

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5032791号
(P5032791)

(45) 発行日 平成24年9月26日 (2012.9.26)

(24) 登録日 平成24年7月6日 (2012.7.6)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 41/22 (2006.01)	HO 1 L 41/22 Z
HO 1 B 1/20 (2006.01)	HO 1 B 1/20 A
HO 1 L 41/09 (2006.01)	HO 1 L 41/08 M
HO 1 L 41/187 (2006.01)	HO 1 L 41/18 1 O 1 E
	HO 1 L 41/18 1 O 1 F

請求項の数 4 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2006-135325 (P2006-135325)	(73) 特許権者	000010098
(22) 出願日	平成18年5月15日 (2006.5.15)		アルプス電気株式会社
(65) 公開番号	特開2007-305919 (P2007-305919A)		東京都大田区雪谷大塚町1番7号
(43) 公開日	平成19年11月22日 (2007.11.22)	(74) 代理人	100085453
審査請求日	平成20年8月28日 (2008.8.28)		弁理士 野▲崎▼ 照夫
		(74) 代理人	100121049
			弁理士 三輪 正義
		(72) 発明者	大西 人司
			東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内
		(72) 発明者	山田 聡
			東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電子部品の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板と、基板表面に形成された電極とを有する電子部品の製造方法において、
前記電極を以下の工程により形成することを特徴とする電子部品の製造方法。

前記基板表面に、金の有機化合物と、8質量%～35質量%含み平均粒径が1μm以下であるガラス成分と、を有する導電性ペーストを用いて電極パターンを形成する工程、
前記導電性ペーストを焼成し、このとき、前記ガラス成分を融解させる工程。

【請求項2】

前記ガラス成分の添加量を、32質量%以下に調整する請求項1記載の電子部品の製造方法。

【請求項3】

前記ガラス成分の平均粒径を、0.3μm～0.5μmの範囲内とする請求項1又は2に記載の電子部品の製造方法。

【請求項4】

前記電子部品は、金属板と、前記金属板の少なくとも一方に形成された前記基板としての圧電体と、前記圧電体の両面に形成された前記電極と、を有して構成された圧電素子である請求項1ないし3のいずれか1項に記載の電子部品の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えばバイモルフ型圧電素子の電極に使用される導電性ペーストに係り、特に、前記電極と基板（圧電体）間の良好な密着性、低電気抵抗、及び前記基板に対するクラック防止等を実現できる導電性ペースト、及び前記導電性ペーストを用いた電子部品の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

圧電素子の電極材料には、例えば銀を有する導電塗膜が使用される。前記圧電素子は、例えば、冷却水循環ポンプのダイヤフラムとして使用される。

【0003】

しかし、前記電極に銀を含む場合、イオンマイグレーションが発生するといった問題があった。特に上記のように、流体に直接または樹脂フィルム等を介して接する環境下では、イオンマイグレーションの発生が顕著に現れた。前記銀に、さらにパラジウムを含む導電塗膜を使用すると多少、イオンマイグレーションの発生を抑制できたが、実用レベルに至らなかった。

10

【0004】

そこで、例えば金や白金等の金属にて前記電極を形成すれば上記のイオンマイグレーションの発生を適切に防止することが可能である。

【特許文献1】特開平11-346013号公報

【特許文献2】特開2002-246258号公報

【特許文献3】特開2002-293624号公報

20

【特許文献4】特開2005-51840号公報

【特許文献5】特開2005-39178号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、金や白金等の金属にて前記電極を形成した場合、前記電極と圧電体間の密着性が非常に悪いことがわかった。

【0006】

前記圧電体は、PZT（チタン酸鉛（ $PbTiO_3$ ）とジルコン酸鉛（ $PbZrO_3$ ）の固溶体）で形成され、酸素を多量に含んでいる。

30

【0007】

前記金や白金は、酸化されにくい、すなわち酸素と化合しにくい金属であるために、前記圧電体上に金の電極を形成しても前記電極と圧電体間の界面での結合は弱く、容易に剥がれてしまうことがわかった。

【0008】

上記した各特許文献には、例えば金レジネート等の金属レジネートを用いて前記電極を形成することが開示されている。しかし金属レジネートを使用した場合でも前記圧電体との密着性を適切に改善できなかった。密着性が悪いことは後述する実験にて証明されている。

【0009】

40

そこで本発明は上記従来の課題を解決するためのものであり、特に、前記電極と基板（圧電体）間の良好な密着性、低電気抵抗、及び前記基板に対するクラック防止等を実現できる導電性ペースト、及び前記導電性ペーストを用いた電子部品の製造方法を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0016】

本発明は、基板と、基板表面に形成された電極とを有する電子部品の製造方法において、
前記電極を以下の工程により形成することを特徴とするものである。

前記基板表面に、金の有機化合物と、8質量%～35質量%含み平均粒径が1μm以下

50

であるガラス成分と、を有する導電性ペーストを用いて電極パターンを形成する工程、
前記導電性ペーストを焼成し、このとき、前記ガラス成分を融解させる工程。

本発明では、前記ガラス成分の添加量を、32質量%以下に調整することが好ましい。
また、前記ガラス成分の平均粒径を、 $0.3\ \mu\text{m} \sim 0.5\ \mu\text{m}$ の範囲内とすることが好ましい。

【0017】

本発明では、前記電極と基板間の密着性を飛躍的に向上させることが可能になる。また前記電極に銀を使用しないのでイオンマイグレーションの発生はない。また前記電極の電気抵抗を小さくできる。

【0018】

また前記電子部品は、金属板と、前記金属板の少なくとも一方に形成された前記基板としての圧電体と、前記圧電体の両面に形成された前記電極と、を有して構成された圧電素子であるとより効果的である。すなわち上記した効果に加えて、振動する前記圧電素子にクラックが生じるのを適切に防止できる。

【発明の効果】

【0019】

本発明における導電性ペーストは、溶媒中に、金の有機化合物と、ガラス成分と、を有することを特徴とするものである。

【0020】

本発明による導電性ペーストを用いて基板上に導電膜（電極）を形成した場合、前記導電膜と基板間の密着性を飛躍的に向上させることが可能になる。また銀を使用しないのでイオンマイグレーションの発生はない。また前記導電膜の電気抵抗を小さくでき、さらに圧電素子のように振動させて使用する場合でも基板（例えば圧電体）にクラックが生じるのを適切に防止できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

図1は、バイモルフ型圧電素子の斜視図、図2は図1に示すA-A線によって厚み方向に切断し矢印方向から見た前記バイモルフ型圧電素子の部分断面図、図3は、前記バイモルフ型圧電素子を用いたダイヤフラムポンプの原理を説明するための説明図、である。

【0022】

図1，図2に示すバイモルフ型圧電素子1は、円形状の金属板（シム）2と、前記金属板2の両面に設けられた、同じく円形状の圧電体3，4とを有して構成される。また前記圧電体3，4の外側表面に絶縁性のカバーフィルム（図示しない）が設けられていてもよい。

【0023】

前記金属板2は、例えば、42アロイなどのNiFe合金や、CuやCuを含む合金等で形成される。前記金属板2の厚みは、 $300\ \mu\text{m}$ 程度である。

【0024】

前記圧電体2，3は、PZT〔チタン酸鉛（ PbTiO_3 ）とジルコン酸鉛（ PbZrO_3 ）の固溶体、以下、 $\text{Pb}(\text{Zr}_{1/2}\text{Ti}_{1/2})\text{O}_3$ と記載〕、PZN（ $\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ ）、あるいは、PNN（ $\text{Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ ）、またはこれら2種以上の組み合わせ等で形成される。一例を示すと、 $[\text{Pb}(\text{Zr}_{1/2}\text{Ti}_{1/2})\text{O}_3]_{0.6} + [\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3]_{0.16} + [\text{Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3]_{0.24}$ で形成される。用途に応じて、各元素の比率を変える。

【0025】

前記圧電体3，4表面の中心線平均粗さRaは、 $0.1 \sim 0.2\ \mu\text{m}$ 程度である。前記圧電体3，4の厚みは、 $300\ \mu\text{m}$ 程度である。

前記圧電体3，4は共に厚さ方向の同一方向に分極処理されている。

【0026】

10

20

30

40

50

図 2 に示すように各圧電体 3, 4 の両面には、電極 5, 6, 7, 8 が形成されている。前記圧電体 3, 4 に形成された内側電極 6, 7 は前記金属板 2 に接着層（図示しない）を介して接着固定されている。

【 0 0 2 7 】

前記金属板 2 に共通電極を配置し、前記圧電体 3 の外側電極 5、及び前記圧電体 4 の外側電極 8 に夫々端子を配置して、前記圧電体 3, 4 に対し電圧を加えると、膜面方向への伸縮が、前記圧電体 3 と前記圧電体 4 とで逆になる。そして図 3 A に示すように前記圧電素子 1 が上方向に膨らむ変形をし、あるいは、図 3 B に示すように前記圧電素子 1 が下方向へ凹む変形をする。前記圧電素子 1 に交流を与えることで、図 3 A の変形と、図 3 B の変形を繰り返し、前記圧電素子 1 は振動する。

10

【 0 0 2 8 】

図 3 に示すように前記圧電素子 1 の上には上側ポンプ室 1 3 が、前記圧電素子 1 の下には下側ポンプ室 2 3 が夫々設けられている。吸入ポート 3 1 と前記上側ポンプ室 1 3 との間には吸入側逆止弁 1 1 が設けられる。また、吸入ポート 3 1 と前記下側ポンプ室 2 3 との間には吸入側逆止弁 2 1 が設けられる。前記吸入側逆止弁 1 1, 2 1 は、前記吸入ポート 3 1 から前記ポンプ室 1 3, 2 3 への流体流は許すが、その逆は許さない。また前記吐出ポート 3 2 と前記上側ポンプ室 1 3 との間には吐出側逆止弁 1 2 が設けられる。また、吐出ポート 3 2 と前記下側ポンプ室 2 3 との間には吐出側逆止弁 2 2 が設けられる。前記吐出側逆止弁 1 2, 2 2 は、前記ポンプ室 1 3, 2 3 から前記吐出ポート 3 2 への流体流は許すが、その逆は許さない。

20

【 0 0 2 9 】

図 3 A では、前記圧電素子（ダイヤフラム）1 が上方向に膨らむように変形して、前記上側ポンプ室 1 3 の容積が減少するとともに、前記下側ポンプ室 2 3 の容積が増大する。このとき、前記吸入側逆止弁 2 1 が開いて前記吸入ポート 3 1 から前記下側ポンプ室 2 3 へ流体が流入し、一方、前記吐出側逆止弁 1 2 が開いて、前記上側ポンプ室 1 3 内の流体が前記吐出ポート 3 2 へ流出する。

【 0 0 3 0 】

また図 3 B では、前記圧電素子（ダイヤフラム）1 が下方向に凹むように変形して、前記下側ポンプ室 2 3 の容積が減少するとともに、前記上側ポンプ室 1 3 の容積が増大する。このとき、前記吸入側逆止弁 1 1 が開いて前記吸入ポート 3 1 から前記上側ポンプ室 1 3 へ流体が流入し、一方、前記吐出側逆止弁 2 2 が開いて、前記下側ポンプ室 2 3 内の流体が前記吐出ポート 3 2 へ流出する。上記の動作を繰り返すことでポンプ作用が得られる。例えばノートパソコンの冷却水循環ポンプとして使用できる。

30

【 0 0 3 1 】

本実施形態では、前記電極 5, 6, 7, 8 を次のようにして形成する。すなわち各圧電体 3, 4 の両面に、溶媒中に、金の有機化合物と、ガラス成分とを有する導電ペーストをスクリーン印刷等にて塗布し、続いて脱脂、焼成して、前記電極 5, 6, 7, 8 を形成する。

【 0 0 3 2 】

金の有機化合物は、例えば、 $C_n H_m C O O - A u$ （ n は 0 以上、 m は 1 以上）の化学式で示される脂肪酸金である。炭素数は特に限定されるものではない。低級脂肪酸、高級脂肪酸の別を問わない。具体的には、ギ酸金、酢酸金、カプリル酸金等で形成される。直鎖の脂肪酸金のみならず分枝の脂肪酸金、環状脂肪酸金等であってもよい。ただし、金の有機化合物は上記の脂肪酸金に限定されるものではない。

40

【 0 0 3 3 】

前記金の有機化合物は、前記溶媒中に均一に分散し溶解した状態であるレジネートにより構成されている。以下、特に断らない限り、「金の有機化合物」を金レジネートと表現する。

【 0 0 3 4 】

ガラス成分の材質は特に限定されるものではない。前記ガラス成分には、石英ガラス、

50

ソーダ石灰ガラス、ホウケイ酸ガラス、鉛ガラス、フッ化物ガラス等、周知の組成物を使用できる。

【0035】

前記溶媒には、脂肪族アルコール、アルコールエステル、カルピトール等を使用できるが特に材質を限定するものではない。

【0036】

前記焼成の際の温度は、少なくとも、金レジネートと前記ガラス成分とが融解する温度である。本実施形態では、焼成温度を、600 ~ 700 程度に設定できる。まず300 ~ 400 程度にまで昇温すると、金レジネートの有機物が熱分解を起こして蒸発し、金が原子レベルで分散した状態になり、あたかも金が融解したかのような状態になる。金は通常、1000 以上に高くしないと、融解しないが、金レジネートにすることで、通常の融解温度よりも低い温度で融解と同じ状態を得ることが可能である。金原子が寄り集まり、圧電体表面が金属で覆われ始める。

10

【0037】

次に600 程度以上に焼成温度が上昇するとガラス成分が溶け始める。なおガラス成分の組成によって融解温度は異なる。ガラス成分が溶け始めると、金属と前記圧電体間に形成された隙間や前記圧電体の表面付近に前記ガラス成分が侵入・浸透する等して前記金属と前記圧電体間の密着性を向上させる。

【0038】

上記のように、焼成工程により有機物が熱分解して蒸発するとともに、前記ガラス成分が溶解するために、最初、印刷したときの導電性ペーストの膜厚に対し、焼成後の電極の膜厚は、数百分の一 ~ 数十分の一程度に薄くなる。具体的には、印刷したときの前記導電性ペーストの膜厚が20 μm程度であると、焼成後の電極の膜厚は約0.1 μm ~ 0.5 μm程度にまで薄くなる。

20

【0039】

本実施形態では、前記導電性ペーストに含まれる前記ガラス成分の添加量を金の全質量に対し(すなわち金を100質量%としたとき)、4質量% ~ 35質量%の範囲内に設定することが好ましい。前記ガラス成分を4質量%よりも小さくすると、前記電極と圧電体間の密着性が悪化し、前記電極が前記圧電体から剥がれやすくなる。一方、前記ガラス成分の添加量を35質量%よりも大きくすると前記電極の抵抗値が大きくなる。

30

【0040】

前記ガラス成分の添加量を8質量%以上にすることが、前記密着性をより効果的に向上させることが出来る上でより好ましい。

【0041】

また前記ガラス成分の添加量を32質量%以下にすることが、前記電極の抵抗値を効果的に小さくすることができて、より好ましい。

【0042】

また前記導電性ペースト中におけるガラス成分の平均粒径は1 μm以下であることが好ましい。この明細書において平均粒径が1 μm以下であるガラス成分を微粉末ガラスとして、平均粒径が1 μmより大きいものと区別する。このように前記ガラス成分はより微粉末であることが好ましい。それは、前記平均粒径があまりに大きいと、上記した添加量の範囲内で前記ガラス成分を導電性ペースト中に含有させても、圧電体上に導電性ペーストを印刷したときに、前記ガラス成分どうしを近距離にて点在させることが出来ないからである。平均粒径の大きいガラス成分どうしが、前記圧電体上で、非常に離れた状態で点在していると、溶融したガラスが広範囲にわたって広がらず、所々で、電極と圧電体間の密着性の弱い箇所が出来やすい。したがって、前記ガラス成分の添加量を上記範囲内に設定しつつ、前記ガラス成分の平均粒径を1 μm以下の微粉末とすることで、前記導電性ペーストを前記圧電体上に印刷したときに前記圧電体上に前記ガラス成分どうしがさほど離れていない状態にて前記ガラス成分を均一分散でき、よって焼成したときに、溶融したガラスを広範囲に至らせることができ、前記圧電体と電極間の密着性をより効果的に向上させ

40

50

ることが可能である。

【0043】

また本実施形態では、前記導電性ペースト中に含まれるガラス成分の平均粒径を0.3～0.5 μmの範囲内に設定することがより好ましい。

【0044】

上記したように、溶媒中に金レジネートとガラス成分とを有する導電性ペーストを前記圧電体3, 4の両面に夫々印刷した後、焼成すると、金レジネートの有機物は熱分解し蒸発するため、焼成後の前記電極5, 6, 7, 8は、主として金とガラス成分とから構成される。そして本実施形態では、上記したように前記電極5, 6, 7, 8の膜厚を極めて薄く形成することが可能である。

10

【0045】

本実施形態では、前記電極5, 6, 7, 8と前記圧電体3, 4間の密着性を良好に保つことが出来るとともに、金を主体として形成されるので前記電極5, 6, 7, 8を低抵抗で形成でき、さらに高温多湿等の過酷な環境下においてもイオンマイグレーションの発生がない。

【0046】

さらに圧電素子1を図3A, 図3Bに示すように振動させても、前記圧電素子1を構成する例えば圧電体3, 4にクラックが生じるのを適切に防止できることが後述する実験により証明されている。

【0047】

また、前記導電性ペーストに含有されるガラス成分の添加量が金の全質量に対し32質量%程度以下であれば、前記導電性ペーストにて電極を形成しても、前記圧電体3, 4の静電容量及び振幅(最大変位量)(図3Aに示すT1×2)は、ガラスを含まない導電性ペーストにて電極を形成した場合とさほど変わらないことが後述する実験にて証明されている。すなわち圧電素子1としての性能を高性能に保持できる。

20

【0048】

本実施形態における導電性ペーストを、前記圧電素子1の電極として用いる以外に、例えばフレキシブルプリント基板の電極パターン等として使用することも可能である。本実施形態では、前記電極パターンは、折曲性にも優れている(すなわち前記電極パターンにクラックが生じない)。ただし、前記基板が焼成温度に耐えうる材質で形成されることが必要である。

30

【0049】

また本実施形態における圧電素子1はバイモルフ型であったが、ユニモルフ型、積層型、その他の圧電素子の形態であってもよい。

【実施例】

【0050】

以下の表1に示す組成の導電性ペーストを、 $[Pb(Zr_{1/2}Ti_{1/2})O_3]_{0.6} + [Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3]_{0.16} + [Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})O_3]_{0.24}$ で形成された円形状(直径約28mm)の基板(圧電体)上の全面にスクリーン印刷し、650で30分間、焼成して電極を形成した。なお全ての試料において前記基板表面の中心線平均粗さRaを0.1～0.2 μmの範囲とした。

40

【0051】

そして、前記電極上に所定の粘着強度を有するテープを貼り、前記テープを剥がしたときに前記電極と一緒に剥がれたか否かを測定するピールテストを行った。

【0052】

表1

【 附 1 】

試料No.	導電性ペースト組成	テープ粘着強度					
		157gf/cm		288gf/cm		438gf/cm	
		初期	試験後	初期	試験後	初期	試験後
実施例1	Auレジネート	0/10	0/10	-	6/10	-	0/10
実施例2	Auレジネート+微粉末ガラス4%	0/10	0/10	-	4/10	-	0/10
実施例3	Auレジネート+微粉末ガラス5%	0/10	0/10	-	2/10	-	0/10
実施例4	Auレジネート+微粉末ガラス8%	0/10	0/10	-	0/10	-	0/10
実施例5	Auレジネート+微粉末ガラス16%	0/10	0/10	-	0/10	-	0/10
実施例6	Auレジネート+微粉末ガラス24%	0/10	0/10	-	0/10	-	0/10
実施例7	Auレジネート+微粉末ガラス32%	0/10	0/10	-	0/10	-	0/10
比較例	Auレジネート(ガラス含まず)	5/10	8/10	-	10/10	-	10/10

比較例 1 ~ 3 および実施例 4 ~ 実施例 7 の試料は、いずれも導電性ペーストに一般に市販されている金レジネートとガラス成分を含む。表 1 に示されるガラス成分の含有量は、金の全質量に対しての質量%である。「微粉末ガラス」とは、平均粒径が $1 \mu\text{m}$ 以下のもので、実験で使用した微粉末ガラスは、平均粒径が $0.3 \sim 0.5 \mu\text{m}$ 程度であった。また比較例 1 には、「微粉末ガラス」でなく、平均粒径が $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 程度のガラス成分を使用した。なお、ガラス粉末の平均粒径は、導電性ペーストとした状態で走査型電子顕微鏡にてガラス粉末 30 個の長径を測定し、その平均を算出して特定したものである。比較例 4 では、導電性ペーストにガラス成分を含んでいない。なお、焼成後における電極の厚みはいずれの試料においても、 $0.1 \sim 0.5 \mu\text{m}$ の範囲内となった。

【0054】

まず各試料の電極に対して、 157 gf/cm の粘着強度のテープによるピールテストを行った。表 1 において「初期」とは、前記電極の形成直後に行ったピールテストを指す。一方、「試験後」とは、前記電極の形成後、85 で湿度が 90% の環境下で 72 時間経過後に行ったピールテストを指す。実験は、各 10 回ずつ行い（表 1 における分母）、剥がれた試料の個数を測定した（表 1 における分子）。

【0055】

同じように、 288 gf/cm 、 438 gf/cm の粘着強度のテープによるピールテストを前記「試験後」において行った。

【0056】

表 1 に示すように、比較例は、実施例に比べて悪い結果となった。特に、比較例 4 は、実施例では全く剥がれが生じなかったテープ粘着強度が 157 gf/cm のときさえ、かなりの試料が剥がれる結果となった。よって、比較例では、電極と基板間の密着性が悪いことがわかった。

【0057】

一方、表 1 に示すように、比較例 1 ~ 比較例 3、および実施例 4 ~ 7 に対するピールテストは、いずれも良好な結果となった。ただし、ガラス成分が微粉末ではない比較例 1 や、ガラス成分の含有量が少ない比較例 2, 3 では、テープ粘着強度が 288 gf/cm のとき、いくつかの試料に剥がれが生じた。

【0058】

表 1 の実験結果から、ガラス成分は微粉末であることが好ましく、また、ガラス成分の金の全質量に対する含有量は、4 質量% 以上で、より好ましくは 8 質量% 以上であることがわかった。

【0059】

表 1 に示すようにガラス成分の添加量を増やすことで良好な密着性が得られることがわかったが、前記ガラス成分の添加量を増やしすぎると、前記電極の抵抗値が大きくなることが次の実験結果によってわかった。

【0060】

表 1 の実験で使用した比較例 1（表 2 に示すガラス 8%）、実施例 4（表 2 に示す微粉 8%）、実施例 7（表 2 に示す微粉 32%）の電極の両端に端子を当てて、前記電極の電気抵抗を測定した。

【0061】

さらには、金レジネートと、微粉末ガラス（平均粒径が $0.3 \sim 0.5 \mu\text{m}$ ）を金の全質量に対し 35 質量% 加えた導電性ペースト（表 2 に示す微粉 35%）、及び、金レジネートと、微粉末ガラス（平均粒径が $0.3 \sim 0.5 \mu\text{m}$ ）を金の全質量に対し 38 質量% 加えた導電性ペースト（表 2 に示す微粉 38%）を、表 1 の各試料と同様に、円形状（直径約 2.8 mm ）の基板（圧電体）上の全面にスクリーン印刷し、650 で 30 分間、焼成して電極を形成した。そして各電極の両端に端子を当てて、前記電極の電気抵抗を測定した。

10

20

30

40

【表 2】

表2

試料No.	ガラス8%	微粉8%	微粉32%	微粉35%	微粉38%
1	2.4	1.4	2.6	5.1	15.4
2	2.5	1.3	2.6	5.5	12.3
3	2.5	1.4	2.7	4.8	17.8
4	2.4	1.4	2.6	5.2	18.2
5	2.5	1.4	2.7	5.3	14.7

単位Ω

【0062】

表 2 に示すように、「微粉 38%」の実験結果は、他の試料に比べて抵抗値が一桁大きくなることわかった。表 2 の実験結果から、前記ガラス成分の添加量の上限を 35 質量%とした。また、前記ガラス成分の添加量の上限は 32 質量%であるとより好ましいことがわかった。

【0063】

次に、表 1 に示す比較例 1（金レジネート + ガラス 8%）、実施例 4（金レジネート + 微粉末ガラス 8%）、実施例 7（金レジネート + 微粉末ガラス 32%）の各電極の表面を電子顕微鏡にて撮影した。

【0064】

図 4 が実施例 1、図 5 が実施例 4、図 6 が実施例 7の写真である。各図において右側の写真は左側の写真の一部を拡大したものである。

【0065】

図 4 ~ 図 6 に示すように各電極の表面にはいずれにも穴が空いているのが見られた。この穴は、ガラス成分が焼成の際に溶けて出来た穴であると思われる。ガラス成分の含有量が多い実施例 7では図 6 に示すように図 4 や図 5 に比べて多くの穴が空いていることがわかった。また各図において「粒」と表示されている箇所はガラス成分であるか、あるいは金が前記穴上を一部塞いだ部分であると思われる。

【0066】

このような穴の存在は、前記電極を組成分析するまでもなくガラス成分が導電性ペーストに含まれていたことの指標となる。また前記穴は、ほどほどに形成されていることが良い。たくさん前記穴が形成されていると、ガラス成分の添加量が多いことを意味し、さらに金がガラスに食われる現象も起こりやすくなり、表 2 で説明したように電極の抵抗値が大きくなるといった問題を起こす。

【0067】

次に、表 1 の比較例 1及び実施例 4で示した導電性ペーストを用いて、図 1 , 図 2 に示すバイモルフ型圧電素子を形成し、実際に、前記圧電素子を振動させたときに圧電体にクラックが生じるか否かを測定した。比較例 1、及び実施例 4の各試料を夫々 31 個ずつ用意し、前記クラックが生じるか否かを調べたところ、実施例 4では、一個もクラックの発生が無かったのに対し、比較例 1では、31 個中、4 個の試料にクラックが生じた。

【0068】

比較例1の導電性ペーストに含まれるガラス成分は微粉末ではなく、平均粒径が3～5 μm程度と比較的大きいものであり、表1に示すように実施例と比べると密着性が悪かった。一方、実施例4は、表1に示すように、非常に優れた密着性を得た。圧電体に生じるクラックの発生は、前記密着性と大きく係っている。

【0069】

すなわち比較例1において圧電体にクラックが生じた4個の試料は、いずれも電極の一部が前記圧電体から剥がれていたのである。前記電極が剥がれた箇所では、もはや前記圧電体は変位しない。一方、電極が密着している箇所では前記圧電体は変位しようとする。このような局在化した圧電効果によって、前記圧電体にはクラックが生じやすくなるものと考えられる。一方、実施例4は、電極と圧電体との密着性が良好であるがために前記圧電体にクラックが生じない。

10

【0070】

次に、表1に示す比較例4、実施例5、6、7に示した導電性ペーストを用いて、図1、図2に示すバイモルフ型圧電素子の電極を形成し、実際に、前記圧電素子を振動させたときの前記圧電素子の振幅（最大変位量）（図3Aに示すT1×2）、及び圧電体の静電容量について調べた。

【0071】

比較例4による導電性ペーストを用いて電極を用いた場合、最大振幅は86 μm、静電容量は167 μFであった。

20

【0072】

一方、実施例5（金レジネート+微粉ガラス16%）による導電性ペーストを用いて電極を用いた場合、最大振幅は86 μm、静電容量は167 μF、実施例6（金レジネート+微粉ガラス24%）による導電性ペーストを用いて電極を用いた場合、最大振幅は87 μm、静電容量は170 μF、実施例7（金レジネート+微粉ガラス32%）による導電性ペーストを用いて電極を用いた場合、最大振幅は85 μm、静電容量は167 μFであり、特に最大振幅や静電容量に大きな差が生じなかった。

【0073】

これは、前記導電性ペーストにて形成された電極が広い面積で適切に低抵抗としての電極として機能しているためであると考えられる。

30

【図面の簡単な説明】

【0074】

【図1】バイモルフ型圧電素子の斜視図、

【図2】図1に示すA-A線によって厚み方向に切断し矢印方向から見た前記バイモルフ型圧電素子の部分断面図、

【図3】A、Bは、前記バイモルフ型圧電素子を用いたダイヤフラムポンプの原理を説明するための説明図、

【図4】比較例1（金レジネート+ガラス8%）の導電性ペーストにて形成された電極表面の電子顕微鏡写真、

【図5】実施例4（金レジネート+微粉末ガラス8%）の導電性ペーストにて形成された電極表面の電子顕微鏡写真、

40

【図6】実施例7（金レジネート+微粉末ガラス32%）の導電性ペーストにて形成された電極表面の電子顕微鏡写真、

【符号の説明】

【0075】

1 圧電素子

2 金属板（シム）

3、4 圧電体

5、6、7、8 電極

【 図 1 】

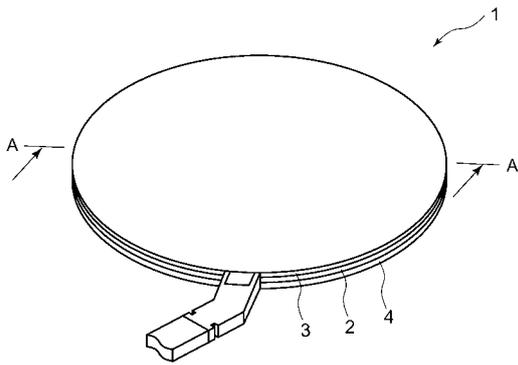


図1

【 図 2 】

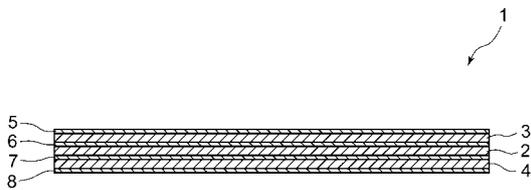


図2

【 図 3 】

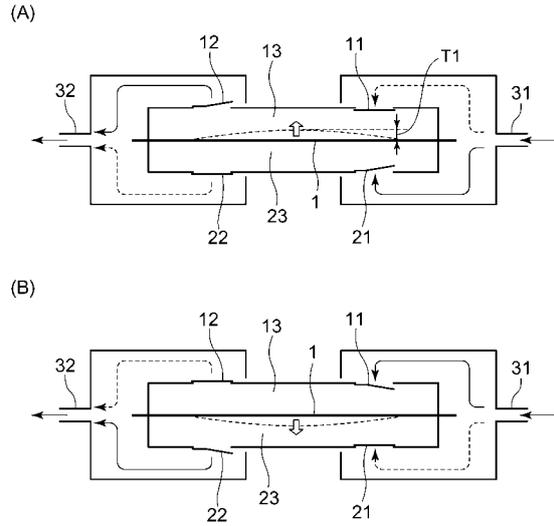


図3

【 図 4 】

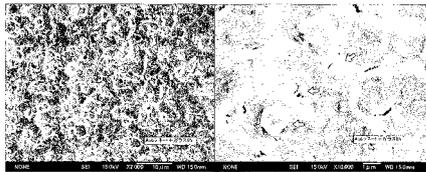


図4

【 図 5 】

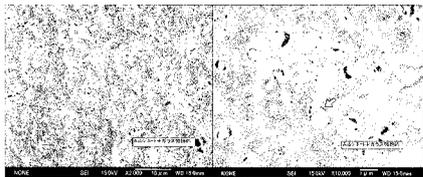


図5

【 図 6 】

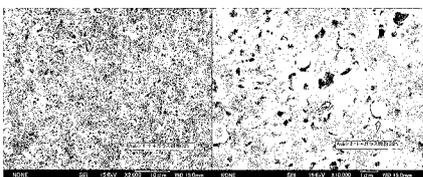


図6

フロントページの続き

(72)発明者 関口 晃
東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプス電気株式会社内

審査官 河合 俊英

(56)参考文献 特開平06-060714(JP,A)
特開2004-178904(JP,A)
特開2006-080318(JP,A)
特開昭52-14355(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 41/22
H01B 1/20
H01L 41/09
H01L 41/187