

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01N 29/06 (2006.01)

G01N 29/22 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200510066777.9

[45] 授权公告日 2009 年 7 月 1 日

[11] 授权公告号 CN 100507550C

[22] 申请日 2005.4.30

[21] 申请号 200510066777.9

[30] 优先权

[32] 2004.4.30 [33] US [31] 10/834854

[73] 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 R·W·伯格曼

[56] 参考文献

US6813950B1 2004.11.9

US6382028B1 2002.5.7

US5798461A 1998.8.25

US4817433A 1989.4.4

CN1009194A 1987.3.4

US2004/0050166A1 2004.3.18

审查员 张 晶

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 原绍辉

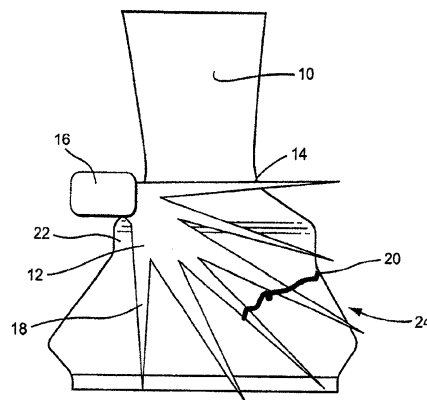
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 2 页

[54] 发明名称

用超声波探伤机翼的方法

[57] 摘要

披露不从涡轮机拆除为其部分的机翼的情况下无损检查机翼发现缺陷的方法。该方法使用能用于所有类型机翼的相控阵列超声波技术。通过使用相控阵列超声波技术,超声波束的进入角度改变。相控阵列超声波允许检查器引导超声波束朝机翼内感兴趣的区域。相控阵列允许检查器一次监控多角度。只要扫描角度不超过校正范围,无论声束以什么角度进入表面,检查器都能监控感兴趣的区域。引导或者相控超声波束以一次探伤不同方位。该方法使用包括一系列换能器的线性阵列探头的相控阵列换能器。这些换能器的每个被编程为以预定时间间隔触发并也以预定时间间隔接收。每个换能器得到的信号然后由计算机处理,以提供测试区域的合成图像,从而能查看缺陷指示。



1. 一种通过相控阵列超声波束(12)无损探伤机器部件(10)以发现缺陷的方法,该方法包括以下步骤:

识别在部件(10)内的感兴趣的区域(24),在该区域预期至少有一个缺陷(20)要被定位,

提供换能器探头(16)用于发射相控阵列超声波束,

确定相对于换能器探头(16)将超声波束发射到部件内的入射角度的角度范围,用于将相控阵列超声波束(12)引导到感兴趣的区域(24),并且由此相对于穿过部件(10)表面扇形的换能器探头(16)和超声波束(12)的扫描将感兴趣的区域(24)保持在视界内,其中,在该表面使得超声波束(12)进入部件(10),及

通过穿过扇形表面扫描换能器(16)同时换能器探头(16)与扇形表面接触进行扇形扫描,由此使得从换能器探头(16)发射的相控阵列超声波束信号以当由换能器探头(16)接触的扇形表面改变方向时改变的入射角进入部件(10),然后该信号被重新获得并且被处理,以提供感兴趣的区域(24)的合成图像,从而使缺陷标记(26)能够被查看到,在不中断扫描的情况下整个感兴趣的区域(24)被监控。

2. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,换能器探头(16)为线性阵列探头,其包括一系列换能器。

3. 如权利要求2所述的方法,其特征在于,换能器中的每一个以第一预定时间间隔被触发,并且以第二预定时间间隔接收。

4. 如权利要求3所述的方法,其特征在于,超声波束信号被每个换能器重新获得,然后由计算机处理并堆栈保存,以给出感兴趣的区域(24)的合成视图,从而使缺陷能够被查看到。

5. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,使用部件(10)的图样及量角器使得用于引导相控阵列超声波束(12)的角度范围被确定下来,以测量从部件(10)的使得超声波束(12)进入部件(10)的表面及从在部件(10)内的预期的缺陷(20)要被定位的感兴趣的区域(24)折射的角度。

6. 如权利要求5所述的方法,其特征在于,超声波束(12)的折射角度在超声波束进入部件(10)后随进入部件(10)表面的超声波束(12)的入射角度的改变而发生变化。

7. 如权利要求 6 所述的方法, 其特征在于, 用于引导相控阵列超声波束 (12) 的角度范围大约在束入射角度周围的 $\pm 10^\circ$ 。

8. 如权利要求 1 所述的方法, 还包括将测试缺陷反射物与至少一个被记录的按已知尺寸的缺陷 (20) 制造的反射物相比较, 以确定在部件 (10) 内的测试缺陷的尺寸。

9. 如权利要求 8 所述的方法, 其特征在于, 通过测试反射物角度与被记录的反射物角度的比值的平方, 在部件 (10) 内的缺陷 (20) 的尺寸被确定下来。

用超声波探伤机翼的方法

技术领域

本发明涉及一种用于无损检查在例如机翼之类的机器部件内的缺陷的方法，并且特别地涉及一种用相控阵列超声波技术无损检查这样的部件以发现缺陷的方法。

背景技术

随着现代的、更复杂的空气动力学动力产生机器的发展，涉及机器部件的检查的研究已经大幅度增加，以发展以无损方式检查这样的部件以发现缺陷的方法。机器的一些最精密的部件所处的位置使接近它们受到限制。目前为止，大多数研究已经使用了光学无损检查方法、射线照相无损检查方法、液体渗透无损检查方法及涡电流无损检查方法。为进行光学检查、液体渗透检查及涡电流测试，就必须接近被测试的机器部件的全部表面。对于许多机器部件，在丝毫不拆卸机器的情况下，这是不可能的。

为进行射线照相检查，使用放射源时，一张射线照相胶片就必须被放置在被检查的机器部件的对面。在放射源和被测试的部件之间的物质还必须是极少量的。在完全组装的机器内，实现这些任务的任何一个经常是不可能的。

传统上，使用超声波测试机器机翼以发现缺陷已经由于机翼通常薄且复杂的几何形状而受到限制。使用超声波测试机翼所面临的最大问题是，可以进行测试的机翼表面相对于在机翼内的感兴趣的区域不断地发生角度变化。为使用超声波对变化的表面进行探伤，就需要在多种角度上使用多个独立的换能器。如此，使用单一换能器将是不切合实际的也是不可靠的。美国专利 No. 6,082,198 披露了用于从表面探伤以发现缺陷的相控阵列超声波的使用，该表面所处的角度相对于被探伤的区域是不变的。被披露的方法从轮毂探伤，并且有赖于对称性的不断增加。对于被包含在机器内的部件，由于需要接近被其它部件阻挡的束进入表面，所以被披露的方法不能被使用。

机翼是空气动力学机器的高度承受应力的部件。由于这些应力很大，所以机翼应该被定期探伤以发现缺陷。为对机翼进行无损测试，

包含这些部件的机器就必须在某种程度上被拆卸以接近整个机翼。这种拆卸即费钱又费时。为减少拆卸机器带来的时间和费用，就需要无损技术，该技术不受在整个机翼表面上不断变化的几何形状的影响。

发明内容

在本发明说明性的实施例中，一种使用相控阵列超声波束无损探伤机器部件以发现缺陷的方法，该方法包括以下步骤：识别在部件内的感兴趣的区域，在该区域预期至少有一个缺陷要被定位，确定用于将相控阵列超声波束引导到感兴趣的区域的角度范围，由此相对于穿过部件表面扇形的超声波束的扫描将感兴趣的区域保持在视界内，其中，使得该超声波束进入部件，以及引导扇形扫描，由此使得相控阵列超声波束信号进入部件，而后该信号被重新获得并被处理，以提供感兴趣的区域的合成图像，从而使缺陷指示能够被观察到，在不中断扫描的情况下整个感兴趣的区域被监控。

在本发明的另一个说明性的实施例中，用于无损探伤机翼以发现缺陷的方法包括以下步骤：识别在部件内的感兴趣的区域，在该区域预期至少有一个缺陷要被定位，确定用于将相控阵列超声波束引导到感兴趣的区域的角度范围，由此相对于穿过部件表面扇形的超声波束的扫描将感兴趣的区域保持在视界内，其中，使得该超声波束进入部件，以及引导扇形扫描，由此使得相控阵列超声波束信号进入部件，而后该信号被重新获得并被处理，以提供感兴趣的区域的合成图像，从而使缺陷指示能够被观察到，在不中断扫描的情况下整个感兴趣的区域被监控。

在本发明的又一个说明性的实施例中，将发射相控阵列超声波束的换能器探头用于无损探伤机翼以发现缺陷的方法包括以下步骤：识别在机翼内的感兴趣的区域，在该区域预期至少有一个缺陷要被定位，根据预期的缺陷的尺寸及在机翼内的感兴趣的区域预期要被定位的位置选择换能器探头，确定入射束角度及用于将相控阵列超声波束引导到感兴趣的区域的角度范围，以由此相对于穿过机翼表面扇形的换能器探头的扫描将感兴趣的区域保持在视界内，其中，使得该超声波束进入机翼，引导换能器探头的扫描穿过机翼表面扇形，由此相控阵列超声波束信号从转换器探头被发射，以进入机翼，而后被换能器探头重新获得，通过计算机处理重新获得的超声波束信号，并累积信

号以提供在机翼内的感兴趣的区域的合成图像，其中，在该区域预期有缺陷要被定位。

附图说明

通过结合附图仔细研究接下来的对本发明目前优选的说明性的实施例更详细的描述，将更完全地理解和明白本发明的优点。

图 1 所示的示意图显示了本发明的将相控阵列超声波用于无损检查机翼以发现缺陷的方法。

图 2 所示的图表显示了缺陷的视图，该缺陷是通过本发明的用相控阵列超声波无损检查机翼的方法在机翼内被指示出来的。

图 3 所示的图表显示了通过使用传统超声波来检查已经缺口和破裂的叶片的响应表面。

图 4 所示的图表显示了通过使用相控阵列超声波来检查已经缺口并破裂的叶片的响应表面。

具体实施方式

本发明为一种在不从机器上拆除是机器的一部分的部件的情况下无损检查例如机翼之类的机器部件以发现缺陷的方法。本发明的方法将众所周知的相控阵列超声波技术用于无损检查部件以发现缺陷，并且可适用于所有类型的部件，即该方法能够被用于测试任何几何形状，在该几何形状内超声波束进入的部件表面相对于部件的要被检查以发现缺陷的部分发生角度变化。

本发明的方法既适用于纵波技术也适用于横波技术，这两种技术被用于在不从包含部件的机器上拆除部件的情况下测试部件。超声波束进入要被检查的部件的角度通过发射束的换能器探头发生变化。相控阵列超声波允许检查器引导超声波束指向在部件内的可能发现缺陷的感兴趣的区域。相控阵列超声波也允许检查器一次监控多个角度。只要角度不超过校准范围，无论声束以什么样的角度进入表面，检查器都能够监控感兴趣的区域。

参考图 1，本发明通过“引导”或者“定相”超声波束 12（相控阵列超声波）利用一次扫描得到的不同定位来探伤机翼 10 以发现缺陷，解决了无损测试具有复杂几何形状的机器部件，如图 1 所示的机翼 10，所遇到的问题。如图 1 所示，束 12 的水平线 14 表示垂直于换能器探头 16 或者恰好在换能器探头 16 之下的声路径。束 12 的垂直线表示 90

度的束引导或者“定相”。显示在机翼 10 内的裂纹 20 表示机翼内的缺陷。如图 1 所示，只有在使用探头 16 的操作者正在使用相对于法向束 14 的 45° 到 50° 的束角度的情况下，缺陷 20 才能够被发现。当换能器 16 与机翼 10 接触的表面 22 改变其方向时，束 12 进入机翼 10 的角度发生变化，从而使用于扫描在机翼内的感兴趣的区域 24 的束 12 的角度发生变化。

与本发明的方法一起使用的相控阵列换能器探头 16 为线性阵列探头，该探头包括一系列换能器。这些换能器中的每一个都以预定的时间间隔被触发，并且以预定的时间间隔接收返回的超声波信号。这种预定的触发与接收就是定相，其允许引导束 12。然后，被每个换能器获得的超声波信号由计算机处理，以给出正在被检查的感兴趣的区域 24 的合成图像。

为从机翼的叶片表面 22 探伤机翼 10，将感兴趣的区域 24 保持在视界中所必须的角度范围必须首先被确定下来。然后，建立扇形扫描或扫视，其包括探伤感兴趣的区域所需要的角度。在探伤期间，在不中断测试的情况下，完整的感兴趣的区域 24 能够被监视。通过使用超声波相控阵列扇形扫描，在机器内的接近受限的部件，如机翼，在不拆卸包含机翼的机器的情况下，也能够被容易地探伤。这是因为本发明的探伤方法不需要通过物理方法接近全部感兴趣的区域。通过使用相控阵列束，操作者能够在一次扫描内查看全部感兴趣的束角度。这提供了探伤区域 24 更综合的图像并且减少了测试差异。图 2 显示了通过采用相控阵列技术的本发明的探伤方法指示出来的缺陷指示 26 的图像。“Y”轴表示超声波声束的角度，而“X”轴表示超声波声束的行程。

通过使用叶片或桨叶表面 22 作为束进入表面，本发明的探伤方法能够探伤机翼 10。通过要被探伤的部件 10 的图样，在扫描期间将感兴趣的区域保持在视界中所需要的角度范围被优选地确定下来。假定超声波束在机翼 10 的叶片或桨叶表面 22 上的特定的位置进入机翼 10，那么量角器能够与机翼的图样一起被使用，以确定与被预期的缺陷所在的位置有关的束角度及用于在扫描期间引导超声波束 12 使感兴趣的区域 24 保持在视界中所需要的角度范围。通过使用量角器，相对于机翼进入表面，与缺陷可能被定位的位置所成的角度，即，束应该被折射的角度能够被确定下来。通过斯奈耳定律，根据超声波进入部件的

入射角度，进入要被检查的部件的超声波信号的折射角度能够被确定下来。这就是说，超声波入射角度的正弦与超声波折射角度的正弦的比例是恒定的。给定要被检查的部件的几何形状及与可能包含缺陷的区域所成的角度，那么扫描角度就能够被容易地确定下来。另外一种确定测试角度的方法是使用一系列离散的成角度的换能器。通过找到在测试表面的每个区域产生最佳测试的角度，测试区域图能够被绘制出来。

通过要被检查的部件 10 的图样，使与要被检查的区域 24 所成的角度被容易地确定下来。例如，如果缺陷被定位在偏离要被探伤的机翼的进入表面的垂线 15° ，那么可以使用 $10^\circ \sim 40^\circ$ 的扫描角度，从而使感兴趣的区域 24 总保持在探伤部件 10 的检查器的视界中。如果缺陷被定位在 30° 的角度，那么可以使用 $20^\circ \sim 40^\circ$ 的扫描角度。

如果部件 10 的材料发生变化，那么扫描角度也将改变。因为声音在两种材料中的行进速度发生改变，所以用于由钢制成的部件的扫描角度将不同于用于由铝制成的同一部件的扫描角度。速度是计算扫描角度的要素，该速度基于被用于制造要被检查的机翼的材料而发生改变。利用斯奈耳定律，通过超声波进入部件的入射角度，可以确定进入要被检查的部件的超声波信号的折射角度。也就是说，超声波入射角度的正弦与超声波折射角度的正弦的比值等于超声波在入射材料中的速度除以超声波在折射材料中的速度。这样，扫描或扫视角度基于材料的密度而发生变化。

可以被认为是窗口的扫描或扫视角度是恒定的，但是窗口的角度却不总是恒定的。因为超声波束进入部件部分的表面发生角度变化，所以通过使用本发明的相控阵列超声波束，单一扫描或扫视能够被使用。如果没有相控阵列超声波束，那么根据使用换能器探头 16 进行扫描的进入表面的角度变化的量，可能需要对要被探伤的同一部件进行 20 或者 30 次检查。

本发明的探伤方法使在探伤期间收集的与缺陷 20 有关的数据被数字化并且被保存起来，从而能更可靠地将连续探伤相互做比较，由此大幅度减小在检查器之间的差异。能够给出裂纹的特征是本发明的探伤方法的另一个优点。当超声波束进入表面 22 的位置发生改变时，直接测量裂纹尺寸是有困难的。为解决这个问题，可以制造具有已知尺

寸的缺陷（或者反射物）的样本。在进入角度变化 ± 3 度的每个位置对这些反射物进行测量。反射物的尺寸被记录下来用于进一步的参考。如果在以某个超声波路线表面进入角度进行探伤的期间发现可疑的反射物，那么将它与参考反射物做以比较。测试反射物与参考反射物的比值的平方被用于从已知的反射物的尺寸得到缺陷的尺寸。由于利用单一相控阵列超声波扫描能够查看到与缺陷全长有关的缺陷指示，所以缺陷的长度也能够被确定下来。

与本发明的探伤方法一起使用的优选的探头包括多个处在一条直线上的以1到16编号的换能器。当换能器1、2、3等向上直到16被触发时，发生超声波束的正引导，从而使束被向上倾斜朝着换能器16被定位的位置。当换能器16、15、14等向下直到1被触发时，发生超声波束的负引导，从而使束被向下倾斜朝着换能器1被定位的位置。由于每个被发射的波前与在它之前的被发射的波前相干扰，也发生超声波束的引导。

作为本发明的探伤方法的部分，换能器探头的尺寸及频率必须被确定下来。相控阵列探头能够以很多种尺寸和频率被生产出来。探头能够被设计成用于大多数任何应用并且能够被制成足够小以适应大多数空间。包括在与本发明的方法一起使用以应用超声波束的探头内的换能器芯片的数量根据探头的尺寸而改变。典型地，根据被预期的缺陷的尺寸及在要被检查的部件内被预期的缺陷要被定位的位置来选择探头的尺寸。

与机器部件，如机翼10，一起使用相控阵列超声波，这使得在以最小程度拆卸机翼定位其中的机器的情况下，机翼能够被探伤。换能器探头16能够被安装到操纵装置上，以接近在不拆卸机器的一些结构的情况下以其它探伤方法不能接近的探伤区域。通过本发明的无损探伤方法，许多在完全组装的机器内是不可接近的机器部件的区域内形成的缺陷能够被检测。

使用相控阵列超声波的探伤的可靠性被图3和图4所示的数据所证明。从有缺口和裂纹的机翼叶片得到的相控阵列超声波响应与使用传统超声波的响应相比较，以说明用于测试部件的相控阵列超声波的能力。图3显示了使用传统超声波的响应表面。图4显示了使用相控阵列超声波的响应表面。这些响应表面表示在机翼的多个方位上查看

到的信号。“X”轴为沿着正在发生角度变化的声束进入表面的距离。“Y”轴为在声进入表面与感兴趣的区域之间的角度。阴影图 28 和阴影图 30 表示信噪比。从图 3 和图 4 可以查看到检测表示缺陷 20 的超声波信号的可能性。图 3 和图 4 的阴影图 28 和 30 说明了与通过传统超声波相比（图 3），通过相控阵列超声波（图 4），缺陷信号可以被更容易地查看到。还应该注意，图 3 所示的每个束角度是通过不同的换能器完成的。这在扫描中引入中断。图 4 所示的用于相控阵列超声波的束角度是通过单一换能器探头扫描完成的。

虽然已经通过目前被认为是最实用的和优选的实施例描述了本发明，但是应该理解的是，本发明不应该被局限在被披露的实施例中，与之向反，本发明被认为覆盖了被包含在附加的权利要求书的主旨和范围中的各种各样的修改及等效的装置。

部件列表

机翼 (10)

超声波束 (12)

超声波束水平线 (14)

相控阵列换能器探头 (16)

超声波束垂直线 (18)

裂纹线缺陷 (20)

叶片或桨叶表面 (22)

感兴趣的区域 (24)

缺陷指示 (26)

传统超声波阴影图 (28)

相控阵列超声波阴影图 (30)

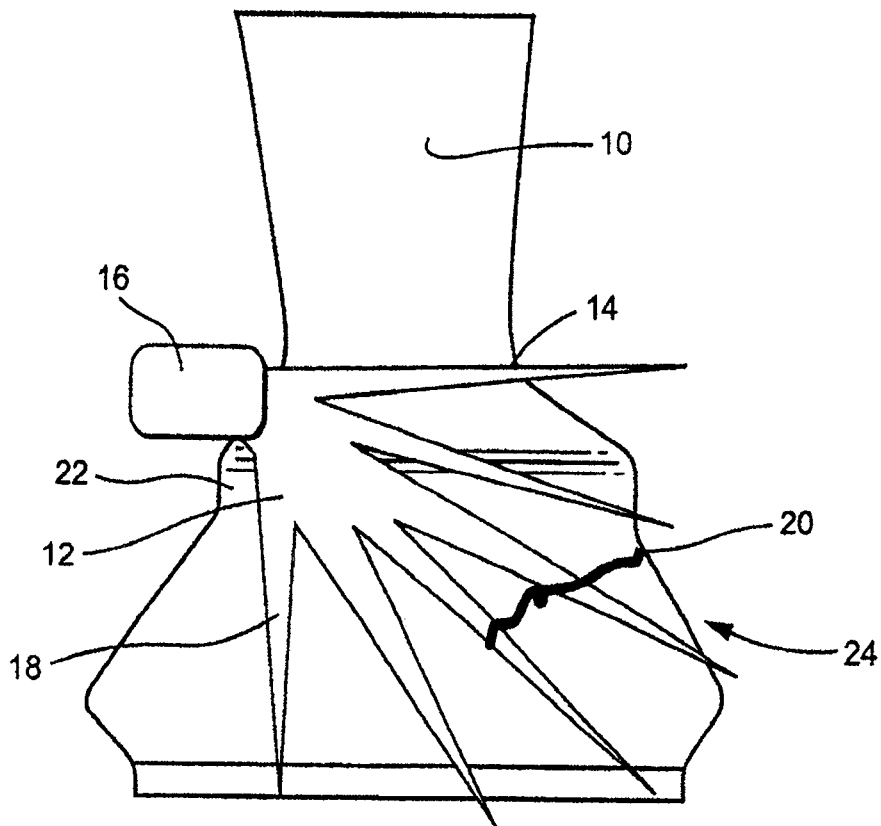


图 1

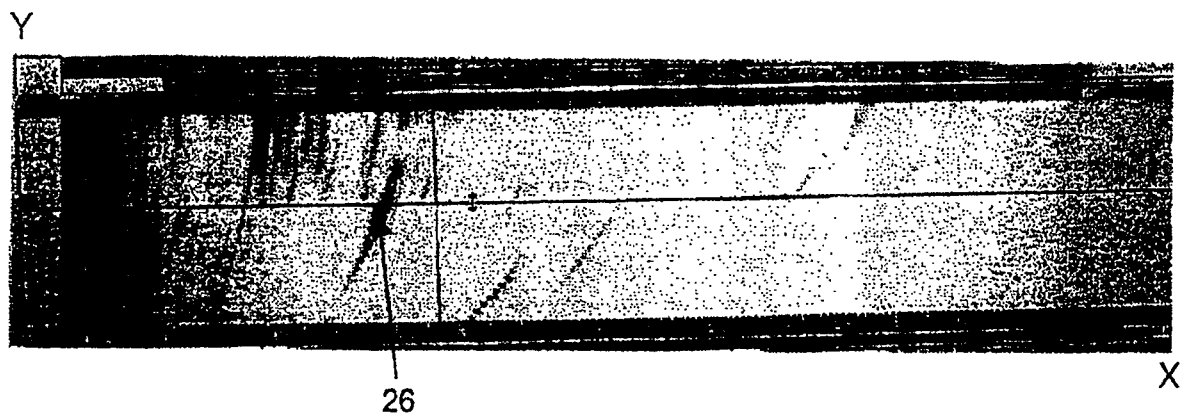


图 2

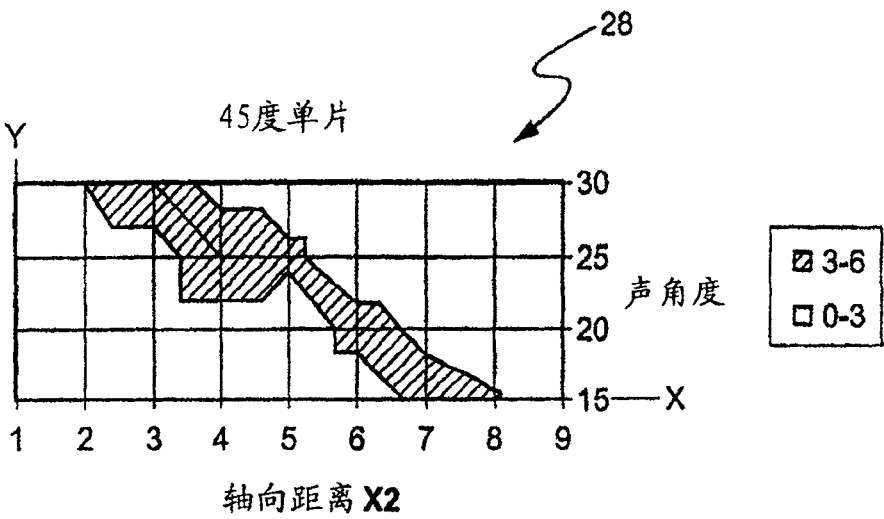


图 3

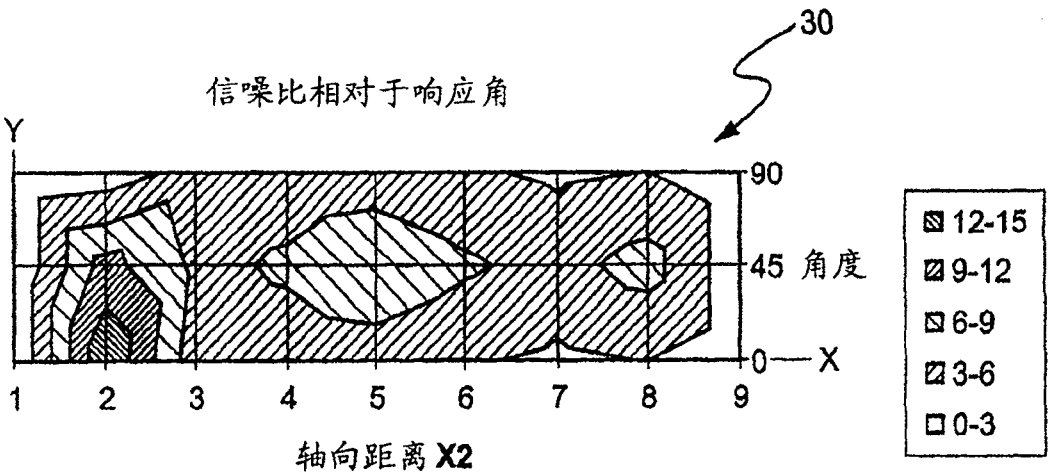


图 4