500W，下射频功率大于等于 15W，且小于等于 800W，腔室压力大于等于 10mT，且小于等于 90mT；

当执行所述辅刻蚀步骤时，上射频功率大于等于 500W，且小于等于 2000W，下射频功率大于等于 50W，且小于等于 500W，腔室压力大于等于 10mT，且小于等于 100mT。

可选地，在执行第一次所述主刻蚀步骤之前，还包括：

预刻蚀步骤：采用预刻蚀气体进行等离子体刻蚀工艺，以对所述硅片进行刻蚀，去除所述硅片表面的氧化层。

本申请具有以下有益效果：

本申请提供的硅片的刻蚀方法，包括交替执行至少一次的主刻蚀步骤和辅刻蚀步骤，主刻蚀步骤采用的第一混合气体能够对硅片进行刻蚀，且该第一混合气体和辅刻蚀步骤采用的第二混合气体均能够在刻蚀过程中与硅反应生成不挥发性反应产物，该不挥发性反应产物可以附着在图形的侧壁和顶部，形成保护层，抑制了硅刻蚀的各向同性，保证了硅刻蚀为各向异性，同时通过使辅刻蚀步骤的不挥发性反应产物的生成速率大于主刻蚀步骤的不挥发性反应产物的生成速率，可以使辅刻蚀步骤相对于主刻蚀步骤在同一时间内生成更多的不挥发性反应产物，以增强对图形侧壁的保护，从而可以减少下一主刻蚀步骤中的横向刻蚀，横向刻蚀的减少一方面可以避免因横向刻蚀过大而产生扇贝效应，从而使得图形的侧壁的粗糙度得以明显改善，获得了更为平滑的侧壁形貌，更有利于后面栅氧生长和多晶硅的填充；另一方面可以进一步抑制顶部“吃边”现象（under cut）的产生。

附图说明

图 1 为现有技术中存在扇贝效应的图形形貌图；

图 2 为现有技术中存在“吃边”现象的沟槽形貌图；

图 3 为现有技术中具有陡直侧壁的图形形貌图；

图 4 为本申请实施例提供的硅片的刻蚀方法的流程示意图；

图 5a-图 5e 为采用本申请实施例提供的硅片的刻蚀方法获得的沟槽形貌图。

具体实施方式

下面详细描述本申请，本申请的实施例的示例在附图中示出，其中自始至终相同或类似的标号表示相同或类似的部件或具有相同或类似功能的部件。此外，如果已知技术的详细描述对于示出的本申请的特征是不必要的，则将其省略。下面通过参考附图描述的实施例是示例性的，仅用于解释本申请，而不能解释为对本申请的限制。

本技术领域技术人员可以理解，除非另外定义，这里使用的所有术语（包括技术术语和科学术语），具有与本申请所属领域中的普通技术人员的一般理解相同的意义。还应该理解的是，诸如通用字典中定义的那些术语，应该被理解为具有与现有技术的上下文中的意义一致的意义，并且除非像这里一样被特定定义，否则不会用理想化或过于正式的含义来解释。

本技术领域技术人员可以理解，除非特意声明，这里使用的单数形式“一”、“一个”和“该”也可包括复数形式。应该理解，当我们称元件被“连接”或“耦接”到另一元件时，它可以直接连接或耦接到其他元件，或者也可以存在中间元件。此外，这里使用的“连接”或“耦接”可以包括无线连接或无线耦接。这里使用的措辞“和/或”包括一个或更多个相关联的列出项的全部或任一单元和全部组合。

下面结合附图以具体的实施例对本申请的技术方案以及本申请的技术方案如何解决上述技术问题进行详细说明。

本实施例对现有技术中高深宽比刻蚀工艺过程中出现侧壁形貌粗糙、不平整等问题进行了研究分析，发现：当采用刻蚀步和沉积步交替执行的方法进行高深宽比刻蚀工艺时，由于刻蚀气体的化学活性较强，刻蚀的图形（沟槽或孔）表现为各向同性刻蚀，即横向腐蚀强烈，导致横向刻蚀较大，虽然在刻蚀步和沉积步交替执行的过程中，在沉积步形成的保护层可以对图形的侧壁进行保护，但是，该保护层不足以抑制刻蚀步中的各向同性刻蚀，因此，多个循环后，可能会导致侧壁出现如图 1 所示的扇贝效应（Scallop）。另外，当刻蚀深度达到一定程度时，图形顶部在长期受到刻蚀气体腐蚀的情况下，还会出现如图 2 所示的“吃边”现象（under cut），继而造成关键尺寸的损失。并且该刻蚀步和沉积步交替的工艺只能得到如图 3 所示的具有陡直侧壁的形貌，而对于 TSV（硅通孔刻蚀）、IGBT（绝缘栅双极形晶体管）等功率器件来说，略倾斜的沟槽角度更适用于栅氧的生成及多晶硅的增充。

基于上述分析研究，本实施例提供一种硅片的刻蚀方法（下述简称刻蚀方法），可适用于任意等离子体刻蚀设备，可应用于集成电路 MEMS（微机电系统）、TSV 及 IGBT 等领域的硅深孔及沟槽刻蚀工艺中，尤其适用于在硅片上刻蚀获得高深宽比的图形。其中，硅片例如为硅的晶圆，硅可以是单晶硅，也可以是多晶硅。在硅片上刻蚀的图形可以是截面为矩形的沟槽，也可以是截面为圆形的通孔或凹槽，本实施对此不作具体限定。

如图 4 所示，本实施例提供的硅片的刻蚀方法可以包括：

主刻蚀步骤 S1，采用第一混合气体进行等离子体刻蚀工艺，以对硅片进行刻蚀，直至硅片上的图形达到指定深宽比；第一混合气体被设置为能够对硅进行刻蚀，并与硅反应生成不挥发性反应产物；

辅刻蚀步骤 S2，采用第二混合气体进行等离子体刻蚀工艺；第二混合气

体被设置为能够与硅反应生成不挥发性反应产物，且辅刻蚀步骤的不挥发性反应产物的生成速率大于主刻蚀步骤的所述不挥发性反应产物的生成速率；

交替执行主刻蚀步骤 S1 和辅刻蚀步骤 S2 至少一次，直至硅片上的图形达到指定刻蚀深度。

上述等离子体刻蚀工艺具体包括：向半导体工艺设备的工艺腔室内通入第一混合气体，并开启上射频电源和下射频电源，由上射频电源向上电极加载的上射频功率可以激发第一混合气体形成等离子体，由下射频电源向工艺腔室中的基座加载的下射频功率可以吸引等离子体朝向硅片移动。在一些可选的实施例中，可采用电感耦合等离子刻蚀设备进行上述等离子体刻蚀工艺。

需要说明的是，随着主刻蚀步骤 S1 的次数的增加，图形的刻蚀深度也会不断增大，因此，各次主刻蚀步骤 S1 所达到的指定深宽比是不同的，在实际应用中，各次主刻蚀步骤 S1 所要达到的指定深宽比，可以基于诸如刻蚀速率、刻蚀时长、气体流量等的工艺参数预估所得。

所谓深宽比，是指图形（沟槽或孔）的深度与宽度的比值。

于本申请另一具体实施方式中，每次主刻蚀步骤 S1 完成后达到的指定深宽比大于等于 $N-1:1$ ，且小于等于 $N:1$ ，其中， N 为主刻蚀步骤的次序号。可选的，指定深宽比大于等于 $3:1$ ，且小于等于 $5:1$ 。

例如，进行第 1 次主刻蚀步骤 S1 时，可以在刻蚀至指定深宽比为 $1:1$ 时，切换至辅刻蚀步骤 S2，该辅刻蚀步骤 S2 完成（刻蚀时长例如为 2-3s，）后切换至第 2 次主刻蚀步骤 S1；进行第 2 次主刻蚀步骤 S1 时，可以在指定深宽比为 $2:1$ 时，再切换至辅刻蚀步骤 S2，该辅刻蚀步骤 S2 完成后切换至第 3 次主刻蚀步骤 S1，进行第 3 次主刻蚀步骤 S1 时，可以在指定深宽比为 $3:1$ 时，再切换至辅刻蚀步骤 S2；如此交替执行主刻蚀步骤 S1 和辅刻蚀步骤 S2，直至硅片上的图形达到指定刻蚀深度，然后再执行最后一次主刻蚀步骤 S1，最后的主刻蚀步骤 S1 刻蚀完成后，获得具有目标刻蚀深度的图形。

需要说明的是，主刻蚀步骤 S1 和辅刻蚀步骤 S2 交替的循环次数具体可根据指定刻蚀深度和形貌要求等进行设定，对于较高深宽比的深硅刻蚀工艺，可以适当增加循环次数，以能够获得更为平滑的高深宽比的图形。

在进行主刻蚀步骤 S1 和辅刻蚀步骤 S2 的过程中，生成的上述不挥发性反应产物可以附着在图形的侧壁和顶部，形成保护层，该保护层能够抑制硅刻蚀的各向同性，保证硅刻蚀为各向异性（即深度方向的刻蚀远大于宽度方向，甚至只进行深度方向的刻蚀），同时，这些不挥发性反应产物附着在图形的侧壁上还可以增加其与掩膜（例如二氧化硅掩膜）的刻蚀选择比，从而避免掩膜被过多的刻蚀，进而可以避免出现上述的“吃边”现象。

通过在进行主刻蚀步骤 S1 和辅刻蚀步骤 S2 的过程中均与硅反应生成不挥发性反应产物，可以保证主刻蚀步骤 S1 和辅刻蚀步骤 S2 进行的硅刻蚀均为各向异性，从而可以减小横向刻蚀；同时，通过使辅刻蚀步骤的不挥发性反应产物的生成速率大于主刻蚀步骤的不挥发性反应产物的生成速率，可以使辅刻蚀步骤 S2 相对于主刻蚀步骤 S1 在同一时间内生成更多的不挥发性反应产物，以增强对图形侧壁的保护，从而可以减少后续的主刻蚀步骤 S1 中的横向刻蚀，也就是说，利用辅助刻蚀步骤 S2 可以生成足够厚度的保护层，以减少横向刻蚀，横向刻蚀的减少一方面可以避免因横向刻蚀过大而产生扇贝效应，从而使得图形的侧壁的粗糙度得以明显改善，获得了更为平滑的侧壁形貌，更有利于后面栅氧生长和多晶硅的填充；另一方面，可以进一步抑制顶部“吃边”现象（under cut）的产生。

需要说明的是，上述辅刻蚀步骤 S2 主要用于生成更多的不挥发性反应产物，以减小横向刻蚀，在这种情况下，可选的，上述第二混合气体中可以不包含能够对硅进行刻蚀的气体，或者，也可以包含能够对硅进行刻蚀的气体，并使辅刻蚀步骤 S2 的刻蚀速率小于主刻蚀步骤 S1 的刻蚀速率，这样有助于刻蚀少量的硅，同时生成更多的不挥发性反应产物，使之生成量足以完

全覆盖图形侧壁，提高侧壁的平滑度。

还需要说明的是，本实施例对各次辅刻蚀步骤 S2 的刻蚀时长也不作具体限定，且不同次的辅刻蚀步骤 S2 的刻蚀时长可以相同也可以不同。

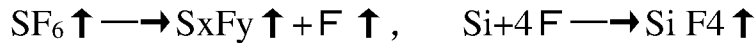
于本申请另一具体实施方式中，上述指定刻蚀深度小于目标刻蚀深度，该目标刻蚀深度即为最终获得的图形的刻蚀深度。在这种情况下，在交替执行主刻蚀步骤 S1 和辅刻蚀步骤 S2 至少一次之后，再执行一次主刻蚀步骤 S1，以使硅片上的图形达到目标刻蚀深度。通过在最后执行一次主刻蚀步骤 S1，可以使侧壁上形成有较少的不挥发性反应产物，更有利于得到侧壁稍微倾斜的图形；而且，由于主刻蚀步骤 S1 的刻蚀速率较高，其可以更快地使刻蚀深度达到目标刻蚀深度，从而可以提高整体刻蚀效率。

上述指定刻蚀深度可以是小于并接近目标刻蚀深度的数值。当然，在实际应用中，也可以使上述指定刻蚀深度等于目标刻蚀深度，在这种情况下，则无需在交替执行主刻蚀步骤 S1 和辅刻蚀步骤 S2 至少一次之后，再执行一次主刻蚀步骤 S1。

于本申请一具体实施方式中，上述第一混合气体和第二混合气体各自的种类有多种。例如，第一混合气体可以包括六氟化硫 (SF_6)，还可以包括氧气 (O_2)、溴化氢 (HBr)、四氟化硅及四氯化硅 (SiF_4) 中的一种或多种。其中，六氟化硫 (SF_6) 用于对硅片进行刻蚀，溴化氢 (HBr)、四氟化硅 (SiF_4)、四氯化硅 (SiCl_4) 与氧气 (O_2) 等气体可以与硅反应（可包括直接反应和间接反应）形成二氧化硅，以及 Si-Br-O 、 SiOF_x 、 SiOCl_x 等反应产物（聚合物）。在进行刻蚀工艺时，借助于加载至基座上的下射频功率，可以在基座上形成射频偏压，该射频偏压可以吸引等离子体对硅进行刻蚀，同时吸引这些不挥发性反应产物附着在图形（沟槽或孔）的侧壁上。

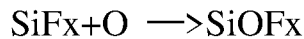
上述第一混合气体在刻蚀硅 (Si) 的过程中的主要刻蚀原理如下：

(1) SF_6 作为主要刻蚀气体，其反应过程如下：



(2) O_2 与 Si 生成 SiO_2 , SiO_2 用于对侧壁进行保护。

(3) SiF_4 (SiCl_4) 与氧等离子体生成 SiOF_x (SiOCl_x) 聚合物, 该聚合物可以附着在图形的侧壁及顶部, 以减小横向刻蚀, 具体反应过程如下:



(4) HBr 与 Si 反应, 生成 Si-Br 聚合物, 该聚合物可以附着在图形的侧壁, 并且, O_2 与 Si-Br 聚合物反应, 生成 SiO_2 和 Si-Br-O 聚合物, 该聚合物可以进一步对图形的侧壁进行保护。

于本申请一可选的实施方式中, 第一混合气体中还可以包括氦气 (He), 氦气可作为稀释气体, 用以在保证工艺腔室的压力条件下调节其它种类气体的流量, 例如, 可以通过增加氦气的流量, 来减小其他种类气体的流量。此外, 氦气作为良好的导热气体, 可以提高刻蚀的均匀性。

于本申请一具体实施方式中, 第一混合气体可以包括六氟化硫、氧气、溴化氢及四氟化硅四种气体, 可以根据上述反应原理, 设计各种气体的流量, 例如, 六氟化硫、氧气、溴化氢及四氟化硅的流量比为 (1.7-2.3) : (1.3-1.7) :

(13-17) : 1, 这样设置, 可以使各种气体在对硅的刻蚀过程中能够充分反应, 并在保证刻蚀速率的前提下, 增加不挥发性反应产物的生成量, 以对图形的侧壁起到有效的保护作用。优选地, 六氟化硫、氧气、溴化氢及四氟化硅的流量比为 2:1.5:15:1, 该比例对图形的侧壁的保护作用最佳。进一步地, 其中, 六氟化硫和氧气的流量均可以大于等于 10sccm, 且小于等于 200sccm, 溴化氢可作为可选工艺调节气体, 其流量可以大于等于 5sccm, 且小于等于 1000sccm。

于本申请另一具体实施方式中, 当执行主刻蚀步骤 S1 时, 上射频电源输出的上射频功率 (连续波) 的取值范围可以为大于等于 300W, 且小于等于 2500W; 下射频电源输出的下射频功率 (连续波) 的取值范围可以为大于

等于 15W，且小于等于 800W。可选的，上射频电源和下射频电源的频率可以均为 13.56MHz。工艺腔室内的压力（即，腔室压力）的取值范围可以为大于等于 10mT，且小于等于 90mT；基座（例如静电卡盘）的温度范围可以为小于等于 100 °C，优选为大于等于 20°C，且小于等于 80 °C，工艺腔室的温度可以为大于等于 10°C，且小于等于 40°C。

本实施例采用的刻蚀方法，主刻蚀步骤 S1 及辅刻蚀步骤 S2 均可以在较低的工艺压力条件下进行，从而可降低能耗，节省资源。需要说明的是，上述的功率、压强及温度等参数只是本实施例的一种具体实施方式，本实施例并不以此为限。

与第一混合气体的设计类似，第二混合气体也可以包括氧气、溴化氢、四氟化硅及四氯化硅中的一种或多种，在此基础上，可选的，第二混合气体也可以含有适量的六氟化硫，用于刻蚀。

于本申请一可选的实施方式中，若第一混合气体和第二混合气体在氧气、溴化氢、四氟化硅及四氯化硅这四种气体中所包括的气体种类完全相同，则第一混合气体在这四种气体中所包括的每种气体的流量均小于第二混合气体在这四种气体中所包括的同种气体的流量。即，主刻蚀气体中的氧气和/或溴化氢和/或四氟化硅和/或四氯化硅的流量可分别小于辅刻蚀气体中的氧气和/或溴化氢和/或四氟化硅和/或四氯化硅的流量。例如，主刻蚀气体中的氧气的流量小于辅刻蚀气体中的氧气的流量；或者，主刻蚀气体中的溴化氢的流量小于辅刻蚀气体中的溴化氢的流量；或者，主刻蚀气体中的四氟化硅的流量小于辅刻蚀气体中的四氟化硅的流量。若第一混合气体和第二混合气体在氧气、溴化氢、四氟化硅及四氯化硅这四种气体中所包括的气体种类至少部分不同（即，部分不同或者完全不同），则第一混合气体中这四种气体的总流量小于第二混合气体中这四种气体的总流量。这样设置，可以保证辅刻蚀步骤 S2 能够产生足够多的不挥发性反应产物，进一步减少横向刻蚀，对

刻蚀图形的侧壁及顶部起到更有效的保护作用，从而保证在更深深宽比硅刻蚀过程中获得更好的侧壁形貌。

于本申请另一具体实施方式中，当执行辅刻蚀步骤 S2 时，上射频电源输出的上射频功率（连续波）的取值范围可以为大于等于 500W，且小于等于 2000W，；下射频电源输出的下射频功率（连续波）的取值范围可以为大于等于 50W，且小于等于 500W，上射频电源和下射频电源的频率可以均为 13.56MHz，工艺腔室内的压力（即，腔室压力）的取值范围为大于等于 10mT，且小于等于 100mT，工艺腔室的温度可以为大于等于 10°C，且小于等于 40°C。需要说明的是，这里的功率、压强及温度等参数只是本实施例的一种具体实施方式，本实施例并不以此为限。

于本申请一可选的实施方式中，在执行第一次主刻蚀步骤 S1 之前，还包括：

预刻蚀步骤：采用预刻蚀气体进行等离子体刻蚀工艺，以对硅片进行刻蚀，去除硅片表面的氧化层。

预刻蚀气体可以包括四氟化碳（CF₄）或其他含氟的烃类有机气体（CH_xF_y）的一种或多种组合，以去除硅表面的氧化层。

于本申请一典型实施例中，硅片的关键尺寸为 0.3 μm，图形的目标刻蚀深度要求 1.6 μm，目标深宽比约 5:1。参照下述表 1，该刻蚀方法可分为四个阶段：

第一阶段，包括依次进行的预刻蚀步骤、第 1 次主刻蚀步骤 S1 和第 1 次辅刻蚀步骤 S2，其中，进行第 1 次主刻蚀步骤 S1 时，可以在刻蚀至指定深宽比为 1:1 时，切换至第 1 次辅刻蚀步骤 S2；第 1 次辅刻蚀步骤 S2 的刻蚀时长大约 2-3s。

第二阶段，包括依次进行的第 2 次主刻蚀步骤 S1 和第 2 次辅刻蚀步骤 S2，其中，进行第 2 次主刻蚀步骤 S1 时，可以在刻蚀至指定深宽比为 2:1

时,切换至第2次辅刻蚀步骤S2;第2次辅刻蚀步骤S2的刻蚀时长大约2-3s。

第三阶段,包括依次进行的第3次主刻蚀步骤S1和第3次辅刻蚀步骤S2,其中,进行第3次主刻蚀步骤S1时,可以在刻蚀至指定深宽比为3:1时,切换至第3次辅刻蚀步骤S2;第3次辅刻蚀步骤S2的刻蚀时长大约2-3s。

第四阶段,包括依次进行的第4次主刻蚀步骤S1、第4次辅刻蚀步骤S2和第5次主刻蚀步骤S1,其中,进行第4次主刻蚀步骤S1时,可以在刻蚀至指定深宽比为4:1时,切换至第4次辅刻蚀步骤S2;第4次辅刻蚀步骤S2的刻蚀时长大约2-3s;进行第5次主刻蚀步骤S1,直至刻蚀至指定深宽比为5:1,从而获得具有如图5a-图5e所示的侧壁光滑,顶部没有under cut的刻蚀形貌图。

表1 本实施例采用的刻蚀方法的各个阶段与参数的对照表

第一阶段	预刻蚀步骤	腔室压力为8mT,上射频功率为400W,下射频功率为150W,CF ₄ 的流量为100sccm,工艺腔室的温度为20°C,工艺时长为4s。
	第1次主刻蚀步骤S1	腔室压力为50mT,上射频功率为1000W,下射频功率为210W,SF ₆ 的流量为85sccm,O ₂ 的流量为70sccm,HBr的流量为620sccm(可适量添加四氟化硅和四氯化硅),工艺腔室的温度20°C。
	第1次辅刻蚀步骤S2	腔室压力为50mT,上射频功率为1000W,下射频功率为210W,O ₂ 的流量为70sccm,HBr的流量为620sccm,四氟化硅的流量为40sccm,工艺腔室的温度20°C
第二阶段	第2次主刻蚀步骤S1	腔室压力为50mT,上射频功率为1000W,下射频功率为210W,SF ₆ 的流量为85sccm,O ₂ 的流量为70sccm,HBr的流量为620sccm(可适量添加四氟化

段		硅和四氯化硅), 工艺腔室的温度 20°C。
	第2次辅助刻蚀步骤 S2	腔室压力为 50mT, 上射频功率为 1000W, 下射频功率为 210W, O ₂ 的流量为 70sccm, HBr 的流量为 620sccm, 四氯化硅的流量为 40sccm, 工艺腔室的温度 20°C
第三阶段	第3次主刻蚀步骤 S1	腔室压力为 50mT, 上射频功率为 1000W, 下射频功率为 210W, SF ₆ 的流量为 85sccm, O ₂ 的流量为 70sccm, HBr 的流量为 620sccm (可适量添加四氯化硅和四氯化硅), 工艺腔室的温度 20°C。
	第3次辅助刻蚀步骤 S2	腔室压力为 50mT, 上射频功率为 1000W, 下射频功率为 210W, O ₂ 的流量为 70sccm, HBr 的流量为 620sccm, 四氯化硅的流量为 40sccm, 工艺腔室的温度 20°C
第四阶段	第4次主刻蚀步骤 S1	腔室压力为 50mT, 上射频功率为 1000W, 下射频功率为 210W, SF ₆ 的流量为 85sccm, O ₂ 的流量为 70sccm, HBr 的流量为 620sccm (可适量添加四氯化硅和四氯化硅), 工艺腔室的温度 20°C。
	第4次辅助刻蚀步骤 S2	腔室压力为 50mT, 上射频功率为 1000W, 下射频功率为 210W, O ₂ 的流量为 70sccm, HBr 的流量为 620sccm, 四氯化硅的流量为 40sccm, 工艺腔室的温度 20°C
	第5次主刻蚀步骤 S1	腔室压力为 50mT, 上射频功率为 1000W, 下射频功率为 210W, SF ₆ 的流量为 85sccm, O ₂ 的流量为 70sccm, HBr 的流量为 620sccm (可适量添加四氯化硅和四氯化硅), 工艺腔室的温度 20°C。

综上所述，本实施例提供的硅片的刻蚀方法，包括交替执行至少一次的主刻蚀步骤和辅刻蚀步骤，主刻蚀步骤采用的第一混合气体能够对硅片进行刻蚀，且该第一混合气体和辅刻蚀步骤采用的第二混合气体均能够在刻蚀过程中与硅反应生成不挥发性反应产物，该不挥发性反应产物可以附着在图形的侧壁和顶部，形成保护层，抑制了硅刻蚀的各向同性，保证了硅刻蚀为各向异性，同时通过使辅刻蚀步骤的不挥发性反应产物的生成速率大于主刻蚀步骤的不挥发性反应产物的生成速率，可以使辅刻蚀步骤相对于主刻蚀步骤在同一时间内生成更多的不挥发性反应产物，以增强对图形侧壁的保护，从而可以减少下一主刻蚀步骤中的横向刻蚀，横向刻蚀的减少一方面可以避免因横向刻蚀过大而产生扇贝效应，从而使得图形的侧壁的粗糙度得以明显改善，获得了更为平滑的侧壁形貌，更有利于后面栅氧生长和多晶硅的填充；另一方面可以进一步抑制顶部“吃边”现象（under cut）的产生。

可以理解的是，以上实施方式仅仅是为了说明本申请的原理而采用的示例性实施方式，然而本申请并不局限于此。对于本领域内的普通技术人员而言，在不脱离本申请的精神和实质的情况下，可以做出各种变型和改进，这些变型和改进也视为本申请的保护范围。

在本申请的描述中，需要理解的是，术语“中心”、“上”、“下”、“前”、“后”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“顶”、“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申请和简化描述，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申请的限制。

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。在本申请的描

述中，除非另有说明，“多个”的含义是两个或两个以上。

在本申请的描述中，需要说明的是，除非另有明确的规定和限定，术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接，或一体地连接；可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连，可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言，可以根据具体情况理解上述术语在本申请中的具体含义。

在本说明书的描述中，具体特征、结构、材料或者特点可以在任何一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。

以上仅是本申请的部分实施方式，应当指出，对于本技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本申请原理的前提下，还可以做出若干改进和润饰，这些改进和润饰也应视为本申请的保护范围。

权 利 要 求 书

1. 一种硅片的刻蚀方法，其特征在于，包括：

主刻蚀步骤：采用第一混合气体进行等离子体刻蚀工艺，以对所述硅片
5 进行刻蚀，直至所述硅片上的图形达到指定深宽比；所述第一混合气体被设置
为能够对硅进行刻蚀，并与硅反应生成不挥发性反应产物；

辅刻蚀步骤：采用第二混合气体进行等离子体刻蚀工艺；所述第二混合
气体被设置为能够与硅反应生成不挥发性反应产物，且所述辅刻蚀步骤的所
述不挥发性反应产物的生成速率大于所述主刻蚀步骤的所述不挥发性反应
10 产物的生成速率；

交替执行所述主刻蚀步骤和所述辅刻蚀步骤至少一次，直至所述硅片上
的图形达到指定刻蚀深度。

2. 根据权利要求 1 所述的刻蚀方法，其特征在于，所述指定刻蚀深度
15 小于目标刻蚀深度；

在交替执行所述主刻蚀步骤和所述辅刻蚀步骤至少一次之后，再执行一
次所述主刻蚀步骤，以使所述硅片上的图形达到所述目标刻蚀深度。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的刻蚀方法，其特征在于，每次所述主刻
20 蚀步骤完成后达到的所述指定深宽比大于等于 $N-1:1$ ，且小于等于 $N:1$ ，
其中， N 为所述主刻蚀步骤的次序号。

4. 根据权利要求 3 所述的刻蚀方法，其特征在于，所述指定深宽比大
于等于 $3:1$ ，且小于等于 $5:1$ 。

25 5. 根据权利要求 1 或 2 所述的刻蚀方法，其特征在于，所述辅刻蚀步
骤的执行时长大于等于 2 s ，且小于等于 3 s 。

6. 根据权利要求 1 或 2 所述的刻蚀方法，其特征在于，所述第一混合气体包括六氟化硫，还包括氧气、溴化氢、四氟化硅及四氯化硅中的一种或多种；所述第二混合气体包括氧气、溴化氢、四氟化硅及四氯化硅中的一种或多种。

7. 根据权利要求 6 所述的刻蚀方法，其特征在于，若所述第一混合气体和第二混合气体在氧气、溴化氢、四氟化硅及四氯化硅这四种气体中所包括的气体种类完全相同，则所述第一混合气体在这四种气体中所包括的每种气体的流量均小于所述第二混合气体在这四种气体中所包括的同种气体的流量；

若所述第一混合气体和第二混合气体在氧气、溴化氢、四氟化硅及四氯化硅这四种气体中所包括的气体种类至少部分不同，则所述第一混合气体中这四种气体的总流量小于所述第二混合气体中这四种气体的总流量。

8. 根据权利要求 6 所述的刻蚀方法，其特征在于，所述第二混合气体还包括六氟化硫。

9. 根据权利要求 6 所述的刻蚀方法，其特征在于，所述第一混合气体包括六氟化硫、氧气、溴化氢及四氟化硅，且所述六氟化硫、氧气、溴化氢及四氟化硅的流量比为 (1.7-2.3) : (1.3-1.7) : (13-17) : 1。

10. 根据权利要求 1、2 或 6 所述的刻蚀方法，其特征在于，当执行所述主刻蚀步骤时，上射频功率大于等于 300W，且小于等于 2500W，下射频功率大于等于 15W，且小于等于 800W，腔室压力大于等于 10mT，且小于等于 90mT；

当执行所述辅刻蚀步骤时，上射频功率大于等于 500W，且小于等于

2000W，下射频功率大于等于 50W，且小于等于 500W，腔室压力大于等于 10mT，且小于等于 100mT。

11. 根据权利要求 1 所述的刻蚀方法，其特征在于，在执行第一次所述
- 5 主刻蚀步骤之前，还包括：

预刻蚀步骤：采用预刻蚀气体进行等离子体刻蚀工艺，以对所述硅片进行刻蚀，去除所述硅片表面的氧化层。

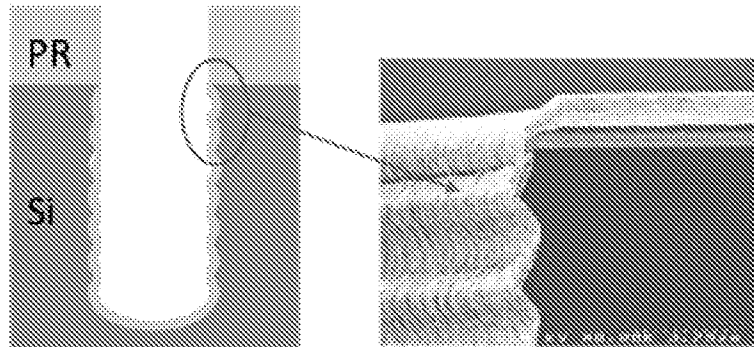


图 1

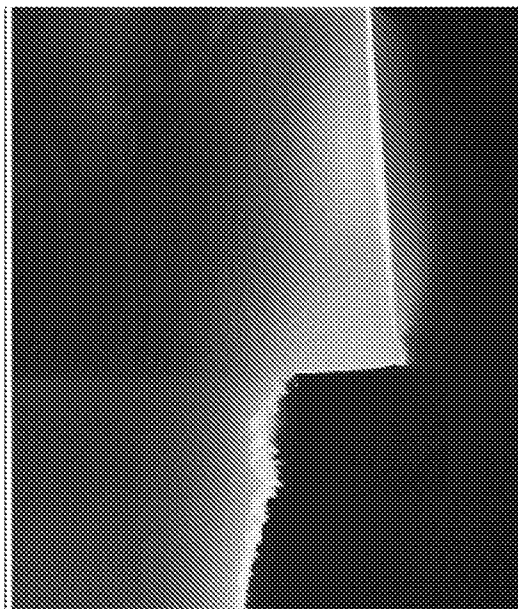


图 2

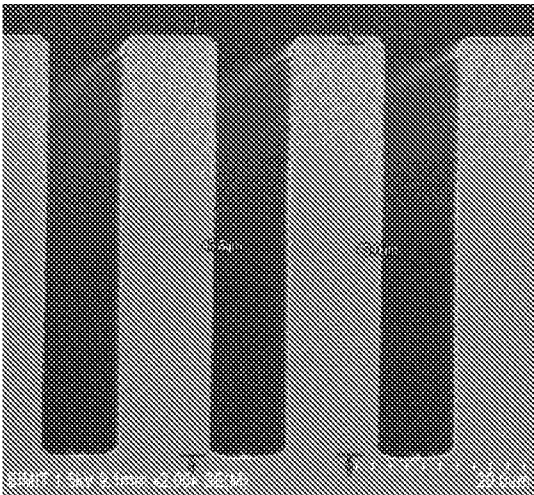


图 3

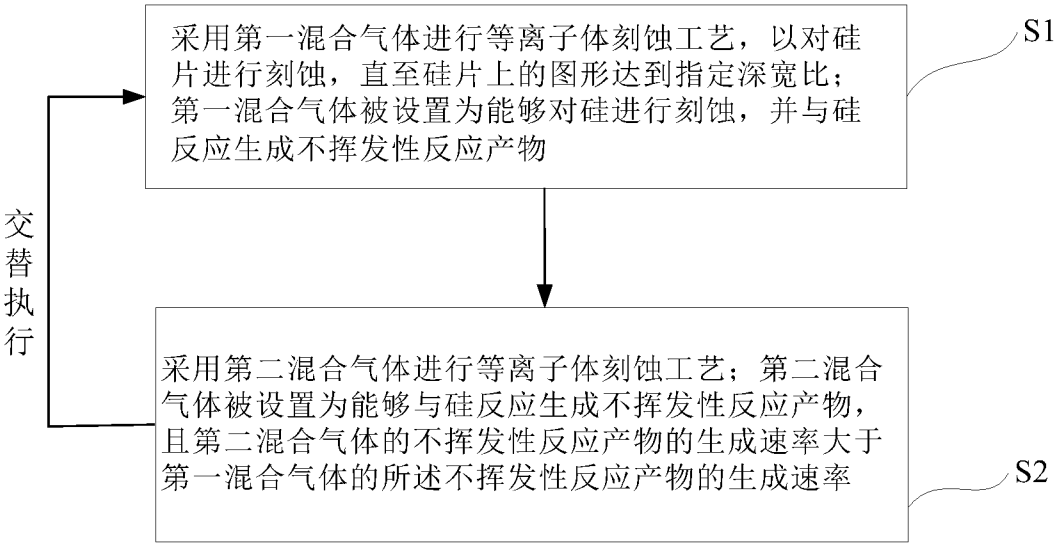


图 4

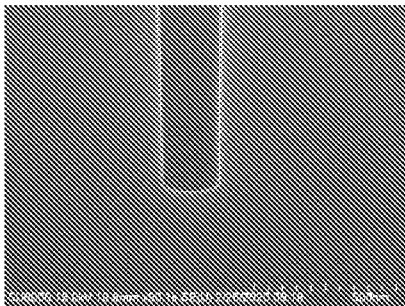


图 5a

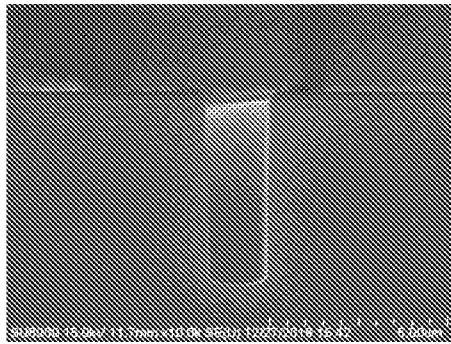


图 5b



图 5c

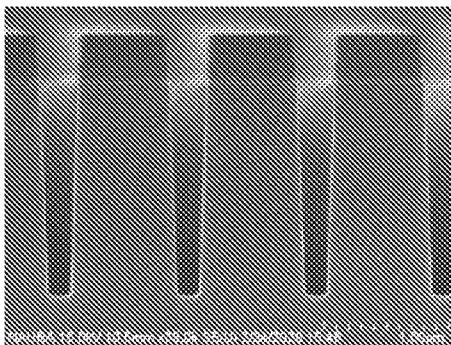


图 5d

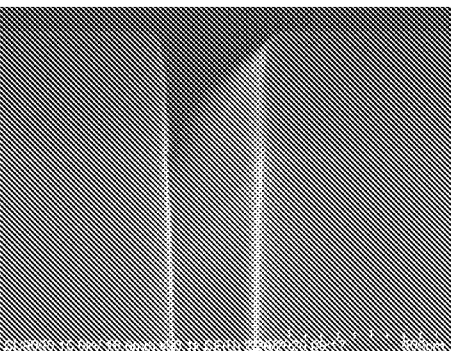


图 5e

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2021/130553

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L 21/3065(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, WPI, EPODOC, CNKI, IEEE: 刻蚀, 蚀刻, 副产物, 反应产物, 残留, 聚合物, 速率, 速度, 横向, 侧壁, 各向同性, 各向异性, etch, byproduct, residue, polymer, rate, sidewall, isotropic, anisotropic

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 112466749 A (BEIJING NAURA MICROELECTRONICS EQUIPMENT CO., LTD.) 09 March 2021 (2021-03-09) description paragraphs [0002]-[0067], figures 1-5e	1-11
X	CN 110137080 A (YANGTZE MEMORY TECHNOLOGIES CO., LTD.) 16 August 2019 (2019-08-16) description, paragraphs [0006]-[0055], and figures 1-2	1-5, 10-11
Y	CN 110137080 A (YANGTZE MEMORY TECHNOLOGIES CO., LTD.) 16 August 2019 (2019-08-16) description, paragraphs [0006]-[0055], and figures 1-2	6-9
Y	JP H11135489 A (DENSO CORP.) 21 May 1999 (1999-05-21) description, paragraphs [0021]-[0063], and figures 1-6	6-9
A	CN 103077920 A (SHANGHAI HUA HONG NEC ELECTRONICS CO., LTD.) 01 May 2013 (2013-05-01) entire document	1-11
A	US 2007202700 A1 (APPLIED MATERIALS, INC.) 30 August 2007 (2007-08-30) entire document	1-11



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

21 January 2022

Date of mailing of the international search report

14 February 2022

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing
100088, China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2021/130553

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	112466749	A	09 March 2021	None			
CN	110137080	A	16 August 2019	None			
JP	H11135489	A	21 May 1999	JP	3331979	B2	07 October 2002
CN	103077920	A	01 May 2013	None			
US	2007202700	A1	30 August 2007	JP	2007235135	A	13 September 2007
				TW	200739715	A	16 October 2007
				CN	101030530	A	05 September 2007
				KR	20070089062	A	30 August 2007

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2021/130553

A. 主题的分类

H01L 21/3065 (2006.01) i

按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号)

H01L

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用))

CNPAT, WPI, EPDOC, CNKI, IEEE: 刻蚀, 蚀刻, 副产物, 反应产物, 残留, 聚合物, 速率, 速度, 横向, 侧壁, 各向同性, 各向异性, etch, byproduct, residue, polymer, rate, sidewall, isotropic, anisotropic

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 112466749 A (北京北方华创微电子装备有限公司) 2021年3月9日 (2021 - 03 - 09) 说明书第[0002]-[0067]段, 图1-5e	1-11
X	CN 110137080 A (长江存储科技有限责任公司) 2019年8月16日 (2019 - 08 - 16) 说明书第[0006]-[0055]段, 图1-2	1-5, 10-11
Y	CN 110137080 A (长江存储科技有限责任公司) 2019年8月16日 (2019 - 08 - 16) 说明书第[0006]-[0055]段, 图1-2	6-9
Y	JP H11135489 A (DENSO CORP.) 1999年5月21日 (1999 - 05 - 21) 说明书第[0021]-[0063]段, 图1-6	6-9
A	CN 103077920 A (上海华虹NEC电子有限公司) 2013年5月1日 (2013 - 05 - 01) 全文	1-11
A	US 2007202700 A1 (APPLIED MATERIALS, INC.) 2007年8月30日 (2007 - 08 - 30) 全文	1-11

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2022年1月21日

国际检索报告邮寄日期

2022年2月14日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局 (ISA/CN)

中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

传真号 (86-10)62019451

受权官员

刘婧

电话号码 86-(10)-53961452

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2021/130553

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	112466749	A	2021年3月9日	无			
CN	110137080	A	2019年8月16日	无			
JP	H11135489	A	1999年5月21日	JP	3331979	B2	2002年10月7日
CN	103077920	A	2013年5月1日	无			
US	2007202700	A1	2007年8月30日	JP	2007235135	A	2007年9月13日
				TW	200739715	A	2007年10月16日
				CN	101030530	A	2007年9月5日
				KR	20070089062	A	2007年8月30日