



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112719268 B

(45) 授权公告日 2023. 08. 29

(21) 申请号 202011047756.3

(22) 申请日 2020.09.29

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112719268 A

(43) 申请公布日 2021.04.30

(30) 优先权数据
16/666212 2019.10.28 US

(73) 专利权人 帕洛阿尔托研究中心公司
地址 美国加利福尼亚州
专利权人 施乐公司

(72) 发明人 D·A·曼特尔 D·R·科米尔
C·T·淳彬 Z·S·维德
V·索霍茨基 S·J·维德
D·蒂利

(74) 专利代理机构 上海胜康律师事务所 31263
专利代理师 樊英如

(51) Int.Cl.
B22F 3/115 (2006.01)
B33Y 10/00 (2015.01)
B33Y 30/00 (2015.01)
B33Y 80/00 (2015.01)

(56) 对比文件
CN 107864639 A, 2018.03.30
CN 110091507 A, 2019.08.06
CN 104802402 A, 2015.07.29
US 6193923 B1, 2001.02.27
US 2002171177 A1, 2002.11.21

审查员 樊正国

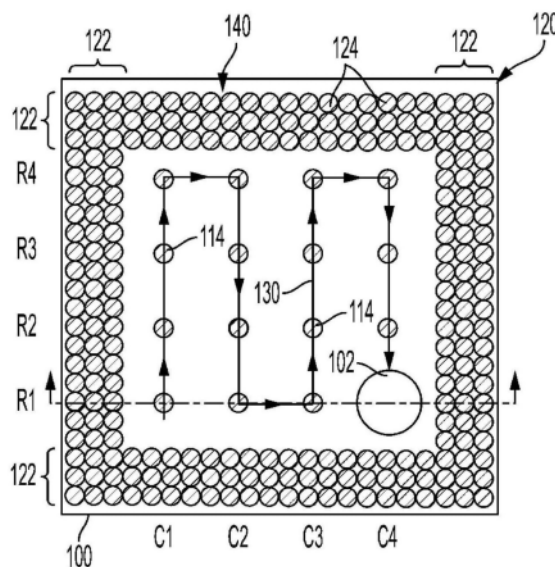
权利要求书3页 说明书11页 附图13页

(54) 发明名称

用于形成三维打印结构的方法

(57) 摘要

本发明题为“合金支撑件”。本发明涉及一种用于打印结构的方法,该结构包括多个支柱。该用于打印的方法可以包括在多个支柱位置中的每个支柱位置处仅顺序地喷射打印材料诸如液态金属的第一液滴,然后在多个打印位置中的每个打印位置处仅将打印材料的第二液滴顺序地喷射到第一液滴上。可以在两个或更多个支柱位置处喷射附加液滴以形成多个支柱。在每个支柱位置处仅喷射第一液滴可以使第一液滴在喷射第二液滴之前固化(即,冷却或干燥)。打印机在液滴固化的同时继续打印,从而提高处理效率并提高生产吞吐量。



1. 一种用于形成三维打印结构的方法,所述打印结构包括在多个支柱位置处的多个支柱,所述方法包括:

在所述多个支柱位置中的每个支柱位置处从打印头仅顺序地喷射打印材料的第一液滴;然后

在所述多个支柱位置中的每个支柱位置处从所述打印头仅将所述打印材料的第二液滴顺序地喷射到所述第一液滴上;然后

在两个或更多个所述支柱位置处顺序地喷射所述打印材料的附加液滴以形成所述多个支柱,然后

打印所述多个支柱,使得所述多个支柱中的每个支柱在完成时具有一定高度,并且所述多个支柱中的每个支柱的所述高度与所述多个支柱中的每个其他支柱的所述高度相差不超过一个液滴直径;

打印所述三维打印结构以包括三维打印产品和牺牲性支撑结构;

其中所述牺牲性支撑结构包括包括以下各项的支柱:

基底,所述基底包括第一多个层级,其中所述第一多个层级中的每个层级包括所述打印材料的至少两个液滴,其中所述至少两个液滴彼此物理接触;和

分离部,所述分离部包括第二多个层级,其中所述第二多个层级中的每个层级仅包括所述打印材料的一个液滴并且在所述第一多个层级和所述三维打印结构之间形成物理上较弱的接触点;然后

在所述多个支柱的所述多个支柱位置处将液滴顺序地沉积到基板的表面上,并完成所述多个支柱的形成;然后

在所述多个支柱的相邻支柱之间顺序地沉积多个液滴,以形成与所述基板的所述表面大致平行的支撑表面;并且

其中:

所述打印材料包括金属;

沉积在所述多个支柱的相邻支柱之间的所述多个液滴悬在所述相邻支柱之间,并且

沉积在所述多个支柱的相邻支柱之间的所述多个液滴不物理接触所述基板的所述表面或下方的任何液滴。

2. 根据权利要求1所述的方法,还包括固化每个液滴,同时其他支柱位置处从所述打印头喷射液滴。

3. 根据权利要求1所述的方法,还包括在所述多个支柱位置处从所述打印头将所述附加液滴顺序地喷射到基板上以形成支撑表面,使得所述支撑表面在完成时相对于所述基板的表面的平面形成 0° 至 10° 的角度。

4. 根据权利要求1所述的方法,还包括打印所述多个支柱,使得所述多个支柱中的每个支柱在完成时具有一定高度,并且所述多个支柱中的最高支柱的高度是所述多个支柱中的最短支柱的高度的至少四倍。

5. 根据权利要求4所述的方法,还包括:

在每个支柱位置处将液滴顺序地沉积到基板的表面上,并完成所述多个支柱的形成;然后

在所述多个支柱的相邻支柱之间顺序地沉积多个液滴,以形成具有相对于所述基板的

所述表面的平面倾斜的倾斜表面的支撑表面。

6. 根据权利要求5所述的方法,其中沉积在所述多个支柱的相邻支柱之间的所述多个液滴悬在所述相邻支柱之间,并且不物理接触所述基板的所述表面。

7. 根据权利要求6所述的方法,其中沉积在所述多个支柱的相邻支柱之间的所述多个液滴形成以 20° 至 70° 的角度与所述基板的所述表面的所述平面相交的斜坡。

8. 根据权利要求1所述的方法,其中在所述多个支柱位置中的每个支柱位置处仅喷射所述第一液滴以及在所述多个支柱位置处仅喷射所述第二液滴包括从所述打印头喷射包括铜、铝、铅、锡和钛中的至少一种的液滴。

9. 根据权利要求1所述的方法,其中喷射所述打印材料包括喷射液态金属。

10. 根据权利要求1所述的方法,其中:

在所述多个支柱位置中的每个支柱位置处仅喷射所述第一液滴期间,所述打印头遵循一定打印路径;

在所述多个支柱位置中的每个支柱位置处仅喷射所述第二液滴期间,所述打印头重复所述打印路径;以及

在所述两个或更多个所述支柱位置处顺序地喷射所述附加液滴期间,所述打印头重复所述打印路径,以形成所述多个支柱。

11. 根据权利要求1所述的方法,还包括打印上覆并物理接触所述多个支柱的打印顶盖,其中在对所述打印顶盖进行打印期间,所述多个支柱物理地支撑所述打印顶盖;以及在对所述打印顶盖进行打印之后,从所述打印结构移除所述多个支柱。

12. 根据权利要求11所述的方法,还包括在对所述打印顶盖进行打印之前,使用所述打印头打印多个壁,其中所述打印顶盖上覆并物理接触所述多个壁。

13. 根据权利要求1所述的方法,其中:

所述第一多个层级中的每个层级包括所述打印材料的至少四个液滴;并且

所述第一多个层级中的每个层级中的每个液滴物理接触相同层级中的至少一个其他液滴和不同层级中的至少一个其他液滴。

14. 根据权利要求13所述的方法,还包括:

对打印顶盖进行打印,所述打印顶盖上覆所述多个支柱中的每个支柱的所述基底和所述分离部,并物理接触所述多个支柱中的每个支柱的所述分离部,其中在对所述打印顶盖进行打印期间,所述多个支柱物理地支撑所述打印顶盖;以及

将所述打印顶盖与所述多个支柱中的每个支柱的每个分离部分开。

15. 一种用于形成三维打印产品的方法,包括:

使用一种方法形成牺牲性支撑结构,所述方法包括:

在多个支柱位置中的每个支柱位置处从打印头仅顺序地喷射打印材料的第一液滴;

固化每个第一液滴;然后

在固化每个第一液滴之后,在所述多个支柱位置中的每个支柱位置处从所述打印头仅将所述打印材料的第二液滴顺序地喷射到所述第一液滴上;

固化每个第二液滴;然后

在固化每个第二液滴之后,在两个或更多个所述支柱位置处顺序地喷射所述打印材料的附加液滴以形成多个支柱;其中所述牺牲性支撑结构包括:

基底,所述基底包括第一多个层级,其中所述第一多个层级中的每个层级包括所述打印材料的至少两个液滴,其中所述至少两个液滴彼此物理接触;和

分离部,所述分离部包括第二多个层级,其中所述第二多个层级中的每个层级仅包括所述打印材料的一个液滴并且在所述第一多个层级和所述三维打印产品之间形成物理上较弱的接触点;

使用一种方法形成所述三维打印产品,所述方法包括将多个第三液滴喷射到多个第四液滴上同时所述多个第四液滴未固化;以及

通过所述牺牲性支撑结构与所述三维打印产品之间的接触点将所述牺牲性支撑结构与所述三维打印产品物理分开。

16. 一种用于形成三维打印结构的方法,所述打印结构包括在多个支柱位置处的多个支柱,所述方法包括:

在所述多个支柱位置中的每个支柱位置处从打印头顺序地仅将打印材料的第一液滴喷射到基板的表面上以形成第一打印层;然后

在所述多个支柱位置中的每个支柱位置处从所述打印头仅将所述打印材料的第二液滴顺序地喷射到所述第一液滴上,以在所述第一打印层上形成第二打印层,其中每个第二液滴与所述第一液滴中的一个竖直对齐;然后

在两个或更多个所述支柱位置处顺序地喷射所述打印材料的附加液滴,其中每个附加液滴与所述第二液滴中的一个竖直对齐;

打印多个液滴,所述多个液滴从所述附加液滴侧向偏移,以形成多个侧向支撑件,其中每个侧向支撑件桥接两个相邻支柱并且所述多个液滴不物理接触所述基板的所述表面或下方的任何液滴;

其中所述三维打印结构包括三维打印产品和牺牲性支撑结构;以及

通过所述牺牲性支撑结构与所述三维打印产品之间的接触点将所述多个支柱中的一或多者与所述三维打印产品物理分开。

用于形成三维打印结构的方法

技术领域

[0001] 本教导内容涉及金属或另一种材料的三维打印领域,并且更具体地,涉及在完成打印结构之前可以移除的支撑结构的打印。

背景技术

[0002] 用于打印三维(3D)结构的技术目前包括通常打印挤出聚合物的熔丝制造(Fused Filament Fabrication,FFF)、使用激光来固化或硬化液态树脂的立体光刻(SLA)和使用激光来烧结粉末状聚合物材料的选择性激光烧结。三维打印需要在所有取向上打印结构和表面。一些取向包括形成可能延伸相当距离的无支撑的悬伸部的表面。对于一些打印机,打印与形成最终结构的悬伸部的材料组成不同的能够移除的第二材料,其中第二材料在随后的制造期间支撑悬伸部。第二材料是能够移除的,而不会损坏打印部件的悬伸结构或其他特征结构。在一些情况下,能够移除的材料是在打印期间支撑特征结构的粉末,并且在完成打印后,粉末被移除以留下供所打印的特征结构悬伸的间隙。其他技术包括由与完成的结构相同的材料打印弱支撑结构,其中在打印已经完成之后,弱支撑结构可以从打印部件分离和移除。对于金属液滴打印,弱支撑结构的打印可能是例如由于打印速度和液滴尺寸的微妙的热平衡而难以控制的缓慢过程。

[0003] 克服常规3D打印方法的问题的用于打印结构的方法将是对本领域的受欢迎的补充。

发明内容

[0004] 以下给出简要的发明内容,以便提供对本教导内容的一个或多个具体实施的一些方面的基本理解。这个发明内容不是全面的概述,也并不旨在标识本教导内容的关键或重要元素,也并不旨在描述本公开的范围。相反,其主要目的仅仅是以简化形式呈现一个或多个概念,作为后面所呈现的具体实施方式的前序。

[0005] 在本教导内容的实施方式中,一种用于形成三维打印结构的方法,该打印结构包括在多个支柱位置处的多个支柱,该方法包括在多个支柱位置中的每个支柱位置处从打印头仅顺序地喷射打印材料的第一液滴,然后在多个支柱位置中的每个支柱位置处从打印头仅将打印材料的第二液滴顺序地喷射到第一液滴上,然后在两个或更多个支柱位置处顺序地喷射打印材料的附加液滴以形成多个支柱。

[0006] 任选地,该方法还可以包括打印多个支柱,使得多个支柱中的每个支柱在完成时具有一定高度,并且多个支柱中的每个支柱的高度与多个支柱中的每个其他支柱的高度相差不超过一个液滴直径。进一步任选地,该方法可以包括在多个支柱的多个支柱位置处将液滴顺序地沉积到基板的表面上,并完成多个支柱的形成,然后在多个支柱的相邻支柱之间顺序地沉积多个液滴,以形成与基板的表面大致平行的支撑表面。沉积在多个支柱的相邻支柱之间的多个液滴可以悬在相邻支柱之间,并且不物理接触基板的表面。

[0007] 该方法还可以包括固化每个液滴,同时其他支柱位置处从打印头喷射液滴,并

且可以包括在多个支柱位置处从打印头将附加液滴顺序地喷射到基板上以形成支撑表面,使得支撑表面在完成时相对于基板的表面的平面形成 0° 至 10° 的角度。一种实施方式可以包括打印多个支柱,使得多个支柱中的每个支柱在完成时具有一定高度,并且多个支柱中的最高支柱的高度是多个支柱中的最短支柱的高度的至少四倍。可以在每个支柱位置处将液滴顺序地沉积到基板的表面上并完成多个支柱的形成,可以在多个支柱的相邻支柱之间顺序地沉积多个液滴以形成具有相对于基板的表面的平面倾斜的倾斜表面的支撑表面。沉积在多个支柱的相邻支柱之间的多个液滴可以悬在相邻支柱之间,并且不物理接触基板的表面。沉积在多个支柱的相邻支柱之间的多个液滴可以形成以 20° 至 70° 的角度与基板的表面的平面相交的斜坡。在一个实施方式中,在多个支柱位置中的每个支柱位置处仅喷射第一液滴以及在多个支柱位置处仅喷射第二液滴包括从打印头喷射包括铜、铝、铅、锡和钛中的至少一种的金属液滴,并且喷射打印材料可以包括喷射液态金属。

[0008] 在任意的实施方式中,在多个支柱位置中的每个支柱位置处仅喷射第一液滴期间,打印头遵循一定打印路径,在多个支柱位置中的每个支柱位置处仅喷射第二液滴期间,打印头重复打印路径,并且在两个或更多个支柱位置处顺序地喷射附加液滴期间,打印头重复打印路径,以形成多个支柱。

[0009] 该方法还可以包括打印上覆并物理接触多个支柱的打印顶盖,其中在对打印顶盖进行打印期间,多个支柱物理地支撑打印顶盖,并且可以包括在对打印顶盖进行打印之前,使用打印头打印多个壁,其中打印顶盖上覆并物理接触多个壁,并且可以包括在对打印顶盖进行打印之后,从打印结构移除多个支柱。

[0010] 多个支柱可被打印成包括:基底,该基底包括第一多个层级,其中第一多个层级中的每个层级包括打印材料的至少两个液滴,其中至少两个液滴彼此物理接触;和分离部,该分离部包括第二多个层级,其中第二多个层级中的每个层级仅包括打印材料的一个液滴。第一多个层级中的每个层级可以包括打印材料的至少四个液滴,并且第一多个层级中的每个层级中的每个液滴物理接触相同层级中的至少一个其他液滴和不同层级中的至少一个其他液滴。

[0011] 该方法还可以包括对打印顶盖进行打印,打印顶盖上覆多个支柱中的每个支柱的基底和分离部,并物理接触多个支柱中的每个支柱的分离部,其中在对打印顶盖进行打印期间,多个支柱物理地支撑打印顶盖。该方法还可以包括将打印顶盖与多个支柱中的每个支柱的每个分离部分开。

[0012] 在另一个实施方式中,一种用于形成三维打印产品的方法包括:使用一种方法形成牺牲性支撑结构,该方法包括:在多个支柱位置中的每个支柱位置处从打印头仅顺序地喷射打印材料的第一液滴;固化每个第一液滴;然后在固化每个第一液滴之后,在多个支柱位置中的每个支柱位置处从打印头仅将打印材料的第二液滴顺序地喷射到第一液滴上;固化每个第二液滴;然后在固化每个第二液滴之后,在两个或更多个支柱位置处顺序地喷射打印材料的附加液滴以形成多个支柱。该方法还包括使用一种方法形成三维打印产品,该方法包括将多个第三液滴喷射到多个第四液滴上同时多个第四液滴未固化,以及将牺牲性支撑结构与三维打印产品分开。

[0013] 在另一个实施方式中,一种用于形成包括在多个支柱位置处的多个支柱的三维打印结构的方法包括在多个支柱位置中的每个支柱位置处从打印头顺序地仅将打印材料的

第一液滴喷射到基板的表面上以形成第一打印层,然后在多个支柱位置中的每个支柱位置处从打印头仅将打印材料的第二液滴顺序地喷射到第一液滴上,以在第一打印层上形成第二打印层,其中每个第二液滴与第一液滴中的一个竖直对齐;然后在两个或更多个支柱位置处顺序地喷射打印材料的附加液滴,其中每个附加液滴与第二液滴中的一个竖直对齐。该方法还包括打印多个液滴,多个液滴从附加液滴侧向偏移,以形成多个侧向支撑件,其中每个侧向支撑件桥接两个相邻支柱。

附图说明

[0014] 并入本说明书中并构成本说明书的一部分的附图示出了本教导内容的具体实施,并且与描述一起用于说明本公开的原理。在图中:

[0015] 图1A是描绘在本教导内容的实施期间在多个支柱位置处打印第一材料层的平面图。

[0016] 图1B是图1A结构的横截面图。

[0017] 图2A描绘了在进一步打印支柱、侧向支撑件和加工中产品之后的图1A结构。

[0018] 图2B是图2A结构的横截面图。

[0019] 图3A描绘了在进一步打印支柱和加工中产品之后的图2A结构。

[0020] 图3B是图3A结构的横截面图。

[0021] 图4A描绘了在打印支撑表面和打印顶盖之后的图3A结构。

[0022] 图4B是图4A结构的横截面图。

[0023] 图5描绘了在从打印基板移除加工中产品并从加工中产品移除支撑结构以形成完成的产品之后的图4B结构。

[0024] 图6A是描绘在本教导内容的另一实施期间在多个支柱位置处打印第一材料层的平面图。

[0025] 图6B是图6A结构的横截面图。

[0026] 图7A描述了在进一步打印处理中结构、支柱和侧向支撑件之后的图6A结构。

[0027] 图7B是图7A结构的横截面图。

[0028] 图8是移除了加工中结构以示出部分完成的斜坡的细节的平面图,该部分完成的斜坡形成用于加工中结构的支撑表面。

[0029] 图9A描绘了在完成包括支柱、侧向支撑件和斜坡的支撑结构之后并且在进一步打印加工中结构之后的图7A结构。

[0030] 图9B是图9A结构的横截面图。

[0031] 图10A描绘了在进一步打印由斜坡支撑的加工中结构之后的图9A结构。

[0032] 图10B是图10A结构的横截面图。

[0033] 图11描绘了在从打印基板移除加工中产品并从加工中产品移除支撑结构以形成完成的产品之后的图10B结构。

[0034] 图12A是描绘在本教导内容的其他实施方式中打印支柱基底层的平面图。

[0035] 图12B是图12A结构的横截面图。

[0036] 图13A描绘了在每个支柱的基底层上进一步打印分离层之后的图12A结构。

[0037] 图13B描绘了三个层级高的分离部。

[0038] 图14是本教导内容的可以减轻在打印之后从打印产品移除支撑结构的其他实施方式的横截面。

[0039] 应注意的是,附图的一些细节已被简化并被绘制为有利于理解本教导内容,而不是保持严格的结构准确性、细节和比例。

具体实施方式

[0040] 现在将详细地参考本教导内容的示例性具体实施,附图中示出了这些具体实施的示例。在任何方便的地方,在整个附图中将使用相同的参考标号来指相同或类似的部件。

[0041] 如本文所用,除非另外指明,否则词语“打印机”涵盖出于任何目的执行打印输出功能的任何设备。

[0042] 如上所讨论的,可以从打印产品移除而不损坏打印产品的支撑结构的3D打印(在本文中也称为“增材制造”)可用于形成各种3D特征结构(诸如用于其他打印特征结构的支撑件)和/或用于形成悬伸部或无支撑结构。这可以包括打印物理上较弱的结构,这些物理上较弱的结构可以在打印后从打印产品移除。在一些情况下,支撑结构被打印在可能难以接近或无法接近的位置处,因此这些结构可能不会被移除并保留为3D对象的一部分。

[0043] 图1A至图5描绘了根据本教导内容的实施方式的用于形成打印产品的方法。在该实施方式中,打印产品的形成包括相对于打印基板100的表面140水平取向的支撑结构的形成。在图1A至图4B中,“A”图以平面图描绘了加工中结构,而“B”图以横截面图描绘了加工中结构,其中横截面位置在相应的“A”图中以虚线示出。

[0044] 图1A是平面图,而图1B是图1A的横截面图,描绘了打印基板(即基板)100,诸如打印床和打印头102。应当理解,打印基板100可以是静止的,并且打印头102可以相对于基板100沿三个轴(X、Y和Z方向)移动,或者打印头102可以是静止的,并且打印基板100可以相对于打印头102沿三个轴移动,或者打印基板100和打印头102两者可以沿一个或多个轴相对于彼此移动。打印头102被配置为使用喷射器110诸如电磁线圈从打印头102的孔108喷射打印材料106的液滴104。应当理解,虽然附图描绘了单个打印头102,但是设想具有两个或更多个打印头102的打印机和/或具有两个或更多个孔108的打印头102。

[0045] 液滴104在被打印时(即,当喷射、分配或沉积时)可以包括液体材料,诸如液态金属液滴(例如,铜、铝、铅、锡、钛等)、金属合金(例如,青铜、铬镍铁合金或包括镍、铬、钢(诸如不锈钢)和铁中的至少一种的金属合金)、聚合物(例如,尼龙、塑料等)或另一种合适的打印材料。打印基板100和打印头102可以是打印机112的一部分,例如,包括MagnaJet技术的金属/金属合金打印机。这样的打印机已经可以从Vader Systems (Getzville, NY) 获得。

[0046] 图1A和图1B进一步描绘了在形成期间的多个支柱114。出于解释的目的,附图描绘了沿四行(R1-R4)和四列(C1-C4)以4×4网格布置的16个支柱114的形成,但是可以设想包括多于或少于16个支柱的其他结构。此外,支柱不必线性对准,而是可以沿着曲线、圆形或其他图案形成,这取决于形成的结构的设计。

[0047] 图1A和图1B进一步描绘了由多个打印液滴124形成的加工中打印产品120,所述多个打印液滴将形成完成的打印产品500的至少一部分(图5,在下面进一步描述)。打印产品120通常将通过使用打印头102的打印来形成,因此被描绘为多个液滴,但是可以设想其他形成方法。在图1A中,打印产品120被描绘为具有多个壁(例如,四个壁)122的环状正方形结

构,所述多个壁垂直于打印基板100并且远离该打印基板延伸地形成,但是可以设想具有其他形状和特征的打印产品。

[0048] 在常规的金属打印中,期望在打印第一液滴之后立即在第一液滴上打印第二液滴。这确保了在将第二液滴打印到第一液滴上时,第一液滴的温度相对接近其熔融温度。当打印第二液滴时,第二液滴的热质量加热已经相对接近其熔融温度的第一液滴,从而导致第一液滴和第二液滴在固化之后(例如,在干燥、冷却、硬化、冷冻或以其他方式固化之后)熔合在一起,从而确保第一液滴和第二液滴很好地粘结在一起。随后的液滴类似地打印在温度相对接近其熔融温度的前一液滴上,使得形成最终结构的全部液滴熔融在一起并且抵抗物理应力和应变的破坏。可以以这种方式形成打印产品120以确保结构完整性和坚固性。

[0049] 然而,在一些用途中,形成支撑结构的支柱114在形成完成的产品500之前要从打印产品120移除,因此是牺牲性的支撑结构。如果相邻液滴之间的机械粘结较弱,则最容易移除支柱114,但是应当足够坚固以确保结构保持完整直到它们被移除以完成打印产品。在该实施方式中,用于形成给定支柱或其他相关支撑结构特征的第一液滴104被允许在第一液滴上打印第二液滴104之前固化(例如,干燥、冷却、硬化、冷冻或以其他方式固化)。然而,为了最大化打印速度和产品吞吐量,在先前打印的液滴固化的同时继续打印其他支柱114的其他液滴104。图1A描绘了在打印多个支柱114期间由打印头102采用的打印路径130。图1A和图1B描绘了打印头102完成沿打印路径130的液滴104的打印并且在位置R1:C4处打印最终液滴104。在位置R1:C4处完成液滴104之后,打印头102在位置R1:C1处然后在其他位置R2:C1至R1:C4处打印第二液滴104。当在后续层中的支柱114的位置处打印时,重复相同的打印路径130或相同的打印路径130的至少一部分可减少液滴放置的不一致性,并有助于确保后续的液滴主要落在先前打印的液滴的顶部上。

[0050] 图1A和图1B进一步描绘了在支柱114的打印期间加工中产品120的打印。加工中打印产品120的打印可以包括可使用任何期望的打印路径来执行的加工中打印产品120的打印,因为形成加工中打印产品120的每个液滴124不需要在将另一液滴124打印在先前打印的液滴124上之前固化,但是支柱114和打印产品120的每个打印层L1-L6按顺序竖直地(即,远离基板100的表面140)打印。换句话说,在打印L2中的液滴104、124等之前打印L1中的液滴104、124。如本领域普通技术人员所理解的,这使得在打印较低的层时较高的先前打印的结构与打印头102之间的物理接触和干扰最小化。在图1A和图1B中,打印支柱114的液滴104的一层L1,同时对打印产品120的两层(L1和L2)进行打印。

[0051] 在常规方法中,当第二液滴立即打印在第一液滴上时,第一液滴仍然是热和/或熔融的。利用本教导内容的实施方式,允许每个支柱114的第一液滴104在打印第二液滴之前固化缩短了每个液滴104是热和/或熔融的持续时间。由于在固化之前(即,在变得硬化之前)降低的液滴流动,使用低液滴打印频率打印的支柱114具有较小的最大直径。与在未固化或部分固化的支柱上打印第二液滴时相比,根据本教导内容形成的支柱产生的支柱的高度具有更高的可再现性。这种改进的支柱高度可再现性至少部分地导致了由于当在熔融液滴上打印后续液滴时减少或消除了通过本教导的实施方式难以控制的熔融液滴的扁平化。

[0052] 在打印类似于图1A和图1B中所描绘的结构之后,打印可如图2A和图2B中所描绘继续,其中支柱114的三个层(L1-L3)已使用图1的打印路径130打印,并且加工中打印产品120的四个层(L1-L4)已使用任何期望的打印路径打印。另外,在一些结构中,期望以打印为目

标,使得支柱114垂直于打印基板100的表面140的平面。在一些情况下,特别是对于较高的支柱114,支柱114可能倾向于远离垂直方向偏斜、倾斜、倾向等。此外,相对较高的支柱在打印期间会弹性和/或塑性地振动或变形,从而降低后续打印的液滴的放置准确度。为了减轻或消除这些问题,可能期望将任选的第一侧向支撑件200沉积在两个相邻的支柱114之间,并且物理地连接和桥接两个相邻的支柱,并且沉积物理地连接支柱114中的一个与打印产品120的壁122中的一个或两个(在位于R1:C1、R4:C1、R4:C4和R1:C4处的角柱114的情况下)的第二侧向支撑件202。图2A和图2B描绘了在层级L3处打印的侧向支撑件200、202,但是侧向支撑件200、202可以在任何层级处打印,并且可以在两个或更多个不同的层级处打印。为了打印侧向支撑件200、202,在从打印头102的孔108喷射液滴104之前,使打印头102从部分形成的支柱114中的一个的轴线“A”侧向偏移。这些侧向或对角支撑件200、202支撑并加固支柱114,并且可以在打印和/或运输期间减少或消除支柱114的侧向运动。

[0053] 因此,打印可以继续,直到支柱114和加工中打印产品120已被打印到期望的高度,如图3A和图3B所示。在图3A和图3B,支柱114的形成已经完成。出于解释的目的,图3B描绘了打印成六层高(L1-L6)的支柱114,但是支柱114可以被打印到任何期望的高度。如果支柱114以与壁122不同的高度生长,则可以使用更少或更多数量的液滴来打印支柱114,因此支柱114的高度与壁匹配并且彼此匹配以在由单个液滴产生的支柱114的高度变化范围内。接下来,填充每个相邻的支柱114之间的空间或间隙300以及每个支柱114与壁122之间的空间或间隙300,以形成支撑表面400,如图4B中在层级L6处所示。为了打印形成支撑表面400的液滴,在从打印头102的孔108喷射液滴104之前,使打印头102从完成的支柱114中的一个的轴线“A”和壁122侧向偏移。在形成支撑表面400之后,到支撑表面400上的附加打印可以继续以形成打印顶盖402,打印顶盖402包括多个液滴层,其中打印顶盖402连接到壁122以形成完成的打印结构404。因此,在打印结构404的形成期间,支柱114提供支撑以允许支撑表面400和打印顶盖402的打印。

[0054] 接下来,如图5所描绘的,从打印基板100移除完成的打印结构404。此外,在一些实施方式中,包括支柱114和(如果存在)侧向支撑件200、202的支撑结构从打印结构404移除以形成完成的打印产品500,并且因此是牺牲性支撑结构。应当理解,支柱114和侧向支撑件200、202的一些部分可以如所描绘的保留在完成的产品500上,或者它们可以被完全移除。

[0055] 在该实施方式中,多个支柱中的每个支柱114在完成时形成为与多个支柱中的其他支柱114相同的高度,如图3B所描绘的。出于本公开的目的,具有相同高度的支柱114具有在多个支柱中的每隔一个支柱114的高度的 $\pm 5\%$ 内的高度。这允许形成支撑表面400,该支撑表面大致平行于打印基板100的表面140,并且因此相对于打印基板100的表面140水平地取向。支撑表面400在完成时相对于基板100的表面140的平面形成约 0° (即,平行)至约 10° 或约 0° 至约 5° 的角度。

[0056] 另外,打印沿打印路径130形成支柱114的多个液滴104包括从打印头102在多个打印位置(即,从R1:C1到R1:C4的每个位置)中的每个处顺序地喷射仅打印材料的第一液滴。随后,仅打印材料的第二液滴104在多个支柱位置中的每个支柱位置处顺序地喷射到第一液滴104上。最后,在两个或更多个支柱位置处顺序地喷出附加的液滴,以形成多个支柱114。在每个支柱位置处顺序打印可确保每个液滴在后续打印的液滴上打印另一个液滴之前完全固化(例如,冷却)。与用于打印支柱114的液滴相反,可以打印用于打印完成的打印

产品500的液滴,使得在下面的液滴完全固化之前打印上覆的液滴。这提高了完成的打印产品500的结构坚固性,并减轻了支柱114的移除。

[0057] 图6A至图11描绘了本教导内容的另一种实施方式。在该实施方式中,形成支柱600以提供用于打印产品602的特征的支撑结构,其中该支撑结构包括相对于打印基板100成斜角的表面。在完成打印产品1100之前,在如下文更详细描述地提供该功能之后,支撑结构可随后至少部分地被移除。成角度的支撑结构允许打印产品602包括相对于基板100的悬伸部。在该实施方式中,如上文相对于图1A至图5所讨论的实施方式,每个支柱600的每个液滴104被打印,然后允许在将另一液滴104打印在支柱114的先前打印的液滴上之前固化。然而,为了最大化产品吞吐量,打印头102继续打印其他支柱600的液滴104,同时每个先前打印的液滴104固化。

[0058] 图6A描绘了用于打印 4×4 网格的每个支柱600的每个液滴104的示例性打印路径606。打印路径606可以与打印路径130相同或不同。为了执行打印路径606和支柱600的形成,打印头102首先在位置R1:C1处沉积用于支柱600的单个第一液滴104,然后在位置R2:C1处沉积支柱600的单个第一液滴104。如图6B所描绘的,当液滴104打印在位置R1:C4处时,液滴104的第一层“L1”的打印完成。因此,在打印头102打印 4×4 网格的其他15个液滴的持续时间期间,在R1:C1处的液滴104固化。图6B还描绘了通过打印形成打印产品602的液滴604来形成打印产品602的第一层“L1”。出于解释的目的,形成打印产品602的打印液滴604以与形成支柱600的打印液滴104不同的阴影描绘;然而,应当理解,当由打印头102打印时,液滴604可以具有与液滴104相同的大小和组成。形成支柱600的层L1-L10中的每一个中的液滴104以由打印路径606指示的顺序打印,使得支撑结构900的层L1-L10(图9A和图9B,在下面详细描述)按顺序打印。打印品602可以任何期望的打印路径打印,因为每个液滴604不需要在将另一液滴604打印在先前打印的液滴604上之前固化,但是支柱600和打印结构602的每个层L1-L10竖直地(即,远离基板100的表面140)打印。换句话说,在打印L2中的液滴等之前打印L1中的液滴104、604。如本领域普通技术人员所理解的,这使得在打印较低的层时较高的先前打印的结构与打印头102之间的物理接触和干扰最小化。在图6A和图6B中,打印产品602的一个层L1被打印。

[0059] 在液滴104、604的第一层L1被打印后,打印头102然后可以再次执行打印路径606以打印后续的液滴104。即,打印头102将在位置R1:C1处将层L2中的第二液滴104沉积到支柱600的层L1中的第一液滴104上,在位置R2:C1处将层L2中的第二液滴104沉积到支柱600的层L1中的第一液滴104上等。因此打印产品602和支柱600的打印可以继续,其中打印头102重复地遵循并沿着打印路径606执行顺序打印以打印支柱的 4×4 网格600。应当理解,打印头102所遵循的打印路径可以在各层之间变化,但是对于任何单个支柱600,没有顺序地打印两个液滴104,使得每个支柱600的打印液滴104具有足够的时间来固化。在该实施方式中,通常,形成打印产品602的给定层的液滴604将在喷射形成支撑结构900的给定层的液滴104之后从打印头102的孔108喷射,因为打印产品602通常将覆盖在支撑结构900上。然而,在一些用途中,可能期望在对打印产品602的相应层进行打印之前打印支撑结构900的一个或多个层。

[0060] 因此,打印可以继续直到支柱600和打印结构602完成。

[0061] 在支柱600的打印期间,可以任选地打印从支柱600的轴线A侧向偏移的侧向偏移

液滴700。侧向偏移液滴700的位置将取决于支撑结构900的设计。在图7B中,三个侧向偏移液滴700被描绘为在位置R1:C4处附接到液滴104,其中两个可以在图7A中看到。侧向偏移液滴700也在列C4中的每个支柱600处(即,在R1:C4、R2:C4、R3:C4和R4:C4中的每个处)形成,也如图7A中所描绘的。这些侧向偏移液滴700可以垂直于打印基板100的表面140的平面打印。在一些情况下,特别是对于较高的支柱600,支柱600可能倾向于远离垂直方向偏斜、倾斜、倾向、振动、塑性和/或弹性变形等,例如,如上文参考图2A和图2B所讨论的。侧向偏移液滴700可以形成物理地连接两个相邻支柱600的任意的侧向支撑件702。图7A和图7B描绘了在层级L3处打印的侧向支撑件702,但是侧向支撑件702可以在任何层级处打印,并且可以在两个或更多个不同的层级处打印。为了打印侧向支撑件702,在从打印头102的孔108喷射液滴104之前,使打印头102从部分形成的支柱600中的一个的轴线“A”侧向偏移。

[0062] 这些侧向偏移液滴700有助于形成作为支撑结构900的一部分的支撑表面的斜面902(图9B)。通过使用打印头102打印的液滴104填充在支柱600之间的空间中来形成斜坡902。因此,在打印形成打印结构602的液滴604之前,打印填充在每个层处的空间的液滴104。图8是图7B的平面图,其中打印产品602被移除。图8描绘了部分完成的支撑结构900和部分完成的坡道902。参考图9B,斜坡902以倾斜角“ θ ”形成,其中 θ 由穿过支柱600中的一个的垂直轴线A和作为穿过每个支柱600的最上面的液滴104的中心的最佳拟合线(即趋势线)的斜线904限定。在一个实施方式中, θ 可以为约 20° 至约 70° ,或约 30° 至约 60° 。

[0063] 随后,支柱600、侧向偏移液滴700和斜坡902的打印继续形成图9A和图9B所描绘的结构。在图9A和图9B中,包括斜坡902的支撑结构900已经完成。添加到打印产品602的液滴604的进一步打印可以随后继续形成图10A和图10B的结构,这完成了打印产品602的打印。在图10B中,支柱600被描绘为10个层级高(L10),并且打印产品602被描绘为13个层级高(L13),但是支柱600和打印产品602可以被形成为相对于打印基板100的表面140的任何期望高度。

[0064] 随后,可以从打印基板100移除打印产品602,并且在一些实施方式中,可以移除支柱600和支撑结构900以产生如图11中所描绘的最终打印产品1100,并且因此支柱600和支撑结构900可以是牺牲性的。应当理解,来自支撑结构900的一些打印液滴104(支柱600、侧向支撑件702和斜坡902)可以如所描绘的保留在最终打印产品1100上,或者可以被完全移除。

[0065] 虽然支柱600的图案被示出为使用具有打印头102的直线移动的蛇形图案打印的正方形阵列,但是可以设想,可以沿着弯曲的或近似于弯曲的路径打印不在直线中的支柱的其他图案。如果沿着曲线打印一系列支柱,其中所有支柱与在同一层上构建3D部件的固体表面相交,则这可能是有益的。因此,可以重复打印一系列支柱的路径部分,直到需要连接它们以形成固体表面。在此时,当打印头横穿相同的打印路径或打印路径的一部分时,可以打印连接该一系列支柱的点。如果第二打印路径是与第一打印路径平行的曲线,则将该一系列支柱连接到用第二打印路径打印的相邻组支柱的线可以是与第一打印路径平行的曲线,或者可以插置在第一打印路径与第二打印路径之间。

[0066] 在本教导内容的实施方式中,相邻的支柱可以被打印,使得它们以约0.1毫米(mm)的距离彼此间隔开(对于间距接近约10.0mm的非常小的液滴),特别是当使用如上所述的侧向支撑件时。在其他实施方式中,相邻的支柱可以彼此间隔约1.0mm至约5.0mm或约2.0mm至

约3.0mm的距离。打印的液滴的平均直径可为约50微米(μm)至约700 μm ,或约200 μm 至约600 μm ,或约400 μm 至约500 μm 。另外,完成的支柱在未由侧向支撑件支撑时可以具有约0.2mm(取决于液滴直径)至约1.0米的高度。在一些情况下,取决于动态负载、热变形等,支柱高度可以超过1.0米,例如,约1.0米至1.8米。据估计,支柱将在超过约1.8米的高度处自弯曲。在由侧向支撑件支撑时,支柱高度可以在约0.2mm至几米的范围内,例如3.0米或更大。通常,取决于形成的结构,支柱高度可以在约1.00mm至约500mm的范围内,或在约1mm至约300mm的范围内。

[0067] 在该实施方式中,多个支柱中的每个支柱114在完成时具有与多个支柱中的每个其他支柱114不同的高度,如图10B所描绘的。在一个实施方式中,每个支柱114将具有比多个支柱中的每个其他支柱114高或短 $\pm 10\%$ 的高度。在另一个实施方式中,多个支柱中的每个支柱在完成时具有一定高度,并且多个支柱中的最高支柱的高度是多个支柱中的最短支柱的高度的至少四倍。这允许形成斜坡902以与打印基板100的表面140形成倾斜角。

[0068] 如上所讨论的,侧向支撑件200、202、702在形成支柱114、600时以及在移除之前为支柱114、600提供支撑,这减少了支柱114、600的偏斜或倾倒。在完成打印产品500、1100之前,侧向支撑件200、202、702支撑支柱114、600,并且支柱114、600支撑打印产品500、1100的至少一部分。在另一个实施方式中,提供了如图12A至图13B所描绘的用于支撑支柱的替代技术,其中“A”图是平面图,并且“B”图是沿着“A”图中标识的位置的横截面。在图12A至图13B中,描绘了具有不同类型的基底1210的支柱1200-1204的三个列A-C。列A中的支柱1200每个层级包括两个液滴1220,列B中的支柱1202每个层级包括三个液滴1220,列C中的支柱1204每个层级包括四个液滴1220。虽然出于解释的目的描绘了三种不同类型的基底1210,其中每个列A-C包括不同类型的基底1210,但是应当理解,结构可以包括具有仅一种类型的基底1210的多个列。然而,应当进一步理解,结构可以包括列A-C中描绘的两种类型的基底1210,或所有三种类型的基底。

[0069] 为了形成图12A、图12B的基底1210,对于每个列A-C中的每个基底1210,在层级L1处打印仅第一滴1220。随后,对于在每个列A-C中的与第一液滴相邻的每个基底1210,在层级L1处打印第二液滴1220。对于支柱1202和1204,对于与前两个液滴1220相邻的每个基底,在L1处打印第三液滴1220,并且对于支柱1204,对于与前三个液滴相邻的每个基底1210,在L1处打印第四液滴1220。每个支柱1200-1204一次打印一个液滴1220确保了对于每个基底1210在每个支柱位置处打印与前一液滴相邻的后续液滴之前每个液滴1220固化。液滴1220可以例如以先前描述的打印路径130、606中的一个或另一个打印路径被打印。后续液滴1220类似地在附加的层级中打印,直到完成每个支柱1200-1204的基底1210。图12B描绘了形成每个基底1210的五个层级L1-L5,但是应当理解,基底可以大于或小于五个层级。每个层级L1-L5的液滴1220可以物理接触相同层级中的至少一个其他液滴1220和不同层级中的至少一个其他液滴1220。

[0070] 接下来,如图13A、图13B所描绘的,在每个基底1210上打印分离部1300。分离部1300包括打印在每个层级L6-L8处的单个液滴1220。而图13B描绘了三个层级高的分离部,分离部1300可以为一个或多个层级高。随后,可以形成上覆结构诸如上文描绘和描述的打印顶盖402(为简单起见未在图13A、图13B中示出)或另一种上覆结构以物理接触分离部1300。

[0071] 在形成和使用支柱1200-1204期间,与例如在每个层级处仅包括单个液滴的支柱相比,在每个层级处包括两个或更多个液滴1220的基底1210为支柱1200-1204提供相对坚固且稳定的支撑。虽然形成有加强基底1210的这些支柱1200-1204可能不需要单独的支撑结构,诸如侧向支撑件200、202、702,但是可以设想,可以形成侧向支撑件以进一步支撑支柱1200-1204。另外,每个分离部1300仅用单个液滴1220物理接触上覆结构诸如打印顶盖402,并且因此与产品的物理连接较弱,并且与支柱1200-1204形成为仅包括从表面140到产品的基底1210的情况相比,包括支柱1200-1204的支撑结构更容易移除。因此,相对较强的加强基底1210增强了每个列A-C的每个支柱1200-1204,并且减少或防止了支柱1200-1204在形成期间的倾倒,而相对较弱的分离部1300通过为每个支柱1200-1204包括单个液滴1220作为与产品的接触点来减轻与产品的分离。

[0072] 图14是描绘可用于形成容易与产品分离的支撑结构的两种另外类型的支柱的横截面。支柱1400的第一类型X包括彼此侧向偏移的多个液滴1220。图14描绘了延伸穿过支柱1400的第一液滴1410的中心的第三垂直轴线 A_1 ,其中第一液滴1410物理接触打印基板100的表面140。图14还描绘了延伸穿过支柱1400的第二液滴1412的中心的第二垂直轴线 A_2 ,其中第二液滴1412物理接触产品诸如打印顶盖402(图4,为简单起见未示出)。支柱1400可以包括位于第一液滴1410与第二液滴1412之间的另外的液滴1220。第一轴线 A_1 从第二轴线 A_2 侧向偏移距离 D_1 。在一个方面,取决于液滴的平均直径,距离 D_1 可以为约 $200\mu\text{m}$ 至约 $2800\mu\text{m}$ 。在另一方面,距离 D_1 可以为液滴1220的平均直径或目标直径的约1.0倍至约10.0倍(其中目标直径可在穿过液滴1220的中心的任何方向上测量,例如,在穿过液滴1220的中心的X、Y或Z方向中的任一个或任何旋转方向上测量)。在图14中,形成支柱1400的多个相邻的液滴1220彼此侧向偏移,使得支柱1400逐渐弯曲并形成弧形1414。

[0073] 图14进一步描绘了支柱1402的第二类型Y,其包括彼此侧向偏移的多个液滴1220。图14描绘了延伸穿过支柱1402的第一液滴1420的中心的第三垂直轴线 A_3 ,其中第一液滴1420物理接触打印基板100的表面140。图14还描绘了延伸穿过支柱1402的第二液滴1422的中心的第四垂直轴线 A_4 ,其中第二液滴1422物理接触产品诸如打印顶盖402(图4,为简单起见未示出)。支柱1402可以包括位于第一液滴1420与第二液滴1422之间的另外的液滴1220。延伸穿过多个液滴1220的中心的第三轴线 A_3 与也可以延伸穿过多个液滴1220的中心的第四轴线 A_4 侧向偏移一定距离 D_2 。在一个方面,距离 D_2 可以为约 $10\mu\text{m}$ 至约 $560\mu\text{m}$ 。在另一方面,距离 D_2 可以为液滴1220的平均直径或目标直径的约0.2倍至约0.8倍。在图14中,仅形成支柱1400的两个相邻的液滴1220彼此侧向地向偏移。形成支柱1402的每个液滴1220仅在两条轴线 A_3 和 A_4 中的一条中竖直对齐。

[0074] 支柱1400、1402中的任一个包括彼此侧向偏移的液滴1220。与列仅沿单条轴线竖直对齐的情况相比,侧向偏移通过在分离期间在侧向偏移的位置处施加更大的应力来减轻与产品的分离。应当理解,除了所描绘和描述的那些之外的侧向偏移是可以设想的并且在本教导内容的范围内。

[0075] 应当理解,根据本教导内容的实施方式的方法可以任选地包括为简单起见而未在本文中描述的其他处理动作,包括例如加热处理(例如,再熔融处理、回火处理等)、蚀刻处理(例如,化学蚀刻、机械蚀刻等)、涂覆处理(例如,金属电镀处理、聚合物涂覆处理等)或另一种处理。

[0076] 尽管阐述本教导内容的广泛范围的数值范围和参数是近似值,但具体示例中给出的数值是尽可能精确地报告。然而,任何数值固有地包含一定的误差,这些误差必然是由它们各自的测试测量值中存在的标准偏差引起的。此外,本文所公开的所有范围应理解为涵盖其中所包含的任何和所有子范围。例如,“小于10”的范围可以包括介于(并且包括)最小值0和最大值10之间的任何和所有子范围,即具有等于或大于0的最小值和等于或小于10的最大值的任何和所有子范围,例如1至5。在某些情况下,为参数给出的数值可以采用负值。在这种情况下,表示为“小于10”的范围的示例值可取负值,例如1、-2、-3、-10、-20、-30等。

[0077] 虽然已经相对于一个或多个实施方式示出了本教导内容,但是可以对所示示例做出改变和/或修改,而不脱离所附权利要求的精神和范围。例如,应当理解,虽然该过程被描述为一系列动作或事件,但本教导内容不受此类动作或事件的排序的限制。一些动作可按不同顺序发生和/或与除本文所述的那些以外的其他动作或事件同时发生。另外,不需要所有的过程阶段来实现根据本教导内容的一个或多个方面或实施方式的方法。应当理解,可添加结构部件和/或处理级,或者可移除或修改现有的结构部件和/或处理级。此外,本文所描绘的动作中的一者或多者可在一个或多个单独的动作和/或阶段中执行。此外,如果术语“包括”、“包含”、“具有”、“带有”或其变体用于具体实施方式和权利要求中,则此类术语旨在以类似于术语“包括”的方式呈包括性。术语“…中的至少一者”用来指可选择所列项目中的一者或多者。如本文所用,相对于诸如A和B之类的项目列表的术语“…中的一者或多者”意指单独的A、单独的B、或A和B。此外,在本文的讨论和权利要求中,相对于一者在另一者“上”的两个材料使用的术语“在…上”意指这两个材料之间的至少一些接触,而“在…上方”意指这两个材料接近,但可能有一个或多个附加居间材料,使得接触是可能的但非必需。“在…上”和“在…上方”均不暗示如本文所用的任何方向性。术语“保形的”描述了底层材料的角度因保形材料而得以保留的涂层材料。术语“约”指示可略微改变所列的值,只要该改变不会导致该过程或结构与所示的实施方式不符即可。最后,“示例性”指示该描述用作示例,而非暗示其是理想的。通过考虑本说明书并实践本文公开内容,本教导内容的其他实施方式对于本领域技术人员将是显而易见的。旨在仅将本说明书和示例视为示例性的,而本教导内容的真实范围和精神由以下权利要求指示。

[0078] 本专利申请中所使用的相对位置的术语是基于平行于工件的常规平面或工作表面的平面来限定,而与工件的取向无关。本专利申请中所使用的术语“水平”或“横向”被定义为平行于工件的常规平面或工作表面的平面,而与工件的取向无关。术语“竖直”是指与水平垂直的方向。术语诸如“上”、“侧”(如在“侧壁”中)、“较高”、“较低”、“上方”、“顶”和“下”是相对于常规平面或工作表面位于工件的顶表面上来定义,而与工件的取向无关。

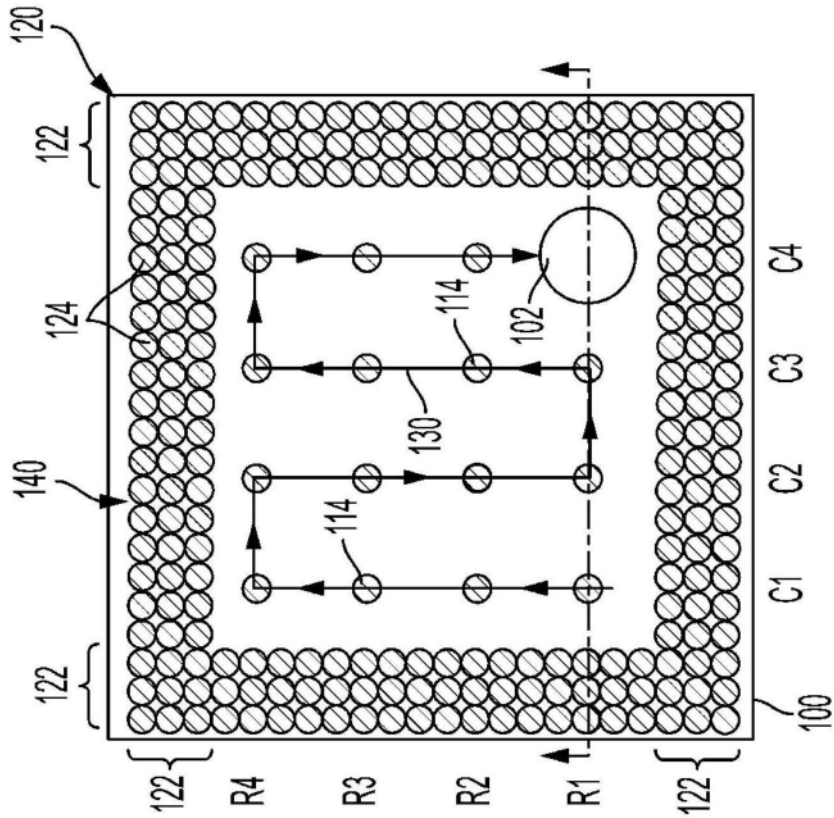


图1A

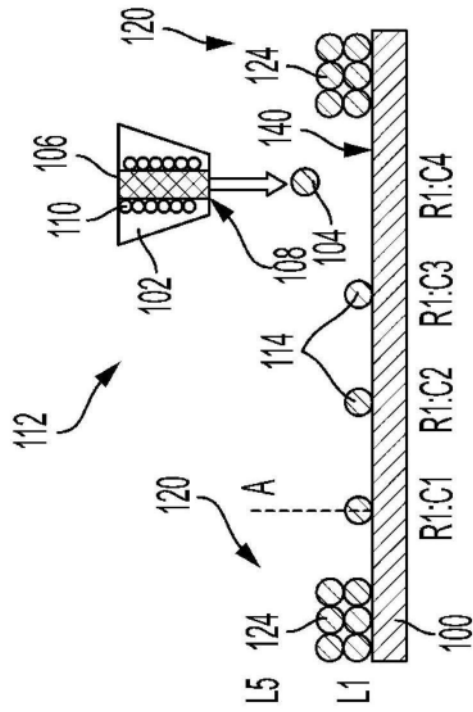


图1B

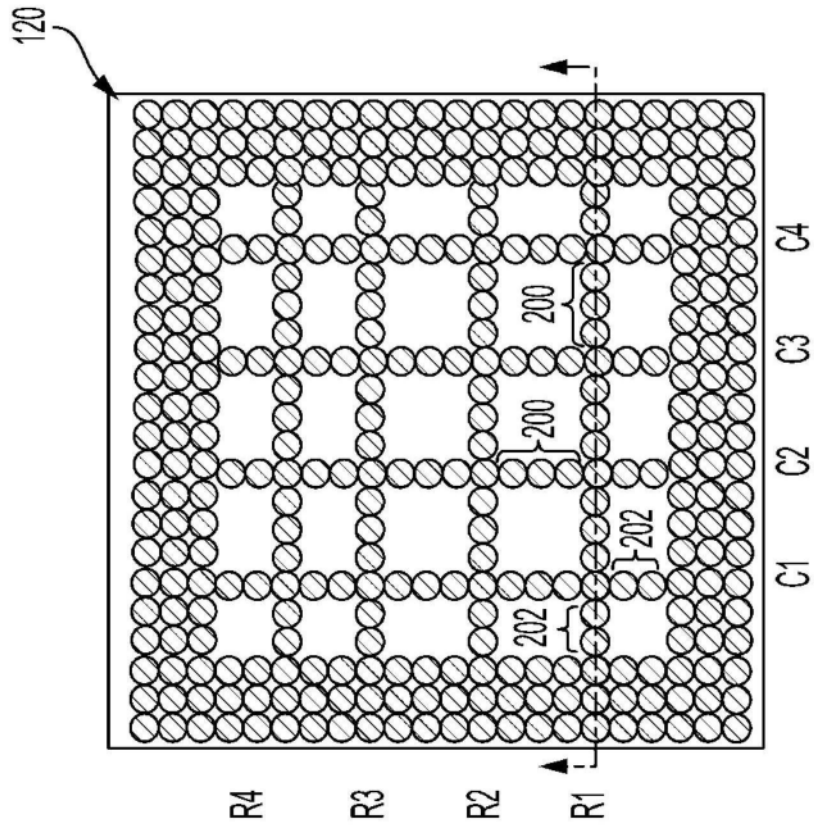


图2A

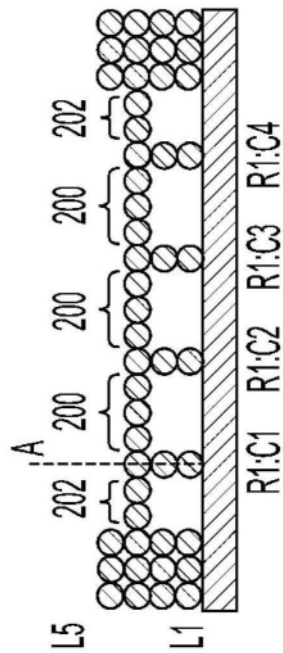


图2B

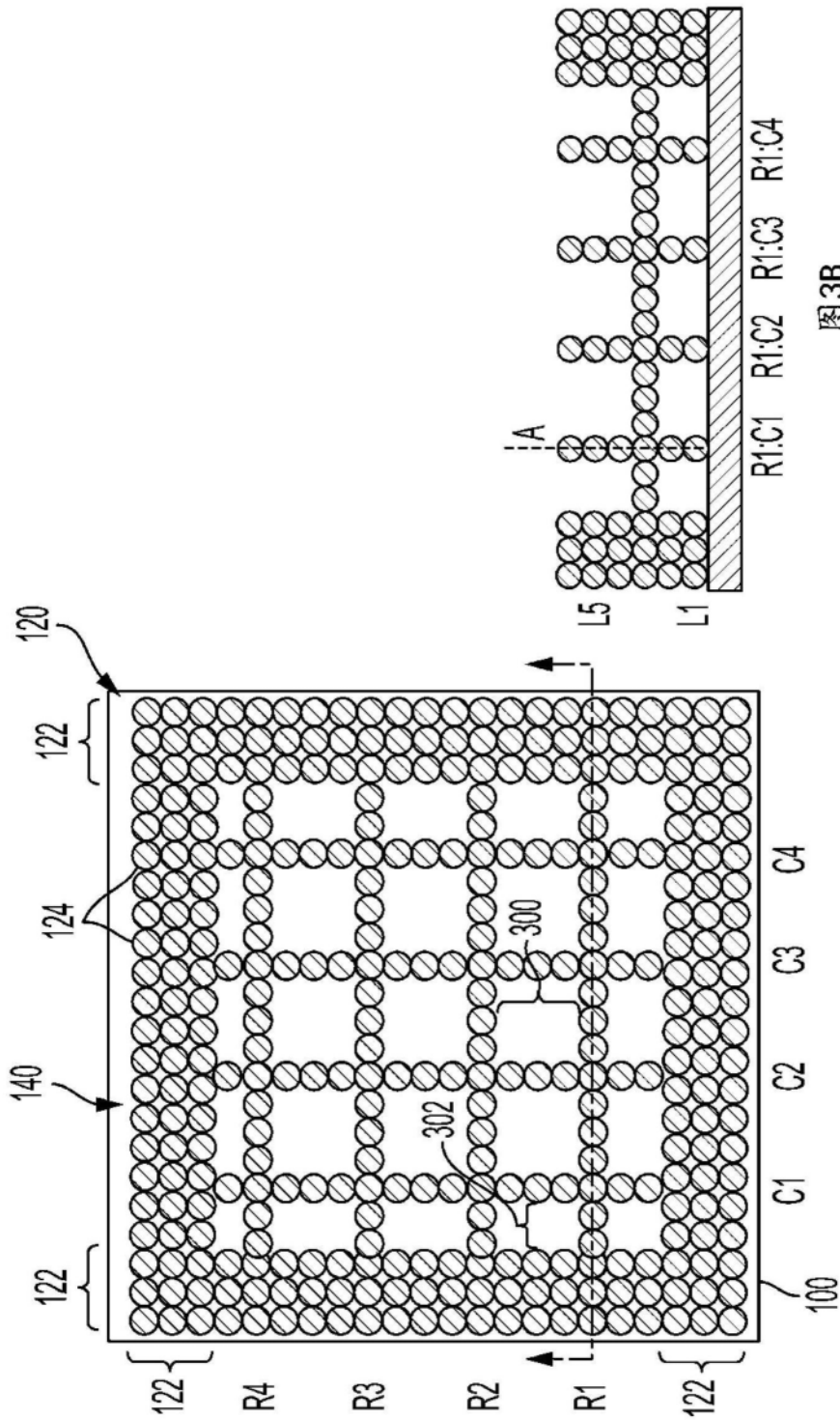


图3A

图3B

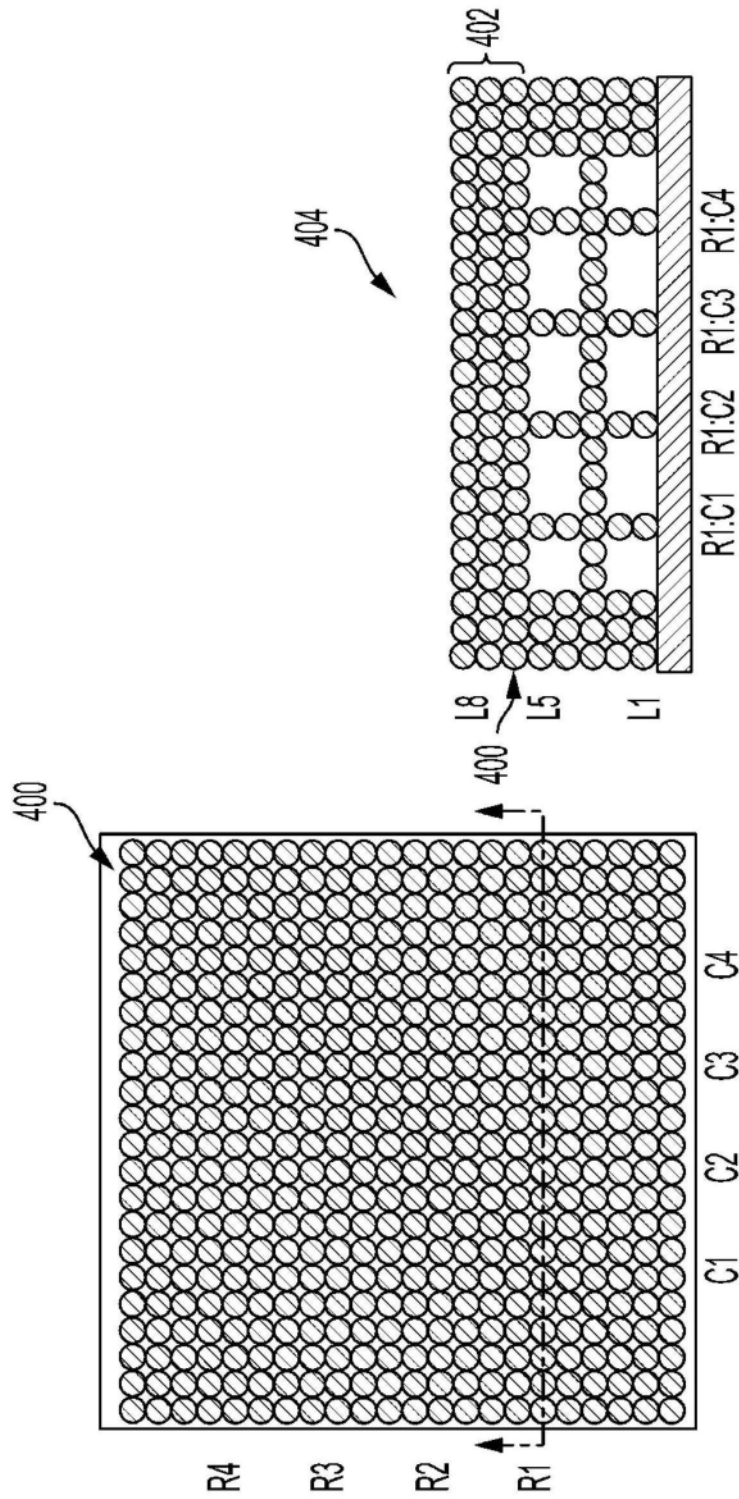


图4B

图4A

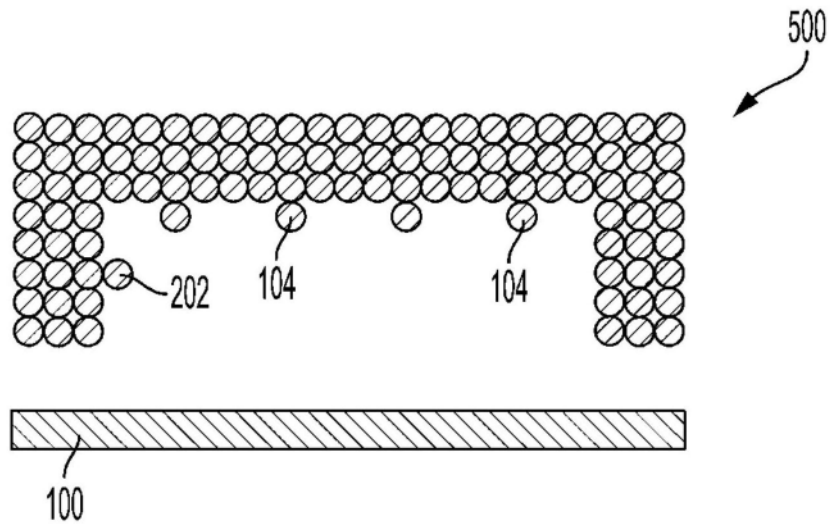


图5

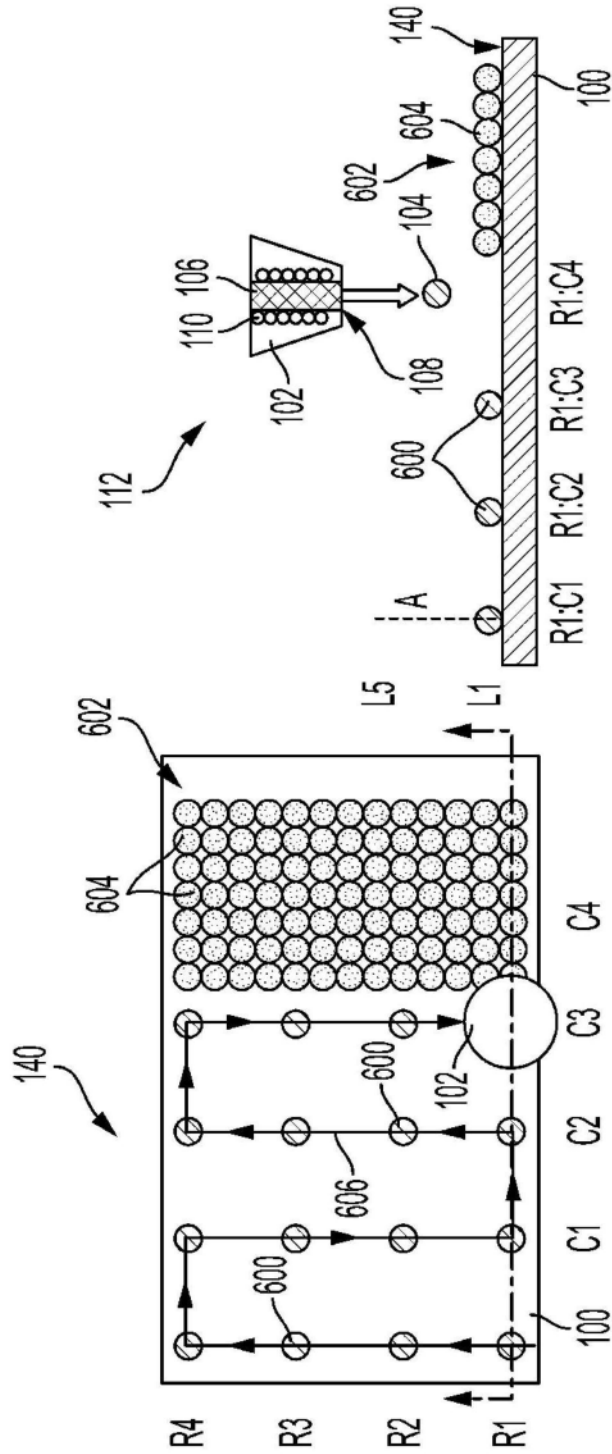


图6B

图6A

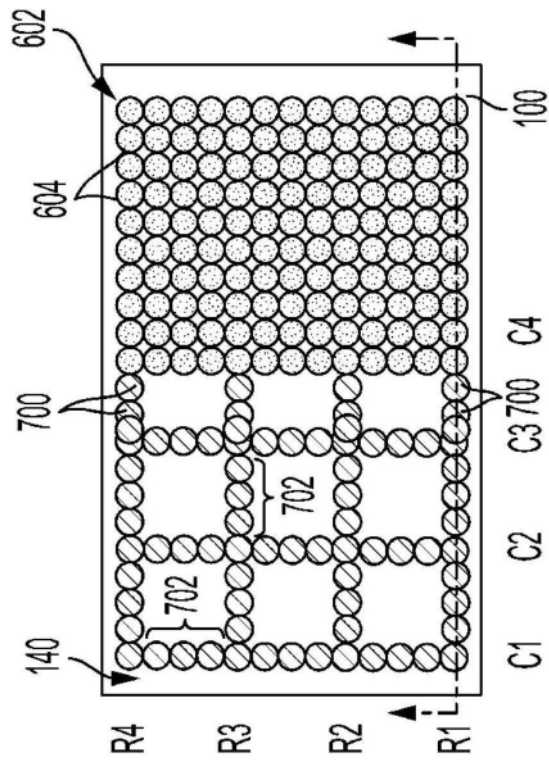


图7A

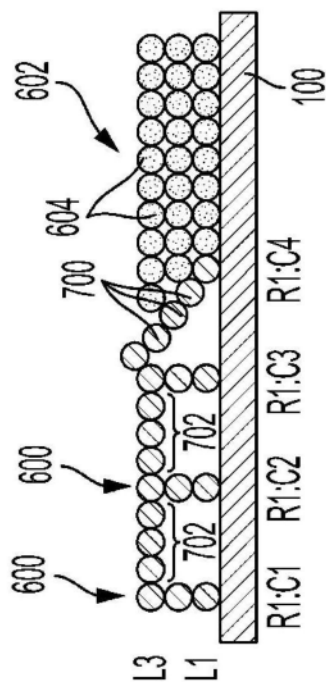


图7B

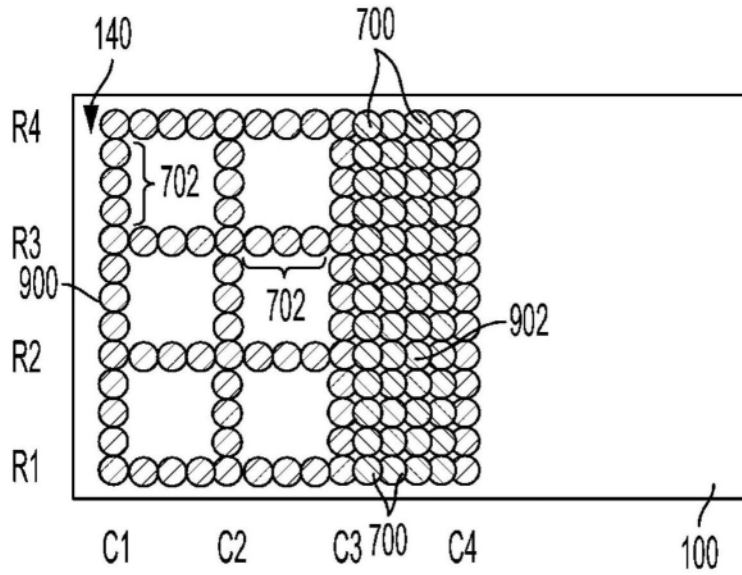


图8

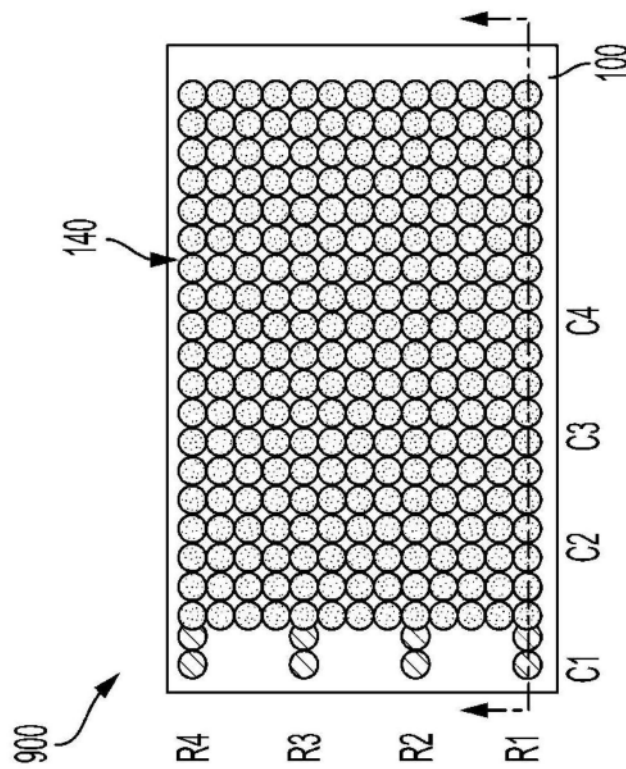


图9A

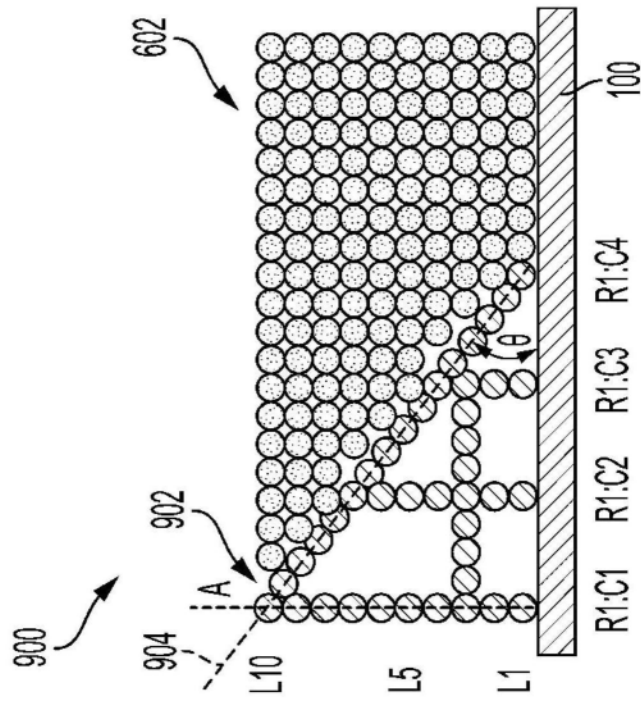


图9B

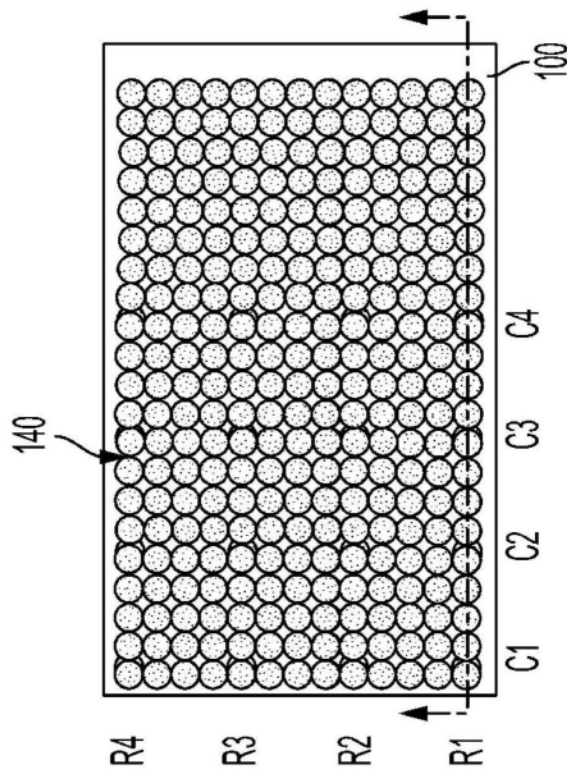


图10A

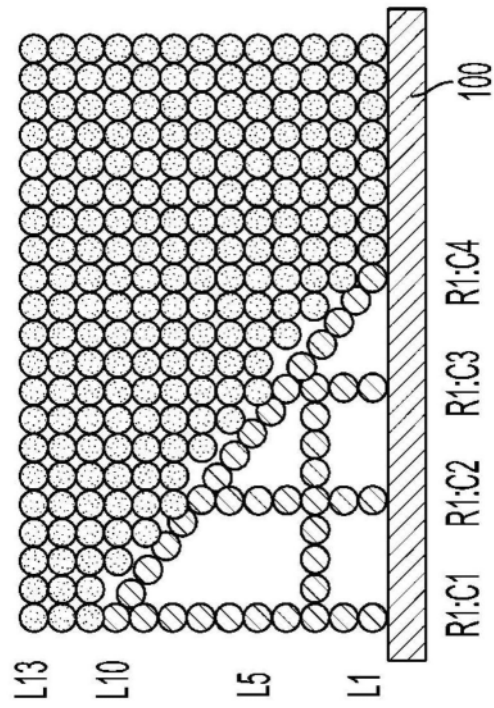


图10B

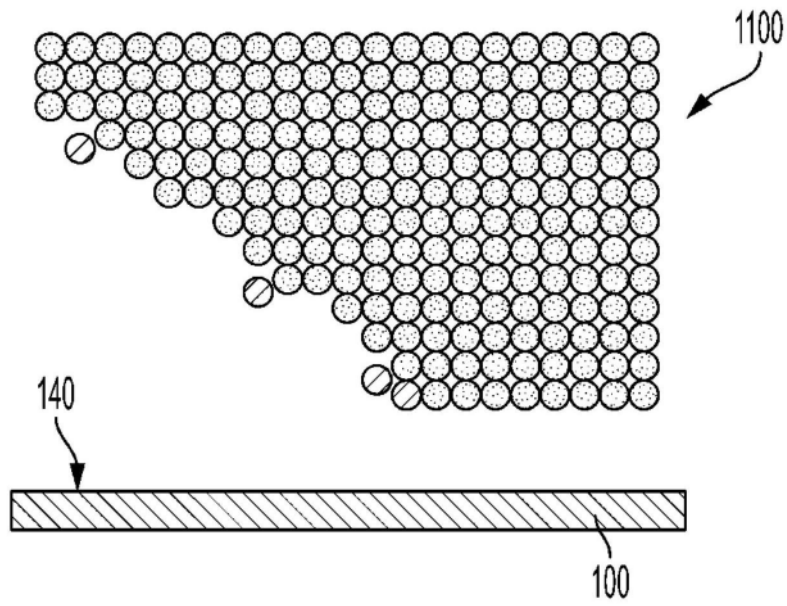


图11

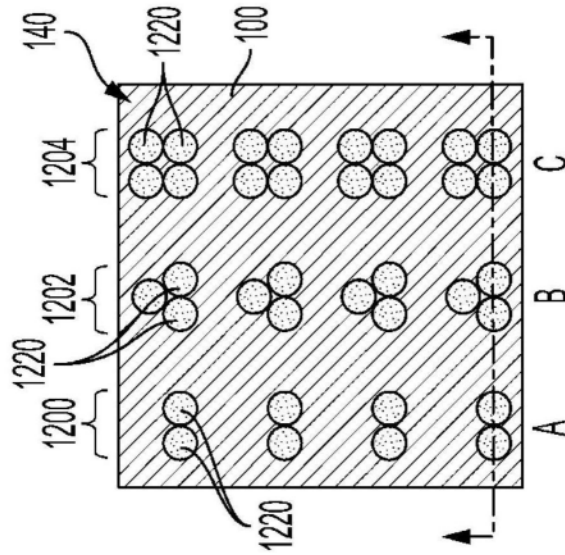


图12A

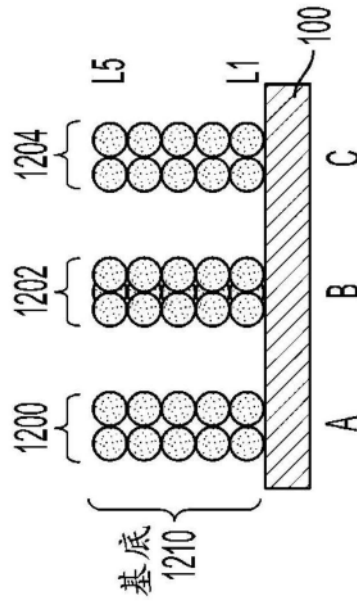


图12B

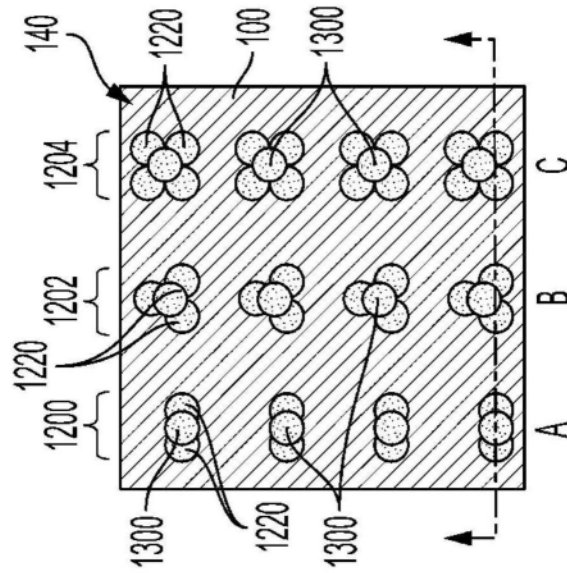


图13A

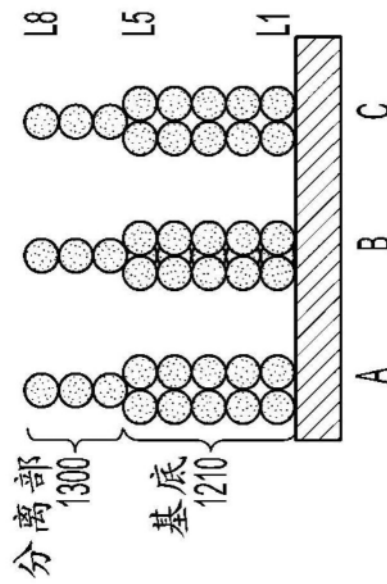


图13B

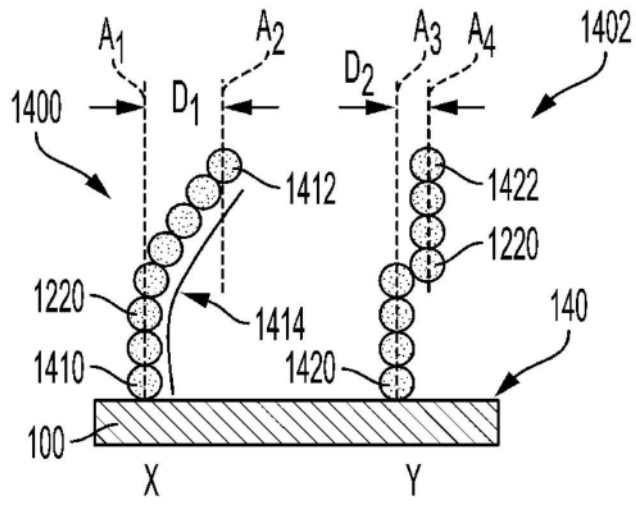


图14