

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5669443号  
(P5669443)

(45) 発行日 平成27年2月12日 (2015. 2. 12)

(24) 登録日 平成26年12月26日 (2014. 12. 26)

(51) Int. Cl.

F I

H O 2 N 2/00 (2006. 01)

H O 2 N 2/00 B

H O 1 L 41/09 (2006. 01)

H O 1 L 41/08 C

H O 1 L 41/187 (2006. 01)

H O 1 L 41/18 1 O 1 D

B O 6 B 1/06 (2006. 01)

H O 1 L 41/18 1 O 1 B

B O 6 B 1/06

請求項の数 17 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2010-124711 (P2010-124711)  
 (22) 出願日 平成22年5月31日 (2010. 5. 31)  
 (65) 公開番号 特開2011-254569 (P2011-254569A)  
 (43) 公開日 平成23年12月15日 (2011. 12. 15)  
 審査請求日 平成25年5月27日 (2013. 5. 27)

(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  
 (74) 代理人 100126240  
 弁理士 阿部 琢磨  
 (74) 代理人 100124442  
 弁理士 黒岩 創吾  
 (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  
 審査官 安池 一貴

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波アクチュエータ

(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た振動体であって、  
 前記電極層が、該電極層と前記基板の間に設けられた溶融を経たガラス固形物を含む接  
 合層を介し、前記基板に固定されると共に、前記圧電層が前記電極層上に位置し、前記接  
 合層が前記圧電層と主成分が同じ化合物で形成されており、前記接合層における前記ガラ  
 ス固形物は、前記基板との界面及び前記電極層との界面にそれぞれ集まった状態で位置し  
 、且つ前記圧電層に拡散していないことを特徴とする振動体。

【請求項 2】

前記ガラス固形物には、酸化ケイ素、酸化ボロンが含まれるほか、添加物が加えられて  
 いることを特徴とする請求項 1 に記載の振動体。

【請求項 3】

前記基板は、セラミックスまたは金属で形成されていることを特徴とする請求項 1 また  
 は 2 に記載の振動体。

【請求項 4】

前記基板を形成するセラミックスが、アルミナ、またはアルミナを主成分としジルコニ  
 アを添加したセラミックスであることを特徴とする請求項 3 に記載の振動体。

【請求項 5】

前記基板を形成する金属が、ステンレス鋼であることを特徴とする請求項 3 に記載の振  
 動体。

10

20

## 【請求項 6】

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形成され、前記電極層は、銀とパラジウムを主成分として形成されている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、チタン酸バリウムを主成分として形成され、前記電極層は、銀を主成分として形成されている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 8】

前記圧電素子は、前記圧電層および前記電極層が交互に積層されて構成されてい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。

10

## 【請求項 9】

請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の振動体を駆動動力源として備えていることを特徴とする振動波アクチュエータ。

## 【請求項 10】

圧電層と電極層を有する圧電素子を、基板に固定して振動体を製造する振動体の製造方法であって、

前記基板にセラミックスまたは金属で形成された基板を用い、前記基板上に、ガラス粉末を含み、且つ前記圧電層と主成分が同じ化合物で構成された 接合層を形成する工程と、

前記接合層を形成する工程で形成された接合層上に、前記圧電素子を形成する工程と、  
前記基板と前記接合層と前記圧電素子とを、同時に焼成してこれらを一体化する工程と

20

を有することを特徴とする振動体の製造方法。

## 【請求項 11】

前記接合層を形成する工程は、前記ガラス粉末を含む圧電材料ペーストを前記基板上に塗布して形成する工程を含むことを特徴とする請求項 10 に記載の振動体の製造方法。

## 【請求項 12】

前記接合層を形成する工程は、更に、前記塗布された圧電材料を加熱する工程を含むことを特徴とする請求項 11 に記載の振動体の製造方法。

## 【請求項 13】

前記圧電材料ペーストの塗布は、スクリーン印刷法を用いて行うことを特徴とする請求項 11 または 12 に記載の振動体の製造方法。

30

## 【請求項 14】

前記ガラス粉末には、酸化ケイ素、酸化ボロンが含まれるほか、添加物が加えられていることを特徴とする請求項 10 乃至 13 のいずれか 1 項に記載の振動体の製造方法。

## 【請求項 15】

前記基板は、セラミックスまたは金属で形成されていることを特徴とする請求項 10 乃至 14 のいずれか 1 項に記載の振動体の製造方法。

## 【請求項 16】

前記基板を形成するセラミックスが、アルミナ、またはアルミナを主成分としジルコニアを添加したセラミックスであることを特徴とする請求項 15 に記載の振動体の製造方法

40

## 【請求項 17】

前記基板を形成する金属が、ステンレス鋼であることを特徴とする請求項 15 に記載の振動体の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、圧電素子を基板上に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波アクチュエータに関する。

## 【背景技術】

50

## 【 0 0 0 2 】

従来、振動波アクチュエータでは、一般に、振動体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多数の圧電層を積層し成形一体化した後に焼成された積層圧電素子が使われている。

とりわけ、この積層圧電素子は、単一の板状の圧電素子に比べて、多層化により低い印加電圧で大きな変形歪や大きな力が得られるという利点がある（特許文献 1 参照）。

## 【 0 0 0 3 】

図 5 は、特許文献 1 におけるリニア型振動波（超音波）アクチュエータ 3 0 の外観斜視図である。

このリニア型振動波アクチュエータ 3 0 は、振動体 3 1、及び加圧接触された棒状の移動体（リニアスライダ）3 6 を有している。

振動体 3 1 は、積層圧電素子 3 5 と駆動板 3 2 を有し、積層圧電素子 3 5 は圧電層と電極層が交互に複数積層化されている。

駆動板 3 2 は金属からなり、接着剤により積層圧電素子 3 5 と接着されている。駆動板 3 2 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 3 3 a、3 3 b を有している。

突起部 3 3 の先端面には、接触部 3 4 a、3 4 b が形成されている。

接触部 3 4 a、3 4 b は、被駆動体としてのリニアスライダ 3 6 と直接接触する部材であるため、所定の耐磨耗性を有している。

このリニア型振動波アクチュエータ 3 0 は、2 つの曲げ振動モードを励起し、突起部 3 3 a、3 3 b に楕円運動を生起させる。

この楕円運動は、振動体 3 1 に対して加圧状態で接触されているリニアスライダ 3 6 に対して、振動体 3 1 との間に相対的な移動運動力を発生させる。

この相対的な移動運動力により、リニアスライダ 3 6 は、リニア（直線）駆動されることとなる。

## 【 0 0 0 4 】

上記の積層圧電素子 3 5 を製造する場合は、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、分極処理を行い、最終的に機械加工を行い所定の寸法に仕上げる。

また、セラミックス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知られている。

また、図 6 は、圧電層 4 5 と電極層 4 4、4 6 を有する圧電素子 4 1 と、振動板としてのセラミックス基板 4 2 とを同時に焼成して一体化した振動体 4 0 である。

圧電素子 4 1 の電極層 4 4 とセラミックス基板 4 2 との間には、圧電層 4 5 と同一成分、又は主成分が同一の化合物層としての圧電層 4 3 を介在させ、焼成により圧電素子 4 1 とセラミックス基板 4 2 が接合している（特許文献 2 参照）。

## 【 先行技術文献 】

## 【 特許文献 】

## 【 0 0 0 5 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 0 4 - 3 0 4 8 8 7 号公報

【 特許文献 2 】 特開 2 0 0 9 - 1 2 4 7 9 1 号公報

## 【 発明の概要 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 0 6 】

上記特許文献 1 の振動波アクチュエータ 3 0 の振動体 3 1 では、積層圧電素子 3 5 と金

10

20

30

40

50

属からなる振動板 32 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比較的柔らかいため、振動体の振動減衰は大きく、特に小型化するほど振動体の振動減衰の影響が大きくなり、小型の振動波アクチュエータの効率を低下させる主因となっていた。

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波アクチュエータの性能に与える影響が大きくなり、小型の振動波アクチュエータの性能のばらつきも大きくなっていた。

#### 【0007】

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。

このようなことから、上記の一体積層構造を有する圧電電歪膜型アクチュエータのように、積層圧電素子の製造と同時に、接着剤による接着層を設けずに、セラミックス基板に積層圧電素子を直接固定する方法が用いられる。

しかしながら、通常、圧電素子の電極層とセラミックス基板とは化学反応が起こりにくく、その結果、電極層と基板との接合強度はかなり低くなる。

そのため、初めから基板から剥離していたり、振動による剥離が起こり易くなる。

そのため、上記特許文献 2 では、圧電素子 41 の電極層 44 とセラミックス基板 42 との間に、圧電層 43 を介在させ、焼成により一体化する振動体 40 が提案されている。

しかし、圧電層 43 を介在させてセラミックス基板 42 との接合力を上げることは可能ではあるが、より大きな振動振幅を振動体に与えると、圧電素子 41 はセラミックス基板 42 から剥離する場合が生じる。そのため、圧電素子 41 とセラミックス基板 42 との接合力をさらに上げる必要がある。

#### 【0008】

本発明は、上記課題に鑑み、安価な構成で圧電素子と基板との接合強度の向上を図り、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、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波アクチュエータの提供を目的とする。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0009】

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た振動体であって、

前記電極層が、該電極層と前記基板の間に設けられた熔融を経たガラス固形物を含む接合層を介し、前記基板に固定されると共に、前記圧電層が前記電極層上に位置し、前記接合層が前記圧電層と主成分が同じ化合物で形成されており、前記接合層における前記ガラス固形物は、前記基板との界面及び前記電極層との界面にそれぞれ集まった状態で位置し、且つ前記圧電層に拡散していないことを特徴とする。

また、本発明の振動体の製造方法は、圧電層と電極層を有する圧電素子を、基板に固定して振動体を製造する振動体の製造方法であって、

前記基板にセラミックスまたは金属で形成された基板を用い、前記基板上に、ガラス粉末を含み、且つ前記圧電層と主成分が同じ化合物で構成された接合層を形成する工程と、

前記接合層を形成する工程で形成された接合層上に、前記圧電素子を形成する工程と、  
前記基板と前記接合層と前記圧電素子とを、同時に焼成してこれらを一体化する工程と、  
を有することを特徴とする。

また、本発明の振動波アクチュエータは、上記した振動体を駆動動力源として備えていることを特徴とする。

#### 【発明の効果】

#### 【0010】

本発明によれば、安価な構成で圧電素子と基板との接合強度の向上を図り、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、安定した振動エネルギーの出力が可能とな

10

20

30

40

50

る振動体とその製造方法及び振動波アクチュエータを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 1 】

【図 1】本発明の実施例 1 に係る振動体の構成を示す構成図である。(a) は正面図、(b) は側面図、(c) は平面図である。

【図 2】本発明の実施例 2 に係る振動体の構成を示す構成図である。(a) は正面図、(b) は側面図、(c) は平面図である。

【図 3】本発明の実施例 3 に係る振動体の構成を示す構成図である。(a) は正面図、(b) は側面図、(c) は平面図である。

【図 4】本発明の実施例 1 ～ 3 に係る振動体を組込んだリニア型振動波アクチュエータの駆動機構を示す図である。 10

【図 5】従来例のリニア型振動波アクチュエータの構成を示す図である。

【図 6】従来例の振動体の構成を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 2 】

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】

【 0 0 1 3 】

[ 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。図 1 (a)、(b)、(c) は、それぞれ振動体の正面図、側面図、平面図である。なお、図 1 (b) は、図 1 (c) の矢印で示した破線位置での断面を示している。 20

図 1 に示す振動体 1 a は、リニア駆動する振動波アクチュエータに適用することを想定したものである。

この振動体 1 a は、板状の基板 2 と圧電素子 1 5 と接合層 3 を有している。

この基板 2 と圧電素子 1 5 は、後述するように同時焼成により接合（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 1 5 と、その振動エネルギーを集積する振動板として機能する基板 2 とは、接合層 3 を介し固定されて一体化されている。 30

圧電素子 1 5 においては、電極層 4、圧電層 5、電極層 6、圧電層 7 が順次積層されている。電極層 4 は、2 つに分割され、分割体は互いに離間状態で配備されている。同様に、電極層 6 は、2 つに分割され、分割体は互いに離間状態で配備されている。

【 0 0 1 4 】

また、圧電層 5 は、電極層 4 の全面を覆い、圧電層 7 は電極層 6 の全面を覆っている。電極層 4、6 と外部（制御部等）との電氣的な導通は、圧電層 5、7 に孔（ホール）8 を形成し、その孔 8 を介して導電線 9 を電極層 4、6 の上に導入してハンダ等に固定することにより、図られている。

また、孔 8 に導体を充填したスルーホールを形成し導線との導通を図っても良い。

電極層 4、6 には、圧電素子 1 5 の振動を制御する制御部等から交番信号が供給され、この交番信号により圧電層 5 が伸縮し（歪み）、その伸縮が機械的な振動エネルギーとして外部に出力される。 40

この振動エネルギーにより基板 2 が振動し、その基板 2 の振動は、被駆動体（図 4 のリニアスライダ 1 4 参照）を駆動する駆動力として利用される。

基板 2 は、長さ 12 mm、幅 5 mm、厚さ 0.3 mm であり、接合層 3 の厚さは約 6 μm、圧電層 5 の厚さは約 12 μm、圧電層 7 の厚さは約 6 μm、電極層 4、6 の厚さは約 5 μm である。導通用の孔 8 は直径 1 mm である。

【 0 0 1 5 】

つぎに、振動体 1 a の製造方法を説明する。

まず、板状の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）を研削加工、 50

切断加工により所定の寸法に基板 2 を仕上げる。

次に、圧電材料粉末とガラス粉末、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ガラス粉末を含んだ圧電材料ペーストを、セラミックス板の片面の表面にスクリーン印刷法で印刷塗布する。

そして、この塗布されたガラス粉末を含んだ圧電材料ペーストを約 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、接合層 3 を形成する。

この後、銀とパラジウムを主成分とする導電材料粉末等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導電材料ペーストを作る。

この導電材料ペーストを、乾燥済みの接合層上 3 にスクリーン印刷法で塗布し、約 150 で 10 分間ほど加熱することにより、乾燥し電極層 4 を形成する。

10

#### 【0016】

次に、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ペーストを、電極層 4 の表面にスクリーン印刷法で印刷塗布する。

そして、この塗布された圧電材料ペーストを約 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 5 を形成する。こうして、順次塗布と乾燥を繰り返し、電極層 6、圧電層 7 を形成する。

接合層 3 を形成するために使用した圧電材料粉末は、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 ( $\text{PbZrO}_3 - \text{PbTiO}_3$ ) を主成分とする。

そして、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。また、圧電層 5、7 にも同じ圧電材料粉末を使用した。

20

さらに、ガラス粉末としては、酸化ケイ素、酸化ボロンを含み、その他に、酸化ビスマス、アルミナ、アルカリ金属酸化物やアルカリ土類金属酸化物、その他の金属酸化物などの添加物を混ぜ、焼成温度に適したガラス軟化点になるように配合する。

#### 【0017】

そして、一度溶融させ、溶融したガラスを平均粒径 1 ~ 2  $\mu\text{m}$  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。このガラス粉末を、圧電材料粉末の 0.2 重量 % から数重量 % 添加しペーストとした。

酸化ケイ素、酸化ボロンの配合比率を変えることでガラスの軟化点を変えることができる。

30

また、添加元素を選ぶことで基板 2 との反応を増すことも可能である。

焼成時には、接合層 3 の圧電材料粉末は焼結し、ガラス粉末は軟化流動して、基板 2 と電極層 4 のそれぞれの界面に集まり、基板 2 と電極層 4 と強く結合することができる。

電極層 4 と 6 に挟まれた圧電層 5 は、分極処理が施され圧電活性部として、印加電圧に応じて変位を発生させる層である。

一方、接合層 3 と圧電層 7 は、圧電活性部でなく実際に変位を発生させない圧電非活性部となる。

なお、圧電層 5、7 と接合層 3 は、その目的に合わせて、ジルコン酸鉛とチタン酸鉛 ( $\text{PbZrO}_3 - \text{PbTiO}_3$ ) の主成分の混合比や主成分以外の成分を変更した化合物であっても良い。また、その厚さも圧電層 5、7 と接合層 3 とでは異なるようにしても良い。

40

#### 【0018】

ここで、電極層 4、6 を形成するための導電材料ペーストとしては、導電材料の他に予め圧電材料粉末を 10 重量 % 添加したものを使用した。

但し、添加する圧電材料粉末は、圧電層 5 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 ( $\text{PbZrO}_3 - \text{PbTiO}_3$ ) であっても同様の効果が得られる。

また、圧電層 5、7 には、スクリーン印刷の版に予め細工を施して孔 8 (未印刷部) を形成できるようにし、電極層 4、6 は、非印刷部を介して 2 分割し、離間して配置できるようにしてある。

このようにして基板上 2 に交互に積層された、接合層 3、圧電層 5、7 と電極層 4、6 は、未焼成状態である。

50

炉を用いて初めに、500以下で加熱して有機バインダを除去した後、鉛雰囲気中で最高温度1100で保持時間2時間で焼成した。

つまり、接合層3、圧電層5、7、電極層4、6、及び基板2を同時に焼成して一体化した。換言すれば、圧電素子の製造と、圧電素子と基板2との接合(固定)を同時に行なった。

#### 【0019】

ここで、セラミックスからなる接合層3は、基板2と電極層4を結合するために設けている。電極層4を形成する導電材料としての銀とパラジウムは基板2とは、接合力が弱い。

そのため、接合層3が無い場合には、初めから基板2から電極層4が剥離したり、振動により圧電素子15の電極層4から、基板2と分離してしまう。

接合層3は圧電材料と主成分が同じ圧電材料粉末が、熱膨張係数や機械的な性質やコストから最も望ましいが、圧電材料だけでなく基板と同じような粉末材料であっても良い。

例えば、本実施例では、ガラス粉末を混ぜたアルミナ粉末であってもよい。特に、アルミナは入手が容易でコストも安く、耐熱性は高く他材料との化学反応が少ないのでガラス粉末を混ぜたアルミナ粉末は適している。

後述の基板としてアルミナを用いた場合は、とりわけ同種材料であり拡散による接合も起こり易く基板との接合には都合が良い。

#### 【0020】

その他の材料粉末であっても、焼成時に圧電素子の焼結と同時に焼結できるものであれば使用することが可能である。

また、電極層4は銀を主成分としパラジウムを全体の約20から30重量%を含む貴金属からなる導電材料粉末であるため、接合層3や圧電層5より低温で焼結を始め焼結による収縮も大きく、より緻密な層を形成する。このため、溶融したガラスは基板2と電極層4との間にだけに存在し、圧電層5には拡散や侵入はほとんどない。

通常、ガラスが圧電層5に拡散や侵入すると、圧電層5の圧電特性を劣化させるので、電極層4が圧電層5へのガラスの拡散や侵入を防げることは好ましい。また予め、電極層4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接合層3や圧電層5との剥離する力を小さくした。

#### 【0021】

一方、基板2の材質としては、振動板としての基板の好ましい材料として、前述のように板状の焼成済みのセラミックスであるアルミナを選定した。アルミナは、他のセラミックスと比べて入手し易く安価である。そして、振動体としての振動の減衰もかなり少ない。

但し、純度が低くなると機械的な強度が劣ると、振動体としての振動の減衰も大きくなるので、高純度のアルミナがより望ましい。

なお、アルミナは、機械部品としてはやや脆い性質もあり、他の成分を多少添加しても良い。

例えば、酸化ジルコニアは機械的な強度と電気的な絶縁性を向上させることができ、添加物として好ましい。

この場合、特開2006-74850号公報にも記載されているように、酸化ジルコニアを5~40重量%添加するのが望ましい。

#### 【0022】

また、基板2は、ガラス粉末をあらかじめ混ぜてある接合層3と安定な結合が起こる材質であれば良い。

アルミナのほかに基板としては、ジルコニア、炭化ケイ素、窒化ケイ素など通常のセラミックスであっても接合層3にはガラス粉末をあらかじめ混ぜてあるため接合は容易である。

また、各種のセラミックスにあわせて、ガラス粉末の成分は酸化ケイ素や酸化ボロンの他に添加元素を考慮することが望ましい。

10

20

30

40

50

さらに、接合層 3 は基板 2 と電極層 4、6 や圧電層 5、7 の焼成時の収縮や焼成後の温度降下時の熱膨張係数の違いにより発生する応力の緩衝材としても機能し、基板 2 と電極層 4 との剥離を防止する効果を持つ。

また、振動体の振動時には圧電活性層である圧電層 5 の変位に伴い発生する応力の、基板 2 との緩衝材ともなる。

#### 【0023】

従来と異なるのはガラス粉末を混ぜた接合層 3 を用いたことであり、とくに、焼成により熔融したガラス熔融固形物は基板 2 と電極層 4 との密着強度を高め、基板 2 と電極層 4 との接合力の強化が可能となった。

また、圧電層 5 は電極層 4 を覆い、圧電層 7 は電極層 6 を覆い、特に電極層 4、6 の端部まで完全に覆うようにし、絶縁性の保護層として電極層 4、6 が表面に露出しないようにしている。

このように圧電層 5、7 による電極層 4、6 の保護層を設けることで、外部からの機械的な力による電極層 4、6 の剥離を防止することができた。

また、例えば異物が接触した際のショートや高湿度下での電流リーク、電極層 4、6 と圧電層 5、7 の隙間への水分の侵入を防ぎ、電極層 4、6 の剥離を防止することができた。

#### 【0024】

前述のように、セラミックスである接合層 3 と圧電層 5 と 7、電極層 4、6、及び基板 2 を同時に焼成して一体化した後、圧電層 5、7 の孔 8 を介して電極層 4、6 に導電線 9 をハンダ等で接合し、電極層 4、6 の間に電圧を印加、圧電層 5 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 4 をグランド (G) とし、電極層 6 をプラス (+) とし、所定の電圧約 35 V (3 kV/mm 相当) を印加して、約 30 分かけて分極処理を行った。

また、接合層 3、圧電層 5、7、及び電極層 4、6 を形成するペーストは、多少の添加物を加え、エチルセルロースのような有機バインダとテルピネオールのような有機溶剤を用いた有機ビヒクルを 3 本ロールで混練して作った。

スクリーン印刷法では本実施例では圧電層の厚さは 12  $\mu\text{m}$  としたが、厚さ約 2、3  $\mu\text{m}$  から約 30  $\mu\text{m}$  までの厚膜である圧電層や電極層を高精度に作ることができる。版には分割した電極や圧電層に孔 (未印刷部) を設けることも可能である。また、スクリーン印刷法は、前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。

さらに、製造設備もより安価である。これらの結果、製造コストも安価となる。

#### 【0025】

##### [ 実施例 2 ]

実施例 2 として、本発明を適用した振動体の構成例について、図 2 を用いて説明する。図 2 (a)、(b)、(c) は、それぞれ振動体の正面図、側面図、平面図である。なお、図 2 (b) は、図 2 (c) の矢印で示した破線位置での断面図を示している。

#### 【0026】

実施例 1 では電極層で挟まれた圧電層は 1 つであったのに対して、本実施例では電極層で挟まれた圧電層は 2 つとなっている。

すなわち、本実施例では、実施例 1 に対して圧電層と電極層を 1 層ずつ加えた積層型圧電素子 16 となっている。

換言すれば、実施例 2 では、圧電活性部である圧電層を 2 層とすることにより、圧電層が 1 層である実施例 1 よりも、低電圧化を図っている。

なお、圧電活性部である圧電層を 3 層以上にし、更なる低電圧化を図ることも可能である。

#### 【0027】

本実施例に係る振動体 1b は、具体的には、板状の焼成した基板 2 の上に、積層型圧電素子 16 として接合層 3、電極層 4、圧電層 5a、電極層 6a、圧電層 5b、電極層 6b

10

20

30

40

50



、圧電層 7 が順次重ねられている。

圧電層 5 a は電極層 4 を全体的に覆い、圧電層 5 b は電極層 6 a を全体的に覆い、圧電層 7 は電極層 6 b を全体的に覆っている。

電極層 4、6 b は、導電ペースト（導電材）を充填した孔 1 0 で電氣的に導通し、孔 1 1 に接合した導電線 9 で外部電源と導通可能となっている。

電極層 6 a は、導電ペーストを充填した孔 1 2 に接合した導電線 9 で外部（制御部等）と導通可能となっている。

振動体 1 b は、例えば、基板は長さ 12 mm 幅 5 mm、厚さ 0.3 mm であり、セラミックス層 3 の厚さは約 6  $\mu$ m、圧電層 5 a、5 b の厚さは約 12  $\mu$ m、圧電層 7 の厚さは約 6  $\mu$ m、電極層 4、6 a、6 b の厚さは約 5  $\mu$ m である。

孔 1 0、1 1 の径は、配線を考慮して直径 1 mm となっている。なお、本実施例では、圧電層 5 a、5 b が圧電活性部となる。

#### 【0028】

本実施例は、実施例 1 と異なり、孔 1 0、1 1、1 2 には、電極層 4、6 a、6 b を形成した導電ペーストとほぼ同じ成分の導電ペーストが充填されている。この場合、孔 1 0、1 1、1 2 を形成した後、電極層 4、6 a、6 b を形成する前後で、スクリーン印刷法などで孔 1 0、1 1、1 2 に導電ペーストを充填し、積層圧電素子 1 6 と同時に基板 2 を焼成して一体化する。

また、別の製造方法として、積層圧電素子 1 6 を焼成した後に、熱硬化する接着剤と導電粉末を混ぜた導電ペーストを孔 1 0、1 1、1 2 に充填しても良い。

#### 【0029】

図 4 は、実施例 1、2 に係る振動板 1 a、又は振動板 1 b を組込んだリニア型振動波アクチュエータ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。振動板 1 a 又は振動板 1 b には、突起部 1 3 が設けられている。

リニアスライダ 1 4 は加圧された状態で突起部 1 3 に接触し、圧電素子 1 5 又は 1 6 の振動で突起部 1 3 に励起された楕円運動により、リニアスライダ 1 4 が移動する。

すなわち、本リニア型振動波アクチュエータは、圧電素子 1 5 又は 1 6 を駆動動力源としてリニアスライダ 1 4 を往復駆動している。

なお、本発明は、実施例 1、2 の構成に限定されることなく、例えば、電極層と外部電源との導通は導電線を用いて行ったが、導電線の代わりにフレキシブル回路基板や導電ペーストで電極層と外部電源との導通を図っても良い。

#### 【0030】

##### [ 実施例 3 ]

実施例 3 として、本発明を適用した振動体の構成例について、図 3 を用いて説明する。図 3 (a)、(b)、(c) は、それぞれ振動体の正面図、側面図、平面図である。なお、図 3 (b) は、図 3 (c) の矢印で示した破線位置での断面を示している。

図 3 に示す振動体 1 c は、リニア駆動する振動波アクチュエータに適用することを想定したものである。

この振動体 1 c は、板状の基板 2 - 2 と圧電素子 1 5 - 2 とを有している。前述の実施例 1 とは基板や圧電素子の材料が異なる。

この基板 2 - 2 と圧電素子 1 5 - 2 は、前述するように同時焼成により接合（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 1 5 - 2 と、その振動エネルギーを集積する振動板として機能する基板 2 - 2 とは、接合層 3 - 2 を介し固定されて一体化されている。

#### 【0031】

圧電素子 1 5 - 2 においては、電極層 4 - 2、圧電層 5 - 2、電極層 6 - 2、圧電層 7 - 2 が順次積層されている。

電極層 4 - 2 は、2 つに分割され、分割体は互いに離間状態で配備されている。同様に、

10

20

30

40

50

電極層 6 - 2 は、2 つに分割され、分割体は互いに離間状態で配備されている。

また、圧電層 5 - 2 は、電極層 4 - 2 の全面を覆い、圧電層 7 - 2 は電極層 6 - 2 の全面を覆っている。

電極層 4 - 2、6 - 2 と外部（制御部等）との電気的な導通は、圧電層 5 - 2、7 - 2 に孔（ホール）8 - 2 を形成し、その孔 8 - 2 を介して導電線 9 - 2 を電極層 4 - 2、6 - 2 の上に導入してハンダ等に固定することにより、図られている。

電極層 4 - 2、6 - 2 には、圧電素子 15 - 2 の振動を制御する制御部等から交番信号が供給され、この交番信号により圧電層 5 - 2 が伸縮し（歪み）、その伸縮が機械的な振動エネルギーとして外部に放出される。

この振動エネルギーにより基板 2 - 2 が振動し、その基板 2 - 2 の振動は、被駆動体（図 4 のリニアスライダ 14 参照）を駆動する駆動力として利用される。

基板 2 は、長さ 12 mm、幅 5 mm、厚さ 0.3 mm であり、接合層 3 の厚さは約 6  $\mu$ m、圧電層 5 の厚さは約 12  $\mu$ m、圧電層 7 の厚さは約 6  $\mu$ m、電極層 4、6 の厚さは約 5  $\mu$ m である。導通用の孔 8 は直径 1 mm である。

#### 【0032】

つぎに、振動体 1c の製造方法を説明する。

初めに、振動特性が良く機械加工もし易いマルテンサイト系ステンレス鋼（SUS420J2）を研削加工、切断加工により、板状の所定の寸法に仕上げ基板 2 とする。

次に、圧電材料粉末とガラス粉末、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ガラス粉末を含んだ圧電材料ペーストを、基板 2 - 2 の片面の表面にスクリーン印刷法で印刷塗布する。

そして、この塗布されたガラス粉末を含んだ圧電材料ペーストを約 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、接合層 3 - 2 を形成する。

接合層 3 - 2 の圧電材料粉末には、チタン酸バリウム（BaTiO<sub>3</sub>）主成分とし 1 種または複数の金属元素からなる化合物を少量添加した圧電材料粉末を使用した。

ガラス粉末としては、酸化ケイ素、酸化ボロンを含み、その他に、酸化ビスマス、アルミナ、アルカリ金属酸化物やアルカリ土類金属酸化物を混ぜる。

その後、一度溶融させ、溶融したガラスを平均粒径 1 ~ 2  $\mu$ m 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。

このガラス粉末を、圧電材料粉末の 0.2 重量% から数重量% 添加しペーストとした。

酸化ケイ素、酸化ボロンの配合比率を変えることでガラスの軟化点を変えることができる。また、添加元素を選ぶことで基板との反応を増すことも可能である。

この後、銀からなる導電材料粉末等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導電材料ペーストを作る。

この導電材料ペーストを、乾燥済みの接合層 3 - 2 の上にスクリーン印刷法で塗布、約 150 で 10 分間ほど加熱することにより、乾燥し電極層 4 - 2 を形成する。導電材料粉末の銀にはわずかの白金やパラジウムを含んでも良い。

#### 【0033】

次に、圧電材料粉末と焼結助剤としてのガラス粉末を、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ペーストを、基板の片面の表面にスクリーン印刷法で印刷塗布する。

そして、この塗布された圧電材料ペーストを約 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 5 - 2 を形成する。

圧電層 5 - 2 には、チタン酸バリウム（BaTiO<sub>3</sub>）主成分とし 1 種または複数の金属元素からなる化合物を少量添加した圧電材料を使用した。

チタン酸バリウム（BaTiO<sub>3</sub>）は通常、焼結温度が高いため、本実施例では圧電層 5 - 2、7 - 2 には 700 で焼結が可能となるように焼結助剤としてのガラス粉末を混ぜた。

この焼結助剤としてのガラス粉末は、接合層 3 - 2 に混ぜたガラス粉末と基本的には同じ酸化ケイ素や酸化ボロンではあるが、その配合比や添加元素を適時選定し圧電特性の劣化

10

20

30

40

50

をできるだけ防ぐようにすることが望ましい。

こうして、順次塗布と乾燥を繰り返し、電極層 6 - 2、圧電層 7 - 2 を形成する。

#### 【 0 0 3 4 】

一般に、圧電材料粉末にガラス粉末を混ぜると、強誘電性（圧電性）を有しないガラスの相が介在し本来の圧電特性を劣化させるものの、ある程度の圧電特性は有するので鉛の含有が好ましくない条件の元では使用は可能である。

圧電層 5 - 2 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、その化学組成が直接振動波アクチュエータの性能に影響する。一方、接合層 3 - 2 と圧電層 7 は - 2、圧電活性部でなく圧電非活性部となる。

なお、後述のように、少なくとも圧電素子 1 5 は、基板 2 に固定される面とその反対側の面が、非活性部である圧電層 7 - 2 で形成されている。

また、圧電層 5 - 2 と接合層 3 - 2、圧電層 7 - 2 とは、その目的に合わせて、チタン酸バリウム（ $\text{BaTiO}_3$ ）の主成分以外の成分を変更することも可能である、

また、その厚さも圧電層 5 - 2 と接合層 3 - 2、圧電層 7 - 2 とで異なるようにしても良い。

#### 【 0 0 3 5 】

ここで、電極層 4 - 2、6 - 2 を形成するための導電材料ペーストとしては、導電材料の他に予めチタン酸バリウム粉末を 1 0 重量 % 添加したものを使用した。

但し、添加する圧電材料粉末は、圧電層 5 - 2 と同一成分か、または主成分が同じチタン酸バリウムであっても同様の効果が得られる。

また、圧電層 5 - 2、7 - 2 には、スクリーン印刷の版に予め細工を施して孔 8（未印刷部）を形成できるようにし、電極層 4 - 2、6 - 2 は、非印刷部を介して 2 分割し、離間して配置できるようにしてある。

このようにして形成した基板 2 上の複数の積層化された接合層 3 - 2、圧電層 5 - 2、7 - 2 と電極層 4 - 2、6 - 2 は、未焼成状態である。

そこで、電気炉を用いて 5 0 0 以下で加熱して有機バインダを除去した後、大気中で 7 0 0 で焼成した。

すなわち、接合層 3 - 2、圧電層 5 - 2、7 - 2、電極層 4 - 2、6 - 2 及び基板 2 - 2 を同時に焼成して一体化した。換言すれば、圧電素子の製造と、圧電素子と基板との接合（固定）を同時に行なった。

#### 【 0 0 3 6 】

ここで、接合層 3 - 2 は、基板 2 - 2 と電極層 4 - 2 を結合するために設けている。

電極層 4 - 2 を形成する導電材料としての銀は基板 2 - 2 とは、接合力が弱い。そのため、接合層 3 - 2 が無い場合には、導電材料粉末の焼成時の粉末の焼結による収縮と焼成後の熱膨張により最初から基板 2 - 2 から電極層 4 - 2 が剥離したり、圧電素子 1 5 - 2 の振動により剥離してしまう。

接合層 3 - 2 は圧電材料と主成分が同じ材料粉末が熱膨張係数や機械的な性質から望ましいが、圧電材料だけでなくたとえば、ガラス粉末を混ぜたアルミナ粉末であってもよい。とりわけ、アルミナは先のステンレス鋼やチタン酸バリウムと熱膨張係数は近いことや他材料との化学反応が少ないことなどで適している。

その他のセラミックス粉末であっても、焼成時に圧電素子の焼結と同時に焼結が可能であれば使用することができる。

また、予め、電極層 4 - 2 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剥離力を小さくした。

さらに、接合層 3 - 2 にはガラス粉末をあらかじめ混ぜてあり、焼成時に、基板 2 - 2 や電極層 4 - 2 との界面にガラス粉末は溶融しつつ集まり、焼成後には接合層 3 - 2 は基板 2 - 2 と電極層 4 - 2 と強く結合することができるようにした。

#### 【 0 0 3 7 】

一方、基板 2 - 2 の金属としては、基板（振動板）の更に好ましい材料としては、前述のステンレス鋼の他にその他のクロム系やクロム－ニッケル系のステンレス鋼を選定して

10

20

30

40

50

も良い。

これは金属の中では入手し易く安価であり、そして、耐熱性も高く、振動体としての振動の減衰も少ないからである。

また、セラミックスと比較してステンレス鋼は表面に酸化物が形成されているので、ガラス粉末をあらかじめ混ぜてある接合層 3 - 2 と安定な結合が起こりやすく接合は容易である。

さらに、チタン酸バリウムやアルミナやステンレス鋼の熱膨張係数は近く好ましい。

接合層 3 - 2 は振動時の発生する応力の緩衝材としても機能し、基板 2 と電極層 4 との剥離を防止することが可能となる。

#### 【 0 0 3 8 】

10

実施例 1 同様に、以下、圧電層 5 - 2 は電極層 4 - 2 を覆い、圧電層 7 - 2 は電極層 6 - 2 を覆い、特に電極層 4 - 2、6 - 2 の端部まで完全に覆うようにし、絶縁性の保護層として電極層 4 - 2、6 - 2 が表面に露出しないようにしている。

このように圧電層 5 - 2、7 - 2 による電極層 4 - 2、6 - 2 の保護層を設けることで、外部からの機械的な力による電極層 4 - 2、6 - 2 の剥離を防止することができた。

また、例えば異物が接触した際のショートや高湿度下での電流リーク、電極層 4 - 2、6 - 2 と圧電層 5 - 2、7 - 2 の隙間への水分の侵入を防ぎ、電極層 4 - 2、6 - 2 の剥離を防止することができた。

#### 【 0 0 3 9 】

20

前述のように、接合層 3 - 2、圧電層 5 - 2、7 - 2、電極層 4 - 2、6 - 2、及び基板 2 を同時に焼成して一体化する。その後、圧電層 5 - 2、7 - 2 の孔 8 を介して電極層 4 - 2、6 - 2 に導電線 9 - 2 をハンダ等で接合し、電極層 4 - 2、6 - 2 の間に電圧を印加、圧電層 4 に分極処理を施した。

分極処理の条件は、温度 80 のオイル中で、電極層 4 - 2 をグラウンド ( G ) とし、電極層 6 - 2 をプラス ( + ) として、所定の電圧約 3 5 V ( 3 K V / m m 相当 ) を印加して、約 3 0 分かけて分極処理を行った。

図 4 は、本実施例に係る振動板 1 c を組込んだリニア型振動波アクチュエータの構成を示す図である。

#### 【 0 0 4 0 】

30

以上に説明したように、本発明によれば、ガラス粉末を接合のために用いているため、多種の基板や多種の圧電材料に適用ができ、そして、安定した接合力の発生が可能となる。また、低コストでの製造が可能である。

このような本発明の構成は、将来の振動アクチュエータの開発にとって有益である。

#### 【 符号の説明 】

#### 【 0 0 4 1 】

1 a、1 b、1 c : 振動体

2、2 - 2 : 基板

3、3 - 2 : 接合層

4、4 - 2、6、6 a、6 b、 : 電極層

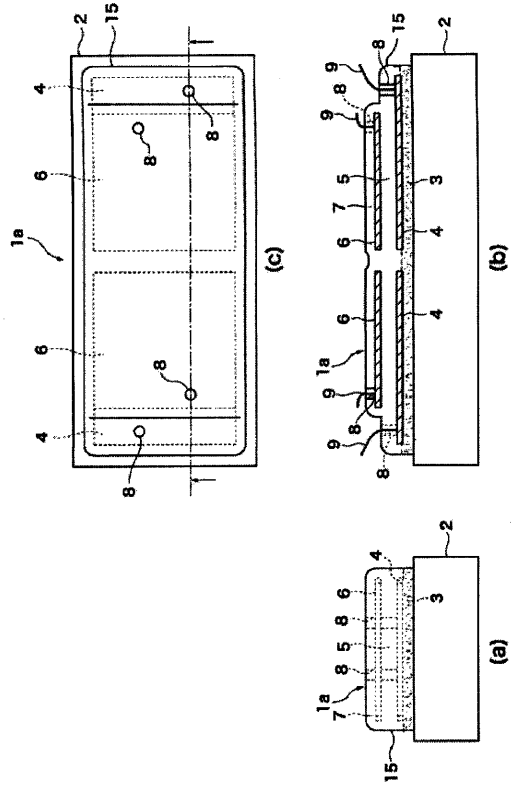
5、5 - 2、5 a、5 b、7、7 - 2 : 圧電層

40

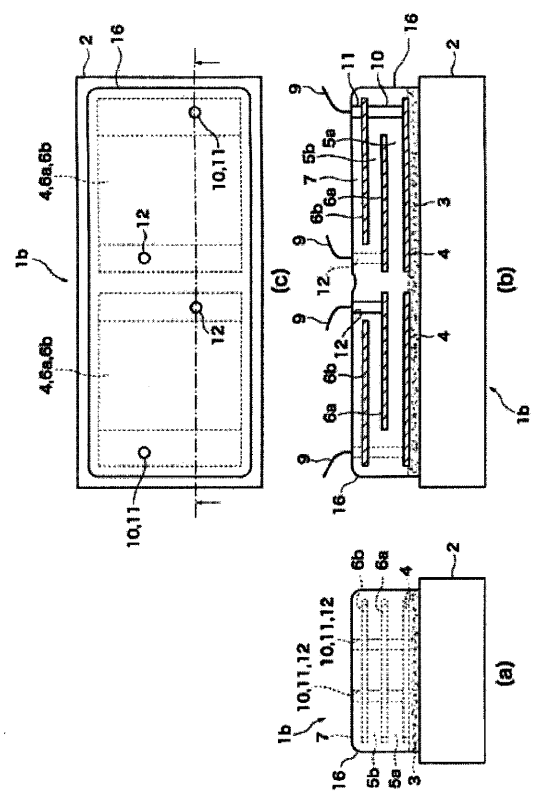
8、1 0、1 1 : 孔

1 5、1 5 - 2、1 6 : 圧電素子

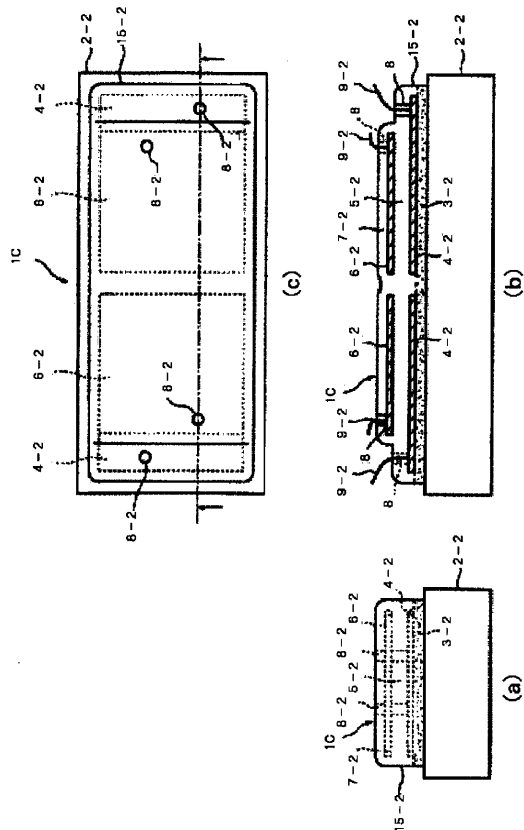
【図 1】



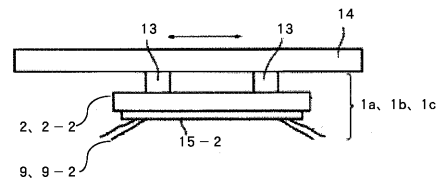
【図 2】



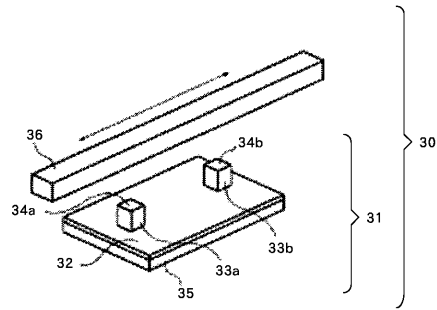
【図 3】



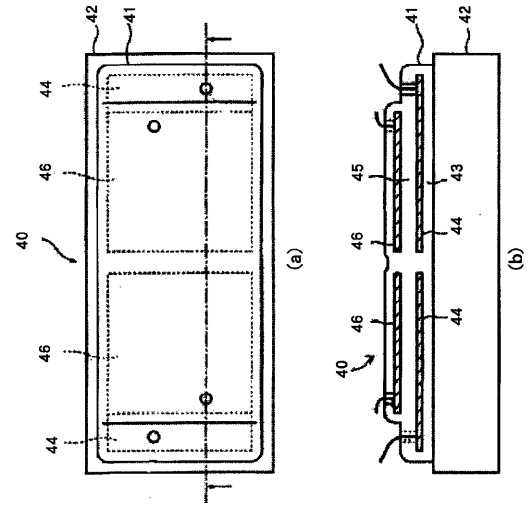
【図 4】



【図 5】



【図 6】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2011-045869(JP,A)  
特開2011-217493(JP,A)  
特開2009-124791(JP,A)  
特開2007-123483(JP,A)  
特開平10-181013(JP,A)  
特開2008-211047(JP,A)  
特開平03-283583(JP,A)  
特開2000-052557(JP,A)  
特開2005-322890(JP,A)  
特開昭63-031480(JP,A)  
特開平08-111991(JP,A)  
特開2000-294843(JP,A)  
特開平06-237026(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02N	2/00
B06B	1/06
H01L	41/00