

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200510116487.0

[51] Int. Cl.

H01L 41/00 (2006.01)

B06B 1/06 (2006.01)

H04R 17/00 (2006.01)

A61B 8/00 (2006.01)

G01N 29/00 (2006.01)

G01S 7/521 (2006.01)

[43] 公开日 2006 年 6 月 28 日

[11] 公开号 CN 1794479A

[51] Int. Cl. (续)

G01S 15/00 (2006.01)

[22] 申请日 2005.10.21

[21] 申请号 200510116487.0

[30] 优先权

[32] 2004.12.21 [33] US [31] 11/018238

[71] 申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 K·E·托梅纽斯 R·A·费舍尔

R·G·沃德尼基 C·R·哈扎德

L·S·史密斯 B·H·海德

K·W·里格比

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 杨凯 张志醒

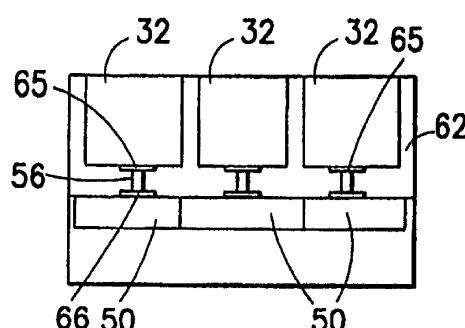
权利要求书 3 页 说明书 20 页 附图 10 页

[54] 发明名称

通道数减少的可重构线性传感器阵列

[57] 摘要

一个可重构的经微加工形成的传感器(如,光学的、热学的、压力的、超声波的)的线性阵列。这种可重构性使传感器单元(32)的尺寸和间距成为与距波束中心距离的函数。这个特征改善了有限通道数的成像系统的性能。对于使用多路传输聚焦带的应用来说,性能的改善来自对某一特定深度进行孔径调节的能力。



1. 一种装置，包括：

5 多个传感器子单元（32），沿一条线并排配置成一行，各所述传
感器子单元包含占据一个近似矩形区域的相应数量的微加工机电组
件，各所述的微加工机电组件包括相应的第一电极，其中构成任意特
定传感器子单元的微加工机电组件的所述第一电极相互电连接且彼
此不能以开关方式断开；

多个导电接入线（34）；

10 多个交接开关（30），当所述交接开关接通时，各所述交接开关
将所述传感器子单元中相应的一个子单元与所述接入线中的一个接
入线电相连；

15 多个矩阵开关（36），当所述矩阵开关被接通时，各所述矩阵开
关将所述传感器子单元中相应的一个子单元与所述传感器子单元中
一个相应的相邻子单元电相连；

多个开关状态控制电路（52），各所述开关状态控制电路控制所
述交接开关中一个相应开关的状态和所述矩阵开关中一个相应开关
的状态；以及

20 一个电连接的编程电路（54），用以依照所选择的、与各孔径对
应的开关配置对所述开关状态控制电路进行编程。

25 2. 如权利要求1所述的装置，其中，各所述微加工机电组件还包
括一个重叠于各空腔上方的相应隔膜，所述相应的第一电极被所述相
应的隔膜支撑。

25

3. 如权利要求1所述的装置，其中，各所述微加工机电组件包括
一个相应的cMUT元件。

4. 如权利要求3所述的装置，其中，各所述cMUT元件为六边形。
5. 如权利要求1所述的装置，其中，各所述开关状态控制电路(52)包括局部缓冲电路，用以存储与接收自所述编程电路的多个开关配置对应的开关状态控制数据。
5 关配置对应的开关状态控制数据。
6. 一个系统，包括：
一个超声波换能器子单元(32)线性阵列，各超声波换能器子单元具有近似矩形的有效面积；
10 多个矩阵开关(36)，配置成当所述矩阵开关被有选择地接通时有选择性地将超声波换能器子单元互相电连接，以构成超声波换能器单元；
与所述线性阵列基本上平行走线的多个导电接入线(34)；
多个交接开关(30)，配置成当所述交接开关有选择地接通时有
15 选择地将超声波换能器单元与接入线电相连；
多个系统通道(58)；以及
一个复用器(28)，具有一个使各所述接入线经由所述复用器与所述系统通道中一个相应的通道电连接的状态，
其中，各所述超声波换能器子单元(32)包括相应的多个电连接
20 的、不能以开关方式断开的cMUT元件。

7. 如权利要求6所述的系统，其中还包括：
多个开关状态控制电路，各所述开关状态控制电路控制所述交接开关中相应的一个开关的状态和所述矩阵开关中相应的一个开关的状态；以及
一个电连接的编程电路，用以依照所选择的开关配置为所述开关状态控制电路编程。

8. 如权利要求 6 所述的系统，其中，所述编程电路将所述开关状态控制电路编程为这样：在第一时间间隔，传感器子单元被连接至接入线而形成构成第一接收孔径的第一组传感器单元；在接着所述第一时间间隔之后的第二时间间隔，传感器子单元被连接至接入线而形成构成不同于所述的第一接收孔径的第二接收孔径的第二组传感器单元。
5

9. 一个系统，包括：

一个超声波换能器子单元（32）的线性阵列，其中各超声波换能器子单元具有近似矩形的有效面积；
10 多个接入线（34）；以及

一个开关网络，包括：第一组开关（36），用以使所选择的超声波换能器子单元相互电连接而形成超声波换能器单元；第二组开关（52），用以使所述超声波换能器单元与所选择的接入线电连接；所述第一和第二组开关依照构成孔径的开关配置来设置，其中，构成所述孔径的所述超声波换能器单元的节距和宽度在所述线性阵列的范围内变化。
15

10. 如权利要求 9 所述的系统，所述系统还包括：

20 多个波束成形器通道（54）；以及
一个复用器（28），用以将所选择的接入线与所选择的波束成形器通道电连接。

通道数减少的可重构线性传感器阵列

5 关于对联邦政府资助的研究与开发的声明

按照美国军队签订的美国政府合约 DAMD17-02-1-0181，美国政府对本发明拥有一定权利。

相关的专利申请

10 本申请是下列专利申请的部分继续申请并要求下列专利申请的优先权：即 2003 年 3 月 6 日提出的、专利号为 10/383,990 标题为“使用微加工超声波换能器的镶嵌阵列”的美国专利申请。

技术领域

15 本发明一般涉及可重构的传感器（如，光学的、热的、压力的、超声波的）阵列。本发明特别涉及可重构的微加工超声波换能器（MUT）阵列。MUT 的一个特定应用是用于医疗诊断超声波成像系统。另一个特定示例是用于材料（如铸件、锻件或管道）的无损测定（NDE）。

20

背景技术

传统的超声波成像系统包括超声波换能器阵列，该超声波换能器阵列被用于发射超声波束、而后接收来自所研究对象的反射波束。这种扫描包括一系列测量，在这些测量中，聚焦超声波被发射，
25 在很短的时间间隔后系统切换到接收模式，而后反射超声波被接收、聚束和处理以用于显示。通常，在每个测量中，发射和接收被聚焦在同一方向上，以此，从沿着声束或扫描线的一系列点上获取数据。当反射超声波被接收时，接收器被沿着扫描线连续地再聚焦。

针对超声波成像，阵列通常包括多个换能器，这些换能器被安置成一行或多行并且在传输过程中由独立的电压驱动。通过选择所施加电压的时间延迟（或相位）和振幅，可控制一个特定行上的各个换能器以产生超声波，这些超声波组合而构成沿着最佳矢量方向传播且在一个沿波束的所选择区域被聚焦的净超声波。
5

在接收模式下使用换能器探头接收反射声时，适用相同的原理。把接收换能器上生成的电压加起来，这样，净信号表示从物体的单个聚焦带反射的超声波。正如发射模式一样，通过削弱加在每个接收换能器发出信号上的独立时间延迟（和/或相移）和增益可以实现这种超声波能量的聚焦接收。可以用回波信号深度的增加来
10 调节时间延迟，以提供接收上的动态聚焦。

成像质量或分辨率部分地取决于构成换能器阵列中发射孔径和接收孔径的换能器数目。因此，为了取得较高的图像质量，对于 2 维和 3 维的成像应用来说，需要大量的换能器。超声波换能器通常
15 位于一个手提式换能器探头中，该手提式换能器探头通过一条柔软的电缆线与一个处理换能器信号并生成超声波图像的电子部件相连。所述换能器探头可同时带有超声波发射电路和超声波接收电
路。

可重构超声波阵列是这样的阵列：使成组的子单元动态地连接
20 在一起，这样，可将由此产生的单元形状作得与波阵面的形状相匹
配。这样可以导致性能的改善和/或通道数的减少。可利用开关网
络实现可重构性。

MUT 的一个优势是：可利用半导体制作工艺制造 MUT（例如，在“微加工”标题下的微制造工艺）。正如在美国专利 6,359,367
25 中所解释的那样：

“微加工指显微结构的形成，这种显微结构的形成利用了（A）图案形成设备（通常为平版印刷术，如投影式光刻机或晶片分节器）
和（B）淀积设备（如 PVD（物理汽相淀积）、CVD（化学汽相淀积）、

LPCVD (低压化学汽相沉积)、PECVD (等离子体化学汽相沉积)) 以
及 (C) 蚀刻设备 (如湿式蚀刻、等离子腐蚀、离子研磨、溅射蚀
刻或激光蚀刻) 的组合或子系统。通常，在由硅、玻璃、蓝宝石或
陶瓷制的衬底或晶片上实施微加工。这种衬底或晶片通常是非常平
5 坦和光滑的，其侧边的尺寸为几个英寸。当这些衬底或晶片从一种
处理设备移至另一个处理设备时，通常被成组地装盒进行处理。每
个基片可以方便地 (但不是必需的) 将大量的重复产品合并在一起。
目前存在着两种类型的微加工：1) 立体微加工，其中晶片或基片
10 在厚度上大部分被雕刻，以及 2) 表面微加工，其中的雕刻通常只
限于表面，尤其是只限于表面很薄的积淀薄膜。这里的微加工定义
涵盖传统的或公知的可用于微加工的材料的使用，这些材料包括所有
类型的硅、蓝宝石、玻璃材料以及聚合物 (如聚酰亚胺)、多晶
硅、氮化硅、氧氮化硅、薄膜金属 (如铝合金、铜合金和钨)、旋
涂玻璃 (SOG)、可掺杂或扩散的掺杂物和生长薄膜 (如氧化硅和氮
15 化硅)。”

在本说明书中，对微加工采用了相同的定义。由这种微加工工
艺产生的系统通常被称为“微加工机电系统 (MEMS)”。

通常 cMUT 为六边形结构，有一个隔膜在其间伸展。该隔膜被
一个外加偏压固定在基片表面附近。通过将一个振荡信号加到已经
20 外加偏压的 cMUT 上，可以使隔膜振动，从而使隔膜发射声能。同
样地，当声波入射到隔膜上时，由此产生的振动可作为 cMUT 上的
电压变化被探测。cMUT 元件是用来描述这些六边形“鼓膜”结构中
单个结构的术语。cMUT 元件可能是非常小的结构。典型的元件尺寸
是从六边形的一个平直边至另一个平直边为 25 至 50 微米。在许多
25 方面，元件的尺寸由所设计的声学响应来规定。要制造较大尺寸的
元件同时又要求在所期望的频率响应及灵敏度方面表现良好也许是
不可能的。

生产出允许对这种小元件实施单独控制的电子装置是很困难

的。虽然就阵列的声学性能整体而论，小元件尺寸相当好且具有很大的灵活性，但是控制只限于大的结构。将多个元件组合起来并将它们电连接而形成一个较大的子单元，这个子单元可带有单独控制同时又维持所期望的声学响应。所以，子单元是一组通过电连接的 5 元件，不能被重构。对于本公开而言，子单元是最小的可被独立控制的声学部件。可用开关网络将子单元连接来构成单元。通过改变开关网络的状态可以重构单元。然而，子单元包含所连接的、不可用开关控制断开的元件，因此子单元不能被重构。

超声波系统的流行趋势是朝着更小、更便携的方向发展。也许 10 有一天，一个很小的掌上型超声波系统将代替听诊器作为医生的标准装备。为了实现这种小型的超声波系统，减少聚束通道的数目是必须要做的一件事。基本问题是：减少系统通道数的同时保持适当的聚束性能（分辨率和对比度）。为了保持分辨率，不必减小孔径。对于一个标准阵列来说，这就意味着随孔径尺寸的增加通道数必须 15 增加或者是通道之间的节距必须增加。对于一个标准阵列来说，节距增加受限于粗步幅（接近于一个波长）。以均匀的方式在整个阵列范围增加步幅尺寸会导致栅瓣，这不是所期望的结果。

所有现行的超声波线性阵列探头都具有恒定的节距。减少通道数通常意味着要放弃孔径或容忍栅瓣。一种减少通道数又不产生栅瓣的方法是波束成形器折叠。对于线性阵列来说，波束中心两侧的 20 延迟是对称的。这就意味着：通过把这些对称单元连接到同一系统通道的多路复用方案可以实现使通道数减少一半。然而，对于数目众多的系统通道来说，这种多路复用方案可能会变得非常复杂。而且，现行的多路复用方案不能提供完全的可重构性，因为这些方案 25 局限于在固定位置上相对较大尺寸的单元。另一种用来增加通道数的方法是使用合成孔径方案。这里，较大的孔径建立于多路传输上。这样可能会导致通道数的显著减少，但同时由于需要多路发射而遭遇下降的信噪比和帧频损失。移动还可能在合成孔径图像中引入赝

像。

对于一个通道数减小的系统来说，需要保持孔径尺寸并且不产生栅瓣。

5 发明内容

本发明的目标是可重构的微加工传感器（如光学的、热学的、压力的、超声波的）线性阵列。可重构性使得传感器单元的尺寸和节距成为距波束中心距离的函数。这种阵列改善了有限通道数的成像系统的性能。对于使用多路传输聚焦带的应用来说，改善的性能来自对特定深度调节孔径的能力。

本发明的一个方面是一个这样的装置，该装置包括大量的传感器子单元，这些传感器子单元沿一条线排成一行，每个传感器子单元各包括大量的微加工机电组件，所述大量的微加工机电组件占据了一个近似矩形的区域，并且每个微加工机电组件包括一个相应的电极，其中组成任何特定传感器子单元的微加工机电组件的电极相互电连接且彼此不可用开关控制断开；该装置包括大量的导电接入线；该装置包括大量的交接开关，当交接开关被接通时，每个交接开关将传感器子单元中相应的一个与接入线中的一条电连接；该装置包括大量的矩阵开关，当矩阵开关被接通时，每个矩阵开关将传感器子单元中相应的一个与传感器子单元中相应相邻的一个电连接；该装置包括大量的开关状态控制电路，每个开关状态控制电路控制了交接开关中相应的一个和矩阵开关中相应的一个；该装置包括一个编程电路，该编程电路通过电连接，依照所选择的、与相应孔径对应的开关配置，用于对开关状态控制电路进行编程。

本发明的另一方面是一个这样的装置，该装置包括：大量的、近似矩形的微加工传感器子单元，这些传感器子单元在第一层沿一条线排成一行；大量的接口元件电子元件，这些接口元件电子元件在第二层沿一条线排成一行，第二层相对于第一层固定并且位于第

一层的下方，各接口元件电子元件位于相应的传感器子单元下方；大量的电连接线，各电连接线将接口元件电子元件中相应的一个与传感器子单元中相应的一个电连接；以及大量的导电接入线，其中，各元件电子元件包括：一个交接开关，当交接开关接通时，交接开关将相应的传感器子单元与接入线中的一条电连接；一个矩阵开关，当矩阵开关接通时，矩阵开关将相应的传感器子单元与传感器子单元中相应相邻的一个电连接；以及一个开关状态控制电路，用于控制交接开关和矩阵开关的状态。

本发明的又一个方面是这样一个系统，该系统包括：超声波换能器子单元的线性阵列，各超声波换能器子单元带有一个近似矩形的有效面积；大量的矩阵开关，当矩阵开关被选择性接通时，这些矩阵开关选择性地将超声波换能器子单元相互电连接以构成超声波换能器单元；大量的导电接入线，这些接入线与线性阵列基本并行；大量的交接开关，当交接开关被选择性接通时，这些交接开关选择性地将超声波换能器单元与接入线电连接；大量的系统通道；以及复用器，各接入线经由复用器与通道相应的一个系统通道电连接。其中，各超声波换能器子单元各自包括大量的、电连接的且不可用开关断开的 cMUT 元件。

本发明的又一个方面是这样一个系统，该系统包括：超声波换能器子单元的线性阵列，每个超声波换能器子单元都带有一个近似矩形的有效面积；大量的交接开关；以及一个开关网络，该开关网络包括第一组用于将所选择的超声波换能器子单元相互电连接以构成超声波换能器单元的开关，以及第二组用于将超声波换能器单元与所选择的接入线电连接的开关，第一组开关和第二组开关按照构成孔径的开关配置设置，其中构成孔径的超声波换能器单元的节距和宽度在整个线性阵列中是变化的。

下面，将对本发明的其它方面进行揭示并声明其权利要求。

附图说明

图 1 是表示典型 cMUT 元件的剖面图。

图 2 是表示本发明实施例的线性换能器阵列中一个子单元的六边形 MUT 元件的示意图。

5 图 3 是表示一个微加工结构的透视图，该微加工结构包括一个由 cMUT 元件制成的 1 维或 1.5 维的换能器单元阵列。

图 4 是表示在线性换能器阵列中一个孔径两侧的延迟轮廓线（即，侧向距离）是如何随深度的增加而改变的曲线图。

10 图 5 是表示在线性换能器阵列中一个完全动态可重构孔径如何作为深度增加的函数而增长的曲线图。

图 6 是表示线性换能器阵列的一个孔径随深度增加而增长和重构的示意图。荫影区域表示与相应系统通道连接的阵列单元。

15 图 7 是表示线性换能器阵列的一个孔径，该阵列单元的宽度和节距是变化的，带荫影线的区域表示与相应系统通道连接的阵列单元。

图 8 是表示本发明实施例的用于使声学子单元相互连接并与系统通道连接的各种开关的示意图。

图 9 表示一个用以使与换能器阵列垂直并位于阵列的有效部分中心的波束在一点聚焦的、典型的延迟轮廓线。

20 图 10 表示一个具有图 9 所示延迟轮廓线的换能器阵列的孔径分成 10 个通道的示例。

图 11 是表示由此生成的、基于图 10 的示例的等矩量化延迟图形的示图。

图 12-14 是表示辐射图的模拟结果的曲线图。

25 图 15 是表示 cMUT 和专用集成电路 (ASIC) 阵列的共集成组件的剖面图。

图 16 是表示一个与 ASIC 开关矩阵相连的 cMUT 晶片的剖面图。

图 17 表示如先前在美国专利申请 10/248,968 中所揭示的交接

开关和用于控制该交接开关的状态的电路。

下面将参考附图对本发明进行描述，在不同的附图中相同的附图标记代表相同的部分。

5 具体实施方式

本发明的目标是提供一个可重构的开关矩阵，利用所述的可重构开关矩阵改变相关传感器线性阵列的尺寸和节距，而所述的尺寸和节距是距波束中心距离的函数。出于说明的目的，将以电容式微加工超声波换能器（cMUT）为参照对可重构线性阵列进行描述。然而，应当理解：这里所揭示的本发明的各个方面并不将其应用局限于使用 cMUT 的探头，而是还可应用于使用 pMUT 的探头。本发明的相同形态还可应用于微加工的光学、热学或压力传感器的可重构阵列。

图 1 是表示一个典型的 cMUT 换能器元件 2 的剖面图。通常在基片 4（如重掺杂的硅（因而成为半导体）晶片）上构建这种 cMUT 换能器元件阵列。对于每个 cMUT 换能器元件来说，由氮化硅制成的膜片或隔膜 8 被悬挂于基片 4 的上方。膜片 8 被外围的绝缘支撑物 6 所支撑，绝缘支撑物 6 由氧化硅或氮化硅制成。膜片 8 和基片 4 之间的空腔 14 可以充满空气或充满气体或全部被抽空或部分被抽空。通常，cMUT 被抽空到工艺允许的真空程度。导体材料薄膜或导体材料层（如铝合金或其它适当的导体材料）在膜片 8 上构成了电极 12，由导体材料制成的另一薄膜或另一层在基片 4 上构成了电极 10。另一方面，也可以通过适当掺杂的半导体基片 4 来构成底部电极。

被空腔 14 隔开的两个电极 10 和 12 构成一个电容。当入射声信号使膜片 8 振动时，可以使用相关的电极（图 1 中未示出）来探测电容内的变化，从而使声信号转换成电信号。相反地，施加在其一个电极上的交流电信号将调节电极上的电荷，依次促成电极间

电容强度的调制，后者引起隔膜移动并因此发射一个声信号。

单独的元件可以是圆形的、矩形的、六边形的或其它外围形状。六边形为换能器子单元的 cMUT 元件提供了紧凑封装的拼装。cMUT 元件可具有不同的尺寸，这样换能器子单元将具备不同元件尺寸的
5 合成特性，从而赋予换能器宽带特征。

不幸地是，难以制造出能对这样的小元件实施单独控制的电子线路。虽然在阵列的声学性能方面是一个整体，且小元件尺寸能够很好地具有大的灵活性，但是控制被限于较大的结构。将多个元件组合起来并将它们通过电连接起来以此生成一个较大的子单元，这
10 个子单元可带有单独控制同时又维持了所期望的声响应。使用开关网络将子单元连接起来可以构成环或单元。通过改变开关网络的状态可以重构单元。然而，单独的子单元不能被重新配置以构成不同子单元。

利用美国专利申请 6,571,445 所揭示的制造技术，可以在微加
15 工过程中将 MUT 元件连接在一起，以此构成子单元。因此，不需要介入开关就可以将 MUT 元件连接起来（也就是说，MUT 元件彼此之间不能以开关方式断开）。接下来，将利用术语“声学子单元”来描述这种集群。这些声学子单元可依次通过微电子开关相互连接，通过将这种开关布置到硅层内或布置到直接与换能器阵列相邻的不
20 同基片上，从而构成较大的单元。

正如这里所用到的，术语“声学子单元”指单个元件或一组电连接的元件，不能被重构，也就是说，子单元是最小的独立可控的声学部件。术语“子单元”指一个声学子单元及其相关的集成电子线路。利用开关网络将子单元连接在一起以此构成一个“单元”。
25 通过改变开关网络的状态可以重构单元。正如下面详细解释的，包括在开关网络中的至少某些开关为“相关的集成电子线路”的一部分。

正如美国专利申请 10/383,990 中所揭示的，通过使一组六边

形 cMUT 元件相互连接可以构成换能器子单元。子单元中每个 cMUT 元件的顶部电极电连接在一起，这种连接不能以开关方式断开。在六边形阵列的情形中，六条导线从顶部电极向外辐射（图中未示出）并分别被连接到相邻 cMUT 元件的顶部电极（除了元件处于外围的情形，在该情形中，每个元件与其它 3 个元件、而不是 6 个元件相连）。同样地，子单元中每个元件的底部电极电连接在一起，这种连接不能以开关方式断开。如图 2 所示，子单元 16 的一部分带有 5 列元件 2，这 5 列可伸展地尽可能远直至充满给定子单元的尺寸。另外，所构建的线性阵列也可带有包含多于或少于 5 列 cMUT 元件的子单元。

对由 cMUT 元件组成的单元线性阵列的设计通常在图 3 中被描述。在本例中，使用微加工技术可以将多个 cMUT 单元构建于互补型金属氧化物半导体（CMOS）晶片 18 上。所安置的 cMUT 元件构成了一行以水平方向排列的超声波换能器单元 20，每个单元 20 占据了一个近似矩形的区域，单元是并排放置的。每个单元 20 的 cMUT 元件被平行连接。每个单元 20 可包括 100 至 1000 个 cMUT 元件（也就是说，填满给定子单元尺寸所必需的任意数目）。例如，一个子单元可包括被安排成 6 列的多个六边形元件，每一列有 100 个元件，通常按垂直方向排列。一个子单元的所有 cMUT 元件一起共振生成超声波阵面。依次，这些子单元可以用开关控制连接，以此形成可变尺寸和节距的换能器单元。

如图 3 中的虚线所表示的，为了提供一个 1.5 维的换能器阵列，通常可以将每个矩形区域分成 3 个近似矩形的子区域 22、24、26。子区域 22 和 26 的长度相等，它们的长度通常（但不是必需）小于中心子区域 24 的长度。依照这个可选实施例，子区域 22 中的 cMUT 元件被相互连接起来，并且彼此不能以开关方式断开；子区域 24 中的 cMUT 元件被相互连接起来，并且彼此不能以开关方式断开；子区域 26 中的 cMUT 元件被相互连接起来，并且彼此不能以开关方

式断开，由此在每一列形成了 3 个子单元。在这种情形下，最好在传输期间同时激活子区域 22 和 26 的 cMUT 元件，但是在某些配置中它们是独立的。

当然，可将前述的概念推广而建立带有多于三行换能器单元的 5 探头。

这里公开的发明试图利用可重构性作为减少通道数的一种手段。可重构性可具有不同的意思。一个完全可重构阵列具备了将 2 维阵列中任一子单元连接至任一系统通道的能力。基础的 2 维阵列可具有与电流换能器阵列相等的总尺寸，或者其垂直尺寸大于电流 10 元件阵列。可被重构还意味着：由子单元至系统通道的这种映射可被动态改变。例如，可以期望针对图像中的每个波束或针对每个焦深重构阵列。或者，可以期望针对发射和接收具有不同的配置。如果想要推动技术进一步向前发展，则要能够连续地改变作为接收期间深度函数的配置。在实际中，提供可重构性是一个挑战；尤其是 15 所描述的动态接收可重构性。作为结果，最好处理有更多受限的可重构性的情形。

图 4 显示了在线性换能器阵列中一个孔径两侧的延迟轮廓线是如何随深度的增加而变化的。在近场（即，在较浅的深度处），从孔径的中心朝着边缘向外移动时，延迟会快速变化。当深度增加时， 20 延迟轮廓线变平，并且从孔径中心到边缘的改变逐渐平缓（即，变化较小）。

图 5 表示完全动态可重构孔径作为递增深度的函数是如何增长的。这里，可重构性只限于水平方向。中心的两条线代表了中心单元的边缘。每隔 4 个单元被显示。这种类型的可重构性提供了最大 25 优势，因为在近场，尽管孔径较小，可重构性使得所有通道被使用，这与延迟误差较大时简单关闭通道的情形相反。随着深度增加单元的范围扩大。可重构性利用了下列事实：当深度增加时，延迟轮廓线变平。这意味着单个单元尺寸可以随深度的增加而增长却不会引

起这些单元的延迟误差的增加。不具备可重构性的话，对于最浅的成像深度来说，单元尺寸可由孔径外边缘处所需的抽样确定。这意味着：要获取相同的横跨单元的延迟误差，需要更多的通道。但是，如果阵列可以动态地改变单元的尺寸和节距，则可以利用与深度有关的延迟曲线来配置阵列。

线性阵列可重构性的理想实现使得配置作为深度函数而动态改变成为可能。在许多独立的步骤中会发生这种可重构性。这种类型的可重构性需要的是配置之间非常快速的而基本无噪声地转换。并需要专门的模拟和数字混合电路。

为了提供开关状态的快速、小功率、低噪声的重构性，可利用对一行的所有深度配置的局部缓冲。例如，在一个集成的可重构线性开关阵列中，对每一行需要多达 10 个不同的深度区域，阵列中每个开关有 10 个局部缓冲器将被集成在同一芯片上。在一给定行被成像前，对相应开关装载所有 10 个缓冲器。然后，在行成像期间，
15 在每个深度转变处，为给定开关选取来自相应缓冲器的数据。

连接公用基片和输入焊盘焊盘会将数字噪声被耦合进敏感模拟电路。通过局部存储数据，这种作用导致的噪声耦合被减少。另外，这种方法会带来功率节省和转变速度的增加，因为局部缓存数据只被发射较短的片内距离而不是距探头控制电子元件或甚至距系统电子元件的距离。通过只对那些对每个随深度的配置改变而变化的开关进行重新编程，可以进一步节省功率。
20

在一个将被用于小功率系统的线性可重构阵列中，从一个孔径移向下一个孔径时，开关改变量最好达到最小。通过将一个局部存储器维持在各单元的各相应控制电路内，可使开关变化量达到最小。在成像序列的开始，初始图案被写入单元中。图 6 表示一个孔径，它随深度增加而增长和重构。荫影区域代表通过相应的交接开关被连至系统通道的阵列单元。当如图 6 所示的图案增长时，通道
25 通道图从中心向外移，并且在每个发射状态都有轻微的增长。通过

使已有的图案向外移（对于阵列的左半部向左移，对于阵列的右半部向右移）可以有效地实现图案的这种变化，同时只对需要重新编程以在其增长时调整图案的那些交接开关和矩阵开关进行重新编程。对于改善的噪声性能，开关状态可以被缓冲，接下来的状态调整在整个有效的编程时间内展开。

另一个可选的实现方式不允许接收期间的可重构性，而是将视场深度分成多个聚焦带。对每个聚焦带，将需要不同的发射和接收周期，因此这个实现方式将限于那些帧频不被关注的或者成像深度不大的情形。对于每个聚焦带来说，都会有一个试图对该特定聚焦带优化单元尺寸和分布的新配置。这种多重带方法具有这样的优点：在近场利用所有通道而不必以允许沿单个接收的深度的重新配置的方式来实现可重构性。图 6 显示了如何针对特定聚焦带或以更动态的方式按深度来重新组织单元。

如图 7 所示，单元的宽度由通过矩阵开关（图 7 未示出）互连的相邻声学子单元的数目来确定。相邻的声学子单元彼此相互连接以此确定了单元的位置。图 7 中描述的孔径包括：一个由互连的 3 个相邻声学子单元构成的单元 40；一个由互连的两个相邻声学子单元构成的单元 42，单元 42 和单元 40 被两个断开的声学子单元 44 隔开；一个由互连的两个相邻声学子单元构成的单元 46，单元 46 和单元 42 被一个断开的声学子单元 48 隔开；等等。

对于 1 维阵列来说，如果具有非常稀疏的、能够选择性地连接到任意或许多系统通道的 MUT 元件列，则该 1 维阵列可具备尺寸和形状的可重构性。每列包括相应的、多个互连的 MUT 元件（彼此不可用开关控制断开），这些互连的 MUT 元件构成了相应的声学子单元。单元定义为一个或多个连接至一个特定系统通道的声学子单元的单元，各单元通过将适当的声学子单元（即 MUT 元件列）相互连接以及将系统通道连接到那组被连接的声学子单元而构成单元。

图 8 表示本发明实施例的线性阵列中一行换能器单元的一部

分。阵列中每个单元包括了各自的声学子单元和相应的开关网络。依次，开关网络包括了一个用于将相关的声学子单元连接到接入线的交接开关和一个用于将相关的声学子单元连接到相邻的声学子单元的矩阵开关。图 8 显示了 3 个声学子单元 32a、32b 和 32c（各包括一个相应列的互连的 MUT 元件），这 3 个声学子单元 32a、32b 和 32c 可以各自通过相应的交接开关 30a、30b 和 30c 转换连接到所选择的系统通道 58；图 8 还显示了相应的接入线 34a、34b 和 34c 以及一个复用器 28。图 8 还显示了 3 个矩阵开关 36a、36b 和 36c，用于使所选择的声学子单元相互电连接。这使得任意数量的声学子单元连接而构成单个的单元。例如，可将矩阵开关 36a 闭合，以使得声学子单元 32a 和 32b 相互连接；同样地，可将矩阵开关 36b 闭合，以使得声学子单元 32b 和 32c 相互连接。可同时闭合矩阵开关 36a 和 36b，以使得声学子单元 32a、32b 和 32c 相互连接。同样地，将矩阵开关 36c 闭合，以使得下一个声学子单元（图 8 中未示出）和声学子单元 32c 相互连接。接着，通过相应的交接开关可以将由此产生的单元与复用器 28 相连。确切地说，使用哪个交接开关依赖于特定的开关配置。例如，如果声学子单元 32a 和 32b 通过闭合的矩阵开关 36a 相互连接，那么由此产生的单元通过交接开关 30a 或交接开关 30b 可以与复用器 28 相连。将这个概念推广开来，如果通过闭合的矩阵开关 36a 和 36b 可以使声学子单元 32a、32b 和 32c 相互连接，则可以通过交接开关 30a、30b 和 30c 中的任何一个使由此生成的单元能够与复用器 28 相连。复用器 28 的状态确定了相应的单元与系统通道 58 的哪一条相连。可将复用器安置到一行（或多行）声学子单元覆盖区外的边缘区域（见图 7）。系统通道 58 将所获得的声学数据输送至超声波成像系统的波束成形器 38。典型的超声波成像系统的其它众所周知的组成部分（如操作者界面、主机、图像处理器、扫描控制器、视频处理器、监视器等）并未在图 8 中示出。

如图 8 所示，每行声学子单元可使用多个接入线。如图 8 所示，
交接开关被交错排列，这样对于给定数目的接入线来说所需要的数
目减少了。也可利用交接开关至总线（图中未示出）的任意排序来
减少由于重复图案造成的赝像。在每个子单元中，不止一个交接开
5 关被用来改善阵列的灵活性。在这样的结构中，灵活性和每个子单
元的交接开关数目之间达到了平衡，在这种结构中交接开关的数目
明显小于接入线和系统通道的数目。在每个单元中每条接入线使用
不止一个交接开关也是可能的。这将提高装置的效率，因为利用多
余的交接开关可以绕过不起作用的交接开关。

10 应当使组成一行声学子单元的多列 MUT 元件的厚度较小，以提
供灵活的配置。然而，如果将开关电子元件直接放置在声学子单元
下方，则这些开关电子元件可占用整列的面积。其占用面积大于一
个 2 维的可重构性方案所允许的面积，在该 2 维的可重构性方案中
两个方向都必须保持较小的尺寸。这种可重构性方案可被扩充以此
15 考虑针对 1.25 维、1.5 维和 1.75 维阵列的多行。

曾经研发了各种不同类型的多行换能器阵列（包括所谓的“1.25
维”、“1.5 维”和“1.75 维”），以改善 1 维阵列受限的俯仰性能。
如这里采用的，这些术语具有下列含义：1.25 维）采用仰角孔径，
但聚焦保持固定；1.5 维）采用仰角孔径，仰角孔径、束控（shading）
20 和聚焦都是动态可变的，但相对于阵列的中心线是对称的；以及，
1.75 维）俯仰结构（elevation geometry）和控制与 1.5 维相似，
但是没有对称约束。1.25 维探头的仰角孔径随梯度而增长，但是该
孔径的俯仰聚焦（elevation focusing）是固定的并且主要由带有
固定焦距（或固定焦点）的机械镜头确定。1.25 维探头可提供实质
上比 1 维探头更好的近场和远场切片厚度性能，并且不需要附加的
25 系统波束成形器通道。1.5 维探头使用附加的波束成形器通道，以
提供动态聚焦和俯仰中的切趾（apodization）。与 1.25 维探头相
比较，1.5 维探头可提供与 1.25 维探头相比拟的细节分辨以及实质

上比 1.25 维探头更好的对比分辨，特别是在中场和远场更是如此。

带有对孔径中所有单元的聚束时间延迟的独立控制的 1.75 维探头允许波束成形器能够自适应地补偿主体内的非均匀传播速度（或者是成像系统或换能器内的非均匀性）。除了这种自适应聚束或相位
5 失常控制之外，1.75 维探头还可支持俯仰方向上有限的波束转向。

高压开关很容易在现有的互补金属氧化物半导体 (CMOS) 技术中实现。因为这种技术可供在控制开关附近的高密度数字控制电路使用，所以尤其引人注目。正如前面所讨论的，这种部件为从一种配置到下一种配置的、非常快速的低噪声和小功率转换提供了可能。
10 这种技术不限于 CMOS，也可使用其它技术（例如微加工机电系统 (MEMS) 开关）。

高压 CMOS 开关由金属氧化物半导体场效应晶体管 (MOSFET) 组成。该类组件具有漏极、源极和栅极连接，这里，栅极上的电压控制了穿越漏极和源极之间沟道的电流通过。较宽的沟道将带有较低的接通电阻，这有益于超声波成像，因为这意味着较少的热噪声被加入到接收信号中。然而，为了生成一个较宽的沟道，需要增加
15 装置的尺寸。

在一个 2 维阵列中，为了形成矩形的组件使之更恰当地安装到 2 维阵列单元下，可以将较宽的组件分割成被称为“指状物”的若干部分。然而，在一个线性阵列中，可使用较长的指状物。通常，
20 明智地设计开关单元使一些非常高且薄的组件恰当地安装到阵列单元下是可能的。另外，由于在阵列垂直方向（短轴）上换能器单元的集成受限，可以确定从阵列中心至阵列顶部和底部的开关电子元件的信号路径。这为更复杂的控制结构的使用或为接通电阻的进一步降低创造了条件。
25

切趾法包括将一组权重因子加于被一个阵列的单元发射或接收的信号上。例如，利用函数（如使单元到单元的转变达到最小的升余弦 (raised cosine)）可以对沿阵列的振幅分布进行平滑处理。

需要用动态切趾法处理可重构孔径。这通过将系统通道切趾法用于从互连（即相连）的子单元接收的信号即可部分地实现。另外，可在子单元层次上应用切趾法，以此提供更精细的控制。

给定了一个单元的尺寸和位置都可动态配置的阵列，必须确定
5 要使用哪种配置。一种可用的算法是尝试使延迟误差在某个方向上
减至最小。对于一个特定焦点来说，可以计算每一列的延迟。已知
这些理想的延迟，可以将孔径分成 N 个通道，并且所有通道都具有
相同的延迟范围。这意味着一个给定通道的最大延迟减去一个给定
10 通道的最小延迟对每一个通道来说都是相同的。所以，将多列组合
在一起，使具有类同延迟的列分配给同一通道。被分配给特定通道
的列数由可接受的延迟范围确定。实际上，这意味着对所有列采用
理想的延迟并将它们分类。通过用最大延迟减去最小延迟可以计算
针对所有列的总延迟范围。接着，用该总延迟范围除以通道数，从而
给出一个给定通道的延迟范围。图 9-11 是表示该过程的一个示
15 例。图 9 是表示与换能器阵列垂直并在阵列的有效部分集中的波束
在一点聚焦的、典型的延迟轮廓线。图 10 是表示将这个孔径分成 10
个通道的例子。时间延迟被分级。时间延迟范围被分成 10 等份。
这样图像区域被分成了 10 个部分。利用分级信息，可将 10 个图像
区域部分映射到可重构线性阵列的实际的列或子单元中，从而确定
20 单元的尺寸和形状。图 11 显示了由此生成的、基于等范围的量化
延迟模式。

不同种类的算法可对孔径进行划分，这样，每个通道的平均延
迟误差是相等的，而不是最大延迟误差。还可利用给定阵列的几何
特性来确定配置的优化算法。这里所揭示的可重构线性阵列不限于
25 这些算法确定的可重构线性阵列。这些算法只是给出的示例，用以
深入理解可重构性是如何工作的。

为了显示可重构线性阵列可能具有的优点，计算辐射图样的模
拟结果。图 10-12 显示了这些模拟的一些结果。孔径的总尺寸在水

平方向是 26mm 以及在垂直方向是 6mm。没有使用垂直聚焦或镜头。

在模拟中使用了 7.5 兆赫兹、60%部分带宽脉冲。在所有情形中，发射焦深均为 30mm。动态接收焦距被用于所有的三种情形，对于图

12、13 和 14 中分别显示的模拟结果来说，其接收焦深分别是 25、

5 30 和 35mm。在所有情形中，对阵列的配置以 30mm 处的点为基础。

每个曲线图显示了 4 条曲线。曲线 A 代表带等节距的 128-单元线性阵列（标准成像配置）。曲线 B、C 和 D 代表分别以 60、32 和 20 个通道为基础的阵列。利用上述的相等延迟范围算法来配置阵列。在

这些深度下，以最少 32 个通道为基础的阵列的性能与 128-单元线性固定节距阵列的性能相似。以 20 个通道为基础的阵列的性能不

10 太好并且视场深度非常小。

图 8 所示的可重构性线性阵列将声学子单元映射到系统通道。

这种映射用来提供改善的性能。可通过开关网络（即交接开关和矩阵开关）实现这种映射，并且开关网络最好直接放置到其上有 cMUT

15 元件被建的基片上，但是所述的开关网络还可放置到在换能器基片附近集成的不同基片上。因为 cMUT 阵列直接被构建于硅基片的顶部，开关电子元件可被结合而进入该基片。

图 15 是表示相互集成的 cMUT 和 ASIC 阵列的剖面图，该图说明如何从 ASIC 连接到 cMUT。如图所示，单个通路 56 被用于将每个

20 cMUT 声学子单元 32 连接到其对应物 CMOS 电子子单元（在下文中指“接口电子元件”）50。将信号电极的焊盘 65 与相应的、在开关 ASIC 上形成的导体焊盘 66 相连的通路 56 可被嵌入声学衬垫层 62。

如图 8 所示的实施例，每个接口电子元件 50 可包含一个交接开关和一个矩阵开关。然而，对于其它一些实施例来说，每个接口

25 电子元件中可包含附加电路。例如，可包含附加的交接开关和矩阵开关，如一个用于为附加的接入线提供连接的附加交接开关；或者一个用于将一行声学子单元与另一行相邻的声学子单元相连的附加

矩阵开关。同样地，每个接口电子元件可包括相应的脉冲发生器和

相应的发射/接收开关。

如图 16 所示，还可能将 cMUT 构建于独立的基片上（如晶片），并将它们独立地连接到 ASIC 开关矩阵。例如，在这里，焊接凸起 64 和导体焊盘 65、66 被用来将相应的 cMUT 声学子单元和与它们对应的接口电子元件 50 相连。也可使用其它的封装技术（如各向异性导电薄膜（ACF）或柔性互连）。

尽管交接开关和矩阵开关可以是独立封装部分，但是也可以在相同的半导体基片内制作开关，并且 MUT 阵列也将在该半导体基片上构建。这些开关可包括在序列号为 10/248,968 的美国专利申请 10（题为“用于超声波换能器阵列的集成高压开关电路”）中所公开的那种高压开关电路。每个开关包括两个背对背连接（源节点短接）并允许双极工作的双扩散金属氧化物半导体场效应晶体管（DMOS FET）。图 17 示出一例示范性的交接开关 30；矩阵开关可包括相同的电路。当开关 30 的两个场效应晶体管（FET）被启动时，电流通过开关端子。每个开关的状态由各自的开关控制电路 52 所控制，但图 17 中只示出其中的一个。开关控制电路的状态依次受到编程电路 54 的输出结果的支配，编程电路 54 依照优化开关配置对开关控制电路编程，而优化开关配置需要利用这里所揭示的算法中的一个来获得。扫描控制器（图 17 中未示出）将优化开关配置装入编程电路 54。尽管 CMOS 高压开关的使用是一个最佳实施方案，但是这里所描述的发明也可直接应用于其它开关技术（如，低压开关、MEMS 开关和其它正在开发的未来的开关技术）。上述开关电子元件可利用 CMOS 或 BICMOS 或 SOI 或 MEMS 或其它至今未经确认的开关技术制造。

25 上述的本发明各种不同的实施例都使用重构性来减少微加工传感器单元线性阵列所需要的通道数。一种方法是使阵列按接收深度动态重构。一旦发射波阵面被发射，回波数据在一段时间间隔后就被接收，这个时间间隔通常小于 200 毫秒。在这个接收时间内，最

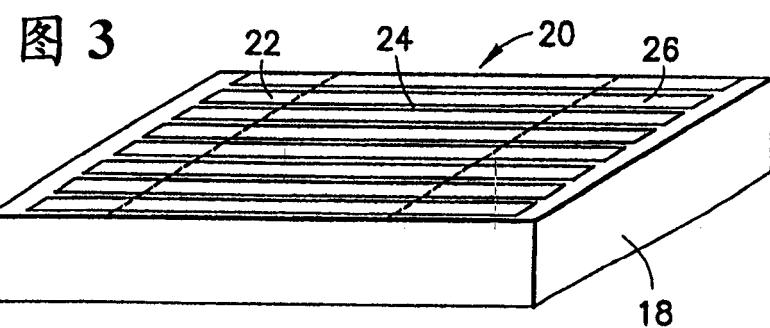
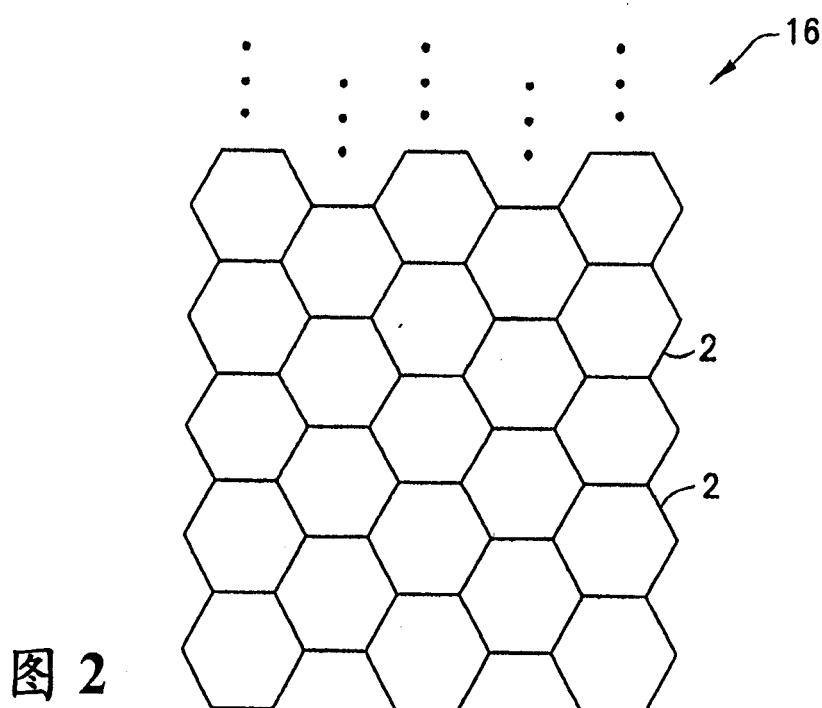
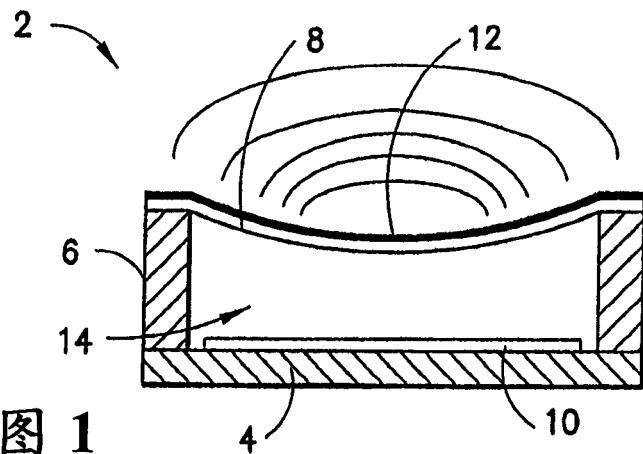
好是改变孔径的尺寸，以相对于传播的发射波阵面的位置来优化聚束。在这种情形下，可将孔径的尺寸增大，以试图在整个视场深度范围内维持相同的分辨率。这需要精密的电子元件，但是可获得可重构性的最大利益。这样，与标准的固定节距线性阵列相比，可在 5 相同的延迟误差条件下使用较少的通道。

另一种方法是对特定聚焦带重构阵列，但是在接收期间不改变阵列，也就是说，在接收操作时孔径是固定的。如果希望对所有深度优化接收孔径，则必须多次发射并针对各个发射改变接收孔径或发射和接收孔径。这个过程要花费较长时间并且使成像帧频减慢。 10 在这种情形中，电子实现很容易，但是应用将受限于帧频不太重要或成像深度很浅的情形。而且，在聚焦带的远端波束质量损失最小的条件下，所需的通道数减少。

本发明的主要优势是：所需的通道数减少而不引入栅瓣或显著的赝像。可重构性还允许极端近场从用于聚束的通道数的增加中获 15 取好处。

虽然已经以最佳实施例的方式对本发明进行了描述，但是本领域技术人员应当了解：在不背离本发明范围的条件下，可作各种不同的改变，并可用等效物来替代其中的单元。另外，只要没有背离本发明的基本范围，可进行许多的修改，以使特定的情形适应本发明的教导。所以，本发明不限于为了实现本发明而作为最佳图案公开的特定实施例，而包括属于所附权利要求书范围内的所有实施例。 20

正如权利要求书中所用的，术语“节距”表示在一行子单元中两个连续单元的中心线之间的距离。



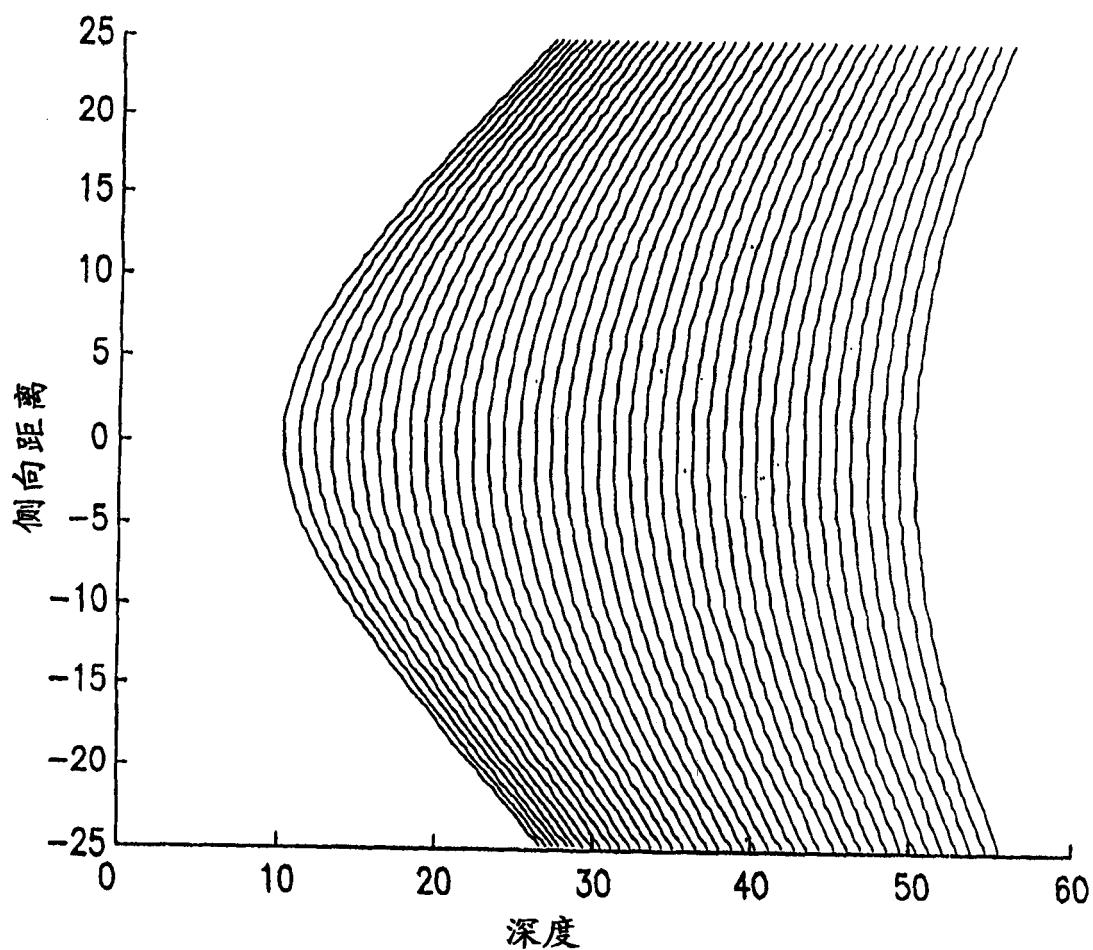


图 4

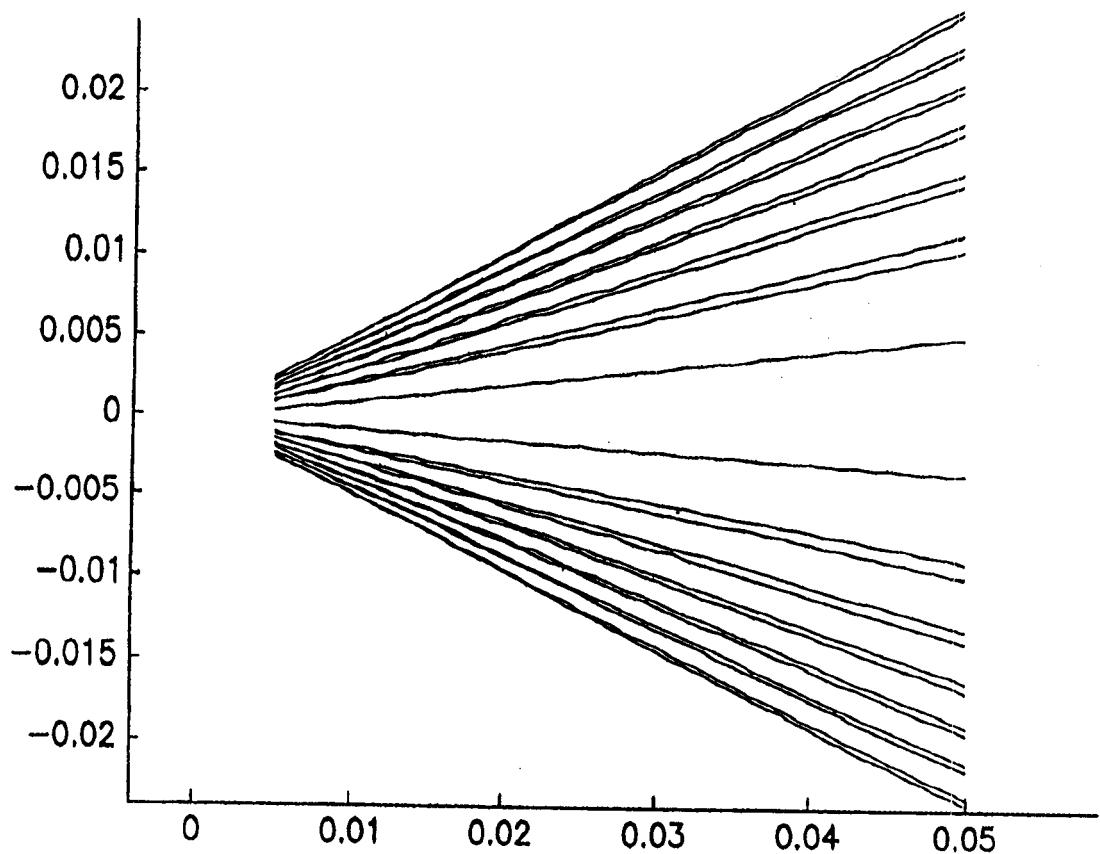


图 5

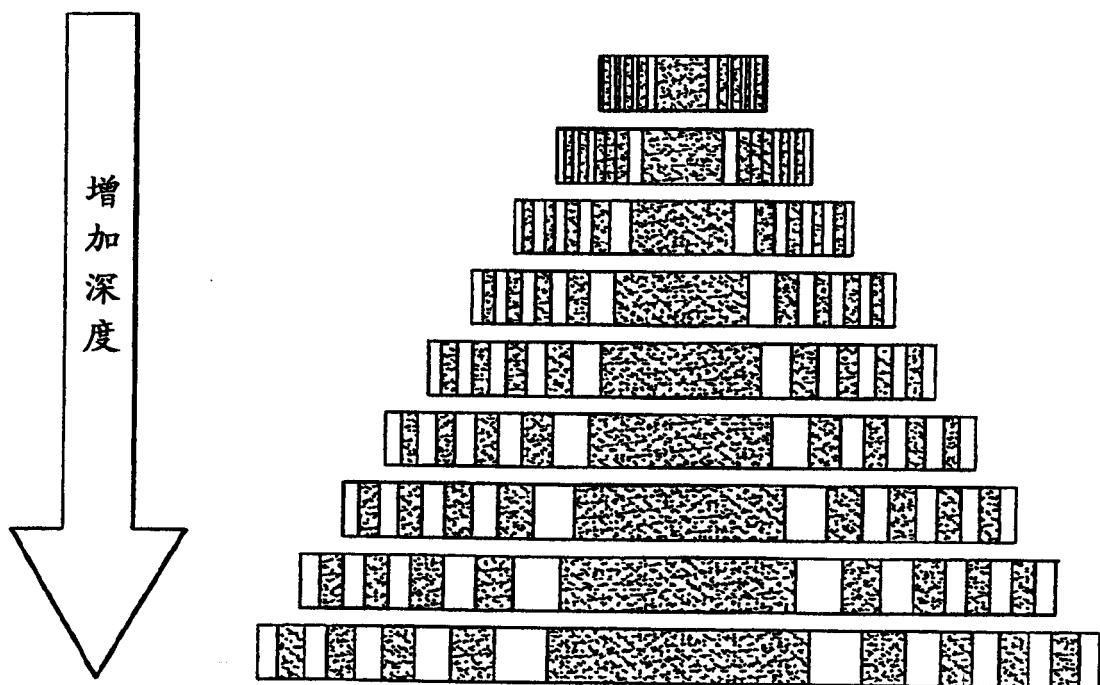


图 6

图 7

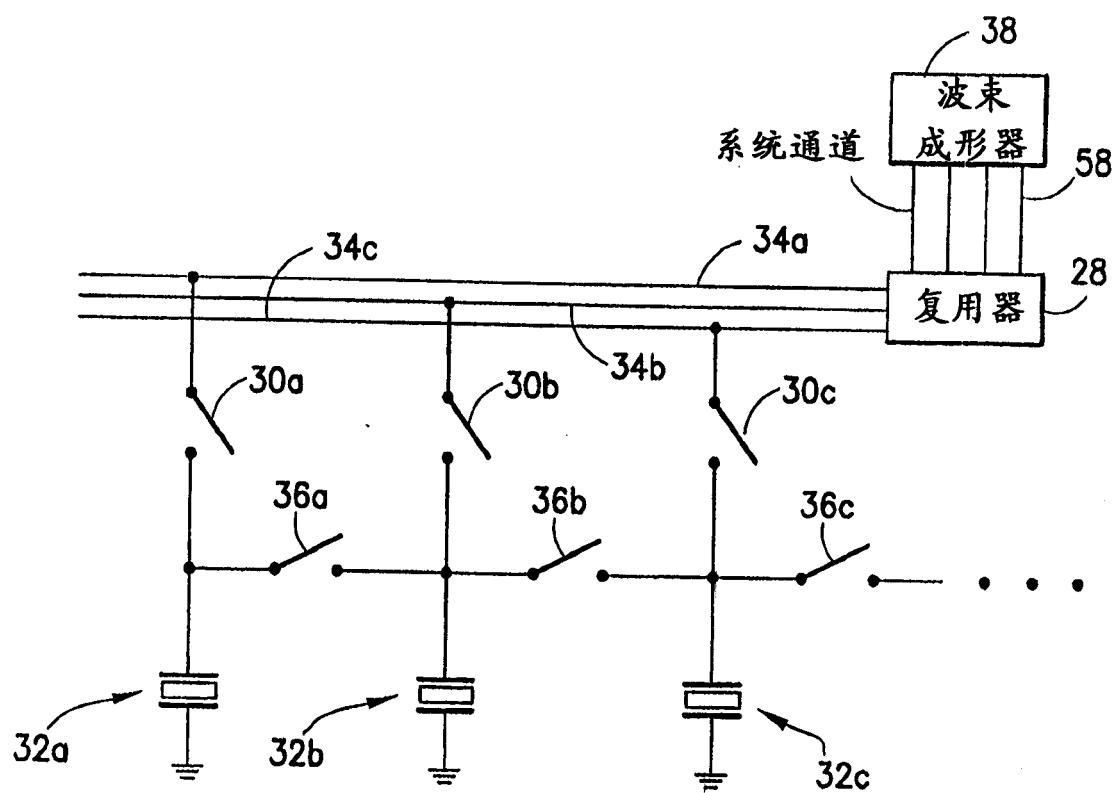
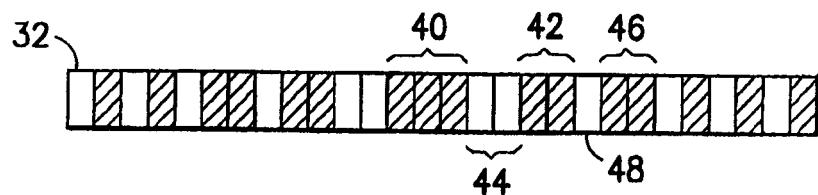


图 8

图 9

延迟轮廓线

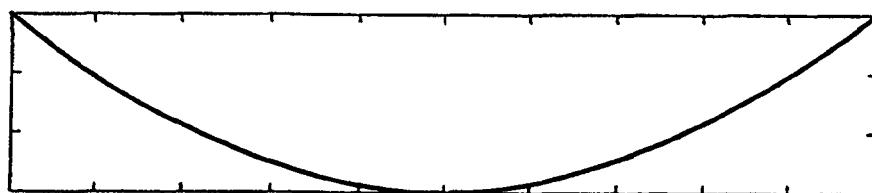
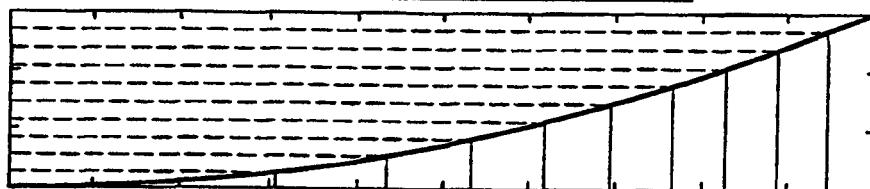


图 10

具有相等延迟范围的分级延迟



量化的延迟轮廓线

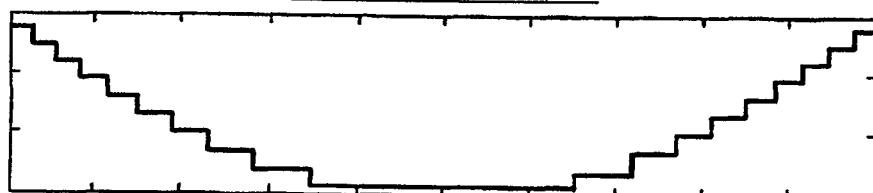


图 11

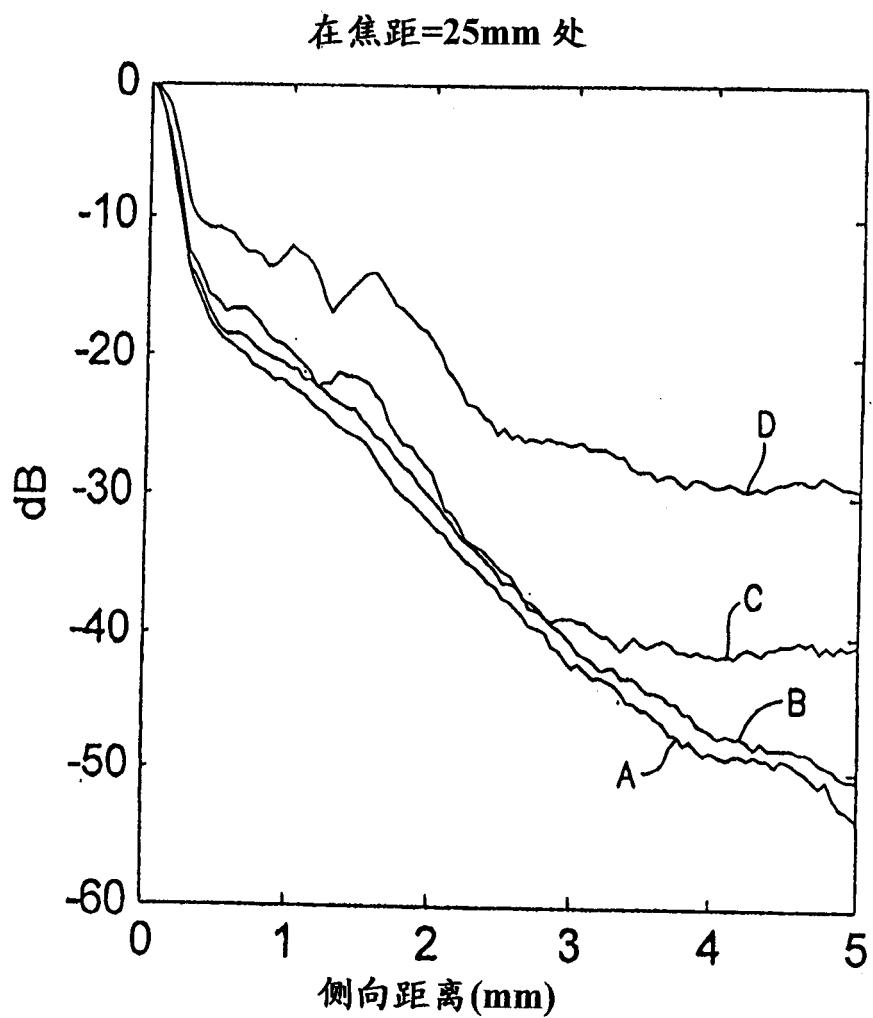


图 12

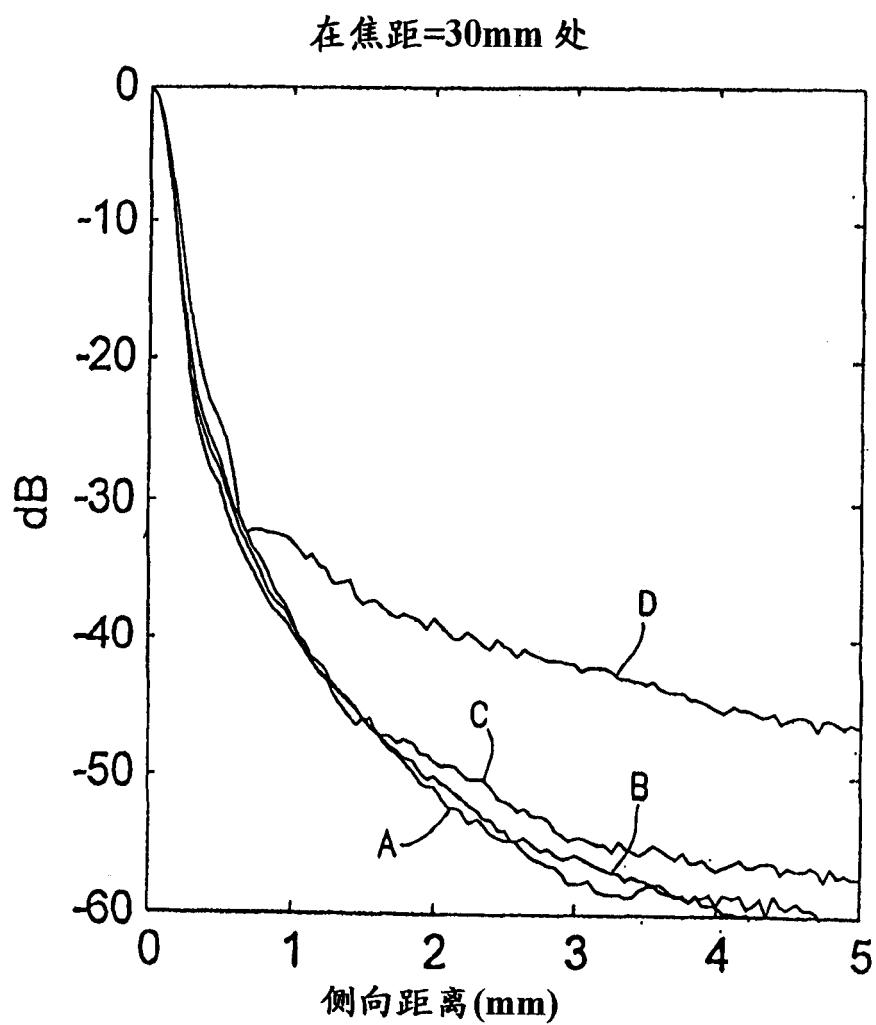


图 13

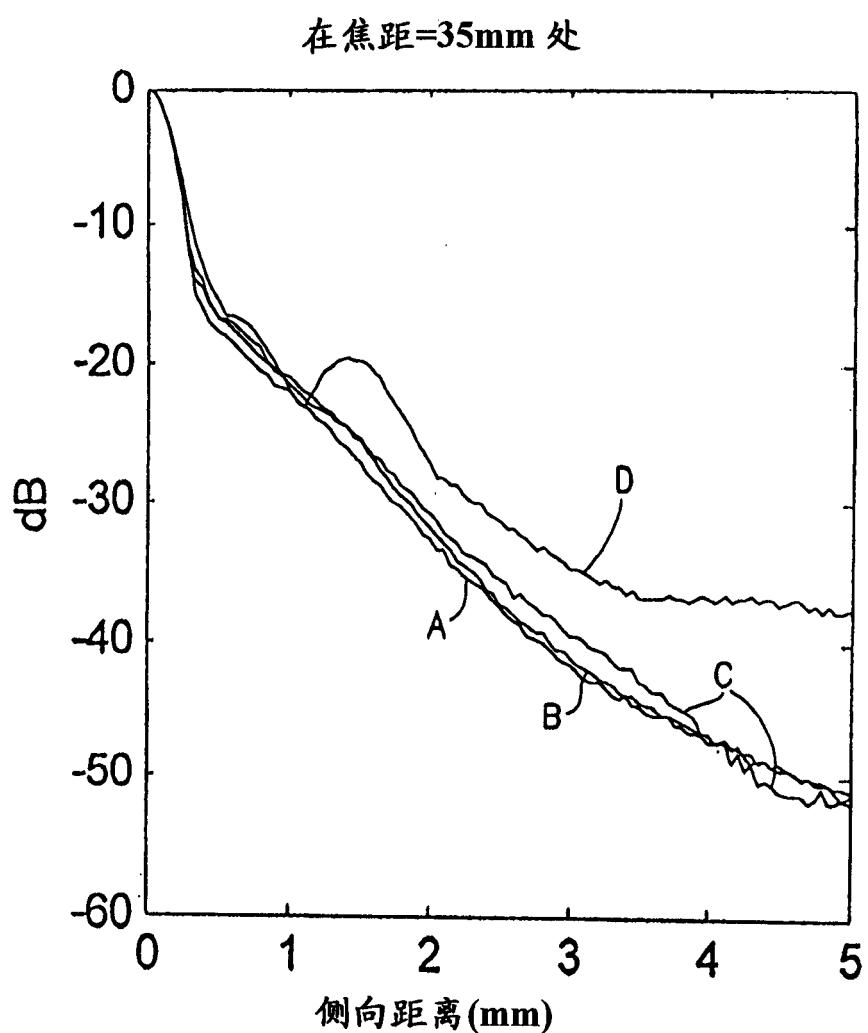


图 14

图 15

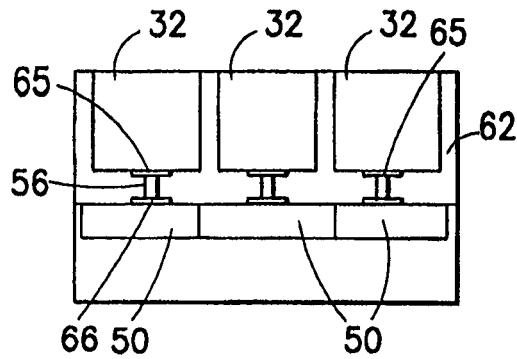


图 16

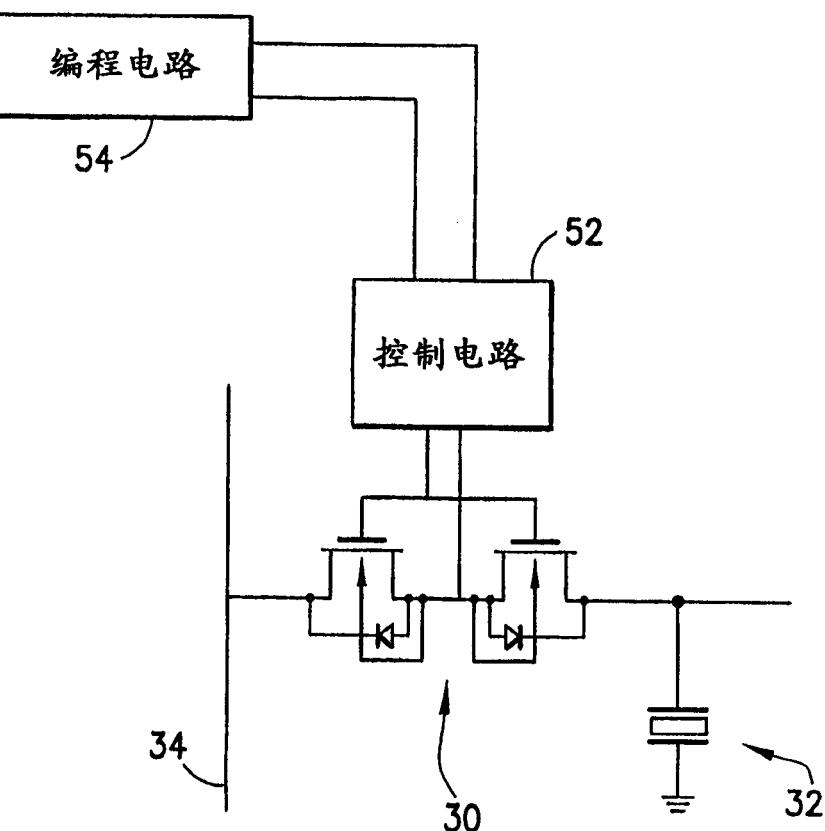
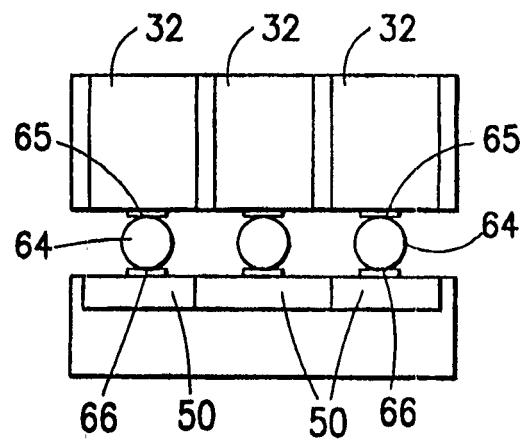


图 17

专利名称(译)	通道数减少的可重构线性传感器阵列		
公开(公告)号	CN1794479A	公开(公告)日	2006-06-28
申请号	CN200510116487.0	申请日	2005-10-21
[标]申请(专利权)人(译)	通用电气公司		
申请(专利权)人(译)	通用电气公司		
当前申请(专利权)人(译)	通用电气公司		
[标]发明人	KE托梅纽斯 RA费舍尔 RG沃德尼基 CR哈扎德 LS史密斯 BH海德 KW里格比		
发明人	K·E·托梅纽斯 R·A·费舍尔 R·G·沃德尼基 C·R·哈扎德 L·S·史密斯 B·H·海德 K·W·里格比		
IPC分类号	A61B8/00 H01L41/00 B06B1/02 B06B1/06 G01N29/00 G01S7/521 G01S15/00 H04R17/00		
CPC分类号	B06B1/0292 A61B2562/028 G01N29/0609 G01N29/069 G01N29/245 G01N2291/0423 G01N2291/106		
代理人(译)	杨凯		
优先权	11/018238 2004-12-21 US		
其他公开文献	CN100555695C		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

一个可重构的经微加工形成的传感器(如，光学的、热学的、压力的、超声波的)的线性阵列。这种可重构性使传感器单元(32)的尺寸和间距成为与距波束中心距离的函数。这个特征改善了有限通道数的成像系统的性能。对于使用多路传输聚焦带的应用来说，性能的改善来自对某一特定深度进行孔径调节的能力。

