(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 115151350 B
(45)授权公告日 2024.07.23

(21)申请号 202080096507.5
(22)申请日 2020.12.29
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 115151350 A
(43)申请公布日 2022.10.04
(30)优先权数据
62/953,577 2019.12.25 US
62/954,171 2019.12.27 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2022.08.12
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/GB2020/053373 2020.12.29
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2021/130505 EN 2021.07.01
(73)专利权人 超飞跃有限公司
地址 英国布里斯托尔
(72)发明人 本杰明·约翰·奥利弗·朗
布莱恩·卡普斯 亚当·普赖斯
(74)专利代理机构 北京品源专利代理有限公司 11332
专利代理师 谭营营 王天鹏
(51)Int.Cl.
B06B 1/06(2006.01)
G10K 11/34(2006.01)
G10K 11/04(2006.01)
G10K 11/02(2006.01)
G10K 11/22(2006.01)
(56)对比文件
WO 2016/073936 A2,2016.05.12
审查员 刘晶

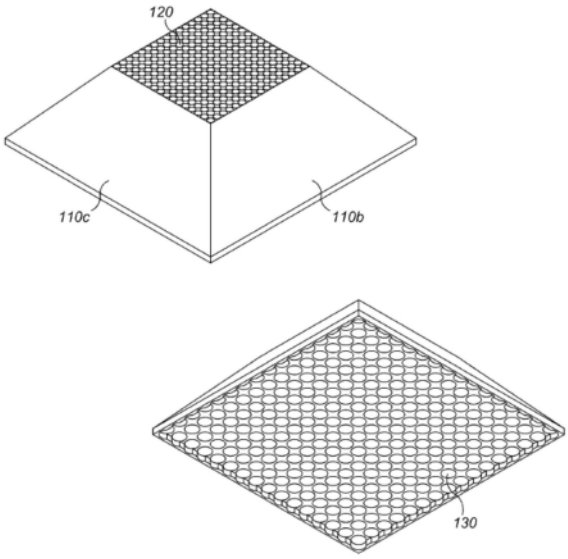
权利要求书1页 说明书15页 附图43页

(54)发明名称

声学换能器结构

(57)摘要

定义临界间距对于参数化音频的导向是必要的。比较有无波导的导向测量结果得出结论，扩散的叶状光栅波瓣贡献于音频，并且光栅波瓣是导向不良的原因。此外，波导需要以正确的相位偏移发挥作用，以实现性能所需的导向。当波导缺少临界间距或空间受限时，排列管以使阵列配置从直线变化为另一种分布是有用的。阵列设计也可以利用直线换能器设计，同时具有具有无理数间距的换能器铺瓦的优点，以促进光栅波瓣能量的扩散。



CN 115151350 B

1.一种换能器装置,包括:

多个超声换能器;

操作的声波长;

多个声腔,其中所述多个声腔中的每个具有输入开口和出口开口,所述输入开口具有进入超声,所述出口开口具有几何中心并具有退出超声;

其中,每个输入开口接受来自多个换能器之一的超声;

其中,所述出口开口的至少两个几何中心彼此之间的距离小于所述操作的声波长;

其中,对于所述多个声腔中的第一个,第一退出超声相对于第一进入超声具有第一相位偏移;

其中,对于所述多个声腔中的第二个,第二退出超声相对于第二进入超声具有第二相位偏移;

其中所述第一相位偏移不同于所述第二相位偏移;

其中,在发射之前,所述第一相位偏移被反转,并被应用于至少一个换能器驱动的相位。

2.根据权利要求1所述的装置,其中,所述第一退出超声被调制以产生可听声。

3.根据权利要求1所述的装置,其中,所述第一退出超声被调制以产生半空触觉效果。

4.根据权利要求1所述的装置,其中,所述第一退出超声被用于使物体悬浮。

5.根据权利要求1所述的装置,其中,所述第一退出超声相对于所述第一进入超声具有振幅偏移。

6.根据权利要求5所述的装置,其中,所述振幅偏移被用于在发射之前修改至少一个换能器的振幅。

7.根据权利要求2所述的装置,其中,所述出口开口基本上是共面的。

8.根据权利要求7所述的装置,其中,所述可听声以大于平面法线15度的角度被定向。

9.根据权利要求7所述的装置,其中,所述可听声以大于平面法线30度的角度被定向。

10.根据权利要求7所述的装置,其中,所述可听声以大于平面法线45度的角度被定向。

11.根据权利要求7所述的装置,其中,所述可听声以大于平面法线60度的角度被定向。

12.根据权利要求5所述的装置,其中,所述振幅偏移在2dB以内。

13.根据权利要求1所述的装置,其中,所述多个声腔包括:具有从所述输入开口到所述出口开口半径减小的直圆柱体。

14.根据权利要求13所述的装置,其中,所述操作的声波长小于9mm。

15.根据权利要求13所述的装置,其中,多个出口开口的间距小于6mm。

16.根据权利要求1所述的装置,其中,所述第一相位偏移和所述第二相位偏移被存储在存储器中。

17.根据权利要求5所述的装置,其中,所述振幅偏移被存储在存储器中。

18.根据权利要求1所述的装置,其中,所述出口开口被排列以创建光栅波瓣强度。

19.根据权利要求18所述的装置,其中,所述出口开口具有喇叭状的出口孔径,以增加与开敞空间的耦合。

声学换能器结构

[0001] 相关申请

[0002] 本申请要求享有以下申请的权益:(1)于2019年12月25日提交的美国临时专利申请号62/953,577;和(2)于2019年12月27日提交的美国临时专利申请号62/954,171,两者的全部内容通过引用而并入。

技术领域

[0003] 本公开总体上涉及用于半空触觉系统的声学换能器结构的改进技术。

背景技术

[0004] 如本文所述,术语“相控阵”是指投射到同一空间并可被单独寻址的一组发射器。通过选择特定信号或在单色阵列的情况下选择相位和振幅,这组发射器可以使发射场成形。在空气中的超声相控阵的情况下,声场可以被聚焦、发散、形成波束,并且通常可以重新排列成许多其他形式。经成形和经导向的超声场的用途包括半空触觉、定向音频以及物理材料和场景的成像。

[0005] 当元件间距超过临界间距时,经由相控阵进行的导向(steering)可以遇到光栅波瓣。这导致了声能被投射到非预期的方向。为了使阵列更接近临界间距,可以使用声学波导结构。Jager等人(2017IEEE)展示了使用波导结构的波束导向。虽然Jager示出了光栅波瓣的减少,但它没有实现或展示与触觉或参数化音频有关的后果。

[0006] 此外,本文描述的阵列设计,旨在利用直线换能器设计,但具有无理数的间距的换能器铺瓦(tiling)的优点,以促进光栅波瓣能量的扩散。

[0007] 取决于诸如波长、元件尺寸、元件之间的分离距离和间距的几何均匀性等参数,对发射相控阵系统的换能器进行排列生成了不需要的附加特征。

[0008] 随着波长减小,当以波长测量时,元件尺寸和分离距离增大。在一定尺寸以上,光栅波瓣会出现并扭曲输出,这在极端情况下会创建不需要的额外输出焦点。

[0009] 出于商业原因,可以有必要无关于元件的尺寸和间距来设置频率,其中对于具有几何均匀性的间距的结构,当被致动而产生焦点时,会出现不需要的额外输出焦点。在这种情况下,唯一可修改的参数是几何均匀性。然而,在商业上,创建不浪费材料、具有高封装密度并最大限度地减少用于制造的所需步骤的数量和复杂性的换能器是有益的。

发明内容

[0010] 本文公开的一项关键创新是认识到接近临界间距对于参数化音频的导向是必要的。当查看超声仿真或测量数据时,不能明显看出扩散的叶状光栅波瓣贡献于音频与它所做的一样多。仅对音频的测量也无法得出光栅波瓣是导向不良的原因的结论。这需要比较有、无波导的导向测量才能得出这一结论。此外,波导管需要以正确的相位偏移发挥作用,以实现性能所需的导向。

[0011] 此外,Jager等人仅展示了使用等长的管的操作,并没有讨论其他可能性。在本公

开中,不同长度的管具有相同的功能,并允许更多种形状。此外,对管进行排列以使阵列配置从直线变为另一种分布是一种不明显的用法,并且在波导缺少临界间距或空间受限时具有优势。

[0012] 此外,本公开描述了旨在利用直线换能器设计的阵列设计,同时具有具有无理数的间距的换能器铺瓦的优点,以促进光栅波瓣能量的扩散。

附图说明

[0013] 附图(其中类似的参考编号指的是整个独立视图中相同或功能相似的元件)以及下面的详细描述被并入说明书中并构成说明书的一部分,用于进一步说明包括所要求保护的发明的概念的实施例,并解释这些实施例的各种原理和优点。

[0014] 图1A、1B和1C示出了波导的排列。

[0015] 图2示出了光栅波瓣抑制仿真。

[0016] 图3示出了光栅波瓣抑制仿真。

[0017] 图4示出了激光多普勒测振仪扫描图像。

[0018] 图5示出了叶序螺旋(phyllotactic spiral)的换能器排列。

[0019] 图6示出了图5在仿真中的效果。

[0020] 图7A和7B示出了直线阵列的超声声学仿真。

[0021] 图8A和8B示出了使用以叶序螺旋排列的阵列的超声声学仿真。

[0022] 图9示出了以叶序螺旋排列的阵列的音调产生的音频导向性能。

[0023] 图10示出了以叶序螺旋排列的阵列的音调产生的音频导向性能。

[0024] 图11示出了使用直线阵列的参数化音频波束的导向。

[0025] 图12示出了使用直线阵列的参数化音频波束的导向。

[0026] 图13示出了使用直线阵列的参数化音频波束的导向。

[0027] 图14示出了来自换能器阵列的参数化音频的频率响应。

[0028] 图15示出了以叶序螺旋的点集的Voronoi图。

[0029] 图16示出了具有以叶序螺旋排列的圆形换能器的图表。

[0030] 图17示出了具有以叶序螺旋排列的方形换能器的图表。

[0031] 图18示出了换能器的直线对齐排列。

[0032] 图19示出了换能器元件的方形栅格的布拉格(Bragg)衍射。

[0033] 图20示出了换能器的二元铺瓦(binary titling)。

[0034] 图21A和21B示出了二元铺瓦的布拉格衍射。

[0035] 图22A和22B示出了风车铺瓦(pinwheel titling)及其布拉格衍射。

[0036] 图23示出了风车分形结构中存在的直角三角形图案。

[0037] 图24示出了纵横比为1:2的左手和右手“多米诺(domino)”阵列的矩形阵列设计。

[0038] 图25示出了“方形”阵列的四种变体的设计。

[0039] 图26示出了使用亥姆霍兹(Helmholtz)方程的本征模仿真。

[0040] 图27示出了压电致动器的弯曲模式的最大z偏转仿真。

[0041] 图28示出了压电致动器的弯曲模式的最大z挠度仿真。

[0042] 图29示出了详细介绍将方形单元格排列成新的排列的基本步骤的仿真。

[0043] 图30示出了说明如何递归扩展图29以构建更大的元件阵列的仿真。

[0044] 图31示出了说明由旋转或镜像或两者提供的变化可能性的仿真。

[0045] 图32A、32B、32C和32D示出了使用旋转构造的方形换能器的示例元件阵列。

[0046] 图33A、33B、33C和33D示出了使用镜像构造的方形换能器的示例元件阵列。

[0047] 图34A、34B、34C和34D示出了使用旋转和镜像构造的方形换能器的示例元件阵列。

[0048] 图35示出了使用方形换能器的仿真递归偏移阵列的图。

[0049] 熟练的技术人员将理解,图中的元件是为了简单和清晰而示出的,并且不一定是按比例绘制的。例如,图中一些元件的尺寸可以相对于其他元件被夸大,以帮助提高对本发明实施例的理解。

[0050] 在适当的情况下,装置和方法组件在图纸中用常规符号表示,仅示出与理解本发明的实施例相关的那些具体细节,以避免用对本领域的普通技术人员来说显而易见的细节来掩盖本公开,这些细节将益于本文的描述。

具体实施方式

[0051] I、使用声波导结构的超声相控阵的导向

[0052] A、介绍

[0053] 与超声相控阵一起工作时遇到的限制是光栅波瓣现象。这是换能器的某些排列以输出错误波瓣的形式在非预期方向上产生能量泄漏的现象。为了说明这一效果,考虑了中心到中心间距为a的换能器的线性阵列。当它们都以同相地产生超声时,它们产生的场类似于线源,其中垂直于换能器阵列的截面将揭示圆形发散波前,但在换能器的平面中,将有基本线性的波前远离换能器而直接投影。现在,考虑另一个与该平面的垂直方向成一定角度θ的方向。沿该方向的距离,在从一个换能器发射的球形发散波前与另一个换能器连接之前,由d=a sinθ得出:当该距离等于一个波长时,则沿该方向每个波都以相长的方式(constructively)相加。以该角度的这种相长干涉的结果是光栅波瓣。发生这种的该角度由$\theta = \sin^{-1}\frac{\lambda}{a}$给出,其中λ是超声的波长。这说明,在这种情况下,光栅波瓣取决于间距a以及其如何与波长λ进行比较。例如,如果a小于λ,则不存在解,并且因此在该排列和发射场景中不存在光栅波瓣。

[0054] 相控阵中的光栅波瓣已被广泛研究,并且仔细分析表明,当换能器间距等于或小于波长的一半(1/2λ)(Wooh&Shi,1999)时,无论排列如何,所有光栅波瓣都将被消除。这被称为“临界间距”。具有换能器间距为临界间距的线性或平面阵列将能够在没有光栅波瓣伪影的情况下实现所需的场。如上所示,以直角产生的波束的光栅波瓣直接远离阵列,当系统接近波长(λ)间距或两倍于临界间距时消失。然而,如果在非直接垂直的任何方向上移动或导向波束,在这种排列下,当系统开始导向时,光栅波瓣将立即出现。在波长间距(λ)和临界间距(1/2λ)之间存在一类阵列,其可以在没有光栅波瓣的情况下导向越来越大的角度。如果不需要较大的导向角,这可以是有益的,因为较大的换能器往往会提供更强的声场。因此,所需的导向角较小简化了系统的设计。

[0055] 超声换能器的几何形状由许多因素决定,包括所用材料、致动元件、匹配层、谐振腔以及换能器元件设计的许多其他方面。设计能够达到临界间距的传感元件是很困难。此

外,形状奇怪的元件可能阻止减轻了来自光栅波瓣的二次聚焦的排列(诸如叶序螺旋)。这里提出的发明是一系列管或波导路径,它们可以被直接安装在换能器或换能器阵列的顶部,将声学输出引导到波导另一端处的第二孔径。从所产生的声场的角度来看,就相控阵的几何排列而言,这就如同换能器孔径已基本上被第二孔径所取代。在一种这样的几何排列中,波导可被用于调整换能器的空间排列,例如从直线到叶序螺旋。在另一种排列中,可以减小开口孔径,以实现临界间距。

[0056] 图1A、1B和1C在各种视图中示出了本发明的示例排列100。所示为其上下侧具有锥形开口120、130的直线阵列,其中示出了经由如图1A中的A-A140的横截面。如图1A、1B和1C所示,这些开口120和130由构件110a、110b、110c、110d所包围。

[0057] 具体来说,该波导耦合到以1.03cm间隔开的1cm直径圆形换能器的16×16直线阵列120,其以40kHz操作。波导形成到具有5mm间距的圆形开口的直线锥形路径。在海平面和标准条件下,40kHz的波长为8.6mm。因此,波导将阵列的表面几何结构从1.2λ间距转换到0.58λ间距,更接近0.5λ临界间距。换句话说,这示出了一个示例波导,它将10mm 40kHz换能器的16x 16直线阵列转换为接近临界(5mm)的间距。

[0058] 图2和图3示出了这种新的、更紧密间距的有效性。图2示出了聚焦于[x,y,z]=[40mm,0,150mm]的光栅波瓣抑制的图200。x轴210是以mm为单位的位置。y轴220的单位为db。将法线图230与波导图240进行比较。

[0059] 在图2中,焦点被投影在[x,y,z]=[40mm,0,150mm],并且麦克风在z=150mm处扫过x-维度。在规则和波导排列中的x=40mm处都观察到清晰的焦点。然而,对于较大间距规则排列,由光栅波瓣引起的二次聚焦在x=-110mm处很明显。由波导实现的更紧密间距防止了二次聚焦的创建。

[0060] 图3经由类似实验测量(其中聚焦被投射在x=80mm处)的图300示出了另一个光栅波瓣抑制的示例。x轴310是以mm为单位的位置。y轴320的单位为db。将法线图330与波导图340进行比较。

[0061] 图3示出了导向到较大角度时接近临界间距的必要性——在这种情况下,二次焦点与预期焦点几乎是同一幅度。同样,由波导实现的紧密间距消除了光栅波瓣。

[0062] 进一步的实验验证如图4所示,这是一系列400的扫描激光多普勒测振仪的声场扫描图像410、430。该方法在不会对固体麦克风的场造成潜在干扰的情况下直接对声场进行成像。与麦克风数据一样,在没有导向420的情况下,即使导向到45°角度440,也不会观察到光栅波瓣。

[0063] B、聚焦超声的波导

[0064] 半空触觉使用专门的高压声场,通常是调制焦点,以在人体上产生振动触觉感觉。光栅波瓣可以引起同样会被调制的二次场,从而在非预期的地方创建触觉。

[0065] 防止光栅波瓣形成二次焦点的一种方法是将发射阵列布置成伪随机排列。图5示出了作为叶序螺旋的7mm换能器530的一种这样排列500。x轴510和y轴520的单位为米。插入方形540说明了被封装成直线排列的相同换能器阵列的范围。这种排列不包含规则的空间频率,并且因此防止光栅波瓣形成二次焦点。

[0066] 图6示出了仿真600中图5的效果。x轴610和y轴620的单位为mm。灰度是压力(任意)单位。这里,当焦点630放置在x=10cm和z=20cm时,对平行于z=20cm处的阵列的x-y平面

640中的场进行仿真。相似密度的直线阵列中的光栅波瓣焦点大约出现在x＝5cm。叶序排列将二级焦点分布到负x域中的较大弧形上。如果没有紧密聚焦,光栅波瓣将不会产生触觉。

[0067] 叶序排列的一个明显缺点是需要较大的间距。图5中的插入方形540示出了相同的换能器以直线封装情况下的阵列范围。叶序螺旋排列的尺寸的增加可以阻止在空间紧凑的集成中使用这种阵列,并且可能会增加制造成本。

[0068] 使用波导结构,可以将直线换能器阵列连接到叶序螺旋排列或类似地伪随机的出口图案(其分布了光栅波瓣能量)。在一种排列中,设计包括从每个换能器到最近出口孔径的直线管。取决于出口排列的尺寸和形状,这可以需要迭代设计以防止管道交叉。这也可以创建需要在导向计算中包括测量或仿真的相位偏移(如下所述)的不同长度的管。

[0069] 然而,当出口孔径接近临界间距时,不需要伪随机排列。然而,对于触觉,这可以导致一些弊端。例如,在出口孔径减小的情况下,有效聚焦深度将在类似距离处增加。如果没有紧密焦点,峰值压力将降低,并可能提供减少的触觉效果。同时,随着由临界间距提供的导向能力增加,焦点形状将通过靠近阵列的较大导向角进行保持。取决于应用情况,可以设计一种波导,以优化减少的光栅波瓣、聚焦深度和出口孔径尺寸之间的相互作用。

[0070] C、参数化音频波导

[0071] 参数化音频是一种效果,当存在不同频率的超声时,空气中的非线性失真会产生可听声。通过控制超声的短波长场,可以将产生的音频控制到常规扬声器无法实现的程度。

[0072] 参数化音频效果最常见的用途是产生跟随超声波束的音频波束。在波束内,与当前的幅度和相对频率成比例地在每个体积元素中产生音频。在产生可听声后,由于其相对于超声的波长更大,因此扩散得更广。然而,最大幅度的可听声将存在于超声波束内,因此仅在将通过进一步参数化音频生成而被增强的方向上。

[0073] 图7A和7B示出了以1.2λ间隔产生以30°导向角的波束的直线阵列的超声声学仿真700。光栅波瓣波束清晰可见,远离导向方向而被定向。在图7A中,仿真730示出了两个音频波束,每个波束沿着其自身的超声波束而被定向。最终结果将是两个发散的音频波束,其将限制系统的感知方向性及其针对特定用户的能力。在图7B中,仿真730示出了出现在负y导向角中的光栅波瓣770。

[0074] 图8A和8B示出了使用叶序螺旋排列的阵列进行超声声学仿真800,其封装密度与1.2λ直线阵列相当。超过临界间距的叶序螺旋排列的超声阵列的仿真以30度的角度在正y方向投射波束。在图8A中,仿真830示出了换能器的伪随机排列将在光栅波瓣中发现的能量分布成较大的弧形。乍看之下,这种弥散、低强度的弧形超声是否能够生成任何重要的参数化音频并不明显。在图8B中,仿真860示出了光栅波瓣870沿负y方向被分布和定向,但与直线排列相比,其更加弥散。

[0075] 图9和图10示出了在叶序螺旋中布置的61kHz阵列的1kHz音调产生的音频导向性能,其分别在10°和30°处封装密度约为1.2λ。图9中的图形900具有绘图930,其中x轴910为角度(度),并且y轴920为SPL(db)。图10中的图形1000具有绘图1030,其中x轴1010为角度(度),并且y轴1020为SPL(db)。

[0076] 该测量示出了在较大房间中相对于阵列法线的给定角度处测量的音频声级。即使在相对较小的10°导向角(图9)下,所测量的发射音频也不是关于阵列对称的,如果不存在光栅波束,则这就是所预期的。当导向到诸如30°(如图10)的更极端的角度时,极轴剖面示

出了声音以非预期角度发出,大约-20°,并且振幅甚至比预期的+30°导向更大。这大致对应于图8中仿真的光栅波束/弧形的角度。这个非预期的结果被创建是因为虽然光栅波束在空间上具有较低的峰值压力,但其尺寸和空间范围弥补了强度的不足。如上所述,当生成参数化音频时,由于其波长较大,它比超声更容易衍射和扩散。因此,在任何给定的横截面上,光栅波束中的整个弧形的低强度源都会在该大致方向上贡献于参数化音频。因此,与直线或六边形封装阵列相比,叶序螺旋排列的阵列不仅没有帮助,而且由于其较低的封装密度,主动损害了超声相控阵的参数化音频导向性能。

[0077] 幸运的是,接近临界间距的阵列确实有助于对参数化音频进行导向,因为它们完全没有光栅波瓣能量。

[0078] 图11示出了具有法线绘图1130和波导绘图1140的图1100,其中x轴1110为角度(度),并且y轴1120为dB。具体来说,图11示出了使用如图1所示的1.2λ(法线)和0.58λ波导的直线阵列将参数化音频波束导向至+10度。

[0079] 图12示出了具有法线绘图1230和波导绘图1240的图1200,其中x轴1210为角度(度),并且y轴1220为dB。具体来说,图12示出了使用如图1所示的1.2λ(法线)和0.58λ波导的直线阵列将参数化音频波束导向至+20度。

[0080] 图13示出了具有法线绘图1330和波导绘图1340的图1300,其中x轴1310为角度(度),并且y轴1320为dB。具体来说,图13示出了使用如图1所示的1.2λ(法线)和0.58λ波导的直线阵列将参数化音频波束导向至+40度。

[0081] 图13示出了具有法线绘图1430和波导绘图1440的图1400,其中x轴1410为频率(Hz),并且y轴1420为SPL(dB)。具体来说,图14示出了16x 16、40kHz换能器阵列(具有和不具有波导)的参数化音频的频率响应。

[0082] 因此,图11、图12和图13示出了与仅1.2λ间隔的40kHz阵列相比,图1中所示波导的参数化音频导向性能。很容易观察到,波导的靠近临界间距的出口孔径消除了光栅波瓣波束及其产生的音频。这表明,本发明通过启用临界间距,能够从任何尺寸的换能器将参数化音频主动导向至任意角度。此外,如图14所示,频率响应几乎不受影响。

[0083] D、波导设计和操作

[0084] 要使具有波导的相控阵正常操作,需要调整输出以补偿波导本身。换句话说,就像每个换能器的相位和振幅必须精确协调和驱动一样,由波导路径引起的任何相对变化也必须得到补偿。例如,如果一个波导路径导致π/4的相位偏移,而同一阵列的另一个导致v/2偏移,则在计算给定场的激活系数时,必须分别从每个换能器的所需相位中减去该偏移。如果将每个换能器的振幅和相位都被视为复数,并且波导管的衰减和相位延迟也被视为复数,则可将波导的校正因子实现为第一因子除以第二因子。如果没有这种补偿,场将被波导变形和扭曲。此外,如果使用考虑飞行时间的模型来产生激活系数,则在计算系数时,必须补偿由波导导致的任何时间延迟。

[0085] 相位偏移和时延可以使用经验或仿真方法推导。最简单的方法(尽管耗时)是直接测量与每个波导路径相关联的相位偏移和时延。在一种布置中,相位可以通过参考控制信号用连续单色驱动来测量,而时延可以通过脉冲、啁啾或与控制路径的比较来测量。另一种方法是通过仿真计算相位和时延。这可以通过复杂的有限元模型(FEA)或者管道或适当结构的分析模型来实现。在前几节中提出的数据中,使用每个波导路径的长度计算相位偏移,

其中该长度除以自由空气中超声激励的波长,得到描述适当相位偏移的余数。然后,通过测量在15cm处的阵列正上方生成的焦点的强度和位置,并与模型进行比较,而对其进行改进。通过增加每个管的有效长度8%,导致了与仿真的良好拟合。如上所述,如果没有这种补偿,波导结构将不会产生预期的场。

[0086] 这里的大多数讨论都是关于用于传输的波导,但它们也适用于接收。放置在波导一端的接收器仅在超声被定向在波导另一端的孔径时接收并产生信号。临界间距处的接收系统将不会出现由光栅波瓣伪影创建的混叠鬼影。此外,与开敞空间接收元件相比,将波导的开口塑形为喇叭(horn)或类似结构可以提供提升的灵敏度。

[0087] 图1所示的波导仅代表本发明可能的一种排列。波导路径(在这种情况下是半径递减的直线管)不需要是直的、半径递减的、横截面为圆形的,甚至是空的材料。只要超声可以沿波导路径传播,并且其相位偏移和时延可以很好地被表征并且一致,那么它就可以被用于操纵阵列。例如,将直线阵列转换为叶序伪随机排列的波导将肯定不会涉及直线管,并且可能地并入非圆形横截面。在另一种排列中,可以使用波导来弯曲拐角周围的声场,其每个波导路径都会围绕弯曲以使出口孔径相对于原始波导成90度。在另一种排列中,波导路径的横截面可以在出口孔径附近再次地向外扩张(flare out)之前变窄。这种变窄可以为换能器增加声阻抗,以改善其声输出,并提供类似喇叭状的出口孔径,以增加与开敞空间的耦合。在另一种排列中,可以在同一阵列中使用各种换能器,例如混合频率或发射功率,并且波导可以将它们全部带入统一的发射区域。

[0088] 波导可以由多种材料组成。这包括金属、塑料,甚至柔性聚合物。结构材料的声阻抗需要足够高于空气的声阻抗,以防止超声从一个波导路径传递到另一个波导路径(阵列内的串扰)。这并不困难,因为与空气相比,大多数固体的声阻抗至少高出两个数量级。这使得使用柔性材料(诸如塑料管)作为波导管的一部分成为可能。例如,由金属或硬塑料组成的出口孔径阵列可以用塑料管或聚合物管被耦合到换能器的输入阵列。然后每个都可以被独立安装,以允许柔性管对连接进行桥接。聚合物管在其使用寿命期间可以保持柔性,或在安装后以某种方式(例如UV)固化。考虑到长度和形状在装配过程中是固定的,因此无论放置的具体细节如何,相位偏移和时延都应保持基本不变。极端角度或挤压/堵塞的管将会明显导致扭曲。如果需要更高的精度,测量或仿真可以提供必要的二阶修正。

[0089] 除了塑料或聚合物外,金属还可被用于波导的部分或全部。金属具有作为散热器的优点,因为波导管可以很容易地捕捉空气,导致过度储热。

[0090] 波导横截面不需要是半径递减的曲线,或者充当简单的管。可以沿波导路径设计相对突然的半径减小,以产生类似亥姆霍兹(Helmholtz)谐振器的设计。使用这种方法,较大体积的腔室可以提高换能器的输出效率,而出口孔径可以被封装在一起以接近临界间距。

[0091] 波导路径内的体积不需要完全为空。如果需要,可以将诸如气凝胶等填充材料封装到波导中,以提供不同的声阻抗。除了声阻抗匹配外,不同的材料可以提供防水等环境防护性能。

[0092] 可以使用多种技术制造波导。图1中所示的阵列设计,并通过实验验证,是使用附加制造技术(FDM 3D打印)生产的。其他可能的选择包括注塑成型,其中每个波导路径由可拆卸的销形成。对称性也可被开发利用于波导生产。例如,图1所示的波导具有4倍对称性,

并且可以将4个相同的部件连接在一起,以形成最终产品。另一种制造排列涉及将许多适当长度的直的聚合物管连接成一种形式,然后将其加热到接近其玻璃化温度。然后,可以在外部应用该形式,将管的集合推入其最终波导形式。这种外力可以类似于真空袋,或者在金属管的情况下甚至类似于水压。也可以一次生产一个波导管,并且然后将其粘合/融合到最终结果中。

[0093] 在这里提出的本公开允许超声相控阵在不会显著损失输出或场合成能力的情况下从一种排列转换到另一种排列。这使得任意尺寸的传感元件可以进行临界间距或伪随机排列。

[0094] 本公开的目的是产生来自超声相控阵的声压估计值,该估计值与在类似位置的静止或慢速移动麦克风的测量值合理匹配。

[0095] 有一些方法详细介绍了计算场中的瞬时压力或强度或其他指标的方法。在这里,一系列算法有效地使用计算资源来计算时间平均度量。这些对于确定和调节热点以及高于所需压力非常有用。

[0096] 估算超声相控阵的场强可以通过将每个换能器对兴趣点的贡献相加来完成。该贡献在创建会聚球面波时已被计算。我们可以重新使用此计算,将虚拟麦克风添加到系统中。通过监测麦克风并将其沿新的焦点移动,可以建立强大的场估计和调节系统。

[0097] E、附加的公开

[0098] 1、超声阵列包括:

[0099] A)多个超声学换能器;

[0100] B)操作的声波长;

[0101] C)多个声腔;

[0102] D)其中每个腔体具有输入开口和出口开口;

[0103] E)其中每个输入开口接受来自单个换能器的超声;

[0104] F)其中,腔的出口开口的至少2个几何中心彼此之间的距离小于一个波长;

[0105] G)其中,从出口开口出现的超声具有相对于其进入输入开口时的相位偏移;以及

[0106] H)其中至少2个腔具有不同的相位偏移。

[0107] 2、如¶1所示的装置,其中在发射之前,至少一个腔体的相位偏移被反转,并应用于至少一个换能器驱动的相位。

[0108] 3、如¶2所示的装置,其中对超声进行调制以产生可听声。

[0109] 4、如¶2所述的装置,其中对超声进行调制以产生半空触觉效果。

[0110] 5、如¶2所示的装置,其中超声被用于使物体悬浮。

[0111] 6、如¶2所示的装置,其中从出口开口出现的超声相对于其进入输入开口时具有不同的振幅。

[0112] 7、如¶6所示的装置,其中振幅偏移被用于在发射之前修改至少一个换能器的振幅。

[0113] 8、如¶3所述的装置,其中出口开口基本上是共面的。

[0114] 9、如¶8所示的装置,其中音频以大于平面法线15度的角度被定向。

[0115] 10、如¶8所示的装置,其中音频以大于平面法线30度的角度被定向。

[0116] 11、如¶8所示的装置,其中音频以大于平面法线45度的角度被定向。

[0117] 12、如¶8所示的装置,其中音频以大于平面法线60度的角度被定向。

[0118] 13、如¶6所示的装置,其中振幅偏移在2dB以内。

[0119] 14、如¶1所示的装置,其中空腔由直圆柱体组成,其具有从输入开口到出口开口的减小的半径。

[0120] 15、如¶14所述的装置,其中波长小于9mm。

[0121] 16、如¶14所示的装置,其中出口空腔的节距小于6mm。

[0122] 17、如¶2所示的装置,其中相位偏移被存储在装置的存储器中。

[0123] 18、如¶6所示的装置,其中振幅偏移被存储在装置的存储器中。

[0124] II、不同手性的换能器子瓦片

[0125] 先前的公开已将叶序螺旋描述为将光栅波瓣结构分割成许多块的非均匀结构的示例。然而,为了便于制造,当查看点集1500的Voronoi图时可以看出,它很难使用,如图15所示。

[0126] 从叶序螺旋中的点集的Voronoi图可以看出,“种子形状”在类钻石形状和六边形之间移动,在厚度上似乎大致遵循斐波那契序列。由于极限中没有一个单一形状,因此显然,对于基于这种方法的设计,没有一个最佳的换能器形状。

[0127] 虽然Voronoi单元格的不断变化的形状导致了对与宽带响应非谐振的传感元件阵列的合理设计(因为输出的功能此时将随形状的微小变化而变化很小),但当考虑窄带谐振结构时,这将需要对每个结构进行仔细调谐,这目前在商业上不可行。谐振器设备涵盖了大量现有技术,包括基于压电效应的设备;将电流通过晶体结构以创建机械弯曲。

[0128] 图16所示为绘图1600,示出了以叶序螺旋排列的圆形换能器1640被相对密集地封装在中心方形1630中,但圆形换能器的制造成本可以更高。x轴1610以米为单位;y轴1620以米为单位。先前的公开还示出了圆形换能器如何如图16所示以叶序螺旋排列,但为了降低成本,换能器在其设计或布局中更倾向于直线元件。

[0129] 方形换能器更难定位,因为不需要旋转的简单排列就会产生图17所示的排列。

[0130] 图17所示为绘图1700,示出了以叶序螺旋排列的方形换能器1740被相对密集地封装在中心方形1730中。x轴1710以米为单位;y轴1720以米为单位。方形换能器的直线定位的结果是叶序螺旋配置。无间隙的均匀封装被重叠为较大的方形1730。

[0131] 在叶状排列中使用单个单元换能器,仅允许方形换能器集的直线对齐,导致了以下构造:超过没有浪费空间的等效均匀方形封装面积的两倍。这是一个问题,因为阵列的功率输出会因每单位面积的该因数而降低。封装密度越大,对于未占用区域损失的每单位面积的能量越少。

[0132] 如图18所示,如果允许单个单元旋转,打破了直线对齐的排列,则可以改善这一点。此处,仿真1800示出了角指向方形1810内螺旋中心的换能器定位的结果。为了进一步增加密度,向内构建了叶序图案,并且在方形元件重叠的情况下,已递增角度位置,直到解决重叠。幂也被稍微向下修改为0.4392的指数。而不是更传统的0.5,以描述距中心的距离。然

而,即使在这种配置中,与密集封装的替代方案相比,仍有大约40%的额外面积被使用,这导致在面积有限的阵列的焦点处的输出下降约3dB。由于这是不需要的,因此最好找到完全密集的换能器封装。从制造角度来看,这将是有益的,因为它可以被设计为产生成板材或卷材。然而,很难找到同时满足非均匀排列要求的密集封装。

[0133] 安装在表面上的换能器的密集封装等同于平面的铺瓦。由于需要减少或消除的光栅效应实际上是波现象与换能器发射位置的“晶格”相互作用的结果,因此可以通过对排列进行傅立叶变换来提前确定该效果,从而产生等效于建模布拉格衍射图案的效果。然后,为了找到有效的图案,必须找到具有弱且分散的布拉格衍射图案的换能器发射位置的“晶格”。

[0134] 直线系统的布拉格衍射产生了对应的光栅波瓣配置,其中心焦点由额外的、再次被直线网格分隔的假图像所包围,如图19所示。图19示出了换能器元件的方形晶格的布拉格衍射1900,示出了这种几何布局产生的光栅波瓣配置。

[0135] 由于其作为晶体系统的分子模型,并且特别是作为准晶体和金属混合物的模型的特性,研究了许多有趣的平面的非周期瓦片,有文献将瓦片的布拉格衍射描述为X射线晶体学问题的类似问题。因此,考虑到Senechal,M.的论文“Tilings,Diffraction and Quasi-crystals”,与他们的布拉格衍射一起研究的最有趣的两个铺瓦系统是用于铺瓦平面的二元和风车系统。

[0136] 考虑的第一个系统是“二元”铺瓦,其中传感元件可以采用铺瓦中存在的胖菱形和瘦菱形两种形状,如图20所示。图20示出了“二元”铺瓦2000。一种具有五边形对称性的非周期铺瓦,与彭罗斯(Penrose)菱形铺瓦有关。它最初用于仿真化学混合物,由两种不同类型的菱形组成。

[0137] 图21A和21B所示为“二元”铺瓦的布拉格衍射。图21A示出了二元铺瓦和潜在换能器阵列的元件2100的选择。图21B示出了衍射2150中的五重五边形对称性,此处似乎更具十边形对称性。当考虑到图21所示系统的布拉格衍射时,它基本上良好地扩散出去。然而,就其不同的声学特性而言,制造两种不同的胖菱形和瘦菱形换能器设计以及调谐其频率响应可以证明是耗费时间的,并且可以涉及不同的工艺,例如弯曲结构的厚度。此外,没有任何图案可以轻松铺瓦以构建更大的元件集。

[0138] 图22A和22B所示为风车铺瓦及其布拉格衍射。图22A示出了风车铺瓦2200和被选择为代表性换能器铺瓦的元件。图22B示出了该配置的布拉格衍射2250。第二系统是风车铺瓦,其中每个传感元件由直角三角形组成,其边测量比例为1、2和√5,如图22所示。从布拉格衍射可以看出,风车铺瓦元件的频率分布在频域中基本无序。在前面描述的两个入围铺瓦中,这对制造更具吸引力。这首先是因为在本设计中只有一种形状要被生产,其次是因为直角三角形可以实现为纵横比为1:2斜切的矩形,这可以允许以纵横比为1:2的矩形制造和切割,允许在大多数情况下使用直线元件的工艺。

[0139] 风车铺瓦也是一种分形,在于:边测量比例为1、2和√5的一组五个直角三角形,其完美适配相同形状的单个三角形的面积,但其面积是这些适配三角形之一的面积的五倍。

[0140] 图23所示为三角形2300,也可以在其中再次设置,5的任意整数幂都以这种方式构造成直角三角形(5、25、125等),以产生更大的阵列,其形状为风车分形构造中存在的直角三角形图案。这些是针对左手和右手三角形阵列的设计。最上面的行2310和中下部的行

2330示出了可能的压电材料定位,而中上部的行2320和最下面的行2340示出了潜在的顶板结构。

[0141] 图中还示出了分形风车铺瓦的左右手性结构,以及允许完整结构潜在地由单个薄板制成或在所示点附接在一起的形式。进一步示出的是轻微阴影的位置,振动板可以被附接到该位置以生成波,或者可替选地可以从拓扑上说明选择通风位置的潜在方法。如果它们是单独制造的,则这些直角三角形分形铺瓦的缺点是它们没有使用相同数量的左右手直角单个元件,如果不考虑这个问题,可以导致协调困难。

[0142] 本质上也具有1、2和√5的边测量比例的较大的分形铺瓦可以被重构为纵横比为1:2的矩形阵列,如图24所示。图24示出了用于左手和右手“多米诺”阵列的设计2400。“多米诺”这个名称是合适的,因为配置涉及到相关的铺瓦图案,通俗地称为“风筝&多米诺(kite&domino)”(并且风筝形状的阵列可以通过将两个直角三角形阵列元件之一的方向沿其共享斜边翻转来创建,以创建具有相同数量元件的阵列)。最上面的行2410和中下部的行2430示出了可能的压电材料定位,而中上部的行2420和最下面的行2440示出了潜在的顶板结构。

[0143] 如图所示,这些阵列可以包含5的整数幂乘以2个元件(10、50、250等),并且由于它们是纯不对称的,因此必须需要相等数量的左手三角形和右手三角形。这在单元件制造的情况下更为可取,因为然后在加工过程中需要考虑的特殊情况更少。

[0144] 图25示出了所有四种变体“方形”阵列的设计2500。请注意,手性非对称设计需要非常不同数量的左手和右手元件,这些元件经由单个元件之间的着色差异进行高亮显示。

[0145] 从图25所示的这些不同手性的矩形子瓦片2510、2520、2530、2540、25502560、2570、2580中,可以存在四种不同的方形阵列配置,即左手配置和右手配置的对称和非对称变体。然而,存在一个权衡,即非对称变体使用不同数量的单独的基本左和右手性换能器,但仅使用左子瓦片、对称变体使用左和右子瓦片、左和右元件的数量相等。取决于所需加工中每个步骤的相对成本,可以权衡这些影响,以实现优化的制造程序。这些方形阵列的结果是元件计数是4乘以五的整数幂(20、100、500等)个元件。其结果是必须制造左右子瓦片,或者不同手性消耗的压电晶体片的数量不同,尽管使用原生风车铺瓦压电晶体切割方法,这不会是问题。

[0146] 上述阵列铺瓦设计不应排除通过因其优越的衍射特性使用风车铺瓦的一部分而产生的棋盘形布置的任何部分。

[0147] 该设计的另一个障碍是,如果换能元件的边缘被夹紧,并且存在边界条件,则连接到压电晶体的结构可能不以足够的位移进行弯曲以产生有效的输出。

[0148] 通过使用图26所示的亥姆霍兹方程仿真本征模,我们可以考虑通过单位脉冲生成的位移。仿真压电板的位移表明,创建符合所需形状的压电换能器是可行的,如图27所示。如图28所示,切割槽会使位移增加,但会降低谐振频率。

[0149] 具体而言,图26示出了三角形2810a、2810b、2810c、2180d、2180e、2180f、2180g、2180h、2180i上亥姆霍兹方程解的本征模2800,其产生谐波振动模式。对于每种模式,可以外推亥姆霍兹解的形状,以描述由该模式驱动的声学远场。这也可以反过来使用,作为类似频率下接收元件的方向性图案。可以看出,每个模式可以生成复杂的场,考虑到跨越不同频率的多个谐波的组合,接收或传输到远场可以识别到远场的空间偏移,特别是角度偏移,这可以被参数化为方位角和仰角。由于独立换能器元件中不对称的性质,这是可能的,但通过

将其与铺瓦的不合理和非重复频率行为耦合,可以进一步加强效果。通过使用这些形状、其铺瓦和谐波(可能跨越多个元件)致动和/或接收,可以通过算法或其他方式检查由这些元件或麦克风接收到的信号来推断与由此类元件或元件组生成的声学远场相交的物体的准确位置。同样,该信号可以由简单的换能器发射,并由诸如前述的阵列接收。这样做的结果是,通过使用所有谐波,并且接收器可跟踪其相对于可能甚至是单个换能器的角度位置。

[0150] 图27所示为用于插入风车铺瓦的直角三角形2640中压电致动器弯曲模式的最大z挠度的仿真2600。x轴2610的单位为毫米;y轴2630的单位为毫米;z轴2620的单位为微米。缩放比例被显示在右栏2650上。

[0151] 图28所示为用于插入风车铺瓦的直角三角形2740中压电致动器弯曲模式的最大z挠度的仿真。这存在槽切割,以强调弯曲模式,但降低瓦片的谐振频率。x轴2710的单位为毫米;y轴2730的单位为毫米;z轴2720的单位为微米。缩放比例被显示在右栏2750上。

[0152] 由于任何具有正确质心的设备都可以使用此铺瓦程序,因此在这种情况下,只需要创建具有此物理足迹的波生成技术。精确技术不需要是压电传感元件,并且可以是静电、MEM、CMUT、PMUT或任何其他主流技术或工艺。本发明可被应用于任何换能器工艺,以产生二维平面的完整或部分空间封装,其中基本上减少或消除了元件之间的间隙。

[0153] 附加的公开包括:1、一种三角形换能器阵列,其中物理特征的位置可以通过应用于边形成比例为1:2:√5的三角形的重心坐标来描述。

[0154] 2、根据¶ 1所述的阵列,其中换能器包括声学换能器。

[0155] 3、根据¶ 1所述的阵列,其中换能器包括用于波束形成电磁信号的天线阵列。

[0156] 4、根据¶ 1所述的阵列,其中边形成比例为1:2:√5的三角形(重心坐标被应用于其以产生特征位置)本身是边形成比例为1:2:√5的其他三角形的细分。

[0157] 5、一种包括一个或多个换能器瓦片的阵列,其每个由呈部分叶序螺旋图案的多个方形换能器组成,其中换能器的两个相对角和与瓦片上的声学换能器元件空间上公共的点共线。

[0158] 6、根据¶ 5所述的阵列,其中换能器包括声学换能器。

[0159] 7、根据¶ 5所述的阵列,其中换能器包括用于波束形成电磁信号的天线阵列。

[0160] 8、根据¶ 5所述的阵列,其中与每个换能器相对角共线的空间公共点不位于换能器元件的瓦片上。

[0161] 9、一种包括一个或多个非对称换能器的设备,其中在多个频率下从多个稳定非对称谐振模生成的场被用于定位在多个频率下检测场的换能器。

[0162] 10、根据¶9所述的设备,其中换能器包括声学换能器。

[0163] 11、根据¶9所述的设备,其中换能器包括用于波束形成电磁信号的天线阵列。

[0164] 12、根据¶9所述的设备,其中换能器为三角形,其中物理特征的位置可以通过被应用于边形成比例为1:2:√5的三角形的重心坐标来描述。

[0165] 13、根据¶9所述的设备,其中检测场的换能器也是非对称换能器,具有多个稳定的非对称谐振模,其能够在多个频率下检测场。

[0166] 14、根据¶9所述的设备,其中在检测器的多个谐振频率下使用多个稳定非对称谐

振模检测到的声场可以是任意声场。

[0167] III、使用递归技术的换能器放置

[0168] 方形换能器的直线排列是理想选择,造成零浪费面积。然而,如果它们的尺寸与发射波长相当,则它们可以受到光栅波瓣的影响。将方形换能器放置为叶序螺旋可以打破二次焦点,但必然地封装密度降低至少40%。为了实现40%的参数,需要对单个换能器进行分离,这增加了制造成本。

[0169] 本发明再次详细介绍了一种用于调整方形换能器的位置的递归技术,以实现封装密度和降低光栅波瓣幅度的有效性之间的可调平衡。

[0170] 图29所示为仿真2900,详细说明了将方形单元格排列成新的排列的基本步骤。从直线放置2910开始,单元格1和2以量“a”2920向右移动。接下来,将单元格2和3以量“b”2930向下调整。然后3和4以“c”2940向左移动,并且1和4以“d”2950向上移动。根据2r给出的方形单元格的一条边的尺寸,这将单元格中心的位置更改为:

[0171] 单元1=[-r+a,r+d]

[0172] 单元2=[r+a,r-b]

[0173] 单元3=[r-c,-r-b]

[0174] 单元4=[-r-c,-r+d],

[0175] 其中,符号由[x-位置,y-位置]给出。仔细选择调整参数(a,b,c,d)可以给出打破了对称性的所有元件的排列。

[0176] 图30所示为仿真3000,说明了该方法如何递归扩展以构建更大的元件阵列。具体来说,这是4x4瓦片递归枚举成16x16元件阵列3010中的说明。偏移值(a’3020,b’3030,c’3040,d’3050)可以从上一轮递归中重复或重新生成。

[0177] 图31所示为仿真3100,其说明了旋转3110或镜像3120或两者3130提供的一些变化可能性。这可以为排列提供更多的随机性,以在给定的封装密度下提高性能。这示出了简单偏移铺瓦的变化。在复制每个瓦片时,它可以对其进行镜像或旋转。与偏移值一样,这些技术可以递归地重复到越来越大的阵列中。

[0178] 必须通过仿真来确定哪些排列最有效。这在计算上可以与完整非线性有限元方法一样复杂,也可以与线性惠更斯(Huygens)模型一样简单。作为一个示例,可以计算阵列激活系数,以便将焦点导向到[x,y,z]=[40mm,0,200mm],并且惠更斯模型在该平面上很大程度上计算场。如果阵列密度低于临界间距,则该平面中的某个位置将出现光栅波瓣二级焦点。如果阵列排列有效,该焦点将分布在空间中,并且与焦点相比,峰值二次压力(非焦点)将较低。焦点压力和峰值二次压力之间的对比形成了比较不同排列的度量。可以在有无旋转或镜像的情况下搜索大量扭曲值,并为给定的封装密度选择最佳性能者。

[0179] 图32-34示出了几个伪随机排列的示例,这些伪随机排列使用在61kHz下操作的7mm平方换能器有效地分布光栅波瓣能量并防止二次焦点。

[0180] 图32A、32B、32C和32D示出了使用旋转3200、3210、3220、3230构造的7mm方形换能器的256个元件阵列的示例。在本示例中,对于每轮递归,[a,b,c,d]=[1.6mm,1.3mm,1.1mm,0.7mm]。

[0181] 图33A、33B、33C和33D示出了使用旋转和镜像3300、3310、3320、3330构建的7mm方形换能器的256个元件阵列的示例。在本示例中,对于每轮递归,正如图17所示,[a,b,c,d]

＝[1.6mm,1.3mm,1.1mm,0.7mm],但结果有所改善。

[0182] 图34A、34B、34C和34D示出了使用旋转和镜像3400、3410、3420、3430构建的7mm方形换能器的256个元件阵列的示例。在本示例中,对于前两轮递归,[a,b,c,d]＝[0,1.9mm,0,0],则没有增加偏移,并且对于最后两轮只有旋转。

[0183] 与叶序螺旋排列相比,该技术的一个优点是阵列可以构建在瓦片中。将阵列尺寸成四倍的每个递归排列步骤,使用之前的单元格作为其基础-仅在其放置到新的方形中时,对排列进行旋转、镜像和倾斜。因此,该单元格(及其镜像,如果使用的话)可以作为单元制造并组装成更大的阵列。

[0184] 虽然该技术生成的是方形阵列,但当找到满意的方形排列时,可以将其分割为非方形子阵列,其在扩散光栅波瓣焦点方面几乎与原始方形排列一样有效。这些非方形排列可以一起被用于制作更大的非方形形状。只有当子单元启动的数量与每个子单元内的换能器数量相当时,光栅波瓣问题重新露面的可能性才会成为问题。

[0185] 这里介绍的本发明的主要优点是,与随机、任意放置相比,有效解决方案的搜索空间大大减少。在这个系统中可以变化的参数是每轮递归的偏移以及镜像、旋转或两者的决策。这允许有严格界定的搜索空间,并将所需的计算减少到一个可管理的子集。

[0186] 图35是示出了在61kHz下使用256个、7mm方形换能器的最佳仿真递归偏移阵列的图表3500。y轴3520是焦点压力和峰值光栅波瓣压力之间的差值。x轴3510示出了每个阵列的总面积。“最佳单瓦片结果”线3530表明,仅通过旋转(因为镜像会需要制造“第二瓦片”),可以找到其性能从紧密封装的直线到叶序螺旋性能变动的解,尽管密度较低。“最佳双瓦片结果”线3540表明,通过添加镜像,可以在无需分隔或旋转单个元件的情况下,在相似的封装密度下实现叶序螺旋性能在1.5dB以内的解。此外,如果阵列的空间有限,则对于给定区域,将生成分配了光栅波瓣能量的有效解。

[0187] 该图表中包括的其他点是紧密封装的直线(方形阵列3550)、具有旋转的方形元件的叶序螺旋(方形旋转的太阳花状3580),以及估计了具有与方形相等的发射量的3个三角形元件阵列3560(在其他地方讨论),并且在-3dB 3570和-4dB3590下发射量减少。

[0188] 附加的公开包括:1、一种包括包含多个换能器的许多瓦片的阵列,其中物理换能器位置通过刚性变换来扰动,使得每个元件的新足迹与在应用变换之前的足迹相交,其中每个元件的原始足迹包括声学换能器的均匀布局。

[0189] 2、根据¶ 1所述的阵列,其中换能器包括声学换能器。

[0190] 3、根据¶ 5所述的阵列,其中换能器包括用于波束形成电磁信号的天线阵列。

[0191] 4、根据¶ 1所述的阵列,其中物理瓦片位置通过刚性变换来扰动,其中每个瓦片的新足迹与在应用变换之前的足迹相交。

[0192] 5、根据¶ 1所述的阵列,其中所述转换递归地应用于组成较大瓦片排列的较小瓦片排列。

[0193] 6、根据¶ 1所述的阵列,其中复制单个瓦片以产生多个瓦片,然后使用刚性变换排列这些瓦片以产生阵列。

[0194] 7、根据¶ 1所述的阵列,其中经变换的排列降低了光栅波瓣强度。

[0195] IV、结论

[0196] 在前述说明书中,已经描述了具体实施例。然而,本领域的普通技术人员理解,在不脱离如以下权利要求阐述的本发明的范围的情况下,可以进行各种修改和改变。因此,说明书和附图将被视为说明性的,而不是限制性的,并且所有这些修改旨在被包括在本教导的范围内。

[0197] 此外,在本文档中,诸如第一和第二、顶部和底部等关系术语可仅被用于区分一个实体或行为与另一实体或行为,而不必要求或暗示此类实体或行为之间的任何实际此类关系或顺序。术语“由……构成”、“由……组成”、“具有”、“具有……的……”、“包括”、“包括有”、“包含”、“包含有”或其任何其他变体旨在涵盖非排他性包括,使得由元件列表构成、具有、包含元件列表的过程、方法、物品或装置,不仅包括这些元件,还可以包括未明确列出的或此类过程、方法、物品或装置固有的其他元件。在没有更多约束的情况下,由“由一个……构成”、“具有一个……”、“包括一个……”、“包含一个……”进行的元件不排除在由元件组成、具有、包括、包含该元件的过程、方法、物品或装置中存在附加的相同元件。除非本文另有明确规定,否则术语“一”和“一个”被定义为一个或多个。术语“实质上”、“基本上”、“大约”、“约”或其任何其他版本被定义为接近本领域普通技术人员所理解的。本文中使用的术语“耦合”被定义为连接的,尽管不一定是直接的,并且不一定是机械的。以特定方式“配置”的设备或结构至少以该方式配置,但也可以以未列出的方式配置。

[0198] 提供本公开的摘要是为了让读者快速确定技术公开的性质。提交该摘要的前提是,它不被用于解释或限制权利要求的范围或含义。此外,在前述详细描述中,为了简化本公开的目的,在各种实施例中将各种特征组合在一起。本公开的方法不应被解释为反映了一种意图,即所要求保护的实施例需要比每项权利要求中明确叙述的更多的特征。相反,正如以下权利要求所反映的,本发明的主题内容不在于单个公开实施例的所有特征。因此,以下权利要求被并入详细说明书中,其中每个权利要求作为单独要求保护的主题内容而独立存在。

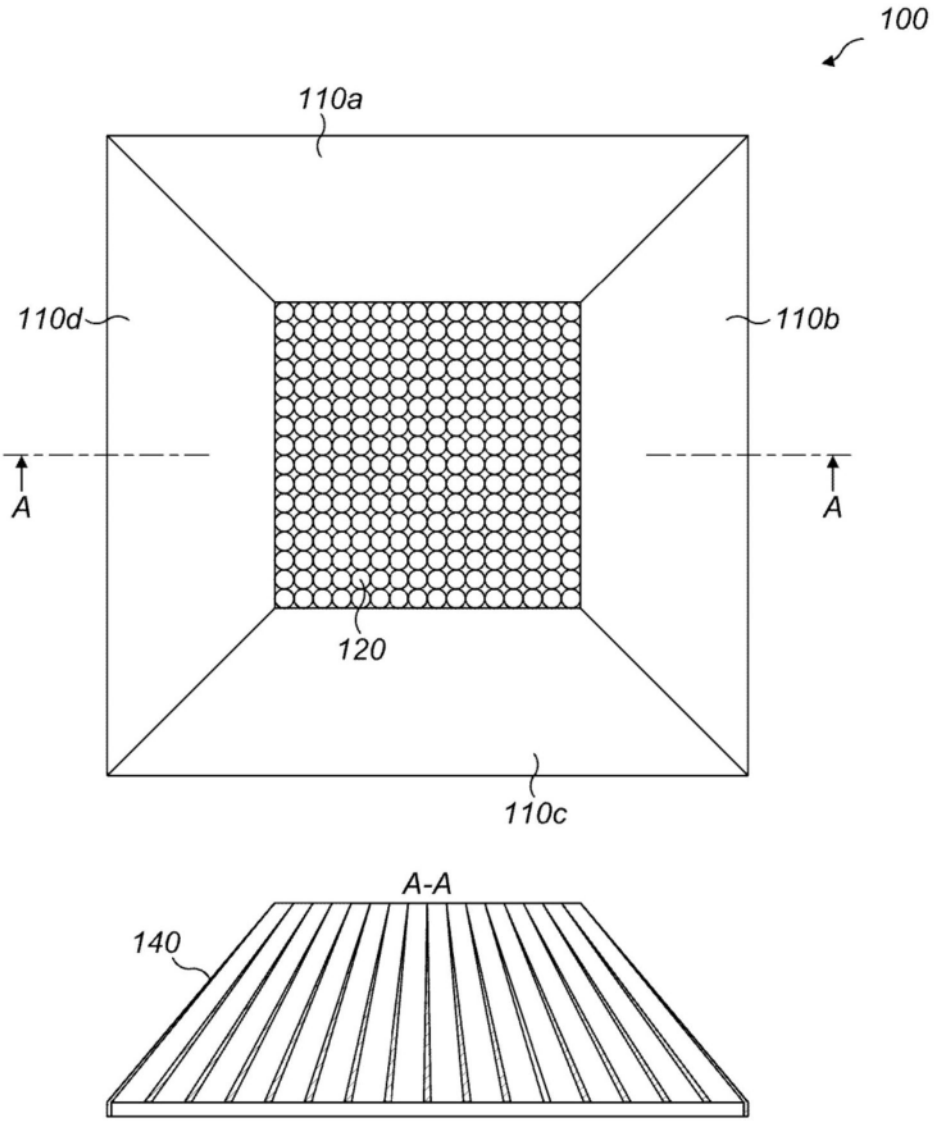


图1A

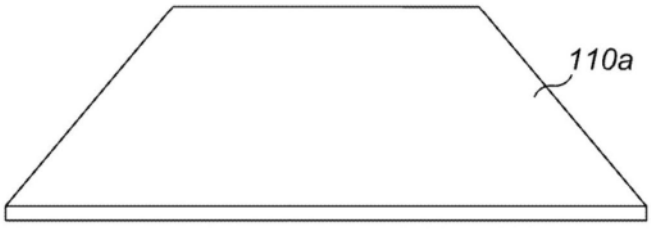


图1B

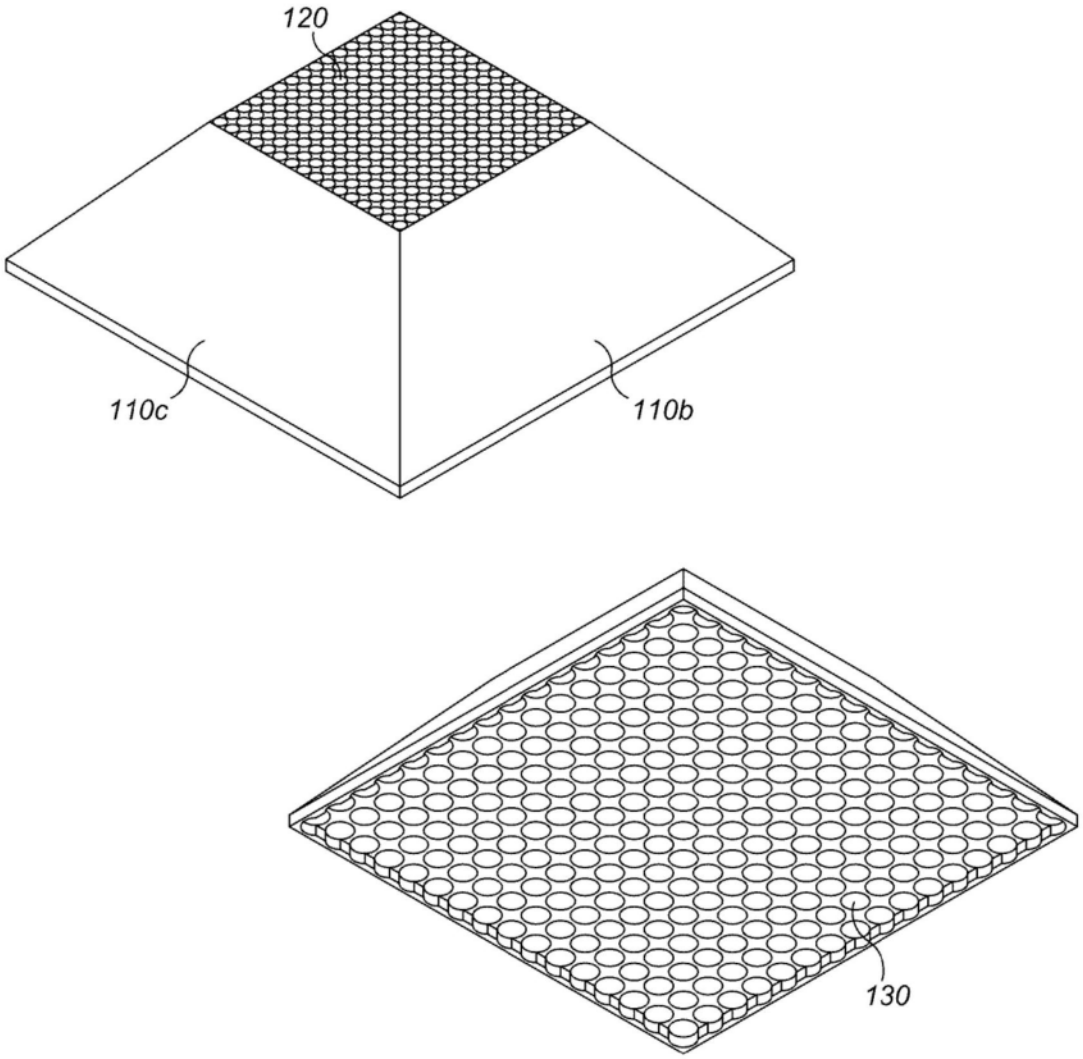


图1C

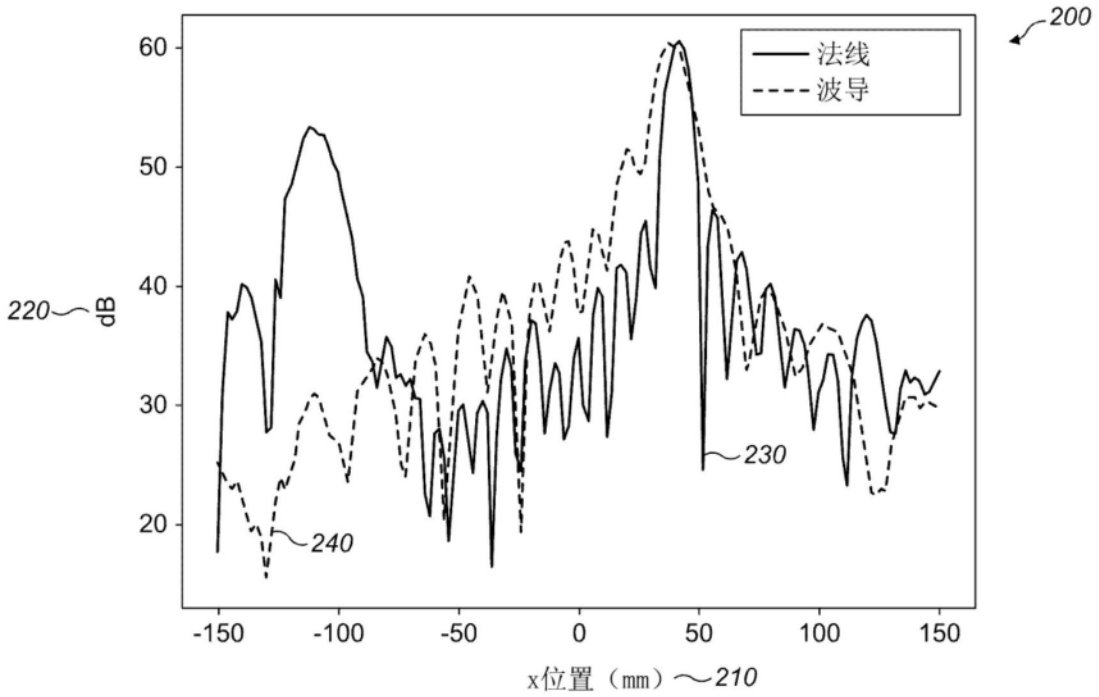

200
法线
波导
60
50
40
30
20
220
dB
240
230
-150
-100
-50
0
50
100
150
x位置（mm）
210

图2

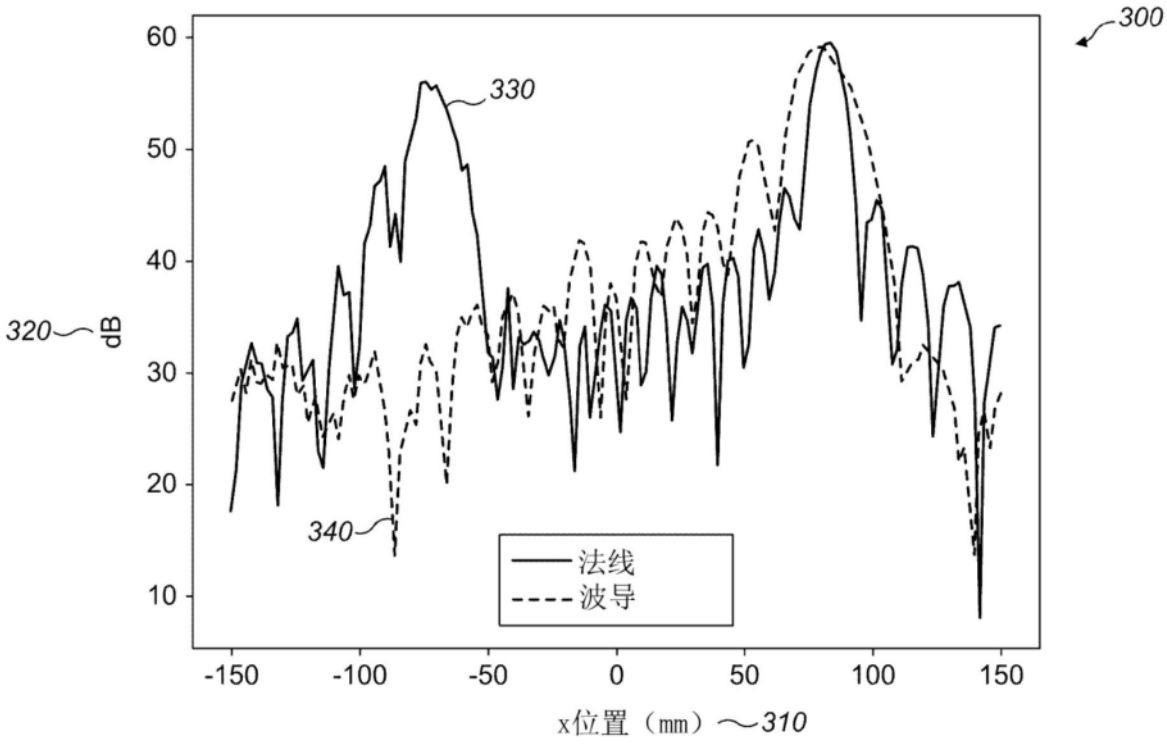

300
60
50
40
30
20
10
320
dB
330
340
法线
波导
-150
-100
-50
0
50
100
150
x位置（mm）
310

图3

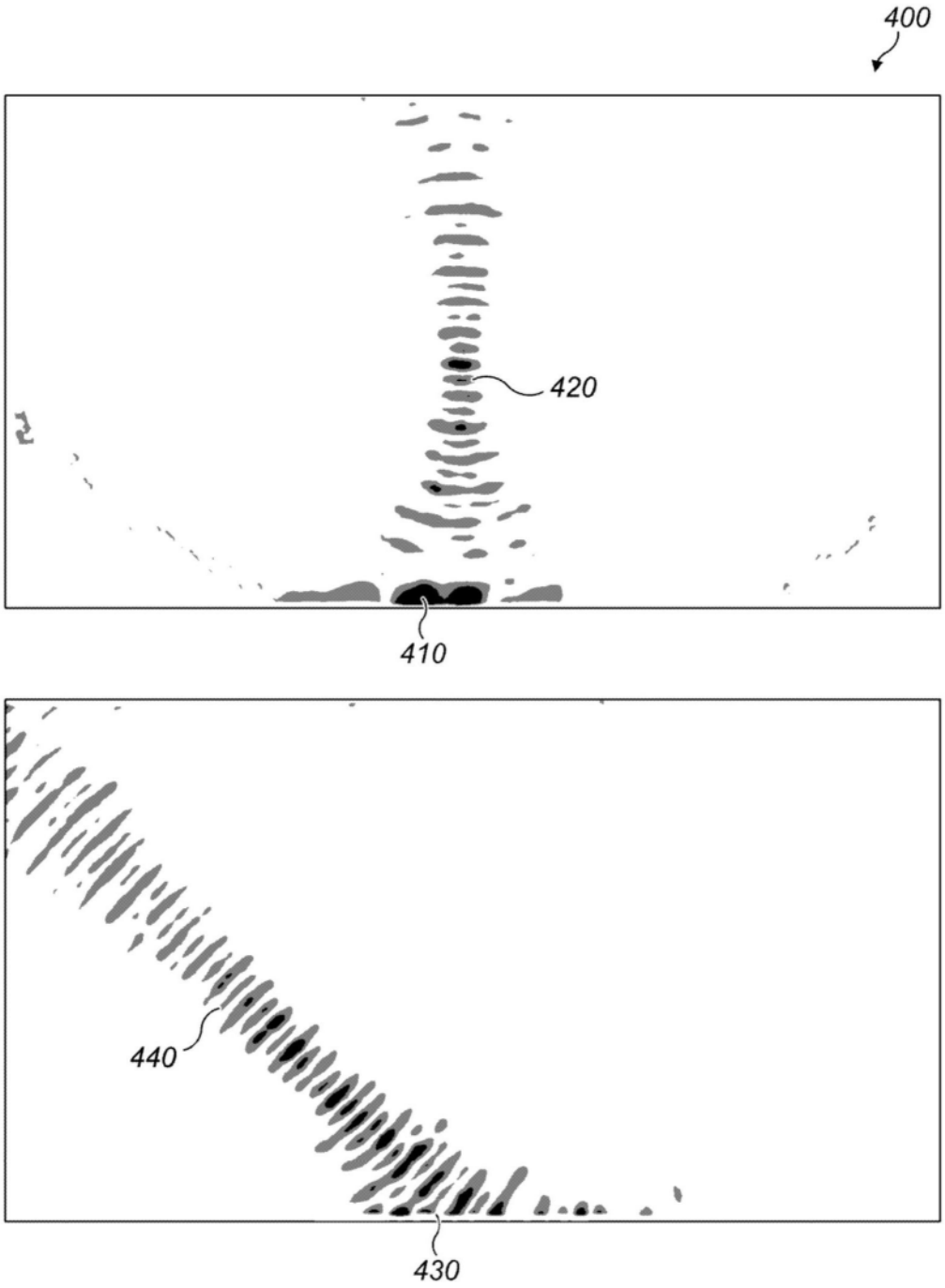


图4

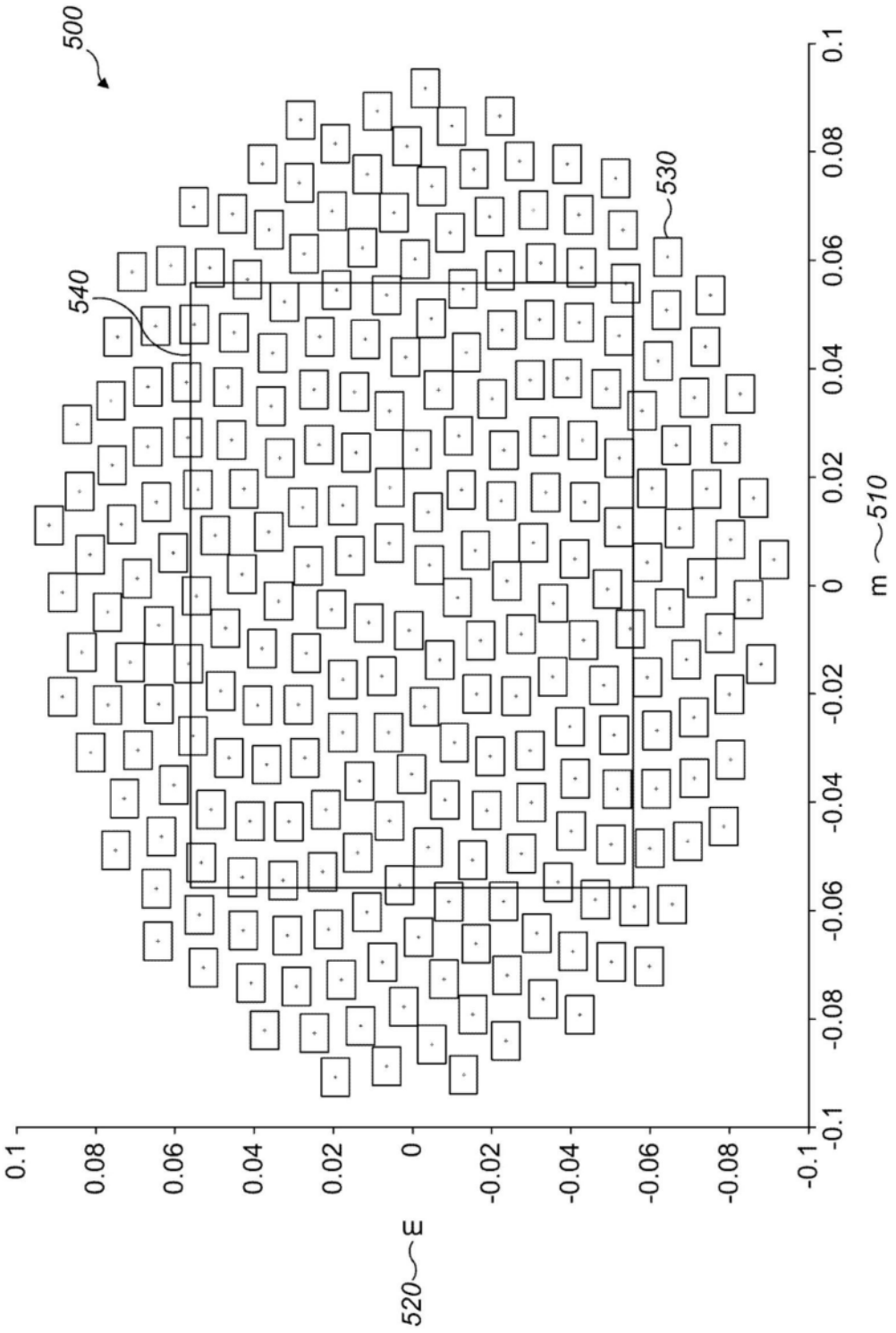


图5

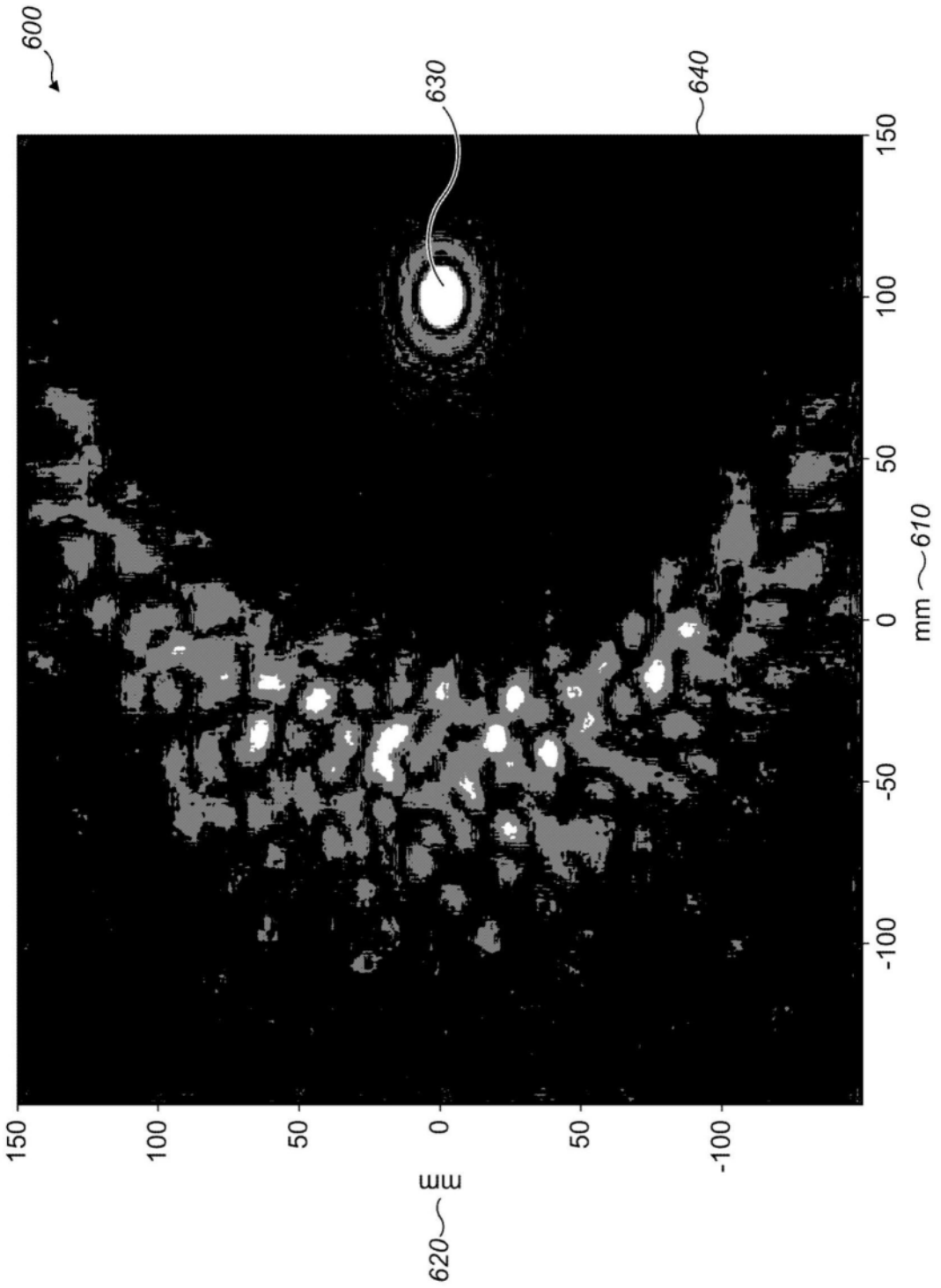


图6

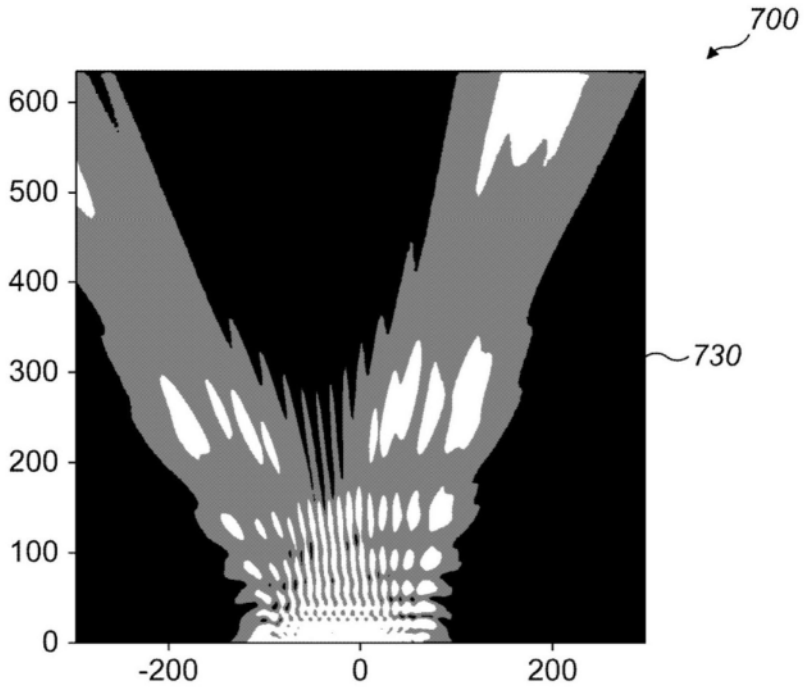

700
600
500
400
300
200
100
0
-200
0
200
730

图7A

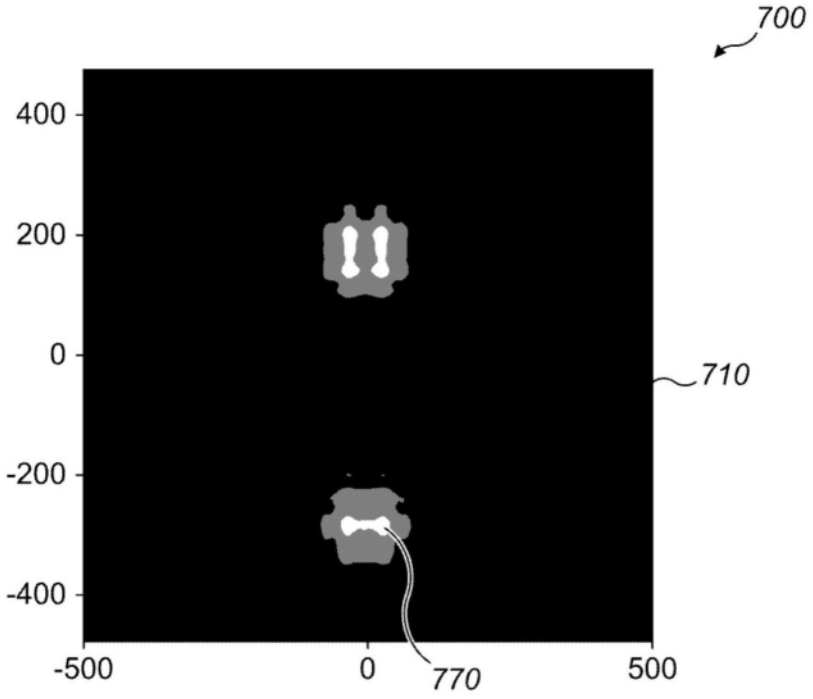

700
400
200
0
-200
-400
-500
0
500
710
770

图7B

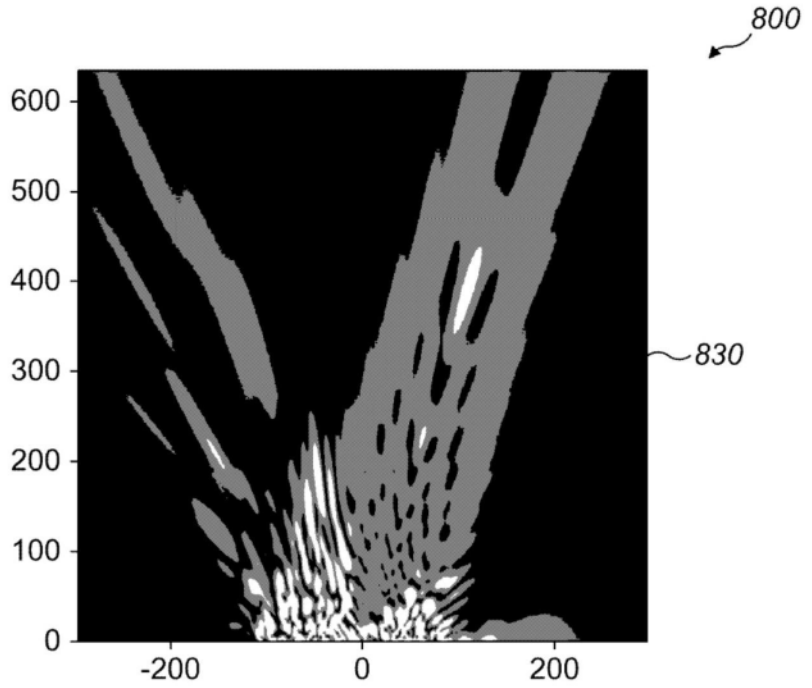

800
600
500
400
300
200
100
0
-200
0
200
830

图8A

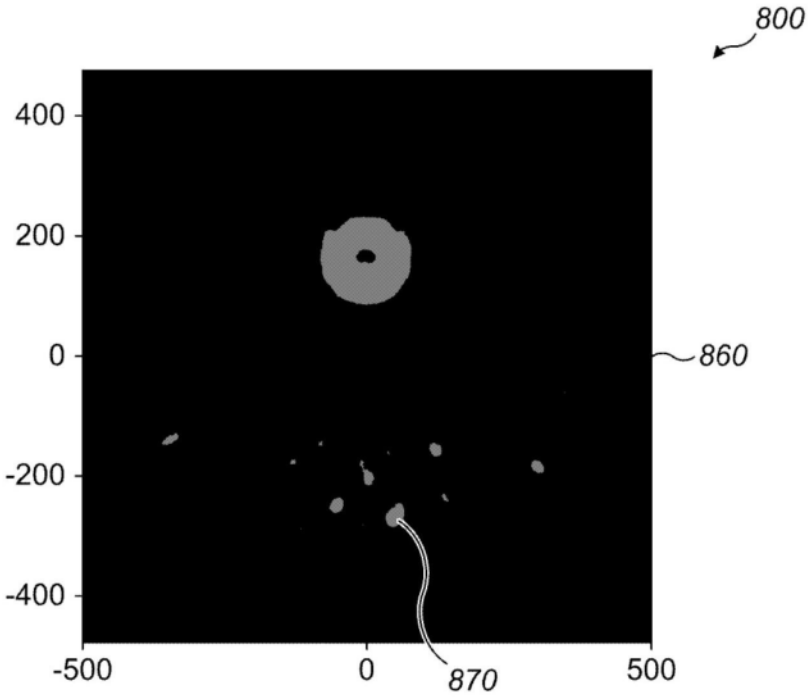

800
400
200
0
-200
-400
-500
0
500
860
870

图8B

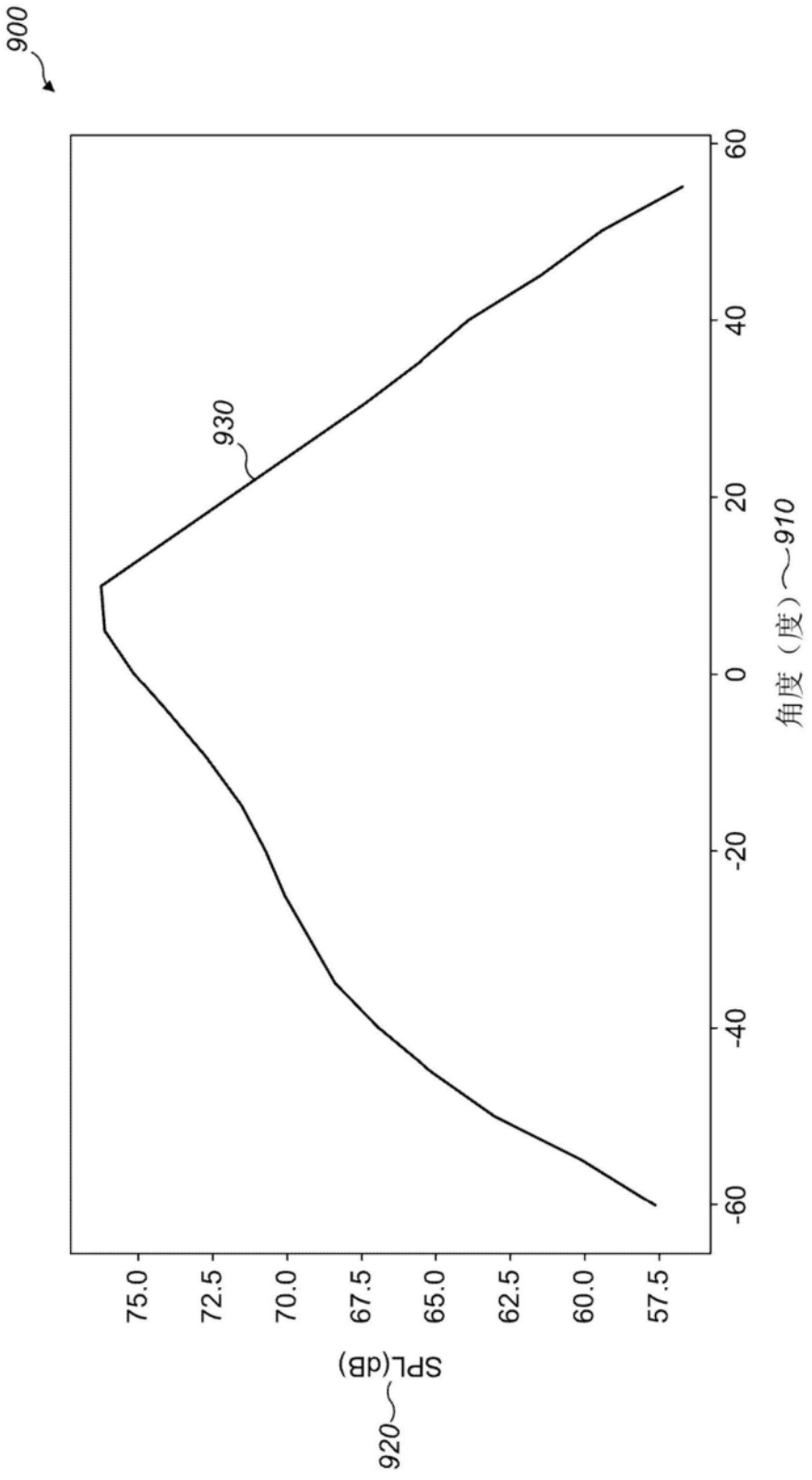

900
930
角度（度）
910
SPL(dB)
920
75.0
72.5
70.0
67.5
65.0
62.5
60.0
57.5
60
40
20
0
-20
-40
-60

图9

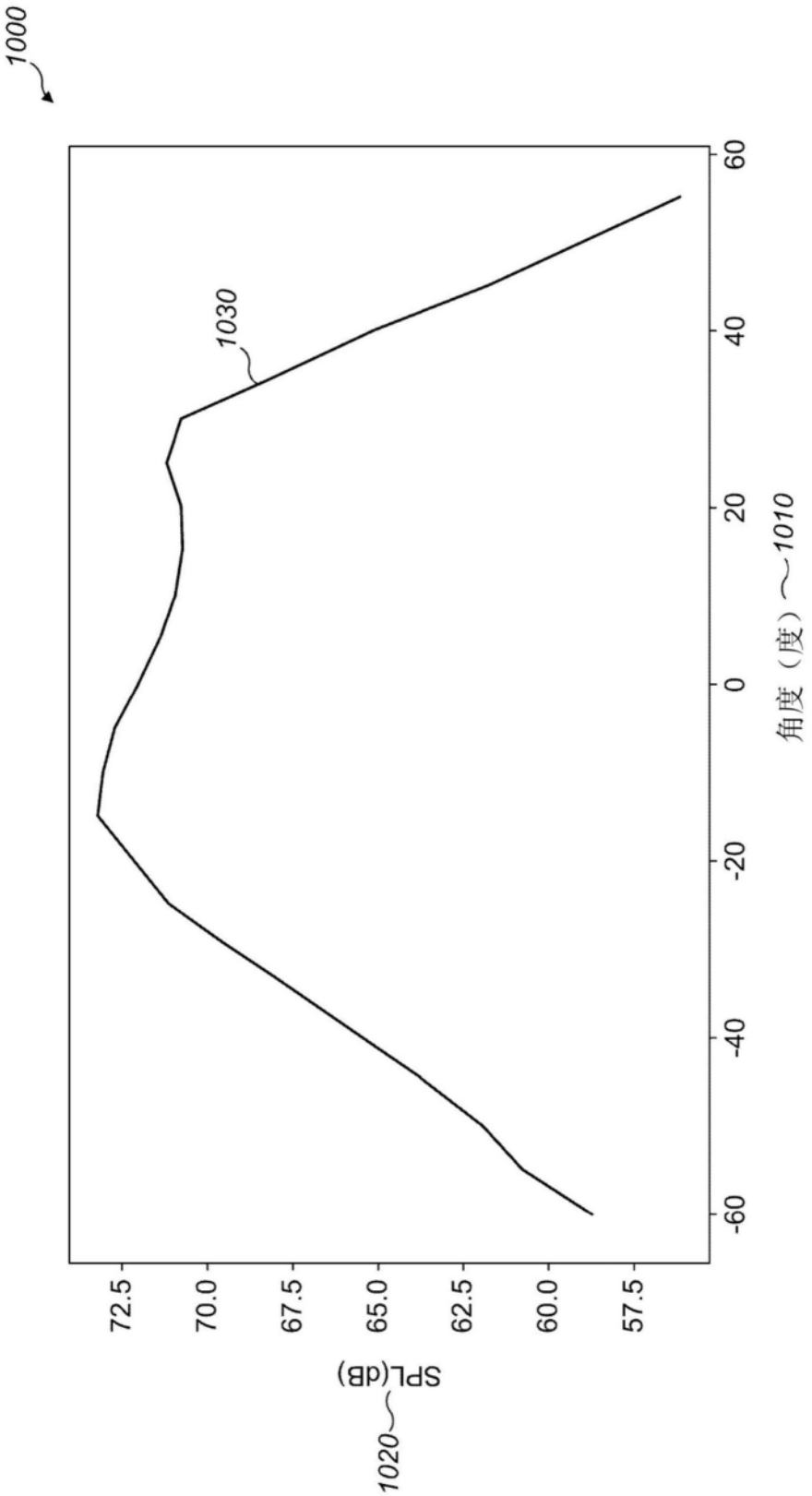

1000
1030
1010
角度（度）
60
40
20
0
-20
-40
-60
1020
SPL(dB)
72.5
70.0
67.5
65.0
62.5
60.0
57.5

图10

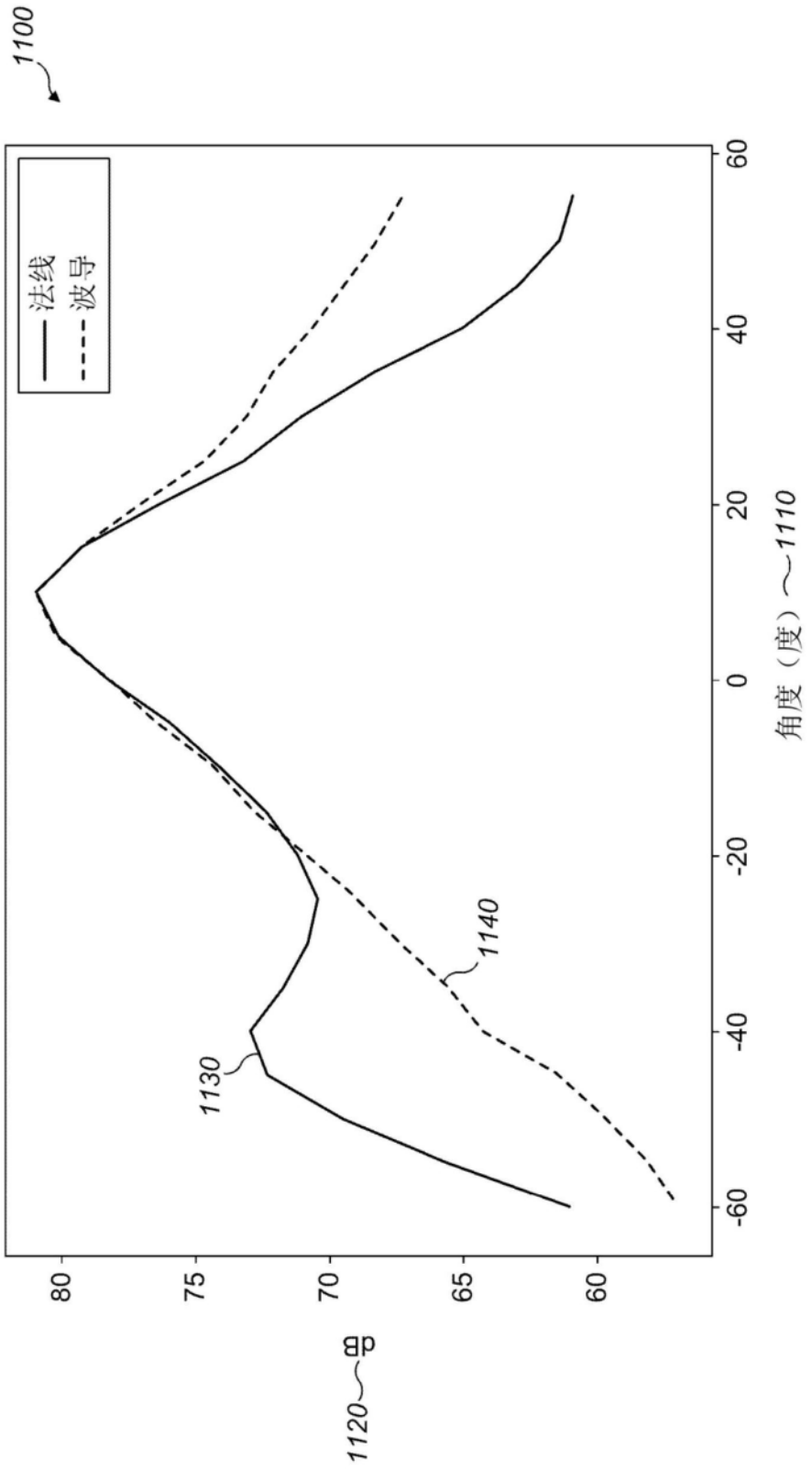

1100
法线
波导
80
75
70
65
60
dB
1120
1130
1140
60
40
20
0
-20
-40
-60
角度（度）
1110

图11

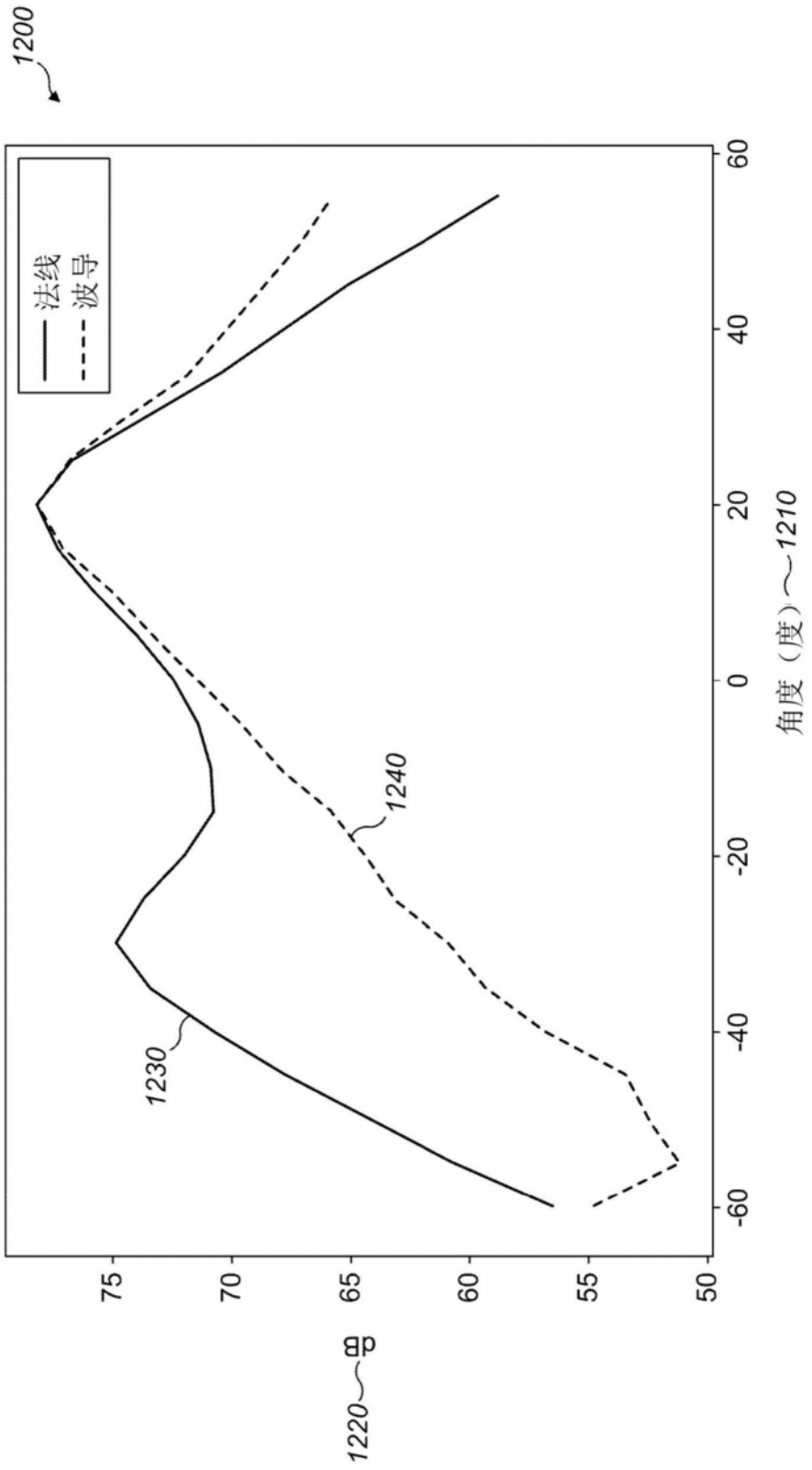

1200
法线
波导
1230
1240
1220
dB
75
70
65
60
55
50
-60
-40
-20
0
20
40
60
角度（度）
1210

图12

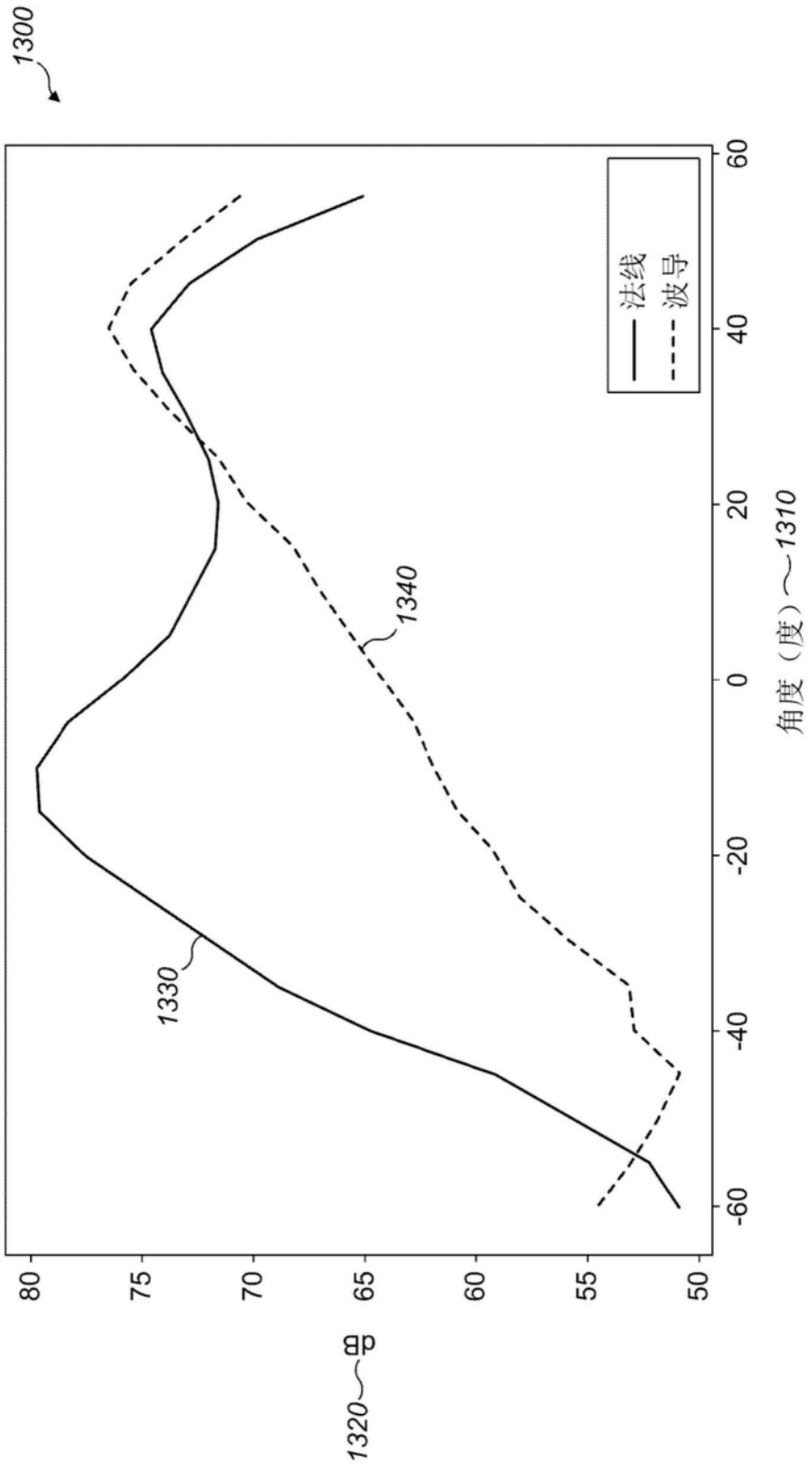

1300
法线
波导
1330
1340
1310
角度（度）
1320
dB
80
75
70
65
60
55
50
-60
-40
-20
0
20
40
60

图13

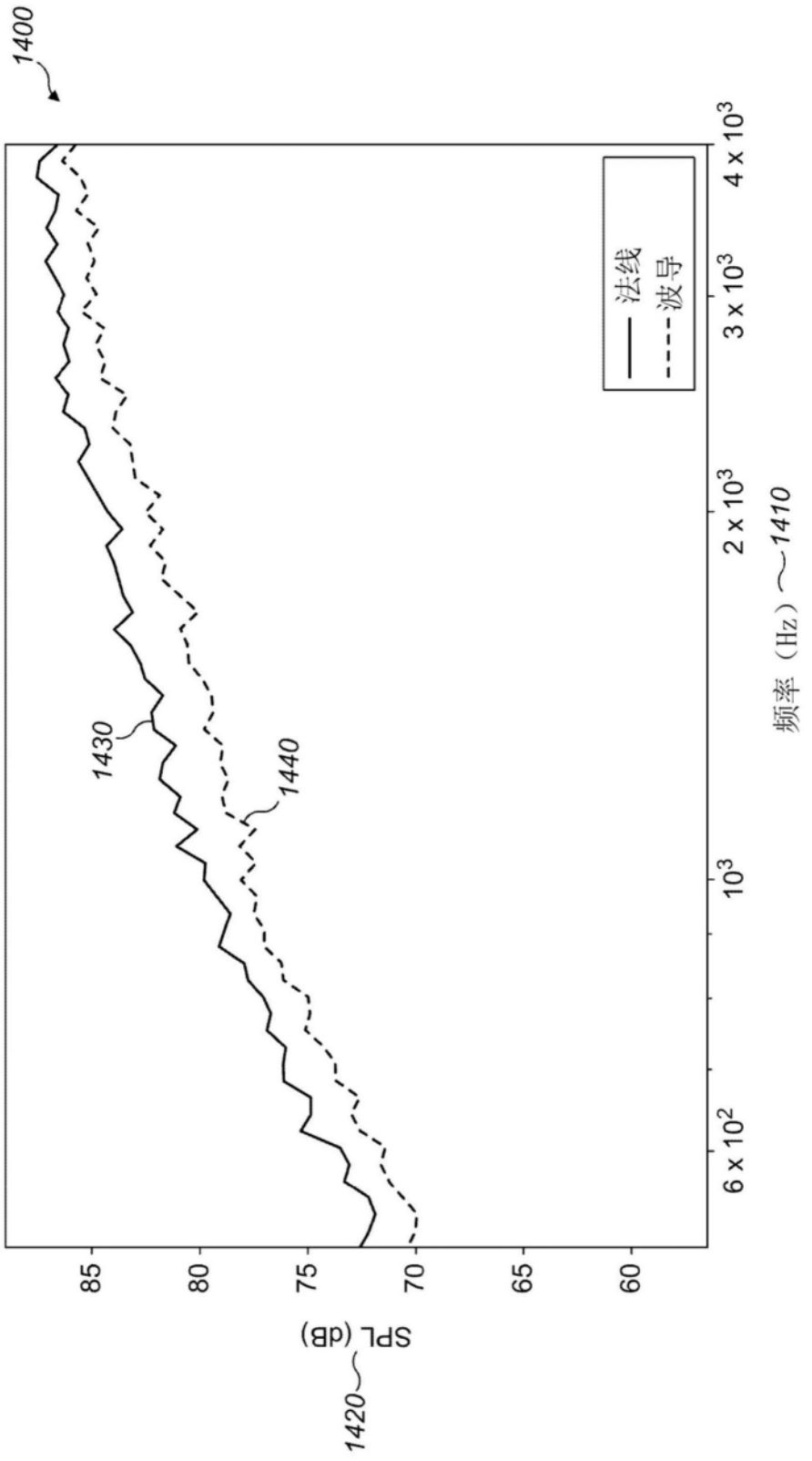

1400
法线
波导
1430
1440
SPL (dB)
1420
85
80
75
70
65
60
6 x 10^2
10^3
2 x 10^3
3 x 10^3
4 x 10^3
频率（Hz）
1410

图14

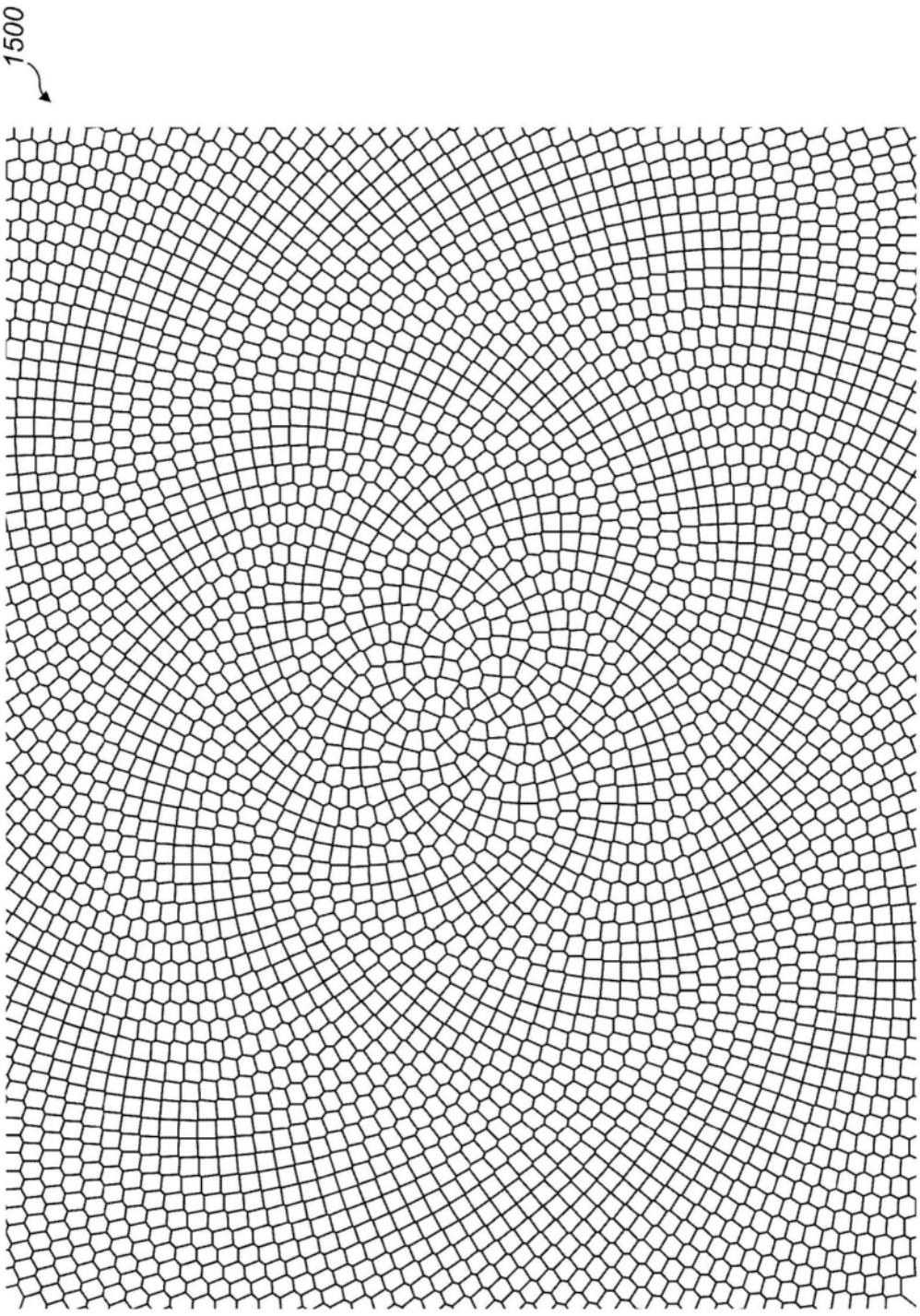


图15

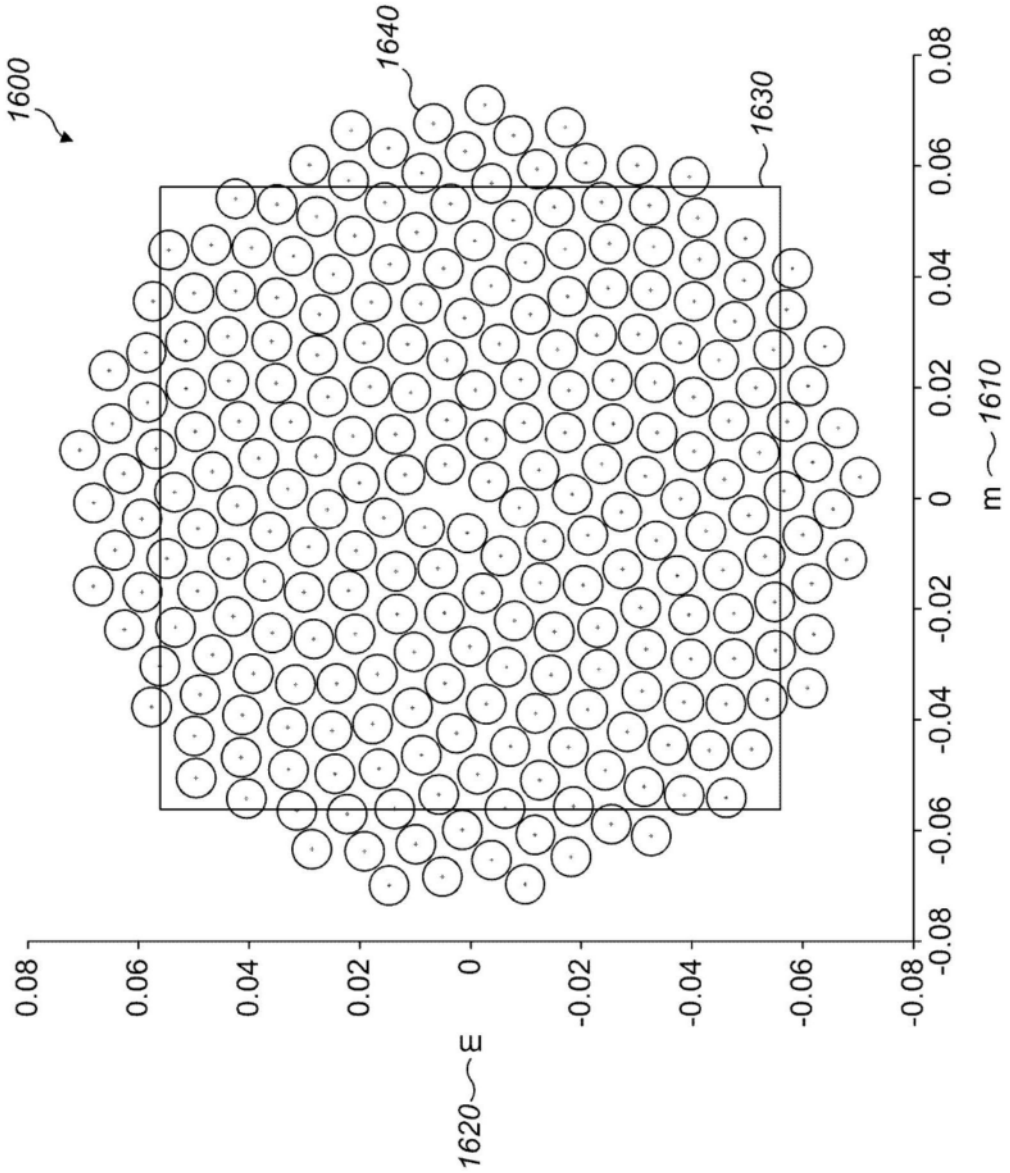


图16

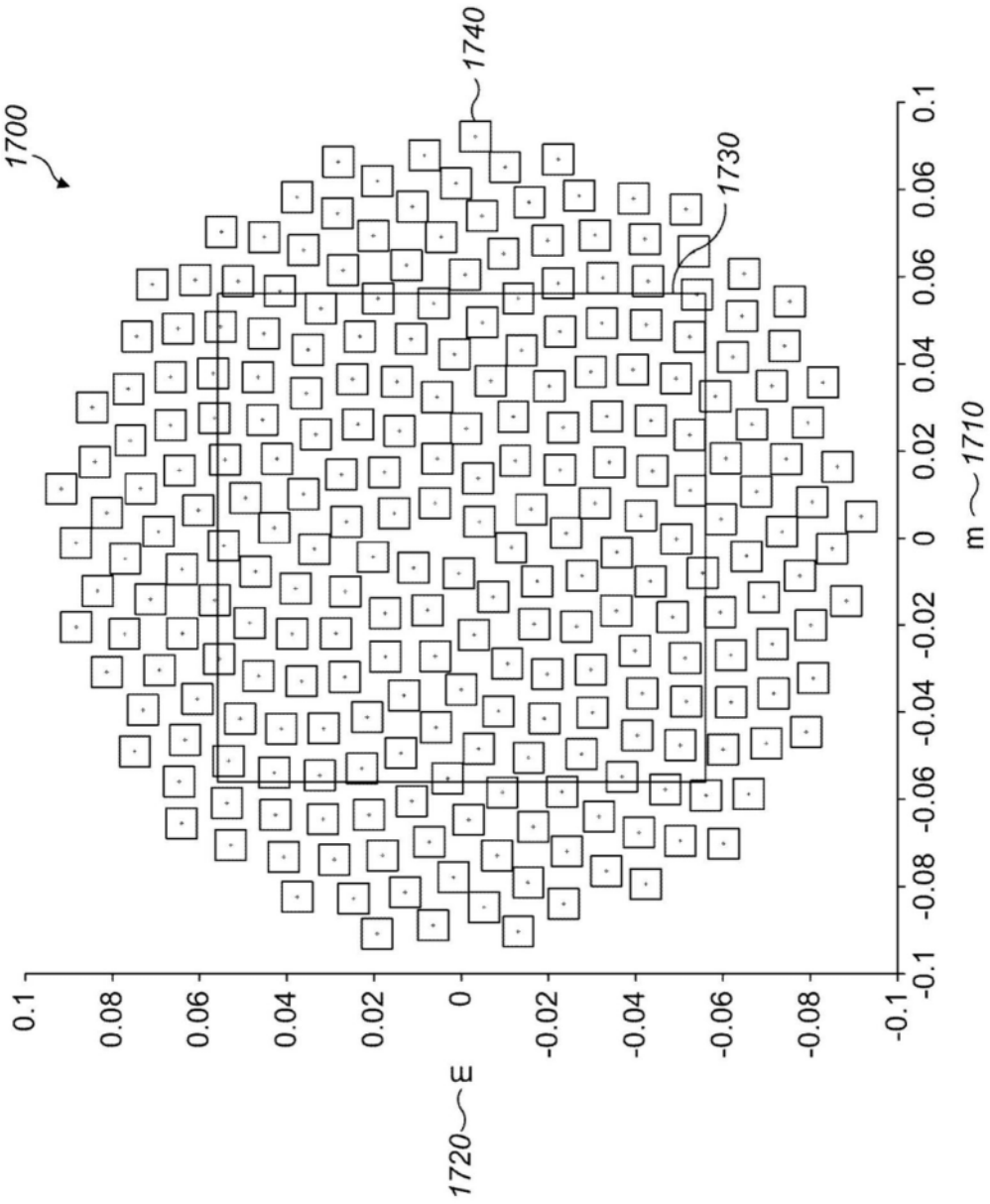

1700
1740
1730
1710
m
1720
ε
0.1
0.08
0.06
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
-0.06
-0.08
-0.1

图17

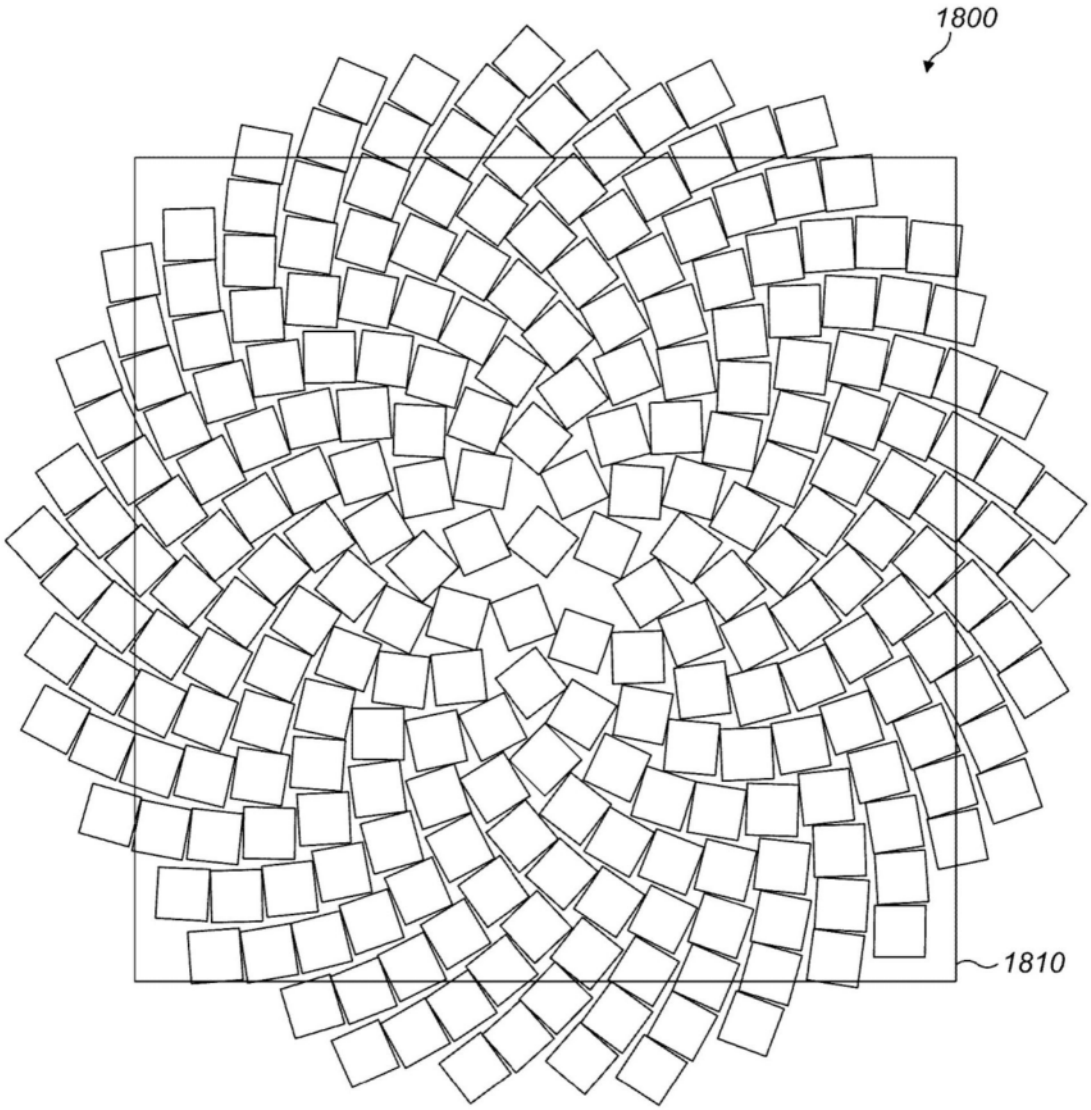


图18

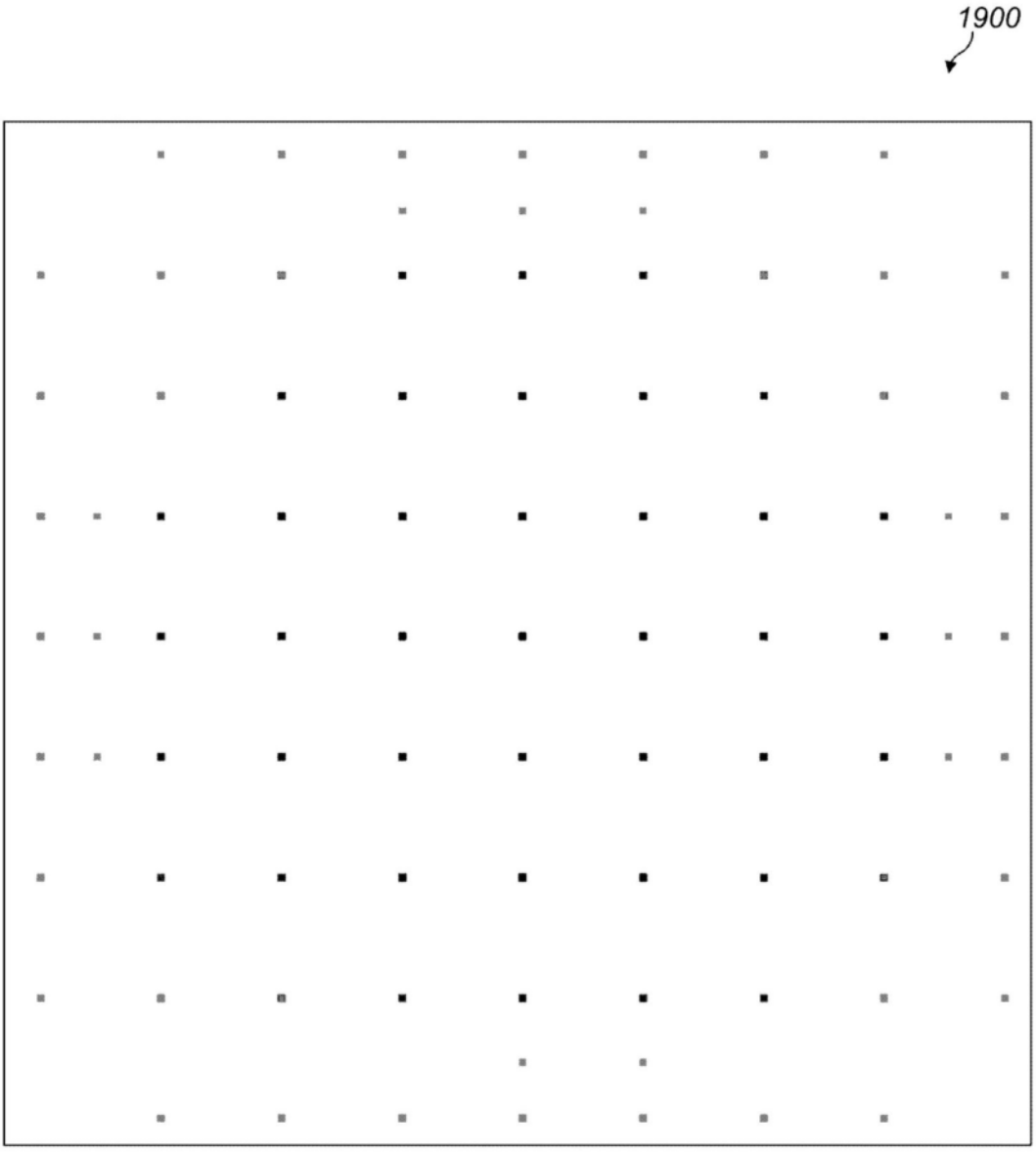


图19

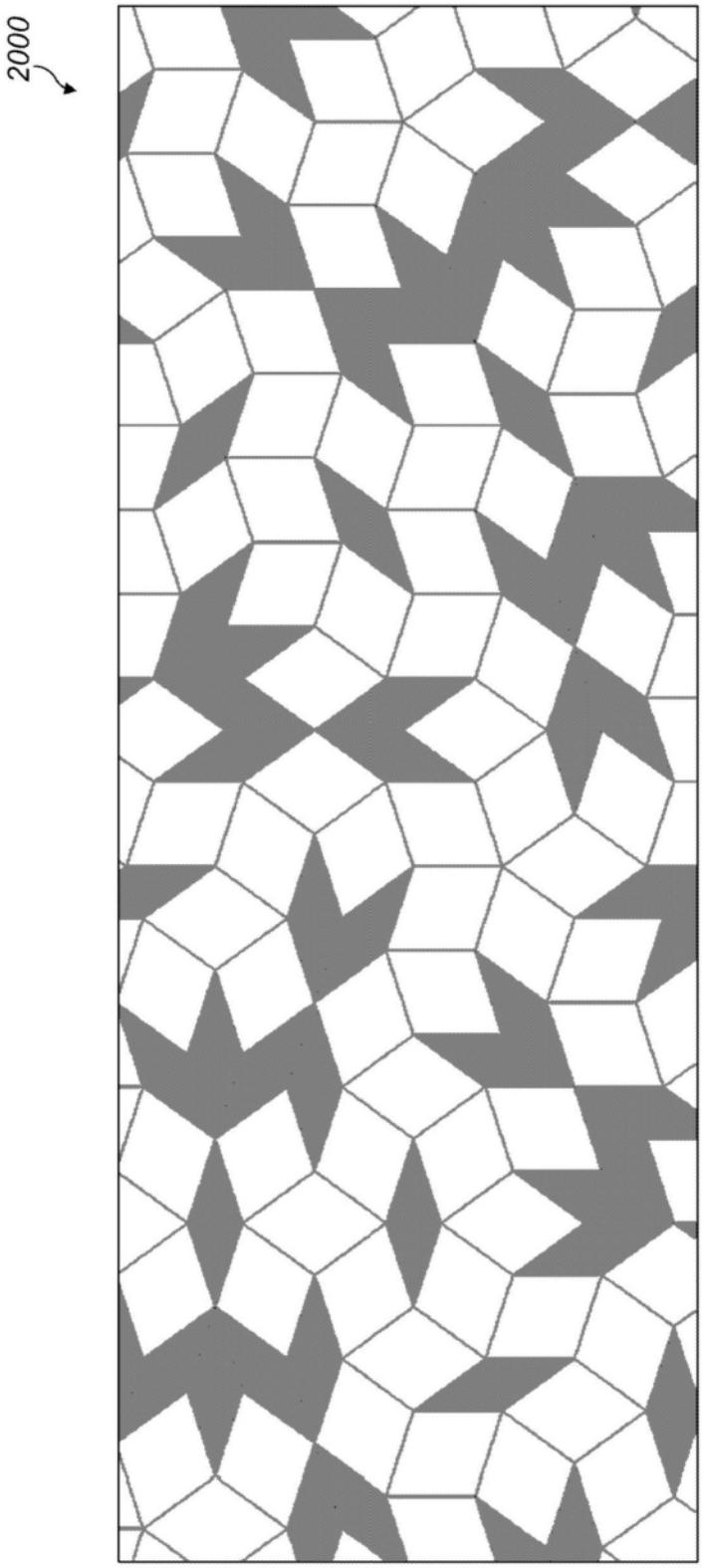


图20

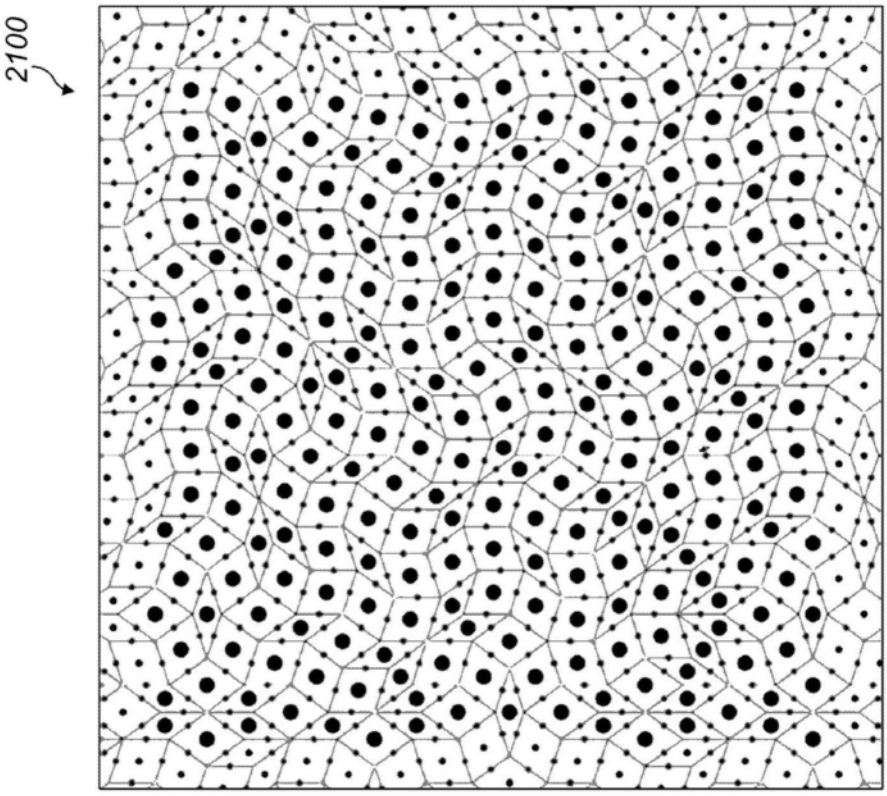


图21A

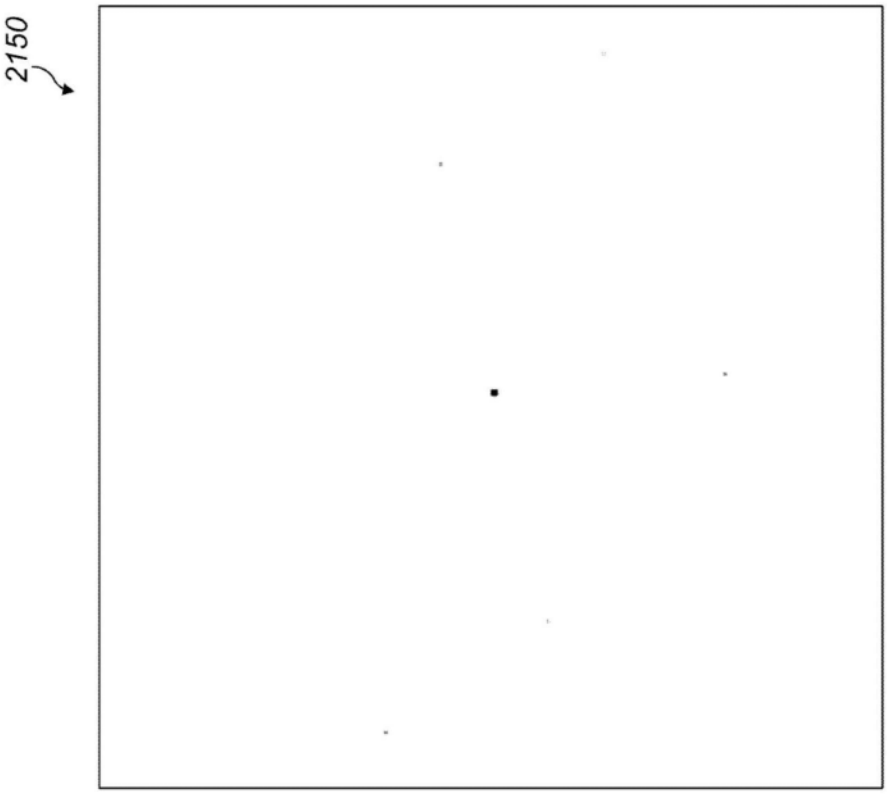


图21B

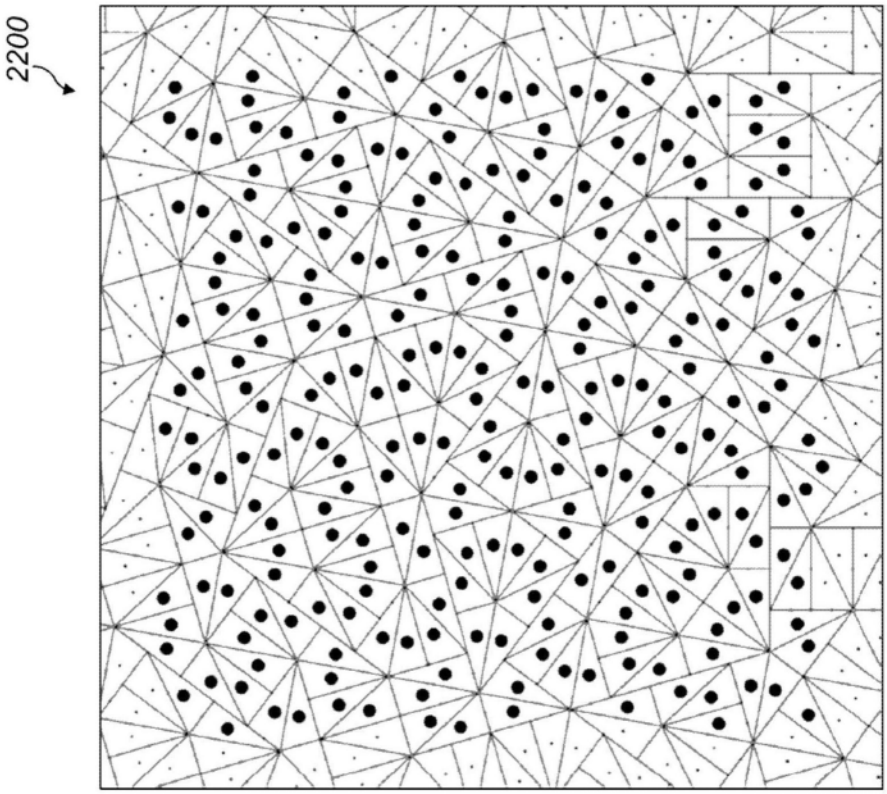


图22A

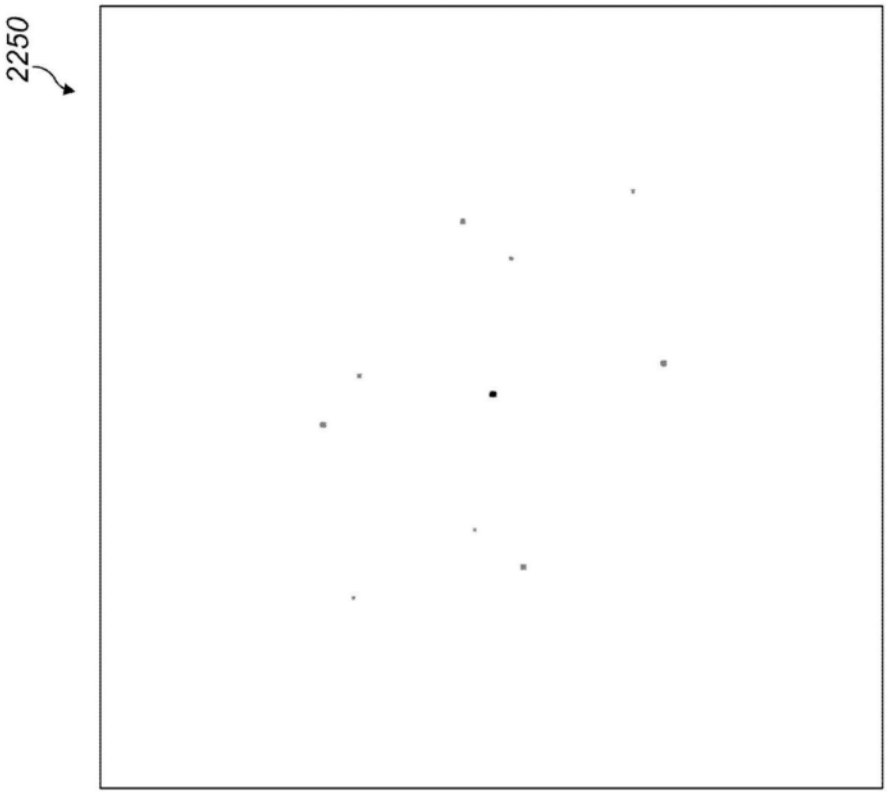


图22B

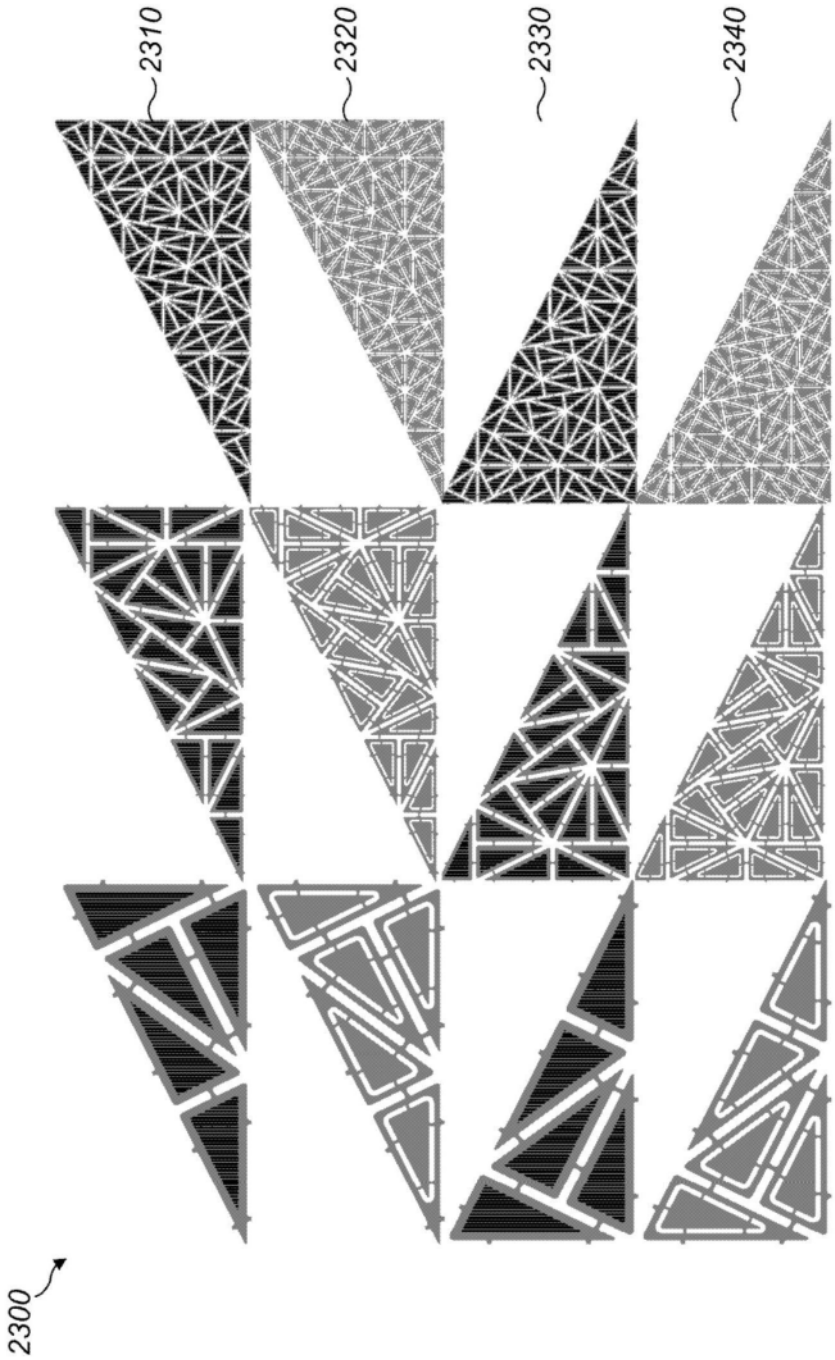


图23

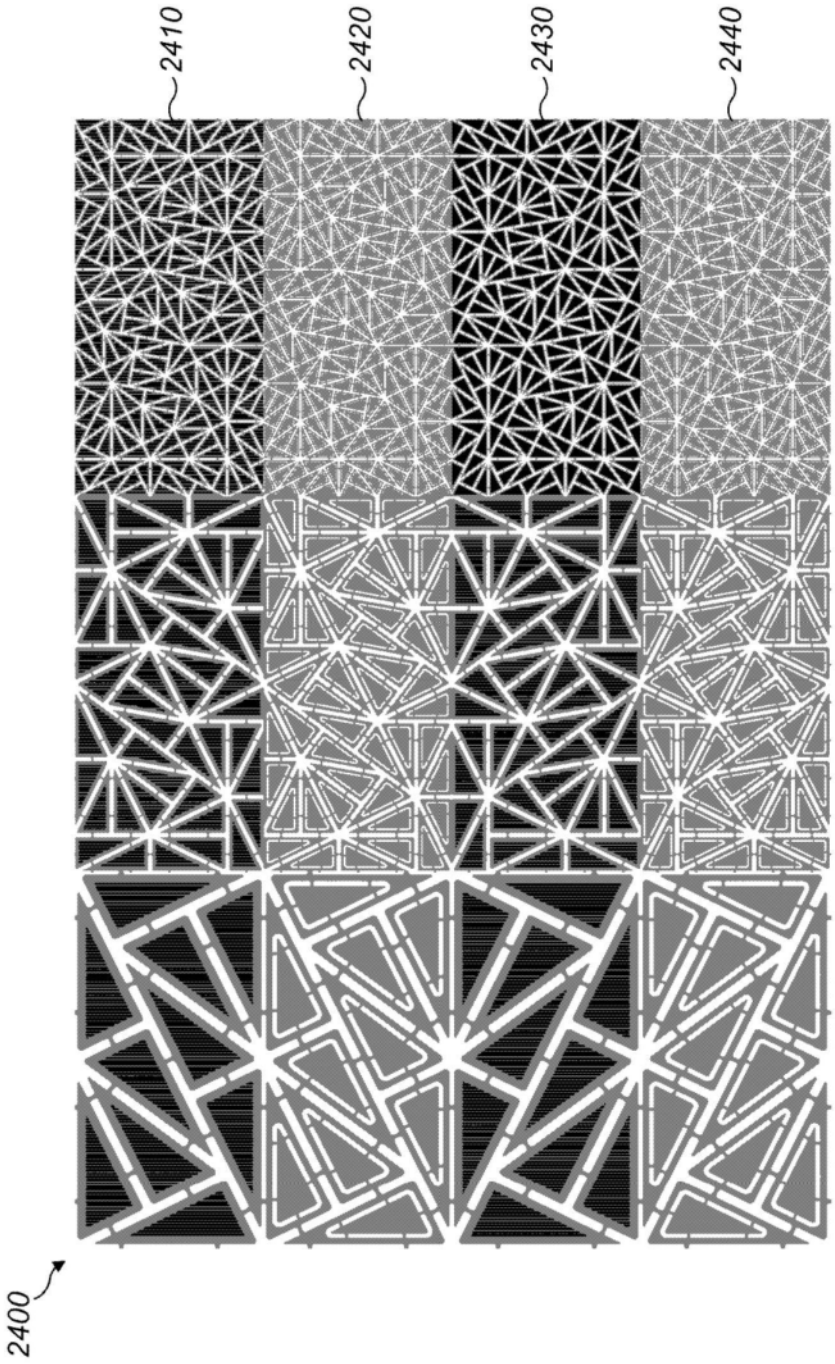


图24

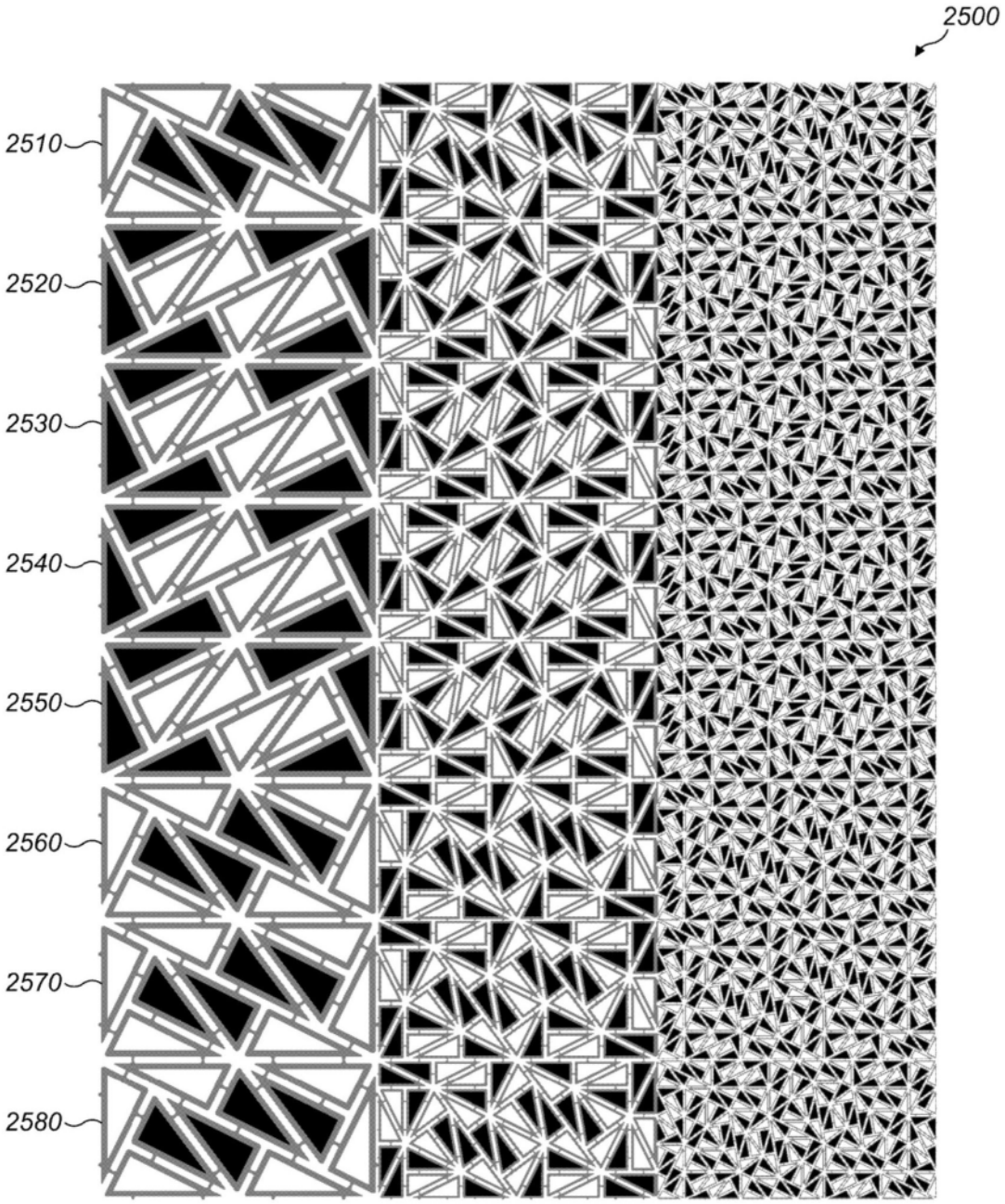


图25

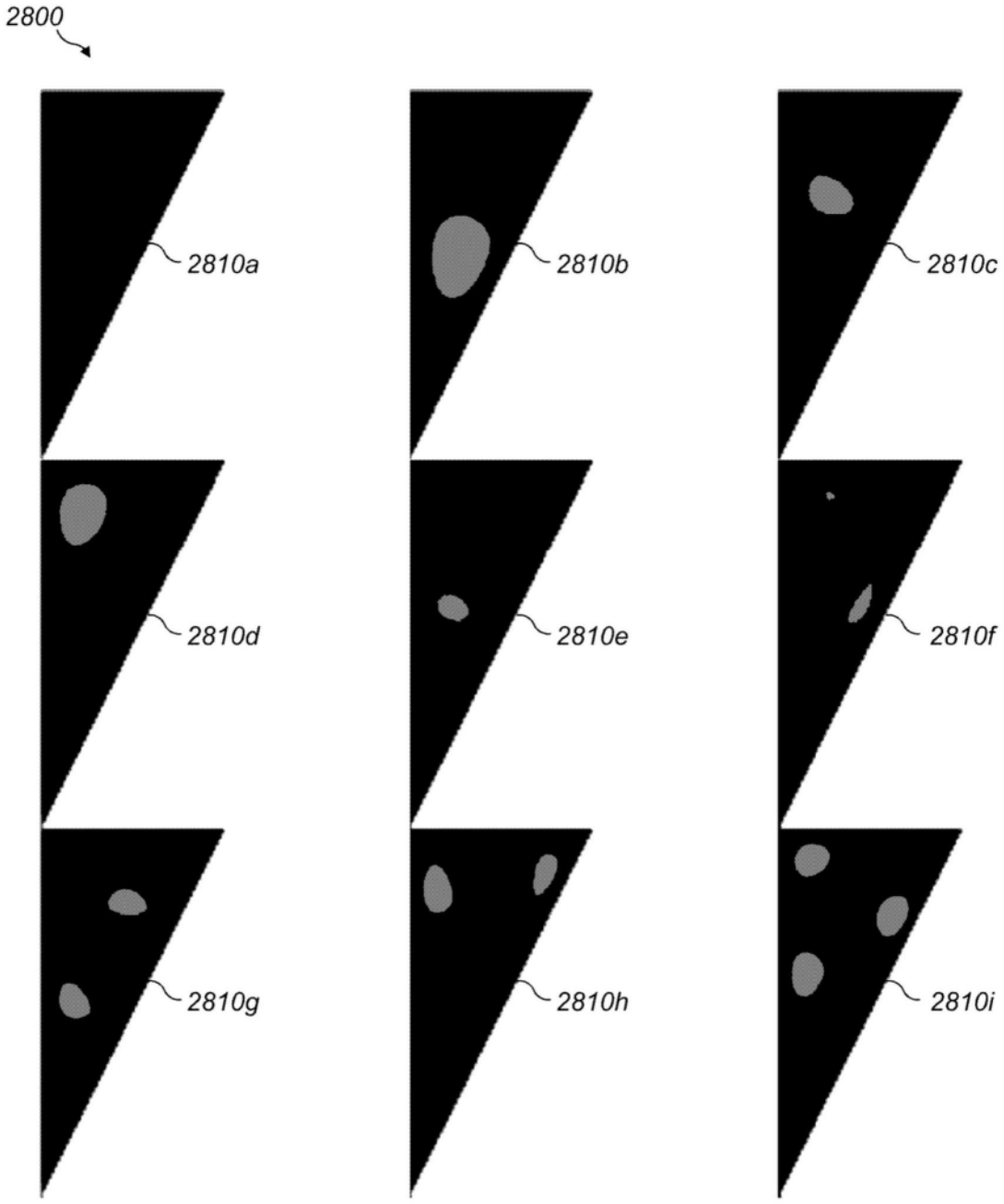


图26

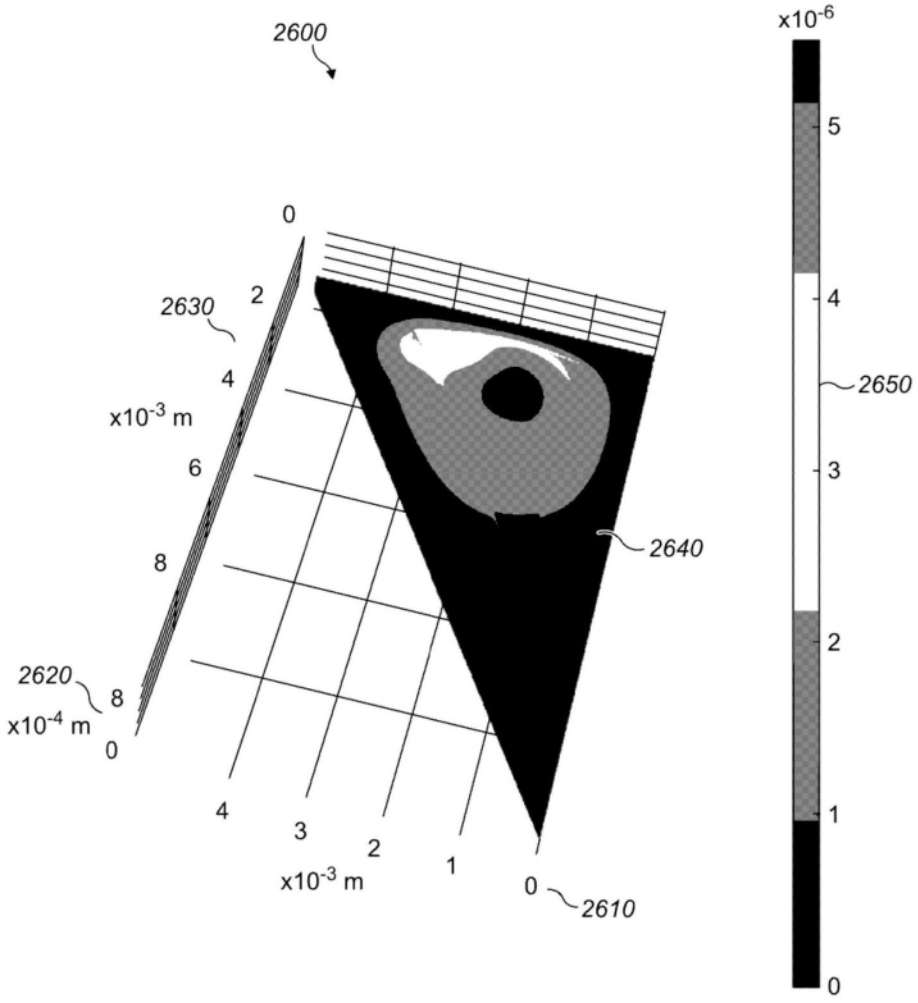

2600
x10-6
5
4
2650
3
2
1
0
0
2
4
6
8
2630
x10-3 m
2640
2620
8
x10-4 m
0
4
3
2
1
0
x10-3 m
2610

图27

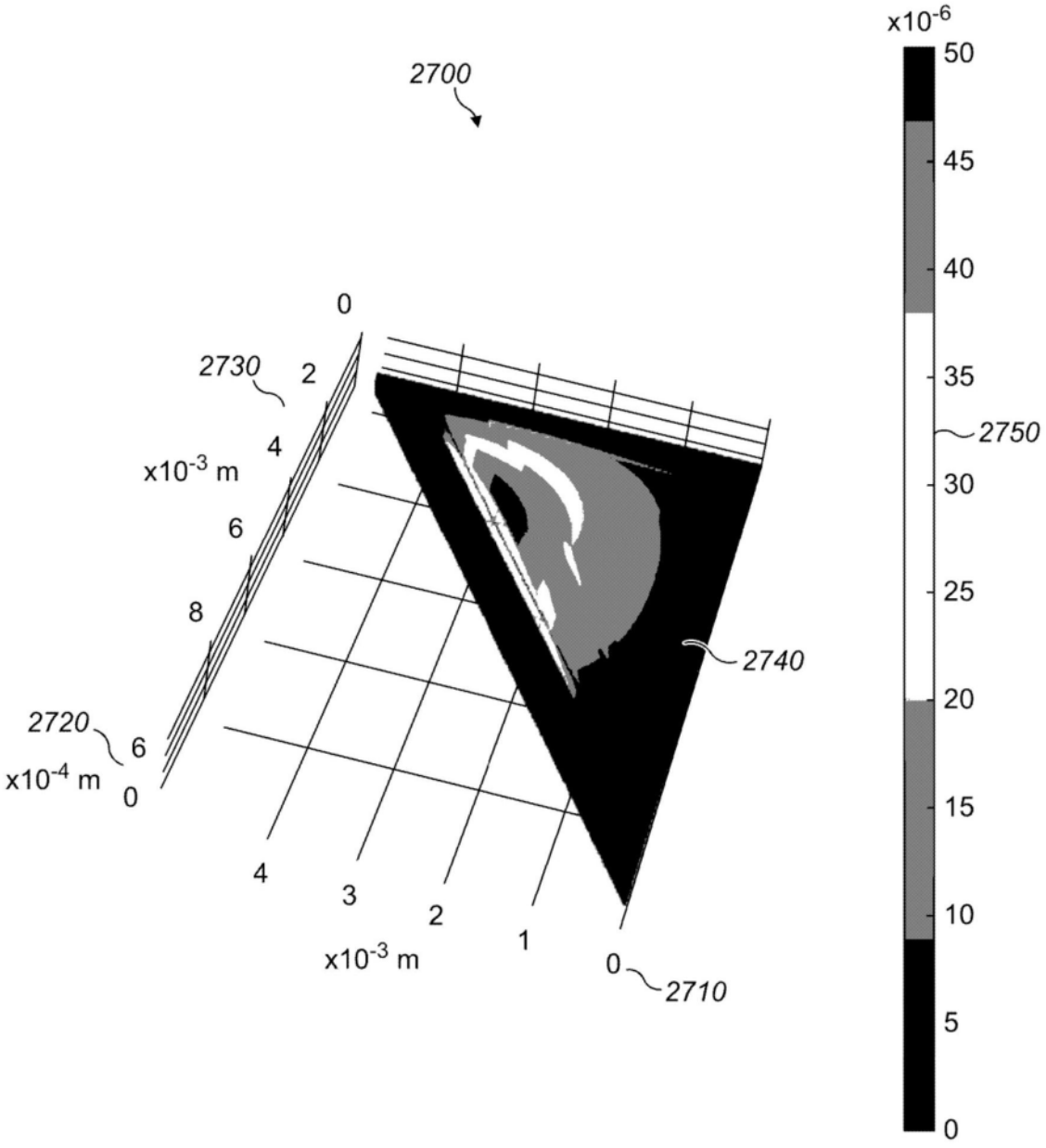

2700
x10-6
50
45
40
35
2750
30
25
20
15
10
5
0
0
2730
2
4
x10-3 m
6
8
2720
6
x10-4 m
0
2740
4
3
2
1
0
x10-3 m
2710

图28

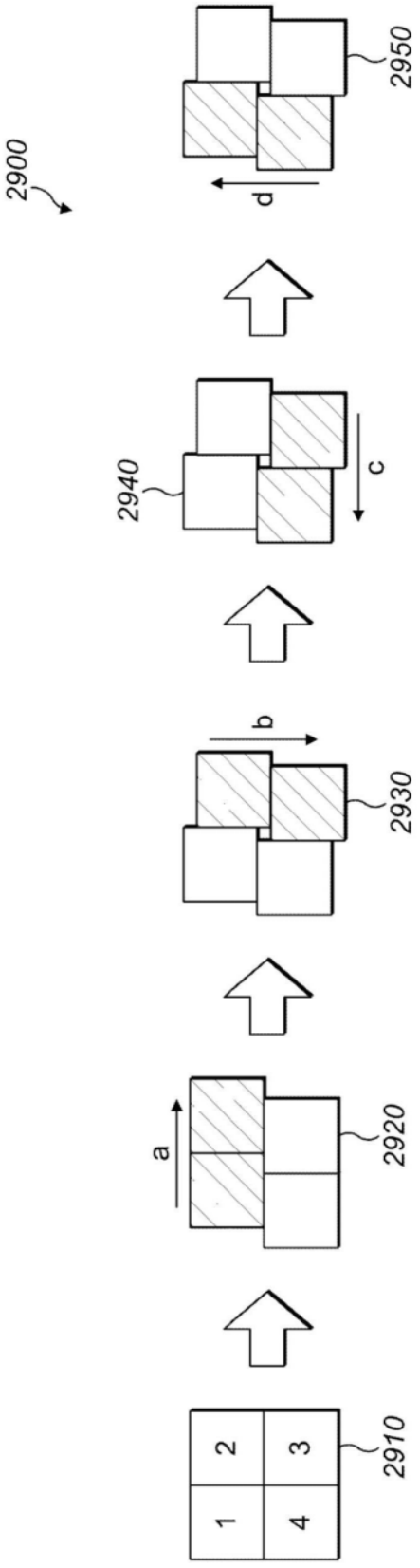


图29

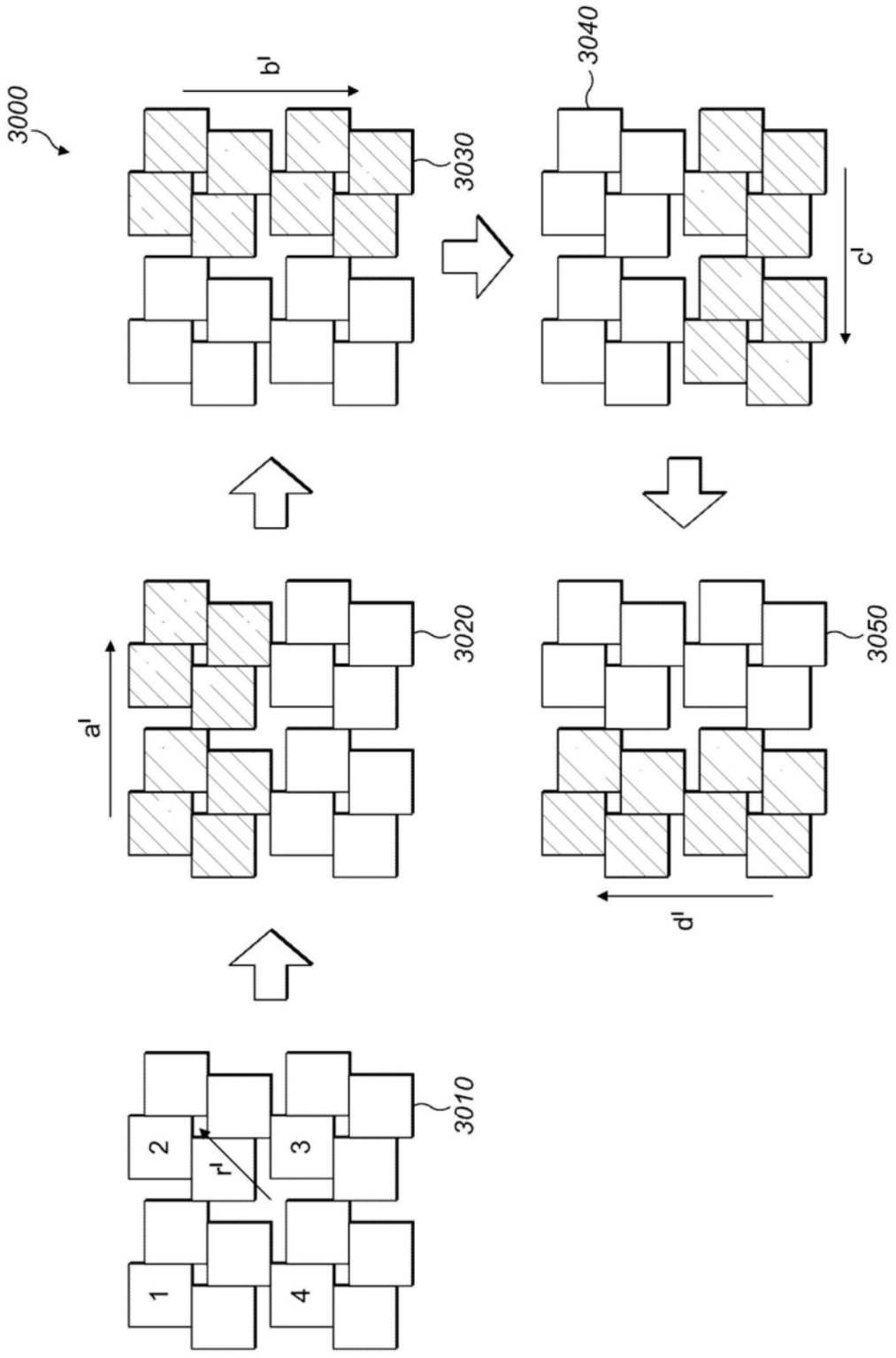


图30

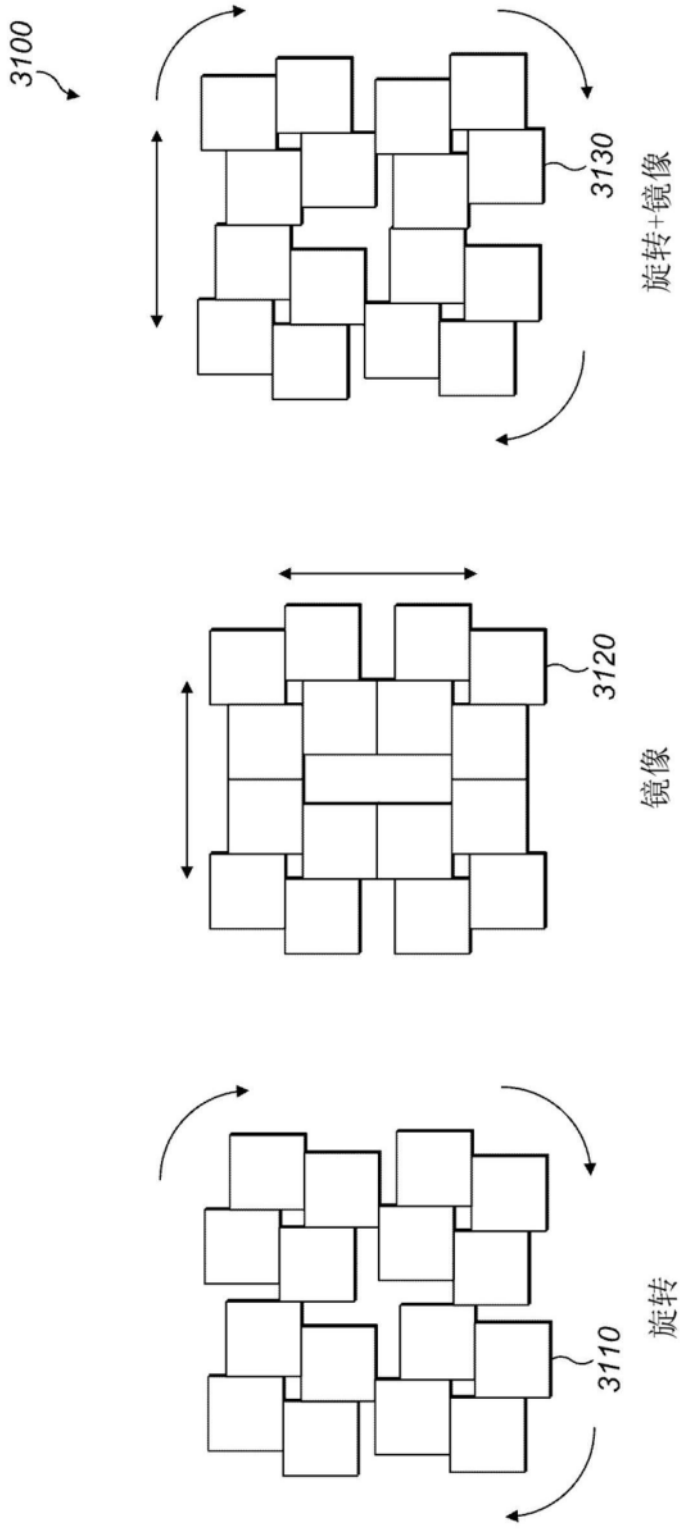


图31

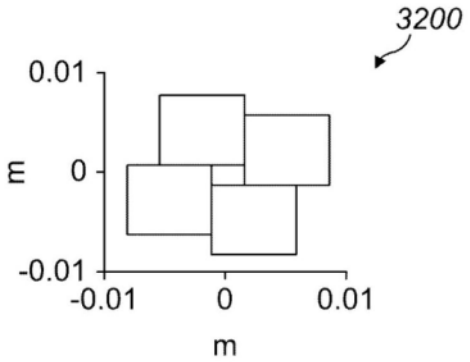

3200
0.01
0
-0.01
m
-0.01
0
0.01
m

图32A

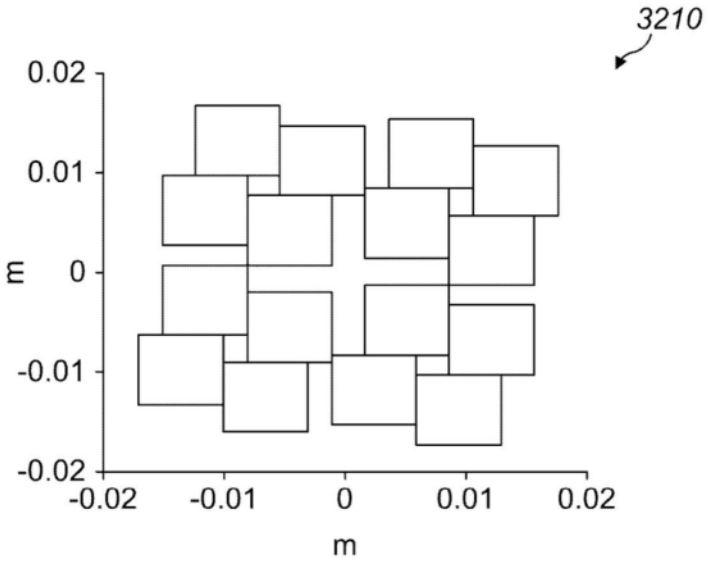

3210
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
m
-0.02
-0.01
0
0.01
0.02
m

图32B

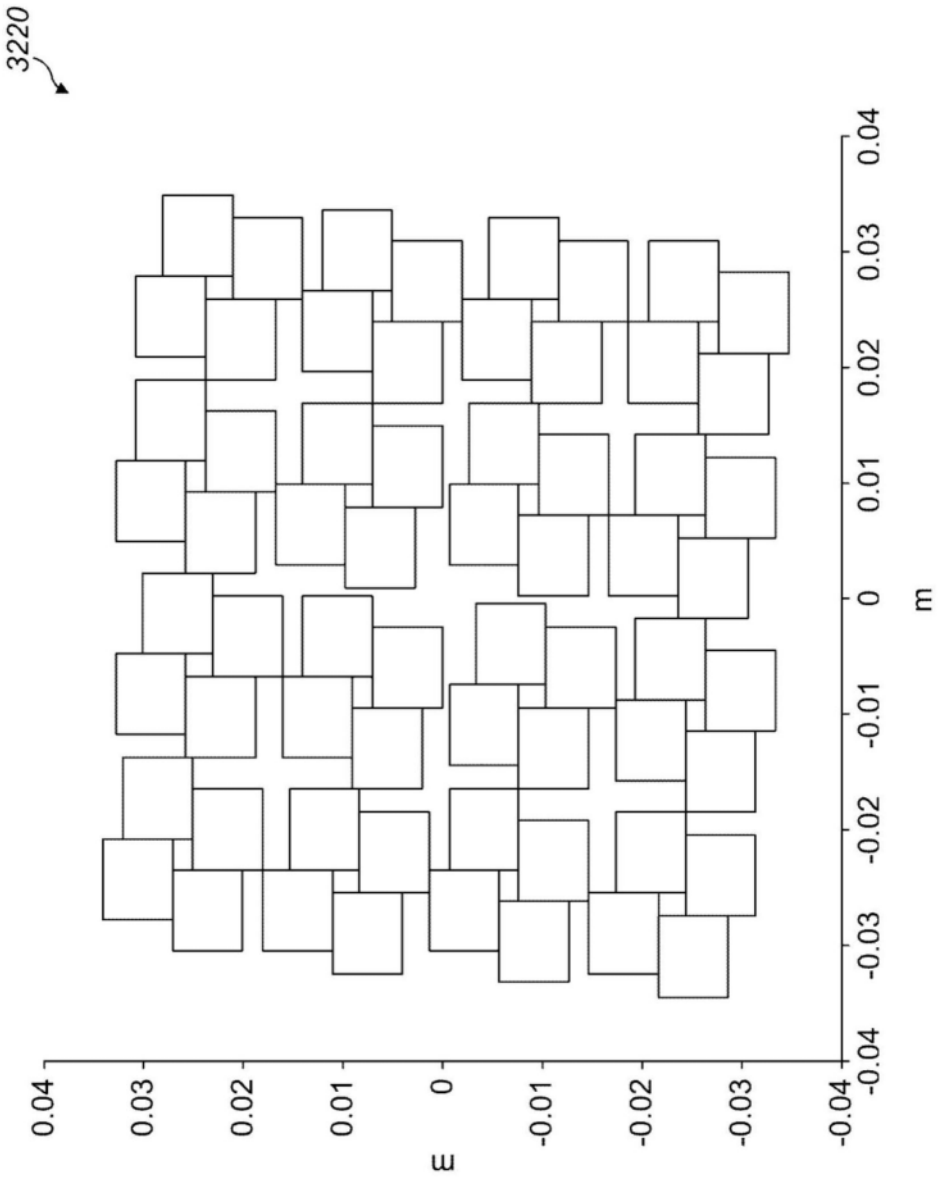

3220
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
m
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
m

图32C

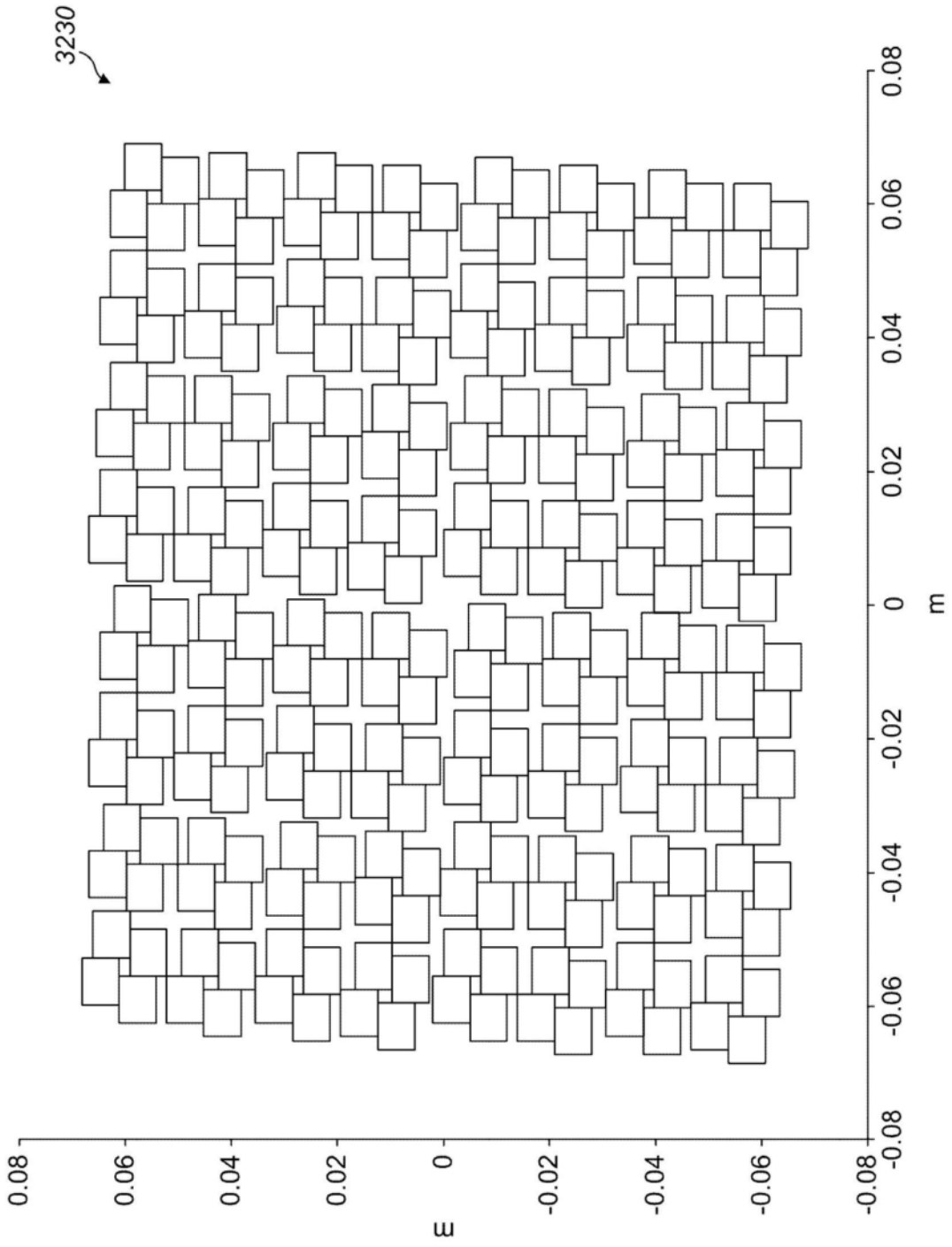

3230
0.08
0.06
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
-0.06
-0.08
m
0.08
0.06
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
-0.06
-0.08
m

图32D

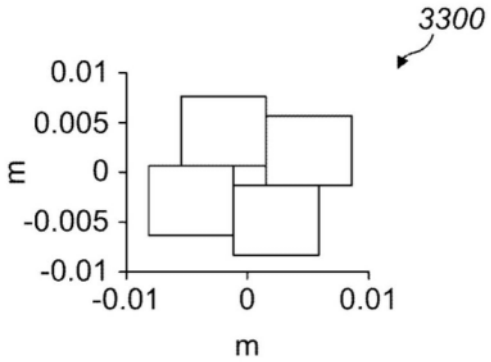

3300
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
m
-0.01
0
0.01
m

图33A

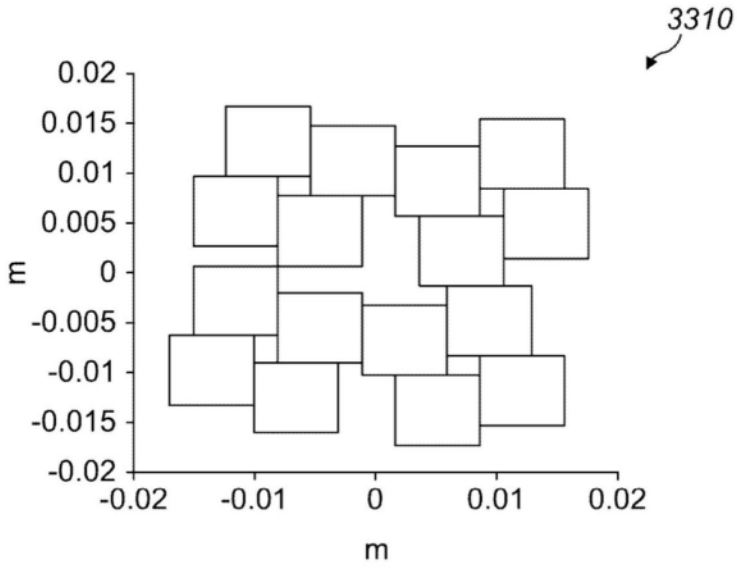

3310
0.02
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-0.02
m
-0.02
-0.01
0
0.01
0.02
m

图33B

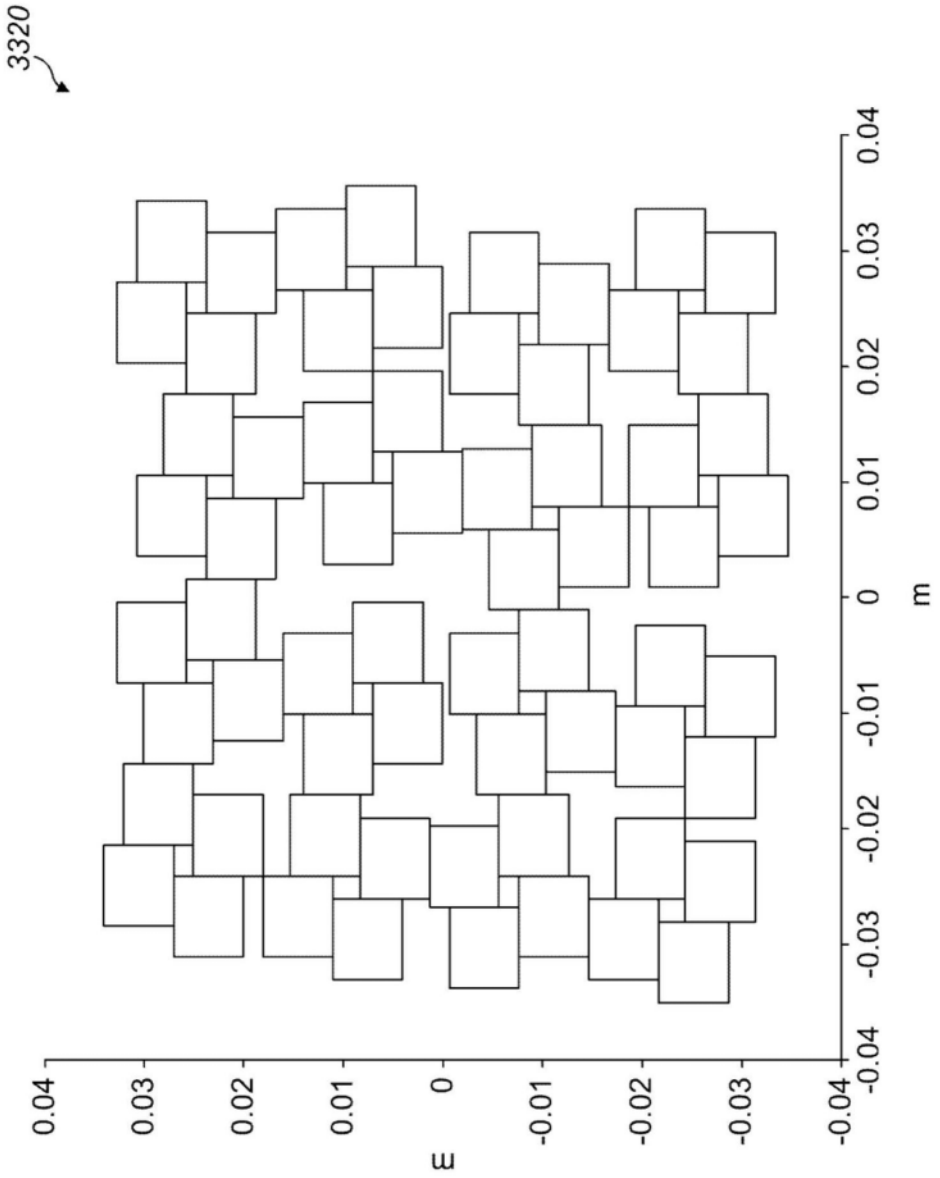

3320
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
m
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
m

图33C

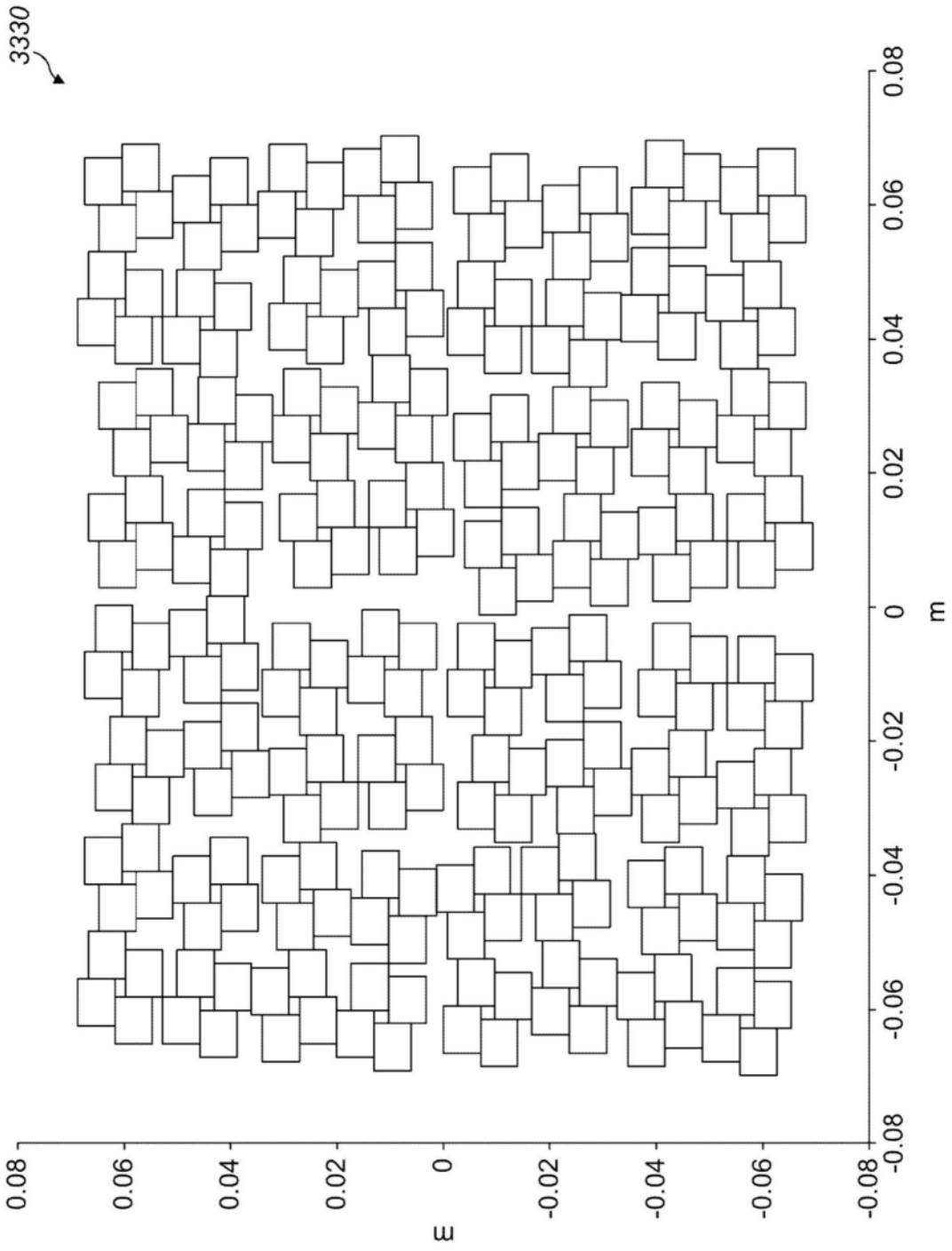

3330
0.08
0.06
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
-0.06
-0.08
m
0.08
0.06
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
-0.06
-0.08
m

图33D

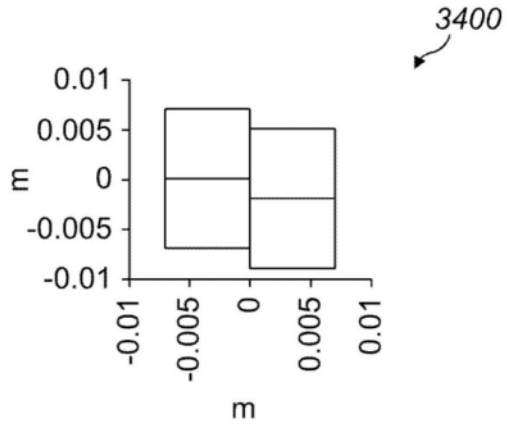

3400
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
m
-0.01
-0.005
0
0.005
0.01
m

图34A

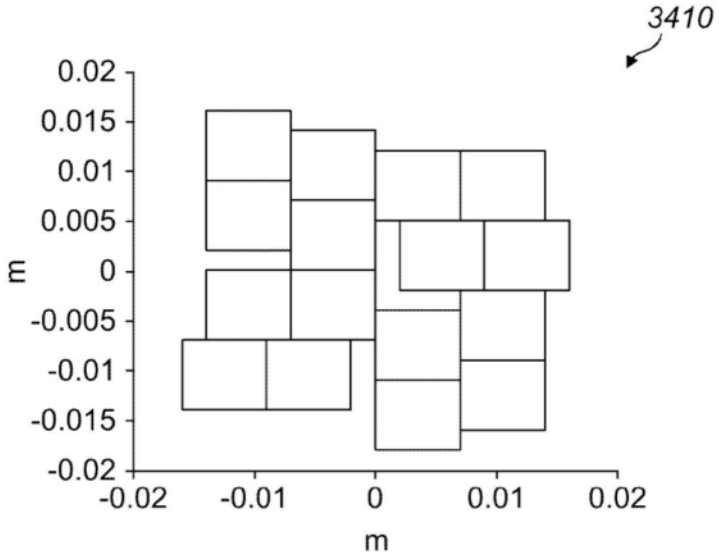

3410
0.02
0.015
0.01
0.005
0
-0.005
-0.01
-0.015
-0.02
m
-0.02
-0.01
0
0.01
0.02
m

图34B

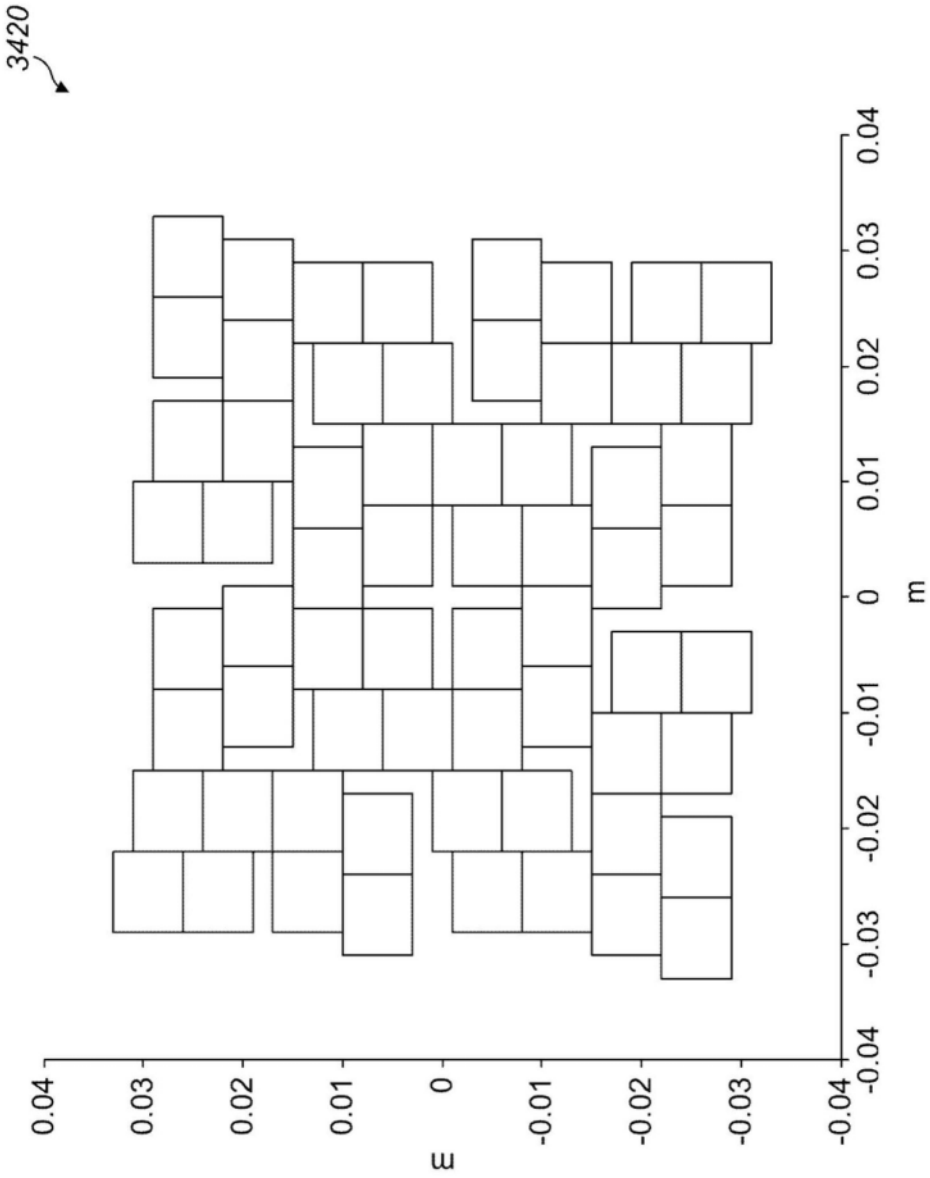

3420
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
m
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
m

图34C

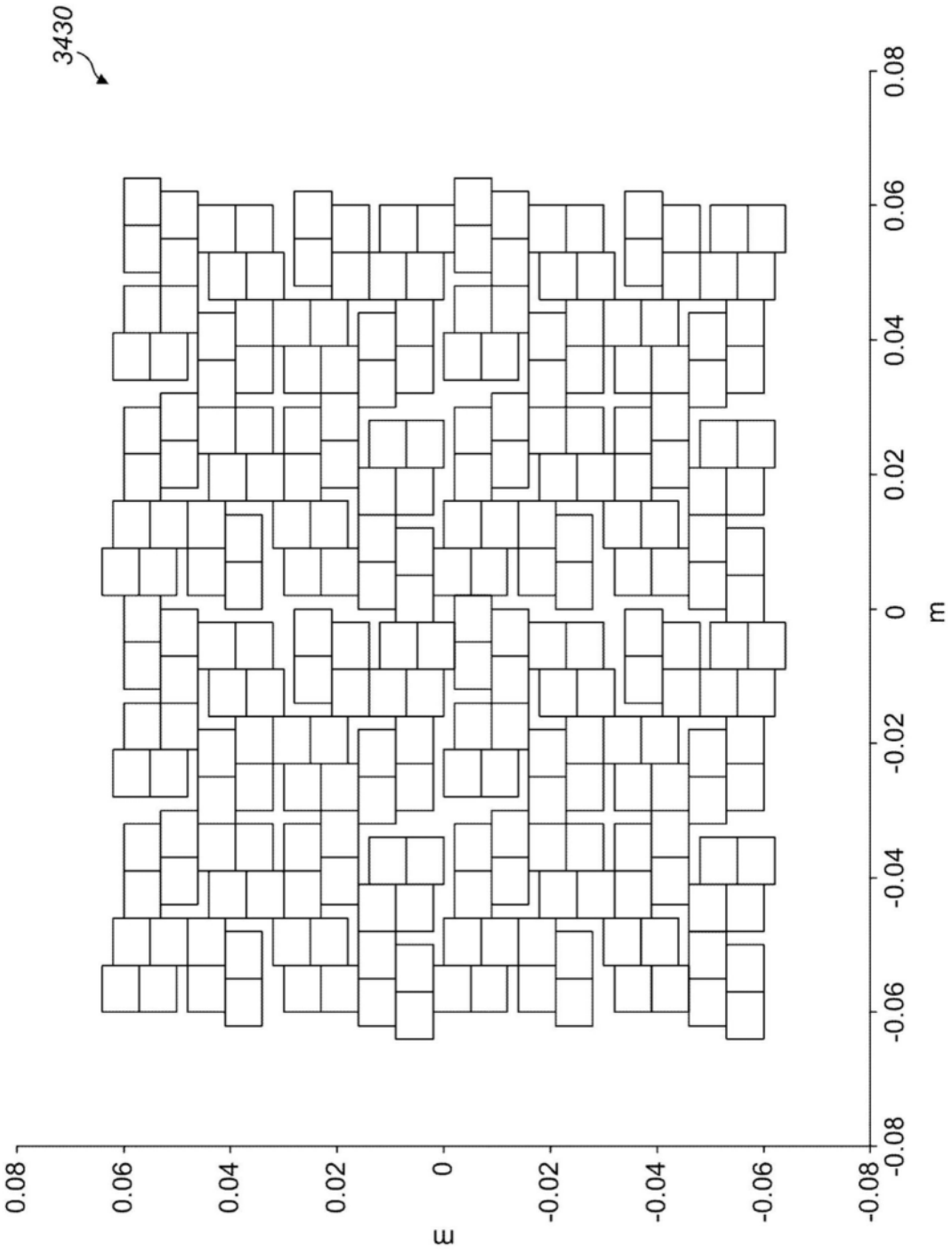

3430
0.08
0.06
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
-0.06
-0.08
m
0.08
0.06
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
-0.06
-0.08
m

图34D

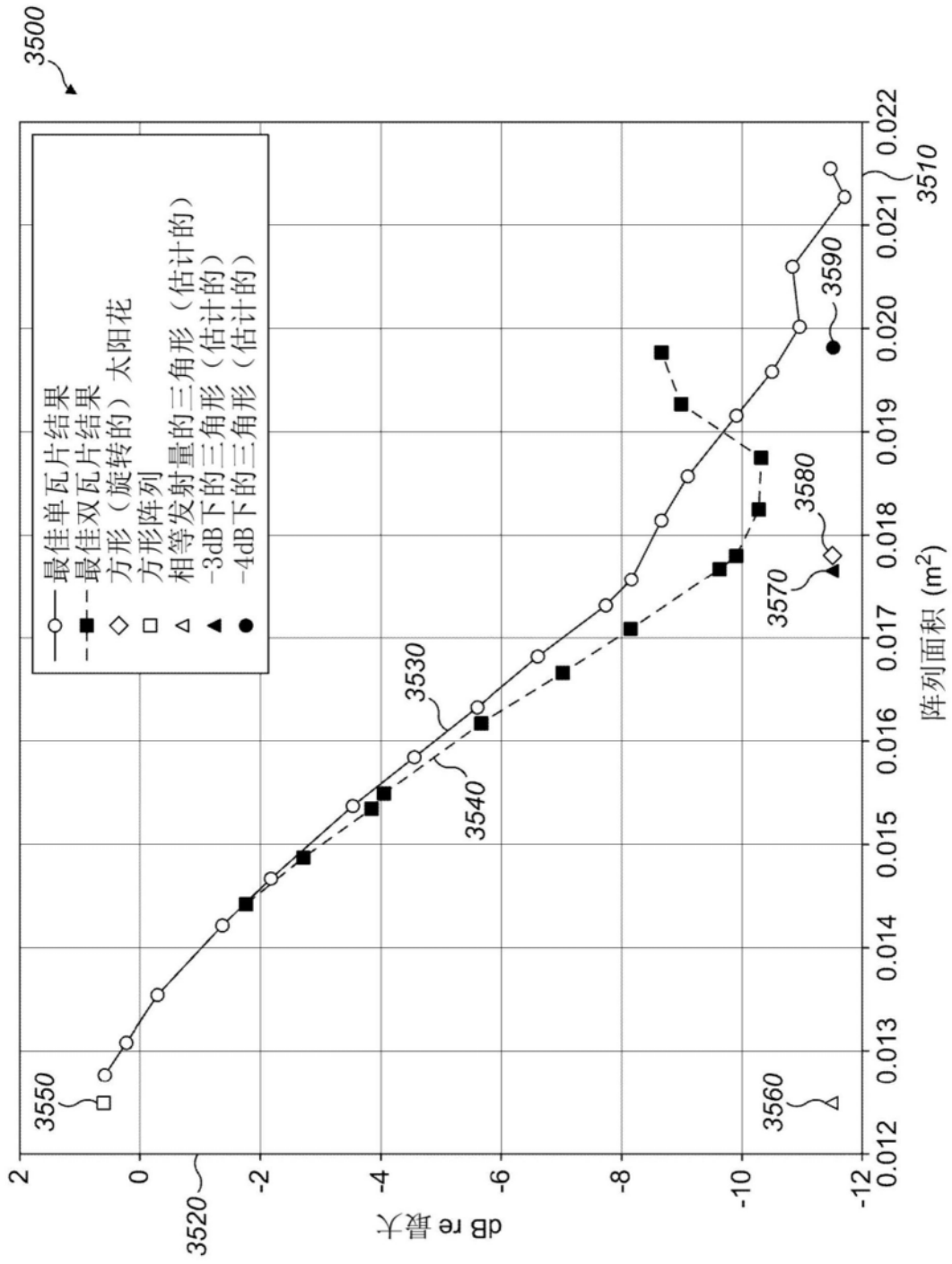

3500
最佳单瓦片结果
最佳双瓦片结果
方形（旋转的）太阳花
方形阵列
相等发射量的三角形（估计的）
-3dB下的三角形（估计的）
-4dB下的三角形（估计的）
3550
3520
3530
3540
3560
3570
3580
3590
3510
dB re 最大
阵列面积 (m²)
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
-12
0.012
0.013
0.014
0.015
0.016
0.017
0.018
0.019
0.020
0.021
0.022

图35