

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5096659号
(P5096659)

(45) 発行日 平成24年12月12日(2012.12.12)

(24) 登録日 平成24年9月28日(2012.9.28)

(51) Int.Cl.	F I		
HO2N 2/00 (2006.01)	HO2N 2/00	B	
B41J 2/045 (2006.01)	B41J 3/04	I O 3 A	
B41J 2/055 (2006.01)	HO1L 41/08	J	
HO1L 41/09 (2006.01)	HO1L 41/08	L	
HO1L 41/187 (2006.01)	HO1L 41/18	I O 1 C	
請求項の数 10 (全 13 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2004-54643 (P2004-54643)
 (22) 出願日 平成16年2月27日(2004.2.27)
 (65) 公開番号 特開2005-244090 (P2005-244090A)
 (43) 公開日 平成17年9月8日(2005.9.8)
 審査請求日 平成19年2月13日(2007.2.13)
 審判番号 不服2011-27473 (P2011-27473/J1)
 審判請求日 平成23年12月20日(2011.12.20)

(73) 特許権者 000006633
 京セラ株式会社
 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町6番地
 (74) 代理人 100104318
 弁理士 深井 敏和
 (72) 発明者 由宇 喜裕
 鹿児島県国分市山下町1-4 京セラ株式
 会社 総合研究所内

合議体
 審判長 鈴木 匡明
 審判官 小野田 誠
 審判官 加藤 浩一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧電アクチュエータおよび印刷ヘッド

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の圧電セラミック層を積層した積層体と、該積層体の表面および/または内部に設けられた Ag - Pd 合金からなる電極層とを備えた厚み 100 μm 以下の圧電アクチュエータであって、

前記圧電セラミック層は、ジルコン酸チタン酸鉛から構成されており、

前記電極層がセラミックスからなる共材を含有し、該共材の 90% 以上が前記 Ag - Pd 合金の粒界の 3 重点に存在することを特徴とする圧電アクチュエータ。

【請求項2】

前記 Ag - Pd 合金の結晶平均粒径 (M) と前記共材の平均粒径 (T) との比 (M/T) が 2.5 以上である請求項1記載の圧電アクチュエータ。 10

【請求項3】

前記 Ag - Pd 合金が Ag を 70 体積% 以上含有する請求項1または2記載の圧電アクチュエータ。

【請求項4】

前記電極層が、前記 Ag - Pd 合金を 50 ~ 90 体積%、前記共材を 10 ~ 50 体積% の割合で含有する請求項1 ~ 3 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

【請求項5】

前記共材を構成するセラミックスが、前記圧電セラミック層を構成する圧電性セラミックスと略同一組成である請求項1 ~ 4 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。 20

【請求項 6】

前記積層体の内部に少なくとも 1 層の前記電極層が設けられ、該電極層を介して対向する 2 層の圧電セラミック層が電極層中の前記共材により連結されている請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

【請求項 7】

前記圧電セラミック層を構成する圧電性セラミックスが Pb を含有する請求項 1 ~ 6 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

【請求項 8】

前記圧電セラミック層の厚みが 1 ~ 50 μm の範囲にある請求項 1 ~ 7 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

10

【請求項 9】

機械的品質係数 (Qm) の標準偏差 を機械的品質係数 (Qm) の平均値で除し 100 倍した値が 10 以下である請求項 1 ~ 8 のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

【請求項 10】

請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載の圧電アクチュエータが、インク吐出孔を有する複数のインク流路が配列された流路部材上に取り付けられたことを特徴とする印刷ヘッド。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、積層圧電体、圧電アクチュエータおよび印刷ヘッドに関し、より詳しくは、例えば加速度センサ、ノッキングセンサ、AEセンサ等の圧電センサ、燃料噴射用インジェクタ、インクジェットプリンタ用印刷ヘッド、圧電共振子、発振器、超音波モータ、超音波振動子、フィルタ等に好適な積層圧電体、広がり振動、伸び振動、厚みたて振動を利用した圧電アクチュエータ、および文字や画像の印刷に用いるインクジェット式プリンタに搭載される印刷ヘッドに関する。

20

【背景技術】

【0002】

従来から、圧電性セラミックスを利用した製品としては、例えば圧電アクチュエータ、フィルタ、圧電共振子（発振子を含む）、超音波振動子、超音波モーター、圧電センサ等がある。これらの中で、圧電アクチュエータは、電気信号に対する応答速度が μ 秒オーダーと非常に高速であるため、半導体製造装置のXYステージの位置決め用圧電アクチュエータやインクジェットプリンタの印刷ヘッドに用いられる圧電アクチュエータ等に応用されている。特に、最近のカラープリンタの高速化、低価格化により、インクジェットプリンタ等のインク吐出用アクチュエータへの使用要求が高まっている。

30

【0003】

この要求に対して、例えば特許文献 1 には、圧電性セラミックスを主成分とする厚み数百 μm のグリーンシート表面に電極ペーストを塗布・印刷して内部電極を形成し、このグリーンシートを複数枚積層した後、脱バインダー処理してグリーンシートや内部電極に含まれるバインダーを除去し、その後焼結して焼成体を得、さらにこの焼成体に絶縁体、外部電極およびリード線を形成して作製される圧電アクチュエータが開示されている。この圧電アクチュエータにおける内部電極材としては、Ag-Pd合金が用いられている。

40

【0004】

このような圧電アクチュエータは、同時焼成により圧電セラミック層と内部電極の多層積層体を容易にかつ安価に作製できるという特徴を有しており、インクジェットプリンタ用の印刷ヘッド、XYステージ位置決め装置などに好適に使用されている。

【0005】

ところが、上記のような従来の圧電アクチュエータは、圧電セラミック層と内部電極の密着強度が必ずしも十分ではなく、しかも圧電アクチュエータの使用時には、駆動電圧の印加によって例えば 1 秒間に 16000 回 (16kHz) の速度で変形して変位を発生させるため、圧電セラミック層間および圧電セラミック層と内部電極との間に応力が加わっ

50

て層間剥離（デラミネーション）が発生するという問題があった。

【0006】

そこで、特許文献2には、内部電極材料である導電ペースト中に圧電セラミックス層と略同一のセラミックス粉末（共材）を添加することにより、内部電極を介して対向する2層の圧電セラミックス層を連結し、積層体の層間密着強度を高めることが提案されている。

【0007】

一方、近年進歩の著しい高精度プリンタにおいては大きな変位量が要求される傾向にあるが、特許文献1に記載の圧電アクチュエータでは、圧電セラミック層の厚みおよび全体厚みが厚いため変位量が制限される。したがって、圧電アクチュエータの変位量を大きくするために、近年では全体の厚みを薄くする傾向にあり、特に高速プリンタに対応するためには全体の厚みを100μm以下にする必要がある。

10

【0008】

しかも、特許文献2に記載の方法では、圧電アクチュエータのように変位を発生する過酷な使用条件下では必ずしも十分な層間強度を得ることができず、特に上記のような全体厚み100μm以下の薄層の圧電アクチュエータでは、圧電セラミック層の厚みが薄いため、焼成による変形が顕著となり、特に各圧電セラミック層の厚みが25μm以下の圧電積層体では変形を抑制することが極めて困難であった。このような変形によるデラミネーションに起因して変位量のばらつきが大きくなり、特に、同一基板に複数の圧電素子を有する圧電積層体では、アクチュエータとしての変位制御が困難であった。

20

【特許文献1】特開平11-121820号公報

【特許文献2】特開平10-172855号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

本発明の課題は、全体厚みが100μm以下であっても層間剥離を抑制でき、優れた圧電特性が得られ、しかも変位制御が容易な積層圧電体、圧電アクチュエータおよびこれを備えた印刷ヘッドを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明者らは、上記課題を解決すべく鋭意研究を重ねた結果、積層圧電体の電極層を構成するAg-Pd合金中において、共材の大部分をAg-Pd合金の粒界の3重点に存在させることで、圧電セラミック層と電極との層間剥離を抑制することができるという新たな事実を見出し、本発明を完成するに至った。

30

【0011】

すなわち、本発明の圧電アクチュエータおよび印刷ヘッドは、以下の構成からなる。

(1) 複数の圧電セラミック層を積層した積層体と、該積層体の表面および/または内部に設けられたAg-Pd合金からなる電極層とを備えた厚み100μm以下の圧電アクチュエータであって、前記圧電セラミック層は、ジルコン酸チタン酸鉛から構成されており、前記電極層がセラミックスからなる共材を含有し、該共材の90%以上が前記Ag-Pd合金の粒界の3重点に存在することを特徴とする圧電アクチュエータ。

40

(2) 前記Ag-Pd合金の結晶平均粒径(M)と前記共材の平均粒径(T)との比(M/T)が2.5以上である(1)記載の圧電アクチュエータ。

(3) 前記Ag-Pd合金がAgを70体積%以上含有する(1)または(2)記載の圧電アクチュエータ。

(4) 前記電極層が、前記Ag-Pd合金を50~90体積%、前記共材を10~50体積%の割合で含有する(1)~(3)のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

(5) 前記共材を構成するセラミックスが、前記圧電セラミック層を構成する圧電性セラミックスと略同一組成である(1)~(4)のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

(6) 前記積層体の内部に少なくとも1層の前記電極層が設けられ、該電極層を介して

50

対向する2層の圧電セラミック層が電極層中の前記共材により連結されている(1)~(5)のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

(7) 前記圧電セラミック層を構成する圧電性セラミックスがPbを含有する(1)~(6)のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

(8) 前記圧電セラミック層の厚みが1~50 μ mの範囲にある(1)~(7)のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

(9) 機械的品質係数(Qm)の標準偏差を機械的品質係数(Qm)の平均値で除し100倍した値が10以下である(1)~(8)のいずれかに記載の圧電アクチュエータ。

(10) 前記(1)~(9)のいずれか一項に記載の圧電アクチュエータが、インク吐出孔を有する複数のインク流路が配列された流路部材上に取り付けられたことを特徴とする印刷ヘッド。

10

【発明の効果】

【0012】

前記(1)記載の圧電アクチュエータによれば、共材の90%以上をAg-Pd合金の粒界の3重点に存在させることで、電極中のポア(空孔)の発生を抑制して、圧電セラミック層と電極との層間剥離を抑制することができるので、圧電特性を表す圧電定数(d31)を高めて大きな変位量を得ることができるとともに、弾性的特性を表す機械的品質係数(Qm)のばらつきを抑制することができる。これにより、優れた圧電特性を備え、しかも変位制御が容易な圧電アクチュエータを提供することができる。

【0013】

20

前記(2)記載のように、Ag-Pd合金の結晶平均粒径(M)と共材の平均粒径(T)との比(M/T)が2.5以上であるときには、共材が粒界の3重点に存在する確率が向上する。一方、比(M/T)が上記範囲外、すなわち共材の平均粒径が大きいと、共材が粒界の3重点に存在しにくくなるおそれがある。

【0014】

前記(3)記載のように、電極層におけるAg-Pd合金がAgを70体積%以上含有するときは、電極と圧電セラミック層との濡れ性が向上し、これらの密着強度を高めることができる。

【0015】

前記(4)記載のように、電極層におけるAg-Pd合金と共材との含有割合が上記範囲にあるときには、共材が粒界の3重点に存在する確率をより向上させ、電極中にポアが発生するのをより確実に抑制できる。

30

【0016】

前記(5)記載のように、セラミック粒子が圧電性セラミックスと略同一組成であるときには、圧電セラミック層と電極層の密着強度をより向上させることができる。

【0017】

前記(6)記載のように、電極層を介して対向する2層の圧電セラミック層が電極層中の共材により連結されているときには、積層体の層間強度をより向上させることができる。

【0018】

前記(7)記載のように、圧電セラミック層を構成する圧電性セラミックスがPbを含有するときは、電極層を構成するAg-Pd合金との濡れ性を向上させることができる。

40

【0019】

前記(8)記載のように、圧電セラミック層の厚み(圧電セラミック層の1層の厚み)が1~50 μ mの範囲にあるときには、より大きな変位量を得ることができる。

【0020】

上記の圧電アクチュエータによれば、前記(9)記載のように、Qmの標準偏差をQmの平均値で除し100倍した値を10以下にまで低減することができる。これにより、一基板内に複数のアクチュエータを構成する場合、容易に変位制御を行うことが可能になる。

【0021】

50

前記(10)記載の印刷ヘッドは、信頼性が高く、優れた圧電特性を備えている。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

以下、本発明の一実施形態にかかる積層圧電体について、図面を参照して詳細に説明する。図1は、本実施形態の積層圧電体を示す概略断面図である。図1に示すように、この積層圧電体は、2層の圧電セラミック層1、1を積層した積層体と、該積層体の表面および内部に設けられた電極層とを備えたものである。

【0023】

この電極層は、積層体内部に存在する内部電極2と、積層体表面に存在する複数の表面電極3とからなる。この表面電極3、内部電極2およびこれらの電極の間に配置された圧電セラミック層1により、複数の圧電素子が形成されている。この積層圧電体は、表面電極3にリード線を接続して外部との電気接続を施すことで、圧電アクチュエータとして好適に使用可能である。

10

【0024】

積層圧電体の全体厚みTは、100 μ m以下であることが重要であり、特に85 μ m以下、更には70 μ m以下であるのが好ましい。これにより、各圧電素子の変位を大きくすることができ、低電圧で高効率の駆動を実現できる。また、各圧電セラミック層1の厚みtは、好ましくは1~50 μ m、より好ましくは3~22 μ m、さらに好ましくは5~19 μ m、さらに好ましくは7~16 μ mであるのが、クラックや破壊を効果的に防止して自形を保ちながら変位を大きくする点でよい。

20

【0025】

内部電極2は、Ag-Pd合金を主成分とし、セラミックスからなる共材を含有している。Ag-Pd合金としては、好ましくはAgを70体積%以上、より好ましくはAgを70~99.9体積%、パラジウムを0.1~30体積%の割合で含有するのがよい。このような組成を有する電極は、圧電セラミック層1を構成する圧電性セラミックスとの濡れ性が高く、密着強度を改善できる。特に、Agを90体積%以上含有するAg-Pd合金は融点が1000以下と低く、濡れ性および共材の粒界への移動の点で効果的である。

【0026】

また、内部電極2は、セラミックスからなる共材を含有している。Ag-Pd合金と共材の含有割合は、Ag-Pd合金50~90体積%、共材10~50体積%の範囲、好ましくはAg-Pd合金70~80体積%、共材20~30体積%であるのがよい。これにより、内部電極2と圧電セラミック層1の密着強度をさらに高め、残留応力を低減して圧電特性をより安定化させることができる。内部電極2に厚みは0.5~5 μ m、好ましくは1~3 μ mであるのがよい。

30

【0027】

共材としては、種々のセラミックスを用いることができるが、好ましくは圧電セラミック層1と略同一組成の圧電性セラミックスであるのがよい。これにより、共材と圧電セラミック層1の反応あるいは共材の圧電セラミック層1中への拡散が生じやすくなる。

【0028】

図2は、内部電極2の表面を拡大した一部拡大平面図である。図2に示すように、内部電極2は、Ag-Pd合金30と、該合金30の粒界に存在する共材4からなる。本発明における内部電極2では、共材4の90%以上、好ましくは93%以上が、Ag-Pd合金30の粒界の3重点に存在しているのがよい。これにより、内部電極の焼結を抑制して、内部電極2中のポアの発生量を低減することができ、その結果、層間強度を高めることができる。さらに、Ag-Pd合金の結晶平均粒径(M)と共材の平均粒径(T)の比(M/T)が2.5以上であることにより、共材を粒界に存在させやすくなる。

40

【0029】

また、内部電極2を介して対向する2層の圧電セラミック層1、1が共材(不図示)により連結されているのが好ましい。これにより、圧電アクチュエータとして十分な層間強

50

度が得られる。

【0030】

表面電極3の材質としては、導電性を有するものならばいずれでも使用でき、具体的には例えばAu、Ag、Pd、Pt、Cu、Alやこれらの合金などが挙げられるが、上記した内部電極2と同じAg-Pd合金を用いてもよい。表面電極3の厚みは、変位時の拘束を抑制するために薄くするのがよく、好ましくは1μm以下、より好ましくは0.1~0.8μmであるのがよい。

【0031】

本発明における圧電セラミック層1を構成する圧電性セラミックスとしては、圧電性を示すセラミックスであればいずれでもよく、例えばBi層状化合物やタングステンブロンズ構造物質、Nb酸アルカリ化合物のペロブスカイト構造化合物、Pbを含有するジルコン酸チタン酸鉛(PZT)やチタン酸鉛等を含有するペロブスカイト構造化合物を例示できるが、これら中でもPbを含むジルコン酸チタン酸鉛やチタン酸鉛が、電極との濡れ性を高め、電極との密着強度を高める点で好適である。

10

【0032】

すなわち、Aサイト構成元素としてPbを含有し、且つ、Bサイト構成元素としてZrおよび/またはTiを含有する結晶であり、特に、チタン酸ジルコン酸鉛系化合物であることが、より高いd定数を有する安定な圧電焼結体を得るために好ましい。

【0033】

また、圧電セラミック層1が、Sr、Ba、Ni、Sb、Nb、Zn及びTeのうち少なくとも1種を含むことが好ましい。これによって、より安定した圧電焼結体を得ることができ、例えば副成分として $Pb(Zn_{1/3}Sb_{2/3})O_3$ 及び $Pb(Ni_{1/2}Te_{1/2})O_3$ とを固溶してなるものを例示できる。

20

【0034】

特に、Aサイト構成元素として、さらにアルカリ土類元素を含有することが望ましい。アルカリ土類元素としては特にBa、Srが高い変位を得られる点で好ましく、Baを0.02~0.08モル、Srを0.02~0.12モル含むことが特に正方晶組成が主体の組成の場合に大きな変位を得るのに有利である。例えば、 $Pb_{1-x-y}Sr_xBa_y(Zn_{1/3}Sb_{2/3})_a(Ni_{1/2}Te_{1/2})_bZr_{1-a-b-c}Ti_cO_3 + wt\% Pb_{1/2}NbO_3 (0 \leq x \leq 0.14, 0 \leq y \leq 0.14, 0.05 \leq a \leq 0.1, 0.002 \leq b \leq 0.01, 0.44 \leq c \leq 0.50, a+b+c = 0.1 \sim 1.0)$ で表されるものである。

30

【0035】

次に、本発明の積層圧電体の製造方法について、圧電性セラミックスとしてPZTを用いた場合を例に挙げて説明する。

まず、原料として、純度99%、平均粒径1μm以下のPZT粉末を、圧電性セラミックス粉末として準備する。この圧電性セラミックス粉末に適当な有機バインダーを添加しテープ状に成形してグリーンシートを必要枚数作製する。ついで、作製したグリーンシートの一部に、上記した組成Ag-Pd合金および共材を含むAg-Pdペーストを塗布して内部電極を形成し、所望の形状にカットする。ついで、各グリーンシートを積層し、これを400℃程度で脱バインダー処理した後、焼成する。焼成後、表面に所望の電極を形成し分極して積層圧電体を得ることができる。

40

【0036】

このようなAg-Pd合金からなる内部電極2と圧電セラミック層1を組み合わせることによって積層圧電体の弾性的安定性を得ることができ、その結果積層圧電体の機械的品質係数(Qm)のばらつきが抑制される。変位バラツキを10%以内に抑制するためには、積層圧電体の機械的品質係数(Qm)の標準偏差をその平均値で除し100倍した値が10以下であるのがよい。これにより、さらに変位ばらつきが抑制され、変位制御の容易な積層圧電体を得ることができる。

【0037】

なお、グリーンシートを積層して積層体を作製する場合、該グリーンシートと略同一組

50

成の圧電性セラミックスと有機組成物からなる拘束シートを、上記積層体の両面若しくは片面に配置し、加圧密着を行うことが好ましい。このように拘束シートで外側のグリーンシートの収縮を抑制することによって、積層体のソリを低減するという効果が期待でき、支持部材との接着の際の応力低減を可能にする。

【0038】

次に、本発明の一実施形態にかかる圧電アクチュエータおよびこれを備えたインクジェット方式の印刷ヘッドについて説明する。図3(a)は、本実施形態にかかる圧電アクチュエータを備えた印刷ヘッドを示す概略断面図であり、図3(b)は、その平面図である。この圧電アクチュエータは、一基板に複数の圧電素子を備えており、インクジェット方式を利用した記録装置に用いられるインクジェット用印刷ヘッドに好適に用いることができる。

10

【0039】

図3(a)に示すように、本実施形態のアクチュエータ15は、圧電セラミック層11a、11bと、これらの圧電セラミック層11a、11bの間に配置された共通電極12と、圧電セラミック層11bの表面に格子状に形成された複数の個別電極13とを備えており、共通電極12と、複数の個別電極13と、該個別電極13と共通電極12の間に位置する圧電セラミック層11bとにより複数の圧電素子14が形成されている。各個別電極13は、それぞれ外部の電子制御回路に独立して接続され、電極間に電圧が印加されると、電圧が印加された共通電極12と個別電極13に挟持された部位の圧電セラミック層11bが変位する。圧電セラミック層11bは、振動板の役割を担っている。

20

【0040】

圧電セラミック層11a、11bとしては、前記した圧電セラミック層1と同様の材料を用いることができる。また、共通電極12および個別電極13は、前記した内部電極2および表面電極3と同様の材料を用いることができる。圧電アクチュエータ15は、上記積層圧電体と同様にして製造される。

【0041】

本実施形態の印刷ヘッドは、圧電アクチュエータ15を、インク吐出孔16cを有する複数のインク流路16aが配列された流路部材16上に、インク流路16aと個別電極13との位置を揃えて取り付けられたものである。各インク流路16aは、隔壁16bにより仕切られている。

30

【0042】

流路部材16は圧延法等によって得られ、インク吐出孔16cおよびインク流路16aはエッチングにより所定の形状に加工されて設けられる。この流路部材16は、Fe-Cr系、Fe-Ni系、WC-TiC系の群から選ばれる少なくとも1種によって形成されていることが望ましく、特にインクに対する耐食性の優れた材質からなることが望ましく、Fe-Cr系がより好ましい。

【0043】

圧電アクチュエータ15と流路部材16とは、例えば接着層を介して積層接着することができる。接着層としては、周知のものを使用することができるが、圧電アクチュエータ11や流路部材13への影響を及ぼさないために、熱硬化温度が100~250のエポキシ樹脂、フェノール樹脂、ポリフェニレンエーテル樹脂の群から選ばれる少なくとも1種の熱硬化性樹脂系の接着剤を用いるのがよい。このような接着層を用いて熱硬化温度にまで加熱することによって、圧電アクチュエータ15と流路部材16とを加熱接合することができ、これにより印刷ヘッドを得ることができる。そして、外部の駆動回路により共通電極12と所定の個別電極13との間に電圧が印加されると、電圧が印加された個別電極13直下の圧電セラミック層11bが変位してインク流路16a内のインクが加圧され、インク吐出孔16cよりインク滴が吐出される。

40

【0044】

このような構成を採用することにより、高速で高精度にインク滴を吐出させることができ、高速印刷に好適な印刷ヘッドを提供することができる。また、本発明の印刷ヘッドと

50

、インクを収容したインクタンクと、このインクタンクから印刷ヘッドにインクを供給するインク供給部と、紙送り装置とを備えたプリンタ（印刷機）を構成することによって、高速・高精度印刷を実現できる。

【0045】

以上、本発明の一実施形態について示したが、本発明は上述した実施形態のみに限らず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で変更や改良したものにも適用できることは言うまでもない。例えば、上記実施形態では、積層圧電体を圧電アクチュエータおよびインクジェット方式の印刷ヘッドに適用した場合について説明したが、本発明の積層圧電体は、例えば加速度センサ、ロッキングセンサ、AEセンサ等の圧電センサ、燃料噴射用インジェクタ、圧電共振子、発振器、超音波モータ、超音波振動子、フィルタ等にも適用できる。

10

【0046】

以下、実施例を挙げて本発明について詳細に説明するが、本発明は以下の実施例のみに限定されるものではない。

【実施例】

【0047】

圧電セラミックス層の原料粉末として高純度の Pb_2O_3 、 ZrO_2 、 TiO_2 、 $BaCO_3$ 、 ZnO 、 $SrCO_3$ 、 Sb_2O_3 、 NiO 、 TeO_2 の各原料粉末を、焼結体が $Pb_{1-x-y}Sr_xBa_y(Zr_{1/3}Sb_{2/3})_a(Ni_{1/2}Te_{1/2})_bZr_{1-a-b-c}Ti_cO_3$ ($x=0.04$ 、 $y=0.02$ 、 $a=0.075$ 、 $b=0.005$ 、 $c=0.42$)で表される組成となるように、所定量秤量した。その他、同様にしてセラミックス層としては $PbTiO_3$ 、 $BaTiO_3$ を準備した。

20

【0048】

上記の調製された粉体をボールミルにより湿式で20時間混合し後、この混合物を脱水、乾燥した。その後、900℃で3時間仮焼し、得られた仮焼物を再びボールミルで湿式粉砕した。ついで、この粉砕物に有機バインダー、水、分散剤と可塑剤とを混合し、スラリーを作製し、薄いグリーンシートを成形するために一般的に用いられるロールコーター法により、焼成後の厚さが表1に示すサイズになるように予め収縮率を考慮したグリーンシートを作製した。

【0049】

また、Ag-Pd合金からなる内部電極用の電極ペーストを表1の組成に調合し、さらに共材として圧電性セラミックス粉末を表1の組成になるように添加した。共材としての圧電性セラミックス粉末の平均粒径は $1.0\mu m$ 以下のものを用いた。これらは、別々に有機バインダーおよび有機溶剤を含むビヒクルで混合し、その後両者を十分に混練して、内部電極ペーストを作製した。

30

【0050】

得られた内部電極ペーストを、グリーンシートの表面に厚さ $4\mu m$ で印刷し、内部電極を形成した。さらに、内部電極が印刷された面を上向きにしてグリーンシートの2枚の間に内部電極ペーストを印刷しないグリーンシート1枚づつ積層し、加圧プレスし、積層成形体を得た。この積層成形体を脱脂処理した後、940~1000℃、酸素99%以上の雰囲気中で2~4時間保持して焼結し、焼結体を作製した。この焼結体の一方の表面に表面電極3を複数形成した。表面電極3は、スクリーン印刷にてAuペーストを塗布し、一基板当たり600点形成した。これを600~800℃で大気中で焼付けて形成した。これにより、図4に示すような圧電セラミック層21a、21b、共通電極22および個別電極23とを備え、複数の圧電素子が形成された圧電アクチュエータ25を得た。この圧電アクチュエータ25の個別電極23には、リード線を半田で接続した。

40

【0051】

次に、圧電アクチュエータの圧電特性を示すd定数、機械的品質係数(Qm)、および密着強度の評価方法について説明する。上記の圧電アクチュエータを $10cm \times 10cm$ に切断し、その片側のみを研磨し圧電セラミック層のみを残す。ついで、この磁器の両主面にAu蒸着にて電極を形成した。その後、ダイシングにて長辺方向12mm、短辺方

50

向 3 mm に切り出し、シリコンオイル中で厚み方向に 3 kV/mm の直流電圧を 5 分間印加して分極を行った。この素子をインピーダンスアナライザー（アジレントテクノロジー製 4194A）にて共振周波数、反共振周波数、共振抵抗、反共振抵抗、および静電容量を測定しアルキメデス法より測定した密度より Q_m および d_{31} を算出した。そして、 Q_m の平均値とばらつきの標準偏差（ ）を求め、 $[\{ (Q_m \text{ の }) / (Q_m \text{ の平均値}) \} \times 100]$ をばらつきの指標とした。本実施例では、 $[\{ (Q_m \text{ の }) / (Q_m \text{ の平均値}) \} \times 100]$ が 10 以下である場合を良品とした。

【0052】

圧電アクチュエータの変位量の測定は、図 5 に示すように、上記で得られた圧電アクチュエータ 25 を、溝 26a と隔壁 26b を有する支持体 26 に接着した試料を用いて行った。この試料の溝 26a 側からアクチュエータにレーザービームを照射し、レーザードップラー変位計により溝 26a の中心部および周辺部 7 点の変位量を測定し、変位量の平均値およびばらつきを算出した。変位量のばらつきは、最大変位量から最小変位量との差（最大変位量 - 最小変位量）とし、このばらつきが 10 nm 以下である場合を良品とした。

10

【0053】

密着強度については、上記の条件で作製した圧電アクチュエータ 25 を SUS 316 の板にエポキシ系接着剤を用いて 120 で接着した後、圧電アクチュエータ 25 に 1.0 kgf (9.8 N) の荷重でピッカーズ圧痕を 5 秒間うち、圧電セラミックス層 21a, 21b と共通電極層 22 との剥離状況を観察した。1 つの試料につき、20 箇所圧痕をうち、1 個以上剥離が発生したものを層間強度不足と判断した。結果を表 1 に示す。

20

【0054】

共通電極 22 中の共材による圧電セラミックス層 21a と圧電セラミックス層 21b との間の連結状況は、以下のようにして行った。すなわち、圧電アクチュエータ 25 の断面を鏡面研磨した後、走査型電子顕微鏡 (SEM) にて 2000 倍で観察した。共通電極の 150 μ m 幅の中の連結部分を数え、10 箇所以上の連結部が存在するものを良品とした。また、同様にポアが 5 個以下のものを良品とした。

【0055】

電極表面の観察は、以下のようにして行った。すなわち、個別電極 23 と共通電極 22 の間を水に浸した後、両電極間に 40V の電圧を印加することにより共通電極 22 と圧電セラミックス層 21a, 21b が電気化学的反応により剥離する。剥離した圧電セラミックス層 21a, 21b を取り除き、残った共通電極の表面を SEM にて観察した。共通電極の表面の各部を成分分析し、Pb が検出された部分には共材が存在していたと判断した。そして、共材のうち、何% が Ag - Pd 合金の 3 重点に存在するかの評価を、次式 $\{ (3 \text{ 重点に存在する共材の個数} / \text{共材の総個数}) \times 100 \}$ に基づいて行った。各評価結果を表 1 に示す。

30

【表 1】

No	セラミック層		内部電極							アクチュエータ				
	材質	一層の厚み(μm)	Ag含有量(体積%)	共材種類	共材量(体積%)	連結(個)	共材の3重点存在割合	M/T	ポア個数	層間剥離発生率	d31 (pm/V)	Qm/バラツキ (σ/平均値×100)	平均変位 (nm)	変位バラツキ (レンジnm)
1	PZT	10	50	PZT	0	0	なし	-	10	12/20	-130	17	60	15
2	PZT	10	50	PZT	5	1	70	1	8	5/20	-132	12	65	12
3	PZT	10	70	PZT	30	10	95	2.5	1	0/20	-132	9.9	65	10
4	PZT	10	80	PZT	30	10	95	2.6	2	0/20	-138	9.5	70	9
5	PZT	10	90	PZT	30	10	94	2.7	0	0/20	-150	8.5	80	7
6	PZT	10	95	PZT	30	10	95	2.8	1	0/20	-145	8.7	79	8
7	PZT	10	90	PZT	10	5	94	2.6	2	0/20	-155	9.9	82	9.5
8	PZT	10	90	PZT	20	7	93	2.6	1	0/20	-151	9.2	81	9.5
9	PZT	10	90	PZT	40	15	93	2.7	0	0/20	-140	8.2	76	9.5
10	PZT	10	90	PZT	50	19	93	2.7	0	0/20	-137	7.9	69	9
11	PZT	5	90	PZT	30	10	93	2.8	2	3/20	-145	8.5	78	9
12	PZT	20	90	PZT	30	10	93	2.8	1	0/20	-147	8.5	78	9.5
13	PZT	30	90	PZT	30	10	94	2.7	1	0/20	-144	8.5	76	9.5
14	PZT	45	90	PZT	30	10	93	2.7	1	0/20	-141	8.5	60	10
15	PZT	100	90	PZT	30	10	93	2.8	0	0/20	-138	8.5	50	12
16	PT	10	90	PZT	30	10	93	2.7	1	0/20	-128	9.9	62	9
17	BT	10	90	PZT	30	10	93	2.7	1	0/20	-132	9.8	63	9
18	PZT	10	90	PT	30	10	93	2.7	1	0/20	-130	9.7	60	10
19	PZT	10	90	BT	30	10	93	2.8	1	0/20	-132	9.8	61	10

* *

*

*は本発明の範囲外
PZT:チタン酸ジルコン酸鉛
PT:チタン酸鉛
BT:チタン酸バリウム

【0056】

表 1 から、本発明の範囲内である試料 No . 3 ~ 1 4 および No . 1 6 ~ 1 9 は、変位

10

20

30

40

50

ばらつきのレンジが10 nm以下であるとともに、層間剥離が無く、変位制御が容易に行うことができる積層圧電体であった。

【0057】

一方、Agが70体積%より少なく、共材が粒内に多く存在する本発明の範囲外の試料No. 1, 2は、変位ばらつきがのレンジが10 nmより大きく、しかも層間剥離が発生していた。また、圧電セラミック層一層の厚みが100 μmの試料No. 15は、変位が50 nmと小さいものであった。

【図面の簡単な説明】

【0058】

【図1】本発明の積層圧電体を示す概略断面図である。

10

【図2】図1の積層圧電体における内部電極の表面を模式的に示す概略平面図である。

【図3】本発明の圧電アクチュエータを備えた印刷ヘッドを示す概略断面図である。

【図4】実施例において作製した圧電アクチュエータを示す概略断面図である。

【図5】実施例において、図4に示す圧電アクチュエータの特性を評価するための構造体を示す概略断面図である。

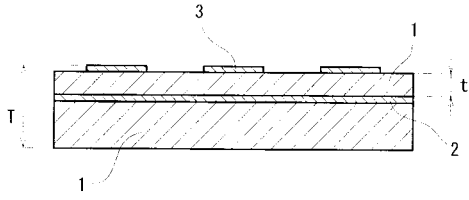
【符号の説明】

【0059】

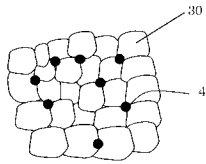
- 1, 11a, 11b, 21a, 22b 圧電セラミック層
- 2 内部電極
- 3 表面電極
- 12 共通電極
- 13 個別電極
- 14 圧電素子
- 15 アクチュエータ
- 16 流路部材
- 16a インク流路
- 16b 隔壁
- 16c インク吐出孔

20

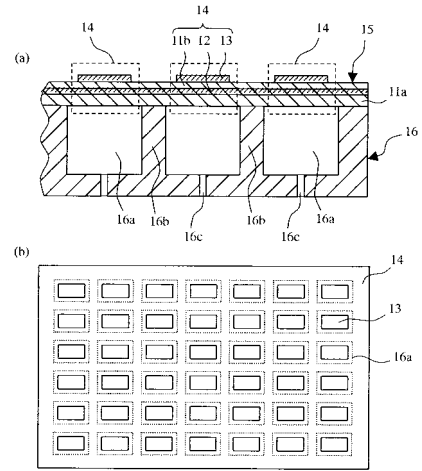
【図1】



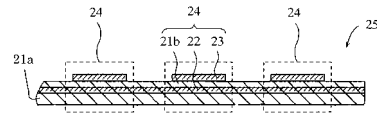
【図2】



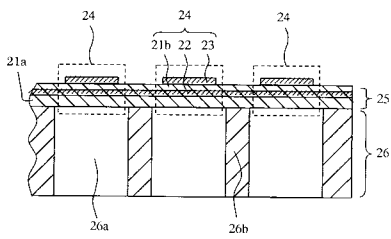
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 L 41/22 (2006.01) H 0 1 L 41/18 1 0 1 D
H 0 1 L 41/18 1 0 1 J
H 0 1 L 41/22 Z

(56)参考文献 特開2001-16691(JP,A)
特開2003-174206(JP,A)
特開平11-354374(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L41/00-24