

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7457790号
(P7457790)

(45)発行日 令和6年3月28日(2024.3.28)

(24)登録日 令和6年3月19日(2024.3.19)

(51)国際特許分類		F I	
H 1 0 N	30/20 (2023.01)	H 1 0 N	30/20
H 1 0 N	30/04 (2023.01)	H 1 0 N	30/04
H 1 0 N	30/88 (2023.01)	H 1 0 N	30/88
H 1 0 N	30/85 (2023.01)	H 1 0 N	30/85
H 1 0 N	30/857(2023.01)	H 1 0 N	30/857
請求項の数 17 (全54頁) 最終頁に続く			
(21)出願番号	特願2022-508187(P2022-508187)	(73)特許権者	306037311 富士フイルム株式会社 東京都港区西麻布2丁目26番30号
(86)(22)出願日	令和3年3月2日(2021.3.2)	(74)代理人	100152984 弁理士 伊東 秀明
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/007901	(74)代理人	100148080 弁理士 三橋 史生
(87)国際公開番号	WO2021/187086	(72)発明者	芦川 輝男 神奈川県南足柄市中沼210番地 富士フイルム株式会社内
(87)国際公開日	令和3年9月23日(2021.9.23)	(72)発明者	平口 和男 神奈川県南足柄市中沼210番地 富士フイルム株式会社内
審査請求日	令和4年9月7日(2022.9.7)	(72)発明者	香川 裕介 神奈川県南足柄市中沼210番地 富士フイルム株式会社内
(31)優先権主張番号	特願2020-49274(P2020-49274)	最終頁に続く	
(32)優先日	令和2年3月19日(2020.3.19)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		
(31)優先権主張番号	特願2020-212292(P2020-212292)		
(32)優先日	令和2年12月22日(2020.12.22)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

(54)【発明の名称】 積層圧電素子および電気音響変換器

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1保護層、第1電極層、圧電体層、第2電極層および第2保護層の順に積層してなる圧電フィルムを、複数層、積層してなり、

各前記圧電体層は、厚さ方向に分極されたものであり、隣接する前記圧電フィルムにおける分極方向が互いに逆であり、

各前記圧電フィルムにおいて、前記圧電体層の分極方向の上流側に前記第1電極層が配置され、下流側に前記第2電極層が配置され、

複数の前記圧電フィルムはそれぞれ、隣接する前記圧電フィルムと接着される接着部と、前記接着部から面方向の外側に向かって、少なくとも前記第1電極層および前記第1保護層、または、前記第2電極層および前記第2保護層が突出する、隣接する前記圧電フィルムと接着されていない突出部とを有し、

前記突出部は、前記第1保護層、前記第1電極層、前記圧電体層、前記第2電極層および前記第2保護層を積層した構成を有し、

各前記圧電フィルムの前記突出部には、各前記圧電フィルムの前記第1電極層が互いに電氣的に接続される第1接点、および、各前記圧電フィルムの前記第2電極層が互いに電氣的に接続される第2接点の少なくとも一方が形成されている積層圧電素子。

【請求項2】

各前記圧電フィルムの前記突出部は、面方向において、少なくとも一部が互いに重複しないように配置されている請求項1に記載の積層圧電素子。

【請求項 3】

各前記圧電フィルムの前記突出部は、面方向において、前記接着部の同じ位置から突出しており、突出方向の長さが互いに異なる請求項 1 に記載の積層圧電素子。

【請求項 4】

各前記圧電フィルムの前記突出部は、突出方向と直交する方向の幅が、前記接着部の幅と同じである請求項 1 に記載の積層圧電素子。

【請求項 5】

複数の前記圧電フィルムの少なくとも 1 つは、少なくとも 1 回折り返した蛇腹形状である請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載の積層圧電素子。

【請求項 6】

前記圧電フィルムの前記突出部と前記接着部との接続部の角部は 0.5 mm 以上の R 構造が設けられている請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載の積層圧電素子。

【請求項 7】

隣接する前記圧電フィルムの、前記第 1 電極層同士、または、前記第 2 電極層同士が対面するように配置されている請求項 1 ～ 6 のいずれか一項に記載の積層圧電素子。

【請求項 8】

隣接する前記圧電フィルム的一方の前記突出部を、突出方向に折り曲げた請求項 7 に記載の積層圧電素子。

【請求項 9】

各前記圧電フィルムの前記突出部には、前記第 1 電極層同士、あるいは前記第 2 電極層同士を接続する導電性フィルムが貼着されており、

各前記圧電フィルムの前記突出部が、前記接着部の方の主面側に折り曲げられている請求項 1 ～ 8 のいずれか一項に記載の積層圧電素子。

【請求項 10】

前記突出部の突出方向と直交する方向の幅は、前記接着部側よりも先端側が狭い請求項 1 ～ 9 のいずれか一項に記載の積層圧電素子。

【請求項 11】

前記突出部の幅は、前記接着部から離間するにしたがって漸次狭くなる請求項 10 に記載の積層圧電素子。

【請求項 12】

前記突出部は、前記接着部の主面に垂直な方向から見た際に台形状である請求項 11 に記載の積層圧電素子。

【請求項 13】

請求項 1 ～ 12 のいずれか一項に記載の積層圧電素子と、前記積層圧電素子が固定される振動板とを有する電気音響変換器。

【請求項 14】

前記振動板と前記積層圧電素子とが、貼着剤によって貼着されている請求項 13 に記載の電気音響変換器。

【請求項 15】

前記振動板が、少なくとも 1 組の対向する 2 辺が固定された四角形状であり、前記対向する 2 辺における固定端間の距離を L とした際に、前記振動板への前記積層圧電素子の貼着を、『0.1 × L』以上、前記固定端から離間する位置に行う請求項 14 に記載の電気音響変換器。

【請求項 16】

前記振動板が長方形または正方形である請求項 15 に記載の電気音響変換器。

【請求項 17】

前記振動板のバネ定数が $1 \times 10^4 \sim 1 \times 10^7 \text{ N/m}$ である請求項 15 または 16 に記載の電気音響変換器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

20

30

40

50

【0001】

本発明は、積層圧電素子および電気音響変換器に関する。

【背景技術】

【0002】

圧電素子は、各種の物品に接触して取り付けすることで、物品を振動させて音を出す、いわゆるエキサイター（励起子）として、各種の用途に利用されている。例えば、画像表示パネル、スクリーン等にエキサイターを取り付けて、これらを振動させることで、スピーカーの代わりに音を出すことができる。

【0003】

ところで、フレキシブルな画像表示装置、巻取り可能なスクリーン等にエキサイターを取り付ける場合には、エキサイター自身も少なくとも非使用時にはフレキシブル（ローラブル）である必要がある。

【0004】

フレキシブルな圧電素子として、圧電体層を電極層および保護層で挟持した圧電フィルムが提案されている。

例えば、特許文献1には、常温で粘弾性を有する高分子材料からなる粘弾性マトリックス中に圧電体粒子を分散してなる高分子複合圧電体、高分子複合圧電体の一方の面に形成された、面積が高分子複合圧電体以下である上部薄膜電極、上部薄膜電極の表面に形成される、面積が上部薄膜電極以上である上部保護層、高分子複合圧電体の上部薄膜電極の逆面に形成される、面積が高分子複合圧電体以下である下部薄膜電極、および、下部薄膜電極の表面に形成される、面積が下部薄膜電極以上である下部保護層を有する圧電積層体と、上部薄膜電極の一部に積層されて、少なくとも一部が高分子複合圧電体の面方向外部に位置する上部電極引出し用金属箔と、下部薄膜電極の一部に積層されて、少なくとも一部が高分子複合圧電体の面方向外部に位置する下部電極引出し用金属箔と、を有する電気音響変換フィルムが記載されている。

【0005】

このような圧電フィルムはフィルム状であり、バネ定数が限られてしまうため、エキサイターとして用いる場合には、出力不足となってしまう。そこで、圧電フィルムを積層することで、バネ定数を上げて出力を高くすることが考えられる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【文献】特開2014-209724号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、上述のような圧電体層を電極層及び保護層で挟持した圧電フィルムを積層する場合には、圧電フィルムの圧電体層の分極の方向および電極の極性の向きによって、積層圧電素子の出力が低下したり、全体として変形しない場合があることがわかった。

【0008】

また、上述のような圧電フィルムは、電極層が厚すぎると、圧電体層の変形が阻害されて出力が低下する。そのため、電極層は非常に薄く形成される。薄い電極層で圧電体層を挟持した構成とするために、上述のような圧電フィルムを作製する際には、電極層は支持体となる保護層上に形成された状態で提供される。そのため、圧電フィルムの両主面の最外層は保護層となり、電極層への電気接点を確保することが難しい。

【0009】

本発明の課題は、このような従来技術の問題点を解決することにより、高い圧電特性が得られ、また、電極層への電気接点を容易に確保することができる積層圧電素子を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

このような課題を解決するために、本発明は、以下の構成を有する。

〔1〕 第1保護層、第1電極層、圧電体層、第2電極層および第2保護層の順に積層してなる圧電フィルムを、複数層、積層してなり、

各圧電体層は、厚さ方向に分極されたものであり、

各圧電フィルムにおいて、圧電体層の分極方向の上流側に第1電極が配置され、下流側に第2電極が配置され、

複数の圧電フィルムはそれぞれ、隣接する圧電フィルムと接着される接着部と、接着部から面方向の外側に向かって、少なくとも第1電極層および第1保護層、または、第2電極層および第2保護層が突出する、隣接する圧電フィルムと接着されていない突出部とを有し、

各圧電フィルムの突出部には、各圧電フィルムの第1電極層が互いに電氣的に接続される第1接点、および、各圧電フィルムの第2電極層が互いに電氣的に接続される第2接点の少なくとも一方が形成されている積層圧電素子。

〔2〕 突出部は、第1保護層、第1電極層、圧電体層、第2電極層および第2保護層を積層した構成を有する〔1〕に記載の積層圧電素子。

〔3〕 各圧電フィルムの突出部は、面方向において、少なくとも一部が互いに重複しないように配置されている〔1〕または〔2〕に記載の積層圧電素子。

〔4〕 各圧電フィルムの突出部は、面方向において、接着部の同じ位置から突出しており、突出方向の長さが互いに異なる〔1〕または〔2〕に記載の積層圧電素子。

〔5〕 各圧電フィルムの突出部は、突出方向と直交する方向の幅が、接着部の幅と同じである〔1〕または〔2〕に記載の積層圧電素子。

〔6〕 複数の圧電フィルムの少なくとも1つは、少なくとも1回折り返した蛇腹形状である〔1〕～〔5〕のいずれかに記載の積層圧電素子。

〔7〕 圧電フィルムの突出部と接着部との接続部の角部は0.5mm以上のR構造が設けられている〔1〕～〔6〕のいずれかに記載の積層圧電素子。

〔8〕 隣接する圧電フィルムの、第1電極側同士、または、第2電極側同士が対面するように配置されている〔1〕～〔7〕のいずれかに記載の積層圧電素子。

〔9〕 隣接する圧電フィルム的一方の突出部を、突出方向に折り曲げた〔8〕に記載の積層圧電素子。

〔10〕 各圧電フィルムの突出部には、第1電極層同士、あるいは第2電極層同士を接続する導電性フィルムが貼着されており、

各圧電フィルムの突出部が、接着部の一方の主面側に折り曲げられている〔1〕～〔9〕のいずれかに記載の積層圧電素子。

〔11〕 突出部の突出方向と直交する方向の幅は、接着部側よりも先端側が狭い〔1〕～〔10〕のいずれかに記載の積層圧電素子。

〔12〕 突出部の幅は、接着部から離間するにしたがって漸次狭くなる〔11〕に記載の積層圧電素子。

〔13〕 突出部は、接着部の主面に垂直な方向から見た際に台形状である〔12〕に記載の積層圧電素子。

〔14〕 〔1〕～〔13〕のいずれかに記載の積層圧電素子と、積層圧電素子が固定される振動板とを有する電気音響変換器。

〔15〕 振動板と積層圧電素子とが、貼着剤によって貼着されている〔14〕に記載の電気音響変換器。

〔16〕 振動板が、少なくとも1組の対向する2辺が固定された四角形状であり、対向する2辺における固定端間の距離をLとした際に、振動板への積層圧電素子の貼着を、『 $0.1 \times L$ 』以上、固定端から離間する位置に行う〔15〕に記載の電気音響変換器。

〔17〕 振動板が長方形または正方形である〔16〕に記載の電気音響変換器。

〔18〕 振動板のバネ定数が $1 \times 10^4 \sim 1 \times 10^7 \text{ N/m}$ である〔16〕または〔17〕に記載の電気音響変換器。

10

20

30

40

50

【発明の効果】

【0011】

このような本発明によれば、高い圧電特性が得られ、また、電極層への電気接点を容易に確保することができる積層圧電素子を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明の積層圧電素子の一例を概念的に示す図である。

【図2】図1に示す積層圧電素子を構成する圧電フィルムの一列を概念的に示す図である。

【図3】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4】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

【図5】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】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7】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】本発明の積層圧電素子を用いる電気音響変換器の一例を概念的に示す図である。

【図9】本発明の積層圧電素子の別の例を概念的に示す図である。

【図10】本発明の積層圧電素子の別の例を概念的に示す図である。

【図11】図10の分解図である。

【図12】図10の積層圧電素子が有する圧電フィルムを示す図である。

【図13】本発明の積層圧電素子の別の例を概念的に示す図である。

【図14】図14の分解図である。

20

【図15】本発明の積層圧電素子の別の例を概念的に示す図である。

【図16】本発明の積層圧電素子の別の例を概念的に示す図である。

【図17】図16の部分拡大図である。

【図18】図16の部分拡大図である。

【図19】図16の部分拡大図である。

【図20】図16の部分拡大図である。

【図21】本発明の積層圧電素子の別の例を概念的に示す図である。

【図22】本発明の積層圧電素子の別の例を概念的に示す図である。

【図23】図22のB-B線断面図である。

【図24】本発明の積層圧電素子の別の例を概念的に示す図である。

30

【図25】図24の部分拡大図である。

【図26】図24の部分拡大図である。

【図27】本発明の積層圧電素子の別の例を概念的に示す図である。

【図28】蛇腹形状の圧電フィルムの例を概念的に示す図である。

【図29】本発明の積層圧電素子の別の例を概念的に示す図である。

【図30】本発明の積層圧電素子の別の例を概念的に示す図である。

【図31】本発明の積層圧電素子の別の例を概念的に示す図である。

【図32】本発明の積層圧電素子の別の例を概念的に示す図である。

【図33】本発明の積層圧電素子の別の例を概念的に示す図である。

【図34】本発明の積層圧電素子の別の例を概念的に示す図である。

40

【図35】本発明の積層圧電素子の別の例を概念的に示す図である。

【図36】本発明の積層圧電素子の別の例を概念的に示す図である。

【図37】本発明の積層圧電素子の別の例を概念的に示す図である。

【図38】図37の上面図である。

【図39】図37の側面図である。

【図40】図37の積層圧電素子が有する圧電フィルムを示す図である。

【図41】図37の積層圧電素子に導電性フィルムを貼着した例を示す図である。

【図42】本発明の積層圧電素子の別の例を概念的に示す図である。

【図43】本発明の積層圧電素子の別の例を概念的に示す図である。

【図44】図43の側面図である。

50

【図 4 5】本発明の電気音響変換器の別の例を概念的に示す図である。
【図 4 6】本発明の電気音響変換器の別の例を概念的に示す図である。
【図 4 7】本発明の電気音響変換器の別の例を概念的に示す図である。
【図 4 8】本発明の電気音響変換器の別の例を概念的に示す図である。
【図 4 9】図 4 5 に示す電気音響変換器による振動板の振動のシミュレーション結果である。

【図 5 0】図 4 9 を説明するための概念図である。
【図 5 1】本発明の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 2】本発明の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】本発明の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】本発明の積層圧電素子の別の例を概念的に示す図である。
【図 5 5】図 5 4 に示す積層圧電素子の一部を拡大して示す斜視図である。
【図 5 6】本発明の積層圧電素子の別の例を概念的に示す図である。
【図 5 7】図 5 6 に示す積層圧電素子の一部を拡大して示す斜視図である。
【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、本発明の積層圧電素子について、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。

【0015】

本発明の積層圧電体は、

第 1 保護層、第 1 電極層、圧電体層、第 2 電極層および第 2 保護層の順に積層してなる圧電フィルムを、複数層、積層してなり、

各圧電体層は、厚さ方向に分極されたものであり、

各圧電フィルムにおいて、圧電体層の分極方向の上流側に第 1 電極が配置され、下流側に第 2 電極が配置され、

複数の圧電フィルムはそれぞれ、隣接する圧電フィルムと接着される接着部と、接着部から面方向の外側に向かって、少なくとも前記第 1 電極層および前記第 1 保護層、または、前記第 2 電極層および前記第 2 保護層が突出する、隣接する圧電フィルムと接着されていない突出部とを有し、

各圧電フィルムの突出部には、各圧電フィルムの第 1 電極層が互いに電氣的に接続される第 1 接点、および、各圧電フィルムの第 2 電極層が互いに電氣的に接続される第 2 接点の少なくとも一方が形成されている積層圧電素子である。

【0016】

図 1 に、本発明の積層圧電素子の一例を概念的に示す。

図 1 に示す積層圧電素子 10 は、圧電フィルム 12 a、12 b、12 c を、3 枚、積層して、隣接する圧電フィルムを、接着層（貼着層）14 で貼着した構成を有する。各圧電フィルムには、圧電フィルムを伸縮させる駆動電圧を印加する電源に接続される。

なお、図 1 に示す積層圧電素子 10 は、圧電フィルムを、3 層、積層したものであるが、本発明は、これに制限はされない。すなわち、本発明の積層圧電素子は、圧電フィルムを、複数層、積層したものであれば、圧電フィルムの積層数は、2 層でもよく、あるいは、4 層以上であってもよい。この点に関しては、後述する積層圧電素子も、同様である。

【0017】

図 2 に、圧電フィルム 12 を断面図によって概念的に示す。なお、図 1 において、圧電フィルム 12 a、12 b および 12 c は、積層順および上下方向の向きが異なる以外は同様の構成を有するので、以下の説明では、圧電フィルムを区別する必要がない場合には、

10

20

30

40

50

まとめて圧電フィルム１２ともいう。

【００１８】

図２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電極層２４と、第１電極層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電極層２６と、第２電極層２６上に積層される第２保護層３０とを有する。すなわち、圧電フィルム１２は、第１保護層２８、第１電極層２４、圧電体層２０、第２電極層２６および第２保護層３０の順に積層した構成を有する。後述するが、圧電フィルム１２（圧電体層２０）は、厚さ方向に分極されている。圧電フィルム１２の分極方向の上流側の電極層および保護層を第１電極層２４および第１保護層２８とし、下流側の電極層および保護層を第２電極層２６および第２保護層３０とする。

10

【００１９】

圧電フィルム１２において、圧電体層２０は、好ましい態様として、図２に概念的に示すように、常温で粘弾性を有する高分子材料からなる粘弾性マトリックス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。なお、本明細書において、「常温」とは、０～５０℃程度の温度域を指す。

【００２０】

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

20

例えば、携帯用として新聞や雑誌のように書類感覚で軽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。

【００２１】

以上をまとめると、エキサイター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。

30

さらに、貼り付ける相手材（振動板）の剛性（硬さ、コシ、バネ定数）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、接着層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。

【００２２】

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とも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。

40

高分子複合圧電体（圧電体層２０）において、ガラス転移点が常温にある高分子材料、言い換えると、常温で粘弾性を有する高分子材料をマトリックスに用いることで、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る舞う高分子複合圧電体を実現する。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。

【００２３】

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

50

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 1 Hz 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。

【0024】

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 1 Hz での貯蔵弾性率 (E') が、0℃において 100 MPa 以上、50℃において 10 MPa 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、20 Hz ～ 20 kHz の音響振動に対しては硬く振る舞うことができる。

【0025】

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。

【0026】

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。

【0027】

このような常温で粘弾性を有する高分子材料を用いる粘弾性マトリックス 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、粘弾性マトリックス 34 には、誘電特性や機械特性の調節等を目的として、シアノエチル化 PVA 等の粘弾性材料に加え、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。

【0028】

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、シアノ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 の粘弾性マトリックス 34 において、シアノエチル化 PVA 等の常

10

20

30

40

50

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。

【００２９】

また、粘弾性マトリックス３４には、誘電性ポリマー以外にも、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、イソブチレン等の熱可塑性樹脂、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、マイカ等の熱硬化性樹脂を添加しても良い。

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。

【００３０】

圧電体層２０の粘弾性マトリックス３４において、シアノエチル化ＰＶＡ等の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、粘弾性マトリックス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、粘弾性マトリックス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。

【００３１】

圧電体粒子３６は、ペロブスカイト型ま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（ＰＺＴ）、チタン酸ジルコン酸ランタン酸鉛（ＰＬＺＴ）、チタン酸バリウム（ $BaTiO_3$ ）、酸化亜鉛（ ZnO ）、および、チタン酸バリウムとビスマスフェライト（ $BiFe_3$ ）との固溶体（ＢＦＢＴ）等が例示される。

【００３２】

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、積層圧電素子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。

【００３３】

なお、図２においては、圧電体層２０中の圧電体粒子３６は、粘弾性マトリックス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、粘弾性マトリックス３４中に不規則に分散されていてもよい。

【００３４】

圧電フィルム１２において、圧電体層２０中における粘弾性マトリックス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、積層圧電素子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、従って、５０～８０％とするのが、さらに好ましい。

粘弾性マトリックス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。

【００３５】

以上の圧電フィルム１２は、好ましい態様として、圧電体層２０が、常温で粘弾性を有する高分子材料を含む粘弾性マトリックス中に圧電体粒子を分散してなる高分子複合圧電体層である。しかしながら、本発明は、これに制限はされず、圧電フィルムの圧電体層としては、公知の圧電素子に用いられる、公知の各種の圧電体層が利用可能である。

一例として、ポリフッ化ビニリデン（ＰＶＤＦ）およびフッ化ビニリデン－テトラフルオロエチレン共重合体の上述した誘電性高分子材料からなる圧電体層、ならびに、ＰＺＴ

10

20

30

40

50

、P L Z T、チタン酸バリウム、酸化亜鉛およびB F B T等の上述した圧電体からなる圧電体層等が例示される。

【0036】

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、積層圧電素子10の用途、積層圧電素子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、10～300 μmが好ましく、20～200 μmがより好ましく、30～150 μmがさらに好ましい。

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。

【0037】

図2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電極層24を有し、その上に第1保護層28を有し、圧電体層20の他方の面に、第2電極層26を有し、その上に第2保護層30を有してなる構成を有する。ここで、第2電極層26と第1電極層24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、例えば、側面などの圧電体層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。

【0038】

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電極層24および第2電極層26で挟持し、この積層体を、第1保護層28および第2保護層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電極層24および第2電極層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、前述のとおり、第1電極層24および第1保護層28、ならびに、第2電極層26および第2保護層30は、圧電体層20の分極方向に応じて名称を付しているものである。従って、第1電極層24と第2電極層26、ならびに、第1保護層28と第2保護層30とは基本的に同様の構成を有する。

【0039】

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2電極層26および第1電極層24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、粘弾性マトリックス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。

【0040】

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。

【0041】

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。

【0042】

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。

10

【0043】

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電極層24が、圧電体層20と第2保護層30との間には第2電極層26が、それぞれ形成される。第1電極層24および第2電極層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。

【0044】

本発明において、第1電極層24および第2電極層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電極層24および第2電極層26として好適に例示される。

20

【0045】

また、第1電極層24および第2電極層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）やめっきによる成膜や、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。

【0046】

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電極層24および第2電極層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。

30

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

【0047】

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電極層24および第2電極層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電極層24および第2電極層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。

【0048】

圧電フィルム12においては、第1電極層24および第2電極層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。

40

例えば、第1保護層28および第2保護層30がPET（ヤング率：約6.2 GPa）で、第1電極層24および第2電極層26が銅（ヤング率：約130 GPa）からなる組み合わせの場合、第1保護層28および第2保護層30の厚さが25 μm だとすると、第1電極層24および第2電極層26の厚さは、1.2 μm 以下が好ましく、0.3 μm 以下がより好ましく、中でも0.1 μm 以下とするのが好ましい。

【0049】

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粘弾性マトリックス34に圧電体粒子36を分散してなる圧電体層20を、第1電極層24およ

50

び第2電極層26で挟持し、さらに、この積層体を、第1保護層28および第2保護層30を挟持してなる構成を有する。

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（ $\tan \delta$ ）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。

【0050】

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。

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、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できる。

【0051】

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1Hzでの貯蔵弾性率（ E' ）との積が、0℃において $1.0 \times 10^6 \sim 2.0 \times 10^6 \text{ N/m}$ 、50℃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。

【0052】

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℃、周波数1kHz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を用いたスピーカの周波数特性が平滑になり、スピーカの曲率の変化に伴い最低共振周波数 f_0 が変化した際の音質の変化量も小さくできる。

【0053】

以下、図3～図7を参照して、圧電フィルム12の製造方法の一例を説明する。

【0054】

まず、図3に示すように、第1保護層28の上に第1電極層24が形成されたシート状物11aを準備する。このシート状物11a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電極層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。なお、セパレータとしては、厚さ25～100μmのPET等を用いることができる。セパレータは、第2電極層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。

【0055】

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11aを準備し、かつ、塗料を調製したら、この塗料をシート状物11a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4に示すように、第1保護層28の上に第1電極層24を有し、第1電極層24の上に圧電体層20を形成してなる積層体11bを作製する。

【0056】

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のように加熱溶融可能な物であれば、粘弾性材料を加熱溶融して、これに圧電体粒子36を添加／分散してなる溶融物を作製し、押し出し成形等によって、図3に示すシート状物11aの上にシート状に押し出し、冷却することにより、図4に示すような、第1保護層28の上に第1電極層24を有し、第1電極層24の上に圧電体層20を形成してなる積層体11bを作製してもよい。

【0057】

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

10

粘弾性マトリックス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電極層24を有し、第1電極層24の上に圧電体層20を形成してなる積層体11bを作製したら、圧電体層20の分極処理（ポーリング）を行う。

【0058】

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。好ましい分極処理の方法として、図5および図6に示す方法が例示される。

【0059】

この方法では、図5および図6に示すように、積層体11bの圧電体層20の上面20aの上に、間隔gを例えば1mm開けて、この上面20aに沿って移動可能な棒状あるいはワイヤー状のコロナ電極40を設ける。そして、このコロナ電極40と第1電極層24とを直流電源42に接続する。

20

さらに、積層体11bを加熱保持する加熱手段、例えば、ホットプレートを用意する。

【0060】

その上で、圧電体層20を、加熱手段によって、例えば、温度100℃に加熱保持した状態で、直流電源42から第1電極層24とコロナ電極40との間に、数kV、例えば、6kVの直流電圧を印加してコロナ放電を生じさせる。さらに、間隔gを維持した状態で、圧電体層20の上面20aに沿って、コロナ電極40を移動（走査）して、圧電体層20の分極処理を行う。

30

これにより、圧電体層20は厚さ方向に分極される。この分極処理による、第1電極層24側が分極方向の上流側とする。

【0061】

このようなコロナ放電を利用する分極処理において、コロナ電極40の移動は、公知の棒状物の移動手段を用いればよい。以下の説明では、便宜的に、コロナ放電を利用する分極処理をコロナポーリング処理とも言う。

また、コロナポーリング処理では、コロナ電極40を移動する方法にも、制限ない。すなわち、コロナ電極40を固定し、積層体11bを移動させる移動機構を設け、この積層体11bを移動させて分極処理をしてもよい。この積層体11bの移動も、公知のシート状物の移動手段を用いればよい。

40

また、分極処理は、コロナポーリング処理に制限はされず、分極処理を行う対象に、直接、直流電界を印加する、通常の電界ポーリングも利用可能である。ただし、この通常の電界ポーリングを行う場合には、分極処理の前に、第2電極層26を形成する必要がある。

【0062】

このようにして積層体11b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電極層26が形成されたシート状物11cを、準備する。このシート状物11cは、第2保護層30の表面に、真空蒸着、スパッタリング、めっき等によって第2電極層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電極層26を圧電体層20に向けて、シート状物11cを、圧電体層20の分極処理を終了した積層体11bに積層する。

50

さらに、この積層体 1 1 b とシート状物 1 1 c との積層体を、第 2 保護層 3 0 と第 1 保護層 2 8 とで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する。その後、所望の形状に裁断されて、突出部 1 5 を有する圧電フィルム 1 2 が作製される。

【0063】

なお、ここまでの工程は、シート状でなくとも、ウェブ状、つまりシートが長くつながった状態で巻き取られたものを用いて行うことも可能である。積層体 1 1 b とシート状物 1 1 c とがともに、ウェブ状で、上述のように熱圧着することも可能である。その場合、圧電フィルム 1 2 はこの時点ではウェブ状に作製される。

【0064】

さらには、積層体 1 1 b とシート状物 1 1 c とを貼り合わせる際に、特殊な糊層を設けてもよい。たとえば、シート状 1 1 c の第 2 電極層 2 6 の面に糊層をもうけてもよい。最も好適な糊層は粘弾性マトリックス 3 4 と同じ素材である。同じ素材を第 2 電極層 2 6 の面に塗り、貼り合わせることも可能である。

【0065】

前述のとおり、本発明の積層圧電素子 1 0 は、このような圧電フィルム 1 2 を積層して、接着層 1 4 で貼着した構成を有する。ここで、図 1 に示す例では、圧電体層 2 0 に付した矢印で示すように、隣接する圧電フィルム 1 2 における分極方向が互いに逆である。図 1 に示す例では、積層圧電素子 1 0 は、隣接する圧電フィルム 1 2 の分極方向を互いに逆にして、3 層の圧電フィルム 1 2 を積層し、隣接する圧電フィルム 1 2 を接着層 1 4 で貼着した構成を有する。

【0066】

具体的には、図 1 に示す例では、図 1 中上側の 1 層目の圧電フィルム 1 2 a は、図中矢印で示すように、分極方向が下向きになっている。従って、図 1 中上側に第 1 電極層 2 4 および第 1 保護層 2 8 が配置され、図 1 中下側に第 2 電極 2 6 および第 2 保護層 3 0 が配置されている。また、1 層目の圧電フィルム 1 2 a の第 2 保護層 3 0 側の面に隣接して配置される 2 層目の圧電フィルム 1 2 b は、図中矢印で示すように、分極方向が上向きになっている。従って、図 1 中下側に第 1 電極層 2 4 および第 1 保護層 2 8 が配置され、図 1 中上側に第 2 電極 2 6 および第 2 保護層 3 0 が配置されている。また、2 層目の圧電フィルム 1 2 b の第 1 保護層 2 8 側の面に隣接して配置される 3 層目の圧電フィルム 1 2 c は、図中矢印で示すように、分極方向が下向きになっている。従って、図 1 中上側に第 1 電極層 2 4 および第 1 保護層 2 8 が配置され、図 1 中下側に第 2 電極 2 6 および第 2 保護層 3 0 が配置されている。

【0067】

ここで、本発明の積層圧電素子 1 0 において、各圧電フィルムは、隣接する圧電フィルムと接着される接着部と、接着部から面方向の外側に向かって突出する、隣接する圧電フィルムと接着されていない突出部とを有する。

図 1 に示す例では、1 層目の圧電フィルム 1 2 a と 2 層目の圧電フィルム 1 2 b とは、図 1 中左側の端部以外の領域が接着層 1 4 によって接着されており、図 1 中左側の端部の領域は接着されていない。以下の説明では、各圧電フィルムの、隣接する圧電フィルムと接着された領域を接着部 1 3 とし、接着されていない領域を突出部 1 5 とする。突出部 1 5 は、接着部 1 3 から、圧電フィルムの主面の面方向の外側に突出した領域であると言える。

【0068】

同様に、2 層目の圧電フィルム 1 2 b と 3 層目の圧電フィルム 1 2 c とは、図 1 中左側の端部以外の領域が接着層 1 4 によって接着されており、図 1 中左側の端部の領域は接着されていない。

【0069】

各圧電フィルムの突出部 1 5 には、電気接点が設けられる。図 1 に示す例では、各圧電フィルムの突出部 1 5 において、第 1 保護層 2 8 を貫通する孔部 2 8 a が形成されており、また、第 2 保護層 3 0 を貫通する孔部 3 0 a が形成されている。第 1 保護層 2 8 に孔部

28aが形成されることによって第1電極層24が表出する。また、突出部15は隣接する圧電フィルムと接着されていない。従って、この孔部28a内の第1電極層24に配線等を接続可能となる。以下、孔部28a（孔部28a内の第1電極層24）を第1接点ともいう。同様に、第2保護層30に孔部30aが形成されることによって第2電極層26が表出する。また、突出部15は隣接する圧電フィルムと接着されていない。従って、この孔部30a内の第2電極層26に配線等を接続可能となる。以下、孔部30a（孔部30a内の第2電極層26）を第2接点ともいう。

【0070】

図1に示す例では、1層目の圧電フィルム12aは第1電極層24側が図1中上側となるように配置されているため、突出部15の上側の面に第1接点28a、下側の面に第2接点30aを有する。2層目の圧電フィルム12bは、第1電極層24側が図1中下側となるように配置されているため、突出部15の上側の面に第2接点30a、下側の面に第1接点28aを有する。3層目の圧電フィルム12cは第1電極層24側が図1中上側となるように配置されているため、突出部15の上側の面に第1接点28a、下側の面に第2接点30aを有する。なお、上述の説明における上下方向は、図1における上下方向に対応するものであり、図中上側の圧電フィルムを1層目の圧電フィルムとし、1層目の圧電フィルム側を上側とする。この点は以下の説明においても同様である。

【0071】

図1に示すように、本発明の積層圧電素子10においては、各圧電フィルムの突出部15に設けられた第1接点28a同士が互いに接続され、また、第2接点30a同士が互いに接続される。なお、図1に示す例では、第1接点28aがプラスに接続され、第2接点30aがマイナスに接続されるものとして図示したが、第1接点28aが電源の同じ極性に接続され、また、第2接点30a同士が電源の他方の同じ極性に接続されることを表すものである。例えば、交流電源に接続される場合には、全ての第1接点28aが交流電源の一方の極性に接続され、全ての第2接点30aが交流電源の他方の極性に接続される。

【0072】

第1接点28aおよび第2接点30aを介して、各圧電フィルム12の第1電極層24および第2電極層26には、圧電フィルム12を伸縮させる駆動電圧を印加する電源が接続される。

電源には、制限はなく、直流電源でも交流電源でもよい。また、駆動電圧も、各圧電フィルムの圧電体層20の厚さおよび形成材料等に応じて、各圧電フィルムを適正に駆動できる駆動電圧を、適宜、設定すればよい。

【0073】

前述のとおり、圧電体層を電極層及び保護層で挟持した圧電フィルムを積層した場合には、圧電フィルムの圧電体層の分極の方向および電極の極性の向きによって、積層圧電素子の出力が低下したり、全体として変形しない場合があった。具体的には、例えば、2つの圧電フィルムが分極方向が逆になるように積層された場合に、同じ側の電極層同士を接続すると、電圧を印加した際に、ある位相において、一方の圧電フィルムは収縮し、他方の圧電フィルムは伸長する。すなわち、2つの圧電フィルムの伸縮の挙動が逆位相になってしまう。そのため、圧電フィルムの伸縮が打ち消し合い、積層圧電素子全体としての変形が少なくなってしまう。

【0074】

また、このような圧電フィルムは、電極層が厚すぎると、圧電体層の変形が阻害されて出力が低下するため、電極層は非常に薄く形成される。薄い電極層で圧電体層を挟持した構成とするために、上述のとおり、圧電フィルムを作製する際には、電極層は支持体となる保護層上に形成された状態で提供される。そのため、圧電フィルムの両主面の最外層は保護層となり、電極層への電気接点を確保することが難しいという問題があった。

【0075】

例えば、各圧電フィルムから電極層のみを引き出すことが考えられるが、前述のとおり、圧電フィルムにおいて、電極層は非常に薄いため、電極層のみを圧電フィルムから引き

10

20

30

40

50

出すことは難しい。

【0076】

これに対して、本発明の積層圧電素子は、各圧電フィルムにおいて、圧電体層20の分極方向の上流側に第1電極層24が配置され、下流側に第2電極層26が配置され、各圧電フィルムは、隣接する圧電フィルムと接着されていない突出部15を有し、各圧電フィルムの突出部15には、各圧電フィルムの第1電極層24が互いに電氣的に接続される第1接点28a、および、各圧電フィルムの第2電極層26が互いに電氣的に接続される第2接点30aが形成されている。

【0077】

隣接する圧電フィルムと接着されていない突出部15を設けて、突出部15に第1接点28aおよび第2接点30aを設けることで、第1電極層24同士、および、第2電極層26同士を容易に接続することができる。

【0078】

また、各圧電フィルムの分極方向と、電極層の極性の関係をすべての圧電フィルムで同じとすることで、各圧電フィルムに同位相の電圧を印加することができる。すなわち、積層圧電素子に電圧を印加した際に、すべての圧電フィルムの伸縮の挙動が同位相になる。そのため、各圧電フィルムの伸縮を強め合うことができ、積層圧電素子全体としての変形（出力）を大きくすることができる。すなわち、高い圧電特性が得られる。

【0079】

また、本発明において、各圧電フィルムは、保護層を有している。例えば、突出部15の保護層に孔部を設けて電気接点を形成した方が有利な点として以下の点が挙げられる。分極方向が隣り合う層で反対向きになる場合には、同じ電気極性の接点に対向することになる。そのため、必要な接点以外の部分が保護層により絶縁されていることで、接点部分のみずらせば保護層同士が接触することになり、絶縁処理が不要になるというメリットがある。また、分極方向が隣り合う層で同じ向きになる場合には、異なる電気極性の電極層に対向することになるが保護層があるため、絶縁処理が不要になる。

【0080】

本発明において、接着層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、接着層14は、貼り合わせる際には流動性を有し、その後、固体になる、接着剤からなる層でも、貼り合わせる際にゲル状（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、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。

【0081】

ここで、本発明の積層圧電素子10は、積層した複数枚の圧電フィルムを伸縮させることで、例えば、後述するように振動板50を振動させて、音を発生させる。従って、本発明の積層圧電素子10は、各圧電フィルムの伸縮が、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、圧電フィルムの伸縮のエネルギーの伝達効率が低くなってしまい、積層圧電素子10の駆動効率が低下してしまう。

【0082】

この点を考慮すると、接着層14は、粘着剤からなる粘着剤層よりも、固体で硬い接着層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。より好ましい接着層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。

【0083】

本発明の積層圧電素子10において、接着層14の厚さには制限はなく、接着層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

10

20

30

40

50

ればよい。

ここで、本発明の積層圧電素子10は、接着層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、接着層14が厚く剛性が高いと、圧電フィルムの伸縮を拘束する可能性もある。さらに、後述するが、本発明の積層圧電素子10は、隣接する圧電フィルム12同士がショートする恐れが無いので、接着層14を薄くできる。

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

具体的には、接着層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。

10

【0084】

本発明の積層圧電素子10においては、接着層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、接着層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。

【0085】

具体的には、接着層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、粘着剤からなる接着層14の場合には25℃において1.0以下、粘着剤からなる接着層14の場合には25℃において0.1以下であるのが好ましい。

20

【0086】

このような本発明の積層圧電素子10は、一例として、図8に概念的に示すように、接着層52によって振動板50に接着されて、振動板50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。言い換えれば、振動板50と積層圧電素子10とは、貼着層52を介して、互いに接触して固定されており、積層圧電素子10は、振動板50から音を発生するための、エキサイターとして作用する。すなわち、図8には、本発明の積層圧電素子10を有する本発明の電気音響変換器の一例が示される。

【0087】

30

上述したように、本発明の積層圧電素子10において、複数層が積層される圧電フィルムを構成する圧電体層20は、粘弾性マトリックス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電極層24および第2電極層26が設けられる。

【0088】

このような圧電体層20を有する圧電フィルムの第1電極層24および第2電極層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（圧電体層20）が厚さ方向に収縮する。同時に、ポアソン比の関係で、圧電フィルムは、面方向にも伸縮する。

この伸縮は、0.01～0.1%程度である。

40

上述したように、圧電体層20の厚さは、好ましくは10～300 μm程度である。従って、厚さ方向の伸縮は、最大でも0.3 μm程度と非常に小さい。

これに対して、圧電フィルムすなわち圧電体層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、圧電フィルムの長さが20 cmであれば、電圧の印加によって、最大で0.2 mm程度、圧電フィルムは伸縮する。

【0089】

上述したように、振動板50は、接着層52によって積層圧電素子10に貼着されている。従って、圧電フィルムの伸縮によって、振動板50は撓み、その結果、振動板50は、厚さ方向に振動する。

この厚さ方向の振動によって、振動板50は、音を発する。すなわち、振動板50は、

50

圧電フィルムに印加した電圧（駆動電圧）の大きさに応じて振動して、圧電フィルムに印加した駆動電圧に応じた音を発生する。

【0090】

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。

【0091】

これに対して、粘弾性マトリックス中に圧電体粒子を分散してなる高分子複合圧電体を有する圧電フィルム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ため、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、圧電フィルムは、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を積層した積層圧電素子10は、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50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。

【0092】

上述したように、本発明の積層圧電素子は、このような圧電フィルムを、複数枚、積層したものである。

そのため、1枚毎の圧電フィルムの剛性が低く、伸縮力は小さくても、圧電フィルムを積層することにより、剛性が高くなり、積層圧電素子10としての伸縮力は大きくなる。その結果、本発明の積層圧電素子10は、振動板50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50を十分に撓ませて、厚さ方向に振動板50を十分に振動させて、振動板50に音を発生させることができる。

【0093】

また、圧電体層20が厚い方が、圧電フィルム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、本発明の積層圧電素子10において、好ましい圧電体層20の厚さは、最大でも300 μ m程度であるので、個々の圧電フィルムに印加する電圧が小さくても、十分に、圧電フィルムを伸縮させることが可能である。

【0094】

本発明の積層圧電素子を用いる本発明の電気音響変換器において、積層圧電素子10と振動板50とを貼着する貼着層52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52（貼着剤）も、貼着層14と同様である。

【0095】

本発明の積層圧電素子を用いる本発明の電気音響変換器において、振動板50にも、制限はなく、各種の物品が利用可能である。

振動板50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等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等の表示デバイス、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。

【0096】

本発明の電気音響変換器において、本発明の積層圧電素子10を貼着する振動板50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50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。

ここで、本発明の電気音響変換器は、振動板50が巻き取られた際に、積層圧電素子1

10

20

30

40

50

0が振動板50から剥離することが無いように、振動板50の巻き取りの曲率に応じて、積層圧電素子10も振動板50と共に曲がるものであるのが好ましい。なお、圧電フィルム12は、好適な可撓性を有するので、本発明の積層圧電素子10も、基本的に、良好な可撓性を発現する。

この際において、振動板50の巻き取りの曲率は、基本的に特定の曲率であるが、振動板50の巻き取りの曲率は、可変であってもよい。

【0097】

本発明の電気音響変換器において、表示デバイスを振動板50とする際には、積層圧電素子10は、表示デバイスの背面側、すなわち、表示デバイスの非画像表示面側に貼着されるのが好ましい。

10

この際において、貼着層52の面方向のサイズは、積層圧電素子10の平面形状のサイズと同サイズ、あるいは、それ以下のサイズであるのが好ましい。

なお、本発明の電気音響変換器において、振動板50として表示デバイスを利用する際には、フレキシブルディスプレイパネル等の表示デバイス自体を振動板50としてもよく、あるいは、表示デバイスに設けられる板状の部材または表示デバイスに係合する板状の部材を振動板50としてもよい。

また、本発明の電気音響変換器を表示デバイスに利用する際には、本発明の電気音響変換器を表示デバイスに組み込んでよく、あるいは、本発明の電気音響変換器の振動板50で表示デバイスに設けられる板状の部材を振動させてよく、あるいは、本発明の電気音響変換器を表示デバイスと共にケーシング等に組み込んでよく。

20

【0098】

本発明の電気音響変換器において、振動板50が巻き取り可能である場合には、振動板50を巻き取っていない状態で積層圧電素子10に駆動電流が通電され、振動板50が巻き取られた際には、積層圧電素子10は通電しないようにするのが好ましい。

また、本発明の電気音響変換器において、振動板50が、表示デバイスのように電気駆動するものである場合には、振動板50を巻き取っていない状態で積層圧電素子10および／または振動板50に駆動電流が通電され、振動板50が巻き取られた際には、積層圧電素子10および／または振動板50には通電しないようにするのが好ましい。

これらの通電および非通電を切替える方法は、公知の方法が、各種、利用可能である。

【0099】

30

上述のように、本発明の電気音響変換器は、貼着層52を用いて、振動板50に、積層圧電素子10を貼着（固定）してなるものである。

このような本発明の電気音響変換器は、振動板50の端部（端辺）を壁等に固定し、および／または、端部を梁等の固定手段によって固定する場合がある。

また、本発明の電気音響変換器において、振動板50の形状には制限はないが、四角形である場合が多い。例えば、上述のように、本発明の電気音響変換器においては、振動板50として、有機エレクトロルミネセンスディスプレイ等の表示デバイスも好適に利用可能である。表示デバイスを振動板とする場合には、通常、振動板50は長方形である。

【0100】

40

振動板50が長方形および正方形などの四角形である場合には、振動板50を安定して固定するために、図45に概念的に示すように、対向する2辺を固定手段80によって固定して、振動板50を支持する場合も多い。

ここで、図45に概念的に示すように、四角形の振動板50の対向する2辺を固定する2つの固定手段80の距離、すなわち、振動板50の固定端間の距離をLとする。

本発明の電気音響変換器においては、四角形の振動板50の対向する2辺を固定する場合には、固定手段80の振動板内方側の端部、すなわち、振動板50の固定端から、0.1×L以上離間して、積層圧電素子10を振動板50に貼着するのが好ましい。

【0101】

すなわち、四角形の振動板50の対向する2辺を固定する場合には、振動板50の固定端と、積層圧電素子10との間に、若干の間隙を有するのが好ましい。

50

このような構成を有することにより、振動板 50 の固定が、上述した積層圧電素子 10 の伸縮を阻害することを抑制し、より好適に振動板 50 を振動して、より音圧の高い音を出力することが可能になる。

【0102】

なお、この際において、図 8 に示されるように、積層圧電素子 10 の端部が、面方向において接着層 52 の外方に突出している場合には、接着層 52 の端部を、積層圧電素子 10 の端部と見なす。すなわち、この際には、接着層 52 の端部が、振動板 50 の固定端から $0.1 \times L$ 以上離間するように、積層圧電素子を貼着する。

逆に、積層圧電素子 10 の端部が、面方向に接着層 52 の内部に位置する場合には、積層圧電素子 10 の端部が、振動板 50 の固定端から $0.1 \times L$ 以上離間するように、積層圧電素子を貼着すればよい。

【0103】

図 49 に、四角形の振動板に、種々の大きさの積層圧電素子を貼着した際における、振動板の固定端から積層圧電素子までの距離と、振動板の変位との関係のシミュレーション結果を示す。

【0104】

振動板は、大きさが 10×10 mm、厚さが 0.3 mm のステンレス製の正方形の板材を用い、対向する 2 辺の端部（端辺）を固定した。

積層圧電素子は、正方形の図 2 に示す圧電フィルム 12 を、4 層、積層して、各層を貼着層によって貼着した物を用いた。

積層圧電素子は、全面に貼着層を設けて、各辺の方向を一致して振動板の中心に貼着した。従って、積層圧電素子の大きさが異なると、振動板の固定端から積層圧電素子までの距離が異なる。

図 49 における面積比とは、図 50 に概念的に示すように、振動板の固定端間の距離 L を 100% とした場合における、一次元的な面積比である。すなわち、面積比 100% とは、振動板の固定端から固定端まで、全面に積層圧電素子を貼着した場合である。また、面積比 60% とは、図 50 の上段に示すように、振動板の固定端から $0.2 \times L$ mm、離間して、振動板に積層圧電素子を貼着した場合である。さらに、面積比 20% とは、図 50 の下段に示すように、振動板の固定端から $0.4 \times L$ mm、離間して、振動板に積層圧電素子を貼着した場合である。

【0105】

図 49 において、破線は、振動板において積層圧電素子が存在しない領域であり、実線は、振動板において積層圧電素子が貼着された領域である。

図 49 に示されるように、面積比 100% 、すなわち、振動板の固定端から固定端まで積層圧電素子を貼着した場合には、振動板の変位すなわち振動は、小さい。

これに対して、面積比 80% 、すなわち、振動板の固定端から $0.1 \times L$ mm、離して、振動板に積層圧電素子を貼着することにより、十分に大きく振動板を振動させることができ、すなわち、高い音圧を得られる。

また、本例では、面積比を 60% とした場合、すなわち、振動板の固定端から $0.2 \times L$ mm、離して、振動板に積層圧電素子を貼着した場合に、より大きく振動板 50 が変位しており、すなわち、より高い音圧が得られている。

以上のように、本発明の電気音響変換器において、四角形の振動板の対向する 2 辺を固定する際に、振動板の固定端から $0.1 \times L$ mm 以上、離して、振動板に積層圧電素子を貼着することにより、より好適に振動板を振動して、より音圧の高い音を出力することができる。

【0106】

本発明の電気音響変換器において、振動板 50 の辺を固定する固定手段 80 には、制限はなく、板状物（シート状物、フィルム）の辺（端辺）を固定する、公知の各種の手段が利用可能である。一例として、板状物の辺を支持可能な梁（片持ち梁を含む）、投影用スクリーンの辺の支持に用いられる固定部材、および、例えばパトロネのような巻回した

10

20

30

40

50

シート状物を引出しおよび巻取り自在に収容する容器のシート引出し口に設けられるシート状物の固定機構等が例示される。

また、振動板 50 の固定は、固定手段 80 を用いるのに制限はされない。例えば、貼着剤等を用いて、壁および支持体となる板状物等に、振動板 50 の端部（端面）を、直接、貼着することで、振動板 50 を固定してもよい。この場合には、振動板の端部が、振動板 50 の固定端となる。

【0107】

本発明の電気音響変換器は、積層圧電素子 10 を 1 つ有するのみに制限はされない。

例えば、電気音響変換器において、音声をステレオ再生すなわち 2 チャンネルで再生する場合には、図 46 に概念的に示すように、固定端間の距離 L 方向に離間して、2 つの積層圧電素子 10 を振動板 50 に貼着してもよい。この場合でも、積層圧電素子 10 は、2 つの固定手段 80 の距離、すなわち、振動板 50 の固定端間の距離を L として、振動板 50 の固定端から、 $0.1 \times L$ 以上離間して、振動板 50 に貼着するのが好ましい。

【0108】

また、本発明の電気音響変換器においては、例えば額縁のように、長方形（正方形）の振動板 50 の 4 辺を全て固定してもよい。

この場合にも、同様に、1 つの対向する 2 辺を固定する固定手段 80 a、および、他方の対向する 2 辺を固定する固定手段 80 b の、それぞれに対応して、同様に、積層圧電素子 10 の固定位置を決定するのが好ましい。

この際には、図 47 に概念的に示すように、振動板 50 の一方の対向する辺を固定する 2 つの固定手段 80 a の距離、すなわち、この対向する辺における振動板 50 の固定端間の距離を L_1 とする。また、振動板 50 の他方の対向する辺を固定する固定する 2 つの固定手段 80 b の距離、すなわち、この対向する辺における振動板 50 の固定端間の距離を L_2 とする。

その上で、図 47 に示すように、振動板 50 において、固定手段 80 a の端部すなわち固定手段 80 a による固定端から $0.1 \times L_1$ 以上、離間し、かつ、固定手段 80 b の端部すなわち固定手段 80 b による固定端から $0.1 \times L_2$ 以上、離間する位置に、積層圧電素子 50 を貼着するのが好ましい。

【0109】

本発明の電気音響変換器においては、長方形の振動板 50 の 4 辺を全て固定する場合でも、積層圧電素子 10 を 1 つのみ有するのみに制限はされない。

例えば、電気音響変換器において、音声をステレオ再生し、かつ、センタースピーカを設けるような、2.5 チャンネルで再生する場合も有る。この際には、図 48 に概念的に示すように、長い固定端間である距離 L_1 の方向に対して、端部近傍に 2 つのステレオ再生用の積層圧電素子 10 を設け、中央にセンタースピーカ用の積層圧電素子 10 を設けてもよい。

この場合でも、積層圧電素子 10 は、一方の対向する辺を固定する固定手段 80 a による固定端間の距離 L_1 と、他方の対向する辺を固定する固定手段 80 b による固定端間の距離 L_2 とに応じて、固定手段 80 a による固定端から $0.1 \times L_1$ 以上、離間し、かつ、固定手段 80 b による固定端から $0.1 \times L_2$ 以上、離間する位置に、3 つの積層圧電素子 50 を貼着するのが好ましい。

【0110】

上述のように、本発明の電気音響変換器においては、四角形の振動板 50 の対向する辺を固定する固定手段の端部、すなわち、四角形の振動板 50 の対向する辺の固定端から、 $0.1 \times L$ 以上、離間して、積層圧電素子 10 を振動板に貼着するのが好ましい。

ここで、より高い音圧すなわち振動板 50 の変位量を得られる等の点で、振動板 50 の固定端から積層圧電素子 10 までの距離は、 $0.15 \times L$ 以上がより好ましく、 $0.2 \times L$ 以上がさらに好ましい。

【0111】

一方で、積層圧電素子 10 の位置が、振動板 50 の固定端から離間しすぎると、必要な

10

20

30

40

50

大きさの積層圧電素子 10 を振動板 50 に貼着できなくなる、必要な数の積層圧電素子 10 を振動板 50 に貼着できなくなる、ステレオ再生などの多チャンネル再生が困難になる、多チャンネル化した場合に積層圧電素子 10 同士の距離が近すぎてクロストークが発生する等の不都合を生じる可能性がある。

この点を考慮すると、振動板 50 の固定端から積層圧電素子 10 までの距離は、 $0.4 \times L$ 以下が好ましく、 $0.3 \times L$ 以下がより好ましい。

【0112】

振動板 50 を固定することによる、振動板の振動への影響は、振動板 50 の剛性によって異なり、振動板 50 の剛性が高いほど、影響は大きい。すなわち、積層圧電素子 10 の固定位置を、振動板 50 の固定端から離間することの効果は、振動板 50 の剛性が高い場合に、より大きく得ることができる。

10

この点を考慮すると、四角形の振動板 50 の対向する 2 辺を固定し、かつ、振動板 50 の固定端から $0.1 \times L$ 以上、離間して積層圧電素子 10 を振動板 50 に貼着する場合には、振動板 50 の剛性が、ある程度、高いのが好ましい。

具体的には、振動板 50 の対向する 2 辺を固定し、積層圧電素子 10 の固定位置を、振動板 50 の固定端から $0.1 \times L$ 以上、離間する場合には、振動板 50 のバネ定数は、 $1 \times 10^4 \sim 1 \times 10^7 \text{ N/m}$ が好ましく、 $1 \times 10^5 \sim 1 \times 10^6 \text{ N/m}$ がより好ましい。なお、振動板のような板状物のバネ定数は、形成材料のヤング率に、板状物の厚さを乗じることで算出できる。

【0113】

20

本発明において、振動板の形状は、長方形および正方形に制限はされず、ひし形、台形、および、平行四辺形などの、様々な形状の四角形が利用可能である。

この場合には、図 51 に振動板 50 a を例示して概念的に示すように、固定手段 80 によって固定される対向する 2 辺間において、他方の対向する辺の離間方向の様々な位置で、 $L1$ 、 $L2$ 、 $L3 \dots$ のように、固定端間の距離 L を設定する。

その上で、固定端間の距離が $L1$ の位置では、積層圧電素子 10 が固定端から $0.1 \times L1$ 以上離間するように、固定端間の距離が $L2$ の位置では、積層圧電素子 10 が固定端から $0.1 \times L2$ 以上離間するように、固定端間の距離が $L3$ となる位置では、積層圧電素子 10 が固定端から $0.1 \times L3$ 以上離間するように……となるように、振動板 50 a における積層圧電素子 10 の貼着位置を決定すればよい。

30

【0114】

なお、本発明の電気音響変換器において、振動板 50 の四角形、特に長方形および正方形は、完全な四角形に制限はされない。

すなわち、本発明において、四角形の振動板 50 は、角部を面取りした形状でもよく、角部を曲線状（R 状、ラウンド状）にした形状でもよく、オーバル形状でもよい。

【0115】

また、発明の電気音響変換器において、四角形の振動板における対向する 2 辺の固定は、辺の全域に制限はされず、振動板の剛性および振動板の大きさ等に応じて、辺の一部の領域を固定するものでもよい。

この際においては、1 辺の 50 % 以上の領域を固定するのが好ましく、1 辺の 70 % 以上の領域を固定するのがより好ましく、1 辺の 90 % 以上の領域を固定するのがさらに好ましく、1 辺の全域を固定するのが特に好ましい。

40

また、上述のように、四角形の角部が面取りされている場合、および、曲線状にされている場合には、面取り等を行われていない領域を 1 辺の全域としてもよく、あるいは、面取り等を行われている領域を含めて 1 辺の全域としてもよい。

【0116】

本発明の電気音響変換器において、振動板の形状は、四角形に制限はされず、円形、楕円形、および、四角形以外の多角形等、様々な形状の振動板が利用可能である。

ここで、振動板を固定した場合には、振動板の固定端から、ある程度離間して、振動板に積層圧電素子 10 を貼着することにより、高い音圧等が得られるという好ましい効果は

50

、振動板の形状によらず、四角形以外の各種の振動板でも同様である。

【0117】

例えば、振動板が六角形および八角形等のように、対向する辺を有する多角形状である場合には、対向する2辺で固定を行い、四角形の振動板50の場合と同様に固定端間の距離 L を設定して、固定端から $0.1 \times L$ 以上離間して、振動板50に積層圧電素子10を貼着するのが好ましい。

【0118】

また、図52に概念的に示すような円形の振動板50bの場合には、振動板50bの全周を囲むように円形(円環状)の固定手段80cを設けることが考えられる。この場合には、固定手段80cの内側が固定端となるので、固定手段80cの内径 ϕ を固定端間の距離 L として、振動板50の固定端から $0.1 \times L$ 以上離間する位置に、積層圧電素子10を貼着すればよい。

10

また、図52に示すような円形の振動板50bでは、図52に円環状の固定手段80cに重ねてハッチで示す固定手段80dおよび固定手段80eのように、円弧状の固定手段で、振動板50bの固定を行うことも考えられる。この際にも、同様に、固定手段の円弧の内径 ϕ を固定端間の距離 L として、振動板50bの固定端から $0.1 \times L$ 以上離間する位置に、積層圧電素子10を貼着すればよい。

【0119】

振動板が三角形および五角形のように、対向する辺を有さない多角形の場合も有る。この場合には、多角形の1辺と、対向する頂点とを固定することが考えられる。

20

例えば、図53に概念的に示すように、振動板50cが三角形である場合には、三角形の一辺を固定手段80で固定し、この一辺と対向する頂点を固定手段80fで固定することが考えられる。

この場合には、固定手段80fで固定する頂点から、固定される対向する辺まで垂線Pを下ろし、頂点から固定される辺までの垂線の距離を、固定端間の距離 L として、振動板50cの固定端(一方は頂点)から $0.1 \times L$ 以上離間する位置に、積層圧電素子10を貼着すればよい。

【0120】

なお、このようなエキサイタとして作用する圧電素子の振動板への貼着位置に関しては、エキサイタとして作用する圧電素子が1枚の圧電フィルムで構成される場合、および、エキサイタとして作用する圧電素子が、カットシート状の圧電フィルムを積層して、好ましくは隣接する圧電フィルムを貼着した積層圧電素子である場合も、同様である。

30

【0121】

ここで、図1に示す例では、隣接する圧電フィルムの分極方向が、互いに逆である。すなわち、圧電フィルムの分極方向が交互になるように積層されている。しかしながら、本発明はこれに限定はされない。図9に示す例のように、隣接する圧電フィルムの分極方向が、互いに一致していてもよい。

【0122】

図9に示す例では、図9中上側の1層目の圧電フィルム12dは、図中矢印で示すように、分極方向が下向きになっている。従って、図9中上側に第1電極層24および第1保護層28が配置され、図9中下側に第2電極26および第2保護層30が配置されている。また、1層目の圧電フィルム12dの第2保護層30側の面に隣接して配置される2層目の圧電フィルム12eは、図中矢印で示すように、分極方向が下向きになっている。従って、図9中上側に第1電極層24および第1保護層28が配置され、図9中下側に第2電極26および第2保護層30が配置されている。また、2層目の圧電フィルム12eの第2保護層30側の面に隣接して配置される3層目の圧電フィルム12fは、図中矢印で示すように、分極方向が下向きになっている。従って、図9中上側に第1電極層24および第1保護層28が配置され、図9中下側に第2電極26および第2保護層30が配置されている。

40

【0123】

50

図 9 に示す例では、1 層目の圧電フィルム 1 2 d は第 1 電極層 2 4 側が図 9 中上側となるように配置されているため、突出部 1 5 の上側の面において、第 1 保護層 2 8 に第 1 接点 2 8 a となる孔部が設けられており、下側の面において、第 2 保護層 3 0 に第 2 接点 3 0 a となる孔部が設けられている。2 層目の圧電フィルム 1 2 e は、第 1 電極層 2 4 側が図 9 中上側となるように配置されているため、突出部 1 5 の上側の面において、第 1 保護層 2 8 に第 1 接点 2 8 a となる孔部が設けられており、下側の面において、第 2 保護層 3 0 に第 2 接点 3 0 a となる孔部が設けられている。3 層目の圧電フィルム 1 2 f は第 1 電極層 2 4 側が図 9 中上側となるように配置されているため、突出部 1 5 の上側の面において、第 1 保護層 2 8 に第 1 接点 2 8 a となる孔部が設けられており、下側の面において、第 2 保護層 3 0 に第 2 接点 3 0 a となる孔部が設けられている。

10

【0 1 2 4】

図 9 に示すように、各圧電フィルムの突出部 1 5 に設けられた第 1 接点 2 8 a 同士が互いに接続され、また、第 2 接点 3 0 a 同士が互いに接続される。

【0 1 2 5】

なお、隣接する圧電フィルムの圧電体層 2 0 の分極方向が、互いに逆である積層圧電素子 1 0 においては、隣接する圧電フィルム 1 2 では、一方の面で第 2 電極層 2 6 同士が対面し、他方の面で第 1 電極層 2 4 同士が対面する。そのため、隣接する圧電フィルムの電極層同士が接触しても、ショート（短絡）する恐れがない点で好ましい。

【0 1 2 6】

また、上述したように、積層圧電素子 1 0 を良好なエネルギー効率で伸縮するためには、接着層 1 4 が圧電体層 2 0 の伸縮を妨害しないように、接着層 1 4 を薄くするのが好ましい。これに対して、隣接する圧電フィルムの圧電体層 2 0 の分極方向が、互いに逆である積層圧電素子 1 0 は、隣接する圧電フィルムの電極層同士が接触しても、ショートする恐れがないため、接着層 1 4 を極めて薄くできる。そのため、より高いエネルギー効率で積層圧電素子 1 0 を伸縮させることができる。

20

【0 1 2 7】

なお、上述したように、圧電フィルムにおいては、厚さ方向の圧電体層 2 0 の伸縮の絶対量は非常に小さく、圧電フィルムの伸縮は、実質的に、面方向のみとなる。

従って、積層される圧電フィルムの分極方向が逆であっても、第 1 電極層 2 4 および第 2 電極層 2 6 に印加する電圧の極性さえ正しければ、全ての圧電フィルムは同じ方向に伸縮する。

30

【0 1 2 8】

なお、本発明の積層圧電素子 1 0 において、圧電フィルムの分極方向は、d 3 3 メーター等で検出すれば良い。

または、上述した際のコロナポーリング処理の処理条件から、圧電体層 2 0 の分極方向を知見してもよい。

【0 1 2 9】

本発明の積層圧電素子を用いる電気音響変換器において、積層圧電素子 1 0 と振動板 5 0 とを貼着する接着層には、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、上述した接着層 1 4 と同様のものが例示される。

40

【0 1 3 0】

本発明の積層圧電素子を用いる電気音響変換器において、振動板 5 0 にも、制限はなく、各種の物品が利用可能である。

振動板 5 0 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等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等の表示デバイス、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。

【0 1 3 1】

図示例の積層圧電素子 1 0 においては、好ましくは、長尺（大面積）の圧電フィルムを

50

作製し、長尺な圧電フィルムを切断して、個々の圧電フィルムとする。従って、この場合は、積層圧電素子 10 を構成する複数枚の圧電フィルムは、全て同じものである。

しかしながら、本発明は、これに制限はされない。すなわち、本発明の積層圧電素子は、例えば、異なる層構成の圧電フィルムを積層した構成、および、圧電体層 20 の厚さが異なる圧電フィルムを積層した構成等、各種の構成が利用可能である。

【0132】

次に、圧電フィルムの突出部の構成、および、接点同士の接続方法の例について、具体的に説明する。

【0133】

図 10 は、本発明の積層圧電素子の一例を概念的に示す図である。図 11 は、図 10 の分解図である。図 12 は、図 10 の積層圧電素子が有する複数の圧電フィルムを示す図である。

10

図 10 および図 11 に示す例は、圧電フィルムを 5 枚積層された構成を有する。各圧電フィルムは、分極方向が交互になるように積層されている。図 11 および図 12 においては、圧電フィルムの第 2 保護層側の面にハッチングを付して示す。すなわち、図 11 においては、図 11 中上側の 1 層目の圧電フィルム 12 g は、第 1 保護層 28 側を上に向けて積層され、2 層目の圧電フィルム 12 h は、第 2 保護層 30 側を上に向けて積層され、3 層目の圧電フィルム 12 i は、第 1 保護層 28 側を上に向けて積層され、4 層目の圧電フィルム 12 j は、第 2 保護層 30 側を上に向けて積層され、5 層目の圧電フィルム 12 k は、第 1 保護層 28 側を上に向けて積層されている。

20

【0134】

図 11 および図 12 に示すように、各圧電フィルムは、長形状の接着部 13 と、接着部 13 の長辺側から面方向の外側に向かって突出する 2 つの突出部 15 を有する。2 つの突出部 15 は、接着部 13 の対向する長辺からそれぞれ突出するように設けられている。図示例において、各圧電フィルムの接着部 13 の大きさは略同じである。

【0135】

図 12 に示すように、1 層目の圧電フィルム 12 g には、長辺側の一方の端部側に突出部 15 が形成されている。2 層目の圧電フィルム 12 h には、1 層目の圧電フィルム 12 g の突出部 15 の位置から他方の端部側にズレた位置に突出部 15 が形成されている。3 層目の圧電フィルム 12 i には、2 層目の圧電フィルム 12 h の突出部 15 の位置から他方の端部側にズレた位置に突出部 15 が形成されている。4 層目の圧電フィルム 12 j には、3 層目の圧電フィルム 12 i の突出部 15 の位置から他方の端部側にズレた位置に突出部 15 が形成されている。5 層目の圧電フィルム 12 k には、4 層目の圧電フィルム 12 j の突出部 15 の位置から他方の端部側にズレた位置に突出部 15 が形成されている。

30

図 12 に示す例では、各圧電フィルムの突出部は、略同じ大きさ形状である。また、各圧電フィルムの突出部は、隣接する圧電フィルムの突出部の位置から、突出部 1 つ分ズレた位置に形成されている。

【0136】

また、各圧電フィルム的一方の長辺側の突出部 15 には、第 1 保護層 28 を貫通する孔部 28 a が設けられており、孔部 28 a 内で第 1 電極層 24 が表出している。また、各圧電フィルムの他方の長辺側の突出部 15 には、第 2 保護層 30 を貫通する孔部 30 a が設けられており、孔部 30 a 内で第 2 電極層 26 が表出している。すなわち、各圧電フィルム的一方の長辺側の突出部 15 に第 1 接点 28 a が形成され、他方の長辺側の突出部 15 に第 2 接点 30 a が形成されている。

40

【0137】

このような 5 つの圧電フィルムが接着部 13 の面方向の位置を一致させて積層されると、図 11 に示すように、各圧電フィルムの突出部 15 は、面方向において、互いに重複しないように配置される。

また、各圧電フィルム的一方の長辺側（図 11 中右側の長辺側）の突出部 15 にはいずれも、第 1 接点 28 a が形成されている。前述のとおり、1、3、5 層目の圧電フィルム

50

と、2, 4層目の圧電フィルムとは逆向きで積層されるため、第1接点28aは互いに逆側の面に形成されている。

【0138】

これらの第1接点28aが形成された5つの突出部15には、表面から裏面にかけて導電性フィルム60aが貼着される。これによって、各圧電フィルムの第1接点28aが容易に電氣的に接続される。

【0139】

同様に、各圧電フィルムの他方の長辺側（図11中左側の長辺側）の突出部15にはいずれも、第2接点30aが形成されている。前述のとおり、1, 3, 5層目の圧電フィルムと、2, 4層目の圧電フィルムとは逆向きで積層されるため、第2接点30aは互いに逆側の面に形成されている。

【0140】

これらの第2接点30aが形成された5つの突出部15には、表面から裏面にかけて導電性フィルム60bが貼着される。これによって、各圧電フィルムの第2接点30aが容易に電氣的に接続される。

【0141】

突出部15の第1保護層28に形成される孔部28a、および、第2保護層30に形成される孔部30aの形状は、電極層に確実に接続することができれば特に限定はなく、円形状、楕円形状、矩形状、多角形状、不定形状等の種々の形状とすることができる。

【0142】

また、孔部28aおよび孔部30aの大きさも、電極層に確実に接続することができれば特に限定はない。円相当直径で、0.5mm～10mmが好ましく、1mm～5mmがより好ましい。

【0143】

また、孔部（第1接点）28a、および、孔部（第2接点）30aの形成位置にも特に限定はないが、各圧電フィルムの接点同士を容易に接続可能とする観点から、各圧電フィルムの孔部（第1接点）28a、および、孔部（第2接点）30aはそれぞれ、接着部13の同じ辺側に形成されるのが好ましい。

【0144】

導電性フィルム60aおよび60bとしては、例えば銅箔膜など、導電性を有する金属材料で形成されるシート状物を用いればよい。また、導電性フィルムと第1接点28a、第2接点30aとを銀ペースト等の導電性塗料を介して接続してもよい。

【0145】

ここで、図10～図12に示す例では、各圧電フィルムは、2つの突出部を有し、2つの突出部15の一方に第1接点28aが形成され、他方に第2接点30aが形成される構成としたがこれに限定はされない。各圧電フィルムは、1つの突出部を有し、1つの突出部15に第1接点28aおよび第2接点30aが形成される構成としてもよい。また、この場合には、面方向における、第1接点28aと、第2接点30aとは重複する位置に形成される構成であってもよいが、図13および図14に示すように、異なる位置に形成されることが好ましい。

【0146】

図13は、本発明の積層圧電素子の他の一例を概念的に示す斜視図である。図14は、図13の一部を拡大した分解図である。

図13および図14に示す積層圧電素子は、5枚の圧電フィルム（12l～12p）が積層された構成を有する。各圧電フィルムは、分極方向が交互になるように積層されている。すなわち、図14においては、図14中上側の1層目の圧電フィルム12lは、第1保護層28側を上に向けて積層され、2層目の圧電フィルム12mは、第2保護層30側を上に向けて積層され、3層目の圧電フィルム12nは、第1保護層28側を上に向けて積層され、4層目の圧電フィルム12oは、第2保護層30側を上に向けて積層され、5層目の圧電フィルム12pは、第1保護層28側を上に向けて積層されている。

【0147】

図13および図14に示すように、各圧電フィルムは、長形状の接着部と、接着部の長辺側から面方向の外側に向かって突出する1つの突出部15を有する。1つの突出部15は、接着部の一方の長辺から接着部から離間する方向に突出するように設けられている。図示例において、各圧電フィルムの接着部の大きさは略同じである。

【0148】

図14に示すように、1層目の圧電フィルム12lには、一方の長辺側の端部側に突出部15が形成されている。2層目の圧電フィルム12mには、1層目の圧電フィルム12lの突出部15の位置から他方の端部側にズレた位置に突出部15が形成されている。3層目の圧電フィルム12nには、2層目の圧電フィルム12mの突出部15の位置から他方の端部側にズレた位置に突出部15が形成されている。4層目の圧電フィルム12oには、3層目の圧電フィルム12nの突出部15の位置から他方の端部側にズレた位置に突出部15が形成されている。5層目の圧電フィルム12pには、4層目の圧電フィルム12oの突出部15の位置から他方の端部側にズレた位置に突出部15が形成されている。

図14に示す例では、各圧電フィルムの突出部は、略同じ大きさ形状である。また、各圧電フィルムの突出部は、隣接する圧電フィルムの突出部の位置から、突出部1つ分ズレた位置に形成されている。

【0149】

また、図14に示すように、各圧電フィルムの突出部15の根元側（接着部側）には、第1保護層28を貫通する孔部28aが設けられており、孔部28a内で第1電極層24が表出している。また、各圧電フィルムの突出部15の先端側には、第2保護層30を貫通する孔部30aが設けられており、孔部30a内で第2電極層26が表出している。すなわち、各圧電フィルムの突出部15に表面および裏面にそれぞれ、第1接点28aおよび第2接点30aが形成されている。

【0150】

このような5つの圧電フィルムが接着部の面方向の位置を一致させて積層されると、図14に示すように、各圧電フィルムの突出部15は、面方向において、互いに重複しないように配置される。

また、各圧電フィルムの突出部15の根元側にはいずれも、第1接点28aが形成されている。前述のとおり、1、3、5層目の圧電フィルムと、2、4層目の圧電フィルムとは逆向きで積層されるため、積層状態では、第1接点28aは互いに逆側の面に形成されている。同様に、各圧電フィルムの突出部15の先端側にはいずれも、第2接点30aが形成されている。前述のとおり、1、3、5層目の圧電フィルムと、2、4層目の圧電フィルムとは逆向きで積層されるため、積層状態では、第2接点30aは互いに逆側の面に形成されている。

【0151】

これらの5つの突出部15の根元側の第1接点28aの位置には、表面から裏面にかけて導電性フィルム60aが貼着される。これによって、各圧電フィルムの第1接点28aが容易に電氣的に接続される。同様に、5つの突出部15の先端側の第2接点30aの位置には、表面から裏面にかけて導電性フィルム60bが貼着される。これによって、各圧電フィルムの第2接点30aが容易に電氣的に接続される。その際、第1接点28aを接続する導電性フィルムと第2接点30aを接続する導電性フィルムとは接続しないように配置される。

【0152】

ここで、図10～図12に示す例では、各圧電フィルムは、圧電体層の分極方向が交互になるように積層されている。これに対して、各圧電フィルムが、圧電体層の分極方向が同じ方向になるように積層されている場合には、圧電フィルムの突出部15に形成される第1接点28aが一方の同じ面側を向くように形成され、また、第2接点30aが他方の同じ面側を向くように形成される。

【0153】

例えば、図 1 5 は、本発明の積層圧電素子の他の一例を概念的に示す斜視図である。

図 1 5 に示す積層圧電素子は、5 枚の圧電フィルムが積層された構成を有する。各圧電フィルムは、分極方向が同じ向きになるように積層されている。

【0154】

図 1 5 に示すように、各圧電フィルムは、長形状の接着部と、接着部の長辺側から面方向の外側に向かって突出する 1 つの突出部 1 5 を有する。1 つの突出部 1 5 は、接着部の一方の長辺から接着部から離間する方向に突出するように設けられている。図示例において、各圧電フィルムの接着部の大きさは略同じである。

【0155】

図 1 5 に示す各圧電フィルムの構成は 2 層目および 4 層目の積層の向きが異なる以外は図 1 3 および図 1 4 に示す圧電フィルムと同様である。すなわち、各圧電フィルムには、一方の長辺側の端部側に突出部 1 5 が形成されている。各圧電フィルムの突出部 1 5 は、隣接する圧電フィルムの突出部 1 5 の位置から、突出部 1 5 が形成される接着部の端辺の長さ方向に、突出部 1 つ分ズレた位置に形成されている。

【0156】

図 1 5 に示すように、各圧電フィルムの突出部 1 5 の根元側（接着部側）には、第 1 保護層 2 8 を貫通する孔部 2 8 a が設けられており、孔部 2 8 a 内で第 1 電極層 2 4 が表出している。また、各圧電フィルムの突出部 1 5 の先端側には、第 2 保護層 3 0 を貫通する孔部 3 0 a が設けられており、孔部 3 0 a 内で第 2 電極層 2 6 が表出している。すなわち、各圧電フィルムの突出部 1 5 に表面および裏面にそれぞれ、第 1 接点 2 8 a および第 2 接点 3 0 a が形成されている。

【0157】

このような 5 つの圧電フィルムが接着部の面方向の位置を一致させて積層されると、図 1 5 に示すように、各圧電フィルムの突出部 1 5 は、面方向において、互いに重複しないように配置される。

また、各圧電フィルムの突出部 1 5 の根元側にはいずれも、第 1 接点 2 8 a が形成されている。前述のとおり、全ての圧電フィルムは同じ向きで積層されるため、積層状態では、全ての第 1 接点 2 8 a は同じ向きの面に形成されている。同様に、各圧電フィルムの突出部 1 5 の先端側にはいずれも、第 2 接点 3 0 a が形成されている。前述のとおり、全ての圧電フィルムは同じ向きで積層されるため、積層状態では、全ての第 2 接点 3 0 a は同じ向きの面に形成されている。

【0158】

これらの 5 つの突出部 1 5 の根元側の第 1 接点 2 8 a が形成されている側の面には、導電性フィルムが貼着される。これによって、各圧電フィルムの第 1 接点 2 8 a が容易に電氣的に接続される。同様に、5 つの突出部 1 5 の先端側の第 2 接点 3 0 a が形成されている面には、他の導電性フィルムが貼着される。これによって、各圧電フィルムの第 2 接点 3 0 a が容易に電氣的に接続される。その際、第 1 接点 2 8 a を接続する導電性フィルムと第 2 接点 3 0 a を接続する導電性フィルムとは接続しないように配置される。

【0159】

また、図 1 0 ~ 1 2 に示す例では、各圧電フィルムの突出部 1 5 のすべてが、面方向において互いに重複しない位置に配置される構成としたがこれに限定はされない。

【0160】

図 1 6 は、本発明の積層圧電素子の他の一例を概念的に示す斜視図である。図 1 7 は、図 1 6 に示す積層圧電素子の右側の部分を拡大した図である。図 1 8 は、図 1 7 を裏側から見た図である。図 1 9 は、図 1 6 に示す積層圧電素子の左側の部分を拡大した図である。図 2 0 は、図 1 9 を裏側から見た図である。

【0161】

図 1 6 ~ 図 2 0 に示す積層圧電素子は、5 枚の圧電フィルムが積層された構成を有する。各圧電フィルムは、分極方向が交互になるように積層されている。

【0162】

10

20

30

40

50

図 1 6 に示すように、各圧電フィルムは、長形状の接着部と、接着部の長辺側から面方向の外側に向かって突出する 2 つの突出部 1 5 を有する。2 つの突出部 1 5 は、接着部の長辺の一方の端部側および他方の端部側にそれぞれ形成されている。図示例において、各圧電フィルムの接着部の大きさは略同じである。

【0163】

図 1 6 に示す例では、図 1 6 中右側の端面側に形成される突出部 1 5 には、第 1 接点が形成されており、図 1 6 中左側の端面側に形成される突出部 1 5 には、第 2 接点が形成されている。

【0164】

図 1 7 および図 1 8 に示すように、図 1 6 中右側の端面側に形成される突出部 1 5 は、2 層目と 3 層目、ならびに、4 層目と 5 層目が面方向の同じ位置に形成されている。

10

2 層目の突出部 1 5 に形成される第 1 接点は 3 層目側を向いており、また、3 層目の突出部に形成される第 1 接点は、2 層目側を向いている。すなわち、2 層目の第 1 接点と 3 層目の第 1 接点とは対面している。

【0165】

同様に、4 層目の突出部 1 5 に形成される第 1 接点は 5 層目側を向いており、また、5 層目の突出部に形成される第 1 接点は、4 層目側を向いている。すなわち、4 層目の第 1 接点と 5 層目の第 1 接点とは対面している。

【0166】

また、1 層目の突出部 1 5 に形成される第 1 接点は、2 層目とは反対側を向いている。

20

【0167】

このように各突出部 1 5 に形成された第 1 接点は、導電性フィルム 6 0 a によって互いに接続される。具体的には、図 1 7 および図 1 8 に示すように、導電性フィルム 6 0 a は、1 層目の突出部の第 1 接点を覆い、2 層目と 3 層目との間に挟持され、さらに、4 層目と 5 層目との間に挟持されるように配置される。これにより、1 層目～5 層目の第 1 接点が接続される。

【0168】

一方、図 1 9 および図 2 0 に示すように、図 1 6 中左側の端面側に形成される突出部 1 5 は、2 層目と 3 層目、ならびに、4 層目と 5 層目が面方向の同じ位置に形成されている。

2 層目の突出部 1 5 に形成される第 2 接点は 3 層目とは反対側を向いており、また、3 層目の突出部に形成される第 2 接点は、2 層目とは反対側を向いている。すなわち、2 層目と 3 層目の突出部が積層された部分には両面に第 2 接点が形成されている。

30

【0169】

同様に、4 層目の突出部 1 5 に形成される第 2 接点は 5 層目とは反対側を向いており、また、5 層目の突出部に形成される第 2 接点は、4 層目とは反対側を向いている。すなわち、4 層目と 5 層目の突出部が積層された部分には両面に第 2 接点が形成されている。

【0170】

また、1 層目の突出部 1 5 に形成される第 2 接点は、2 層目側を向いている。

【0171】

このように各突出部 1 5 に形成された第 2 接点は、導電性フィルム 6 0 b によって互いに接続される。具体的には、図 1 9 および図 2 0 に示すように、導電性フィルム 6 0 b は、各突出部の表面側から裏面側にかけて貼着される。これにより、1 層目～5 層目の第 2 接点が接続される。

40

【0172】

ここで、図 1 0 ～1 2 に示す例では、各圧電フィルムの突出部が面方向において互いに重複しない位置に配置される構成としたがこれに限定はされない。各圧電フィルムの突出部が、面方向において、接着部の同じ位置から突出して、突出方向の長さが互いに異なる構成であってもよい。

【0173】

図 2 1 は、本発明の積層圧電素子の他の一例を概念的に示す斜視図である。図 2 1 は、

50

分解図である。

図 2 1 に示す積層圧電素子は、5 枚の圧電フィルム（1 2 q ～ 1 2 u）が積層された構成を有する。各圧電フィルムは、分極方向が交互になるように積層されている。すなわち、図 2 1 においては、図 2 1 中上側の 1 層目の圧電フィルム 1 2 q は、第 1 保護層 2 8 側を上に向けて積層され、2 層目の圧電フィルム 1 2 r は、第 2 保護層 3 0 側を上に向けて積層され、3 層目の圧電フィルム 1 2 s は、第 1 保護層 2 8 側を上に向けて積層され、4 層目の圧電フィルム 1 2 t は、第 2 保護層 3 0 側を上に向けて積層され、5 層目の圧電フィルム 1 2 u は、第 1 保護層 2 8 側を上に向けて積層されている。

【0 1 7 4】

図 2 1 に示すように、各圧電フィルムは、長方形の接着部と、接着部の短辺から面方向の外側に向かって突出する 2 つの突出部 1 5 を有する。2 つの突出部 1 5 は、短辺の一方の端部および他方の端部に設けられている。図示例において、各圧電フィルムの接着部の大きさは略同じである。

【0 1 7 5】

まず、図 2 1 中、左側の端部に形成される突出部について説明する。図 2 1 に示すように、1 層目の圧電フィルム 1 2 q には、短辺の左側の端部に突出部 1 5 が形成されている。2 層目の圧電フィルム 1 2 r には、1 層目の圧電フィルム 1 2 q の突出部 1 5 の位置と同じ位置から突出する突出部 1 5 が形成されている。2 層目の突出部 1 5 は 1 層目の突出部 1 5 よりも突出方向の長さが長い。3 層目の圧電フィルム 1 2 s には、2 層目の圧電フィルム 1 2 r の突出部 1 5 の位置と同じ位置から突出する突出部 1 5 が形成されている。3 層目の突出部 1 5 は 2 層目の突出部 1 5 と同じ長さである。4 層目の圧電フィルム 1 2 t には、3 層目の圧電フィルム 1 2 s の突出部 1 5 の位置と同じ位置から突出する突出部 1 5 が形成されている。4 層目の突出部 1 5 は、3 層目の突出部 1 5 よりも突出方向の長さが長い。5 層目の圧電フィルム 1 2 u には、4 層目の圧電フィルム 1 2 t の突出部 1 5 の位置と同じ位置から突出する突出部 1 5 が形成されている。5 層目の突出部 1 5 は 4 層目の突出部 1 5 と同じ長さである。

【0 1 7 6】

これら図 2 1 中左側の突出部 1 5 には、第 1 保護層 2 8 を貫通する孔部 2 8 a が設けられており、孔部 2 8 a 内で第 1 電極層 2 4 が表出している。すなわち、各突出部 1 5 には、第 1 接点 2 8 a が形成されている。

前述のとおり、1、3、5 層目の圧電フィルムと、2、4 層目の圧電フィルムとは逆向きで積層される。そのため、図 2 1 に示すように、2 層目の第 1 接点と 3 層目の第 1 接点とは対面している。同様に、4 層目の第 1 接点と 5 層目の第 1 接点とは対面している。

【0 1 7 7】

このように各突出部 1 5 に形成された第 1 接点は、導電性フィルム（図示せず）によって互いに接続される。具体的には、1 層目の突出部の第 1 接点を覆う導電性フィルムと、2 層目と 3 層目の突出部 1 5 の間に挟持される導電性フィルムと、4 層目と 5 層目の突出部 1 5 の間に挟持される導電性フィルムとを配置して 3 つの導電性フィルムを接続することで、1 層目～5 層目の第 1 接点が接続される。導電性フィルムの配置については、後述する図 2 4 ～図 2 6 の例と同様である。

【0 1 7 8】

次に、図 2 1 中、右側の端部に形成される突出部について説明する。図 2 1 に示すように、1 層目の圧電フィルム 1 2 q には、短辺の右側の端部に突出部 1 5 が形成されている。2 層目の圧電フィルム 1 2 r には、1 層目の圧電フィルム 1 2 q の突出部 1 5 の位置と同じ位置から突出する突出部 1 5 が形成されている。2 層目の突出部 1 5 は 1 層目の突出部 1 5 と同じ長さである。3 層目の圧電フィルム 1 2 s には、2 層目の圧電フィルム 1 2 r の突出部 1 5 の位置と同じ位置から突出する突出部 1 5 が形成されている。3 層目の突出部 1 5 は 2 層目の突出部 1 5 よりも突出方向の長さが長い。4 層目の圧電フィルム 1 2 t には、3 層目の圧電フィルム 1 2 s の突出部 1 5 の位置と同じ位置から突出する突出部 1 5 が形成されている。4 層目の突出部 1 5 は、3 層目の突出部 1 5 と同じ長さである。

5層目の圧電フィルム12uには、4層目の圧電フィルム12tの突出部15の位置と同じ位置から突出する突出部15が形成されている。5層目の突出部15は4層目の突出部15よりも突出方向の長さが長い。

【0179】

これら図21中右側の突出部15には、第2保護層30を貫通する孔部30aが設けられており、孔部30a内で第2電極層26が表出している。すなわち、各突出部15には、第2接点30aが形成されている。

前述のとおり、1、3、5層目の圧電フィルムと、2、4層目の圧電フィルムとは逆向きで積層される。そのため、図21に示すように、1層目の第2接点と2層目の第2接点とは対面している。同様に、3層目の第2接点と4層目の第2接点とは対面している。

【0180】

このように各突出部15に形成された第2接点は、導電性フィルム（図示せず）によって互いに接続される。具体的には、1層目と2層目との間に挟持される導電性フィルムと、3層目と4層目との間に挟持される導電性フィルムと、5層目の突出部の第2接点を覆う導電性フィルムと、を配置して3つの導電性フィルムを接続することで、1層目～5層目の第2接点が接続される。導電性フィルムの配置については、後述する図24～図26の例と同様である。

【0181】

このように、隣接する導電性フィルムの第1接点同士、あるいは、第2接点同士を対面させてこの間に導電性フィルムを配置する構成とすることで、実質的な引出し電極の数（導電性フィルムの数）を少なくすることができる。

【0182】

ここで、図21に示す例では、各圧電フィルムが、分極方向が交互になるように積層された構成で、かつ、各圧電フィルムの突出部が、面方向において、接着部の同じ位置から突出して、突出方向の長さが互いに異なる構成の場合に、隣接する圧電フィルムの接点同士を対面させて互いに接続する構成としたがこれに限定はされない。隣接する圧電フィルム的一方の突出部を突出方向に折り曲げた構成としてもよい。

【0183】

図22は、本発明の積層圧電素子の他の一例を概念的に示す部分拡大斜視図である。図23は、図22のB-B線断面図である。

図22に示す積層圧電素子は、5枚の圧電フィルム（12q、12v、12s、12w、12u）が積層された構成を有する。各圧電フィルムは、分極方向が交互になるように積層されている。すなわち、図22においては、図22中上側の1層目の圧電フィルム12qは、第1保護層28側を上に向けて積層され、2層目の圧電フィルム12vは、第2保護層30側を上に向けて積層され、3層目の圧電フィルム12sは、第1保護層28側を上に向けて積層され、4層目の圧電フィルム12wは、第2保護層30側を上に向けて積層され、5層目の圧電フィルム12uは、第1保護層28側を上に向けて積層されている。なお、図22に示す積層圧電素子の圧電フィルムのうち、1、3、5層目の圧電フィルムは、図21に示す積層圧電素子の1、3、5層目の圧電フィルムの構成と同様の構成を有する。

【0184】

図22に示すように、各圧電フィルムは、長方形の接着部と、接着部の短辺側から面方向の外側に向かって突出する2つの突出部15を有する。2つの突出部15は、短辺の一方の端部および他方の端部に設けられている。図示例において、各圧電フィルムの接着部の大きさは略同じである。

【0185】

図22中、左側の端部に形成される突出部について図23を用いて説明する。図22に示すように、1層目の圧電フィルム12qには、短辺の左側の端部に突出部15が形成されている。2層目の圧電フィルム12vには、1層目の圧電フィルム12qの突出部15の位置と同じ位置から突出する突出部15が形成されている。ここで、図23に示すよう

10

20

30

40

50

に、2層目の突出部15は、突出方向に折り返されている。そのため、2層目の突出部の第1保護層側の面が1層目の圧電フィルム12q側に向く。すなわち、2層目の第1接点28aは、1層目の圧電フィルム12q側向きに配置される。2層目の突出部15の折り返した部位は、1層目の突出部15とは、重複しない位置に配置される。3層目の圧電フィルム12sには、2層目の圧電フィルム12rの突出部15の位置と同じ位置から突出する突出部15が形成されている。3層目の突出部15は2層目の突出部15の折り返した状態での長さよりも長い。4層目の圧電フィルム12wには、3層目の圧電フィルム12sの突出部15の位置と同じ位置から突出する突出部15が形成されている。ここで、図23に示すように、4層目の突出部15は、突出方向に折り返されている。そのため、4層目の突出部の第1保護層側の面が1層目の圧電フィルム12q側に向く。すなわち、4層目の第1接点28aは、1層目の圧電フィルム12q側向きに配置される。4層目の突出部15の折り返した部位は、3層目の突出部15とは、重複しない位置に配置される。5層目の圧電フィルム12uには、4層目の圧電フィルム12tの突出部15の位置と同じ位置から突出する突出部15が形成されている。5層目の突出部15は4層目の突出部15の折り返した状態での長さよりも長い。

【0186】

このように、各圧電フィルムが、分極方向が交互になるように積層された構成において、隣接する圧電フィルム、すなわち、分極方向が一方の方向となる圧電フィルムの突出部15を突出方向に折り曲げた構成とすることで、各圧電フィルムの第1接点28aを同じ面側に配置することができる。これにより、導電性フィルム等を貼着して各圧電フィルムの第1接点28aを接続することがより容易になる。

【0187】

図22中、右側の端部に形成される突出部についても基本的に上記と同様の構成によって各圧電フィルムの第2接点を同じ面側に配置することができる。図22に示す例では、右側の端部に形成される突出部15には、第2接点が設けられており、1、3、5層目の圧電フィルムの突出部15を突出方向に折り返すことで、各圧電フィルムの第2接点30aを同じ面側に配置することができる。

【0188】

なお、図21および図22に示す例では、各圧電フィルムが、分極方向が交互になるように積層されている構成としたがこれに限定はされず、各圧電フィルムが、分極方向が同じになるように積層される構成とした場合にも、各圧電フィルムの突出部が、面方向において、接着部の同じ位置から突出して、突出方向の長さが互いに異なる構成としてもよい。この場合には、重複する全ての突出部の長さが異なり、突出部の同じ側を向く面に各第1接点（あるいは第2接点）が形成される。

【0189】

ここで、図21に示す例では、各圧電フィルムの突出部が、面方向において、接着部の同じ位置から突出して、突出方向の長さが互いに異なる構成としたがこれに限定はされない。各圧電フィルムの突出部が、面方向において、接着部の同じ位置から突出して、突出方向の長さが同じである構成であってもよい。

【0190】

図24は、本発明の積層圧電素子の他の一例を概念的に示す斜視図である。図25は、図24の左側の突出部の部分を拡大した拡大図である。図26は、図24の右側の突出部の部分を拡大した拡大図である。

図24に示す積層圧電素子は、5枚の圧電フィルムが積層された構成を有する。各圧電フィルムは、分極方向が交互になるように積層されている。

【0191】

図24に示すように、各圧電フィルムは、長方形の接着部と、接着部の短辺から面方向の外側に向かって突出する2つの突出部15を有する。2つの突出部15は、短辺の一方の端部および他方の端部に設けられている。図示例において、各圧電フィルムの接着部の大きさは略同じである。

【0192】

まず、図24中、左側の端部に形成される突出部について図25を用いて説明する。

【0193】

これら図24中左側の突出部15には、第1保護層28を貫通する孔部28aが設けられており、孔部28a内で第1電極層24が表出している。すなわち、各突出部15には、第1接点28aが形成されている。

1、3、5層目の圧電フィルムと、2、4層目の圧電フィルムとは逆向きで積層される。そのため、2層目の第1接点と3層目の第1接点とは対面している。同様に、4層目の第1接点と5層目の第1接点とは対面している。

【0194】

これらの突出部15には、3つの導電性フィルムが配置されている。具体的には、1層目の突出部15の第1接点を覆う導電性フィルム61aと、2層目と3層目の突出部15の間に挟持される導電性フィルム61bと、4層目と5層目の突出部15の間に挟持される導電性フィルム61cとを配置して導電性フィルム61aと導電性フィルム61bとを接触させて、かつ、導電性フィルム61bと導電性フィルム61cとを接触させる。これにより、1層目～5層目の第1接点が接続される。

【0195】

同様に、図24中、右側の端部に形成される突出部について、図26を用いて説明する。

図24中右側の突出部15には、第2保護層30を貫通する孔部30aが設けられており、孔部30a内で第2電極層26が表出している。すなわち、各突出部15には、第2接点30aが形成されている。

1、3、5層目の圧電フィルムと、2、4層目の圧電フィルムとは逆向きで積層される。そのため、1層目の第2接点と2層目の第2接点とは対面している。同様に、3層目の第2接点と4層目の第2接点とは対面している。

【0196】

これらの突出部15には、3つの導電性フィルムが配置されている。具体的には、1層目と2層目の突出部15の間に挟持される導電性フィルム61dと、3層目と4層目の突出部15の間に挟持される導電性フィルム61eと、5層目の突出部15の第2接点を覆う導電性フィルム61fとを配置して導電性フィルム61dと導電性フィルム61eとを接触させて、かつ、導電性フィルム61eと導電性フィルム61fとを接触させる。これにより、1層目～5層目の第2接点が接続される。

【0197】

また、上述した各例においてはいずれも、各圧電フィルムの突出部は、この突出部が形成される接着部の端辺の幅方向の一部に形成されるものとしたが、すなわち、突出部の突出方向と直交する方向の幅は、突出部が形成される接着部の端辺の幅よりも短い構成としたが、これに限定はされない。各圧電フィルムの突出部は、突出方向と直交する方向の幅が、この突出部が形成される接着部の端辺の幅と同じであってもよい。

【0198】

図27は、本発明の積層圧電素子の他の一例を概念的に示す部分拡大斜視図である。

図27に示す積層圧電素子は、5枚の圧電フィルムが積層された構成を有する。各圧電フィルムは、分極方向が交互になるように積層されている。

【0199】

図27に示す積層圧電素子において、各圧電フィルムは、長方形の接着部と、接着部の短辺から面方向の外側に向かって突出する1つの突出部15を有する。突出部15は、短辺の幅と同じ幅を有する。

【0200】

この突出部15の左側端部には、第1保護層28を貫通する孔部28a（第1接点28a）が形成されている。

1、3、5層目の圧電フィルムと、2、4層目の圧電フィルムとは逆向きで積層される。そのため、2層目の第1接点と3層目の第1接点とは対面している。同様に、4層目の

10

20

30

40

50

第1接点と5層目の第1接点とは対面している。

【0201】

これらの第1接点28aの位置には、3つの導電性フィルム(61a、61b、61c)が配置されている。3つの導電性フィルム(61a、61b、61c)の配置は、図25と同様である。すなわち、1層目の圧電フィルムの第1接点28aを覆う導電性フィルム61aと、2層目と3層目との間に挟持され各第1接点28aと接続される導電性フィルム61bと、4層目と5層目との間に挟持され各第1接点28aと接続される導電性フィルム61cと、を有し、3つの導電性フィルム(61a、61b、61c)を接触させることで、1層目～5層目の第1接点が接続される。

【0202】

また、突出部15の右側端部には、第2保護層30を貫通する孔部30a(第2接点30a)が形成されている。

1、3、5層目の圧電フィルムと、2、4層目の圧電フィルムとは逆向きで積層される。そのため、1層目の第2接点と2層目の第2接点とは対面している。同様に、3層目の第2接点と4層目の第2接点とは対面している。

【0203】

これらの第2接点30aの位置には、3つの導電性フィルム(61d、61e、61f)が配置されている。3つの導電性フィルム(61d、61e、61f)の配置は、図26と同様である。すなわち、1層目と2層目との間に挟持され各第2接点30aと接続される導電性フィルム61dと、3層目と4層目との間に挟持され各第2接点30aと接続される導電性フィルム61eと、5層目の圧電フィルムの第2接点30aを覆う導電性フィルム61fと、を有し、3つの導電性フィルム(61d、61e、61f)を接触させることで、1層目～5層目の第2接点が接続される。

【0204】

なお、突出部の突出方向と直交する方向の幅が、突出部が形成される接着部の端部の幅よりも短い構成の場合には、突出部と接着部との接続部の角部はR構造が設けられていることが好ましい。Rは、0.3mm以上が好ましく、0.5mm以上がより好ましい。各電フィルムは、厚さが薄いため、積層されない突出部は、根元から垂れてしまう。突出部と接着部との接続部の角部にR構造を設けることでこれを抑制することができる。

【0205】

また、このR構造は、突出部をなす直線と接着部をなす直線との交点において、上記の半径規定内において、突出部の稜線の形状が変わる部分があることを示すものであり、必ずしもR構造が円でなくてもよい。すなわち、突出部と接着部との接続部において、突出部が先端側から根元部に向かって漸次、幅が広がる領域を有するものであってもよい。更に詳しく言うと、突出部の稜線と接着部の稜線を座標に当てはめる。突出部と接着部との接続部から5mm以上離間した部分の直線を延長した線で作られた座標軸に正接なR0.5を描き、正接なR0.5と座標軸で囲まれたエリアAを規定し、実際の突出部に形成される幅が広がる領域の稜線と座標軸とで囲まれたエリアBが、エリアAよりも大きいことが好ましい。

【0206】

ここで、突出部の、突出方向と直交する方向の幅(以下、単に「突出部の幅」ともいう)は、接着部側(根元側)よりも先端側が狭いことが好ましく、接着部から離間するにしたがって漸次狭くなることが好ましい。また、突出部の具体的な形状としては、接着部の主面に垂直な方向から見た際に(以下、「平面視において」ともいう)台形状であることが好ましい。

この点について図54～図57を用いて説明する。

【0207】

図54は、突出部が長方形の積層圧電素子の一例を示す概念図である。図55は、図54の積層圧電素子の一部を拡大して示す図である。図56は、突出部が台形状の積層圧電素子の一例を示す概念図である。図57は、図56の積層圧電素子の一部を拡大して示

10

20

30

40

50

す図である。

【0208】

図54に示す積層圧電素子においては、5枚の圧電フィルム12がそれぞれ、積層した際に同じ側となる辺側に突出部15を有している。各圧電フィルム12の突出部15は、主面に垂直な方向から見た際に重複しないように、突出部15が形成される辺に沿う方向においてズレた位置にそれぞれ形成されている。また、図54に示す積層圧電素子の突出部15は、突出方向と直交する方向の幅が接着部側（根元側）と先端側とで同じである。すなわち、平面視における突出部の形状は長形状である。

【0209】

前述のとおり、各突出部15には電氣的な接点が形成されて、各接点が電氣的に接続される。そのため、各突出部15は、近い位置に形成されることが好ましい。すなわち、面方向における突出部15同士の間隔は狭い方が好ましい。しかしながら、圧電フィルム12、すなわち、突出部15は非常に薄いため、突出部15は、撓みやすい。そのため、突出部の形状は長形状の場合に、突出部15同士の間隔が狭いと、突出部15が撓んだ場合などに、突出部15の側面同士が接触しやすく、一方の突出部15の第1電極層と他方の突出部15の第2電極層が接触して短絡が発生してしまうおそれがある。

【0210】

このような突出部15同士の間隔を防止するために、突出部15の幅を小さくして、突出部15間の間隔を大きくすることが考えられるが、突出部15の幅を小さくすると、突出部15を流れる電流の電流密度が高くなり発熱しやすくなるため好ましくない。

【0211】

また、突出部15の形状が長形状の場合には、図55に示すように、突出部15を形成するために圧電フィルムを裁断した際に切込み過ぎが発生しやすい。このような圧電フィルムを積層する際に圧力を加えると、切込み過ぎた箇所15aが隣接する圧電フィルム12と干渉して、短絡が発生してしまうおそれがある。

【0212】

一方、図56に示す積層圧電素子は、5枚の圧電フィルム12がそれぞれ、積層した際に同じ側となる辺側に突出部15を有している。各圧電フィルム12の突出部15は、主面に垂直な方向から見た際に重複しないように、突出部15が形成される辺に沿う方向においてズレた位置にそれぞれ形成されている。また、図56に示す積層圧電素子の突出部15は、突出方向と直交する方向の幅が接着部側（根元側）よりも先端側が狭い。図示例においては、平面視における突出部の形状は台形状である。

【0213】

このように、突出部15の幅が先端側が狭い形状であると、突出部15が撓んだ場合なども、突出部15の側面同士が接触しにくくなる。そのため、突出部15同士の間隔を狭くしても短絡が発生してしまうことを防止できる。また、突出部15の根元部の幅は大きいため、突出部15を流れる電流の電流密度が高くなることを抑制でき、発熱を抑制することができる。

【0214】

また、突出部15の形状が台形状の場合には、図57に示すように、突出部15を形成するために圧電フィルムを裁断した際に切込み過ぎが発生しにくい。そのため、圧電フィルムを積層する際に圧力を加えても、切込み過ぎた箇所が隣接する圧電フィルム12と干渉して、短絡が発生してしまうことを防止できる。

【0215】

なお、図56に示す例では、突出部の形状は台形状としたが、これに限定はされず、先端側の幅が根元側の幅よりも狭くなっていればよい。例えば、突出部の、接着部と接する辺が曲線状であってもよい。また、突出部の幅が、根元側から先端側に向かって段階的に狭くなる形状（階段状）であってもよい。

【0216】

ここで、上述した各例では、各圧電フィルムは、1層の枚葉状としたが、これに限定は

10

20

30

40

50

されない。複数の圧電フィルムの少なくとも1つは、少なくとも1回折り返した蛇腹形状であってもよい。

【0217】

蛇腹形状の圧電フィルムの例を図28に示す。

図28に示す圧電フィルムは、圧電フィルムを、複数回、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。また、好ましい態様として、折り返しによって積層された圧電フィルムは、各層を接着層によって貼着している。

厚さ方向に分極された1枚の圧電フィルムを、折り返して積層することで、積層方向に隣接（対面）する圧電フィルムの分極方向は、逆方向になる。

【0218】

この構成によれば、駆動電圧を印加するための電源が1個で済み、さらに、圧電フィルムからの電極の引き出しも、1か所でよい。

そのため、積層圧電素子が、蛇腹形状の圧電フィルムを有する格子とすることで、部品点数を低減し、かつ、構成を簡略化して、圧電素子（モジュール）としての信頼性を向上し、さらに、コストダウンを図ることができる。

【0219】

図28に示す圧電フィルムのように、圧電フィルムを折り返した圧電フィルムでは、折り返しの回数を偶数回とし、奇数層積層される構成とすることで、一方の表面では第1保護層28が表面になり、他方の表面では第2保護層30が表面になる。そのため、第1保護層28側の表面に第1接点28aを形成し、第2保護層30側の表面に第2接点30aを形成することで、容易に電極を引き出すことができる。

【0220】

このような蛇腹形状の圧電フィルムを1枚以上含む積層圧電素子の例を図29～図36に示す。

【0221】

図29～図32に示す積層圧電素子はいずれも、蛇腹形状の圧電フィルム12Lと枚葉状の圧電フィルム12とを積層した構成を有する。蛇腹形状の圧電フィルム12Lは、枚葉状の圧電フィルム12に接着されていない突出部15を有し、この突出部15に第1接点および第2接点（図示せず）が形成される。第1接点には、導電性フィルム62aが接続されている。また、第2接点には、導電性フィルム62bが接続されている。

【0222】

枚葉状の圧電フィルム12は、蛇腹形状の圧電フィルム12Lに接着されていない突出部15を有し、この突出部15に第1接点および第2接点（図示せず）が形成される。第1接点には、導電性フィルム62cが接続されている。また、第2接点には、導電性フィルム62dが接続されている。

【0223】

図29に示す例では、枚葉状の圧電フィルム12の分極方向と、蛇腹形状の圧電フィルム12Lの、枚葉状の圧電フィルム12に接する層における分極方向とは一致している。また、枚葉状の圧電フィルム12の突出部15と、蛇腹形状の圧電フィルム12Lの突出部15とは面方向の異なる位置に形成されている。

【0224】

図30に示す例では、枚葉状の圧電フィルム12の分極方向と、蛇腹形状の圧電フィルム12Lの、枚葉状の圧電フィルム12に接する層における分極方向とは逆である。また、枚葉状の圧電フィルム12の突出部15と、蛇腹形状の圧電フィルム12Lの突出部15とは面方向の異なる位置に形成されている。

【0225】

図31に示す例では、枚葉状の圧電フィルム12の分極方向と、蛇腹形状の圧電フィルム12Lの、枚葉状の圧電フィルム12に接する層における分極方向とは一致している。また、枚葉状の圧電フィルム12の突出部15と、蛇腹形状の圧電フィルム12Lの突出部15とは面方向の同じ位置に形成されている。

【0226】

図32に示す例では、枚葉状の圧電フィルム12の分極方向と、蛇腹形状の圧電フィルム12Lの、枚葉状の圧電フィルム12に接する層における分極方向とは逆である。また、枚葉状の圧電フィルム12の突出部15と、蛇腹形状の圧電フィルム12Lの突出部15とは面方向の同じ位置に形成されている。

【0227】

図33～図36に示す積層圧電素子はいずれも、蛇腹形状の圧電フィルムを2枚積層した構成を有する。蛇腹形状の圧電フィルム12Laは、蛇腹形状の圧電フィルム12Lbに接着されていない突出部15を有し、この突出部15に第1接点および第2接点（図示せず）が形成される。第1接点には、導電性フィルム62aが接続されている。また、第2接点には、導電性フィルム62bが接続されている。

10

【0228】

蛇腹形状の圧電フィルム12Lbは、蛇腹形状の圧電フィルム12Laに接着されていない突出部15を有し、この突出部15に第1接点および第2接点（図示せず）が形成される。第1接点には、導電性フィルム62eが接続されている。また、第2接点には、導電性フィルム62fが接続されている。

【0229】

図33に示す例では、蛇腹形状の圧電フィルム12Laの、蛇腹形状の圧電フィルム12Lbに接する層における分極方向と、蛇腹形状の圧電フィルム12Lbの、蛇腹形状の圧電フィルム12Laに接する層における分極方向とは互いに逆である。また、2つの蛇腹形状の圧電フィルムの突出部15は面方向の同じ位置に形成されている。また、蛇腹形状の圧電フィルム12Laの突出部15は、蛇腹形状の圧電フィルム12Lbと接しない側の層に形成されている。一方、蛇腹形状の圧電フィルム12Lbの突出部15は、蛇腹形状の圧電フィルム12Laと接する側の層に形成されている。

20

【0230】

図34に示す例では、蛇腹形状の圧電フィルム12Laの、蛇腹形状の圧電フィルム12Lbに接する層における分極方向と、蛇腹形状の圧電フィルム12Lbの、蛇腹形状の圧電フィルム12Laに接する層における分極方向とは互いに逆である。また、2つの蛇腹形状の圧電フィルムの突出部15は面方向の同じ位置に形成されている。また、蛇腹形状の圧電フィルム12Laの突出部15は、蛇腹形状の圧電フィルム12Lbと接しない側の層に形成されている。また、蛇腹形状の圧電フィルム12Lbの突出部15は、蛇腹形状の圧電フィルム12Laと接しない側の層に形成されている。

30

【0231】

図35に示す例では、蛇腹形状の圧電フィルム12Laの、蛇腹形状の圧電フィルム12Lbに接する層における分極方向と、蛇腹形状の圧電フィルム12Lbの、蛇腹形状の圧電フィルム12Laに接する層における分極方向とは互いに逆である。また、2つの蛇腹形状の圧電フィルムの突出部15は面方向の異なる位置に形成されている。また、蛇腹形状の圧電フィルム12Laの突出部15は、蛇腹形状の圧電フィルム12Lbと接しない側の層に形成されている。一方、蛇腹形状の圧電フィルム12Lbの突出部15は、蛇腹形状の圧電フィルム12Laと接する側の層に形成されている。

40

【0232】

図36に示す例では、蛇腹形状の圧電フィルム12Laの、蛇腹形状の圧電フィルム12Lbに接する層における分極方向と、蛇腹形状の圧電フィルム12Lbの、蛇腹形状の圧電フィルム12Laに接する層における分極方向とは互いに逆である。また、2つの蛇腹形状の圧電フィルムの突出部15は面方向の異なる位置に形成されている。また、蛇腹形状の圧電フィルム12Laの突出部15は、蛇腹形状の圧電フィルム12Lbと接しない側の層に形成されている。また、蛇腹形状の圧電フィルム12Lbの突出部15は、蛇腹形状の圧電フィルム12Laと接しない側の層に形成されている。

【0233】

このように、複数の圧電フィルムの少なくとも1つが、少なくとも1回折り返した蛇腹

50

形状である場合にも、各圧電フィルムの層構成および突出部の形成位置等は種々の構成とすることができる。

【0234】

ここで、図1等に示す例では、突出部15は、第1保護層28、第1電極層24、圧電体層20、第2電極層26および第2保護層30を積層した構成を有するもの、すなわち、突出部15は圧電フィルム12の層構成と同じ層構成を有するものとしたがこれに限定はされない。突出部は、少なくとも第1電極層24および第1保護層28、または、第2電極層26および第2保護層30が積層した構成を有するものであってもよい。

【0235】

図37は、本発明の積層圧電素子の他の一例を概念的に示す図である。図38は、図38の上面図である。図39は、図38の側面図である。図40は、図37の積層圧電素子が有する複数の圧電フィルムをそれぞれ示す図である。

10

【0236】

図37～図39に示す例は、圧電フィルムを3枚積層された構成を有する。各圧電フィルムは、分極方向が同じになるように積層されている。図37～図39においては、図37中上側の1層目の圧電フィルム72aは、第1保護層28側を上に向けて積層され、2層目の圧電フィルム72bは、第1保護層28側を上に向けて積層され、3層目の圧電フィルム72cは、第1保護層28側を上に向けて積層されている。

【0237】

図37に示すように、各圧電フィルムは、長形状の接着部73と、接着部73の長辺側から面方向の外側に向かって突出する2つの突出部75aおよび75bを有する。突出部75aは、第1保護層28および第1電極層24が積層された構成を有する。突出部75aは、接着部73の一方の長辺から、外側に向かって突出するように設けられている。突出部75bは、第2保護層30および第2電極層26が積層された構成を有する。突出部75bは、接着部73の他方の長辺から、外側に向かって突出するように設けられている。

20

図示例において、各圧電フィルムの接着部13の大きさは略同じである。

また、各圧電フィルムは、第1保護層28および第1電極層24からなる突出部75aが配置される長辺、および、第2保護層30および第2電極層26からなる突出部75bが配置される長辺をそれぞれ面方向に一致させて積層されている。

30

【0238】

図40に示すように、1層目の圧電フィルム72aには、接着部73の一方の長辺の一方の端部側に突出部75aが形成され、他方の長辺の一方の端部側に突出部75bが形成されている。2層目の圧電フィルム72bには、1層目の圧電フィルム72aの突出部それぞれの位置から他方の端部側にズレた位置に、突出部75aおよび75bがそれぞれ形成されている。3層目の圧電フィルム72cには、2層目の圧電フィルム72bの突出部それぞれの位置から他方の端部側にズレた位置に、突出部75aおよび75bがそれぞれ形成されている。

図40に示す例では、各圧電フィルムの突出部は、略同じ大きさ形状である。また、各圧電フィルムの突出部は、隣接する圧電フィルムの突出部の位置から、突出部1つ分ズレた位置に形成されている。

40

【0239】

図40に示すように、各圧電フィルムの一方の長辺側の突出部75aでは、図中側の面に第1電極層24が露出している。また、各圧電フィルムの他方の長辺側の突出部75bでは、第2電極層26が露出している。すなわち、各圧電フィルムの一方の長辺に形成される突出部75aの露出する第1電極層24が第1接点となり、他方の長辺に形成される突出部75bの露出する第2電極層26が第2接点となる。

【0240】

このような3つの圧電フィルムが接着部73の面方向の位置を一致させて積層されると、図37に示すように、各圧電フィルムの突出部75aおよび75bは、面方向において

50

、互いに重複しないように配置される。

また、各圧電フィルムの一方向の長辺側の突出部 7 5 a にはいずれも、第 1 接点（第 1 電極層 2 4）が形成されている。

【0 2 4 1】

図 4 1 に示すように、これらの突出部 7 5 a の第 1 接点（第 1 電極層 2 4）側の面には、導電性フィルム 6 3 a が貼着される。これによって、各圧電フィルムの第 1 接点が容易に電氣的に接続される。

【0 2 4 2】

同様に、各圧電フィルムの他方向の長辺側の突出部 7 5 b にはいずれも、第 2 接点（第 2 電極層 2 6）が形成されている。

【0 2 4 3】

図 4 1 に示すように、これらの突出部 7 5 b の第 2 接点（第 2 電極層 2 6）側の面には、導電性フィルム 6 3 b が貼着される。これによって、各圧電フィルムの第 2 接点が容易に電氣的に接続される。

【0 2 4 4】

このように、突出部が、少なくとも第 1 電極層 2 4 および第 1 保護層 2 8、または、第 2 電極層 2 6 および第 2 保護層 3 0 が積層した構成を有するものとした場合でも、隣接する圧電フィルムと接着されていない突出部を設けて、突出部に第 1 接点または第 2 接点を設けることで、第 1 電極層 2 4 同士、および、第 2 電極層 2 6 同士をそれぞれ容易に接続することができる。

【0 2 4 5】

ここで、図 3 8 に示す例では、各圧電フィルムの突出部は、面方向に重複しないように配置される構成としたが、これに限定はされず、図 4 2 に示すように、隣接する圧電フィルムの突出部が、面方向に一部重複するように配置される構成としてもよい。

【0 2 4 6】

また、図 3 7 に示す例では、各圧電フィルムは、分極方向が同じになるように積層されている構成としたが、これに限定はされず、各圧電フィルムは、分極方向が交互になるように積層されていてもよい。この場合、図 1 6 に示す例と同様に、隣接する圧電フィルムの突出部 7 5 a 同士、または、突出部 7 5 b 同士が面方向に同じ位置に形成されていてもよい。

【0 2 4 7】

また、突出部が、少なくとも第 1 電極層 2 4 および第 1 保護層 2 8、または、第 2 電極層 2 6 および第 2 保護層 3 0 が積層した構成を有するものである場合にも、上述した図 2 1 に示した例と同様に、圧電フィルムの突出部 7 5 a および／または突出部 7 5 b がそれぞれ、面方向において、接着部の同じ位置から突出しており、突出方向の長さが互いに異なる構成としてもよい。

【0 2 4 8】

また、各圧電フィルムが、分極方向が交互になるように積層されており、圧電フィルムの突出部 7 5 a および／または突出部 7 5 b がそれぞれ、面方向において、接着部の同じ位置から突出している場合に、図 2 3 の例と同様に、突出部を、突出方向に折り曲げて各圧電フィルムの第 1 接点または第 2 接点を同じ面側に配置するものとしてもよい。

【0 2 4 9】

また、図 2 4 に示す例と同様に、各圧電フィルムの突出部 7 5 a および／または突出部 7 5 b がそれぞれ、面方向において、接着部の同じ位置から突出して、突出方向の長さが同じであり、複数の導電性フィルムを用いて接続する構成であってもよい。

【0 2 5 0】

また、少なくとも 1 つの圧電フィルムが蛇腹形状の圧電フィルムであって、蛇腹形状の圧電フィルムが、第 1 保護層 2 8 および第 1 電極層 2 4 からなる突出部 7 5 a、および、第 2 保護層 3 0 および第 2 電極層 2 6 からなる突出部 7 5 b を有する構成としてもよい。

【0 2 5 1】

10

20

30

40

50

また、各圧電フィルムの第1接点、および第2接点をそれぞれ導電性フィルムで接続した構成において、図43および図44に示すように、突出部を接着部の一方の主面側に折り曲げてよい。突出部を折り曲げることで、スペースを節約することができる。なお、図44において、電極層の図示は省略している。

この点は、上述した、突出部が、第1保護層28、第1電極層24、圧電体層20、第2電極層26および第2保護層30を積層した構成を有するものである場合も同様である。
【0252】

図40に示すように、圧電フィルムにおいて、電極層および保護層のみが面方向に突出する突出部を形成する方法としては、特開2014-209724号の段落[0082]～[0084]に記載の方法等を用いることができる。

10

【0253】

以上、本発明の積層圧電素子および電気音響変換器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。

【産業上の利用可能性】

【0254】

各種の部材に当接して音を発生させるエキサイター等として、好適に利用可能である。

【符号の説明】

【0255】

10、70、70b 積層圧電素子

20

11a、11c シート状物

11b 積層体

12、12a～12w、12L、12La、12Lb、72a～72c 圧電フィルム

13、73 接着部

14、52 接着層

15、75a、75b 突出部

20 圧電体層

24 第1電極層

26 第2電極層

28 第1保護層

30

28a 孔部（第1接点）

30 第2保護層

30a 孔部（第2接点）

34 粘弾性マトリックス

36 圧電体粒子

40 コロナ電極

42 直流電源

50、50a～50c 振動板

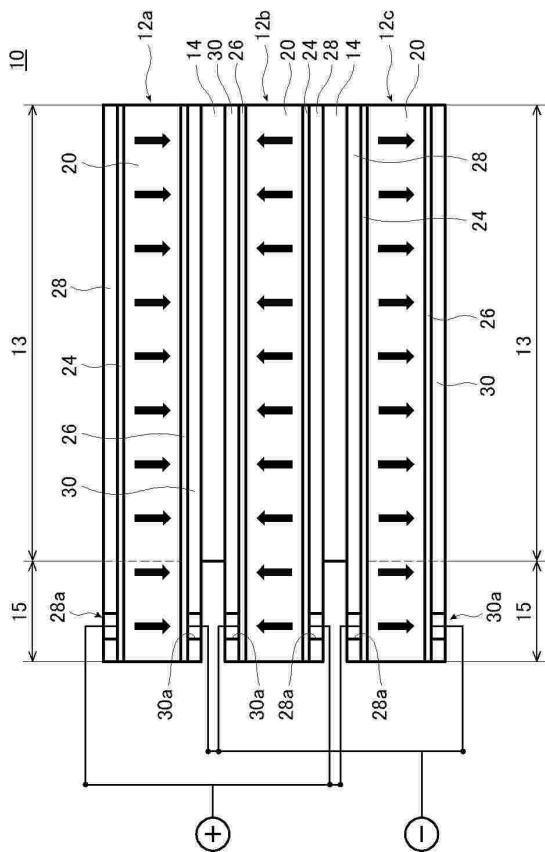
60a～60b、61a～61f、62a～62f、63a、63b 導電性フィルム

80、80a～80f 固定手段

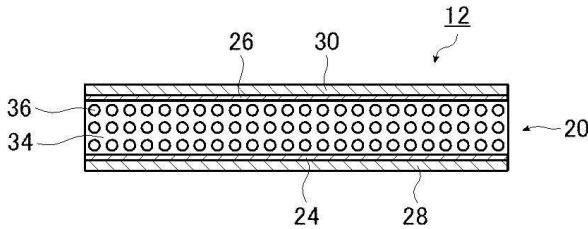
40

【図面】

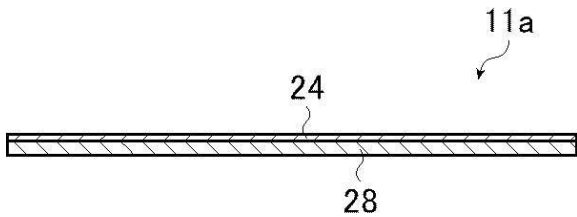
【図 1】



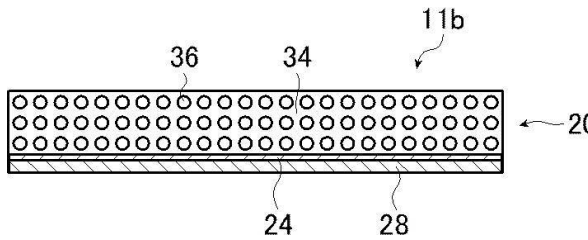
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

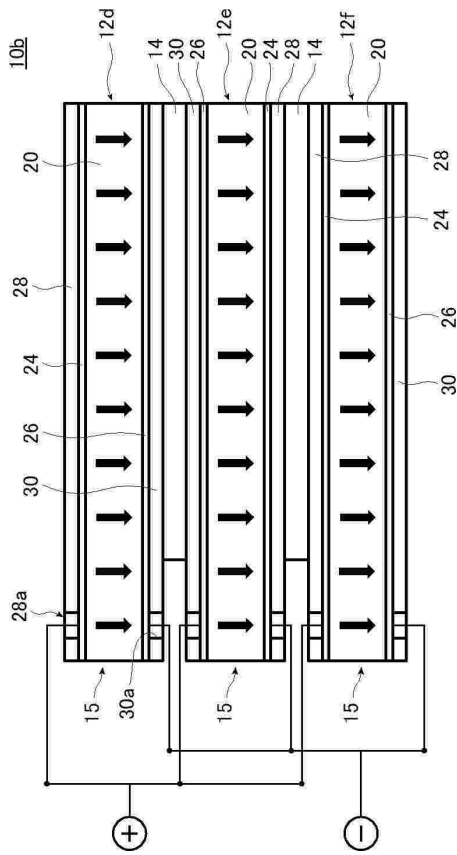
20

30

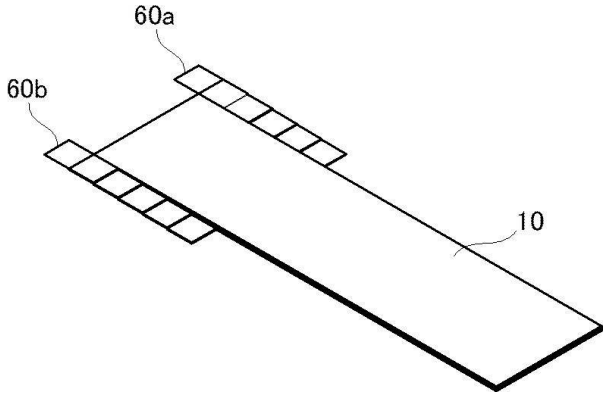
40

50

【図 9】



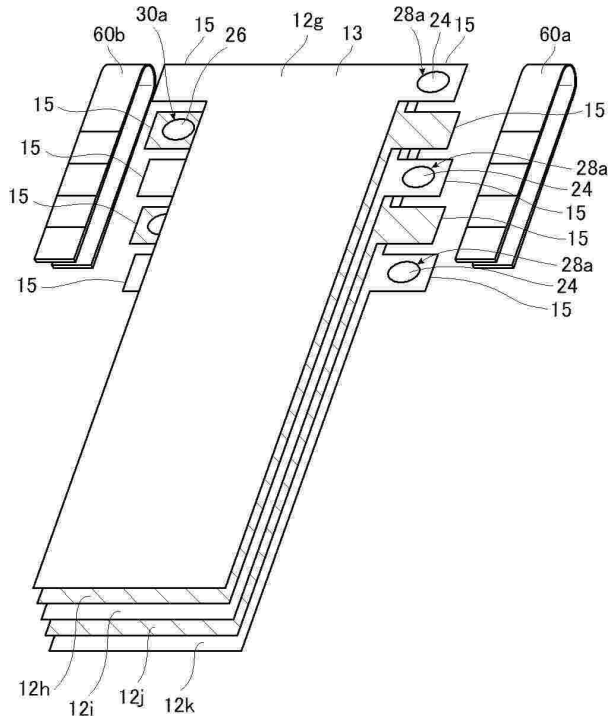
【図 10】



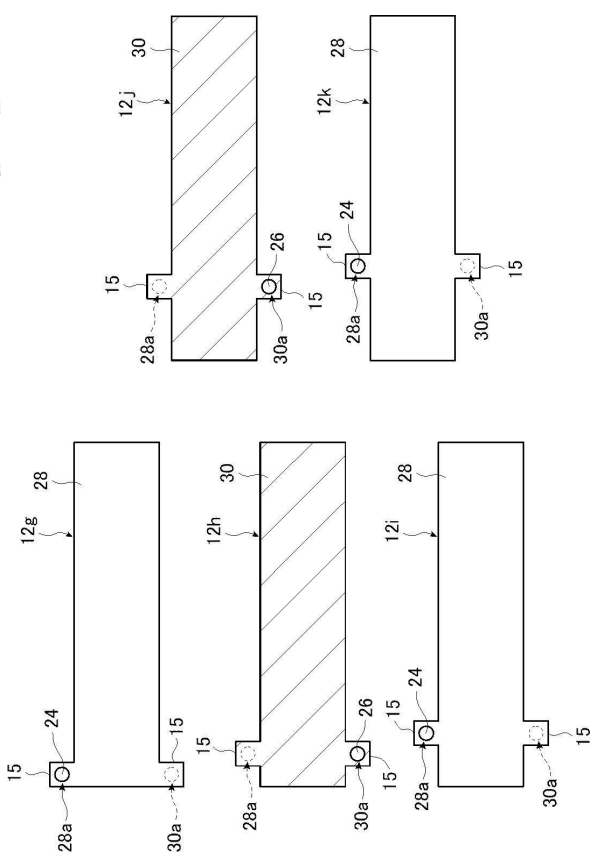
10

20

【図 11】



【図 12】

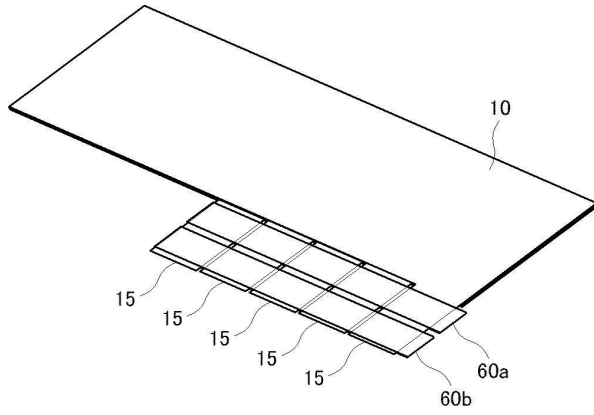


30

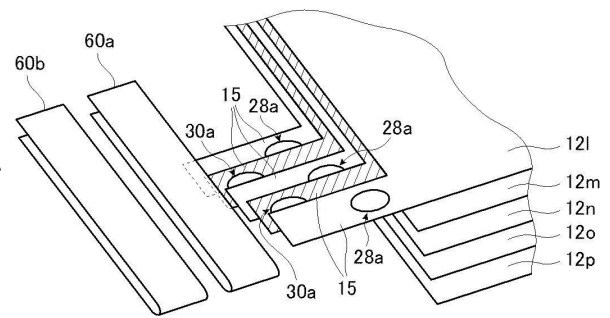
40

50

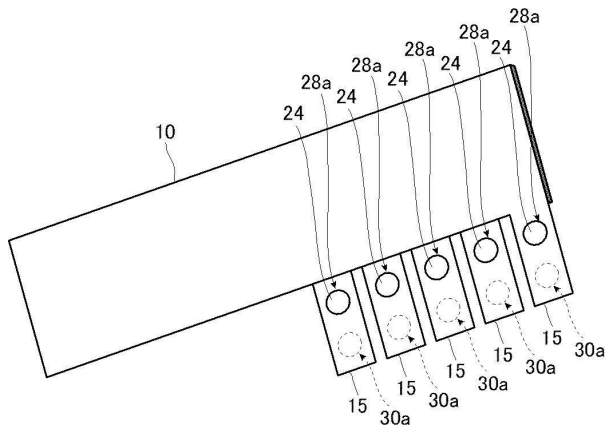
【図 13】



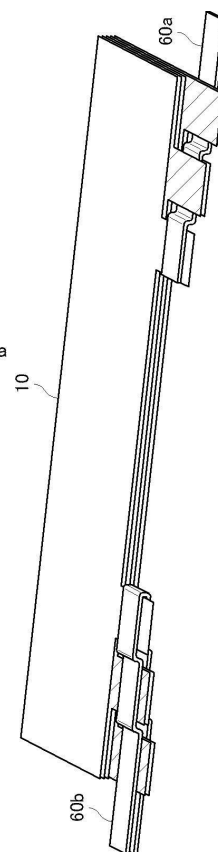
【図 14】



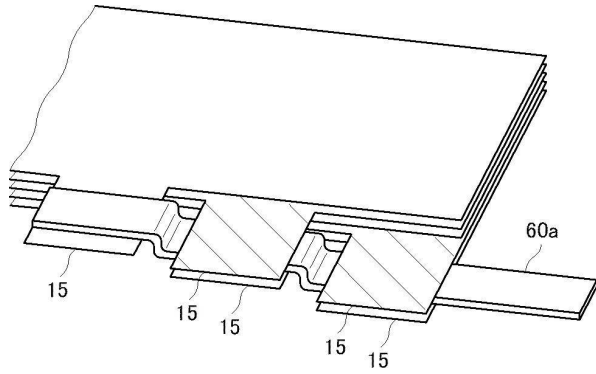
【図 15】



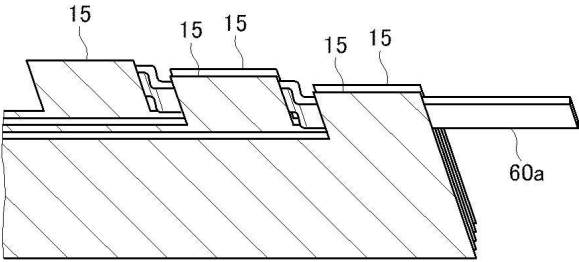
【図 16】



【図 17】

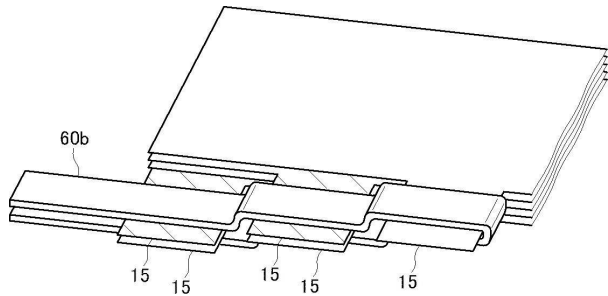


【図 18】

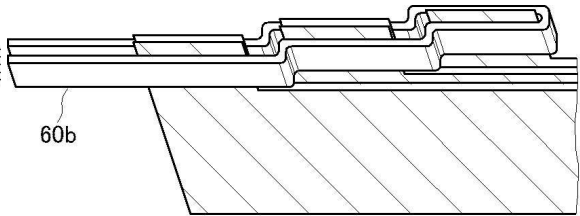


10

【図 19】

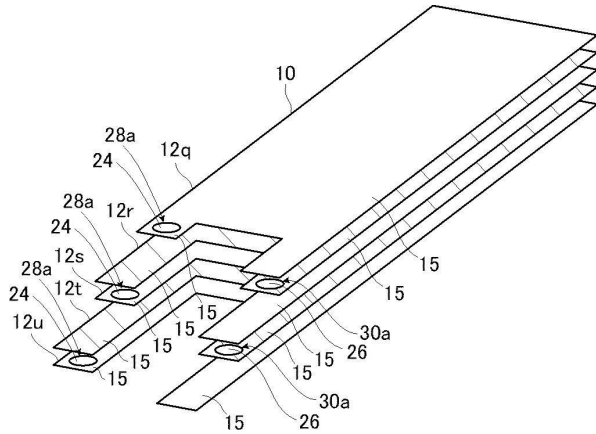


【図 20】

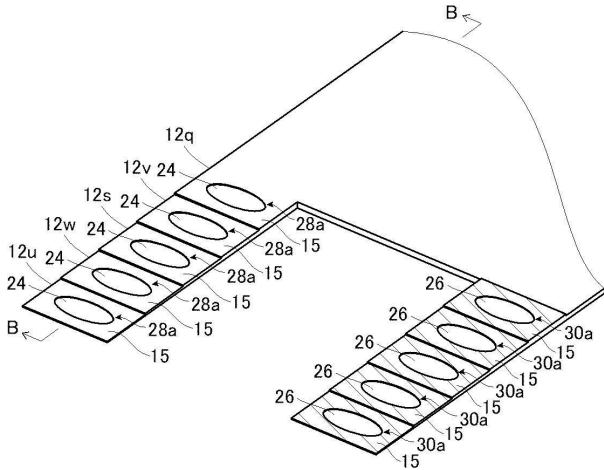


20

【図 21】



【図 22】

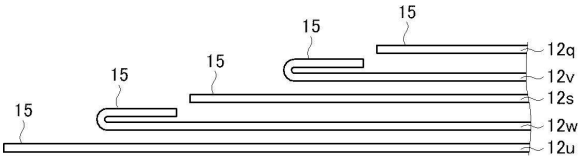


30

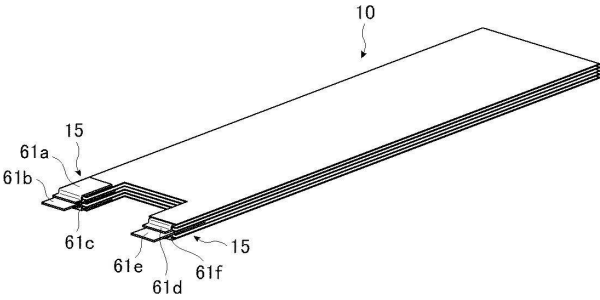
40

50

【図 2 3】

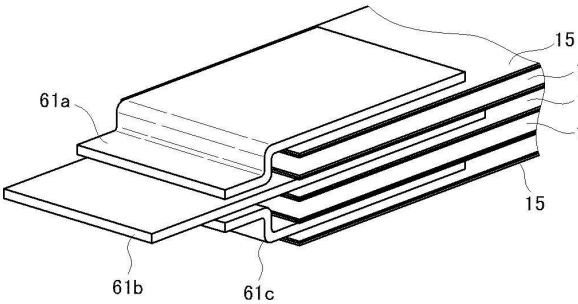


【図 2 4】

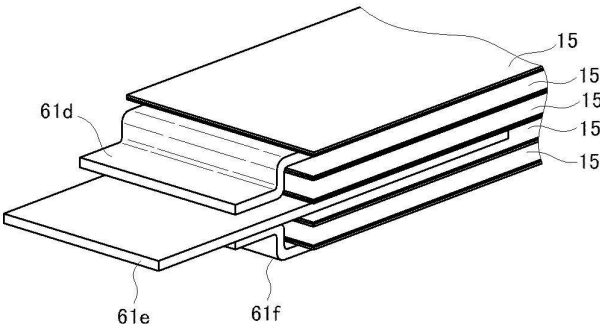


10

【図 2 5】

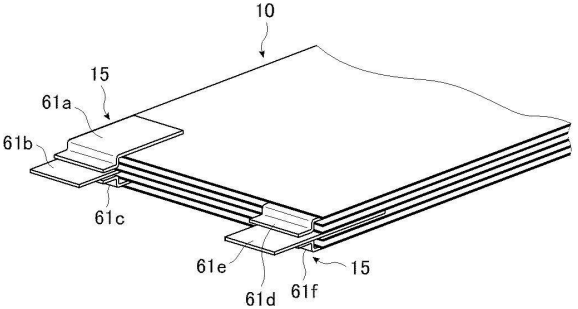


【図 2 6】

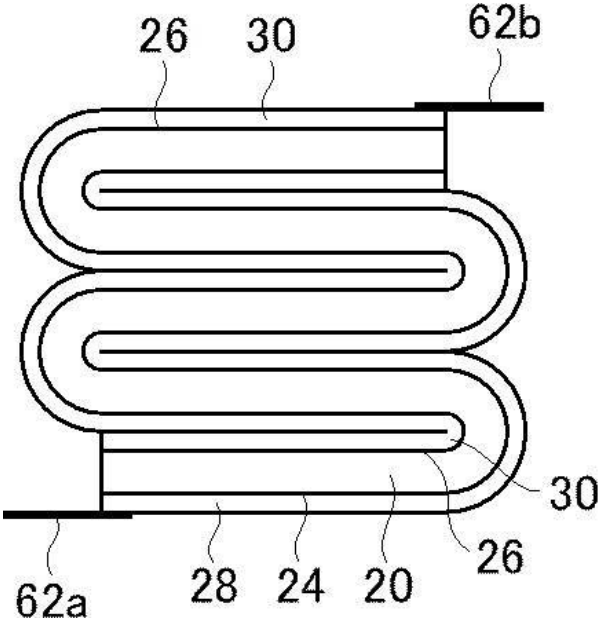


20

【図 2 7】



【図 2 8】

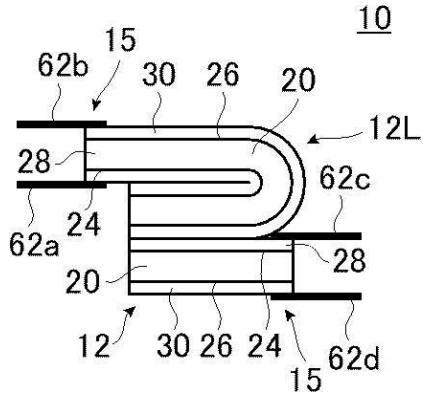


30

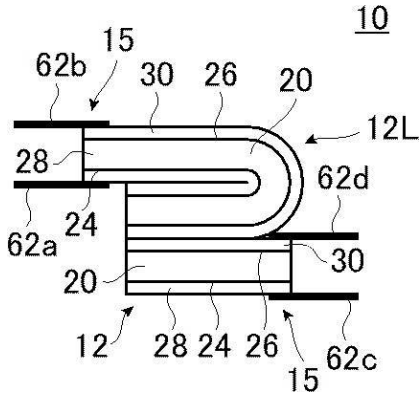
40

50

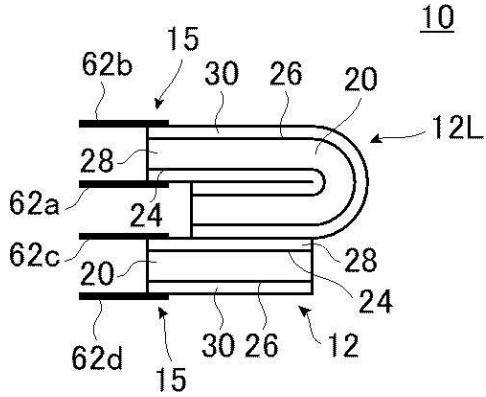
【図 2 9】



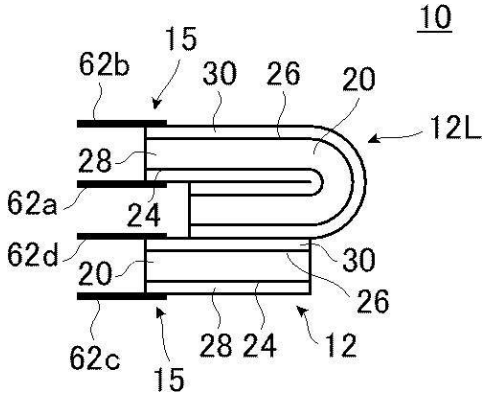
【図 3 0】



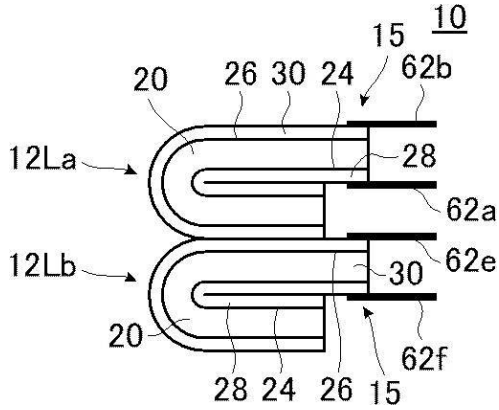
【図 3 1】



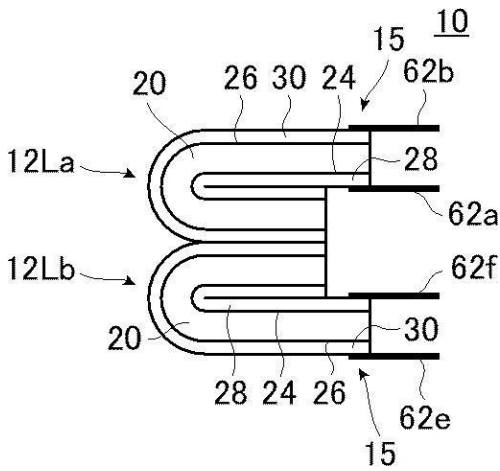
【図 3 2】



【図 3 3】



【図 3 4】



10

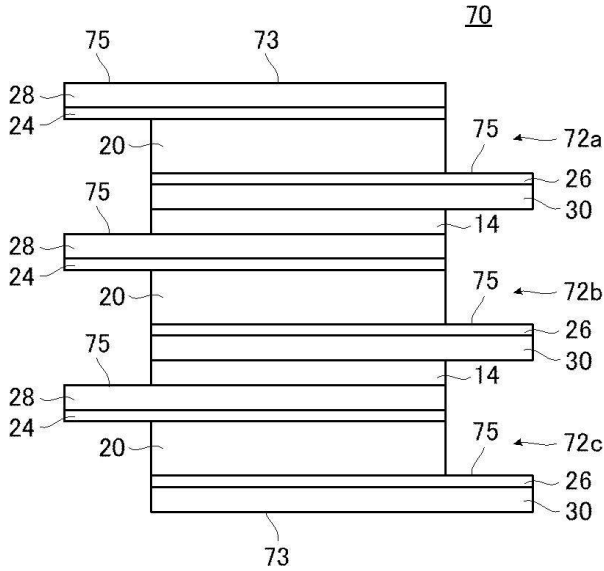
20

30

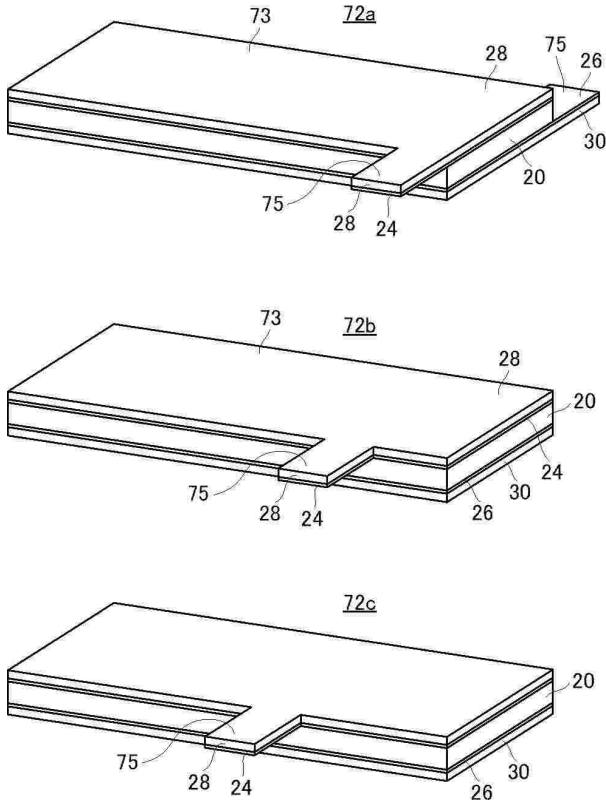
40

50

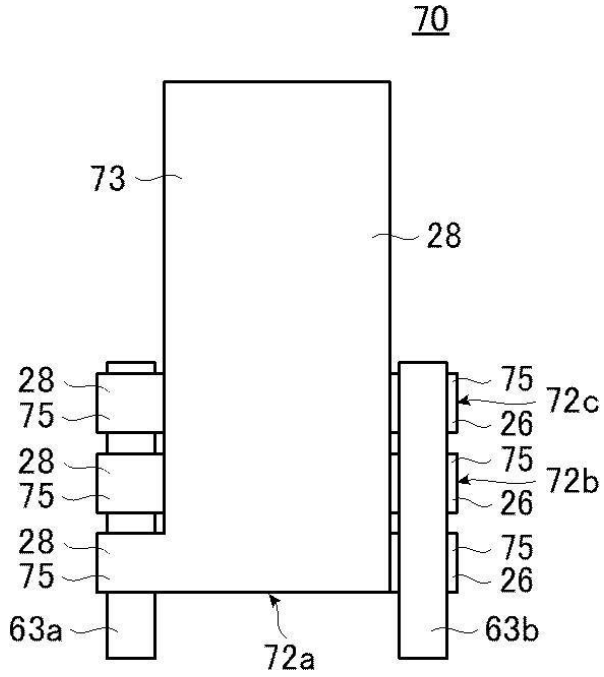
【図 3 9】



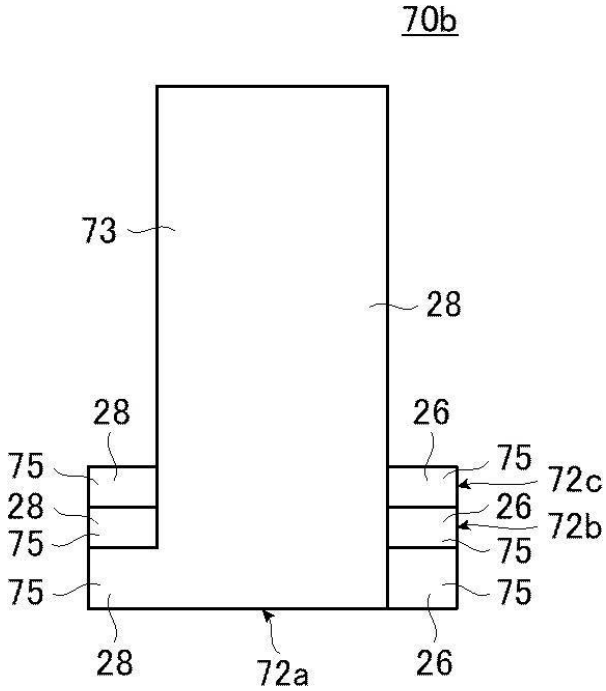
【図 4 0】



【図 4 1】



【図 4 2】



10

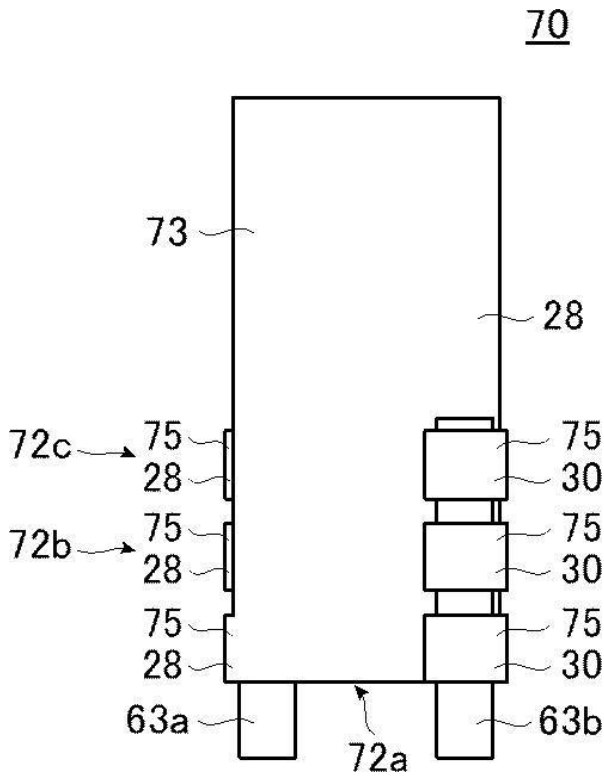
20

30

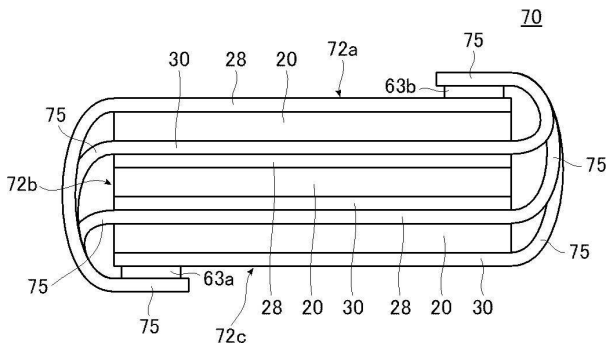
40

50

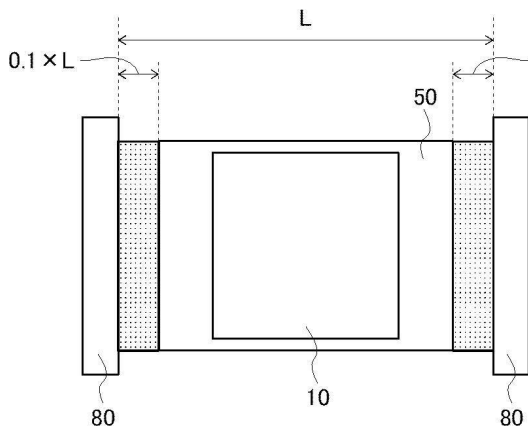
【図 4 3】



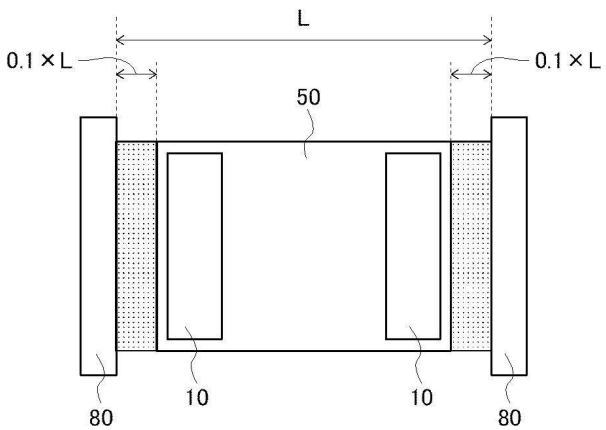
【図 4 4】



【図 4 5】



【図 4 6】



10

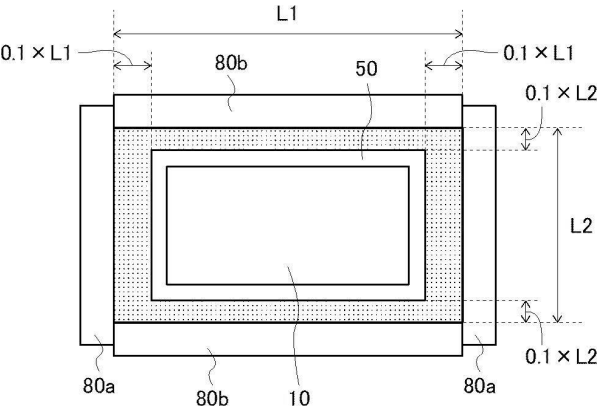
20

30

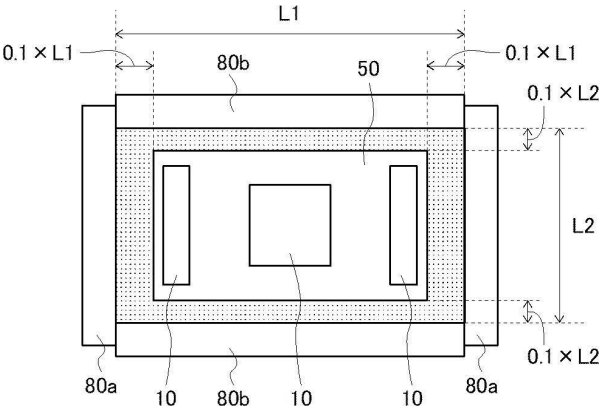
40

50

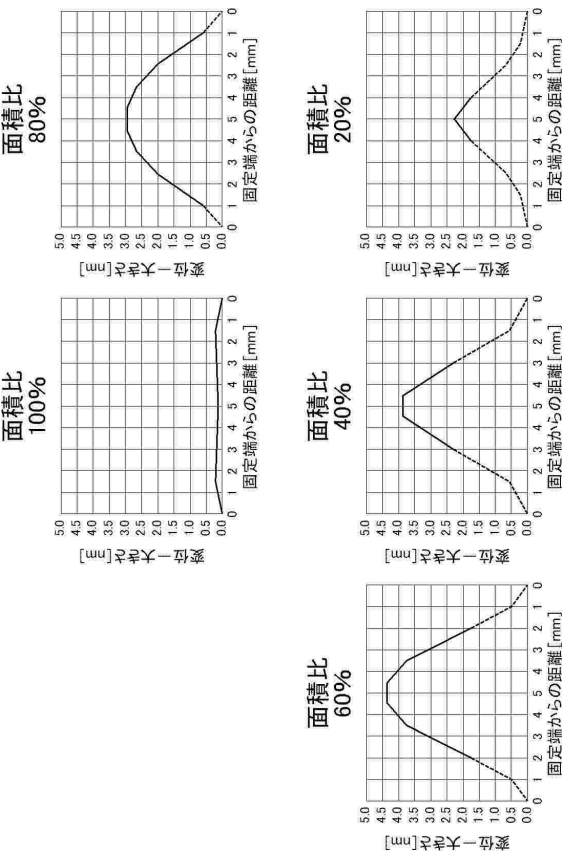
【図 4 7】



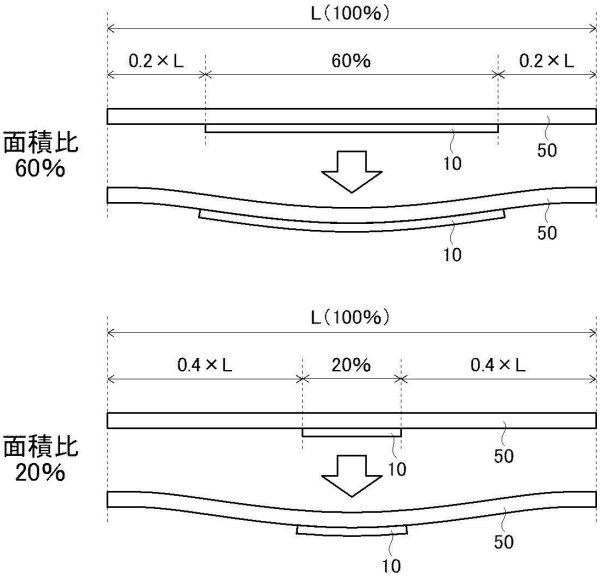
【図 4 8】



【図 4 9】



【図 5 0】



10

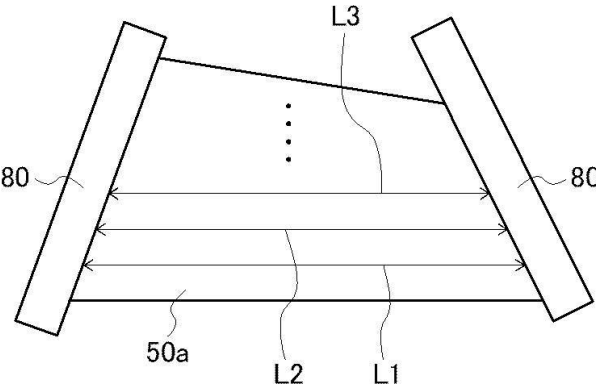
20

30

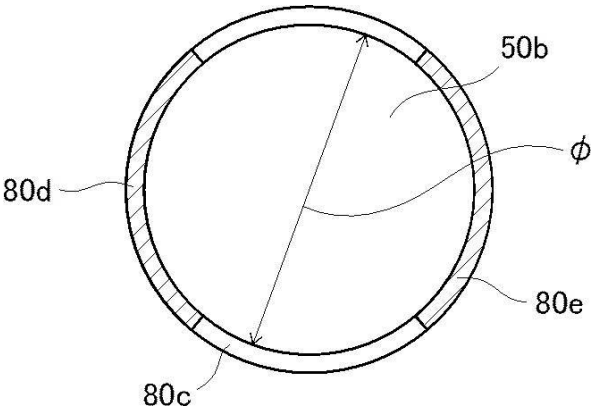
40

50

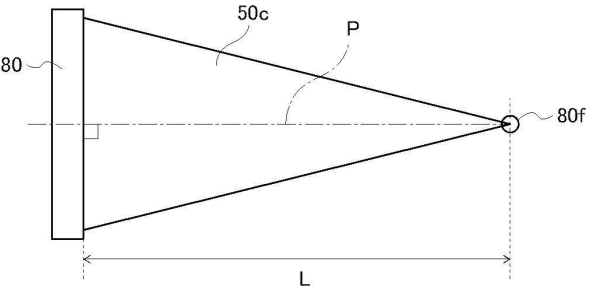
【図 5 1】



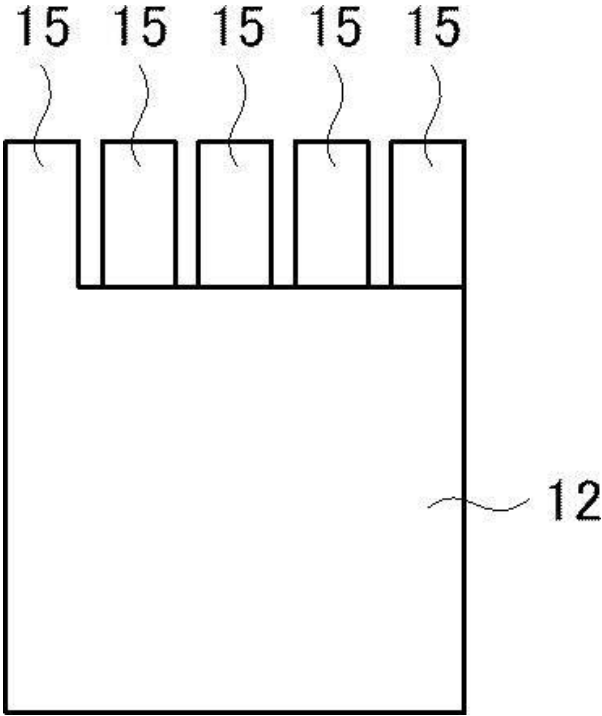
【図 5 2】



【図 5 3】



【図 5 4】



10

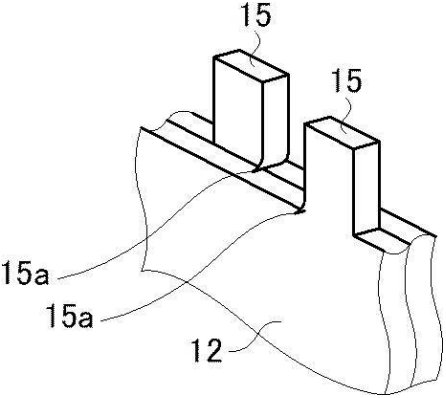
20

30

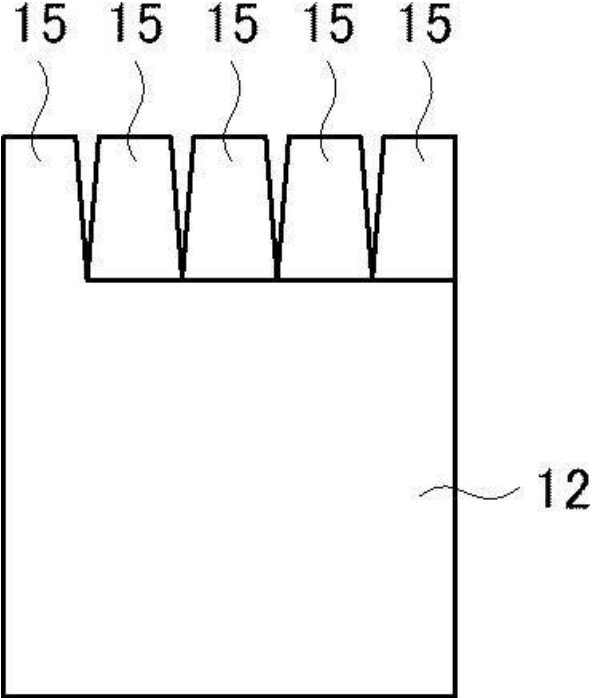
40

50

【図 5 5】



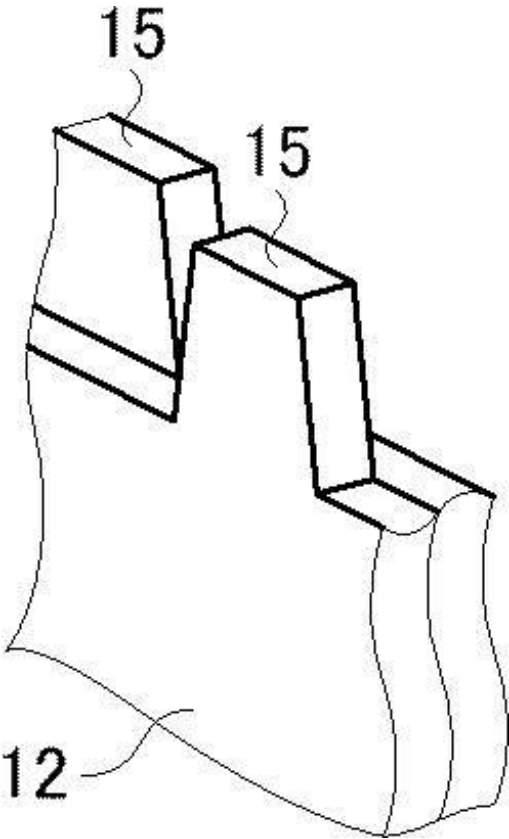
【図 5 6】



10

20

【図 5 7】



30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類		F I	
H 1 0 N	30/50 (2023.01)	H 1 0 N	30/50
H 1 0 N	30/87 (2023.01)	H 1 0 N	30/87
H 0 4 R	17/00 (2006.01)	H 0 4 R	17/00
H 0 4 R	7/04 (2006.01)	H 0 4 R	7/04

フィルム株式会社内

(72)発明者 三好 哲
神奈川県南足柄市中沼 2 1 0 番地 富士フィルム株式会社内
審査官 宮本 博司

(56)参考文献 国際公開第 2 0 1 6 / 0 3 9 1 3 8 (WO, A 1)
国際公開第 2 0 1 7 / 0 1 8 3 1 3 (WO, A 1)
国際公開第 2 0 1 9 / 0 7 8 0 5 3 (WO, A 1)
特開 2 0 1 7 - 2 2 8 5 6 2 (JP, A)
特開 2 0 1 0 - 1 7 7 8 6 7 (JP, A)
特開 2 0 1 4 - 2 0 9 7 2 4 (JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H 1 0 N 3 0 / 2 0
H 1 0 N 3 0 / 0 4
H 1 0 N 3 0 / 8 8
H 1 0 N 3 0 / 8 5
H 1 0 N 3 0 / 8 5 7
H 1 0 N 3 0 / 5 0
H 1 0 N 3 0 / 8 7
H 0 4 R 1 7 / 0 0
H 0 4 R 7 / 0 4