



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103718377 A

(43) 申请公布日 2014. 04. 09

(21) 申请号 201280037941. 1

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2012. 07. 11

H01Q 3/00 (2006. 01)

(30) 优先权数据

61/513, 138 2011. 07. 29 US

13/545, 437 2012. 07. 10 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2014. 01. 28

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2012/046143 2012. 07. 11

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/019367 EN 2013. 02. 07

(71) 申请人 国际商业机器公司

地址 美国纽约

(72) 发明人 A·巴巴卡尼 刘兑现

S·K·雷诺兹 M·A·桑度莱努

(74) 专利代理机构 北京市中咨律师事务所

11247

代理人 张亚非 于静

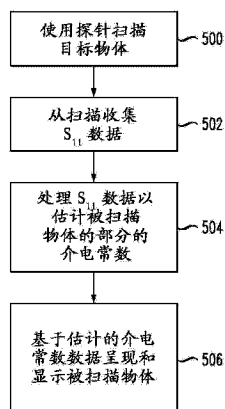
权利要求书3页 说明书12页 附图17页

(54) 发明名称

近场毫米波成像

(57) 摘要

提供了用于近场毫米波成像的系统和方法, 具体而言, 提供了通过使用子波长探针元件扫描物体并捕捉和测量反射能的相位和强度以产生图像来实现子波长分辨率成像的近场毫米波成像系统和方法。



1. 一种近场成像系统,包括:

扫描设备,其适合于通过在给定工作频率上发射具有某一波长的电磁能,捕捉从目标物体反射的电磁能,以及测量所述反射能的强度和相位来扫描目标物体的表面,其中所述扫描设备包括具有子波长尺度的探针,该探针用于发射所述电磁能以及捕捉所述反射能;

成像器,其使用所述反射能的所述测量的强度和相位来呈现所述目标物体的图像,其中所述图像被呈现为具有子波长分辨率。

2. 根据权利要求1的近场成像系统,其中所述探针包括在半导体芯片的表面上形成的探针元件阵列。

3. 根据权利要求2的近场成像系统,其中所述探针元件为环形元件。

4. 根据权利要求3的近场成像系统,其中所述环形元件各具有大约2mm或更小的直径。

5. 根据权利要求1的近场成像系统,其中所述反射能的所述测量的强度和相位为 S_{11} 参数。

6. 根据权利要求1的近场成像系统,其中所述扫描设备包括半导体芯片,该半导体芯片具有实现矢量网络分析器功能以计算 S_{11} 参数的集成电路。

7. 根据权利要求1的近场成像系统,其中所述成像器计算所述 S_{11} 参数。

8. 根据权利要求1的近场成像系统,其中所述成像器使用所述反射能的所述测量的强度和相位估计所述扫描的目标物体的组成元件的介电常数,并且基于所述扫描的物体的所述组成元件的介电常数的估计的差值呈现所述图像。

9. 根据权利要求8的近场成像系统,其中所述反射能的所述测量的强度和相位为 S_{11} 参数。

10. 根据权利要求8的近场成像系统,其中所述图像的像素被计算为:

$$f_{\text{amp}}(x_0, y_0) = \text{var} \{ \text{amp}(S_{11}(x, y)) \mid (\text{dist}(x, x_0) < d) \text{ and } (\text{dist}(y, y_0) < d) \}$$

$$f_{\text{phase}}(x_0, y_0) = \text{var} \{ \text{phase}(S_{11}(x, y)) \mid (\text{dist}(x, x_0) < d) \text{ and } (\text{dist}(y, y_0) < d) \}$$

其中 (x, y) 表示图像像素的坐标, f_{amp} 是从 S_{11} 的振幅推导的函数, f_{phase} 是从 S_{11} 的相位推导的函数, var 表示在点 (x, y) 上取的变化函数,使得 x 与 x_0 的距离小于 d ,并且 y 与 y_0 的距离小于 d 。

11. 根据权利要求1的近场成像系统,其中所述给定工作频率约为100GHz或更大,其中所述波长约为3mm或更小,并且其中所述图像的所述子波长分辨率约为0.5mm或更小。

12. 一种成像方法,包括:

在给定工作频率上通过用具有某一波长的电磁能扫描目标物体的表面;

捕捉从所述目标物体反射的电磁能;

测量所述反射能的强度和相位;以及

使用所述反射能的所述测量的强度和相位呈现所述目标物体的图像,

其中所述扫描和捕捉使用具有子波长尺度的探针执行,并且

其中所述图像被呈现为具有子波长分辨率。

13. 根据权利要求12的方法,其中所述探针包括探针元件阵列。

14. 根据权利要求13的方法,其中所述探针元件为环形元件。

15. 根据权利要求14的方法,其中所述环形元件各具有大约2mm或更小的直径。

16. 根据权利要求12的方法,其中使用所述反射能的所述测量的强度和相位呈现所述

目标物体的图像包括估计所述扫描的目标物体的组成元件的介电常数,以及基于所述扫描的物体的所述组成元件的介电常数的估计的差值呈现所述图像。

17. 根据权利要求 16 的方法,其中所述反射能的所述测量的强度和相位为 S_{11} 参数。

18. 根据权利要求 17 的方法,其中呈现所述图像包括将所述图像的像素值计算为:

$$f_{\text{amp}}(x_0, y_0) = \text{var} \{ \text{amp}(S_{11}(x, y)) \mid (\text{dist}(x, x_0) < d) \text{ and } (\text{dist}(y, y_0) < d) \}$$

$$f_{\text{phase}}(x_0, y_0) = \text{var} \{ \text{phase}(S_{11}(x, y)) \mid (\text{dist}(x, x_0) < d) \text{ and } (\text{dist}(y, y_0) < d) \}$$

其中 (x, y) 表示图像像素的坐标, f_{amp} 是从 S_{11} 的振幅推导的函数, f_{phase} 是从 S_{11} 的相位推导的函数, var 表示在点 (x, y) 上取的变化函数,使得 x 与 x_0 的距离小于 d , 并且 y 与 y_0 的距离小于 d 。

19. 根据权利要求 12 的方法,其中所述给定工作频率约为 100GHz 或更大,其中所述波长约为 3mm 或更小,并且其中所述图像的所述子波长分辨率约为 0.5mm 或更小。

20. 一种包括计算机可读存储介质的制造品,所述计算机可读存储介质包括有形地位于上面的程序代码,该程序代码当被计算机执行时,执行近场成像的方法步骤,所述方法步骤包括:

捕捉从所述目标物体反射的电磁能;

测量所述反射能的强度和相位;以及

使用所述反射能的所述测量的强度和相位呈现所述目标物体的图像,其中所述扫描和捕捉使用具有子波长尺度的探针执行,并且

其中所述图像被呈现为具有子波长分辨率。

21. 一种用于近场成像的装置,包括:

存储器;以及

处理器,其与所述存储器相连并被配置为执行存储在所述存储器中的代码,以用于:

捕捉从所述目标物体反射的电磁能;

测量所述反射能的强度和相位;以及

使用所述反射能的所述测量的强度和相位呈现所述目标物体的图像,其中所述扫描和捕捉使用具有子波长尺度的探针执行,并且

其中所述图像被呈现为具有子波长分辨率。

22. 一种用于近场成像的手持式扫描设备,所述扫描设备包括:

外壳;

被置于所述外壳内的探针设备,所述探针设备适合于通过在给定工作频率上发射具有某一波长电磁能,以及捕捉从所述目标物体反射的电磁能来扫描目标物体的表面,其中所述探针设备具有至少一个探针元件;以及

被置于所述外壳内的第一半导体芯片,其中所述第一半导体芯片包括集成电路,用于产生由所述探针设备发射的所述电磁能以及测量所述探针设备捕捉的所述反射能的强度和相位。

23. 根据权利要求 22 的手持式扫描设备,其中所述探针设备以一体化的方式在所述第一半导体芯片上形成。

24. 根据权利要求 22 的手持式扫描设备,其中所述探针设备以一体化的方式在第二半导体芯片上形成。

25. 根据权利要求 22 的手持式扫描设备,其中所述至少一个探针元件包括探针元件阵列,每个探针元件具有子波长尺度。

近场毫米波成像

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请主张 2011 年 7 月 29 日提交的编号为 61/513,138 的美国临时专利申请的优先权益,该申请的公开在此全部纳入作为参考。

技术领域

[0003] 本发明一般地涉及提供了用于近场毫米波成像的系统和方法,具体而言,本发明涉及通过使用子波长探针元件扫描物体并捕捉和测量反射能的相位和强度以产生图像来实现子波长分辨率成像的近场毫米波成像系统和方法。

背景技术

[0004] 一般而言,常规远场毫米波成像系统已经广泛用于各种应用,例如安检(例如,夹藏武器检查)、避免碰撞雷达,并且用于低能见度条件下的安全着陆。这些常规系统通常非常昂贵、复杂并且体积庞大。例如,一个公知的常规成像系统基于具有 1024 个在 89GHz 上工作的接收器模块的复杂被动毫米波摄像机。在该系统中,18 英寸直径塑料透镜用于收集和聚焦辐射,从而产生衍射限制的 0.5° 角分辨率。

[0005] 尽管这些系统的图像质量令人印象深刻,但是由于这些远场成像器的复杂性及其成本,它们并未用于众多大容量应用,例如,医疗成像。除了高成本之外,这些成像器实现的分辨率并非高得足以用于其中需要 1mm 或更小分辨率的医疗应用。这些系统执行远场成像,其中可实现的最高图像分辨率由衍射限制设定。例如,可购买到 18 英寸 89GHz 相机的角分辨率为 0.5° ,该分辨率等同于用于 1m 的天线物距的 8.7mm 空间分辨率。这样,当前的远场成像器的两个阻止其用于医疗应用的主要缺陷是高成本以及由衍射限制设定的低分辨率。

发明内容

[0006] 一般而言,本发明的示例性实施例包括用于近场毫米波成像的系统和方法,具体而言,包括通过使用子波长探针元件扫描物体并捕捉和测量反射能的相位和强度以产生图像来实现子波长分辨率成像的近场毫米波成像系统和方法。

[0007] 在本发明的一个示例性实施例中,一种近场成像系统包括扫描设备和成像器。所述扫描设备适合于通过在给定工作频率上发射具有某一波长的电磁能,捕捉从所述目标物体反射的电磁能,以及测量所述反射能的强度和相位来扫描目标物体的表面。所述扫描设备包括具有子波长尺度(dimension)的探针,该探针用于发射所述电磁能以及捕捉所述反射能。所述成像器使用所述反射能的所述测量的强度和相位呈现(render)所述目标物体的图像,其中所述图像被呈现为具有子波长分辨率。

[0008] 在另一示例性实施例中,一种用于近场成像的手持式扫描设备包括外壳、被置于所述外壳内的探针设备,以及被置于所述外壳内的第一半导体芯片。所述探针设备适合于通过在给定工作频率上发射具有某一波长电磁能,以及捕捉从所述目标物体反射的电磁能

来扫描目标物体的表面。所述探针设备包括至少一个探针元件。所述第一半导体芯片包括集成电路,用于产生由所述探针设备发射的所述电磁能以及测量所述探针设备捕捉的所述反射能的强度和相位。所述探针设备可以一体化的方式在所述第一半导体芯片或在与所述第一半导体芯片分离的第二半导体芯片上形成。所述探针元件可以包括探针元件的阵列,每个探针元件具有子波长尺度。

[0009] 在本发明的又一示例性实施例中,提供一种近场成像方法。所述方法包括在给定工作频率上使用具有某一波长的电磁能扫描目标物体的表面;捕捉从所述目标物体反射的电磁能;测量所述反射能的强度和相位;以及使用所述反射能的所述测量的强度和相位呈现所述目标物体的图像,其中所述扫描和捕捉使用具有子波长尺度的探针执行,并且其中所述图像被呈现为具有子波长分辨率。

[0010] 将描述本发明的上述及其它示例性实施例,或者当结合附图阅读下面对示例性实施例的详细描述时,本发明的上述及其它示例性实施例变得显而易见。

附图说明

[0011] 图 1 以图形方式示出针对在 100GHz 的频率上工作的远场成像系统的不同天线物距的天线大小与远场空间分辨率。

[0012] 图 2 以图形方式示出 (i) 100GHz 的频率上的天线大小与近场空间分辨率,以及 (ii) 针对在 100GHz 的频率上工作的近场成像系统的最大允许天线距离与近场空间分辨率。

[0013] 图 3 示出根据本发明的示例性实施例的用于模拟用于扫描目标物体的近场成像系统的计算机模型。

[0014] 图 4A 和 4B 分别是基于图 3 的计算机模型获取的模拟 S_{11} 振幅数据的三维(3D)和二维(2D)图形,其中目标物体的介电常数为 $\epsilon_r=2.1$ 。

[0015] 图 5A 和 5B 分别是基于图 3 的计算机模型获取的模拟 S_{11} 振幅数据的 3D 和 2D 图形,其中目标物体的介电常数为 $\epsilon_r=1.0$ 。

[0016] 图 6A 和 6B 分别是基于图 3 的计算机模型获取的模拟 S_{11} 振幅数据的 3D 和 2D 图形,其中目标物体的介电常数为 $\epsilon_r=10.0$ 。

[0017] 图 7A 和 7B 分别是基于图 3 的计算机模型获取的模拟 S_{11} 相位数据的 3D 和 2D 图形,其中目标物体的介电常数为 $\epsilon_r=2.1$ 。

[0018] 图 8A 和 8B 分别是基于图 3 的计算机模型获取的模拟 S_{11} 相位数据的 3D 和 2D 图形,其中目标物体的介电常数为 $\epsilon_r=1.0$ 。

[0019] 图 9A 和 9B 分别是基于图 3 的计算机模型获取的模拟 S_{11} 相位数据的 3D 和 2D 图形,其中目标物体的介电常数为 $\epsilon_r=10.0$ 。

[0020] 图 10 是根据本发明的另一示例性实施例的用于模拟用于扫描目标物体的近场成像系统的计算机模型。

[0021] 图 11 示意性地示出使用根据本发明的示例性实施例的近场成像系统扫描的实验性特氟龙(Teflon)板,该特氟龙板被构建为具有在其表面形成的不同大小和介电常数的各种特征。

[0022] 图 12A 和 12B 示出通过对图 11 的实验性特氟龙板中形成的各种特征进行成像获

取的原始 S_{11} 振幅和相位数据的实验性测量值。

[0023] 图 13A 示出通过处理图 12A 的原始 S_{11} 振幅数据产生的图像。

[0024] 图 13B 是图 13A 的图像的一部分的分解图。

[0025] 图 13C 示出通过处理图 12B 的原始 S_{11} 相位数据产生的图像。

[0026] 图 14 是根据本发明的示例性实施例的近场毫米波成像系统的高级图。

[0027] 图 15 是根据本发明的示例性实施例的用于执行近场毫米波成像的方法的流程图。

[0028] 图 16 示出根据本发明的实施例的计算机系统,根据该计算机系统,可实现本发明的技术的一个或多个组件 / 步骤。

具体实施方式

[0029] 现在进一步详细地介绍本发明的示例性实施例,其中涉及用于近场毫米波成像的系统和方法,具体而言,涉及通过使用子波长探针元件扫描物体并捕捉和测量反射能的相位和强度以产生图像来实现子波长分辨率成像的近场毫米波成像系统和方法。根据本发明的示例性实施例,近场成像系统可在大约 65GHz 及更大(例如,大约 110GHz 或更大)的频率范围内工作,同时实现比衍射限制高几个数量级的子波长分辨率。

[0030] 远场与近场

[0031] 远场天线的分辨率可根据其方向性计算。天线的方向性 D_0 被定义为从天线出发的给定方向的辐射强度与所有方向上平均辐射强度的比率。该数量可根据天线束宽表示,如下所示:

$$[0032] \quad D_0 \sim 4 \pi \theta^{-2} \quad (1)$$

[0033] 其中 θ 是对称图案的以弧度表示的天线束宽。方向性还可根据天线孔径大小和波长计算,如下所示:

$$[0034] \quad D_0 \sim 4 \pi A \lambda^{-2} \quad (2)$$

[0035] 其中 A 是有效天线孔径大小, λ 是波长。

[0036] 根据方程式 (1) 和 (2),可计算天线束宽,如下所示:

$$[0037] \quad \theta \sim \lambda A^{-0.5} \quad (3)$$

[0038] 并且,空间分辨率 R_{res} 可如下表示:

$$[0039] \quad R_{res} = z \theta \sim z \lambda A^{-0.5} \quad (4)$$

[0040] 其中 z 是离天线的距离。对于正方形孔径,可计算 R_{res} 的更精确的表达式,如下所示:

$$[0041] \quad R_{res} = z \theta \sim z \lambda \left(\frac{\pi^{0.5}}{1.8} \right) A^{-0.5} = z \lambda \left(\frac{\pi^{0.5}}{1.8} \right) \alpha^{-1} \quad (5)$$

[0042] 其中 α 是正方形孔径的大小。

[0043] 图 1 以图形方式示出针对在 100GHz 的频率上工作的远场成像系统的不同天线物距的天线大小与远场空间分辨率。具体而言,图 1 示出在 100GHz ($\lambda = 3\text{mm}$)上,针对三种不同的天线物距 $z=0.1\text{m}$ 、 $z=0.5\text{m}$ 、 $z=1\text{m}$ 的正方形天线的衍射限制分辨率 R_{res} 与天线大小 α 。如图 1 所示,为了实现在 100GHz 上的 5mm 空间分辨率,需要 0.6m 的天线大小。这主要是因

为方程式 (5) 中表示的远场成像器的衍射限制。

[0044] 不幸的是,天线的大尺寸不是远场成像中的唯一问题。为了构建图像,天线束必须在两个维度中被操纵。可通过机械或电子方法实现此目的。机械方法非常缓慢并且可能极大地增加系统成本。电子机制可使用相位阵列控制多个天线来操纵主天线束实现,但是此电子方法需要大量的以相干(coherent)方式工作的发射器和接收器。

[0045] 为了针对 100GHz 工作频率且两个元件之间的间隔 $\lambda/2$ 的情况在 1m 距离上实现 5mm 的空间分辨率,可计算阵列中所需的元件数量,如下所示:

$$[0046] \quad N = \left(\frac{2 \times 1m}{0.005m} \right)^2 = 160,000 \quad (6)$$

[0047] 并且天线阵列的大小将为:

$$[0048] \quad D = N^{0.5} \times \frac{\lambda}{2} = 400 \times \frac{3mm}{2} = 6.6m \quad (7)$$

[0049] 基于远场的系统中如此多的元件显著增加了整个系统的成本,并且使得其对诸如医疗成像之类的低成本便携式应用变得不切实际。

[0050] 与上述远场成像系统相比,近场成像系统中的分辨率不受天线大小及其元件数量的限制。图 2 以图形方式示出 (i) 100GHz 频率上的天线(探针)大小(以米为单位)与近场空间分辨率(以 mm 为单位),以及 (ii) 针对在 100GHz 频率上工作的近场成像系统的最大允许天线(探针)距离(以米为单位)与近场空间分辨率。如图 2 所示,近场成像系统的分辨率是处于探针(近场天线)大小的数量级,并可通过使探针很小来提高。如图 2 所示,为了实现 5mm 的分辨率,需要 5mm 或更小的探针大小。天线大小、元件数量和近场成像系统的成本比远场系统小若干数量级。近场成像系统中的唯一限制是物体与天线的距离。近场系统中的物体与天线的最大允许距离可由以下方程式估计:

$$[0051] \quad MOAD(\text{Maximum Object - Antenna Distance}) = \frac{2a^2}{\lambda} \quad (8)$$

[0052] 其中 a 是天线的最长尺寸, λ 是波长。图 2 进一步示出 100GHz 上的 MOAD 与分辨率。为了在 100GHz 上实现 0.5mm 的分辨率,需要近场探针大小为 $\sim 0.5mm$, MOAD 小于

$$\frac{2 \times (0.5mm)^2}{3mm} \sim 0.167mm$$

[0053] 模拟结果

[0054] 如下面进一步详细地描述的,执行多个计算机模拟以显示出分辨率小于 1 个波长的近场成像系统可根据本发明的原理实现,并且使用通过物理实验获取的测量值验证计算机模拟结果。图 3、4A、4B、5A、5B、6A、6B、7A、7B、8A、8B、9A 和 9B 示出所执行的一个计算机模拟。具体而言,图 3 示出分辨率小于 1 个波长的近场成像系统的计算机模型 100,采用该计算机模型以获取图 4A、4B、5A、5B、6A、6B、7A、7B、8A、8B、9A 和 9B 所示的计算机模拟结果。

[0055] 更具体地说,现在参考图 3,计算机模型 100 包括衬底 110,在衬底 110 的上表面嵌入圆柱形介电物体 120。介电物体 120 被定义为具有 2mm 的直径,并且衬底 110 被定义为 10mm x 10mm 的特氟龙板,其具有介电常数 $\epsilon_r = 2.1$ 。介电物体 120 和衬底 110 的上表面位于

同一 Z 坐标上。模型 100 进一步被定义为包括厚度为 $100\ \mu\text{m}$ 的空气层 130, 以及直径为 2mm 的环形探针 140, 该探针被用于通过空气介质 130 在 $100\ \mu\text{m}$ 的距离上对特氟龙板 110 的表面进行成像。为了构建模拟图像, 使用环形探针 140 在 100GHz 的频率上对圆柱形物体 120 进行成像, 其方式是针对介电物体 120 的三个不同的介电常数值(即, $\epsilon_r=2.1$ 、 1.0 和 10)中的每个, 沿着 X 和 Y 方向移动环形探针 140 并在环形探针 140 的每个 x-y 位置上获取反射系数 S_{11} 测量值。

[0056] 图 4A、4B、5A、5B、6A 和 6B 示出在 100GHz 上通过环形探针 140 在不同的 (x, y) 位置上针对介电物体 120 的三个不同的介电常数值(即, 静态相对介电常数 $\epsilon_r=2.1$ 、 1.0 和 10)获取的 S_{11} 振幅数据(采取线性标度)的模拟结果。具体而言, 图 4A 和 4B 分别是基于图 3 的计算机模型 100 获取的模拟 S_{11} 振幅数据的三维(3D)和二维(2D)图形, 其中介电物体 120 的介电常数为 $\epsilon_r=2.1$ 。而且, 图 5A 和 5B 分别是基于图 3 的计算机模型 100 获取的模拟 S_{11} 振幅数据的 3D 和 2D 图形, 其中介电物体 120 的介电常数为 $\epsilon_r=1.0$ 。此外, 图 6A 和 6B 分别是基于图 3 的计算机模型 100 获取的模拟 S_{11} 振幅数据的 3D 和 2D 图形, 其中介电物体 120 的介电常数为 $\epsilon_r=10.0$ 。

[0057] 如图 4A 和 4B 所示, S_{11} 的振幅在衬底 110 的表面上不发生变化, 因为圆柱形物体 120 的介电常数等于特氟龙衬底 110 的介电常数($\epsilon_r=2.1$)。如图 5A、5B、6A 和 6B 所示, 当圆柱形物体 120 的介电常数不同于特氟龙衬底 110 的介电常数时, 出现驻波形图案。图 5A、5B、6A 和 6B 中较深的灰色阴影对应于较大的 S_{11} 振幅。通过增加特氟龙衬底 110 与圆柱形物体 120 的介电常数之间的差值, S_{11} 振幅的变化增加, 如下所示:

[0058] (1) 对于 $\epsilon_{\text{object}}=1.0$, 并且 $\epsilon_{\text{substrate}}=2.1$:

[0059] $\epsilon_{\text{object}} - \epsilon_{\text{substrate}} = 1 - 2.1 = -1.1$ 并且

[0060] $|S_{11}|_{\text{max}} = 0.65$, $|S_{11}|_{\text{min}} = 0.61$

[0061] (2) 对于 $\epsilon_{\text{object}}=2.1$, 并且 $\epsilon_{\text{substrate}}=2.1$:

[0062] $\epsilon_{\text{object}} - \epsilon_{\text{substrate}} = 2.1 - 2.1 = 0$ 并且

[0063] $|S_{11}|_{\text{max}} = 0.64$, $|S_{11}|_{\text{min}} = 0.63$ (由于数值误差产生的差异)

[0064] (3) 对于 $\epsilon_{\text{object}}=10.0$, 并且 $\epsilon_{\text{substrate}}=2.1$:

[0065] $\epsilon_{\text{object}} - \epsilon_{\text{substrate}} = 10.0 - 2.1 = 7.9$ 并且

[0066] $|S_{11}|_{\text{max}} = 0.80$, $|S_{11}|_{\text{min}} = 0.57$

[0067] 图 7A、7B、8A、8B、9A 和 9B 示出在不同的 (x, y) 位置上针对介电物体 120 的三个不同的介电常数值(即, $\epsilon_r=2.1$ 、 1.0 和 10)获取的 S_{11} 相位数据(采取线性标度, 以度为单位)的模拟结果。具体而言, 图 7A 和 7B 分别是基于图 3 的计算机模型 100 获取的模拟 S_{11} 相位数据的 3D 和 2D 图形, 其中介电物体 120 的介电常数为 $\epsilon_r=2.1$ 。而且, 图 8A 和 8B 分别是基于图 3 的计算机模型 100 获取的模拟 S_{11} 相位数据的 3D 和 2D 图形, 其中介电物体 120 的介电常数为 $\epsilon_r=1.0$ 。此外, 图 9A 和 9B 分别是基于图 3 的计算机模型 100 获取的模拟 S_{11} 相位数据的 3D 和 2D 图形, 其中介电物体 120 的介电常数为 $\epsilon_r=10.0$ 。

[0068] 如图 7A 和 7B 所示, S_{11} 的相位在衬底 110 的表面上不发生变化, 因为圆柱形物体 120 的介电常数等于特氟龙衬底 110 的介电常数($\epsilon_r=2.1$)。如图 8A、8B、9A 和 9B 所示, 通过增加衬底 110 与圆柱形物体 120 的介电常数之间的差值, S_{11} 相位的变化增加。 S_{11} 相位的最大和最小值如下所示:

[0069] (1) 对于 $\epsilon_{\text{object}}=1.0$, 并且 $\epsilon_{\text{substrate}}=2.1$:

[0070] $\epsilon_{\text{object}} - \epsilon_{\text{substrate}}=1-2.1=-1.1$ 并且

[0071] $(\text{Phase}(S_{11}))_{\text{max}}=-9.4$, $(\text{Phase}(S_{11}))_{\text{min}}=-13.8$

[0072] (2) 对于 $\epsilon_{\text{object}}=2.1$, 并且 $\epsilon_{\text{substrate}}=2.1$:

[0073] $\epsilon_{\text{object}} - \epsilon_{\text{substrate}}=2.1-2.1=0$ 并且

[0074] $(\text{Phase}(S_{11}))_{\text{max}}=-10.4$, $(\text{Phase}(S_{11}))_{\text{min}}=-11.2$ (由于数值误差产生的差异)

[0075] (3) 对于 $\epsilon_{\text{object}}=10.0$, 并且 $\epsilon_{\text{substrate}}=2.1$:

[0076] $\epsilon_{\text{object}} - \epsilon_{\text{substrate}}=10.0-2.1=7.9$ 并且

[0077] $(\text{Phase}(S_{11}))_{\text{max}}=-7.8$, $(\text{Phase}(S_{11}))_{\text{min}}=-24.0$

[0078] 为了进一步示出近场探针的成像能力, 使用如图 10 中所示的示例性计算机模型 200 执行另一计算机模拟。如图 10 所示, 计算机模型 200 包括衬底 210, 在衬底 210 的上表面嵌入九个圆柱形介电物体 220、221、222、223、224、225、226、227 和 228。介电物体 220-228 被定义为具有 2mm 的直径, 并且衬底 210 被定义为 10mm x 10mm 的特氟龙衬底, 其具有介电常数 $\epsilon_r=2.1$ 。介电物体 220-228 和衬底 210 的上表面位于同一 Z 坐标上。模型 200 进一步被定义为包括厚度为 100 μm 的空气层 230, 以及直径为 2mm 的环形探针 240, 该探针被用于通过空气介质 230 在 100 μm 的距离 (物体 - 探针距离) 上对特氟龙板 210 的表面进行成像。而且, 介电物体 220-228 中的任意两个之间的距离被定义为 2mm。

[0079] 为了构建模拟图像, 针对介电物体 120 的三个不同的介电常数值 (即, $\epsilon_r=2.1$ 、1.0 和 10) 中的每个, 沿着 X 和 Y 方向移动环形探针 140 并在环形探针 240 的每个 x-y 位置上获取 S_{11} 振幅和相位测量值。与图 4A、4B、5A、5B、6A 和 6B 所示的 S_{11} 图形类似, 图 10 的模型 200 的模拟结果表明每个圆柱形物体 220-228 在 S_{11} 的振幅和相位中导致驻波形图案。如下面将描述的那样, 近场图像的该重要特征可用于推导衬底表面附近的有效介电常数。如下所示, 此方法可用于构建衬底 (例如, 特氟龙板) 的介电常数图。

[0080] 实验结果

[0081] 为了通过实际的实验验证模拟结果, 构建由特氟龙板制成的模型 (phantom), 该特氟龙板安装有介电常数处于 1 到 48 范围内的不同材料, 并且使用近场环形探针和 110GHz 矢量网络分析器捕捉特氟龙板的近场图像。如下所示, 实验结果验证可以在 100GHz 上实现 0.5mm 的图像分辨率。图 11 示意性地示出被构建为具有在其表面中形成的不同大小和介电常数的各种特征的实验性特氟龙板, 使用根据本发明的示例性实施例的近场成像系统扫描该特氟龙板。

[0082] 更具体地说, 在该实验中, 通过在特氟龙板 300 上钻特定深度的孔并使用具有不同介电常数的材料填充这些孔, 在特氟龙板 300 中形成多个特征 1-30。具体而言, 在图 11 的特氟龙板 300 中形成下面的特征:

[0083] 特征 1: 圆形孔, 其直径 $d=1\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=30$;

[0084] 特征 2: 两个相邻的圆形孔, 每个孔的直径 $d=1\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=30$;

[0085] 特征 3: 圆形孔, 其直径 $d=1\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=48$;

[0086] 特征 4, 两个相邻的圆形孔, 每个孔的直径 $d=1\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=8$;

[0087] 特征 5: 矩形孔, l (长度) x w (宽度) 尺度 = $3\text{mm} \times 1\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=6$;

[0088] 特征 6: 矩形孔, $l \times w$ 尺度 = $3\text{mm} \times 1\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=3$;

- [0089] 特征 7 : 圆形孔, 其直径 $d=1\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=6$;
- [0090] 特征 8 : 两个相邻的圆形孔, 每个孔的直径 $d=1\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=1$;
- [0091] 特征 9 : 圆形孔, 其直径 $d=1\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=1$;
- [0092] 特征 10 : 两个相邻的圆形孔, 每个孔的直径 $d=1\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=6$;
- [0093] 特征 11 : 圆形孔, 其直径 $d=3\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=3$;
- [0094] 特征 12 : 两个相邻的圆形孔, 每个孔的直径 $d=3\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=6$;
- [0095] 特征 13 : 圆形孔, 其直径 $d=3\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=6$;
- [0096] 特征 14 : 两个相邻的圆形孔, 每个孔的直径 $d=3\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=30$;
- [0097] 特征 15 : 矩形孔, l (长度) \times w (宽度) 尺度 $=2\text{mm} \times 3\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=48$;
- [0098] 特征 16 : 矩形孔, $l \times w$ 尺度 $=2\text{mm} \times 3\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=30$;
- [0099] 特征 17 : 圆形孔, 其直径 $d=3\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=6$;
- [0100] 特征 18 : 两个相邻的圆形孔, 每个孔的直径 $d=3\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=8$;
- [0101] 特征 19 : 圆形孔, 其直径 $d=3\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=8$;
- [0102] 特征 20 : 两个相邻的圆形孔, 每个孔的直径 $d=3\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=3$;
- [0103] 特征 21 : 矩形孔, l (长度) \times w (宽度) 尺度 $=5\text{mm} \times 3\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=8$;
- [0104] 特征 22 : 矩形孔, $l \times w$ 尺度 $=5\text{mm} \times 3\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=1$;
- [0105] 特征 23 : 圆形孔, 其直径 $d=5\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=3$;
- [0106] 特征 24 : 两个相邻的圆形孔, 每个孔的直径 $d=5\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=3$;
- [0107] 特征 25 : 圆形孔, 其直径 $d=5\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=30$;
- [0108] 特征 26 : 两个相邻的圆形孔, 每个孔的直径 $d=5\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=8$;
- [0109] 特征 27 : 圆形孔, 其直径 $d=5\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=1$;
- [0110] 特征 28 : 两个相邻的圆形孔, 每个孔的直径 $d=5\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=1$;
- [0111] 特征 29 : 圆形孔, 其直径 $d=5\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=48$; 以及
- [0112] 特征 30 : 两个相邻的圆形孔, 每个孔的直径 $d=5\text{mm}$, 介电常数 $\epsilon_r=6$ 。

[0113] 为了产生实验性特氟龙板 200 的图像, 使用手工环形探针和 110GHz 矢量网络分析器创建近场毫米波成像系统。该手工环形探针使用 1mm 同轴电缆连接到 110GHz 矢量网络分析器。矢量网络分析器用于以 250MHz 线性步幅测量 65GHz 与 110GHz 之间的未校准的反射系数 S_{11} 。为了增加测量的准确度, 环形探针固定, 并且特氟龙板沿着 X 和 Y 方向移动, 从而确保特氟龙板与环形探针之间的距离保持固定, 以避免在实验中引入任何误差。在该测量中, 环形探针与特氟龙板之间的距离固定为约 $80 \mu\text{m}$ 。

[0114] 图 12A 和 12B 示出通过对图 11 的实验性特氟龙板 300 中形成的各种特征进行成像获取的原始 S_{11} 振幅和相位数据的实验性测量值。具体而言, 图 12A 示出跨图 11 的实验性特氟龙板 300 的不同 (x, y) 位置处的原始 S_{11} 振幅测量值。在图 12A 中, 当 S_{11} 振幅增加时, 阴影从较淡变为较暗。与上面介绍的计算机模拟结果类似, 各种特征(介电填充孔)与特氟龙板(背景材料)的介电常数差值产生驻波形图案, 这样, 波形的振幅便取决于用于特征的材料介电常数。通过增加特征中使用的材料的介电常数, 波形的振幅也增加。

[0115] 此外, 图 12B 示出跨图 11 的实验性特氟龙板 300 的不同 (x, y) 位置处的原始 S_{11} 相位测量值。与图 12A 中的 S_{11} 振幅类似, 图 12B 的相位图像中的驻波形图案振幅通过增加给定特征中使用的材料的介电常数而增加。根据本发明的原理, 近场图像的此唯一特征可用

于估计给定特征中的材料的介电常数。具体而言,可使用下面的计算产生介电常数图像:

$$[0116] \quad f_{\text{amp}}(x_0, y_0) = \text{var} \{ \text{amp}(S_{11}(x, y)) \mid (\text{dist}(x, x_0) < d) \text{ and } (\text{dist}(y, y_0) < d) \} \quad (9)$$

$$[0117] \quad f_{\text{phase}}(x_0, y_0) = \text{var} \{ \text{phase}(S_{11}(x, y)) \mid (\text{dist}(x, x_0) < d) \text{ and } (\text{dist}(y, y_0) < d) \} \quad (10)$$

[0118] 其中 (x, y) 是图像像素的坐标, f_{amp} 是从 S_{11} 的振幅推导的函数, f_{phase} 是从 S_{11} 的相位推导的函数, var 表示在点 (x, y) 上取的变化函数, 使得 x 与 x_0 的距离小于 d , 并且 y 与 y_0 的距离也小于 d 。

[0119] 图 13A 和 13B 示出使用方程式 (9) 中定义的函数产生的图像, 并且图 13C 示出通过方程式 (10) 中定义的函数产生的图像。具体而言, 图 13A 示出通过使用方程式 (9) 处理图 12A 的原始 S_{11} 振幅数据产生的图像, 其中使用 16×16 像素的块计算每个点处的变化 $f_{\text{amp}}(x, y)$ 。而且, 图 13C 示出通过使用方程式 (10) 处理图 12B 的原始 S_{11} 相位数据产生的图像, 其中使用 16×16 像素的块计算每个点处的变化 $f_{\text{phase}}(x, y)$ 。

[0120] 图 13A 和 13C 示出可通过绘制 S_{11} 振幅或相位数据的变化产生的物体介电图, 所述数据是使用用于捕捉 S_{11} 数据的近场探针获取的。图 13A 和 13B 中的图像示出图 11 的各种特征 1-30, 其中每个特征的介电常数 1、3、6、8、30 或 48 在图像上示出。基于图 13A 和 13C 所示的图像, 当表面的介电常数增加到接近给定特征时, 图像颜色变暗(与周围特氟龙板材材料的颜色相比)。

[0121] 为了检查这些图像的分辨率, 图 20 和 21 示出两个缩放图片。基于这些图形, 在 110GHz ($\lambda = 2.7\text{mm}$) 上实现了优于 0.5mm 的分辨率。据我们所知, 在小于 110GHz 的频率中工作的毫米波成像系统当中, 这是所报告的最高分辨率。

[0122] 图 14 是根据本发明的示例性实施例的近场毫米波成像系统的高级图。一般而言, 图 14 示出包括手持式扫描设备 410、成像系统 420 以及显示器 430 的近场毫米波成像系统 400。手持式扫描设备 410 包括第一芯片 412 和第二芯片 414 (CMOS 处理芯片), 第一芯片具有在其表面上形成的探针阵列, 第二芯片具有用于执行信号处理功能的各种类型的集成电路。扫描设备 410 使用适当的有线连接 416 (或其它适当的连接, 例如无线连接) 与成像系统 420 相连。显示系统 430 与成像系统 420 相连。

[0123] 扫描设备 410 一般通过扫描被测试物体的表面执行操作, 其工作方式是发射给定工作毫米或兆赫频率(例如, 100GHz)上的电磁能并测量反射能的强度和相位(即, S_{11} 振幅和 S_{11} 相位)。探针阵列芯片 412 可以是半导体芯片, 其包括在其一个表面上形成的探针阵列(小环形探针阵列)。例如, 探针阵列芯片 412 可以包括环形探针阵列, 其中每个探针具有 2mm 的直径, 或者具有子波长尺度的其它类型的探针(例如, $1/8$ 偶极天线型探针), 其中阵列大小例如为 1 英寸 x 1 英寸或者 2 英寸 x 2 英寸。在本发明的其它实施例中, 探针阵列 412 可以包括单个探针元件(例如, 一个环形探针)。但是, 优选地使用具有多个探针元件(阵列)的探针设备来实现更快速有效的测量。

[0124] 实际上, 在使用单个探针时, 扫描设备 410 必须在被测试物体的表面上手动移动(手动扫描)以在所需的物体表面区域的各个点上收集 S_{11} 数据。在使用探针阵列时, 扫描设备 410 可以手动操作以将探针阵列芯片 412 定位在被测试物体的某一所需表面区域上, 还可以通过依次激活每个探针元件或同时激活所有探针元件并且测量每个探针元件的响应来以电子的方式扫描(与手动扫描相对)物体表面。通过这种方式, 根据探针阵列的大小, 可以一次扫描相对较大的表面积(例如, 数英寸的正方形), 而不必手动移动扫描设备 410。探

针阵列芯片 412 可被封装在扫描设备 410 的外壳内,从而使得探针阵列芯片 412 的活动表面可被置于与被测试物体表面紧密接触,其中物体表面与探针阵列芯片的活动表面仅间隔探针阵列芯片 412 的封装材料。

[0125] 如上所述,CMOS 处理芯片 414 包括用于执行信号处理功能的各种类型的集成电路。这些电路一般包括发射器、接收器,以及其它适当的电路。所述发射器用于产生电磁信号,这些电磁信号被发送到探针阵列芯片 412 并且由探针芯片 412 上的一个或多个探针元件中的每个发射。所述接收器用于接收反射电磁能,这些反射电磁能被探针芯片 412 上的探针元件捕捉并被发送到处理芯片 414。所述其它适当的电路一般用于实现矢量网络分析器处理功能以根据探针阵列芯片 412 所捕捉的反射电磁能的振幅和相位产生 S_{11} 数据。尽管探针阵列芯片 412 和 CMOS 处理芯片 414 被示出为两个独立的芯片,但是探针阵列和处理电路可在一个芯片上实现,或者处理功能可在两个或更多个单独的芯片上实现。

[0126] 成像系统 420 通过连接 416 从扫描设备 410 接收 S_{11} 数据,然后处理 S_{11} 数据以在显示器 430 上呈现和显示被扫描物体的图像。例如,根据本发明的原理,针对探针阵列芯片 410 的近场能量收集的 S_{11} 数据可用于估计给定特征中材料的介电常数,并且根据上面的方程式 (9) 和 (10),基于估计的被扫描物体的组件的介电常数差值呈现图像。成像系统 420 可以是任何能够处理 S_{11} 数据并呈现图像的软件和 / 或硬件系统。例如,如下所述,图 16 示出可用于实现图 14 的成像系统 420 的系统 / 装置。在其它实施例中,芯片 414 的上述某些处理功能可通过成像系统 420 实现,反之亦然。

[0127] 图 15 是根据本发明的示例性实施例的执行近场毫米波成像的方法的流程图。具体而言,图 15 示出图 14 的系统 400 的操作的示例性模式。初始步骤包括使用近场扫描设备扫描目标物体(步骤 500)。扫描过程包括将电磁能从一个或多个探针元件发射到目标物体的表面区域,然后使用一个或多个探针元件捕捉从目标物体反射回的电磁能。然后使用矢量网络分析功能处理来自扫描的反射电磁能以根据扫描产生并收集一组 S_{11} 数据(步骤 502)。这些步骤(500)和(502)可由图 14 所示的扫描设备 410 执行。

[0128] 然后处理 S_{11} 数据以估计被扫描物体的不同表面组件的介电常数(步骤 504)。然后基于估计的介电常数数据呈现和显示被扫描物体的图像(步骤 506)。这些步骤(504)和(506)可由图 14 所示的成像系统 420 实现。图像呈现方法可使用已知的图像处理技术实现,其中所呈现的图像可以颜色或灰阶现实,其中不同的颜色或不同的灰度提供有关被扫描的目标物体表面中包含的材料的介电常数差值的信息。

[0129] 上述成像系统和方法可在各种领域中使用,例如用于诊断目的医疗成像(检测癌变皮肤组织),检查药片中使用的粘合剂、汽车上使用的涂漆的质量等。如上所述,这里介绍的近场毫米波成像系统可在 110GHz 上实现 0.5mm 的空间分辨率。而且,根据本发明的原理的近场毫米波成像系统可以低成本制造。实际上,如以上参考图 14 所述,扫描探针可通过使用商业 CMOS 工艺制造的芯片实现。简言之,根据本发明的近场毫米波成像系统的制造成本可比可购买的基于远场的系统便宜若干数量级,同时提供与基于远场的系统相比更优异的分辨率。

[0130] 所属技术领域的技术人员知道,本发明的各个方面可以实现为系统、设备、方法或计算机程序产品。因此,本发明的各个方面可以具体实现为以下形式,即:完全的硬件实施方式、完全的软件实施方式(包括固件、驻留软件、微代码等),或硬件和软件方面结合的实

施方式,这里可以统称为“电路”、“模块”或“系统”。此外,本发明的各个方面还可以实现为在一个或多个计算机可读介质中的计算机程序产品的形式,该计算机可读介质中包含计算机可读的程序代码。

[0131] 可以采用一个或多个计算机可读介质的任意组合。计算机可读介质可以是计算机可读信号介质或者计算机可读存储介质。计算机可读存储介质例如可以是一但不限于一电、磁、光、电磁、红外线、或半导体的系统、装置或器件,或者上述的任意合适的组合。计算机可读存储介质的更具体的例子(非穷举的列表)包括:具有一个或多个导线的电连接、便携式计算机盘、硬盘、随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、可擦式可编程只读存储器(EPROM 或闪存)、光纤、便携式紧凑盘只读存储器(CD-ROM)、光存储器件、磁存储器件、或者上述的任意合适的组合。在本文件中,计算机可读存储介质可以是任何包含或存储程序的有形介质,该程序可以被指令执行系统、装置或者器件使用或者与其结合使用。

[0132] 计算机可读的信号介质可以包括在基带中或者作为载波一部分传播的数据信号,其中承载了计算机可读的程序代码。这种传播的数据信号可以采用多种形式,包括一但不限于一电磁信号、光信号或上述的任意合适的组合。计算机可读的信号介质可以是计算机可读存储介质以外的任何计算机可读介质,该计算机可读介质可以发送、传播或者传输用于由指令执行系统、装置或者器件使用或者与其结合使用的程序。

[0133] 计算机可读介质上包含的程序代码可以用任何适当的介质传输,包括一但不限于一无线、有线、光缆、RF 等等,或者上述的任意合适的组合。

[0134] 可以以一种或多种程序设计语言的任意组合来编写用于执行本发明的各个方面的操作的计算机程序代码,所述程序设计语言包括面向对象的设计语言—诸如 Java、Smalltalk、C++ 等,还包括常规的过程式程序设计语言—诸如“C”语言或类似的设计语言。程序代码可以完全地在用户计算机上执行、部分地在用户计算机上执行、作为一个独立的软件包执行、部分在用户计算机上部分在远程计算机上执行、或者完全在远程计算机或服务器上执行。在涉及远程计算机的情形中,远程计算机可以通过任意种类的网络—包括局域网(LAN)或广域网(WAN)—连接到用户计算机,或者,可以连接到外部计算机(例如利用因特网服务提供商来通过因特网连接)。

[0135] 在此参照根据本发明实施例的方法、装置(系统)和计算机程序产品的流程图和/或框图描述了本发明的各个方面。应当理解,流程图和/或框图的每个方框以及流程图和/或框图中各方框的组合,都可以由计算机程序指令实现。这些计算机程序指令可以提供给通用计算机、专用计算机或其它可编程数据处理装置的处理器,从而生产出一种机器,使得这些指令在通过计算机或其它可编程数据处理装置的处理器执行时,产生了实现流程图和/或框图中的一个或多个方框中规定的功能/动作的装置。

[0136] 也可以把这些计算机程序指令存储在计算机可读介质中,这些指令使得计算机、其它可编程数据处理装置、或其它设备以特定方式工作,从而,存储在计算机可读介质中的指令就产生出包括实现流程图和/或框图中的一个或多个方框中规定的功能/动作的指令的制品(article of manufacture)。

[0137] 也可以把计算机程序指令加载到计算机、其它可编程数据处理装置、或其它设备上,使得在计算机、其它可编程装置或其它设备上执行一系列操作步骤,以产生计算机实现的过程,从而使得在计算机或其它可编程装置上执行的指令提供实现流程图和/或框图中

的一个或多个方框中规定的功能 / 动作的过程。

[0138] 图 14 和 15 显示了根据本发明的多个实施例的系统、方法和计算机程序产品的可能实现的体系架构、功能和操作。在这点上,流程图或框图中的每个方框可以代表一个模块、程序段或代码的一部分,所述模块、程序段或代码的一部分包含一个或多个用于实现规定的逻辑功能的可执行指令。也应当注意,在有些作为替换的实现中,方框中所标注的功能可以以不同于附图中所标注的顺序发生。例如,两个连续的方框实际上可以基本并行地执行,它们有时也可以按相反的顺序执行,这依所涉及的功能而定。也要注意的,框图和 / 或流程图中的每个方框、以及框图和 / 或流程图中的方框的组合,可以用执行规定的功能或动作的专用的基于硬件的系统来实现,或者可以用专用硬件与计算机指令的组合来实现。

[0139] 一个或多个实施例可以使用在通用计算机或工作站上运行的软件。现在参考图 16,在计算节点 510 中,存在计算机系统 / 服务器 512,该计算机系统 / 服务器可与许多个其它通用或专用计算系统环境或配置一起操作。可适合于与计算机系统 / 服务器 512 结合使用的已知的计算系统、环境和 / 或配置的示例包括——但不限于——个人计算机系统、服务器计算机系统、瘦客户机、胖客户机、手持式或膝上型设备、多处理器系统、基于微处理器的系统、机顶盒、可编程家用电子产品、网络 PC、微计算机系统、大型机计算机系统和包括上述任何系统或设备的分布式云计算环境等。

[0140] 计算机系统 / 服务器 512 可以在被计算机系统执行的计算机系统可执行指令(例如,程序模块)的一般上下文中描述。一般而言,程序模块可以包括执行特定任务或实现特定的抽象数据类型的例程、程序、对象、组件、逻辑、数据结构等。计算机系统 / 服务器 512 可以在分布式云计算环境中实现,其中任务由通过通信网络链接在一起的远程处理设备执行。在分布式云计算环境中,程序模块可以同时位于包括记忆存储设备的本地和远程计算机系统存储介质中。

[0141] 如图 16 所示,计算节点 510 中的计算机系统 / 服务器 512 被示出为采取通用计算设备的形式。计算机系统 / 服务器 512 的组件可以包括——但不限于——一个或多个处理器或处理单元 516、系统存储器 528 和将包括系统存储器 528 的各种系统组件连接到处理器 516 的总线 518。

[0142] 总线 518 代表多种类型的总线结构中的任意一种或多种,包括存储器总线或存储控制器、外围总线、加速图形端口和使用各种总线体系结构中的任意一种的处理器或本地总线。作为示例而非限制,此类体系结构包括工业标准体系结构 (ISA) 总线、微通道体系结构 (MCA) 总线、扩展 ISA (EISA) 总线、视频电子标准协会 (VESA) 本地总线,以及外围组件互连 (PCI) 总线。

[0143] 计算机系统 / 服务器 512 通常包括各种计算机系统可读介质。此类介质可以是可被计算机系统 / 服务器 512 访问的任何可用介质,它同时包括易失性和非易失性介质、可移动和不可移动介质。

[0144] 系统存储器 528 可以包括采取易失性存储器形式的计算机系统可读介质,例如随机存取存储器 (RAM) 30 和 / 或高速缓存存储器 532。计算机系统 / 服务器 512 可以进一步包括其它可移动 / 不可移动、易失性 / 非易失性计算机系统存储介质。仅作为示例,可提供存储系统 534 以从不可移动的非易失性磁介质(未示出,通常被称为“硬盘驱动器”)读取

数据以及将数据写入其中。尽管未示出,但是可提供用于从可移动的非易失性磁盘(例如,“软盘”)读取数据以及将数据写入其中的磁盘驱动器,以及用于从可移动的非易失性光盘(CD-ROM、DVD-ROM 或其它光介质)读取数据以及将数据写入其中的光盘驱动器。在这些例子中,每个可以通过一个或多个数据媒体接口连接到总线 518。如此处描述和示出的那样,存储器 528 可以包括至少一个具有程序模块集(例如,至少一个)的程序产品,这些程序模块被配置为执行本发明的实施例的功能。作为示例而非限制,具有程序模块集(至少一个)542 的程序/实用程序 440 以及操作系统、一个或多个应用程序、其它程序模块以及程序数据可以存储在存储器 528 内。操作系统、一个或多个应用程序、其它程序模块以及程序数据中的每一者或它们的某一组合可以包括网络环境的实现。程序模块 542 一般执行此处描述的本发明的实施例功能和/或方法。

[0145] 计算机系统/服务器 512 还可以与一个或多个外部设备 514 通信,所述外部设备例如键盘、指点设备、显示器 524 等,可使用户与计算机系统/服务器 512 交互的一个或多个设备,和/或可使计算机系统/服务器 512 与一个或多个其它计算设备通信的任何设备(例如,网卡、调制调解器等)。此类通信可通过输入/输出(I/O)接口 522 实现。而且,计算机系统/服务器 512 可以通过网络适配器 520 与一个或多个网络通信,所述网络例如局域网(LAN)、广域网(WAN)和/或公共网络(例如,因特网)。如所描述的,网络适配器 520 通过总线 518 与计算机系统/服务器 512 的其它组件通信。应该理解,尽管未示出,但是其它硬件和/或软件组件可以与计算机系统/服务器 512 结合使用。示例包括——但不限于——微代码、设备驱动器、冗余处理单元、外部磁盘驱动器阵列、RAID 系统、磁带驱动器和数据档案存储系统等。

[0146] 尽管此处参考附图描述了本发明的示例性实施例,但是应该理解,本发明不限于这些精确的实施例,在不偏离本发明的范围或精神的情况下,所属技术领域的技术人员可以实现其它各种更改和修改。

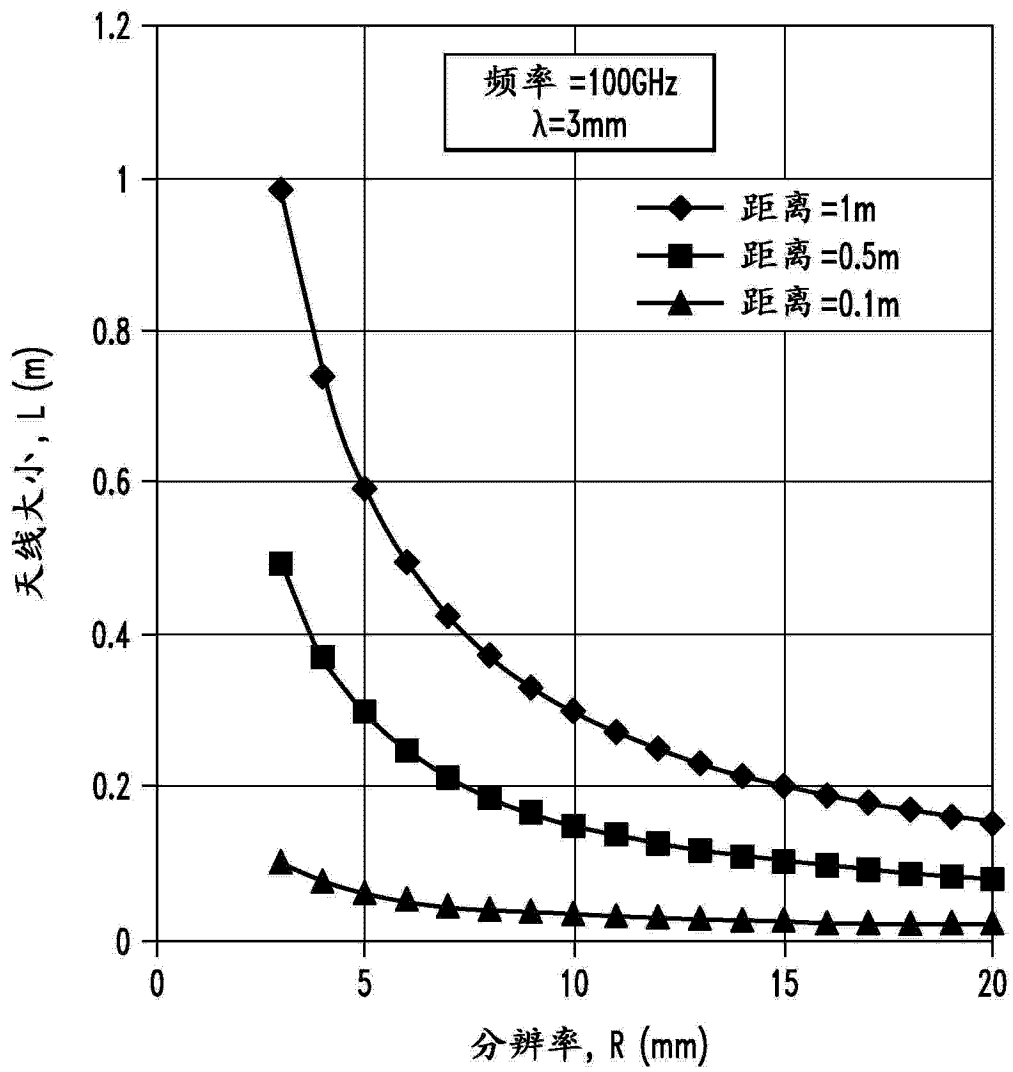


图 1

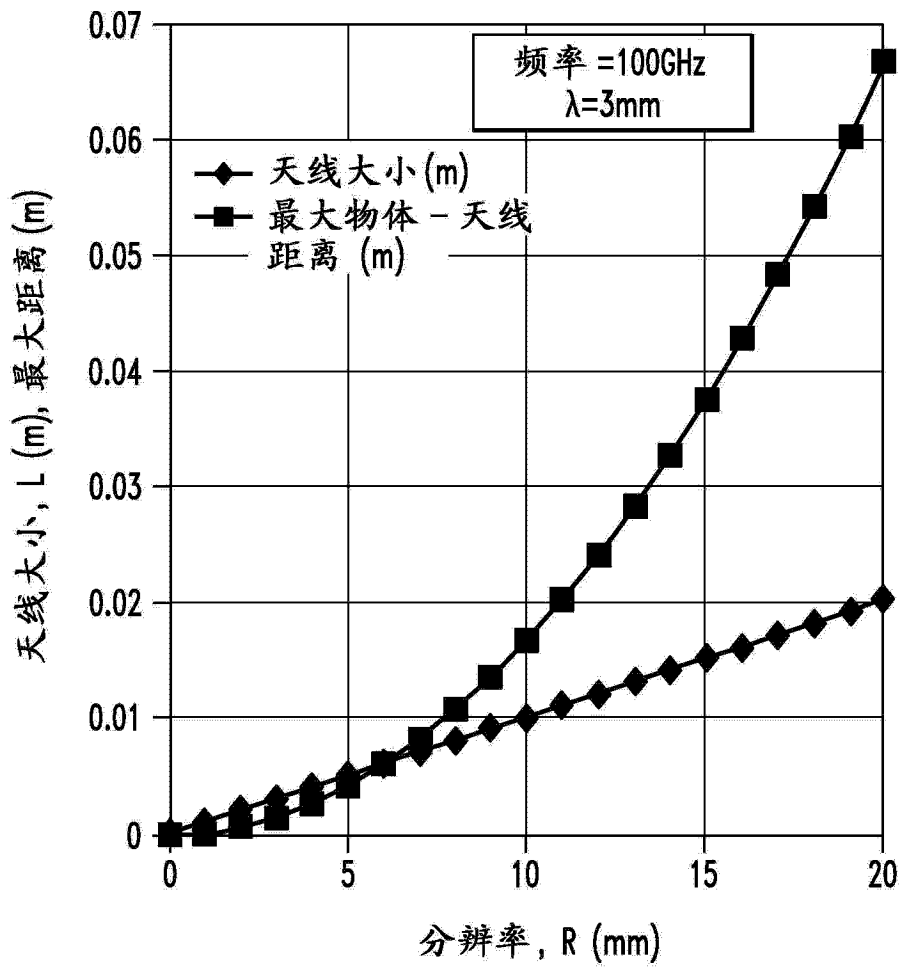


图 2

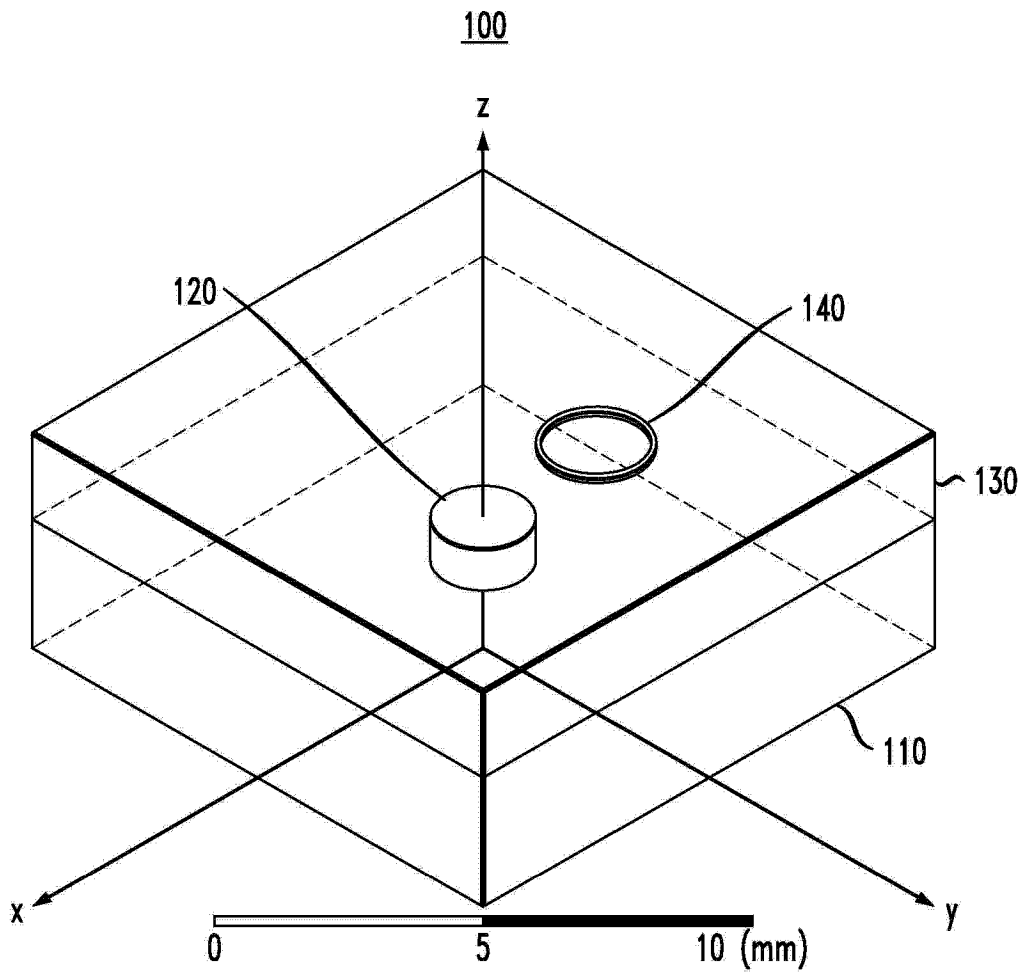


图 3

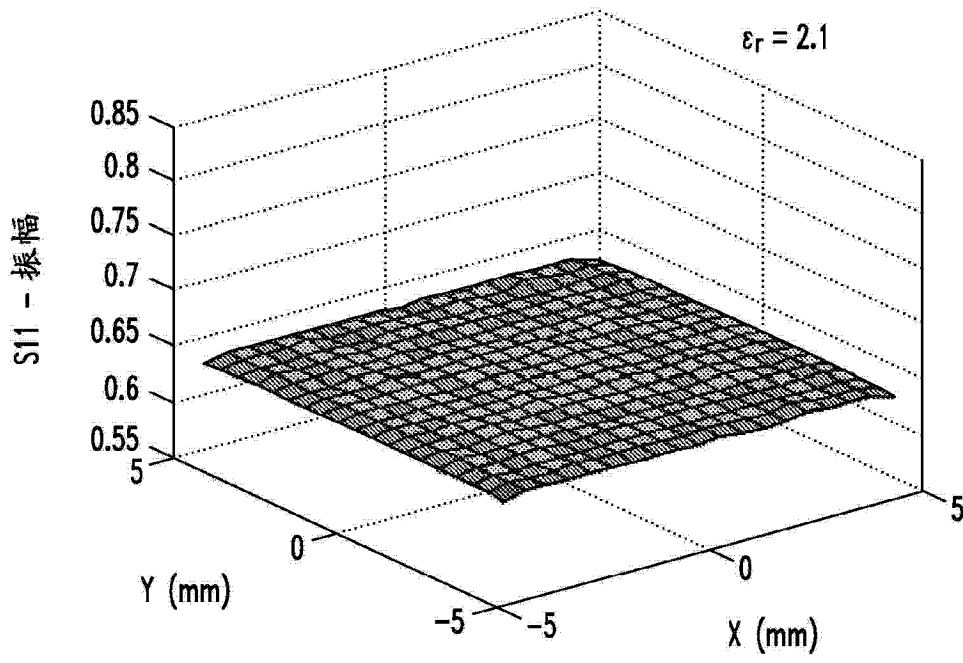


图 4A

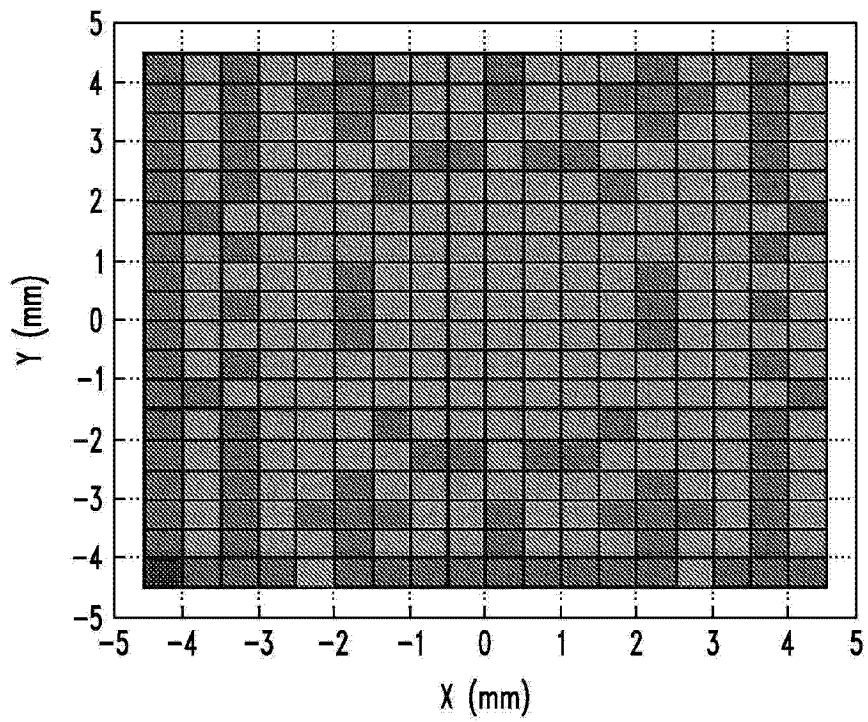


图 4B

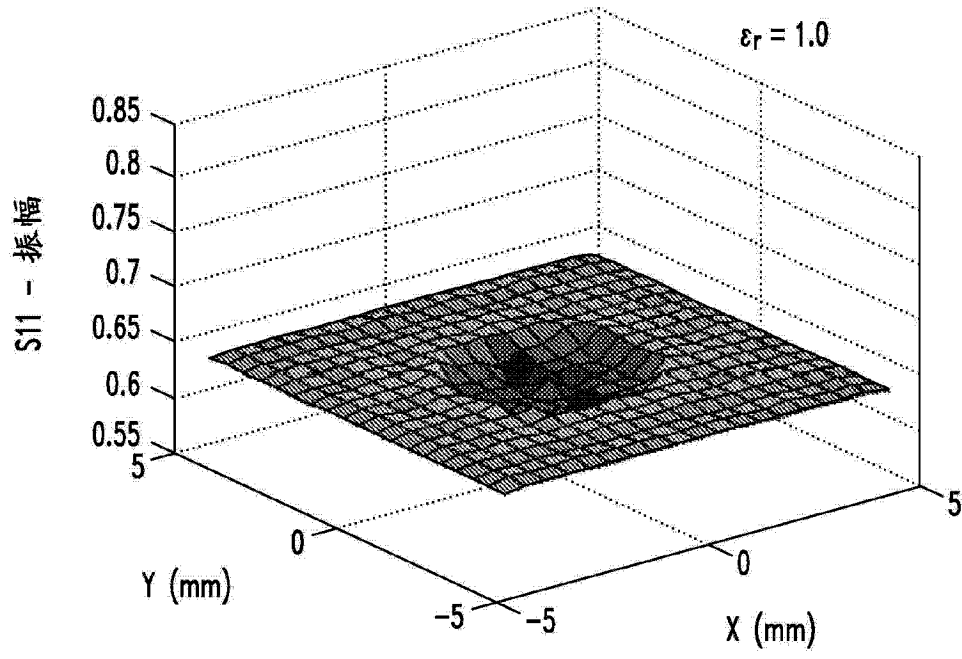


图 5A

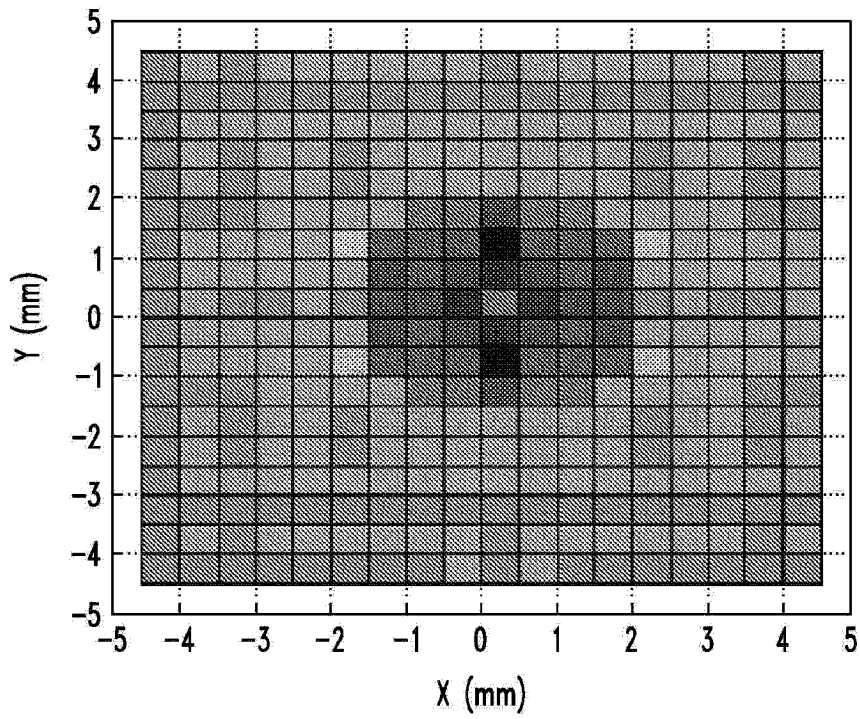


图 5B

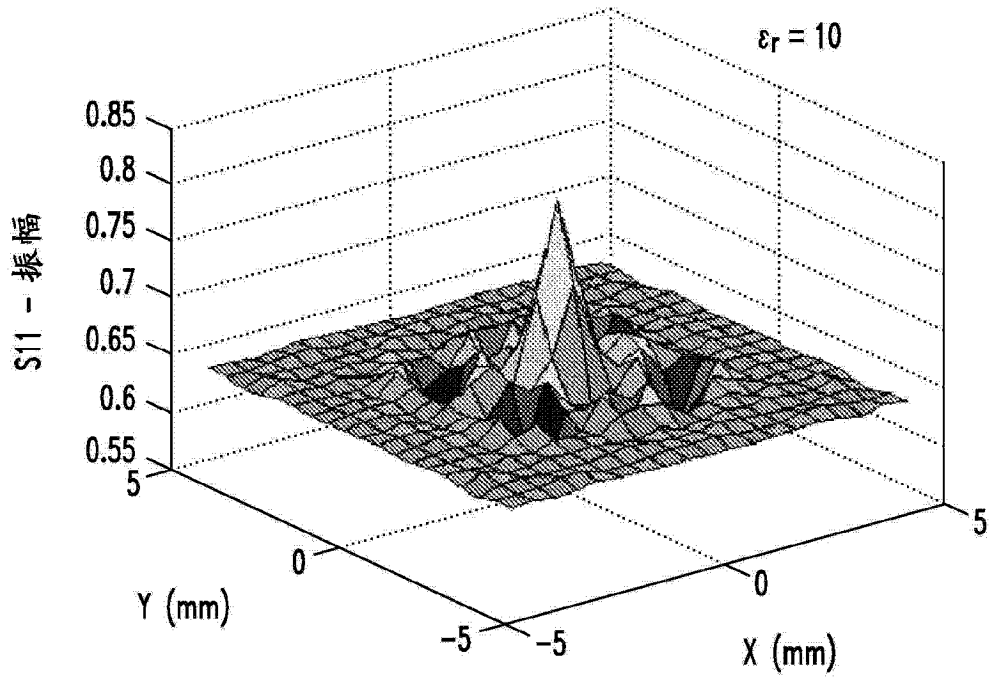


图 6A

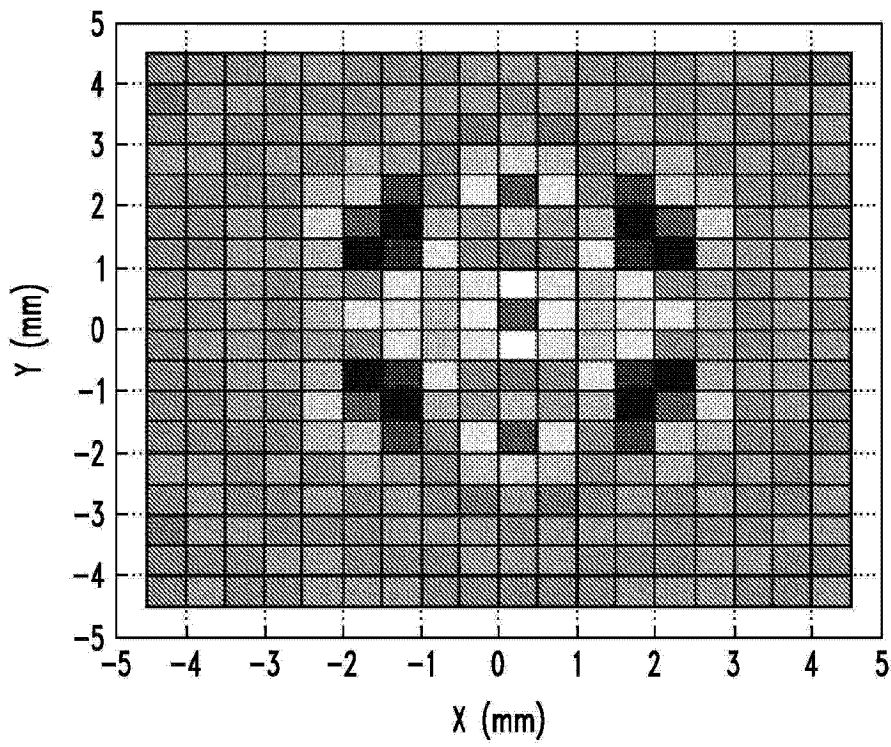


图 6B

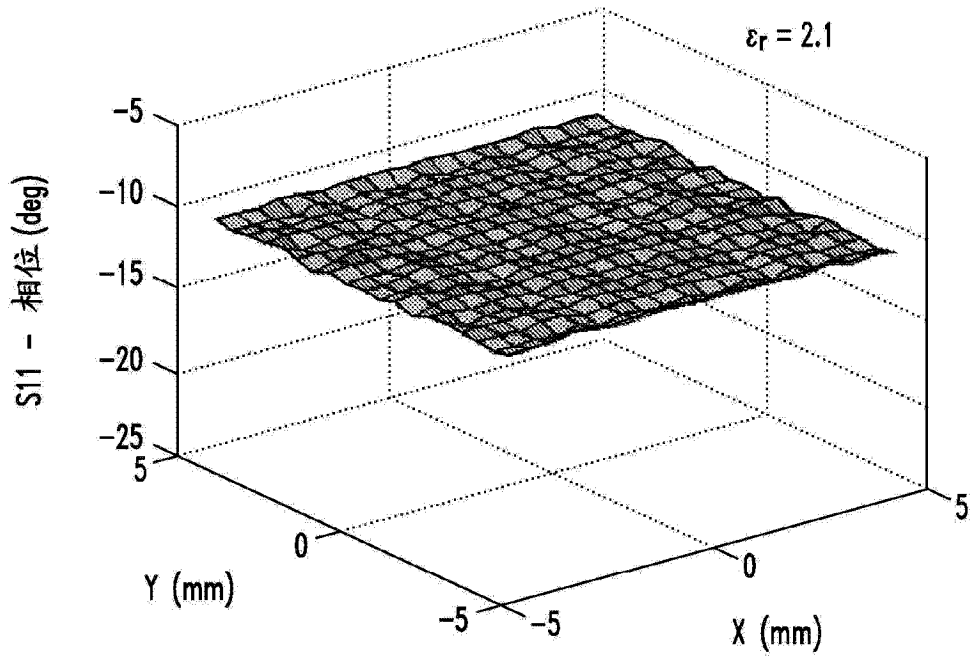


图 7A

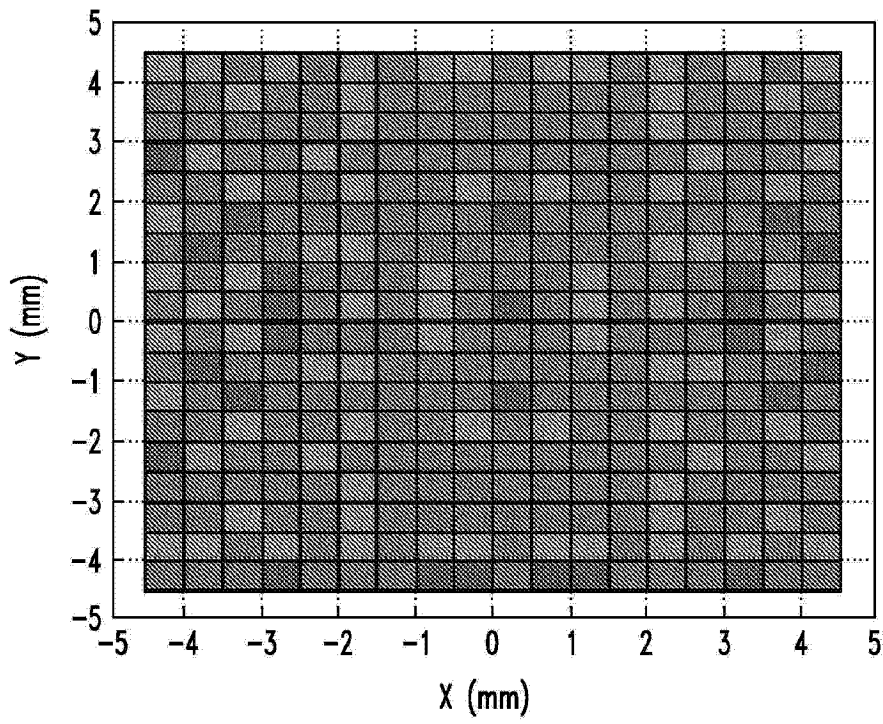


图 7B

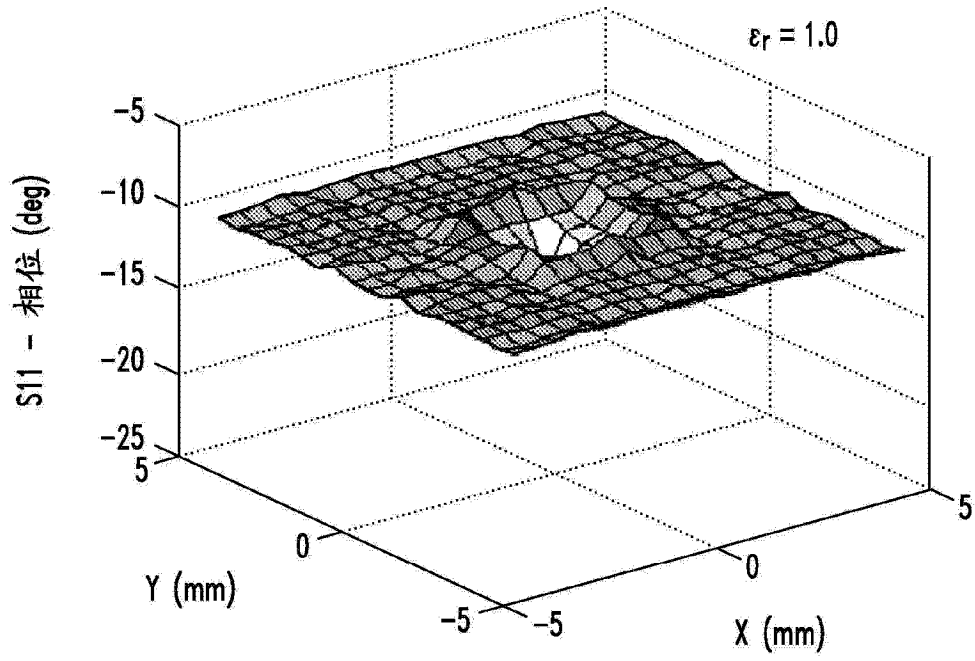


图 8A

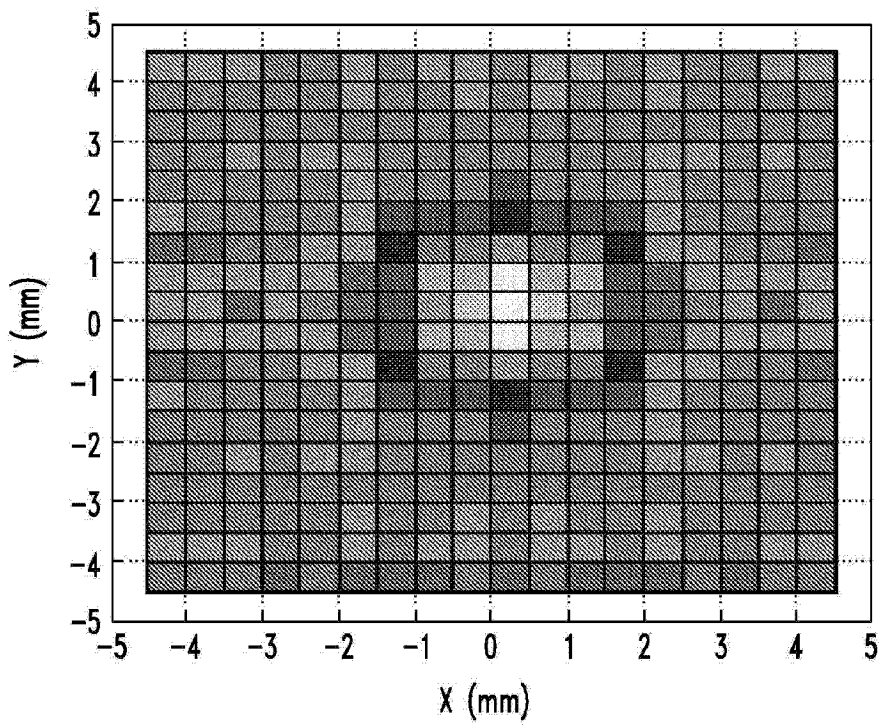


图 8B

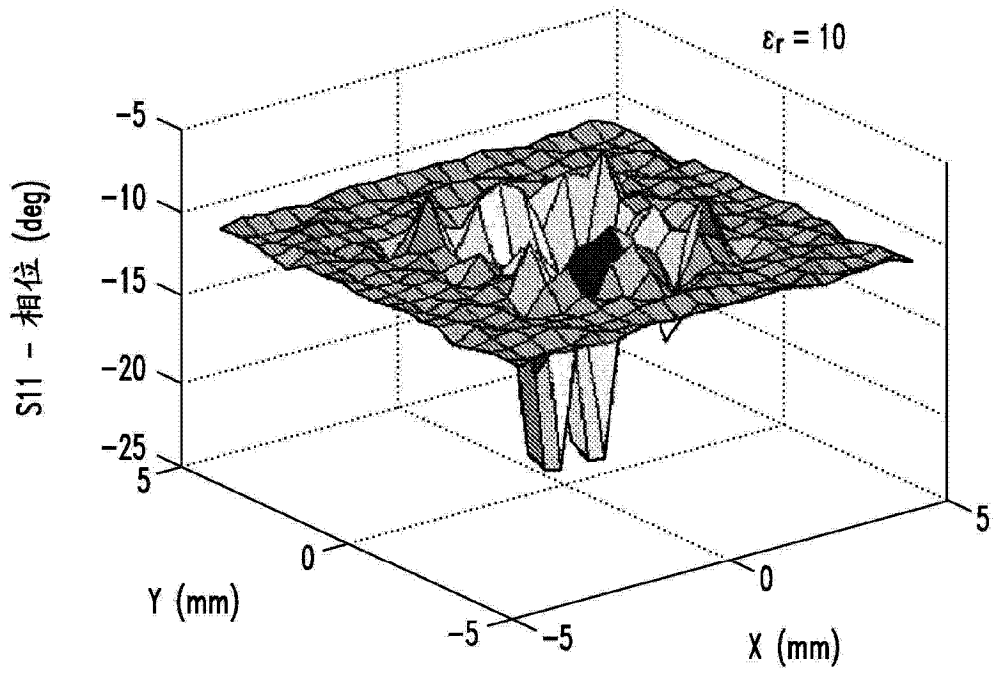


图 9A

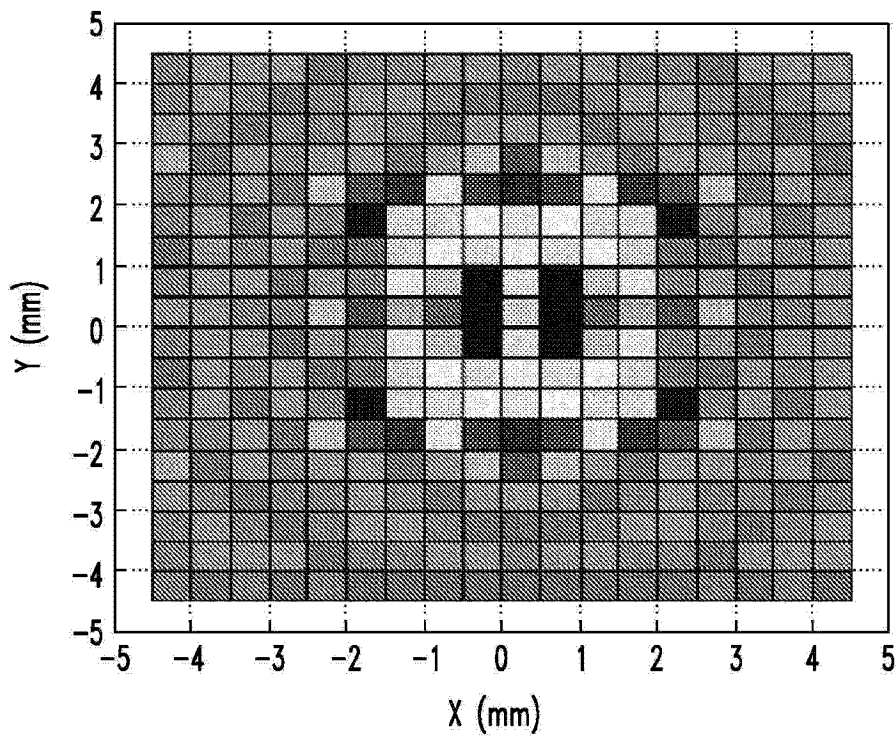


图 9B

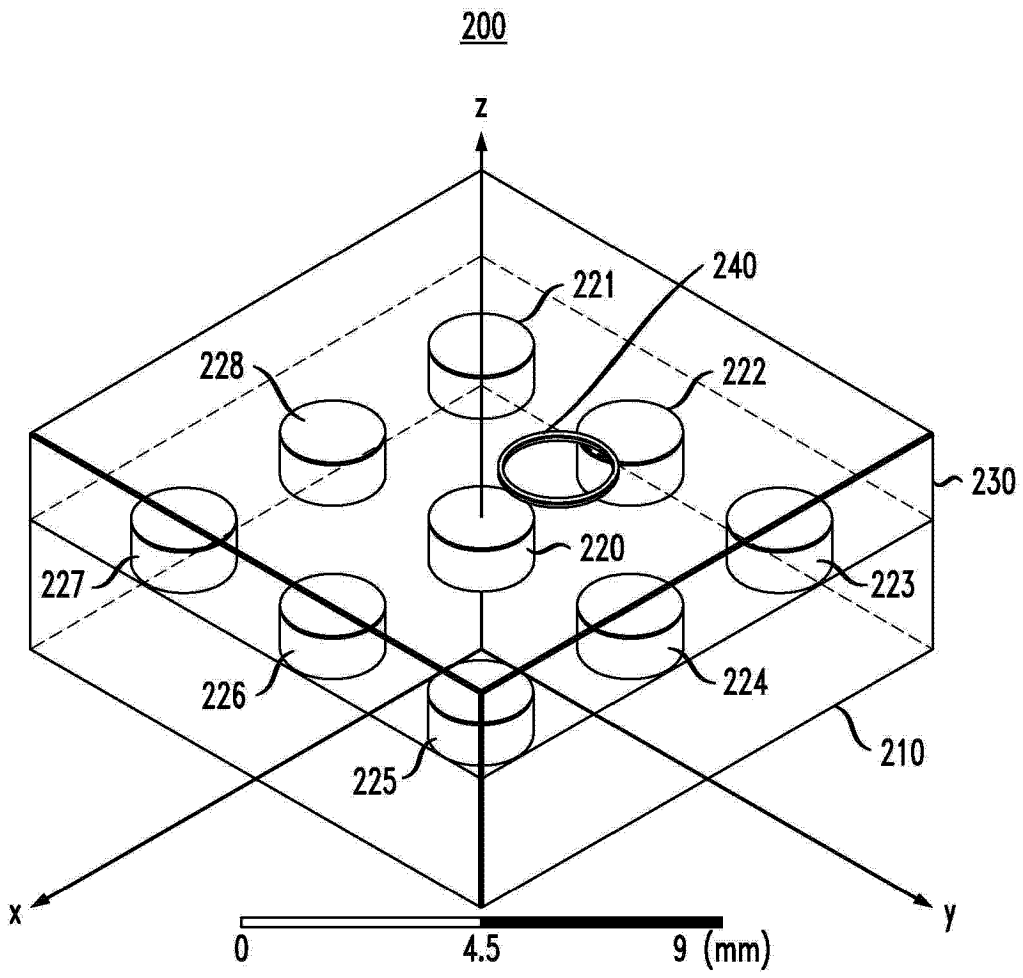


图 10

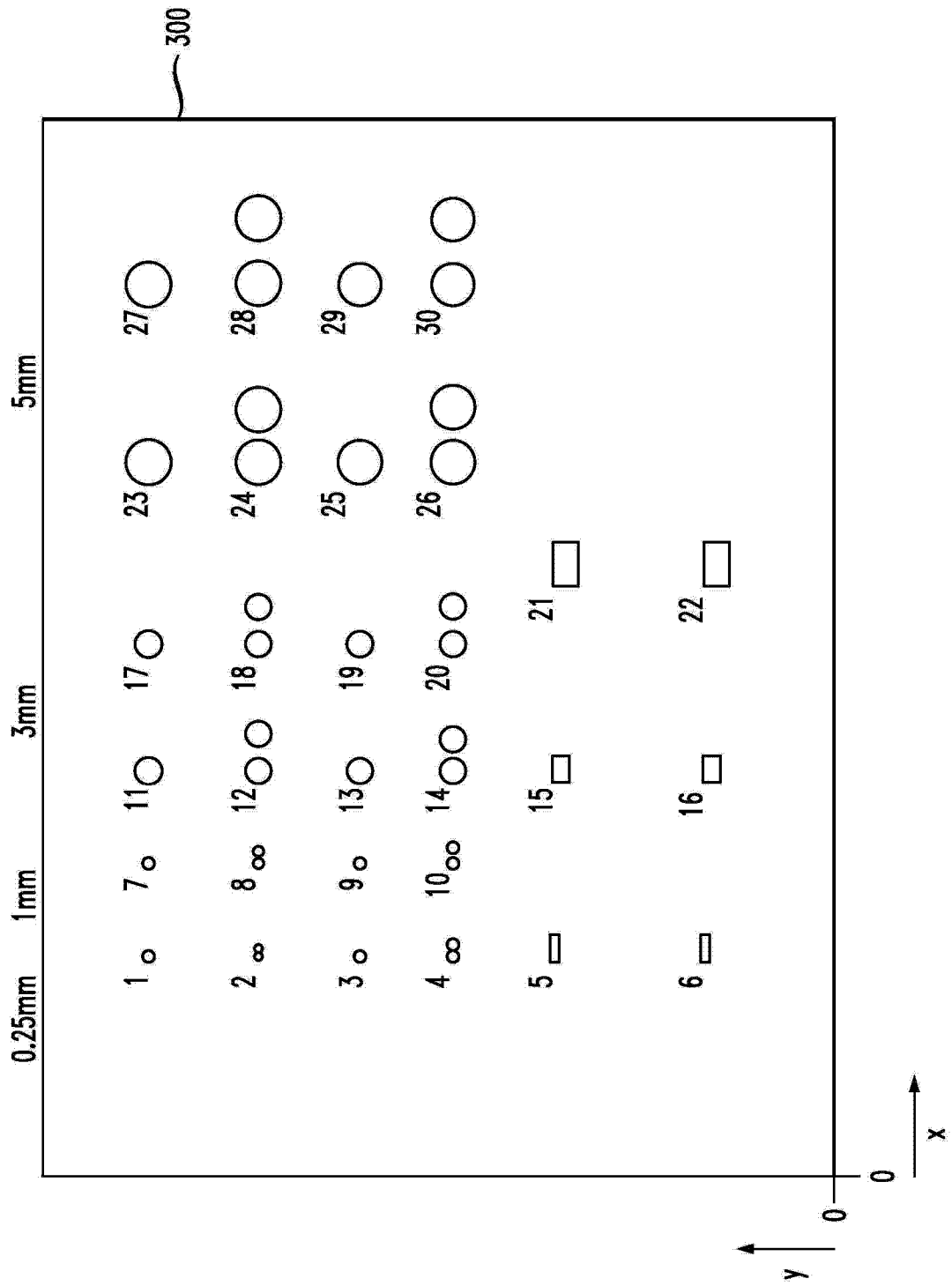


图 11

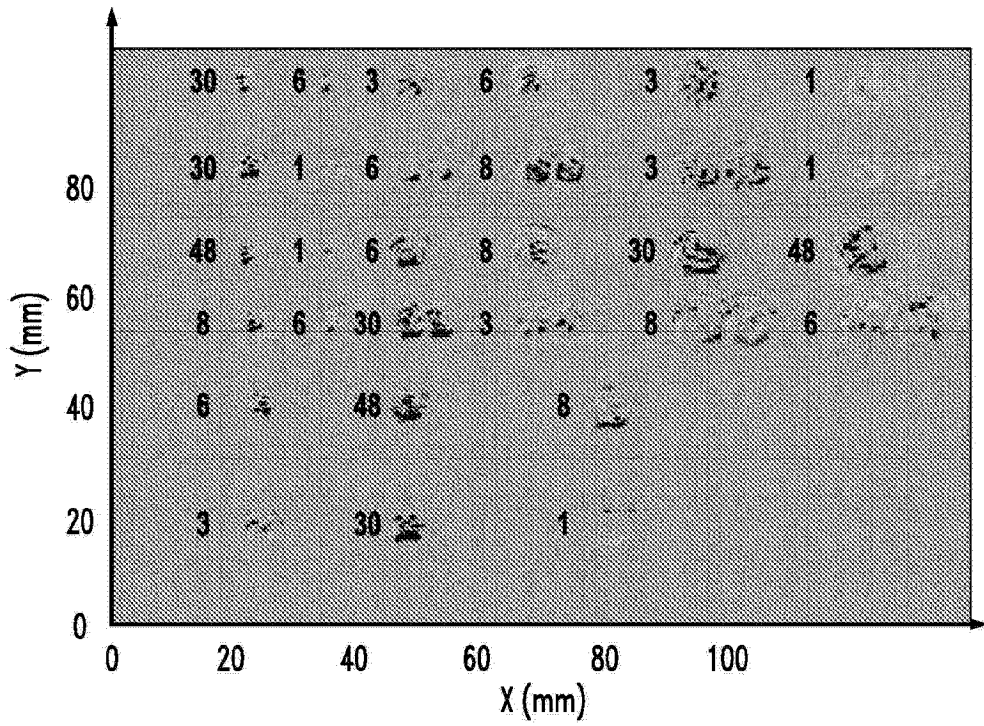


图 12A

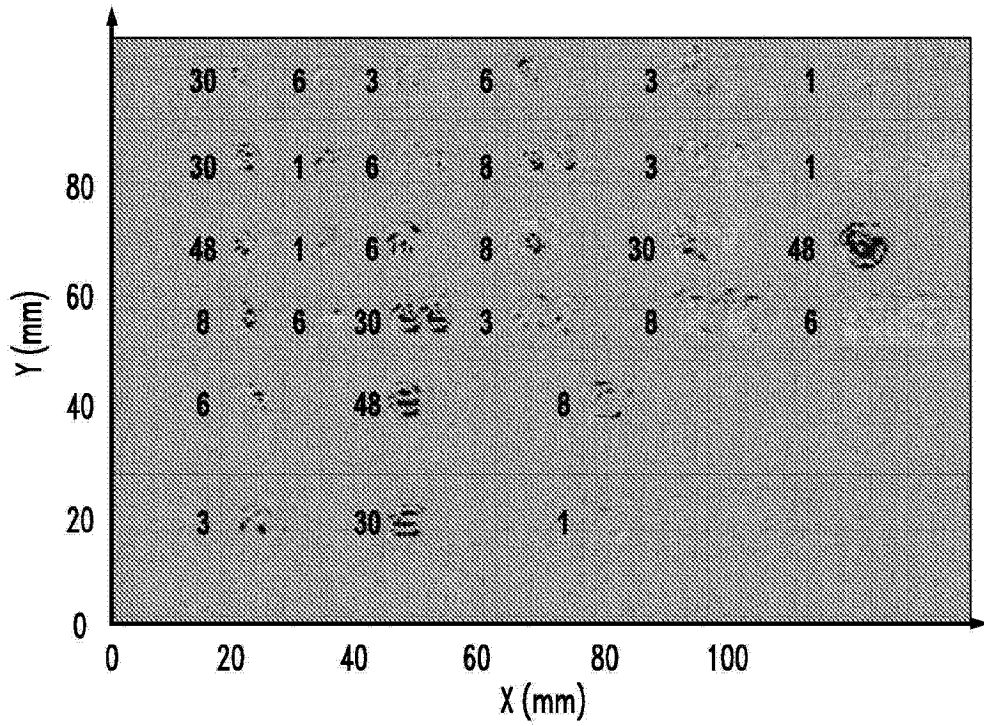


图 12B

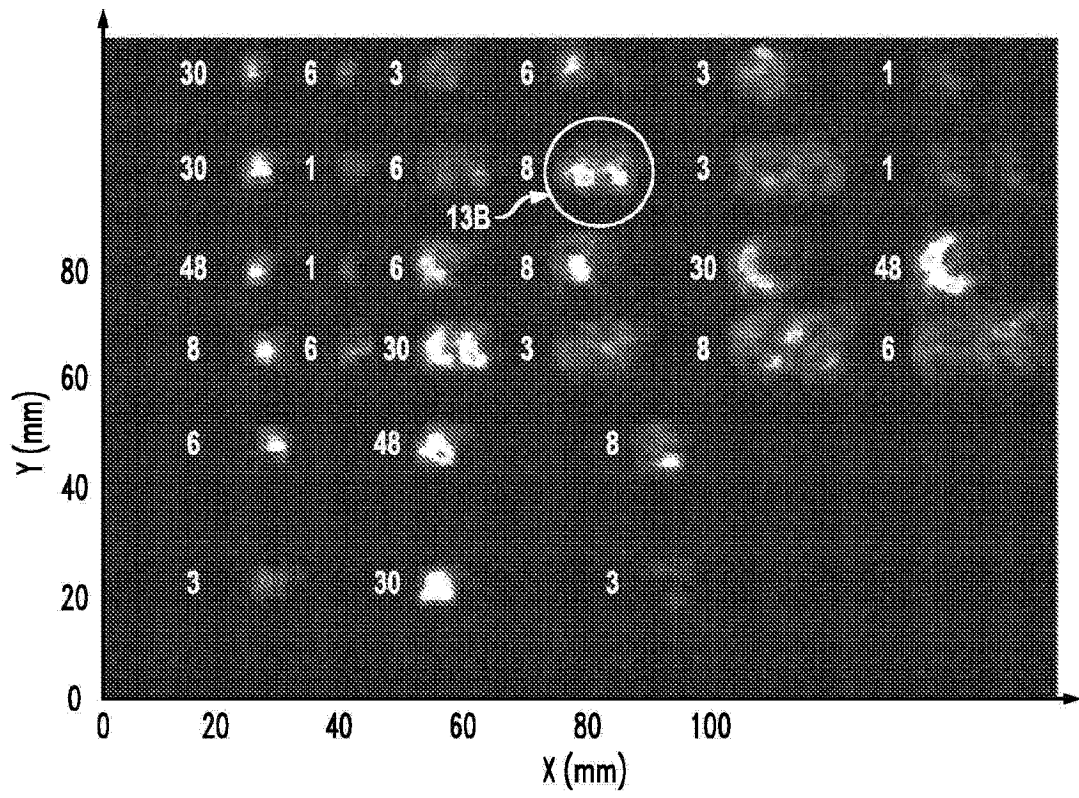


图 13A

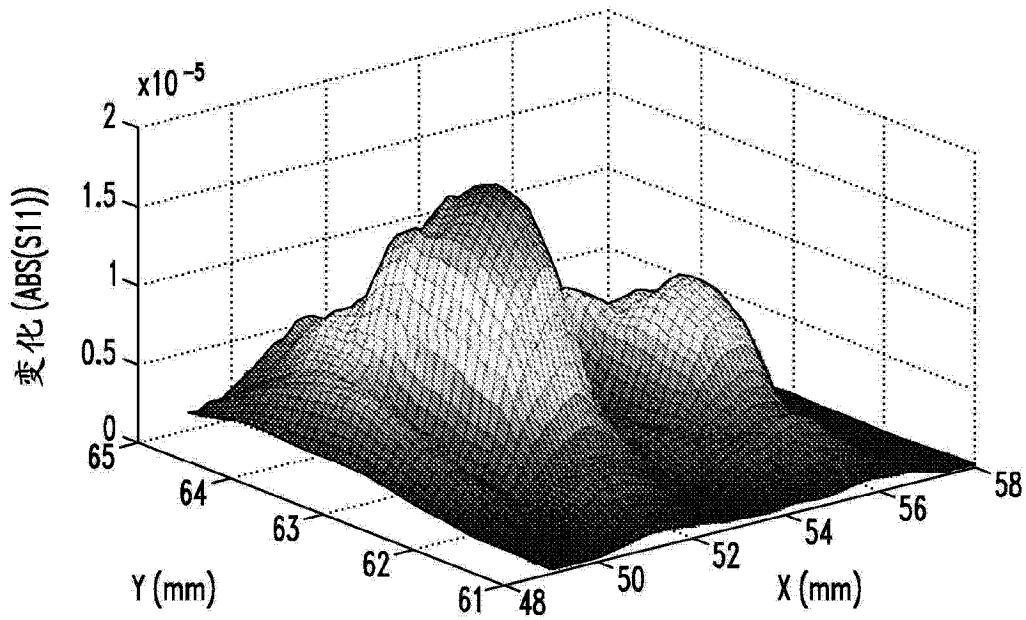


图 13B

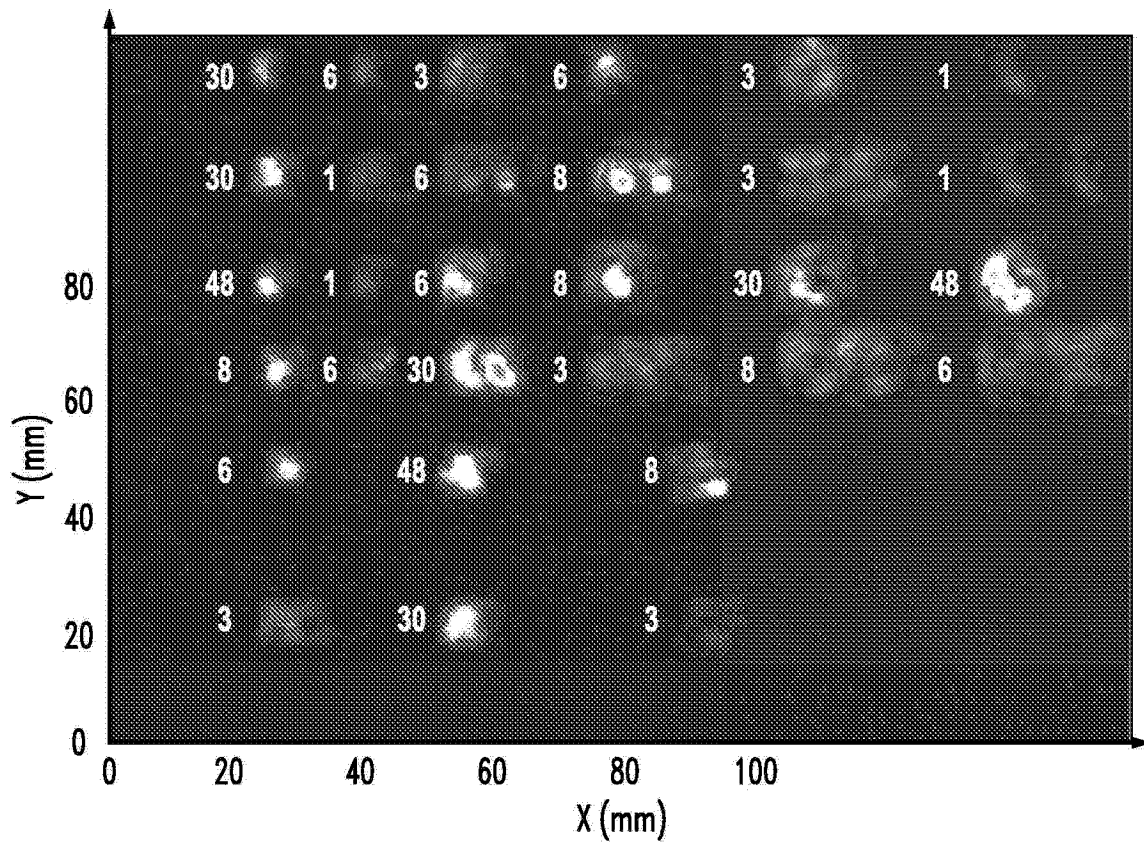


图 13C

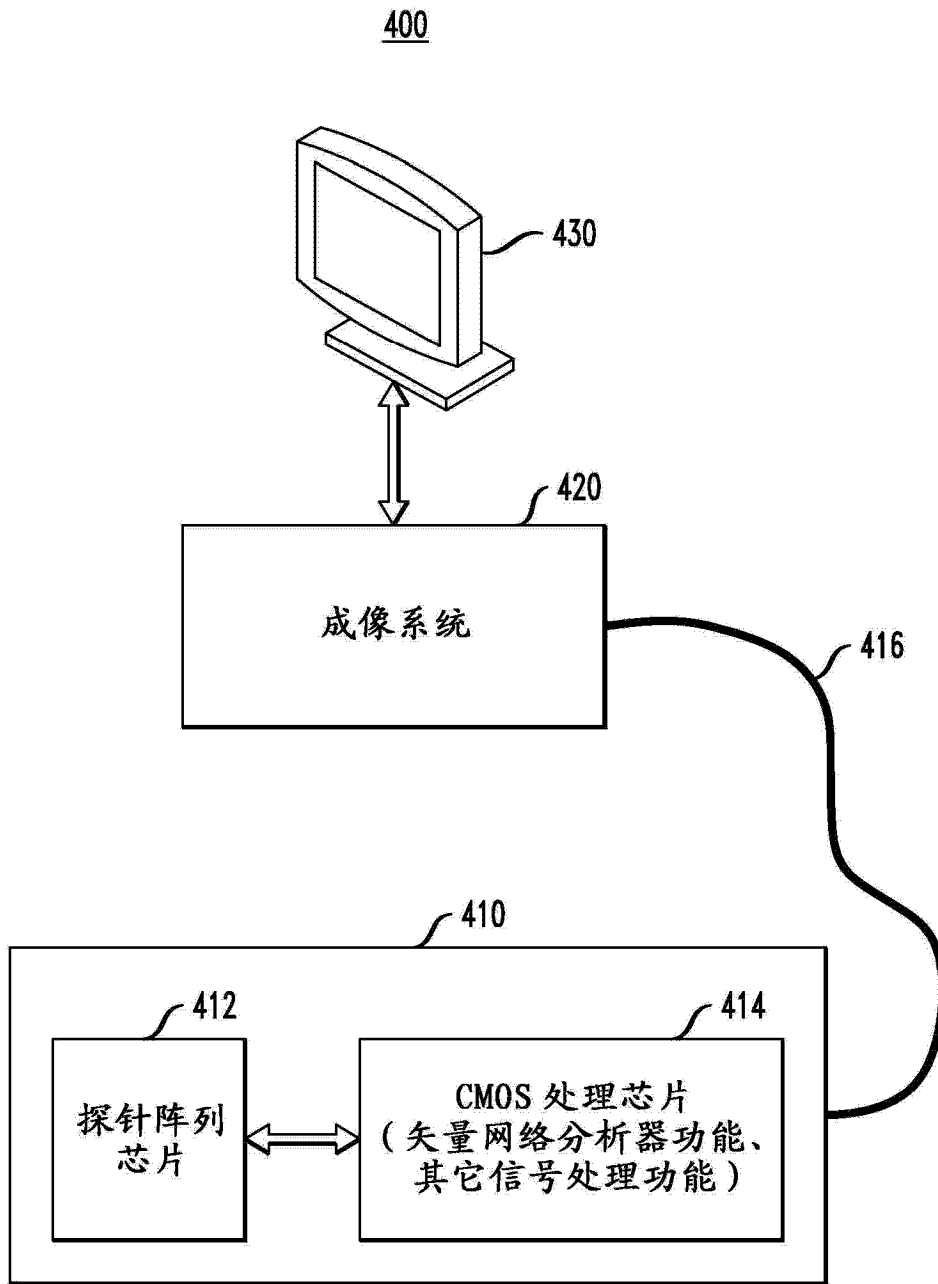


图 14

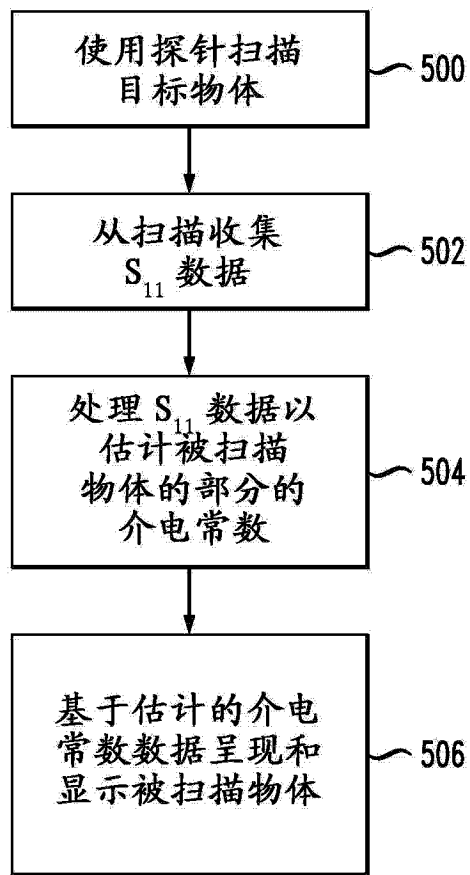


图 15

510

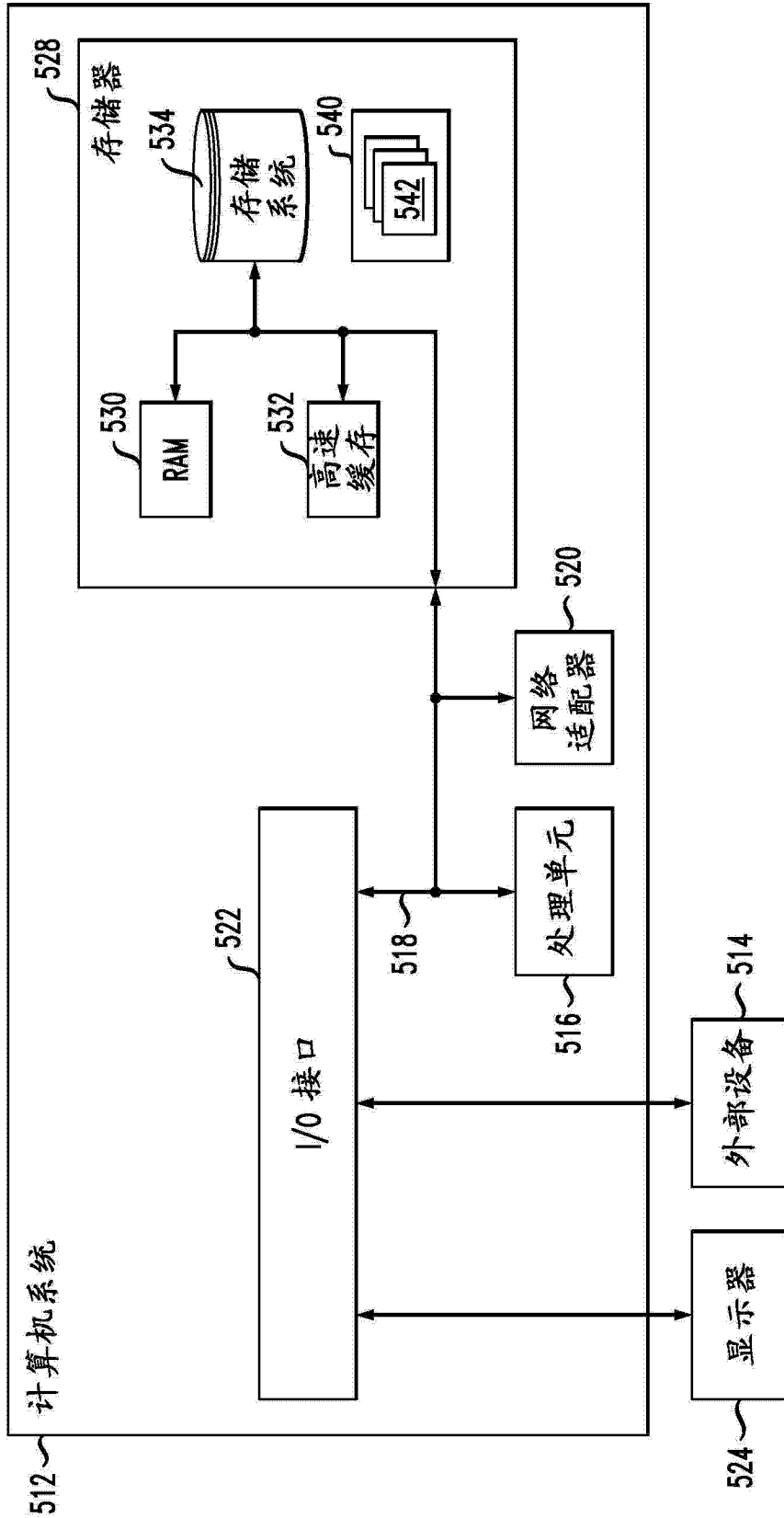


图 16