



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103311174 A

(43) 申请公布日 2013. 09. 18

(21) 申请号 201210058770. 2

(22) 申请日 2012. 03. 07

(71) 申请人 中芯国际集成电路制造(上海)有限公司

地址 201203 上海市浦东新区张江路 18 号

(72) 发明人 王冬江 胡敏达 张海洋

(74) 专利代理机构 北京市磐华律师事务所

11336

代理人 董巍 顾珊

(51) Int. Cl.

H01L 21/768 (2006. 01)

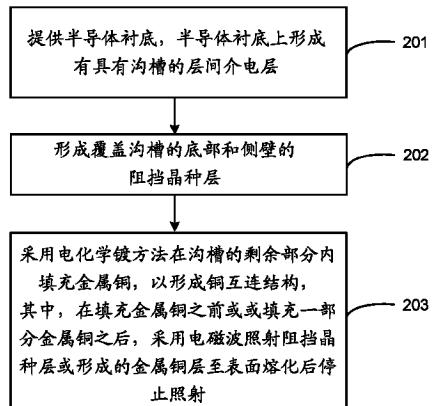
权利要求书1页 说明书5页 附图7页

(54) 发明名称

一种制作铜互连结构的方法

(57) 摘要

本发明提供一种制作铜互连结构的方法，包括：提供半导体衬底，所述半导体衬底上形成有具有沟槽的层间介电层；形成覆盖所述沟槽的底部和侧壁的阻挡晶种层；采用电化学镀方法在所述沟槽的剩余部分内填充金属铜，以形成所述铜互连结构，其中，在填充所述金属铜之前或填充一部分金属铜之后，采用电磁波照射所述阻挡晶种层或形成的金属铜层至表面熔化后停止照射。本发明在填充金属铜之前或填充一部分金属铜之后，采用电磁波照射阻挡晶种层或形成的金属铜层至表面熔化后停止照射，可以使阻挡晶种层或金属铜层的表面平整，进而避免在后续形成的金属互连结构中存在有不期望得到的空隙，以提高器件的稳定性和生产的良品率。



1. 一种制作铜互连结构的方法,其特征在于,包括:
提供半导体衬底,所述半导体衬底上形成有具有沟槽的层间介电层;
形成覆盖所述沟槽的底部和侧壁的阻挡晶种层;
采用电化学镀方法在所述沟槽的剩余部分内填充金属铜,以形成所述铜互连结构,
其中,在填充所述金属铜之前或填充一部分金属铜之后,采用电磁波照射所述阻挡晶种层或形成的金属铜层至表面熔化后停止照射。
2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述电磁波包括波长大于1微米的红外激光和 / 或微波。
3. 根据权利要求2所述的方法,其特征在于,所述红外激光是由CO₂激光器或YAG激光器提供的。
4. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,采用电磁波在填充所述金属铜之前照射所述阻挡晶种层时,所述电磁波的照射深度小于所述阻挡晶种层的最小厚度。
5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,采用电磁波在填充一部分金属铜之后照射所述金属铜层时,所述电磁波的照射深度小于在所述金属铜层的最小厚度。
6. 根据权利要求4或5所述的方法,其特征在于,所述电磁波的照射深度是通过控制电磁波源的照射能量、照射时间和 / 或占空比来控制的。
7. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述阻挡晶种层是由TaN、Ta、Ru、Mn和Mo中的一种或多种形成的。
8. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述方法在形成所述铜互连结构之后还包括再次采用电磁波照射的步骤。
9. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述方法在形成所述铜互连结构之后还包括执行退火处理的步骤。
10. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述方法在形成所述铜互连结构之后还包括去除所述铜互连结构周围的所述层间介电层,并重新形成层间介电层的步骤。

一种制作铜互连结构的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及半导体制造技术领域，特别涉及一种制作铜互连结构的方法。

背景技术

[0002] 随着集成电路的制作向超大规模集成电路 (ULSI) 发展，其内部的电路的特征尺寸越来越小，密度越来越大，所含元件数量不断增加。铜凭借其优异的导电性，以成为集成电路技术领域中互连集成技术的解决方案之一。

[0003] 如图 1A-1D 所示，为现有的形成铜互连结构过程中各步骤所获得的器件的剖视图。如图 1A 所示，在半导体衬底 100 上形成层间介电层 101，层间介电层 101 中形成有用于填充铜互连结构的沟槽 110。如图 1B 所示，在图 1A 所示的器件表面形成阻挡晶种层 102。目前，工艺上形成阻挡晶种层 102 的方法通常为物理气相沉积法等的沉积方法，此类方法在具有诸如沟槽 110 的器件表面形成材料层（例如，阻挡晶种层）时，很容易在沟槽 110 上部的开口处形成悬挂物，即该处的厚度大于开口下部的材料层的厚度，如图 1B 所示。随后在这种结构的沟槽 110 内采用电化学镀的方法填充金属铜时，由于沟槽 110 的开口处的阻挡晶种层 102 的厚度较大，导致该处的电流较大，使该处的金属铜具有较高的生产速率，如图 1C 所示。并且，还由于沟槽 110 的开口处的尺寸小于其下部的尺寸，进而导致在沟槽 110 的下部未完全被金属铜填满时，开口处已经封闭，进而在沟槽 110 内形成空隙 104，如图 1D 所示。

[0004] 随着半导体器件尺寸的不断缩小，上述现象也越加明显，并且铜互连结构中的这些缺陷（空隙 104）所产生的影响也越加显著。这些缺陷将严重影响到器件的稳定性，并导致生产的良品率降低。

[0005] 因此，需要一种制作铜互连结构的方法，以解决现有技术中存在的上述问题。

发明内容

[0006] 在发明内容部分中引入了一系列简化形式的概念，这将在具体实施方式部分中进一步详细说明。本发明的发明内容部分并不意味着要试图限定出所要求保护的技术方案的关键特征和必要技术特征，更不意味着试图确定所要求保护的技术方案的保护范围。

[0007] 为了解决现有技术中存在的问题，本发明提出了一种制作铜互连结构的方法，包括：提供半导体衬底，所述半导体衬底上形成有具有沟槽的层间介电层；形成覆盖所述沟槽的底部和侧壁的阻挡晶种层；采用电化学镀方法在所述沟槽的剩余部分内填充金属铜，以形成所述铜互连结构，其中，在填充所述金属铜之前或填充一部分金属铜之后，采用电磁波照射所述阻挡晶种层或形成的金属铜层至表面熔化后停止照射。

[0008] 优选地，所述电磁波包括波长大于 1 微米的红外激光和 / 或微波。

[0009] 优选地，所述红外激光是由 CO₂ 激光器或 YAG 激光器提供的。

[0010] 优选地，采用电磁波在填充所述金属铜之前照射所述阻挡晶种层时，所述电磁波的照射深度小于所述阻挡晶种层的最小厚度。

[0011] 优选地，采用电磁波在填充一部分金属铜之后照射所述金属铜层时，所述电磁波的照射深度小于在所述金属铜层的最小厚度。

[0012] 优选地，所述电磁波的照射深度是通过控制电磁波源的照射能量、照射时间和 / 或占空比来控制的。

[0013] 优选地，所述阻挡晶种层是由 TaN、Ta、Ru、Mn 和 Mo 中的一种或多种形成的。

[0014] 优选地，所述方法在形成所述铜互连结构之后还包括再次采用电磁波照射的步骤。

[0015] 优选地，所述方法在形成所述铜互连结构之后还包括执行退火处理的步骤。

[0016] 优选地，所述方法在形成所述铜互连结构之后还包括去除所述铜互连结构周围的所述层间介电层，并重新形成层间介电层的步骤。

[0017] 本发明在填充金属铜之前或填充一部分金属铜之后，采用电磁波照射阻挡晶种层或形成的金属铜层至表面熔化后停止照射，可以使阻挡晶种层或金属铜层的表面平整，进而避免在后续形成的金属互连结构中存在有不期望得到的空隙，以提高器件的稳定性和生产的良品率。

附图说明

[0018] 本发明的下列附图在此作为本发明的一部分用于理解本发明。附图中示出了本发明的实施例及其描述，用来解释本发明的原理。在附图中，

[0019] 图 1A-1D 为现有的形成铜互连结构过程中各步骤所获得的器件的剖视图；

[0020] 图 2 为根据本发明一个实施方式来制作铜互连结构的工艺流程图；

[0021] 图 3A-3E 为根据本发明一个实施方式来制作铜互连结构的工艺过程中各步骤所获得的器件的剖视图；

[0022] 图 4A-4F 为根据本发明另一个实施方式来制作铜互连结构的工艺过程中各步骤所获得的器件的剖视图。

具体实施方式

[0023] 接下来，将结合附图更加完整地描述本发明，附图中示出了本发明的实施例。但是，本发明能够以不同形式实施，而不应当解释为局限于这里提出的实施例。相反地，提供这些实施例将使公开彻底和完全，并且将本发明的范围完全地传递给本领域技术人员。在附图中，为了清楚，层和区的尺寸以及相对尺寸可能被夸大。自始至终相同附图标记表示相同的元件。

[0024] 应当明白，当元件或层被称为“在 … 上”、“与 … 相邻”、“连接到”或“耦合到”其它元件或层时，其可以直接地在其它元件或层上、与之相邻、连接或耦合到其它元件或层，或者可以存在居间的元件或层。相反，当元件被称为“直接在 … 上”、“与 … 直接相邻”、“直接连接到”或“直接耦合到”其它元件或层时，则不存在居间的元件或层。

[0025] 本发明提供一种制作铜互连结构的方法。图 2 为根据本发明一个实施方式来制作铜互连结构的方法的工艺流程图。

[0026] 首先，执行步骤 201，提供半导体衬底，该半导体衬底上形成有具有沟槽的层间介电层。

[0027] 半导体衬底可以是以下所提到的材料中的至少一种：硅、绝缘体上硅（SOI）、绝缘体上层叠硅（SSOI）、绝缘体上层叠锗化硅（S-SiGeOI）、绝缘体上锗化硅（SiGeOI）以及绝缘体上锗（GeOI）等。此外，半导体衬底上可以形成有其它器件，例如PMOS和NMOS晶体管。在半导体衬底中可以形成有隔离结构，所述隔离结构为浅沟槽隔离（STI）结构或者局部氧化硅（LOCOS）隔离结构。

[0028] 该半导体衬底上形成有具有沟槽的层间介电层。为了改善铜互连结构之间可能发生的相互作用或串扰，并降低铜互连结构的电阻电容（RC）延迟，层间介电层可以是由低k材料或超低k材料形成的。层间介电层中形成的沟槽主要用于经后续工艺在其内填充铜材料而形成铜互连结构。本领域的技术人员可以采用本领域内常用的方法在层间介电层内形成上述沟槽，举例来说，可以采用光刻工艺在层间介电层内形成沟槽。

[0029] 接着，执行步骤202，形成覆盖沟槽的底部和侧壁的阻挡晶种层。形成阻挡晶种层的方法可以为沉积法或溅射法，其中沉积法包括化学气相沉积法、物理气相沉积法和原子层沉积法等等，溅射法包括磁控溅射法等等。可以理解的是，采用上述方法在沟槽的底部和侧壁上形成阻挡晶种层时，不可避免地会在层间介电层的上表面也形成阻挡晶种层，这并不与本发明的想法相背离。阻挡晶种层不但可以防止铜金属向层间介电层内扩散，还能够作为电化学镀铜的晶种层。作为示例，阻挡晶种层是由TaN、Ta、Ru、Mn和Mo中的一种或多种形成的。

[0030] 最后，执行步骤203，采用电化学镀方法在沟槽的剩余部分内填充金属铜，以形成铜互连结构。对于本领域的技术人员来说，采用电化学镀方法形成金属铜以为本领域所熟知，因此不再详述。由于采用沉积法或溅射法形成阻挡晶种层时，不可避免地会在沟槽上部的开口处形成悬挂物，而导致在金属互连结构中存在有不期望得到的空隙。为了解决该问题，本发明在填充金属铜之前或填充一部分金属铜之后，采用电磁波照射阻挡晶种层或形成的金属铜层至表面熔化后停止照射，熔化的阻挡晶种层或所形成的金属铜层会在表面发生回流现象，而使阻挡晶种层或金属铜层的表面平整。停止照射以后，熔化的阻挡晶种层或金属铜层固化，并保持平整的表面。此外，采用电磁波照射阻挡晶种层或形成的金属铜层的表面，还可以降低被照射层的缺陷密度。

[0031] 下面将结合图3A-3E和图4A-4F示出的两个示意性实施例，对表面回流处理工艺进行详细描述。

[0032] 根据本发明一个实施方式，如图3A所示，在半导体衬底300上形成有层间介电层301，其中层间介电层301中形成有用于填充铜金属互连结构的沟槽330。半导体衬底300可以由上述提供的材料制成，并且半导体衬底300中可以包含上面所提到的器件或结构等，为了简化，此处仅以一空白来表示半导体衬底300。具有沟槽330的层间介电层301可以采用上述方法制得，因此不再详述。

[0033] 如图3B所示，在沟槽330的底部和侧壁上形成阻挡晶种层302。作为示例，形成阻挡晶种层302可以为化学气相沉积法。由于沉积法本身的缺陷，阻挡晶种层302在沟槽330上部的开口处的厚度较大，导致沟槽302开口处的尺寸小于底部的尺寸。

[0034] 为了使得后续电化学镀铜时金属铜能够具有均匀的生产速率，以避免在铜互连结构中形成空隙，在形成金属铜之前，采用电磁波照射阻挡晶种层302至其表面熔化，熔化的阻挡晶种层302的表面会发生回流现象而变得平整。当停止照射以后，熔化的阻挡晶种层

302 固化，并保持平整的表面，如图 3C 所示。为了使阻挡晶种层 302 对电磁波具有较高的吸收率，而层间介电层 301 对电磁波具有较低的吸收率，优选地，电磁波包括波长大于 1 微米的红外激光和 / 或微波。采用红外激光和 / 或微波照射图 3B 所示的器件结构时，由于层间介电层 301 具有较低的吸收率，因此层间介电层 301 基本不会被加热。此外，由于层间介电层 301 的热传导效率较低，因此，上述辐射基本不会对层间介电层 301 的性能产生影响。当采用红外激光进行表面处理时，优选地，红外激光可以是由 CO₂ 激光器或 YAG 激光器提供的。YAG 激光器是以钇铝石榴石晶体为基质的一种固体激光器，钇铝石榴石的化学式为 Y₃Al₅O₁₅，简称 YAG。进一步，为了避免电磁波照射对其它器件结构产生影响，因此，优选地，电磁波的照射深度小于阻挡晶种层 302 的最小厚度。其中，电磁波的照射深度是通过控制电磁波源的照射能量、照射时间和 / 或占空比来控制的。

[0035] 如图 3D 所示，采用电化学镀方法在沟槽 330 形成金属铜层 303。

[0036] 如图 3E 所示，采用平坦化工艺（化学机械研磨工艺）去除层间介电层 301 以上的阻挡晶种层 302 和金属铜层 303，以在沟槽 330 内形成铜互连结构 304。

[0037] 根据本发明另一个实施方式，如图 4A 所示，在半导体衬底 400 上形成有层间介电层 401，其中层间介电层 401 中形成有用于填充铜金属互连结构的沟槽 430。半导体衬底 400 可以由上述提供的材料制成，并且半导体衬底 400 中可以包含上面所提到的器件或结构等，为了简化，此处仅以一空白来表示半导体衬底 400。具有沟槽 430 的层间介电层 401 可以采用上述方法制得，因此不再详述。

[0038] 如图 4B 所示，在沟槽 430 的底部和侧壁上形成阻挡晶种层 402。作为示例，形成阻挡晶种层 402 可以为物理气相沉积法。由于沉积法本身的缺陷，阻挡晶种层 402 在沟槽 430 上部的开口处的厚度较大，导致沟槽 402 开口处的尺寸小于底部的尺寸。

[0039] 如图 4C 所述，采用电化学镀的方法在沟道 430 内形成铜金属层 403A，其中该铜金属层 403A 并未完全填满沟道 430。换句换说，铜金属层 403A 应当未封闭沟道 430 的开口。

[0040] 为了避免在铜互连结构中形成空隙，在形成铜金属层 403A 之前，采用电磁波照射铜金属层 403A 至其表面熔化，熔化的铜金属层 403A 的表面会发生回流现象而变得平整。当停止照射以后，熔化的铜金属层 403A 固化，并保持平整的表面，如图 4D 所示。为了使铜金属层 403A 对电磁波具有较高的吸收率，而层间介电层 401 对电磁波具有较低的吸收率，优选地，电磁波包括波长大于 1 微米的红外激光和 / 或微波。采用红外激光和 / 或微波照射图 4C 所示的器件结构时，由于层间介电层 401 具有较低的吸收率，因此层间介电层 401 基本不会被加热。此外，由于层间介电层 401 的热传导效率较低，因此，上述辐射基本不会对层间介电层 401 的性能产生影响。当采用红外激光进行表面处理时，优选地，红外激光可以是由 CO₂ 激光器或 YAG 激光器提供的。进一步，为了避免电磁波照射对其它器件结构产生影响，因此，优选地，电磁波的照射深度小于在金属铜层 403A 的最小厚度。

[0041] 如图 4E 所示，采用电化学镀方法在沟槽 430 的剩余部分内形成金属铜层 403。

[0042] 如图 4F 所示，采用平坦化工艺（化学机械研磨工艺）去除层间介电层 401 以上的阻挡晶种层 402 和金属铜层 403，以在沟槽 430 内形成铜互连结构 404。

[0043] 此外，在形成铜互连结构 304 和 404 之后，还包括再次采用电磁波照射的步骤，以使铜互连结构 304 和 404 具有较低的缺陷密度和较高的强度。

[0044] 优选地，在形成铜互连结构 304 和 404 之后，还可以执行退火处理，以改善铜互连

结构 304 和 404 的晶格质量。

[0045] 进一步，在形成铜互连结构 304 和 404 之后，还可以去除铜互连结构 304 和 404 周围的层间介电层 301 和 401，并重新填充层间介电层的步骤，以避免在电磁波照射过程中受到影响的层间介电层 301 和 401 影响半导体器件的功能。

[0046] 本发明已经通过上述实施例进行了说明，但应当理解的是，上述实施例只是用于举例和说明的目的，而非意在将本发明限制于所描述的实施例范围内。此外本领域技术人员可以理解的是，本发明并不局限于上述实施例，根据本发明的教导还可以做出更多种的变型和修改，这些变型和修改均落在本发明所要求保护的范围以内。本发明的保护范围由附属的权利要求书及其等效范围所界定。

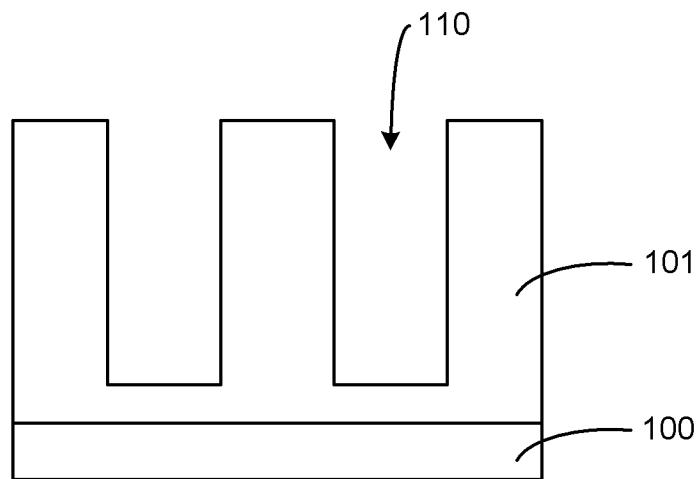


图 1A

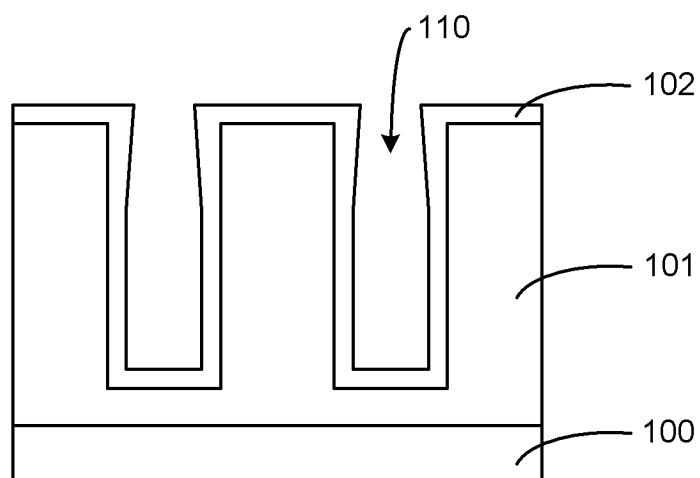


图 1B

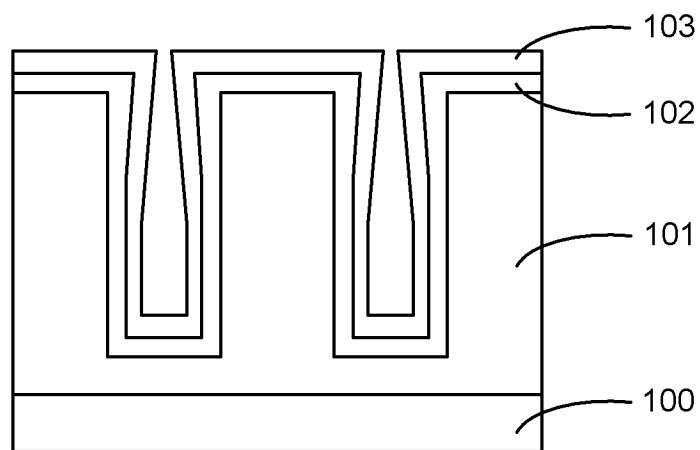


图 1C

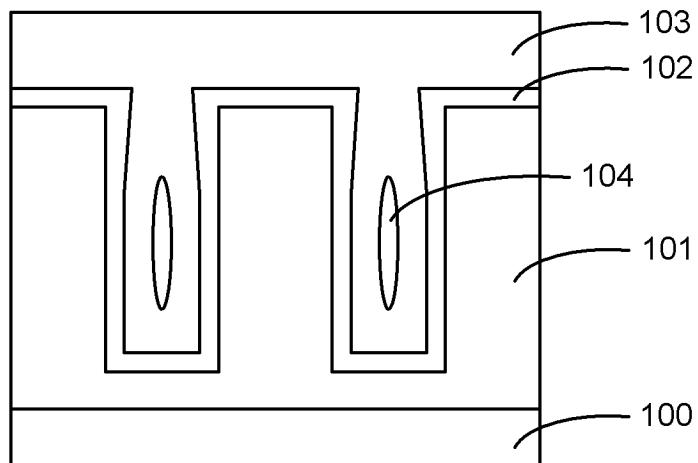


图 1D

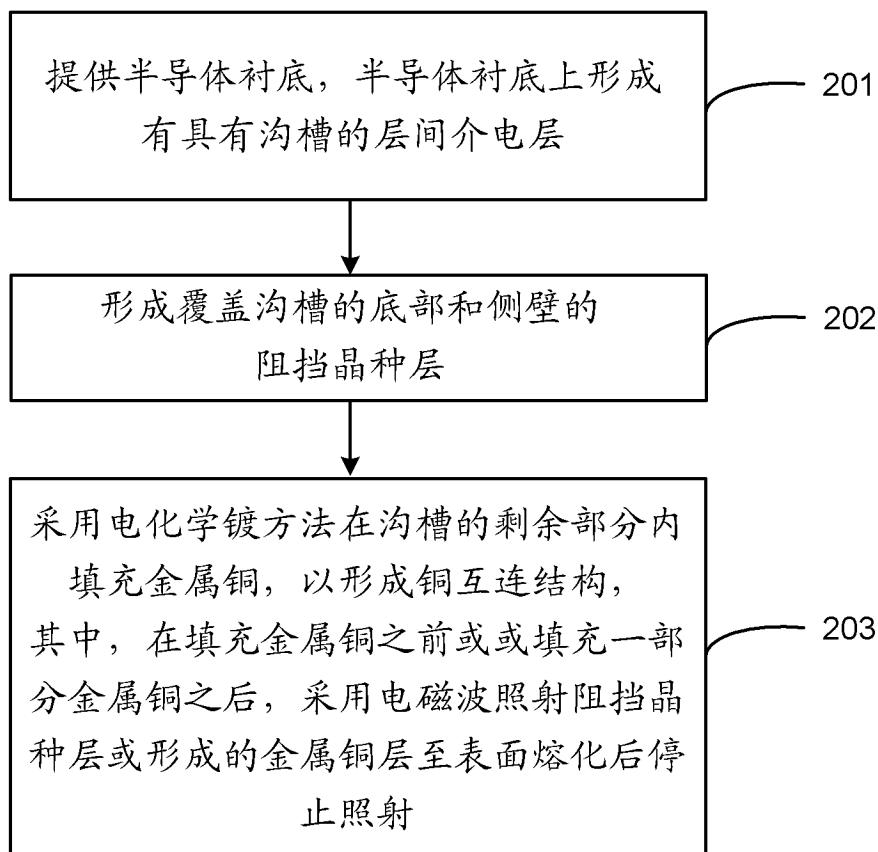


图 2

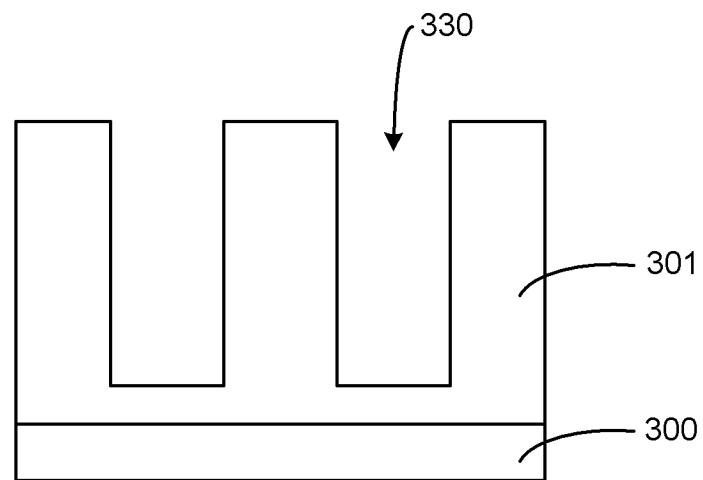


图 3A

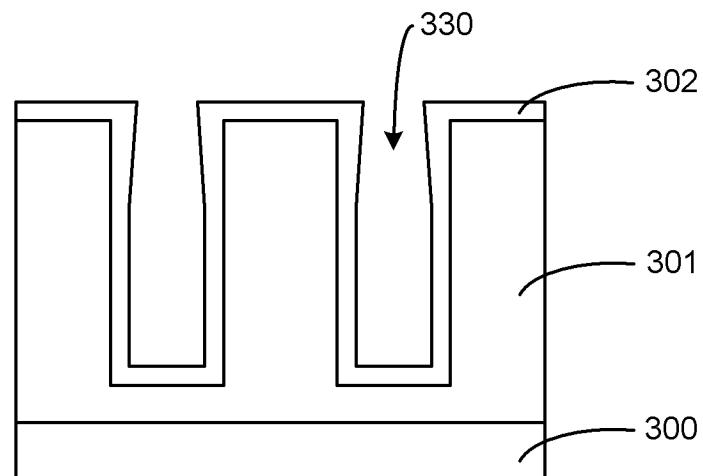


图 3B

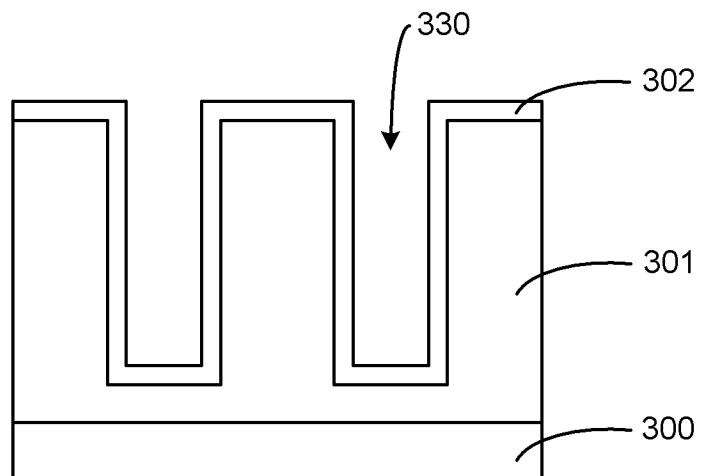


图 3C

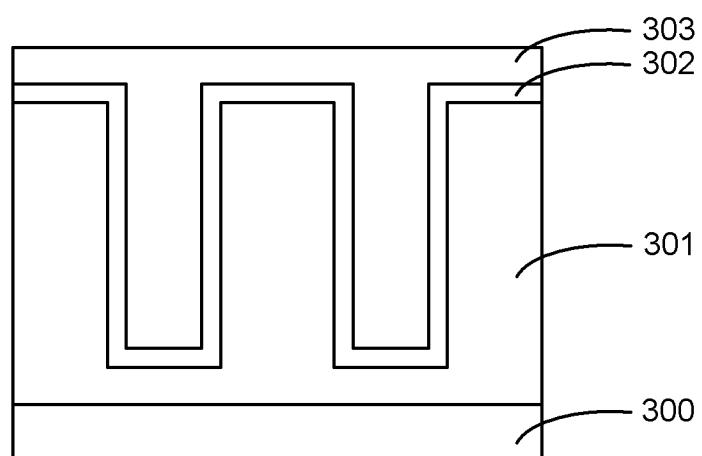


图 3D

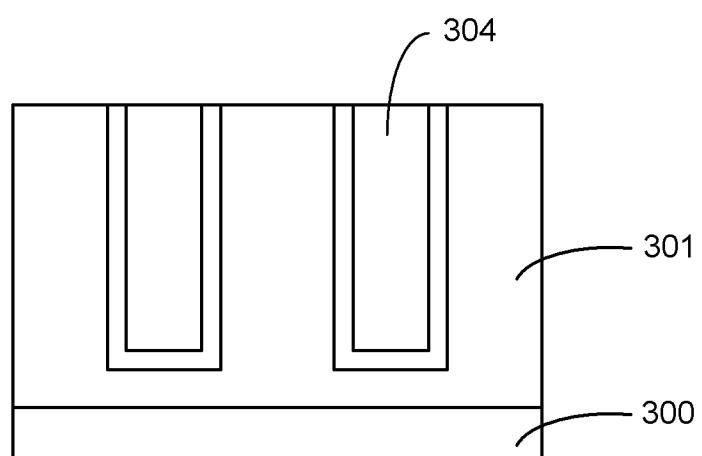


图 3E

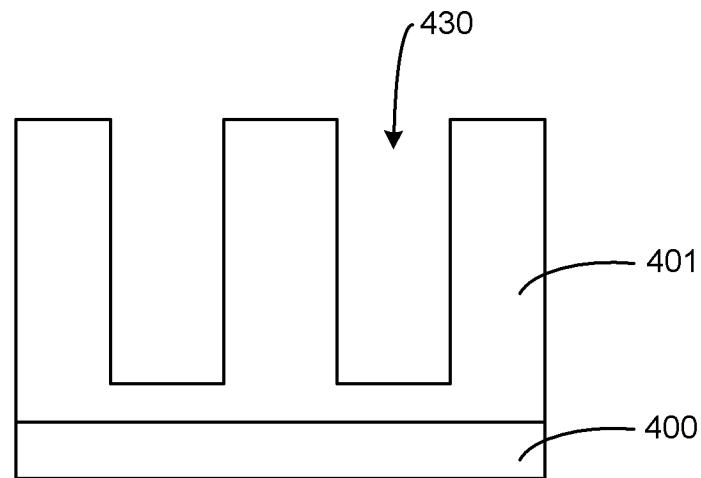


图 4A

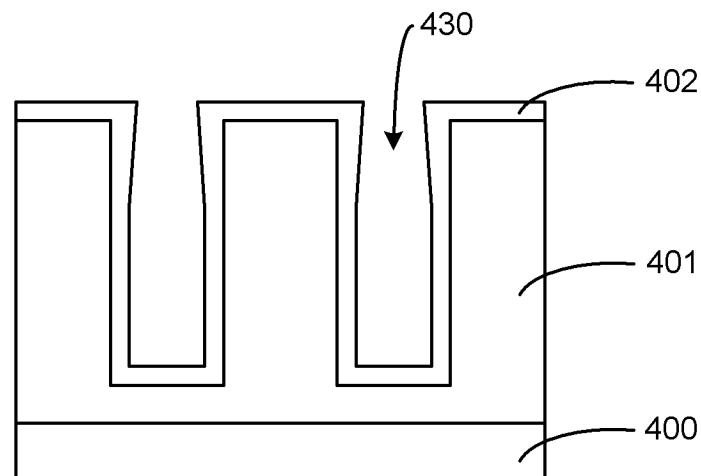


图 4B

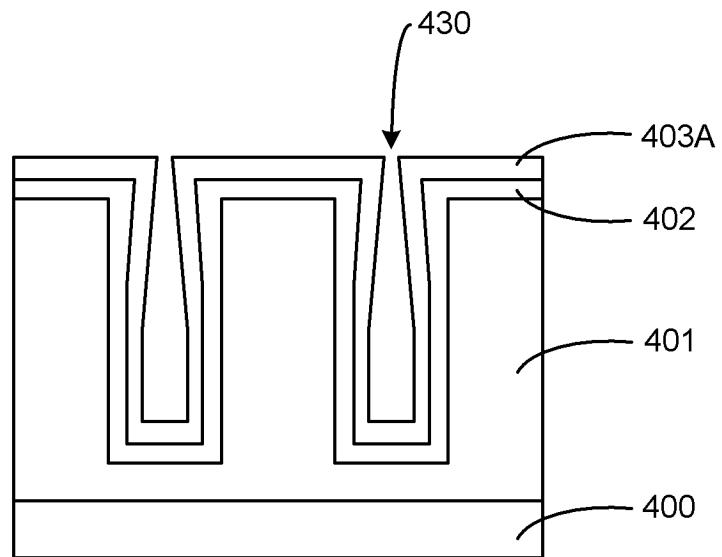


图 4C

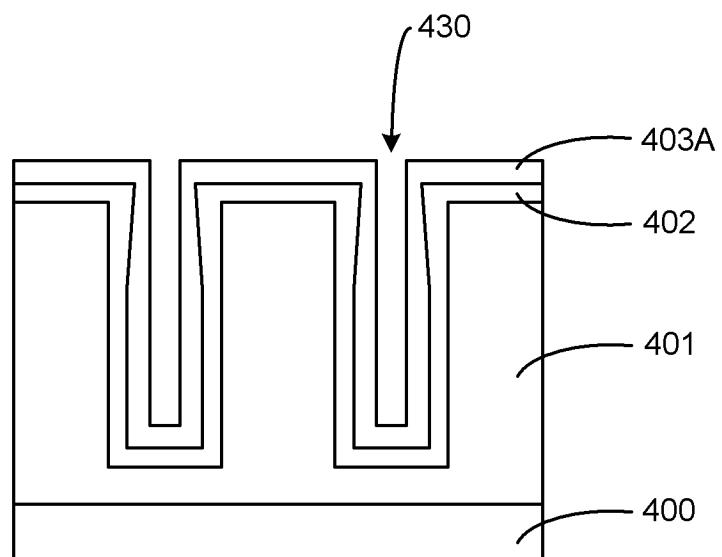


图 4D

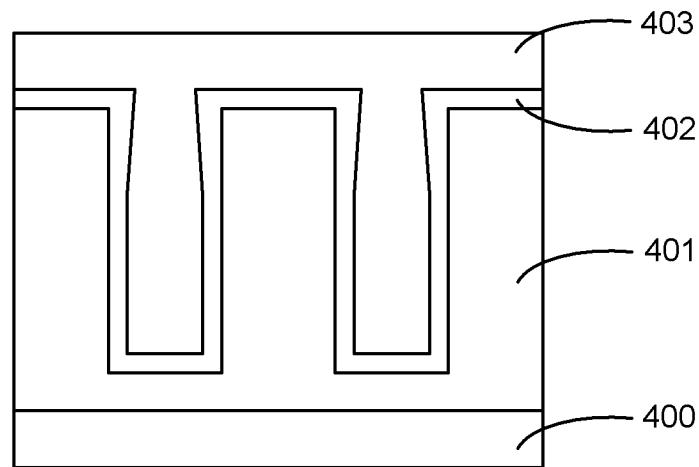


图 4E

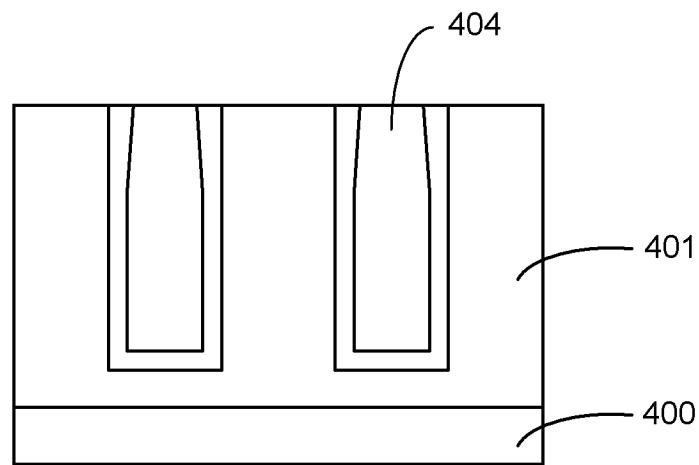


图 4F