

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4551061号  
(P4551061)

(45) 発行日 平成22年9月22日(2010.9.22)

(24) 登録日 平成22年7月16日(2010.7.16)

(51) Int. Cl.	F I	
HO 1 L 41/09 (2006.01)	HO 1 L 41/08	C
CO 4 B 35/49 (2006.01)	HO 1 L 41/08	L
HO 1 L 41/187 (2006.01)	CO 4 B 35/49	A
HO 2 N 2/00 (2006.01)	HO 1 L 41/18	1 O 1 D
	HO 2 N 2/00	Z

請求項の数 6 (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2003-96622(P2003-96622)  
 (22) 出願日 平成15年3月31日(2003.3.31)  
 (65) 公開番号 特開2004-304028(P2004-304028A)  
 (43) 公開日 平成16年10月28日(2004.10.28)  
 審査請求日 平成17年9月9日(2005.9.9)

(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  
 (72) 発明者 川原 昌一  
 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  
 審査官 河合 俊英

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧電変位素子および圧電アクチュエータ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ジルコン酸チタン酸鉛を主結晶相とする圧電セラミック層と、この圧電セラミック層の両面に配置され少なくとも一方が Ag を含有した一対の電極とを備えた圧電変位素子であって、

前記圧電セラミック層中の主結晶相に Ag が固溶し、前記圧電セラミック層の厚みを W ( μ m )、該圧電セラミック層の中心部における Ag の含有量を G ( 質量% ) とするときに、 $3 W \leq 50$ 、 $G \leq 0.06 W$  の関係を満足することを特徴とする圧電変位素子。

【請求項2】

前記主結晶相が、3 価以上の価数を有する元素を含む請求項1記載の圧電変位素子。

10

【請求項3】

Ag を含む前記電極が、Ag を90体積%以上含み、残部がパラジウムからなる請求項1または2記載の圧電変位素子。

【請求項4】

振動板上に、共通電極、ジルコン酸チタン酸鉛を主結晶相とする圧電セラミック層および表面電極がこの順に積層され、前記表面電極が圧電セラミック層の表面に複数配列された圧電アクチュエータであって、

前記共通電極および/または表面電極が Ag を含有し、前記圧電セラミック層中の主結晶相に Ag が固溶し、前記圧電セラミック層の厚みを W ( μ m )、該圧電セラミック層の中心部における Ag の含有量を G ( 質量% ) とするときに、 $3 W \leq 50$ 、 $G \leq 0.06 W$

20

の関係を満足することを特徴とする圧電アクチュエータ。

【請求項 5】

前記主結晶相が、3 価以上の価数を有する元素を含む請求項 4 記載の圧電アクチュエータ。

【請求項 6】

A g を含む前記内部電極および / または表面電極が、A g を 9 0 体積 % 以上含み、残部がパラジウムからなる請求項 4 または 5 記載の圧電アクチュエータ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、圧電変位素子および圧電アクチュエータに関し、より詳しくは例えば加速度センサ、ノッキングセンサ、A E センサ等の圧電センサ、燃料噴射用インクジェクター、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、超音波モーター、超音波振動子、フィルタ等に適し、特に広がり振動、伸び振動、厚み立て振動を利用した印刷ヘッドとして好適に用いられる圧電変位素子および圧電アクチュエータに関する。

【0002】

【従来の技術】

従来から、圧電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。

【0003】

これらの中で、アクチュエータは、電気信号に対する応答速度が  $10^{-6}$  秒台と非常に高速であるため、半導体製造装置の X Y ステージの位置決め用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アクチュエータ等に応用されている。

【0004】

インクジェット方式を利用した印刷ヘッドは、例えば図 6 に示すように、複数のインク流路 3 3 a が並設され、各インク流路 3 3 a を仕切る壁として隔壁 3 3 b を形成した流路部材 3 3 の上に圧電アクチュエータ 3 4 が設けられた構造を有する（特許文献 1 参照）。

【0005】

圧電アクチュエータ 3 4 は、振動板の役割を兼ねた導電性の共通電極 3 6 上に、圧電セラミック層 3 5 および表面電極 3 7 がこの順に積層され、表面電極 3 7 が圧電セラミック層 3 5 の表面に複数配列されることにより、複数の圧電変位素子 3 8 が形成されたものである。この圧電アクチュエータ 3 4 は、インク流路 3 3 a の上に表面電極 3 7 が位置するようにして流路部材 3 3 上に積層されている。

【0006】

上記のような印刷ヘッドは、共通電極 3 6 と所定の表面電極 3 7 との間に電圧を印加して該表面電極 3 7 直下の圧電セラミック層 3 5 を変位させることにより、インク流路 3 3 a 内のインクを加圧して、流路部材 3 3 の底面に開口したインク吐出口 3 3 c よりインク滴を吐出する。

【0007】

このような圧電アクチュエータは、ジルコン酸チタン酸鉛（P Z T）を主結晶相とする圧電セラミックスを用いることにより、圧電歪特性、キュリー温度、耐熱性、耐久性、変位ヒステリシスおよび電圧印加に伴う発生変位の温度変化率の面で優れた圧電体を実現できることが特許文献 2 に開示されている。

【0008】

また、特許文献 3 には、銀を主成分とし、白金およびパラジウムを含まない電極と、 $a P b N i_{1/3} N b_{2/3} O_2 - b P b T i O_3 - c P b Z r O_3$  を主成分とし、厚みが  $60 \mu m$  以上の圧電セラミック層からなるセラミック圧電素子が開示されている。このセラミック圧電素子は、安価に製造でき、圧電特性に優れているとされている。また、電極から圧電セラミック層中に銀を粒界拡散させて、該圧電セラミック層に  $0.001 \sim 0.1$  重量 % の

10

20

30

40

50

Agを含有させることにより、断線等のない信頼性の高い圧電変位素子を得ることができるとされている。

【0009】

さらに、特許文献4には、主相と低融点粒界相からなるセラミックスとAgを含有する導体からなる内部電極とを有する電子部品が開示されている。この電子部品では、上記セラミックスの粒界相中に存在するAgまたはAg酸化物のAgに換算した量が、粒界相の金属元素の総和に対して0.5重量%以下である。

【0010】

【特許文献1】

特開平11-34321号公報図1

10

【特許文献2】

特開平7-315923号公報

【特許文献3】

特開2001-308402号公報

【特許文献4】

特開平11-171645号公報

【0011】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、近年では、機器が小型化、薄型化する傾向にあり、圧電セラミック層も厚さ50 $\mu\text{m}$ 以下の薄型が要望されている。しかしながら、引用文献3に記載のセラミック圧電素子において、焼成前のテープ(グリーンシート)の厚みが60 $\mu\text{m}$ 以下で、焼成後の厚みが50 $\mu\text{m}$ 以下という薄い圧電セラミック層の積層体を用いた場合、圧電特性が低下するという問題があった。例えば、厚みが11 $\mu\text{m}$ 程度の圧電セラミック層では圧電特性が著しく低下する。

20

【0012】

また、引用文献4に記載の電子部品は、Agが粒界相に存在するため、圧電セラミックスの強度が低下するという問題があった。

【0013】

従って、本発明は、圧電セラミック層の厚さが50 $\mu\text{m}$ 以下と薄いにもかかわらず、圧電特性に優れ、強度の高い圧電変位素子および圧電アクチュエータを提供することを目的とする。

30

【0014】

【課題を解決するための手段】

本発明者らは、上記課題を解決すべく鋭意検討を重ねる過程で、Agを含有する電極と圧電セラミック層との同時焼成時に圧電セラミック層中へAgが拡散すること、およびこの拡散したAgは、電極と圧電セラミック層との界面に多く存在するが、この界面から圧電セラミック層の厚さ方向に遠ざかるほど含有量が低下することに着目し、Agの拡散と圧電特性との関係を調べた結果、圧電セラミック層の厚さが薄くなるほどAgの拡散の影響が大きくなり、特に50 $\mu\text{m}$ 以下の薄い圧電セラミック層では、圧電セラミック層中のAg含有量が増大して圧電特性が著しく低下するという事実を見出した。従って、厚さ50 $\mu\text{m}$ 以下の薄い圧電セラミック層において高い圧電特性を得るためには、圧電セラミック層中のAg含有量を少なくすることが重要であるという知見を得、本発明を完成するに至った。

40

【0015】

すなわち、本発明の圧電変位素子は、以下の構成からなる。

(1) ジルコン酸チタン酸鉛を主結晶相とする圧電セラミック層と、この圧電セラミック層の両面に配置され少なくとも一方がAgを含有した一対の電極とを備えた圧電変位素子であって、前記圧電セラミック層中の主結晶相にAgが固溶し、前記圧電セラミック層の厚みをW( $\mu\text{m}$ )、該圧電セラミック層の中心部におけるAgの含有量をG(質量%)とすると、 $3 < W < 50$ 、 $G < 0.06W$ の関係を満足することを特徴とする圧電変位

50

素子。

(2) 前記主結晶相が、3価以上の価数を有する元素を含む(1)記載の圧電変位素子。

(3) Agを含む前記電極が、Agを90体積%以上含み、残部がパラジウムからなる(1)または(2)記載の圧電変位素子。

【0016】

前記(1)~(3)の圧電変位素子は、特にインクジェット記録ヘッドなどに用いられる圧電アクチュエータに好適である。すなわち、本発明の圧電アクチュエータは以下の構成からなる。

(4) 振動板上に、共通電極、ジルコン酸チタン酸鉛を主結晶相とする圧電セラミック層および表面電極がこの順に積層され、前記表面電極が圧電セラミック層の表面に複数配列された圧電アクチュエータであって、前記共通電極および/または表面電極がAgを含有し、前記圧電セラミック層中の主結晶相にAgが固溶し、前記圧電セラミック層の厚みを $W(\mu\text{m})$ 、該圧電セラミック層の中心部におけるAgの含有量を $G(\text{質量}\%)$ とするとときに、 $3 \leq W \leq 50$ 、 $0.06 \leq G \leq 0.6$ の関係を満たすことを特徴とする圧電アクチュエータ。

(5) 前記主結晶相が、3価以上の価数を有する元素を含む(4)記載の圧電アクチュエータ。

(6) Agを含む前記内部電極および/または表面電極が、Agを90体積%以上含み、残部がパラジウムからなる(4)または(5)記載の圧電アクチュエータ。

【0017】

前記(1)記載の圧電変位素子および前記(4)記載の圧電アクチュエータによれば、圧電セラミック層が $3 \sim 50 \mu\text{m}$ という薄層であっても、高い圧電特性を得ることができるとともに、薄層であるので小さな電圧で大きな変位を得ることができる。しかも、圧電セラミック層中の主結晶相にAgが固溶しているため、ポイド量を低減させて圧電セラミック層の強度が低下するのを防止することができる。なお、前記(1)および(4)の記載において、圧電セラミック層の厚さ方向における中心部とは、圧電セラミック層の厚さ方向の中心から $\pm 2 \mu\text{m}$ の領域をいうものとする。また、Agを圧電セラミック層中の主結晶相に固溶させるには、例えば圧電セラミック層の原料中のガラス量( $\text{SiO}_2$ 量)を $500 \text{ppm}$ 以下、好ましくは $400 \text{ppm}$ 以下、より好ましくは $300 \text{ppm}$ 以下にする。これにより、圧電セラミック層中の粒界相を解消し、結晶相中にAgを固溶させることができる。また、下記する3価以上の価数を有する元素を主結晶相に含有させることにより、結晶相中にAgを固溶させる効果を高めることができる。

【0018】

本発明の圧電変位素子および圧電アクチュエータでは、前記(2)および(5)記載のように、主結晶相が3価以上の価数を有する元素を含んでいるのが好ましい。

Agの拡散による圧電特性の低下は、 $\text{Pb}(\text{Zr} \cdot \text{Ti})\text{O}_3$ で表されるジルコン酸チタン酸鉛のPbサイトへのAgの置換固溶が原因である。すなわち、2価のPbサイトに1価のAgが固溶することにより、アクセプタ-効果による酸素空孔量が増大し、圧電特性の低下が起こるためである。そこで、Ag置換による酸素空孔生成を補正するドナー成分(3価以上の元素)をあらかじめ圧電セラミック層に添加しておくことにより、Agが多量に固溶して圧電特性が低下するのを抑制することができる。また、主結晶相に3価以上の元素を含有させておくことにより、Agを粒界相でなく、主結晶相に固溶させて結晶粒子内に閉じ込めておくことにより、圧電変位素子および圧電アクチュエータの強度の低下を防止することができる。

【0019】

また、本発明では、前記(3)および(6)記載のように、Agを含む前記電極が、Agを90体積%以上含み、残部がパラジウムからなるのが好ましい。このようにAgの比率を高くすることにより、圧電セラミック層を電極と同時焼成する際に、電極の収縮を抑制して圧電変位素子および圧電アクチュエータの残留応力を低減することができる。また、Agの比率を高くすることにより、焼成時に圧電セラミック層中にAgを適度に拡散させて圧電

10

20

30

40

50

セラミック層の焼成温度を低下させることができる。これにより、焼成温度が低温であっても圧電セラミック層の密度を向上させることができる。

【0020】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の一実施形態にかかる圧電アクチュエータについて図面を参照して詳細に説明する。図1は本実施形態の圧電アクチュエータを示す断面図であり、図2は該圧電アクチュエータを示す平面図である。図1および図2に示すように、この圧電アクチュエータ1は、振動板2上に、共通電極5、圧電セラミック層4および表面電極6がこの順に積層され、表面電極6が圧電セラミック層4の表面に等間隔で2次的に複数配列されており、共通電極5、圧電セラミック層4および表面電極6により複数の圧電変位素子7が形成されている。複数の表面電極6は、それぞれ外部の電子制御回路に独立して接続されている。圧電変位素子7は、共通電極5と表面電極6との間に電圧が印加されることにより変位する。

10

【0021】

振動板2の圧電変位素子7が設けられた主面と反対側の主面に、金属からなる拘束部が接着層を介して設けられ、非拘束部で変位が発生するような構造を有している場合に、特に本発明の効果を十分に発揮することができる。すなわち、電圧の印加により圧電セラミック層4に圧縮応力が加わったときに、拘束部は変位せず、非拘束部で変位が発生するような構造であるのがよい。

【0022】

20

図3は、上記構造の具体例を示す断面図である。同図に示すように、本発明の圧電アクチュエータ1の振動板2には支持部材3が固定されている。この支持部材3と接合している振動板2の主面には、溝の開口部に位置する自由振動部(非拘束部)9aと、接合によって形成される固定部(拘束部)9bとが形成されている。そして、共通電極5と表面電極6との間に電圧が印加されると、圧電セラミック層4の変位によって、圧電変位素子7が変位を起こし、その結果、自由振動部9aで振動が生じる。このような構造にすることによって、大きな変位を得ることができ、圧電アクチュエータとしてその特徴を十分に活用することができる。

【0023】

圧電セラミック層4は、Pb系セラミックスであることが好ましく、少なくともPb、ZrおよびTiを含むペロブスカイト型結晶を主成分とすることが重要である。例えば、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。

30

【0024】

また、圧電セラミック層4は、Sr、Ba、Ni、Sb、Nb、ZnおよびTeのうち少なくとも1種を含んでいるのが好ましい。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る。これらの元素を含む化合物(副成分)としては、例えば $Pb(Zn_{1/3}Sb_{2/3})O_3$ および $Pb(Ni_{1/2}Te_{1/2})O_3$ とを固溶してなるものが挙げられる。

【0025】

40

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、 $Pb_{1-x-y}Sr_xBa_y(Zn_{1/3}Sb_{2/3})_a(Ni_{1/2}Te_{1/2})_bZr_{1-a-b-c}Ti_cO_3 + wt\% Pb_{1/2}NbO_3 (0 \leq x \leq 0.14, 0 \leq y \leq 0.14, 0.05 \leq a \leq 0.1, 0.002 \leq b \leq 0.01, 0.44 \leq c \leq 0.50, a+b+c = 0.1 \sim 1.0)$ で表されるものが挙げられる。

【0026】

また、圧電セラミック層4は、主結晶相に3価以上の価数を有する元素を含んでいるのが好ましい。3価以上の価数を有する元素としては、イオン半径がPb、ZrおよびTiと

50

近く固溶しやすいことから、特にL a、N bおよびWから選ばれる少なくとも1種が好ましい。これらの元素は、圧電セラミック層中に固溶しているA gと同程度のモル量含有されているのがよく、具体的には0.01~0.5モル%であるのがよい。価数が3価以上の元素の配合量が0.01モル%より少ないとドナー効果が発揮されず、逆に0.5モル%より多いと結晶相が菱面体結晶側へシフトし、熱的安定性が低下するため、いずれも好ましくない。

#### 【0027】

圧電セラミック層4の厚みWは、上限が50 $\mu$ m、好ましくは15 $\mu$ m、より好ましくは11 $\mu$ mであるのがよく、下限が3 $\mu$ m、好ましくは5 $\mu$ m、より好ましくは10 $\mu$ mであるのがよい。厚みWが3~50 $\mu$ mであることにより、大きな変位を得ることができるとともに、製造時や作動時の破壊を防止できる十分な機械的強度を備えることができる。

10

#### 【0028】

本発明では、圧電セラミック層4の厚さ方向における中心部においてA gが主結晶相に固溶しているのが重要であり、また、圧電セラミック層4の厚みをW( $\mu$ m)、圧電セラミック層4の中心部におけるA gの含有量をG(質量%)とするとときに、 $G \geq 0.06W$ 、好ましくは $G \geq 0.03W$ の関係を満たしていることが重要である。

#### 【0029】

圧電セラミック層4中にA gが固溶しているか否かは、以下のようにして判断できる。すなわち、圧電セラミック層4の中心部について透過型電子顕微鏡(TEM)観察を行い、10万倍の倍率において粒界にA gが実質的に存在しないことを確認し、さらに、電子プロブX線マイクロアナライザー(EPMA)分析において圧電セラミック層4中にA gが存在していることを確認し、さらに、X線回折法(XRD)においてA gおよびA g酸化物の結晶相が存在しない場合に、A gが圧電セラミック層4に固溶していると判断する。

20

#### 【0030】

振動板2は、絶縁性の高いものであれば良いが、圧電体であること、特に圧電セラミック層4と略同一の熱膨張率を有するものであることが好ましく、圧電セラミック層4と略同一の組成であることがより好ましい。これにより、同時焼成が可能となり、熱膨張差に起因して焼成時に発生する熱応力によって反りや歪みが生じるのを防止することが容易となる。また、振動板2は、単層でも良いが、厚みを制御し、焼結後の組成ばらつきや特性ばらつきを抑制するため、積層体であることが好ましい。

30

#### 【0031】

また、圧電変位素子7は気孔率が1%以下、特に0.8%以下、更には0.5%以下であることが、インク等の液体の染み込みを効果的に防止でき、インク漏れを低減することができるので好ましい。

#### 【0032】

表面電極6の材質としては、導電性を有するものならば何れでも良く、Au、Ag、Pd、Pt、Cu、Alやそれらの合金などが用いられる。表面電極6の厚みは、導電性を有しかつ変位を妨げない程度である必要があり、一般に、0.5~5 $\mu$ m程度であり、特に1~4 $\mu$ mが好ましい。

40

#### 【0033】

共通電極5は、Agを含有しているのが好ましく、特にAg-Pd合金であるのがより好ましい。Ag-Pd合金の場合には、電極材料中のAgの比率が90体積%以上であり、残部がPdであるのがよい。これにより、電極の収縮が抑制され、アクチュエータ焼成時の圧縮残留応力を抑制することができる。また、Agの比率を高くすることにより、圧電セラミック層4中にAgを適度に拡散させて圧電セラミック層4の焼成温度を低下させて圧電セラミック層4の密度を向上させることができる。共通電極5の厚みとしては、導電性を有しかつ変位を妨げない程度である必要があり、一般に、0.5~5 $\mu$ m程度であり、好ましくは1~4 $\mu$ mであるのがよい。

#### 【0034】

50

圧電セラミック層 4 と共通電極 5 とは、同時に焼成されるのが好ましい。同時焼成することにより、共通電極 5 中の A g が圧電セラミック層 4 の P b 等の成分と置換固溶し、共通電極 5 の密着力が増大し、電極剥離を抑制できる。

【 0 0 3 5 】

上記のような圧電アクチュエータ 1 は、圧電変位素子 7 の各々において、変位の大きさを独立してかつ十分に制御できる。したがって、この圧電アクチュエータをインクジェット記録ヘッドに適用することによりインクの吐出量を精密に制御することができるため、高精度な位置合せが可能となり、その結果、吐出ムラの少ない、高品位な印刷が可能となる。

【 0 0 3 6 】

次に、本発明のアクチュエータの製造方法を、圧電セラミック層の主結晶相として P b Z r T i O<sub>3</sub>系ペロブスカイト型結晶を用いた場合を例に挙げて説明する。

【 0 0 3 7 】

まず、原料粉末として、P b<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Z r O<sub>2</sub>、T i O<sub>2</sub>、B a C O<sub>3</sub>、Z n O、S r C O<sub>3</sub>、S b<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、N i O、T e O<sub>2</sub>を準備する。これらを、ペロブスカイト型結晶の化学量論組成に調整し、混合する。この混合粉末には、3 価以上の価数を有する元素を含有させるのが好ましい。3 価以上の価数を有する元素としては、前記したように、L a、N b、W などが挙げられる。これらの元素は、例えば N b<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、W O<sub>3</sub>、L a<sub>2</sub>O<sub>3</sub>などの酸化物の形態で添加することができる。また、混合粉末中のガラス成分 ( S i O<sub>2</sub> ) は少ない方が好ましい。具体的には、S i O<sub>2</sub>含有量は 5 0 0 p p m 以下、好ましくは 4 0 0 p p m 以下、より好ましくは 3 0 0 p p m 以下であるのがよい。ついで、上記のようにして得られた混合粉末を、ロールコーター法、スリットコーター法などの一般的なテープ成形法により、圧電セラミックスと有機組成物からなるテープの成形を行い、グリーンシートを作製する。

【 0 0 3 8 】

グリーンシートの一部には、その表面に表面電極および共通電極を印刷等により形成する。また、所望により、グリーンシートの一部にビアホールを形成し、その内部にビア導体を充填する。

【 0 0 3 9 】

ついで、所望の枚数のグリーンシートを積層して積層体を作製し、さらに該グリーンシートと実質的に同一組成の圧電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。

【 0 0 4 0 】

加圧密着した積層体の焼結前積層体密度は 4 . 5 g / c m<sup>2</sup>以上であるのが好ましい。焼結前積層体密度を 4 . 5 g / c m<sup>2</sup>以上に上げることにより、より低温での焼成が可能であり、さらに生密度を上げると、P b の蒸発を抑制することが可能である。

【 0 0 4 1 】

ついで、加圧密着後の積層体を焼成炉の内部に配置し、高濃度酸素雰囲気下で焼成温度が 9 0 0 以上、好ましくは 9 7 0 ~ 1 0 0 0 で焼成することにより、本発明の圧電アクチュエータを得ることができる。1 0 0 0 以上になると、電極の融点を越える場合があり、電極の融点を越えると、電極の凝縮がおり、導体として作用しなくなるおそれがある。9 0 0 以下では圧電層の焼結が不十分になるおそれがある。

【 0 0 4 2 】

次に、本発明の圧電アクチュエータ 1 を備えたインクジェット記録ヘッドについて説明する。図 4 は、該インクジェット記録ヘッドを示す断面図である。同図に示すように、このインクジェット記録ヘッドは、前記した圧電アクチュエータ 1 を、インク吐出口 1 8 を有し、隔壁 1 3 b により仕切られた複数のインク流路 1 3 a が配列された流路部材 1 3 上に、インク流路 1 3 a と表面電極 6 との位置を揃えて接着剤により接着したものである。流路部材 1 3 は図 3 における支持部材 3 に相当する。

【 0 0 4 3 】

10

20

30

40

50

前記したように、共通電極 5 および表面電極 6 は、外部の駆動回路（電子制御回路）に電氣的に接続されている。この駆動回路より共通電極 5 と表面電極 6 との間に電圧が印加されると、変位した圧電変位素子 7 に対応するインク流路 13 a 内のインクが加圧され、流路部材 13 の底面に開口したインク吐出孔 18 よりインク滴が吐出される。

【0044】

流路部材 13 は、厚さ 30 ~ 100 μm 程度の複数の金属箔がエッチングや金型による打ち抜き等によってインク流路 13 a、インク吐出口 18 等に相当する形状に形成されて積層された積層体からなる。

【0045】

本発明の圧電アクチュエータを備えたインクジェット記録ヘッドは、高速で高精度な吐出が可能であり、高速印刷に好適である。また、このようなインクジェット記録ヘッドと、該インクジェット記録ヘッドにインクを供給するインクタンクと、記録紙に印刷するための記録紙搬送機構とを備えたプリンタは、高速・高精度印刷を容易に実現することができる。

10

【0046】

【実施例】

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（全  $SiO_2$  含有量 400 ppm 以下）を、焼結体が  $Pb_{1-x-y}Sr_xBa_y(Zr_{1/3}Sb_{2/3})_a(Ni_{1/2}Te_{1/2})_bZr_{1-a-b-c}Ti_cO_3$ （ $x = 0.04$ 、 $y = 0.02$ 、 $a = 0.075$ 、 $b = 0.005$ 、 $c = 0.4.2$ ）で表される組成となるように、所定量秤量した。また、3 価以上の価数を有する元素（Nb、W または La）の含有量が、後述する圧電セラミック層 4 の主結晶相中において、表 1 に示す含有量となるように  $Nb_2O_5$ 、 $WO_3$  または  $La_2O_3$  の粉末を所定量秤量した。

20

【0047】

秤量された上記各粉末を、ボールミルにより湿式で 20 時間混合し、しかる後に、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碎した。

【0048】

その後、この粉碎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 W 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。

30

【0049】

ついで、金型を用いて上記グリーンシートを矩形状に打ち抜き、複数枚の矩形状のグリーンシートを用意した。次に、このグリーンシート面に、Ag - Pd からなる電極用ペーストを用いて、共通電極パターンおよび表面電極パターンをスクリーン印刷にて形成した。

【0050】

ついで、電極を塗布したグリーンシートおよび電極を塗布していないグリーンシートを、図 1 に示す構造になるように重ね合わせ、熱圧着し、圧電アクチュエータ成形体を製作した。最後に、この成形体を 400 で脱脂した後、1000 で 2 時間の焼成を行い、試料 No. 1 ~ 20 の圧電アクチュエータ 1 を得た。

40

【0051】

圧電セラミック層 4 の厚みは、該圧電セラミック層 4 の断面を研磨後、マイクロスコープによって測定した。また、各試料の圧電セラミック層 4 の厚み方向の中心部における Ag 含有量は、E P M A による定量分析で測定した。

【0052】

圧電セラミック層 4 の中心部における Ag の存在状態は、以下の方法で観察した。すなわち、該中心部を T E M 観察して、10 万倍の倍率において、粒界に Ag が実質的に存在しないことを確認できた場合に、Ag が圧電セラミック層 4 に固溶していると判断した。

【0053】

50

また、圧電セラミック層4の強度は、図5(a),(b)に示す測定装置を用いてボール・オン・スリーボール法により曲げ強度を測定することによって評価した。

具体的には、試料台43の3つのボール40上に4mm角の試料41を配置し、クロスヘッド42を0.5mm/分で降下させて圧電セラミック層が破壊する応力を測定した。

【0054】

次いで、圧電アクチュエータ1を図4に示すような流路部材13に接着し、インクジェット記録ヘッドを作製し、各圧電変位素子7に20Vの電圧をそれぞれ印加したときの変位をドップラー測定器によって計測した。圧電アクチュエータ1の変位が43nm以上の場合に良品とみなした。評価結果を表1に示す。

【表1】

10

試料 No.	圧電セラ ミック層の 厚さ(W) $\mu\text{m}$	圧電セラ ミック層の 中心部の Ag含有 量(G) 質量%	G/W	3価以上の 価数の元素		電極		アクチュエータ	
				種類	量 質量%	Ag量 体積%	圧電セラ ミック層の 強度 MPa	変位 nm	
* 1	60	0.1	0.002	Nb	0.5	90	200	40	
2	40	0.4	0.010	Nb	2	90	195	50	
3	40	0.2	0.005	Nb	1	90	190	60	
4	20	0.25	0.013	Nb	1.25	90	190	70	
5	5	0.3	0.060	Nb	1.5	90	190	75	
6	3	0.15	0.050	Nb	0.75	90	185	72	
* 7	2	0.2	0.100	Nb	1	90	150	測定不可	
* 8	11	0.8	0.073	Nb	4	90	191	40	
9	11	0.4	0.036	Nb	2	90	192	72	
10	11	0.1	0.009	Nb	0.5	90	192	73	
11	11	0.04	0.004	Nb	0.2	90	185	72	
12	11	0.3	0.027	Nb	1.5	90	190	45	
13	11	0.3	0.027	Nb	1	90	188	43	
14	11	0.4	0.036	Nb	2	95	190	65	
15	11	0.1	0.009	Nb	0.5	70	150	55	
16	11	0.3	0.027	W	1.5	90	170	65	
17	11	0.4	0.036	W	2	90	175	67	
18	11	0.3	0.027	La	1.5	90	178	61	
19	11	0.4	0.036	La	2	90	175	63	
20	11	0.1	0.009	—	—	90	195	60	

\* 印は本発明の範囲外の試料を示す

【0055】

本発明の範囲外である試料No. 1では圧電セラミック層4の厚みが60 $\mu\text{m}$ であるため、圧電アクチュエータは十分な変位が得られず、変位が40nm以下であった。本発明の範囲外の試料No. 7は圧電セラミック層4の厚みが薄いため磁器設置中に破壊され変位の測定ができなかった。また、本発明の範囲外の試料No. 8はAg含有量Gと厚さWとの関係が $G > 0.06W$ 、すなわち $(G/W) > 0.06$ であるため、Agの影響により十分な変位が得られず、変位量は40nm以下であった。これに対して、本発明の試料No 2~6、9~20は、圧電セラミック層4の厚さが3~50 $\mu\text{m}$ の範囲で、 $G \leq 0.06W$ 、すなわち $(G/W) \leq 0.06$ を満足するため、変位が43nm以上ありかつ強度にも優れていた。

40

【0056】

【発明の効果】

50

本発明の圧電変位素子および圧電アクチュエータによれば、圧電セラミック層が3～50 μmという薄層であっても、高い圧電特性を得ることができるとともに、薄層であるので小さな電圧で大きな変位を得ることができる。しかも、圧電セラミック層中の主結晶相にAgが固溶しているため、ポイド量を低減させて圧電セラミック層の強度が低下するのを防止することができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の圧電アクチュエータを示す断面図である。

【図2】本発明の圧電アクチュエータを示す平面図である。

【図3】本発明の圧電アクチュエータの適用例を示す断面図である。

【図4】本発明の圧電アクチュエータを備えたインクジェット記録ヘッドを示す断面図である。 10

【図5】 (a)はボールオンスリーボール法に用いる測定装置を示す側面図であり、(b)は該測定装置(クロスヘッドを除く)を示す平面図である。

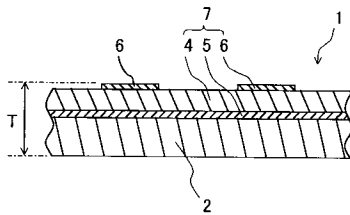
【図6】従来のインクジェット記録ヘッドを示す断面図である。

【符号の説明】

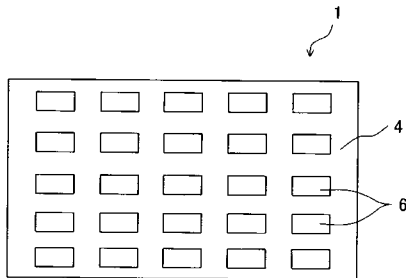
- 1 圧電アクチュエータ
- 2 振動板
- 4 圧電セラミック層
- 5 共通電極
- 6 表面電極
- 7 圧電変位素子

20

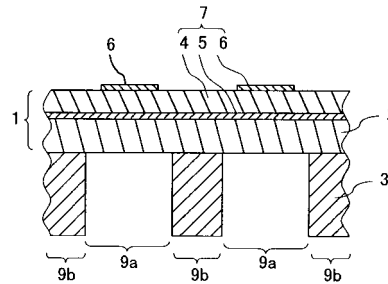
【図1】



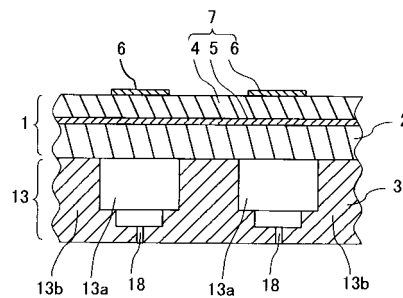
【図2】



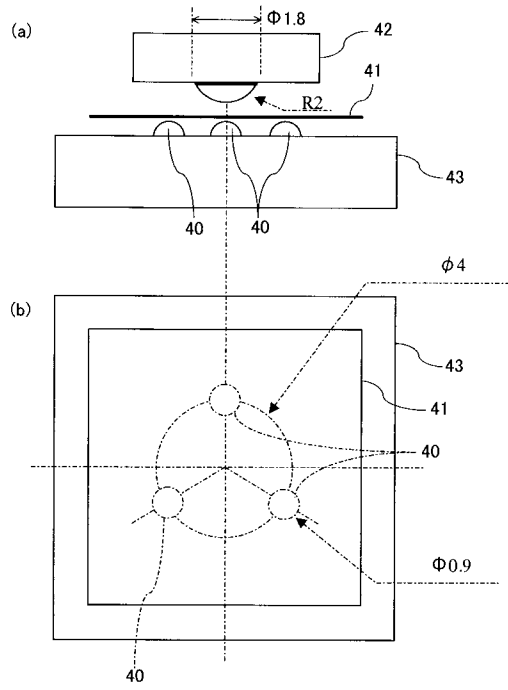
【図3】



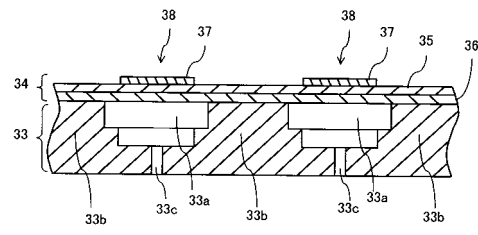
【図4】



【 図 5 】



【 図 6 】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2000-211968(JP,A)  
特開2001-308402(JP,A)  
特開平11-274595(JP,A)  
特開2000-252541(JP,A)  
特開2000-133853(JP,A)  
特開平11-346013(JP,A)  
特開平11-034321(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 41/09  
C04B 35/49  
H01L 41/187  
H02N 2/00