

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5586777号
(P5586777)

(45) 発行日 平成26年9月10日(2014.9.10)

(24) 登録日 平成26年8月1日(2014.8.1)

(51) Int.Cl.		F I
HO 1 L 41/047	(2006.01)	HO 1 L 41/047
HO 1 L 41/083	(2006.01)	HO 1 L 41/083
HO 1 L 41/293	(2013.01)	HO 1 L 41/293

請求項の数 12 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2013-501142 (P2013-501142)	(73) 特許権者	000006633
(86) (22) 出願日	平成24年2月24日 (2012.2.24)		京セラ株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2012/054577		京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町6番地
(87) 国際公開番号	W02012/115230	(72) 発明者	加藤 剛
(87) 国際公開日	平成24年8月30日 (2012.8.30)		京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町6番地
審査請求日	平成25年8月10日 (2013.8.10)		京セラ株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2011-38569 (P2011-38569)	審査官	上田 智志
(32) 優先日	平成23年2月24日 (2011.2.24)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 積層型圧電素子およびこれを備えた噴射装置ならびに燃料噴射システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

圧電体層および内部電極が積層された積層体と、該積層体の側面に設けられて前記内部電極と電気的に接続されたメタライズ層と、前記メタライズ層の上に導電性接着剤層を介して設けられた外部電極部材と、該外部電極部材と接合されたリード部材とを含み、前記導電性接着剤層には前記メタライズ層と接する側の面に開口しないように複数のボイドがあることを特徴とする積層型圧電素子。

【請求項2】

前記外部電極部材は積層方向における前記導電性接着剤層の端面よりも外側まで延出しており、前記外部電極部材と前記リード部材との接合部は前記導電性接着剤層の端面よりも外側に位置していることを特徴とする請求項1に記載の積層型圧電素子。

【請求項3】

前記外部電極部材は積層方向における前記積層体の端面よりも外側まで延出しており、前記外部電極部材と前記リード部材との接合部は前記積層体の端面よりも外側に位置していることを特徴とする請求項1に記載の積層型圧電素子。

【請求項4】

前記外部電極部材が網目構造の電極であり、前記ボイドが前記外部電極部材の網目に対応する位置にあることを特徴とする請求項1に記載の積層型圧電素子。

【請求項5】

前記ボイドが前記導電性接着剤層の前記外部電極部材と接する側の面で開口している

10

20

ことを特徴とする請求項 4 に記載の積層型圧電素子。

【請求項 6】

前記ボイドが前記外部電極部材の網目と同じ大きさで開口していることを特徴とする請求項 5 に記載の積層型圧電素子。

【請求項 7】

前記ボイドが前記積層体の積層方向の中央部に対応する位置に分布していることを特徴とする請求項 4 乃至請求項 6 のうちのいずれかに記載の積層型圧電素子。

【請求項 8】

前記外部電極部材は薄板状の金属からなることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 7 のうちのいずれかに記載の積層型圧電素子。

10

【請求項 9】

前記外部電極部材には、一方の側面から他方の側面に向けてスリットが交互に設けられていることを特徴とする請求項 8 に記載の積層型圧電素子。

【請求項 10】

前記外部電極部材と前記リード部材とは溶接にて接合されていることを特徴とする請求項 1 に記載の積層型圧電素子。

【請求項 11】

噴射孔を有する容器と、請求項 1 ~ 10 のうちのいずれかに記載の積層型圧電素子とを備え、前記容器内に蓄えられた流体が前記積層型圧電素子の駆動により前記噴射孔から吐出されることを特徴とする噴射装置。

20

【請求項 12】

高圧燃料を蓄えるコモンレールと、該コモンレールに蓄えられた前記高圧燃料を噴射する請求項 11 に記載の噴射装置と、前記コモンレールに前記高圧燃料を供給する圧力ポンプと、前記噴射装置に駆動信号を与える噴射制御ユニットとを備えたことを特徴とする燃料噴射システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えば、圧電駆動素子（圧電アクチュエータ）、圧力センサ素子および圧電回路素子等として用いられる積層型圧電素子およびこれを備えた噴射装置ならびに燃料噴射システムに関する。

30

【背景技術】

【0002】

従来の積層型圧電素子は、例えば図13に示すように、圧電体層103および内部電極105が積層された積層体107と、この積層体107の側面に設けられて内部電極105と電気的に接続されたメタライズ層108とを含む構成を有している。そして、このメタライズ層108の表面の一部に、メタライズ層へ電圧を印加するためのリード部材114を、半田、導電性接着剤110を用いて接続し固定している。特に、リード部材114には、コネクタとしての目的で使用するために剛性の強いピンが用いられている（特許文献1を参照）。

【先行技術文献】

40

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2002 - 202024号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、特許文献1に記載された積層型圧電素子101においては、自動車の内燃機関等の燃料噴射装置（インジェクタ）に用いられる場合、すなわち、高電界および高圧力が長時間加わった状態で連続駆動されるような過酷な条件下での使用の場合、積層型圧電素子を駆動させると、リード部材114の接合された領域とリード部材114の接合されてい

50

ない領域とでは、メタライズ層108の応力負荷状態が異なることから、積層型圧電素子101を駆動させた振動に起因した応力で、メタライズ層108とリード部材114との接合部から積層体107にかけてクラックが生じて安定した駆動が妨げられるおそれがある。

【0005】

本発明は、上記従来の問題点に鑑みて案出されたものであり、その目的は、リード部材の接合部から積層体にかけてクラックが生じるのを抑制し、長期間安定して駆動する積層型圧電素子およびこれを備えた噴射装置ならびに燃料噴射システムを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の積層型圧電素子は、圧電体層および内部電極が積層された積層体と、該積層体の側面に設けられて前記内部電極と電気的に接続されたメタライズ層と、前記メタライズ層の上に導電性接着剤層を介して設けられた外部電極部材と、該外部電極部材と接合されたリード部材とを含むことを特徴とする。

【0007】

本発明の噴射装置は、噴射孔を有する容器と、上記本発明の積層型圧電素子とを備え、前記容器内に蓄えられた流体が前記積層型圧電素子の駆動により前記噴射孔から吐出されることを特徴とするものである。

【0008】

本発明の燃料噴射システムは、高圧燃料を蓄えるコモンレールと、該コモンレールに蓄えられた前記高圧燃料を噴射する上記本発明の噴射装置と、前記コモンレールに前記高圧燃料を供給する圧力ポンプと、前記噴射装置に駆動信号を与える噴射制御ユニットとを備えたことを特徴とするものである。

【発明の効果】

【0009】

本発明の積層型圧電素子によれば、リード部材をメタライズ層に直接接合するのに比べて大面積の接合領域を形成する導電性接着剤層によって外部電極部材とメタライズ層とを接合することができ、積層型圧電素子を駆動させたときに発生する振動に起因した応力を、外部電極部材がバッファ層として機能して応力を分散させることができるから、積層体およびリード部材の接合部にクラックが生じるのを抑制し、また外部電極部材の剥離もなく、安定して長期間駆動できる。

【0010】

本発明の噴射装置によれば、積層型圧電素子が安定して長期間駆動できることから、流体の所望の噴射を長期にわたって安定して行なうことができる。

【0011】

本発明の燃料噴射システムによれば、高圧燃料の所望の噴射を長期にわたって安定して行なうことができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明の積層型圧電素子の実施の形態の一例を示す断面図である。

【図2】本発明の積層型圧電素子の実施の形態の他の例を示す断面図である。

【図3】本発明の積層型圧電素子の実施の形態の他の例を示す断面図である。

【図4】本発明の積層型圧電素子の実施の形態の他の例を示す断面図である。

【図5】本発明の積層型圧電素子における外部電極部材の一例を示す正面図である。

【図6】本発明の積層型圧電素子の実施の形態の他の例の要部を示す拡大断面図である。

【図7】(a)は本発明の積層型圧電素子の実施の形態の他の例を示す一部透過平面図であり、(b)は(a)に示す要部の拡大断面図である。

【図8】本発明の積層型圧電素子の実施の形態の他の例の要部を示す拡大断面図である。

【図9】本発明の積層型圧電素子の実施の形態の他の例の要部を示す拡大断面図である。

【図10】本発明の積層型圧電素子の実施の形態の他の例の要部を示す拡大断面図である

10

20

30

40

50

。【図11】本発明の噴射装置の実施の形態の一例を示す概略的な断面図である。

【図12】本発明の燃料噴射システムの実施の形態の一例を示す概略的なブロック図である。

【図13】従来の積層型圧電素子の一例を示す斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、本発明の積層型圧電素子の実施の形態の一例について図面を参照して詳細に説明する。

【0014】

図1は、本発明の積層型圧電素子の実施の形態の一例を示す断面図であり、図1に示すように、本実施の形態の積層型圧電素子1は、圧電体層3および内部電極5が積層された積層体7と、積層体7の側面に設けられて内部電極5と電氣的に接続されたメタライズ層8と、メタライズ層8の上に導電性接着剤層10を介して設けられた外部電極部材12と、外部電極部材12と接合されたリード部材14とを含んでいる。

【0015】

積層型圧電素子1を構成する積層体7は、圧電体層3および内部電極5が交互に複数積層されてなる活性部と、活性部の積層方向両端に設けられた圧電体層3からなる不活性部とを有し、例えば縦0.5~10mm、横0.5~10mm、高さ1~100mmの直方体状に形成されている。

【0016】

積層体7を構成する圧電体層3は、圧電特性を有するセラミックスで形成されたもので、このようなセラミックスとして、例えばチタン酸ジルコン酸鉛($PbZrO_3 - PbTiO_3$)からなるペロブスカイト型酸化物、ニオブ酸リチウム($LiNbO_3$)、タンタル酸リチウム($LiTaO_3$)などを用いることができる。この圧電体層3の厚みは、例えば3~250 μm とされる。

【0017】

積層体7を構成する内部電極5は、圧電体層3を形成するセラミックスと同時焼成により形成されたもので、圧電体層3と交互に積層されて圧電体層3を上下から挟んでおり、積層順に正極および負極が配置されることにより、それらの間に挟まれた圧電体層3に駆動電圧を印加するものである。この形成材料として、例えば圧電セラミックスとの反応性が低い銀-パラジウム合金を主成分とする導体、あるいは銅、白金などを含む導体を用いることができる。図1に示す例では、正極および負極(もしくはグランド極)がそれぞれ積層体7の対向する一対の側面に互い違いに導出されて、積層体7の側面に設けられた一対のメタライズ層8と電氣的に接続されている。この内部電極5の厚みは、例えば0.1~5 μm とされる。

【0018】

積層体7の側面に設けられて内部電極5と電氣的に接続された一対のメタライズ層8は、例えば銀とガラスからなるペーストを塗布して焼き付けて形成されたもので、積層体7の側面に接合されて、積層体7の対向する側面に互い違いに導出された内部電極3とそれぞれ電氣的に接続されている。このメタライズ層8の厚みは、例えば5~500 μm とされる。

【0019】

メタライズ層8の上には、導電性接着剤層10を介して外部電極部材12が設けられている。従来の積層型圧電素子は、導電性接着剤で直接メタライズ層にリード部材が接合されていたのに比べて、本発明の積層型圧電素子1は、導電性接着剤層10でメタライズ層8を覆うような大きさの外部電極部材12が接合されている。

【0020】

すなわち、導電性接着剤層10は従来の導電性接着剤よりも大面積に形成される。したがって、メタライズ層8にかかる応力を従来よりも分散させてリード部材14の接合部から積

10

20

30

40

50

層体7にかけてクラックが生じるのを抑制することができる。

【0021】

ここで用いられる導電性接着剤層10としては、例えばAg粉末やCu粉末など導電性の良好な金属粉末を含んだエポキシ樹脂やポリイミド樹脂からなる層が挙げられる。このような材料からなることで、弾性特性を用いて応力緩和でき、長期間駆動できる。なお、導電性接着剤層10は、例えば5~500 μ mの厚さに形成される。

【0022】

また、外部電極部材12は、銅、鉄、ステンレス、リン青銅等の金属からなるリード部材14よりも幅広の例えば板状または金網状のものであり、例えば幅0.5~10mm、厚み0.01~1.0mmに形成されたものである。この外部電極部材12には、電気伝導性や熱伝導性を向上させるため、すずや銀などのメッキが施されていてもよい。

10

【0023】

また、図2に示すように、外部電極部材12は積層方向における導電性接着剤層10の端面よりも外側まで延出しており、外部電極部材12とリード部材14との接合部は導電性接着剤層10の端面よりも外側に位置しているのが好ましい。この構成によれば、リード部材14が外部電極部材12の導電性接着剤層10によって固定されていないフリーな領域に接合されているので、リード部材14が動いても応力が積層体7に直接加わらず、より長期間積層体7にクラックが生じずに積層型圧電素子1を駆動させることができる。

【0024】

また、図3に示すように、外部電極部材12は積層方向における積層体7の端面よりも外側まで延出しており、外部電極部材12とリード部材14との接合部は積層体7の端面よりも外側に位置しているのが好ましい。この構成によれば、リード部材14が動いたときの応力が積層体7に加わるのを図3の構成よりもさらに抑制し、より長期間にわたって積層型圧電素子1を駆動させることができる。特に、積層型圧電素子1を自動車用途に用いた場合、積層型圧電素子1の周囲の振動と共振するおそれがあるが、外部電極部材12とリード部材14との接合部を積層体7の端面よりも外側に位置させることで、リード部材14を振動防止のおもりとして機能させることで共振防止できるので、より長期間にわたって積層型圧電素子1を安定に駆動させることができる。

20

【0025】

そして、積層型圧電素子1は、外部電極部材12と接合されたリード部材14を含んでいる。リード部材14は、外部電極部材12と外部回路とを接続するためのもので、例えば銅、鉄、ステンレス、リン青銅などで形成されたピンが挙げられる。また、すずや銀などのメッキが施されていてもよい。また、ピンの断面形状としては、例えば直径100~1000 μ mの円形状、一辺の長さが200~1000 μ mの矩形などが挙げられる。リード部材14をピン形状として、さらにリード部材14の軸方向を積層型圧電素子1の駆動方向である積層方向に一致させることで、リード部材14に伝わる振動方向も積層型圧電素子1の駆動方向に一致させることができるので、リード部材14にコネクタ等を接合して使用しても、コネクタが振動で緩んだり、接触不良を起こしてスパークしたりするようなおそれが無い。

30

【0026】

なお、外部電極部材12とリード部材14との接合方法としては、半田や導電性接着材による接合、溶接などが挙げられるが、より外れにくく長期間駆動させるために溶接により接合されるのが好ましい。

40

【0027】

以上述べた構成によれば、導電性接着剤層10がバッファ層として機能して応力緩和できるから、積層体7およびリード部材14の接合部にクラックが生じず、また外部電極部材12の剥離もなく、安定して長期間駆動できる。

【0028】

ここで、外部電極部材12が、図4に示すような波板状(縦断面波型)の形状、後述する図7に示すような線状の金属を編み込んだ金網形状(メッシュ形状)などの立体的な構造であることで、導電性接着剤層10が積層型圧電素子1の駆動に応じて自在に変形できるの

50

で、バッファ層としての機能がさらに高まる。これにより、応力緩和できるから、積層体7およびリード部材14の接合部にクラックが生じず、また外部電極部材12の剥離もなく、安定して長期間駆動できる。

【0029】

なお、外部電極部材12は平板状の部材であってもよい。外部電極部材12が平板状の形状であると、積層型圧電素子1の駆動方向（積層体7の伸縮方向）を積層方向に完全に一致させることができるので、導電性接着剤層10がバッファ層として機能すると同時に、リード部材14をどの方向から配置しても、積層型圧電素子1の駆動の軸方向がぶれなくなる。積層型圧電素子1の駆動によるぶれが無いことで異常振動を抑止することができるから、積層体7およびリード部材14の接合部にクラックが生じず、また外部電極部材12の剥離もなく、安定して長期間駆動できる。

10

【0030】

そして、外部電極部材12は薄板状の金属からなるのが好ましく、外部電極部材12が薄板状の金属からなることで、外部電極部材12がしななって応力緩和効果が大きくなり、さらに長期間にわたって積層型圧電素子1を駆動させることができる。なお、薄板状の外部電極部材12の厚みとしては、例えば0.01~0.3mmであるのが効果的である。

【0031】

また、図5に示すように、外部電極部材12には、一方の側面から他方の側面に向けてスリットが交互に設けられている構成により、さらに応力緩和効果を大きくし、長期間の駆動に寄与することができる。なお、スリットの幅（積層方向の距離）は例えば0.01~0.3mmで、スリットの長さ（積層方向に垂直な方向の距離）は外部電極部材12の幅の例えば35~95%の長さ、積層方向の隣り合うスリットの間隔は例えば0.03~0.5mmである。

20

【0032】

このとき、外部電極部材12は積層方向における導電性接着剤層10の端面よりも外側まで延出しており、スリットの一部は導電性接着剤層10の端面よりも外側に位置しているのが好ましく、この構成によれば、スリットの一部が導電性接着剤層10によって固定されていないフリーな領域に存在しているので、外部電極部材12はスリット近傍で自在に変形をおこすことができるので、応力を緩和でき、より長期間の耐久性が得られる。

【0033】

特に、外部電極部材12とリード部材14との接合部は導電性接着剤層10の端面よりも外側に位置しているのが好ましい。この構成によれば、リード部材14が外部電極部材12の導電性接着剤層10によって固定されていないフリーな領域に接合されているので、リード部材14が動いても応力が積層体7に直接加わらず、より長期間積層体7にクラックが生じずに積層型圧電素子1を駆動させることができる。

30

【0034】

一方、図6に示すように、導電性接着剤層10にはメタライズ層8と接する側の面に開口しないように複数のボイド2がある。

【0035】

この複数のボイド2は、例えば0.05~2 μ mの径であり、この値は導電性接着剤層10の断面を走査型電子顕微鏡（SEM）等の電子顕微鏡や金属顕微鏡により観察し、任意の線分間に含まれるボイドの個数およびボイドに含まれる線分の長さを測定し、このボイドに含まれる線分の長さの合計距離をボイドの個数で割ることによって求めることができる。また、導電性接着剤層10の任意の断面において複数のボイド2が占める面積比率は例えば5~60%であり、この値も断面を走査型電子顕微鏡（SEM）等の電子顕微鏡や金属顕微鏡により観察することによって求めることができる。

40

【0036】

複数のボイド2がメタライズ層8と接する側の面に開口していると、メタライズ層8と導電性接着剤層10との接合面積が小さくなるので接合強度が十分ではなく、またメタライズ層8と導電性接着剤層10との境界がボイド2内に露出していてその部分が起点となってこれらの境界にクラックが入りやすくなる。さらに、複数のボイド2が導電性接着剤層10

50

を貫通していると、メタライズ層 8 におけるこのボイド 2 に対応する位置に駆動による亀裂が入った場合に電気の通り道が遮断されて亀裂周辺が発熱し、導電性接着剤層 10 が剥がれるおそれがある。

【 0 0 3 7 】

導電性接着剤層 10 にはメタライズ層 8 と接する側の面に開口しない複数のボイド 2 があることで、メタライズ層 8 と導電性接着剤層 10 との接合強度を維持しつつ、駆動時にメタライズ層 8 と導電性接着剤層 10 との境界に集中する応力を緩和でき、この境界にクラックが生じて断線するのを抑制することができる。

【 0 0 3 8 】

また、図 7 に示すように、外部電極部材 12 が網目構造の電極であって、外部電極部材 12 の網目に対応する位置にボイドがあることが好ましい。なお、図 7 (a) は一部透過平面図であり、図 7 (b) に示すように導電性接着剤層 10 の内部にあるボイド 2 を透過して表している。ここで、網目とは、外部電極部材 12 を正面から見たとき、網を構成する線と線とで囲まれる開口のことである。この網目としては、例えば直径 3 ~ 200 μm の円、一辺の長さが 3 ~ 200 μm の長方形、長軸が 5 ~ 300 μm で短軸が 3 ~ 200 μm のひし形などが挙げられ、網目に対応する位置に設けられるボイドは網目よりも小さな径になっている。

【 0 0 3 9 】

この構成によれば、外部電極部材 12 がより伸縮しやすくなり、さらに伸縮が均等になるので、駆動時にメタライズ層 8 と導電性接着剤層 10 との境界に集中する応力をより緩和でき、より長期間の耐久性が得られる。

【 0 0 4 0 】

さらに、薄板状の金属からなる網目構造の外部電極部材 12 とすることで、駆動時にメタライズ層 8 と導電性接着剤層 10 との境界に集中する応力が加わったときに、ボイド 2 の周囲で外部電極部材 12 が部分的にひねるような変形をおこすことができるので、応力を緩和でき、より長期間の耐久性が得られる。

【 0 0 4 1 】

また、図 8 に示すように、ボイド 2 が導電性接着剤層 10 の外部電極部材 12 と接する側の面で開口していることが好ましい。この構成によれば、外部電極部材 12 がさらに伸縮しやすくなるので、駆動時にメタライズ層 8 と導電性接着剤層 10 との境界に集中する応力をさらに緩和でき、さらに長期間の耐久性が得られる。

【 0 0 4 2 】

また、図 9 に示すように、ボイド 2 が外部電極部材 12 の網目と同じ大きさで開口していることが好ましい。この構成によれば、さらに長期間の耐久性が得られる。なお、ボイド 2 の開口部が円状または楕円状の形状であるのに対して外部電極部材 12 の網目が矩形状である場合には、ボイド 2 の開口部は網目の形状におさまる最大の円状または楕円状になっていることを意味する。

【 0 0 4 3 】

なお、図 10 に示すように、導電性接着剤層 10 はメタライズ層 8 と外部電極部材 12 との間にあるのみならず、外部電極部材 12 の外側まで盛り上がっていてもよい。

【 0 0 4 4 】

さらに、ボイド 2 が積層体 7 の活性部に分布しているのが好ましく、特に積層体 7 の積層方向の中央部に対応する位置に分布しているのが好ましい(図示せず)。ここで、積層体 7 の積層方向の中央部とは、積層体 7 を積層方向に 3 等分したときの真ん中の領域の部分のことをいう。積層体 7 の積層方向の活性部、特に中央部が伸縮の大きい領域であることから、この構成によれば、より長期間の耐久性が得られる。

【 0 0 4 5 】

なお、図 5 に示すような外部電極部材 12 の側面に開口部があるスリットが設けられ、スリットに対応する位置にボイドがある構成であってもよく、特にスリット内部にスリットの隙間と同じ大きさのボイド 2 を含んだ導電性接着剤層 10 が盛り上がっているとボイド 2 の周囲で外部電極部材 12 が開口部であおり変形をおこすことができるので、応力を緩和で

10

20

30

40

50

き、より長期間の耐久性が得られる。

【0046】

次に、本実施の形態の積層型圧電素子1の製造方法について説明する。

【0047】

まず、圧電体層3となるセラミックグリーンシートを作製する。具体的には、圧電セラミックの仮焼粉末と、アクリル系、ブチラール系等の有機高分子からなるバインダーと、可塑剤とを混合してセラミックスラリーを作製する。そして、ドクターブレード法、カレンダーロール法等のテープ成型法を用いることにより、このセラミックスラリーを用いてセラミックグリーンシートを作製する。圧電セラミックとしては圧電特性を有するものであればよく、例えば、チタン酸ジルコン酸鉛($PbZrO_3 - PbTiO_3$)からなるペロブスカイト型酸化物等を用いることができる。また、可塑剤としては、フタル酸ジブチル(DBP)、フタル酸ジオクチル(DOP)等を用いることができる。

10

【0048】

次に、内部電極5となる導電性ペーストを作製する。具体的には、銀-パラジウム合金の金属粉末にバインダーおよび可塑剤を添加混合することによって導電性ペーストを作製する。この導電性ペーストを上記のセラミックグリーンシート上に、スクリーン印刷法を用いて内部電極5のパターンで塗布する。さらに、この導電性ペーストが印刷されたセラミックグリーンシートを複数枚積層し、所定の温度で脱バインダー処理を行なった後、900~1200の温度で焼成することによって、交互に積層された圧電体層3および内部電極5を備えた積層体7を作製する。

20

【0049】

なお、積層体7は、上記の製造方法によって作製されるものに限定されるものではなく、圧電体層3と内部電極層5とを複数積層してなる積層体7を作製できれば、どのような製造方法によって作製されてもよい。

【0050】

次に、焼成して得られた積層体7に、平面研削盤等を用いて所定の形状になるよう研削処理を施す。

【0051】

その後、銀を主成分とする導電性粒子とガラスとを混合したものに、バインダー、可塑剤および溶剤を加えて作製した銀ガラス含有導電性ペーストを、メタライズ層8のパターンで積層体7の側面にスクリーン印刷法等によって印刷し、乾燥させた後、650~750の温度で焼き付け処理を行ない、メタライズ層8を形成する。

30

【0052】

次に、導電性接着剤層10を介して外部電極部材12をメタライズ層8の表面に接合して固定する。

【0053】

導電性接着剤層10には、銀粉末や銅粉末など導電性の良好な金属粉末を含んだエポキシ樹脂やポリイミド樹脂からなる接着剤を用いることができる。また、導電性接着剤層10は、スクリーン印刷や、ディスペンス方式により所定の厚みや幅を制御して形成することができる。

40

【0054】

ここで、接着剤中に、接着剤の乾燥時の熱により溶けてボイドを形成しやすい高分子フィラー、例えばアクリル、ポリエチレン、天然ゴムなどからなるビーズ状のフィラーを混ぜることにより、導電性接着剤層10にボイド2を形成することができる。

【0055】

具体的には、導電性接着剤層10にメタライズ層8と接する側の面に開口しないように複数のボイド2を形成するには、例えば2回にわけて接着剤を塗布する方法が挙げられる。このとき、下層には高分子フィラーの混ざっていない接着剤を塗布し、適宜乾燥させる。そうして、メタライズ層と接する側の面は開口しないようにする。その上に高分子フィラーを混ぜた接着剤を塗布し、適宜乾燥させて、狙いのボイドを形成するのがよい。また、

50

高分子フィラーはあらかじめ所定量、混合させておく方法もあるが、狙いの位置にあとからスクリーン印刷や、ディスペンスする方法を用いてもよい。

【0056】

例えば、図7に示す構成は、例えば、高分子フィラーの入っていない接着剤を塗布したあと、あらかじめボイド2にする部分をきめたスクリーンメッシュで高分子フィラーのみを精度よくスクリーン印刷し、その上に接着剤を塗布する。そして、精度よく位置決めして外部電極部材12をセットすればよい。

【0057】

また、図8に示す構成および図9に示す構成は、例えば、高分子フィラーの入っていない接着剤を塗布したあと、その上に精度よく位置決めして外部電極部材12をセットし、上から高分子フィラーのみを精度よくディスペンスすればよい。

10

【0058】

また、図10に示す構成は、例えば、高分子フィラーの入っていない接着剤を塗布したあと、その上に精度よく位置決めして外部電極部材12をセットし、上から高分子フィラーのみを精度よくディスペンスし、さらにディスペンサーで接着剤を狙いの部分に塗布すればよい。

【0059】

そして、リード部材14を外部電極部材12に溶接またははんだや導電性接着剤で接合する。ここで、溶接の場合は抵抗溶接が好ましく、半田の場合は半田箔、半田ペーストが好ましい。積層型圧電素子1ごと加熱すると圧電体層3の分極状態が変化するので、レーザー等を用いて、接合部のみを局所加熱することが好ましい。

20

【0060】

その後、一対のメタライズ層8にそれぞれ接続した外部電極部材12に0.1~3kV/mの直流電界を印加し、積層体7を構成する圧電体層3を分極することによって、積層型圧電素子1が完成する。この積層型圧電素子1は、外部電極部材12を介してメタライズ層8と外部の電源とを接続して、圧電体層3に電圧を印加することにより、各圧電体層3を逆圧電効果によって大きく変位させることができる。これにより、例えばエンジンに燃料を噴射供給する自動車用燃料噴射弁として機能させることが可能となる。

【0061】

次に、本発明の噴射装置の実施の形態の例について説明する。図11は、本発明の噴射装置の実施の形態の一例を示す概略断面図である。

30

【0062】

図11に示すように、本実施の形態の噴射装置19は、一端に噴射孔21を有する収納容器(容器)23の内部に上記の本実施の形態の積層型圧電素子1が収納されている。

【0063】

収納容器23内には、噴射孔21を開閉することができるニードルバルブ25が配設されている。噴射孔21には流体通路27がニードルバルブ25の動きに応じて連通可能になるように配設されている。この流体通路27は外部の流体供給源に連結され、流体通路27に常時高圧で流体が供給されている。従って、ニードルバルブ25が噴射孔21を開放すると、流体通路27に供給されていた流体が外部または隣接する容器、例えば内燃機関の燃料室(不図示)に、噴射孔21から吐出されるように構成されている。

40

【0064】

ニードルバルブ25の上端部は径が大きくなっており、収納容器23に形成されたシリンダ29と摺動可能なピストン31になっている。そして、収納容器23内には、上述した例の積層型圧電素子1がピストン31に接して収納されている。

【0065】

このような噴射装置19では、積層型圧電素子1が電圧を印加されて伸長すると、ピストン31が押圧され、ニードルバルブ25が噴射孔21に通じる流体通路27を閉塞し、流体の供給が停止される。また、電圧の印加が停止されると積層型圧電素子1が収縮し、皿バネ33がピストン31を押し返し、流体通路27が開放され噴射孔21が流体通路27と連通して、噴射孔

50

21から流体の噴射が行なわれるようになっている。

【0066】

なお、積層型圧電素子1に電圧を印加することによって流体通路27を開放し、電圧の印加を停止することによって流体通路27を閉鎖するように構成してもよい。

【0067】

また、本実施の形態の噴射装置19は、噴射孔を有する容器23と、本実施の形態の積層型圧電素子1とを備え、容器23内に蓄えられた流体を積層型圧電素子1の駆動により噴射孔21から吐出させるように構成されていてもよい。すなわち、積層型圧電素子1が必ずしも容器23の内部にある必要はなく、積層型圧電素子1の駆動によって容器23の内部に流体の噴射を制御するための圧力が加わるように構成されていればよい。なお、本実施の形態の噴射装置19において、流体とは、燃料、インク等の他、導電性ペースト等の種々の液体および気体が含まれる。本実施の形態の噴射装置19を用いることによって、流体の流量および噴出タイミングを長期にわたって安定して制御することができる。

10

【0068】

本実施の形態の積層型圧電素子1を採用した本実施の形態の噴射装置19を内燃機関に用いれば、従来の噴射装置に比べてエンジン等の内燃機関の燃焼室に燃料をより長い期間にわたって精度よく噴射させることができる。

【0069】

次に、本発明の燃料噴射システムの実施の形態の例について説明する。図12は、本発明の燃料噴射システムの実施の形態の一例を示す概略図である。

20

【0070】

図12に示すように、本実施の形態の燃料噴射システム35は、高圧流体としての高圧燃料を蓄えるコモンレール37と、このコモンレール37に蓄えられた高圧流体を噴射する複数の本実施の形態の噴射装置19と、コモンレール37に高圧流体を供給する圧力ポンプ39と、噴射装置19に駆動信号を与える噴射制御ユニット41とを備えている。

【0071】

噴射制御ユニット41は、外部情報または外部からの信号に基づいて高圧流体の噴射の量およびタイミングを制御する。例えば、エンジンの燃料噴射に噴射制御ユニット41を用いた場合であれば、エンジンの燃焼室内の状況をセンサ等で感知しながら燃料噴射の量およびタイミングを制御することができる。圧力ポンプ39は、燃料タンク43から流体燃料を高圧でコモンレール37に供給する役割を果たす。例えばエンジンの燃料噴射システム35の場合には1000~2000気圧(約101MPa~約203MPa)程度、好ましくは1500~1700気圧(約152MPa~約172MPa)程度の高圧にしてコモンレール37に流体燃料を送り込む。コモンレール37では、圧力ポンプ39から送られてきた高圧燃料を蓄え、噴射装置19に適宜送り込む。噴射装置19は、前述したように噴射孔21から一定の流体を外部または隣接する容器に噴射する。例えば、燃料を噴射供給する対象がエンジンの場合には、高圧燃料を噴射孔21からエンジンの燃焼室内に霧状に噴射する。

30

【0072】

なお、本発明は、上記の実施の形態の例に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内で種々の変更を行なうことは何ら差し支えない。例えば、メタライズ層8は、上記の例では積層体7の対向する2つの側面に1つずつ形成したが、2つのメタライズ層8を積層体7の隣り合う側面に形成してもよいし、積層体7の同一の側面に形成してもよい。また、積層体7の積層方向に直交する方向における断面の形状は、上記の実施の形態の例である四角形状以外に、六角形状や八角形状等の多角形状、円形状、あるいは直線と円弧とを組み合わせた形状であっても構わない。

40

【0073】

本実施の形態の積層型圧電素子1は、例えば、圧電駆動素子(圧電アクチュエータ)、圧力センサ素子および圧電回路素子等に用いられる。駆動素子としては、例えば、自動車エンジンの燃料噴射装置、インクジェットのような液体噴射装置、光学装置のような精密位置決め装置、振動防止装置が挙げられる。センサ素子としては、例えば、燃焼圧センサ

50

、ノックセンサ、加速度センサ、荷重センサ、超音波センサ、感圧センサおよびヨーレートセンサが挙げられる。また、回路素子としては、例えば、圧電ジャイロ、圧電スイッチ、圧電トランスおよび圧電ブレーカーが挙げられる。

【実施例】

【0074】

本発明の積層型圧電素子の実施例について以下に説明する。

【0075】

本発明の積層型圧電素子を備えた圧電アクチュエータを以下のようにして作製した。まず、平均粒径が $0.4\mu\text{m}$ のチタン酸ジルコン酸鉛($\text{PbZrO}_3 - \text{PbTiO}_3$)を主成分とする圧電セラミックスの仮焼粉末、バインダーおよび可塑剤を混合したセラミックスラリ-を作製した。このセラミックスラリ-を用いてドクターブレード法により厚み $50\mu\text{m}$ の圧電体層となるセラミックグリーンシートを作製した。また、銀-パラジウム合金にバインダーを加えて、内部電極となる導電性ペーストを作製した。

10

【0076】

次に、セラミックグリーンシートの片面に、内部電極となる導電性ペーストをスクリーン印刷法により印刷し、導電性ペーストが印刷されたセラミックグリーンシートを200枚積層した。また、内部電極となる導電性ペーストが印刷されたセラミックグリーンシート200枚を中心にして、その上下に、内部電極となる導電性ペーストが印刷されていないセラミックグリーンシート合計15枚を積層した。そして、 $980\sim 1100$ で焼成することにより積層体を得た。得られた積層体を、平面研削盤を用いて所定の形状に研削した。

20

【0077】

次に、積層体の側面のメタライズ層の形成部に、銀とガラスにバインダーを混合した導電性ペーストをスクリーン印刷法により印刷し、 700 で焼き付け処理を行なった。これにより、積層体の側面にメタライズ層を形成した。

【0078】

次に、メタライズ層に、銀ポリイミド材料からなる厚み $100\mu\text{m}$ の導電性接着剤層を介して、リン青銅材料からなる厚み $100\mu\text{m}$ の外部電極部材を積層体表面と平行に接続して固定した。なお、外部電極部材は、積層方向における導電性接着剤層の端面よりも 0.5mm 外側まで延出しているものとし、一方の側面から他方の側面に向けて長さ $.8\text{mm}$ 、積層方向の幅 0.1mm のスリットが積層方向の間隔 0.1mm で交互に合計150本設けられているもの(試料番号1)およびスリットが設けられていないもの(試料番号2)を用いた。

30

【0079】

そして、外部電極部材の導電性接着剤層の端面より延出した部位にリード部材を抵抗溶接により接合した。なお、リード部材は軸方向を積層方向と一致するように固定し、リード部材の先端位置は導電性接着剤層の端面から 1mm の位置とした。

【0080】

以上により、本発明実施例の積層型圧電素子(試料番号1および試料番号2)を作製した。

【0081】

一方、比較例として、導電性接着剤層および外部電極部材を設けずに、リード部材を直接メタライズ層に半田で接合した積層型圧電素子(試料番号3)を作製した。

40

【0082】

作製した各積層型圧電素子について、リード部材を介して外部電極部材に 3kV/mm の直流電界を15分間印加して、分極処理を行なった。これらの積層型圧電素子に 160V の直流電圧を印加したところ、積層体の積層方向に $30\mu\text{m}$ の変位量が得られた。

【0083】

さらに、室温で $0\text{V}\sim +160\text{V}$ の交流電圧を 150Hz の周波数で印加して、 1×10^8 回まで連続駆動した耐久性試験を行なった。

【0084】

その結果、本発明の実施例の積層型圧電素子(試料番号1および試料番号2)は、 $1\times$

50

10⁸回連続駆動しても、積層体およびリード部材の接合部にクラックが生じることはなかった。また、外部電極部材が剥離することもなかった。

【0085】

これに対し、比較例の積層型圧電素子（試料番号3）は、リード部材の接合部にマイクロクラックが発生し、接合部にスパークが生じ駆動が停止した。

【符号の説明】

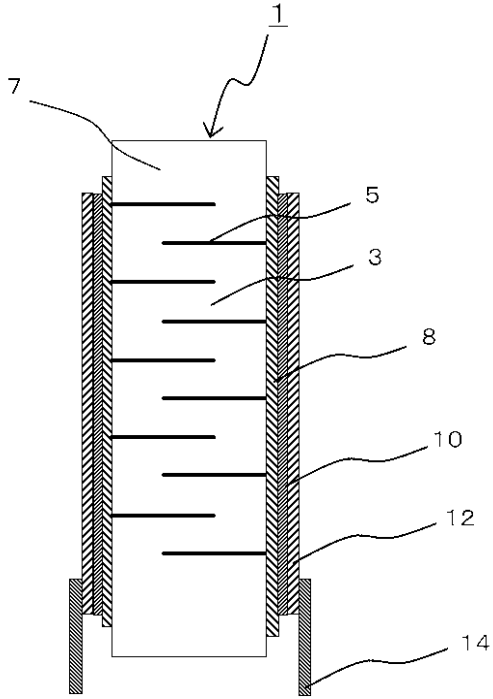
【0086】

- 1・・・積層型圧電素子
- 2・・・ボイド
- 3・・・圧電体層
- 5・・・内部電極
- 7・・・積層体
- 8・・・メタライズ層
- 10・・・導電性接着剤層
- 12・・・外部電極部材
- 14・・・リード部材
- 19・・・噴射装置
- 21・・・噴射孔
- 23・・・収納容器（容器）
- 25・・・ニードルバルブ
- 27・・・流体通路
- 29・・・シリンダ
- 31・・・ピストン
- 33・・・皿バネ
- 35・・・燃料噴射システム
- 37・・・コモンレール
- 39・・・圧力ポンプ
- 41・・・噴射制御ユニット
- 43・・・燃料タンク

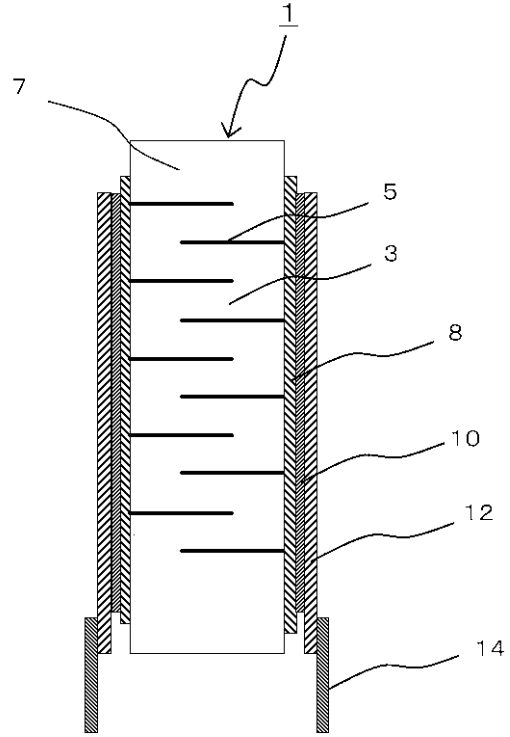
10

20

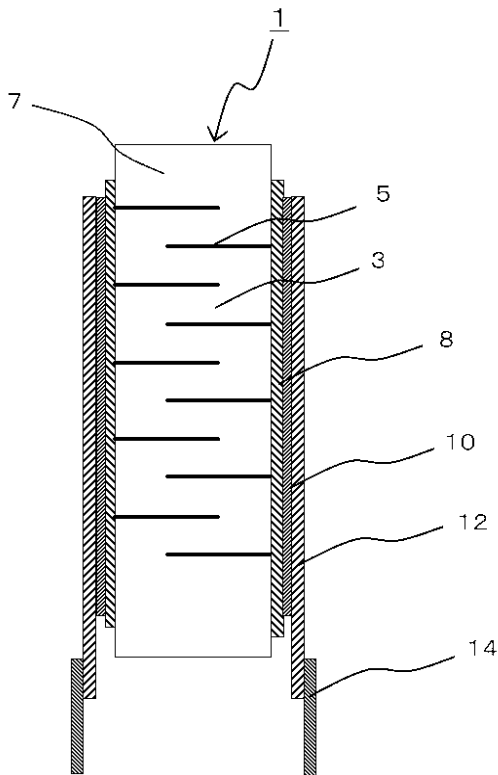
【図1】



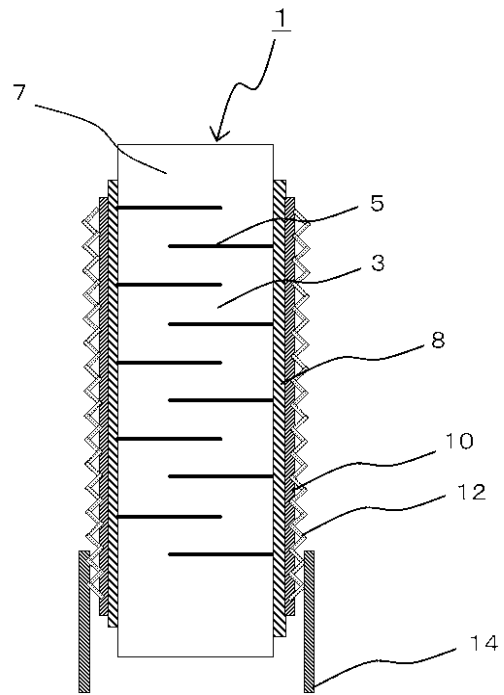
【図2】



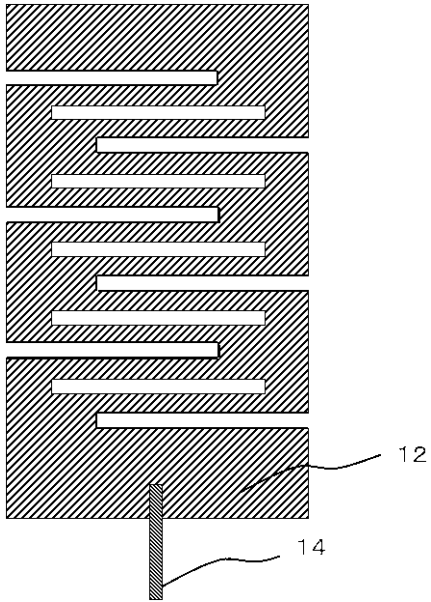
【図3】



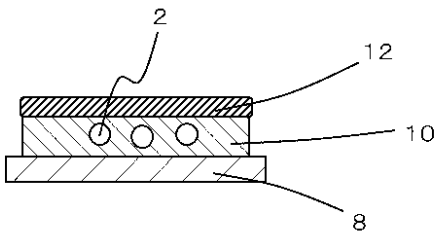
【図4】



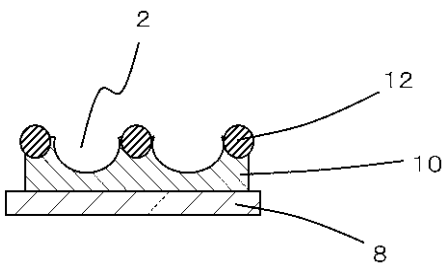
【図5】



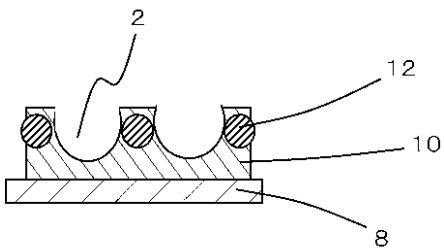
【図6】



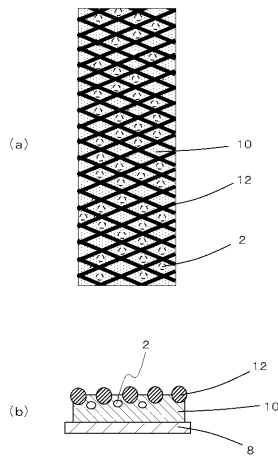
【図9】



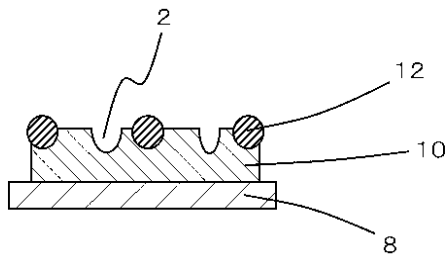
【図10】



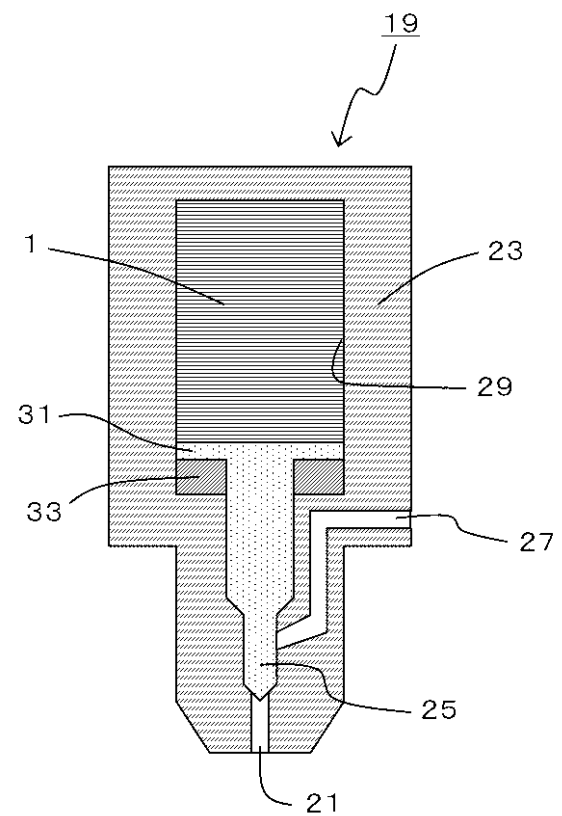
【図7】



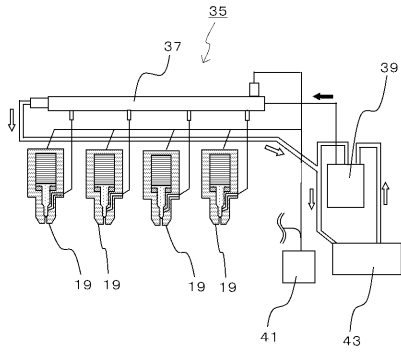
【図8】



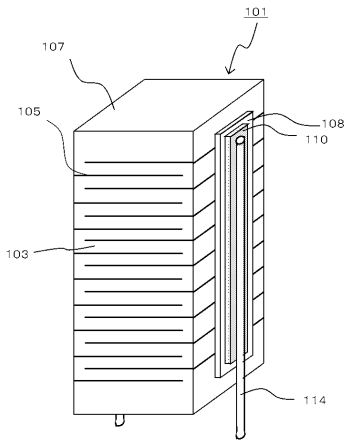
【図11】



【図 12】



【図 13】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2011-003574(JP,A)
国際公開第2010/013670(WO,A1)
国際公開第2007/114002(WO,A1)
特開昭63-153870(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 41/047, 41/083,
41/27, 41/29,
F02M 51/00, 51/06