

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6184182号
(P6184182)

(45) 発行日 平成29年8月23日(2017.8.23)

(24) 登録日 平成29年8月4日(2017.8.4)

(51) Int.Cl.

F 1

H02N 2/00 (2006.01)

H02N 2/00

H01L 41/053 (2006.01)

H01L 41/053

H01L 41/09 (2006.01)

H01L 41/09

請求項の数 12 (全 16 頁)

(21) 出願番号

特願2013-124414 (P2013-124414)

(22) 出願日

平成25年6月13日(2013.6.13)

(65) 公開番号

特開2014-18057 (P2014-18057A)

(43) 公開日

平成26年1月30日(2014.1.30)

審査請求日

平成28年6月13日(2016.6.13)

(31) 優先権主張番号

特願2012-134488 (P2012-134488)

(32) 優先日

平成24年6月14日(2012.6.14)

(33) 優先権主張国

日本国(JP)

(73) 特許権者 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(73) 特許権者 512156718

大研化学製造販売株式会社

大阪府大阪市城東区放出西2丁目7番19

号

(73) 特許権者 505114422

日本磁鋼釉薬株式会社

東京都板橋区宮本町49-1

(74) 代理人 100094112

弁理士 岡部 譲

(74) 代理人 100096943

弁理士 白井 伸一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】振動体とその製造方法及び振動型駆動装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板に、圧電層と電極層を有する圧電素子が固定され、前記圧電素子の振動エネルギーによって前記基板を振動させ、前記基板の振動エネルギーを出力する振動体であって、

前記基板と前記圧電素子との間にセラミックス層が設けられ、

前記圧電層は、前記基板と主成分が異なり、

前記セラミックス層は、前記圧電層よりも空隙率が高く、

前記セラミックス層の厚さ方向の断面を、前記セラミックス層の厚さ方向に対して垂直な方向に、全ての辺の長さが該セラミックス層の膜厚と同じである正方形に分割した場合に、前記正方形からなる第1の領域の空隙率と、前記第1の領域と前記セラミックス層の厚さ方向に対して垂直な方向で隣接する前記正方形からなる第2の領域の空隙率との差が、15%以内であることを特徴とする振動体。

【請求項 2】

前記セラミックス層は、前記基板側にある第1の領域と、前記第1の領域より前記圧電素子側にある第2の領域を有し、

前記第1の領域は、前記第2の領域よりも空隙率が高いことを特徴とする請求項1に記載の振動体。

【請求項 3】

前記セラミックス層の空隙率は、10~60%であることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の振動体。

10

20

【請求項 4】

前記セラミックス層は、一度溶融したガラス成分を含んだガラス粉末が混合されていることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の振動体。

【請求項 5】

前記セラミックス層に混合されている前記ガラス粉末は、20 ~ 80 mol % の酸化ケイ素および、1 ~ 40 mol % の酸化ホウ素と、少なくとも 1 種類以上のアルカリ土類金属酸化物を 1 ~ 40 mol % の範囲で含み、

前記ガラス粉末は、前記セラミックス層のセラミックス粉末の重量に対して 0.5 重量 % 以上、10 重量 % 以下、添加されていることを特徴とする請求項 4 に記載の振動体。

【請求項 6】

前記セラミックス層は、主成分として圧電層と同じ成分を含むことを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の振動体。

【請求項 7】

前記圧電層は、ジルコン酸鉛とチタン酸鉛を主成分として含むことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の振動体。

【請求項 8】

前記圧電素子は、銀、もしくは銀とパラジウム、もしくはパラジウムからなる前記電極層を同時焼成して構成することを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の振動体。

【請求項 9】

前記圧電素子を構成する前記電極層は、銀もしくは銀とパラジウム、もしくはパラジウム中に、前記圧電層の主成分と同じ成分の粉末を含有することを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の振動体。

【請求項 10】

前記基板は、99.5 重量 % 以上、99.99 重量 % 以下の純度のアルミナで構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の振動体。

【請求項 11】

前記圧電素子が、前記基板に対し前記セラミックス層を介して固定されていることを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の振動体。

【請求項 12】

請求項 1 乃至 11 のいずれか 1 項に記載の振動体を駆動動力源として構成されていることを特徴とする振動型駆動装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、振動体とその製造方法及び振動型駆動装置に関し、特に基板上に圧電素子を固定した振動体とその製造方法及びその振動体を用いた振動型駆動装置に関するものである。

【背景技術】**【0002】**

従来、振動型駆動装置（振動型アクチュエータ）では、一般に、振動体（振動子ともいう）の振動源として圧電素子が用いられている。

この圧電素子としては、単一の板状の圧電素子や最近は多数の圧電層を積層した積層圧電素子が使われている（特許文献 1 参照）。

図 8 は、特許文献 1 に係るリニア型振動波（超音波）駆動装置 20 の外観斜視図である。このリニア型振動型駆動装置 20 は、振動体 21 及び加圧接触された駆動体であるリニアスライダ 26 を有している。

振動体 21 は積層圧電素子 23 と振動板 22 を有し、積層圧電素子 23 は圧電層と電極層が交互に複数積層化され、振動板 22 は金属からなり積層圧電素子 23 と樹脂からなる接着剤により接着されている。

10

20

30

40

50

金属からなる振動板22は矩形状に形成された板部と、この板部の上面に対して凸状に形成された2つの突起部24を有している。突起部24の先端面には接触部25が形成されている。接触(摩擦)部25は被駆動体としてのリニアスライダ26と直接接触する部材であるため、耐磨耗性を有している。

【0003】

このリニア型振動型駆動装置20の振動体21は、長軸方向の2次の曲げ振動モードと短軸方向の1次の曲げ振動モードの2つの曲げ振動モードの共振周波数が略一致するような形状に選択されている。そして、位相が $\pi/2$ ほど異なる所望の高周波電圧を入力することで、振動体21は励起し突起部24に円運動または橈円運動を励起させる。

この円運動または橈円運動は、振動体21に対して加圧状態で接触されているリニアスライダ26に対して、振動体21との間に摩擦力により相対的な移動力を発生させる。この相対的な移動力により、リニアスライダ26は矢印のような直線の往復駆動が可能となる。

【0004】

この積層圧電素子23の製造は、初めに圧電材料粉末と有機バインダからドクターブレード法などの方法により圧電層となるグリーンシートを作り、このグリーンシート上の所定位置に電極材料ペーストを印刷して電極層とする。

そして、このグリーンシートを所定の枚数平面状に重ね、加圧して積層化する。この後、圧電層と電極層を同時焼成により一体化し、その後に分極処理を施し、最終的に機械加工を行い所定の寸法に仕上げる。

また、特許文献2では、基板の少なくとも一方の面上に、電極材料と圧電材料を順次層状に積層し、熱処理によって一体化した一体積層構造を有する圧電電歪膜型アクチュエータが提案されている。

さらに、特許文献3では、圧電層と電極層とからなる圧電素子とこの圧電素子と基板を同時焼成一体化するために、ガラス粉末が溶融したガラス成分を含んだセラミックス層を振動板と圧電素子の間に介して、圧電素子を固定した振動体が提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2004-304887号公報

30

【特許文献2】特許第2842448号公報

【特許文献3】特開2011-45869号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上記した図8に示す従来例の振動型駆動装置の振動体21では、積層圧電素子23と金属からなる振動板(以後、基板と呼ぶ)22は、樹脂からなる接着剤で接着されている。しかし、樹脂からなる接着剤は圧電素子や金属に比べて柔軟であるため、接着剤の影響による振動体の振動減衰は大きく、接着剤は振動型駆動装置の効率を低下させる主因となっていた。

40

とりわけ、樹脂の温度が高くなると、振動体の振動減衰はより一層大きくなり、振動型駆動装置の効率をさらに低下させていた。

また、小型化した場合に、接着層の厚さのばらつきや接着による位置精度が小型の振動型駆動装置の性能に与える影響も大きくなり、小型の振動型駆動装置の性能のばらつきも大きくなっていた。

さらに、従来の積層圧電素子の製造方法では、圧電材料粉末から作るグリーンシート成形や積層プレス、機械加工など製造装置の設備投資額も大きく、製造コストを高くする一因となっていた。

【0007】

そこで、上記した従来例の特許文献2のように、積層圧電素子の製造と同時に、接着層を

50

設けずに基板に積層圧電素子を直接固定（接合）することが考えられた。

しかしながら、基板を金属で構成すると、圧電層と電極層からなる圧電素子と同時焼成し一体化する焼成温度では、金属を構成する元素が圧電素子の圧電層や電極層に拡散してしまう。

その結果、拡散した金属元素のため圧電層は本来の圧電活性を持ち得ない化学組成になってしまっていた。

【0008】

また、金属より耐熱性の高いセラミックスの基板では、金属のような元素の拡散は起らないものの、貴金属である電極層と直接に接する基板とは化学反応が少なく接合強度がかなり低くなる。

そのため、圧電素子は焼成時にセラミックスの基板から剥離を起こしたり、振動により剥離が起こることがあり、振動体は安定した振動エネルギーを出力できなかった。

さらに、上記した従来例の特許文献3のように、振動板をセラミックス基板で構成して、ガラス粉末が溶融したガラス成分を含んだセラミックス層を介して、圧電素子とセラミックス基板とを同時焼成しても後述するように安定して接合ができなかった。

【0009】

本発明は、上記課題に鑑み、安価な構成で小型化に伴う振動の減衰を抑制して振動効率を向上させることができ、安定した振動エネルギーの出力が可能となる振動体とその製造方法及び振動型駆動装置の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の振動体は、基板に、圧電層と電極層を有する圧電素子が固定され、前記圧電素子の振動エネルギーによって前記基板を振動させ、前記基板の振動エネルギーを出力する振動体であって、前記基板と圧電素子との間に空隙を有する多孔質によるセラミックス層が設けられ、前記セラミックス層を、前記セラミックス層の厚さ方向に対して垂直な方向に、全ての辺の長さが該セラミックス層の膜厚と同じである四角柱に分割した場合に、前記四角柱からなる第1の領域の空隙率と、前記第1の領域と前記セラミックス層の厚さ方向に対して垂直な方向で隣接する前記四角柱からなる第2の領域の空隙率との差が、15%以内である。

また、本発明の振動体の振動型駆動装置は、上記した振動体を駆動動力源として構成されていることを特徴とする。

本明細書における多孔質とは、物質中で孔（空隙）が一部のみに偏在せず、少なくとも一方向において、ある程度均等に分布していることを示す。例えば、セラミックス層が多孔質であるとは、セラミックス層において、孔（空隙）がセラミックス層の厚さ方向に対して垂直な方向で均等に分布していることを示す。

ここで、孔がセラミックス層の厚さ方向に対して垂直な方向で実質的に均等に分布しているとは、セラミックス層を、セラミックス層の厚さ方向に対して垂直な方向に、全ての辺の長さがセラミックス層の膜厚と同じである四角柱（例えば、立方体、底面が菱形の四角柱）に分割した場合に、1つの四角柱の空隙率と、前記1つの四角柱に厚さ方向に対して垂直な方向で隣接している四角柱の空隙率との差が、15%以内となることを示す。前記セラミックス層における前記1つの四角柱の空隙率と前記もう一方の空隙率との差は、10%以内であるとより好ましい。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、安価な構成で小型化に伴う振動の減衰を抑制して振動効率を向上させることができ、安定した振動エネルギーの出力を可能とする振動体とその製造方法及び振動型駆動装置を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明の実施例1における振動体の構成例を説明する図である。（a）及び（b）

10

20

30

40

50

) は側面図、 (c) は平面図である。

【図 2】本発明の実施例 1 における振動体の評価試験について説明する図である。 (a) は振動体に電圧を印加する際の支持方法を示す図、 (b) 電圧と振動速度の関係を示す図である。

【図 3】本発明の実施例 1 における振動体を組込んだ振動型駆動装置を示す図である。

【図 4】(a) は、従来の振動体の、基板と圧電素子に挟まれたセラミックス層がクラックを有することを示す図、 (b) は、本発明の実施例 1 における振動体の、基板と圧電素子に挟まれたセラミックス層が空隙を有する多孔質であることを示す図である。

【図 5】本発明の実施例 2 における振動体の構成例を説明する図である。 (a) 及び (b) は側面図、 (c) は平面図である。 10

【図 6】本発明の実施例 3 における振動体の構成例を説明する図である。 (a) 及び (b) は側面図、 (c) は平面図である。

【図 7】本発明の実施例 2 、 3 における振動体を組込んだリニア型振動型駆動装置を示す図である。

【図 8】従来例におけるリニア型振動型駆動装置を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

本発明を実施するための形態を、以下の実施例により説明する。

【実施例】

【0014】

[実施例 1]

実施例 1 として、本発明を適用した振動体の構成例について、図 1 を用いて説明する。本実施例の振動体は、基板に、圧電層と電極層を有する圧電素子が固定され、前記圧電素子の振動エネルギーによって前記基板を振動させ、前記基板の振動エネルギーを出力するように構成されている。

具体的には、本実施例の振動体は、図 1 に示すように、振動体 1 a が、振動型駆動装置に適用することを想定した縦振動を起こす振動体として構成されている。図 1 (b) は、図 1 (c) に示した一点鎖線部の断面が示されている。

この振動体 1 a は板状の基板 2 a と圧電素子 3 a とを有し、両者の間にはガラス粉末が溶融したガラス成分を含んだセラミックス層 4 a を設けている。 30

圧電素子 3 a は、電極層 5 a 、圧電層 6 a 、電極層 7 a が順次積層され、電極層 5 a と 7 a は圧電層 6 a を挟んで対向している。

この振動体 1 a は後述するように、電極層 5 a 、圧電層 6 a 、電極層 7 a が基板 2 a と一緒に同時焼成されて、圧電素子 3 a の焼成と圧電素子 3 a がセラミックス層 4 a を介して基板 2 a に固定され一体化される。

すなわち、振動エネルギーの発生源として機能する圧電素子 3 a と、その振動エネルギーより振動する振動板として機能する基板 2 a とがセラミックス層 4 a を介して固定され一体化されている。

また、外部電源との電気的な導通は電極層 5 a 、 7 a の上に、 2 本の導電線 8 をハンダ等に固定することにより図られている。 40

【0015】

電極層 5 a 、 7 a には圧電素子 3 a の振動を制御する外部電源から高周波電圧が供給され、この高周波電圧により圧電層 6 a が伸縮し (歪み) 、その伸縮が基板 2 a と一体となり振動体 1 a から振動エネルギーとして外部に出力される。

圧電素子 3 a は基板 2 a の中央部にある。基板 2 a は長さ 25 mm 、幅 9 mm 、厚さ 0.3 mm である。圧電層 6 a の厚さは約 15 μm 、電極層 5 a 、 7 a の厚さは約 5 μm である。

また、セラミックス層 4 a の厚さは約 15 μm である。セラミックス層 4 a は縦 11 mm 横 8.5 mm 、電極層 5 a は縦 10 mm 横 8 mm 、圧電層 6 a は縦 9 mm 横 8.5 mm 、電極層 7 a は縦横 8 mm である。 50

【0016】

図3は、本実施例の振動体1aを用いた振動型駆動装置であり、本発明の振動体1aを駆動動力源として用いて、回転軸13を有する円盤12を回転させた例である。

図3において、振動体1aを矢印Aの方向の縦方向の縦振動を起こさせ、振動体1aの角部が円盤の表面に接触するように配置すれば、円盤12は矢印Bの方向に回転させることが可能となる。

【0017】

圧電素子3aがセラミックス層4aを介して基板2aと一体となっている振動体1aは、一定の高い周波数の電圧で縦方向に振動を起こすことができる。

図2(a)は振動体1aの振動速度をレーザードブラー計のレーザー光11により測定する方法を示している。 10

図2(a)のように、振動体1aの中心部を2本のコンタクトピン10で挟み保持する。そして、導電線8を介して一定の電圧Vを印加して、電圧の周波数を共振周波数より大きな周波数から小さな周波数にスイープしたとき、振動体1aの矢印Aの方向である縦振動の共振(約190KHz)での最大の振動速度vをレーザードブラー計で測定する。

【0018】

図2(b)は電圧Vと最大の振動速度vの関係を示したグラフである。

振動速度vは電圧Vを0.5から6.5Vに徐々に上げると大きくなり、振動速度vは最高値約2.1m/sに達する。

しかしながら、これ以上の電圧を上げても入力電力は温度の上昇を伴い発熱に変わり、ほとんど振動速度は大きくならない。 20

また場合によっては逆に、振動により発生する応力により疲労破壊(クラックの発生)を起こし振動の減衰が大きくなり、振動速度は減少する。

この疲労破壊によるクラックは振動により発生する歪が原因であり、セラミックス層4aと電極層5aや電極層5aと圧電層6aの境界に発生し易い。

振動速度vが約2.1m/sより以下の範囲、例えば使用する最大の振動速度が約1.5m/sに対しては疲労破壊もなく、振動体1aは健全であり振動減衰の変化も起こらない。

以上の検討から、製造時に基板と圧電素子の接合に欠陥などの問題があると振動速度は大きくならない。 30

このように、振動速度を測定することで振動体の評価試験が可能で製造検査にも有効である。

また、振動体1aは高周波で振動をするので疲労破壊の検討は必須であり、一定の振動速度で一定時間振動させる耐久試験での信頼性評価を行う必要がある。

【0019】

つぎに、振動体1aの製造方法について説明する。

まず図1において、板状の焼成済みのセラミックスを研削加工や切断加工により所定の寸法に仕上げ基板2aとする。

次に、セラミックス粉末と後述するガラス粉末と有機溶剤、有機バインダからなる有機ビヒクルを混合して作った厚膜形成可能なセラミックス粉末ペーストを、基板2aの片面の表面にスクリーン印刷法で印刷塗布する。 40

そして、この塗布されたガラス粉末を混ぜたセラミックス粉末ペーストを約150℃で10分間ほど加熱し、有機溶剤を除去し乾燥させて、セラミックス層4aを形成する。

この後、セラミックス層上に電極層を次のように形成する。

すなわち、圧電粉末を予め混ぜた導電材料粉末と有機溶剤、有機バインダからなる有機ビヒクルを混合して作った導電材料粉末ペーストをセラミックス層4aの上にスクリーン印刷法で塗布、約150℃で10分間ほど加熱し乾燥して電極層5aを形成する。

さらに、圧電材料粉末と有機溶剤と有機バインダからなる有機ビヒクルを混合して作った厚膜形成可能な圧電材料粉末ペーストを、電極層5aの表面にスクリーン印刷法で印刷塗布する。 50

そして、この塗布された圧電材料粉末ペーストを約150℃で10分間ほど加熱することにより、有機溶剤を除去して乾燥させて、圧電層6aを形成する。

そして、電極層5aと同様に、導電材料粉末ペーストを圧電層6aの上にスクリーン印刷法で塗布、乾燥し、電極層7aを形成する。

こうして、順次塗布と乾燥を繰り返し、基板2aの上にセラミックス層4a、電極層5a、圧電層6a、電極層7aを形成する。

【0020】

このようにして形成された基板2aの上のセラミック層4a、積層化された電極層5a、圧電層6a、電極層7aからなる圧電素子3aはまだ未焼成状態である。

そこで、電気炉を用いて室温から500℃まで加熱して有機バインダを除去した後、鉛雰囲気中で1100℃～1200℃で焼成した。10

すなわち、セラミックス層4a、電極層5a、圧電層6a、電極層7a及び基板2aを同時に焼成して、圧電素子の製造と圧電素子3aとセラミックス層4a、基板2aとの接合（一体化）を同時になった。

その後、電極層5a、7aに導電線8をハンダ等で固定し、導電線8を介して電極層5a、7aの間に電圧を印加し、圧電層6aに分極処理を施した。

分極処理の条件は、温度120℃～150℃のオイル中で、電極層5aをグランド（G）とし、電極層7aをプラス（+）として、所定の電圧約4.5V（3V/μm相当）を印加して、約30分間かけて分極処理を行った。

ここで、圧電層6aは分極処理が施され圧電活性部として変位を発生させる層であり、この層の圧電特性が振動板の振動特性や振動型駆動装置の性能に直接関係する。20

【0021】

基板2aの材質としては、入手し易く安価である、焼成済みのセラミックスであるアルミナ（酸化アルミニウム）が金属よりも振動の減衰が少ない材料（振動体としてエネルギー損失が少ない材料）であり好ましい。

アルミナは純度が低くなると機械的な強度が劣り、振動体としての振動の減衰も大きくなるので、アルミナの純度が99.5重量%以上、99.99重量%以下の高純度のアルミナがより好ましい。また、アルミナは硬質で耐摩耗性に優れているので、振動型駆動装置の振動体の接触（摩擦）部としても好適である。

基板2aは、ガラス粉末をあらかじめ混ぜてあるセラミック層4aと安定な結合が起こる材質であれば良い。アルミナのほかにも基板としては、ジルコニア、炭化ケイ素、窒化アルミ、窒化ケイ素など通常のセラミックスであってもセラミック層4aにはガラス粉末をあらかじめ混ぜてあるため、焼成により溶融したガラス成分は基板2aや電極層5aとの密着強度を高め、接合が可能となる。30

【0022】

圧電層6aを形成するための圧電材料としては、鉛を含んだペロブスカイト型の結晶構造を有するジルコン酸鉛とチタン酸鉛（PbZrO₃・PbTiO₃）を主成分とし、複数の金属元素からなる化合物を少量添加して固溶させた三成分系や多成分系の圧電材料粉末を使用した。なお、本明細書において、「主成分」とは、例えば、50質量%以上、または、50モル%以上であることを示す。40

良好な圧電特性が得られる焼成温度は900℃～1200℃である。

電極層5a、7aを形成するための導電材料粉末ペーストとしては、銀もしくは銀とパラジウム、もしくはパラジウム単独を主成分とする導電材料の他に予め圧電材料粉末を15重量%添加したものを使用した。

導電材料粉末ペーストは基本的に金属であるので焼結し易く収縮が大きく早いので、電極層5aに圧電粉末を混ぜることで導電材料粉末の焼成による収縮を抑制して、セラミックス層4aや圧電層6aと剥離し難くなるようにしている。

さらに、同時に、混ぜた圧電粉末とセラミックス層との反応も期待できる。

ただし、添加する圧電材料粉末は、圧電層6aと同一成分か、または主成分が同じジルコン酸鉛とチタン酸鉛（PbZrO₃・PbTiO₃）であっても同様の効果が得られる。50

銀とパラジウムの混合比は焼成温度に依存し、圧電材料の焼成温度に応じて、パラジウムの混合比を0～100%の範囲で調整する。焼成温度が1100～1200であれば、ほぼ銀70重量%、パラジウム30重量%が望ましい。

【0023】

本実施例ではセラミックス層4aはセラミックス粉末として、圧電層6aと同じ圧電材料粉末にガラス粉末を添加してセラミックス粉末ペーストを作っている。

ガラス粉末の化学組成としては、その必須成分として酸化ケイ素の含有量が20～80mol%の範囲で最適においては30～70mol%が望ましい。酸化ホウ素の含有量が1～40mol%の範囲で最適においては10～30mol%が望ましい。1種類以上のアルカリ土類金属酸化物の含有量が1～40mol%の範囲で最適においては10～30mol%が望ましい。酸化ケイ素が20mol%未満では焼成において安定したガラス構造体を得ることが難しく、80mol%超では軟化温度が高すぎて焼結助剤としての十分な熔融効果を得ることが難しい。酸化ホウ素が1mol%未満では熔融性において十分なガラス構造体を得ることが難しく、40mol%超では本発明においてガラスが流れすぎて目標とする多孔質体を得ることが難しい。1種類以上の2価のアルカリ土類金属酸化物が1mol%未満では当該目的を達成するための十分な熔融性を得ることが難しく、40mol%超では熱的安定を有したガラス構造体を得ることが難しい。さらに複合成分として酸化ビスマス、酸化アルミニウム、アルカリ金属酸化物、その他の金属酸化物など含有させることが可能であり、予め焼成温度に適したガラス軟化点になるように調合したガラス原料粉末を混合する。

そして、混合したガラス原料粉末を一度溶融させてその後に空気中に取出し凝固させてから、平均粒径1～2μmに微粉碎したガラス粉末（ガラスフリットとも呼ぶ）を使用した。

【0024】

セラミックス層4aに含まれたガラス粉末は焼結時に溶融し軟化流動化する。そして、基板2aや電極層5aとの界面にガラス粉末の溶融したガラス成分は多く集まり化学的に結合し易くなるものと考えられる。

しかしながら、過去、ガラス成分を含んだセラミックス層4aを介しても、充分な接合が図られず一体焼結時や振動時にクラックが発生してしまった。

この原因について調べたところ、ガラスフリットとセラミックス層4aのセラミックス粉末との混合分散が不充分であることが予想された。

すなわち、ガラス粉末とセラミックス粉末が充分に均一な分散になつてないと、焼成時にガラス成分が偏析して部分的に不均一な大きな空隙が発生し、セラミックス層4aは基板から剥離してしまっていた。

ガラスフリットとセラミックス粉末との均一な混合の方法は、通常の印刷ペーストを作成した後に、さらに、アセトン等の溶剤で希釈し、ボールミルにて解碎、分散させた。

この分散状態を保ったまま希釈溶剤を蒸発させるためロータリーエバポレータを用いて揺動させながら濃縮した。この結果により充分に均一な分散が可能となった。

【0025】

図4(a)及び図4(b)は、基板2aの上のセラミックス層4a、電極層5a、圧電層6a、電極層7aを、厚さ方向に切断し研磨した断面の空隙9の状態を示している。

図4(a)及び図4(b)において、電極層5aや7aは金属粉末であるので焼結性が良く空隙は少ない。圧電層6aは結晶粒の三重点や結晶の粒界の一部に空隙ができているが比較的少ない。

図4(a)は、セラミックス層が、ガラス成分を含んでも一体焼結時や振動時にクラックが発生してしまった、過去のセラミックス層の場合を、図4(b)は、セラミックス層が本実施例のセラミックス層の場合を示す。図4(a)においては、ガラス粉末とセラミックス粉末が均一な分散ではないためか、一体焼結時や振動時にクラックが発生してしまっている。一方、図4(b)に示すように、ガラス粉末をセラミックス粉末内で充分に均一な分散を図ったセラミックス粉末ペーストを用いたセラミックス層4aには多数の細かな

10

20

30

40

50

空隙 9 を有し多孔質を呈している。焼成時には基板 2 a は収縮しないが、圧電素子 3 a (圧電層 6 a や電極層 5 a 、 7 a) は収縮するため、圧電素子 3 a を基板の上に直接に形成しても簡単に剥離してしまう。

しかしながら、基板 2 a と圧電素子 3 a との間に、ガラス粉末とセラミックス粉末が均一に分散されたセラミックス層 4 a を予め設けておくことで、基板 2 a と圧電素子 3 a とセラミックス層 4 a は一体化する。

すなわち、焼成時にはガラス粉末の溶融が起き、セラミックス層 4 a のセラミックス粒子と基板 2 a と電極層 5 a とは接合が起こし易い。

次に、電極層 5 a 、圧電層 6 a 、電極層 7 a からなる圧電素子 3 a は収縮が進むものの、セラミックス層 4 a は接合している基板 2 a の拘束により収縮が抑制される。

この結果、収縮しない基板 2 a と収縮する圧電素子 3 a との間で歪のバランスを図るため、セラミックス層 4 a は本来の収縮が抑制され層内に多数の細かな空隙 9 を生じ多孔質となるものと考えられる。

【 0 0 2 6 】

上述のように、本発明において、セラミックス層は多孔質であり、セラミックス層において、孔がセラミックス層の厚さ方向に対して垂直な方向で実質的に均等に分布している。ここで、孔がセラミックス層の厚さ方向に対して垂直な方向で均等に分布しているとは、セラミックス層を、セラミックス層の厚さ方向に対して垂直な方向に、全ての辺の長さがセラミックス層の膜厚と同じである四角柱（例えば、立方体、底面が菱形の四角柱）に分割した場合に、1つの四角柱の空隙率と、前記1つの四角柱に厚さ方向に対して垂直な方向で隣接している四角柱の空隙率との差が、15%以内となることを示す。具体的には、セラミックス層を、セラミックス層の厚さ方向に対して垂直な方向に、全ての辺の長さが該セラミックス層の膜厚と同じである四角柱に分割し、この四角柱の一つを第1の領域とし、この第1の領域とセラミックス層の厚さ方向に対して垂直な方向で隣接する四角柱を第2の領域とした場合に、第1の領域の空隙率と第2の領域の空隙率との差が、15%以内である。

【 0 0 2 7 】

「全ての辺の長さがセラミックス層の膜厚と同じである四角柱」とは、セラミック層の厚さ方向と、セラミックス層の厚さ方向に対して垂直な2方向との計3方向において、セラミックス層の厚さと同じ長さの辺を有する四角柱を意味する。したがって、「全ての辺の長さがセラミックス層の膜厚と同じである四角柱」は、立方体、または、底面が菱形の四角柱である。

【 0 0 2 8 】

空隙率（空孔率）は、振動体の断面写真または断面図から孔の面積を測定することから求めることができる。

【 0 0 2 9 】

なお、特徴としてセラミックス層において、ひとつの孔の寸法はセラミックス層の膜厚よりも小さく、孔は互いに独立しており、全体的にセラミックス層の厚さ方向に対して垂直な方向で均等に分布している。そして、大きい孔の断面は橢円形状を示すことが多く、大きくてせいぜい橢円形状の長軸方向で数 μm 以下の長さである。

【 0 0 3 0 】

このように、多数の細かな空隙 9 が、セラミックス層の厚さ方向に対して垂直な方向に均等に分布しているセラミックス層 4 a は、基板 2 a と圧電素子 3 a との接合には好適であり、基板 2 a と圧電素子 3 a との接合がクラックを生じることなく可能となる。この結果、振動体 1 a は振動減衰の少ない振動を起こすことが可能となる。

また、振動体 1 a の振動時には圧電活性層である圧電層 6 a は伸縮し振動するが、セラミックス層 4 a における空隙 9 はセラミックス層 4 a のヤング率を低くし、緩衝材となり新たなクラックの発生を防止することにも寄与する。

また、セラミックス層 4 a の空隙 9 は基板側にやや多く、基板側から圧電素子の電極層に向かって減少して形成される傾向も見られる。したがって、セラミックス層 4 a において

10

20

30

40

50

、基板側の第3の領域の空隙率は、第3の領域よりも圧電素子側の第4の領域の空隙率よりも高くなっている。

セラミックス層全体の空隙率は、例えば10～60%程度である。ここで、図4(b)において、セラミックス層4aを、セラミックス層4aの厚さを一辺とする正方形に分割し、下記式によって正方形の空隙率を求めた。

$$\text{空隙率(%)} = \text{正方形中の孔の面積} / \text{正方形の面積} \times 100$$

この結果、図4(b)においては、正方形の空隙率と、この正方形に隣接する正方形の空隙率との差は、2.0%であった。一方、図4(a)においては、正方形の空隙率と、この正方形に隣接する正方形の空隙率との差は、28%であった。そして、図4(b)においては、セラミックス層4a全体の空隙率は20%であった。

10

【0031】

また、ガラス粉末の添加とともに、アクリル樹脂の小さなビーズもしくはマイクロビーズ（気孔形成材とも呼ぶ）を添加してセラミックス粉末ペーストに均一分散させる。そして、このビーズを焼成時には焼失させ除去し、セラミックス層4aに空隙9を形成させることも接合に効果がある。

ガラス粉末はセラミックス粉末の重量に対して0.5重量%未満では基板との接合の効果が少なく、10重量%を越えるとガラス粉末の欠点として基板への溶融したガラス成分の拡散が大きく、基板の機械的な特性を劣化させる。

また、セラミックス層自体の機械的な性質も劣化させる。このようなことから、このガラス粉末は、セラミックス粉末の重量に対して0.5重量%以上、10重量%以下とした。

20

【0032】

また、セラミックス層のセラミックス粉末としては、圧電素子の焼成温度でセラミックスの焼結が起こり、かつ、基板と圧電素子との結合に対して有効な機械的な強度を有しているセラミックスなら使用は可能である。

例えば、基板の材質と同じ材質のセラミックス粉末（本例であればアルミナ粉末）でも、基板との相性が良いので好ましい。

前述のジルコン酸鉛とチタン酸鉛からなる圧電材料粉末以外の例えば、同じく圧電性を有するチタン酸バリウム系やチタン酸ビスマスナトリウム系などの非鉛系の圧電材料で作る圧電素子に対しては、同種のチタン酸バリウム系やチタン酸ビスマスナトリウム系の粉末をセラミックス層として用いることも有効である。

30

ガラス粉末の利点として、焼成温度や機械強度の適したガラス粉末の化学組成成分の調整が容易で可能であることであり、多種の基板やセラミックスの材質に応用が可能である。

【0033】

[実施例2]

実施例2として、実施例1と異なる形態の振動体の構成例を図5を用いて説明する。

なお、(a)及び(b)は、(c)に示した一点鎖線部の断面図、(c)は平面図である。

図5に示す振動体1bは、従来例で示したリニア駆動する振動型駆動装置に適用することを想定したものである。

なお、製造方法や用いた基板、圧電層、電極層、セラミックス層は実施例1と基本的に同じである。

40

この振動体1bは、板状の基板2bと圧電素子3bとを有し、両者の間にはガラス粉末を含んだセラミックスからなるセラミックス層4bを設けている。

セラミックス層4bには多数の細かな空隙9を有し多孔質を呈している。この基板2bと圧電素子3bはセラミックス層4bを介して、後述するように同時焼成により固定され一体化されたものである。

すなわち、振動エネルギー発生源として機能する圧電素子3bは、その振動エネルギーにより振動する基板2bと、セラミックス層4bを介して固定され一体化され、振動体1bとして機能する。

圧電素子3bにおいては、電極層5b-1、5b-2、圧電層6b、電極層7b-1、7

50

b - 2 が順次積層されている。

セラミックス層 4 b 上に設けられた電極層は 2 つの電極層 5 b - 1、5 b - 2 に分割され絶縁状態にある。

同様に、圧電層 6 b 上に設けられた電極層も同様に 2 つの電極層 7 b - 1、7 b - 2 に分割されて絶縁状態にある。

2 つに分割されたそれぞれの電極層 5 b - 1、5 b - 2 と電極層 7 b - 1、7 b - 2 は圧電層 6 b を挟んで対向している。

また、外部電源との電気的な導通と分極処理は、2 つに分割された電極層 5 b - 1、5 b - 2 と 7 b - 1、7 b - 2 のそれぞれの表面上に導電線 8 をハンダ等に固定することにより行われる。

その後、実施例 1 と基本的に同じように、電極層 5 b - 1 と 7 b - 1、5 b - 2 と 7 b - 2 をそれぞれグランド (G) とプラス (+) として導電線 8 を介して電圧を印加し、圧電層 6 b のこれらの電極層が対向する領域に分極処理を施した。分極処理の条件は、温度 120 ~ 150 のオイル中で、グランド (G) とプラス (+) 間に所定の電圧約 45 V (3 V / μ m 相当) を印加して、約 30 分間かけて分極処理を行った。ここで、分極処理が施される領域は圧電活性部として変位を発生させる層であり、この層の圧電特性が直接に振動板の振動特性や振動型駆動装置の性能に直接関係する。

基板 2 b は、長さ 9 mm、幅 6 mm、厚さ 0.3 mm であり、圧電素子 3 b を設けた面と反対側には高さ 0.2 mm の 2 個の突起部 15 を設けている。

圧電素子 3 b の圧電層 6 b の厚さは約 15 μ m、電極層 5 b - 1、5 b - 2、7 b - 1、7 b - 2 の厚さは約 5 μ m である。

また、セラミックス層 4 b の厚さは約 15 μ m である。突起部 15 はアルミナの基板 2 b の裏面にプラスト加工により突起部 15 以外を削り取ることにより形成が可能である。

2 つに分割された電極層 5 b - 1 と 7 b - 1、5 b - 2 と 7 b - 2 の間には、圧電素子 3 b の振動を制御する外部電源から位相の異なる 2 つの高周波電圧が供給される。

これらの高周波電圧により 2 つに分割された電極層 5 b - 1 と 7 b - 1、5 b - 2 と 7 b - 2 の対向する圧電層 6 b の圧電活性領域がそれぞれ伸縮し、その伸縮がセラミックス層 4 b を介して基板 2 b に伝わり、全体として振動体 1 b が振動する。

図 7 は実施例 2 の振動体 1 b を組込んだリニア型振動型駆動装置の構成を示す図である。

リニア駆動の原理は従来例と同じである。

リニアスライダ 16 は加圧された状態で突起部 15 に接触する。そして、圧電素子 3 b の振動で振動体 1 b が振動し突起部 15 に励起された橈円運動により、被駆動体であるリニアスライダ 16 が矢印 C の方向に往復駆動する。突起部 15 は振動体 1 b と同じアルミナからなり、耐摩耗性を有している。

【0034】

[実施例 3]

実施例 3 として、上記実施例 1、2 と異なる形態の振動体の構成例を図 6 を用いて説明する。なお、(a) 及び (b) は、(c) に示した一点鎖線部の断面図、(c) は平面図である。

本実施例の振動体 1 c は、図 6 のように、板状の基板 2 c の上に、つぎのように各層が順次重ねられている。

すなわち、板状の基板 2 c の上に、セラミックス層 4 c を介して積層型の圧電素子 3 c としての電極層 5 c - 1、5 c - 2、圧電層 6 c - 1、電極層 7 c - 1、7 c - 2、圧電層 6 c - 2、電極層 7 c - 3、7 c - 4 が順次重ねられている。セラミックス層 4 c には多数の細かな空隙 9 を有し多孔質を呈している。

そして、電極層 5 c - 1、5 c - 2 は 2 つに分割されそれぞれ絶縁状態ある。同様に、電極層 7 c - 1、7 c - 2 と電極層 7 c - 3、7 c - 4 も 2 つに分割されそれぞれ絶縁状態にある。

2 つに分割された電極層 5 c - 1、5 c - 2 と電極層 7 c - 1、7 c - 2 は圧電層 6 c - 1 を挟んで、それぞれは対向している。

10

20

30

40

50

同様に、2つに分割された電極層 7 c - 1、7 c - 2 と電極層 7 c - 3、7 c - 4 は圧電層 6 c - 2 を挟んで、それぞれは対向している。

【0035】

実施例2に係る振動体では圧電層 6 b は1層であったが、実施例3に係る振動体では圧電層 6 c - 1、6 c - 2 と2層になっている。

すなわち、本実施例では、実施例2に対して圧電層と電極層を1層ずつさらに加えた積層圧電素子となっており、他は基本的に実施例2と同じである。

圧電層を2層とした本実施例では、圧電層が1層である実施例2よりも、低電圧化や高変位(歪)を図ることができる。圧電層を3層以上にし、さらなる低電圧化を図ることも可能である。

10

【0036】

本実施例の振動体 1 c は、例えば、基板は長さ 12 mm、幅 5 mm、厚さ 0.3 mm である。また、圧電層 6 c - 1 と 6 c - 2 の厚さは約 15 μm、電極層 5 c - 1、5 c - 2、7 c - 1、7 c - 2、7 c - 3、7 c - 4 の厚さは約 5 μm である。

なお、製造方法や用いた基板、圧電層、電極層、セラミックス層は実施例1と基本的に同じである。

また、外部電源との電気的な導通と分極処理のために、6つの、2つに分割された電極層 5 c - 1、5 c - 2、7 c - 1、7 c - 2、7 c - 3、7 c - 4 の表面に 6 本の導電線 8 がハンダ等に固定されている。

その後、実施例1と基本的に同じように、導電線 8 を介して電極層 5 c - 1 と 7 c - 1、7 c - 1 と 7 c - 3、電極層 5 c - 2 と 7 c - 2、7 c - 2 と 7 c - 4 の間に、電極層 7 c - 1、7 c - 2 グランド (G) とし、

電極層 5 c - 1、7 c - 3、5 c - 2 と 7 c - 4 をプラス (+) として温度 120 ~ 150 のオイル中で所定の電圧約 4.5 V (3 V / μm 相当) を印加して、約 30 分間かけて分極処理を行った。

20

【0037】

分極処理の施された圧電層 6 c - 1 と 圧電層 6 c - 2 の電極層で挟まれた領域は圧電活性部として変位を発生させる層であり、この層の圧電特性が振動板の振動特性や振動型駆動装置の性能に直接関係する。

基板 2 c は、長さ 9 mm、幅 6 mm、厚さ 0.3 mm である。圧電素子 3 c を設けた面と反対側には高さ 0.2 mm の 2 個の突起部 15 を設けている。

30

圧電素子 3 c の圧電層 6 c - 1 と 6 c - 2 の厚さは約 15 μm、電極層 5 c - 1、5 c - 2、7 c - 1、7 c - 2、7 c - 3、7 c - 4 の厚さは約 5 μm である。

また、セラミックス層 4 c の厚さは約 15 μm である。基板 2 c には突起部 15 が設けられている。突起部 15 はアルミナの基板の裏面にプラスチック加工により突起部 15 以外を削り取ることにより形成が可能である。

電極層 5 c - 1、7 c - 1、7 c - 3 と電極層 5 c - 2、7 c - 2、7 c - 4 の間には、圧電素子 3 c の振動を制御する外部電源から位相の異なる高周波電圧がそれぞれに供給される。そして、電極層 5 c - 1、7 c - 1、7 c - 3、電極層 5 c - 2、7 c - 2、7 c - 4 との対向する圧電層 6 c - 1 と 圧電層 6 c - 2 のそれぞれの圧電活性領域が伸縮し(歪み)、その伸縮がセラミックス層 4 c を介して基板 2 c に伝わり、全体として振動体 1 c が振動する。

40

【0038】

図 7 は、実施例3に係る振動体 1 c を組込んだリニア型振動型駆動装置の構成を示す図である。

リニア駆動の原理は従来例と同じである。リニアスライダ 16 は加圧された状態で突起部 15 に接触し、圧電素子 3 c の振動で振動体 1 c が振動し突起部 15 に励起された橈円運動により、被駆動体であるリニアスライダ 16 が往復駆動する。

上記実施例では電極層と外部電源との導通は導電線 8 を用いて行ったが、導電線 8 の代わりに例えば、フレキシブル回路基板や導電材料粉末ペーストで電極層と外部電源との導通

50

を図るようにも良い。

スクリーン印刷法は、上述のグリーンシートによる積層に比べて、より薄くて高精度な厚さの層の形成が容易であるばかりでなく、塗布位置を高精度に制御可能であり焼結後の機械加工も必要としない。

そして、製造設備も安価であり、これらの結果として製造コストを従来の圧電素子と比べ大きく削減できる。

【符号の説明】

【0039】

1a : 振動体

2a : 基板

3a : 圧電素子

4a : セラミックス層

10

5a : 電極層

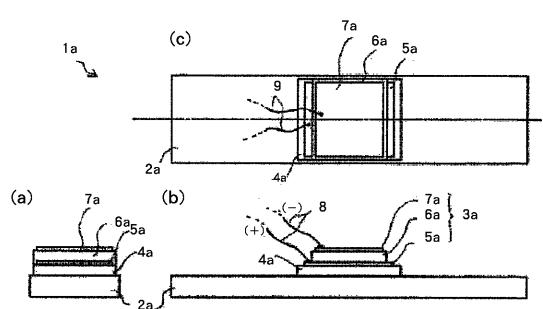
6a : 圧電層

7a : 電極層

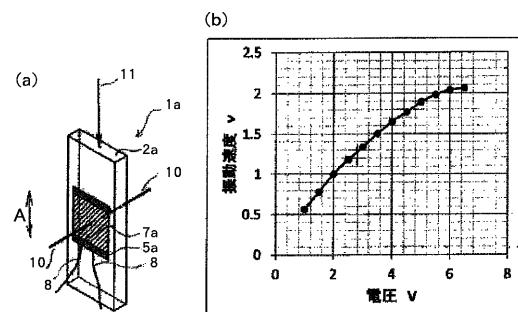
8 : 導電線

9 : 空隙

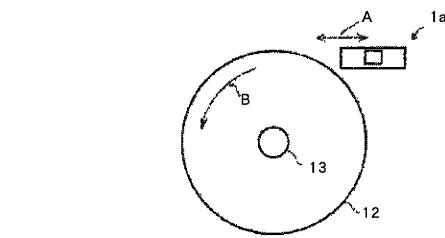
【図1】



【図2】

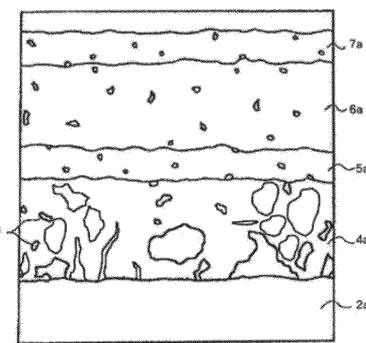


【図3】

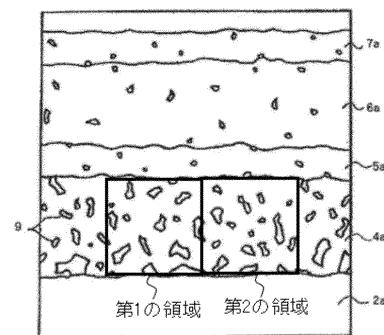


【図4】

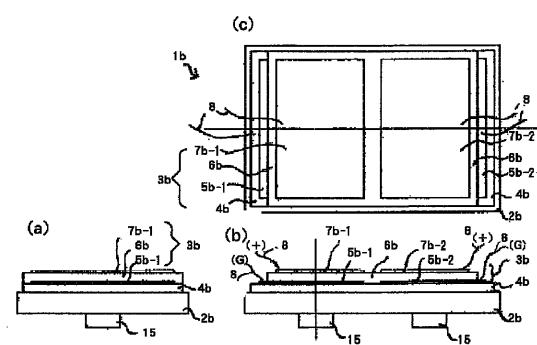
(a)



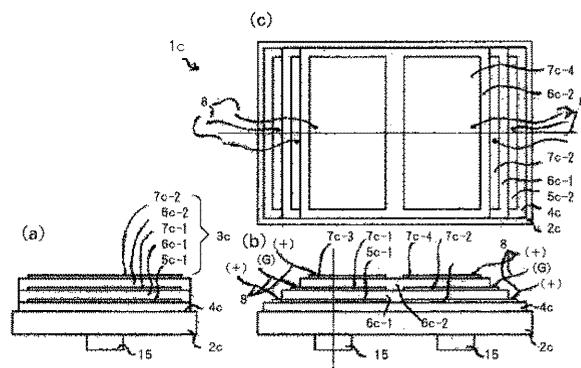
(b)



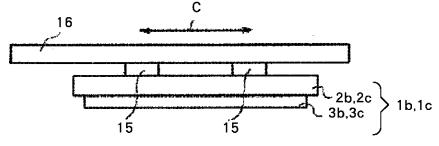
【図5】



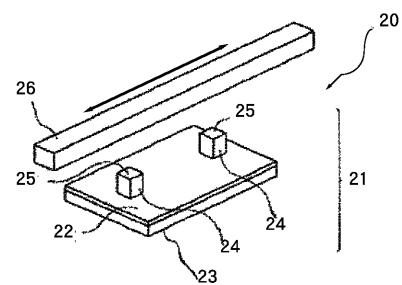
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

(74)代理人 100101498
弁理士 越智 隆夫

(74)代理人 100107401
弁理士 高橋 誠一郎

(74)代理人 100106183
弁理士 吉澤 弘司

(74)代理人 100128668
弁理士 斎藤 正巳

(74)代理人 100134393
弁理士 木村 克彦

(74)代理人 100174230
弁理士 田中 尚文

(72)発明者 丸山 裕
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

(72)発明者 原田 将弘
大阪市城東区放出西2丁目7番19号 大研化学製造販売株式会社内

(72)発明者 五十嵐 洋介
東京都千代田区丸の内2丁目5番2号 大研化学製造販売株式会社 東京オフィス内

(72)発明者 坪田 泰宏
福井県坂井市三国町テクノポート1丁目3番3号 大研化学製造販売株式会社 福井工場内

(72)発明者 小野 順三郎
東京都板橋区宮本町49-1

(72)発明者 小川 泰弘
東京都板橋区宮本町49-1

審査官 小林 紀和

(56)参考文献 特開2011-045869 (JP, A)
特開平11-322459 (JP, A)
特開2005-327512 (JP, A)
特開2006-024557 (JP, A)
特開平11-128639 (JP, A)
特表2008-546206 (JP, A)
特表2006-518934 (JP, A)
特開2004-142350 (JP, A)
特開2003-069104 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02N 2/00
H01L 41/053
H01L 41/09