



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115877653 A

(43) 申请公布日 2023. 03. 31

(21) 申请号 202210806502.8

(22) 申请日 2022.07.08

(30) 优先权数据

63/294,719 2021.12.29 US

17/710,545 2022.03.31 US

(71) 申请人 台湾积体电路制造股份有限公司

地址 中国台湾新竹

(72) 发明人 赵子昂 李明洋 郑兆钦 汪涵

(74) 专利代理机构 北京德恒律治知识产权代理

有限公司 11409

专利代理师 章社杲 李伟

(51) Int. Cl.

G03F 1/62 (2012.01)

G03F 1/64 (2012.01)

G03F 7/20 (2006.01)

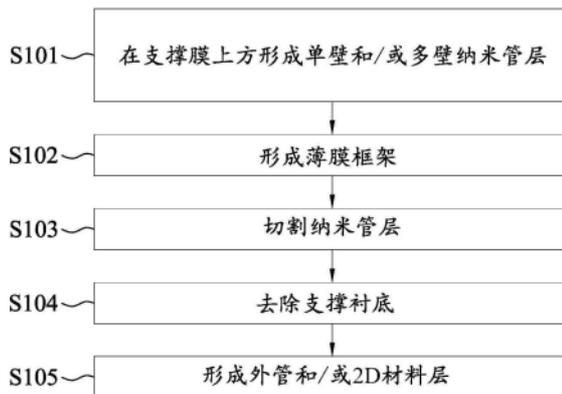
权利要求书1页 说明书13页 附图33页

(54) 发明名称

用于EUV光刻掩模的薄膜及其制造方法

(57) 摘要

用于极紫外 (EUV) 反射掩模的薄膜,包括薄膜框架和附接至薄膜框架的主膜。主膜包括多个纳米管,每个纳米管包括单壁纳米管或同轴纳米管,并且单壁纳米管或同轴纳米管的最外纳米管为非碳基纳米管。本发明的实施例还提供了制造用于极紫外 (EUV) 反射掩模的薄膜的方法。



1. 一种制造用于极紫外 (EUV) 反射掩模的薄膜的方法, 包括:
形成包含多个纳米管的纳米管层;
在所述纳米管层上方形成二维材料层; 以及
用所述二维材料层将薄膜框架附接至所述纳米管层。
2. 根据权利要求1所述的方法, 其中:
所述纳米管层包括所述多个纳米管的网, 并且
所述二维材料层从作为晶种的所述网的交点开始生长。
3. 根据权利要求1所述的方法, 其中, 所述二维材料层为选自由氮化硼和过渡金属二硫族化合物 (TMD) 组成的组中的一种, 其中, 过渡金属二硫族化合物由 MX_2 表示, 其中, M 为 Mo、W、Pd、Pt 或 Hf 中的一种或多种, 并且 X 为 S、Se 或 Te 中的一种或多种。
4. 根据权利要求3所述的方法, 其中, 所述二维材料层的厚度在 0.3nm 至 3nm 的范围内。
5. 根据权利要求4所述的方法, 其中, 所述二维材料层的层数量为 1 至 10。
6. 根据权利要求1所述的方法, 其中, 所述多个纳米管是单壁纳米管。
7. 根据权利要求6所述的方法, 其中, 所述单壁纳米管由非碳基材料制成。
8. 根据权利要求7所述的方法, 其中, 所述非碳基材料为选自由氮化硼和过渡金属二硫族化合物 (TMD) 组成的组中的一种, 其中, 过渡金属二硫族化合物由 MX_2 表示, 其中, M 为 Mo、W、Pd、Pt 或 Hf 中的一种或多种, 并且 X 为 S、Se 或 Te 中的一种或多种。
9. 一种制造用于极紫外 (EUV) 反射掩模的薄膜的方法, 包括:
形成包括多个纳米管的第一纳米管层;
形成包括多个纳米管的第二纳米管层; 以及
在薄膜框架上方堆叠所述第一纳米管层和所述第二纳米管层, 其中:
所述第一纳米管层的所述多个纳米管沿第一轴布置, 并且所述第二纳米管层的所述多个纳米管沿第二轴布置, 并且
堆叠所述第一纳米管层与所述第二纳米管层, 使得所述第一轴与所述第二轴相交。
10. 一种用于极紫外 (EUV) 反射掩模的薄膜, 包括:
薄膜框架; 以及
主膜, 附接至所述薄膜框架, 其中:
所述主膜包括多个纳米管, 每个纳米管包括单壁纳米管或同轴纳米管, 并且
所述单壁纳米管或所述同轴纳米管的最外纳米管为非碳基纳米管。

用于EUV光刻掩模的薄膜及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明的实施例涉及用于EUV光刻掩模的薄膜及其制造方法。

背景技术

[0002] 薄膜是在框架上方拉伸的薄透明膜,该薄膜粘在光掩模的一侧上方,以保护光掩模免受损坏、灰尘和/或湿气。在极紫外(EUV)光刻中,通常需要在EUV波长区域具有高透明度、高机械强度和低热膨胀的薄膜。

发明内容

[0003] 本发明的一些实施例提供了一种制造用于极紫外(EUV)反射掩模的薄膜的方法,包括:形成包含多个纳米管的纳米管层;在所述纳米管层上方形成二维材料层;以及用所述二维材料层将薄膜框架附接至所述纳米管层。

[0004] 本发明的另一些实施例提供了一种制造用于极紫外(EUV)反射掩模的薄膜的方法,包括:形成包括多个纳米管的第一纳米管层;形成包括多个纳米管的第二纳米管层;以及在薄膜框架上方堆叠所述第一纳米管层和所述第二纳米管层,其中:所述第一纳米管层的所述多个纳米管沿第一轴布置,并且所述第二纳米管层的所述多个纳米管沿第二轴布置,并且堆叠所述第一纳米管层与所述第二纳米管层,使得所述第一轴与所述第二轴相交。

[0005] 本发明的又一些实施例提供了一种用于极紫外(EUV)反射掩模的薄膜,包括:薄膜框架;以及主膜,附接至所述薄膜框架,其中:所述主膜包括多个纳米管,每个纳米管包括单壁纳米管或同轴纳米管,并且所述单壁纳米管或所述同轴纳米管的最外纳米管为非碳基纳米管。

附图说明

[0006] 当结合附图进行阅读时,从以下详细描述可最佳理解本发明的方面。需要强调的是,根据工业中的标准实践,各个部件未按比例绘制。实际上,为了清楚的讨论,各个部件的尺寸可以任意地增大或减小。

[0007] 图1A和图1B示出了根据本发明的实施例的用于EUV光掩模的薄膜。

[0008] 图2A、图2B、图2C和图2D示出了根据本发明的实施例的多壁纳米管的各个视图。

[0009] 图3A和图3B示出了根据本发明的实施例的用于EUV光掩模的薄膜的各个网路膜100。

[0010] 图4A、图4B、图4C和图4D示出了根据本发明的实施例的用于EUV光掩模的薄膜的网路膜的各个视图。

[0011] 图5A、图5B和图5C示出了根据本发明的实施例的用于薄膜的纳米管网络膜的制造。

[0012] 图6A、图6B、图6C和图6D示出了根据本发明的实施例的用于薄膜的纳米管网路膜的制造。

[0013] 图7A示出了网路膜的制造工艺,并且图7B示出了根据本发明实施例的该制造工艺的流程图。

[0014] 图8A、图8B和图8C示出了根据本发明的实施例的多壁纳米管的制造工艺。图8D和图8E示出了根据本发明的实施例的多壁纳米管的结构。

[0015] 图9A、图9B和图9C示出了根据本发明的一些实施例的由具有二维材料层的多壁纳米管形成的网路膜。

[0016] 图10A和图10B示出了根据本发明的实施例的用于制造用于EUV光掩模的薄膜的各个阶段中的一个的截面图和平面(顶视)图。

[0017] 图11A和图11B示出了根据本发明的实施例的用于制造用于EUV光掩模的薄膜的各个阶段中的一个的截面图和平面(顶视)图。

[0018] 图12A和图12B示出了根据本发明的实施例的用于制造用于EUV光掩模的薄膜的各个阶段中的一个的截面图和平面(顶视)图。

[0019] 图13A和图13B示出了根据本发明的实施例的用于制造用于EUV光掩模的薄膜的各个阶段中的一个的截面图和平面(顶视)图。

[0020] 图14A示出了根据本发明的实施例的用于制造用于EUV光掩模的薄膜的各个阶段中的一个的截面图和平面(顶视)图。图14B示出了根据本发明的实施例的用于制造用于EUV光掩模的薄膜的各个阶段的截面图。

[0021] 图15A、图15B和图15C示出了根据本发明的实施例的制造用于EUV光掩模的薄膜的流程图。

[0022] 图16A、图16B、图16C、图16D和图16E示出了根据本发明的实施例的用于EUV光掩模的薄膜的透视图。

[0023] 图17A示出了制作半导体器件的方法的流程图,图17B、图17C、图17D和图17E示出了根据本发明的实施例的制作半导体器件的方法的顺序制造操作。

具体实施方式

[0024] 应该理解,以下公开内容提供了许多用于实现本发明的不同部件的不同实施例或实例。下面描述了组件和布置的具体实施例或实例以简化本发明。当然,这些仅仅是实例,而不旨在限制本发明。例如,元件的尺寸不限于所公开的范围或值,而是可以取决于器件的工艺条件和/或期望特性。此外,以下描述中,在第二部件上方或者上形成第一部件可以包括第一部件和第二部件直接接触形成的实施例,并且也可以包括可以形成介于第一部件和第二部件之间的额外的部件,从而使得第一部件和第二部件可以不直接接触的实施例。为了简单和清晰,各个部件可以以不同的比例任意绘制。在附图中,为了简化可以省略一些层/部件。

[0025] 此外,为了便于描述,本文可以使用诸如“在…之下”、“在…下方”、“下部”、“在…之上”、“上部”等空间相对术语,以描述如图所示的一个元件或部件与另一个(或另一些)元件或部件的关系。除了图中所示的方位外,空间相对术语旨在包括器件在使用或操作中的不同方位。装置可以以其它方式定向(旋转90度或在其它方位上),而本文使用的空间相对描述符可以同样地作出相应的解释。此外,术语“由…制成”可以表示“包括”或“由…组成”。此外,在以下制造工艺中,在所描述的操作之间可能存在一个或多个额外的操作,并且操作

的顺序可以改变。在本发明中,短语“A、B和C中的至少一个”表示A、B、C、A+B、A+C、B+C或A+B+C中的任何一个,而不表示来自A的一个、来自B的一个和来自C的一个,除非另有解释。利用一个实施例解释的材料、配置、结构、操作和/或尺寸可以应用于其它实施例,并且可以省略它们的详细描述。

[0026] EUV光刻是用于扩展摩尔定律的关键技术中的一个。然而,由于从193nm (ArF) 至13.5nm的波长缩放,EUV光源由于环境吸附而遭受强烈的功率衰减。即使步进机/扫描仪室在真空中操作以防止气体对EUV的强烈吸附,但是保持从EUV光源至晶圆的高EUV透射率仍然是EUV光刻中的重要因素。

[0027] 薄膜通常需要高透明度和低反射率。在UV或DUV光刻中,薄膜由透明树脂膜制成。然而,在EUV光刻中,基于树脂的膜是不可接受的,并且使用非有机材料,诸如多晶硅、硅化物或金属膜。

[0028] 碳纳米管(CNT)是适合用于EUV反射光掩模的薄膜的材料中的一个,因为CNT具有超过96.5%的高EUV透射率。通常,用于EUV反射掩模的薄膜需要以下特性:(1)在EUV步进机/扫描仪中的富氢自由基操作环境中的长寿命;(2)强的机械强度,以最小化真空抽气和排气操作期间的垂度效应;(3)对大于约20nm的粒子(杀伤粒子)高或完美的阻挡性能;以及(4)良好的散热,以防止薄膜被EUV辐射烧坏。由非碳基材料制成的其他纳米管也可以用于EUV光掩模的薄膜。在本发明的一些实施例中,纳米管是具有在约0.5nm至约100nm的范围内的直径的一维细长管。

[0029] 在本发明中,用于EUV光掩模的薄膜包括具有形成有空隙的网状结构的多个多壁纳米管的网路膜和至少部分地填充空隙的二维材料层。这样的薄膜具有高EUV透射率、提高的机械强度,阻止杀伤粒子落在EUV掩模上和/或具有提高的耐久性。

[0030] 图1A和图1B示出了根据本发明的实施例的EUV薄膜10。在一些实施例中,用于EUV反射掩模的薄膜10包括设置在薄膜框架15上方并且附接至薄膜框架15的主网路膜100。在一些实施例中,如图1A所示,主网路膜100包括多个单壁纳米管100S,而在其他实施例中,如图1B所示,主网路膜100包括多个多壁纳米管100M。在一些实施例中,单壁纳米管是碳纳米管,而在其他实施例中,单壁纳米管是由非碳基材料制成的纳米管。在一些实施例中,非碳基材料包括氮化硼(BN)、由 MX_2 表示的过渡金属二硫族化合物(TMD)中的至少一种,其中 $M=Mo、W、Pd、Pt$ 和/或 Hf ,并且 $X=S、Se$ 和/或 Te 。在一些实施例中,TMD是 $MoS_2、MoSe_2、WS_2$ 或 WSe_2 中的一种。

[0031] 在一些实施例中,多壁纳米管是同轴纳米管(co-axial nanotube),该同轴纳米管具有同轴围绕内管的两个或更多个管。在一些实施例中,主网路膜100仅包括一种类型的纳米管(单壁/多壁或材料),而在其他实施例中,不同类型的纳米管形成主网路膜100。

[0032] 在一些实施例中,薄膜(支撑)框架15被附接至主网路膜100以当薄膜(支撑)框架15安装在EUV掩模上时保持薄膜的主网路膜和EUV掩模(图案区域)之间的间隔。通过适当的接合材料将薄膜的薄膜框架15附接到EUV光掩模的表面。在一些实施例中,接合材料是粘合剂,诸如丙烯酸或硅基胶或A-B交联型胶。框架结构的尺寸大于EUV光掩模的黑色边界的面积,使得薄膜不但覆盖光掩模的电路图案面积,而且覆盖黑色边界。

[0033] 图2A、图2B、图2C和图2D示出了根据本发明的实施例的多壁纳米管的各个视图。

[0034] 在一些实施例中,主网路膜100中的纳米管包括也被称为同轴纳米管的多壁纳米

管。图2A示出了具有三个管210、220和230的多壁同轴纳米管的透视图，并且图2B示出了它们的截面图。在一些实施例中，内管210是碳纳米管，并且两个外管220和230是非碳基纳米管，例如氮化硼纳米管。在一些实施例中，所有管都是非碳基纳米管。

[0035] 多壁纳米管的管数不限于三个。在一些实施例中，多壁纳米管具有如图2C所示的两个同轴纳米管，而在其他实施例中，多壁纳米管包括最内管210和包括最外管200N的第一至第N纳米管，其中，N为从1到约20的自然数，如图2D所示。在一些实施例中，N高达10或高达5。在一些实施例中，第一至第N外层中的至少一个是同轴围绕最内纳米管210的纳米管。在一些实施例中，最内纳米管210和第一至第N外层220、230、……200N中的两个由彼此不同的材料制成。在一些实施例中，N至少为二（即，三个或更多管），并且最内纳米管210和第一至第N外管220、230、……200N中的两个由相同的材料制成。在其他实施例中，最内纳米管210和第一至第N外管220、230、……200N中的三个由彼此不同的材料制成。

[0036] 在一些实施例中，多壁纳米管的每个纳米管为选自碳纳米管、氮化硼纳米管、过渡金属二硫族化合物(TMD)纳米管组成的组中的一种，其中TMD由 MX_2 表示，其中M为Mo、W、Pd、Pt或Hf中的一种或多种，并且X为S、Se或Te中的一种或多种。在一些实施例中，多壁纳米管的至少两个管由彼此不同的材料制成。在一些实施例中，多壁纳米管中的相邻两个层(管)由彼此不同的材料制成。在一些实施例中，多壁纳米管的最外纳米管是非碳基纳米管。

[0037] 在一些实施例中，多壁纳米管的最外管或最外层由至少一层氧化物制成，例如 HfO_2 、 Al_2O_3 、 ZrO_2 、 Y_2O_3 或 La_2O_3 ；由至少一层非氧化物的化合物制成，诸如 B_4C 、YN、 Si_3N_4 、BN、NbN、RuNb、 YF_3 、TiN或ZrN；或者由至少一层金属层制成，例如，Ru、Nb、Y、Sc、Ni、Mo、W、Pt或Bi。

[0038] 在一些实施例中，多壁纳米管包括由彼此不同的材料制成的三个同轴分层管。在其他实施例中，多壁纳米管包括三个同轴分层管，其中最内管(第一管)和围绕最内管的第二管由彼此不同的材料制成，并且围绕第二管的第三管是由与最内管或第二管相同的材料或不同的材料制成。

[0039] 在一些实施例中，多壁纳米管包括四个同轴分层的管，每个管由不同的材料A、B或C制成。在一些实施例中，四个层的材料从最内(第一)管到第四管为A/B/A/A、A/B/A/B、A/B/A/C、A/B/B/A、A/B/B/B、A/B/B/C、A/B/C/A、A/B/C/B或A/B/C/C。

[0040] 在一些实施例中，多壁纳米管的所有管都是结晶纳米管。在其它实施例中，一个或多个管是包裹一个或多个内管的非晶体(例如，非晶)层。在一些实施例中，最外管由例如 HfO_2 、 Al_2O_3 、 ZrO_2 、 Y_2O_3 、 La_2O_3 、 B_4C 、YN、 Si_3N_4 、BN、NbN、RuNb、 YF_3 、TiN、ZrN、Ru、Nb、Y、Sc、Ni、Mo、W、Pt或Bi的层制成。

[0041] 在一些实施例中，最内纳米管的直径在从约0.5nm至约20nm的范围内，并且在其它实施例中在从约1nm至约10nm的范围内。在一些实施例中，多壁纳米管的直径(即，最外管的直径)在从约3nm至约40nm的范围内，并且在其它实施例中在从约5nm至约20nm的范围内。在一些实施例中，多壁纳米管的长度在从约0.5 μm 至约50 μm 的范围内，并且在其它实施例中在从约1.0 μm 至约20 μm 的范围内。

[0042] 图3A和图3B示出了根据本发明的实施例的用于EUV光掩模的薄膜的各个网路膜100。

[0043] 在一些实施例中，网路膜100包括多个多壁纳米管101，如图3A所示。在一些实施例

中,多个多壁纳米管随机布置以形成诸如网的网路结构。在一些实施例中,多个多壁纳米管在材料和结构(层的数量)方面仅包括一种类型的多壁纳米管。在其它实施例中,多个多壁纳米管在材料和结构(层的数量)方面包括两种或多种类型的多壁纳米管。例如,多个多壁纳米管包括:第一类型的多壁纳米管(例如,两壁纳米管)和第二类型的多壁纳米管(例如,三壁纳米管);第一类型的多壁纳米管(例如,层A和层B的两壁纳米管)和第二类型的多壁纳米管(例如,层A和层C的两壁纳米管)。在一些实施例中,堆叠不同的纳米管层以形成主网路膜100。

[0044] 在一些实施例中,主网路层100包括多个一种或多种类型的多壁纳米管101和多个一种或多种类型的单壁纳米管111,如图3B所示。在一些实施例中,堆叠不同的纳米管层以形成主网路膜100。在一些实施例中,单壁纳米管111的量(重量)小于多壁纳米管101的量。在一些实施例中,单壁纳米管111的量(重量)大于多壁纳米管101的量。在一些实施例中,多壁纳米管101的量(重量)相对于网路膜100的总重量为至少约20wt%,或者在其它实施例中为至少40wt%。当多壁纳米管的量小于这些范围时,可能无法获得足够的网路膜强度。

[0045] 图4A、图4B、图4C和图4D示出了根据本发明的实施例的用于EUV光掩模的薄膜的网路膜的各种视图。在一些实施例中,网路膜100具有单层结构或多层结构。

[0046] 在一些实施例中,网路膜100具有多个多壁纳米管的单层110,如图4A所示。在一些实施例中,网路膜100具有不同类型的多壁纳米管110和112的两层,如图4B所示。层110和层112的厚度彼此相同或不同。在一些实施例中,网路膜100具有纳米管110、112和114的三层,如图4C所示。在一些实施例中,至少相邻的层是不同的类型(例如,材料和/或壁的数量)。层110、112和114的厚度彼此相同或不同。在一些实施例中,单壁纳米管层设置在两个多壁纳米管层之间。在一些实施例中,网路膜100具有不同类型纳米管的混合物的单层115,如图4D所示。

[0047] 图5A、图5B和图5C示出了根据本发明的实施例的用于薄膜的纳米管网路膜的制造。

[0048] 在一些实施例中,通过化学气相沉积(CVD)工艺来形成纳米管。在一些实施例中,通过使用如图5A所示的立式炉来执行CVD工艺,并且在支撑膜80上沉积合成的纳米管,如图5B所示。在一些实施例中,碳纳米管由碳源气体(前体)使用合适的催化剂来形成。在其他实施例中,非碳基纳米管由包含B、S、Se、Mo和/或W的适当源气体来形成。然后,将形成在支撑膜80上方的网路膜100从支撑膜80分离,并转移到薄膜框架15上,如图5C所示。

[0049] 在一些实施例中,其上设置有支撑膜80的平台或基座连续或间歇地(逐步方式)旋转,使得合成的纳米管以不同的或随机的方向沉积在支撑膜80上。

[0050] 图6A、图6B、图6C和图6D示出了根据本发明的实施例的用于薄膜的纳米管网路膜的制造。在一些实施例中,如图6A所示,在立式炉中由附接到支撑框架或支撑棒的催化剂来形成多个细长纳米管。在一些实施例中,垂直形成的纳米管形成独立的纳米管片。在一些实施例中,纳米管在片中彼此缠结。在一些实施例中,纳米管片的长度在约5cm至约50cm的范围内。

[0051] 在一些实施例中,在从支撑框架或棒上的催化剂生长细长单壁纳米管之后,形成一个或多个外纳米管同轴包裹在单壁纳米管周围。在一些实施例中,通过CVD在单壁碳纳米管周围形成BN纳米管和/或TMD纳米管。在一些实施例中,将金属源(Mo、W等)和硫族元素源

作为气体源供应到立式炉中。

[0052] 在一些实施例中,在形成 MoS_2 层的情况下,将 $\text{Mo}(\text{CO})_6$ 气体、 MoCl_5 气体和/或 MoOCl_4 气体用作Mo源,并且将 H_2S 气体和/或二甲基硫醚气体用作S源。

[0053] 在一些实施例中,纳米管片被放置在支撑膜80上,如图6B所示。在一些实施例中,以及去除(例如,切除)支撑框架或杆并且将纳米管片切割成期望的尺寸以匹配标线框架。在一些实施例中,纳米管片的纳米管基本上与特定方向对齐,例如,如图6B所示的X方向。在一些实施例中,当第一层的每个纳米管经受如图6C所示的线性逼近时,纳米管片的纳米管中超过约90%的纳米管相对于X方向具有 $\pm 15^\circ$ 的角度 θ 。在一些实施例中,X方向与线性近似的纳米管的平均方向一致。

[0054] 在一些实施例中,将具有匹配薄膜框架的所需形状的两个或更多个纳米管片堆叠并且附接到形成网路膜的薄膜框架15,使得纳米管片的两个相邻层具有不同的对齐轴(例如,不同的方向),如图6D所示。在一些实施例中,一个层的对齐轴与相邻层的对齐轴形成约 30° 至约 90° 的角度。在一些实施例中,纳米管片的层数量N和相邻片之间的角度差A满足 $N \times A = n \times 180^\circ$,其中,N为2或更大的自然数,并且n为1或更大的自然数。在一些实施例中,N高达10。在一些实施例中,在形成纳米管片的堆叠件之后,将堆叠的片切割成期望的形状以形成网路膜,并且然后将网路膜附接至薄膜框架。

[0055] 图7A示出了网路膜的制造工艺,并且图7B示出了根据本发明的实施例的它们的流程图。

[0056] 在一些实施例中,纳米管分散在溶液中,如图7A中所示。该溶液包括诸如水或有机溶剂的溶剂以及诸如十二烷基硫酸钠(SDS)的表面活性剂。纳米管是一种类型或两种或更多种类型的纳米管(材料和/或壁的数量)。在一些实施例中,纳米管是单壁纳米管。在一些实施例中,单壁纳米管是通过各种方法形成的碳纳米管,诸如电弧放电、激光烧蚀或化学气相沉积(CVD)方法。类似地,单壁BN纳米管和单壁TMD纳米管也通过CVD工艺形成。

[0057] 如图7A中所示,支撑膜放置在其中设置有纳米管分散溶液的室或圆筒和真空室之间。在一些实施例中,支撑膜是有机或无机多孔或网状材料。在一些实施例中,支撑膜是织造或非织造织物。在一些实施例中,支撑膜具有圆形形状,其中可以放置 $150\text{mm} \times 150\text{mm}$ 正方形(EUV掩模的尺寸)的薄膜尺寸。

[0058] 如图7A中所示,真空室中的压力减小,使得压力施加至室或圆筒中的溶剂。因为支撑膜的网孔或孔径尺寸比纳米管的尺寸足够小,所以在溶剂通过支撑膜时纳米管被支撑膜捕获。从图7A的过滤装置分离并且然后干燥其上沉积有纳米管的支撑膜。在一些实施例中,重复过滤沉积以便获得纳米管网路层的期望厚度,如图7B中所示。在一些实施例中,在溶液中沉积纳米管之后,将其它纳米管分散在相同或新溶液中并且重复过滤器沉积。在其它实施例中,在纳米管干燥之后,执行另一过滤器沉积。在重复中,在一些实施例中使用相同类型的纳米管,并且在其它实施例中使用不同类型的纳米管。在一些实施例中,分散在溶液中的纳米管包括多壁纳米管。

[0059] 图8A、图8B和图8C示出了根据本发明的实施例的多壁纳米管的制造工艺。在一些实施例中,通过使用单壁纳米管作为晶种通过CVD来形成多壁纳米管,如图8A所示。在一些实施例中,在衬底上方放置通过CVD形成的诸如碳纳米管、BN纳米管或TMD纳米管的单壁纳米管。然后,在具有晶种纳米管的衬底上方提供源材料,诸如源气体。

[0060] 在一些实施例中,使用从固体 MoO_3 或 MoCl_5 源升华的含Mo气体(例如, MoO_3 气体)和/或从固体S源升华的含S气体,如图8A所示。如图8A所示,将Mo和S的固体源放置在反应室中并且在反应室中流动包含惰性气体(诸如Ar、 N_2 和/或He)的载气。加热固体源以通过升华产生气态源,并且产生的气体反应形成 MoS_2 分子。然后将 MoS_2 分子沉积在衬底上方的晶种纳米管周围。在一些实施例中,适当地加热衬底。在其他实施例中,通过感应加热来加热整个反应室。

[0061] 在其他实施例中,将例如金属源(Mo、W等)的固体源中的一个作为气体源供应到室中,如图8B所示。在形成 MoS_2 层的情况下, $\text{Mo}(\text{CO})_6$ 气体、 MoCl_5 气体和/或 MoOCl_4 气体用作Mo源。在一些实施例中,当S源作为气体供应时, H_2S 气体和/或二甲基硫醚气体用作S源。在一些实施例中,金属源和硫族元素源两者均作为气体提供。

[0062] 在一些实施例中,通过CVD来形成具有BN纳米管作为外纳米管的多壁纳米管,如图8C所示。在一些实施例中,B源是在约 60°C 至 100°C 范围内的温度下被加热并由载气(例如,Ar气)携带的 NH_3BH_3 。在一些实施例中,还使用额外的载气或稀释的气体。

[0063] 也可以使用合适的源气体通过CVD来形成其他TMD层。例如,可以将诸如 WO_3 、 PdO_2 和 PtO_2 的金属氧化物分别用作W、Pd和Pt的升华源,并且可以将诸如 $\text{W}(\text{CO})_6$ 、 WF_6 、 WCl_4 、 PtCl_2 和 PdCl_2 的金属化合物用作金属源。在其他实施例中,将晶种纳米管浸入、分散在一种或多种金属前体(诸如 $(\text{NH}_4)\text{WS}_4$ 、 WO_3 、 $(\text{NH}_4)\text{MoS}_4$ 或 MoO_3)中或者通过一种或多种金属前体(诸如 $(\text{NH}_4)\text{WS}_4$ 、 WO_3 、 $(\text{NH}_4)\text{MoS}_4$ 或 MoO_3)处理,并且将晶种纳米管放置在衬底上方,并且然后在衬底上方提供硫气体以形成多壁纳米管。

[0064] 在一些实施例中,通过重复上述工艺来形成三个或更多个同轴纳米管。

[0065] 在一些实施例中,如图8D所示,多壁纳米管包括内纳米管和完全同轴地围绕内纳米管的外纳米管。在其他实施例中,当用作晶种层的纳米管形成网路时,外纳米管同轴地围绕内管,并且两个或多个内管相互接触,如图8E所示。

[0066] 图9A、图9B和图9C示出了根据本发明的一些实施例的由具有二维材料层的多壁纳米管形成的网路膜。

[0067] 如上所述,形成了包括单壁纳米管和/或多壁纳米管的一层或多层的网路膜。在一些实施例中,每层形成具有多个空隙或间隔的网状结构。如图9A和图9B所示,形成二维材料层120以部分或完全填充空隙。

[0068] 在一些实施例中,二维材料层120包括氮化硼(BN)和/或由 MX_2 表示的过渡金属二硫族化合物(TMD)中的至少一种,其中 $\text{M}=\text{Mo}$ 、W、Pd、Pt和/或Hf,并且 $\text{X}=\text{S}$ 、Se和/或Te。在一些实施例中,TMD是 MoS_2 、 MoSe_2 、 WS_2 或 WSe_2 中的一种。在一些实施例中,二维材料层120的厚度在约 0.3nm 至约 3nm 的范围内,并且在其他实施例中在约 0.5nm 至约 1.5nm 的范围内。在一些实施例中,二维材料层的数量为1至约20,而在其他实施例中为2至约5。

[0069] 在一些实施例中,通过使用过渡金属源气体和硫族元素源气体的CVD来形成二维层,类似于关于图8A至图8C解释的工艺。在一些实施例中,二维层包括使用含碳气体通过CVD形成的石墨烯。如图9A所示,二维材料层的生长从作为晶种点的纳米管网路的交点处开始并向外生长。在一些实施例中,二维材料层的生长与外管的生长顺序地或单独地组合。在一些实施例中,BN或TMD外管形成在单壁(或多壁)纳米管周围,并且二维层连续形成以填充空隙。

[0070] 在一些实施例中,网路膜包括空隙,每个空隙具有 10nm^2 至 1000nm^2 的面积,并且二维层填充每个空隙在平面图面积(作为表面积)中的约30%至约100%。因此,一些空隙被二维层完全填充或阻挡,而一些空隙仅被二维层部分填充或阻挡。

[0071] 将具有二维材料层的网路膜附接到薄膜框架,如图9C所示。填充空隙的二维层提供了良好的散热路径来释放热量。

[0072] 图10A和图10B至图13A和图13B示出了根据本发明的实施例的用于制造用于EUV光掩模的薄膜的各个阶段的截面图(“A”图)和平面(顶视图) (“B”图)。可以理解,对于该方法的其他实施例,可以在图10A至图13B所示的工艺之前、期间和之后提供额外的操作,并且可以替换或消除下面描述的一些操作。操作/工艺的顺序可以互换。如关于前述实施例所解释的材料、配置、方法、工艺和/或尺寸适用于以下实施例,并且可以省略其详细描述。

[0073] 通过如上所述的一种或多种方法在支撑膜80上形成纳米管层90。在一些实施例中,纳米管层90包括单壁纳米管、多壁纳米管或它们的混合物。在一些实施例中,纳米管层90仅包括单壁纳米管。在一些实施例中,单壁纳米管是非碳基纳米管,诸如BN纳米管或TMD纳米管。

[0074] 然后,如图11A和图11B所示,将薄膜框架15附接到纳米管层90。在一些实施例中,薄膜框架15由晶体硅、多晶硅、氧化硅、氮化硅、陶瓷、金属或有机材料的一层或多层形成。在一些实施例中,如图11B所示,薄膜框架15具有矩形(包括正方形)的框架形状,薄膜框架15大于EUV掩模的黑色边界面积并且小于EUV掩模的衬底。

[0075] 接下来,在一些实施例中,如图12A和图12B所示,将纳米管层90和支撑膜80切割成具有与薄膜框架15相同尺寸或比薄膜框架15稍大的矩形形状,并且然后将支撑膜80分离或去除。当支撑膜80由有机材料制成时,通过使用有机溶剂的湿蚀刻来去除支撑膜80。

[0076] 然后,在一些实施例中,围绕每个纳米管(例如,单壁纳米管)形成一个或多个外纳米管和/或形成二维材料层以至少部分地填充纳米管层90的空隙,以形成网路膜100,如图13A和图13B所示。在一些实施例中,执行如上所述的CVD工艺以将纳米管层90用作晶种层形成外纳米管和/或二维材料层。将CVD工艺重复所需次数以形成两个或更多个外管和/或两层或更多层二维材料。

[0077] 在一些实施例中,当多壁纳米管层91直接形成在支撑膜80上方时,如图14A所示。在一些实施例中,如图14B所示,在支撑膜80上方形成包括单壁纳米管的纳米管层90之后,在支撑衬底80将单壁纳米管转化为多壁纳米管和/或形成二维材料层以至少部分地填充空隙。在支撑膜上方形成包括多壁纳米管的纳米管层91和/或形成二维材料层之后,附接薄膜框架15,并且然后将纳米管层切割成期望的形状。

[0078] 图15A、图15B和图15C示出了根据本发明的实施例的制造用于EUV光掩模的薄膜的流程图。可以理解的是,对于该方法的额外实施例,可以在图15A至图15C所示的工艺框之前、期间和之后提供额外的操作,并且可以替换或消除下面描述的一些操作。操作/工艺的顺序可以互换。如关于前述实施例所解释的材料、配置、方法、工艺和/或尺寸适用于以下实施例,并且可以省略其详细描述。

[0079] 在一些实施例中,如图15A所示,在框S101处,在支撑膜上方形成包括单壁纳米管和/或多壁纳米管的纳米管层。然后,在框S102处,将薄膜框架附接到纳米管层或在纳米管层上方形成薄膜框架。在框S103处,将纳米管层和支撑膜切割成所需的形状,并且在框S104

处,去除支撑膜。在框S105处,在单壁纳米管周围分别形成一个或多个外管和/或在纳米管层的空隙中形成二维材料层。在一些实施例中,在框S101和S102之间执行框S015。在一些实施例中,单壁纳米管和/或多壁纳米管的外纳米管中的一个是非碳基纳米管。在其他实施例中,单壁纳米管和/或多壁纳米管的最内纳米管是碳纳米管。

[0080] 在一些实施例中,如图15B所示,在框S201处,在支撑膜上方形成包括单壁纳米管和/或多壁纳米管的纳米管层。然后,在框S202处,堆叠在框S201处形成的两个或更多个纳米管层。在一些实施例中,相邻两个纳米管层的取向彼此不同。在框S203处,将堆叠的纳米管层切割成期望的形状,并且在框S204处,在堆叠的纳米管层上方形成薄膜框架。在一些实施例中,单壁纳米管和/或多壁纳米管的外纳米管中的一个是非碳基纳米管。在其他实施例中,单壁纳米管和/或多壁纳米管的最内纳米管是碳纳米管。

[0081] 在一些实施例中,如图15C所示,在框S301处,在支撑膜上方形成包括单壁纳米管和/或多壁纳米管的纳米管层。然后,在框S302处,在纳米管上方形成一个或多个外管和/或二维材料层。在框S303处,堆叠在S302处形成的两个或更多个纳米管层。在一些实施例中,相邻两个纳米管层的取向彼此不同。在框S304处,将堆叠的纳米管层切割成期望的形状,并且在框S305处,在堆叠的纳米管层上方形成薄膜框架。在一些实施例中,单壁纳米管和/或多壁纳米管的外纳米管中的一个是非碳基纳米管。在其他实施例中,单壁纳米管和/或多壁纳米管的最内纳米管是碳纳米管。

[0082] 图16A至图16E示出了根据本发明的一些实施例的薄膜的结构。如关于前述实施例所解释的材料、配置、方法、工艺和/或尺寸适用于以下实施例,并且可以省略其详细描述。

[0083] 在一些实施例中,薄膜的主膜是纳米管网路的单层,如图16A所示。在一些实施例中,纳米管网路由单壁纳米管形成。在一些实施例中,单壁纳米管由非碳基材料制成,诸如BN或TMD。在一些实施例中,将单壁纳米管层的两层或更多层堆叠以形成如图16B所示的主膜。在一些实施例中,两个相邻纳米管层的取向彼此不同。在一些实施例中,主膜由多壁纳米管形成,如图16C所示。在一些实施例中,多壁纳米管包括最内纳米管和一个或多个外纳米管,一个或多个外纳米管中的一个由诸如BN或TMD的非碳基材料制成。

[0084] 在一些实施例中,主膜包括具有由单壁纳米管形成的网状结构的纳米管层,其中网状结构的空隙由二维材料层部分或完全填充,如图16D所示。在一些实施例中,单壁纳米管由非碳基材料制成,诸如BN或TMD。在其他实施例中,主膜包括具有由多壁纳米管形成的网状结构的纳米管层,其中网状结构的空隙由二维材料层部分或完全填充,如图16E所示。

[0085] 图17A示出了制作半导体器件的方法的流程图,图17B、图17C、图17D和图17E示出了根据本发明实施例的制作半导体器件的顺序制造方法。提供半导体衬底或其他合适的衬底,该半导体衬底或其他合适的衬底将被图案化以在其上形成集成电路。在一些实施例中,半导体衬底包括硅。可选地或附加地,半导体衬底包括锗、硅锗或其他合适的半导体材料,诸如III-V族半导体材料。在图17A的S801处,在半导体衬底上方形成将被图案化的目标层。在某些实施例中,目标层是半导体衬底。在一些实施例中,目标层包括诸如金属层或多晶硅层的导电层;诸如氧化硅、氮化硅、SiO_N、SiO_C、SiOCN、SiCN、氧化铪或氧化铝的介电层;或诸如外延形成的半导体层的半导体层。在一些实施例中,目标层形成在诸如隔离结构、晶体管或布线的下面的结构上方。在图17A的S802,在目标层上方形成光刻胶层,如图17B所示。在随后的光刻曝光工艺期间,光刻胶层对来自曝光源的辐射敏感。在本实施例中,光刻胶层对

光刻曝光工艺中使用的EUV光敏感。可以通过旋涂或其它合适的技术在目标层上方形成光刻胶层。可以进一步烘烤涂覆的光刻胶层以驱除光刻胶层中的溶剂。在图17A的S803处,使用具有如上所述的薄膜的EUV反射掩模图案化光刻胶层,如图17C中所示。光刻胶层的图案化包括通过使用EUV掩模的EUV曝光系统执行光刻曝光工艺。在曝光工艺期间,限定在EUV掩模上的集成电路(IC)设计图案成像至光刻胶层以在其上形成潜在图案。光刻胶层的图案化还包括显影曝光的光刻胶层以形成具有一个或多个开口的图案化的光刻胶层。在光刻胶层是正性光刻胶层的一个实施例中,在显影工艺期间去除光刻胶层的曝光部分。光刻胶层的图案化还可以包括其它工艺步骤,诸如在不同阶段处的各个烘烤步骤。例如,可以在光刻曝光工艺之后和显影工艺之前实施曝光后烘烤(PEB)工艺。

[0086] 在图17A的S804处,利用图案化的光刻胶层作为蚀刻掩模来图案化目标层,如图17D所示。在一些实施例中,图案化目标层包括使用图案化的光刻胶层作为蚀刻掩模对目标层施加蚀刻工艺。蚀刻目标层的在图案化的光刻胶层的开口内暴露的部分,同时保护剩余部分免于蚀刻。此外,可以通过湿剥离或等离子灰化来去除图案化的光刻胶层,如图17E中所示。

[0087] 根据本发明的实施例的薄膜提供了比传统薄膜更高的强度和热导率(耗散)以及更高的EUV透射率。在前述实施例中,多壁纳米管用作主网路膜以增大薄膜的机械强度并且获得高EUV透射率。进一步地,在纳米管网孔网路上方直接形成二维材料层,以部分或完全填充网孔网路中的空隙,以增大薄膜的机械强度,提高薄膜的散热性能,以及提供高或完美的杀伤粒子的阻挡性能。

[0088] 应该理解,不是所有优势都必须在此处讨论,没有特定的优势对于所有实施例或实例都是需要的,并且其它实施例或实例可以提供不同的优势。

[0089] 根据本发明的一个方面,用于极紫外(EUV)反射掩模的薄膜包括薄膜框架以及附接至薄膜框架的主膜。主膜包括多个纳米管,每个纳米管包括单壁纳米管或同轴纳米管,并且单壁纳米管或同轴纳米管的最外纳米管为非碳基纳米管。在前述和以下实施例中的一个或多个中,非碳基纳米管为选自氮化硼纳米管和过渡金属二硫属化物(TMD)纳米管组成的组中的一种,其中TMD由 MX_2 表示,其中,M为Mo、W、Pd、Pt或Hf中的一种或多种,并且X为S、Se或Te中的一种或多种。在前述和以下实施例中的一个或多个中,多个纳米管包括具有内管和一个或多个外管的同轴纳米管,并且内管为碳纳米管。在前述和以下实施例中的一个或多个中,多个纳米管包括同轴纳米管,同轴纳米管具有内管和由与内管不同的材料制成的一个或多个外管。在前述和以下实施例中的一个或多个中,多个纳米管包括同轴纳米管,同轴纳米管具有内管和一个或多个外管,所有外管均由彼此不同的材料制成。在前述和以下实施例中的一个或多个中,多个纳米管包括具有内管和一个或多个外管的同轴纳米管,所有外管均为非碳基纳米管。在前述和以下实施例中的一个或多个中,主膜包括由多个纳米管形成的网。

[0090] 根据本发明的另一方面,用于极紫外(EUV)反射掩模的薄膜包括薄膜框架和附接至薄膜框架的主膜。主膜包括多个纳米管层,并且多个纳米管层中的第一层的纳米管沿第一轴布置,并且与第一层相邻的多个纳米管层的第二层的纳米管沿与第一轴相交的第二轴布置。在前述和以下实施例中的一个或多个中,当第一层的每个纳米管经受线性逼近时,第一层的纳米管中超过90%的纳米管相对于第一轴具有 $\pm 15^\circ$ 的角度,并且当第二层的每个

纳米管经受线性逼近时,第二层的纳米管中超过90%的纳米管相对于第二轴具有 $\pm 15^\circ$ 的角度。在前述和以下实施例中的一个或多个中,第一轴线和第二轴线形成 30° 至 90° 的角度。在前述和以下实施例中的一个或多个中,多个纳米管层的总层数为2至8。在前述和以下实施例中的一个或多个中,多个纳米管层中的一层包括由非碳基材料层覆盖的多个单壁纳米管。在前述和以下实施例中的一个或多个中,非碳基材料层由选自氮化硼和过渡金属二硫属化物(TMD)组成的组中的一种制成,其中TMD由 MX_2 表示,其中,M为Mo、W、Pd、Pt或Hf中的一种或多种,并且X为S、Se或Te中的一种或多种。在前述和以下实施例中的一个或多个中,至少一个单壁纳米管接触另一单壁纳米管而没有插入非碳基材料层。在前述和以下实施例中的一个或多个中,非碳基材料层包括同轴围绕多个单壁纳米管中的每个的纳米管。在前述和以下实施例中的一个或多个中,多个纳米管层中的每层包括多个多壁纳米管。在前述和以下实施例中的一个或多个中,多个多壁纳米管中的每个包括内管和由非碳基材料制成的一个或多个外管。

[0091] 根据本发明的另一方面,用于极紫外(EUV)反射掩模的薄膜包括薄膜框架和附接至薄膜框架的主膜。主膜包括多个纳米管的网和至少部分填充网的间隔的二维材料层。在前述和以下实施例中的一个或多个中,二维材料层包括选自氮化硼(BN)、 MoS_2 、 MoSe_2 、 WS_2 和 WSe_2 组成的组中的至少一种。在前述和以下实施例中的一个或多个中,间隔中的至少一个被二维材料层完全填充,并且间隔中的至少一个仅被二维材料层部分地填充。在前述和以下实施例中的一个或多个中,多个纳米管包括单壁纳米管。在前述和以下实施例中的一个或多个中,多个纳米管包括多壁纳米管。在前述和以下实施例中的一个或多个中,主膜包括空隙,每个空隙具有 10nm^2 至 1000nm^2 的面积。

[0092] 根据本发明的另一方面,在制造用于极紫外(EUV)反射掩模的薄膜的方法中,形成包括多个纳米管的纳米管层,并且在纳米管层上方形成二维材料层。在前述和以下实施例中的一个或多个中,纳米管层包括多个纳米管的网,并且二维材料层从作为晶种的网的交点开始生长。在前述和以下实施例中的一个或多个中,二维材料层为选自氮化硼和过渡金属二硫属化物(TMD)组成的组中的一种,其中,TMD由 MX_2 表示,其中,M为Mo、W、Pd、Pt或Hf中的一种或多种,并且X为S、Se或Te中的一种或多种。在前述和以下实施例中的一个或多个中,二维材料层的厚度在 0.3nm 至 3nm 的范围内。在前述和以下实施例中的一个或多个中,二维材料层的层数为1至10。在前述和以下实施例中的一个或多个中,多个纳米管为单壁纳米管。在前述和以下实施例中的一个或多个中,单壁纳米管由非碳基材料制成。在前述和以下实施例中的一个或多个中,非碳基材料为选自氮化硼和过渡金属二硫属化物(TMD)组成的组中的一种,其中,TMD由 MX_2 表示,其中,M为Mo、W、Pd、Pt或Hf中的一种或多种,并且X为S、Se或Te中的一种或多种。在前述和以下实施例中的一个或多个中,多个纳米管是多壁纳米管。在前述和以下实施例中的一个或多个中,多壁纳米管中的每个多壁纳米管的至少一个管由选自氮化硼和过渡金属二硫属化物(TMD)组成的组中的一种制成,其中,TMD由 MX_2 表示,其中,M为Mo、W、Pd、Pt或Hf中的一种或多种,并且X为S、Se或Te中的一种或多种。

[0093] 根据本发明的另一方面,在制造用于极紫外(EUV)反射掩模的薄膜的方法中,形成包括多个纳米管的第一纳米管层,形成包括多个纳米管的第二纳米管层,以及在薄膜框架上方堆叠第一纳米管层和第二纳米管层。第一纳米管层的多个纳米管沿第一轴布置,并且第二纳米管层的多个纳米管沿第二轴布置,并且堆叠第一纳米管层和第二纳米管层使得第

一轴与第二个轴相交。在前述和以下实施例中的一个或多个中,当第一纳米管层的多个纳米管中的每个经受线性逼近时,第一纳米管层的多个纳米管中超过90%的纳米管相对于第一轴具有 $\pm 15^\circ$ 的角度,并且当第二纳米管层的多个纳米管中的每个经受线性逼近时,第二纳米管层的多个纳米管中超过90%的纳米管相对于第二轴具有 $\pm 15^\circ$ 的角度。在前述和以下实施例中的一个或多个中,第一轴和第二轴形成 30° 至 90° 的角度。在前述和以下实施例中的一个或多个中,第一纳米管层或第二纳米管层中的至少一个包括由非碳基材料制成的多个单壁纳米管。在前述和以下实施例中的一个或多个中,非碳基材料由选自自由氮化硼和过渡金属二硫属化物(TMD)组成的组中的一种制成,其中,TMD由 MX_2 表示,其中,M为Mo、W、Pd、Pt或Hf中的一种或多种,并且X为S、Se或Te中的一种或多种。在前述和以下实施例中的一个或多个中,第一纳米管层或第二纳米管层中的至少一个包括多个多壁纳米管。在前述和以下实施例中的一个或多个中,多个多壁纳米管中的每个包括内管和由非碳基材料制成的一个或多个外管。

[0094] 根据本发明的另一个方面,在制造用于极紫外(EUV)反射掩模的薄膜的方法中,在旋转支撑衬底时,在支撑衬底上方形成包括多个纳米管的纳米管层,在纳米管层上方附接薄膜框架,以及从支撑衬底分离纳米管层。在前述和以下实施例中的一个或多个中,多个纳米管包括非碳基材料。在前述和以下实施例中的一个或多个中,多个纳米管形成具有空隙的网,每个空隙具有 10nm^2 至 1000nm^2 的面积。

[0095] 根据本发明的另一个方面提供了制造用于极紫外(EUV)反射掩模的薄膜的方法,该方法包括:形成包含多个纳米管的纳米管层;在所述纳米管层上方形成二维材料层;以及用所述二维材料层将薄膜框架附接至所述纳米管层。

[0096] 在一些实施例中,所述纳米管层包括所述多个纳米管的网,并且所述二维材料层从作为晶种的所述网的交点开始生长。

[0097] 在一些实施例中,所述二维材料层为选自自由氮化硼和过渡金属二硫族化合物(TMD)组成的组中的一种,其中,过渡金属二硫族化合物由 MX_2 表示,其中,M为Mo、W、Pd、Pt或Hf中的一种或多种,并且X为S、Se或Te中的一种或多种。

[0098] 在一些实施例中,所述二维材料层的厚度在 0.3nm 至 3nm 的范围内。

[0099] 在一些实施例中,所述二维材料层的层数量为1至10。

[0100] 在一些实施例中,所述多个纳米管是单壁纳米管。

[0101] 在一些实施例中,所述单壁纳米管由非碳基材料制成。

[0102] 在一些实施例中,所述非碳基材料为选自自由氮化硼和过渡金属二硫族化合物(TMD)组成的组中的一种,其中,过渡金属二硫族化合物由 MX_2 表示,其中,M为Mo、W、Pd、Pt或Hf中的一种或多种,并且X为S、Se或Te中的一种或多种。

[0103] 在一些实施例中,所述多个纳米管为多壁纳米管。

[0104] 在一些实施例中,所述多壁纳米管中的每个多壁纳米管中的至少一个管由选自自由氮化硼和过渡金属二硫族化合物(TMD)组成的组中的一种制成,其中,过渡金属二硫族化合物由 MX_2 表示,其中,M为Mo、W、Pd、Pt或Hf中的一种或多种,并且X为S、Se或Te中的一种或多种。

[0105] 前面概述了若干实施例或实例的特征,使得本领域技术人员可以更好地理解本发明的方面。本领域技术人员应该理解,他们可以容易地使用本发明作为基础来设计或修改

用于实施与在此所介绍实施例或实例相同的目的和/或实现相同优势的其他工艺和结构。本领域技术人员也应该意识到,这种等同构造并不背离本发明的精神和范围,并且在不背离本发明的精神和范围的情况下,在此他们可以做出多种变化、替换以及改变。

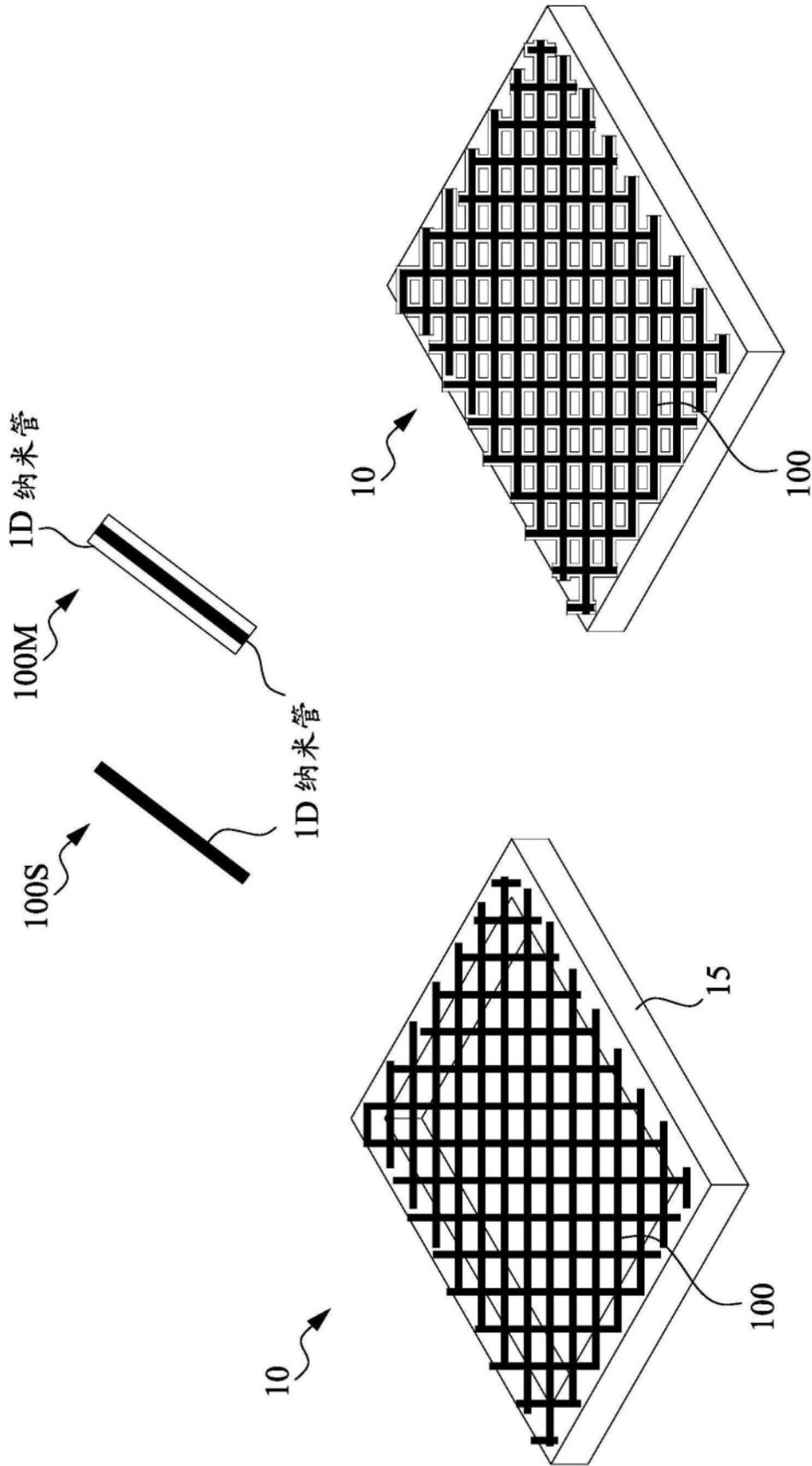


图1B

图1A

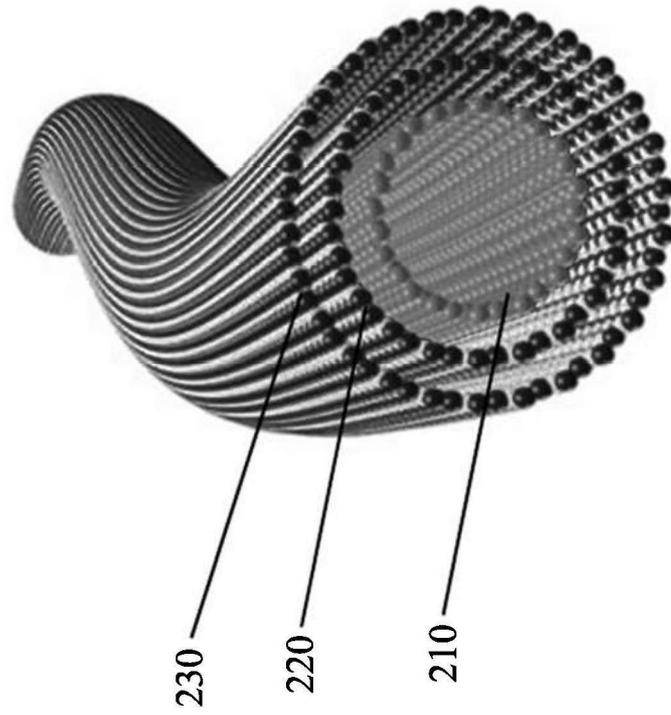


图2A

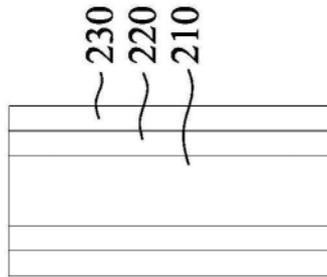


图2B

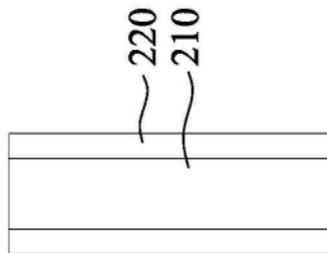


图2C

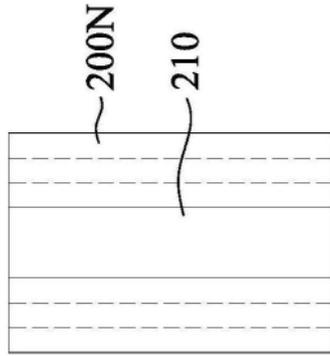


图2D

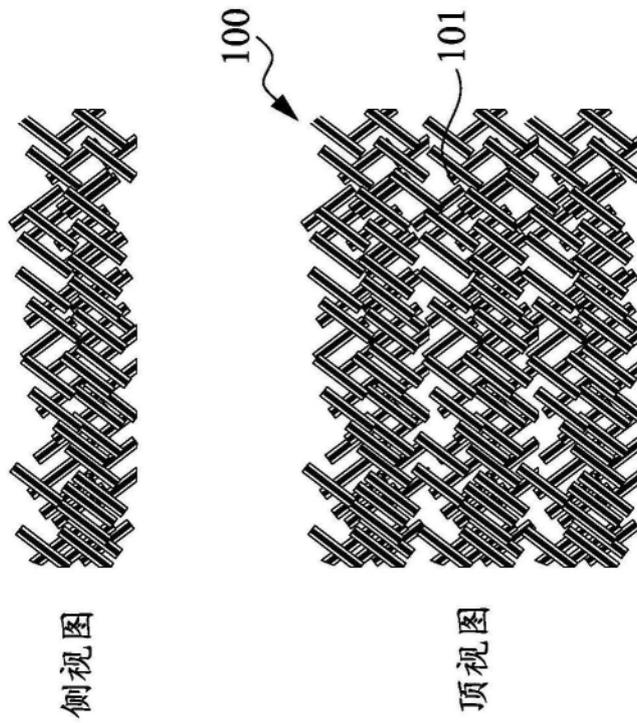


图3A

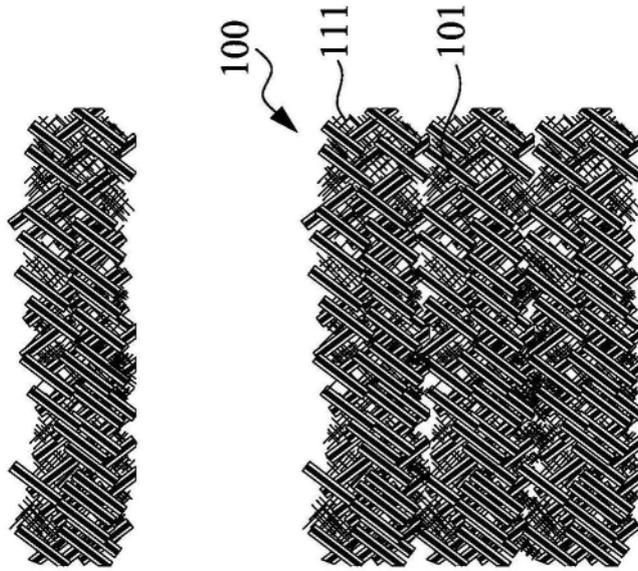


图3B

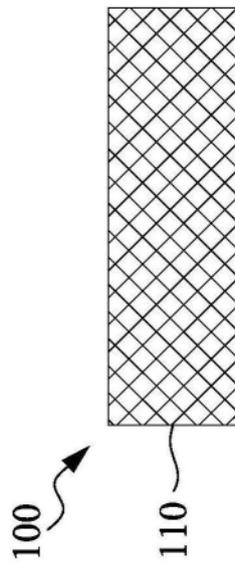


图4A

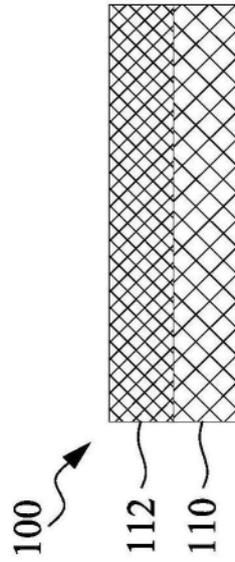


图4B

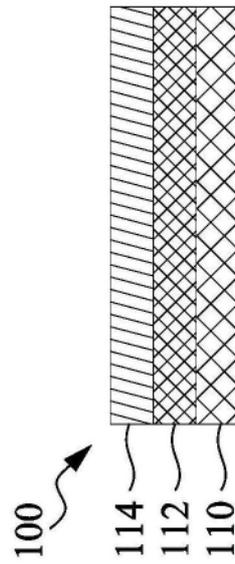


图4C

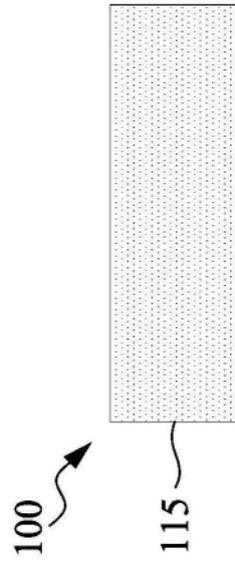


图4D

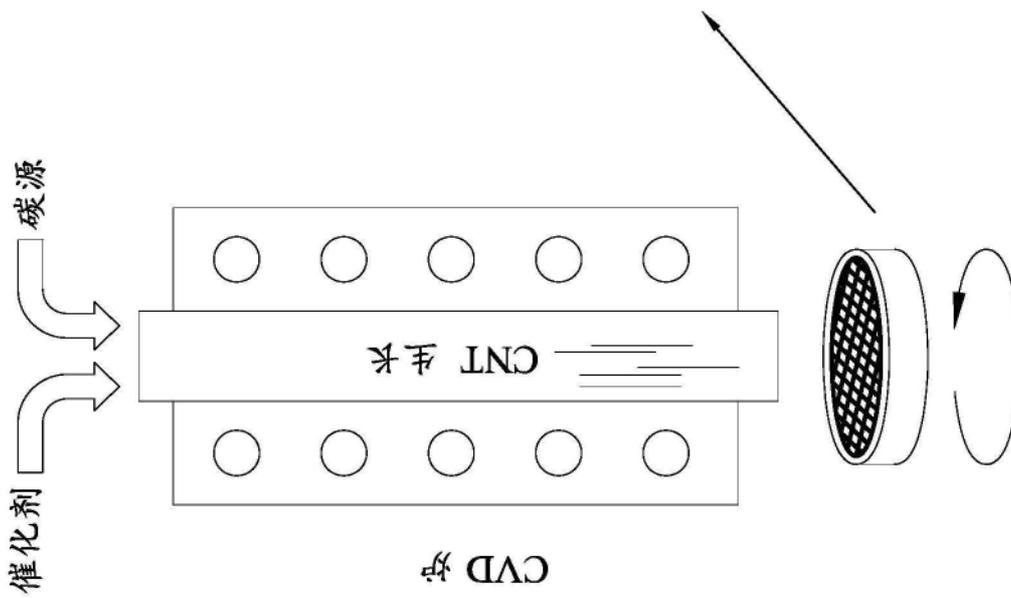


图5A

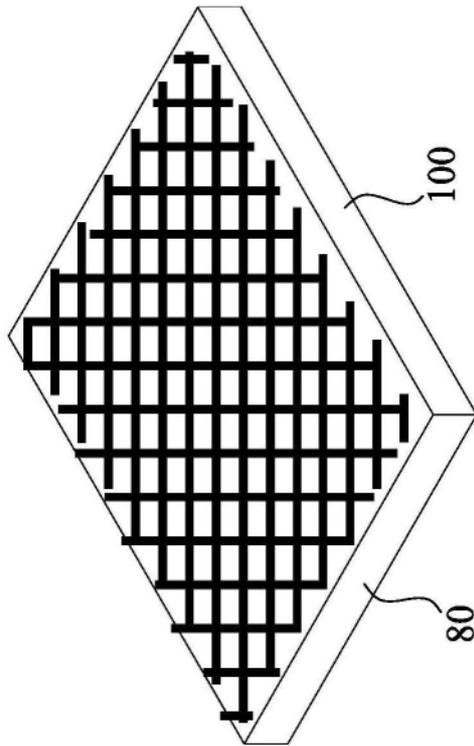


图5B

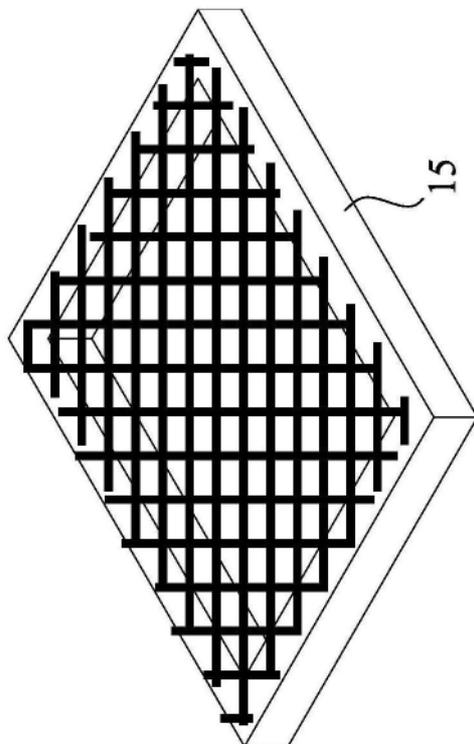


图5C

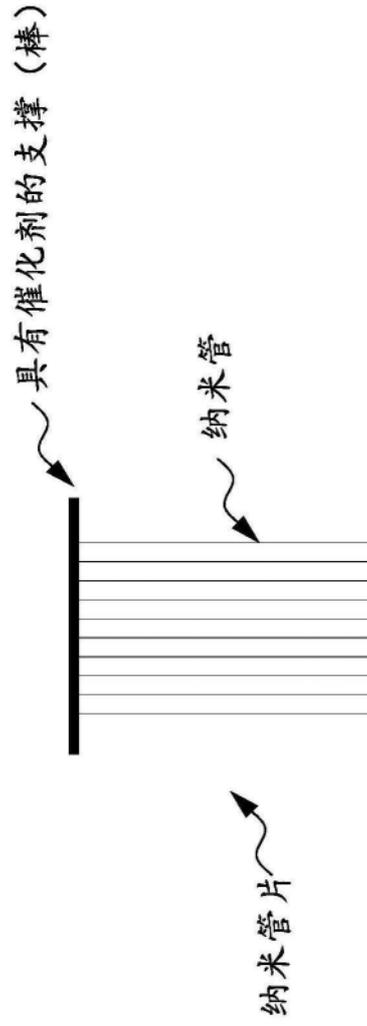


图6A

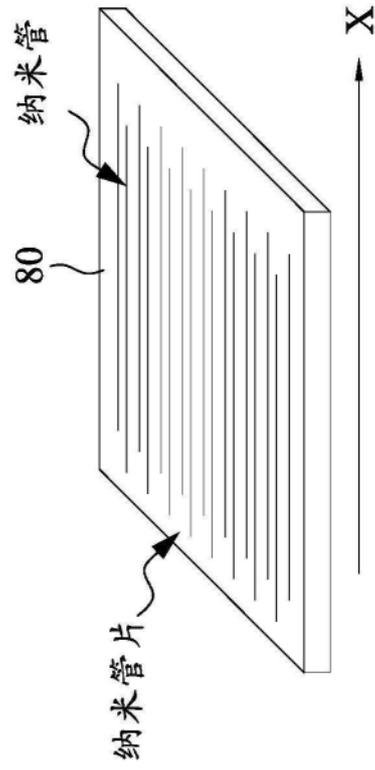


图6B

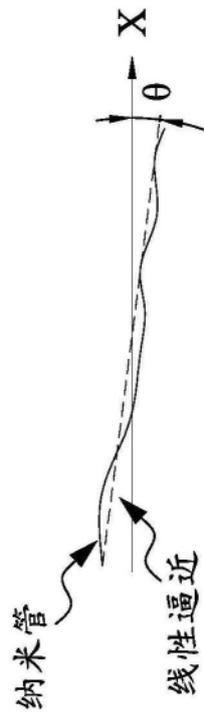


图6C

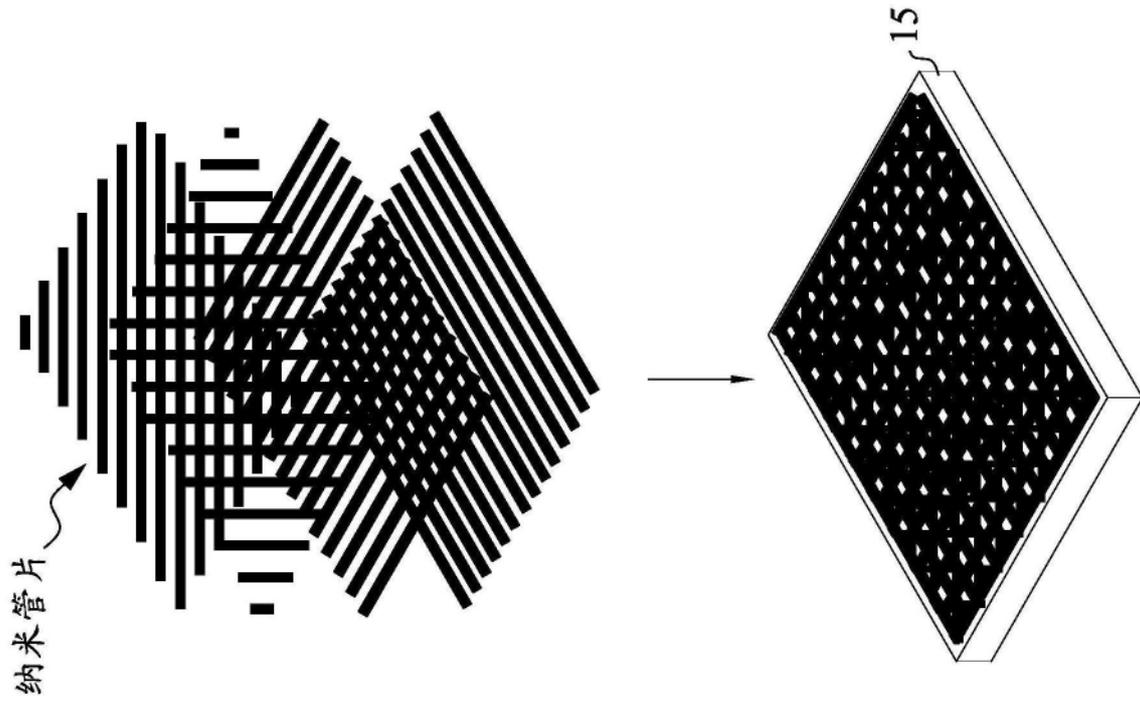


图6D

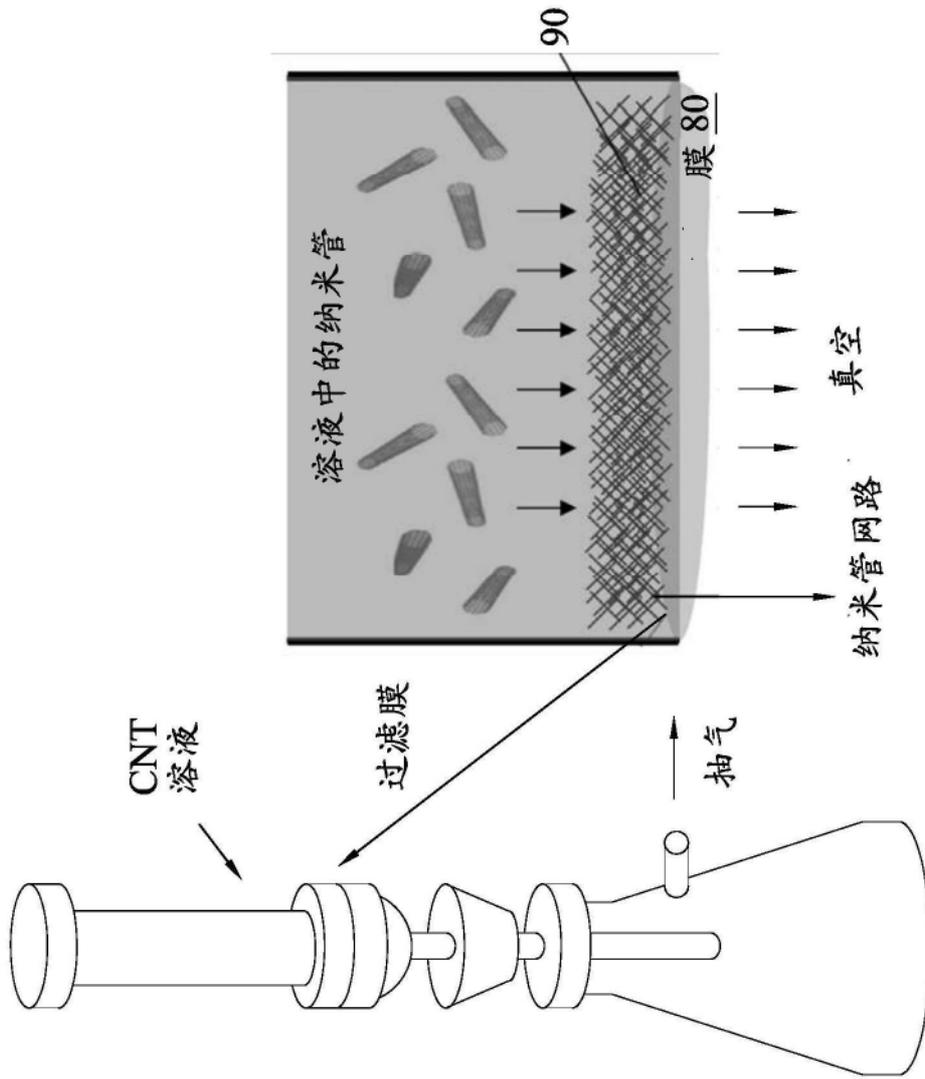


图7A

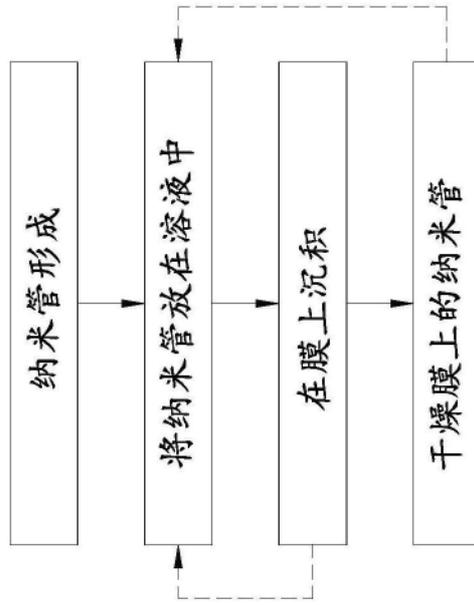


图7B

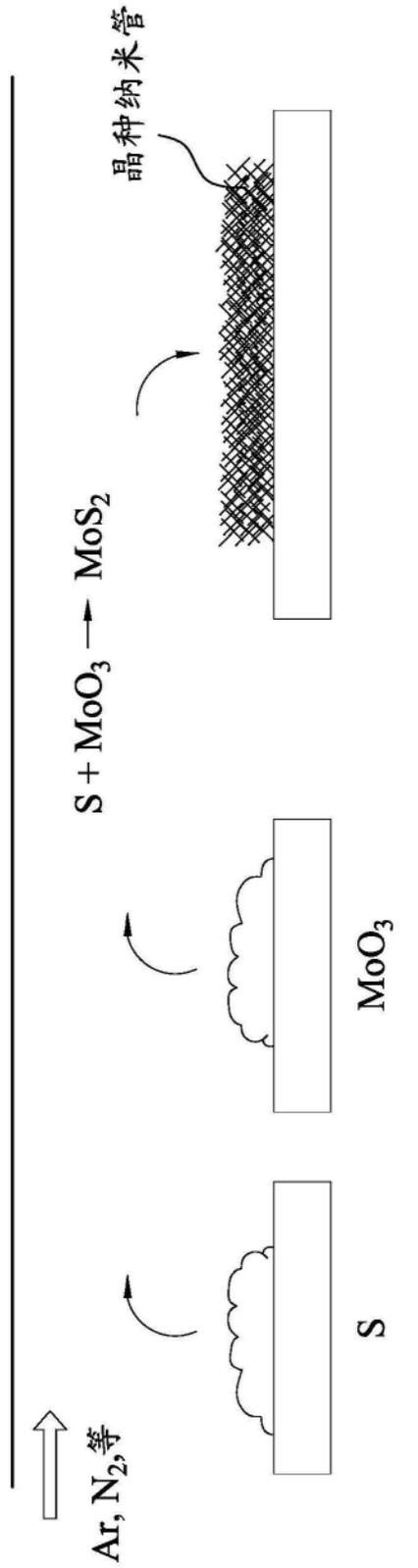


图8A



图8B

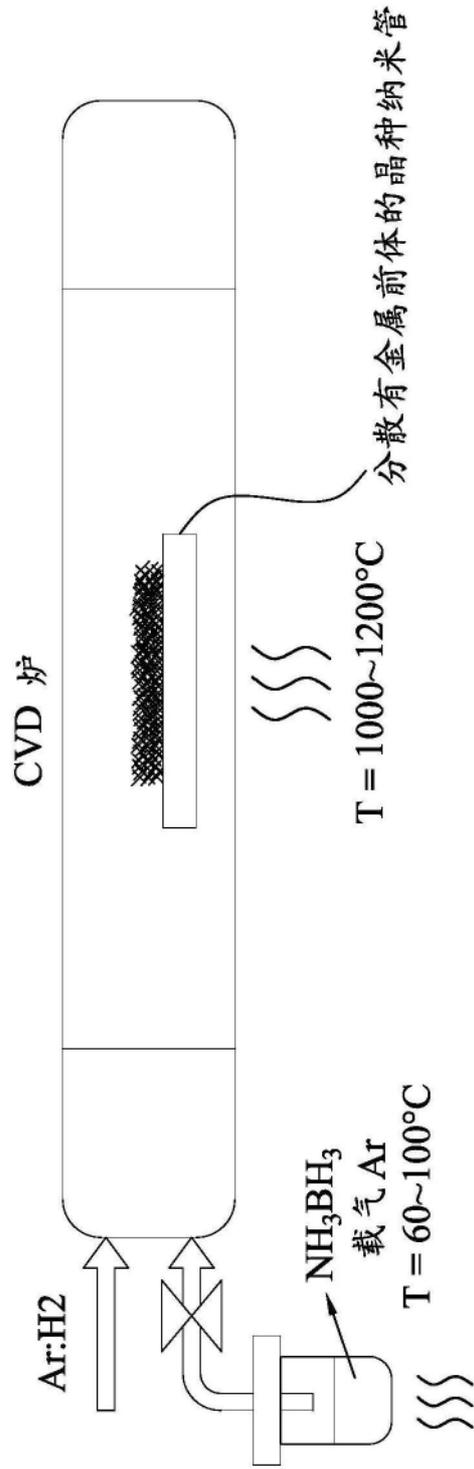


图8C

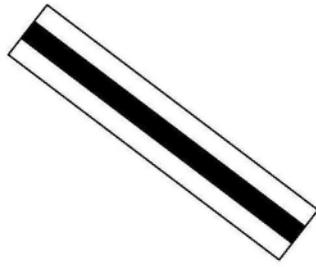


图8D

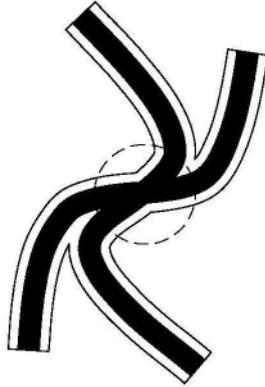


图8E

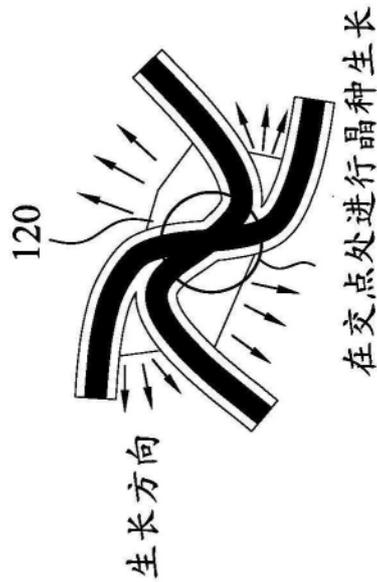


图9A

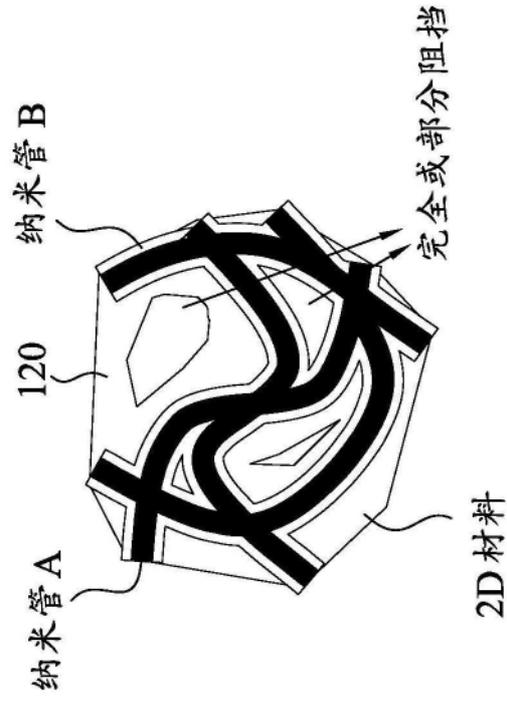


图9B

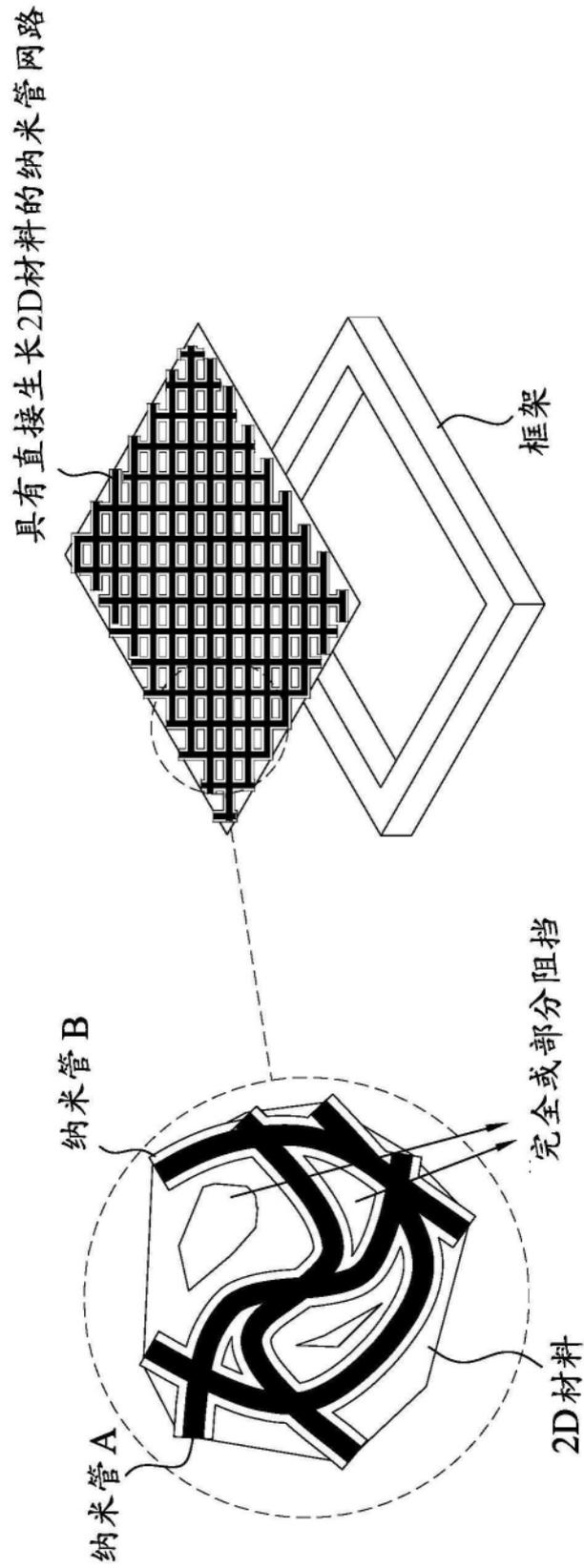


图9C

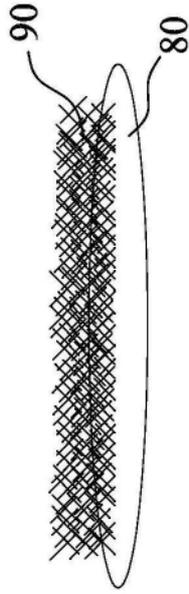


图10A

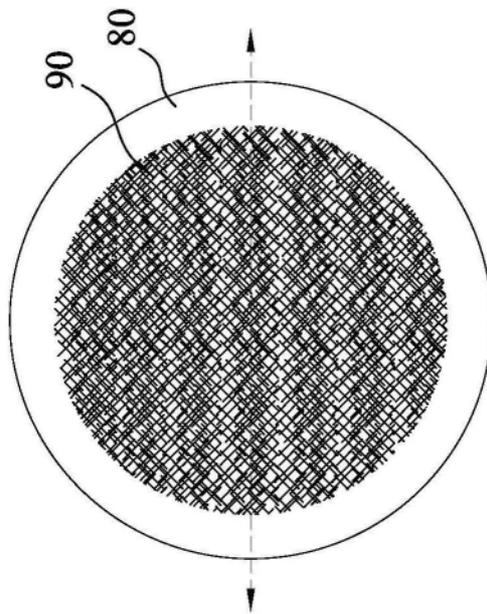


图10B

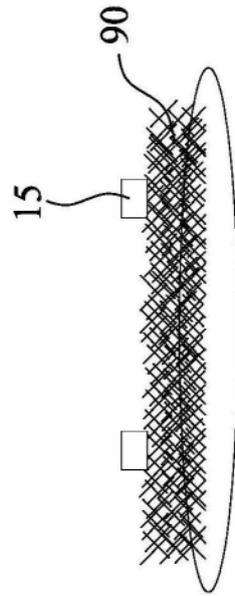


图11A

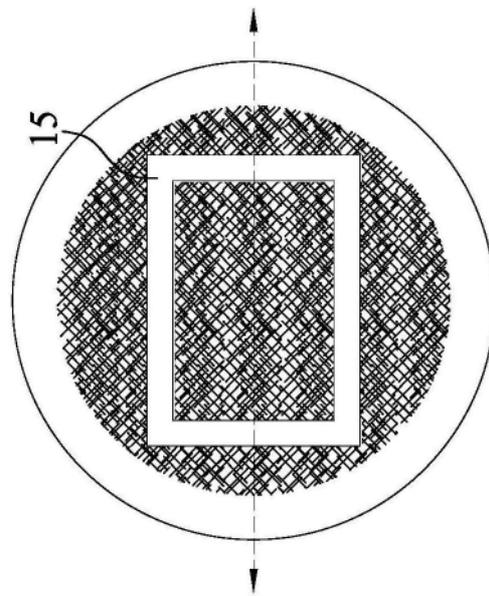


图11B

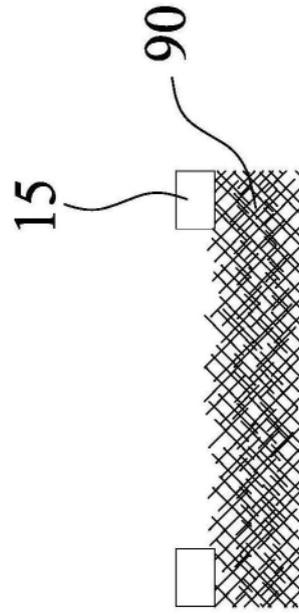


图12A

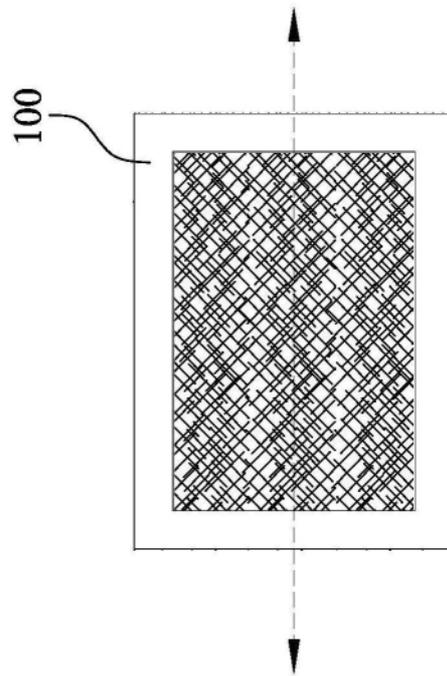


图12B

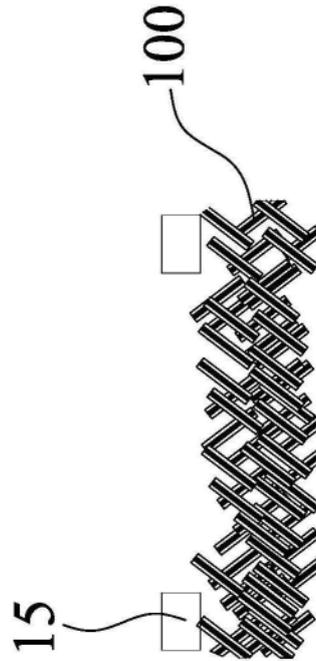


图13A

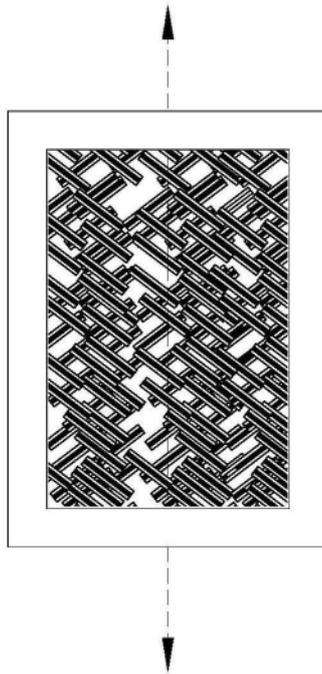


图13B

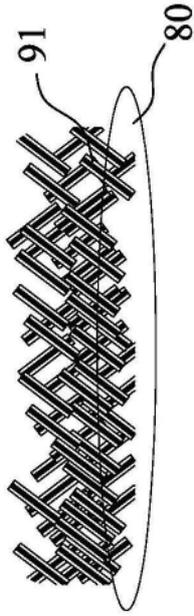


图14A

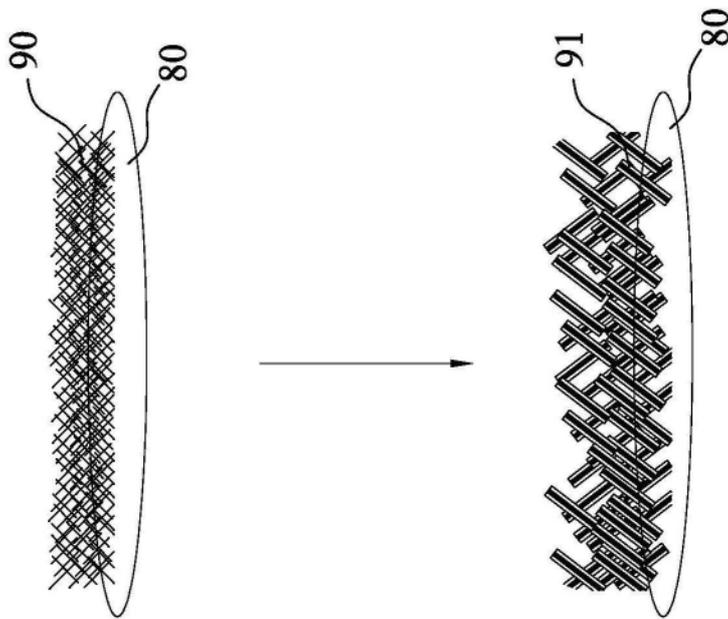


图14B

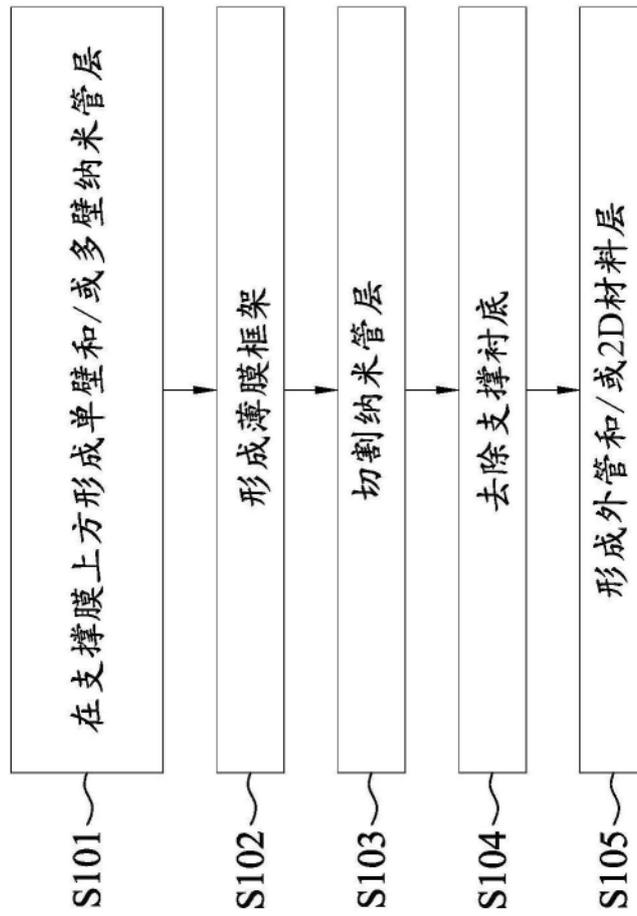


图15A

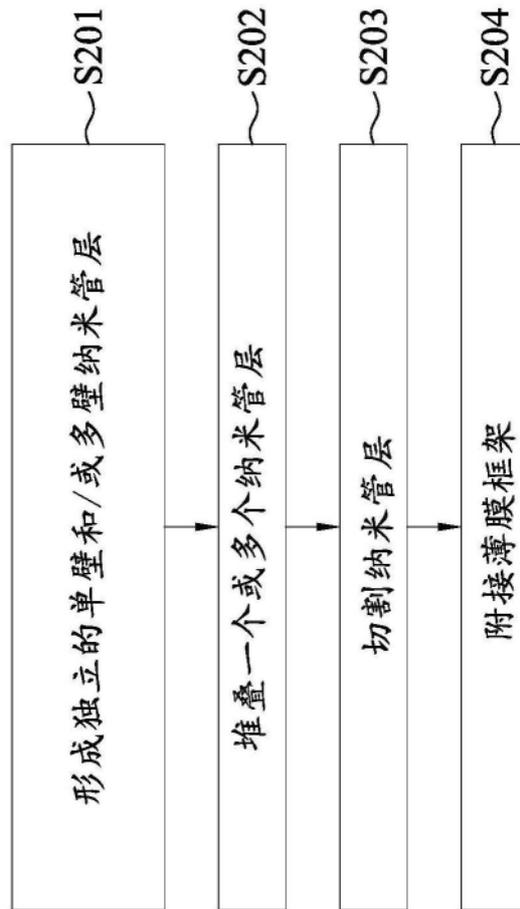


图15B

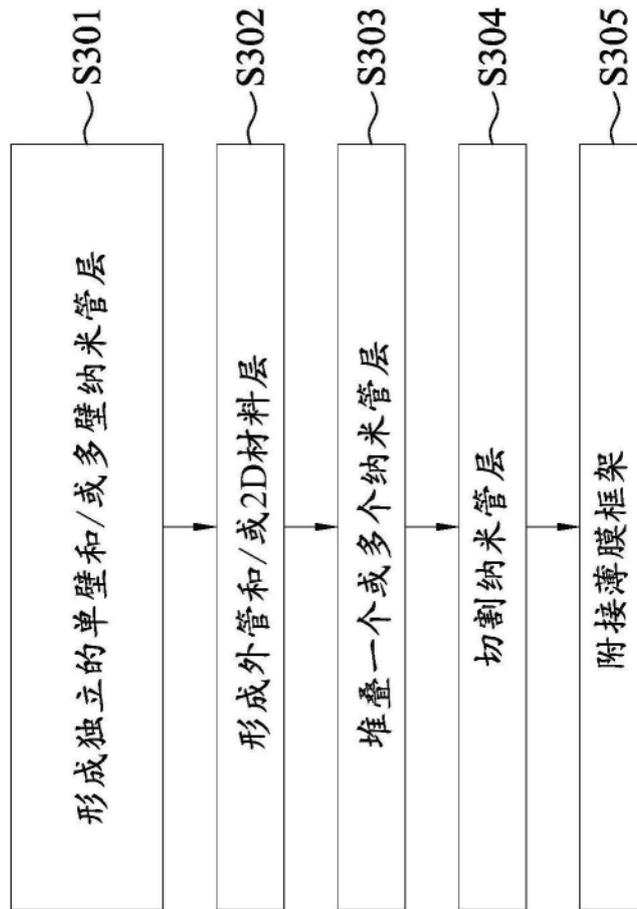


图15C

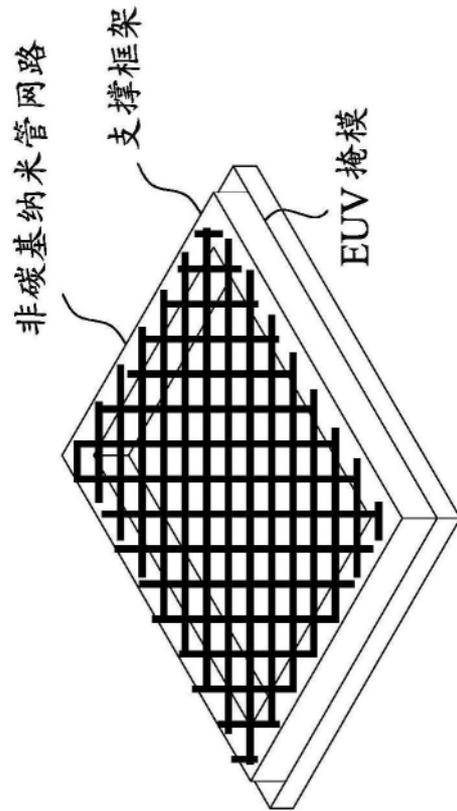


图16A

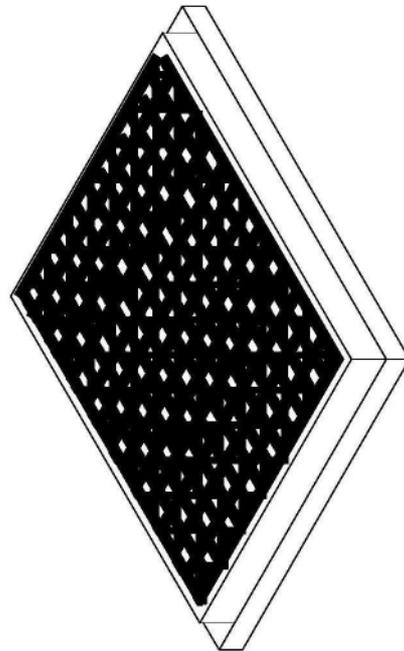


图16B

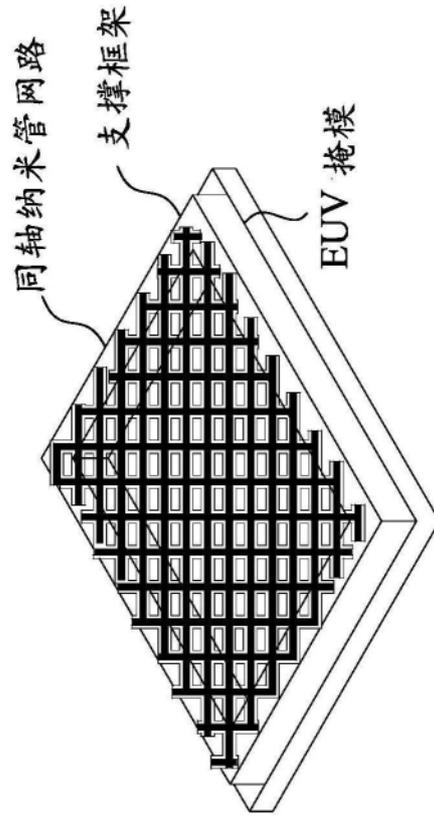


图16C

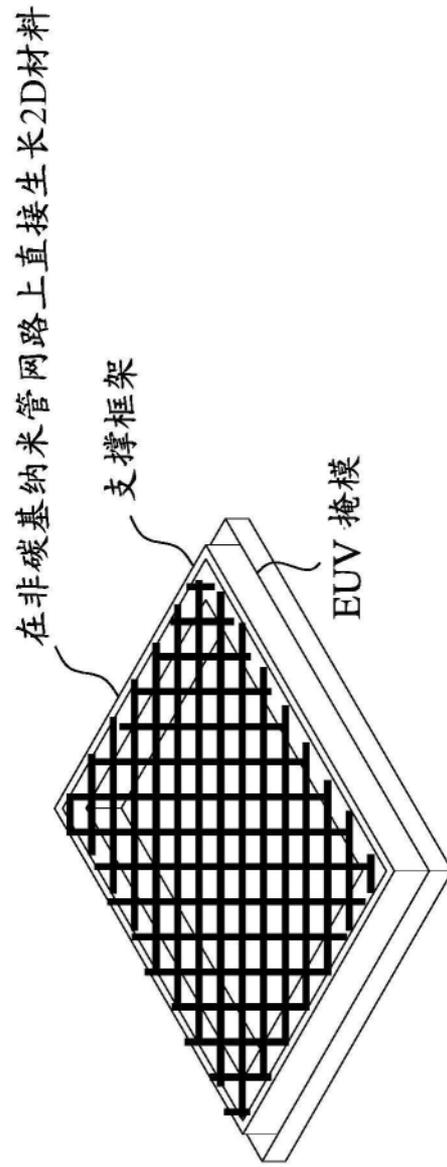


图16D

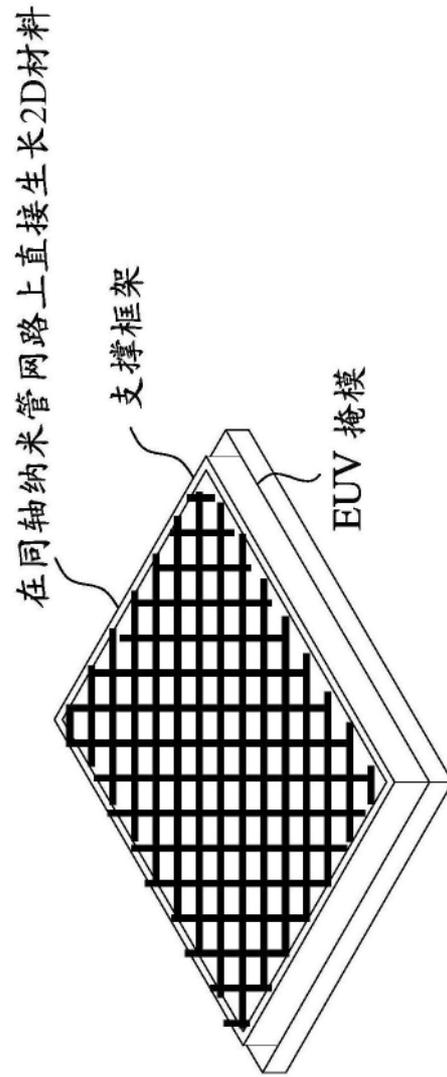


图16E

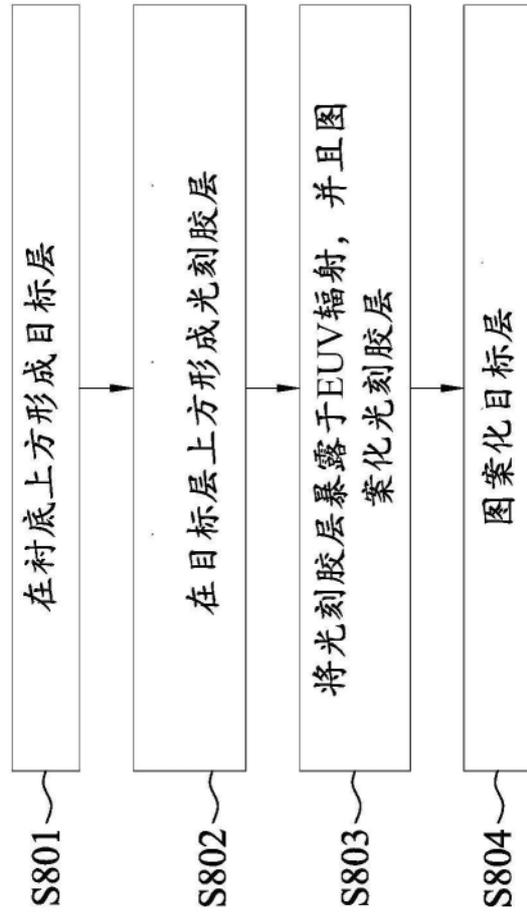


图17A



图17B

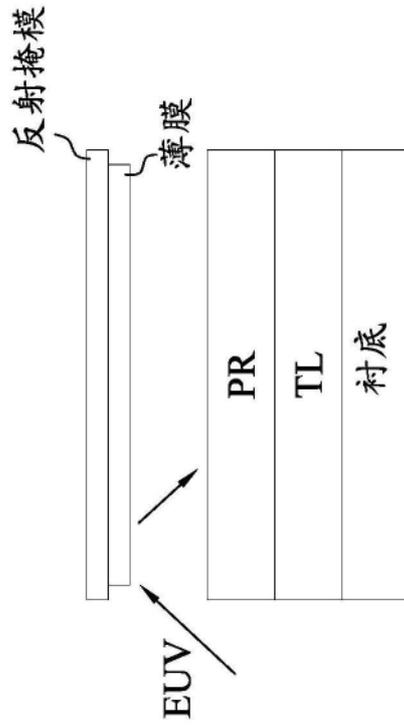


图17C

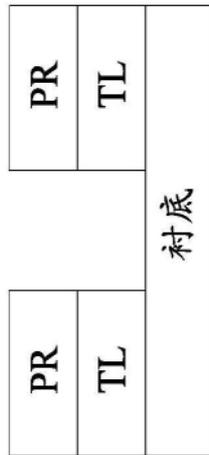


图17D

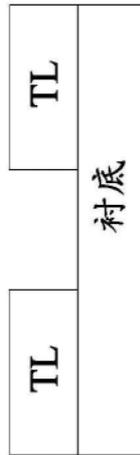


图17E