

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7449373号
(P7449373)

(45)発行日 令和6年3月13日(2024.3.13)

(24)登録日 令和6年3月5日(2024.3.5)

(51)国際特許分類

F I

H 0 4 R 17/00 (2006.01)

H 0 4 R 17/00

H 1 0 N 30/85 (2023.01)

H 1 0 N 30/85

H 1 0 N 30/045 (2023.01)

H 1 0 N 30/045

請求項の数 9 (全56頁)

(21)出願番号	特願2022-519924(P2022-519924)	(73)特許権者	306037311
(86)(22)出願日	令和3年4月19日(2021.4.19)		富士フイルム株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/015843		東京都港区西麻布2丁目26番30号
(87)国際公開番号	WO2021/225071	(74)代理人	100152984
(87)国際公開日	令和3年11月11日(2021.11.11)		弁理士 伊東 秀明
審査請求日	令和4年10月25日(2022.10.25)	(74)代理人	100148080
(31)優先権主張番号	特願2020-82135(P2020-82135)		弁理士 三橋 史生
(32)優先日	令和2年5月7日(2020.5.7)	(72)発明者	小原 直浩
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		神奈川県南足柄市中沼210番地 富士
(31)優先権主張番号	特願2021-67879(P2021-67879)	(72)発明者	小沢 栄貴
(32)優先日	令和3年4月13日(2021.4.13)		神奈川県南足柄市中沼210番地 富士
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		フイルム株式会社内
		審査官	堀 洋介

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 圧電素子および圧電スピーカー

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

高分子材料を含むマトリックス中に圧電体粒子を含む圧電体層を電極層で挟持した圧電フィルムを、複数層、積層して、隣接する前記圧電フィルムを貼着層で貼着した構成を有し、かつ、

平面形状が多角形であり、

前記圧電フィルムが、前記多角形の最も短い辺以外の辺から突出する突出部を有し、前記突出部に、外部電源と前記電極層とを接続するための接続部を設けたことを特徴とする圧電素子。

【請求項2】

前記突出部を複数有し、複数の前記突出部が、前記多角形の同じ辺から突出する、請求項1に記載の圧電素子。

【請求項3】

前記突出部が、前記多角形の最も長い辺から突出する、請求項1または2に記載の圧電素子。

【請求項4】

前記圧電フィルムの静電容量をC[F]とした際に、周波数F[Hz]におけるインピーダンス[Ω]が

$$[1/(6.28 \times F \times C)] + 1$$

以下である、請求項1～3のいずれか1項に記載の圧電素子。

【請求項 5】

前記圧電フィルムを、1 回以上、折り返すことにより、前記圧電フィルムを、複数層、積層したものである、請求項 1～4 のいずれか 1 項に記載の圧電素子。

【請求項 6】

前記圧電フィルムの少なくとも 1 層が、前記電極層の少なくとも一方に積層される保護層を有する、請求項 1～5 のいずれか 1 項に記載の圧電素子。

【請求項 7】

前記圧電体層が、シアノエチル基を有する前記高分子材料に前記圧電体粒子を含む、請求項 1～6 のいずれか 1 項に記載の圧電素子。

【請求項 8】

前記高分子材料が、シアノエチル化ポリビニルアルコールである、請求項 7 に記載の圧電素子。

【請求項 9】

高分子材料を含むマトリックス中に圧電体粒子を含む圧電体層を電極層で挟持した、平面形状が多角形の圧電フィルムと、振動板と、前記圧電フィルムと前記振動板とを貼着する貼着層とを有し、

前記圧電フィルムが、前記多角形の最も短い辺以外の辺から突出する突出部を有し、前記突出部に、外部電源と前記電極層とを接続するための接続部を設けたことを特徴とする圧電スピーカー。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、圧電素子、および、圧電スピーカーに関する。

【背景技術】

【0002】

各種の物品に接触して取り付けることで、物品を振動板として振動させて音を出す、いわゆるエキサイター（励起子）が、各種の用途に利用されている。

例えば、オフィスであれば、プレゼンテーションおよび電話会議等の際に、会議用テーブル、ホワイトボードおよびスクリーン等にエキサイターを取り付けることで、スピーカの代わりに音を出すことができる。自動車等の車両であれば、コンソール、Aピラーおよび天井等にエキサイターを取り付けることで、ガイド音、警告音および音楽等を鳴らすことができる。また、ハイブリット車および電気自動車のように、エンジン音が出ない自動車の場合には、バンパー等にエキサイターを取り付けることで、バンパー等から車両接近通報音を出すことができる。

【0003】

このようなエキサイターにおいて振動を生じる可変素子としては、コイルとマグネットとの組み合わせ、ならびに、偏心モータおよび線形共振モータなどの振動モータ等が知られている。

これらの可変素子は、薄型化が困難である。特に、振動モータは、振動力を増加するためには質量体を大きくする必要がある、振動の程度を調節するための周波数変調が難しく応答速度が遅い等の難点がある。

【0004】

このような問題を解決できるエキサイターとして、圧電体層を電極層で挟持してなる圧電フィルムを用い、圧電フィルムを、複数層、積層した圧電素子が考えられる。

好適な圧電フィルムとして、例えば、特許文献 1 に記載される圧電フィルム（電気音響変換フィルム）が例示される。この圧電フィルムは、高分子材料からなるマトリックス中に圧電体粒子を分散してなる圧電体層（高分子複合圧電体）と、この圧電体層の両面に形成された電極層と、この電極層の表面に形成された保護層とを有するものである。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

20

30

40

50

【0005】

【文献】特開2014-014063号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

このような圧電フィルムを積層した圧電素子では、圧電素子を振動板に貼着して、圧電フィルムを伸縮させることにより振動板を撓ませる。これにより、振動板を振動させて、音を出力することができる。

圧電フィルム自体は、剛性は低い。しかしながら、複数の圧電フィルムを積層することで、素子全体の剛性を高めることができる。しかも、圧電フィルムの積層体では、駆動電圧を上げなくても、高い電界強度を確保できるため、非常に好適である。

特許文献1に記載される圧電フィルムは、薄く、しかも、良好な可撓性を有する上に、優れた圧電特性を有する。そのため、この圧電フィルムを積層した圧電素子をエキサイターとして用いることにより、例えば、可撓性を有する物品を振動板として、丸めて持ち運びが可能な可撓性を有するスピーカー等を実現できる。

【0007】

ところで、音質が良好な音を出力するためには、広い周波数帯域に対応して、音圧を向上させる必要がある。また、圧電フィルムを積層した圧電素子によって、音圧を向上させるためには、十分な電流を圧電体層に流す必要がある。

ここで、圧電体層に十分な電流を流すためには、圧電素子のインピーダンスを下げる必要がある。圧電素子のインピーダンスが高いと、圧電体層に流れる電流が小さくなり、特に高周波数帯域、中でも15kHz以上の高周波数帯域の音圧が低くなってしまう。

【0008】

ここで、本発明者らの検討によると、特に特許文献1に記載されるような、高分子材料を含むマトリックス中に圧電体粒子を分散してなる圧電体層を有する圧電フィルムを用いた圧電素子では、外部電源から電極層への電力供給の位置が不適正であると、インピーダンスが高くなってしまい、十分な電流を圧電体層に流せなくなってしまう。

【0009】

本発明の目的は、このような従来技術の問題点を解決することにより、高分子材料を含むマトリックス中に圧電体粒子を分散した圧電体層を有する圧電フィルムを用いる圧電素子において、インピーダンスを小さくして、例えば電気音響変換器等として用いた際に、特に高周波数帯域での音圧を向上できる圧電素子、および、圧電フィルムを用いる圧電スピーカーを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

このような目的を達成するために、本発明は、以下の構成を有する。

〔1〕 高分子材料を含むマトリックス中に圧電体粒子を含む圧電体層を電極層で挟持した圧電フィルムを、複数層、積層して、隣接する圧電フィルムを貼着層で貼着した構成を有し、かつ、

平面形状が多角形であり、

圧電フィルムが、多角形の最も短い辺以外の辺から突出する突出部を有し、突出部に、外部電源と電極層とを接続するための接続部を設けたことを特徴とする圧電素子。

〔2〕 突出部を複数有し、複数の突出部が、多角形の同じ辺から突出する、〔1〕に記載の圧電素子。

〔3〕 突出部が、多角形の最も長い辺から突出する、〔1〕または〔2〕に記載の圧電素子。

〔4〕 圧電フィルムの静電容量をC[F]とした際に、周波数F[Hz]におけるインピーダンス[Ω]が

$$[1 / (6.28 \times F \times C)] + 1$$

以下である、〔1〕～〔3〕のいずれかに記載の圧電素子。

〔５〕 圧電フィルムを、１回以上、折り返すことにより、圧電フィルムを、複数層、積層したものである、〔１〕～〔４〕のいずれかに記載の圧電素子。

〔６〕 圧電フィルムの少なくとも１層が、電極層の少なくとも一方に積層される保護層を有する、〔１〕～〔５〕のいずれかに記載の圧電素子。

〔７〕 高分子材料を含むマトリックス中に圧電体粒子を含む圧電体層を電極層で挟持した圧電フィルムを有し、かつ、

平面形状が多角形であり、

圧電フィルムの、多角形の最も短い辺以外の辺の端部から上限離間距離以内の位置に、外部電源と電極層とを接続するための接続部を有するものであり、さらに、上限離間距離が、多角形の最も短い辺の長さの２．１分の１であることを特徴とする圧電素子。

〔８〕 接続部を、多角形の同じ辺の端部から上限離間距離以内の位置に有する、〔７〕に記載の圧電素子。

〔９〕 接続部を、多角形の最も長い辺の端部から上限離間距離以内の位置に有する、〔８〕に記載の圧電素子。

〔１０〕 圧電フィルムの静電容量を C [F] とした際に、周波数 F [Hz] におけるインピーダンス $[\Omega]$ が

$$[1 / (6.28 \times F \times C)] + 1$$

以下である、〔７〕～〔９〕のいずれかに記載の圧電素子。

〔１１〕 圧電フィルムを、複数層、積層したものである、〔７〕～〔１０〕のいずれかに記載の圧電素子。

〔１２〕 圧電フィルムを、１回以上、折り返すことにより、圧電フィルムを、複数層、積層したものである、〔１１〕に記載の圧電素子。

〔１３〕 隣接する圧電フィルムを貼着する貼着層を有する、〔１１〕または〔１２〕に記載の圧電素子。

〔１４〕 圧電フィルムの少なくとも１層が、電極層の少なくとも一方に積層される保護層を有する、〔７〕～〔１３〕のいずれかに記載の圧電素子。

〔１５〕 圧電体層が、シアノエチル基を有する高分子材料に圧電体粒子を含む、〔１〕～〔１４〕のいずれかに記載の圧電素子。

〔１６〕 高分子材料が、シアノエチル化ポリビニルアルコールである、〔１５〕に記載の圧電素子。

〔１７〕 高分子材料を含むマトリックス中に圧電体粒子を含む圧電体層を電極層で挟持した、平面形状が多角形の圧電フィルムと、振動板と、圧電フィルムと振動板とを貼着する貼着層とを有し、

圧電フィルムが、多角形の最も短い辺以外の辺から突出する突出部を有し、突出部に、外部電源と電極層とを接続するための接続部を設けたことを特徴とする圧電スピーカー。

【発明の効果】

【００１１】

本発明によれば、高分子材料を含むマトリックス中に圧電体粒子を分散してなる圧電体層を有する圧電フィルムを用いる圧電素子および圧電スピーカーにおいて、インピーダンスを小さくして、例えば電気音響変換器等として用いた際に、特に、高周波数帯域での音圧を向上できる。

【図面の簡単な説明】

【００１２】

【図１】図１は、本発明の圧電素子の第１の態様の一例を概念的に示す図である。

【図２】図２は、図１に示す圧電素子の概略斜視図である。

【図３】図３は、図１に示す圧電素子の概略平面図である。

【図４】図４は、図１に示す圧電素子を構成する圧電フィルムの一例を概念的に示す図である。

【図５】図５は、圧電フィルムの作製方法の一例を説明するための概念図である。

【図６】図６は、圧電フィルムの作製方法の一例を説明するための概念図である。

10

20

30

40

50

- 【図 7】図 7 は、圧電フィルムの作製方法の一例を説明するための概念図である。
- 【図 8】図 8 は、本発明の圧電素子の接続部の一例を概念的に示す図である。
- 【図 9】図 9 は、本発明の圧電素子の接続部の別の例を概念的に示す図である。
- 【図 10】図 10 は、本発明の圧電素子の別の例を概念的に示す図である。
- 【図 11】図 11 は、本発明の圧電素子の別の例を概念的に示す斜視図である。
- 【図 12】図 12 は、本発明の圧電素子の別の例を概念的に示す斜視図である。
- 【図 13】図 13 は、本発明の圧電素子の第 2 の態様の一例を概念的に示す図である。
- 【図 14】図 14 は、本発明の圧電素子の第 2 の態様の別の例を概念的に示す斜視図である。
- 【図 15】図 15 は、本発明の圧電素子を用いる電気音響変換器の一例の概念図である。
- 【図 16】図 16 は、本発明の圧電素子の第 2 の態様を用いる圧電スピーカの一の概念図である。
- 【図 17】図 17 は、本発明の圧電素子の別の例を説明するための部分拡大図である。
- 【図 18】図 18 は、本発明の実施例を説明するための概念図である。
- 【図 19】図 19 は、本発明の比較例を説明するための概念図である。
- 【図 20】図 20 は、本発明の比較例を説明するための概念図である。
- 【図 21】図 21 は、本発明の実施例を説明するための概念図である。
- 【図 22】図 22 は、本発明の実施例を説明するための概念図である。
- 【図 23】図 23 は、本発明の圧電素子における引出配線を説明するための概念図である。
- 【図 24】図 24 は、本発明の圧電素子の接続部の別の例を概念的に示す図である。
- 【図 25】図 25 は、本発明の圧電素子の接続部の別の例を概念的に示す図である。
- 【図 26】図 26 は、本発明の圧電素子の接続部の別の例を概念的に示す図である。
- 【図 27】図 27 は、本発明の圧電素子の接続部の別の例を概念的に示す図である。
- 【図 28】図 28 は、本発明の圧電素子の接続部の別の例を概念的に示す図である。
- 【図 29】図 29 は、本発明の圧電素子の接続部の別の例を概念的に示す図である。
- 【図 30】図 30 は、本発明の圧電素子の接続部の別の例を概念的に示す図である。
- 【図 31】図 31 は、本発明の圧電スピーカの一の例を概念的に示す図である。
- 【図 32】図 32 は、本発明の実施例を説明するための概念図である。
- 【図 33】図 33 は、本発明の実施例を説明するための概念図である。
- 【図 34】図 34 は、本発明の比較例を説明するための概念図である。
- 【図 35】図 35 は、本発明の実施例を説明するための概念図である。
- 【図 36】図 36 は、本発明の比較例を説明するための概念図である。
- 【図 37】図 37 は、本発明の実施例を説明するための概念図である。
- 【図 38】図 38 は、本発明の比較例を説明するための概念図である。
- 【図 39】図 39 は、圧電素子の別の例を説明するための概念図である。
- 【図 40】図 40 は、圧電素子の別の例を説明するための概念図である。
- 【図 41】図 41 は、圧電素子の別の例を説明するための概念図である。
- 【図 42】図 42 は、圧電素子の別の例を説明するための概念図である。
- 【図 43】図 43 は、圧電素子の別の例を説明するための概念図である。
- 【図 44】図 44 は、圧電素子を用いる電気音響変換器の別の例を説明するための概念図である。
- 【図 45】図 45 は、圧電素子を用いる電気音響変換器の別の例を説明するための概念図である。
- 【図 46】図 46 は、圧電素子を用いる電気音響変換器の別の例を説明するための概念図である。
- 【図 47】図 47 は、圧電素子を用いる電気音響変換器の別の例を説明するための概念図である。
- 【図 48】図 48 は、圧電素子を用いる電気音響変換器の別の例を説明するための概念図である。
- 【図 49】図 49 は、圧電素子を用いる電気音響変換器の別の例を説明するための概念図

10

20

30

40

50

である。

【図 5 0】図 5 0 は、圧電素子を用いる電気音響変換器における貼着層の一例を説明するための概念図である。

【図 5 1】図 5 1 は、圧電素子を用いる電気音響変換器における貼着層の別の例を説明するための概念図である。

【図 5 2】図 5 2 は、圧電素子を用いる電気音響変換器の別の例を説明するための概念図である。

【図 5 3】図 5 3 は、圧電素子を用いる電気音響変換器の別の例を説明するための概念図である。

【図 5 4】図 5 4 は、圧電素子を用いる電気音響変換器の別の例を説明するための概念図である。

10

【図 5 5】図 5 5 は、本発明の実施例を説明するための概念図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、本発明の圧電素子および圧電スピーカーについて、添付の図面に示される好適実施態様を基に、詳細に説明する。

【0014】

以下に記載する構成要件の説明は、本発明の代表的な実施態様に基づいてなされることがあるが、本発明はそのような実施態様に限定されるものではない。

なお、本明細書において、「～」を用いて表される数値範囲は、「～」の前後に記載される数値を下限値および上限値として含む範囲を意味する。

20

また、以下に示す図は、いずれも、本発明を説明するための概念図である。従って、各構成要素の大きさ、厚さ、および、位置関係等は、実際のものとは異なる。

【0015】

図 1 に、本発明の圧電素子の第 1 の態様の一例を概念的に示す。図 2 に、図 1 に示す圧電素子の斜視図を、図 3 に、図 1 に示す圧電素子の平面図を、それぞれ概念的に示す。

図 1～図 3 に示す圧電素子 10 は、1 枚の圧電フィルム 12 を、4 回、折り返すことにより、5 層の圧電フィルム 12 を積層したものである。すなわち、この圧電素子 10 は、5 層の圧電フィルム 12 を積層した積層圧電素子である。

図 2 では、図面を簡略化して、圧電素子 10 の構成を明瞭に示すために省略するが、圧電フィルム 12 は、圧電体層 20 の両面に電極層を有し、両電極層を覆って、保護層を有するものである。

30

【0016】

後に詳述するが、本発明の圧電素子は、多角形の平面形状を有する。

平面形状とは、図 1～図 3 に示す圧電素子のように、圧電フィルム 12 を、複数層、積層した圧電素子の場合には、圧電素子を、圧電フィルム 12 の積層方向から見た際における形状である。以下、この方向から見た状態を、『平面視』ともいう。

従って、図 1～3 に示す圧電素子 10 であれば、圧電素子 10 の平面形状は、図 1 の図中上方（または下方）から見た際における形状であり、図 3 の平面図の形状が、圧電素子 10 の平面形状である。なお、本発明の第 1 の態様の圧電素子 10 のように、外部電源と電極層とを接続するための突出部を有する圧電素子の場合には、平面形状は、突出部を除く形状である。

40

ただし、後述する第 2 の態様における一例のように、圧電フィルム 12 を積層しない、1 層の圧電フィルムのみを有する圧電素子の場合には、圧電フィルムの主面の形状が、圧電素子の平面形状となる。さらに、後述する図 12 に示す構成のように、複数枚の圧電フィルム 12 を積層した場合にも、各圧電フィルム毎に、主面の形状を平面形状と見なす。この点に関しては、本発明の圧電スピーカーの圧電フィルム 12 も同様である。なお、主面とは、シート状物（フィルム、板状物、層）の最大面である。

【0017】

図 1～図 3 に示す圧電素子 10 は、長方形（矩形）の平面形状を有する。

50

なお、本発明において、圧電素子の平面形状は、長方形に制限はされず、多角形であれば、三角形、五角形および六角形などの、各種の形状が利用可能である。

本発明の圧電素子の第1の態様では、平面形状である多角形の、最も短い辺以外の辺から突出する、突出部を有する。圧電素子10は、長方形の平面形状を有するので、同じ長さの2つの長辺と、同じ長さの2つの短辺とを有する。従って、圧電素子10は、長方形の長辺から突出するように、突出部10aを有する。圧電素子10は、長方形の長辺から突出して突出部10aを設け、突出部10aに外部電源と接続するための接続部を設けることにより、インピーダンスを小さくして、例えば電気音響変換器等に利用した際に、特に高周波数帯域での音圧を向上できる。この点に関しては、後に詳述する。

【0018】

図1～3に示す圧電素子10は、圧電フィルム12を、4回、折り返すことにより、圧電フィルム12を5層、積層しているが、本発明は、これに制限はされない。

すなわち、本発明の圧電素子は、圧電フィルム12を、3回以下、折り返すことにより、圧電フィルム12を2層～4層、積層したものでもよい。あるいは、本発明の圧電素子は、圧電フィルムを5回以上、折り返すことにより、圧電フィルム12を6層以上、積層したものでもよい。

本発明の圧電素子は、圧電フィルム12を2回以上、折り返すことで、圧電フィルム12を3層以上、積層したものであるのが好ましい。

また、本発明の圧電素子は、圧電フィルム12を、1回以上折り返した圧電素子を、複数、積層したものであってもよい。

【0019】

なお、本発明の圧電素子において、圧電フィルム12を、複数層、積層した構成は、圧電フィルム12を折り返して積層した構成に制限はされない。

すなわち、本発明の圧電素子は、第1の態様および第2の態様共に、カットシート状の圧電フィルムを、複数枚、積層することで、圧電フィルム12を、複数層、積層した構成であってもよい。

また、外部電源との接続部を設けるための突出部を有さない、後述する、本発明の第2の態様の圧電素子は、積層されない、1枚の圧電フィルムで構成されてもよい。この点に関しては、後に詳述する。

【0020】

図4に、圧電フィルム12を断面図によって概念的に示す。

図4に示すように、圧電フィルム12は、圧電性を有するシート状物である圧電体層20と、圧電体層20の一方の面に積層される第1薄膜電極24と、第1薄膜電極24上に積層される第1保護層28と、圧電体層20の他方の面に積層される第2薄膜電極26と、第2薄膜電極26上に積層される第2保護層30とを有する。後述するが、圧電フィルム12は、厚さ方向に分極されている。

なお、図面を簡潔にして、圧電素子10の構成を明確に示すために、図2では、圧電体層20、第1薄膜電極24および第2薄膜電極26、ならびに、第1保護層28および第2保護層30は、区別して示していない。

【0021】

圧電フィルム12において、圧電体層20は、図4に概念的に示すように、高分子材料を含むマトリックス34中に、圧電体粒子36を分散してなる高分子複合圧電体からなるものである。マトリックス34は、好ましくは、常温で粘弾性を有する高分子材料を含むのが好ましく、常温で粘弾性を有する高分子材料からなるのがより好ましい。すなわち、マトリックス34は、常温で粘弾性を有する、粘弾性マトリックスであるのが好ましい。

なお、本発明において、「常温」とは、0～50℃程度の温度域を指す。

【0022】

ここで、高分子複合圧電体（圧電体層20）は、次の要件を具備したものであるのが好ましい。

(i) 可撓性

10

20

30

40

50

例えば、携帯用として新聞や雑誌のように書類感覚で緩く撓めた状態で把持する場合、絶えず外部から、数Hz以下の比較的ゆっくりとした、大きな曲げ変形を受けることになる。この時、高分子複合圧電体が硬いと、その分大きな曲げ応力が発生し、高分子マトリックスと圧電体粒子との界面で亀裂が発生し、やがて破壊に繋がる恐れがある。従って、高分子複合圧電体には適度な柔らかさが求められる。また、歪みエネルギーを熱として外部へ拡散できれば応力を緩和することができる。従って、高分子複合圧電体の損失正接が適度に大きいことが求められる。

【0023】

以上をまとめると、エキサイターおよび電気音響変換フィルムとして用いるフレキシブルな高分子複合圧電体は、20Hz～20kHzの振動に対しては硬く、数Hz以下の振動に対しては柔らかく振る舞うことが求められる。また、高分子複合圧電体の損失正接は、20kHz以下の全ての周波数の振動に対して、適度に大きいことが求められる。

さらに、貼り付ける相手材（振動板）の剛性に合わせて、積層することで、簡便にバネ定数を調節できるのが好ましく、その際、貼着層14は薄ければ薄いほど、エネルギー効率を高めることができる。剛性とは、言い換えれば、例えば、硬さ、コシ、および、バネ定数などである。

【0024】

一般に、高分子固体は粘弾性緩和機構を有しており、温度上昇あるいは周波数の低下と共に大きなスケールの分子運動が貯蔵弾性率（ヤング率）の低下（緩和）あるいは損失弾性率の極大（吸収）として観測される。その中でも、非晶質領域の分子鎖のミクロブラウン運動によって引き起こされる緩和は、主分散と呼ばれ、非常に大きな緩和現象が見られる。この主分散が起きる温度がガラス転移点（ T_g ）であり、最も粘弾性緩和機構が顕著に現れる。

高分子複合圧電体（圧電体層20）において、マトリックスとしてガラス転移点が常温にある高分子材料を用いることで、20Hz～20kHzの振動に対しては硬く、数Hz以下の遅い振動に対しては柔らかく振舞う高分子複合圧電体の実現する。特に、この振舞いが好適に発現する等の点で、周波数1Hzでのガラス転移点が常温、すなわち、0～50℃にある高分子材料を、高分子複合圧電体のマトリックスに用いるのが好ましい。

なお、ガラス転移点が常温にある高分子材料とは、言い換えると、常温で粘弾性を有する高分子材料である。

【0025】

常温で粘弾性を有する高分子材料としては、公知の各種のものが利用可能である。好ましくは、常温、すなわち0～50℃において、動的粘弾性試験による周波数1Hzにおける損失正接 $\tan \delta$ の極大値が、0.5以上有る高分子材料を用いる。

これにより、高分子複合圧電体が外力によってゆっくりと曲げられた際に、最大曲げモーメント部における高分子マトリックスと圧電体粒子との界面の応力集中が緩和され、高い可撓性が期待できる。

【0026】

また、常温で粘弾性を有する高分子材料は、動的粘弾性測定による周波数1Hzでの貯蔵弾性率（ E' ）が、0℃において100MPa以上、50℃において10MPa以下、であるのが好ましい。

これにより、高分子複合圧電体が外力によってゆっくりと曲げられた際に発生する曲げモーメントが低減できると同時に、20Hz～20kHzの音響振動に対しては硬く振る舞うことができる。

【0027】

また、常温で粘弾性を有する高分子材料は、比誘電率が25℃において10以上有ると、より好適である。これにより、高分子複合圧電体に電圧を印加した際に、高分子マトリックス中の圧電体粒子にはより高い電界が掛かるため、大きな変形量が期待できる。

しかしながら、その反面、良好な耐湿性の確保等を考慮すると、高分子材料は、比誘電率が25℃において10以下であるのも、好適である。

10

20

30

40

50

【0028】

このような条件を満たす常温で粘弾性を有する高分子材料としては、シアノエチル化ポリビニルアルコール（シアノエチル化PVA）、ポリ酢酸ビニル、ポリビニリデンクロライドコアクリロニトリル、ポリスチレンービニルポリイソプレンブロック共重合体、ポリビニルメチルケトン、および、ポリブチルメタクリレート等が例示される。また、これらの高分子材料としては、ハイブラー5127（クラレ社製）などの市販品も、好適に利用可能である。なかでも、高分子材料としては、シアノエチル基を有する材料を用いることが好ましく、シアノエチル化PVAを用いるのが特に好ましい。

なお、これらの高分子材料は、1種のみを用いてもよく、複数種を併用（混合）して用いてもよい。

【0029】

このような常温で粘弾性を有する高分子材料を用いるマトリックス34は、必要に応じて、複数の高分子材料を併用してもよい。

すなわち、マトリックス34には、誘電特性や機械的特性の調節等を目的として、シアノエチル化PVA等の常温で粘弾性を有する高分子材料に加え、必要に応じて、その他の誘電性高分子材料を添加しても良い。

【0030】

添加可能な誘電性高分子材料としては、一例として、ポリフッ化ビニリデン、フッ化ビニリデンーテトラフルオロエチレン共重合体、フッ化ビニリデンートリフルオロエチレン共重合体、ポリフッ化ビニリデンートリフルオロエチレン共重合体およびポリフッ化ビニリデンーテトラフルオロエチレン共重合体等のフッ素系高分子、シアニ化ビニリデンー酢酸ビニル共重合体、シアノエチルセルロース、シアノエチルヒドロキシサッカロース、シアノエチルヒドロキシセルロース、シアノエチルヒドロキシプルラン、シアノエチルメタクリレート、シアノエチルアクリレート、シアノエチルヒドロキシエチルセルロース、シアノエチルアミロース、シアノエチルヒドロキシプロピルセルロース、シアノエチルジヒドロキシプロピルセルロース、シアノエチルヒドロキシプロピルアミロース、シアノエチルポリアクリルアミド、シアノエチルポリアクリレート、シアノエチルプルラン、シアノエチルポリヒドロキシメチレン、シアノエチルグリシドールプルラン、シアノエチルサッカロースおよびシアノエチルソルビトール等のシアノ基またはシアノエチル基を有するポリマー、ならびに、ニトリルゴムやクロロプレンゴム等の合成ゴム等が例示される。

中でも、シアノエチル基を有する高分子材料は、好適に利用される。

また、圧電体層20のマトリックス34において、シアノエチル化PVA等の常温で粘弾性を有する材料に加えて添加される誘電性ポリマーは、1種に限定はされず、複数種を添加してもよい。

【0031】

また、マトリックス34には、誘電性高分子材料以外にも、ガラス転移点 T_g を調節する目的で、塩化ビニル樹脂、ポリエチレン、ポリスチレン、メタクリル樹脂、ポリブテンおよびイソブチレンなどの熱可塑性樹脂、ならびに、フェノール樹脂、尿素樹脂、メラミン樹脂、アルキド樹脂およびマイカなどの熱硬化性樹脂等を添加しても良い。

さらに、粘着性を向上する目的で、ロジンエステル、ロジン、テルペン、テルペンフェノール、および、石油樹脂等の粘着付与剤を添加しても良い。

【0032】

圧電体層20のマトリックス34において、シアノエチル化PVA等の常温で粘弾性を有する高分子材料以外の材料を添加する際の添加量には、特に限定は無いが、マトリックス34に占める割合で30質量%以下とするのが好ましい。

これにより、マトリックス34における粘弾性緩和機構を損なうことなく、添加する高分子材料の特性を発現できるため、高誘電率化、耐熱性の向上、圧電体粒子36および電極層との密着性向上等の点で好ましい結果を得ることができる。

【0033】

圧電体粒子36は、公知のものが利用可能であるが、好ましくは、ペロブスカイト型ま

10

20

30

40

50

たはウルツ鉱型の結晶構造を有するセラミックス粒子からなるものである。

圧電体粒子 36 を構成するセラミックス粒子としては、例えば、チタン酸ジルコン酸鉛 (P Z T)、チタン酸ジルコン酸ランタン酸鉛 (P L Z T)、チタン酸バリウム (B a T i O₃)、酸化亜鉛 (Z n O)、および、チタン酸バリウムとビスマスフェライト (B i F e₃) との固溶体 (B F B T) 等が例示される。

【0034】

このような圧電体粒子 36 の粒径には制限はなく、圧電フィルム 12 のサイズ、および、圧電素子 10 の用途等に応じて、適宜、選択すれば良い。圧電体粒子 36 の粒径は、1 ~ 10 μm が好ましい。

圧電体粒子 36 の粒径をこの範囲とすることにより、圧電フィルム 12 が高い圧電特性とフレキシビリティとを両立できる等の点で好ましい結果を得ることができる。

【0035】

なお、図 4 おいては、圧電体層 20 中の圧電体粒子 36 は、マトリックス 34 中に、均一かつ規則性を持って分散されているが、本発明は、これに制限はされない。

すなわち、圧電体層 20 中の圧電体粒子 36 は、好ましくは均一に分散されていれば、マトリックス 34 中に不規則に分散されていてもよい。

さらに、圧電体粒子 36 は、粒径が揃っていても、揃っていなくてもよい。

【0036】

圧電フィルム 12 において、圧電体層 20 中におけるマトリックス 34 と圧電体粒子 36 との量比には、制限はなく、圧電フィルム 12 の面方向の大きさおよび厚さ、圧電素子 10 の用途、ならびに、圧電フィルム 12 に要求される特性等に応じて、適宜、設定すればよい。

圧電体層 20 中における圧電体粒子 36 の体積分率は、30 ~ 80 % が好ましく、50 % 以上がより好ましく、50 ~ 80 % がさらに好ましい。

マトリックス 34 と圧電体粒子 36 との量比を上記範囲とすることにより、高い圧電特性とフレキシビリティとを両立できる等の点で好ましい結果を得ることができる。

【0037】

圧電フィルム 12 において、圧電体層 20 の厚さには、特に限定はなく、圧電素子 10 の用途、圧電素子 10 における圧電フィルムの積層数、圧電フィルム 12 に要求される特性等に応じて、適宜、設定すればよい。

圧電体層 20 が厚いほど、いわゆるシート状物のコシの強さなどの剛性等の点では有利であるが、同じ量だけ圧電フィルム 12 を伸縮させるために必要な電圧 (電位差) は大きくなる。

圧電体層 20 の厚さは、8 ~ 300 μm が好ましく、8 ~ 200 μm がより好ましく、10 ~ 150 μm がさらに好ましく、15 ~ 100 μm が特に好ましい。

圧電体層 20 の厚さを、上記範囲とすることにより、剛性の確保と適度な柔軟性との両立等の点で好ましい結果を得ることができる。

【0038】

圧電体層 20 は、厚さ方向に分極処理 (ポーリング) されているのが好ましい。分極処理に関しては、後に詳述する。

【0039】

図 4 に示すように、図示例の圧電フィルム 12 は、このような圧電体層 20 の一面に、第 1 薄膜電極 24 を有し、その表面に第 1 保護層 28 を有し、圧電体層 20 の他方の面に、第 2 薄膜電極 26 を有し、その表面に第 2 保護層 30 を有してなる構成を有する。ここで、第 1 薄膜電極 24 と第 2 薄膜電極 26 とが電極対を形成する。

なお、圧電フィルム 12 は、これらの層に加えて、圧電体層 20 が露出する領域を覆って、ショート等を防止する絶縁層等を有していてもよい。

【0040】

すなわち、圧電フィルム 12 は、圧電体層 20 の両面を電極対、すなわち、第 1 薄膜電極 24 および第 2 薄膜電極 26 で挟持し、この積層体を、第 1 保護層 28 および第 2 保護

10

20

30

40

50

層 30 で挟持してなる構成を有する。

このように、圧電フィルム 12 において、第 1 薄膜電極 24 および第 2 薄膜電極 26 で挟持された領域は、印加された電圧に応じて伸縮される。

なお、本発明において、第 1 薄膜電極 24 および第 1 保護層 28、ならびに、第 2 薄膜電極 26 および第 2 保護層 30 における第 1 および第 2 とは、圧電フィルム 12 を説明するために、便宜的に図面に合わせて名称を付しているものである。従って、圧電フィルム 12 における第 1 および第 2 には、技術的な意味は無く、また、実際の使用状態とは無関係である。

【0041】

圧電フィルム 12 において、第 1 保護層 28 および第 2 保護層 30 は、第 1 薄膜電極 24 および第 2 薄膜電極 26 を被覆すると共に、圧電体層 20 に適度な剛性と機械的強度を付与する役目を担っている。すなわち、圧電フィルム 12 において、マトリックス 34 と圧電体粒子 36 とからなる圧電体層 20 は、ゆっくりとした曲げ変形に対しては、非常に優れた可撓性を示す一方で、用途によっては、剛性や機械的強度が不足する場合がある。圧電フィルム 12 は、それを補うために第 1 保護層 28 および第 2 保護層 30 が設けられる。

【0042】

なお、本発明の圧電素子において、圧電フィルム 12 の第 1 保護層 28 および第 2 保護層 30 は、必須の構成要件ではない。従って、圧電フィルム 12 は、第 1 保護層 28 および第 2 保護層 30 の、いずれか一方の保護層のみを有するものであってもよく、保護層を有さない物でもよい。

しかしながら、圧電フィルム 12（圧電素子）の強度、薄膜電極および圧電体層の保護等の点では、圧電フィルム 12 は、少なくとも一方の保護層を有するのが好ましく、第 1 保護層 28 および第 2 保護層 30 の両方を有するのが好ましい。

【0043】

第 1 保護層 28 および第 2 保護層 30 には、制限はなく、各種のシート状物が利用可能であり、一例として、各種の樹脂フィルムが好適に例示される。

中でも、優れた機械的特性および耐熱性を有するなどの理由により、ポリエチレンテレフタレート（PET）、ポリプロピレン（PP）、ポリスチレン（PS）、ポリカーボネート（PC）、ポリフェニレンサルファイト（PPS）、ポリメチルメタクリレート（PMMA）、ポリエーテルイミド（PEI）、ポリイミド（PI）、ポリエチレンナフタレート（PEN）、トリアセチルセルロース（TAC）、および、環状オレフィン系樹脂等からなる樹脂フィルムが、好適に利用される。

【0044】

第 1 保護層 28 および第 2 保護層 30 の厚さにも、制限はない。また、第 1 保護層 28 および第 2 保護層 30 の厚さは、基本的に同じであるが、異なってもよい。

ここで、第 1 保護層 28 および第 2 保護層 30 の剛性が高過ぎると、圧電体層 20 の伸縮を拘束するばかりか、可撓性も損なわれる。そのため、機械的強度やシート状物としての良好なハンドリング性が要求される場合を除けば、第 1 保護層 28 および第 2 保護層 30 は、薄いほど有利である。

【0045】

圧電フィルム 12 においては、第 1 保護層 28 および第 2 保護層 30 の厚さが、圧電体層 20 の厚さの 2 倍以下であれば、剛性の確保と適度な柔軟性との両立等の点で好ましい結果を得ることができる。

例えば、圧電体層 20 の厚さが 50 μm で第 1 保護層 28 および第 2 保護層 30 が PET からなる場合、第 1 保護層 28 および第 2 保護層 30 の厚さは、100 μm 以下が好ましく、50 μm 以下がより好ましく、25 μm 以下がさらに好ましい。

【0046】

圧電フィルム 12 において、圧電体層 20 と第 1 保護層 28 との間には第 1 薄膜電極 24 が、圧電体層 20 と第 2 保護層 30 との間には第 2 薄膜電極 26 が、それぞれ形成され

10

20

30

40

50

る。以下の説明では、第1薄膜電極24を第1電極24、第2薄膜電極26を第2電極26、とも言う。

第1電極24および第2電極26は、圧電体層20（圧電フィルム12）に電圧を印加するために設けられる。

【0047】

本発明において、第1電極24および第2電極26の形成材料には制限はなく、各種の導電体が利用可能である。具体的には、炭素、パラジウム、鉄、錫、アルミニウム、ニッケル、白金、金、銀、銅、チタン、クロムおよびモリブデン等の金属、これらの合金、これらの金属および合金の積層体および複合体、ならびに、酸化インジウムスズ等が例示される。中でも、銅、アルミニウム、金、銀、白金、および、酸化インジウムスズは、第1電極24および第2電極26として好適に例示される。

10

【0048】

また、第1電極24および第2電極26の形成方法にも制限はなく、真空蒸着およびスパッタリング等の気相堆積法（真空成膜法）による成膜、めっきによる成膜、ならびに、上記材料で形成された箔を貼着する方法等、公知の方法が、各種、利用可能である。

【0049】

中でも特に、圧電フィルム12の可撓性が確保できる等の理由で、真空蒸着によって成膜された銅およびアルミニウム等の薄膜は、第1電極24および第2電極26として、好適に利用される。その中でも特に、真空蒸着による銅の薄膜は、好適に利用される。

第1電極24および第2電極26の厚さには、制限はない。また、第1電極24および第2電極26の厚さは、基本的に同じであるが、異なってもよい。

20

【0050】

ここで、前述の第1保護層28および第2保護層30と同様に、第1電極24および第2電極26の剛性が高過ぎると、圧電体層20の伸縮を拘束するばかりか、可撓性も損なわれる。そのため、第1電極24および第2電極26は、電気抵抗が高くなり過ぎない範囲であれば、薄いほど有利である。

【0051】

圧電フィルム12においては、第1電極24および第2電極26の厚さと、ヤング率との積が、第1保護層28および第2保護層30の厚さとヤング率との積を下回れば、可撓性を大きく損なうことがないため、好適である。

30

一例として、第1保護層28および第2保護層30がPETで、第1電極24および第2電極26が銅からなる組み合わせを考える。この組み合わせでは、PETのヤング率が約6.2GPa、銅のヤング率が約130GPaである。従って、この場合、第1保護層28および第2保護層30の厚さが25μmだとすると、第1電極24および第2電極26の厚さは、1.2μm以下が好ましく、0.3μm以下がより好ましく、0.1μm以下がさらに好ましい。

【0052】

上述したように、圧電フィルム12は、常温で粘弾性を有する高分子材料を含むマトリックス34に圧電体粒子36を分散してなる圧電体層20を、第1電極24と第2電極26とで挟持し、さらに、この積層体を、第1保護層28と第2保護層30とで挟持してなる構成を有する。

40

このような圧電フィルム12は、動的粘弾性測定による周波数1Hzでの損失正接（Tanδ）の極大値が常温に存在するのが好ましく、0.1以上となる極大値が常温に存在するのがより好ましい。

これにより、圧電フィルム12が外部から数Hz以下の比較的ゆっくりとした、大きな曲げ変形を受けたとしても、歪みエネルギーを効果的に熱として外部へ拡散できるため、高分子マトリックスと圧電体粒子との界面で亀裂が発生するのを防ぐことができる。

【0053】

圧電フィルム12は、動的粘弾性測定による周波数1Hzでの貯蔵弾性率（E'）が、0℃において10～30GPa、50℃において1～10GPaであるのが好ましい。

50

これにより、常温で圧電フィルム 12 が貯蔵弾性率 (E') に大きな周波数分散を有することができる。すなわち、 $20\text{ Hz} \sim 20\text{ kHz}$ の振動に対しては硬く、数 Hz 以下の振動に対しては柔らかく振る舞うことができる。

【0054】

また、圧電フィルム 12 は、厚さと動的粘弾性測定による周波数 1 Hz での貯蔵弾性率 (E') との積が、 0°C において $1.0 \times 10^6 \sim 2.0 \times 10^6\text{ N/m}$ 、 50°C において $1.0 \times 10^5 \sim 1.0 \times 10^6\text{ N/m}$ であるのが好ましい。

これにより、圧電フィルム 12 が可撓性および音響特性を損なわない範囲で、適度な剛性と機械的強度を備えることができる。

【0055】

さらに、圧電フィルム 12 は、動的粘弾性測定から得られたマスターカーブにおいて、 25°C 、周波数 1 kHz における損失正接 ($\tan \delta$) が、 0.05 以上であるのが好ましい。

これにより、圧電フィルム 12 を用いたスピーカークの周波数特性が平滑になり、スピーカークの曲率の変化に伴って最低共振周波数 f_0 が変化した際における音質の変化量も小さくできる。

【0056】

以下、図 5 ～ 図 7 の概念図を参照して、図 4 に示す圧電フィルム 12 の製造方法の一例を説明する。

【0057】

まず、図 5 に示すように、第 1 保護層 28 の上に第 1 電極 24 が形成されたシート状物 12a を準備する。このシート状物 12a は、第 1 保護層 28 の表面に、真空蒸着、スパッタリング、および、めっき等によって、第 1 電極 24 として銅薄膜等を形成して作製すればよい。

第 1 保護層 28 が非常に薄く、ハンドリング性が悪い時などは、必要に応じて、セパレータ（仮支持体）付きの第 1 保護層 28 を用いても良い。セパレータとしては、厚さ $25 \sim 100\text{ }\mu\text{m}$ の PET 等を用いることができる。セパレータは、第 2 電極 26 および第 2 保護層 30 を熱圧着した後、第 1 保護層 28 に何らかの部材を積層する前に、取り除けばよい。

【0058】

一方で、有機溶媒に、シアノエチル化 PVA 等の常温で粘弾性を有する高分子材料を溶解し、さらに、PZT 粒子等の圧電体粒子 36 を添加し、攪拌して分散してなる塗料を調製する。以下の説明では、シアノエチル化 PVA 等の常温で粘弾性を有する高分子材料を、『粘弾性材料』とも言う。

有機溶媒には制限はなく、ジメチルホルムアミド (DMF)、メチルエチルケトン、シクロヘキサノン等の各種の有機溶媒が利用可能である。

シート状物 12a を準備し、かつ、塗料を調製したら、この塗料をシート状物 12a にキャスト（塗布）して、有機溶媒を蒸発して乾燥する。これにより、図 6 に示すように、第 1 保護層 28 の上に第 1 電極 24 を有し、第 1 電極 24 の上に圧電体層 20 を形成してなる積層体 12b を作製する。なお、第 1 電極 24 とは、圧電体層 20 を塗布する際の基材側の電極を差し、積層体における上下の位置関係を示すものではない。

【0059】

この塗料のキャスト方法には、特に、限定はなく、スライドコータおよびドクターナイフ等の公知の塗布方法（塗布装置）が、全て、利用可能である。

なお、粘弾性材料がシアノエチル化 PVA のように加熱熔融可能な物であれば、以下に示す方法で積層体 12b を作製してもよい。まず、粘弾性材料を加熱熔融して、これに圧電体粒子 36 を添加／分散してなる熔融物を作製する。この熔融物を、押し出し成形等によって、図 5 に示すシート状物 12a の上にシート状に押し出し、冷却する。これにより、図 6 に示すような、第 1 保護層 28 の上に第 1 電極 24 を有し、第 1 電極 24 の上に圧電体層 20 を形成してなる積層体 12b を作製できる。

10

20

30

40

50

【0060】

上述したように、圧電フィルム12において、マトリックス34には、シアノエチル化PVA等の粘弾性材料以外にも、PVDF等の高分子圧電材料を添加しても良い。

マトリックス34に、これらの高分子圧電材料を添加する際には、上述した塗料に添加する高分子圧電材料を溶解すればよい。または、上述した加熱溶融した粘弾性材料に、添加する高分子圧電材料を添加して加熱溶融すればよい。

第1保護層28の上に第1電極24を有し、第1電極24の上に圧電体層20を形成してなる積層体12bを作製したら、圧電体層20の分極処理（ポーリング）を行う。

【0061】

圧電体層20の分極処理の方法には、制限はなく、公知の方法が利用可能である。例えば、分極処理を行う対象に、直接、直流電界を印加する、電界ポーリングが例示される。なお、電界ポーリングを行う場合には、分極処理の前に、第1電極24を形成して、第1電極24および第2電極26を利用して、電界ポーリング処理を行ってもよい。

また、本発明の圧電フィルム12を製造する際には、分極処理は、圧電体層20の面方向ではなく、厚さ方向に分極を行うのが好ましい。

なお、この分極処理の前に、圧電体層20の表面を加熱ローラ等を用いて平滑化する、カレンダー処理を施してもよい。このカレンダー処理を施すことで、後述する熱圧着工程がスムーズに行える。

【0062】

このようにして積層体12bの圧電体層20の分極処理を行う一方で、第2保護層30の上に第2電極26が形成されたシート状物12cを、準備する。このシート状物12cは、第2保護層30の表面に、真空蒸着、スパッタリング、および、めっき等によって第2電極26として銅薄膜等を形成して、作製すればよい。

次いで、図7に示すように、第2電極26を圧電体層20に向けて、シート状物12cを、圧電体層20の分極処理を終了した積層体12bに積層する。

さらに、この積層体12bとシート状物12cとの積層体を、第2保護層30と第1保護層28とを挟持するようにして、加熱プレス装置や加熱ローラ対等で熱圧着して、圧電フィルム12を作製する。

【0063】

本発明の圧電素子10は、折り返すことによって、圧電フィルム12を複数層、積層したものである。圧電素子10は、折り返しによって積層された、隣接する圧電フィルム12を貼着層14（貼着剤）で貼着した構成を有する。

【0064】

本発明において、貼着層14は、隣接する圧電フィルム12を貼着可能であれば、公知のものが、各種、利用可能である。

従って、貼着層14は、接着剤からなる層でも、粘着剤からなる層でも、接着剤と粘着剤との両方の特徴を持った材料からなる層でもよい。接着剤とは、貼り合わせる際には流動性を有し、その後、固体になる貼着剤である。粘着剤とは、貼り合わせる際にはゲル状（ゴム状）の柔らかい固体で、その後もゲル状の状態が変化しない貼着剤である。

ここで、本発明の圧電素子10は、積層した複数枚の圧電フィルム12を伸縮させることで、例えば、後述するように振動板46を振動させて、音を発生させる。従って、本発明の圧電素子10は、各圧電フィルム12の伸縮が、直接的に伝達されるのが好ましい。圧電フィルム12の間に、振動を緩和するような粘性を有する物質が存在すると、圧電フィルム12の伸縮のエネルギーの伝達効率が低くなってしまい、圧電素子10の駆動効率が低下してしまう。

この点を考慮すると、貼着層14は、粘着剤からなる粘着剤層よりも、固体で硬い貼着層14が得られる、接着剤からなる接着剤層であるのが好ましい。より好ましい貼着層14としては、具体的には、ポリエステル系接着剤およびスチレン・ブタジエンゴム（SBR）系接着剤等の熱可塑タイプの接着剤からなる貼着層が好適に例示される。

接着は、粘着とは異なり、高い接着温度を求める際に有用である。また、熱可塑タイプ

10

20

30

40

50

の接着剤は『比較的低温、短時間、および、強接着』を兼ね備えており、好適である。

【0065】

本発明の圧電素子10において、貼着層14の厚さには制限はなく、貼着層14の形成材料に応じて、十分な貼着力（接着力、粘着力）を発現できる厚さを、適宜、設定すればよい。

ここで、本発明の圧電素子10は、貼着層14が薄い方が、圧電体層20の伸縮エネルギー（振動エネルギー）の伝達効果を高くして、エネルギー効率を高くできる。また、貼着層14が厚く剛性が高いと、圧電フィルム12の伸縮を拘束する可能性もある。さらに、上述のように、本発明の圧電素子10は、隣接する圧電フィルム12では、同じ極性の電極層が対面するので、同士がショートする恐れが無い。そのため、本発明の圧電素子10は、貼着層14を薄くできる。

10

この点を考慮すると、貼着層14は、圧電体層20よりも薄いのが好ましい。すなわち、本発明の圧電素子10において、貼着層14は、硬く、薄いのが好ましい。

具体的には、貼着層14の厚さは、貼着後の厚さで0.1～50 μmが好ましく、0.1～30 μmがより好ましく、0.1～10 μmがさらに好ましい。

【0066】

本発明の圧電素子10においては、貼着層14のバネ定数が高いと、圧電フィルム12の伸縮を拘束する可能性がある。従って、貼着層14のバネ定数は圧電フィルム12のバネ定数と同等か、それ以下であるのが好ましい。なお、バネ定数は、『厚さ×ヤング率』である。

20

具体的には、貼着層14の厚さと、動的粘弾性測定による周波数1 Hzでの貯蔵弾性率（ E' ）との積が、0℃において $2.0 \times 10^6 \text{ N/m}$ 以下、50℃において $1.0 \times 10^6 \text{ N/m}$ 以下であるのが好ましい。

また、貼着層の動的粘弾性測定による周波数1 Hzでの内部損失が、粘着剤からなる貼着層14の場合には25℃において1.0以下、接着剤からなる貼着層14の場合には25℃において0.1以下であるのが好ましい。

【0067】

上述したように、本発明の第1の態様の圧電素子は、多角形の平面形状を有し、多角形の最も短い辺、以外の辺から突出するように設けられた突出部を有し、この突出部に、外部電源と接続するための接続部を有する。

30

なお、本発明の第1の態様の圧電素子において、突出部とは、三角形および四角形等の多角形の平面形状から突出する部分である。本発明の第1の態様の圧電素子は、積層されて隣接する圧電フィルム12は、基本的に全面を貼着層14によって貼着される。すなわち、突出部とは、圧電フィルム12の貼着層14で貼着されない領域である。

【0068】

図示例の圧電素子10は、長方形の圧電フィルム12を折り返して重なるように積層したものであり、平面形状は長方形である。そのため、平面形状では、2辺の長辺と、2辺の短辺とを有する。従って、圧電素子10において、突出部10aは、長方形の長辺から突出するように設けられる。

圧電素子10は、折り返し部が平面形状である長方形の長辺となるように、圧電フィルム12を折り返して積層している。言い換えれば、圧電素子10は、折り返しによる稜線が、平面形状である長方形の長辺となるように、圧電フィルム12を折り返して積層している。

40

圧電素子10では、積層される圧電フィルム12の図中最上層において、圧電フィルム12を、圧電素子10の平面形状である長方形すなわち貼着層14から突出するように長方形の外部まで延在させて、長辺から突出する突出部10aとする。

圧電素子10は、この突出部10aに、外部電極と接続する引出配線62および引出配線64を接続するための接続部40を設ける。

【0069】

図示例の圧電素子10においては、図8に第1電極24側を例示して概念的に示すよう

50

に、突出部 10a の第 1 保護層 28 に貫通孔 28a を形成する。貫通孔 28a の形成方法には、制限はなく、第 1 保護層 28 の形成材料に応じて、レーザー加工、溶剤を用いた溶解除去、および、機械研磨等の機械的な加工等の公知の方法で行えばよい。

この貫通孔 28a に導電性材料 40a を充填して、外部電源と第 1 電極 24 とを接続するための接続部 40 とする。導電性材料 40a には、制限はなく、公知の導電性材料が、各種、利用可能である。一例として、銀ペーストなどの導電性金属ペースト、導電性カーボンペースト、および、導電性ナノインク等が例示される。

この接続部 40 の導電性材料 40a に接触するように、外部電源に接続される引出配線 64 を固定して、外部電源と第 1 電極 24 とを接続する。

【0070】

本発明の圧電素子 10 は、このように長方形の長辺から突出するように設けた突出部 10a に、外部電極と接続するための引出配線 62 および引出配線 64 と接続するための接続部 40 を設ける。

本発明の圧電素子は、このような構成を有することにより、高分子材料を含むマトリックス 34 中に圧電体粒子 36 を分散した圧電体層 20 を有する圧電フィルム 12 を用いる圧電素子において、インピーダンスを小さくして、例えば電気音響変換器等として用いた際に、特に高周波数帯域での音圧を向上できる圧電素子を実現している。

【0071】

上述したように、音質が良好な音を出力するためには、広い周波数帯域に対応して、音圧を向上させる必要がある。また、圧電フィルムを積層した圧電素子をエキサイターとして用いる際に、音圧を向上させるためには、十分な電流を圧電体層に流す必要がある。

圧電体層に十分な電流を流すためには、圧電素子のインピーダンス（抵抗）を下げる必要がある。圧電素子のインピーダンスが高いと、圧電体層に流れる電流が小さくなり、特に高周波数帯域、中でも 15 kHz 以上の高周波数帯域の音圧が低くなってしまう。

【0072】

ところが、高分子材料を含むマトリックス中に圧電体粒子を分散してなる圧電体層を有する圧電フィルム 12 を用いる圧電素子では、外部電源から電極層への電力供給の位置が不適正であると、インピーダンスが高くなってしまい、十分な電流を圧電体層に流せなくなってしまう。

圧電フィルム 12 を用いる圧電素子において、供給された駆動のための電気は、電極層と外部電源との接続部から、圧電フィルム 12 全面に伝わっていく。この際において、接続部が形成される位置の面積、すなわち、電気の供給位置の間口が狭いと、電気が広がるようにして伝わることはできない。その結果、電気の供給位置の間口が狭いと、電気が圧電フィルム 12 の全面に伝わりにくく、その結果、インピーダンスが高くなってしまう。

【0073】

これに対して、本発明の圧電素子 10 は、長方形の平面形状を有する圧電素子 10 において、長辺から突出するように突出部 10a を設け、この突出部 10a に、外部電源と接続するための接続部 40 を設ける。

すなわち、圧電素子 10 では、長方形の平面形状を有する圧電素子において、圧電フィルム 12 の長辺（最も短い辺以外の辺）から、駆動のための電気を供給する。

上述のように、圧電素子 10 において、供給された電気は、第 1 電極 24 および第 2 電極 26 と外部電源との接続部 40 から、圧電フィルム 12 の全面に伝わっていく。この際に、長方形の長辺から突出する突出部 10a に接続部 40 を設ける圧電素子 10 では、接続部 40 が設けられる突出部 10a の形成位置の面積、すなわち、電気が供給される位置における間口が広い。そのため、電気が圧電フィルム 12 の面方向に大きく広がるようにして伝わることはできるので、電気が圧電フィルム 12 の全面に伝わり易く、インピーダンスが低くなる。

その結果、本発明の圧電素子 10 によれば、例えばエキサイターとして用いた場合に、特に高周波数帯域での音圧を向上して、広い周波数帯域に渡って、音圧が高い、高音質の音を出力できる。

10

20

30

40

50

この作用効果に関しては、後述する本発明の圧電素子の第２の態様、および、本発明の圧電スピーカーの圧電フィルムに関しても、同様である。

【００７４】

上述のように、本発明の圧電素子１０は、インピーダンスが低いのが好ましい。

具体的には、圧電フィルム１２の静電容量を C 〔Ｆ〕とした際に、周波数 F 〔Ｈｚ〕におけるインピーダンス〔Ω〕が

$$[1 / (6.28 \times F \times C)] + 1$$

以下であるのが好ましい。本発明の圧電素子１０のインピーダンスは、

$$[1 / (6.28 \times F \times C)]$$

以下であるのがより好ましい。

圧電素子のインピーダンスは、周波数２～２０ｋＨｚの範囲で、この条件を満たすのがより好ましく、２～１０ｋＨｚの範囲で、この条件を満たすのがさらに好ましい。

本発明の圧電素子１０は、上記条件を満たすことにより、インピーダンスを低くして、例えば、エキサイターおよび電気音響変換器等として利用した際に、広い周波数帯域、特に高周波数帯域で、高い音圧を得ることができ、高音質の音を出力できる。

このインピーダンスに関しては、後述する本発明の第２の態様の圧電素子、および、本発明の圧電スピーカーにおける圧電フィルムも同様である。

【００７５】

本発明の圧電素子１０において、突出部１０ａにおける電極と引出配線との接続方法には、制限はなく、図８に示す方法以外にも、公知の各種の方法が利用可能である。

一例として、図９に第１電極２４側を例示して概念的に示す方法が例示される。すなわち、突出部１０ａにおいて、第１保護層２８の端部を、一部、剥離し、第１電極２４と第１保護層２８との間に引出配線６２を挿入して固定することで、外部電極との接続部としてもよい。

また、接続部の構成および形成方法としては、特開２０１６－０１５３５４号公報に記載されるものも、好適に利用可能である。

【００７６】

圧電素子１０において、突出部１０ａにおける、第１電極２４の接続部４０と、第２電極２６の接続部４０との、圧電フィルムの面方向の位置関係にも、制限はない。

すなわち、第１電極２４の接続部４０と、第２電極２６の接続部４０とは、突出部に形成されていれば、面方向に近接しても、離間しても、重複してもよい。面方向とは、圧電素子１０の平面形状における面方向である。また、接続部４０は、圧電素子１０の平面形状である長方形の長辺方向において、端部に位置しても、中央に位置しても、端部と中央の中間に位置してもよい。

従って、第１電極２４の接続部４０と第２電極２６の接続部４０とは、例えば、圧電素子１０の平面形状である長方形の長辺方向において、一方を１つの端部近傍に設け、他方を他の端部近傍に設けてもよい。あるいは、長方形の長手方向において、２つの接続部４０の一方を端部近傍に設け、他方を中央部に設けてもよい。あるいは、長方形の長手方向において、２つの接続部４０の両方を、１つの端部近傍に設けてもよい。あるいは、長方形の長手方向において、２つの接続部４０の両方を中央部に設けてもよい。

この点に関しては、後述する本発明の第２の態様の圧電素子、および、本発明の圧電スピーカーにおける圧電フィルムも、同様である。

【００７７】

図示例の圧電素子１０において、１つの突出部１０ａに、第１電極２４の接続部４０と、第２電極２６の接続部４０とを設けているが、本発明は、これに制限はされない。

すなわち、本発明の圧電素子１０においては、平面形状である長方形の長辺から突出すれば、複数の突出部を設けてもよい。

例えば、図１０に概念的に示すように、長方形の長辺から突出して、第１突出部１０ａ－１と、第２突出部１０ａ－２との２つの突出部を設けてもよい。この際には、一例として、第１突出部１０ａ－１に第１電極２４（引出配線６２）との接続部４０を設け、第２

10

20

30

40

50

突出部 10a-2 に第 2 電極 26 (引出配線 64) との接続部 40 を設ければよい。なお、図 10 では、図中上下方向が圧電素子の平面形状である長方形の長辺方向で、図中横方向が、同短辺方向である。

なお、突出部は、1 つの辺に 1 つの場合でも、1 つの辺に複数設ける場合でも、突出部が設けられる辺の延在方向の長さが長い方が好ましい。以下の説明では、突出部の、突出部が設けられる辺の延在方向の長さを、『突出部の幅』ともいう。

具体的には、突出部が設けられる辺の長さを L 、突出部の幅を L_a とすると、突出部の幅 L_a が、辺の長さ L の 10% 以上であるのが好ましく、50% 以上であるのがより好ましく、70% 以上であるのがさらに好ましく、90% 以上であるのが特に好ましく、辺の長さ L と同じ、または、それ以上であるのが最も好ましい。

10

【0078】

また、図示例の圧電素子 10 では、圧電フィルム 12 の折り返し方向の一方の端部において、長方形の長辺から突出するように、突出部 10a を設けている。

しかしながら、本発明は、これに制限はされず、折り返して積層される圧電フィルム 12 の折り返し方向の両方の端部において、平面形状である長方形の長辺から突出するように、突出部を設けてもよい。すなわち、この際には、折り返して積層される圧電フィルム 12 において、図中の最上段の圧電フィルム 12 と、図中の最下段の圧電フィルム 12 とに、突出部が設けられる。

この際には、一例として、最上段の突出部に第 1 電極 24 (引出配線 62) との接続部 40 を設け、最下段の突出部に第 2 電極 26 (引出配線 64) との接続部 40 を設ければよい。

20

【0079】

すなわち、1 枚の圧電フィルム 12 を折り返すことで、複数層を積層した圧電素子においては、圧電フィルム 12 の積層数等に応じて、引出配線の取り付け位置は、様々な態様が利用可能である。なお、この点に関しては、突出部 10a を長辺および短辺のいずれに設ける構成でも、後述する突出部を有さない構成でも、同様である。

図 39 ~ 図 43 に、一例を概念図で示す。なお、図 39 ~ 図 43 では、図面を簡略化して構成を明確に示すために、電極および保護層を一体で示し、また、隣接する圧電フィルムを貼着する貼着層 14 を省略している。

【0080】

30

圧電フィルム 12 の積層数が偶数である場合には、突出部 10a に第 1 電極および第 2 電極と外部装置との接続部を設ける以外の構成も利用可能である。すなわち、圧電フィルム 12 の積層数が偶数である場合には、突出部 10a に引出配線 62 および引出配線 64 の両者を設ける構成以外も利用可能である。

例えば、圧電フィルム 12 の積層数が 2 層である図 39、および、圧電フィルム 12 の積層数が 4 層である図 40 に示すように、最上層に突出部 10a を設けずに引出配線 62 を接続し、最下層に突出部 10a を設けて引出配線 64 を接続してもよい。

【0081】

また、圧電フィルム 12 の積層数が奇数である場合にも、突出部 10a に第 1 電極および第 2 電極と外部装置との接続部を設ける以外の構成も利用可能である。すなわち、圧電フィルム 12 の積層数が奇数である場合にも、突出部 10a に引出配線 62 および引出配線 64 の両者を設ける構成以外も利用可能である。

40

例えば、圧電フィルム 12 の積層数が 3 層である図 41 に示すように、最上層に突出部 10a を設けずに引出配線 62 を接続し、最下層に突出部 10a を設けて引出配線 64 を接続してもよい。

圧電フィルム 12 の積層数が奇数である場合には、図 41 に示すように、最上層と最下層とに引出配線を設けると、引出配線の引出し方向が、逆方向になる。

【0082】

また、図 1 の圧電素子 10 では、突出部 10a を図中最上層に設けているが、本発明は、これに制限はされない。例えば、図 42 に示すように、突出部 10a を図中最下層に設

50

け、此処に、第1電極および第2電極と外部装置との接続部、すなわち、引出配線62および引出配線64を設けてもよい。

すなわち、圧電フィルム12を積層した圧電素子において、使用時における、天地方向および左右方向に対する突出部10aの位置には、制限はない。この点に関しては、圧電フィルム12の積層数が奇数でも偶数でも、同様である。

【0083】

また、後述する突出部を有さない構成でも、圧電フィルム12の積層数等に応じて、各種の位置に、第1電極および第2電極と外部装置との接続部、すなわち、引出配線62および引出配線64を設けることが可能である。

突出部を有さない構成は、圧電フィルム12の積層数が奇数である場合に、好適に利用可能である。例えば、図43に圧電フィルム12を3層、積層した例で示すように、圧電フィルム12の積層数が奇数である場合には、最上層に引出配線62を設け、最下層に引出配線64を設ける構成が例示される。

【0084】

図1～図3に示す圧電素子10は、圧電フィルム12を折り返し方向に延在させることで、平面形状である長方形の長辺から突出する突出部10aを設けているが、本発明は、これに制限はされない。

圧電フィルム12を折り返すことで積層した構成としては、例えば、図11に概念的に示す圧電素子10Aのように、折り返し部が平面形状である長方形の短辺となるように、圧電フィルム12を折り返す構成も考えられる。すなわち、この場合には、圧電素子10Aは、折り返しによる稜線が、平面形状である長方形の短辺となるように、圧電フィルム12を折り返して積層している。

【0085】

このような圧電素子10Aでは、圧電フィルム12を折り返し方向に延在させることで、平面形状である長方形から突出させると、突出部は、長方形の短辺から突出する。

従って、この際には、図11に概念的に示すように、圧電フィルム12の折り返し方向と直交するように、長方形の長辺から圧電フィルム12が突出する突出部10Aaを設け、この突出部10Aaに、第1電極24（引出配線62）との接続部40、および、第2電極26（引出配線64）との接続部40を設ければよい。

この際において、突出部10Aaは、積層方向の端部となる圧電フィルム12に設ける構成に制限はされない。すなわち、図11に示すように、圧電フィルム12の折り返し方向と直交するように突出部10Aaを設ける構成では、積層方向の2層目および3層目など、中間となる層の圧電フィルム12に、突出部10Aaを設けてもよい。

【0086】

圧電素子10のように、1枚の圧電フィルム12を折り返すことで、複数層の圧電フィルム12を積層した圧電素子においては、図17に概念的に示すように、隣接する2層の圧電フィルム12の積層体の厚さより、圧電フィルム12の折り返し部の厚さが厚くなってもよい。なお、隣接する2層の圧電フィルム12の積層体の厚さには、貼着層14の厚さも含む。

この際における圧電フィルム12の折り返し部の厚さには、制限はない。好ましくは、図17に示すように、隣接する2層の圧電フィルム12の積層体の厚さを t 、この圧電フィルム12の折り返し部の最大厚さを $t_{\max}$ とした際に、 $t_{\max}$ が t の 5×10^5 倍以下であるのが好ましい。すなわち、『 $t_{\max} \leq t \times (5 \times 10^5)$ 』であるのが好ましい。例えば、隣接する2層の圧電素子の積層体の厚さ t が $50 \mu\text{m}$ である場合には、折り返し部の最大厚さを $t_{\max}$ は 2.5 mm 以下であるのが好ましい。

【0087】

この際において、圧電フィルム12の折り返し部は、図17に示すように、空隙でもよく、あるいは、貼着層14（貼着剤）で満たされてもよく、あるいは、貼着層14となる貼着剤よりも弾性率の低い材料で満たされていてもよい。

【0088】

以上の圧電素子は、１枚の圧電フィルム１２を折り返すことで、複数層の圧電フィルムを積層した構成を有するものである。しかしながら、本発明の圧電素子の第１の態様は、この構成に制限はされない。

すなわち、図１２に概念的に示す圧電素子１０Ｂのように、本発明の第１の態様は、カットシート状の圧電フィルム１２を、複数枚、積層して、積層方向に隣接する圧電フィルム１２を貼着層１４によって貼着した構成であってもよい。

【００８９】

本発明の圧電素子の第１の態様において、カットシート状の複数枚の圧電フィルム１２を積層した場合には、各圧電フィルム１２が個々に電気を供給されて駆動する。従って、カットシート状の圧電フィルム１２を積層した構成では、各圧電フィルム１２の主面の形状を、圧電素子の平面形状と見なす。

10

すなわち、図１２に示す圧電素子１０Ｂのように、長方形の圧電フィルム１２を積層した構成であれば、圧電フィルム１２の主面の形状を圧電素子１０Ｂの平面形状と見なして、圧電フィルム１２の長辺から突出するように、突出部１０Ｂａを設ければよい。

【００９０】

以上説明した本発明の圧電素子は、長方形の平面形状を有する。従って、平面形状において、辺は２辺の長辺と２辺の短辺しか存在せず、長辺から突出して、外部電源と接続するための接続部を形成する突出部を設けている。

しかしながら、本発明の圧電素子において、平面形状は長方形に制限はされず、三角形および五角形以上の多角形も利用可能であり、台形等、長方形以外の四角形も利用可能である。

20

【００９１】

ここで、圧電素子の平面形状によっては、辺の長さが３種以上の場合も有る。例えば、平面形状が三角形の圧電素子では、三角形の三辺の長さが、全て異なる場合も有る。

本発明の圧電素子の第１の態様では、多角形の平面形状において、辺の長さが３種以上の場合には、最も短い辺以外の辺から突出するように、突出部を設ければよい。

従って、多角形の最も短い辺以外の或る辺から突出部を設けて、第１電極２４との接続部４０を形成し、多角形の最も短い辺以外の別の辺から突出部を設けて、第２電極２６との接続部４０を形成してもよい。例えば、平面形状が、３辺の長さが全て異なる三角形である場合には、最も長い辺から突出して、第１電極２４（引出配線６２）との接続部４０を形成し、２番目に長い辺から突出部を設けて、第２電極２６（引出配線６４）との接続部４０を形成してもよい。

30

【００９２】

しかしながら、本発明の第１の態様の圧電素子においては、複数の突出部を設ける場合には、多角形の同じ辺に設けるのが好ましく、全ての突出部を最も長い辺に設けるのが好ましい。

複数の突出部を同じ辺に設けることにより、外部電源と接続を容易にできる、外部電源との接続のための配線の取り回しを簡易にできる、圧電素子の作製が容易になる、圧電素子の平面サイズを小さくできる等の点で好ましい。

【００９３】

40

以上の点に関しては、後に示す、本発明の第２の態様の圧電素子における接続部、および、後述する本発明の圧電スピーカーの圧電フィルムにおける突出部および接続部に関しても、同様である。

すなわち、本発明の第２の態様の圧電素子においては、第１の態様の圧電素子における突出部の接続部と同様に、後述するように、多角形の最も短い辺以外の辺に、端部から上限離間距離以内の位置に接続部を設ければよい。また、本発明の圧電スピーカーにおいては、第１の態様の圧電素子に準じて、圧電フィルムの多角形の最も短い辺以外の辺に突出部を設け、突出部に接続部を設ければよい。

【００９４】

以上、説明した本発明の圧電素子の第１の態様は、圧電フィルム１２を、複数層、積層

50

して、貼着層 14 で貼着したものであり、多角形の平面形状の最も短い辺以外の辺から突出して、突出部を有し、この突出部に、外部電源と接続するための接続部を設ける。

これに対して、本発明の圧電素子の第 2 の態様は、同様の圧電フィルム 12 を有する圧電素子であって、平面形状が多角形であり、多角形の最も短い辺以外の圧電フィルム 12 の端部から、上限離間距離以内の位置に、外部電源と電極層とを接続するための接続部を有するものである。また、本発明の圧電素子の第 2 の態様において、上限離間距離とは、平面形状である多角形の最も短い辺の長さの 2.1 分の 1 ($1/2.1$) である。本発明の圧電素子の第 2 の態様において、上限離間距離は、平面形状である多角形の最も短い辺の長さの 5 分の 2 ($2/5$) が好ましく、 5 分の 1 ($1/5$) がより好ましい。

【0095】

このような本発明の圧電素子の第 2 の態様は、積層されない 1 枚の圧電フィルム 12 のみを有するものでもよい。

あるいは、本発明の圧電素子の第 2 の態様は、図 1～図 3 に示す圧電素子 10 のように、1 枚の圧電フィルム 12 を折り返して、複数層、積層したものであってもよい。

あるいは、本発明の圧電素子の第 2 の態様は、図 12 に示す圧電素子 10B のように、複数枚のカットシート状の圧電フィルム 12 を積層したものであってもよい。

【0096】

なお、本発明の圧電素子の第 2 の態様において、複数層の圧電フィルム 12 を積層する場合には、厚さ方向に隣接する圧電フィルム 12 を貼着する貼着層 14 は、必須の構成要件ではない。従って、本発明の圧電素子の第 2 の態様が、複数層の圧電フィルム 12 を積層した構成である場合には、ボルトとナット、枠体、および、シート状物の挟持部材等の公知の締結手段によって、積層状態で固定されたものでもよい。

しかしながら、貼着層 14 を有さない場合には、各層の圧電フィルム 12 が独立して伸縮してしまう。このように、個々の圧電フィルム 12 が独立して伸縮した場合には、積層圧電素子としての駆動効率が低下してしまい、圧電素子全体としての伸縮が小さくなって、当接した振動板等を十分に振動させられなくなってしまう可能性がある。

この点を考慮すると、本発明の圧電素子の第 2 の態様でも、複数層の圧電フィルム 12 を積層する構成では、第 1 の態様の圧電素子のように、隣接する圧電フィルム 12 同士を貼着する貼着層 14 を有するのが好ましい。

【0097】

本発明の圧電素子の第 2 の態様も、多角形の平面形状を有する。

なお、本発明において、圧電素子の平面形状とは、上述のように、複数層の圧電フィルム 12 を積層した構成では、圧電フィルム 12 の積層方向に圧電素子を見た際の形状である。また、圧電素子が、積層されない 1 枚の圧電フィルム 12 で構成される場合、および、複数枚のカットシート状の圧電フィルム 12 を積層した構成の場合には、各圧電フィルムの主面の形状を、圧電素子の平面形状と見なす。

【0098】

本発明の圧電素子の第 2 の態様では、平面形状である多角形の最も短い辺以外の圧電フィルム 12 の端部から、上限離間距離以内の位置に、外部電源と電極層とを接続するための接続部を有するものである。

また、本発明の圧電素子の第 2 の態様において、上限離間距離とは、多角形の最も短い辺の長さの 2.1 分の 1 である。

なお、本発明の圧電素子の第 2 の態様においては、接続部における、平面形状となる多角形の辺の端部に最も近接する位置が、上限離間距離以内に位置すれば良い。

【0099】

図 13 に、積層されない 1 枚の長方形の圧電フィルム 12 を有する圧電素子 42 を例に、本発明の圧電素子の第 2 の態様を説明する。図 13 において、上は平面図、下は厚さ方向の断面図である。なお、断面図においては、構成を明確に示すために、ハッチングは省略する。また、図 13 に示す圧電素子 42 は、上述した圧電素子 10 等と、同じ部材を多用するので、同じ部材には同じ符号を付し、以下の説明は、異なる点を主に行う。

10

20

30

40

50

図 1 3 に示す圧電素子 4 2 は、積層されない 1 枚の長方形の圧電フィルム 1 2 を有するものである。従って、圧電素子 4 2 において、平面形状は長方形で、最も短い辺は、長方形の短辺となる。

従って、圧電素子 4 2 においては、平面形状の多角形における最も短い辺、すなわち、長方形における短辺の長さを L とすると、上限離間距離 L_d は、『 $L_d = L / 2.1$ 』となる。上述のように、上限離間距離 L_d は、好ましくは『 $L_d = 2L / 5$ 』であり、より好ましくは『 $L_d = L / 5$ 』である。

本発明の圧電素子の第 2 の態様においては、長辺の端部から、上限離間距離 L_d 以内の位置に、外部電源と電極層とを接続するための接続部を設ける。

【0100】

図 1 3 に示される圧電素子においては、長方形の一方の長辺の端部から上限離間距離 L_d ($L_d = L / 2.1$) 以内の位置に、図 8 と同様の接続部 4 0 を設けている。

すなわち、長方形の一方の長辺の端部から上限離間距離 L_d 以内の位置において、第 1 保護層 2 8 に貫通孔 2 8 a を、第 2 保護層 3 0 に貫通孔 3 0 a を、それぞれ形成する。

この貫通孔 2 8 a および貫通孔 3 0 a に、銀ペースト等の導電性材料 4 0 a を充填して、第 1 電極 2 4 に外部電源を接続するための接続部 4 0、および、第 2 電極 2 6 に外部電源を接続するための接続部 4 0 とする。なお、図 1 3 では省略するが、上述の例と同様、両接続部 4 0 には、例えば、外部電極と接続するための引出配線 6 2 および引出配線 6 4 が接続される。

【0101】

本発明の圧電素子の第 2 の態様は、このような構成を有することにより、上述した圧電素子の第 1 の態様と同様、長方形の平面形状を有する圧電素子 4 2 において、長方形の長辺側から電力を供給することで、インピーダンスを低くする。その結果、この第 2 の態様でも、例えば電気音響変換器およびエキサイター等として用いた場合に、特に高周波数帯域での音圧を向上して、広い周波数帯域に渡って、音圧が高い、高音質の音を出力できる。

【0102】

本発明の圧電素子の第 2 の態様において、外部電源と接続するための接続部は、図 8 に示す接続部 4 0 に制限はされず、上述した第 1 の態様と同様、図 9 に示す構成などの公知の各種の構成の接続部が利用可能である。なお、図 9 に示す構成においては、電極層における引出配線との接触部が、接続部となる。

上述した本発明の圧電素子の第 1 の態様と同様、本発明の圧電素子の第 2 の態様においても、第 1 電極 2 4 の接続部 4 0 と、第 2 電極 2 6 の接続部 4 0 との、圧電フィルムの面方向の位置関係にも、制限はない。また、図 1 2 に示す圧電素子 4 2 においては、第 1 電極 2 4 の接続部 4 0 と、第 2 電極 2 6 の接続部 4 0 とは、長方形の互いに異なる長辺の端部から上限離間距離以内の位置に設けてもよい。

さらに、本発明の圧電素子の第 2 の態様も、平面形状は長方形に限定はされず、各種の形状が利用可能であり、多角形の最も短い辺以外の辺において、上述のように、端部から上限離間距離以内の位置に接続部 4 0 を設ければよい。この際において、接続部 4 0 は、多角形の同じ辺に設けるのが好ましく、最も長い辺に設けるのがより好ましいは、第 1 の態様における突出部と同様である。

【0103】

本発明の圧電素子の第 2 の態様において、図 1 2 に示されるように、複数枚の圧電フィルム 1 2 を積層した構成では、個々の圧電フィルム 1 2 に対応して、上述したように、接続部 4 0 を設ければよい。

なお、本発明の圧電素子においては、複数層の圧電フィルム 1 2 を積層する場合には、第 1 の態様に対応する突出部を有する圧電フィルム 1 2 と、第 2 の態様に対応する突出部を有さない圧電フィルム 1 2 とが、混在してもよい。すなわち、本発明の圧電素子において、複数層の圧電フィルム 1 2 を積層する場合には、第 1 の態様では、少なくとも 1 層が突出部を有していればよく、第 2 の態様では、少なくとも 1 層が最も短い辺以外の辺の端部から上限離間距離の距離以内の位置に、接続部を有すればよい。

また、本発明の圧電素子は、圧電フィルムを、複数層、積層する場合には、一枚を折り返して複数層を積層した圧電フィルム12と、カットシート状の圧電フィルム12とを、積層することで、圧電フィルムを、複数層、積層した構成としてもよい。

【0104】

さらに、本発明の圧電素子の第2の態様において、図1等に応示するように、1枚の圧電フィルム12を折り返すことで、複数層の圧電フィルム12を積層する場合には、一例として、図14に概念的に示すように、圧電フィルム12の最上層および最下層において、長方形の平面形状の長辺の端部から、短辺の長さLに対して、上限離間距離Ld以内の位置に、接続部40を設ければよい。この構成は、圧電フィルムの積層数が奇数である場合に好適なのは、上述のとおりである。

【0105】

本発明の圧電素子および、後述する本発明の圧電スピーカーには、必要に応じて、一部に、製品情報を表示してもよい。

製品情報の表示位置は、圧電素子の外表面の視認可能な位置であれば、全ての位置が利用可能である。

情報の表示位置は、一例として、圧電素子の主面、圧電フィルム12の主面、圧電フィルム12の積層体の側面、および、本発明の圧電素子の第1の態様における突出部等が例示される。なお、積層体の側面とは、積層方向と直交する面である。主面は、2面のうちの、いずれの面であってもよい。

また、製品情報は、圧電素子の接続部に接続される引出配線に表示してもよく、引出配線を腐食から保護する被覆材等を有する場合には、被覆材に表示してもよい。

圧電素子が、防湿フィルム等の保護フィルム、保護板、および、筐体等で覆われる場合には、これらの部材に、情報を表示してもよい。

これらの情報の表示位置は、複数を併用してもよい。

【0106】

情報の表示手段も、公知の方法が、利用可能である。一例として、インクジェットなどの印刷手段による描画（印字）、レーザー加工および機械研削などによる刻印、シールなどのシート状物の貼着、凹版印刷および凸版印刷などの一般的な印刷方法による印刷、ならびに、これらの組み合わせ等が例示される。

【0107】

情報の表記方法（表現方法）にも制限はなく、公知の方法が利用可能である。一例として、文字、数字、記号、絵柄、一次元または二次元のバーコード、および、これらの組み合わせ等が例示される。なお、二次元バーコードは、QR（Quick Response）コード（登録商標）、マイクロQRコード（登録商標）、SPコード、ベリコード（Veri Code）、マキシコード（Maxi Code）、CP（Computer Purpose）コード、Date Matrix、Date Matrix ECC200、Code 1、Aztec code、インタクタコード、カードe、カメレオン・コード、および、Semacode等の公知の各種の二次元バーコードが利用可能である。

また、情報の表記に替えて、UHF帯およびHF帯などを用いるRFIDタグ、メモリ機能付きのRFIDタグなどの、電波等で読み取り可能な記憶手段を圧電素子に貼着してもよい。

【0108】

情報の内容にも、制限はなく、各種の情報が利用可能である。

一例として、シリアルナンバー、ロット番号および製品番号などの個体に特有で圧電素子の製造メーカーが有する個体情報と紐付け可能な識別番号（識別記号）、製造年月日／加工年月日、生産号機情報、材料情報、生産条件の情報、原材料単位および生産／加工日単位における何番目の品物かの情報、用途の情報、顧客情報、検査日時および通電検査など検査の種類などの検査履歴／検査データ、企業名および企業のロゴなどの製造メーカーの企業情報、製品ブランド名、生産管理情報、生産環境の情報、ならびに、試験履歴の情報等が例示される。なお、製品ブランド名には、製品のロゴを含む。

【0109】

また、本発明の圧電素子、および、後述する本発明の圧電スピーカーには、改ざんを防止するための、各種の手段を設けてもよい。

例えば、複数層の圧電フィルム12を積層した圧電素子であれば、隣接する圧電フィルム12を剥離して、性能を劣化させたことが判明できるようにするのが好ましい。

このような改ざん防止手段としては、隣接する圧電フィルム12の間に設けられ、隣接する圧電フィルム12を剥離すると、自身も剥離され、『剥離』、『無効』および『VOID』等の文字、記号および絵柄等が圧電フィルム12の主面および／または貼着層14の主面に残る改ざん防止シール、複数層の圧電フィルムに跨って貼着され、圧電フィルム12を剥離すると破断して戻らなくなる帯状の改ざん防止シール、ならびに、隣接する圧電フィルム12を剥離すると、再度、貼着できなくなる手段等が例示される。

10

改ざん防止シールは、例えば、特開平7-199813号公報および特開2006-23348号公報等に記載される改ざん防止シール等、公知の改ざん防止シールが、各種、利用可能である。

【0110】

このような本発明の圧電素子において、複数層の圧電フィルム12を積層した構成を有する圧電素子は、振動板を振動させて、振動板から音を発生するための、エキサイターとして用いられる。

一例として、図15に上述した圧電素子10を例示して概念的に示すように、本発明の圧電素子は、一例として、貼着層48によって振動板46に接着されて、振動板46から音を発生するための、エキサイターとして用いられる。すなわち、図15には、本発明の圧電素子10を用いる電気音響変換器の一例が示される。

20

【0111】

上述したように、本発明の圧電素子10において、複数層が積層される圧電フィルム12を構成する圧電体層20は、マトリックス34に圧電体粒子36を分散してなるものである。また、圧電体層20を厚さ方向で挟むように、第1電極24および第2電極26が設けられる。

【0112】

このような圧電体層20を有する圧電フィルム12の第1電極24および第2電極26に電圧を印加すると、印加した電圧に応じて圧電体粒子36が分極方向に伸縮する。その結果、圧電フィルム12（圧電体層20）が厚さ方向に収縮する。同時に、ポアゾン比の関係で、圧電フィルム12は、面方向にも伸縮する。

30

この伸縮は、0.01~0.1%程度である。

上述したように、圧電体層20の厚さは、好ましくは8~300μm程度である。従って、厚さ方向の伸縮は、最大でも0.3μm程度と非常に小さい。

これに対して、圧電フィルム12すなわち圧電体層20は、面方向には、厚さよりもはるかに大きなサイズを有する。従って、例えば、圧電フィルム12の長さが20cmであれば、電圧の印加によって、最大で0.2mm程度、圧電フィルム12は伸縮する。

【0113】

上述したように、振動板46は、貼着層48によって圧電素子10に貼着されている。従って、圧電フィルム12の伸縮によって、振動板46は撓み、その結果、振動板46は、厚さ方向に振動する。

40

この厚さ方向の振動によって、振動板46は、音を発する。すなわち、振動板46は、圧電フィルム12に印加した電圧（駆動電圧）の大きさに応じて振動して、圧電フィルム12に印加した駆動電圧に応じた音を発生する。

【0114】

ここで、P V D F等の高分子材料からなる一般的な圧電フィルムは、分極処理後に一軸方向に延伸処理することで、延伸方向に対して分子鎖が配向し、結果として延伸方向に大きな圧電特性が得られることが知られている。そのため、一般的な圧電フィルムは、圧電特性に面内異方性を有し、電圧を印加された場合の面方向の伸縮量に異方性がある。

50

これに対して、本発明の圧電素子 10 において、マトリックス 34 中に圧電体粒子 36 を分散してなる高分子複合圧電体からなる圧電体層 20 を有する圧電フィルム 12 は、分極処理後に延伸処理をせずとも大きな圧電特性が得られる。そのため、この圧電フィルム 12 は、圧電特性に面内異方性がなく、面方向では全方向に等方的に伸縮する。すなわち、本発明の圧電素子 10 において、圧電フィルム 12 は、等方的に二次元的に伸縮する。このような等方的に二次元的に伸縮する圧電フィルム 12 を積層した本発明の圧電素子 10 によれば、一方向にしか大きく伸縮しない P V D F 等の一般的な圧電フィルムを積層した場合に比べ、大きな力で振動板 46 を振動することができ、より大きく、かつ、美しい音を発生できる。

【0115】

上述したように、圧電素子 10 は、このような圧電フィルム 12 を折り返すことで、複数層、積層したものである。図示例の圧電素子 10 は、好ましい態様として、さらに、隣接する圧電フィルム 12 同士を、貼着層 14 で貼着している。

そのため、1 枚毎の圧電フィルム 12 の剛性が低く、伸縮力は小さくても、圧電フィルム 12 を積層することにより、剛性が高くなり、圧電素子 10 としての伸縮力は大きくなる。その結果、本発明の圧電素子 10 は、振動板 46 がある程度の剛性を有するものであっても、大きな力で振動板 46 を十分に撓ませて、厚さ方向に振動板 46 を十分に振動させて、振動板 46 に音を発生させることができる。

また、圧電体層 20 が厚い方が、圧電フィルム 12 の伸縮力は大きくなるが、その分、同じ量、伸縮させるのに必要な駆動電圧は大きくなる。ここで、上述したように、本発明の圧電素子 10 において、好ましい圧電体層 20 の厚さは、最大でも 300 μm 程度であるので、個々の圧電フィルム 12 に印加する電圧が小さくても、十分に、圧電フィルム 12 を伸縮させることが可能である。

【0116】

本発明の圧電素子 10 をエキサイターとして用いる電気音響変換器において、圧電素子 10 と振動板 46 とを貼着する貼着層 48 には、制限はなく、公知の各種の粘着剤および接着剤が利用可能である。

一例として、上述した貼着層 14 と同様のものが例示される。好ましい貼着層 48 (貼着剤) も、貼着層 14 と同様である。

【0117】

本発明の圧電素子をエキサイターとして用いる電気音響変換器において、振動板 46 にも、制限はなく、各種の物品が利用可能である。

振動板 46 としては、一例として、樹脂製の板およびガラス板等の板材、看板などの広告・告知媒体、テーブル、ホワイトボードおよび投映用スクリーンなどのオフィス機器および家具、有機エレクトロルミネセンス (O L E D (Organic Light Emitting Diode) ディスプレイおよび液晶ディスプレイなどの表示デバイス、コンソール、A ピラー、天井およびバンパー等自動車などの車両の部材、ならびに、住宅の壁などの建材等が例示される。

【0118】

本発明の圧電素子 10 をエキサイターとして用いる電気音響変換器において、圧電素子 10 を貼着する振動板 46 は、可撓性を有するのが好ましく、巻き取り可能であるのがより好ましい。

可撓性を有する振動板 46 としては、樹脂フィルム (プラスチックフィルム) 等の可撓性を有するシート状物が、各種、利用可能である。可撓性を有する振動板 46 としては、フレキシブルディスプレイパネルなどの可撓性を有するパネル状の表示デバイスが、特に好適に例示される。また、表示デバイスも、巻き取り可能であるのが、より好ましい。

【0119】

本発明の圧電素子 10 に限らず、圧電フィルム 12 を積層した圧電素子をエキサイターとして用いる場合には、図 15 に示すように、振動板 46 と圧電素子すなわちエキサイターとの貼着は、引出配線を避けて行うのが好ましい。

10

20

30

40

50

言い換えれば、圧電フィルム 12 を積層した圧電素子をエキサイターとして用いる場合には、圧電素子（エキサイター）と振動板 46 とを貼着する貼着層 48 は、引出配線を避けて設けるのが好ましい。すなわち、引出配線には、貼着層 48 を貼着しないのが好ましい。

また、圧電フィルム 12 を積層した圧電素子が、引出配線と電極層とを接続するための突出部 10a を有する場合には、引出配線のみならず、突出部 10a も、振動板 46 に貼着しないのが好ましい。すなわち、圧電フィルム 12 を積層した圧電素子が、引出配線と電極層とを接続するための突出部 10a を有する場合には、突出部にも、貼着層 48 を設けないのが好ましい。

【0120】

圧電素子をエキサイターとして用いる場合には、例えば、各種の調節、修理、および、貼着のやり直し等を目的として、圧電素子と振動板 46 とを剥離する必要がある場合もある。引出配線は、例えば後述する実施例のように、銅箔テープ等が利用され、多くの場合、機械的な強度は高くない。

そのため、引出配線が振動板 46 に貼着されていると、振動板 46 と圧電素子とを剥離する際に、引出配線を損傷してしまう可能性が高い。また、引出配線を損傷せずに、振動板 46 と圧電素子とを剥離することは、非常に困難である。

【0121】

また、圧電素子において、振動板 46 を振動させるのは、主に圧電フィルム 12 が積層された積層部である。ここで、引出配線が振動板 46 に貼着されていると、引出配線を有する分、この部分のみ、他の領域と振動数が異なり、音声の出力に悪影響を及ぼす可能性がある。

さらに、圧電素子が突出部 10a を有する場合、突出部 10a には、圧電フィルム 12 が積層されていない。そのため、突出部 10a が振動板 46 に貼着されていると、同様に、突出部 10a と圧電フィルム 12 の積層部とで振動数が異なり、音声の出力に悪影響を及ぼす可能性がある。

圧電素子の全面を振動板 46 に貼着して、全体として、振動板 46 の振動を制御する方法も考えられる。しかながら、この場合、上述した振動板 46 と圧電素子との剥離の際に生じる問題が避けられない。

【0122】

加えて、上述のように、外部装置との接続線と引出配線との接続部、および、引出配線と電極層との接続部は、電気の流れ、すなわち電気抵抗が大きく変化する位置であり、発熱し易い。

このような場所、すなわち引出配線が振動板 46 に貼着されていると、放熱を効率良く行うことができず、高温に発熱してしまう可能性がある。

【0123】

これに対し、圧電フィルム 12 を積層した圧電素子においては、好ましくは、引出配線と振動板 46 とを貼着しない。さらに、突出部 10a を有する場合には、より好ましくは突出部 10a と振動板 46 とを貼着しない。

これにより、引出配線を損傷することなく圧電素子と振動板 46 との剥離を容易に行うことを可能にし、振動数が異なる領域による悪影響を防止した好適な音声出力を可能にし、さらに、引出配線および引出配線周辺の発熱を抑制できる。

なお、この点に関しては、突出部 10a を長辺および短辺のいずれに設ける構成でも、後述する突出部を有さない構成でも、同様である。

【0124】

以下、図 44～図 49 および図 52～図 54 に、一例を概念図で示す。なお、図 44～図 49 等では、図面を簡略化して構成を明確に示すために、電極および保護層を一体で示し、また、隣接する圧電フィルム 12 を貼着する貼着層 14 を省略している。

さらに、図 44 以降では、貼着層 14 を省略しているため、圧電フィルム 12 の折り返しの端部よりも突出する部分を、便宜的に突出部 10a として示している。

10

20

30

40

50

【0125】

まず、突出部10aが振動板16に近い側にある場合には、図44に示すように、貼着層48を突出部10aには設けずに、振動板16と圧電素子（圧電フィルム12）とを貼着するのが好ましい。

あるいは、図45に示すように、平面視において、貼着層48を、圧電素子の平面形状の全面を内包するように設け、突出部10aと貼着層48との間に、貼着性を有さない非貼着層49を設けてもよい。なお、貼着性を有さないとは、粘着性および接着性のいずれも有さない、という意味である。

図45では、非貼着層49が、貼着層48に埋め込まれたように示している。しかしながら、非貼着層49を有する構成は、これに制限はされず、貼着層48が、非貼着層49に起因する段差および／または傾斜部を有してもよい。この点に関しては、以下に示す例も同様である。

なお、突出部10aが振動板16に近い側にある場合とは、言い換えれば、振動板16と貼着される圧電フィルム12の層に、突出部10aを有する場合である。

【0126】

逆に、突出部10aが振動板16から遠い側に有る場合には、図46に示すように、平面形状において、すなわち平面視した際に、突出部10aと重複しない領域に貼着層48を設け、振動板16と圧電素子（圧電フィルム12）とを貼着するのが好ましい。

あるいは、図47に示すように、平面視において、貼着層48を圧電素子の平面形状の全面を内包するように設け、突出部10aと貼着層48とが重複する領域に、貼着性を有さない非貼着層49を設けてもよい。

なお、突出部10aが振動板16に遠い側にある場合とは、言い換えれば、振動板16と貼着される圧電フィルム12の層と、積層方向に最も離間する層に、突出部10aを有する場合である。

【0127】

なお、図44～図47に示す、突出部10aを有する場合でも、引出配線のみ貼着層48を設けず、突出部10aの引出配線以外の領域には貼着層48を設けて、振動板16に貼着してもよい。

しかしながら、突出部10aは単層であり、上述のように、駆動電力を供給された際に、積層部とは振動数が異なる。従って、圧電素子が突出部10aを有する場合には、突出部10aも、振動板46に貼着しないのが好ましい。

【0128】

突出部10aを有さない場合にも、同様に、引出配線には、貼着層48を設けないのが好ましい。

例えば、図48に示すように、引出配線64が存在する領域に対応して、貼着層48の無い領域を帯状に設けて、貼着層48によって、振動板16と圧電素子（圧電フィルム12）とを貼着するのが好ましい。

あるいは、図49に示すように、貼着層48を、平面視において、圧電素子の平面形状の全面を内包するように設け、引出配線64と貼着層48とが重複する領域に、貼着性を有さない非貼着層49を帯状に設けてもよい。

【0129】

なお、圧電素子が吐出部を有さない場合における、貼着層48による振動板46の貼着は、図48および図49に示すように、引出配線が設けられた領域に対して、帯状の領域に貼着層48を設けない構成に制限はされない。

例えば、図50に概念的に示すように、圧電素子（圧電フィルム12）の引出配線64が無い領域のみ、貼着層48を設けないようにしてもよい。あるいは、圧電素子全面を貼着するように貼着層48を設け、圧電素子（圧電フィルム12）の引出配線64の領域のみ、非貼着層49を設けてもよい。

あるいは、図48および図49と同様、図51に概念的に示すように、圧電素子（圧電フィルム12）において引出配線64が突出する辺12sに対応して、この辺12sと平

10

20

30

40

50

行で、かつ、引出配線 6 4 が存在する帯状の領域 B には、貼着層 4 8 を設けないようにしてもよい。あるいは、圧電素子全面を貼着するように貼着層 4 8 を設け、この領域 B を含んで、引出配線 6 4 が圧電素子（圧電フィルム 1 2）から突出する側の貼着層 4 8 を覆うように、帯状に非貼着層 4 9 を設けてもよい。

【0130】

上述のように、外部装置との接続線と引出配線との接続部、および、引出配線と電極層との接続部は、電気抵抗が大きく変化する位置であり、発熱し易い。

これに対応して、圧電フィルム 1 2 を積層した圧電素子において、突出部 1 0 a 等の引出配線の配置部には、放熱板 4 7 を設けてもよい。

例えば、図 4 2 に示す圧電素子の図中下面すなわち突出部 1 0 a 側に貼着層 4 8 を設けて振動板 4 6 を貼着する場合には、図 5 2 に示すように、突出部 1 0 a と貼着層 4 8 との間に非貼着層 4 9 を設け、非貼着層 4 9 と引出配線 6 4 との間に、放熱板 4 7 を設けてもよい。

【0131】

また、図 4 5 に示す突出部 1 0 a が振動板 4 6 に近い側にある構成であれば、図 5 3 に示すように、突出部 1 0 a に対応して設けた非貼着層 4 9 と突出部 1 0 a との間に、放熱板 4 7 を設けてもよい。

さらに、図 4 7 に示す突出部 1 0 a が振動板 4 6 と遠い側にある構成であれば、図 5 4 に示すように、引出配線 6 4 を覆って、突出部 1 0 a に放熱板 4 7 を設けてもよい。

【0132】

放熱板 4 7 には、制限はなく、放熱性すなわち高い熱伝導性を有する板状の部材であれば、グラファイトシート、および、熱伝導性が高い放熱フィラーを含む放熱シート等、放熱板（放熱シート）として利用されている、公知の板材（シート状物）が、各種、利用可能である。なお、熱伝導性が高い放熱フィラーとしては、アルミナ等が例示される。

また、放熱板 4 7 は、可撓性を有するのが好ましい。

【0133】

なお、以上の点に関しては、後述する本発明の圧電スピーカーも、同様である。

【0134】

本発明の圧電スピーカーは、上述した圧電フィルムと振動板とを有し、上述した貼着層によって、圧電フィルムと振動板とを貼着したものである。

図 3 1 に本発明の圧電スピーカーの一例を概念的に示す。

なお、図 3 1 に示す圧電スピーカーは、図 1 5 に示す本発明の圧電素子 1 0 をエキサイターとして用いる電気音響変換器と同じ部材で構成されるので、同じ部材には同じ符号を付し、以下の説明は、異なる点を主に行う。

【0135】

上述したエキサイターとして用いる本発明の圧電素子は、複数の圧電フィルム 1 2 を積層したものである。これに対して、図 3 1 に示す本発明の圧電スピーカー 7 0 は、積層されない一枚の圧電フィルム 1 2 と、振動板 4 6 と、圧電フィルム 1 2 と振動板 4 6 とを貼着する貼着層 4 8 とを有する。圧電フィルム 1 2、振動板 4 6 および貼着層 4 8 は、いずれも、上述したものと同様のものである。

【0136】

また、本発明の圧電スピーカー 7 0 において、圧電フィルム 1 2 は、上述した本発明の第 1 の態様の圧電素子と同様に、多角形の平面形状を有し、多角形の最も短い辺、以外の辺から突出するように設けられた突出部 7 0 a を有する。本発明の圧電スピーカー 7 0 は、本発明の第 1 の態様の圧電素子と同様に、この突出部 7 0 a に、外部電源と接続するための接続部を有する。

例えば、圧電フィルム 1 2 が長方形であれば、長方形の長辺から突出するように突出部 7 0 a が形成され、この突出部 7 0 a に接続部が設けられる。

突出部とは、三角形および四角形等の多角形の平面形状から突出する部分である。本発明の圧電スピーカーは、エキサイターとして作用する部分は、基本的に全面を貼着層 4 8 によって貼着される。すなわち、本発明の圧電スピーカー 7 0 において、突出部とは、圧

10

20

30

40

50

電フィルム１２の貼着層４８で貼着されない領域である。

なお、本発明の圧電スピーカー７０は、圧電フィルム１２を、１層のみ、有する。この際においては、圧電フィルム１２の平面形状とは、圧電フィルム１２の主面の形状であるのは、上述のとおりである。

上述した本発明の第１の態様の圧電素子と同様、本発明の圧電スピーカー７０においても、圧電フィルム１２の突出部７０ａに外部電源と電極層とを接続する接続部が設けられる。例えば、図８に示す例と同様に、この突出部７０ａの保護層に貫通孔を設け、この貫通孔に導電性材料を充填して、引出配線６２および引出配線６４を接続する。あるいは、図９に示す例と同様に、突出部７０ａの保護層を剥離して、保護層と電極との間に引出配線６２および引出配線６４を挿入する。

【０１３７】

上述のように、圧電フィルム１２は、薄く、良好な可撓性を有するものであるが、圧電フィルム１２が有する剛性、および、振動板４６の剛性によっては、１枚の圧電フィルム１２でも、十分に振動板４６を振動させて、好適に音声を出力できる。

【０１３８】

本発明の圧電スピーカーにおいて、外部電源と接続するための接続部は、図８および図９に示す接続部に制限はされず、上述した本発明の圧電素子と同様、公知の各種の構成の接続部が利用可能である。

上述した本発明の圧電素子と同様、本発明の圧電スピーカーにおいても、第１電極２４の接続部４０と、第２電極２６の接続部４０との、圧電フィルムの面方向の位置関係にも、制限はない。

さらに、本発明の圧電スピーカーの圧電フィルム１２も、平面形状は長方形に限定はされず、各種の形状が利用可能であり、多角形の最も短い辺以外の辺において、上述のように、突出部および接続部を設ければよい。この際において、突出部は、多角形の同じ辺に設けるのが好ましく、最も長い辺に設けるのがより好ましいは、上述のように、本発明の圧電素子の第１の態様における突出部と同様である。

【０１３９】

他方、本発明の圧電素子において、積層されない１枚の圧電フィルムのみを有する圧電素子は、それ自体が振動することで音を出力する、圧電スピーカーなどの電気音響変換フィルムとして利用可能である。

【０１４０】

図１６に、上述した積層されない１枚の圧電フィルム１２のみを有する圧電素子４２を利用する、平板型の圧電スピーカーの一例を概念的に示す。

この圧電スピーカー５０は、圧電素子４２（圧電フィルム１２）を、電気信号を振動エネルギーに変換する振動板として用いる、平板型の圧電スピーカーである。なお、圧電スピーカー５０は、マイクロフォンおよびセンサー等として使用することも可能である。さらに、この圧電スピーカーは、振動センサーとしても利用可能である。

【０１４１】

圧電スピーカー５０は、圧電素子４２と、ケース５２と、粘弾性支持体５６と、枠体５８とを有して構成される。

ケース５２は、プラスチック等で形成される、一面が開放する薄い筐体である。筐体の形状としては、直方体状、立方体状、および、円筒状とが例示される。

また、枠体５８は、中央にケース５２の開放面と同形状の貫通孔を有する、ケース５２の開放面側に係合する枠材である。

粘弾性支持体５６は、適度な粘性と弾性を有し、圧電素子４２を支持すると共に、圧電フィルムのどの場所でも一定の機械的バイアスを与えることによって、圧電素子４２の伸縮運動を無駄なく前後運動に変換させるためのものである。一例として、羊毛のフェルトおよびＰＥＴ等を含んだ羊毛のフェルトなどの不織布、ならびに、グラスウール等が例示される。なお、フィルムの前後運動とは、フィルムの面に垂直な方向の運動である。

【０１４２】

圧電スピーカー５０は、ケース５２の中に粘弾性支持体５６を収容して、圧電素子４２によってケース５２および粘弾性支持体５６を覆う。その上で、圧電素子４２の周辺を枠体５８によってケース５２の上端面に押圧した状態で、枠体５８をケース５２に固定することで、構成される。

【０１４３】

ここで、圧電スピーカー５０においては、粘弾性支持体５６は、高さ（厚さ）がケース５２の内面の高さよりも厚い。

そのため、圧電スピーカー５０では、粘弾性支持体５６の周辺部では、粘弾性支持体５６が圧電素子４２によって下方に押圧されて厚さが薄くなった状態で、保持される。また、同じく粘弾性支持体５６の周辺部において、圧電素子４２の曲率が急激に変動し、圧電素子４２に、粘弾性支持体５６の周辺に向かって低くなる立上がり部が形成される。さらに、圧電素子４２の中央領域は四角柱状の粘弾性支持体５６に押圧されて、（略）平面状になっている。

【０１４４】

圧電スピーカー５０は、第１電極２４および第２電極２６への駆動電圧の印加によって、圧電素子４２が面方向に伸長すると、この伸長分を吸収するために、粘弾性支持体５６の作用によって、圧電素子４２の立上がり部が、立ち上がる方向に角度を変える。その結果、平面状の部分を持つ圧電素子４２は、上方に移動する。

逆に、第２電極２６および第１電極２４への駆動電圧の印加によって、圧電素子４２が面方向に収縮すると、この収縮分を吸収するために、圧電素子４２の立上がり部が、倒れる方向すなわち圧電素子４２が平面に近くなる方向に角度を変える。その結果、平面状の部分を持つ圧電素子４２は、下方に移動する。

圧電スピーカー５０は、この圧電素子４２の振動によって、音を発生する。

【０１４５】

なお、本発明の圧電素子４２において、伸縮運動から振動への変換は、圧電素子４２を湾曲させた状態で保持することでも達成できる。

従って、本発明の圧電素子４２は、図１６に示すような剛性を有する平板状の圧電スピーカー５０ではなく、単に湾曲状態で保持することでも、可撓性を有する圧電スピーカー、および、振動センサー等として機能させることができる。

【０１４６】

このような圧電素子４２を利用する圧電スピーカーは、良好な可撓性を生かして、例えば丸めて、または、折り畳んで、カバン等に収容することが可能である。そのため、圧電素子４２によれば、ある程度の大きさであっても、容易に持ち運び可能な圧電スピーカーを実現できる。

また、上述のように、圧電素子４２は、柔軟性および可撓性に優れ、しかも、面内に圧電特性の異方性が無い。そのため、圧電素子４２は、どの方向に屈曲させても音質の変化が少なく、しかも、曲率の変化に対する音質変化も少ない。従って、圧電素子４２を利用する圧電スピーカーは、設置場所の自由度が高く、また、上述したように、様々な物品に取り付けることが可能である。例えば、圧電素子４２を、湾曲状態で洋服など衣料品およびカバンなどの携帯品等に装着することで、いわゆるウェアラブルなスピーカーを実現できる。

【０１４７】

さらに、本発明の圧電素子は、圧電フィルムを、複数層、積層した構成、および、積層されない１枚の圧電フィルムのみを持つ構成、共に、自身が振動または伸縮させられることで電気を出力する振動センサーなど、各種の用途に利用可能である。

【０１４８】

より具体的には、本発明の圧電素子は、一例として、各種のセンサー、音響デバイス、超音波トランスデューサー、アクチュエータ、制振材、および、振動発電装置として、好適に使用することができる。

センサーとしては、例えば、超音波センサー、圧力センサー、触覚センサー、歪みセン

10

20

30

40

50

サー、および、振動センサー等が例示される。

音響デバイスとしては、例えば、マイクロフォン、ピックアップ、スピーカーおよびエキサイター等が例示される。より具体的な用途としては、ノイズキャンセラー、人工声帯、害虫・害獣侵入防止用ブザー、家具、壁紙、サイネージ等が例示される。

超音波トランスデューサとしては、例えば、超音波探触子およびハイドロホン等が例示される。

アクチュエータとしては、例えば、水滴付着防止、輸送、攪拌、研磨およびハプティクス等に用いるアクチュエータが例示される。ハプティクスとしては、自動車、スマートフォン、および、ゲーム等が例示される。

制振材としては、例えば、容器、乗り物、建物、ならびに、スキーおよびラケットなどのスポーツ用具等に用いる制振材（ダンパー）が例示される。

さらに、振動発電装置としては、例えば、道路、床、マットレス、椅子、靴、タイヤ、車輪およびパソコンキーボード等に適用して用いる振動発電装置が例示される。

【0149】

上述のように、本発明の圧電素子および圧電スピーカーにおいて、接続部の構成は、図8および図9に示す例に制限はされない。

他の好ましい例として、図24および図25に示すように、例えば突出部10aなどの接続部の形成位置において、圧電フィルム12の端部に圧電体層20を設けずに、第1電極24および第2電極26をむき出しにして、此处を接続部としてもよい。すなわち、電極層をむき出しにして、むき出しになった第1電極24に引出配線62を、むき出しになった第2電極26に引出配線64を、それぞれ、接続してもよい。

図9に示す例と同様に、本例においても、電極層と引出配線との接触部が、本発明における接続部となる。

また、圧電フィルム12の端部に圧電体層20を設けずに、第1電極24および第2電極26をむき出しにして、此处を接続部とする構成では、引出配線62およびむき出しになった第1電極24と、引出配線64およびむき出しになった第2電極26との間に、絶縁層を設けるのが好ましい。

【0150】

ここで、引出配線62および引出配線64と、圧電素子10（圧電フィルム12）の第1電極24および第2電極26との接続部は、電流密度が急激に上昇する部位であり、発熱しやすい。

そのため、引出配線と接続部とが接触する接触部は、面積が広い方が好ましい。すなわち、図9、ならびに、図24および図25に示す、引出配線と電極層とが、直接、接触する接続部であれば、電極層と引出配線との接触面積が広い方が好ましい。また、図3、図8および図13に示す、導電性材料40aを介して引出配線と電極層とを接続する接続部40であれば、導電性材料40aすなわち貫通孔と、引出配線との接触面積が広い方が好ましい。

以下の説明では、引出配線と接続部とが接触する接触部の面積を、単に、『引出配線と接続部との接触面積』ともいう。

引出配線と接続部との接触面積を広くすることにより、発熱を分散して、引出配線62および圧電フィルム12が、部分的に高温になることを防止できる。

【0151】

引出配線と接続部との接触面積は、広い方が好ましいが、制限はない。

ここで、引出配線と接続部との接触面積は、圧電フィルム12の面積に応じて設定するのが好ましい。引出配線と接続部との好ましい接触面積は、駆動電圧、電極層の厚さ、および、導電性材料40aの抵抗等にも影響を受けるが、一例として、引出配線と接続部との接触面積は、圧電フィルム12の面積の0.03%以上が好ましい。引出配線と接続部との接触面積を、圧電フィルム12の面積の0.03%以上とすることにより、発熱を好適に分散して、引出配線62および圧電フィルム12が、部分的に高温になることを好適に防止できる。

10

20

30

40

50

引出配線と接続部との接触面積は、圧電フィルム 12 の面積の 0.2% 以上がより好ましく、0.6% 以上がさらに好ましい。

なお、圧電フィルム 12 の面積とは、具体的には、圧電フィルム 12 の表面および裏面のいずれか一方の主面（最大面）の面積である。また、引出配線と接続部との接触面積は、圧電フィルム 12 の面積に応じて、圧電フィルム 12 の面積に比例するように広くするのが好ましい。

【0152】

なお、圧電フィルム 12 の面積とは、図 1 等に応示するように、圧電フィルム 12 を折り返して積層した圧電素子 10 の場合には、圧電フィルム 12 を折り返さない状態、すなわち、圧電フィルム 12 を広げた状態における圧電フィルム 12 の面積である。また、図 12 に示すような複数枚のカットシート状の圧電フィルム 12 を積層した圧電素子、および、図 13 に示すように 1 枚の圧電フィルム 12 のみを有する圧電素子の場合、ならびに、本発明の圧電スピーカーの場合には、個々の圧電フィルムの面積である。

また、図 9、ならびに、図 24 および図 25 に示す、引出配線と電極層とが、直接、接触する接続部の場合には、引出配線と接続部との接触面積は、電極層と引出配線との接触面積である。他方、図 3、図 8 および図 13 に示す、導電性材料 40a を介して引出配線と電極層とを接続する接続部 40 の場合には、引出配線と接続部 40 との接触面積は、貫通孔と引出配線との接触面積である。ここで、後述するように、複数の接続部 40 を有する場合には、全ての貫通孔と引出配線との接触面積の合計を、引出配線と接続部との接触面積とする。

【0153】

図 9、ならびに、図 24 および図 25 に示す例では、引出配線 62 および引出配線 64 の幅が広いと、接続部と引出配線との接触面積、すなわち、電極層と引出配線との接触面積も広くなる。

しかしながら、図 26 に概念的に示すように、圧電体層 20 を設けずに、第 1 電極 24 および第 2 電極 26 をむき出しにした場合でも、図 10 と同様に、突出部 10a-1 および突出部 10a-2 を設け、此处に引出配線 62 および引出配線 64 を設けた場合は、突出部の幅によって、引出配線の幅が制限を受ける。そのため、突出部を設けた場合には、必ずしも、引出配線 62 および引出配線 64 の幅が広いと、電極層と引出配線との接触面積も広くなるとは言い切れない。つまり、突出部を設け、突出部に接続部を形成して引出配線を接続した場合には、突出部の幅も重要となる。

なお、上述のように、突出部の幅とは、突出部が形成される辺の、延在方向の長さである。

この点を考慮しても、上述のように、突出部が設けられる辺の長さを L 、突出部の幅を L_a とした際に、突出部の幅 L_a が、辺の長さ L の 10% 以上であるのが好ましく、50% 以上であるのがより好ましく、70% 以上であるのがさらに好ましく、90% 以上であるのが特に好ましく、辺の長さ L と同じ、または、それ以上であるのが最も好ましい。

【0154】

圧電フィルム 12 の圧電体層 20 は、好ましい厚さが $10 \sim 300 \mu\text{m}$ であり、非常に薄い。そのため、ショートを防止するためには、引出配線は、圧電フィルム 12 の面方向に異なる位置に設けるのが好ましい。すなわち、引出配線 62 と引出配線 64 とは、圧電フィルム 12 の面方向にオフセットして設けるのが好ましい。

加えて、圧電フィルムを折り返して積層した積層圧電素子において、発熱部となる引出配線同士は、引出配線の幅方向に、できるだけ離間しているのが好ましい。すなわち、図 23 に概念的に示すように、引出配線 62 と引出配線 64 との幅方向の間隔 b が広い方が好ましい。

なお、引出配線の幅とは、上述した突出部の幅と同様に、引出配線が設けられる辺の延在方向の長さである。

【0155】

上述のように、本発明の圧電素子および圧電スピーカー（圧電フィルム）は、平面形状

における多角形の最も狭い辺以外の辺に対応して、接続部を設ける。例えば、圧電素子（圧電フィルム）の平面形状が長方形である場合には、長辺から電流を流すように、長辺に対応して接続部を設け、引出配線を接続する。

そのため、本発明の圧電素子では、引出配線の幅、および、幅方向の間隔を広くすることができ、発熱も好適に抑制できる。

【0156】

本発明の圧電素子および圧電スピーカーにおいて、引出配線の幅には、制限はないが、引出配線と接続部との接触面積を広くし易い点で、広い方が好ましい。

本発明の圧電素子では、引出配線での発熱を抑制するために、引出配線の電流線密度を 1 A/cm 以下とするのが好ましい。引出配線の電流線密度とは、引出配線に流れ込む電流の電流値 $[A]$ を、引出配線の幅 $[cm]$ で割った値である。

本発明の圧電素子および圧電スピーカーにおいて、引出配線の幅は、圧電素子に設けられる接続部に対応する辺の長さ、すなわち、引出配線が設けられる辺の長さの 10% 以上（ $1/10$ 以上）が好ましく、 20% 以上がより好ましく、 30% 以上がさらに好ましい。例えば、図23に示すように、圧電素子において、引出配線64が設けられる辺の長さが 20 cm である場合には、引出配線62および引出配線64の幅 a を 2 cm 以上とするのが好ましい。

圧電フィルム12が大きくなるほど、圧電フィルム12の静電容量が大きくなる（インピーダンスが小さくなる）ため、同じ印加電圧に対する圧電フィルム12に流れる電流量は多くなる。しかしながら、引出配線の幅を、引出配線が設けられる辺の 10% 以上とすることにより、引出配線の電流線密度を、安定的に 1 A/cm 以下にできる。

また、電極層の厚さを $0.1\text{ }\mu\text{ m}$ 以上にするすることで、引出配線に流れる電流量を引出配線の断面積で割った電流密度を $1 \times 10^5\text{ A/cm}^2$ 以下にできるので好ましい。

【0157】

本発明の圧電素子および圧電スピーカーにおいて、引出配線の幅方向の間隔にも、制限はないが、上述のように、広い方が好ましい。

引出配線の幅方向の間隔は、引出配線が設けられる辺の長さの 25% 以上（ $1/4$ 以上）が好ましく、 30% 以上がより好ましく、 40% 以上がさらに好ましい。すなわち、図23に示す例であれば、圧電素子において、引出配線が設けられる辺の長さが 20 cm であるので、引出配線62と引出配線64との幅方向の間隔 b を 5 cm 以上とするのが好ましい。

【0158】

なお、図23は、図9、ならびに、図24および図25に示す接続部を例にしているが、以上の点に関しては、図3、図8および図13に示す、貫通孔に導電性材料40aを充填した接続部40でも同様である。

この接続部40において、導電性材料40aは、上述した銀ペーストなどの金属ペースト等のみならず、非導電性のペースト状の材料に、導電性材料をフレークおよび粒子等のフィラーとして含有する材料も含む。

【0159】

上述のように、保護層に貫通孔を設けて、貫通孔に導電性材料40aを終点した接続部40は、1つの引出配線に対して、複数の接続部を設けてもよい。

例えば、図27に概念的に示すように、引出配線62および引出配線64の、それぞれに対して、5つの接続部40を設けてもよい。

ここで、本発明の圧電素子においては、接続部40（貫通孔）と引出配線との接触面積が広い方が好ましい。また、発熱抑制の点では、引出配線は、幅が広い方が好ましい。これに対応して、図28に概念的に示すように、図27における5つの接続部を、引出配線の幅方向に配列して、接続部40と引出配線との接触面積を増やすと共に、引出配線の幅を広くするのが好ましい。

また、同じ引出配線の幅でも、図29に概念的に示すように、接続部40の数を増加して、接続部40と引出配線との接触面積を増やすのが、より好ましい。

さらには、図30に概念的に示すように、引出配線62と引出配線64とが、圧電フィルム12の面方向に重複しないように、できるだけ引出配線の幅を広くし、引出配線と圧電素子（突出部10a）との重複部において、出来るだけ多数の接続部40を設けるのが、さらに好ましい。

【0160】

なお、図27～図30に示す例は、圧電素子10が突出部10aを有する例であるが、以上の点に関しては、図13に示す圧電素子のように、突出部を有さないで接続部40を形成する構成でも、同様である。

【0161】

以上、本発明の圧電素子および圧電スピーカーについて詳細に説明したが、本発明は上述の例に限定はされず、本発明の要旨を逸脱しない範囲において、各種の改良や変更を行ってもよいのは、もちろんである。

【実施例】

【0162】

以下、本発明の具体的実施例を挙げ、本発明についてより詳細に説明する。

【0163】

〔圧電フィルムの作製〕

上述した図5～図7に示す方法によって、図4に示すような圧電フィルムを作製した。

まず、下記の組成比で、シアノエチル化PVA（信越化学工業社製、CR-V）をメチルエチルケトン（MEK）に溶解した。その後、この溶液に、PZT粒子を下記の組成比で添加して、プロペラミキサー（回転数2000rpm）で分散させて、圧電体層を形成するための塗料を調製した。

- ・PZT粒子・・・・・・・・・・1000質量部
- ・シアノエチル化PVA・・・・・・・・100質量部
- ・MEK・・・・・・・・・・600質量部

なお、PZT粒子は、市販のPZT原料粉を1000～1200℃で焼結した後、これを平均粒径3.5μmになるように解砕および分級処理したものをを用いた。

【0164】

一方、幅が23cm、厚さ4μmの長尺なPETフィルムに、厚さ0.1μmの銅薄膜を真空蒸着してなる、図5に示すようなシート状物を用意した。すなわち、本例においては、第2電極および第1電極は、厚さ0.1μmの銅蒸着薄膜であり、第2保護層および第1保護層は厚さ4μmのPETフィルムとなる。

なお、プロセス中、良好なハンドリングを得るために、PETフィルムには厚さ50μmのセパレータ（仮支持体PET）付きのものをを用い、薄膜電極および保護層の熱圧着後に、各保護層のセパレータを取り除いた。

【0165】

このシート状物の第1電極（銅蒸着薄膜）の上に、スライドコータを用いて、先に調製した圧電体層を形成するための塗料を塗布した。塗料は、乾燥後の塗膜の膜厚が40μmになるように、塗布した。

次いで、シート状物の上に塗料を塗布した物を、120℃のオーブンで加熱乾燥することでMEKを蒸発させた。これにより、図6に示すような、PET製の第1保護層の上に銅製の第1電極を有し、その上に、厚さが40μmの圧電体層を形成してなる積層体を作製した。

【0166】

この積層体の圧電体層に、公知の方法で分極処理を施した。分極処理は、分極方向が圧電体層の厚さ方向となるように行った。

【0167】

分極処理を行った積層体の上に、図7に示すように、PETフィルムに銅薄膜を真空蒸着してなる同じシート状物を積層した。

次いで、積層体とシート状物との積層体を、ラミネータ装置を用いて120℃で熱圧着

10

20

30

40

50

することで、圧電体層と第2電極および第1電極とを接着して、圧電体層を第2電極と第1電極とで挟持し、この積層体を、第2保護層と第1保護層とで挟持した、図4に示すような圧電フィルムを作製した。

【0168】

〔実施例1〕

作製した圧電フィルムを、 20×27 cmに切り出した。

この圧電フィルムを、27 cmの方向に、5 cm間隔で、4回、折り返した。さらに、圧電フィルムが積層された領域において、隣接する圧電フィルムを貼着層で貼着した。なお、貼着層は、厚さ $25 \mu\text{m}$ の接着シート（トーヨーケム社製、L I O E L M T S U O 0 4 1 S I）を用いた。なお、貼着層は、これ以外の例も同じ物を用いた。

10

これにより、圧電フィルムを折り返して5層を積層した、平面形状が 5×20 cmの長方形で、長辺から2 cm突出する突出部を有する、図1～図3に示すような積層体を作製した。従って、本例では、折り返しの稜線は、平面形状の長方形の長辺と一致する。

作製した積層体の突出部の保護層両面に、炭酸ガスレーザによって直径5 mmの貫通孔を形成した。次いで、貫通孔に銀ペーストを充填することで、第1電極および第2電極と、外部電源とを接続するための接続部を形成して、図1～3に示すような圧電素子を作製した。接続部は、円の中心が長方形の長手方向の端部から9 cm、短手方向の端部から1 cmの位置とした。従って、長方形の長手方向の接続部の間隔は2 cmである。

切り出した圧電フィルムの形状（展開図）、作製した圧電素子の平面図および側面図を、図18に概念的に示す。

20

接続部に、引出配線として、銅箔テープを貼着した。

【0169】

〔比較例1〕

作製した圧電フィルムを、 102×5 cmに切り出した。

この圧電フィルムを、102 cmの方向に、20 cm間隔で、4回、折り返した。圧電フィルムが積層された領域において、隣接する圧電フィルムを貼着層で貼着した。

これにより、圧電フィルムを折り返して5層を積層した、平面形状が 5×20 cmの長方形で、短辺から2 cm突出する突出部を有する積層体を作製した。従って、本例では、折り返しの稜線は、平面形状の長方形の短辺と一致する。

作製した積層体の突出部の保護層両面に、実施例1と同様に第1電極および第2電極と外部電源とを接続するための接続部を形成して、圧電素子を作製した。接続部は、円の中心が長方形の短手方向の端部から1 cm、長手方向の端部から1 cmの位置とした。

30

切り出した圧電フィルムの形状（展開図）、作製した圧電素子の平面図および正面図を、図19に概念的に示す。

接続部に、引出配線として、銅箔テープを貼着した。

【0170】

〔比較例2〕

作製した圧電フィルムを、 25×20 cmの長方形（本体）で、かつ、一方の長辺の長手方向の端部に、 2×5 cmの長方形の突出部を有する形状に切り出した。突出部の長辺および短辺は、本体に一致させた。

40

この圧電フィルムを、25 cmの方向に、5 cm間隔で、4回、折り返した。圧電フィルムが積層された領域において、隣接する圧電フィルムを貼着層で貼着した。

これにより、圧電フィルムを折り返して5層を積層した、平面形状が 5×20 cmの長方形で、短辺から2 cm突出する突出部を有する積層体を作製した。従って、本例では、折り返しの稜線は、平面形状の長方形の長辺と一致する。

作製した積層体の突出部の保護層両面に、実施例1と同様に第1電極および第2電極と外部電源とを接続するための接続部を形成して、圧電素子を作製した。接続部は、円の中心が長方形の短手方向の端部から1 cm、長手方向の端部から1 cmの位置とした。

切り出した圧電フィルムの形状（展開図）、作製した圧電素子の平面図、側面図および正面図を、図20に概念的に示す。

50

接続部に、引出配線として、銅箔テープを貼着した。

【0171】

〔実施例2〕

作製した圧電フィルムを、 5×100 cmの長方形（本体）で、かつ、一方の長辺の長手方向の端部に、 2×20 cmの長方形の突出部を有する形状に切り出した。突出部の長辺および短辺は、本体に一致させた。

この圧電フィルムを、 100 cmの方向に、 20 cm間隔で、4回、折り返した。圧電フィルムが積層された領域において、隣接する圧電フィルムを貼着層で貼着した。

これにより、圧電フィルムを折り返して5層を積層した、平面形状が 5×20 cmの長方形で、長辺から 2 cm突出する突出部を有する積層体を作製した。従って、本例では、折り返しの稜線は、平面形状の長方形の短辺と一致する。

作製した積層体の突出部の保護層両面に、実施例1と同様に第1電極および第2電極と外部電源とを接続するための接続部を形成して、圧電素子を作製した。接続部は、円の中心が長方形の長手方向の端部から 9 cm、短手方向の端部から 1 cmの位置とした。従って、長方形の長手方向の接続部の間隔は 2 cmである。

切り出した圧電フィルムの形状（展開図）、作製した圧電素子の平面図、側面図および正面図を、図21に概念的に示す。

接続部に、引出配線として、銅箔テープを貼着した。

【0172】

〔実施例3〕

実施例1において、突出部に形成する接続部の位置を、長手方向の端部から 1 cmの位置に変更した以外は、実施例1と同様に、圧電素子を作製し、突出部に接続部を形成し、接続部に引出配線として銅箔テープを貼着した。従って、長方形の長手方向の接続部の間隔は 18 cmである。

切り出した圧電フィルムの形状（展開図）、作製した圧電素子の側面図および正面図を、図22に概念的に示す。

【0173】

〔評価〕

作製した圧電素子について、インピーダンス、音圧、および、静電容量を測定した。

【0174】

＜インピーダンスの測定＞

作製した圧電素子の引出し配線に、インピーダンスアナライザを接続し、各圧電素子の周波数 2 kHz、 5 kHz、 10 kHz、 15 kHz、および、 20 kHzにおけるインピーダンスを測定した。測定電圧は 10 V rmsとした。

結果を下記の表1に示す。

【0175】

【表1】

表 1	折返し の稜線	突出部	接続部の 間隔	インピーダンス[Ω]				
				2kHz	5kHz	10kHz	15kHz	20kHz
実施例1	長辺側	長辺側	狭い	73	31	15	10	8
比較例1	短辺側	短辺側	狭い	79	34	18	13	11
比較例2	長辺側	短辺側	狭い	83	35	18	12	9
実施例2	短辺側	長辺側	狭い	67	29	15	11	8
実施例3	長辺側	長辺側	広い	71	30	15	10	7

表1に示されるように、平面形状である長方形の長辺から突出する突出部を有し、この突出部に外部電源との接続部を有する本発明の圧電素子は、長方形の短辺から突出する突出部を有する比較例の圧電素子に比して、インピーダンスを低く抑えることが出来る。

また、実施例 1 と実施例 3 とに示されるように、本発明においては、接続部の間隔を変えてもインピーダンスは変化しない。

【0176】

＜音圧の測定＞

振動板として、厚さが $300\text{ }\mu\text{m}$ で、 $30\times 70\text{ cm}$ の PET フィルムを用意した。

長手方向と短手方向とを一致させて、この振動板の中央に、作製した圧電素子を貼着した。なお、振動板と圧電素子との貼着は、厚さ $30\text{ }\mu\text{m}$ の両面テープ（日東電工社製、No. 5603）を用いて行った。

$30\times 70\text{ cm}$ の振動板の短辺を支持して、振動板を立設した。振動板（PET フィルム）側において、圧電素子の中心から法線方向（PET フィルムに垂直な方向）に 1 m の位置に、マイクロホンを設置し、積層圧電素子を駆動して、周波数 2 kHz 、 5 kHz 、 10 kHz 、 15 kHz 、および、 20 kHz における音圧を測定した。

積層圧電素子への入力信号は、 $20\sim 20\text{ kHz}$ のスイープサイン波（ 50 Vrms ）とした。

結果を下記の表 2 に示す。

【0177】

【表 2】

表 2	折返しの 稜線	突出部	接続部の 間隔	音圧[dB]				
				2kHz	5kHz	10kHz	15kHz	20kHz
実施例1	長辺側	長辺側	狭い	86	72	76	83	84
比較例1	短辺側	短辺側	狭い	86	70	77	75	73
比較例2	長辺側	短辺側	狭い	85	70	74	77	77
実施例2	短辺側	長辺側	狭い	86	74	76	81	80
実施例3	長辺側	長辺側	広い	86	75	73	84	83

表 2 に示されるように、平面形状である長方形の長辺から突出する突出部を有し、この突出部に外部電源との接続部を有する本発明の圧電素子は、長方形の短辺から突出する突出部を有する比較例の圧電素子に比して、特に 15 kHz 以上の高周波数領域において、より好適に振動板を振動させて、高い音圧を得ることができる。

また、実施例 1 と実施例 3 とに示されるように、本発明においては、接続部の間隔を変えても音圧は変化しない。

【0178】

＜静電容量＞

LCR メータを圧電素子の引出配線に接続し、各圧電素子の静電容量を測定した。

結果を下記の表 3 に示す。

【0179】

【表 3】

表 3	折返しの 稜線	突出部	接続部の 間隔	静電容量 [μF]
実施例1	長辺側	長辺側	狭い	1.05
比較例1	短辺側	短辺側	狭い	1
比較例2	長辺側	短辺側	狭い	1.01
実施例2	短辺側	長辺側	狭い	1.06
実施例3	長辺側	長辺側	広い	1.07

表 3 に示されるように、平面形状である長方形の長辺から突出する突出部を有し、この突出部に外部電源との接続部を有する本発明の圧電素子は、周波数 F [Hz] におけるインピーダンス [Ω] が『 $1 / (6.28 \times F \times C) + 1$ 』以下を満たすので、高い音圧が得られる。

表 4 に、実施例 3 を代表例として、2 ～ 20 kHz の周波数における、インピーダンスの実測値 [Ω]、『 $1 / (6.28 \times F \times C) + 1$ 』におけるインピーダンスの閾値 [Ω]、および、インピーダンスの閾値から実測値を減じた値の具体例を示す。なお、実施例 3 において、圧電素子の静電容量は $1.07 \mu\text{F}$ (表 3 参照) である。また、表 4 には、音圧の測定結果も併記する。

インピーダンスの閾値から実測値を減じた値が正であれば、実測値は『 $1 / (6.28 \times F \times C) + 1$ 』以下である。

【0180】

【表 4】

表 4		周波数				
		2 kHz	5 kHz	10 kHz	15 kHz	20 kHz
インピーダンス	実測値 [Ω]	71	30	15	10	7
	閾値 [Ω]	75.4	30.8	15.9	10.9	8.4
	閾値 - 実測値 [Ω]	4.4	0.8	0.9	0.9	1.4
音圧 [dB]		86	75	73	84	83

表 4 に示すように、実施例 3 の圧電素子は、周波数 2 ～ 20 kHz の全域においてインピーダンスが『 $1 / (6.28 \times F \times C) + 1$ 』以下である。その結果、実施例 3 の圧電素子は、周波数 2 ～ 20 kHz の全域で、高い音圧を出力している。

なお、本発明の圧電素子および圧電スピーカーの圧電フィルムは、以下の実施例 4 以降も含め、その他の例も、全て、周波数 2 ～ 20 kHz におけるインピーダンス [Ω] は、同様に『 $1 / (6.28 \times F \times C) + 1$ 』以下であった。

【0181】

【実施例 4】

実施例 3 において、圧電フィルムを $20 \times 29 \text{ cm}$ に切り出し、折り返しの最上段および最下段に、2 cm の突出部を形成した以外は、実施例 3 と同様に、圧電素子を作製し、突出部に接続部を形成し、接続部に引出配線として銅箔テープを貼着した。

すなわち、この圧電素子は、平面形状が $20 \times 5 \text{ cm}$ の長方形で、両方の長辺から突出する 2 cm の突出部を有する。

切り出した圧電フィルムの形状 (展開図)、作製した圧電素子の側面図および平面図を、図 32 に概念的に示す。

作製した圧電素子について、先と同様に、音圧を測定した。結果を下記の表 5 に示す。なお、表 5 には、参考として、実施例 3 の音圧測定結果も併記する。

【0182】

【表 5】

表 5			周波数				
			突出部	2 kHz	5 kHz	1 0 kHz	1 5 kHz
音压 [dB]	実施例 4	長辺	8 6	7 5	7 3	8 7	8 3
	実施例 3	長辺	8 6	7 5	7 3	8 4	8 3

表 5 に示すように、突出部を形成する辺を、平面形状の別の辺にしても、長辺に突出部を設けることにより、高い音圧を出力できる圧電素子を得られる。

【0183】

【実施例 5】

実施例 3 において、20 cm 側を半分にして 10 × 27 cm に圧電フィルムを切り出し、27 cm の方向に 5 cm 間隔で折り返した以外は、実施例 3 と同様に、圧電素子を作製し、突出部に接続部を形成し、接続部に引出配線として銅箔テープを貼着した。従って、この圧電素子の平面形状は 10 × 5 cm の長方形で、長辺から突出する 2 cm の突出部を有する。

切り出した圧電フィルムの形状（展開図）、作製した圧電素子の側面図および平面図を、図 33 に概念的に示す。

〔比較例 5〕

比較例 1 において、圧電フィルムを 52 × 5 cm に切り出し、52 cm の方向に半分の 10 cm 間隔で折り返した以外は、比較例 1 と同様に、圧電素子を作製し、突出部に接続部を形成し、接続部に引出配線として銅箔テープを貼着した。従って、この圧電素子の平面形状は 10 × 5 cm の長方形で、短辺から突出する 2 cm の突出部を有する。

切り出した圧電フィルムの形状（展開図）、作製した圧電素子の平面図および正面図を、図 34 に概念的に示す。

【0184】

実施例 5 および比較例 5 で作製した圧電素子について、先と同様に、音圧を測定した。結果を、下記の表 6 に示す。

【表 6】

表 6		周波数					
		突出部	2 kHz	5 kHz	10 kHz	15 kHz	20 kHz
音圧 [dB]	実施例 5	長辺	90	90	78	84	84
	比較例 5	短辺	88	88	75	80	82

表 6 に示すように、長辺から突出する突出部を有し、外部装置との接続部を設けた本発明の圧電素子は、短辺に突出部を設けて外部装置との接続を行う比較例の圧電素子に比して、高い音圧を得られている。

【0185】

〔実施例 6〕

圧電フィルムを 20 × 7 cm に切り出した。
切り出した圧電フィルムに、20 × 5 cm の貼着層を貼着した。貼着層は、20 cm の辺を合わせて、7 cm の辺から圧電フィルムが 2 cm 突出するように貼着した。貼着層は、厚さ 30 μm の両面テープ（日東電工社製、No. 5603）を用いた。

すなわち、この圧電フィルムの平面形状は 20 × 5 cm の長方形で、長辺から突出する 2 cm の突出部を有する。突出部に、実施例 3 と同様に、接続部を形成し、接続部に引出配線として銅箔テープを貼着した。圧電フィルムと貼着層との積層体の平面図および側面図を、図 35 に概念的に示す。

振動板として、厚さが 300 μm で、30 × 70 cm の PET フィルムを用意した。長手方向と短手方向とを一致させて、この振動板の中央に、貼着層を貼着して、圧電スピーカーを作製した（図 31 参照）。

〔比較例 6〕

圧電フィルムを 22 × 5 cm に切り出した。
切り出した圧電フィルムに、20 × 5 cm の貼着層を貼着した。貼着層は、5 cm の辺を合わせて、22 cm の辺から圧電フィルムが 2 cm 突出するように貼着した。貼着層は、先と同じ両面テープを用いた。

すなわち、この圧電フィルムの平面形状は 20 × 5 cm の長方形で、短辺から突出する 2 cm の突出部を有する。突出部に、比較例 1 と同様に、接続部を形成し、接続部に引出配線として銅箔テープを貼着した。圧電フィルムと貼着層との積層体の平面図および側面図を、図 36 に概念的に示す。

以下、実施例 6 と同様に振動板を貼着して、圧電スピーカーを作製した。

【0186】

実施例6および比較例6で作製した圧電スピーカーについて、先と同様の条件で、音圧を測定した。

結果を、下記の表7に示す。

【表7】

表 7		突出部	周波数				
			2 kHz	5 kHz	10 kHz	15 kHz	20 kHz
音圧 [dB]	実施例6	長辺	85	82	69	82	83
	比較例6	短辺	85	82	66	77	76

10

【0187】

【実施例7】

圧電フィルムを10×7cmに切り出した。

切り出した圧電フィルムに10×5cmの貼着層を貼着した。貼着層は、10cmの辺を合わせて、7cmの辺から圧電フィルムが2cm突出するように貼着した。貼着層は、先と同じ両面テープを用いた。

すなわち、この圧電フィルムの平面形状は10×5cmの長方形で、長辺から突出する2cmの突出部を有する。突出部に、実施例3と同様に、接続部を形成し、接続部に引出配線として銅箔テープを貼着した。圧電フィルムと貼着層との積層体の平面図および側面図を、図37に概念的に示す。

20

以下、実施例6と同様に振動板を貼着して、圧電スピーカーを作製した。

【比較例7】

圧電フィルムを12×5cmに切り出した。

切り出した圧電フィルムに10×5cmの貼着層を貼着した。貼着層は、5cmの辺を合わせて、12cmの辺から圧電フィルムが2cm突出するように貼着した。貼着層は、先と同じ両面テープを用いた。

すなわち、この圧電フィルムの平面形状は10×5cmの長方形で、短辺から突出する2cmの突出部を有する。突出部に、比較例1と同様に、接続部を形成し、接続部に引出配線として銅箔テープを貼着した。圧電フィルムと貼着層との積層体の平面図および正面図を、図38に概念的に示す。

30

以下、実施例6と同様に振動板を貼着して、圧電スピーカーを作製した。

【0188】

実施例7および比較例7で作製した圧電スピーカーについて、先と同様の条件で、音圧を測定した。

結果を、下記の表8に示す。

【表8】

表 8		突出部	周波数				
			2 kHz	5 kHz	10 kHz	15 kHz	20 kHz
音圧 [dB]	実施例7	長辺	79	76	70	82	80
	比較例7	短辺	80	77	64	73	72

40

表7および表8に示すように、1層の圧電フィルムをエキサイターとして用いる圧電スピーカーであっても、長辺から突出する突出部を有し、この突出部に外部装置との接続部を設けた本発明の圧電スピーカーは、短辺に突出部を設けて外部装置との接続を行う比較例の圧電スピーカーに比して、特に10kHz以上の高周波数領域において、高い音圧を得られている。

【0189】

【実施例8および実施例9】

50

実施例 4 と同様に圧電素子を作製し、突出部に接続部を形成し、接続部に引出配線として銅箔テープを貼着した。すなわち、この圧電素子は、平面形状が 20×5 cm の長方形で、両方の長辺から突出する 2 cm の突出部を有する（図 32 参照）。

作製した圧電素子について、先と同様に振動板を貼着して、音圧を測定した。

ただし、実施例 8 では、図 55 の上段に概念的に示すように、突出部を貼着しないように貼着層（斜線部）を設けて、振動板を貼着した。これに対し、実施例 9 では、図 55 の下段に示すように、突出部も含めて圧電素子の全面に貼着層を（斜線部）を設けて、振動板を貼着した。なお、図 55 においては、隣接する圧電フィルムを貼着する貼着層は、省略している。

結果を下記の表 9 に示す。

【0190】

【表 9】

表 9		周波数					
		突出部	2 kHz	5 kHz	10 kHz	15 kHz	20 kHz
音圧 [dB]	実施例 8	非貼着	86	75	73	87	83
	実施例 9	貼着	86	72	69	82	78

突出部は、共に長辺に設けている

表 9 に示すように、突出部を有する同じ圧電素子を用いた場合でも、突出部を振動板に貼着しない実施例 8 は、突出部を振動板に貼着した実施例 9 に比して、良好な音響特性を発現している。

【産業上の利用可能性】

【0191】

各種の部材に当接して音を発生させるエキサイター、電気音響変換器、および、振動センサー等、および、スピーカーとして、好適に利用可能である。

【符号の説明】

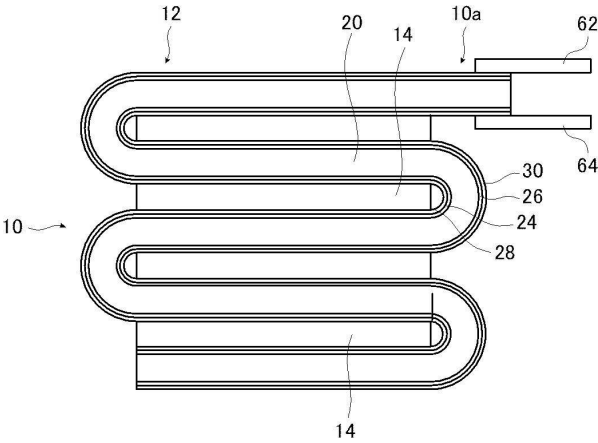
【0192】

- 10, 10A, 10B, 42 圧電素子
- 10a, 10a-1, 10a-2, 10Aa, 10Ba 突出部
- 10a-1 第 1 突出部
- 10a-2 第 2 突出部
- 12 圧電フィルム
- 12a, 12c シート状物
- 12b 積層体
- 14, 48 貼着層
- 20 圧電体層
- 24 第 1（薄膜）電極
- 26 第 2（薄膜）電極
- 28 第 1 保護層
- 28a, 30a 貫通孔
- 30 第 2 保護層
- 34 マトリックス
- 36 圧電体粒子
- 40 接続部
- 40a 導電性材料
- 46 振動板
- 50 圧電スピーカー
- 52 ケース
- 56 粘弾性支持体

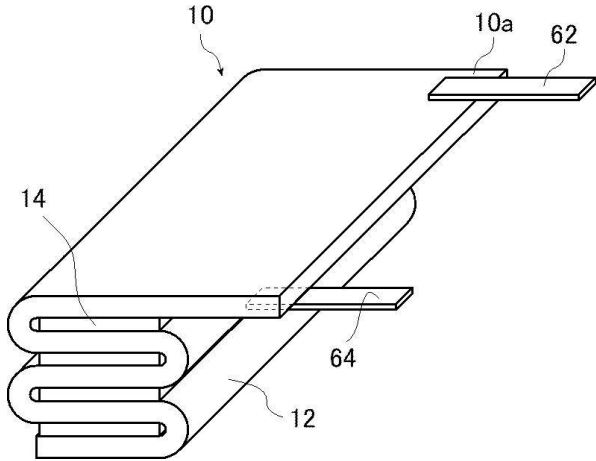
5 8 枠体
6 2 , 6 4 引出配線
7 0 圧電スピーカー
7 0 a 突出部

【図面】

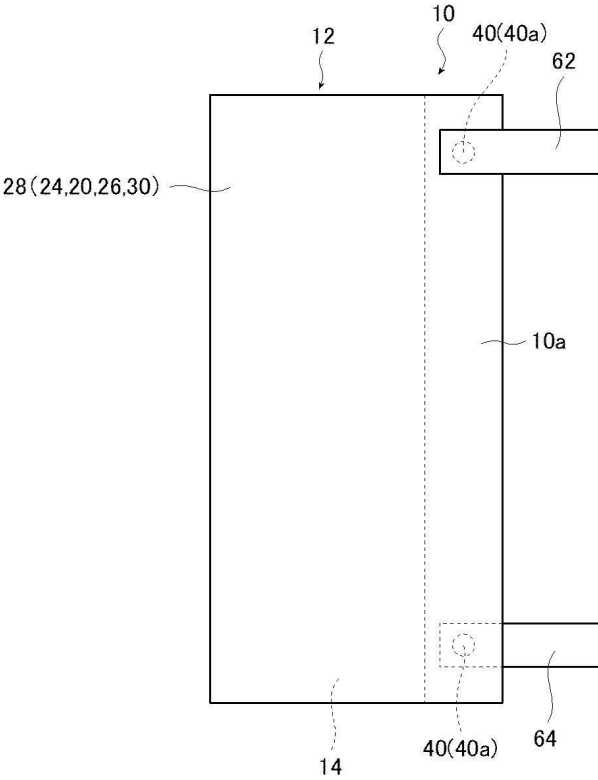
【図 1】



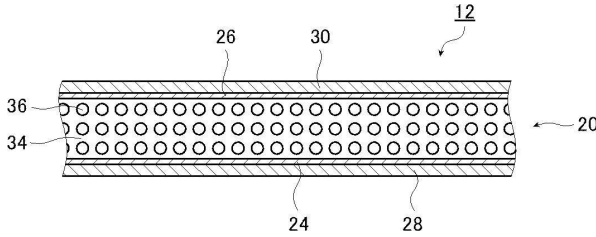
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

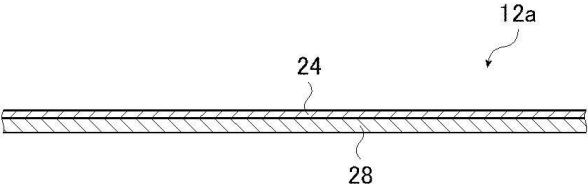
20

30

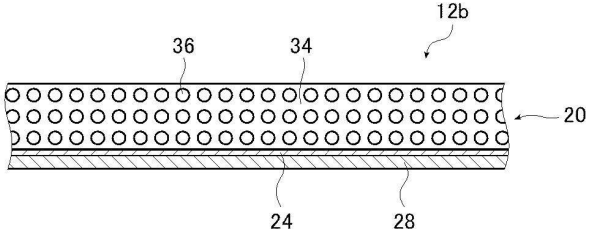
40

50

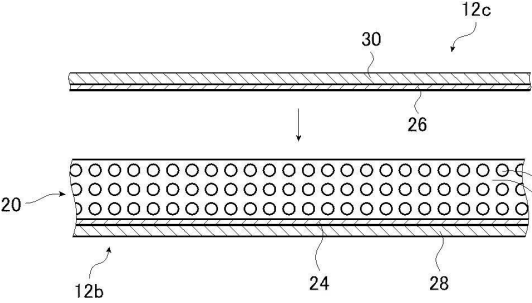
【図 5】



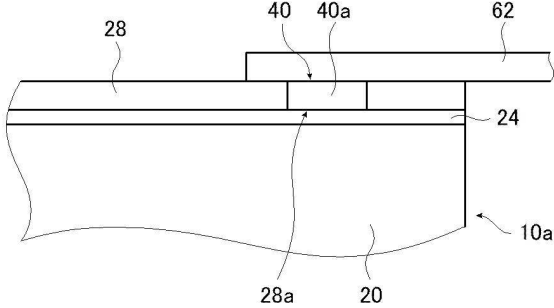
【図 6】



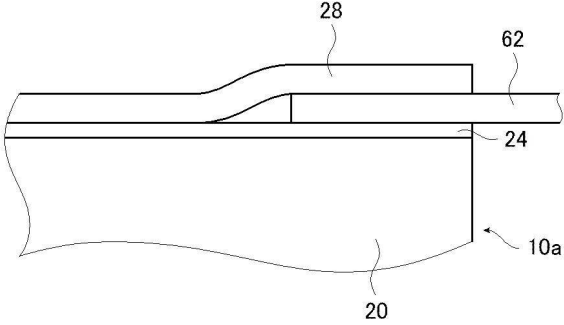
【図 7】



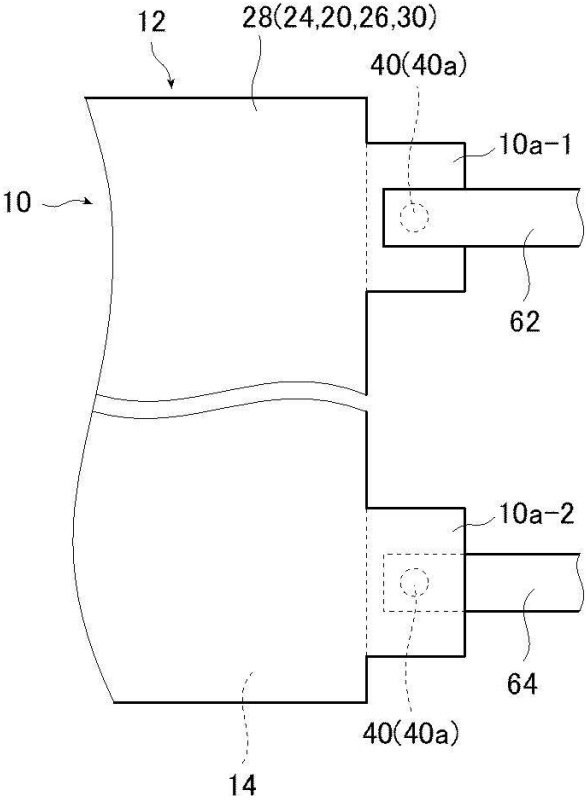
【図 8】



【図 9】



【図 10】



10

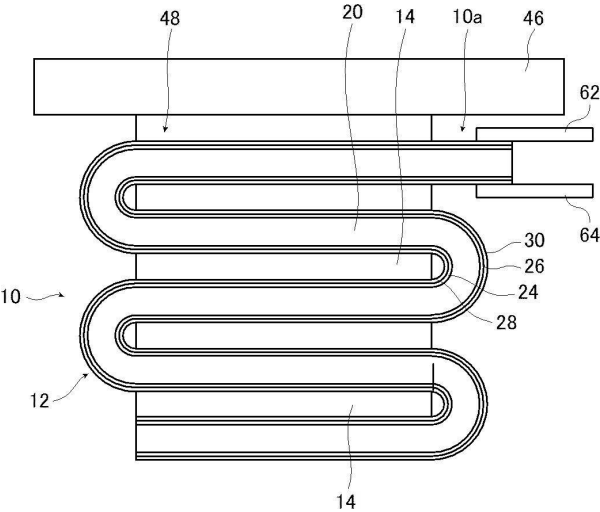
20

30

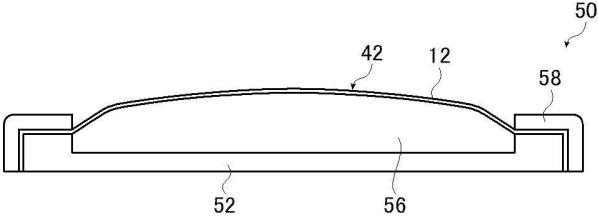
40

50

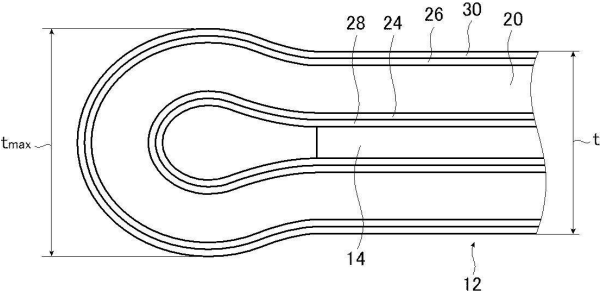
【図 1 5】



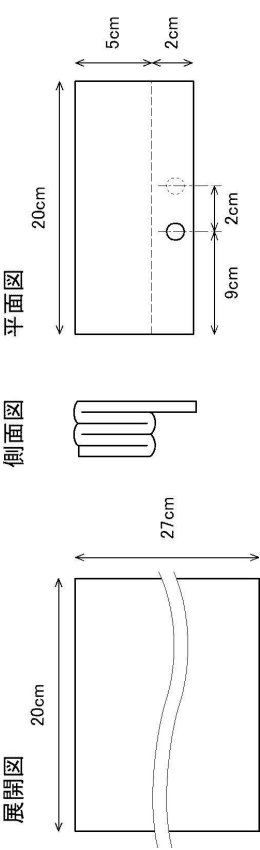
【図 1 6】



【図 1 7】



【図 1 8】



10

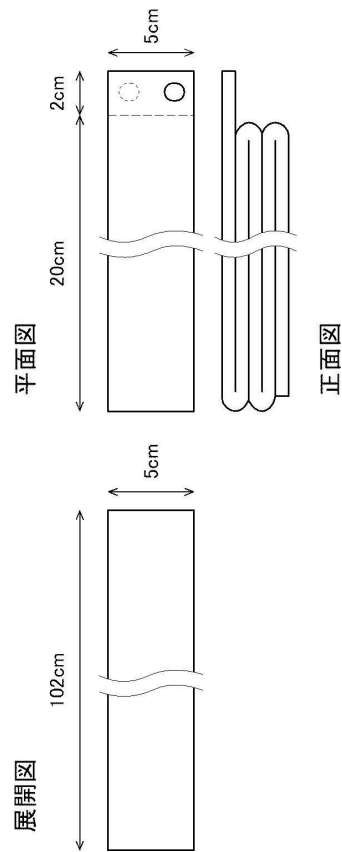
20

30

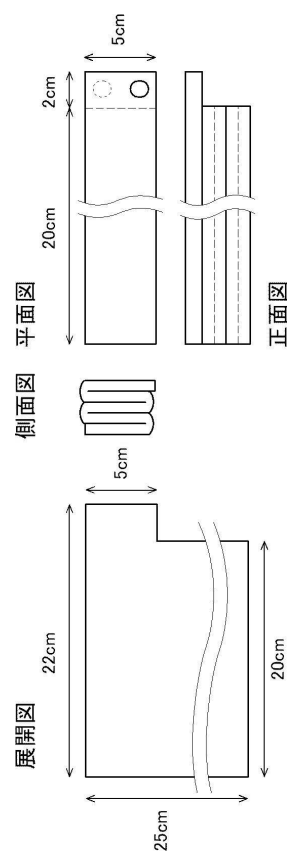
40

50

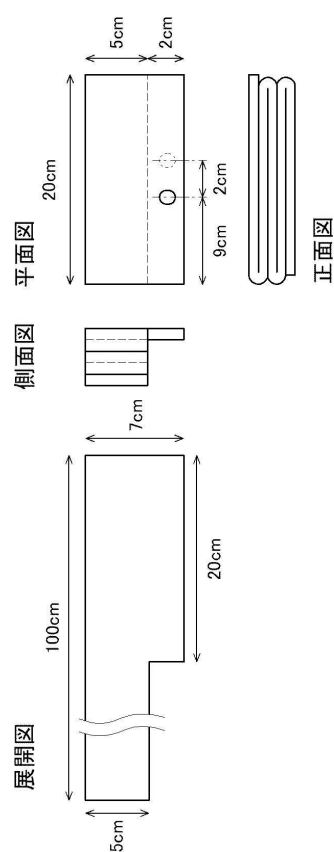
【図 19】



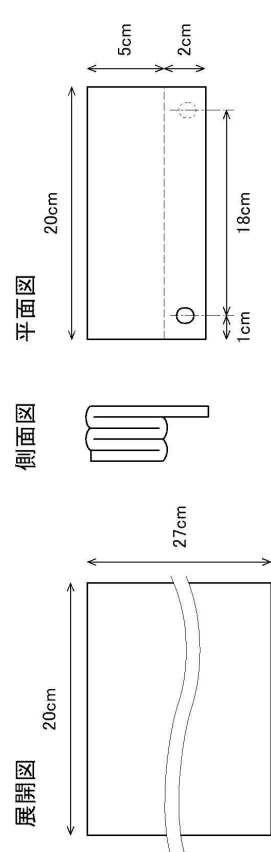
【図 20】



【図 21】



【図 22】



10

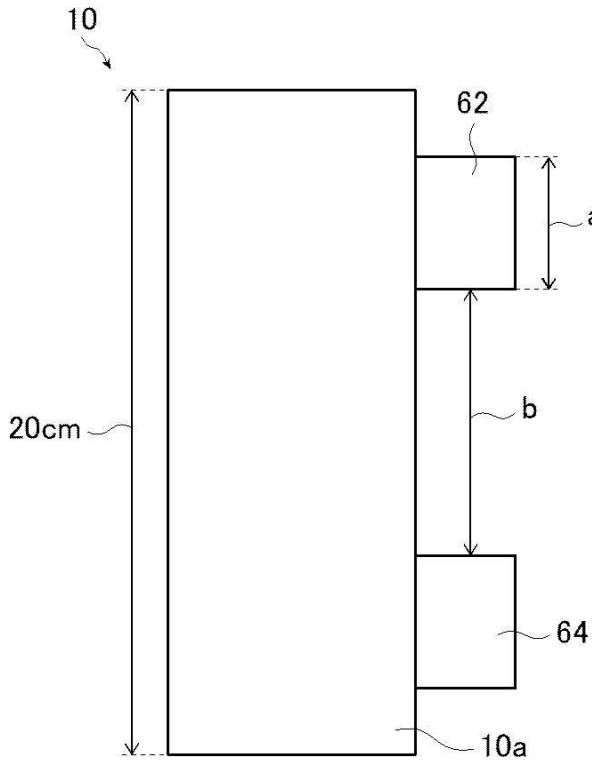
20

30

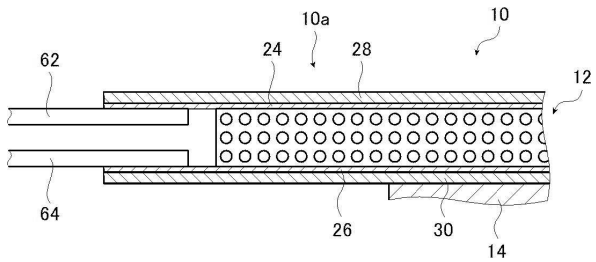
40

50

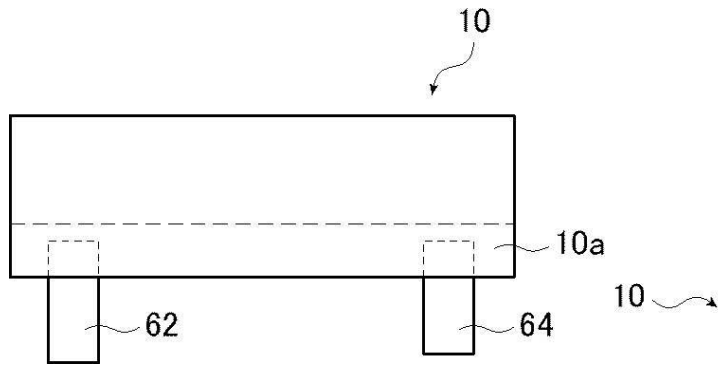
【図 2 3】



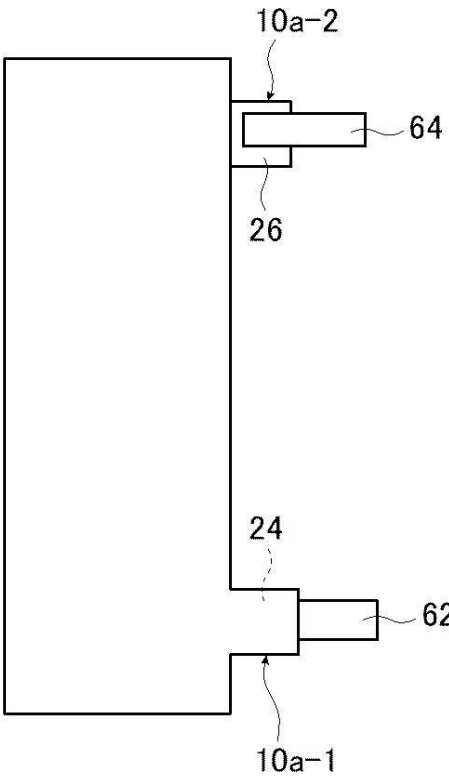
【図 2 4】



【図 2 5】



【図 2 6】



10

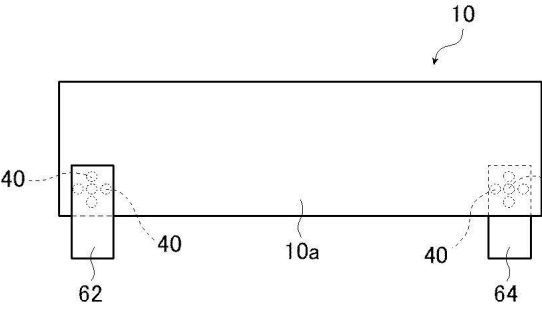
20

30

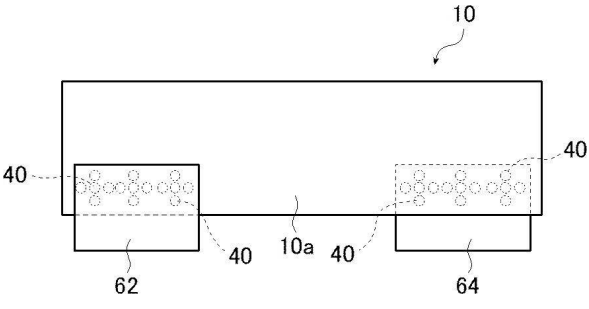
40

50

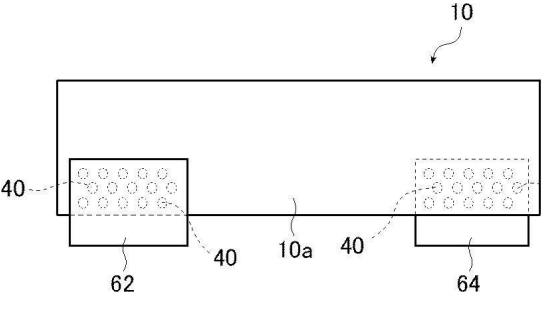
【図 2 7】



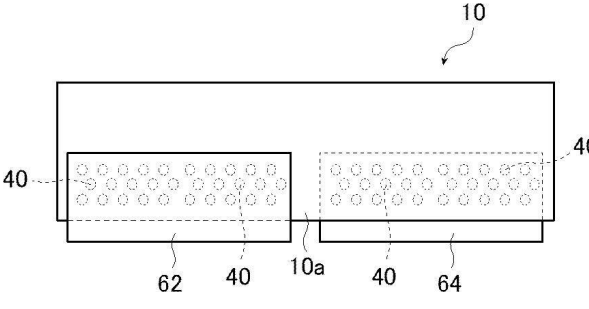
【図 2 8】



【図 2 9】



【図 3 0】



10

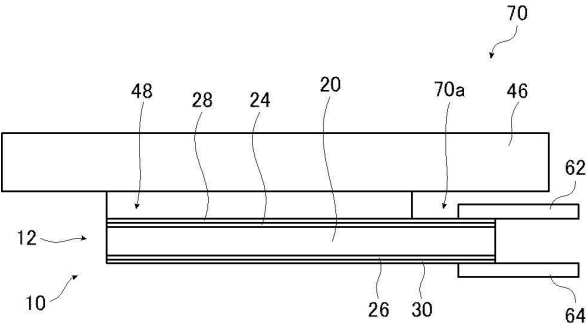
20

30

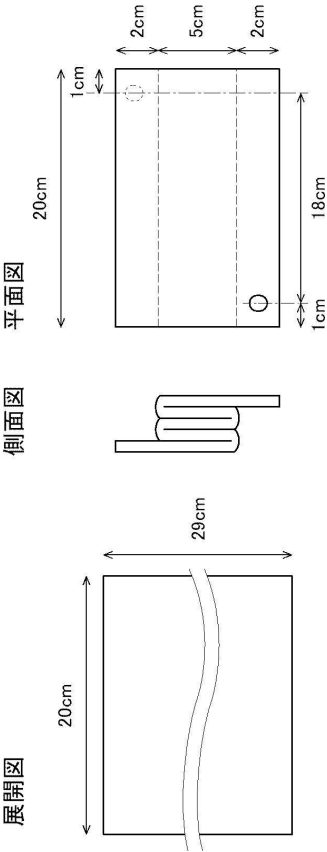
40

50

【図 3 1】

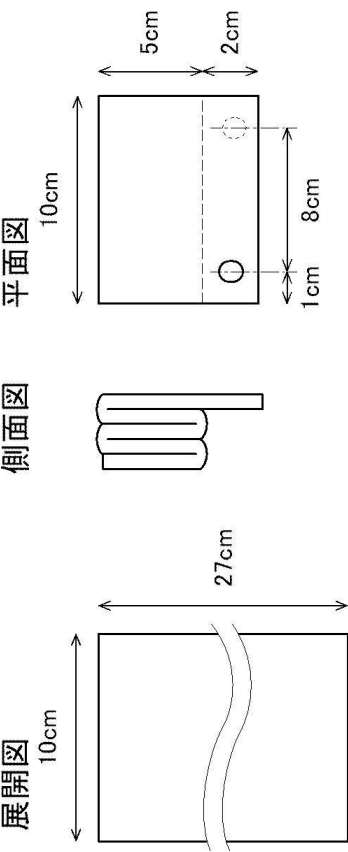


【図 3 2】

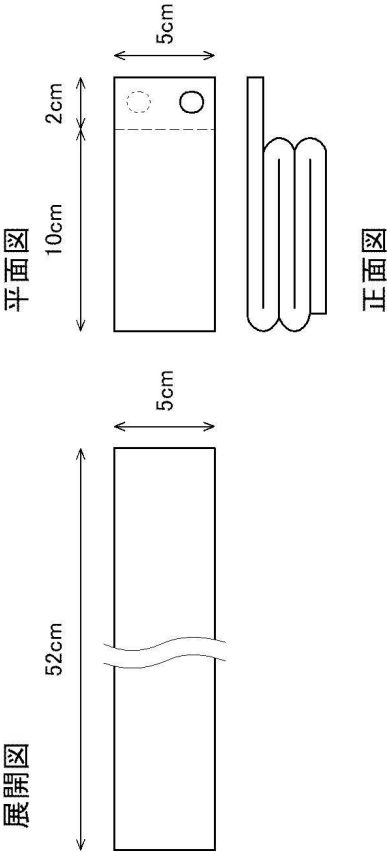


10

【図 3 3】



【図 3 4】



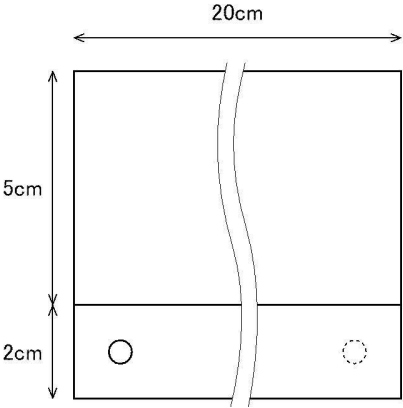
30

40

50

【図 3 5】

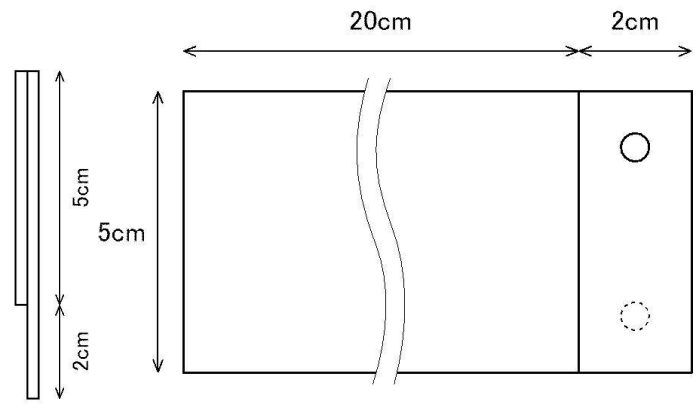
平面図



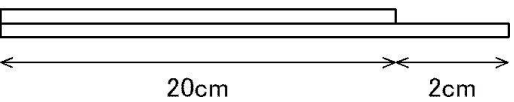
【図 3 6】

側面図

平面図



正面図

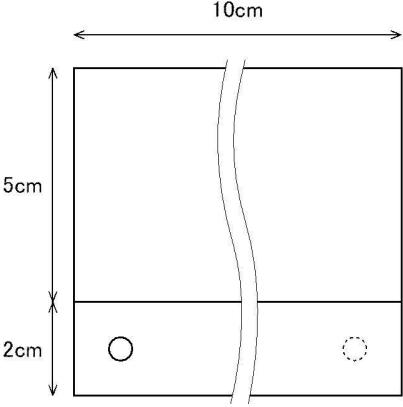


10

20

【図 3 7】

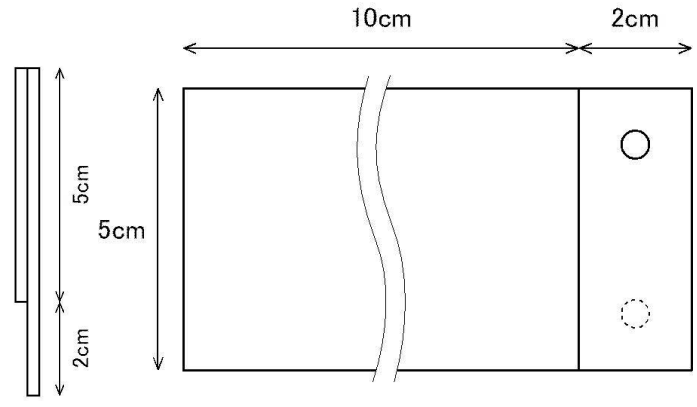
平面図



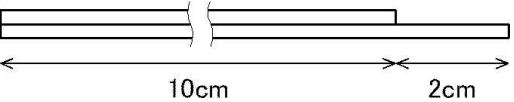
【図 3 8】

側面図

平面図



正面図

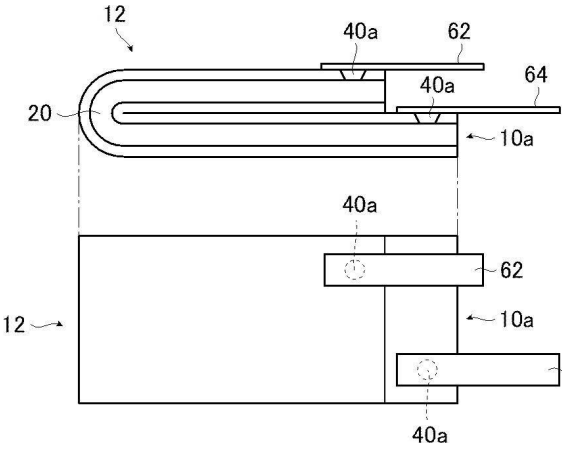


30

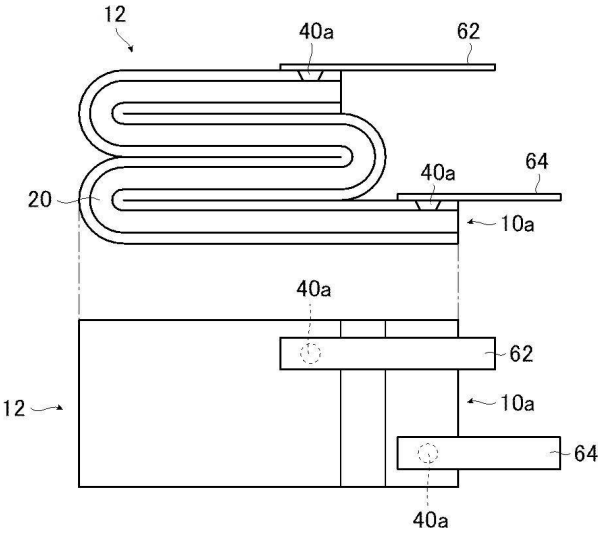
40

50

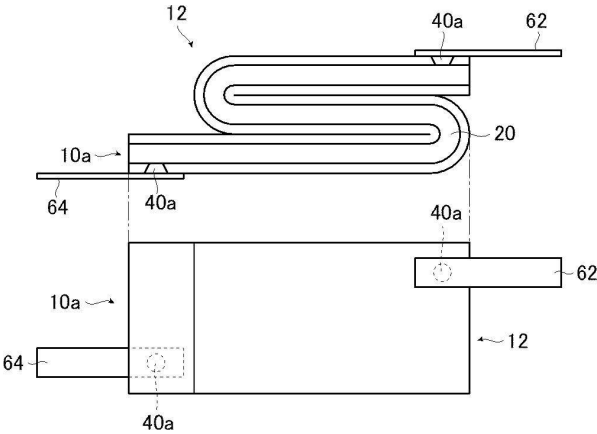
【図 39】



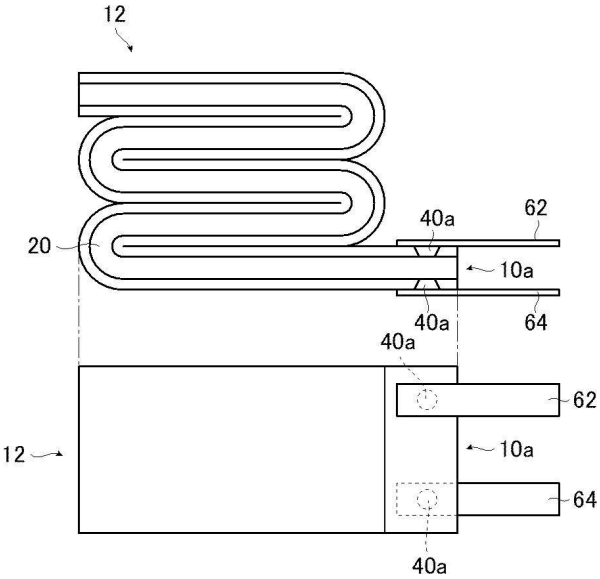
【図 40】



【図 41】



【図 42】



10

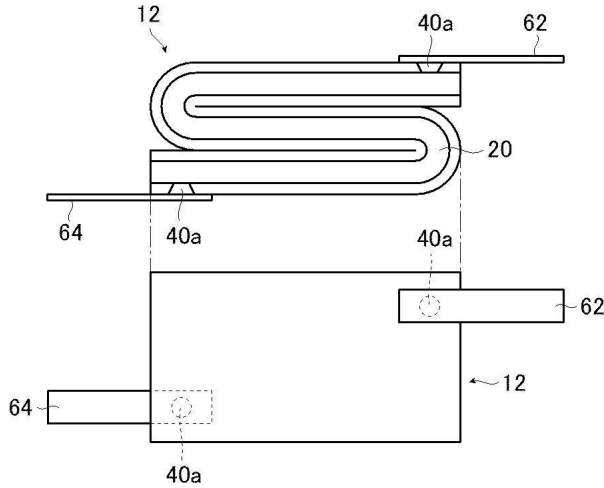
20

30

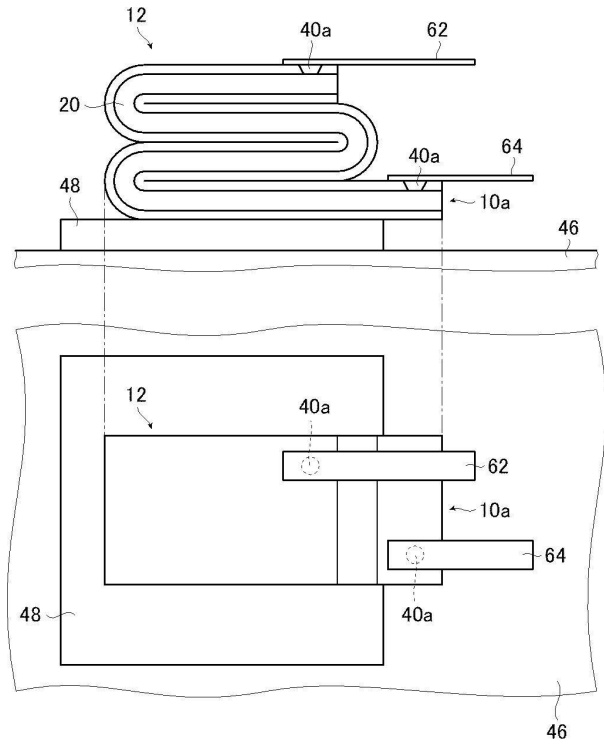
40

50

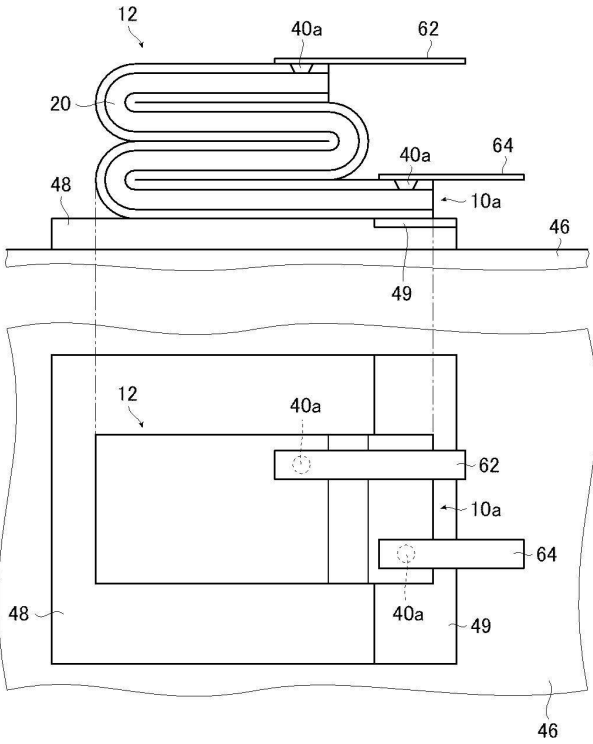
【図 4 3】



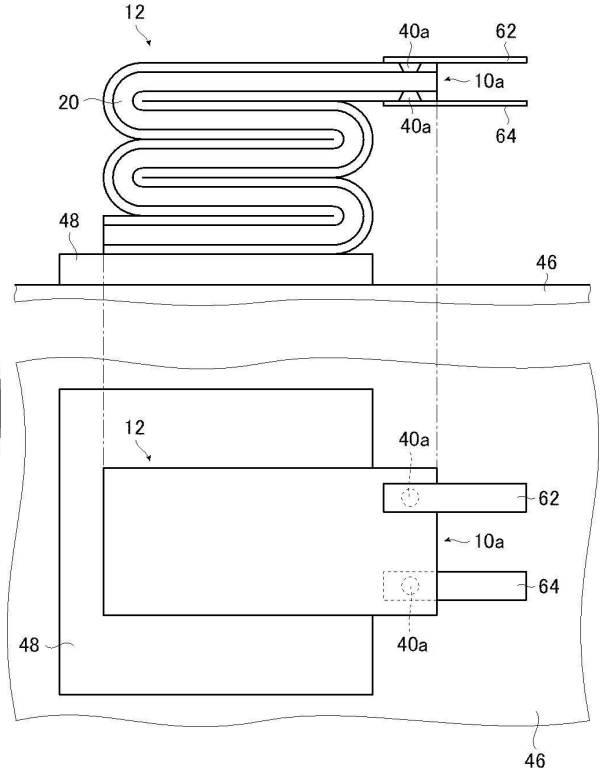
【図 4 4】



【図 4 5】



【図 4 6】



10

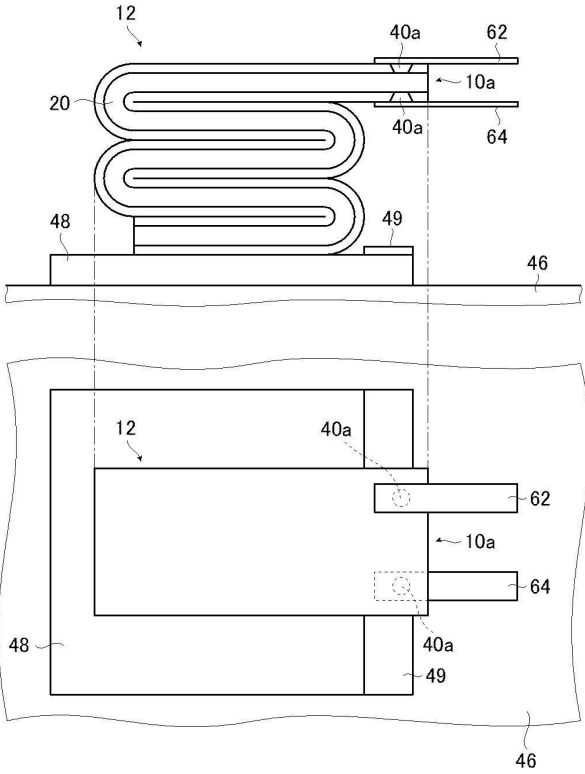
20

30

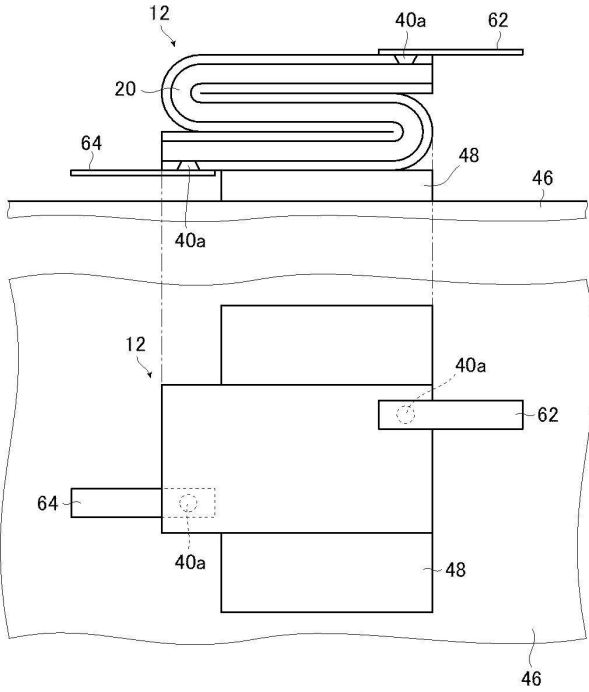
40

50

【図 47】



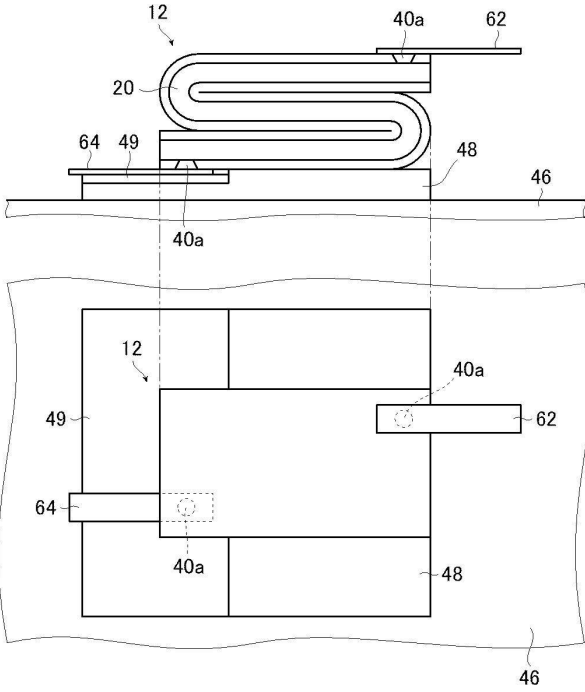
【図 48】



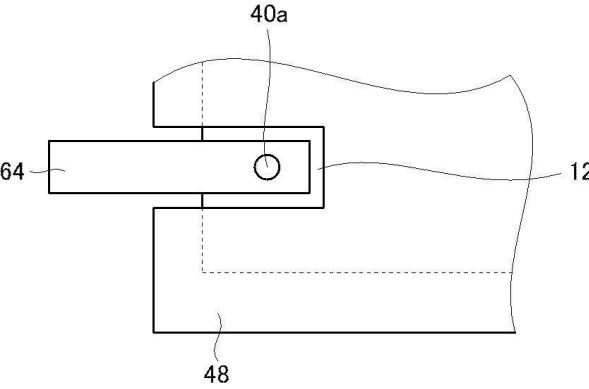
10

20

【図 49】



【図 50】

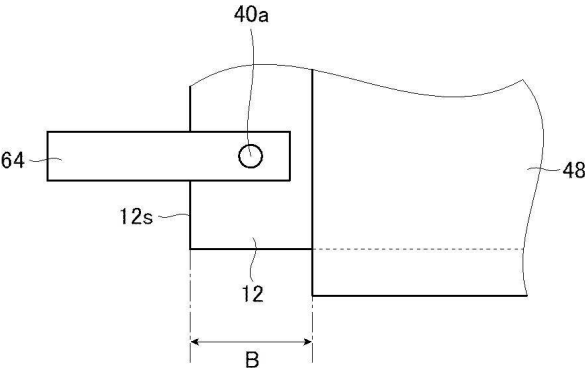


30

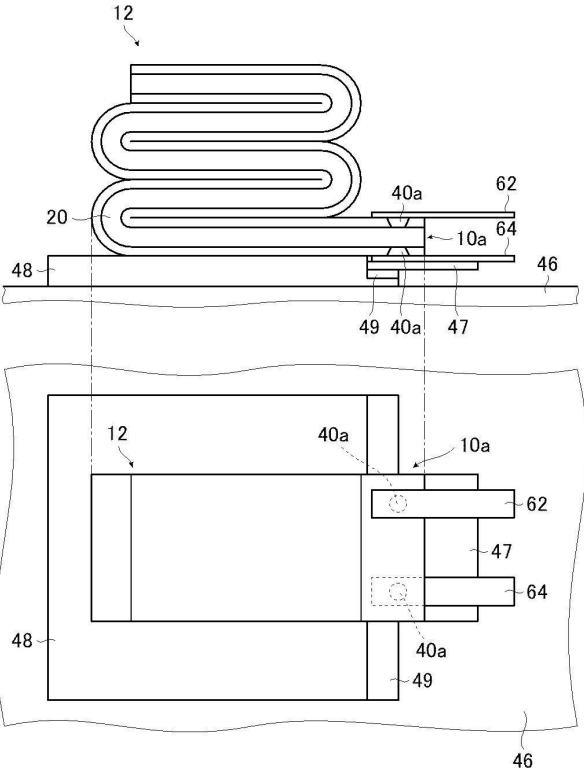
40

50

【図 5 1】



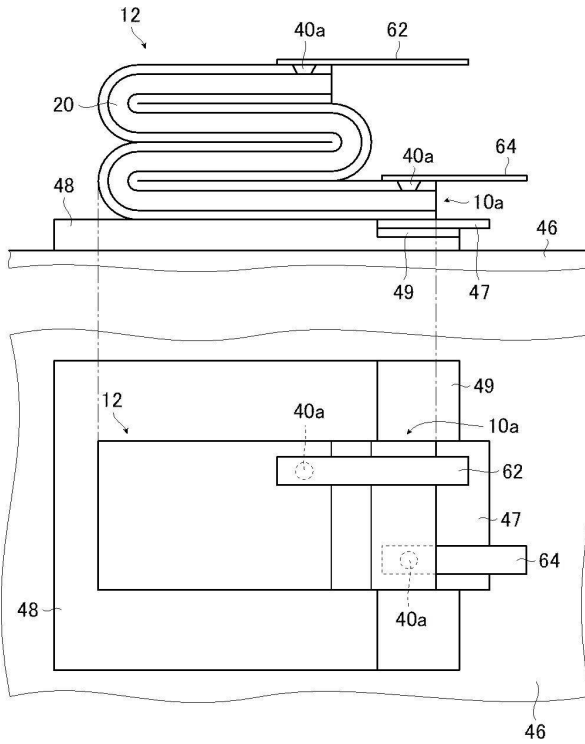
【図 5 2】



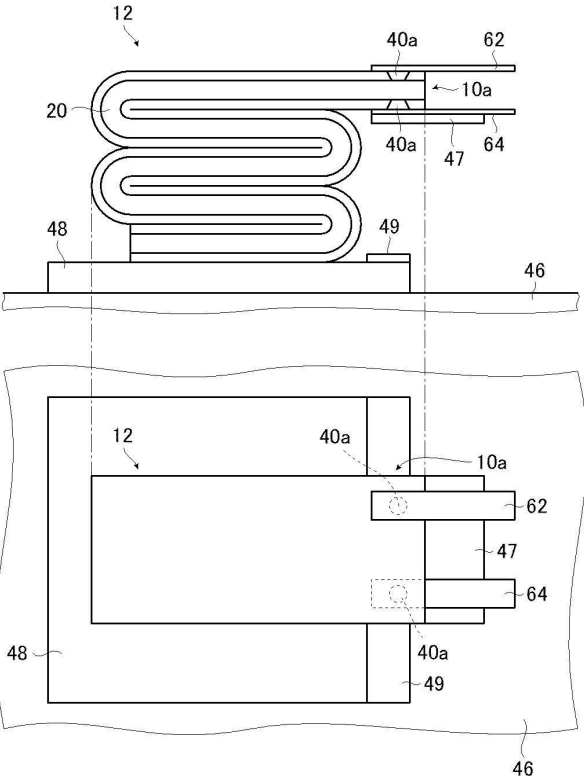
10

20

【図 5 3】



【図 5 4】

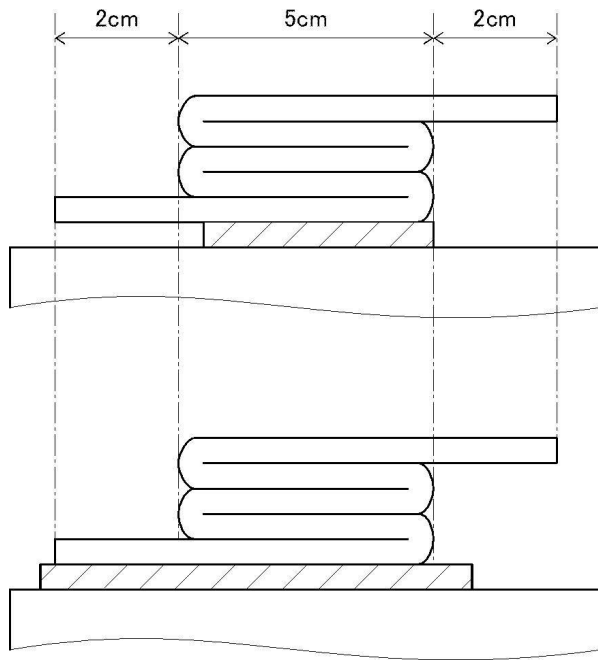


30

40

50

【図 5 5】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2014-209724 (JP, A)
国際公開第 2018/020887 (WO, A1)
特開昭 61-081000 (JP, A)
特開 2004-343453 (JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H04R 17/00
H10N 30/85
H10N 30/045