



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1977454 B

(45) 授权公告日 2011.10.12

(21) 申请号 200580021242.8

(22) 申请日 2005.06.02

(30) 优先权数据

187951/2004 2004.06.25 JP

(85) PCT申请进入国家阶段日

2006.12.25

(86) PCT申请的申请数据

PCT/JP2005/010156 2005.06.02

(87) PCT申请的公布数据

W02006/001162 JA 2006.01.05

(73) 专利权人 松下电器产业株式会社

地址 日本大阪府

(72) 发明人 中西淑人 中村邦彦

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 陶凤波

(51) Int. Cl.

H03H 9/46 (2006.01)

B81B 3/00 (2006.01)

B82B 1/00 (2006.01)

H03H 9/24 (2006.01)

(56) 对比文件

JP 5-14116 A, 1993.01.22, 全文.

JP 6-310976 A, 1994.11.04, 全文.

P. A. Williams, S. J. Papadakis, et.

al. Multiwalled Carbon Nanotubes as
Gigahertz Oscillators. Physical Review
Letters 88 4. 2003, 88(4), 045503-1 -
045503-3.

Wanlin Guo, et. al. Energy Dissipation in
Gigahertz Oscillator from Multiwalled Carbon
Nanotubes. Physical Review Letters 91
12. 2003, 91(12), 125501-1 - 125501-4.

审查员 俞晨

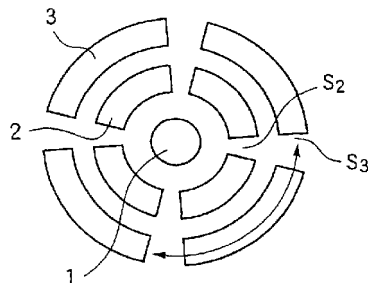
权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图 10 页

(54) 发明名称

电动机械滤波器

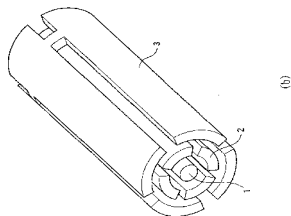
(57) 摘要

本发明涉及一种电动机械滤波器,其能够指定振动模式从而振动器可以只被该振动模式所激发,即能够抑制除指定振动模式以外的振动模式。滤波器包括向其中输入信号的第一元件、与第一元件分开指定距离而设置从而围绕第一元件并被从第一元件输入的信号所引起的静电力所激发的第二元件、与第二元件分开指定距离设置从而围绕第二元件来探测第二元件的振动的第三元件。形成该滤波器使得第二元件通过从第一元件和第二元件受到吸引力而被吸引,且其振动方向是指



(a)

定的。



1. 一种电动机械滤波器,包括:

第一元件,用于输入信号;

第二元件,设置在离开所述第一元件的预定距离从而围绕所述第一元件,并由于从所述第一元件输入的信号所引起的静电力而被激发;和

第三元件,设置在离开所述第二元件的预定距离从而围绕所述第二元件,并探测所述第二元件的振动,

其中所述第二元件受到来自所述第一元件和第三元件的吸引力从而被束缚和控制以产生沿旋转方向的振动,

其中所述第一元件到第三元件是导体,且所述第二元件和第三元件的每个在圆周上具有介电常数不同的部分,且

其中根据所述第二元件和第三元件之间的静电电容变化进行信号传送。

2. 根据权利要求1所述的电动机械滤波器,其中所述第二元件的振动模式是扭转振动模式。

3. 根据权利要求1所述的电动机械滤波器,其中抑制所述第二元件的振动的力是范德瓦尔斯力。

4. 根据权利要求1所述的电动机械滤波器,其中在所述第一元件到第三元件中,至少所述第二元件包括将通过自组织形成的材料,且所述预定距离是至少通过所述第二元件的自组织所形成的狭窄间隙。

5. 根据权利要求4所述的电动机械滤波器,其中所述将通过自组织形成的材料是碳纳米管。

6. 根据权利要求1所述的电动机械滤波器,其中所述第二元件和第三元件中的每个包括具有不均匀物理性质值的区域。

7. 根据权利要求1所述的电动机械滤波器,其中所述第二元件和第三元件中的每个包括具有不均匀形状的区域。

8. 根据权利要求7所述的电动机械滤波器,其中所述具有不均匀形状的区域包括狭缝或孔。

9. 根据权利要求1所述的电动机械滤波器,

其中所述第一元件包括用作信号线的导电柱,

其中所述第二元件包括离开所述第一元件预定距离设置的圆柱以围绕所述第一元件,

其中所述第三元件包括离开所述第二元件预定距离设置的圆柱以围绕所述第二元件,

且

其中形成所述第一元件到第三元件使得静电电容由于所述第一元件到第三元件间的相对位置变化而变化。

10. 根据权利要求9所述的电动机械滤波器,其中所述第一元件、第二元件和第三元件具有不同长度,使得所述第一元件最长且所述第三元件最短,且所述第一元件、第二元件和第三元件在其相对端被支撑。

11. 根据权利要求10所述的电动机械滤波器,其中所述第二元件和第三元件包括在它们的相对端旋转支撑的导电球。

12. 根据权利要求9所述的电动机械滤波器,其中所述第二元件和第三元件中的每个

形成为具有狭缝,使得静电电容由于第二元件与第三元件之间的相对位置变化而变化。

13. 根据权利要求 9 所述的电动机械滤波器,其中形成所述第二元件和第三元件,使得导电区和绝缘区在每个所述第二元件和第三元件中混合。

14. 根据权利要求 9 所述的电动机械滤波器,其中所述第二元件和第三元件中的每个包括绝缘圆柱,且导电图案形成在所述绝缘圆柱的表面从而彼此面对。

电动机械滤波器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种电动机械滤波器,且更具体而言涉及一种具有微振动器的电动机机械滤波器。

背景技术

[0002] 为了使无线终端尺寸更小,希望使无源器件例如在无线部分中占据大面积的滤波器微型化。为此,已经提出使用机械谐振的电动机械滤波器来代替使用电谐振的常规滤波器。

[0003] 使用电谐振的常规滤波器的尺寸取决于其谐振频率的电长度。因此,在显著微型化方面存在限制。另一方面,使用机械谐振的滤波器的尺寸取决于谐振的振动器的质量和弹簧常数。因此,可以减小滤波器的尺寸。例如,可以使在 1GHz 波段机械谐振的振动器不长于几个微米,尽管谐振器的尺寸取决于其形状和谐振模式。

[0004] 当谐振器被置于真空状态时,可以减小振动器振动时由于与空气摩擦所引起的动能损失。因此,具有使 Q 值具有与使用电谐振器的常规滤波器一样高或更高的效果。

[0005] 例如在非专利文献 1 中公开的电动机械滤波器已知为使用微振动器的相关技术的电动机械滤波器。

[0006] 在此非专利文献 1 中的电动机械滤波器通过两个微型双支撑梁和通过微小间隙设置在该两个双支撑梁下面的线而构建,从而用于输入和输出高频信号。该两个双支撑梁是彼此耦合的微型梁。该两个双支撑机械耦合。当高频信号输入到此输入线时,第一振动器被本身属于高频信号的静电力激发。在此情形,当双支撑梁的固有频率与高频信号的频率一致时,双支撑梁在垂直于基板的方向被强烈地激发从而开始振动。由于双支撑梁在其固有频率振动,从而静电电容即阻抗改变。当施加 DC 电压时,电流根据阻抗的变化而流过。于是,只有当振动器的固有频率与高频信号的频率一致时,高频信号才被输出。因此,可以只可选择期望的信号。

[0007] 还提出了使用微结构的振动器(非专利文献 2)。采用多壁碳纳米管作为该微结构。该微结构通过用于输入信号的电极、用作相对端敞开的外壳的碳纳米管和用作内壳的碳纳米管构建。在外壳碳纳米管和内壳碳纳米管之间没有摩擦力作用。因此,一旦内壳碳纳米管振动,则能量将在内壳碳纳米管的动能和范德瓦尔斯势能之间交换,导致简谐运动。振动方向是碳纳米管的纵向。

[0008] 非专利文献 1:High Q Microelectromechanical Filters, Frank D. Bannon, IEEE Journal of solid-state circuit, Vol. 35, No. 4, April 2000

[0009] 非专利文献 2:Multiwalled Carbon Nanotubes as Gigahertz Oscillators, Quanshui, Physical Letters Vol/88, Number 4, 28 January 2002

[0010] 发明内容

[0011] 然而,任何振动器通常具有一些谐振模式,例如纵向振动、横向振动、扭转振动等。因此,如果振动器被激发,则它们可能以不期望的频率振动。在上述示例中,使用振动器的

横向振动模式的基模。当然,当输入频率等于纵向振动模的固有频率的信号时,振动器纵向振动使得从滤波器输出频率等于纵向振动模式的固有频率的高频信号。因此,存在不期望的信号也可能从滤波器输出的问题。

[0012] 例如,将描述如图 16 所示的具有 1GHz 波段的固有频率的三棱柱谐振器。这里,假设谐振器的材料是硅,其长度为 $1\mu\text{m}$,其宽度为 $0.566\mu\text{m}$,且其厚度为 $0.4\mu\text{m}$ 。表 1 示出在这些条件下在此谐振器中产生的模式。在此情形,杨式模量设为 169GPa ,且密度设为 2.5kg/m^3 。

[0013] 表 1

[0014]

编号	模式	谐振频率
1	垂直初级	709.8MHz
2	水平初级	813.7MHz
3	扭转初级	1.12GHz
4	垂直次级	1.64GHz
5	水平次级	1.8GHz
6	扭转次级	2.26GHz

[0015] 这里,存在六个位于 700MHz 与 2.26GHz 之间的模式。这些频带是在无线通讯系统中比较常用的频带。因此,如果期望的信号波段是 1.12GHz,振动器将根据相应于其他五个模式中任何一个的输入信号而被激发,其中其他五个模式的谐振频率应该被基本抑制。因此,将产生不期望的信号没有被抑制而是从滤波器输出的问题。

[0016] 此外,在相关技术的示例中谐振是在 40MHz 波段进行的。然而,当相关技术的示例的结构直接改变比例达到 GHz 波段时,需要将振动器的尺寸设为约 $1\mu\text{m}$ 并将输入/输出线与振动器之间的间隙设为约几十纳米。这存在难以在振动器和线之间精确稳定地获得如此狭窄的间隙的问题。

[0017] 考虑了上述状况而提出了本发明。本发明的目的是提供一种电动机械滤波器,其能够限定振动模式,使得振动器可以仅被期望的振动模式激发,即能够抑制除期望的振动模式以外的任何振动模式的滤波器。

[0018] 根据本发明的电动机械滤波器特征在于包括:用于输入信号的第一元件;第二元件,离开第一元件预定距离设置以围绕第一元件并由于从第一元件输入的信号所引起的静电力而被激发;第三元件,离开第二元件预定距离设置以围绕第二元件并探测第二元件的振动;其中:第二元件从第一元件和第三元件受到吸引力而被束缚和控制,从而在旋转方向产生振动;第一元件到第三元件是导体,且第二元件和第三元件的每个在圆周上具有介电常数不同的部分;且可以根据第二元件和第三元件之间的静电电容变化而进行信号传送。

[0019] 采用此结构,仅当预定频率信号输入第一元件时,第二元件被强烈激发从而振动。因此,第二元件与第三元件之间的静电电容改变。在此情形,当 DC 电压施加到第二元件到第三元件时,静电电容根据第二元件的固有频率变化,从而阻抗变化。因此,其值相应于静电电容的此变化的静电电流从第三元件输出。即,只有频率与第二元件的固有频率一致的高频信号被选择输出。

[0020] 在此结构中,预定距离设定为足够小的距离从而使元件由于静电力而彼此吸引。

[0021] 根据本发明的电动机械滤波器包括根据上述结构的电动机械滤波器,其中第二元

件被有力地束缚从而抑制除一个方向以外的任何方向的振动,即在第二元件和第三元件之间获得高的静电电容。

[0022] 采用此结构,可以容易地限定第二元件的振动模式。因此,第二元件仅 在一个方向振动,而在任何其他模式的振动可以被抑制。因此可以仅输出期望的信号。

[0023] 根据本发明的电动机械滤波器包括根据上述结构的电动机械滤波器,其中包括碳纳米管、碳纳米角和富勒烯的由自组织效应形成的元件用作第一元件、第二元件和第三元件。

[0024] 采用此结构,第一元件与第二元件之间的距离和第二元件与第三元件之间的距离通过自组织而产生。因此,当元件被制得微小时,它们可以在离开彼此预定距离的地方稳定形成。

[0025] 此外,范德瓦尔斯力强烈作用于第一元件和第二元件之间以及第二元件与第三元件之间。因此,第二元件由于来自任一侧的吸引而被一直束缚。因此可以抑制第二元件的任何径向振动模式。

[0026] 根据本发明的电动机械滤波器包括根据上述结构的电动机械滤波器,其中扭转振动用作第二元件的振动模式。

[0027] 采用此结构,第二元件的任何径向振动模式被强烈抑制。因此,只有扭转振动容易被激发。当第二元件被扭转时,在形成于第二元件中的电极与形成于第三元件中的电极之间产生的静电电容变化,从而第二元件的振动可以被探测。此外,由于第二元件的振动在扭转方向不受束缚,滤波器的 Q 值可以提高。

[0028] 根据本发明的电动机械滤波器包括具有其中第二元件和第三元件的物理性质值或形状不均匀的结构电动机械滤波器。

[0029] 采用此结构,当第二元件或第三元件相对偏移时,形成在第二元件和第三元件之间的静电电容改变。因此,当第二元件的扭转振动被激发使得第二元件扭转时,第二元件与第三元件之间的静电电容变化,从而第二元件的振动可以被探测。

[0030] 根据本发明的电动机械滤波器的特征在于第二元件和第三元件包括具有不均匀形状的区域。

[0031] 采用此结构,当第二元件和第三元件相对偏移时,形成在第二元件和第三元件之间的静电电容改变。

[0032] 具有不均匀形状的区域可以是狭缝或孔。

[0033] 根据本发明的电动机械滤波器包括第二元件和第三元件具有通过晶格缺陷或通过成型 (shaping) 而形成的孔、狭缝等的电动机械滤波器。

[0034] 根据本发明的电动机械滤波器包括这样的电动机械滤波器,其中第二元件和第三元件被成型使得当第二元件的偏移为零时静电电容变得最小,且该静电电容在第二元件的偏移最大时变得最大。

[0035] 采用此结构,当第二元件偏移时,第二元件与第三元件之间的静电电容可以改变。因此,第二元件的振动可以被探测使得可以仅输出具有期望频率的信号。

[0036] 根据本发明的电动机械滤波器包括这样的电动机械滤波器,其中:第一元件包括用作信号线的导电柱;第二元件包括设置在离开第一元件预定距离从而围绕第一元件的圆柱;第三元件包括设置在离开第二元件预定距离从而围绕第二元件的圆柱;且第一元件到

第三元件形成使得静电电容由于第一元件到第三元件之间的相对位置变化而变化。

[0037] 根据本发明的电动机械滤波器包括这样的电动机械滤波器,其中第一元件到第三元件具有不同长度使得第一元件最长且第三元件最短,且第一元件到第三元件在其相对端被支撑。

[0038] 根据本发明的电动机械滤波器包括这样的电动机械滤波器,其中第二元件和第三元件是在其相对端旋转支撑的导电球。

[0039] 根据本发明的电动机械滤波器包括这样的电动机械滤波器,其中第二元件和第三元件形成具有狭缝,使得静电电容由于其间相对位置的变化而变化。

[0040] 根据本发明的电动机械滤波器包括这样的电动机械滤波器,其中第二元件和第三元件形成来使得导电区和绝缘区在每个第二元件和第三元件中混合。

[0041] 根据本发明的电动机械滤波器包括这样的电动机械滤波器,其中第二元件和第三元件包括绝缘圆柱,且导电图案形成在圆柱表面从而彼此面对。

[0042] 如上所述,根据本发明,除预定振动模式之外的任何振动模式被抑制而不损失该预定振动模式的 Q 值。因此可以获得仅选择输出期望频率的滤波器。

附图说明

[0043] 图 1 是示出根据本发明实施例 1 使用多壁碳纳米管的滤波器结构的示意性结构图和剖面图;

[0044] 图 2 是示出在本发明的实施例 1 中的偏移状态的示意图;

[0045] 图 3 是逐步解释根据本发明的实施例 1 的滤波器的制造工艺的剖面图和俯视图;

[0046] 图 4 是逐步解释根据本发明的实施例 1 的滤波器的制造工艺的剖面图和俯视图;

[0047] 图 5 是逐步解释根据本发明的实施例 1 的滤波器的制造工艺的剖面图和俯视图;

[0048] 图 6 是逐步解释根据本发明的实施例 1 的滤波器的制造工艺的剖面图和俯视图;

[0049] 图 7 是逐步解释根据本发明的实施例 1 的滤波器的制造工艺的剖面图和俯视图;

[0050] 图 8 是逐步解释根据本发明的实施例 1 的滤波器的制造工艺的剖面图和俯视图;

[0051] 图 9 是用于解释根据本发明的实施例 2 的滤波器的表面状态的示意图;

[0052] 图 10 是示出在本发明的实施例 2 中的偏移状态的视图;

[0053] 图 11 是示出根据本发明的实施例 3 的滤波器的剖面图;

[0054] 图 12 是示出根据本发明的实施例 4 的滤波器的剖面图;

[0055] 图 13 是根据本发明的实施例 1 的多个滤波器相耦合电动滤波器的透视图;

[0056] 图 14 是示出根据本发明的实施例 1 的多个滤波器相耦合的电动滤波器的剖面图;

[0057] 图 15 是示出图 13 和 14 所示的电动滤波器的输出特征的示例的曲线图;

[0058] 图 16 是示出现有技术的电动机械滤波器的示例的示意图。

[0059] 参考标号说明

[0060] 1:第一元件

[0061] 2:第二元件

[0062] 3:第三元件

[0063] 100:碳纳米管

具体实施方式

[0064] 根据本发明,在利用机械谐振现象的滤波器中,振动器除了预定振动模式以外的所有振动模式被抑制,从而期望的模式可以被激发从而仅选择输出预定信号。

[0065] 具体地,此实施例使用微型结构,其中设置得围绕第一元件 1 的第二元件 2 和设置得进一步围绕第二元件 2 的第三元件 3 被类壳的元件覆盖,该类壳的元件由通过自组织形成的材料构成,包括碳纳米管、碳纳米角和富勒烯,如图 1(a) 和 (b) 所示。第二元件 2 由于范德瓦尔斯力而被第一元件 1 和第三元件 3 强烈吸引,从而第二元件 2 被有力地抑制了除在旋转方向以外的任何方向的振动。

[0066] 第二元件 2 和第三元件 3 由具有狭缝 S2 和 S3 的导体构成,狭缝 S2 和 S3 分别在元件的纵向穿透元件。第二元件 2 和第三元件 3 形成为在第二元件 2 和第三元件 3 之间具有静电电容。当高频信号输入到第一元件 1 时,第二元件 2 被本身属于高频信号的静电力所激发。

[0067] 在此情形,当高频信号的频率与第二元件 2 的扭转振动固有频率一致时,第二元件 2 被大程度地激发。第二元件 2 和第三元件 3 具有狭缝,使得在第二元件 2 和第三元件 3 之间沿圆周的均匀性不能被保证。因此,当第二元件 2 被振动扭转时,在第二元件 2 与第三元件 3 之间形成的静电电容变化。此静电电容由于基于第二元件的固有频率的振动而变化。因此,当 DC 电压施加到第二元件 2 或第三元件 3 时,从第三元件 3 输出相应于固有频率的高频信号。

[0068] 因此可以仅选择性地输出具有预定频率的信号。

[0069] 通常,机械振动器的谐振频率如下表述(表达式 1),其中 l 、 E 和 ρ 分别指结构的长度、弹性模量和密度。

$$f = 1/l\sqrt{(E/\rho)} \quad (1)$$

[0071] 将参考附图详细描述本发明的实施例。

[0072] 实施例 1

[0073] 图 1 是示出根据此实施例 1 的结构的示意图。图 1 是示出使用三层碳纳米管的电动机械滤波器的结构的示意性结构图和剖面图。

[0074] 根据此实施例的电动机械滤波器 100 如图 1 所示由第一元件 1、第二元件 2 和第三元件 3 构造。第一元件 1、第二元件 2 和第三元件 3 分别由碳纳米管的内壳、中间壳和外壳形成。第一元件 1、第二元件 2 和第三元件 3 通过自组织分别形成。第一元件 1、第二元件 2 和第三元件 3 在其相对端固定连接并束缚于基板(未显示)等,使得在碳纳米管纵向的振动(此后称为“纵向振动”)被抑制。第一元件 1、第二元件 2 和第三元件 3 分别连接到输入线、DC 电源和输出线。DC 电源可以连接到第三元件 3。

[0075] 碳纳米管的相邻壳之间的间隙如此小以至于这些壳由于作用在其上的强范德瓦尔斯力而互相吸引。因此,第二元件 2 从内部被第一元件吸引,而从外部被第三元件 3 吸引。因此,第二元件 2 设计为难以在碳纳米管的径向振动(此振动将被称为“横向振动”)。

[0076] 由于第二元件 2 的至少一端固定,第二元件 2 在碳纳米管的纵向具有很小偏移。第二元件 2 可以在其相对端固定从而其纵向偏移被完全固定。无论怎样,不用担心第二元件 2 会像非专利文献 2 一样纵向振动。

[0077] 元件彼此不接触,而是彼此保持距离。因此,不存在阻挡旋转方向移动的力作用在每个元件上,而是摩擦力变得极小。因此,第二元件 2 容易以扭转振动模式激发,而其横向振动可以被有力地抑制。

[0078] 为了探测在扭转方向的振动,第二元件 2 和第三元件 3 不是由均匀的碳纳米管构成,而是由部分形成绝缘体的碳纳米管或其中形成晶格缺陷或人工狭缝或孔的碳纳米管构成,从而探测第二元件 2 与第三元件 3 之间的相对位置变化。

[0079] 虽然在图 1 中为了描述的简化,在第二元件 2 和第三元件 3 中设置四个狭缝,但可以不设置狭缝而是孔。如果第二元件和第三元件设计为使得交叠区根据第二元件与第三元件之间的相对位置的变化而变化也是可以的。

[0080] 接着,将描述探测振动的方法。图 2 示出滤波器 100 的剖面图。对于第二元件和第三元件,为了描述的目的仅示出了它们电极的一部分。当第二元件 2 被输入到第一元件 1 的信号的静电力激发使得扭转振动模式被激发时,第二元件 2 在扭转方向偏移。假设图 2(a) 示出最小偏移状态且图 2(b) 示出最大偏移状态。第二元件 2 与第三元件 3 之间的交叠区在最小偏移转状态和最大偏移状态之间变化,从而静电电容变化。第二元件 2 的扭转振动可以基于静电电容的此变化而被探测。

[0081] 因此,第二元件 2 以扭转振动的固有频率振动,使得形成在第二元件 2 与第三元件 3 之间的静电电容变化。由于此变化,当 DC 电压施加到第二元件或第三元件 3 时,电流根据相应于固有频率的静电电容的变化从第三元件 3 输出。

[0082] 即,只有当频率与第二元件 2 的扭转模式的固有频率一致的信号输入到第一元件 1 时,第二元件 2 被激发使得信号从第三元件 3 输出。在此情形,不激发任何其他模式。

[0083] 当第二元件具有图 1 所示的圆柱形状时,扭转模式的固有频率由表达式 1 表示。这里, l 、 G 和 ρ 分别代表第二元件的长度、第二元件的横向弹性模量和密度。从这里可知,固有频率 f 取决于第二元件 2 的材料常数和长度。

[0084] 这里,当碳纳米管的横向弹性模量是 1GPa 时, ρ 是 1.33g/cc 且 l 是 200nm 时,谐振频率是 1.3GHz。

[0085] 当振动器制得精细时,振动器与每个输入 / 输出电极之间的相对面积变得更小。因此,振动器与输入 / 输出电极之间的静电电容变得更小。因此,输入 / 输出阻抗变的如此高以至于与另一装置匹配的阻抗变得困难。

[0086] 为了增加静电电容,存在减小电极之间的间隙或增加电极之间的相对面积的方法。根据本发明,电极之间的间隙可以微型且稳定地形成。间隙尺寸约为 $3-4 \times 10^{-1}$ nm(几埃)到几十纳米。

[0087] 当第一元件的直径 r 增加时,静电电容可以增加,因为与第二元件相对的面积由周长 $2\pi r$ 限定。

[0088] 当根据此实施例的结构如此使用时,容易减小阻抗。

[0089] 虽然外壳 108 由与滤波器 100 中的内壳 106 和核心 104 类似的碳纳米管形成,但外壳 108 不限于此。可以使用具有自组织能力的其他材料。

[0090] 第二元件不必是单个的。为了在滤波器中保证宽带通,如图 1 所示的多个谐振器可以纵向耦合。

[0091] 图 13 和 14(a) 及 14(b) 示出示意性结构图,其中四个第二元件耦合。在此实施例

中,具有一个且相同的谐振频率的四个第二元件 32a、32b、32c 和 32d 通过微型耦合部分 32s 纵向耦合。其他部分通过与上述实施例 1 相同的方式形成。

[0092] 图 15 是示出当图 1 所示的多个谐振器纵向耦合时的输出信号示例的曲线图。

[0093] 纵轴代表真实的插入损失,且横轴代表频率。例如,可以获得围绕 $9.600 \times 10^8 \text{ Hz}$ 中心频率的宽带特性。

[0094] 当多个谐振器耦合时,具有一个且相同频率的多个谐振器可以耦合。然而,具有不同频率的谐振器可以耦合。

[0095] 接着,将描述根据此实施例的电动机械滤波器的制造方法。

[0096] 图 3(a) 和 (b) 到图 8(a) 和 (b) 是剖面图,逐步解释根据本发明的电动机械滤波器的制造方法。在图 3 到 8 中的每个中,(a) 是俯视图且 (b) 是沿线 A-A 的剖面图。

[0097] 首先,如图 3(a) 和 (b) 所示,用作绝缘膜 303 的氧化硅在基板 302 上通过热氧化形成为约 $1 \mu\text{m}$ 厚。用作间隔部分 304 的氮化硅通过溅射进一步在其上形成为约 $1 \mu\text{m}$ 厚。

[0098] 接着,如图 4(a) 和 (b) 所示,光致抗蚀剂 305 在氮化硅膜 304 上形成并构图。

[0099] 接着,如图 5(a) 和 (b) 所示,采用光致抗蚀剂 305 作为掩模干法蚀刻氮化硅 304,以形成间隔部分 304。此后,光致抗蚀剂 305 通过灰化除去。

[0100] 然后,例如 Fe、Co、Ni 等在碳纳米管生长中用作催化剂的金属材料 307 通过溅射沉积到约几十纳米厚。

[0101] 当碳纳米管不直接产生时,溅射例如 Au、Al、Cu 等的金属来形成线图案。

[0102] 在此实施例中,将描述在后工艺中安装碳纳米管的情况。因此假设金属材料 307 形成线图案。如图 6(a) 和 (b) 所示,施加抗蚀剂 308,且随后通过光刻形成线图案。

[0103] 如图 7(a) 和 (b) 所示,采用光致抗蚀剂作为掩模来蚀刻金属材料 307,从而形成第一到第三线 311、312 和 313。

[0104] 如图 8(a) 和 (b) 所示,预先形成的碳纳米管安装在线图案上。在此情形,第一元件 1、第二元件 2 和第三元件 3 分别电连接到线图案 311、线图案 312 和线图案 313。线图案与第一元件到第三元件之间的这些连接通过例如焊锡球 314 等的导电粘合剂形成。

[0105] 可以生长碳纳米管来跨接各个线。

[0106] 对于形成碳纳米管的方法,已经进行了许多尝试。例如,已经公开了真空生长碳纤维法、在氦中的电弧放电法等。

[0107] 第一元件 1、第二元件 2 和第三元件 3 预先形成,使得第一元件 1 的碳纳米管的相对端之间的距离最长,且第二元件 2 和第三元件 3 的碳纳米管的相对端之间的距离逐步变短。这可以通过用激光或电子束等除去每个元件相对端而实现。存在其他方法,例如使每个前端与反应气体接触因此选择蚀刻该前端的方法、向每个碳纳米管的前端施加高压因此产生电晕放电并破坏该前端的方法、使每个前端与高反应性流体接触因此蚀刻该前端的方法等。

[0108] 为了使第二元件 2 和第三元件 3 中的导电不均匀(非一致),可以通过激光或电子束等形成孔、狭缝等。

[0109] 而且在此情形,第二元件和第三元件可以与反应气体、电晕放电或高反应性流体形成接触从而提供狭缝、孔等。因此,可以使第二元件和第三元件中的导电性不均匀。

[0110] 当使用预先制造的具有缺陷的碳纳米管时,可以不提供孔或狭缝而使第二元件和

第三元件中的导电性不均匀。

[0111] 接着,将对电动机械滤波器的操作进行描述。

[0112] 在电动机械滤波器中,当高频信号没有输入到第一元件时,第二元件不被激发。因此,第二元件保持静止,没有扭转振动。将此状态作为初始状态。

[0113] 现在,当形成处于初始状态的第二元件和第三元件使得它们的孔在初始状态中不彼此交叠时,第二元件和第三元件的每个彼此相对的表面没有其他表面相对。因此,静电电容变得最小。接着,如图所示,假设为了描述而引出的区域由于扭转振动而在示出的朝上的横向均匀变化。在此情形,第二元件的孔和第三元件的孔彼此交叠。因此,静电电容变得最大。

[0114] 当仅考虑固有频率的激发时,初始状态不重要。然而,如果在初始状态中电容最大,尽管没有激发,对于输入信号来说阻抗也将是小的。因此,将传送不期望的信号。因此期望在初始状态的电容最小。

[0115] 初始状态如下设置。

[0116] 首先,第三元件和第二元件相对扭转节距的一半(从而使电容最小)。虽然保持此状态,但第二元件和第三元件通过激光、FIB 等同时成型从而形成狭缝或孔。在成型之后,例如扭转的外力被释放从而第二元件和第三元件回复到它们的初始状态。因此,在初始状态电容变得最小。

[0117] 作为选择,在安装第二元件和第三元件之前,第二元件和第三元件相对改变而电容值被监控。第二元件和第三元件被设置到电容值最小处。这设为初始状态。

[0118] 孔的此节距可以根据第二元件 2 的期望的最大偏移而确定。

[0119] 期望防止孔直径失去第二或第三元件的范德瓦尔斯力。当孔与元件面积比为 1 比 1 时,静电电容变化率最大。这对于范德瓦尔斯力具有平衡作用。因此,可以根据碳纳米管尺寸来优化静电电容变化率。

[0120] 根据此实施例,可以容易地形成小尺寸和高精度的电动机械滤波器。

[0121] 虽然在上述实施例中使用碳纳米管形成振动器,但可以以通常的半导体工艺例如使用 CVD、溅射等的膜形成、光刻和蚀刻法来形成振动器。在此情形,在膜形成、光刻、使用反应离子蚀刻的通孔形成、用掺杂多晶硅装填通孔、基于热氧化的外壁氧化等步骤中,沿垂直于基板主表面的方向形成振动器。最后,通过蚀刻除去不必要的部分从而支撑连接部分留在相对端。振动器在使用中转动 90 度。因此,振动器可以通过通常的 MEMS 技术的组合形成。

[0122] 实施例 2

[0123] 将参考图 9 和 10 描述本发明的实施例 2。

[0124] 对于实施例 2 与实施例 1 相似部分的描述将被省略,例如滤波器的操作原理、滤波器的制造方法等。

[0125] 在图 9(a) 和 (b) 中,为了描述方便而在平面中展现了形成实施例 1 所示的第二元件 2 和第三元件 3 的圆柱表面。然而,在此平面展现的区域不是一直通过元件 2 和 3 的整个表面的展现而获得的。这些区域是为了描述的方便通过选出其中的部分而获得的。

[0126] 参考标号 31 和 32 分别相应于第二元件 2 和第三元件 3。微型孔 35 和 36 形成在第二元件 31 和第三元件 32 中。这些孔可以通过控制缺陷或通过激光或电子束等作用而形

成。

[0127] 这些孔为了使第二元件和第三元件表面中的导电性空间不均匀而提供。如果第二元件 2 和 / 或第三元件 3 由均匀导体形成,则在第二元件 2 和第三元件 3 之间产生的静电电容将不改变,即使第二元件 2 被扭转从而改变第二元件 2 与第三元件 3 之间的相对位置。因此,如果第二元件 2 与第三元件 3 之间的空间导电性空间不均匀和不一致,则当第二元件 2 和第三元件 3 相对偏移时静电电容将变化。

[0128] 图 10(a) 和 (b) 示出初始状态和最大偏移状态。在初始状态中孔彼此不交叠,而在最大偏移状态所有孔彼此交叠,从而静电电容最大化。当静电电容的此变化作为输出电流输出时,可以形成电动机械滤波器。

[0129] 因此,可以形成微型电动机械滤波器。

[0130] 实施例 3

[0131] 图 11 示出根据本发明实施例 3 的电动机械滤波器。

[0132] 与实施例 2 中的方式相同,滤波器的操作原理、制造滤波器的方法等与实施例 1 类似,且将省略关于类似部分的描述。

[0133] 图 11 是根据本发明的实施例 3 的电动机械滤波器的示意性剖面图。

[0134] 在此实施例中,形成第二元件 12 和第三元件 13,其中第二元件 12 由在第一元件 11 周围形成从而离开第一元件 11 预定距离以围绕其的圆柱制成,第三元件 13 进一步形成在此第二元件之外从而离开第二元件预定距离以围绕该第二元件。该电动机械滤波器以类似于上述实施例的方式形成,除了第二元件 12 和第三元件 13 分别通过导电区 12a、绝缘区 12b、导电区 13a 和绝缘区 13b 构成。这里,假设导电区在每个第二元件和第三元件中彼此电连接。

[0135] 根据此结构,当具有预定频率的信号输入到第一元件 1 时,第二元件被激发使得第二元件 12 于第三元件 13 之间的静电电容由于第二元件与第三元件之间的相对位置变化而变化。这里,当 DC 电压施加到第二元件 12 或第三元件 13 时,由于静电电容的此变化而输出相应于固有振动频率的电流。第二元件 12 的扭转振动可以基于此电流值而探测。

[0136] 实施例 4

[0137] 图 12 示出根据本发明实施例 4 的电动机械滤波器。

[0138] 与实施例 3 的方式类似,滤波器的操作原理、滤波器的制造方法等与实施例 1 类似,且将省略关于类似部分的描述。

[0139] 图 12 是根据本发明实施例 4 的电动机械滤波器的示意性剖面图。

[0140] 此实施例特点在于第二元件 22 和第三元件 23 由绝缘材料构成,且导电图案 22S 和 23S 分别形成在第二元件 22 和第三元件 23 的相对表面中。其他部分以类似于上述实施例 3 的方式形成。这里,假设导电图案在每个第二元件和第三元件中彼此电连接。

[0141] 当狭缝形成在导电元件中时,此实施例导致相同的结果。由于导电图案 22S 和 23S 的形状,第二元件 22 和第三元件 23 之间的静电电容根据第二元件与第三元件之间的相对位置变化而变化。这里,当 DC 电压施加到第二元件 22 或第三元件 23 的导电图案 22S 或 23S 时,由于静电电容的此变化而输出相应于固有频率的电流。第二元件 22 的扭转振动可以基于此电流值而被探测。

[0142] 虽然在上述实施例中采用了碳纳米管,但本发明不限于此。本发明可以通过使用

适当选择的材料的 MEMS 技术而容易地实现。

[0143] 工业应用

[0144] 根据本发明实施例的电动机械滤波器抑制除预定振动模式之外的任何振动,而不损失该预定振动模式的 Q 值。因此可以获得仅选择输出预定频率的滤波器。本发明对于具有微振动器的电动机械滤波器是有用的。高频电路上的无源部分可以被微型化。因此,可以实现支持更高服务频带的先进通讯设备和用于高静电电容和高速通讯的终端的微型化。

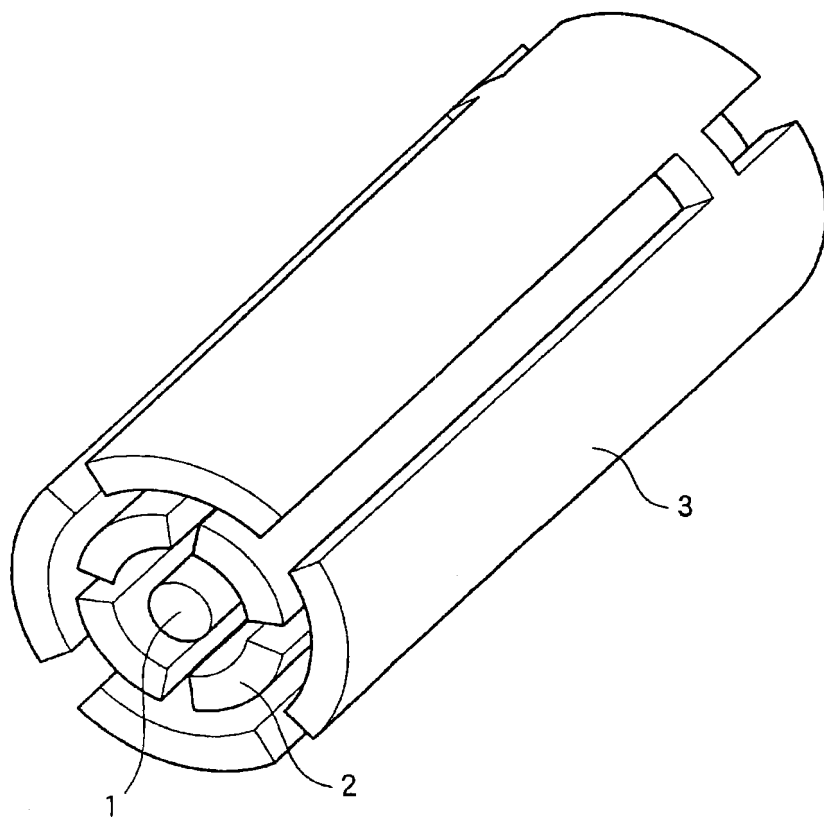


图 1 (b)

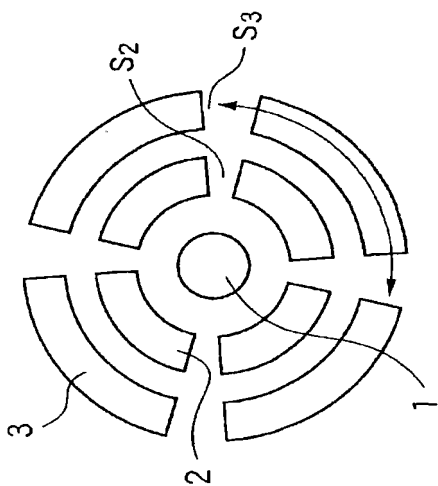


图 1 (a)

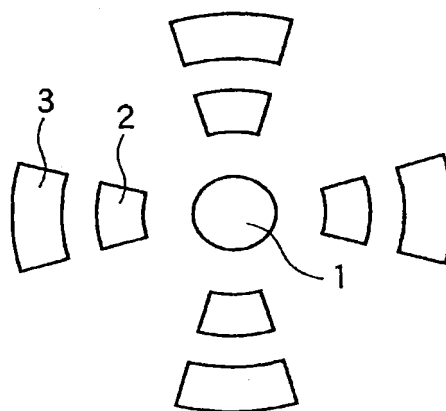


图 2 (a)

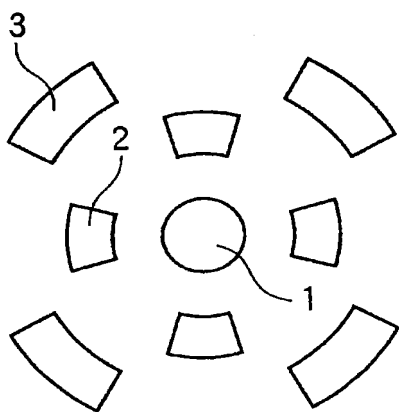


图 2(b)

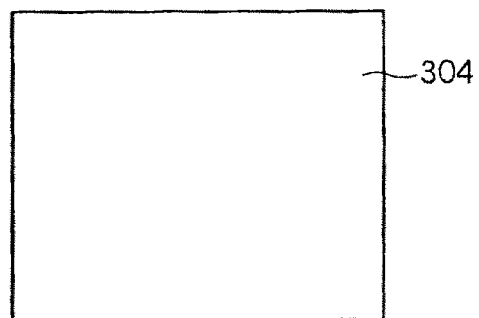


图 3(a)



图 3(b)

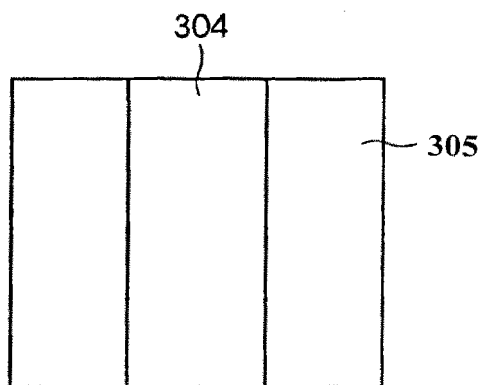


图 4(a)

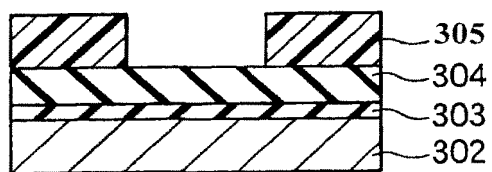


图 4(b)

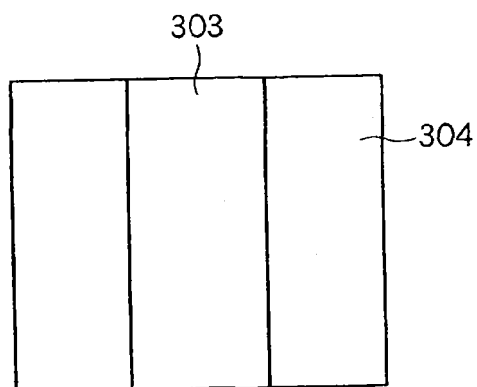


图 5(a)

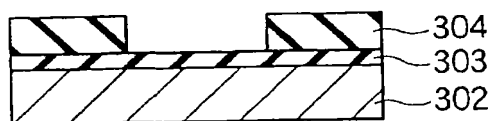


图 5(b)

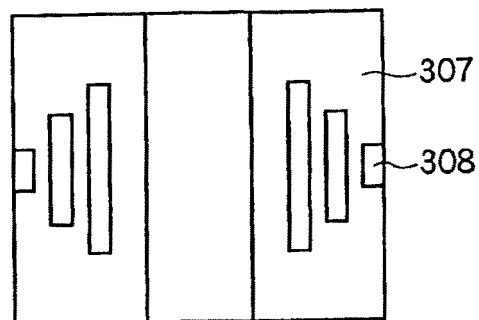


图 6(a)

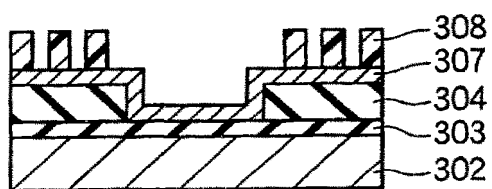


图 6(b)

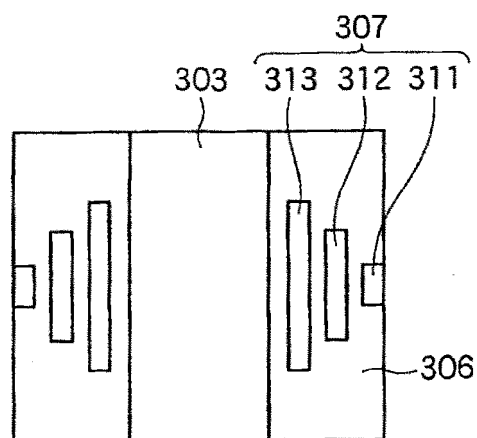


图 7(a)

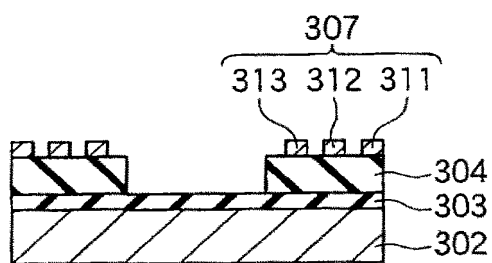


图 7(b)

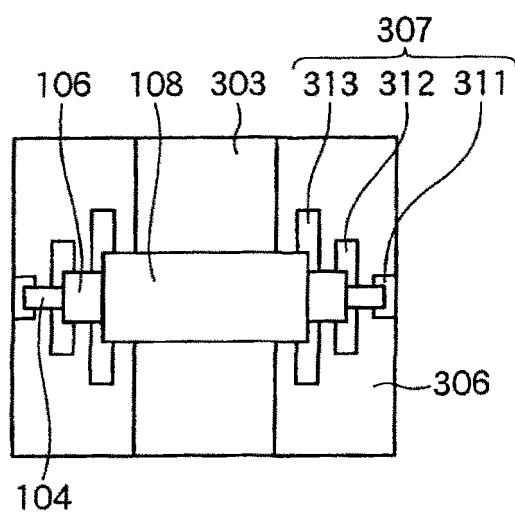


图 8(a)

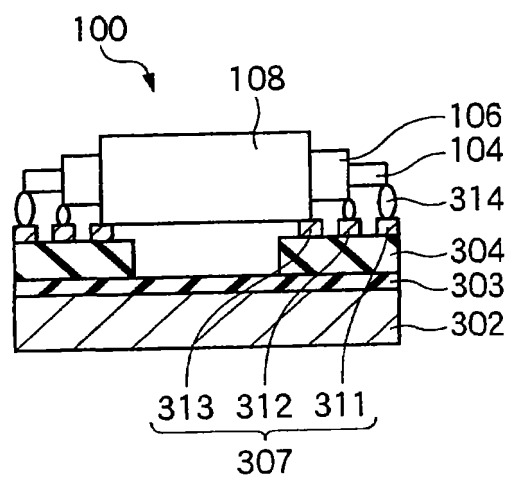


图 8(b)

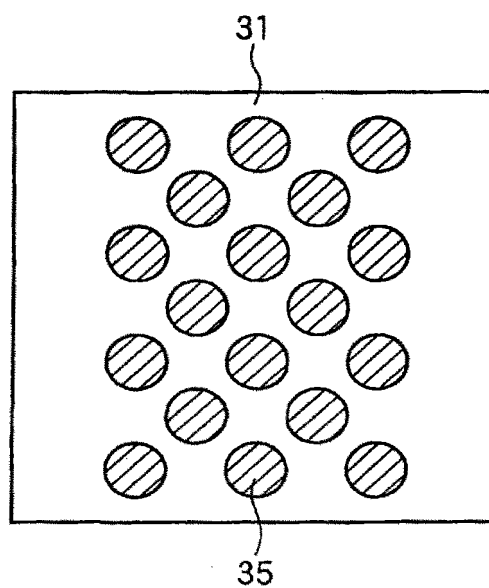


图 9(a)

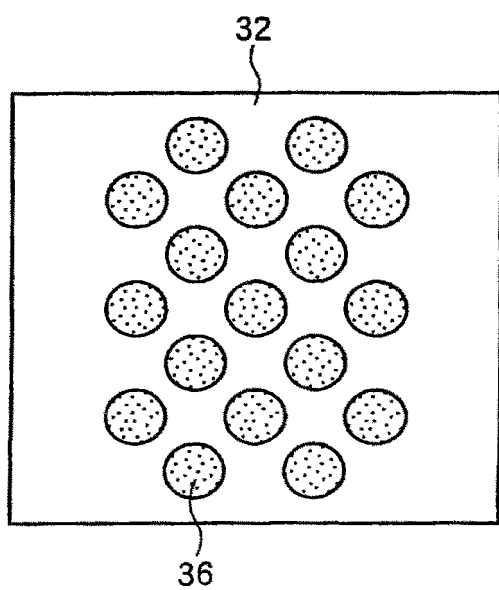


图 9(b)

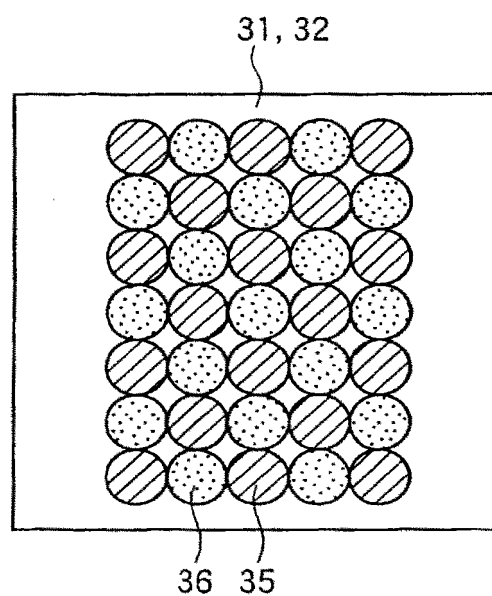


图 10(a)

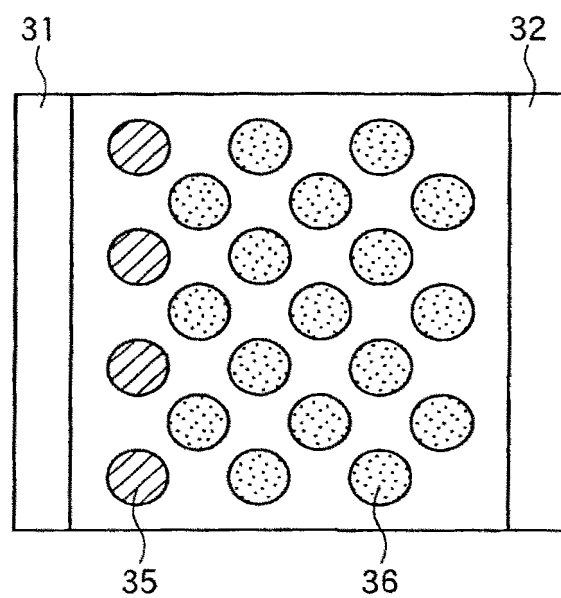


图 10(b)

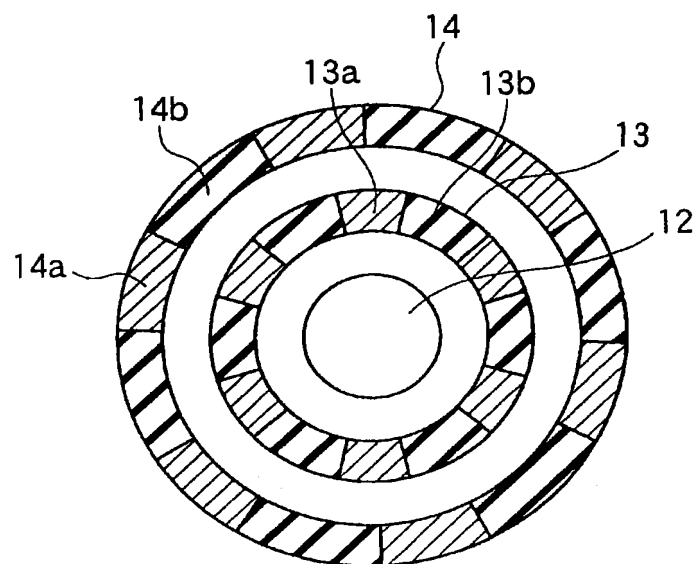


图 11

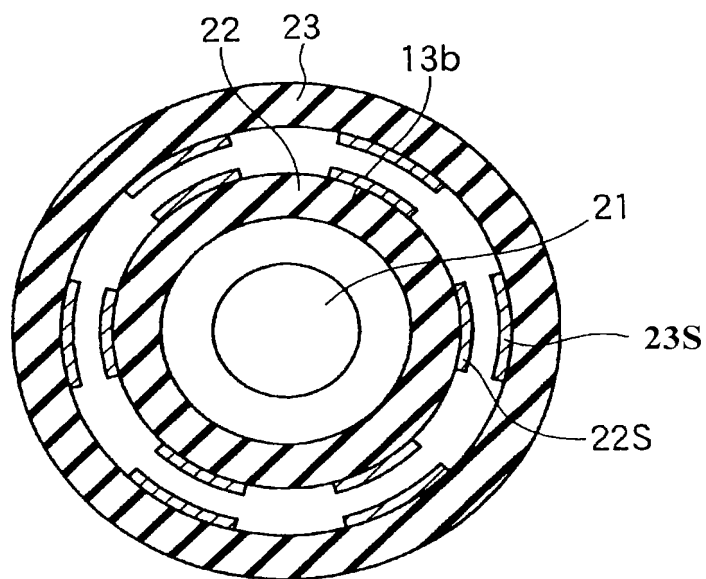


图 12

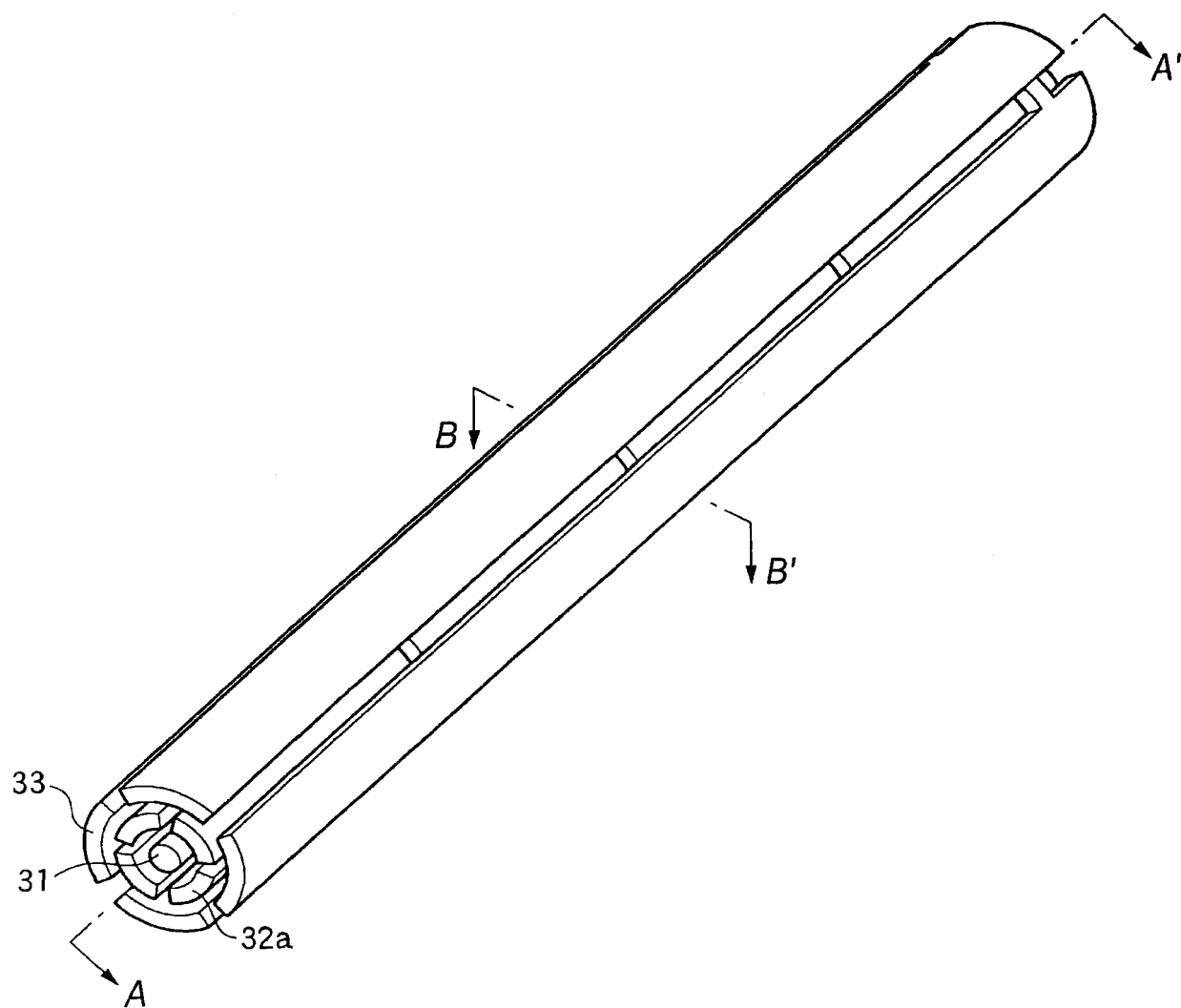
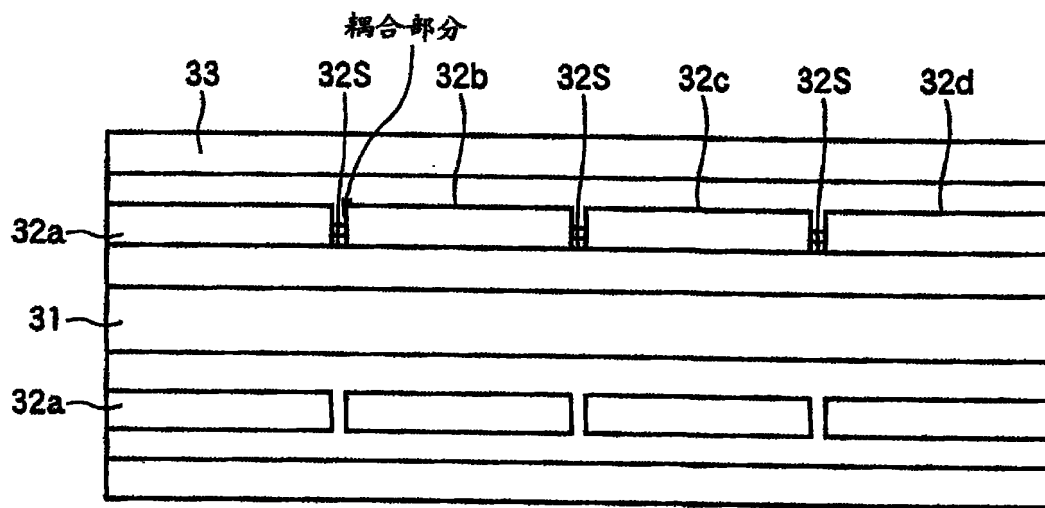
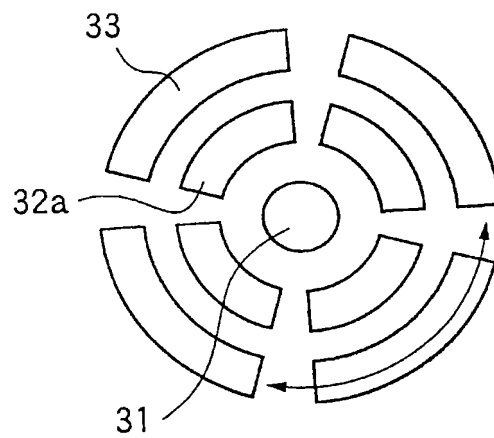


图 13



沿线A-A'的剖面图

图 14 (b)



沿线B-B'的剖面图

图 14 (a)

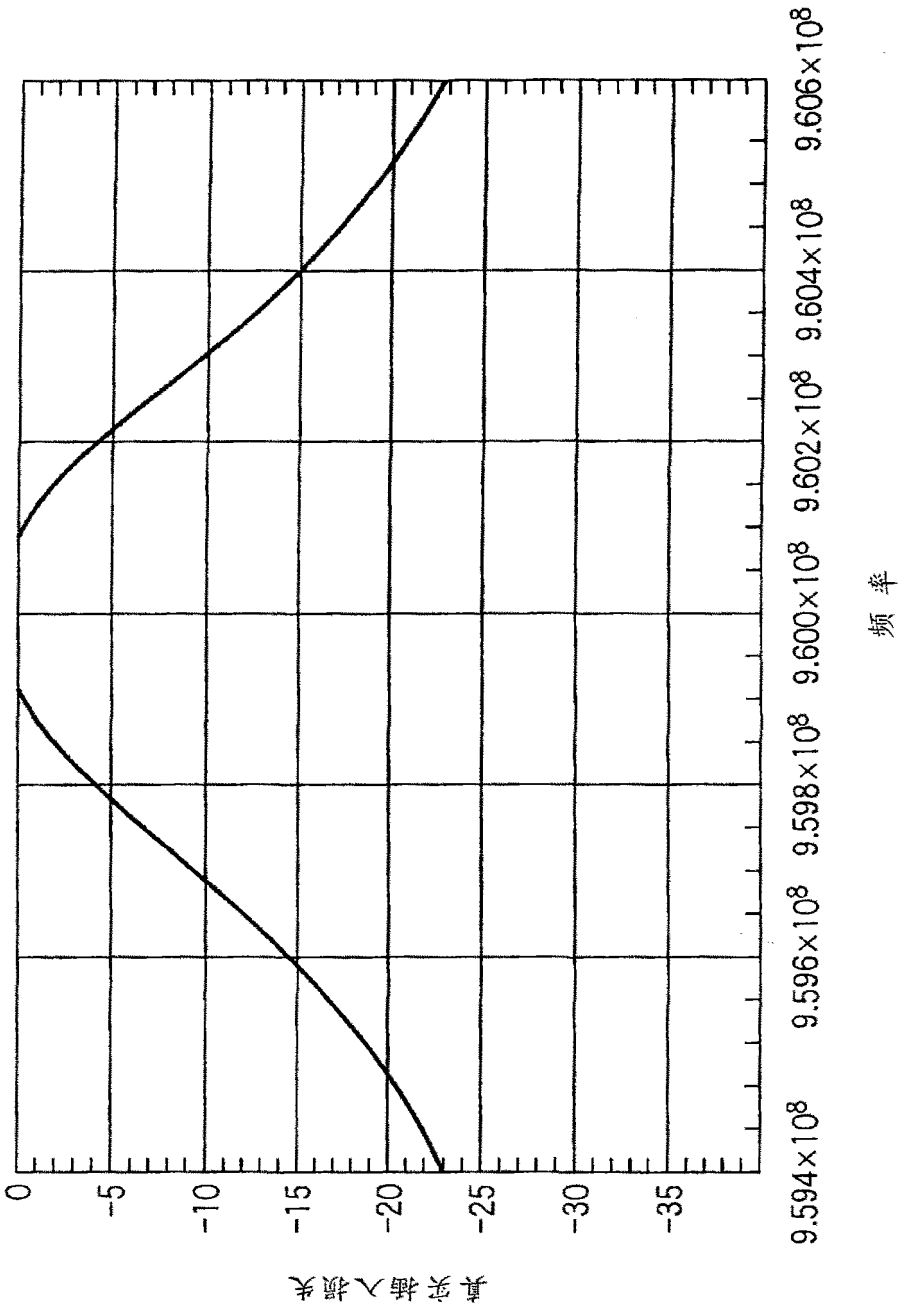


图 15

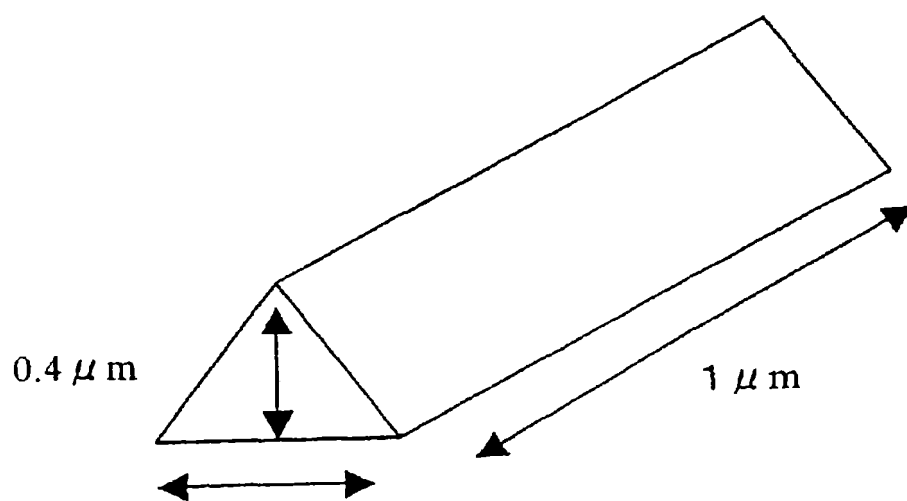


图 16