



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114467227 B

(45) 授权公告日 2025. 02. 21

(21) 申请号 202080067090.X

(22) 申请日 2020.10.09

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114467227 A

(43) 申请公布日 2022.05.10

(30) 优先权数据
62/915,099 2019.10.15 US
17/065,166 2020.10.07 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2022.03.24

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/CN2020/120018 2020.10.09

(87) PCT国际申请的公布数据
W02021/073450 EN 2021.04.22

(73) 专利权人 华为技术有限公司

地址 518129 广东省深圳市龙岗区坂田华为总部办公楼

(72) 发明人 森格利·福 童文

(74) 专利代理机构 北京中博世达专利商标代理有限公司 11274
专利代理师 赵丹

(51) Int.Cl.
H01Q 1/22 (2006.01)

(56) 对比文件
KR 20190019802 A, 2019.02.27
US 6388621 B1, 2002.05.14

审查员 袁典

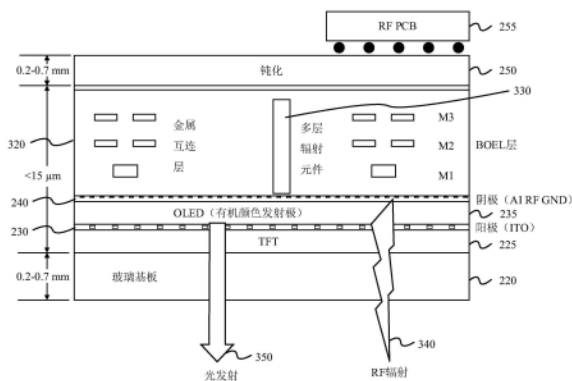
权利要求书2页 说明书12页 附图16页

(54) 发明名称

天线集成显示屏

(57) 摘要

本发明提供一种集成天线和视觉显示装置,或者提供可以相互集成的天线装置和视觉显示装置中的一种。孔径形成在视觉显示屏(例如OLED显示屏)中。在导电层中形成的孔径用作天线阵列的辐射体。视觉显示屏的子像素的子集可以随所述孔径一同去除。光学透明基板位于视觉显示屏上方,并且另外的导电元件(可以是光学透明元件)的阵列设置在该基板的外部。所述另外的导电元件通过以阻抗匹配的方式与辐射孔径耦合,以引导天线信号通过基板。



1. 一种天线和视觉显示装置,其特征在于,包括:

天线馈线层,包括用于相应天线阵列的天线馈线阵列;

视觉显示层,所述视觉显示层位于所述天线馈线层外部且与所述天线馈线层相邻,包括发光二极管阵列和耦合至所述发光二极管阵列的控制元件,所述控制元件用于操作所述发光二极管以提供视觉显示,所述视觉显示层还包括孔径阵列,所述孔径阵列通过省略其它规则阵列中的所述发光二极管阵列的子集而形成,所述孔径阵列具有根据所述天线阵列的工作波长配置的尺寸和间距,用于与所述天线馈线中的相应天线馈线耦合以促进所述天线阵列的天线信号的发射;其中,所述发光二极管阵列包括红色、绿色、蓝色和白色发光二极管,并且其中省略所述发光二极管阵列的子集包括省略所述白色发光二极管的子集;或者,所述发光二极管阵列包括红色、绿色和蓝色发光二极管,并且其中省略所述发光二极管阵列的子集包括省略所述绿色发光二极管的子集;

光学透明基板,位于所述视觉显示层外部且与所述视觉显示层相邻;以及

导电光学透明元件阵列,位于所述光学透明基板外部且与所述光学透明基板相邻,所述导电光学透明元件阵列用于与所述孔径阵列耦合以引导所述天线信号通过所述光学透明基板。

2. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,所述导电光学透明元件阵列是周期性阵列,每个导电光学透明元件都是带电小贴片。

3. 根据权利要求1所述的装置,其特征在于,所述孔径阵列由阳极导电层和阴极导电层中的槽形成,所述阳极导电层和所述阴极导电层用于与所述发光二极管进行电交互以操作所述发光二极管。

4. 根据权利要求3所述的装置,其特征在于,所述阴极导电层还用作所述天线阵列的接地层。

5. 根据权利要求1至4中任一项所述的装置,其特征在于,所述天线阵列跨越所述视觉显示屏的整个区域,或者其中所述天线阵列跨越小于所述视觉显示屏的整个区域的区域,并且所述区域与所述视觉显示屏的一个或多个边缘位于同一位置,或者所述区域与所述视觉显示屏的中心部分位于同一位置。

6. 一种视觉显示装置,其特征在于,包括:

视觉显示层,所述视觉显示层包括发光二极管阵列和耦合至所述发光二极管阵列的控制元件,用于操作所述发光二极管以提供视觉显示;以及

孔径阵列,所述孔径阵列形成在所述视觉显示层中,所述孔径阵列通过省略其它规则阵列中的所述发光二极管阵列的子集而形成,具有根据天线阵列的工作波长配置的尺寸和间距,用于与一组天线馈线耦合以促进所述天线阵列的天线信号的发射;其中,所述发光二极管阵列包括红色、绿色、蓝色和白色发光二极管,并且其中省略所述发光二极管阵列的所述子集包括省略所述白色发光二极管的子集;或者,所述发光二极管阵列包括红色、绿色和蓝色发光二极管,并且其中省略所述发光二极管阵列的子集包括省略所述绿色发光二极管的子集。

7. 根据权利要求6所述的装置,其特征在于,还包括:光学透明基板,位于所述视觉显示层外部且与所述视觉显示层相邻;以及导电光学透明元件阵列,位于所述光学透明基板外部且与所述光学透明基板相邻,所述导电光学透明元件阵列具有与所述孔径阵列耦合的尺

寸和间距,用于引导所述天线信号通过所述光学透明基板。

8. 根据权利要求7所述的装置,其特征在于,所述导电光学透明元件阵列与触敏控制表面用户界面集成。

9. 一种天线装置,其特征在于,包括:

天线馈线层,包括用于相应天线阵列的天线馈线阵列;

基板,位于所述天线馈线层外部;以及

导电光学透明元件阵列,位于光学透明基板外部且与所述光学透明基板相邻,所述导电光学透明元件阵列具有直接或间接与所述天线馈线阵列耦合的尺寸和间距,用于引导天线信号通过所述基板;

视觉显示层,所述视觉显示层位于所述天线馈线层和所述基板之间,包括发光二极管阵列和耦合至所述发光二极管阵列的控制元件,所述控制元件用于操作所述发光二极管以提供视觉显示,所述视觉显示层还包括孔径阵列,所述孔径阵列通过省略其它规则阵列中的所述发光二极管阵列的子集而形成,所述孔径阵列具有根据所述天线阵列的工作波长配置的尺寸和间距,用于与所述天线馈线层中的相应天线馈线耦合以促进所述天线阵列的天线信号的发射;其中,所述发光二极管阵列包括红色、绿色、蓝色和白色发光二极管,并且其中省略所述发光二极管阵列的所述子集包括省略所述白色发光二极管的子集;或者,所述发光二极管阵列包括红色、绿色和蓝色发光二极管,并且其中省略所述发光二极管阵列的子集包括省略所述绿色发光二极管的子集。

10. 根据权利要求9所述的天线装置,其特征在于,所述基板是光学透明基板。

11. 根据权利要求9或10所述的天线装置,其特征在于,所述导电光学透明元件阵列是光学透明的并且与触敏控制表面用户界面集成。

12. 根据权利要求11所述的天线装置,其特征在于,所述基板具有高介电常数的电磁厚。

13. 根据权利要求12所述的天线装置,其特征在于,还包括位于所述天线馈线层和所述基板之间的初级辐射天线元件阵列。

14. 根据权利要求13所述的天线装置,其特征在于,所述初级辐射天线元件阵列中的初级辐射天线元件是槽或偶极子,并且其中所述槽或偶极子是带电小元件,具有小于所述天线阵列的自由空间工作波长的一半的电长度。

15. 根据权利要求14所述的天线装置,其特征在于,所述导电光学透明元件阵列中的一些或全部的导电光学透明元件都是带电小元件。

天线集成显示屏

[0001] 相关申请案交叉申请

[0002] 本申请要求于2019年10月15日递交的发明名称为“天线集成显示屏 (Antenna Integrated Display Screen)”的第62/915,099号美国临时专利申请案以及2020年10月7日递交的发明名称为“天线集成显示屏 (Antenna Integrated Display Screen)”的第17/065,166号美国专利申请案的在先申请优先权,其全部内容以引入的方式并入本文。

技术领域

[0003] 本发明涉及天线,尤其涉及与诸如移动设备或其它电子设备的有机发光二极管 (organic light emitting diode,OLED) 显示屏等显示屏集成的天线。

背景技术

[0004] 预计未来电子和移动设备(如5G智能手机和笔记本电脑)会纳入高增益毫米波和亚毫米波相控阵列。这些高频天线目前主要用于高数据速率通信或近距离成像。由于高天线增益和宽角度覆盖要求,用于此类应用场景的天线需要相对较大的孔径区域。然而,大多数可用基板面,例如智能手机上的边框区域,已经被具有不同类型的通信频段的多个天线所占用。因此很难将此类天线并入设备中,尤其是在设备尺寸有限的情况下。

[0005] 目前,有机发光显示屏 (organic light emission display,OLED) 和液晶显示屏 (liquid crystal display,LCD) 都在使用。不过,OLED有望在不久的将来超越LCD技术。有一种类型的OLED技术称为有源矩阵OLED(active matrix OLED,AMOLED) 技术。由于AMOLED具有出色的色彩、对比度、低功耗和低成本优点,很可能成为未来的首选技术。

[0006] 如上所述,现代电子设备中可用于天线的区域有限。因此,需要将高频天线并入设备中以消除或减轻现有技术的一个或多个限制。

[0007] 提供该背景信息是为了揭示申请人相信的信息与本发明具有可能的相关性。不必承认也不应认为任何上述信息构成针对本发明的现有技术。

发明内容

[0008] 本发明实施例的一个目的是提供一种天线和视觉显示装置、一种可与视觉显示装置集成的天线装置、一种可与天线装置集成的视觉显示装置或它们的组合。

[0009] 根据本发明的实施例,提供了一种天线和视觉显示装置。所述装置包括天线馈线层,所述天线馈线层包括用于相应天线阵列的天线馈线阵列。所述装置还包括视觉显示层,位于所述天线馈线层外部且与所述天线馈线层相邻。所述视觉显示层包括发光二极管阵列和耦合至所述发光二极管阵列的控制元件,用于操作所述发光二极管以提供视觉显示。所述视觉显示层还包括孔径阵列,所述孔径阵列具有根据所述天线阵列的工作波长配置的尺寸和间距,用于与所述天线馈线层中的相应天线馈线耦合以促进所述天线阵列的天线信号的发射(电磁辐射)。所述装置还包括光学透明基板,位于所述视觉显示层外部且与所述视觉显示层相邻。所述装置还包括导电光学透明元件阵列,位于所述光学透明基板外部且与所

述光学透明基板相邻。所述导电元件阵列用于,例如通过尺寸、形状、间距或其组合,与所述孔径阵列耦合以引导所述天线信号通过所述光学透明基板。

[0010] 在各实施例中,所述孔径阵列通过省略其它规则阵列中的所述发光二极管阵列的子集而形成。在一些进一步的实施例中,所述发光二极管阵列包括红色、绿色、蓝色和白色发光二极管,并且省略所述发光二极管阵列的所述子集包括省略所述白色发光二极管的子集。在其它进一步的实施例中,所述发光二极管阵列包括红色、绿色和蓝色发光二极管,并且省略所述发光二极管阵列的所述子集包括省略所述绿色发光二极管的子集。

[0011] 在各实施例中,所述导电光学透明元件阵列是周期性阵列,每个导电元件都是带电小贴片(相对于工作波长)。例如,所述贴片可以是矩形、圆形、椭圆形或十字形。

[0012] 在各实施例中,可以将所述孔径阵列视为形成所述天线阵列的初级辐射天线元件。所述孔径阵列可由阳极导电层和阴极导电层或这两者中的槽形成,其中所述阳极导电层和所述阴极导电层用于与所述发光二极管进行电交互以操作所述发光二极管。例如,所述阳极层和阴极层可以是OLED显示屏的组成元件。所述阴极导电层(或阳极导电层,如果电荷流向相反)还可用作所述天线阵列的接地层。

[0013] 在各实施例中,所述工作波长对应于在10GHz和650GHz之间的工作频率。所述工作频率可以涵盖毫米波(millimetre wave, mmWave)和THz频率。例如,所述工作波长可以介于2.9mm和12.5mm之间,或者介于0.1mm和1mm之间。

[0014] 在各实施例中,至少使用片上天线或封装天线结构来提供所述天线馈线层。所述天线阵列可以配置为以相控阵列形式运行。所述天线阵列可以跨越所述视觉显示屏的整个区域。所述天线阵列可以跨越小于所述视觉显示屏的整个区域的区域,并且所述区域与所述视觉显示屏的一个或多个边缘位于同一位置,或者所述区域与所述视觉显示屏的中心部分位于同一位置。

[0015] 根据本发明的另一实施例,提供了一种视觉显示装置。所述显示屏装置可以没有相应的天线装置,但可以与天线装置一起工作,它允许甚至潜在地促进通过其自身发射天线信号(电磁辐射)。所述装置可以包括视觉显示层,所述视觉显示层包括发光二极管阵列和耦合至所述发光二极管阵列的控制元件,用于操作所述发光二极管以提供视觉显示。所述装置还可包括孔径阵列,所述孔径阵列在所述视觉显示层中形成,具有根据所述天线阵列的工作波长配置的尺寸和间距,用于与一组天线馈线耦合以促进所述天线阵列的天线信号的发射。此外或可替代地,所述孔径阵列可以具有用于以预定工作频率通过电磁辐射的尺寸和间距。

[0016] 在所述视觉显示装置的一些实施例中,所述孔径阵列通过省略其它规则阵列中的所述发光二极管阵列的子集而形成,例如通过省略与上述天线和视觉显示装置相同的白色发光二极管或绿色发光二极管而形成。

[0017] 在任何上述实施例中,所述视觉显示装置还包括:光学透明基板,位于所述视觉显示层外部且与所述视觉显示层相邻;以及导电元件阵列,位于所述光学透明基板外部且与所述光学透明基板相邻。所述导电元件阵列具有与所述孔径阵列耦合的尺寸和间距,用于引导所述天线信号通过所述光学透明基板。在一些实施例中,所述导电元件阵列用作触摸敏感控制表面用户界面的组件。在一些实施例中,所述导电元件阵列与触敏控制表面用户界面集成。

[0018] 根据本发明的又一实施例,提供了一种天线装置,该天线装置可以与视觉显示屏一起工作或与之集成,而不必包括所述视觉显示屏的组件。所述天线装置包括天线馈线层,所述天线馈线层包括用于相应天线阵列的天线馈线阵列。所述天线装置还包括基板,位于所述天线馈线层外部。所述天线装置还包括导电光学透明元件阵列,位于所述光学透明基板外部且与所述光学透明基板相邻,所述导电元件阵列具有直接或间接与所述天线馈线阵列耦合的尺寸和间距,用于引导天线信号通过所述基板。

[0019] 在所述天线装置的各实施例中,所述基板是光学透明基板。在各实施例中,所述天线装置还包括视觉显示层,位于所述天线馈线层和所述基板之间。所述视觉显示层包括发光二极管阵列和耦合至所述发光二极管阵列的控制元件,用于操作所述发光二极管以提供视觉显示。所述视觉显示层包括孔径阵列,所述孔径阵列具有根据所述天线阵列的工作波长配置的尺寸和间距,用于与所述天线馈线层中的相应天线馈线耦合以促进所述天线阵列的天线信号的发射。

[0020] 在所述天线装置的上述任意实施例中,所述导电光学透明元件阵列用作触摸敏感控制表面用户界面的组件。在一些实施例中,所述导电元件阵列与触敏控制表面用户界面集成。

[0021] 在所述天线装置的上述任意实施例中,所述基板具有高介电常数的电厚或电磁厚,例如硅材料。这可能会导致所述基板有损耗且具有方向性。在各实施例中,所述天线装置还包括初级辐射天线元件阵列,位于所述天线馈线层和所述基板之间。在各实施例中,所述初级辐射天线元件是槽或偶极子。所述槽或偶极子可以是带电小元件,具有小于所述天线阵列的自由空间工作波长的一半的电长度。在各实施例中,所述导电元件中的每一个都是带电小元件,例如具有大约等于或小于所述天线阵列的自由空间工作波长的四分之一的电长度。例如,所述导电元件可以是矩形贴片、圆形偶极子、椭圆形偶极子或十字形偶极子。

[0022] 上文结合本发明的方面描述了实施例,这些实施例可以根据本发明的方面来实现。本领域技术人员应理解,可以结合所描述的方面来实现这些实施例,但也可以结合该方面通过其它实施例来实现。如果实施例相互排斥或以其它方式彼此不兼容,对于本领域技术人员而言将是显而易见的。一些实施例可以结合一个方面来描述,但是也可以适用于其它方面,这对于本领域技术人员而言是显而易见的。

附图说明

[0023] 进一步地,通过阅读以下结合附图所作的详细描述将容易了解本发明的特征和优势,附图中:

[0024] 图1A示出了本发明实施例提供的包括周期性孔径阵列和匹配超表面的视觉显示屏;

[0025] 图1B示出了本发明实施例提供的孔径、RF贴片和天线馈线;

[0026] 图2示出了本发明实施例提供的智能手机结构中的常规显示屏内天线;

[0027] 图3示出了本发明一实施例提供的使用底发射AMOLED显示屏像素结构的显示屏内天线装置的横剖面图;

[0028] 图4A示出了典型高分辨率彩色RGB子像素OLED的尺寸;

[0029] 图4B示出了本发明一实施例提供的修改的RGB子像素方案的替代方案;

- [0030] 图5示出了一种包括红色、绿色、蓝色和白色子像素的RGBW子像素方案；
- [0031] 图6示出了本发明一实施例提供的毫米波显示屏内相控阵列的排列；
- [0032] 图7和8示出了本发明一实施例提供的使用OLED结构的阴极层中的耦合槽的显示屏内天线像素的颜色像素单元的示例；
- [0033] 图9A示出了本发明一实施例提供的天线和视觉显示装置的简化分解图；
- [0034] 图9B示出了组装好的图9A所示的天线和视觉显示装置的侧视图；
- [0035] 图10A示出了本发明一实施例提供的显示屏内天线装置的第一层的俯视图,其中显示了与用作天线辐射元件的耦合槽相邻的RF馈线；
- [0036] 图10B示出了图10A所示的本发明一实施例提供的显示屏内天线装置的第二(阳极)层的俯视图,其中显示了OLED阳极层中的间隙；
- [0037] 图10C示出了图10A所示的显示屏内天线装置的第三(匹配超表面)层的俯视图,其中显示了匹配超表面层的贴片阵列；
- [0038] 图11示出了短槽天线的典型辐射图(与具有相同尺寸接地层的典型贴片的辐射图相比)；
- [0039] 图12A示出了本发明实施例提供的具有不同可能边缘位置的显示屏内天线装置的智能手机设备；
- [0040] 图12B示出了本发明实施例提供的一种天线阵列；
- [0041] 图13、14和15示出了本发明的一个示例实施例提供的 28×4 天线阵列的模拟辐射图。
- [0042] 应当注意,在所有附图中,相同的特征用相同的参考标号标识。

具体实施方式

[0043] 本文所使用的术语“约”应理解为包括偏离标称值的变化,例如与标称值相差 $\pm 10\%$ 的变化。需要理解的是,这种变化总是包括在本文提供的给定值中,无论是否具体提及。

[0044] 本发明实施例提供了一种OLED显示屏内天线。所提出的显示屏内天线概念通过将天线技术与LED显示屏(例如有源矩阵发光显示屏(active matrix light emission display, AMOLED))集成来实现。尽管本文重点关注AMOLED显示屏,但也可以使用其它类型的LED显示屏,例如其它OLED显示屏,特别是无源矩阵有机发光二极管(passive matrix organic light emitting diode, PMOLED)显示屏。所述天线技术可以是毫米波、太赫兹或其组合。例如,太赫兹频率天线可用于近距离成像。实施例可能能够解决由于移动电子设备等设备上的基板面有限而引起的当前与5G通信系统要求和天线拥塞相关的问题。LED、LED显示屏和OLED(OLED可以包括AMOLED和PMOLED)显示屏阵列可以与控制元件一起包括在本发明实施例所述的视觉显示层中,所述控制元件用于控制所述LED、LED显示屏和OLED显示屏阵列来提供视觉显示。

[0045] 实施例或本发明能够通过公用显示屏区域同时传输光学显示信号和高频(mm-wave和THz)RF数据。一些此类实施例能够通过大显示屏区域发射高数据速率、可控、高增益的RF波束,同时限制为不受光学显示组件的干扰,或者限制为不干扰光学显示屏的正常功能。

[0046] 本发明的实施例提供了一种天线和视觉显示屏(天线在显示屏内)装置,其中天线结构与诸如AMOLED显示屏等视觉显示屏并存并且集成在所述显示屏内。天线可以是在mmWave频率、THz频率或这两种频率下工作的阵列,对于瞬时应用场景,这些频率被视为射频。RF和光发射都可以通过光学透明阳极层(导电氧化铟锡(conductive indium tin oxide,ITO)、TFT薄膜结构和厚玻璃基板传输。OLED显示屏的金属阴极也可用作RF部分的接地层。可以使用现有AOC和AIP技术将RF辐射器集成到OLED结构中。可以使用相控阵列方法来控制RF波束。对于mmWave高数据速率传输,这种类型的阵列可以沿着视觉显示屏或智能手机等相应设备的边缘布置。对于诸如THz成像之类的其它应用场景,阵列可以应用于显示屏区域的中间部分,并且可能应用于整个显示屏区域。

[0047] 本发明的实施例提供了能够允许集成高频RF和光发射结构的修改的颜色子像素方案。所述方案可以是修改的RGB或RGBW方案。修改的子像素方案允许将RF辐射器与OLED结构直接集成,而不会影响光发射的颜色像素。特别地,修改的子像素方案可以涉及省略子像素的子集以形成与天线阵列的RF馈线对准的孔径。因此,当在一层或多层导电材料中形成孔径时,可以形成槽状辐射天线体。在一些实施例中,可以省略白色(W)子像素的子集。在一些实施例中,可以省略绿色(G)子像素的子集。这可能涉及在每个像素中提供两个绿色子像素,并且仅省略两个绿色子像素之一。也可以采用其它布局,例如可以省略其它颜色的子像素,或者可以省略多种颜色的子像素,例如交替省略。

[0048] 本发明的实施例提供了具有匹配超表面的高增益、宽角度扫描、短槽天线阵列。该方法利用超表面将相对低效的RF辐射环境转换为具有相对较宽扫描角度的更有效的辐射结构。该辐射结构通过利用外部基板(例如厚玻璃或具有高介电常数的其它基板)的高方向性和厚度来利用短辐射槽(电长度小于 $\lambda/2$,其中 λ 是天线工作波长)。在空气-基板界面处布置由带电小贴片(电长度小于 $\lambda/4$)组成的超表面,以实现高辐射效率。该超表面上的金属图案也可以用作设备触摸屏的一部分。带电小(例如电短)组件可定义为具有明显小于其工作信号的工作波长的物理尺寸位面的组件。例如,该组件可以具有小于工作波长的四分之一的一个或多个相关尺寸(例如长度、宽度和厚度)。

[0049] 在一些实施例中,可以使用替代类型的辐射器,而不是使用槽式辐射器。例如,可以用电短偶极子替代槽式辐射器。偶极子可以形成在与RF馈线相同的层上(例如,印刷),例如后道(back end of line,BEOL)工序中的顶部金属层上。可以提供具有给定形状的带电小贴片的匹配超表面,并以与槽式辐射器类似的方式调谐到偶极子辐射器。电短偶极子的电长度可以小于天线阵列的自由空间工作波长的一半,因为电短偶极子的物理尺寸明显小于信号的工作波长。

[0050] 根据各实施例,电磁功率(天线信号)最初从RF馈线系统通过玻璃或硅基板使用设置在视觉显示层(例如视觉显示屏的阴极层、阳极层和OLED层)中的短辐射槽耦合。因此,视觉显示屏的这些功能层也可以包括天线组件。为了防止RF功率被玻璃或硅基板吸收和耗散,在基板的外表面上设置阻抗匹配超表面。超表面与槽式辐射器和阳极层结合用作相干匹配结构,以促进电磁功率从设备向外辐射(用于发射天线)。短槽可以被认为天线辐射元件,而匹配超表面与阳极表面结合用作辐射增强结构。

[0051] 图1A示出了视觉显示屏100,其可包括天线装置,其中所述天线可与所述视觉显示屏集成,所述视觉显示屏可与所述天线集成,或包括其组合。所述视觉显示屏还可以没有相

应的天线装置,并且可以与天线装置一起工作,促进RF能量通过其自身进行发射。所述视觉显示屏和天线装置可以包括多个发光二极管110(例如OLED)、周期性孔径120阵列,还可以包括具有RF贴片130阵列的匹配超表面。图1B示出了孔径120、RF贴片130和天线馈线140的放大视图。天线馈线140可以包括天线馈线阵列(未示出)。由于所述视觉显示屏的视觉显示层可以位于天线馈线140的外部且与该天线馈线相邻,因此可以包括孔径120,以与相应天线馈线140耦合来促进RF能量辐射。以规则模式组织成有序系列的多个孔径120可以包括在所述视觉显示层中形成的孔径阵列。可以将所述孔径阵列的尺寸和间距调整为允许天线馈线耦合。例如,所述孔径可以与所述天线馈线阵列中的所述天线馈线对准。所述孔径可以具有允许它们通过或引导电磁能量的尺寸。在这一点上,可以将所述孔径的尺寸调整为用作反射或引导槽电磁元件。

[0052] 随着包括所述孔径阵列的孔径120的数量增加,更多的RF能量可以从天线馈线140辐射出来并且与所述光学透明基板耦合。所述孔径阵列的孔径120可以通过省略发光二极管的所述其它规则阵列中的所述发光二极管阵列的子集而形成。所述孔径阵列的孔径120还可以从与发光二极管110进行电交互的所述阳极导电层或阴极导电层之一或两者中的槽中形成。孔径120的尺寸和孔径120之间的间距可以根据包括所述天线阵列的天线馈线140的工作波长进行配置。可以调整与相应天线馈线140耦合的孔径120的尺寸和间距的配置,以促进向包括所述天线阵列的天线馈线140发射RF能量或从中接收RF能量。在传统相控阵列中,孔径120的尺寸和间距与工作波长越匹配,从天线馈线140辐射的RF能量就越多。相反,在本发明的实施例中,与工作波长相比,辐射孔径保持为相对较小的尺寸以促进宽波束扫描。例如,孔径尺寸可以小于工作波长的四分之一。RF贴片130用于与孔径120耦合,并帮助引导RF能量辐射通过光学透明基板,该基板可以位于所述视觉显示层外部且与所述视觉显示层相邻。所述光学透明基板可以是,例如覆盖并保护所述视觉显示层的玻璃或其它透明材料。还提供了分离距离,使得可以在距所述天线馈线层和视觉显示层所需的距离处提供匹配超表面。

[0053] 由于许多手持设备的相当大一部分区域可以包括视觉显示屏,因此本发明的实施例提供了一种适于与包括在手持设备的天线阵列中的一个或多个天线协作的视觉显示屏。这种协作可以使可由手持设备中包括的天线发射和/或接收的RF能量的量增加,而手持设备的用户可检测到的量不会降低视觉显示屏的分辨率。视觉显示屏用于(例如如上所述)通过允许甚至协助通过天线装置发射RF能量来与天线装置协作。这可以包括在视觉显示屏中提供匹配超表面、在视觉显示屏中包括用于传递RF能量的孔径等。可以通过省略某些发光二极管并调整视觉显示屏以进行补偿来提供孔径。也可以进行其它集成,例如重新使用OLED结构的合适层作为天线接地层。重新使用OLED结构的合适层的非限制性示例可以包括进一步配置阴极导电层以用作天线阵列的接地层。根据各实施例,类似地提供了一种天线阵列,该天线阵列位于平行于视觉显示屏的平面中并且适于通过所述视觉显示屏发射RF能量。根据各实施例,提供了一种同时包括天线阵列和视觉显示屏的装置。

[0054] 图2示出了智能手机结构中的常规显示屏内天线(antenna in display,AID)。可以利用片上天线(antenna-on-chip,AOC)和硅CMOS技术,将多个高频平面天线与OLED 235结构集成。可以由板金属走线通过设备后端的标准焊线或倒装芯片连接向到AID辐射器的RF连接馈电。所得到的AID显示屏结构至少在给定频段内对于光发射和高频电磁发射基本

上都是透明的。OLED 235结构包括复杂材料,包括颜色发射极、导电氧化铟锡(indium tin oxide,ITO)阳极和金属阴极层、有源矩阵晶体管层和硅基板。

[0055] 图2基本上示出了智能手机设备从前盖到后盖的所有相关层。本文描述的其它图均示出了其中有限数量的层,它们可以是图2所示的层的子集。

[0056] 很容易理解,OLED 235使用阴极240和阳极230层之间的电压差来驱动颜色像素。所述阴极240可以完全是金属的(例如铝),所述阳极230可以是光学透明的,例如从ITO形成。

[0057] 更详细而言,包含射频频天线组件的封装天线(antenna-in-package,AIP)印刷电路板(printed circuit board,PCB) 255布置在设备内部。本文所使用的射频(radiofrequency,RF)包括mmWave和THz频率范围。AIP PCB的外部(设备的顶盖代表最外面的位置)是(显示屏中的天线)天线馈线层245。所述天线馈线层245电耦合至AIP PCB 255。玻璃钝化层250位于PCB 255和天线馈线层245之间。硅基板220可以布置在与所述天线馈线层245相邻的外部位置。与所述天线馈线层245相邻且在其外部的是OLED 235和相关联的薄膜晶体管(thin-film transistor,TFT)225显示屏结构。这可以包括有源矩阵TFT 225控制层(例如包括晶体管和栅极)、阴极层240、包含彩色OLED 235的层以及ITO阳极层230。所述阴极层240、阳极层230或两者可以包括在其中形成的孔径(例如RF耦合槽),其用于通过允许RF能量在所述天线馈线层245和结构的外部之间耦合来用作所述天线阵列的一部分。与所述阳极层230相邻且位于其外部的是(有源矩阵)TFT显示屏结构层225。与所述TFT显示屏结构层225相邻且位于其外部的是硅基板层220。与所述硅基板层220相邻且在其外部可以布置触摸屏层215,其可以附加地或替代地用作阻抗匹配超表面。该超表面包括导电元件阵列,例如有助于引导RF能量的贴片。前盖210位于所述触摸屏/超表面层215的上方。RF能量被引导通过所述OLED 235和前盖210。所述匹配超表面的导电元件是光学透明元件,以便不妨碍位于其下方的视觉显示屏的使用。所述导电元件与所述天线元件和与其关联的孔径阵列电磁耦合。

[0058] 所述天线馈线层245可以包括天线馈线阵列,天线馈线可以与一个或多个辐射元件连接以构成天线阵列。所述辐射元件可用于辐射RF能量,并且所述RF能量可与结构的外部耦合。所述天线馈线阵列还可用于转换RF PCB 255的阻抗以匹配所述辐射元件的固有阻抗。所述天线馈线阵列还可用于在RF PCB 255和所述辐射元件之间进行平衡到不平衡的转换。

[0059] 在本发明的实施例中,初级辐射天线元件阵列可以位于所述天线馈线层和所述基板之间。

[0060] 图3示出了本发明一实施例提供的用于底发射AMOLED显示屏像素结构的AID装置的横剖面图。除了多层金属天线结构外,所有高频RF组件都将安装在外部RF PCB 255上。请注意,所述OLED 235和TFT层225的总厚度通常小于 $0.4\mu\text{m}$ 。所述硅基板220的厚度小于 $500\mu\text{m}$ 。设备的总厚度约为1mm。图3示出了所述RF(AIP)PCB 255、钝化层250和金属互连层320。例如,这些互连层320可以包括多层RF辐射元件330。OLED层位于所述金属互连层320外部并与之相邻。所述OLED层包括阴极层240、OLED层235和阳极层230,以及位于所述阳极层230外部的TFT控制层225。所述阴极层240还可以用作RF接地层。可以在所述阴极240、OLED 235和阳极230层中形成孔径。位于所述OLED层235外部并与之相邻的是玻璃基板层220。位于所述玻

璃基板层220外部并与之相邻的是匹配超表面层(未示出)。

[0061] 在图3所示的底发射AMOLED配置中,通过高度透明的ITO阳极230、TFT结构225和玻璃基板220通过晶片的底部发射彩色光谱。金属阴极240位于所述OLED结构235的顶部。该阴极层240还用作AID RF元件的RF接地层。然后,使用AOC技术在后道(back-of-the-line, BOEL)工序中用互连金属层320构建多层辐射天线元件。RF馈线源和外部RF源使用AIP技术互连到AID天线,AIP技术是最近开发的用于将高度集成的无线芯片集成到标准表面贴装芯片级封装器件中的技术。在这个概念中,高频EM辐射340通过所述OLED层235、所述光学透明ITO阳极230和所述CMOS TFT层225传输到底部的自由空间(与光发射方向相同)。通过所述阳极230发射的彩色光谱是光发射350。EM辐射可以是射频(radio frequency,RF)。

[0062] 在所述视觉显示屏(OLED)层235中提供一些EM孔径以允许有效的电磁辐射340。因为EM发射的频率明显低于光发射350的频率,所以不需要在所述视觉显示屏的每个单色颜色像素中都具有EM孔径。此外,可能需要限制或最小化这些孔径的数量以保持显示屏的质量,例如像素颜色的质量。

[0063] 所述视觉显示层中所述EM孔径的频率(即,与孔径的间距有关)是基于所述RF辐射340的工作波长确定的。表1给出了有效相对介电常数为4.5的玻璃填充硅材料的工作波长的估计。

[0064] 表1

[0065]

频率 (GHz)	自由空间 λ (mm)	自由空间 $\lambda/2$ (mm)	玻璃中的 $\lambda/2$ (mm)
24	12.5	6.25	2.95
28	10.7	5.35	2.52
39	7.7	3.85	1.81
58	5.2	2.60	1.23
70	4.3	2.15	1.01
94	3.2	1.60	0.75
100	3.0	1.50	0.71

[0066] 就显示屏的像素数而言,EM孔径的实际频率也取决于显示屏的分辨率。根据实际分辨率,颜色像素的典型尺寸可以在 $14\mu\text{m}$ 到 $56\mu\text{m}$ 之间。当今典型的智能手机具有典型的400ppi至450ppi的高分辨率屏幕。因此,每个颜色像素尺寸在 $24\mu\text{m}$ 至 $22\mu\text{m}$ 之间,或者三色像素尺寸在 $72\mu\text{m}$ 至 $66\mu\text{m}$ 之间。图4A示出了纵横比为16:9的典型RGB子像素OLED的尺寸。这是具有450ppi分辨率的 1920×1080 像素的典型情况。每个颜色像素的宽度为 $22\mu\text{m}$,高度约为 $67\mu\text{m}$,每个三色像素具有三个颜色像素。

[0067] 在传统RGB方案中,所有三种颜色的子像素都采用相同的尺寸。然而,在这种形式下,不可能有EM辐射通过OLED结构(不去除像素)。图5示出了一种替代性RGBW子像素方案,其包括红色505、绿色510、蓝色515和白色520子像素。在这种情况下,白色“W”子像素520可以在需要时用于临时EM耦合。也就是说,可以省略OLED结构中的一些白色子像素,例如根据与RF馈线对准的周期性栅格进行省略。在这种情况下,与EM馈线对准的颜色像素可被视为常规RGB像素,因为仅省略了“W”子像素。然而,与常规RGB方案相比,RGBW方案的分辨率低了25%。

[0068] 为了在不明显损失颜色质量的情况下实现更高的分辨率,图4B示出了一种替代性

的修改的RGB子像素方案。在该方案中,提出将绿色子像素分成两个较小的单元(子像素)460、465。然后,可以省略给定像素中的两个绿色单元460和465中的一个。还显示了红色455和蓝色470单元。这可能仅发生在OLED结构中的一些像素中,例如根据与RF馈线对准的周期性栅格进行省略。这允许省略需要EM耦合的两个绿色单元(460或465)之一。这种方法基于这样的假设,即由于人眼对绿色的敏感性较高且RF辐射的频率较低,省略绿色子像素会限制总体显示质量的降级。在宽度上,像素455约为 $18\mu\text{m}$,子像素460约为 $11\mu\text{m}$,子像素465约为 $20\mu\text{m}$ 。像素的高度约为 $67\mu\text{m}$ 。

[0069] 图6示出了使用该颜色子像素方案的mmWave AID相控阵列的一种可能的排列。在这种情况下,对于接近60GHz的EM辐射的中心频率,阵列间距假定为2.4mm。每个RF单元跨越36个颜色像素。更具体而言,图6示出了与颜色像素的 180×180 排列对准的RF单元610的 5×5 排列。每个RF单元包括与贴片620对准的槽式辐射器615,例如,所述贴片由匹配超表面上的ITO材料形成。所述槽式辐射器合所述贴片之间是一层玻璃。所述槽式辐射器可以位于所述OLED显示屏的阳极层和阴极层中并且由下层的RF馈线结构馈送。虽然图中未示出,但是宽36像素、高36像素的矩形栅格阵列设置在每个RF单元610的上方。通常,虽然指定了RF单元和像素的矩形栅格,但是也可以使用其它规则或不规则几何形状的RF单元和像素(例如六边形栅格)。

[0070] 通常,可以在OLED结构中,包括在OLED和其阳极层中布置辐射槽等孔径。如本领域技术人员容易理解的,孔径可用作天线辐射体。图7和8示出了使用OLED结构235的阴极层240中的耦合槽120的AID像素的颜色像素单元的示例。如图7所示,还省略了包括TFT矩阵225和阳极贴片230的“绿色”子像素的一部分,它们与(或将与)所述耦合槽120对准。由此产生的空间可以留空或填充RF材料,以允许有效的EM辐射通过所述OLED结构。因此,在OLED材料和阳极层中也形成耦合槽,这使得能够将RF功率从RF馈线140耦合到玻璃基板220和图底部的自由空间。虽然在有损OLED材料中可能会损失一些EM功率,但由于OLED材料的整体厚度小于 $0.1\mu\text{m}$,因此预计大部分RF功率将通过窄槽120耦合。这样,RF功率可有效地从顶部馈线140馈送到底部的玻璃基板220。然而,由于玻璃基板的厚度和高介电常数,RF信号往往会在玻璃基板中被捕获并丢失。为了减轻这种情况,在空气-玻璃界面处提供边界匹配层(匹配超表面)。该匹配层包括RF贴片130,该射频贴片与所述耦合槽120对准并电磁耦合,以便引导无线信号(电磁辐射)通过所述玻璃基板220。下文将详细介绍此配置。

[0071] 玻璃基板220可以是光学透明基板,其可以位于TFT层225外部并与其相邻(TFT层225可以包含在所述视觉显示层中),也可以位于所述天线馈线层外部。所述匹配层可以包括匹配超表面层,该匹配超表面层可以包括一个或多个RF贴片130,这些RF贴片被组织成一个孔径阵列或与孔径阵列对准,其中所述RF贴片130可以是带电小贴片,因为所述RF贴片130可以具有小于工作波长四分之一的更多相关物理尺寸(例如长度、宽度和厚度)中的一种尺寸。超表面层及其RF贴片130可以是导电光学透明元件,其可以位于所述光学透明基板(玻璃基板220)外部并与其相邻。所述天线馈源阵列可以用于直接或间接与所述RF贴片130耦合以引导辐射的RF能量通过所述光学透明基板。导电光学透明RF贴片130的配置的非限制性示例可包括所述导电光学透明RF贴片130的尺寸和形状以及所述导电光学透明RF贴片130的间距以引导辐射的RF能量通过所述光学透明基板。所述光学透明基板可以具有高介电常数的电磁厚。

[0072] 本发明的实施例可以包括可集成在触敏控制表面用户界面中的导电光学透明元件(导电光学透明元件的非限制性示例可以包括诸如RF贴片130等超表面层元件)。一些或所有导电元件是电学小元件,因为导电元件可以具有小于工作波长四分之一的更多相关尺寸(例如长度、宽度和厚度)中的一种。

[0073] 图8示出了与图7类似的布局,包括通过钝化和接地层耦合至RF PCB 255的RF馈线140、在OLED结构235的阴极240和/或阳极层230中形成的耦合槽120、OLED层中不含OLED的间隙、TFT矩阵层225、玻璃基板220和RF贴片130。同样值得注意的是所述RF馈线140两侧的所述RF接地层,其中一个RF接地也可以用作OLED结构的所述阴极层240。在所述OLED层中形成间隙可以包括省略部分OLED像素,例如绿色或白色子像素。

[0074] 本发明的实施例提供了用于高数据速率通信(例如在5G无线通信环境中)的天线阵列。所述天线阵列可以集成到移动设备、UE终端、智能手机中。所述天线阵列可用于生成相对高增益、具有从设备前部到后部的宽扫描角度的可控波束。所述天线阵列可以提供作为与匹配超表面耦合的短辐射槽阵列。下面结合图9A、9B、10A、10B和10C进一步详细介绍。

[0075] 天线阵列可以包括一组多个连接的天线,这些天线可以用作发射和/或接收RF能量的单个天线。在本发明的实施例中,这些多个连接的天线可以包括可与匹配超表面耦合的短辐射槽。这些槽可以包括所述阴极层240和/或阳极层230中的槽,其中所述阴极层240和阳极层230可以与LED进行电交互。天线阵列比单个天线元件更可取,因为天线阵列可以实现比单个天线元件更高的增益和方向性。天线阵列使用的单个天线元件的数量越多,增益就越高,并且可以接收和/或发射的无线波束越窄。

[0076] 图9A示出了本发明一实施例提供的天线和视觉显示装置的简化分解图。图9B示出了组装好的图9A所示的天线和视觉显示装置的侧视图。为了清楚起见,可能会省略一些组件或层。图中所示的层被组装成彼此相邻,最底层被认为是外层。提供后金属盖260和硅基材层250以形成后腔912。提供包括RF(天线)馈线917和相关导电走线140的AID馈线基板245,与导电层240相邻。耦合槽922形成在导电层240中并与所述天线馈线对准。所述导电层240还用于视觉显示屏(例如OLED)的阴极层。OLED薄膜235与所述导电层240相邻,并包括间隙927,其中省略了OLED像素或子像素,所述间隙与所耦合槽922对准。阳极层230与所述OLED薄膜235相邻,并且也包括与所述耦合槽922对准的间隙932。玻璃(或其它透明材料)基板220与所述阳极层230相邻。多个RF贴片130与所述玻璃基板220相邻。匹配超表面层940可以包括导电贴片,其与所述耦合槽922耦合以帮助引导天线信号通过所述玻璃基板。在一些实施例中,所述匹配超表面层可以由ITO等材料形成,并且还可以用作触摸屏的一部分,即触敏控制表面用户界面。

[0077] 图10A示出了与耦合槽922相邻的RF馈线917的俯视图,所述耦合槽用作天线辐射元件。在该实施例中,RF馈线垂直于所述耦合槽。图10B示出了所述阳极层230中的间隙932,在一些实施例中,其还可以用作所述天线辐射元件和/或耦合槽的一部分。图10C示出了所述匹配超表面层940的RF贴片130阵列。这些贴片与所述耦合槽耦合以促进天线信号的发射,例如通过提供阻抗匹配天线结构和/或将天线信号的RF能量从所述耦合槽922向外引导。所述贴片的尺寸和间距可用于提供所需的电磁行为和相应的天线辐射图。

[0078] 根据各实施例,典型的槽式辐射器在自由空间中具有大约 $\lambda/2$ 的槽长度,其中 λ 表示所述天线阵列的工作波长(例如,与中心射频成反比)。在实施例中,辐射槽嵌入在一侧具

有厚玻璃基板的两层硅材料之间。因此,辐射槽长度可以明显小于 $\lambda/2$ 。这些短辐射槽($<\lambda/2$)由后端结构顶层的RF馈线(例如微带线)以电磁方式馈送。由于其具有相对较小的孔径,与典型辐射元件(例如贴片)相比,短辐射槽具有明显更宽的辐射图。当RF功率从微带馈线馈入槽时,EM场会从这些槽经由厚保护玻璃层通过视觉显示屏的前面进行辐射。然而,由于玻璃基板的介电常数相对较高($\epsilon_r \approx 4.5$),大部分EM功率可能以表面波的形式被捕获,并且会在厚有损保护(和电厚)玻璃基板层中发生损失。例如,这是由于硅基板的低电阻率和高介电常数造成的,这往往会导致高电阻损耗和表面波损耗。在这种情况下,如果没有进一步的措施来解决,那么只有一小部分(例如不到几个百分点)的总RF功率将经由玻璃基板传输。为了解决这个问题,实施了质子注入工艺以将基硅的电阻率从大约 10ohm-cm 增加到超过 $1\text{k}\Omega\text{-cm}$ 。此外,在玻璃基板的外表面(空气-玻璃界面)上提供匹配超表面层,该超表面层包括尺寸小于 $\lambda/4$ 的周期性小金属贴片阵列。该超表面可以显著提高辐射效率,而不会减小短辐射槽的扫描范围。这可以归因于相对较小的贴片尺寸(小于 $\lambda/4$)和相对较大的单元间距。对于给定的玻璃基板厚度和槽几何形状,超表面上的金属图案被设计为与辐射槽阻抗匹配。在一些实施例中,超表面还用作触摸屏的一部分。

[0079] 在各实施例中,所述(例如玻璃)基板具有电磁厚。当与基板材料中的工作波长相比,该厚度相对较大时,介电基板被认为具有电磁厚,这也是介电常数的函数。例如,电磁厚的基板可以具有介于 $100\mu\text{m}$ 和 $700\mu\text{m}$ 之间的厚度。在电磁介电常数的意义上,基板可以具有高介电常数,本领域技术人员很容易理解这一点。例如,基板可以具有每米约11.7法拉的介电常数(对于硅材料)。

[0080] 图11示出了与具有相同尺寸接地层(大约一个 λ 接地层)的典型贴片1130和1140的辐射图相比,短槽1110和1120的典型辐射图。可以看出,与典型的高增益辐射器(例如贴片天线)相比,短槽辐射器允许以更宽的角度进行波束扫描,同时扫描损耗更小。纵轴以dBi为单位显示方向性,而横轴以度为单位显示与视轴的角度。

[0081] 在一些实施例中,上述天线和显示屏装置(例如,短槽AID阵列)可以在设备的整个显示屏(本领域技术人员已知为视觉显示屏)区域中实现。然而,对于数据通信,仅沿着显示屏边缘布置辐射器阵列可提供合适的性能,同时还可减轻对其它功能(例如屏幕控制操作)的直接干扰。对于近距离成像,辐射器阵列可以位于显示屏的中心部分下方,而不必延伸到一些或所有边缘。图12A示出了本发明实施例提供的具有不同可能边缘位置1210、1230的显示屏内天线(antenna-in-display,AID)装置的智能手机设备。这些边缘位置可适合于mmWave应用场景,并且可允许在后方向上具有更好的辐射性能。图中还示出了本发明实施例提供的显示屏内天线(antenna-in-display,AID)装置的中心位置1220,其可适用于THz成像应用场景。还示出了天线阵列的表现形式,包括像素阵列顶部的超表面贴片。

[0082] 图12B示出了用于边缘位置1210的非限制性示例性天线阵列1215。

[0083] 在一示例性实施例中,可以提供具有总体大约 $51\text{mm} \times 8.5\text{mm}$ ($10\lambda \times 1.7\lambda$)的 28×4 高增益AID相控阵列。即,该阵列包括4行,每行28个天线元件。E面和H面的单元间距分别为 1.8mm 和 2.0mm 。辐射槽为 $0.05\text{mm} \times 0.5\text{mm}$,超表面上匹配贴片的尺寸为 $0.3\text{mm} \times 0.4\text{mm}$ 。这种阵列尺寸可以放入典型的5英寸智能手机设备的顶部。

[0084] 表2示出了示例性实施例提供的位于边缘位置1210处的形式1215的天线阵列的估计天线间距和方向性。假设天线尺寸为 $10\text{mm} \times 60\text{mm}$ 。

[0085] 表2

频率 (GHz)	自由空间 λ (mm)	间距 $\lambda/2$ (mm)	方向性 (dBi)
24	12.5	6.25	21
28	10.7	5.35	22
39	7.7	3.85	25
58	5.2	2.60	28
70	4.3	2.15	30
94	3.2	1.60	32
100	3.0	1.50	33

[0087] 图13、14和15示出了上述 28×4 天线阵列的模拟辐射图。这些图显示了这种阵列能够生成高增益波束,该波束能够在E平面中超过 ± 80 度以及在H平面中超过 ± 60 度的非常大的角度范围内进行转向,所述角度范围明显大于任何典型相控阵列的角度范围。图13示出了E平面1310和H平面1320的方向性。图14示出了0度1410、15度1415、30度1420、45度1425和60度1430相控阵列的方向性。图15示出了0度1510、15度1520、30度1530、45度1540、60度1550和85度1560相控阵列的方向性。

[0088] 尽管已经参考本发明的特定特征和实施例描述了本发明,但是明显在不脱离本发明的情况下可以制定本发明的各种修改和组合。说明书和附图仅被视为所附权利要求书所定义的本发明的说明并且考虑落于本说明书的范围内的任何和所有修改、变体、组合或均等物。

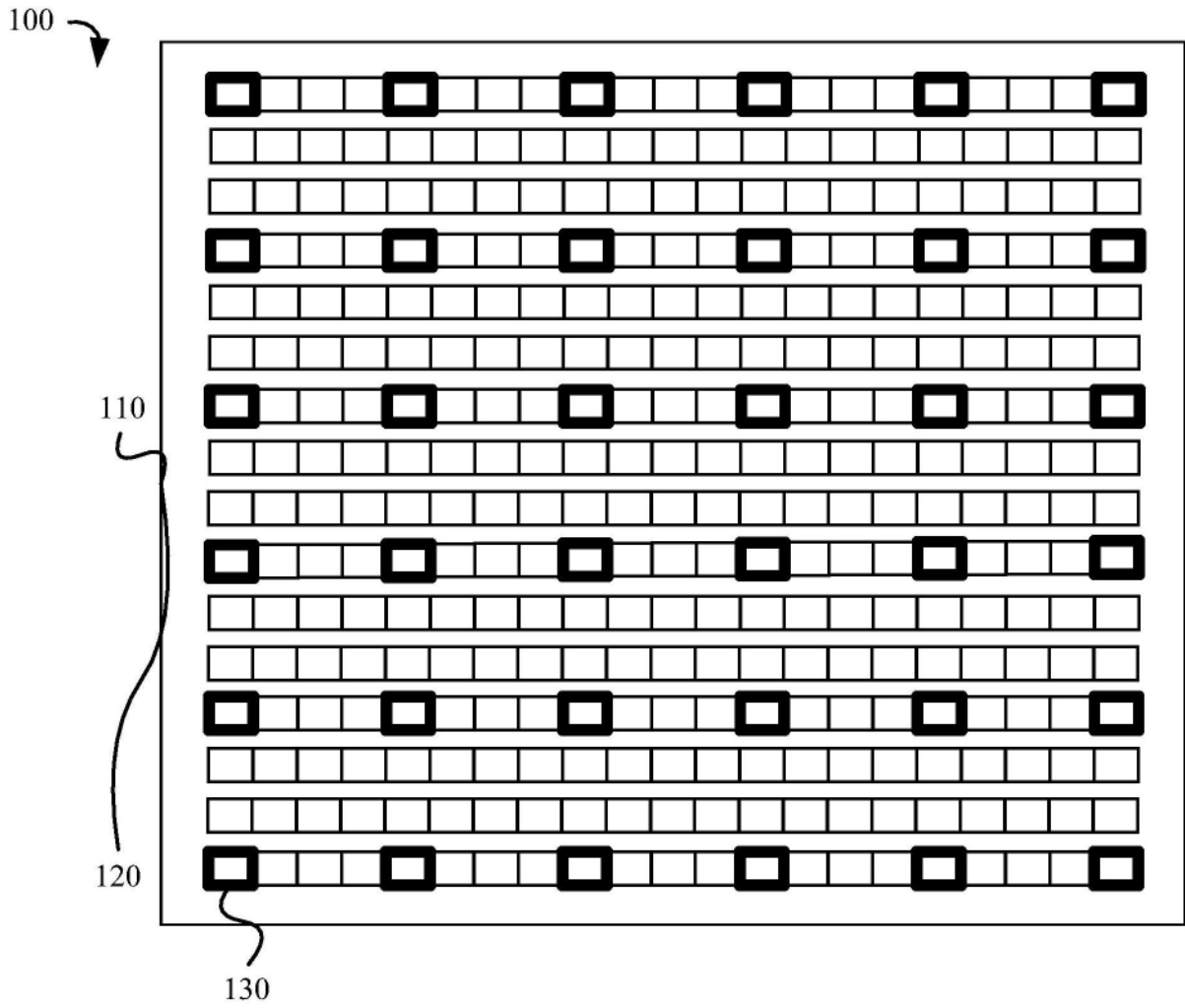


图1A

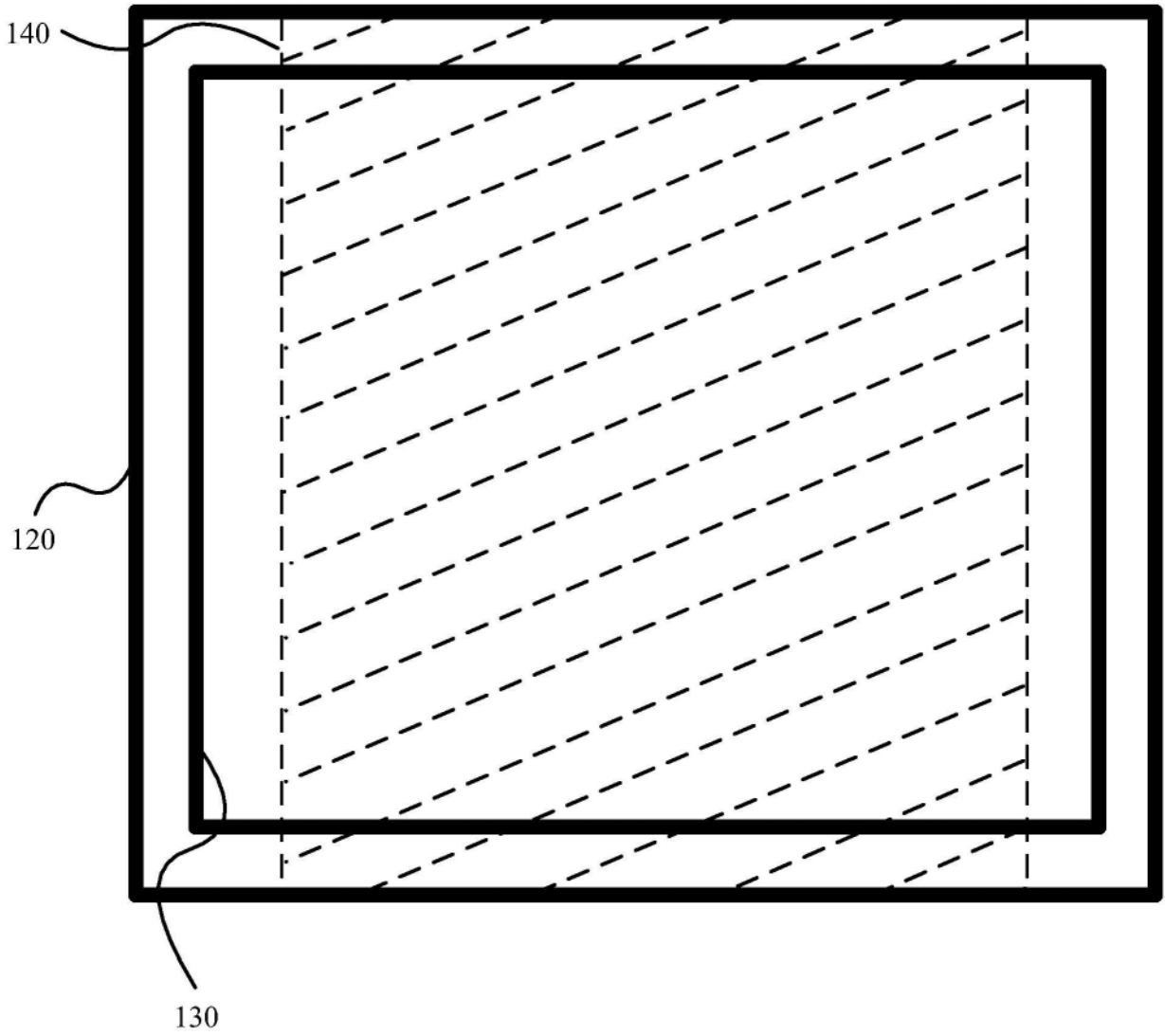


图1B

- 现有技术 -

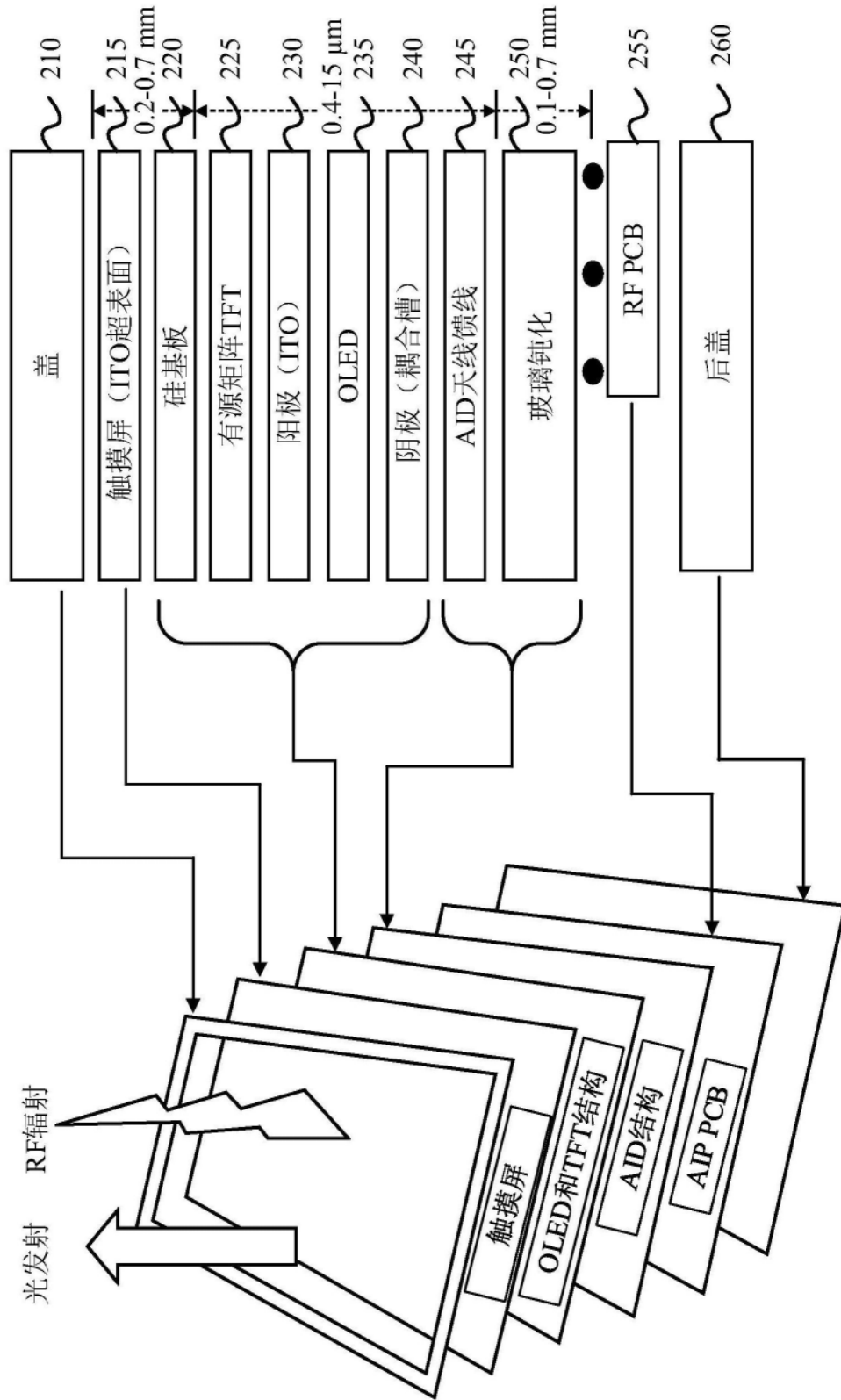


图2

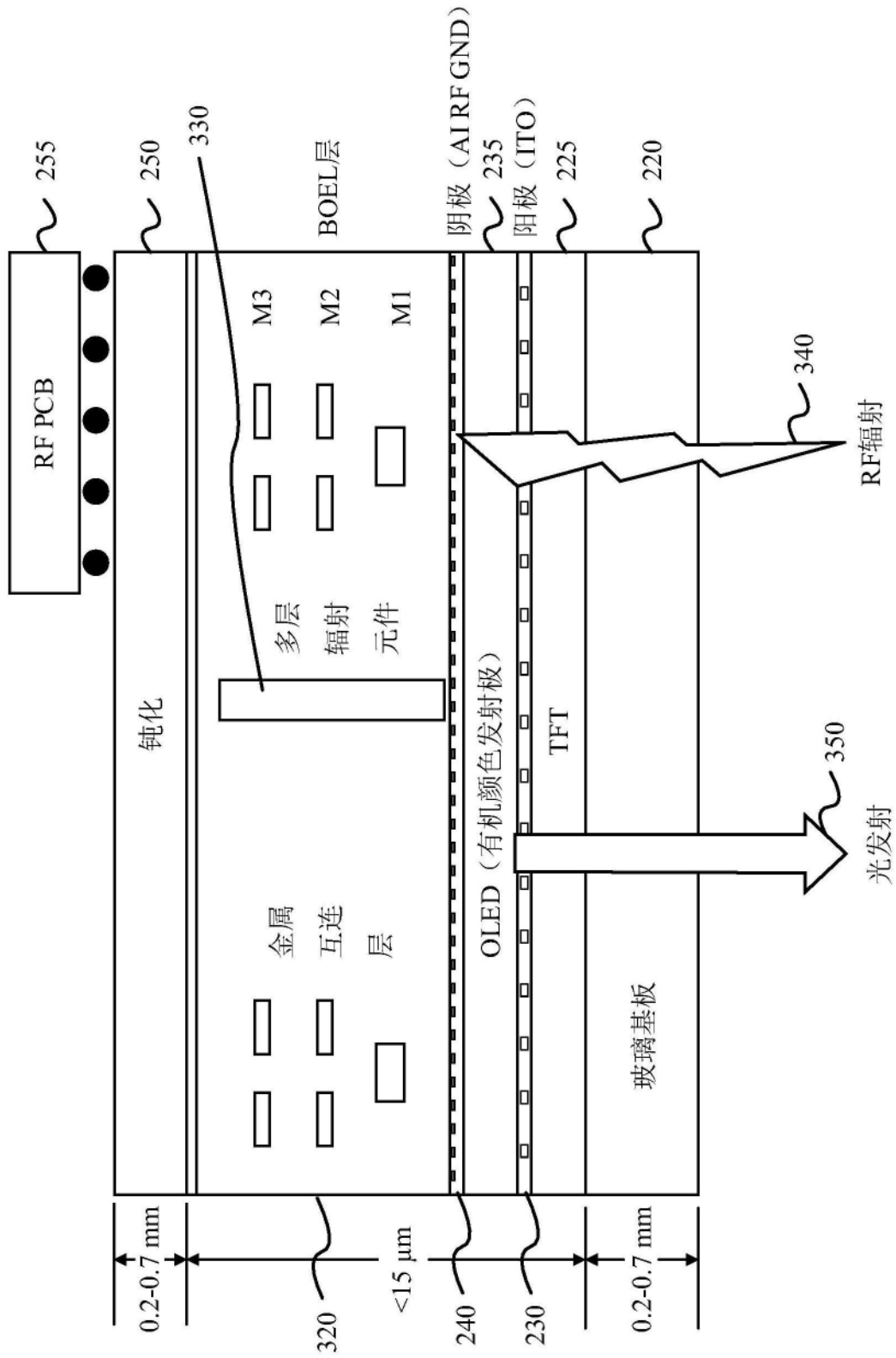


图3

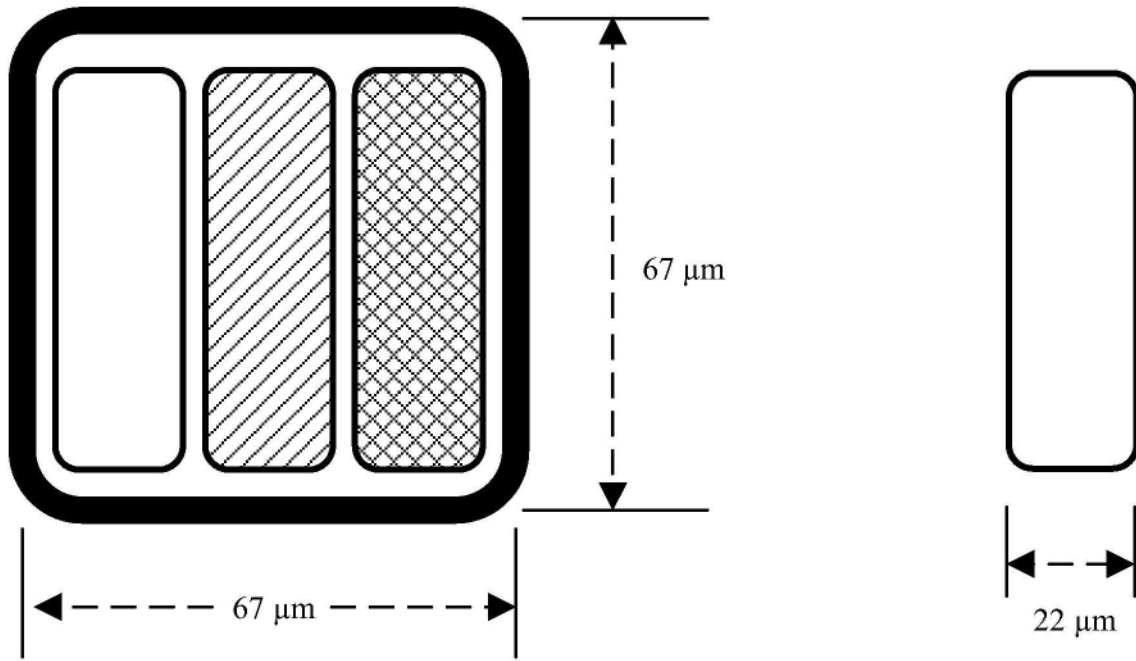


图4A

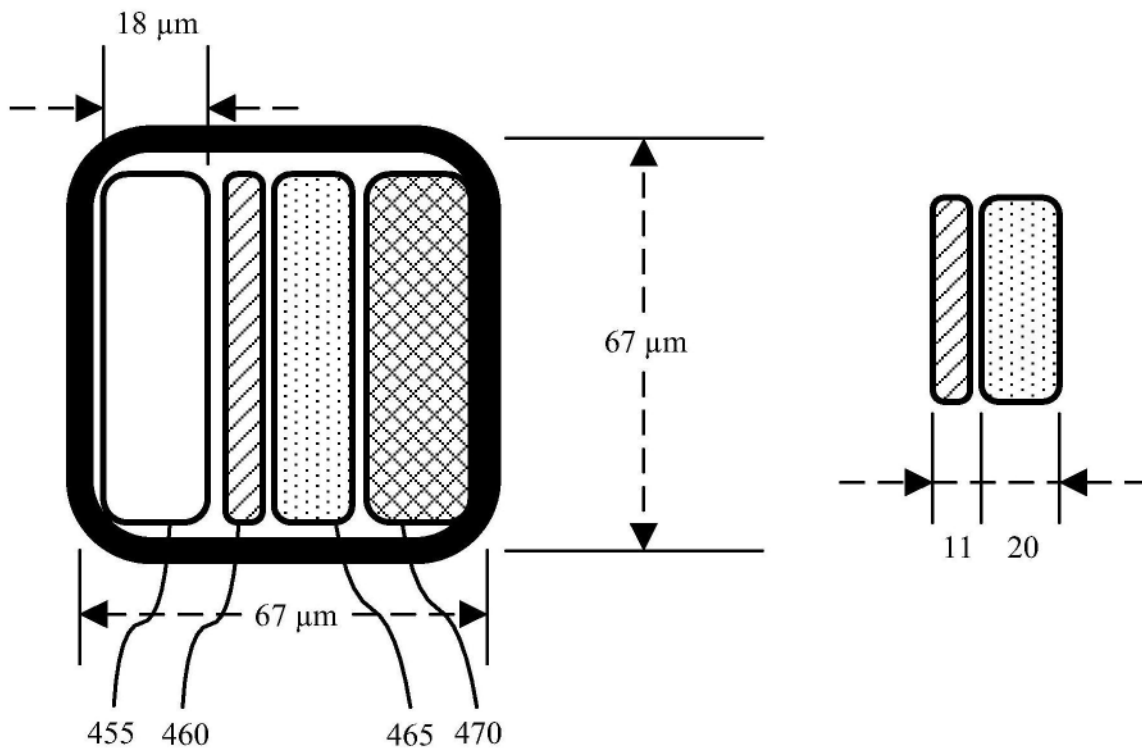


图4B

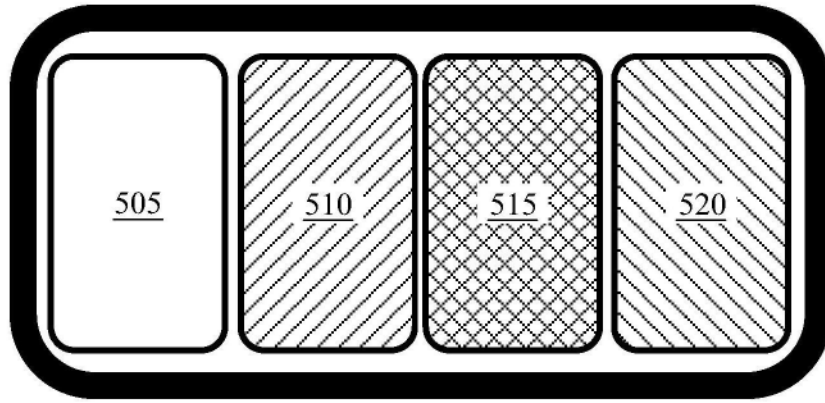


图5

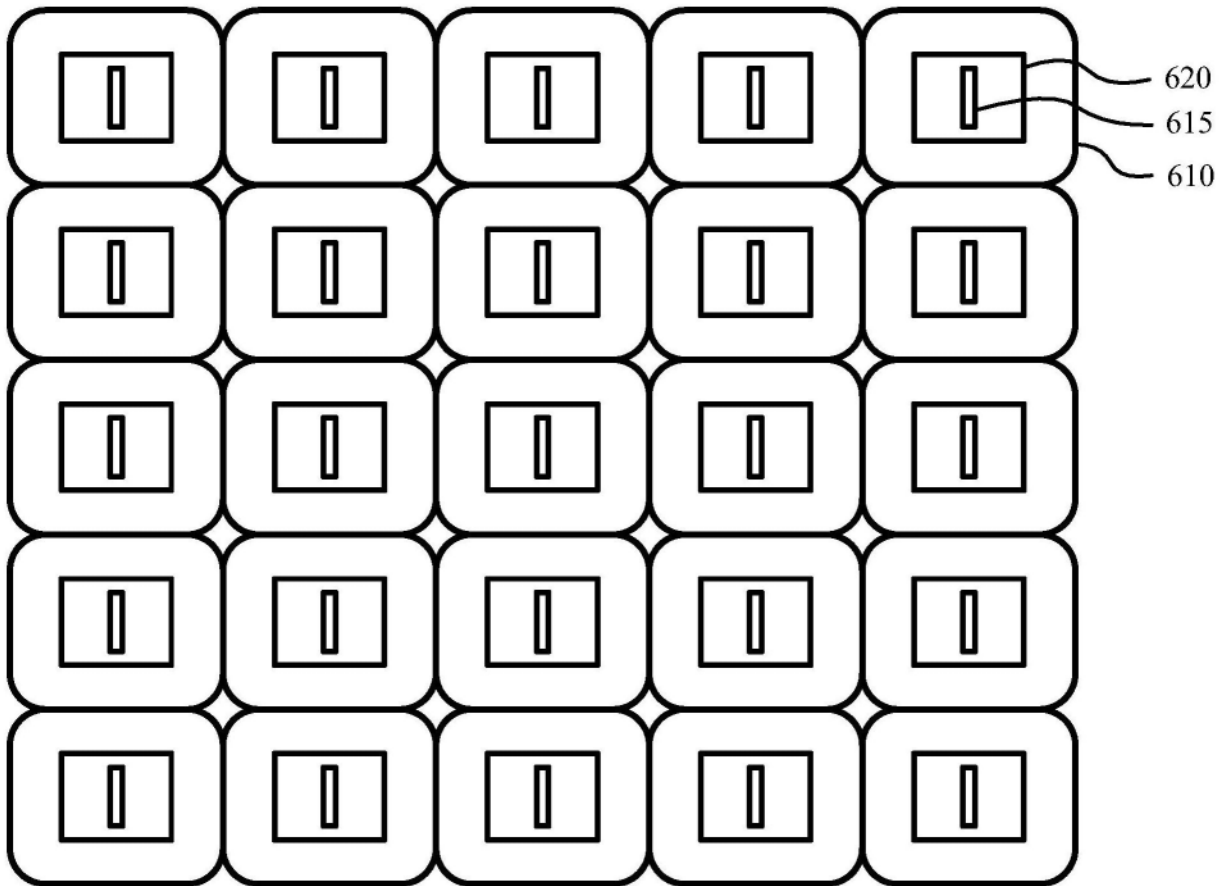


图6

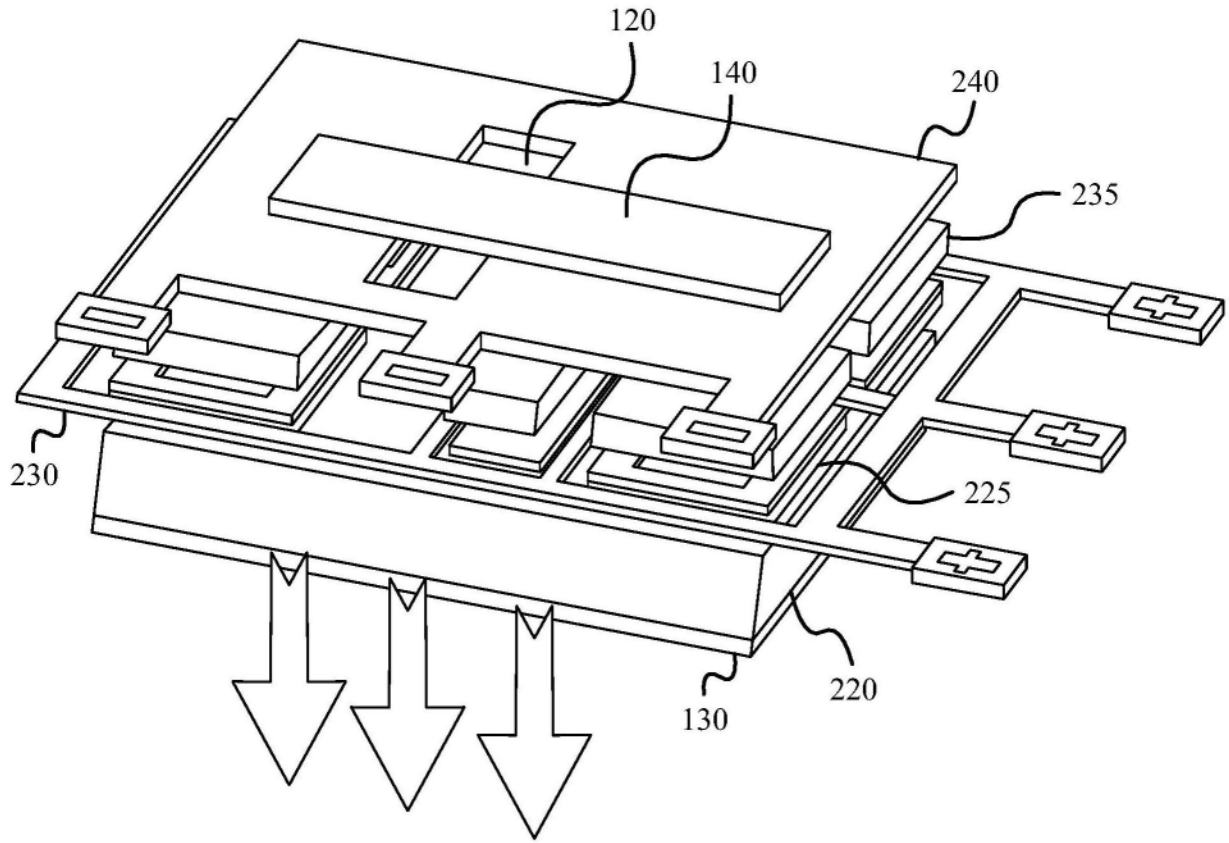


图7

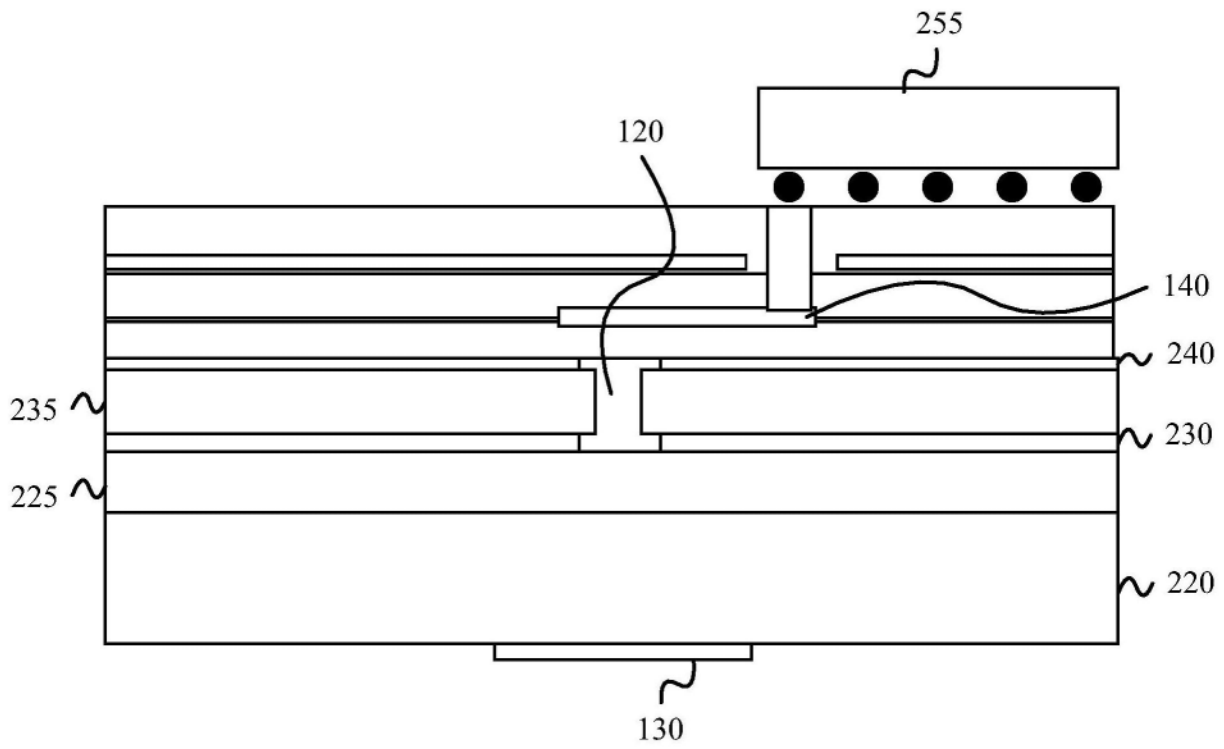


图8

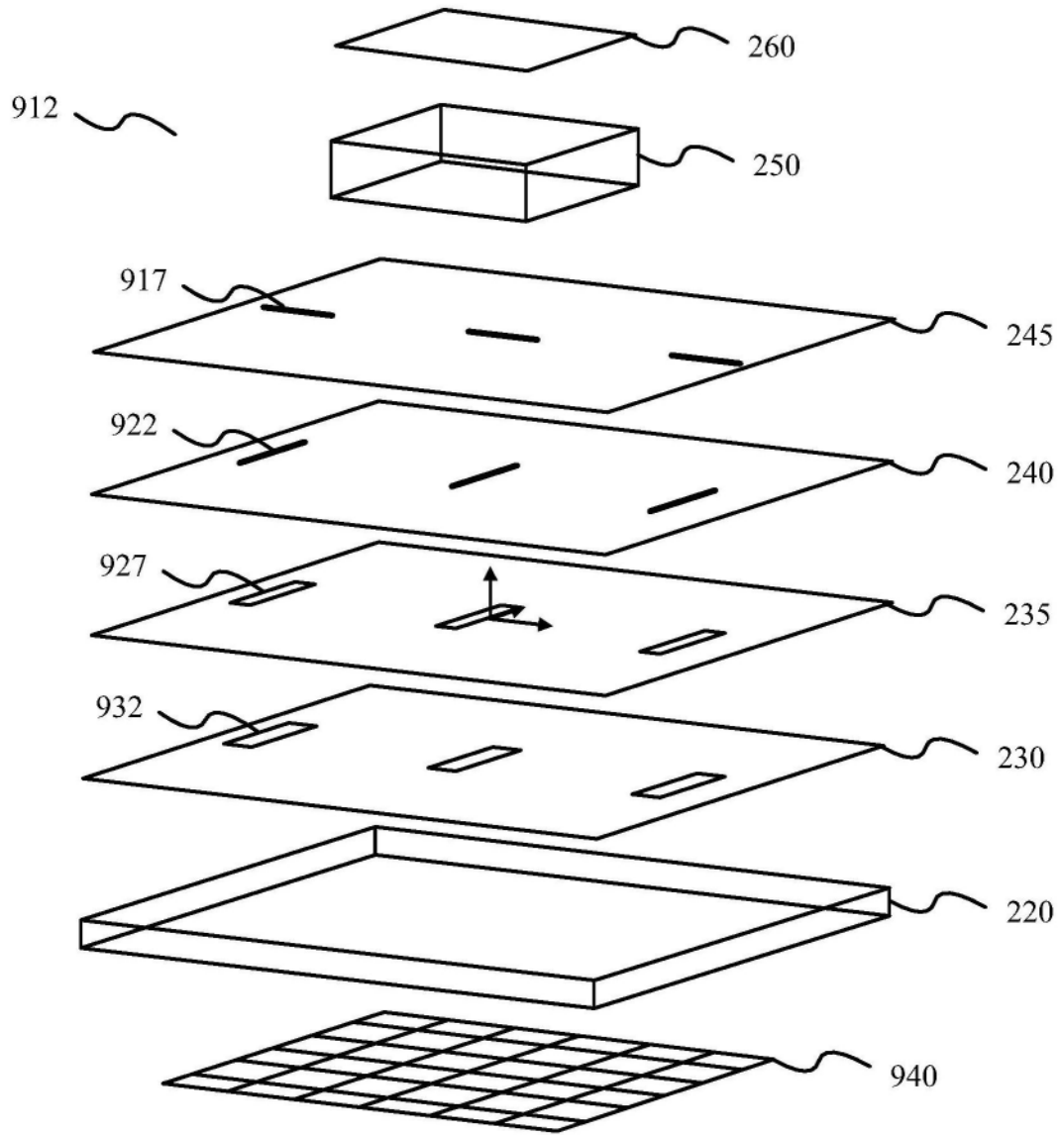


图9A

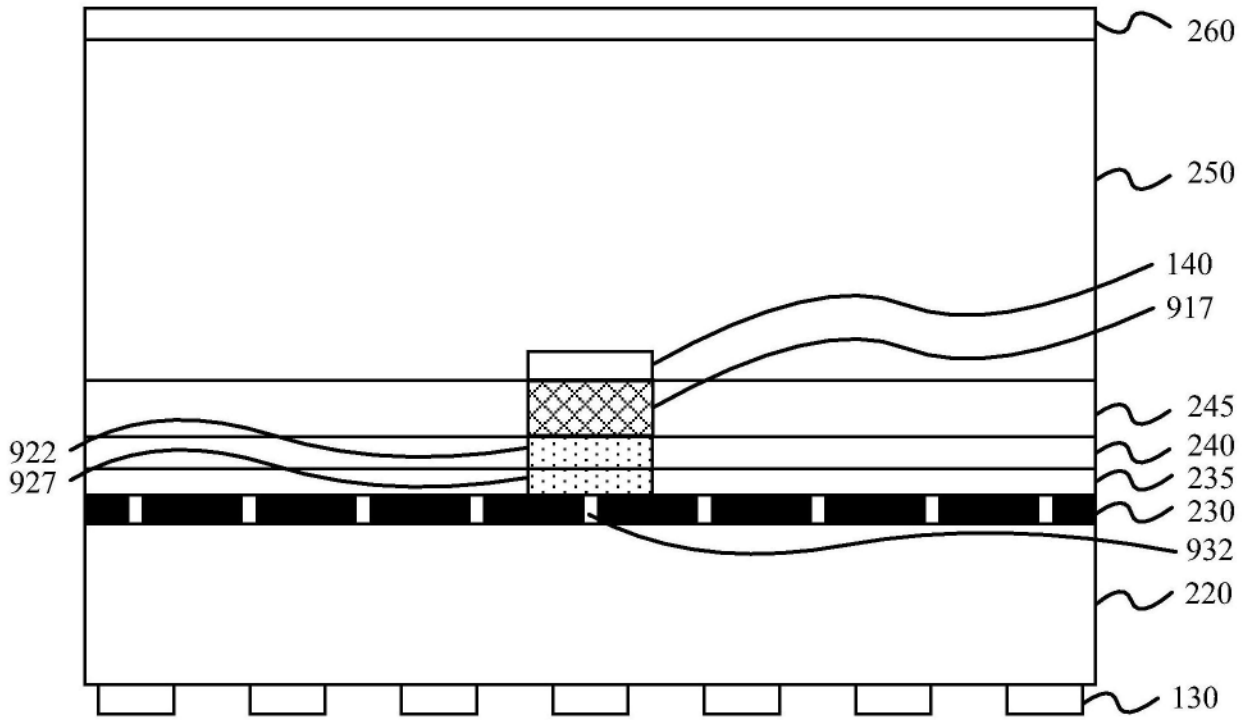


图9B

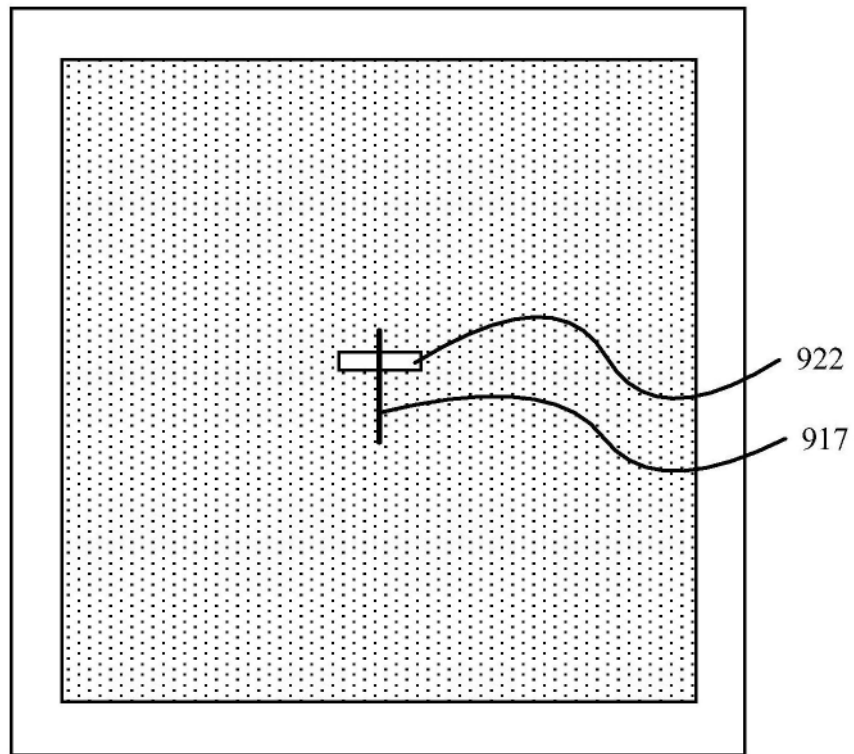


图10A

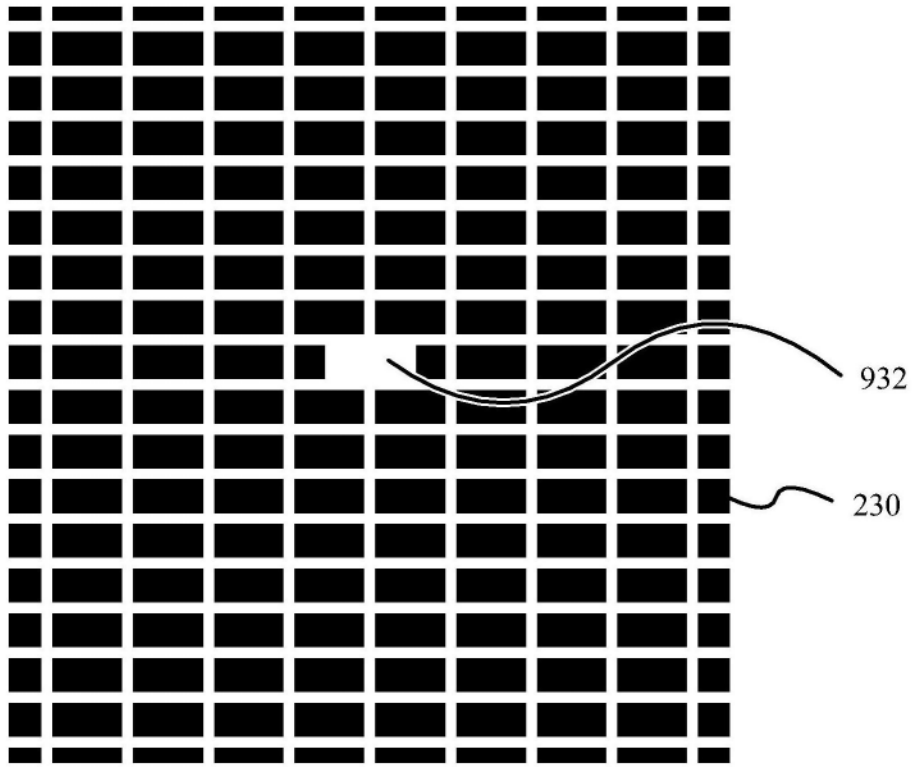


图10B

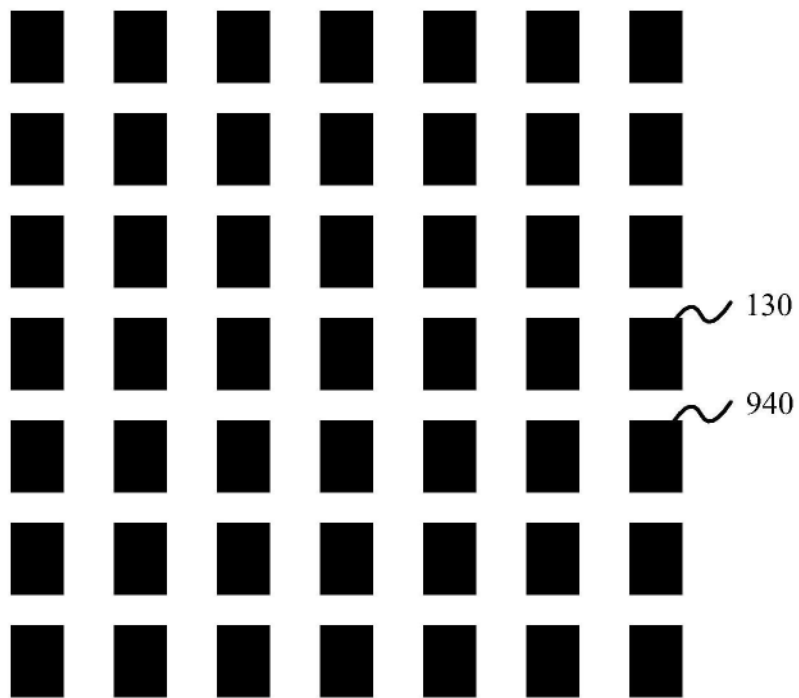


图10C

短槽和贴片的辐射图比较

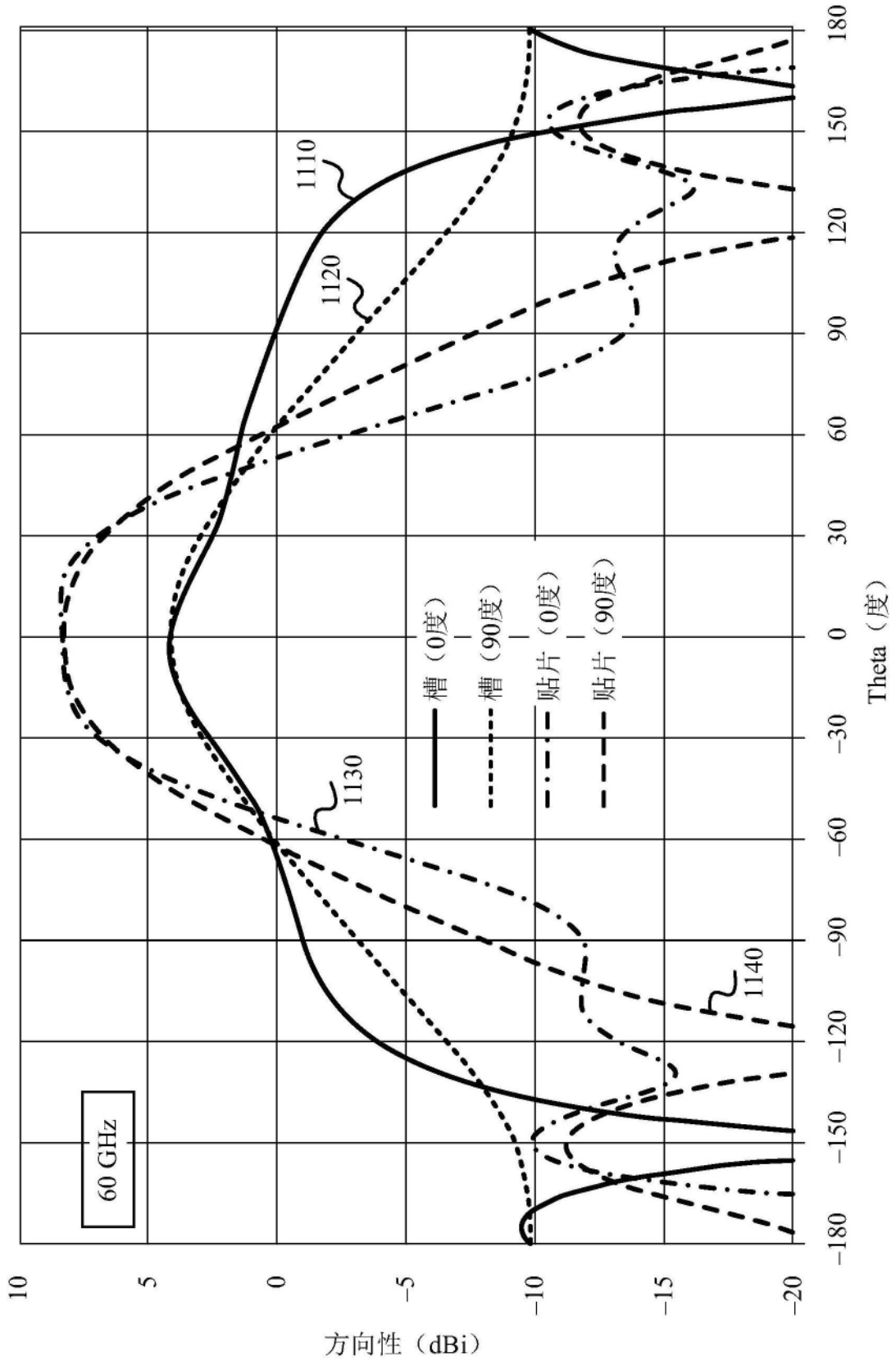


图11

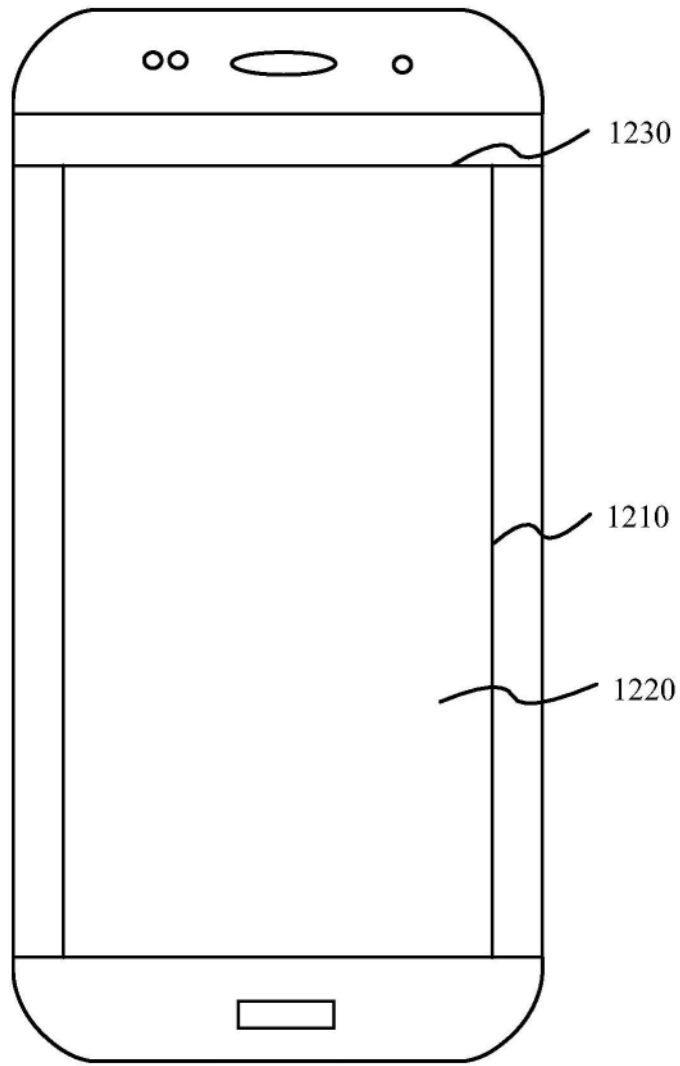


图12A

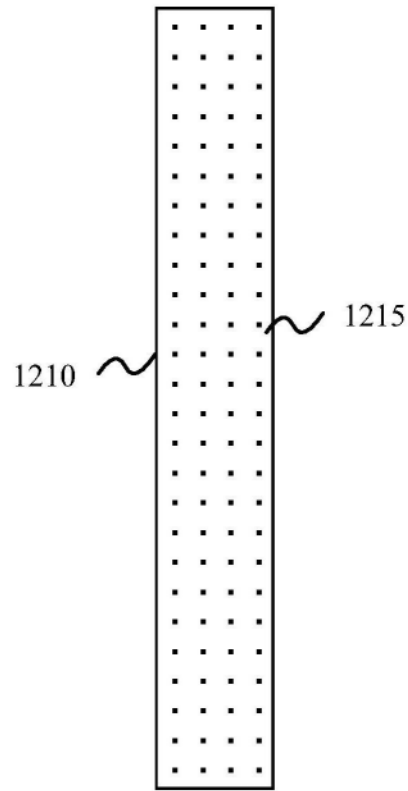


图12B

28×4短槽超表面阵列的辐射图
(波束角=0度)

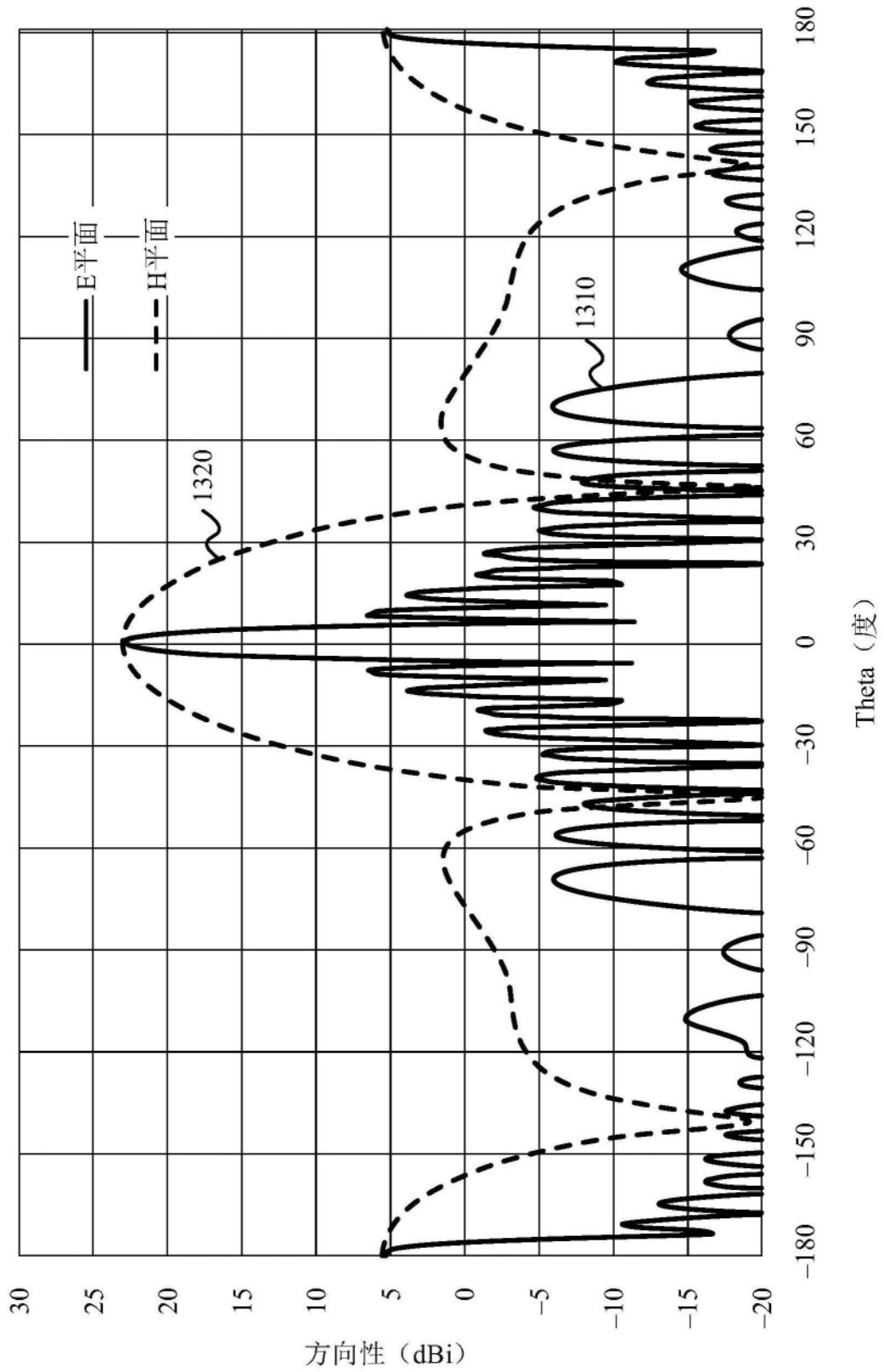


图13

28×4短槽超表面阵列的辐射图
(H平面扫描)

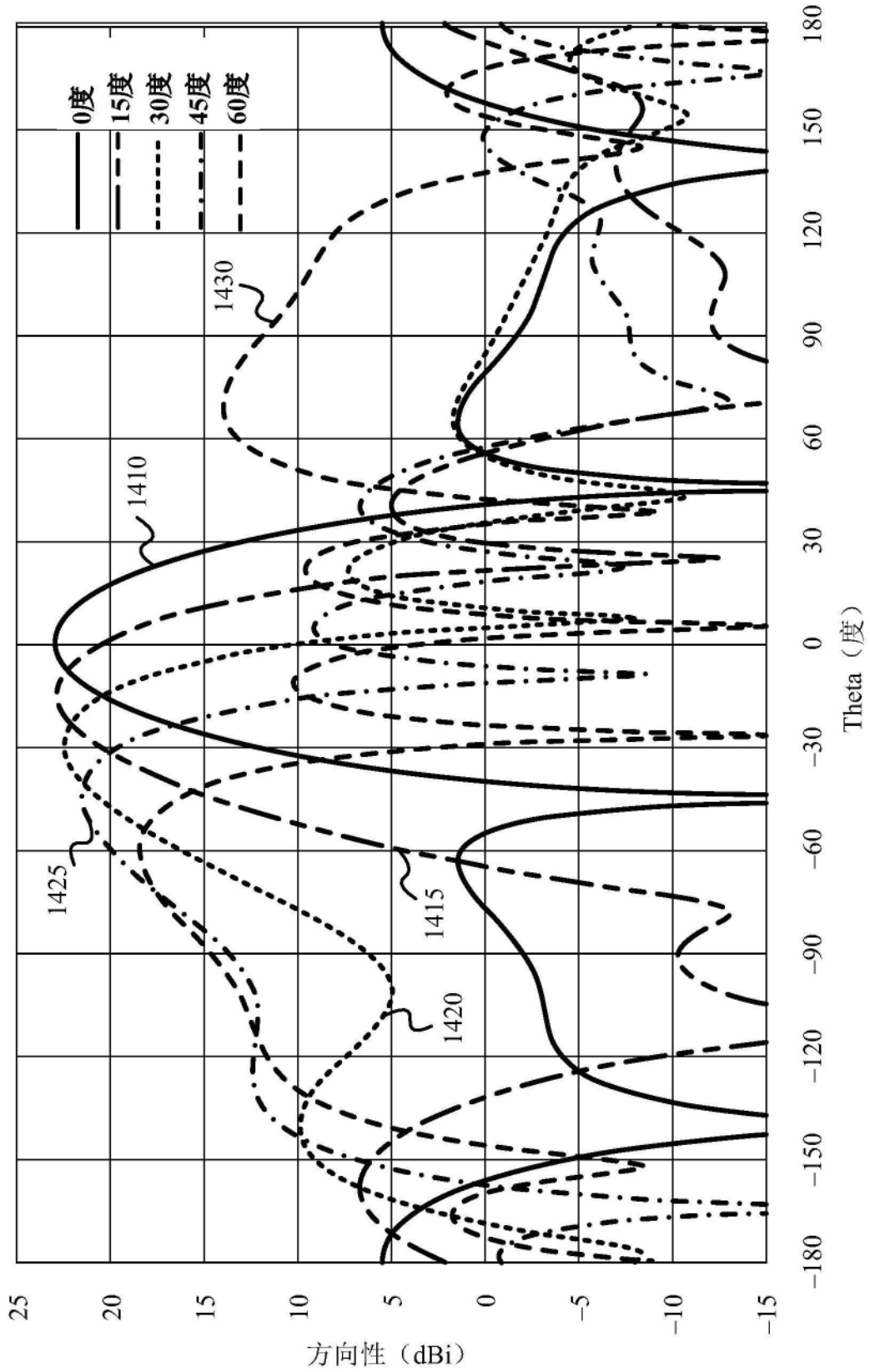


图14

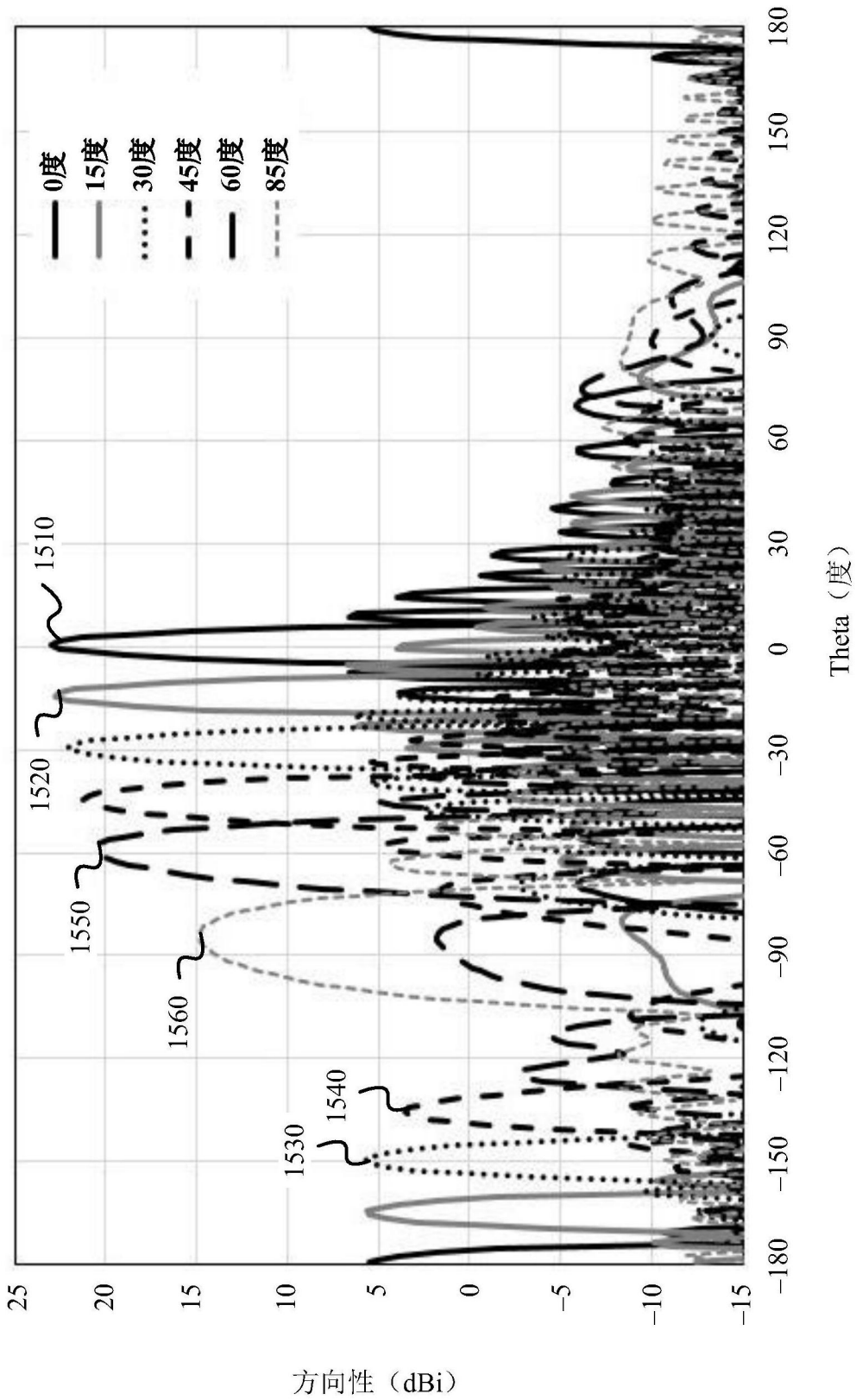


图15