



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 02812679.3

[43] 公开日 2004 年 8 月 11 日

[11] 公开号 CN 1520511A

[22] 申请日 2002. 6. 26 [21] 申请号 02812679. 3

[30] 优先权

[32] 2001. 6. 27 [33] JP [31] 193840/2001

[32] 2002. 1. 31 [33] JP [31] 023091/2002

[86] 国际申请 PCT/JP2002/006422 2002. 6. 26

[87] 国际公布 WO2003/002956 日 2003. 1. 9

[85] 进入国家阶段日期 2003. 12. 24

[71] 申请人 株式会社先端科学技术孵化中心

地址 日本东京都

[72] 发明人 影山和郎 大泽勇 金井诚

土田幸也 永田启一

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

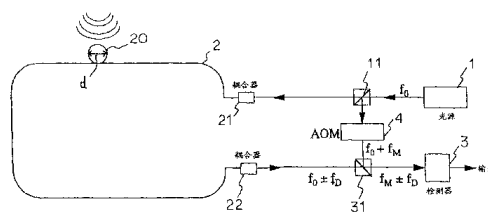
代理人 陶凤波 侯 宇

权利要求书 3 页 说明书 14 页 附图 19 页

[54] 发明名称 振动测量装置和振动测量方法

[57] 摘要

本发明公开了一种能以高灵敏度和在宽频带范围内测量振动的装置和方法。将光纤(2)形成一个弯曲部(20)，将弯曲部(20)配置在被测的位置上。使光输入到光纤(2)，然后检测输入光与输出光之间的频率变化。可以把施加在弯曲部(20)上的微小的振动作为输入光与输出光之间的频率变化进行测量，并且能在宽频带内测量振动。



1. 一种振动测量装置，包括一输入部、一光纤和一检测部，其中：
所述输入部将输入光输入给所述光纤；
- 5 所述光纤有一承受被测振动的弯曲部，输入光通过该弯曲部；和
 所述检测部检测来自通过所述弯曲部的所述光纤的输出光与输入光之间的频率变化。
2. 如权利要求 1 所述的振动测量装置，其中，所述弯曲部由将所述光纤弯成环圈而形成。
- 10 3. 如权利要求 2 所述的振动测量装置，其中，所述的环圈的圈数等于或大于 2。
4. 如权利要求 1 所述的振动测量装置，其中，所述弯曲部在一侧呈开放状态。
5. 一种振动测量方法，包括下述步骤：
15 将形成在部分光纤上的弯曲部安置在被测部位上；和
 根据通过所述光纤的光的频率变化测量被测部位的振动。
6. 如权利要求 1 所述的振动测量装置，其中，所述弯曲部通过使光纤围绕被测物弯成环圈而形成。
7. 一种用权利要求 6 所述的振动测量装置测量振动的方法，其中，通
20 过把对被测物体引起的扭转振动传送到所述弯曲部来测量扭转振动。
8. 一种用权利要求 6 所述的振动测量装置测量振动的方法，其中，利用被测物体的变形将被测物体的轴向振动转换为被测物体的一侧表面上的振动，并且将在所述侧面引起的振动传送到附着在那侧表面上的弯曲部上来测量被测物体的轴向振动。
- 25 9. 如权利要求 1 至 4 或 6 中任一项所述的振动测量装置，其中，在一单根光纤中包括多个所述弯曲部。
10. 一种振动测量装置，包括一输入部、一主体、一光纤和一检测部，其中，
 所述输入部将输入光输入给所述光纤；
30 所述主体为圆筒状，并将振动传递介质引入其内部；
 通过将所述光纤围绕所述主体弯成环圈形成一弯曲部，输入光通过该

弯曲部；和

所述检测部检测来自所述光纤的已通过所述弯曲部的输出光与输入光之间的频率变化。

11. 一种利用如权利要求 10 所述的振动测量装置测量振动的方法，其中，在介质已导入所述主体内的情况下测量所述介质的振动。

12. 一种振动测量装置，其中，将权利要求 9 中所述的多个弯曲部附着在一个单一的被测物体上。

13. 一种无损检测方法，其中，利用权利要求 12 所述的振动测量装置测量被测物体的振动。

10 14. 一种利用权利要求 12 所述的振动测量装置进行无损检测的方法，其中，通过把已知的振动施加到被测物体上并且根据所述已知的振动用所述振动测量装置测量振动来完成被测物体的检测。

15. 一种振动测量装置，包括：一输入部、一光纤和一检测部，其中，所述输入部将输入光输入给所述光纤；

15 所述光纤有一承受被测振动的弯曲部，输入光通过该弯曲部，该弯曲部通过将光纤弯曲成环圈状而形成，其直径等于或小于被测物体的振动的一波长。

16. 一种振动测量装置，包括：一输入部、一光纤和一检测部，其中，所述输入部将输入光输入给所述光纤；

20 所述光纤有一承受被测振动的弯曲部，输入光通过该弯曲部，该弯曲部一侧呈开放状态，其开口长度等于或小于被测物体的振动的一波长。

17. 一种振动测量装置，包括一输入部、一用于测量光的光纤、一用于参考光的光纤和一检测部，其中，

25 所述输入部将测量光输入给所述测量光光纤，并将参考光输入给所述参考光光纤；

所述测量光光纤有一承受被测振动的弯曲部，该弯曲部通过测量光；和

所述检测部根据分别通过上述测量光光纤和参考光光纤的测量光与参考光之间的频率变化来检测施加到所述弯曲部上的振动。

30 18. 如权利要求 17 所述的振动测量装置，其中，所述测量光光纤和参考光光纤具有相同的光路长度。

19. 如权利要求 17 或 18 所述的振动测量装置, 其中, 所述测量光光纤和参考光光纤处于同一光路中。

20. 如权利要求 17 所述的振动测量装置, 其中, 按下述要求构成所述测量光光纤和参考光光纤: 使从所述输入部分别输入到所述测量光的光纤和参考光的光纤内的测量光和参考光在端部反射, 而所述检测部检测反射的测量光与参考光之间的频率变化。

21. 如权利要求 1 所述的振动测量装置, 其中, 所述弯曲部围绕一球体配置。

22. 一种主动控制系统, 包括如权利要求 1 至 4、6、9、10、12 或 15 至 21 中任一项所述的振动测量装置, 其中, 根据被所述振动测量装置所测得的振动进行控制。

振动测量装置和振动测量方法

5 技术领域

本发明涉及一种测量振动的装置和方法。

背景技术

10 AE[声发射(acoustic emission)]传感器通常用于测量极微小幅度的弹性波(弹性振动)。在 AE 传感器中通常使用压电元件。用这种技术能够利用压电元件的共振放大振幅进行高精度的测量。然而因为这种技术利用共振,所以存在可被测量的频带窄的问题。

也有人建议把激光多普勒光纤传感器应用到 AE 传感器上,该方法的原理简要描述如下: 首先将一光源连接到光纤的一端, 将一用于反射输入光再使其返回到光纤的反光镜连接到光纤的另一端。如果使光纤振动, 光纤内部的光路长度将随着光纤的伸长和收缩而变化, 如果该光路长度随时间变化为 dL/dt , 则因多普勒效应, 在光纤端部反射的光的频率与 dL/dt 成正比。结果可通过测量被光纤端部反射的光与输入光之间的频率变化测量振动。这类传感器的测量频带宽, 但灵敏度低。

20 本发明人曾对在光纤弯曲和对弯曲部施加振动后输入光与沿光纤通过的输出光之间的频率变化进行了观察。结果得出在弯曲部发生的频率变化与极微小振动相对应的结论。

本发明以上述结论为基础提出一种构思, 目的是提供一种频带宽、灵敏度高、结构又简单的振动测量装置和方法。

25

发明内容

本发明的振动测量装置, 包括一个输入部、一个光纤和一个检测部, 所述输入部将输入光输入给光纤; 该光纤有一个承受被测振动的弯曲部, 输入光通过该弯曲部; 所述检测部检测来自通过所述弯曲部的光纤的输出光与输入光之间的频率变化。

30

本振动测量装置可以具有将光纤弯成环圈而形成的弯曲部。环圈的圈

数可以等于或大于 2。

所述弯曲部也可以在一侧(处于弯曲状态的弯曲侧的中心)呈开放状态。

本发明的振动测量方法包括：将形成在部分光纤上的弯曲部安置在被测的位置上；根据通过该光纤的光的频率变化测量被测位置的振动。

- 5 本发明的振动测量装置中的弯曲部可以通过将光纤围绕被测的物体弯成环圈而形成。

本发明的测量方法还可以通过将在被测物体上产生的扭转振动传递到弯曲部来测量扭转振动。

- 10 本发明的振动测量方法还可以利用被测物体的变形把被测物体的轴向振动转换为被测物体的一侧表面上的振动，并将在侧面产生的振动传递到附着(attached to)在那个侧表面上的弯曲部来测量被测物体的轴向振动。

本发明的振动测量装置可以在单一光纤上有多个弯曲部分。

- 15 本发明的振动测量装置还可以包括：一个输入部、一个主体部、一根光纤和一个检测部，所述输入部用于将输入光输入给光纤，所述主体部形成成为圆筒状并具有导入到内部的振动传递介质，所述光纤具有一个围绕主体部弯成环形成的弯曲部，该弯曲部用于通过输入光，所述检测部检测从通过所述弯曲部的光纤输出的光与输入光之间的频率变化。

本发明的振动测量方法还可以包括测量处于已导入到主体内的状态的介质的振动。

- 20 在本发明的振动测量装置上还可以有多个附着在被测的单一物体上的弯曲部。

本发明的一种无损检测方法利用上述振动测量装置测量被测物体的振动。

- 25 本发明的一种无损检测方法可以通过把已知的振动施加到被测物体上，根据已知的振动利用所述振动测量装置测量振动来完成被测物体的检测。

- 30 本发明的振动测量装置可以包括：一个输入部、一根光纤和一个检测部，所述输入部用于将输入光输入给光纤；该光纤有一个承受被测振动的弯曲部，该弯曲部用于通过输入光，它由将光纤弯成环圈形而构成，弯曲部的直径等于或小于被测物体的振动的一波长。

本发明的振动测量装置可以包括：一个输入部、一根光纤和一个检测

部, 所述输入部用于将输入光输入给光纤; 该光纤有一个承受待测量的振动的弯曲部, 弯曲部用于通过输入光, 其一侧处在开放状态, 此外, 弯曲部开口长度等于或小于被测物体的振动的一波长。

5 本发明的振动测量装置可以包括: 一个输入部、一根用于测量光的光纤, 一根用于参考光的光纤和一个检测部, 所述输入部用于将测量光输入给测量光光纤(measurement light optical fiber), 并且还将参考光输入给参考光光纤(reference light optical fiber), 测量光光纤有一个承受被测振动的弯曲部, 该弯曲部用于通过测量光, 所述检测部根据分别通过上述光纤的测量光与参考光之间的频率变化检测施加在弯曲部上的振动。

10 本发明的振动测量装置中的测量光光纤和参考光光纤可以具有相同的光路长度。

本发明的振动测量装置中的测量光光纤和参考光光纤可以位于同一光路中。

15 本发明的振动测量装置可以有按下述要求构成的测量光光纤和参考光光纤: 使从输入部分别输入到所述光纤内的测量光和参考光在端部反射, 利用检测部检测反射的测量光与参考光之间的频率变化。

还可以把本发明的振动测量装置的弯曲部安排成环绕一个球。

本发明的主动控制系统(active control system)可以包括上面提到的任何振动测量装置, 并且根据被所述振动测量装置测得的振动进行控制。

20

附图说明

图 1 是本发明第一实施方式的振动测量装置外形示意图;

图 2 是本发明第一实施方式的弯曲部的另一实例的示意图;

25 图 3 表示第一实施方式的第一实例的检测结果的曲线的屏幕显示, 在图 3(a)中, 垂直轴代表由压电元件的伸长和收缩引起的位移量, 而水平轴代表时间, 图 3(b)是图 3(a)的频谱图, 图 3(c)表示被该例的装置检测的频率变化, 其中用垂直轴代表频率变化值, 用水平轴代表时间, 图 3(d)是图 3(c)的频谱图;

30 图 4 表示该实施方式的对比例 1 的检测结果曲线的屏幕显示, 图 4(a)至图 4(d)分别与图 3(a)至图 3(d)相对应;

图 5 表示该实施方式的第二实例的检测结果的曲线, 图 5(a)中用纵轴

代表根据按照作为在检测部3中获得的输出电压[V]的振动检测的频率变化值,而水平轴代表压电元件相对弯曲部20的夹角,图5(b)中的垂直轴表示图5(a)中的垂直轴的对数,图5(c)描绘出如何获得弯曲部20与压电元件之间的角度;

5 图6表示该实施方式的第二对比例的检测结果的曲线,图6(a)至图6(c)分别与图5(a)至图5(c)相对应;

图7表示该实施方式的第三实例和第三对比例的检测结果的曲线,该曲线图中的垂直轴代表根据作为检测部3获得的输出电压[V]的振动检测的频率变化值,而水平轴代表弯曲部20的圈数;

10 图8是本发明第二实施方式的振动测量装置的主要部件的示意图;

图9是本发明第二实施方式的振动测量装置的主要部件的示意图;

图10是本发明第三实施方式的振动测量装置的主要部件的示意图;

图11是本发明第四实施方式的振动测量装置的主要部件的示意图;

图12是本发明第五实施方式的振动测量装置的主要部件的示意图;

15 图13是本发明第六实施方式的振动测量装置的主要部件的示意图;

图14是本发明第四实例的振动测量装置的主要部件的示意图;

图15表示本发明第四实例的测量结果(靠近605Hz)的曲线;

图16表示本发明第四实例的测量结果(靠近230Hz)的曲线;

图17是本发明第七实施方式的振动测量装置的主要部件的示意图;

20 图18描述出利用本发明第七实施方式的振动测量装置的一种无损检测方法;

图19表示利用本发明第七实施方式的振动测量装置的测量结果的曲线;

图20示出了本发明一检测例中使用的振动测量装置的主要部件;

25 图21示出了本发明一检测例中使用的振动测量装置的主要部件;

图22示出了本发明一检测例中使用的振动测量装置的主要部件;

图23示出了本发明一检测例中使用的振动测量装置的主要部件;

图24示出了本发明一检测例中使用的振动测量装置的主要部件;

图25示出了本发明一检测例的测量结果的曲线;

30 图26示出了本发明一检测例的测量结果的曲线;

图27表示环圈形弯曲部的直径与检测灵敏度之间关系的曲线;

图 28 是本发明第八实施方式的振动测量装置的外形图;

图 29 是本发明第八实施方式的振动测量装置的改型例示意图;

图 30 是本发明第八实施方式的振动测量装置的改型例示意图;

图 31 是本发明第八实施方式的振动测量装置的改型例示意图;

5 图 32 是本发明第九实施方式的振动测量装置的外形图。

具体实施方式

下面参照附图描述本发明第一实施方式的振动测量装置和测量方法。

所述振动测量装置主要包括: 输入部 1、光纤 2、检测部 3 和 AOM(声
10 光调制器, Acoustic Optical Modulator)4。

输入部 1 将输入光输入给光纤 2。更具体地说, 例如, 输入部 1 是采用
半导体或气体的激光器。因此, 输入部 1 可以将输入的激光(相干光)输到光
纤 2 中。输入部 1 经过耦合器 21 连接到光纤 2 上。用于把部分输入光发送
给 AOM 4 的半透镜 11 配置在输入部 1 与耦合器 21 之间。此处对输入光的
15 频率没有特别限制, 可以在可见光范围或远红外范围内。

光纤 2 有一个承受被测振动的弯曲部 20。弯曲部 20 通过将光纤 2 弯成
环圈状而形成。圈的数目(环的数目)没有特别限制, 但在本实施方式中环圈
数是一。据此, 弯曲部 20 通过输入到光纤 2 的输入光(测量光)。弯曲部 20
位于待测量振动的位置。例如, 弯曲部 20 可以借助固定手段例如用粘接带
20 或胶固定到被测位置上, 或者嵌入被测物体中。光纤 2 的类型没有特别的
限定, 可以根据需要例如采用 GI 型、SI 型、单模型或多模型光纤。

检测部 3 检测通过弯曲部 20 从光纤 2 输出的光与从输入部 1 输入的光
之间的频率变化。具体地说, 可以选取通过半透镜 11、AOM 4(将在后面描
述)和半透镜 31 发送的输入光和从光纤 2 发送的输出光的频差(beat), 以便
25 检测差频(beat frequency)的变化。通过这种方法, 检测输入与输出光之间的
频率变化。检测部 3 经耦合器 22 连接到光纤 2 上。

AOM 4 能变换输入光频率 f_0 以便产生 $f_0 + f_m$ (f_m 可以为正或为负)。这种
AOM 结构是公知的, 因此省略对它的详细描述。虽然在本实施方式中使用
AOM, 但也可以使用任何装置, 只要这种装置能变换输入光频率。

30 接着描述用所述装置的振动测量方法。

首先, 将光纤 2 的弯曲部 20 利用任何固定手段(例如粘接带或胶)固定

在被测位置。这时，来自输入部 1 的输入光供给光纤 2。如果将振动(弹性波)施加在处于这种状态的弯曲部 20 上，则通过弯曲部 20 的光的频率将随振动而变化。也就是说，输出光的频率发生变化。检测部 3 检测所述频率变化。用这种方法可以根据频率变化检测从被测的位置施加在弯曲部 20 上的振动。换句话说，可以测量被测位置的振动。能在弯曲部 20 被检测出的振动可以认为是在弯曲部 20 的径向具有矢量分量的振动。当然，正如在后面详细描述那样，也可以通过把轴向振动变换成径向振动测量弯曲部 20 的轴向(横向)振动。

在此，就本实施方式而言，可以利用 AOM 4 改变输入到检测部 3 的输入光的频率。这意味着，通过在 AOM 4 中改变频率变化值 Δf_1 能知道已经通过弯曲部 20 的光的频率的 Δf_2 是沿正方向变化还是沿负方向变化。具体地说，当 $\Delta f_1 > 0$ ，如果 Δf_2 变大，则频率沿正方向变化，而如果 Δf_2 变小，则频率沿负方向变化。如果能确定光频率 Δf 的变化是正还是负，就能知道振动是正还是负(是离开弯曲部的振动还是进入弯曲部的振动)。

其理由推断如下：具体地说，按照本发明人的发现，认为频率变化值取决于弯曲部 20 的在垂直于弯曲部 20 的方向位移速度的变化值。

这可以用下述方程表示

$$df = -\frac{f_0}{c} \vec{v} \cdot \vec{n} d\theta \quad \text{方程(1)}$$

式中， df 是通过光纤的弯曲部的微细截面(microscopic section)的光的频率变化值， f_0 是输入光频率， C 是通过光纤的光传播速度， $d\theta$ 是弯曲部的微细截面， $\vec{v}$ 是截面 θ 的速度矢量， $\vec{n}$ 是弯曲部的法向矢量，算符 $\cdot$ 是矢量标量积。具体地说，认为在垂直于光纤 2 的方向的弯曲部 20 的移动速度与光频率的变化值成正比。

这时，如果知道光的频率是沿正方向变化还是沿负方向变化，根据上述讨论可以检测出变形量是正还是负。具体地说，可以想象到有可能知道是在压扁弯曲部 20 的方向还是在拉伸该弯曲部 20 的方向变形。如果不需要知道频率变化方向(例如当只测定振动强度时)，则不需要安装 AOM。

按照本实施方式的装置，通过把一个曲线规插入在进行测量的位置处的光纤中就能用原来的光纤简单地测定特定位置的振动。结果具有使装置结构简化的优点。

具有环圈状的弯曲部 20 的直径 d (参看图 1)最好等于或小于作为测量对象的振动的一波长。在图 27 示出了检测灵敏度随直径变化的测量结果。假设振动的一波长是 30mm。当直径等于或大于 30mm 时,灵敏度几乎不变,然而当直径等于或小于一波长时,灵敏度增加。

- 5 在本实施方式中,通过将光纤 2 弯成环圈而形成弯曲部 20,当然,也可以如图 2 所示,形成一侧呈开放状态的弯曲部 20,即弯曲侧的中心呈弯曲状态(图 2 的下侧)。在这种情况下,与光纤 2 交叉的方向的振动灵敏度高,而沿光纤 2 的方向的振动灵敏度低(参考后面描述的例 2)。这意味着,具有在这种情况的振动测量中能保持方向性的优点。另外,在图 2 的实例中,
- 10 可改变输入光与输出光之间的光方向,以使该方向朝上或朝下。

在弯曲部 20 呈环圈状时,弯曲部 20 的开口长度 l_3 (见图 2)最好等于或小于作为测量目标的振动的一波长。

此外,在本实施方式中环圈的数量是一,但也可以是二或二以上。在这种情况下,可以提高振动的灵敏度(参看在下文将描述的例 3)。

15 实例

下面描述上述实施方式中利用所述装置和方法的实例和对比例。

例 1

- 利用粘接带将弯曲部 20 全部粘附在一块板上(具体地说是增强塑料板)。除弯曲部 20 外的纤维 2 部分不附着到该板上。此时,弯曲部 20 通过
- 20 卷绕一圈而形成。弯曲部 20 的周长是 62mm。压电元件附着在同一板上作为振动源。借助施加的交流电压,压电元件向该板施加振动。弯曲部 20 与压电元件间的距离是 50mm。参考图 1,压电元件的位置在弯曲部 20 的正上方。

- 在这种状态下,使压电元件振动,图 3(a)示出了压电元件的振动波形,
- 25 图 3(b)示出了通过对所述振动进行付利叶分析得到的频谱。图 3(c)示出此时输出光的频率变化,图 3(d)示出了图 3(c)的频谱,图 3c 中的垂直轴表示频率变化值。

- 如从图 3 所看到的那样,利用所述装置通过压电元件可以以相当高的灵敏度检测获得的极微小振幅。此外,如从所述频谱的比较看到的那样,
- 30 实现了在宽范围的检测。

对比例 1

为了比较,将一根不带弯曲部的直的光纤利用粘接带粘在所述板上,被粘接的光纤长度为 62mm。所述被粘接的纤维与压电元件之间的距离是 50mm, 其它的条件与例 1 相同。

其结果示于图 4 中。不难发现,用没有弯曲部的光纤实际上不能检测
5 压电元件的振动。

例 2

例 2 的弯曲部 20 形成为一侧(弯曲侧中心)呈开放状态,这与如图 2 中的实例所示相同,其它条件与例 1 相同。

在这些条件下,使压电元件振动。同时使压电元件的位置改变 30° 。图
10 5(a)中曲线示出了作为电压值的频率变化值随角度的变化。图 5(b)是以对数表示所述变化值的曲线。图 5(c)示出了获得角度方法。在这个实例中,图中向 θ 方向旋转(即反时针方向)为正,弯曲部 20 顶端的曲率半径约 5mm,整个弯曲角约 90° 。

从这些结果不难发现,在弯曲部 20 一侧开放的情况下,存在方向性,
15 这表示振动灵敏度从弯曲侧的中心侧或从相反侧到开放侧是高的。这意味着能获得具有方向性的振动传感器,从而能获得有效检测振动位置的振动传感器。

对比例 2

为了比较,借助例 1 的振动测量装置用弯成环圈形的弯曲部 20(见图 1)
20 进行测量。图 6(c)示出了这种情况下获得压电元件的角度 θ 的方法。

测量结果示于图 6(a)和 6(b)中。不难看出,用没有开口的弯成环形的弯曲部 20 的方向性是差的。结果不难理解,例 1 的装置适合于无方向性的振动测量。

例 3 和对比例 3

25 例 3 的弯曲部 20 由多个环圈构成。环圈的数目是二、五和十,弯曲部的曲率半径是 5mm,其它条件与例 1 相同。

在这些条件下,使压电元件振动,作为电压值的频率变化输出值分别示在图 7 中对应于两圈、四圈、六圈、八圈和十圈的各部分中。

作为对比例 3,测量是用圈数为一圈的弯曲部 20 进行的,其它条件与
30 例 3 相同。结果示在图 7 对应一圈的部分中。

从这两个例的比较中不难发现,灵敏度随圈数增加而增加。

接着, 参照图 8 描述本发明的第二实施方式的振动测量装置和方法。
在该实施方式中, 附图标记 5 代表被测物体, 它具有圆柱形外表面。光纤 2
围绕被测物体 5 的外表面弯成环圈。在这种方法中, 弯曲部 20 形成在光纤
2 上。关于这类结构, 通过把被测物体 5 作为探头附着在任意位置上, 可以
5 测量在任意位置处通过被测物体 5 的振动。其它结构和优点与第一实施方式相同, 在此不再赘述。

在图 8 所示的实例中, 光纤 2 环绕被测物体 5 弯成多个环圈, 当然,
也可以如图 9 所示, 只有一圈。

接着参照图 10 描述本发明第三实施方式的振动测量装置。在此实施方式
10 式中, 光纤 2 相对被测物体 5 在倾斜方向弯成环圈, 这样做的优点是能方便地测量作用在被测物体 5 上的扭转振动。其它的结构和优点与第二实施方式相同。

接着参照图 11 描述本发明第四实施方式的振动测量装置。在该实施方式
中, 被测物体 5 为短圆柱状, 与图 8 所示的实例相似, 被测物体 5 被光
15 纤 2 缠绕而形成弯曲部 20。按照此第四实施方式, 可以将沿被测物体 5 的
轴向施加到被测物体 5 上的振动根据被测物体 5 的泊松比变换成被测物体 5
的周边表面的振动。将用这种方式变换的振动传递给弯曲部 20, 这样就能
测量在被测物体 5 的轴向施加的振动。这样做, 可以把所述振动测量装置
作为拾音器使用。也可以利用一个压电元件构成被测物体 5。用这种方式可
20 以测量作为振动施加到被测物体 5 上的电压变化。

接着参照图 12 描述本发明第五实施方式的振动测量装置。在此实施方式
中, 在单根光纤上设置多个弯曲部 20。具体地说, 将单根光纤 2 在被测
物体 5 的多个部位(图中所示的例子中为两处)上弯出环圈。用这种方式可以
利用待研究的部位附近的弯曲部 20 测量被测物体 5 的多个部位上产生的振
25 动。这类结构优选检测因对被测物体 5 等损害引起的振动。因为通常光纤
具有低损耗, 所以即使单根光纤 2 很长也能减少输出光增益的降低。

另外, 在此实施方式中, 多个弯曲部 20 之间的光纤 2 呈稀疏的环圈状
(见图 2)。如果将光纤 2 沿被测物体 5 的轴向配置, 通过在被测物体 5 上的
弯曲, 可以改变光纤 2 的长度。如果所述长度为 L , 如已公知的那样, 通过
30 光纤 2 的光的频率随着 dL/dt 变化。当目标是测量振动时, 基于弯曲的频率
变化将引起噪声。如果光纤 2 的环绕疏松, 如图 12 所示, 因被测物体 5 的

弯曲而随位置的不同在光纤 2 中出现伸长部分和收缩部分, 因此, 整体上可以基本抵消任何伸长, 用这种方法的优点是能进行较高精度的振动测量。

接着参照图 13 说明本发明第六实施方式的振动测量装置。该装置有一个主体 6, 主体 6 相应于上述实施方式中的被测物体。主体部 6 为一空腔圆筒状。主体 6 的两端面是敞开的。在该实施方式中, 用这种结构可以将振动传递介质(能传送压力波或弹性振动的介质)导入主体 6 中。将光纤 2 环绕主体 6 外侧弯成环圈状, 用与上述实施方式同样的方式形成弯曲部 20。其它结构与上述第二实施方式相同。

可以把第六实施方式的测量装置作为在振动传递介质(例如, 如水等液体)中振动的传感器使用(例如, 水下声音传感器)。也以把气体用作弹性振动介质。在这种情况下, 有利的是将其作为空气载声传感器。在第六实施方式中, 通常是把介质导入主体 6(例如, 用水充满主体 6), 然后测量从介质传递到主体 6 的振动。

例 4

用圆柱形钢件作为被测物体 5, 并进行振动测量。首先参照图 14 说明该装置的结构。被测物体长度 l_1 是 4m, 直径是 15mm。如在上述第二实施方式中所提及的那样, 将光纤 2 环绕被测物体 5 弯成环圈, 该环圈的位置离开被测物体 5 的一端(图的左端)约 50cm 的距离 l_2 。弯曲部 20 通过将光纤 2 弯成环圈形成, 与图 1 类似, 将适合的部件例如输入部 1、检测部 3 和 AOM 4 连接到光纤 2 上。在本例中, 还连接一个用于从被检测部 3 检测的振动中选取一个特定频率的带通滤波器(未示出)。该滤波器可以由模拟滤波器或数字滤波器构成。

一个超声振动器 7 附着在被测物体 5 的一端。在本例中, 该超声振动器 7 产生 230KHz 的振动。一个低频振动器 8 附着在被测物体 5 的另一端。在本例中, 该低频振动器产生 605Hz 的振动。

接着描述用于本例的振动测量方法。首先使超声振动器 7 和低频振动器 8 工作, 将各自的振动施加在被测物体 5 上。通过弯曲部 20、光纤 2 和检测部 3(见图 1)检测所述振动。在被检测的振动中在 605Hz 附近的分量被滤波器选取, 图 15 示出了所述被选取的振动波形。图中分别示出光纤 2 的圈数是十的情况和光纤 2 的圈数是一的情况。不难发现, 在十圈的情况下灵敏度比较高, 而且还提高了 S/N。

同时,在被检测部 3 检测的振动中靠近 230KHz 的分量被滤波器选取。图 16 示出所述被选取的振动的波形。该图还分别示出了光纤 2 的圈数为十和圈数为一两种情况。

在此,可以认为在弯曲部 20 的频率改变值与环圈部的半径无关,其理由如下。首先如果上述方程(1)沿半径 R 的环路积分,则得到下面的方程

$$\Delta f = -\frac{f_0}{c} \oint_R \vec{V} \cdot \vec{n} ds \quad \text{方程(2)}$$

在这种情况下,弯曲部 20 是环绕一个圆柱体的环圈,速度分量始终在垂直于该环圈部分的方向,这意味着:

$$\vec{V} \cdot \vec{n} = V_R(t) \quad \text{方程(3)}$$

还有,因为速度分量与 θ 方向无关,所以在频率为 m 的情况下,在弯曲部 20 上的频率变化由下式给出:

$$\Delta f = -\frac{2\pi m f_0}{c} V_R(t) \quad \text{方程(4)}$$

方程(4)不再与环圈部的半径有关。

从这个例子可以看出:首先,通过把弯曲部 20 附着到被测圆柱物体 5(即主体 6)上,可以测量被测物体的振动。

第二,即使输入的振动具有不同频率,用由单根光纤 2 形成的弯曲部 20 可以分别测量这些频率的振动。

如果光纤 2 的弯曲部 20 的曲率半径小于 5mm 至 10mm,则与光纤 2 的性能的关系较大,并且弯曲损耗增大,所以实际实施起来困难。

接着参照图 17 描述本发明的第七实施方式的测量装置。在本实施方式中,将单根光纤 2 在多个部位上弯成环圈,形成多个弯曲部 20,将这些弯曲部 20 附着到作为单个检测区的被测物体 5 上,如图 17 所示。被测物体 5 呈板状。在第七实施方式中,如果由于被测物体 5 损坏或其它原因引起的振动施加到任何一个或多个弯曲部 20 上,则检测部 3 可以检测所述振动。用这种方法适合于监测结构体。

图 17 所示的测量装置还适合对被测物体 5 进行主动无损检测(active non-destructive testing)。图 18 示出了所采用的方法。利用振动发生器或锤子将振动施加到被测物体 5 上,相应于损害的振动施加在每个弯曲部 20 上。多个弯曲部 20 获得并测量所述振动。根据检测振动的特性(波形,传递时间等)可以获得例如被测物体 5 的损坏部位和程度等必要的信息。这是因为已

损坏的部分的振动频率或振幅发生变化。图 19 示出了输出的一实例。如该图所示, 在已测得两个波 A 和 B 的情况下, 可以从这两个波的时间间隔和衰减推断出例如损害部位等信息, 在进行这种推断时, 可以用适当的手段例如创建一些指导性的实例(instructional examples), 然后利用根据这些指导性实例构成的神经网络进行推理。

如已经描述那样, 通过增加弯曲部 20 的环圈数目可以提高所检测的振动的输出增益。因此得出, 通过增加承受检测的弯曲部 20 的环圈数目, 可以抑制因施加到光纤 2 上的振动而不是待检测部分引起的噪声。

试验例

10 利用第一实施方式的装置进行检测被测板状物体表面的剥离。被测物体 5 包括一个 CFRP 铝夹层蜂窝结构, 将一个环圈弯曲部 20 固定到被测物体 5 的表面上(见图 20), 将一个已经剥离的物体用作被测物体 5。将弹性波施加到被测物体 5 上。在此如图 21 至图 24 所示, 改变剥离部、振动源和弯曲部 20 的位置关系, 在每幅图中, 用斜断面线表示已剥离部分 5a。剥离

15 的长度是 300mm, 对每幅图的状态描述如下:

(1) 在图 21 中, 弯曲部 20 放置于已剥离部 5a 的中心, 而弹性波从已剥离部 5a 的外侧(图中的箭头方向)输入。

(2) 在图 22 中, 弯曲部 20 放置在靠近已剥离部 5a 的端部(在距端部约 10mm 的位置), 弹性波从已剥离部 5a 的外侧(正常部侧)输入。

20 (3) 在图 23 中, 弯曲部 20 放置在靠近已剥离部 5a 的端部(距离端部约 10mm 的位置), 弹性波从已剥离部 5a 侧(已剥离部侧)输入。

(4) 在图 24 中, 弯曲部 20 放置在已剥离部 5a 的外侧(距剥离部的端部约 10mm 的位置), 弹性波从已剥离部 5a 侧(已剥离侧)输入。

在上述的每种条件下, 在改变从振动源到弯曲部 20 的距离的同时获得

25 作为电压的被检测的振动的峰值。图 25 示出了结果, 图 25 的(a)至(e)的结果对应于图 20 至图 24 中的条件。根据这些结果, 除了图 22 的情况(结果(C))之外, 这些值与未剥离的情况(结果(a))不同, 因此可以认为, 通过测量振动的峰值可以检测是否存在剥离。

再查看结果(d)和(e)(见图 26), 峰值的斜率在中途改变。这是因为已剥

30 离部和正常部的衰减系数不同, 据推测这些峰值将根据振动源是否在已剥离部上而不同。可以想像, 根据这个转变点可以推测剥离的部位。另外,

在通过剥离部传递振动的情况和通过正常部传递振动的情况中振幅的幅值不同，这意味着，可以想像到，不管弯曲部 20 是否处于已剥离部，都能检测剥离。

接着参照图 28 至图 31 描述本发明的第八实施方式的测量装置。在下面的描述中，把通过弯曲部 20 的光称为测量光，而把构成用于检测该测量光频率变化的参考的光称为参考光。传送测量光和参考光的方法如表 1 所示的组合。

表 1: 测量光和参考光的组合

		参考光			
		一个方向	环圈	反射	内部
测量光	一个方向	一个方向/一个方向			
	环圈		环圈/环圈	环圈/反射	环圈/内部
	反射		反射/环圈	反射/反射	反射/内部

在该表中，“一个方向”是指用于传送测量光和参考光的光纤沿一没被弯成环圈的方向延伸。图 28 示出了使测量光和参考光在一个方向延续的例子。从输入部 1（光源）输入到光纤 2 的输入光被耦合器 23 分支后分别输入到测量光的光纤 201 和参考光的光纤 202。光纤 201 和 202 构成光纤 2 的部分。通过光纤 201 和 202 的光被耦合器 24 组合后被检测部 3 检测。其它的结构与图 1 所示的第一实施方式相同，因此省略具有相同附图标记的部分的描述。

表 1 中的“环圈”是指将光纤弯成环圈然后使其返回到输入侧。图 29 示出将测量光光纤 201 和参考光光纤 202 一起弯成环圈的结构，其它的结构与图 28 相同，因此省略具有相同附图标记的部分的描述。

表 1 中的“内部”是指输入光(参考光)不延续到被测物体。在图 30 中示出具有测量光光纤 201 弯成环圈状和参考光光纤 202 位于内部的结构。这个结构等同于图 1 的结构。其余的结构与图 28 相同，因此省略具有相同附图标记的部分的描述。

在表 1 中“反射”是指输入到光纤的输入光(测量光和参考光)在光纤端部反射。图 31 示出可以把测量光的光纤 201 或参考光的光纤 202 制成一个“反射”构件的结构。测量光和参考光在端部 201a 和 202a 反射后返回。返回的光经耦合器 25 和 26 被耦合器 24 组合后传送给检测部 3。其它结构与图 28

相同，因此省略相同附图标记部分的说明，采用这种结构，在应用反射的场合，由于可使光纤延伸到光纤的铺设位置并在端部适当切断，所以具有安装方便的优点。

还有一个优点是：通过使测量光光纤 201 和参考光光纤 202 的光路长
5 相同，可以使光的频率分散(frequency dispersion)一致，其结果改善了测量精度。

另外，通过把测量光的光纤 201 和参考光的光纤 202 置于同一光路上，使来自路径外侧的振动噪声相等，结果具有能抵消振动噪声的优点。

接着参照图 32 描述本发明的第九实施方式的测量装置。在本实施方式
10 中，光纤 2 环绕球 9 弯成环圈，通过这种方式，将弯曲部 20 安排在球 9 的周围。

按照这种测量装置，利用弯曲部 20 可以检测施加在球 9 上的振动。据此，具有能进行三维振动测量的优点。

也可以把上述实施方式的每种装置，例如用于控制例如主动控制的传
15 感器。具体地说，可以把所述振动测量装置作为主动控制系统的部分安装在内部。在这种情况下，该系统接收被振动测量装置检测的振动或相应于被测量的振动的信息作为输入，并根据该输入进行控制。这种主动控制系统本身是公知的，因此省略对其描述。

上述的实施方式只是一些实例，不代表本发明的本质结构，在不超出
20 本发明构思的前提下可以有各种结构。

工业实用性

按照本发明，可以提供一种高灵敏度和在宽频带范围内测量振动的振动测量装置和系统。

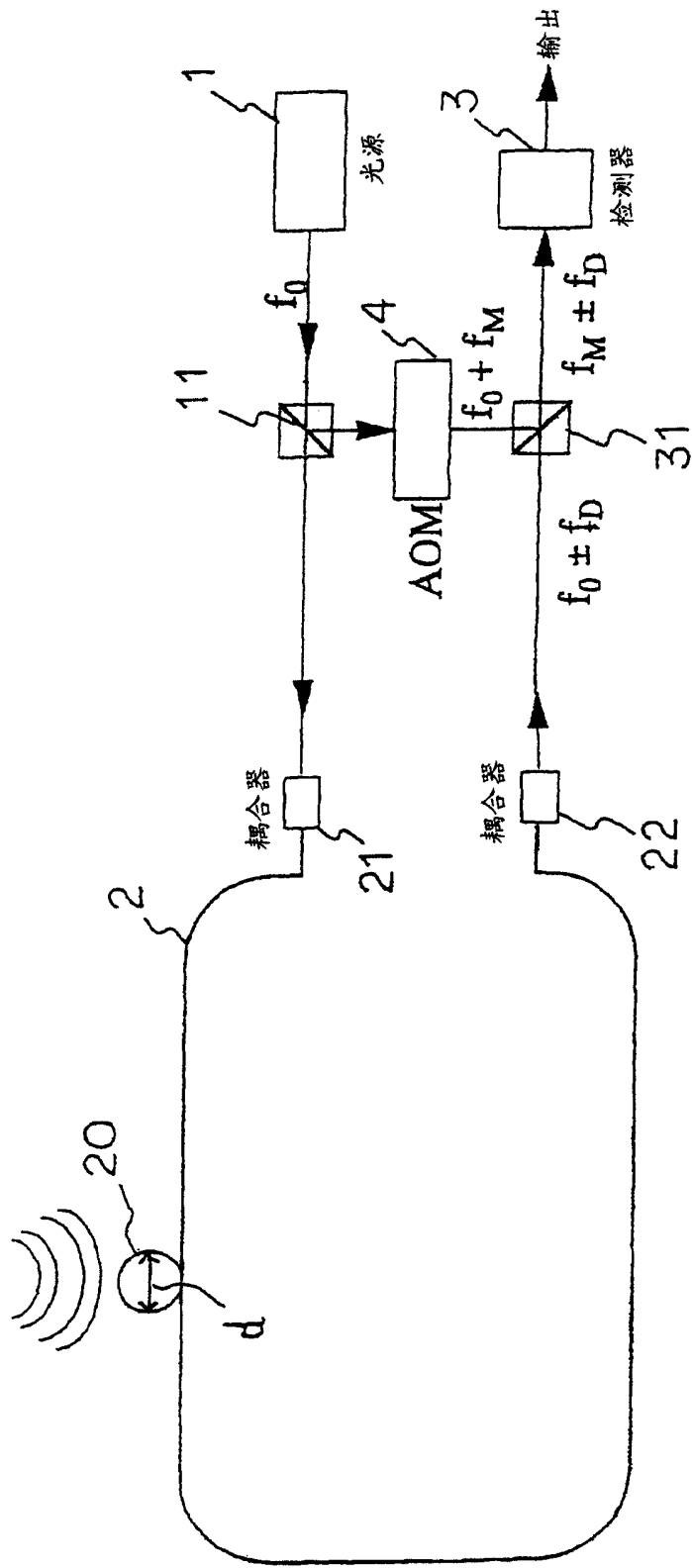


图 1

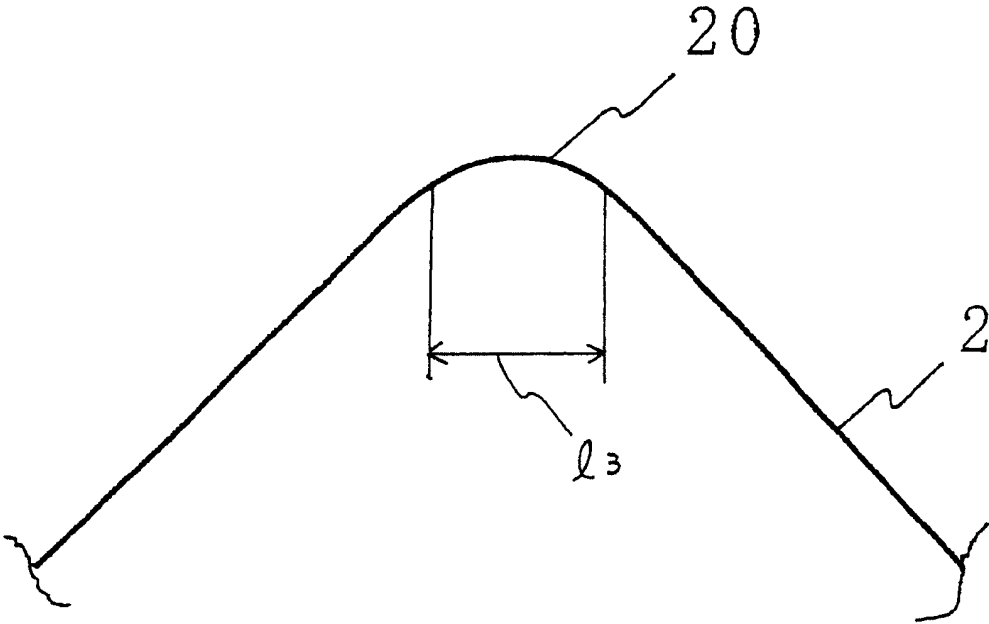


图 2

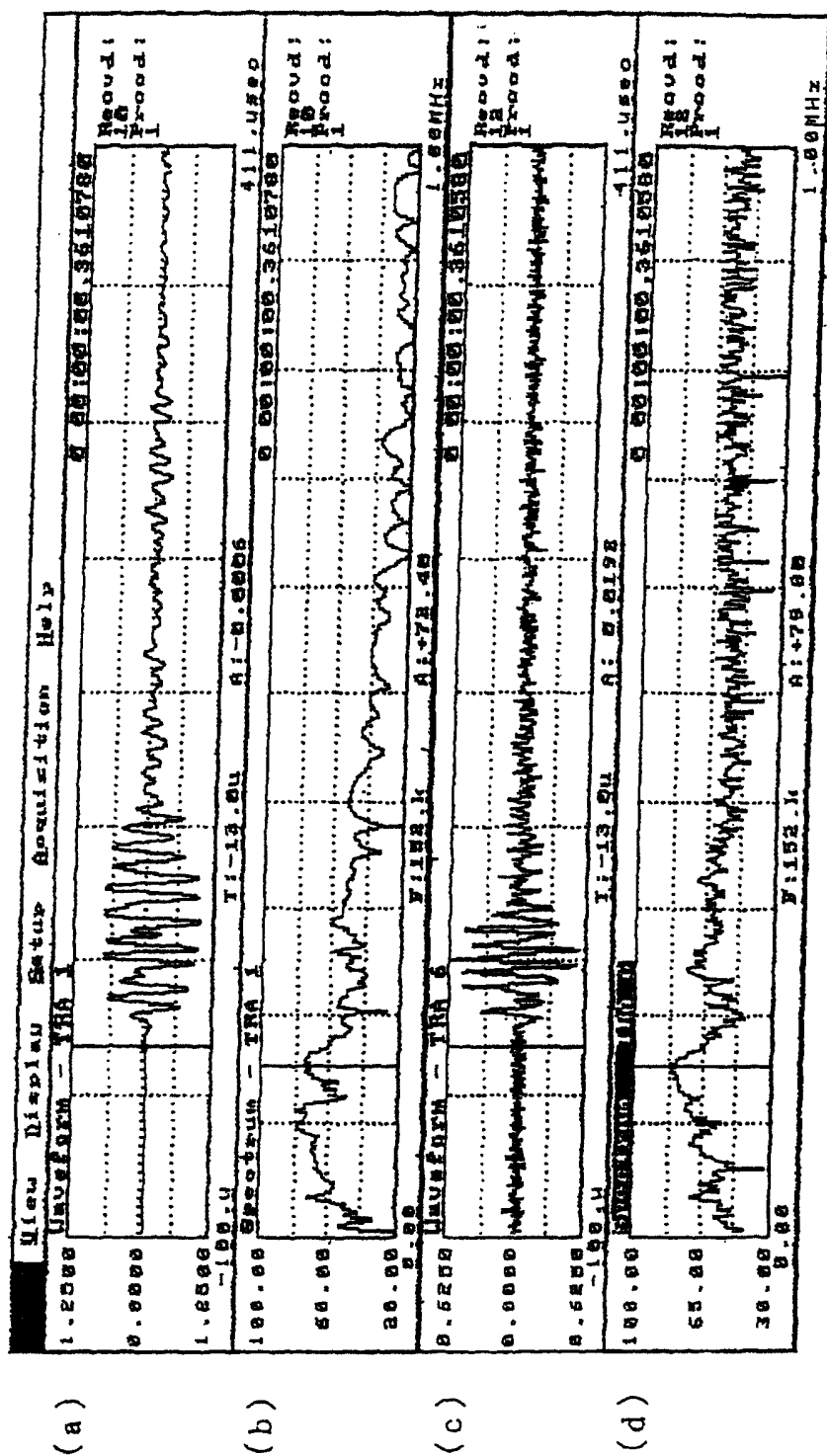


图 3

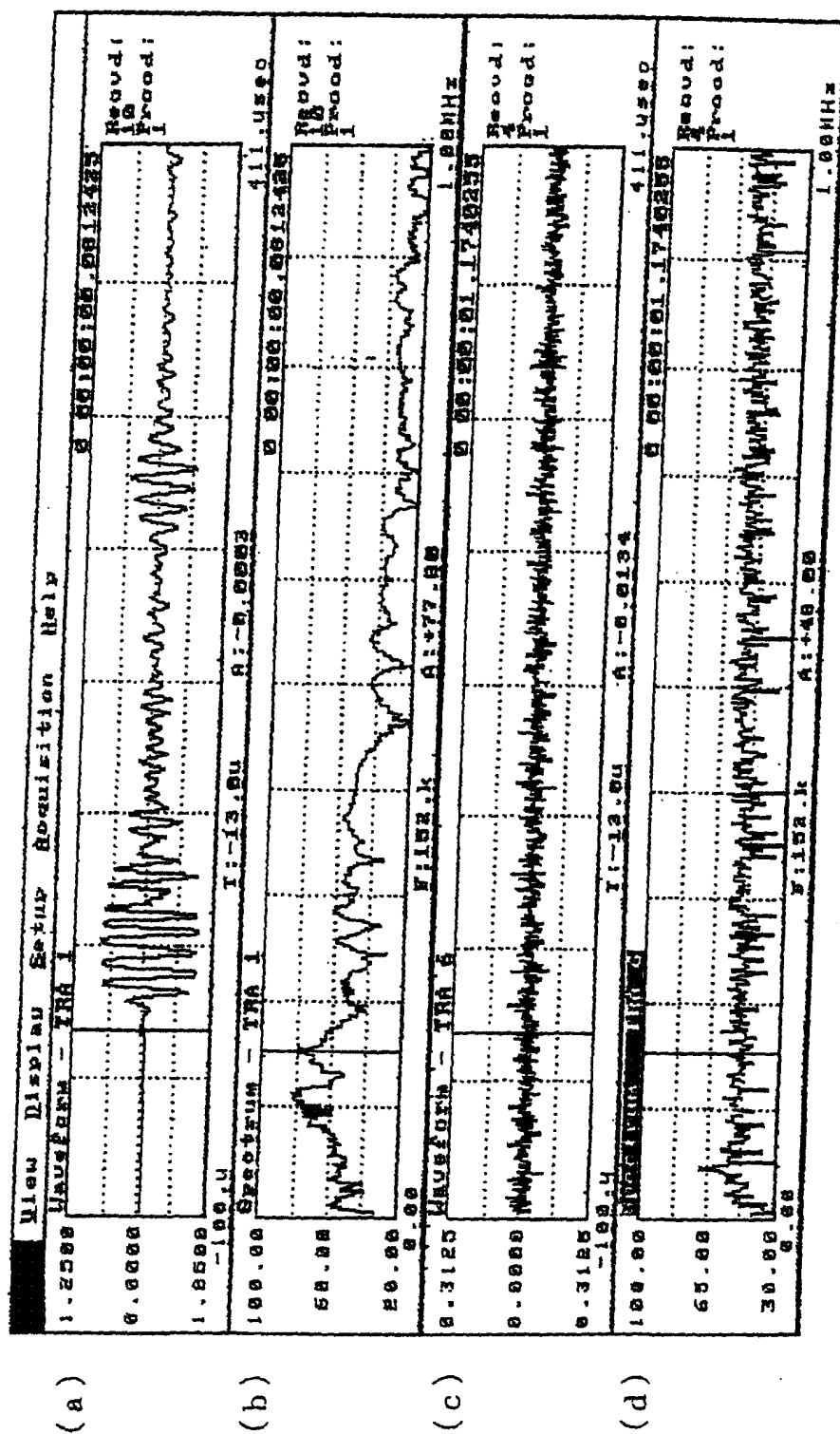
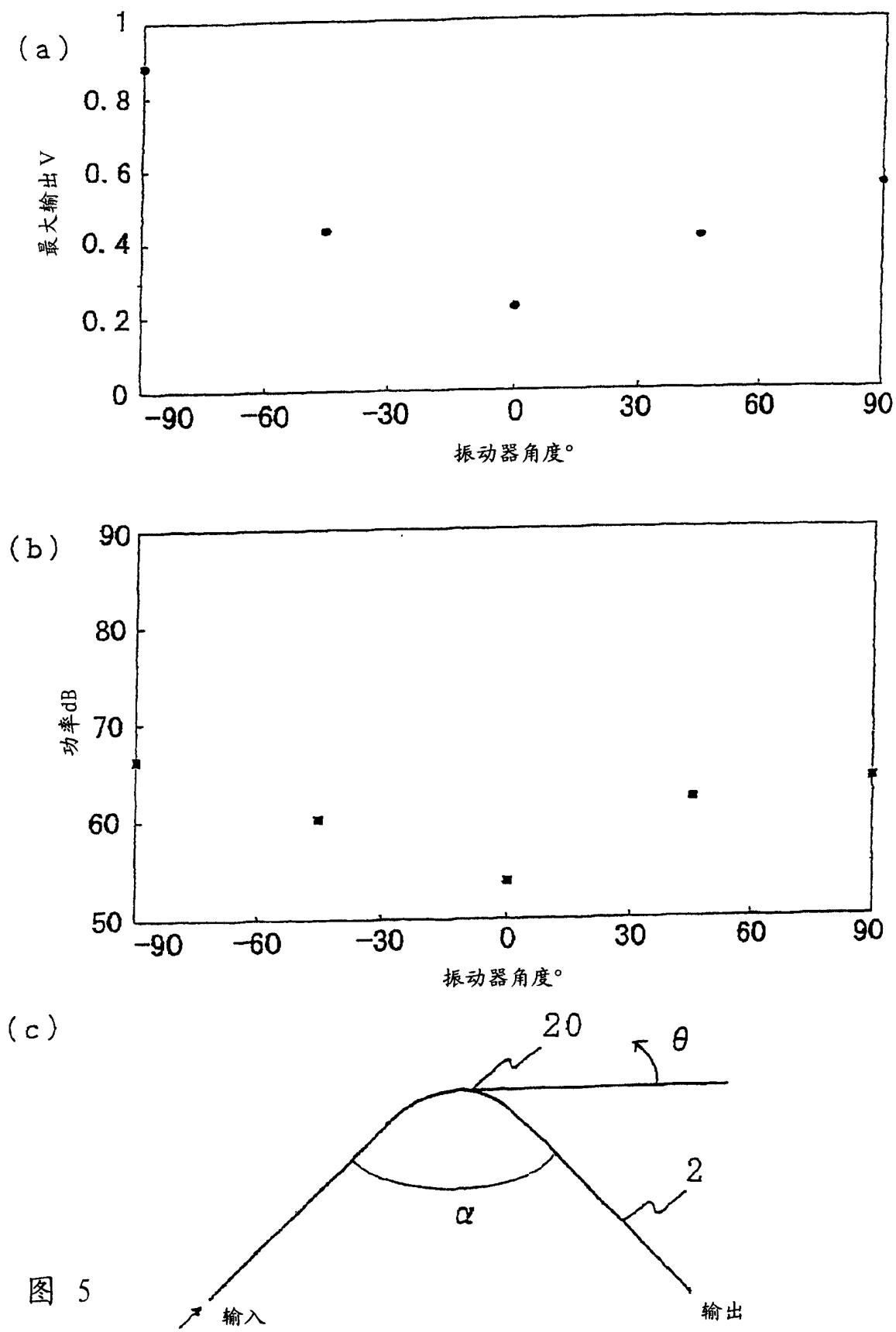


图 4



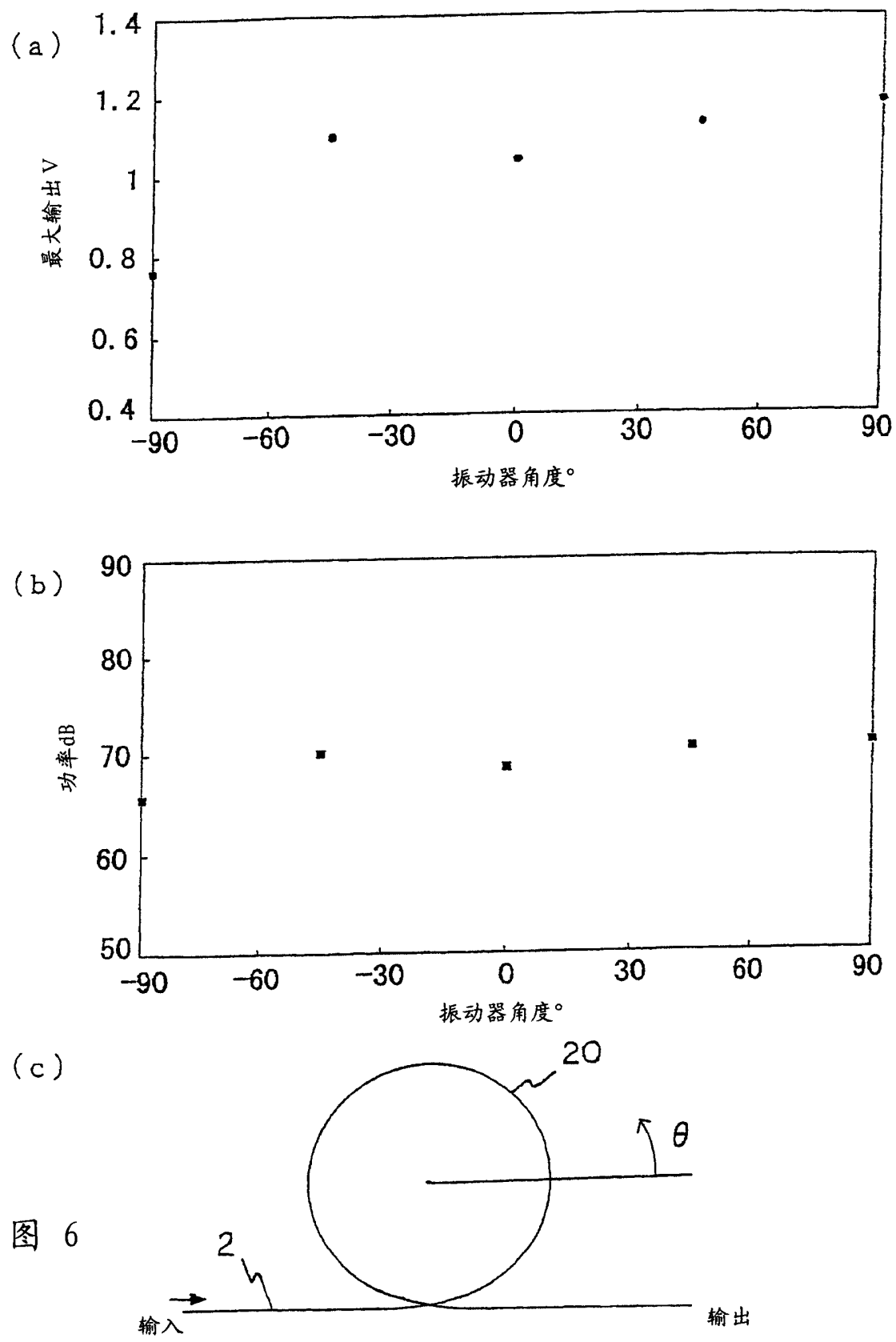


图 6

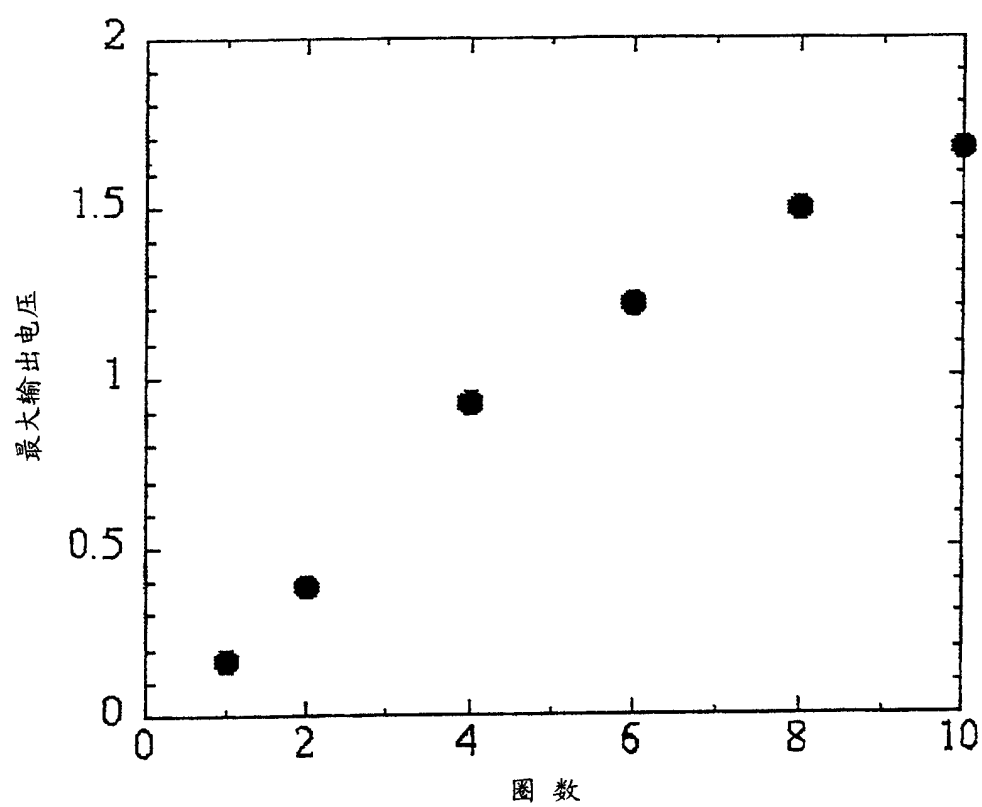


图 7

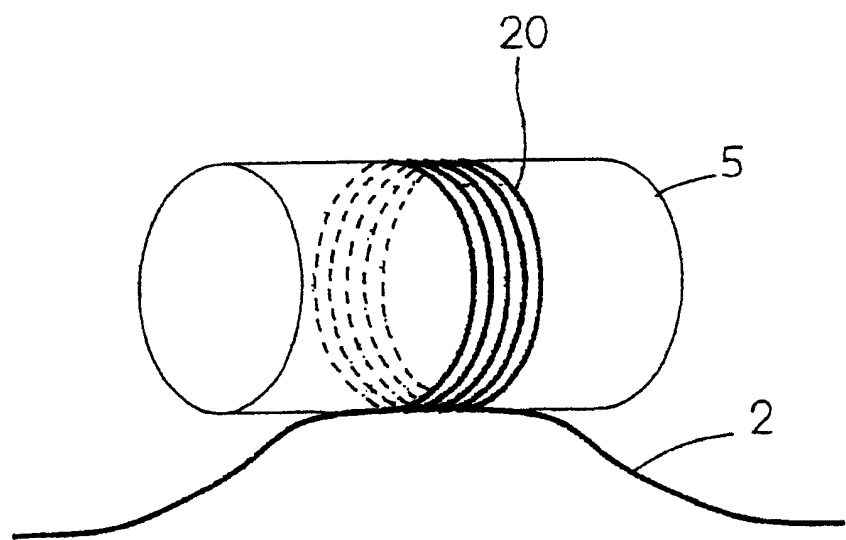


图 8

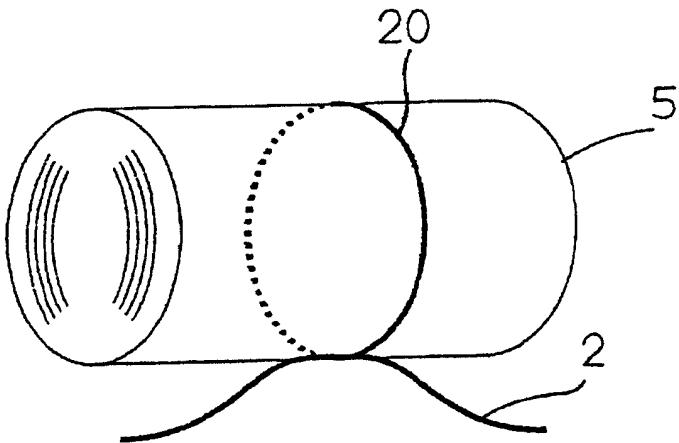


图 9

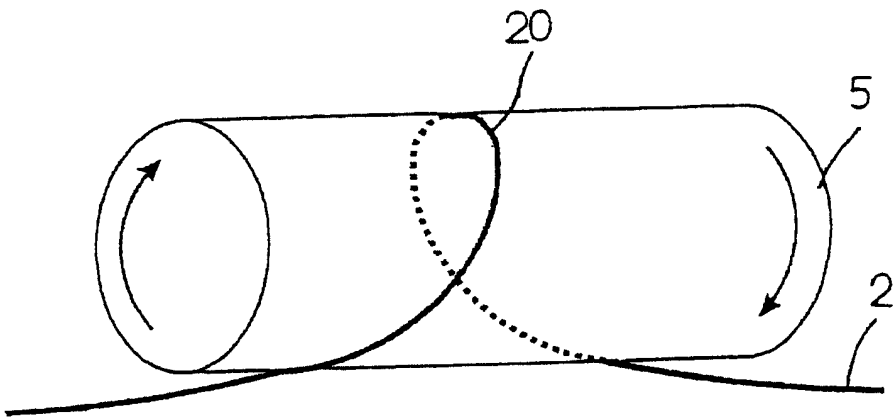


图 10

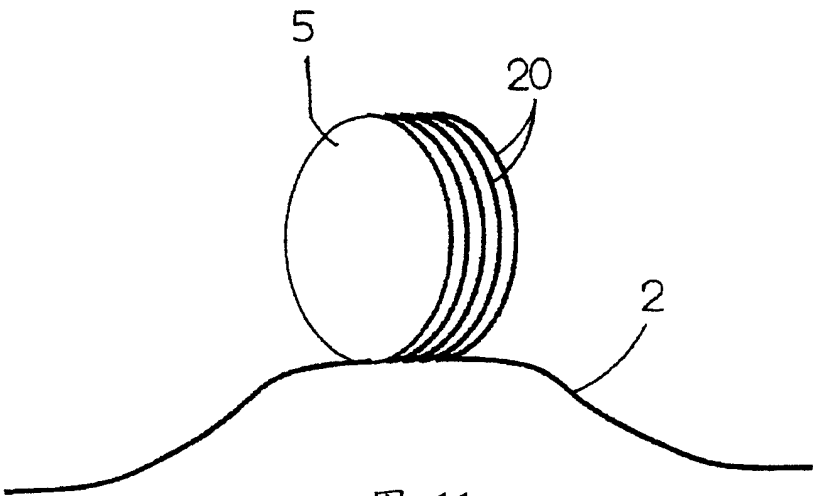


图 11

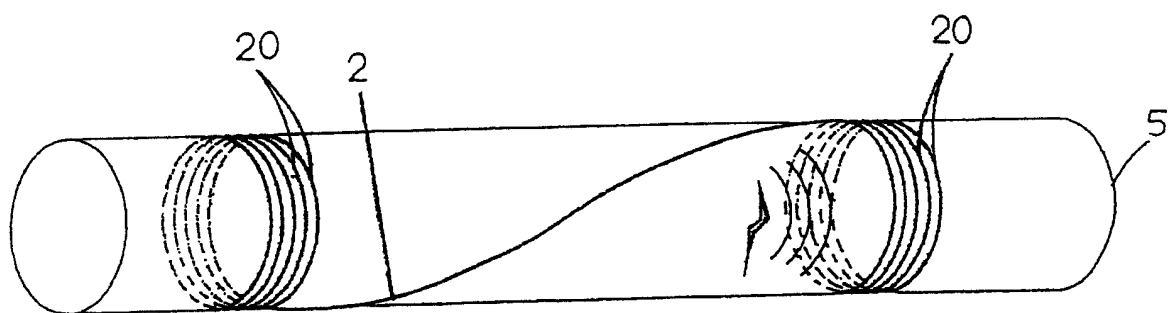


图 12

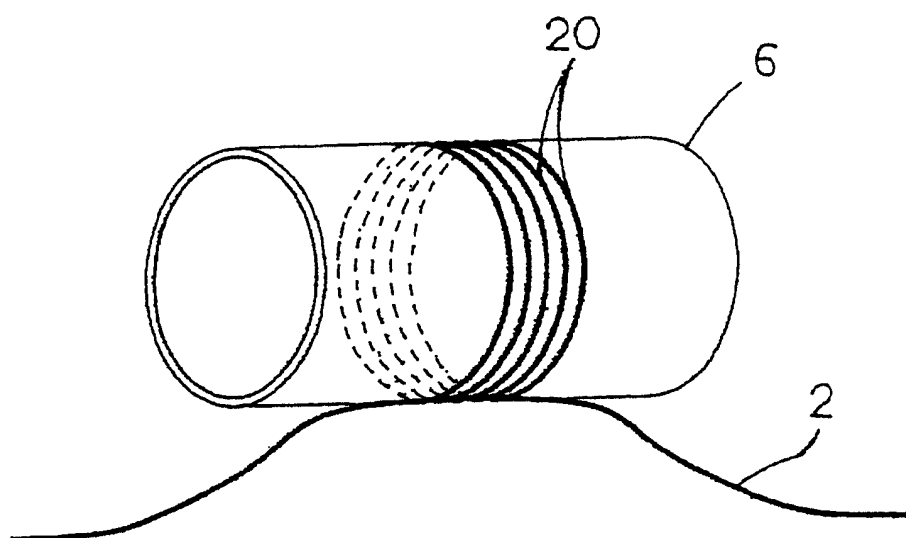


图 13

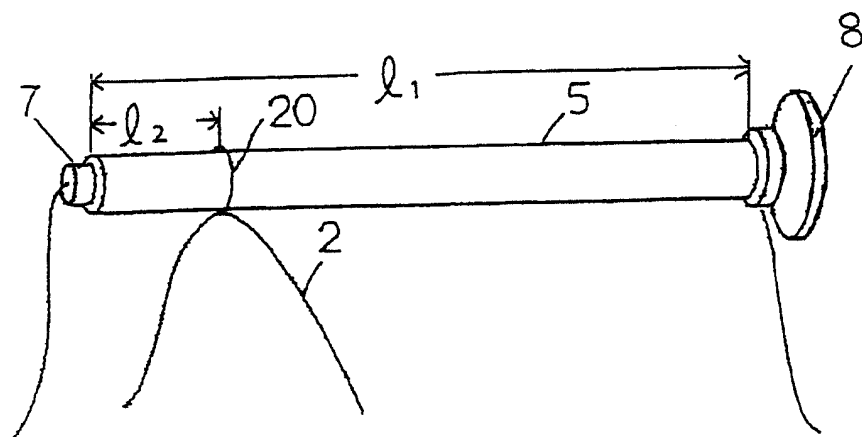


图 14

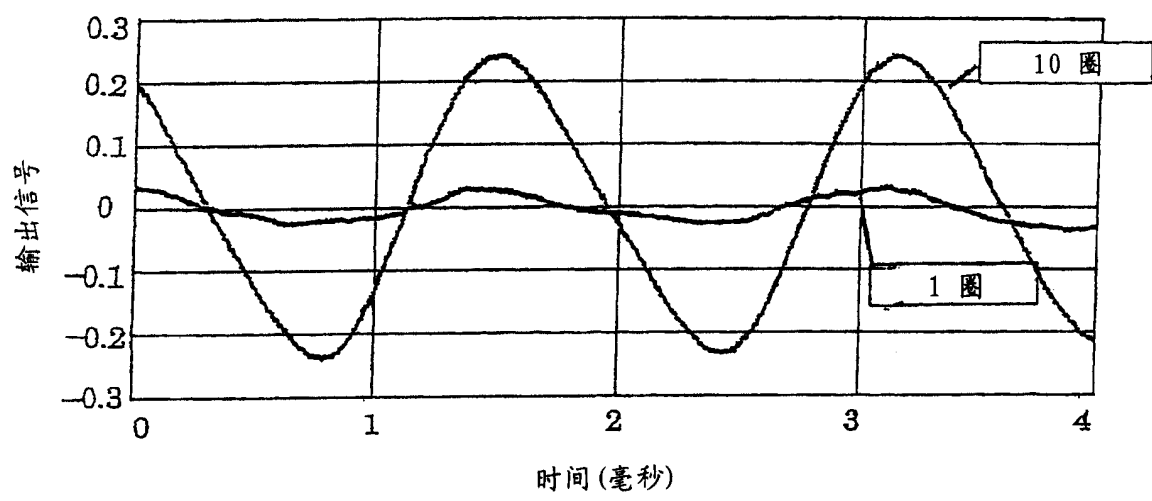


图 15

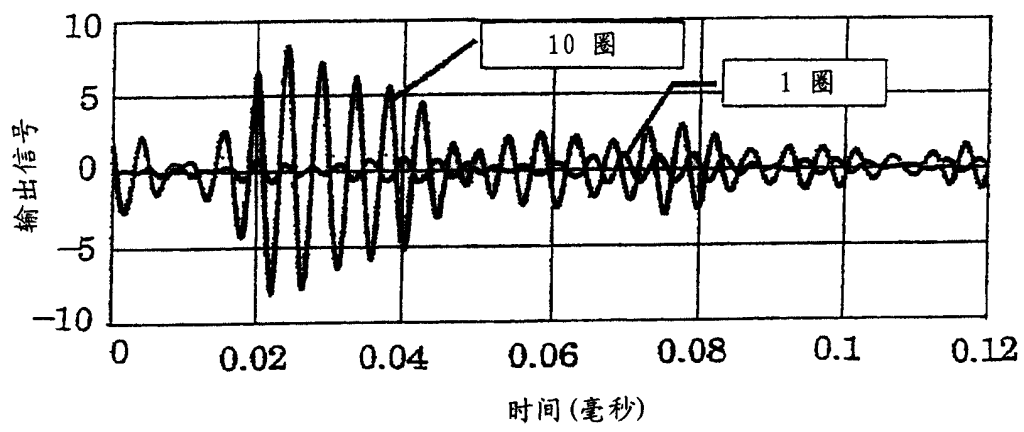


图 16

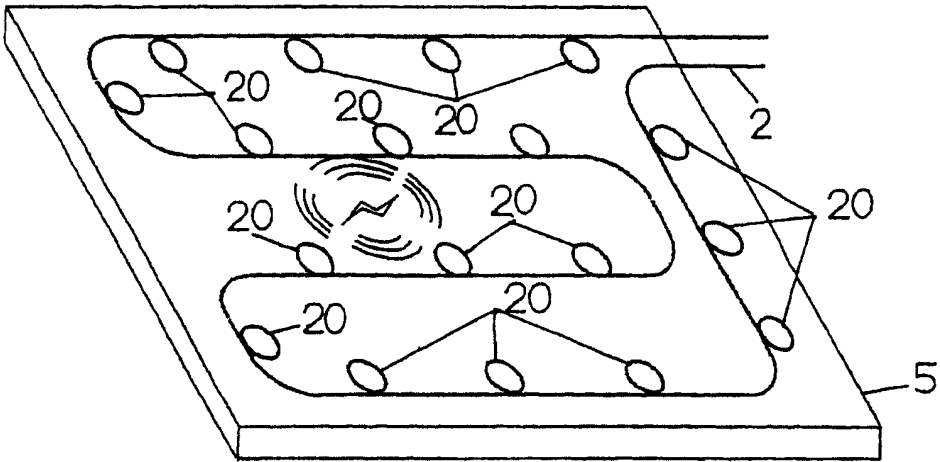


图 17

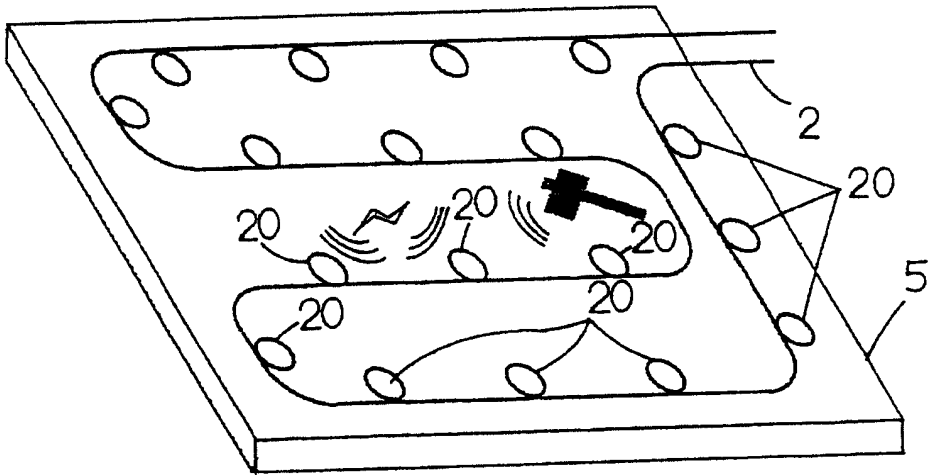


图 18

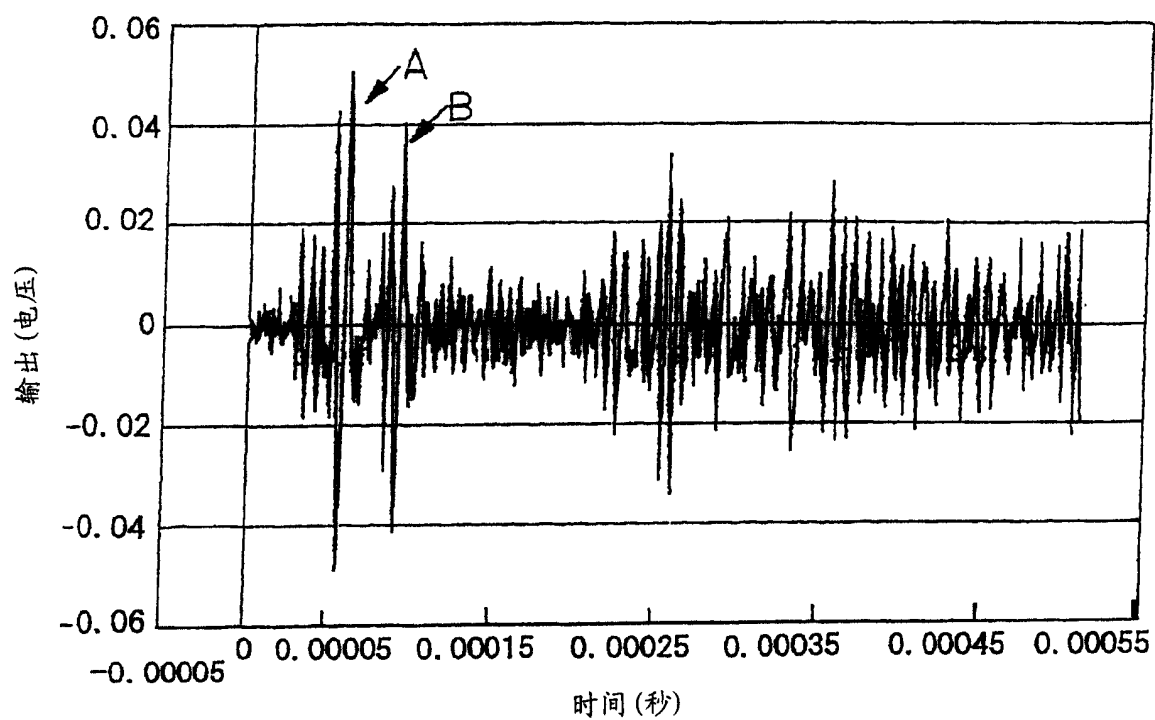


图 19

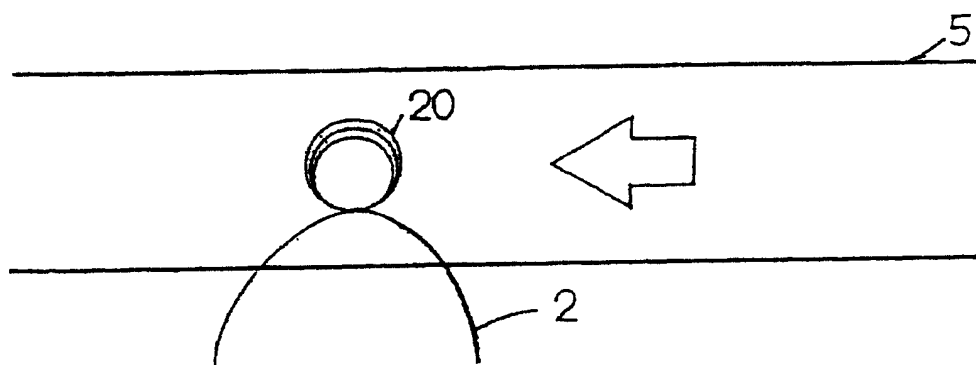


图 20

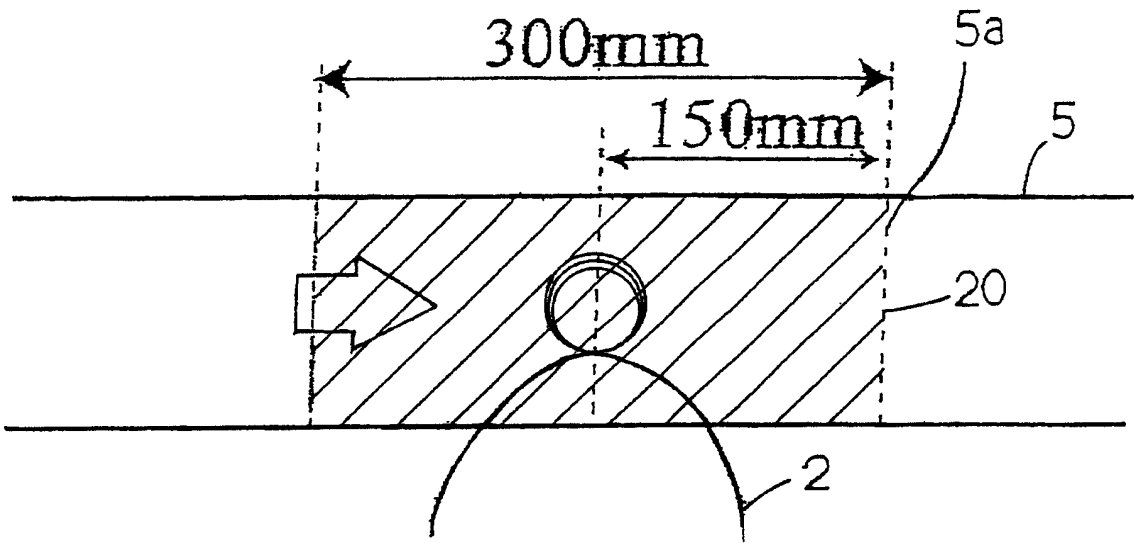


图 21

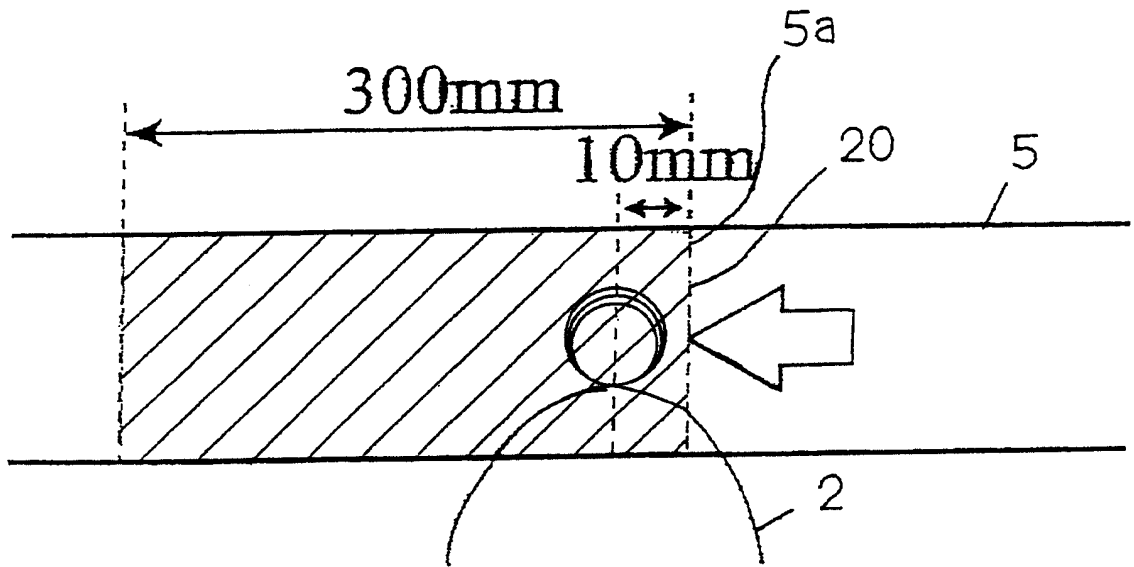


图 22

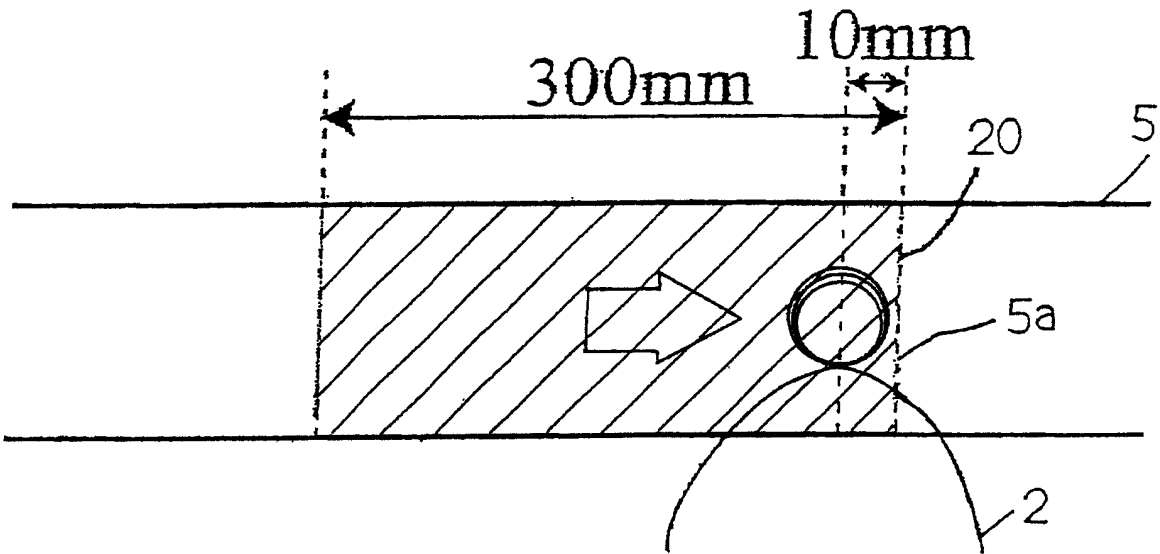


图 23

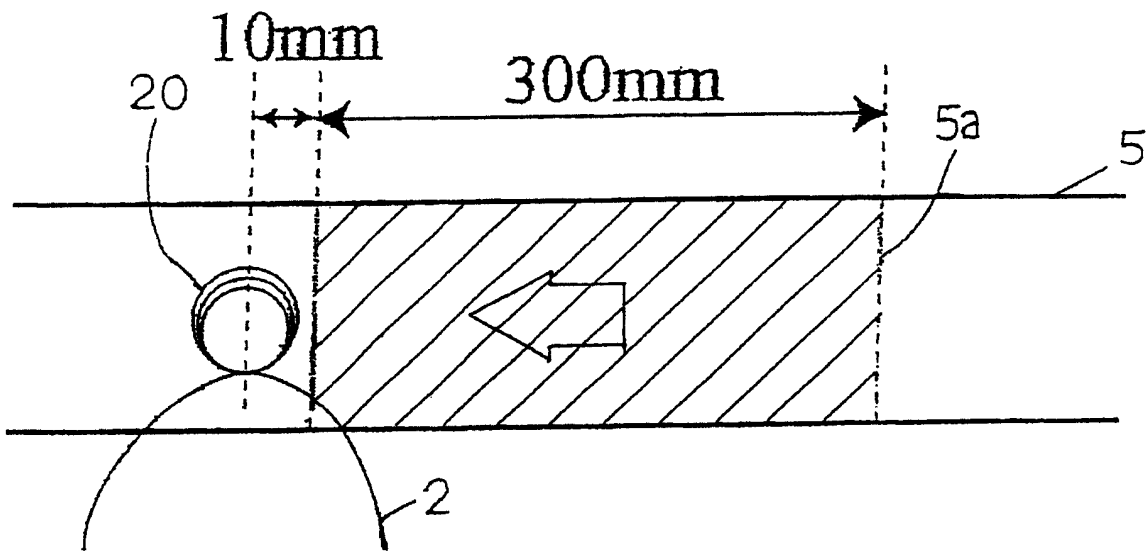


图 24

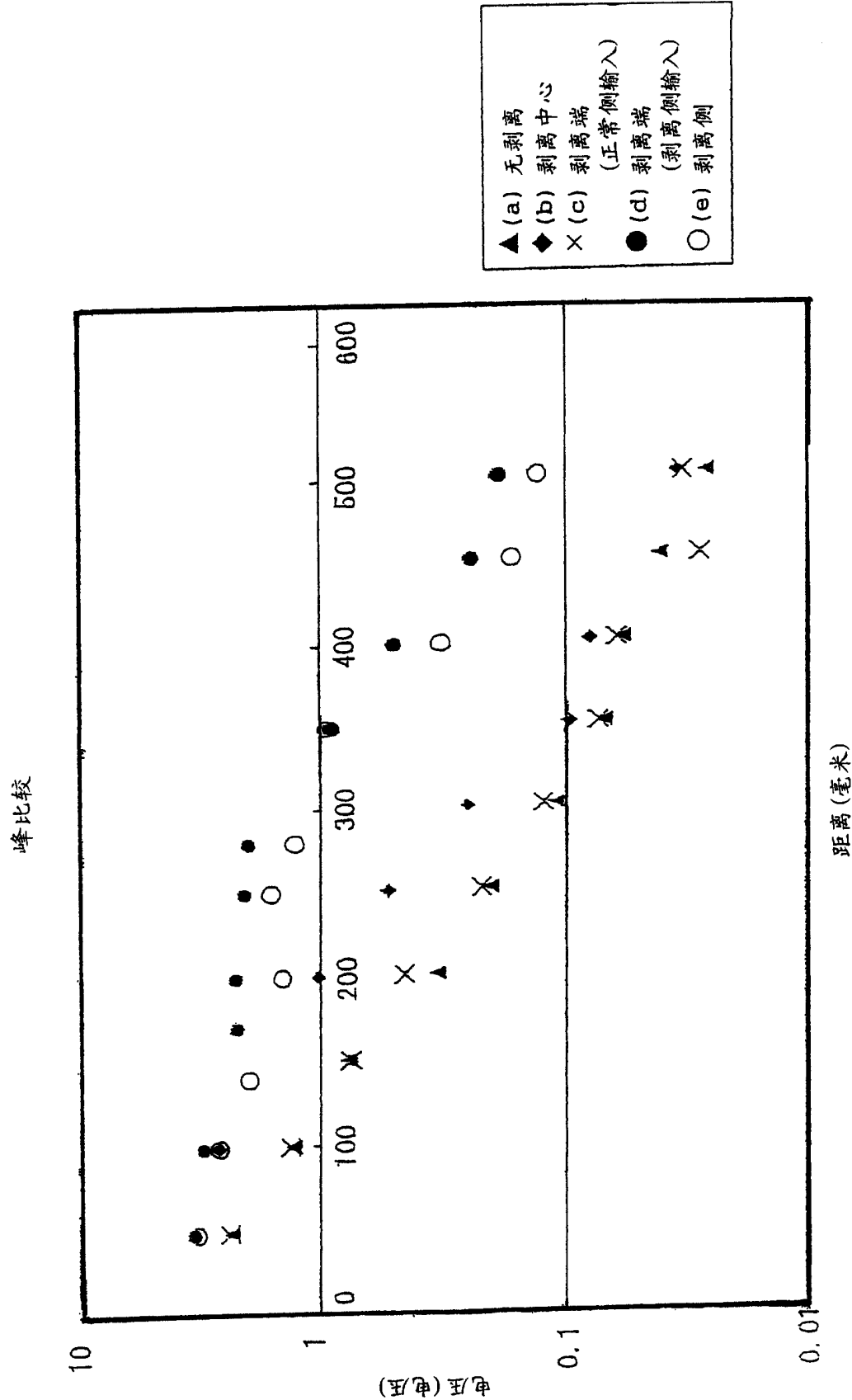


图 25

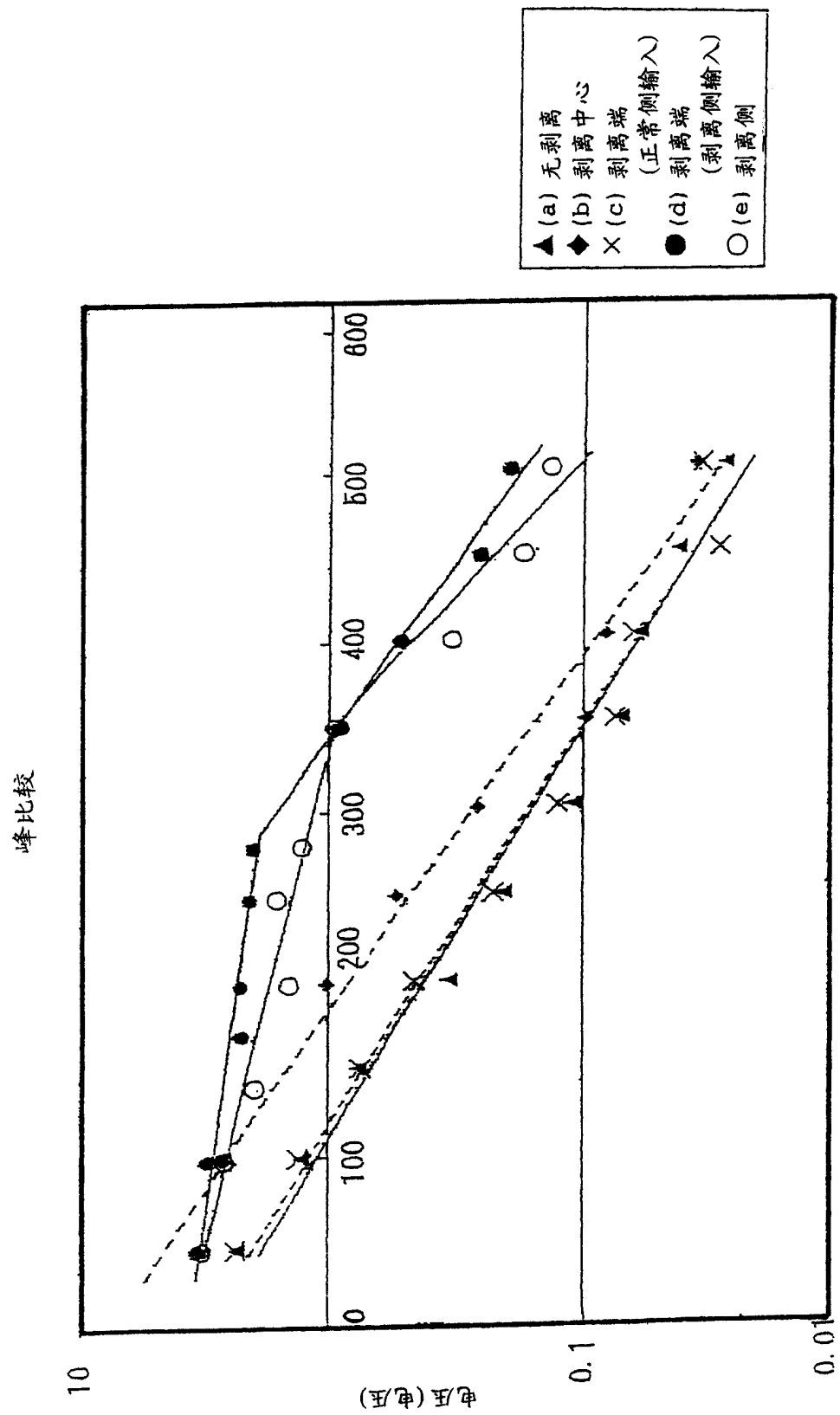


图 26

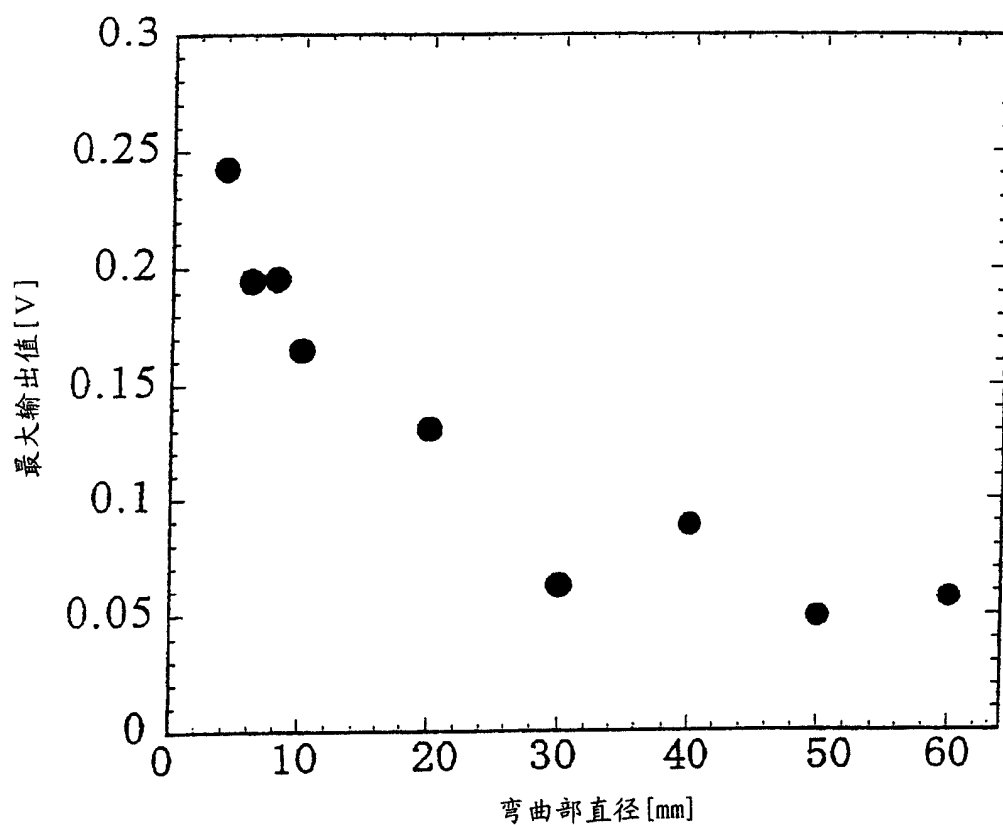


图 27

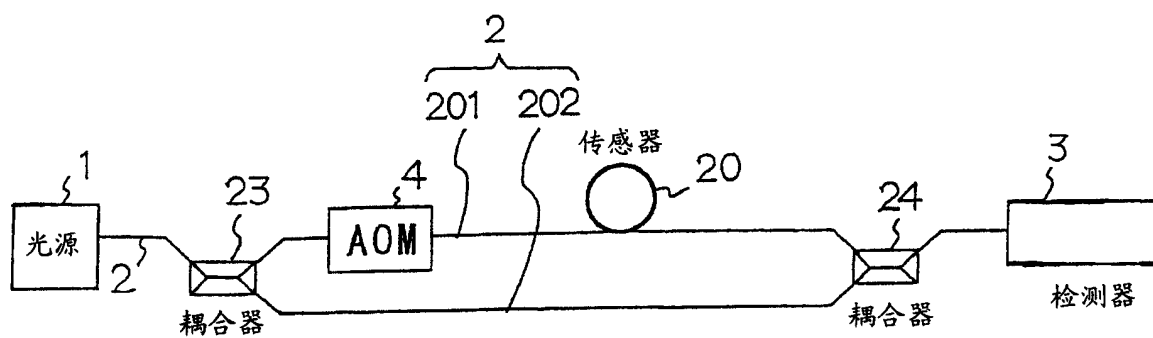


图 28

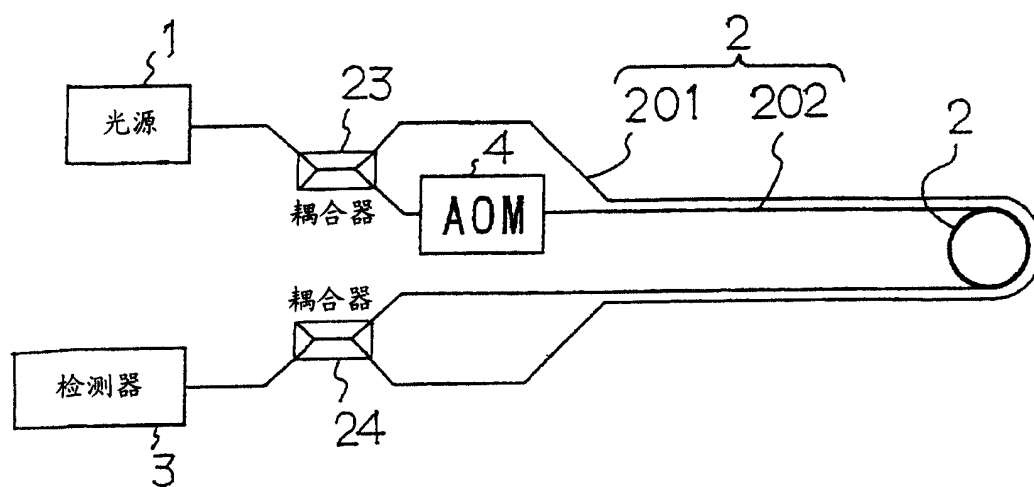


图 29

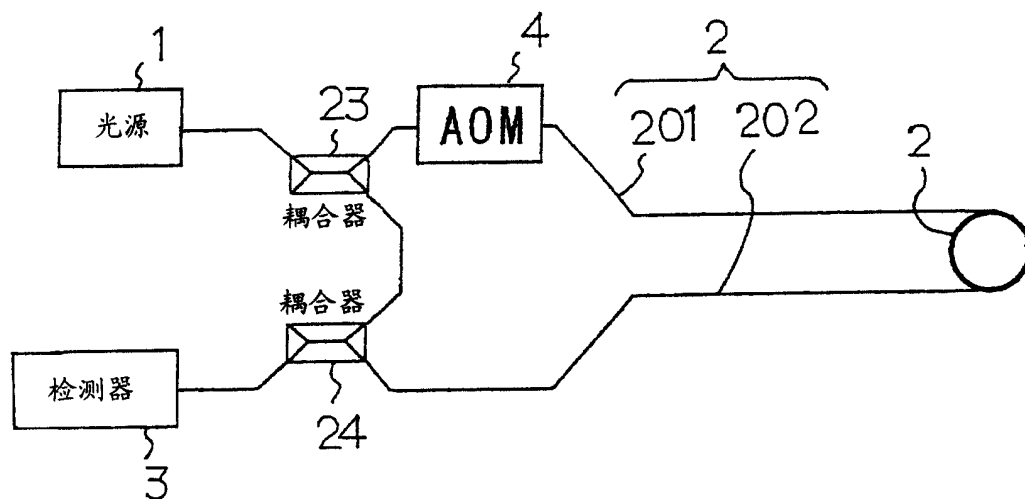


图 30

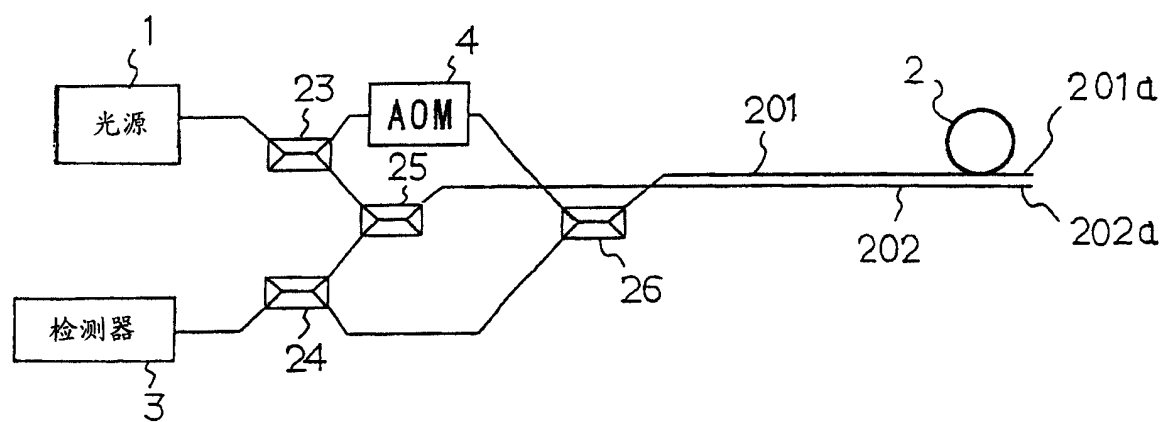


图 31

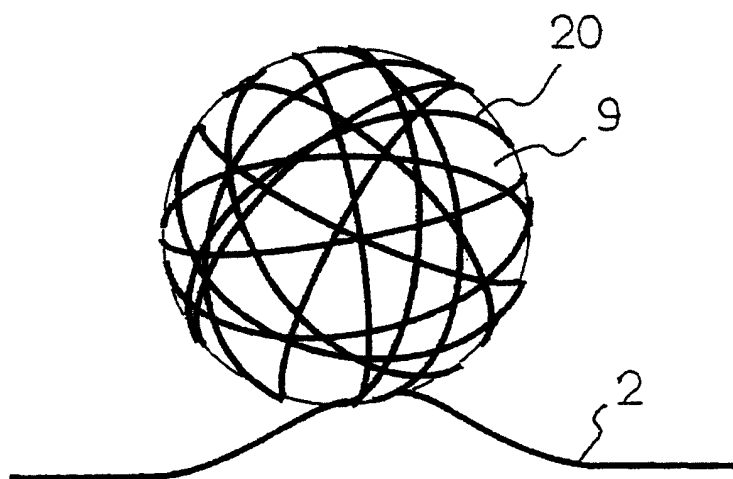


图 32