

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2017 年 4 月 6 日(06.04.2017)



(10) 国際公開番号

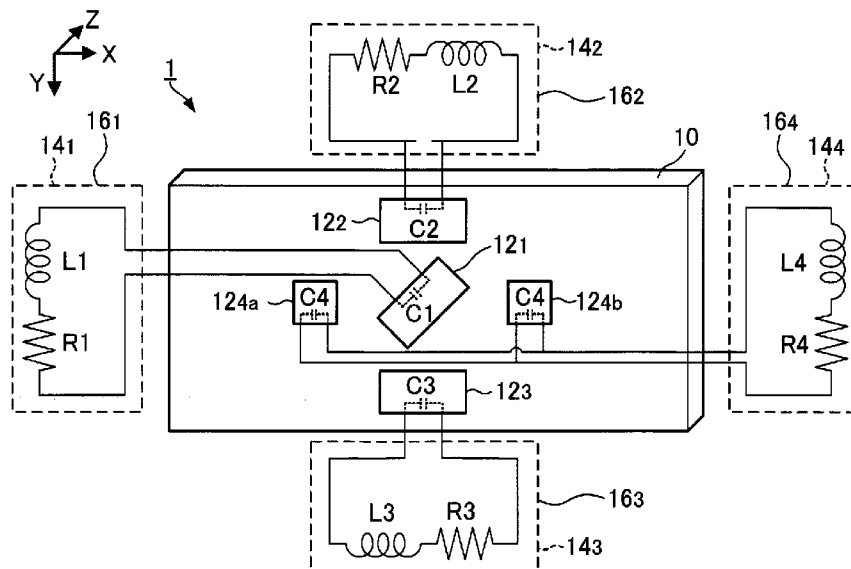
WO 2017/057031 A1

- (51) 国際特許分類:  
H02N 2/18 (2006.01) F16F 15/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/077345
- (22) 国際出願日: 2016 年 9 月 15 日(15.09.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2015-191052 2015 年 9 月 29 日(29.09.2015) JP  
特願 2015-191053 2015 年 9 月 29 日(29.09.2015) JP
- (71) 出願人: ヤマハ株式会社(YAMAHA CORPORATION) [JP/JP]; 〒4308650 静岡県浜松市中区中沢町 10 番 1 号 Shizuoka (JP).
- (72) 発明者: 小山 孝生(KOYAMA, Takao); 〒4308650 静岡県浜松市中区中沢町 10 番 1 号 ヤマハ株式会社内 Shizuoka (JP). 曽根 卓朗(SONE, Takuro); 〒4308650 静岡県浜松市中区中沢町 10 番 1 号 ヤマハ株式会社内 Shizuoka (JP). 小林 和幸(KOBAYASHI, Kazuyuki); 〒4308650 静岡県浜松市中区中沢町 10 番 1 号 ヤマハ株式会社内 Shizuoka (JP).
- (74) 代理人: 大林 章, 外(OHBAYASHI, Akira et al.); 〒1130033 東京都文京区本郷 2-15-13 お茶の水ウイングビル 6 階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロシェア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,

[続葉有]

(54) Title: VIBRATING STRUCTURE

(54) 発明の名称: 振動構造体



(57) Abstract: This vibrating structure is provided with: a vibrating body 10; piezoelectric elements 12<sub>1</sub> to 12<sub>4</sub> mounted on a surface of the vibrating body 10; and resonance circuits 16<sub>1</sub> to 16<sub>4</sub> which operate by means of electrical energy generated in the piezoelectric elements 12<sub>1</sub> to 12<sub>4</sub>, and which alter attenuation characteristics of target frequencies in the vibration of the vibrating body 10; wherein, if an axis in the main strain direction in the vibrating body 10 is set as a reference axis, the piezoelectric elements 12<sub>1</sub> to 12<sub>4</sub> are secured in a plurality of securing regions S1 and S2 that are in different positions along the reference axis G.

(57) 要約: 振動体 10 と、振動体 10 の表面に装着される圧電素子 12<sub>1</sub> ~ 12<sub>4</sub> と、圧電素子 12<sub>1</sub> ~ 12<sub>4</sub> に発生した電気エネルギーにより動作して振動体 10 の振動における目標周波数の減衰特性を変化させる共振回路 16<sub>1</sub> ~ 16<sub>4</sub> とを具備し、振動体 10 の主ひずみの方向に沿った軸を基準軸としたときに、該基準軸 G において位置が異なる複数の固定領域 S1 および S2 で、圧電素子 12<sub>1</sub> ~ 12<sub>4</sub> が固定される。

WO 2017/057031 A1



ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, 添付公開書類:

MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,

SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,

GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

## 明 細 書

**発明の名称：** 振動構造体

### 技術分野

[0001] 本発明は、圧電素子を含む共振回路を利用した振動の制御に関する。

### 背景技術

[0002] 構造物などの振動体に圧電素子を貼り付けることで、振動を抑制する技術が知られている。特許文献1には、構造体に貼り付けた圧電素子にインダクタと抵抗器からなるシャント回路を接続した共振回路を用いて振動を抑制する技術が記載されている。この技術では、構造体の振動エネルギーが電気エネルギーに変換され、その電気エネルギーがシャント回路で吸収される。このとき、振動の周波数が圧電素子の接続された共振回路の共振周波数に近いほど、その振動を効率的に抑制できる。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0003] 特許文献1：特開2002-61708号公報

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0004] 振動体が振動すると、振動体の表面には相互に直交する方向に主ひずみ（引張と圧縮）が発生する場合がある。特許文献1のように、圧電素子の振動体との対向面の全面が振動体の表面に固着された構成では、引張の主ひずみに起因した電圧成分（正值）と圧縮の主ひずみに起因した電圧成分（負値）とが相殺すると、圧電素子の変位に応じた電気エネルギーが十分に発生せず、振動体の振動エネルギーを十分に吸収できない場合がある。本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、その目的の一つは、振動体の振動エネルギーを効率的に吸収できる振動構造体を提供することにある。

#### 課題を解決するための手段

[0005] 以上の課題を解決するために、本発明に係る振動構造体の一態様は、振動

体と、振動体の表面に装着される圧電素子と、圧電素子に発生した電気エネルギーにより動作して振動体の振動における目標周波数の減衰特性を変化させる共振回路と、を具備し、振動体の主ひずみの方向に沿った軸を基準軸としたときに、該基準軸の方向において位置が異なる複数の固定領域で、圧電素子が固定される。

[0006] 本発明によれば、圧電素子と共振回路によって、振動体の振動エネルギーを電気エネルギーに変換し該電気エネルギーを吸収することができる。

しかも、本発明によれば、振動体の主ひずみの方向に沿った基準軸の方向において位置が異なる複数の固定領域で圧電素子が固定されるので、基準軸の方向の主ひずみによる圧電素子の変形を、これとは逆電圧が発生する基準軸に垂直な方向の主ひずみによる圧電素子の変形よりも大きくできる。したがって、圧電素子全体として発生する電気エネルギーを大きくすることができる。これにより、振動板の振動エネルギーを効率的に吸収できる。

### 図面の簡単な説明

[0007] [図1]本発明の第1実施形態に係る振動構造体を説明するための図である。

[図2]第1振動モードの表面の主ひずみテンソル分布と圧電素子の配置を示す図である。

[図3]第2振動モードの表面の主ひずみテンソル分布と圧電素子の配置を示す図である。

[図4]第3振動モードの表面の主ひずみテンソル分布と圧電素子の配置を示す図である。

[図5]第4振動モードの表面の主ひずみテンソル分布と圧電素子の配置を示す図である。

[図6]第1実施形態の効果を示す図であって、振動体の振動における第1～第4振動モードのモード減衰比を示すグラフである。

[図7]第1実施形態の効果を示す図であって、第1～第4振動モードの定常状態におけるQ値の変化を示すゲイン線図である。

[図8]第2実施形態に係る振動構造体を説明するための図であって、振動構造

体の側面図である。

[図9]第2実施形態に係る振動構造体を説明するための図であって、振動構造体の上面図である。

[図10]第3実施形態に係る振動構造体を説明するための図である。

[図11]第3実施形態の第1変形例に係る振動構造体を説明するための図である。

[図12]第3実施形態の第2変形例に係る振動構造体を説明するための図である。

[図13]第4実施形態に係る振動構造体を説明するための図である。

[図14A]第5実施形態に係る振動構造体を説明するための図である。

[図14B]第5実施形態に係る振動構造体を説明するための図である。

[図15]第5実施形態において第1振動モードのひずみ分布と、第1振動モードの減衰を調整する圧電素子の装着状態を説明する図である。

[図16]第5実施形態の効果を示す図であって、第1～第4振動モードのモード減衰比の変化を示すグラフである。

[図17]第5実施形態を第1実施形態に組み合わせた場合の効果を示す図であって、第1～第4振動モードのモード減衰比の変化を示すグラフである。

[図18]第5実施形態を第1実施形態に組み合わせた場合の効果を示す図であって、第1～第4振動モードの定常状態におけるQ値の変化を示すゲイン線図である。

[図19]第6実施形態に係る振動構造体を説明するための図である。

[図20]第6実施形態の変形例に係る振動構造体を説明するための図である。

[図21]第7実施形態に係る振動構造体を説明するための図である。

[図22]第8実施形態に係る振動構造体を説明するための図である。

[図23A]第9実施形態に係る振動構造体を説明するための図である。

[図23B]第9実施形態に係る振動構造体を説明するための図である。

[図24]振動構造体としてギターが用いられた例を示す図である。

[図25]振動構造体としてスピーカーが用いられた例を示す図である。

## 発明を実施するための形態

### [0008] <第1実施形態>

以下、本発明の第1実施形態に係る振動構造体について図面を参照しながら説明する。図1は、本発明の第1実施形態に係る振動構造体1を説明するための図である。図1に示すように、振動構造体1は、振動により音を発生する振動体10を備える。振動体10は、X方向に長尺でZ方向に厚みがある矩形の板状体である。ここでは、振動体10のX方向が長手方向であり、Y方向が短手方向であり、X-Y面に垂直なZ方向が厚み方向である。振動構造体1としては、例えば鉄琴の板のように、振動によって直接音が発生する振動体10を有する楽器が挙げられる。また、振動構造体1としては、例えばギターまたはバイオリンの共鳴体のように、振動体10で形成された閉空間（胴部）を有する楽器が挙げられる。共鳴体では、振動体10が振動することで、直接、振動体10から音が発生するだけでなく、振動体10で形成された閉空間で共鳴音も発生する。このような振動体10としては、上記の他にピアノの響板または打楽器の音板が挙げられる。図1は振動体10の一部を示している。楽器の種類によって振動体10の大きさ及び形状が異なる。

[0009] 振動体10の一方の表面には、個別のキャパシタンスCを有し、面内の伸縮に対して厚さ方向に電場が発生する複数の圧電素子12（12<sub>1</sub>～12<sub>4</sub>）が装着されている。圧電素子12の各々には、インダクタ回路14（14<sub>1</sub>～14<sub>4</sub>）が接続されている。インダクタ回路14は、相互に直列に接続されたインダクタLと抵抗器Rによって構成される。このため、圧電素子12とインダクタ回路14で構成された各回路は、キャパシタンスC（C<sub>1</sub>～C<sub>4</sub>のいずれか）とインダクタL（L<sub>1</sub>～L<sub>4</sub>のいずれか）と抵抗器R（R<sub>1</sub>～R<sub>4</sub>のいずれか）が直列に接続された共振回路16（16<sub>1</sub>～16<sub>4</sub>のいずれか）を構成する。

[0010] ところで、振動のモード解析などによれば、振動体10の振動は、周波数の異なる複数の振動モードの重ね合わせによって表すことができる。そこで、本実施形態では、振動体10の振動は、第1振動モード（1次モード）、

第2振動モード（2次モード）、第3振動モード（3次モード）及び第4振動モード（4次モード）の重ね合わせによって表される。

[0011] 図1に示す共振回路16<sub>1</sub>～16<sub>4</sub>はそれぞれ、第1～第4振動モードに対応している。具体的には、共振回路16<sub>1</sub>（圧電素子12<sub>1</sub>とインダクタ回路14<sub>1</sub>）は第1振動モードに対応している。共振回路16<sub>2</sub>（圧電素子12<sub>2</sub>とインダクタ回路14<sub>2</sub>）は第2振動モードに対応している。共振回路16<sub>3</sub>（圧電素子12<sub>3</sub>とインダクタ回路14<sub>3</sub>）は第3振動モードに対応している。共振回路16<sub>4</sub>（圧電素子12<sub>4</sub>（圧電素子12<sub>4a</sub>、12<sub>4b</sub>）とインダクタ回路14<sub>4</sub>）は第4振動モードに対応している。圧電素子12<sub>4</sub>は、2つの圧電素子12<sub>4a</sub>、12<sub>4b</sub>からなり、これらの圧電素子12<sub>4a</sub>、12<sub>4b</sub>はインダクタ回路14<sub>4</sub>に並列に接続されている。

[0012] 本実施形態の各圧電素子12<sub>1</sub>～12<sub>4</sub>は、矩形の板状である。圧電素子12<sub>1</sub>～12<sub>4</sub>の各々は、その一方の表面全面が、振動体10の表面に接着剤などによって貼り付けられている。各圧電素子12<sub>1</sub>～12<sub>4</sub>は、例えば面内のひずみに応じて厚さ方向に電場が生じるように分極されている。各圧電素子12<sub>1</sub>～12<sub>4</sub>には、その厚さ方向の両面に一对の面状の電極が設けられて構成される。各圧電素子12<sub>1</sub>～12<sub>4</sub>の一对の電極はそれぞれ、リード線を介してインダクタ回路14<sub>1</sub>～14<sub>4</sub>に接続されている。なお、圧電素子12<sub>1</sub>～12<sub>4</sub>の面積は相互に同等とされている。このうち、圧電素子12<sub>4</sub>は、2つの圧電素子12<sub>4a</sub>及び12<sub>4b</sub>からなり、その2つの圧電素子12<sub>4a</sub>及び12<sub>4b</sub>が並列に接続されている。これら2つの圧電素子12<sub>4a</sub>及び12<sub>4b</sub>の合計面積が他の圧電素子12<sub>1</sub>～12<sub>3</sub>と同等とされている。圧電素子12<sub>4</sub>のように複数の圧電素子が並列に接続されることで、並列接続された圧電素子が、圧電素子12<sub>1</sub>～12<sub>3</sub>と同等の機能を発揮することができる。ここでは、圧電素子12<sub>4</sub>が2つの圧電素子12<sub>4a</sub>及び12<sub>4b</sub>にて構成される場合が例示されたが、圧電素子12<sub>4</sub>が、並列接続された3つ以上の圧電素子から構成されてもよい。さらに、他の圧電素子12<sub>1</sub>～12<sub>3</sub>も、並列接続された複数の圧電素子によって構成されてもよい。

[0013] インダクタ回路 1 4<sub>1</sub>は、相互に直列に接続されたインダクタL<sub>1</sub>と抵抗器R<sub>1</sub>によって構成される。インダクタ回路 1 4<sub>2</sub>は、相互に直列に接続されたインダクタL<sub>2</sub>と抵抗器R<sub>2</sub>によって構成される。インダクタ回路 1 4<sub>3</sub>は、相互に直列に接続されたインダクタL<sub>3</sub>と抵抗器R<sub>3</sub>によって構成される。インダクタ回路 1 4<sub>4</sub>は、相互に直列に接続されたインダクタL<sub>4</sub>と抵抗器R<sub>4</sub>によって構成される。

[0014] インダクタL<sub>1</sub>～L<sub>4</sub>は、例えばコイルなどで構成される。なお、インダクタL<sub>1</sub>～L<sub>4</sub>を可変インダクタで構成して、インダクタンス（L）を調整可能としてもよい。また、抵抗器R<sub>1</sub>～R<sub>4</sub>を可変抵抗器で構成して、抵抗値（R）を調整可能としてもよい。また、インダクタ回路 1 4<sub>1</sub>～1 4<sub>4</sub>と圧電素子 1 2<sub>1</sub>～1 2<sub>4</sub>とを接続（オン）または切断（オフ）するスイッチ（不図示）が、振動構造体 1 に設けられている。スイッチは、インダクタ回路 1 4<sub>1</sub>～1 4<sub>4</sub>にそれぞれ設けられてもよく、インダクタ回路 1 4<sub>1</sub>～1 4<sub>4</sub>に共通の1つのスイッチが設けられてもよい。また、インダクタ回路 1 4<sub>1</sub>～1 4<sub>4</sub>の構成は、上述したものに限られるものではない。例えば外部電源を利用したシミュレーテッドインダクタ回路でインダクタ回路 1 4<sub>1</sub>～1 4<sub>4</sub>が構成されてもよい。ただし、本実施形態のようにインダクタ回路 1 4<sub>1</sub>～1 4<sub>4</sub>をインダクタL<sub>1</sub>～L<sub>4</sub>と抵抗器R<sub>1</sub>～R<sub>4</sub>で構成すれば、外部電源が必要ない点で、インダクタ回路 1 4<sub>1</sub>～1 4<sub>4</sub>をシミュレーテッドインダクタ回路で構成した場合と比較して扱い易い。

[0015] 1つの共振回路で減衰特性を効率的に変化させることができる周波数帯域が狭い。よって、振動の周波数が互いに異なる第1～第4振動モードに対応するために、各振動モードの周波数における振動成分の減衰特性を、別々の共振回路 1 6<sub>1</sub>～1 6<sub>4</sub>によって個々に調整できる構成が採用されている。

[0016] ここで、これらの共振回路 1 6<sub>1</sub>～1 6<sub>4</sub>が、第1～第4振動モードの周波数における振動成分の減衰特性を変化させる原理について説明する。各共振回路 1 6<sub>1</sub>～1 6<sub>4</sub>は互いに電氣的に同様に構成されているため、ここでは共振回路 1 6<sub>1</sub>を代表して説明する。共振回路 1 6<sub>1</sub>は、コンデンサ（C）と等価である圧電素子 1 2<sub>1</sub>と、インダクタ回路 1 4<sub>1</sub>内のインダクタL<sub>1</sub>（L）と抵抗器R

、 $(R)$  とが直列に接続された  $R L C$  回路である。  $R L C$  回路の共振周波数  $f$  は下記数式 (1) と表される。

[0017] [数1]

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

・・・ (1)

[0018] 上記数式 (1) によれば、インダクタ  $L_1$  のインダクタンス  $L$  を調整することで、振動体 10 の第 1 振動モードの共振周波数に共振回路 16<sub>1</sub> の共振周波数を一致させることができる。このとき、電気機械連成振動による動吸振器 (ダイナミックダンパー) の理論によれば、エネルギー散逸量 (減衰量) の大きさは、回路の抵抗器  $R_1$  の抵抗値  $R$  の増減によって調整することができる。

[0019] このように、振動体 10 の第 1 振動モードの共振周波数に共振回路 16<sub>1</sub> の共振周波数を一致させることで、振動体 10 の振動エネルギーが圧電素子 12<sub>1</sub> によって電気エネルギーに変換され、その電気エネルギーを共振回路 16<sub>1</sub> によって吸収させることができる。これによって、第 1 振動モードの減衰特性、例えば共振回路の共振のピークの鋭さを表す  $Q$  値 (Quality factor) の逆数に比例するモード減衰比を大きくすることができる。その結果、第 1 振動モードの振動の減衰を意図的に早めることができる。 $Q$  値は、下記数式 (2) で表される。

[0020] [数2]

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

・・・ (2)

[0021] このとき、抵抗器  $R_1$  の抵抗値  $R$  を調整することによって、モード減衰比の大きさを調整できる。一般的に、抵抗器からのエネルギー散逸量  $W$  は、電流

を  $I$  とすれば、 $R \times I^2$  に比例する。従って、他の電気デバイスの交流インピーダンスの影響が無視できるほど十分に  $R$  が大きな場合を想定すれば、 $R$  が小さいほど（2乗で影響する電流  $I$  が大きくなることの影響が支配的になり） $W$  は大きくなり、逆に  $R$  が大きいほど、 $W$  は小さくなる。つまり、抵抗器  $R_1$  の抵抗値  $R$  を大きくするほどモード減衰比の増加量が小さくなり、抵抗器  $R_1$  の抵抗値  $R$  を小さくするほど、モード減衰比の増加量が大きくなる。このため、抵抗器  $R_1$  の抵抗値  $R$  を小さくするほど、第1振動モードの振動を早く減衰させることができる。つまりこの方法によれば、インダクタ回路  $14_1$  の  $R$  を適当な値に調整することで、第1振動モードのモード減衰比を自由に所望の値に調整することが可能である。他の共振回路  $16_2 \sim 16_4$  においても、上述した共振回路  $16_1$  と同様に調整が可能であるため、インダクタ回路  $14_1 \sim 14_4$  によって、第1～第4振動モードのモード減衰比を別々に調整することができる。

[0022] 各インダクタ  $L_1 \sim L_4$  のインダクタンス  $L$  に応じて各共振回路  $16_1 \sim 16_4$  の共振周波数が変化する。共振回路  $16_1$  のインダクタ  $L_1$  のインダクタンス  $L$  は、第1振動モードに対応する目標周波数  $f_1$  に共振回路  $16_1$  の共振周波数が近似または一致するように決定される。同様に、共振回路  $16_2$  のインダクタ  $L_2$  のインダクタンス  $L$  は、第2振動モードに対応する目標周波数  $f_2$  に共振回路  $16_2$  の共振周波数が近似または一致するように決定される。共振回路  $16_3$  のインダクタ  $L_3$  のインダクタンス  $L$  は、第3振動モードに対応する目標周波数  $f_3$  に共振回路  $16_3$  の共振周波数が近似または一致するように決定される。共振回路  $16_4$  のインダクタ  $L_4$  のインダクタンス  $L$  は、第4振動モードに対応する目標周波数  $f_4$  に共振回路  $16_4$  の共振周波数が近似または一致するように決定される。すなわち、減衰特性の調整対象となる目標周波数  $f_1 \sim f_4$  (図7参照) は、共振回路  $16_1 \sim 16_4$  の各々で相違する。

[0023] 次に、第1実施形態における圧電素子  $12_1 \sim 12_4$  の配置について説明する。上述したように振動体  $10$  の振動における第1～第4振動モードによって、圧電素子  $12_1 \sim 12_4$  が振動エネルギーを効率良く吸収できる最適な配置が

異なる。そこで、本実施形態では、図1に示すように、第1～第4振動モードごとに、圧電素子 $12_1 \sim 12_4$ を最適な位置と向きで配置している。

[0024] 以下、図1に示す圧電素子 $12_1 \sim 12_4$ の最適な配置について、第1～第4振動モードごとに具体的に説明する。図2～図5は、各振動モードの表面の主ひずみテンソル分布と圧電素子の配置を示す図である。振動体10は板状であり薄いため、振動体10が振動したときに発生する主ひずみのうち厚み方向（Z方向）のひずみは小さい。このため、ここでの主ひずみとしては、振動体10の表面上にX方向に対して45度傾斜する方向に沿って発生する主ひずみ $t_1$ （図2～図5に示すひずみが発生した瞬間では引張ひずみ（+））と、振動体10の表面上に主ひずみ $t_1$ の方向に垂直な方向に沿って発生する主ひずみ（図2～図5に示すひずみが発生した瞬間では圧縮ひずみ（-））が該当する。図2～図5の主ひずみ分布は、固有値解析によって求めたものである。図2～図5の主ひずみ分布は、振動体10が振動したときに第1～第4振動モードの各振動モードにおいて、表面で発生する主ひずみ $t_1$ と主ひずみ $t_2$ をベクトルで表している。振動体10が純粋にこれらの単一モードで振動すると、振動体10の表面では、引張と圧縮が交互に繰り返される。よって、引張ひずみと圧縮ひずみは、その方向が交互に入れ替わる。また、主ひずみ $t_1$ と主ひずみ $t_2$ の両方が引張ひずみの場合もあり、逆に主ひずみ $t_1$ と主ひずみ $t_2$ の両方が圧縮ひずみの場合もある。図2～図5の主ひずみテンソル分布は、振動中の最大の主ひずみ $t_1$ と最大の主ひずみ $t_2$ をベクトルで示したものと解釈できる。

[0025] 図2は第1振動モードの主ひずみ分布と圧電素子 $12_1$ の配置を示す図である。図3は第2振動モードの主ひずみ分布と圧電素子 $12_2$ の配置を示す図である。図4は第3振動モードの主ひずみ分布と圧電素子 $12_3$ の配置を示す図である。図5は第4振動モードの主ひずみ分布と圧電素子 $12_{4a}$ 及び $12_{4b}$ の配置を示す図である。

[0026] 図2～図5に示すように、振動体10の表面上の主ひずみ $t_1$ と主ひずみ $t_2$ の大きさと向きは、振動体10の平面上の位置によって異なる。面内の

伸縮に対して厚さ方向に電場が発生する平板型の圧電素子 12 の圧電効果の大きさは、その圧電素子 12 に生じている面内ひずみ量に比例する。圧電素子 12 の面内ひずみ量は、圧電素子 12 が装着された振動体 10 の表面のひずみ量にほぼ等しいと考えられる。このため、圧電素子 12<sub>1</sub>～12<sub>4</sub>が振動体 10 の表面の主ひずみの大きい位置に装着されると、圧電素子 12<sub>1</sub>～12<sub>4</sub>で発生する電圧も大きくなる。よって、振動体 10 の振動エネルギーを効率的に吸収でき、モード減衰比を調整し易くなる。振動体 10 の表面のひずみ量、すなわち圧電素子 12 の面内ひずみ量の大きさは、表面の 2 つの方向の主ひずみの和 ( $t_1 + t_2$ ) の絶対値とみなすことができる。すなわち、このように定義されたひずみ量が大きな領域に圧電素子 12 を配置することが効率的である。このため、本実施形態では、振動体 10 の平面のうち、主ひずみ  $t_1$  と主ひずみ  $t_2$  の和 (引張を正、圧縮を負とする) の絶対値が大きくなる領域 A1～A4 に圧電素子 12<sub>1</sub>～12<sub>4</sub>がそれぞれ配置されている。

[0027] 先ず、図 2 に示す第 1 振動モードでは、振動体 10 の表面のうち振動体 10 の中心を含む領域 A1 において、X 方向に対して時計回りに 45 度傾斜した第 1 方向の主ひずみ  $t_1$  (図 2 に示す瞬間では引張ひずみ (+)) の大きさ (ベクトルの長さ) とこれに垂直な第 2 方向の主ひずみ  $t_2$  (図 2 に示す瞬間では圧縮ひずみ (-)) の大きさとの間に差異が見られる。すなわち、主ひずみ  $t_1$  (引張ひずみ (+)) と主ひずみ  $t_2$  (圧縮ひずみ (-)) との総和の絶対値は領域 A1 で他の領域に比較して大きくなる。そこで、第 1 実施形態では、領域 A1 に第 1 振動モードに対応する圧電素子 12<sub>1</sub>が配置される。

[0028] 図 3 に示す第 2 振動モードでは、振動体 10 の表面のうち X 方向における中点を含む領域 A2 において X 方向のひずみと Y 方向のひずみとの差異が顕著となる。すなわち、主ひずみ  $t_1$  と主ひずみ  $t_2$  との総和の絶対値は領域 A2 で他の領域よりも大きくなる。そこで、第 1 実施形態では、領域 A2 のうち、圧電素子 12<sub>1</sub>と重ならない位置であって振動体 10 の中心よりも Y 方向負側の位置に、第 2 振動モードに対応する圧電素子 12<sub>2</sub>が配置される。

[0029] 図4に示す第3振動モードでは、振動体10の表面のうちX方向の中点を含む領域の中で、振動体10の中心よりもY方向の負側の領域A3aと振動体10の中心よりもY方向の正側の領域A3bにおいて、ほぼX方向に沿う主ひずみ $t_1$ とほぼY方向に沿う主ひずみ $t_2$ との差異が顕著となる。すなわち、領域A3a及びA3bでは、主ひずみ $t_1$ と主ひずみ $t_2$ との総和の絶対値は他の領域よりも大きくなる。そこで、第1実施形態では、領域A3bに、第3振動モードに対応する圧電素子12<sub>3</sub>が配置される。なお、振動体10の長手方向の両端付近でも主ひずみ $t_1$ と主ひずみ $t_2$ の差が大きな領域が発生する。しかしながら、これらの領域の面積は非常に小さいので、領域A3a及び領域A3bのいずれかに圧電素子12<sub>3</sub>を配置する方が好ましい。

[0030] 図5に示す第4振動モードでは、振動体10の表面のうちY方向の中間部分を含む領域A4で、X方向の主ひずみ $t_1$ とY方向の主ひずみ $t_2$ との差異が顕著となる。すなわち、主ひずみ $t_1$ と主ひずみ $t_2$ との総和の絶対値は領域A4で他の領域よりも大きくなる。そこで、第1実施形態では、領域A4のうち、圧電素子12<sub>1</sub>と重ならない位置であって振動体10の中心よりもX方向正側の位置とX方向負側の位置に、第4振動モードに対応する圧電素子12<sub>4a</sub>及び12<sub>4b</sub>が配置される。

[0031] ここで、第1実施形態の効果を確認する実験結果について説明する。図6及び図7は、第1実施形態の効果を確認するための実験結果を示す図である。この実験においては、カーボン繊維強化樹脂（CFRP：Carbon Fiber Reinforced Plastics）で構成した振動体10に、各圧電素子12<sub>1</sub>～12<sub>4</sub>の振動体10との対向面の全面を固定領域として接着して、各圧電素子12<sub>1</sub>～12<sub>4</sub>が振動体10に装着された。図6は第1～第4振動モードのモード減衰比を示すグラフである。図6では、横軸が振動モードの次数を表し、縦軸がモード減衰比を表す。図7は、振動体10の振動の周波数特性を示し、さらに言えば、振動モードの定常特性におけるQ値の変化を示すゲイン線図である。図7において、X軸の $f_1$ ～ $f_4$ は、それぞれ、減衰特性の調整対象となる第

1～第4振動モードの目標周波数を表す。図6の白四角を結んだ線は、インダクタ回路 $14_1 \sim 14_4$ を圧電素子 $12_1 \sim 12_4$ に接続（ON）した場合の実験結果を示す。図6の白菱形を結んだ線は、インダクタ回路 $14_1 \sim 14_4$ を圧電素子 $12_1 \sim 12_4$ から切断（OFF）した場合の実験結果を示す。図7の太線は、インダクタ回路 $14_1 \sim 14_4$ を圧電素子 $12_1 \sim 12_4$ に接続（ON）した場合の実験結果を示す。図7の細線は、インダクタ回路 $14_1 \sim 14_4$ を圧電素子 $12_1 \sim 12_4$ から切断（OFF）した場合の実験結果を示す。図6の黒三角を結んだ線は、圧電素子 $12_1 \sim 12_4$ が装着されておらず共振回路 $16_1 \sim 16_4$ がない木材（ローズウッド）で振動体10を構成した場合の実験結果を示す。

[0032] 図6において、インダクタ回路 $14_1 \sim 14_4$ の全てを接続状態（ON）にした場合を、インダクタ回路 $14_1 \sim 14_4$ の全てを切断状態（OFF）にした場合と比較すると、第1振動モードではそれほど大きな変化は見られなかったものの、第2～第4振動モードの各モード減衰比では大きく変化していることが分かる。図7についても、インダクタ回路 $14_1 \sim 14_4$ の全てを接続状態（ON）にした場合を、インダクタ回路 $14_1 \sim 14_4$ の全てを切断状態（OFF）にした場合と比較すると、第1振動モードではそれほど大きな変化は見られなかったものの、第2～第4振動モードの各々に対応する周波数帯域でのQ値が小さくなったことにより、その振幅（ゲイン）が小さくなっていることが分かる。このように、第1実施形態によれば、インダクタ回路 $14_1 \sim 14_4$ によって、各振動モードのモード減衰比を別々に異なる量だけ大きくすることができる。これによれば、各振動モードについて、個別に振動を減衰させることができる。よって、減衰特性から見た望みの音響特性を実現できる。したがって、振動体10が発生する音を変えることができる。

[0033] なお、図6及び図7の実験結果では、第1振動モードについては、そのモード減衰比を大きく変化させることができなかった。その理由として、以下の事柄が考えられる。この実験結果における第1振動モードでの振動体10の表面は、偶然に、2つの主ひずみ $t_1$ と主ひずみ $t_2$ が異符号（正と負）

であり、しかもその大きさが等しい領域でほぼ占められていた。このため、圧電素子 1 2<sub>1</sub>を装着した A 1 領域においても、主ひずみ t 1 と主ひずみ t 2 との総和の絶対値が小さかった。

[0034] 第 1 振動モードにおいては、必ずしも主ひずみ t 1 と主ひずみ t 2 として引張と圧縮が同時に現れるとは限らず、両方とも引張の場合、逆に両方とも圧縮の場合もある。そのような第 1 振動モードであれば、主ひずみ t 1 と主ひずみ t 2 との総和の絶対値も大きくなる。したがって、もし第 1 振動モードに関して、圧電素子 1 2<sub>1</sub>を装着する領域において主ひずみ t 1 と主ひずみ t 2 との総和の絶対値が大きい場合には、第 1 ～第 4 振動モードのすべてについて、個別に振動を減衰させることができる。

[0035] このように、主ひずみ t 1 と主ひずみ t 2 との総和の絶対値が小さな領域しか存在しないような振動モードもある。このため、圧電素子 1 2<sub>1</sub>を装着する領域として、効率的に減衰効果が得られる適当な領域が見いだせない場合もある。そのような場合においても、振動体 1 0 に対する圧電素子 1 2 の装着方法を変えることで、効率的に減衰効果が得られることが本発明者らの実験により判明した。この点については、後述する第 5 実施形態以降において詳細に説明する。

#### [0036] <第 2 実施形態>

本発明の第 2 実施形態を説明する。なお、以下に例示する各形態において作用及び機能が第 1 実施形態と同様である要素については、第 1 実施形態の説明で参照した符号を流用して各々の詳細な説明を適宜に省略する。

[0037] 図 8 及び図 9 は、第 2 実施形態に係る振動構造体 1 を説明するための図である。図 8 は、第 2 実施形態に係る振動構造体 1 を Y 方向負側から見た側面図である。図 9 は、Z 方向正側から見た上面図である。なお、図 8 及び図 9 では、インダクタ回路 1 4<sub>1</sub>～1 4<sub>4</sub>が省略されている。

[0038] 図 8 及び図 9 に示す振動構造体 1 では、図 1 に示す圧電素子 1 2<sub>2</sub>が圧電素子 1 2<sub>3</sub>の上に積層された状態で、圧電素子 1 2<sub>2</sub>が間接的に振動体 1 0 に装着されている。圧電素子 1 2<sub>2</sub>と圧電素子 1 2<sub>3</sub>とは、Z 方向において略全域にわ

たり重複している。このため、振動体 10 の振動によるひずみによって圧電素子 12<sub>3</sub>のみならず、圧電素子 12<sub>2</sub>も圧電素子 12<sub>3</sub>と同様に変形する。よって、圧電素子 12<sub>2</sub>と圧電素子 12<sub>3</sub>において、電圧が発生し、振動エネルギーを吸収することができる。このとき、モード減衰調整の目標とする周波数（振動モード）が圧電素子 12<sub>2</sub>と圧電素子 12<sub>3</sub>との間で異なっても、その目標周波数ごとに振動エネルギーが電気エネルギーに変換される。しかも、圧電素子 12<sub>2</sub>の配置は、図 3 に示す第 2 振動モードにおいて、主ひずみ  $\epsilon_1$  と主ひずみ  $\epsilon_2$  の総和の絶対値が大きくなる領域 A2 に含まれている。したがって、図 8 に示すように圧電素子 12<sub>2</sub>が圧電素子 12<sub>3</sub>の上に積層されても、圧電素子 12<sub>2</sub>が圧電素子 12<sub>3</sub>の上に積層されずに別々に配置された図 1 の場合と同様の効果が得られる。しかも、図 9 に示すように、圧電素子 12<sub>2</sub>を圧電素子 12<sub>3</sub>の上に積層することで、圧電素子 12<sub>2</sub>が圧電素子 12<sub>3</sub>の上に積層されない場合と比較して、圧電素子 12<sub>2</sub>と圧電素子 12<sub>3</sub>の振動体 10 への配置面積を削減できる。

[0039] なお、圧電素子 12<sub>2</sub>と圧電素子 12<sub>3</sub>とは、接着剤で貼り付けられてもよく、また両者を接着せずに板バネ等の押付部材によって圧接させてもよい。また、圧電素子 12<sub>2</sub>と圧電素子 12<sub>3</sub>の間には、絶縁体を介在させてもよい。また、圧電素子 12<sub>2</sub>と圧電素子 12<sub>3</sub>との各々の対向面の全面を接触させた状態で接着または圧接させてもよく、また各対向面の一部を接触させた状態で接着または圧接させてもよい。

[0040] なお、図 8 及び図 9 では、圧電素子 12<sub>2</sub>が圧電素子 12<sub>3</sub>の上に積層された場合を例示した。しかしながら、圧電素子 12<sub>2</sub>と圧電素子 12<sub>3</sub>との位置関係は、これに限られるものではなく、圧電素子 12<sub>3</sub>が圧電素子 12<sub>2</sub>の上に積層されてもよい。さらに、圧電素子 12<sub>1</sub>と圧電素子 12<sub>4a</sub>及び 12<sub>4b</sub>についても全部または一部が積層された状態で貼り付けられてもよい。2つの圧電素子 12<sub>4a</sub>及び 12<sub>4b</sub>が積層されることで、さらに圧電素子 12<sub>1</sub>～12<sub>4</sub>全体の配置面積を削減できる。また、図 8 では、圧電素子 12<sub>1</sub>～12<sub>4</sub>の一部を 2 層に積層した場合を例示した。しかしながら、積層数はこれに限られるものでは

なく、積層数は３層以上でもよい。

[0041] <第３実施形態>

本発明の第３実施形態を説明する。図１０は、第３実施形態に係る振動構造体１を説明するための図であり、当該振動構造体１をＹ方向負側から見た側面図である。なお、図１０では、インダクタ回路１４<sub>１</sub>～１４<sub>４</sub>と、圧電素子１２<sub>１</sub>と、圧電素子１２<sub>４</sub><sub>ａ</sub>及び１２<sub>４</sub><sub>ｂ</sub>が省略されている。

[0042] 図１０に示す振動構造体１では、図１に示す圧電素子１２<sub>２</sub>は、圧電素子１２<sub>３</sub>が配置される面とは反対側の面に配置されている。圧電素子１２<sub>２</sub>と圧電素子１２<sub>３</sub>とは、Ｚ方向において相互に重なっている。このように、圧電素子１２<sub>２</sub>と圧電素子１２<sub>３</sub>とを、振動体１０の両側の面に別々に配置しても、振動体１０の片側の面に配置した場合と同様の効果が得られる。

[0043] なお、圧電素子１２<sub>２</sub>と圧電素子１２<sub>３</sub>とは、接着剤で貼り付けられてもよく、また両者を接着せずに板バネ等の押圧部材によって圧接させてもよい。具体的には例えば図１０に示すように、板バネで構成した挟持体２０によって、圧電素子１２<sub>２</sub>と圧電素子１２<sub>３</sub>とが振動体１０と共に挟持されてもよい。図１０に示す挟持体２０は、振動体１０を挟んで相互に反対側に位置する第１腕部２２と第２腕部２４とを備えている。第１腕部２２と第２腕部２４の基端は、支持部材２６に取り付けられている。第１腕部２２と第２腕部２４と支持部材２６とは、板バネを折り曲げることで一体に形成される。

[0044] 図１０に示す挟持体２０によって、圧電素子１２<sub>３</sub>が第１腕部２２と振動体１０のＺ方向負側の面との間に挟持され、圧電素子１２<sub>２</sub>が第２腕部２４と振動体１０のＺ方向正側の面との間に挟持される。これにより、圧電素子１２<sub>２</sub>と圧電素子１２<sub>３</sub>とを、振動体１０に着脱自在に装着することができる。例えば挟持体２０によって圧電素子１２<sub>２</sub>と圧電素子１２<sub>３</sub>を振動体１０に仮装着し、最適な位置が見つかったところで、圧電素子１２<sub>２</sub>と圧電素子１２<sub>３</sub>を接着剤で振動体１０に貼り付けることもできる。このとき、挟持体２０は外してもよく、外さなくてもよい。また、図１０に示すように、圧電素子１２<sub>２</sub>と圧電素子１２<sub>３</sub>を振動体１０の両面にそれぞれ配置することで、振動体１０の片面

のみに配置する場合と比較して、振動体 10 の片面の配置面積を削減できる。

[0045] なお、図 10 では、挟持体 20 の第 1 腕部 22 と第 2 腕部 24 の両方に 1 つずつ圧電素子 12 が挟まれ、振動体 10 の両面に圧電素子 12 が装着される場合を例示した。しかしながら、圧電素子 12 の装着手法は、これに限られるものではない。例えば挟持体 20 の第 1 腕部 22 と第 2 腕部 24 のいずれか一方で圧電素子 12 が押えられた状態で装着されてもよい。また、図 8 に示すように複数の圧電素子 12 が積層された状態で、挟持体 20 の第 1 腕部 22 と第 2 腕部 24 のいずれか一方で押えられてもよい。

[0046] また、図 10 では、圧電素子 12<sub>2</sub>が振動体 10 の Z 方向正側の面に配置され、圧電素子 12<sub>3</sub>が振動体 10 の Z 方向負側の面に配置された場合を例示した。しかしながら、圧電素子 12<sub>2</sub>及び 12<sub>3</sub>の配置は、これに限られるものではない。逆に、圧電素子 12<sub>2</sub>が振動体 10 の Z 方向負側の面に配置され、圧電素子 12<sub>3</sub>が振動体 10 の Z 方向正側の面に配置されてもよい。さらに、圧電素子 12<sub>1</sub>と圧電素子 12<sub>4a</sub>及び 12<sub>4b</sub>についても、それぞれ別の挟持体 20 で挟まれてもよい。

[0047] また、挟持体 20 の構成は、図 10 に示すものに限られない。例えば第 1 腕部 22 と第 2 腕部 24 と支持部材 26 は別体で構成されてもよい。この場合、第 1 腕部 22 と第 2 腕部 24 が板バネで構成され、支持部材 26 がネジとボルトなどの締結部材で構成されてもよい。このように、第 1 腕部 22 と第 2 腕部 22 の基端を締結部材で締結させることで、第 1 腕部 22 と第 2 腕部 24 を着脱自在にすることができる。

[0048] また、第 1 腕部 22 と第 2 腕部 24 は、長さを変えられるように、スライド自在に構成されてもよい。例えば図 11 に示す第 3 実施形態の第 1 変形例における第 1 腕部 22 は、基端部 23 と、基端部 23 に形成された孔 23 a にスライド自在に差し込まれた板バネ K とによって構成される。第 2 腕部 24 についても同様に、基端部 25 と、基端部 25 に形成された孔 25 a にスライド自在に差し込まれた板バネ K とによって構成される。第 1 腕部 22 の

基端部 23 と第 2 腕部 24 の基端部 25 は、支持部材 26 によって連結されている。これによれば、板バネ K をスライドさせて、第 1 腕部 22 と第 2 腕部 24 の長さを変えることで、圧電素子 122 と圧電素子 123 を装着できる範囲を広げることができる。

[0049] また、図 10 では、振動体 10 を挟んで相互に反対側に位置する第 1 腕部 22 と第 2 腕部 24 とを 1 つずつ備えた 1 つの挟持体 20 が例示された。しかしながら、挟持体 20 は、これに限られず、振動体 10 を挟んで相互に反対側に位置する第 1 腕部 22 と第 2 腕部 24 とを複数個ずつ備えた 1 つの挟持体 20 が用いられてもよい。例えば図 12 に示す第 3 実施形態の第 2 変形例が挙げられる。図 12 では、圧電素子 12<sub>1</sub> は省略している。

[0050] 図 12 に示す挟持体 20 では、第 3 腕部 22 a と第 4 腕部 24 a とが振動体 10 を挟んで対向して配置され、第 5 腕部 22 b と第 6 腕部 24 b とが振動体 10 を挟んで対向して配置される。第 5 腕部 22 b の基端部は第 3 腕部 22 a の基端部に接続しており、第 5 腕部 22 b の先端部は第 3 腕部 22 a に対して反時計回りに 45 度傾斜している。同様に、第 6 腕部 24 b の基端部は第 4 腕部 24 a の基端部に接続しており、第 6 腕部 24 b の先端は第 4 腕部 24 a に対して反時計回りに 45 度傾斜している。図 12 に示す挟持体 20 によれば、圧電素子 12<sub>3</sub> が第 3 腕部 22 a と振動体 10 の一方の面との間に挟持され、圧電素子 12<sub>2</sub> が第 4 腕部 24 a と振動体 10 の他方の面との間に挟持される。同時に、一方の圧電素子 12<sub>4a</sub> が第 5 腕部 22 b と振動体 10 の一方の面との間に挟持され、他方の圧電素子 12<sub>4b</sub> が第 6 腕部 24 b と振動体 10 の他方の面との間に挟持される。この構成においては、1 つの挟持体 20 によって、圧電素子 12<sub>2</sub> と圧電素子 12<sub>3</sub> だけでなく、圧電素子 12<sub>4</sub> についても、振動体 10 の両面にそれぞれ着脱自在に配置することができる。

[0051] <第 4 実施形態>

本発明の第 4 実施形態を説明する。図 13 は、第 4 実施形態に係る振動構造体 1 を説明するための図である。第 1 実施形態～第 3 実施形態では、圧電素子 12<sub>1</sub>～12<sub>4</sub> を振動体 10 の表面に接着剤などで貼り付けて圧電素子 12<sub>1</sub>

～12<sub>4</sub>を振動体10の表面に装着する場合を説明した。これに対して、第4実施形態では、圧電素子12<sub>1</sub>～12<sub>4</sub>を振動体10の表面に凹凸嵌合させることで圧電素子12<sub>1</sub>～12<sub>4</sub>が振動体10の表面に装着される。第4実施形態では、上述した凹凸嵌合の構成は圧電素子12<sub>1</sub>～12<sub>4</sub>のすべてに適用可能なため、圧電素子12で代表して説明する。

[0052] 図13では、振動体10の表面に振動体側装着板32が積層されており、圧電素子12のうち振動体側装着板32に対向する表面に圧電素子側装着板34が積層されている。振動体側装着板32には、複数の凹部32aが形成されており、圧電素子側装着板34には、凹部32aと嵌合する凸部34aが形成されている。振動体側装着板32は、圧電素子側装着板34よりも面積が大きく、振動体側装着板32の凹部32aの数は、圧電素子側装着板34の凸部34aの数よりも多い。

[0053] このような構成によれば、凹部32aと凸部34aとが嵌合することにより、圧電素子12が振動体10の表面に装着される。多数の凹部32aのうち所望の位置に対応する凹部32aに圧電素子12側の凸部34aが嵌合できるので、圧電素子12を振動体10の表面の所望の位置に着脱自在に装着できる。例えば図13では振動体10の表面に、圧電素子12の長手方向がX方向に沿うように圧電素子12が配置される場合を例示しているが、振動体10の表面に、圧電素子12の短手方向がX方向に沿うように圧電素子12を配置することもできる。また、圧電素子12の向きもX方向又はY方向に沿う向きに限られるものではなく、圧電素子12の長手方向が圧電素子12<sub>1</sub>のようにX方向に対して傾くように圧電素子12を配置することもできる。この場合は、凹部32aの配置に合わせて、圧電素子12の長手方向がX方向に対して傾いても凹凸嵌合ができるように凸部34aが配置されればよい。

[0054] なお、図13では、振動体側装着板32によって振動体10側に凹部32aを配置し、圧電素子側装着板34によって圧電素子12側に凸部34aを配置する場合を例示したが、凹部32aと凸部34aが形成される位置はこ

れに限られない。振動体 10 側に直接凹部 32 a が形成され、圧電素子 12 側に直接凸部 34 a が形成されてもよい。また、図 13 では、振動体 10 側に凹部 32 a を配置し、圧電素子 12 側に凸部 34 a を配置した場合を例示したが、これとは逆に、振動体 10 側に凸部 34 a が配置され、圧電素子 12 側に凹部 32 a が配置されてもよい。

[0055] <第 5 実施形態>

本発明の第 5 実施形態を説明する。第 1 実施形態～第 4 実施形態では、振動体 10 の表面に、圧電素子 12 の振動体 10 との対向面の全面を固定領域として接着して、圧電素子 12 が振動体 10 に装着される場合を例示した。これに対して、第 5 実施形態では、振動体 10 の表面に圧電素子 12 の一部が固定領域として装着される。

[0056] 図 2～図 5 では、第 1～第 4 振動モードの主ひずみ分布に応じて、面内のひずみ量が大きくて電圧が発生し易い振動体 10 の領域に、圧電素子 12 を装着することで、それぞれの振動モードにおいて振動エネルギーを効率よく吸収できる点について説明した。具体的には互いに垂直な 2 つの主ひずみ  $t_1$  と主ひずみ  $t_2$  の総和の絶対値が大きくなる振動体 10 の領域に圧電素子 12 が装着される。

[0057] ところが、主ひずみ  $t_1$  による圧電素子 12 の変形で発生する電圧と、主ひずみ  $t_2$  による圧電素子 12 の変形で発生する電圧とが互いに異符号でその大きさが同程度になるような領域では、たとえ主ひずみ  $t_1$  と主ひずみ  $t_2$  の大きさが個々に大きくても両者が打ち消しあうことによって、発生する電圧が非常に小さくなる。従って、振動体 10 の表面がそのような領域のみで占められている特異な振動モードの場合には、圧電素子 12 の適当な装着位置を見出すことができないため、減衰特性の効率的な調整が困難となる。例えば図 2 に示す振動体 10 の第 1 振動モードでは、ひずみ  $t_1$  によって発生する電圧とひずみ  $t_2$  によって発生する電圧とが圧電素子 12 内で互いに打ち消されてしまって効率よく振動エネルギーを吸収できない領域が多いため、減衰特性の効率的な調整が難しい。

[0058] そこで、第5実施形態では、圧電効果の大きさに比例する圧電素子12の面内ひずみ量が、振動体10の面内のひずみ量と完全に同じにならないようにするため、振動体10の表面に圧電素子12の一部を接着して、圧電素子12に発生するひずみ量が異方性を持つように振動体10に圧電素子12が装着される。これは、圧電素子12における振動体10との対向面の全面ではなく、一部を振動体10に接着することで、圧電素子12に発生するひずみ量に対して、ひずみ $t_1$ による変形とひずみ $t_2$ による変形のうちのどちらか一方からの影響を大きくし、他方からの影響を小さくできる点に着目し、全体として発生する電圧が大きくなるように工夫した技術である。

[0059] 以下、このような第5実施形態に係る振動構造体1の具体的な構成例について説明する。図14A及び図14Bは、第5実施形態に係る振動構造体1を説明するための図である。図14Aは上面図であり、図14Bは振動構造体1の側面を、基準軸Gに垂直な方向から見た図である。ここでは第1振動モードの圧電素子12<sub>1</sub>に着目して説明する。図14Aにおいて、円で囲んだ左側の図は、圧電素子12<sub>1</sub>の主ひずみ $t_2$ （圧縮ひずみ（－））による変形の例を示す図であり、円で囲んだ右側の図は、圧電素子12<sub>1</sub>の主ひずみ $t_1$ （引張ひずみ（＋））による変形の例を示す図である。

[0060] 図14A及び図14Bでは、ある瞬間において、振動体10の表面にX方向に対して時計回りに45度傾斜した方向に主ひずみ $t_1$ が発生し、その主ひずみ $t_1$ に対して垂直な方向に、主ひずみ $t_1$ と同じ大きさの主ひずみ $t_2$ が発生する領域に、圧電素子12<sub>1</sub>が装着された場合を想定する。この場合、主ひずみ $t_1$ と主ひずみ $t_2$ のいずれかの方向に沿った軸を基準軸とする。ここでは、X方向に対して反時計回りに45度傾斜した方向（図14Aでは主ひずみ $t_2$ が発生している方向）に沿っており、且つ圧電素子12<sub>1</sub>の中心を通る軸を基準軸Gとする。

[0061] 図14A及び図14Bに示すように、基準軸Gの方向における位置が異なる複数の固定領域S1及びS2で圧電素子12<sub>1</sub>が振動体10の表面に固定される。

ここでの固定領域  $S_1$  及び  $S_2$  は、圧電素子  $12_1$  の表面うち、 $X-Y$  平面上（振動体  $10$  の表面上）において基準軸  $G$  と直交する方向に延びて、互いに離間した領域である。図  $14A$  に示す固定領域  $S_1$  及び  $S_2$  は、圧電素子  $12_1$  のうち基準軸  $G$  に直交する方向に沿った各縁辺の全長にわたっている。圧電素子  $12_1$  の表面うち、固定領域  $S_1$  及び  $S_2$  のみが振動体  $10$  の表面に固定されており、固定領域  $S_1$  及び  $S_2$  以外は固定されていない。

[0062] したがって、図  $14A$  の円で囲んだ左側の図のように、基準軸  $G$  の方向において位置が異なる複数の固定領域  $S_1$  及び  $S_2$  のみで圧電素子  $12_1$  が振動体  $10$  の表面に固定されている。振動構造体  $1$  に基準軸  $G$  に平行な方向に発生する主ひずみ（ $t_1$  又は  $t_2$ ）に対しては、圧電素子  $12_1$  の固定領域  $S_1$  及び  $S_2$  だけでなく、固定領域  $S_1$  及び  $S_2$  以外の領域も含めた長手方向の全体が変形する。他方、図  $14A$  の円で囲んだ右側の図のように、基準軸  $G$  と垂直な方向に発生する主ひずみ（ $t_1$  又は  $t_2$ ）に対しては、固定領域  $S_1$  及び  $S_2$  のみを変形する。これにより、主ひずみ  $t_1$  による変形と主ひずみ  $t_2$  による変形のうちの一方を大きくし、他方を小さくできる。このため、全体として発生する電圧を大きくすることができる。よって、振動エネルギーを効率的に吸収できる。なお、第5実施形態による圧電素子  $12_1$  の固定領域  $S_1$  及び  $S_2$  は、図  $14A$  に示すような圧電素子  $12_1$  の長手方向の両端部の位置に限られるものではない。固定領域  $S_1$  及び  $S_2$  が、基準軸  $G$  に沿った方向に、固定領域  $S_1$  及び  $S_2$  の長手方向の幅（基準軸  $G$  に垂直な方向の幅）よりも大きく離間していればよい。

[0063] 次に、第5実施形態の効果を確認する実験結果について説明する。この実験においては、図6及び図7の実験の場合と同様に、カーボン繊維強化樹脂（CFRP）で構成した振動体  $10$  を用いた。本実験では、図15に示すように、振動体  $10$  の表面のうち図2と同様の位置に、圧電素子  $12_1$  の一部（固定領域  $S_1$  及び  $S_2$ ）のみを貼り付けて振動体  $10$  に圧電素子  $12_1$  が装着された。その他の第2～第4振動モードの圧電素子  $12_2 \sim 12_4$  については、第1実施形態の場合と同様の位置に振動体  $10$  との対向面の全面を貼り付け

て装着された。図16は、図15に示す場合の第1～第4振動モードのモード減衰比を示すグラフである。

[0064] 図2～図5では、第1～第4振動モードの主ひずみ分布によれば、主ひずみ $t_1$ と主ひずみ $t_2$ の正負が逆で（引張と圧縮）、大きさが同程度の領域は、図2に示す第1振動モードにおいて振動体10の中央の領域A1に現れやすいことが分かる。そこで、ここでは第1振動モードについて第5実施形態の効果を確認する。このため、図16では、圧電素子12<sub>1</sub>のみをインダクタ回路14<sub>1</sub>に接続（ON）して第1振動モードのモード減衰比が増加するように調整し、他の圧電素子12<sub>2</sub>～12<sub>4</sub>はインダクタ回路14<sub>2</sub>～14<sub>4</sub>から切断（OFFオフ）している。

[0065] 圧電素子12<sub>1</sub>の一部のみを振動体10に貼り付けた図15の場合の効果（図16）を、圧電素子12<sub>1</sub>の全面を振動体10に貼り付けた図2の場合の効果（図6）と比較すると、第1振動モードのモード減衰比の増加が、図2ではほとんど見られなかったのに対し、図16では明確に見られることが分かる。このように、第5実施形態によれば、第1振動モードのように、主ひずみ $t_1$ と主ひずみ $t_2$ の正負が逆で、大きさが同程度の領域が生じることでモード減衰比を調整し難かった振動モードでも、モード減衰比の調整範囲を大きくすることができる。このため、モード減衰比を調整し易くなる。

[0066] これに対して、図2～図5に示すように他の第2～第4振動モードの主歪みテンソル分布については、主ひずみ $t_1$ と主ひずみ $t_2$ の正負が逆でも、大きさが比較的大きく異なる領域がある。このため、圧電素子12<sub>2</sub>～12<sub>4</sub>については第1実施形態のように振動体10との対向面の全面を固定領域として振動体10に固定しても、モード減衰比を調整し易い。したがって、第1振動モードの圧電素子12<sub>1</sub>についてのみ、第5実施形態のように一部を振動体10に接着し、圧電素子12<sub>2</sub>～12<sub>4</sub>については第1実施形態と同様に振動体10との対向面の全面を振動体10に接着することで、第1～第4振動モードのすべてにおいて、モード減衰比を調整し易くなる。このように、第1実施形態に第5実施形態を組み合わせることで、どのような主歪みテンソル

分布の振動モードであっても、モード減衰比を容易に調整できるようになる。

[0067] ここで、第1実施形態に第5実施形態を組み合わせた場合の効果を確認する実験結果について説明する。図17及び図18は、第1実施形態に第5実施形態を組み合わせた場合の効果を確認するための実験結果を示す図である。この実験では、図16の実験と同様に、図15に示す第5実施形態の場合と同様の位置に圧電素子12<sub>1</sub>の一部（固定領域S1及びS2）のみを振動体10に貼り付け、その他の第2～第4振動モードの圧電素子12<sub>2</sub>～12<sub>4</sub>については、第1実施形態の場合と同様の位置に振動体10との対向面の全面を振動体10貼り付けて、圧電素子12<sub>1</sub>～12<sub>4</sub>が振動体10に装着された。

[0068] 図17は、第1～第4振動モードのモード減衰比を示すグラフである。図18は、振動体10の振動の周波数特性を示し、さらに言えば、振動モードの定常特性におけるQ値の変化を示すゲイン線図である。図17及び図18はそれぞれ、図6及び図7に対応しているので、ここでの各グラフの説明は省略する。

[0069] 図17及び図18（圧電素子12<sub>1</sub>のみ一部を装着）を、図6及び図7（圧電素子12<sub>1</sub>も全面を装着）と比較すると、図17及び図18では、圧電素子12<sub>1</sub>～12<sub>4</sub>にインダクタ回路14<sub>1</sub>～14<sub>4</sub>を接続（ON）した場合は、圧電素子12<sub>1</sub>～12<sub>4</sub>からインダクタ回路14<sub>1</sub>～14<sub>4</sub>を切断（OFF）した場合に比較して、第2～第4振動モードだけではなく、第1振動モードについても大きく調整されていることが分かる。このように、第1実施形態に第5実施形態を組み合わせれば、インダクタ回路14<sub>1</sub>～14<sub>4</sub>によって、第1～第4振動モードのすべてのモード減衰比を別々に異なる量だけ大きくすることができる。これによれば、たとえ主ひずみ $t_1$ と主ひずみ $t_2$ との総和の絶対値が小さい領域で占められる特異な振動モードが含まれていても、第1～第4振動モードの各々について、個別に振動を減衰させることができる。このため、減衰特性から特定される望みの音響特性を実現することができる。したがって、振動体10が発する音を変えることができる。

[0070] 特に、第1実施形態と第5実施形態を組み合わせることで、どのような平面ひずみの状態の振動モードにおいても、各第1～第4振動モードのモード減衰比を所望の値に調整できる。このため、振動体10の振動によって発生した音を、まるで異なる材料の振動体10の振動によって発生したかのような音に変えることができる。例えば図17は、第1～第4振動モードのモード減衰比を、木材（ローズウッド）のモード減衰比に合わせた実験結果である。ただし振動体10としては、その第1～第4振動モードの共振周波数が、この木材振動体を持つ第1～第4振動モードの周波数に合致するように、平均密度及び均質化弾性係数が予め設計されたカーボン繊維強化樹脂が用いられている。図17に示すように、カーボン繊維強化樹脂の振動体10の第1～第4振動モードにおける振動の減衰特性が、木材（ローズウッド）の第1～第4振動モードの振動の減衰特性にほぼ完全に一致するように、両者の減衰特性を合わせることができる。このため、金属材の振動体10によって木材のような音響特性を実現することが可能である。通常、振動板の複数の固有振動数を合致させることよりも、複数の減衰特性を一致させることの方が困難なため、本発明はこのような応用に極めて有効である。すなわち、振動体10はカーボン繊維強化樹脂でありながら、振動体10によって発生する音が、まるで木材（ローズウッド）が振動したときの音のようになる状況を生じさせることができる。このように本実施形態によれば、振動体10の振動減衰特性、ひいては振動体10の振動により発生する音の音響特性を多様に調整することが可能である。

[0071] なお、他の第2～第4振動モードの圧電素子 $12_2 \sim 12_4$ についても、第5実施形態のように一部が振動体10に接着されてもよい。これによれば、第2～第4振動モードにおいても、第1実施形態の場合よりも吸収できる振動エネルギーの最大値を大きくすることができる可能性があり、モード減衰比の調整範囲を広げることが期待できる。また、振動体10の表面のうち主ひずみ $t_1$ と主ひずみ $t_2$ の正負が逆で、大きさにあまり差がないような領域では特に、振動エネルギーを効率的に吸収できるようになる。このため、圧

電素子  $1\ 2_2 \sim 1\ 2_4$  を装着することによってモード減衰比を調整可能な領域を広げることができるとともに、小さな領域で同等のエネルギー吸収効果を得ることが期待できる。

[0072] <第6実施形態>

本発明の第6実施形態を説明する。図19は、第6実施形態に係る振動構造体1を説明するための図である。第5実施形態では、振動体10に装着する圧電素子  $1\ 2_1$  の面のうち基準軸Gと直交する方向に延びて、互いに離間した領域S1及びS2の全部を固定領域とした場合を例示した。これに対して、第6実施形態では、上記領域S1及びS2の一部が固定領域として用いられる。

[0073] 図19に示す圧電素子  $1\ 2_1$  では、圧電素子  $1\ 2_1$  において基準軸Gに垂直な各縁辺（第1縁辺  $1\ 3_1$ 、第2縁辺  $1\ 3_2$ ）のうち一部が固定領域S1'及びS2'として振動体10に固定されている。固定領域S1'は、基準軸Gの方向における圧電素子  $1\ 2_1$  の中点よりも第1縁辺  $1\ 3_1$  側に位置する。固定領域S2'は、基準軸Gの方向における圧電素子  $1\ 2_1$  の中点よりも第2縁辺  $1\ 3_2$  側に位置する。固定領域S1'は、基準軸Gの一部の上に位置し、固定領域S2'は、基準軸Gの他の一部の上に位置する。固定領域S1'及びS2'の各々は、基準軸Gに交差する方向における圧電素子  $1\ 2_1$  の一部の領域である。これによれば、基準軸Gの方向の主ひずみに対しては、圧電素子  $1\ 2_1$  が固定領域S1'から固定領域S2'までの圧電素子  $1\ 2_1$  の長手方向の広い範囲で変形する。これに対して、基準軸Gに直交する主ひずみに対しては、圧電素子  $1\ 2_1$  が固定領域S1'及びS2'のみの狭い範囲で変形する。このため、圧電素子  $1\ 2_1$  を一部の固定領域S1'及びS2'を振動体10に固定しても、主ひずみ  $t_1$  による変形と主ひずみ  $t_2$  による変形のうちの一方を大きくし、他方を小さくできる。これにより、主ひずみ  $t_1$  と主ひずみ  $t_2$  の正負が逆で（引張と圧縮）、大きさの差異が小さい領域であっても、効率良く振動エネルギーを吸収することができる。

[0074] なお、固定領域S1'及びS2'の位置は、図19に示す位置に限られる

ものではない。例えば図20に示すように、基準軸Gに平行な2つの第1基準軸G1と第2基準軸G2を設定し、固定領域S1'は第1基準軸G1を通る領域とし、固定領域S2'は第2基準軸G2を通る領域としてもよい。図20では、固定領域S1'は、基準軸Gの方向における圧電素子12<sub>1</sub>の midpoint よりも第1縁辺13<sub>1</sub>側に位置する。固定領域S2'は、基準軸Gの方向における圧電素子12<sub>1</sub>の midpoint よりも第2縁辺13<sub>2</sub>側に位置する。固定領域S1'は、第1基準軸G1の一部の上に位置する。固定領域S2'は、基準軸Gを挟んで第1基準軸G1とは反対側の第2基準軸G2の一部の上に位置する。固定領域S1'及びS2'の各々は、基準軸Gに交差する方向における圧電素子12<sub>1</sub>の一部の領域である。これによっても、主ひずみ $\epsilon_1$ による変形と主ひずみ $\epsilon_2$ による変形のうちの一方を大きくし、他方を小さくできる。また、固定領域S1'及びS2'の位置は、図19及び図20に示すような圧電素子12<sub>1</sub>の端部でなくてもよい。固定領域S1'と固定領域S2'との圧電素子12<sub>1</sub>の短手方向の長さよりも固定領域S1'と固定領域S2'との間の圧電素子12<sub>1</sub>の長手方向の距離の方が長くなる位置であれば、固定領域S1'及びS2'の位置は、圧電素子12<sub>1</sub>の端部よりも内側寄りであってもよい。

[0075] <第7実施形態>

本発明の第7実施形態を説明する。図21は、第7実施形態に係る振動構造体1を説明するための図である。第5実施形態及び第6実施形態では、圧電素子12<sub>1</sub>の一部の領域S1及びS2を固定領域として圧電素子12<sub>1</sub>を振動体10に固定する場合を例示した。これに対して、第7実施形態では、さらに圧電素子12<sub>1</sub>にスリット12s1及び12s2が形成されている。

[0076] 図21に示す圧電素子12<sub>1</sub>は、図19に示す圧電素子12<sub>1</sub>に、基準軸G方向に延びる2つのスリット12s1及び12s2が形成された圧電素子である。スリット12s1及び12s2は、圧電素子12<sub>1</sub>の長手方向に長尺であり、基準軸Gの垂直方向に互いに離間している。圧電素子12<sub>1</sub>にこのようなスリット12s1及び12s2を形成することで、基準軸Gに垂直な方向の

主ひずみが生じる領域を分断して、圧電素子 1 2<sub>1</sub>の短手方向の変形を抑制することができる。

[0077] このような第7実施形態のスリット 1 2 s 1 及び 1 2 s 2 によれば、基準軸 G に垂直な方向の主ひずみによる変形よりも、基準軸 G 方向の主ひずみによる変形を相対的に大きくすることができる。したがって、第7実施形態によれば、圧電素子 1 2<sub>1</sub>の変形により発生する電圧をより大きくすることができる。このため、振動エネルギーをより効率良く吸収できる。なお、図 2 1 では、第5実施形態と同様に、圧電素子 1 2<sub>1</sub>の長手方向の両方の端部を固定領域 S 1 及び S 2 とした場合を例示したが、例えば第6実施形態のように圧電素子 1 2<sub>1</sub>の固定領域 S 1 及び S 2 の一部の領域 S 1' 及び S 2' が固定領域として用いられてもよい。

[0078] <第8実施形態>

本発明の第8実施形態を説明する。図 2 2 は、第8実施形態に係る振動構造体 1 を説明するための図である。第7実施形態では、圧電素子 1 2<sub>1</sub>にスリット 1 2 s 1 及び 1 2 s 2 が形成される場合を例示した。これに対して、第8実施形態では、圧電素子 1 2<sub>1</sub>に突起部 1 2 p 1 及び 1 2 p 2 が形成されている。

[0079] 図 2 2 に示す圧電素子 1 2<sub>1</sub>は、図 1 9 に示す圧電素子 1 2<sub>1</sub>に、基準軸 G に垂直な方向に延びる2つの突起部 1 2 p 1 及び 1 2 p 2 が形成された圧電素子である。突起部 1 2 p 1 及び 1 2 p 2 は、圧電素子 1 2<sub>1</sub>のうち振動体 1 0 に装着される面とは反対側の面から突出している。突起部 1 2 p 1 及び 1 2 p 2 は、圧電素子 1 2<sub>1</sub>と一体であってもよく、別体で形成されて圧電素子 1 2<sub>1</sub>に固定されてもよい。突起部 1 2 p 1 及び 1 2 p 2 は、圧電素子 1 2<sub>1</sub>の短手方向に長尺であり、基準軸 G 方向に互いに離間している。圧電素子 1 2<sub>1</sub>にこのような突起部 1 2 p 1 及び 1 2 p 2 を形成することで、圧電素子 1 2<sub>1</sub>の基準軸 G に直交する方向の一部を肉厚にすることができる。これにより、基準軸 G に垂直な方向の主ひずみが生じる領域を分断して、圧電素子 1 2<sub>1</sub>の短手方向の変形を抑えることができる。

[0080] このような第8実施形態の突起部12p1及び12p2によれば、相対的に、基準軸Gに垂直な方向の主ひずみによる変形よりも、基準軸G方向の主ひずみによる変形を大きくすることができる。したがって、第8実施形態によれば、圧電素子12<sub>1</sub>の変形により発生する電圧をより大きくすることができる。このため、振動エネルギーをより効率良く吸収できる。なお、図22では、第5実施形態と同様に、圧電素子12<sub>1</sub>の長手方向の両方の端部を固定領域S1及びS2とした場合を例示したが、例えば第6実施形態のように圧電素子12<sub>1</sub>の固定領域S1及びS2の一部の領域S1'及びS2'が固定領域として用いられてもよい。

[0081] <第9実施形態>

本発明の第9実施形態を説明する。図23A及び図23Bは、第9実施形態に係る振動構造体1を説明するための図である。図23Aは上面図であり、図23Bは振動構造体1の側面を、基準軸Gに垂直な方向から見た図である。第5実施形態では、基準軸Gに垂直な方向に延びる領域S1及びS2を固定領域として圧電素子12<sub>1</sub>を振動体10に固定する場合を例示した。これに対して、第9実施形態では、基準軸G方向に延びる領域S3を固定領域として圧電素子12<sub>1</sub>が振動体10に固定される。

[0082] 図23A及び図23Bに示す圧電素子12<sub>1</sub>においては、基準軸G方向に延びて基準軸Gを含む領域S3を固定領域として振動体10が固定されており、固定領域S3以外の領域は固定されていない。固定領域S3は、圧電素子12<sub>1</sub>の長手方向に長尺であり、短手方向に短尺である。固定領域S3は、図19に示した固定領域S1'及びS2'と、固定領域S1'と固定領域S2'との間の領域とからなる。これによれば、基準軸Gの方向の主ひずみに対しては、圧電素子12<sub>1</sub>が領域S3の長手方向の長い範囲で変形する。これに対して、基準軸Gに直交する主ひずみに対しては、領域S3の短手方向の短い範囲で変形する。このため、圧電素子12<sub>1</sub>を固定領域S3で振動体10に固定するようにしても、主ひずみt1による変形と主ひずみt2による変形のうちの一方を大きくし、他方を小さくできる。これにより、これらの主ひ

ずみ  $t_1$  と主ひずみ  $t_2$  との総和が比較的大きく異なる領域であっても、効率良く振動エネルギーを吸収することができる。

[0083] なお、第9実施形態による圧電素子12<sub>1</sub>の固定領域S3は、基準軸Gを含む位置に限られるものではなく、基準軸Gと平行であれば、Y方向のどの位置にあってもよい。また、固定領域S3は、基準軸Gに対して傾いていてもよい。

[0084] 以上詳述した第1～第9実施形態の振動構造体として、ギター、バイオリン、ピアノ、打楽器などの楽器を例示し、振動体10としては楽器の共鳴体を例示した場合を説明した。しかしながら、振動構造体は、楽器に限られるものではなく、振動により音を発生する振動体を備えるものであれば、どのような振動構造体でも適用可能である。スピーカー、音響機器、電子楽器などの音響構造体及び、その音響構造体以外でも複数の振動モードによる振動で音を発生する様々な振動構造体について上述した実施形態は適用可能である。図24は、振動構造体としてギターが用いられた例を示す図である。図25は、振動構造体としてスピーカーが用いられた例を示す図である。

[0085] また、第1～第4実施形態に、第5～第9実施形態を適宜組合せるようにしてもよい。例えば上述した第5実施形態、第6実施形態及び第9実施形態において、第4実施形態のように、凹部32aと凸部34aとを嵌合させることで、圧電素子12の一部が振動体10の表面に装着されるようにしてもよい。なお、第5～第9実施形態は、第1～第4実施形態の少なくとも1つの圧電素子に適用されてもよい。

[0086] 上述した各実施形態及び各変形例の少なくとも1つから以下の態様が把握される。

[0087] 圧電素子の固定領域は、振動体の表面上において基準軸と交差する方向に延びる領域である。これによれば、圧電素子の基準軸の方向の主ひずみによって変形する範囲を大きくすることができるので、振動板の振動エネルギーをより効率的に吸収することができる。この場合、圧電素子の固定領域は、交差する領域のうちの一部であってもよい。

[0088] 本発明に係る振動構造体の一態様は、振動体と、振動体の表面に装着される圧電素子と、圧電素子に発生した電気エネルギーにより動作して振動体の振動における目標周波数の減衰特性を変化させる共振回路と、を備え、圧電素子は、振動体の主ひずみの方向に沿った軸を基準軸としたときに、該基準軸の方向に沿って延びるスリットを具備する。この構成においては、基準軸に垂直な方向の主ひずみに応じた、基準軸に垂直な方向における圧電素子の変形をスリットにより抑制させることができる。したがって、基準軸に垂直な方向の主ひずみによる圧電素子の変形よりも、基準軸に沿った方向の主ひずみによる圧電素子の変形を相対的に大きくすることができる。これにより、振動板の振動エネルギーを効率的に吸収することができる。

[0089] 本発明に係る振動構造体の一態様は、振動体と、振動体の表面に装着される圧電素子と、圧電素子に発生した電気エネルギーにより動作して振動体の振動における目標周波数の減衰特性を変化させる共振回路と、を備え、圧電素子は、振動体の主ひずみの方向に沿った軸を基準軸としたときに、該基準軸に交差する方向に延び、振動体に装着される面とは反対側の面から突出する突起部を具備する。これによれば、突起部によって、基準軸に垂直な方向に、圧電素子の変形し難くすることができる。したがって、基準軸に垂直な方向の主ひずみによる圧電素子の変形よりも、基準軸に沿った方向の主ひずみによる圧電素子の変形を相対的に大きくすることができる。これにより、振動板の振動エネルギーを効率的に吸収することができる。

[0090] 本発明に係る音響構造体の一態様は、共鳴体と、共鳴体の表面に装着される圧電素子と、圧電素子に発生した電気エネルギーにより動作して共鳴体の振動における目標周波数の減衰特性を変化させる共振回路と、を具備し、共鳴体の主ひずみ方向に沿った軸を基準軸としたときに、該基準軸の方向において位置が異なる複数の固定領域で、圧電素子が固定される。音響構造体の例として、例えばギター、バイオリン、ピアノまたは打楽器等の楽器の他、電子楽器またはスピーカー等の音響機器が挙げられる。

[0091] また、本発明に係る振動構造体の一態様は、振動体と、振動体の表面に装

着される複数の圧電素子と、圧電素子に発生した電気エネルギーにより動作して振動体の振動における目標周波数の減衰特性を変化させる共振回路と、を具備し、複数の共振回路のうちの少なくとも2つは、目標周波数が異なる。

[0092] この態様によれば、振動体の振動のうち相異なる複数の目標周波数の振動成分が複数の共振回路により個別の所望する減衰値に調整される。したがって、ひとつの共振周波数近傍の振動成分のみが減衰される特許文献1の技術と比較して、振動体の振動減衰特性を振動モード毎に調整、ひいては振動体の振動により発生する音の音響特性(音色)を多様に調整することが可能である。

[0093] 上記態様において、共振回路は、圧電素子に直列に接続されるインダクタと抵抗器を含むインダクタ回路を具備する。この構成は、外部電源が不要であるという利点を有する。

[0094] 上記態様において、複数の圧電素子の各々は、振動体の表面のうち、当該圧電素子に対応する共振回路が減衰させる目標周波数の振動モードにおいて、面内のひずみ量が比較的大きな値となる位置と領域に装着されることが好ましい。これにより、圧電素子のひずみ変形量を大きくできるので、振動エネルギーを効率的に吸収することができる。

[0095] 上記態様において、複数の圧電素子のうち少なくとも2つは積層されている。このように、圧電素子を積層して振動体の表面に装着することで、積層しない場合と比較して、圧電素子の配置面積を削減することができる。

[0096] 上記態様において、複数の圧電素子は、挟持体によって振動体と共に挟持される。これによれば、圧電素子を振動体の表面に着脱自在に装着できるので、例えば挟持体によって圧電素子を振動体に挟持体で仮装着し、最適な位置が見つかったところで、圧電素子を振動体に固定することもできる。また、挟持体で振動体を挟持するので、振動体の両面に圧電素子を装着することもできる。

[0097] 上記態様において、振動体の表面と圧電素子との一方に凹部が形成され、

凹部に嵌合する凸部が他方に形成され、凹部と凸部とが嵌合して、圧電素子が振動体の表面に装着される。これによれば、圧電素子を振動体に対して所望の位置で着脱自在に装着することができる。

[0098] 本発明に係る音響構造体の一態様は、共鳴体と、共鳴体の表面に装着される複数の圧電素子と、圧電素子に発生した電気エネルギーにより動作して共鳴体の振動における目標周波数の減衰特性を変化させる共振回路と、を具備し、複数の共振回路のうちの少なくとも2つは、目標周波数が異なる。音響構造体の例として、例えばギター、バイオリン、ピアノまたは打楽器等の楽器の他、電子楽器またはスピーカー等の音響機器が挙げられる。

[0099] 実施形態を参照して本願発明を説明したが、本願発明は上記実施形態に限定されるものではない。本願発明の構成や詳細には、本願発明のスコープ内で当業者が理解し得る様々な変更をすることができる。この出願は、2015年9月29日に出願された日本出願特願2015-191052を基礎とする優先権及び2015年9月29日に出願された日本出願特願2015-191053を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。

## 符号の説明

[0100] 1…振動構造体、10…振動体、12 (12<sub>1</sub>～12<sub>4</sub>)…圧電素子、12s<sub>1</sub>、12s<sub>2</sub>…スリット、12p<sub>1</sub>、12p<sub>2</sub>…突起部、14 (14<sub>1</sub>～14<sub>4</sub>)…インダクタ回路、16 (16<sub>1</sub>～16<sub>4</sub>)…共振回路、20…挟持体、23…基端部、23a…孔、25…基端部、25a…孔、26…支持部材、32…振動体側装着板、32a…凹部、34…圧電素子側装着板、34a…凸部、L<sub>1</sub>～L<sub>4</sub>…インダクタ、R<sub>1</sub>～R<sub>4</sub>…抵抗器、G…基準軸、K…板バネ、t<sub>1</sub>、t<sub>2</sub>…主ひずみ、S<sub>1</sub>、S<sub>2</sub>…固定領域、S<sub>1</sub>'、S<sub>2</sub>'…固定領域、S<sub>3</sub>…固定領域。

## 請求の範囲

- [請求項1]           振動体と、  
                    前記振動体の表面に装着される圧電素子と、  
                    前記圧電素子に発生した電気エネルギーにより動作して前記振動体の振動における目標周波数の減衰特性を変化させる共振回路と、を具備し、  
                    前記振動体の主ひずみの方向に沿った軸を基準軸としたときに、該基準軸の方向において位置が異なる複数の固定領域で、前記圧電素子が固定される  
                    ことを特徴とする振動構造体。
- [請求項2]           前記圧電素子は、前記基準軸の方向に延びるスリットを具備することを特徴とする請求項1に記載の振動構造体。
- [請求項3]           前記圧電素子は、前記基準軸に交差する方向に延び前記振動体に装着される面とは反対側の面から突出する突起部を具備することを特徴とする請求項1に記載の振動構造体。
- [請求項4]           前記圧電素子は、前記基準軸と交差する第1縁辺と第2縁辺とを含み、  
                    前記複数の固定領域は、前記基準軸の方向における前記圧電素子の中点よりも前記第1縁辺側に位置する第1固定領域と、前記中点よりも前記第2縁辺側に位置する第2固定領域とを含み、  
                    前記第1固定領域は、前記基準軸の一部の上に位置し、  
                    前記第2固定領域は、前記基準軸の他の一部の上に位置し、  
                    前記第1固定領域と前記第2固定領域の各々は、前記基準軸に交差する方向における前記圧電素子の一部の領域である  
                    ことを特徴とする請求項1に記載の振動構造体。
- [請求項5]           前記圧電素子は、前記基準軸と交差する第1縁辺と第2縁辺とを含み、  
                    前記複数の固定領域は、前記基準軸の方向における前記圧電素子の

中点よりも前記第 1 縁辺側に位置する第 1 固定領域と、前記中点よりも前記第 2 縁辺側に位置する第 2 固定領域とを含み、

前記第 1 固定領域は、前記基準軸に平行な第 1 基準軸の一部の上に位置し、

前記第 2 固定領域は、前記基準軸に平行な軸であって、前記基準軸を挟んで前記第 1 基準軸とは反対側の第 2 基準軸の一部の上に位置し、

前記第 1 固定領域と前記第 2 固定領域の各々は、前記基準軸に交差する方向における前記圧電素子の一部の領域であることを特徴とする請求項 1 に記載の振動構造体。

[請求項6] 前記圧電素子は、前記複数の固定領域の間の領域でも固定されることを特徴とする請求項 4 に記載の振動構造体。

[請求項7] 前記振動体は、共鳴体であることを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれかに記載の振動構造体。

[請求項8] 前記圧電素子は、前記振動体の表面に装着される複数の圧電素子のいずれかであり、

前記複数の圧電素子と 1 対 1 で対応し、対応する圧電素子に発生した電気エネルギーにより動作して前記振動体の振動における目標周波数の減衰特性を変化させる複数の共振回路を具備し、

前記複数の共振回路のうちの少なくとも 2 つは、前記目標周波数が異なる

ことを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれかに記載の振動構造体。

[請求項9] 前記複数の圧電素子のうち少なくとも 2 つは積層されていることを特徴とする請求項 8 に記載の振動構造体。

[請求項10] 前記複数の圧電素子は、挟持体によって前記振動体と共に挟持される

ことを特徴とする請求項 8 に記載の振動構造体。

[請求項11] 前記振動体の表面と前記圧電素子との一方に凹部が形成され、前記

凹部に嵌合する凸部が他方に形成され、

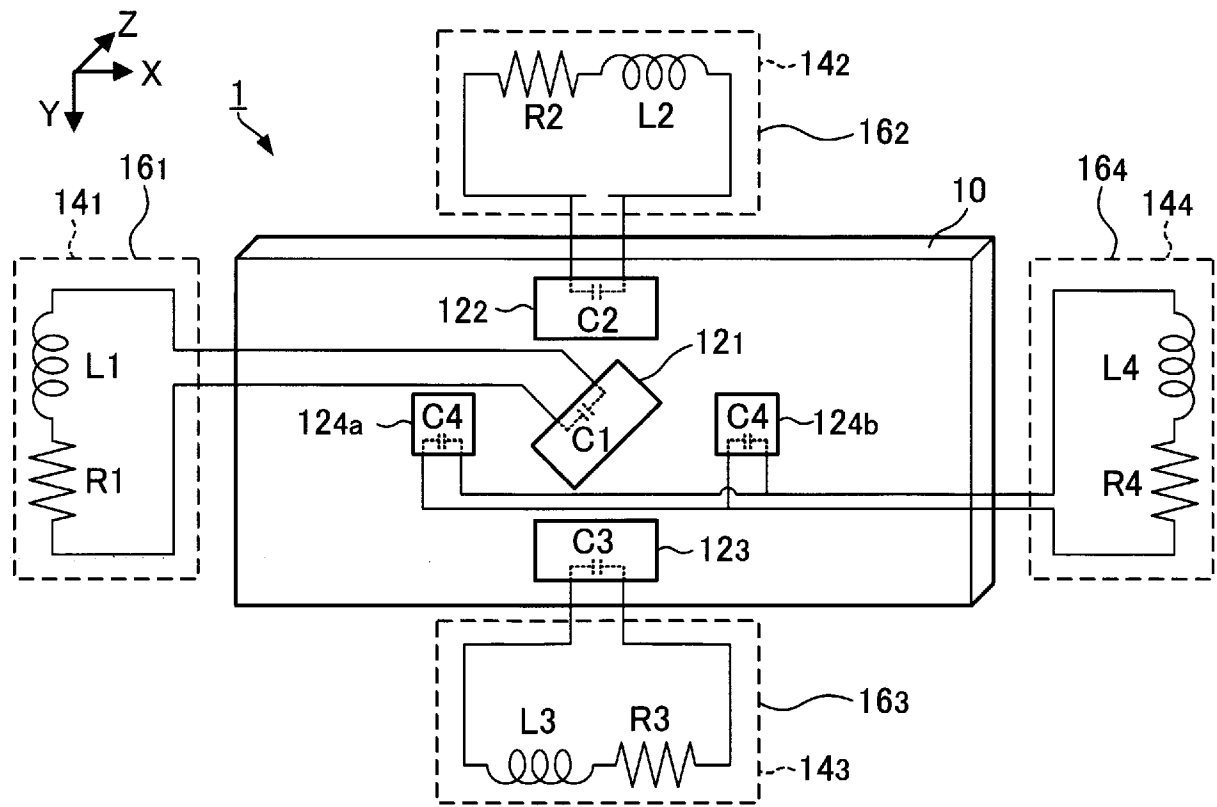
前記凹部と前記凸部とが嵌合して、前記圧電素子が前記振動体の表面に装着される

ことを特徴とする請求項 8 に記載の振動構造体。

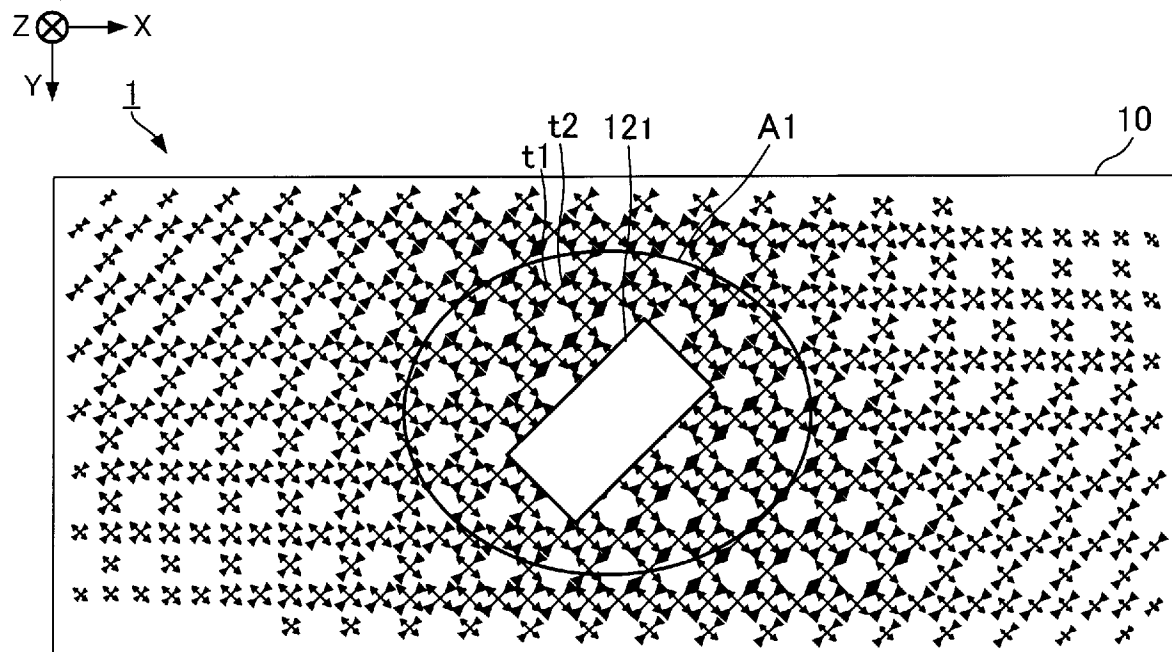
[請求項12] 前記振動体は、共鳴体である

ことを特徴とする請求項 8 に記載の振動構造体。

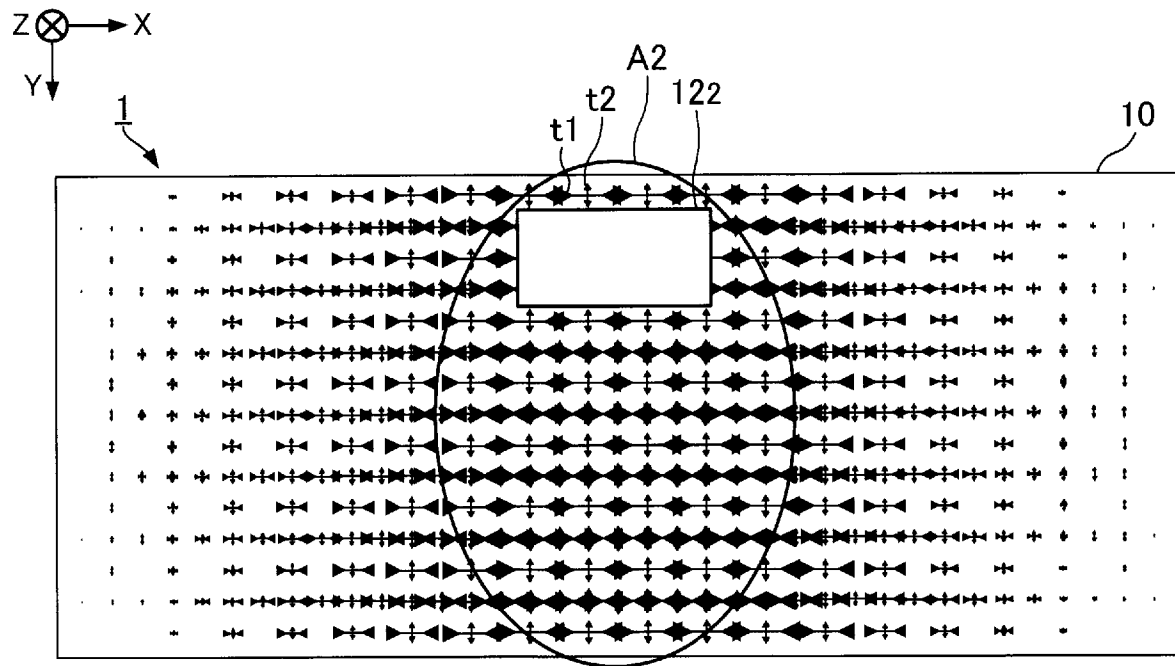
[図1]



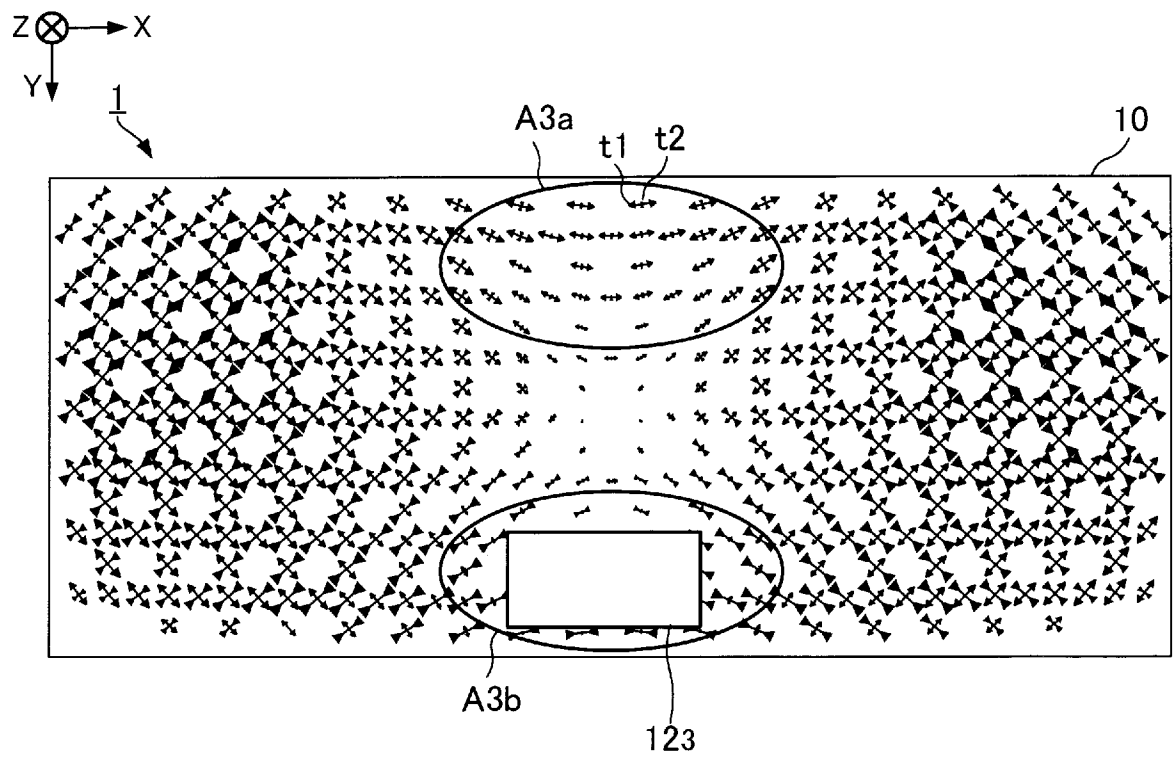
[図2]



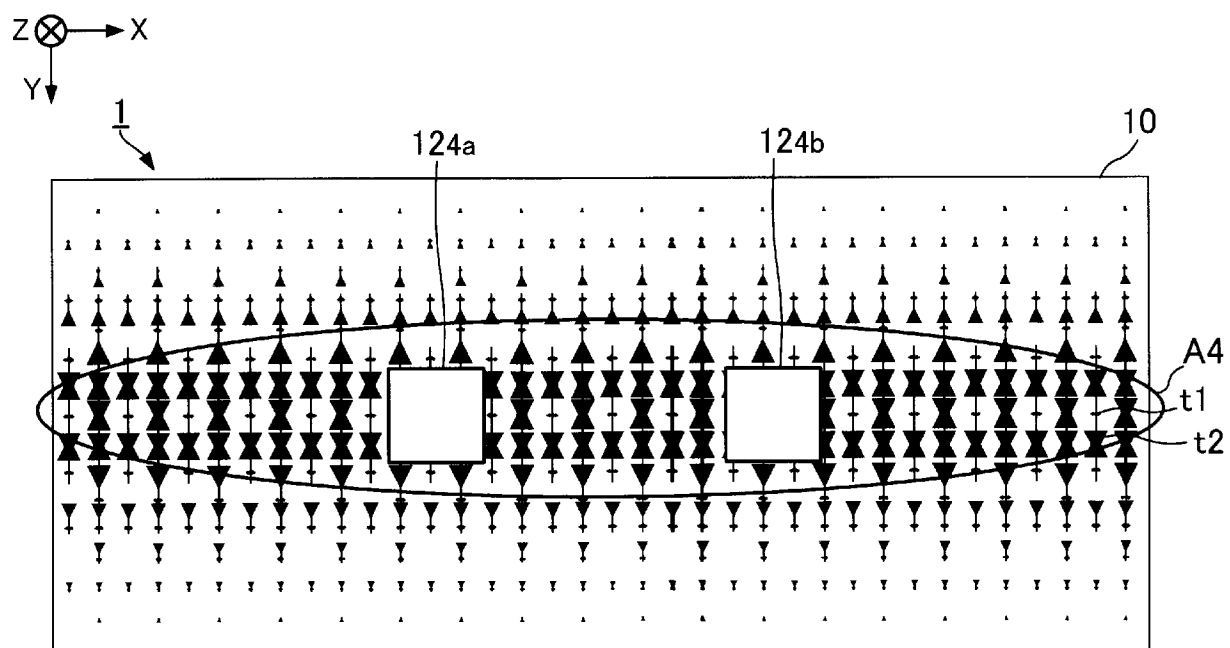
[図3]



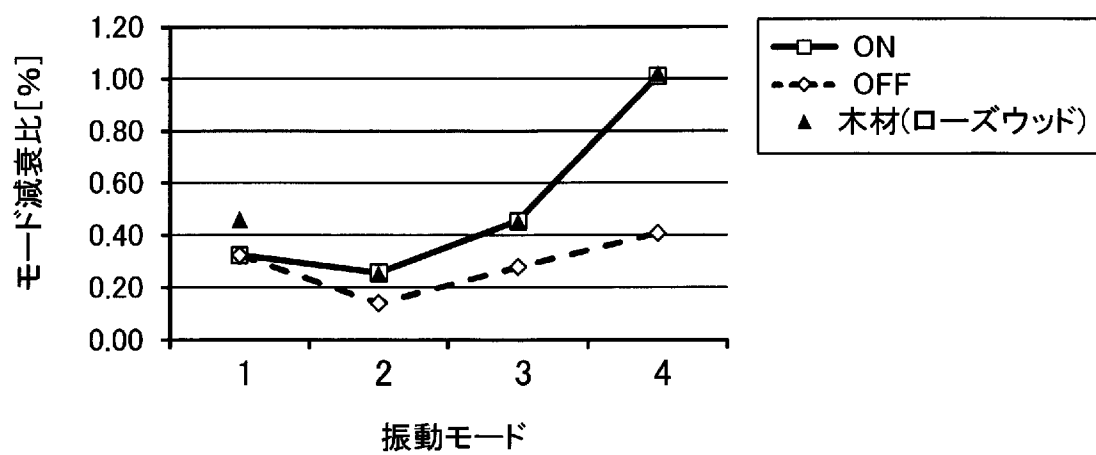
[図4]



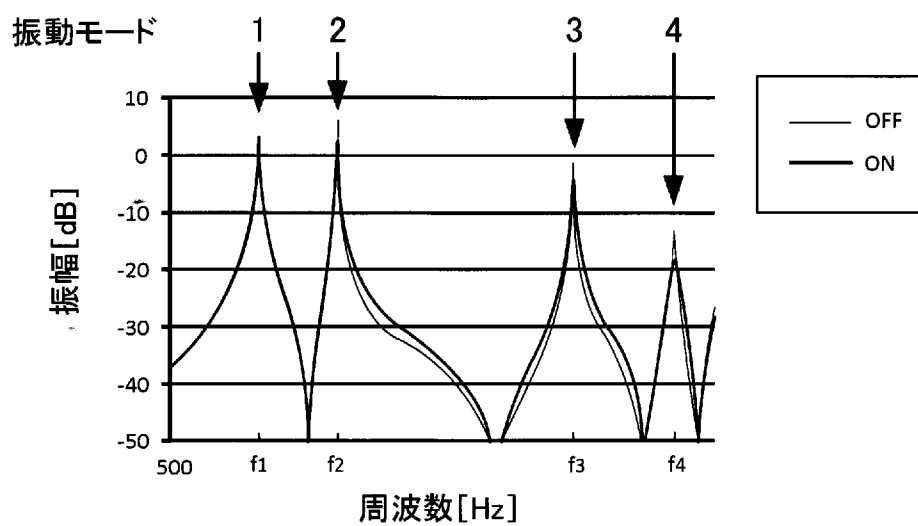
[図5]



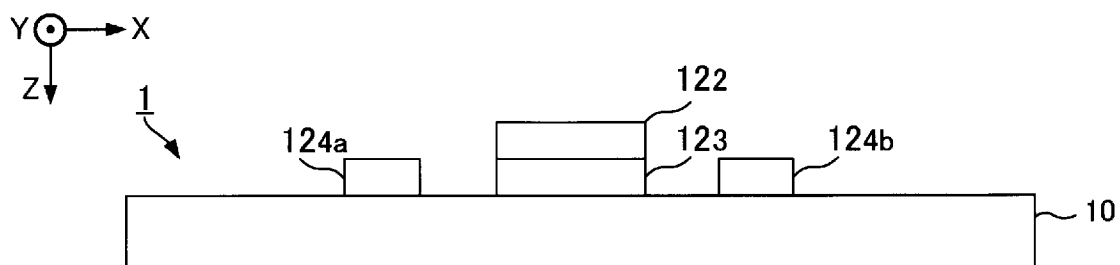
[図6]



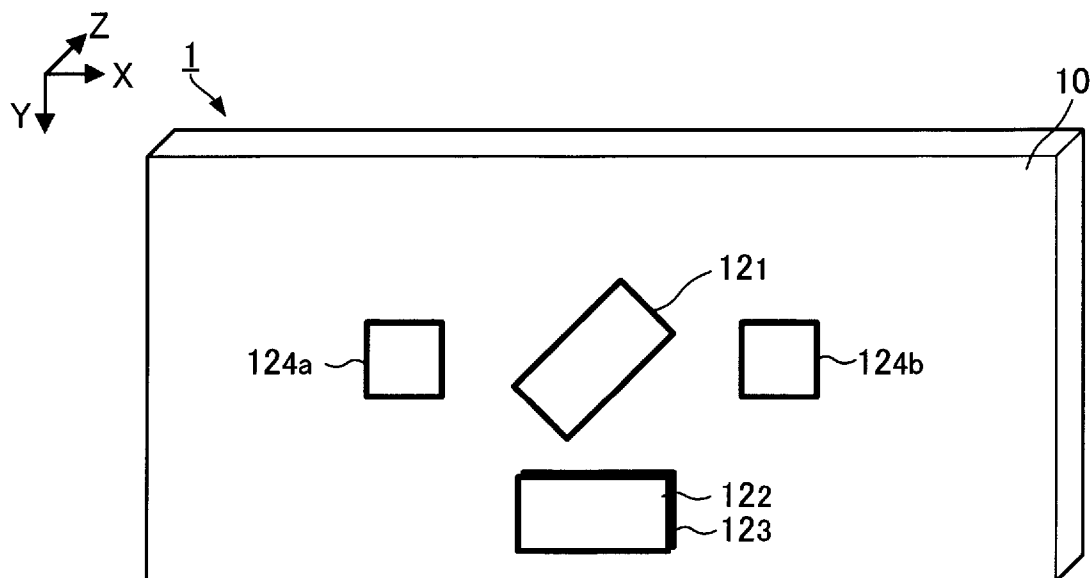
[図7]



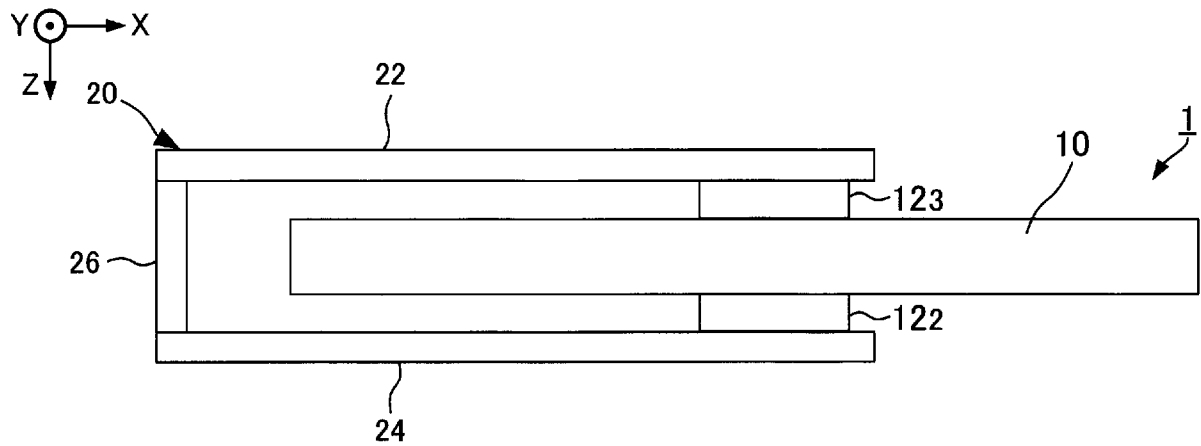
[図8]



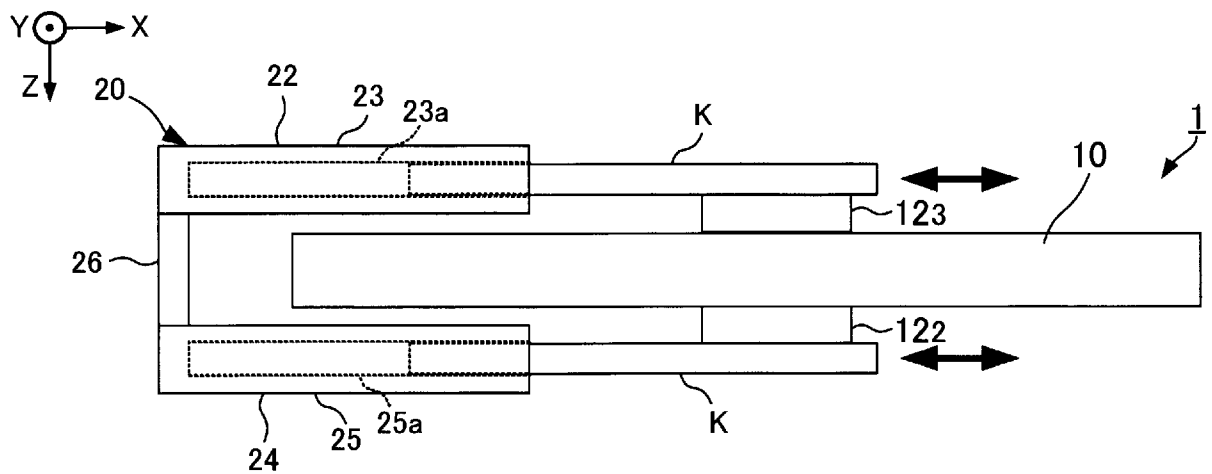
[図9]



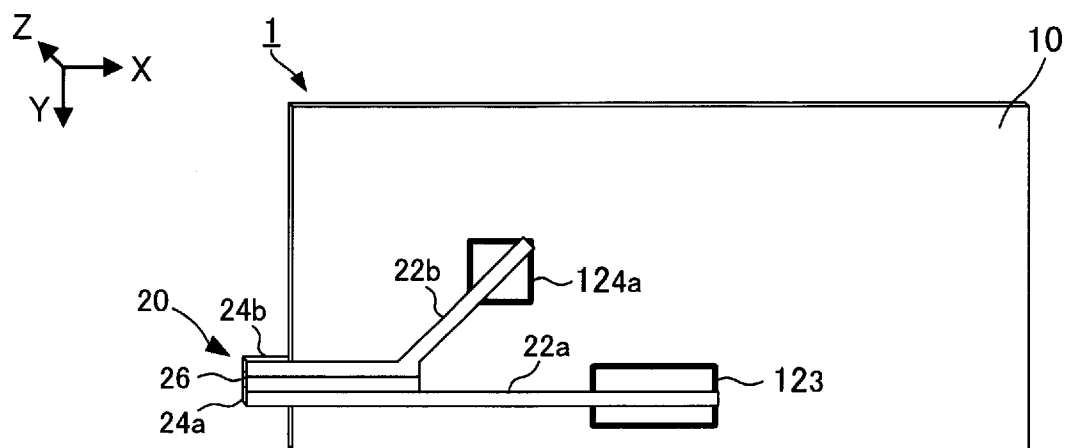
[図10]



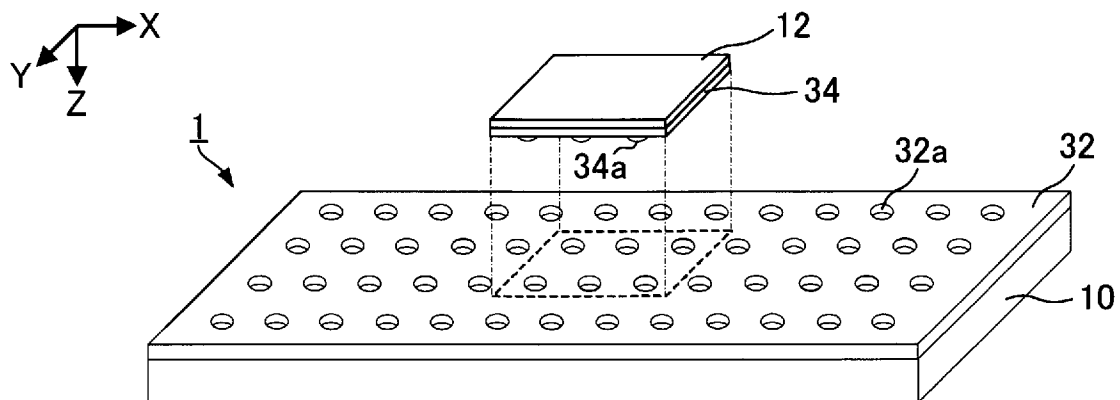
[図11]



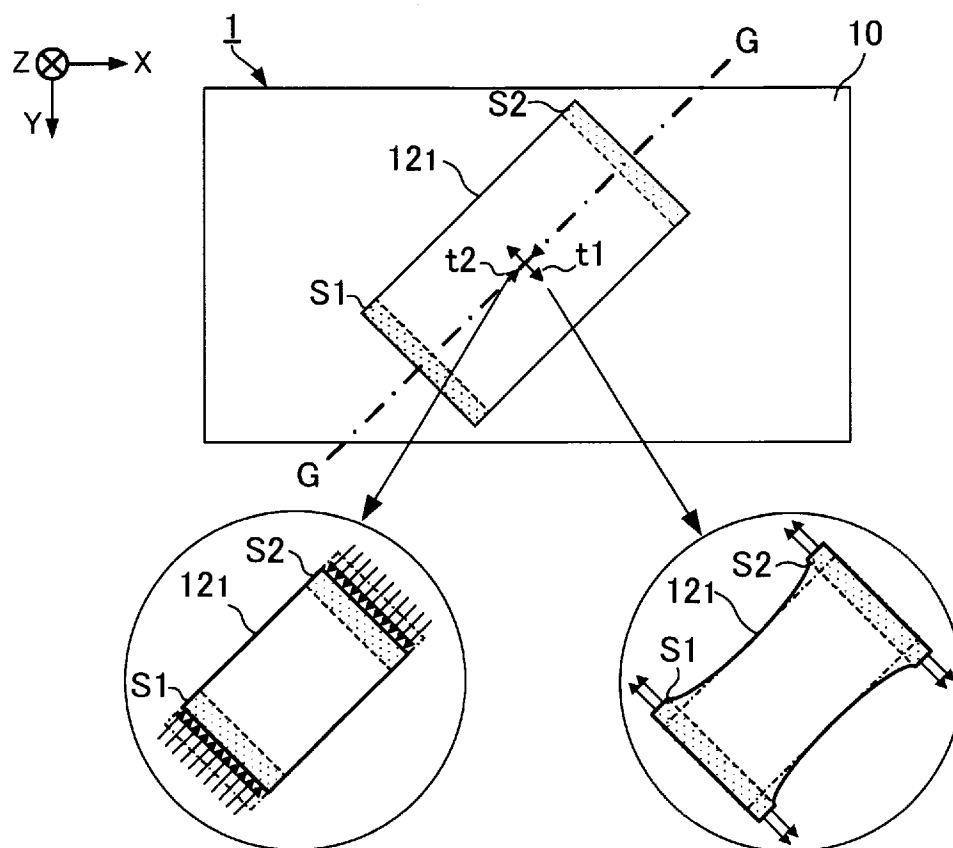
[図12]



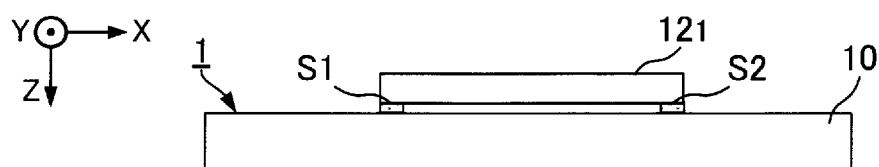
[図13]



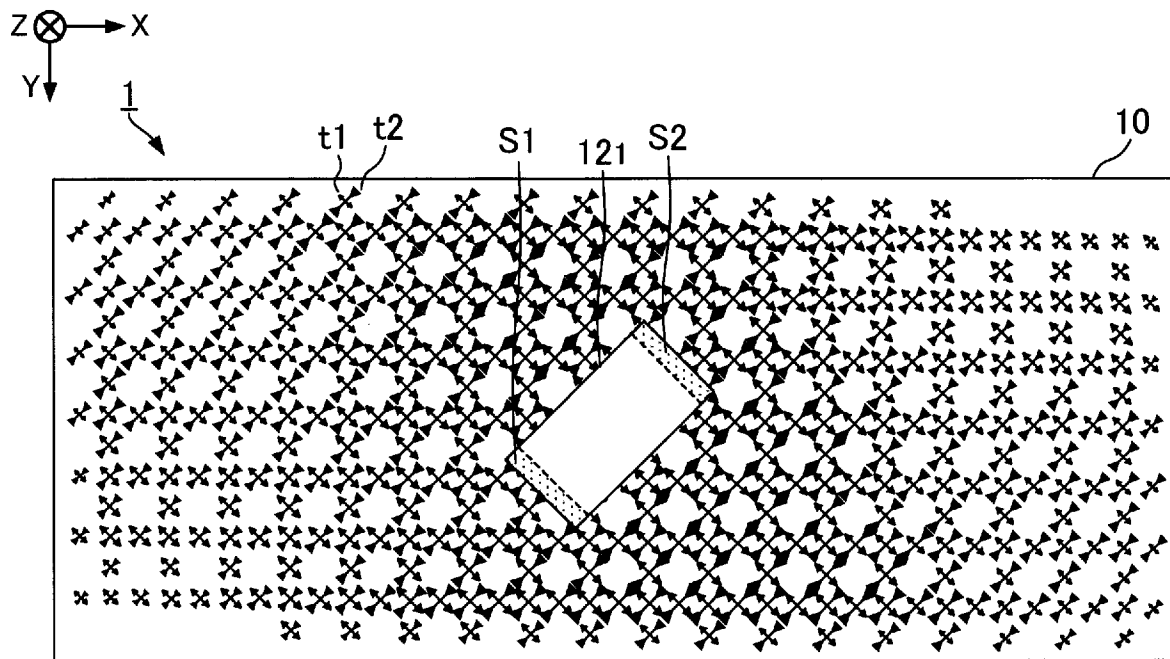
[図14A]



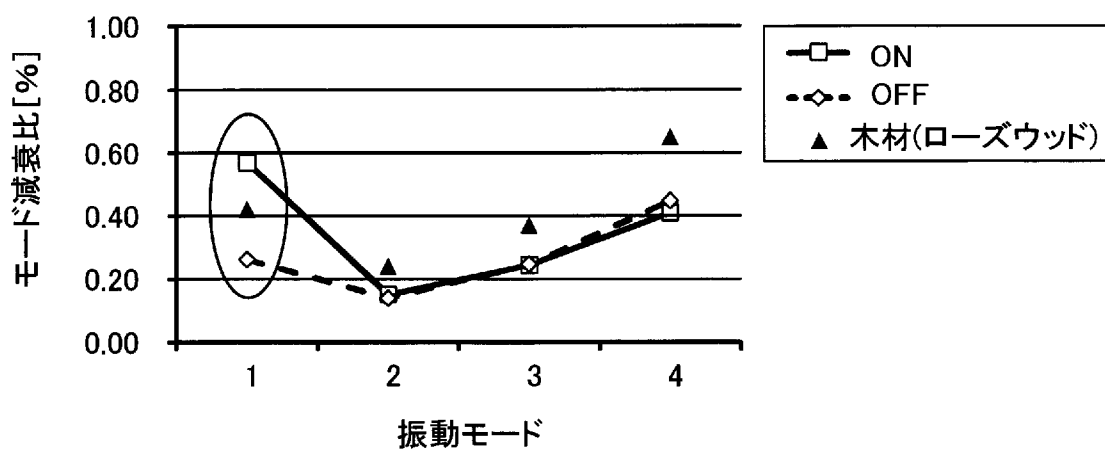
[図14B]



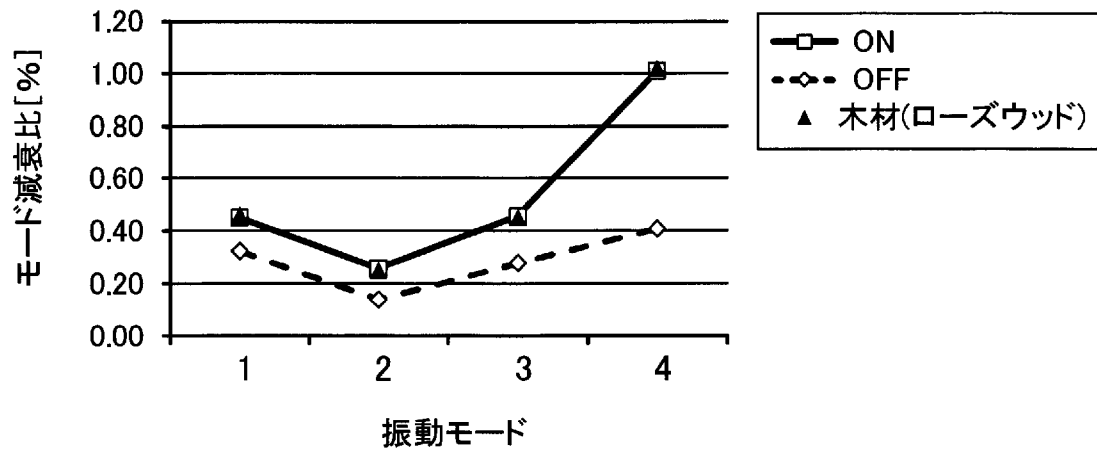
[図15]



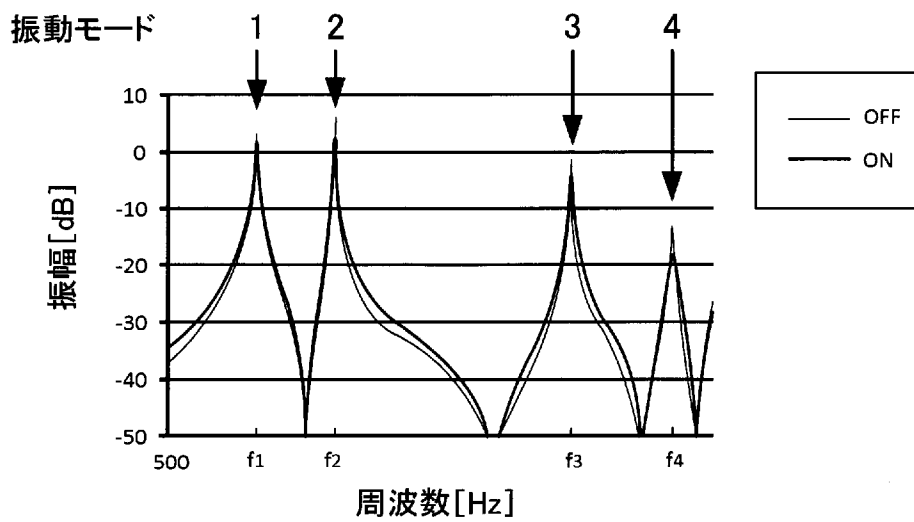
[図16]



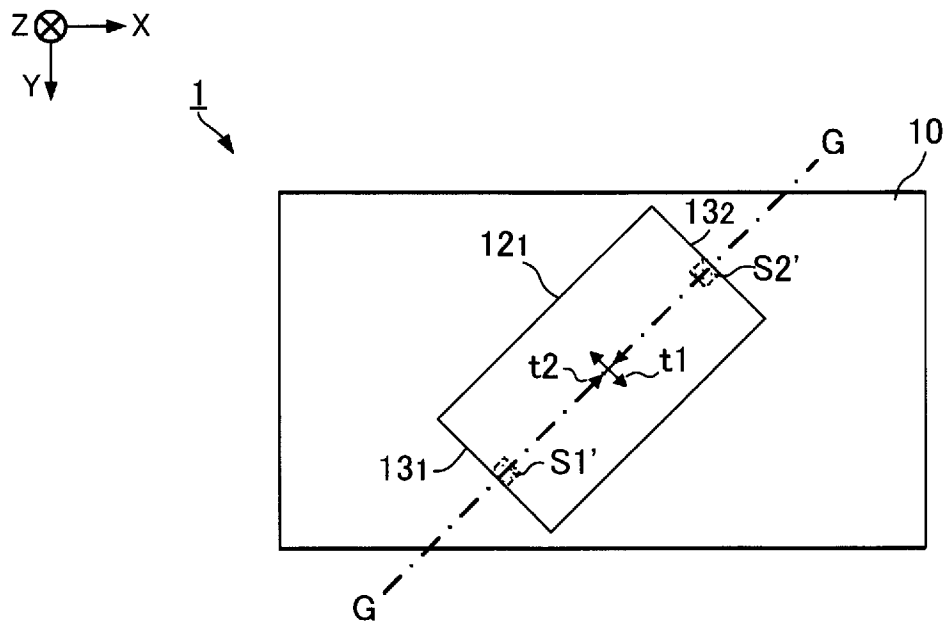
[図17]



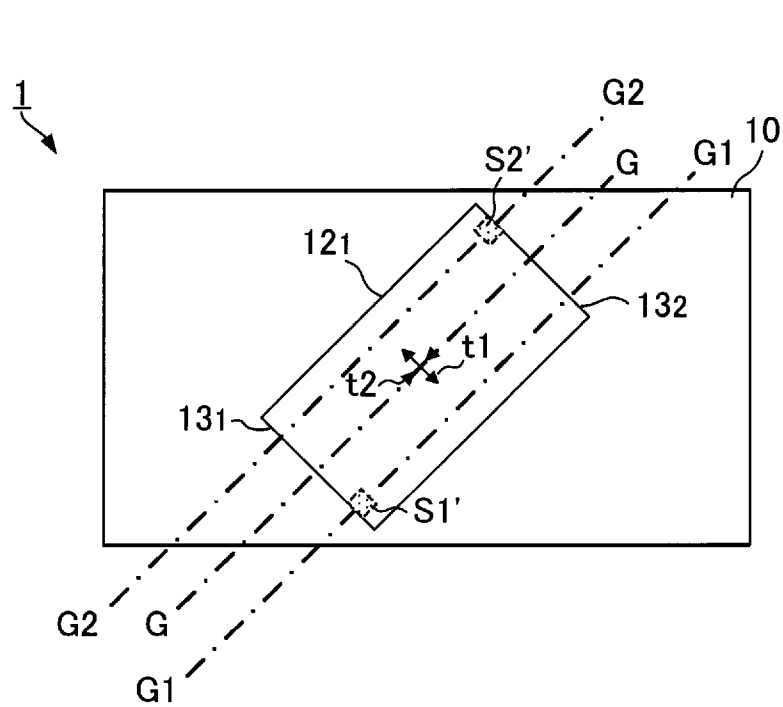
[図18]



[図19]

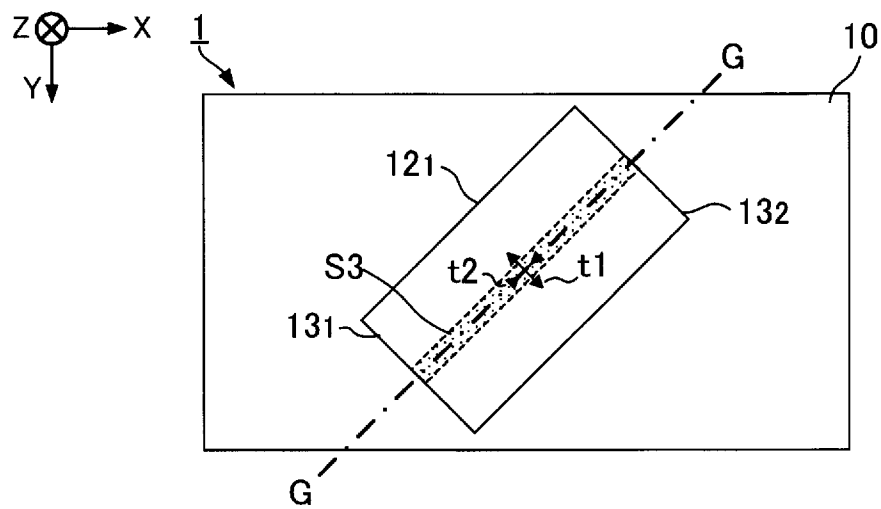


[図20]

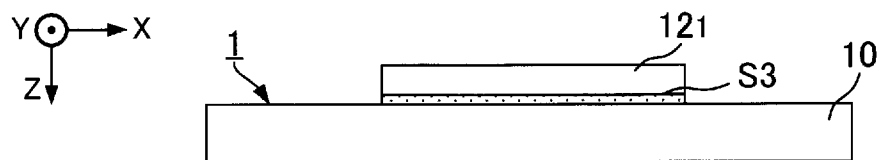




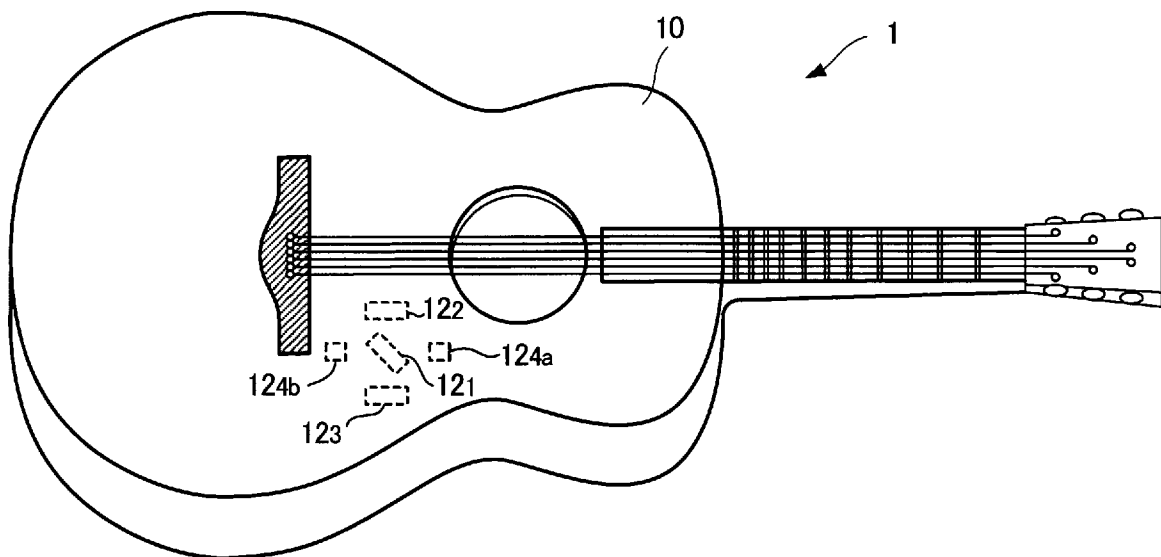
[図23A]



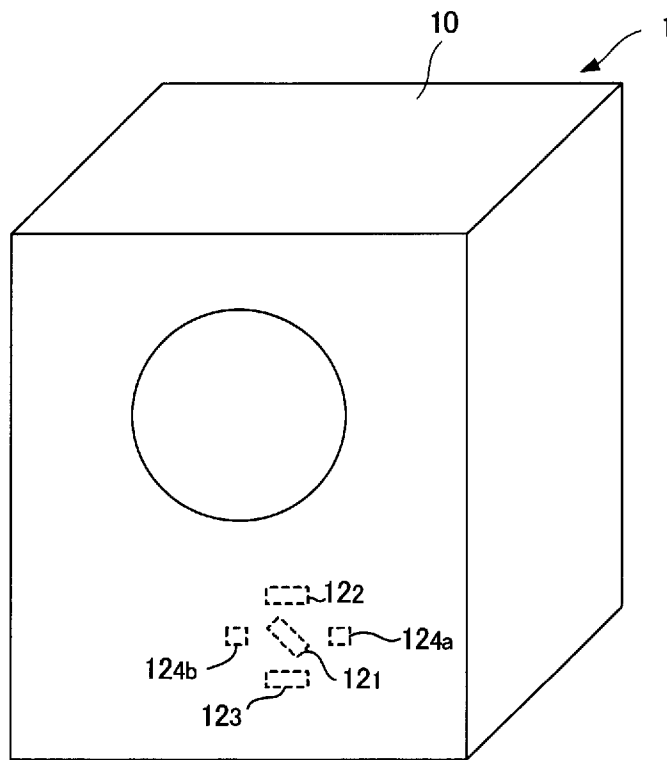
[図23B]



[図24]



[図25]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/077345

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02N2/18(2006.01)i, F16F15/02(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H02N2/18, F16F15/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

|                           |           |                            |           |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho       | 1922-1996 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2016 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2016 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2016 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                           | Relevant to claim No.               |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Y<br>A    | JP 2008-232331 A (Railway Technical Research Institute),<br>02 October 2008 (02.10.2008),<br>paragraphs [0002] to [0004], [0022] to [0024],<br>[0034] to [0035]; fig. 1, 6<br>(Family: none) | 1-2, 4, 7-9,<br>11-12<br>3, 5-6, 10 |
| Y<br>A    | JP 2002-61708 A (NKK Corp.),<br>28 February 2002 (28.02.2002),<br>paragraphs [0024] to [0032]; fig. 1 to 2<br>(Family: none)                                                                 | 1-2, 4, 7-9,<br>11-12<br>3, 5-6, 10 |
| Y         | WO 2013/027741 A1 (NEC Corp.),<br>28 February 2013 (28.02.2013),<br>description, page 5, line 26 to page 6, line 3;<br>fig. 4<br>(Family: none)                                              | 2, 7-9, 11-12                       |

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date  
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
29 November 2016 (29.11.16)

Date of mailing of the international search report  
06 December 2016 (06.12.16)

Name and mailing address of the ISA/  
Japan Patent Office  
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,  
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2016/077345

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                   | Relevant to claim No. |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Y         | JP 2006-183761 A (Toyota Motor Corp.),<br>13 July 2006 (13.07.2006),<br>paragraphs [0012] to [0017]; fig. 1<br>(Family: none)        | 8-9, 11-12            |
| Y         | JP 2000-357824 A (Tokkyokiki Corp.),<br>26 December 2000 (26.12.2000),<br>paragraphs [0041] to [0044]; fig. 1 to 2<br>(Family: none) | 11                    |

## A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H02N2/18(2006.01)i, F16F15/02(2006.01)i

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H02N2/18, F16F15/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

|             |                     |
|-------------|---------------------|
| 日本国実用新案公報   | 1 9 2 2 - 1 9 9 6 年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1 9 7 1 - 2 0 1 6 年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1 9 9 6 - 2 0 1 6 年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1 9 9 4 - 2 0 1 6 年 |

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

## C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                                                        | 関連する<br>請求項の番号                   |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Y<br><br>A      | JP 2008-232331 A（財団法人鉄道総合技術研究所）2008.10.02, 段落[0002]-[0004], [0022]-[0024], [0034]-[0035], 図1, 6（ファミリーなし） | 1-2, 4, 7-9, 11-12<br>3, 5-6, 10 |
| Y<br><br>A      | JP 2002-61708 A（日本鋼管株式会社）2002.02.28, 段落[0024]-[0032], 図1-2（ファミリーなし）                                      | 1-2, 4, 7-9, 11-12<br>3, 5-6, 10 |

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）  
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

2 9 . 1 1 . 2 0 1 6

国際調査報告の発送日

0 6 . 1 2 . 2 0 1 6

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

安池 一貴

3 V

9 1 5 0

電話番号 03-3581-1101 内線 3357

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |                                                                                |                |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 引用文献の<br>カテゴリー*       | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                              | 関連する<br>請求項の番号 |
| Y                     | WO 2013/027741 A1 (日本電気株式会社) 2013. 02. 28, 明細書 5 頁 26 行-6 頁 3 行, 図 4 (ファミリーなし) | 2, 7-9, 11-12  |
| Y                     | JP 2006-183761 A (トヨタ自動車株式会社) 2006. 07. 13, 段落 [0012]-[0017], 図 1 (ファミリーなし)    | 8-9, 11-12     |
| Y                     | JP 2000-357824 A (特許機器株式会社) 2000. 12. 26, 段落 [0041]-[0044], 図 1-2 (ファミリーなし)    | 11             |