

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4357659号  
(P4357659)

(45) 発行日 平成21年11月4日(2009.11.4)

(24) 登録日 平成21年8月14日(2009.8.14)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 41/09 (2006.01)	HO 1 L 41/08 C
HO 1 L 41/187 (2006.01)	HO 1 L 41/18 I O I D
HO 1 L 41/22 (2006.01)	HO 1 L 41/22 Z
HO 2 N 2/00 (2006.01)	HO 2 N 2/00 C

請求項の数 9 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願平11-237349	(73) 特許権者 000002325 セイコーインスツル株式会社 千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目8番地
(22) 出願日 平成11年8月24日(1999.8.24)	
(65) 公開番号 特開2000-200930(P2000-200930A)	(74) 代理人 100079212 弁理士 松下 義治
(43) 公開日 平成12年7月18日(2000.7.18)	
審査請求日 平成17年9月8日(2005.9.8)	(72) 発明者 若林 真理 千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目8番地 株式会社エスアイアイ・アールディセンター内
(31) 優先権主張番号 特願平10-304417	(72) 発明者 新荻 正隆 千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目8番地 株式会社エスアイアイ・アールディセンター内
(32) 優先日 平成10年10月26日(1998.10.26)	
(33) 優先権主張国 日本国(JP)	

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧電体装置及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板上に圧電体層が設けられた圧電体装置において、前記基板と前記圧電体層の間に粒径が1 μm以下の超微粒子からなる超微粒子層が形成されるとともに、前記超微粒子層と前記圧電体層が接合された接合面を備えることを特徴とする圧電体装置。

【請求項2】

前記超微粒子層が前記圧電体層の主成分と同一の主成分からなることを特徴とする請求項1に記載の圧電体装置。

【請求項3】

前記超微粒子層と前記圧電体層の結晶構造が同一であることを特徴とする請求項1または2に記載の圧電体装置。

【請求項4】

前記超微粒子層と前記圧電体層がチタンとジルコニウムと鉛を有することを特徴とする請求項1から3のいずれか1項に記載の圧電体装置。

【請求項5】

前記接合面は、前記超微粒子層と前記圧電体が水素結合によって接合されたことを特徴とする請求項1から4のいずれか1項に記載の圧電体装置。

【請求項6】

基板上に粒径が1 μm以下の超微粒子を噴射堆積して第1の超微粒子層を形成する工程と、前記第1の超微粒子層に粒径が1 μm以下の超微粒子を含んだペースト状の溶液を塗

10

20

布する第2の超微粒子層を形成する工程とを有する第1の工程と、

前記超微粒子層上に圧電体層を接合する第2の工程と、  
を備えることを特徴とする圧電体装置の製造方法。

【請求項7】

圧電体を形成する工程と、

基板上に粒径が $1\ \mu\text{m}$ 以下の超微粒子からなる超微粒子層を形成する工程と、

前記超微粒子層と前記圧電体を接合する工程と、  
を備えることを特徴とする圧電体装置の製造方法。

【請求項8】

前記超微粒子層と前記圧電体を接合する工程において、  
前記超微粒子層と前記圧電体が水素結合を用いて接合されることを特徴とする請求項7に記載の圧電体装置の製造方法。

10

【請求項9】

請求項1から5のいずれか1項の圧電体装置を備えた超音波モータ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、超音波モータ、圧電アクチュエータ、および圧電センサー等に用いられる圧電体装置およびその製造方法に関するものである。

【0002】

20

【従来の技術】

近年、圧電アクチュエータは、モータの微細化、高密度化が可能であるという点で、電磁型モータに代わる新しいモータとして、携帯情報機器分野、ならびに化学、医療分野で注目されている。圧電アクチュエータはその駆動に際して電磁ノイズを発生させず、またノイズの影響も受けない。さらに、サブミリメートルクラスの大きさの機器を作るため、その駆動源として微小な圧電アクチュエータが求められている。圧電体装置は、上記の超音波モータ、圧電アクチュエータ等の振動部分に用いられている。先ず、従来の圧電体装置の構成を説明する。

【0003】

従来の圧電体装置の構成を図14及び図15に示す。一般に金属やシリコンなどの基板上の所定の位置にバルク材の焼結体を加工した圧電体17が設けられている。図14に、基板3と圧電体17を接着剤16を用いて貼り合わされた圧電体装置を示す。圧電体はバルク材の焼結体を所望の大きさ、厚さに研磨加工を施したり、グリーンシートから型抜きして熱処理したものをを用いている。このようなバルク材の焼結体、グリーンシートからの成形体では、厚みがおよそ $100\ \mu\text{m}$ 以上のものが一般的である。

30

【0004】

一方、接着剤による貼り合わせの他に、スパッタ法や印刷法などを用いて、基板上に圧電体を直接形成する手法がある。図15に直接形成法により作製した圧電体装置を示す。通常、スパッタ法やゾルゲル法により形成される圧電体の厚みは、数百～数 $\mu\text{m}$ であり、印刷法では $50\sim$ 数 $100\ \mu\text{m}$ 程度である。

40

また、いずれの構成においても、圧電体17には電極が設けられており、電極を通じて交流電圧が印加されるようになっている。

【0005】

このような圧電体装置を振動部分に用いた超音波モータの概略構成を図16に示す。この超音波モータは、ステータ13と移動体7(ロータ)より構成されている。さらに、このステータ13は、一般に弾性材の振動体6と電極付きの圧電体17を備えており、この振動体6と圧電体17は接着剤16により貼り合わされている。このような構成の超音波モータでは、圧電体17に交流電圧が印加されると、圧電効果によって生じた力が振動体6に伝播し、ステータ13(振動体6)に加圧接触している移動体部分7が駆動することとなる。

50

## 【 0 0 0 6 】

上記の説明で代表されるように、圧電体装置の基本的構成は圧電体と基板を接着剤で貼り合わせた構成、もしくは基板上に圧電体を直接形成した構成となっている。

## 【 0 0 0 7 】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、従来のような構成では、以下のような問題点があった。

すなわち、従来のように接着剤を使用した場合、圧電体より発生した力が伝播する際に接着層で乱反射したり吸収されてしまい、その結果として、振動部の電気的および機械的な性能や信頼性を低下させてしまうだけでなく、圧電体との接着界面における剥離現象も生じさせてしまうという不具合があった。特に、この不具合は、微小構造の駆動源として圧電体装置の振動部分を用いようとした場合に、その大きさがサブミリメートルクラスとなるために、相対的に接着層の影響が大きくなる。

10

## 【 0 0 0 8 】

このような問題が生じる本質的原因は、接着層およびその境界面が力学的に不安定な点にある。この問題を解決するために、振動体に圧電体を直接形成する方法が近年盛んに研究されてきた。

圧電体を直接形成する製造方法として、スパッタ法や、CVD法が代表的な製法であるが、寸法の小さい素子を作成できるという利点の反面、非常に工数がかかるという課題がある。また、アクチュエータの駆動力を出力するためには、圧電体層を数～数十 $\mu\text{m}$ の厚みに形成する必要があるが、上記に示す従来法では、数～数十 $\mu\text{m}$ の厚さの膜を形成するのは困難であった。

20

## 【 0 0 0 9 】

また、他の製造方法として、インクジェットプリンタヘッドの圧電素子に広く用いられているスクリーン印刷法がある。この製造方法は圧電体ペーストを基板に塗布し、乾燥させ、さらに焼成することにより製造する方法である。しかしながら、1000以上の高温で焼成するため、基板と圧電体ペーストにかかる熱応力の差により割れが発生したり、耐熱性基板を用いなければならないという制約がある。

## 【 0 0 1 0 】

同じく圧電体を直接形成する製造方法として水熱法が知られている。これはチタン酸ジルコン酸鉛を主成分とする強誘電体セラミックス（以下、PZTと称する）の強アルカリ性溶液をオートクレーブ中で反応させ、チタン、あるいは酸化チタン基板の上にPZTを形成するものである。ここではPZTを形成できる基板がチタン、あるいはチタンを含む材料といったように限定されてしまう。

30

## 【 0 0 1 1 】

そこで、本発明は、これらの問題点を解決して製造工程を簡略化でき、しかも特性の向上、安定した圧電体装置の製造方法および装置を提供することを目的としている。

## 【 0 0 1 2 】

## 【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本発明は、圧電体装置の構成において、基板と圧電体層の間に粒径1 $\mu\text{m}$ 以下の超微粒子からなる超微粒子層が形成されるとともに、前記超微粒子層と前記圧電体が接合された接合面を備えるとした。また、基板と圧電体層との間に超微粒子層が形成されるとともに、超微粒子層が圧電体層の主成分とおよそ同一の主成分であることとした。また、基板と圧電体層との間に超微粒子層が形成されるとともに、超微粒子層が圧電体層の結晶構造とおよそ同一の結晶構造であることとした。

40

## 【 0 0 1 3 】

さらに、1 $\mu\text{m}$ 以下の超微粒子層と圧電体層がチタンとジルコニウムと鉛を有することとした。また、上述した構成の圧電体装置を製造するために、本発明の製造方法は、基板上に1 $\mu\text{m}$ 以下の超微粒子層を形成する第1の工程と、前記超微粒子層上に圧電体層を接合する第2の工程と、を備えることとした。

## 【 0 0 1 4 】

50

さらに、第1の工程が、1 μm以下の超微粒子を噴射堆積して第1の超微粒子層を形成する工程と、前記第1の超微粒子層に超微粒子を含んだペースト状の溶液を塗布する第2の超微粒子層を形成されることとした。あるいは、基板上に1 μm以下の超微粒子層を形成する第1の工程と、前記超微粒子層上に圧電体を接合する第2の工程と、を備えることとした。

【0015】

さらに、超微粒子層上に圧電体を接合する第2の工程において、超微粒子層と圧電体層を接合する手段として水素結合を用いることとした。

【0016】

【発明の実施の形態】

本発明による圧電体装置は、基板と圧電体層との間に超微粒子層が形成されるとともに、超微粒子層が圧電体層の主成分とおよそ同一の主成分であることとした。このように超微粒子層と圧電体層の主成分を同一にすることにより、基板と圧電体層との密着性を高めるだけでなく、焼成時における圧電体層と接合層との熱膨張差を減少させる効果がある。

【0017】

また、基板と圧電体層との間に超微粒子層が形成されるとともに、超微粒子層が圧電体層の結晶構造とおよそ同一の結晶構造であることとした。このように構成により、圧電体層と基板との接合部分に同じ結晶構造を持つ超微粒子層を介在させることとなり、基板と圧電体層との密着性を高めることができる。各層の境界面において同じ結晶構造を有する層同士を接触させることにより各層を形成する結晶の格子間隔が近くなり格子間の歪みが少なくなる。したがって接合層で生じていた圧電振動の吸収、乱反射が起こりにくくなる。

【0018】

さらに、超微粒子層と圧電体層がチタンとジルコニウムと鉛を有することとした。これは、圧電体装置に用いられる圧電体の中でも特に優れた圧電特性を示すPZTの成分であるチタンとジルコニウムと鉛を超微粒子層と圧電体層の両方に用いることにより、接合による圧電体の振動特性のばらつきおよび特性不良を減少させる効果がある。

【0019】

また、超微粒子層を形成する超微粒子の粒径が1 μm以下であることとした。これは、圧電体の表面粗さ、うねりに対してより微小な1 μm以下の超微粒子を接合層に用いることにより、基板および圧電体との接触点を増加させて密着性を上げることができる。さらに、粒径を小さくすることにより粒子の体積に対する表面積の割合(比表面積)を増加させることができるため、接合層のもつ表面エネルギーが増加し、焼成時の熱エネルギーの駆動源となる。そのため通常のPZT系の圧電体を焼成するよりも低温で焼成することができる。

【0020】

あるいは、本発明は圧電体装置の製造方法において、基板上に超微粒子層を形成する第1の工程と、超微粒子層上に圧電体層を形成する第2の工程と、を備えることとした。

さらに、超微粒子層を形成する第1の工程が、超微粒子を含んだペースト状の溶液を基板上に塗布することによって形成することとした。すなわち、接合層にポリビニルアルコールやグリセリンなどの成形助剤を含んだ超微粒子のペーストを用いることにより、成形助剤が超微粒子間をつなぎとめる役割を果たし焼成後の圧電体層との密着性を上げるだけでなく、十分な強度を持たせる効果がある。さらに圧電体層をグリーンシートから形成した場合、超微粒子のペースト上に圧電体層のグリーンシートを加圧密着させるとともにペーストと圧電体層の同時焼成が可能である。

【0021】

また、超微粒子層を形成する第1の工程が超微粒子を基板上に噴射堆積することにより形成されることとした。これは、高速で非常に大きな運動エネルギーを持った超微粒子を基板に直接衝突させるため基板との密着性を上げることができるとともに、十分な強度を持った超微粒子層を形成することができる。

また、圧電体層と同じ結晶構造を持ち、主成分が同一である超微粒子を用いることにより

10

20

30

40

50

圧電体の振動特性の劣化を防ぐ効果がある。

【0022】

また、粒径およそ $0.1\ \mu\text{m}$ の超微粒子を用いることにより気体分子の流れに乗りやすくなるため、容易にエアロゾル状態になり得る。すなわち高速で大きな運動エネルギーを持った超微粒子を噴射堆積することができる。

あるいは、本発明による圧電体装置の製造方法において、基板上に超微粒子層を形成する第1の工程と、超微粒子層上に圧電体を接合する第2の工程と、を備えることとした。これは、圧電体と同じ主成分の超微粒子を基板上に直接形成するため、接着剤を介して圧電体を接合するよりも基板との密着性を上げることができる。しかも、圧電体層と同じ結晶構造を有する超微粒子を用いており、接合面において同じ格子間隔を持った面同士を接合

10

【0023】

また、超微粒子層上に圧電体を接合する第2の工程において、超微粒子層と圧電体を接合する手段として水素結合を用いることとした。これは、同じ結晶構造を有する超微粒子層と圧電体層との接合面に水酸基を吸着させてその水酸基間の水素結合を利用している。金属結合や共有結合のように結合に至らしめるための高温熱処理を必要とせず、さらに結合角や結合距離のフレキシビリティが比較的大きいという利点がある。結合に関与する酸素原子および水素原子の原子間距離は数程度であるため、接合層の厚みは従来の接着剤による接合層に比べて非常に薄く、圧電体の持つ振動が接合層で吸収されたり乱反射する問題は極めて少ない。

20

【0024】

【実施例】

以下に、本発明の実施例を図面を基に説明する。

(実施例1)

図1は、実施例1の圧電体装置の構成を表す縦断面図である。基板3上の所定の位置に下部電極4が形成され、その上に圧電体層2と同じ結晶構造を有し、同一主成分からなる超微粒子を含んだ超微粒子層1が形成されている。ここでは超微粒子層1はPZTを含んでいる。さらに、その上にPZT系の圧電体層2を形成し、その圧電体層2上に上部電極5が形成されている。なお、基板3が下部電極4としても機能する場合は、基板3上に直接超微粒子層1を設け、超微粒子層1上に圧電体層2を形成する。

30

【0025】

図14と図15に示した従来の圧電体装置と比較して、基板と圧電体層の間に接着剤を用いず、圧電体とおよそ同じ主成分を有する超微粒子層を介しているため、介在した超微粒子層において圧電体の振動が妨げられる可能性は少ない。しかも、圧電体と同一主成分であり、同じ結晶構造を有する層であるため圧電体層との密着性が良い。

【0026】

本発明の実施例1における圧電体装置の製造方法を図8、図9を用いて説明する。圧電体装置の製造方法の工程を表す模式図を図8に、製造工程のフローチャートを図9に示す。はじめに、基板の洗浄工程(工程A)により洗浄された基板3の表面に蒸着法やスパッタ法により、下部電極4を形成する(工程B)。具体的には、シリコンウエハを洗浄後、中間層Ti膜とSiの反応を防止する拡散バリア層として約1000の熱酸化膜を形成した。続いて、Pt膜との密着改善層として中間層にTi膜をスパッタ法を用いて約500程度スパッタした後、下部電極4となるPt膜をスパッタ法を用いて約1000~3000程度スパッタした。Ti膜のスパッタは、アルゴンの流量が11SCCM、RFパワーが0.2kW、圧力が4mtorrの条件でおこなった。Pt膜のスパッタは、アルゴンの流量が120SCCM、RFパワーが2kW、圧力が4mtorrの条件でおこなった。ここで、下部電極をPtで作成したのはPtが高温熱処理によって変質しないためである。スパッタされたPt膜は顕著な配向を示さないが、比較的(111)面の配向が強く、下層のTiとの格子間隔からPZTの配向に適している。

40

【0027】

50

次いで、超微粒子層の形成工程（工程C）では、圧電体層と同じ結晶構造を有し、同一主成分からなる超微粒子のペースト状の溶液を基板3に塗布する方法を用いて形成した。ここではPZTを含む超微粒子のペースト状の溶液を用いた。ペースト状の溶液は粒径1 $\mu$ m以下からなる圧電体層2と同じPZTを含む粉末原料に成形助剤としてポリビニルアルコール（以下PVAと称する）を約1%加え混練、脱泡して調製する。このペースト状の溶液を印刷法、あるいはスピンコート法、ディップ法などを用いて基板3上に均一に塗布し超微粒子層1を形成した。ここでは成形助剤の配合比、および混練の仕方によりペースト状の溶液の粘性は調整することが可能である。したがって得られる超微粒子層の厚みを数 $\mu$ m～数十 $\mu$ mに制御することができる。

#### 【0028】

次に工程Dにおいて、超微粒子層1と同じ結晶構造を有し同一主成分から成る圧電体の焼結材、あるいはグリーンシートを加圧密着させて一体で焼成し圧電体層2を形成する。ここでは、PZTを含むペースト状の溶液を基板3上に塗布した後、同じくPZTを含む圧電体の焼結材、あるいは型抜きされたグリーンシートを加圧密着させた。加圧は0.5～2kgfでおこない、これを600～900で0.5～2時間の条件で大気雰囲気中にて焼成することにより圧電体層2を形成した。作成した圧電体装置において超微粒子層1を含めた圧電体層2の厚みは約80 $\mu$ mを得た。

#### 【0029】

この超微粒子層1を含めた圧電体層2の結晶構造をX線回折により調べたところ、ペロブスカイト型構造の結晶ピークが検出された。超微粒子層1のみ形成したときのX線回折ピークと比較して、より鋭くシャープなピークが観察された。最後に、上部電極形成工程（工程E）により、この圧電体層2の表面に金電極（上部電極5）を蒸着法で形成した。この物性を測定したところ、比誘電率1200、電圧歪み定数140pC/Nとなる優れた特性を示した。

#### （実施例2）

次に実施例2の圧電体装置を図面に基づいて説明する。図2は、実施例2の圧電体装置の構成を模式的に表す縦断面図である。基板3上の所定の位置に下部電極4が形成され、その上に圧電体層と同一主成分からなり、同じ結晶構造を有する超微粒子を基板上に噴射堆積することにより形成された第1の超微粒子層1aを備えている。さらに同一の超微粒子からなるペースト状の溶液を塗布することにより形成された第2の超微粒子層1bが設けられている。ここでは第1の超微粒子層1aと第2の超微粒子1bはPZTを含んでいる。さらに、その上にPZT系の圧電体層2を形成し、その圧電体層2上に上部電極5が形成されている。なお、基板3が下部電極4としても機能する場合は、基板3上に直接第1の超微粒子層1aを設け、超第2の微粒子層1b上に圧電体層2を形成する。

#### 【0030】

図14に示した従来の圧電体装置と比較して、基板と圧電体層の間に接着剤を用いず、圧電体とおよそ同じ主成分を有する超微粒子層を介しているため、介在した超微粒子層において圧電体の振動が妨げられる可能性が少ない。しかも、超微粒子の衝突エネルギーを利用するため、従来に比べても低温で基板上に直接形成することができる。

#### 【0031】

本発明の実施例2における圧電体装置の製造方法を図10、図11を用いて説明する。圧電体装置の製造方法の工程を表す模式図を図10に、製造工程のフローチャートを図11に示す。

はじめに、基板の洗浄工程（工程A）により洗浄された基板3の表面に蒸着法やスパッタ法により、下部電極4を形成する（工程B）。具体的には、約1000厚の熱酸化膜が形成されたシリコンなどの基板上に中間層となるTi膜をスパッタ法を用いて約500程度スパッタした後、下部電極4となるPt膜をスパッタ法を用いて約1000～3000程度スパッタした。Ti膜のスパッタは、アルゴンの流量が11SCCM、RFパワーが0.2kW、圧力が4mtorrの条件下でおこなった。Pt膜のスパッタは、アルゴンの流量が120SCCM、RFパワーが2kW、圧力が4mtorrの条件下でおこな

10

20

30

40

50

った。

#### 【0032】

次いで、工程Cで第1段階として超微粒子を噴射堆積させて第1の超微粒子層1aを形成し、さらに工程Dで第2段階として同一の超微粒子からなるペースト状の溶液を塗布することにより第2の超微粒子層1bを形成する。ここでは圧電体層と同一のPZTを含む超微粒子を用いた。ここで超微粒子層1aと超微粒子層1bは工程上区別するが、本発明の圧電体装置における振動部分の構成においては同じ特性を示すものとし、超微粒子層1として同一層とみなす。

#### 【0033】

工程Cにおいて、超微粒子層1aの形成は超微粒子15を基板3に噴射堆積する方法を用いて形成した。この噴射堆積法は公知の手法であり、例えば特開平4-188503号公報や、賀集氏による「超微粒子のガス・デポジション」(真空Vol.35、No.7、1992、pp649~pp653)に開示されている。この手法は、粒径が1 $\mu$ m以下の超微粒子を不活性ガス(窒素、ヘリウム、アルゴン、水素ガスなど)と混合してエアロゾル化し、そのエアロゾルをガスの流れを用いて搬送し、基板に吹き付け堆積させる成膜手法である。

#### 【0034】

はじめに、基板3を130~200程度で加熱し、PZTを含む超微粒子15をN<sub>2</sub>の不活性ガス流にのせ、基板3の上面に噴射ノズル14を通して高速で噴射堆積する。この時、基板3をホルダーしたステージの移動速度は1~125 $\mu$ m/sと変化させることにより超微粒子層1aの膜厚を調節することができる。実施例1では、約125 $\mu$ m/sの成膜速度で同じエリアを5回往復させることにより、およそ10 $\mu$ mの膜厚を得た。

#### 【0035】

次いで工程Dにおいて、同じ超微粒子のペースト状の溶液を塗布することにより超微粒子層1bを形成する工程を示す。

ペースト状の溶液は粒径1 $\mu$ m以下からなる圧電体層2と同じPZTを含む粉末原料に成形助剤としてポリビニルアルコール(以下PVAと称する)を約1%加え混練、脱泡して調製する。このペースト状の溶液を印刷法、あるいはスピンコート法、ディップ法などを用いて超微粒子層1aを形成した基板3上に均一に塗布した。

#### 【0036】

次に工程Eにおいて、超微粒子層1aおよび超微粒子層1bを形成した基板上に圧電体の焼結材、あるいはグリーンシートを加圧密着させて一体で焼成し圧電体層2を形成する。ここでは、超微粒子層1bを形成した後、同じくPZTを含む圧電体の焼結材、あるいは型抜きされたグリーンシートを加圧密着させた。加圧は0.5~2kgfでおこない、これを600~900で0.5~2時間の条件で大気雰囲気中にて焼成することにより圧電体層2を形成した。作成した圧電体装置において超微粒子層1を含めた圧電体層2の厚みは約80 $\mu$ mを得た。

#### 【0037】

この超微粒子層1を含めた圧電体層2をX線回折により結晶構造を調べたところ、ペロブスカイト型構造の結晶ピークが検出された。超微粒子層1のみ形成したときのX線回折ピークと比較して、より鋭くシャープなピークが観察された。最後に、上部電極形成工程(工程F)により、この圧電体層2の表面に金電極(上部電極5)を蒸着法で形成した。この物性を測定したところ、比誘電率1200、電圧歪み定数150pC/Nとなる優れた特性を示した。

#### (実施例3)

次に実施例3の製造方法を図面に基づいて説明する。装置の構成は図1に示すように、実施例1の製造方法を用いた場合と同じである。すなわち、基板3上の所定の位置に下部電極4が形成されており、圧電体と同じ結晶構造を有し、同一主成分からなる超微粒子を噴射堆積させることにより形成された超微粒子層1が下部電極上に設けられている。ここでは超微粒子層1はPZTを含む超微粒子を用いて形成されている。さらに、超微粒子層1

10

20

30

40

50

とPZT系の圧電体層2が水素結合を用いて接合されており、その圧電体層2の上面に上部電極5が形成されている。なお、基板3が下部電極4としても機能する場合は、基板3上に直接超微粒子層1を設け、超微粒子層1上に圧電体層2を接合する。

#### 【0038】

図14に示した従来の圧電体装置と比較して、基板と圧電体層の間に接着剤を用いず、圧電体とおよそ同じ主成分を有する超微粒子層を介しているため、介在した超微粒子層において圧電体の振動が妨げられる可能性が少ない。しかも、超微粒子の衝突エネルギーを利用するため、従来に比べても低温で基板上に直接形成することができる。また、超微粒子層と圧電体を水素結合を用いて接合しているため、従来の接着層に比べて接合層の厚みが数程度と非常に小さい。

10

#### 【0039】

さらに、本発明の実施例3による圧電体装置の製造方法を図12、図13を用いて詳細に説明する。圧電体装置の製造方法の工程を表す模式図を図12に、製造工程のフローチャートを図13に示す。

はじめに、基板の洗浄工程(工程A)により洗浄された基板3の表面に蒸着法やスパッタ法により、下部電極4を形成する(工程B)。具体的には、約1000厚の熱酸化膜が形成されたシリコンなどの基板上に中間層となるTi膜をスパッタ法を用いて約500程度スパッタした後、スパッタ法を用いて下部電極4となるPt膜を約1000~3000程度スパッタした。Ti膜のスパッタは、アルゴンの流量が11SCCM、RFパワーが0.2kW、圧力が4mtorrの条件でおこなった。Pt膜のスパッタは、アルゴンの流量が120SCCM、RFパワーが2kW、圧力が4mtorrの条件でおこなった。

20

#### 【0040】

次いで、超微粒子層の形成工程(工程C)では、超微粒子15を基板3に噴射堆積する方法を用いて形成した。ここでは圧電体層と同じPZTを含む超微粒子を用いた。この手法は、粒径が1μm以下の超微粒子を不活性ガス(窒素、ヘリウム、アルゴン、水素ガスなど)と混合してエアロゾル化し、そのエアロゾルをガスの流れを用いて搬送し、基板に吹き付け堆積させる成膜手法である。

#### 【0041】

はじめに、基板3を130~200程度で加熱し、PZTを含む超微粒子15をN<sub>2</sub>の不活性ガス流にのせ、基板3の上面に噴射ノズル14を通して高速で噴射堆積する。この時、基板3をホルダーしたステージの移動速度は1~125μm/sと変化させることによって超微粒子層1の膜厚を調節することができる。実施例1では、約125μm/sの成膜速度で同じエリアを5回往復させることにより、およそ10μmの膜厚を得た。

30

#### 【0042】

次いで工程Dにおいて、超微粒子層1と圧電体層2を水素結合を用いて接合する工程を示す。

ここでは圧電体層2にPZT系の圧電体の焼結材を用いた。圧電体層2は粒度0.05μmのアルミナを用いて平均面粗度(Ra)がおよそ40nmまで表面研磨をおこなった。同様に超微粒子層1についても表面研磨をおこないRaがおよそ20~40nmを得た。さらに水酸基の吸着はドライプロセスによりおこなった。まず、水蒸気を4×10<sup>-2</sup>Paまで導入し、イオン源内部で電子衝撃によりイオン化し、イオン加速電圧300V、イオン電流密度200μA/cm<sup>2</sup>の条件で超微粒子層1と圧電体層2の表面にイオン照射した。イオン照射時間は試料(ここでは超微粒子層1および圧電体層2)表面に存在する水素量を測定することにより決定した。各々の表面に水酸基を吸着させた後、大気中で加圧することにより密着させて接合した。密着の条件は、400においては30MPa、250においては150MPaとした。圧電体層2に焼結材ではなく、型抜きされたグリーンシートを用いた場合は加圧密着させた後、600~900で30分~2時間の条件下で大気雰囲気中にて焼成することにより圧電体層2を形成した。接合強度は引っ張り試験によって評価した。作成した圧電体装置において超微粒子層1を含めた圧電体層2の厚み

40

50

は約 80  $\mu\text{m}$  を得た。

【0043】

最後に、上部電極形成工程（工程 E）により、この圧電体層 2 の表面に金電極（上部電極 5）を蒸着法で形成した。この物性を測定したところ、比誘電率 1200、電圧歪み定数 150 pC/N となる優れた特性を示した。

次に、実施例 1 から実施例 3 の製造方法を用いて作製した圧電体装置を振動部分に用いた超音波モータの構成と特性について説明する。

【0044】

この発明による圧電体装置を振動部分に用いた超音波モータの基本構造を図 17 に、振動部分の構造を図 18 に示す。超微粒子層 1 を介して圧電体層 2 が設けられた振動体 6 は金属などからなる弾性部材で作製されており、中心軸 11 に打ち込みなどにより支持されている。さらに、この中心軸 11 が案内として組み込まれ、上方にある加圧ばね 10 により振動体 6 に加圧接触するように配置されている。ここで 2 本のリード線 12 に時間的位相がほぼ 90°異なる信号を印加することによって、圧電体層 2 と振動体 6 は屈曲運動による機械的進行波を発生し、振動体 6 に加圧接触させた移動体 7 が回転運動する構成である。実際に本発明の圧電体装置の構成を持つ超音波モータを製作した。モータの径は 4 mm とし、振動体 6 の材質にはアルミニウム、または SUS304 材を用いた。振動体 6 の形状は、NC 旋盤により丸棒原料を加工することで振動体 6 の形状は形成され、煽動面も切削加工で仕上げられている。摩擦材 8 の材質はカーボンファイバを含有した複合プラスチックを用いた。

【0045】

実施例 1 から実施例 3 の製造方法を用いて作製された超音波モータの特性を以下に示す。図 3 に従来の接着剤 16 による接合方法によって構成された振動体を備えた超音波モータのアドミッタンス特性を示し、図 4 に本実施例の製造方法を用いて形成した超微粒子層 1 が設けられた振動体を備えた本発明による超音波モータのアドミッタンス特性を示す。ただし、これら図に示したアドミッタンス特性は移動体を取り外した状態、すなわち、振動体が上下方向に対してフリーな状態で測定したものである。対象としたモータ仕様の概略を下記の表 1 に示す。

【0046】

【表 1】

振動モード	径方向 周方向	1次 2次
振動体	材質  外径 厚み	アルミニウム、 SUS304 4 mm 1 mm
圧電振動子	外径 圧電体層の厚み 超微粒子層の厚み 圧電定数 機械的 Q 値	4 mm 0.08 mm 0.001~0.01 mm 約 $140 \times 10^{-12}$ C/N 約 1500

【0047】

図 3 では、主共振点以外でのスプリアス振動が見られるのに対して、図 4 では機械的 Q 値が高く、主共振点以外でのスプリアス振動が見られない。

これらのアドミッタンス特性において、スプリアス振動は境界面での力の乱反射に起因す

る現象であり、Q値は力が伝播する際の減衰の度合いを示すものであるから、本発明によるアクチュエータは従来型のアクチュエータと比較して、大きく性能向上していることが判明する。

#### 【0048】

図5は本発明にかかる超微粒子層を備えた進行性超音波モータの周波数 - 回転数特性を示す図表である。駆動電圧は正弦波形で約6 Vp-p、振動体6への移動体7の加圧力は約10 gfでの特性である。

本発明の構成によれば、回転周波数領域も比較的広く、最大回転数も6000 rpm以上と高速なことから、中速～高速領域における超音波モータの適用も可能であり、本発明の有効性を示すものである。

#### 【0049】

つぎに、この超音波モータを駆動させた場合のトルク性能、および耐久性を調査した。図6に超音波モータのトルク性能を示す効率の測定結果を示し、図7に耐久性についての測定結果を示す。図中の(a)は本発明にかかる超微粒子層を設けた振動部分を有する超音波モータの測定結果を表し、(b)は従来例による振動部分を有する超音波モータの測定結果を表している。これらの結果から明らかなように、効率および耐久性ともに、本発明による振動部分の構造を有する超音波モータは従来法に比べ明らかに優れている。このように、超微粒子層を介して振動体と圧電体を接合した振動部分を有する超音波モータでは、性能および耐久性が向上すると言える。

#### 【0050】

すなわち、本発明にかかる超微粒子層を設けた振動部分の構成によれば、径小薄型な超音波モータにおいても高効率化が実現できるようになると言える。

なお、実施例ではPZT系圧電体の組成を純粋な二成分系としたが、圧電特性を向上させるために、例えば、マグネシウムニオブ酸鉛 - ジルコン酸鉛 - チタン酸鉛のような三成分系にしたり、また、耐電圧向上のために鉄、経時変化を小さくする目的でクロム、強度向上のためにアンチモンのような添加物を加えても良い。この場合、超微粒子粉末原料の組成を目的とする組成に合わせて調製することにより対応することができる。

#### 【0051】

また、実施例において、セラミック系圧電体の超微粒子をエアロゾル化するための不活性ガスはN<sub>2</sub>、He、Arなどいずれのものも使用できる。

なお、圧電振動子を利用した超音波モータについては定在波方式と進行波方式が考えられるが、本発明にかかる振動部分の構造はいずれの方式においても利用することができる。

#### 【0052】

##### 【発明の効果】

この発明によれば、基板上に圧電体と同じ結晶構造を有し同一主成分から成る超微粒子層を直接形成することができるので、従来の接着剤を用いず、超微粒子層を介してバルクの圧電体と基板を接合することができる。

本発明では、下部電極を形成した基板、あるいは下部電極として機能する基板に超微粒子層を形成したことにより、圧電体層と基板の間に圧電特性を低下させる接着層をなくした。これにより、圧電体層より発生した力が接着層で乱反射したり、吸収されることなく伝播し、不要なスプリング振動が発生せず、良好なアドミッタンス特性を示す。さらに、モータの効率、および耐久性を向上させることができる。特に、マイクロマシンのような微小構造の駆動源として電気的および機械的性能を向上させ、信頼性を高めることができる。また、1 μm以下の超微粒子を用いることにより、緻密な膜が構成されるだけでなく、基板との密着性を良くし、さらに圧電体層との密着性をあげることが可能である。

##### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による圧電体装置の構造を示す概略図。

【図2】実施例2による圧電体装置の構造を示す概略図

【図3】従来の超音波モータの特性を表す図表。

【図4】本発明に係る超音波モータの特性を表す図表。

10

20

30

40

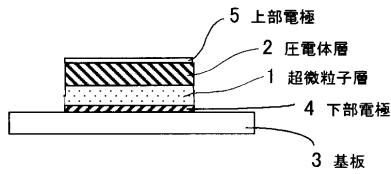
50

- 【図 5】本発明に係る超音波モータの周波数 - 回転特性を表す図表。  
 【図 6】本発明に係る超音波モータの効率を表す図表。  
 【図 7】本発明に係る超音波モータの耐久性を表す図表。  
 【図 8】本発明の実施例 1 による製造工程を表す模式図。  
 【図 9】本発明の実施例 1 による製造工程を示すフローチャート図。  
 【図 10】本発明の実施例 2 による製造工程を表す模式図。  
 【図 11】本発明の実施例 2 による製造工程を示すフローチャート図。  
 【図 12】本発明の実施例 3 による製造工程を表す模式図。  
 【図 13】本発明の実施例 3 による製造工程を示すフローチャート図。  
 【図 14】従来の製造方法による圧電体装置を示す概略図。 10  
 【図 15】従来の製造方法による圧電体装置を示す概略図。  
 【図 16】従来の圧電体装置を用いた超音波モータの振動部分を示す概略図。  
 【図 17】本発明の圧電体装置を用いた超音波モータの縦断面図。  
 【図 18】本発明による圧電体装置を用いた超音波モータの振動部分の構造を示す概略図

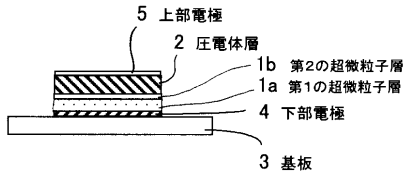
。【符号の説明】

- |     |            |    |
|-----|------------|----|
| 1   | 超微粒子層      |    |
| 1 a | 第 1 の超微粒子層 |    |
| 1 b | 第 2 の超微粒子層 |    |
| 2   | 圧電体層       | 20 |
| 3   | 基板         |    |
| 4   | 下部電極       |    |
| 5   | 上部電極       |    |
| 6   | 振動体        |    |
| 7   | 移動体（ロータ）   |    |
| 8   | 摩擦材        |    |
| 9   | 固定台        |    |
| 1 0 | 加圧ばね       |    |
| 1 3 | ステータ       |    |
| 1 5 | 超微粒子       | 30 |

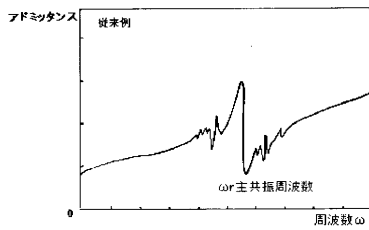
【図1】



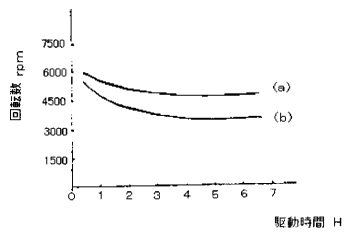
【図2】



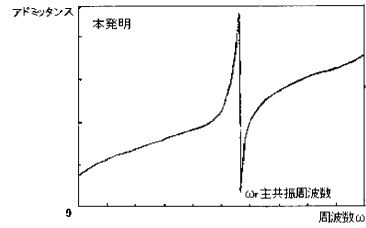
【図3】



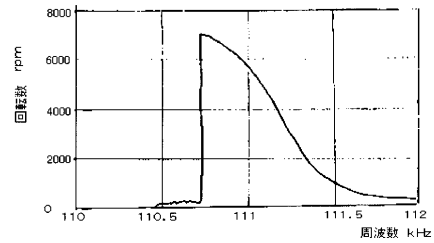
【図7】



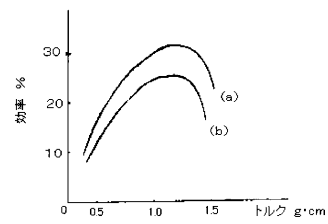
【図4】



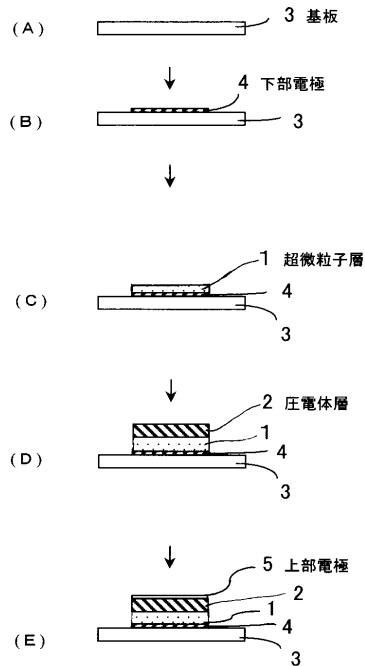
【図5】



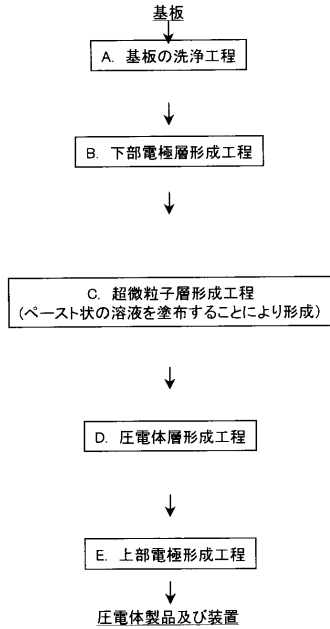
【図6】



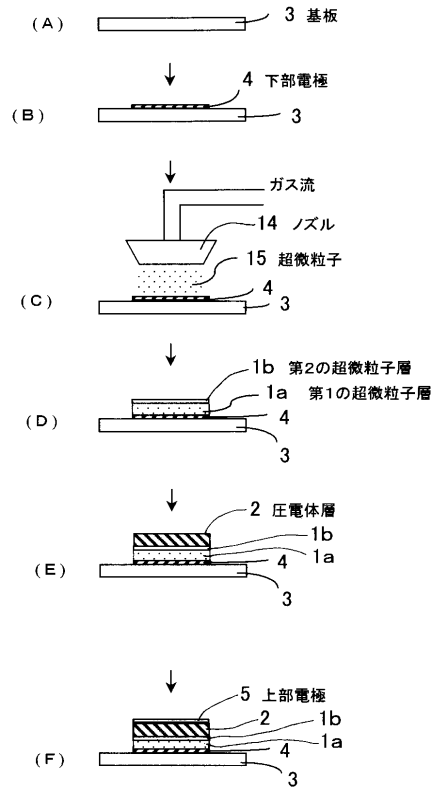
【図8】



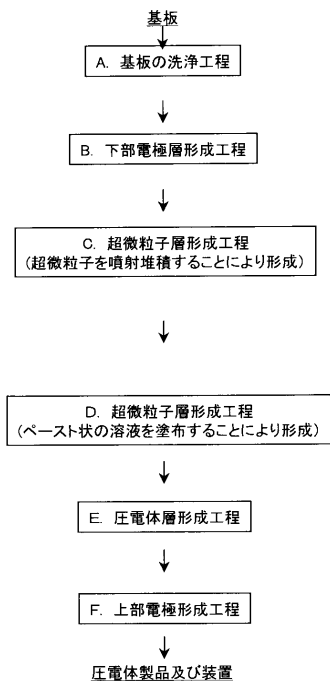
【図9】



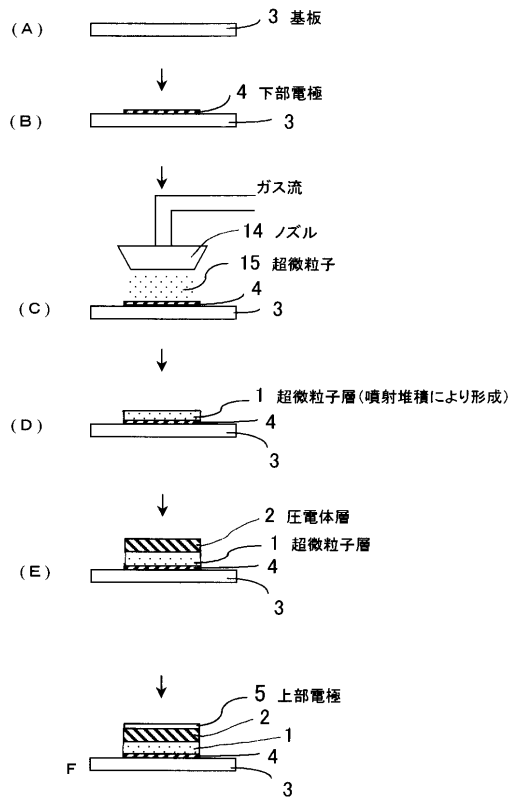
【図10】



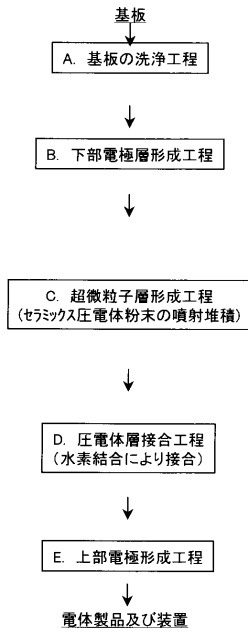
【図11】



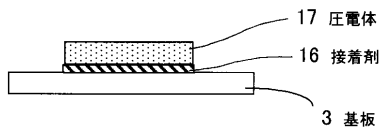
【図12】



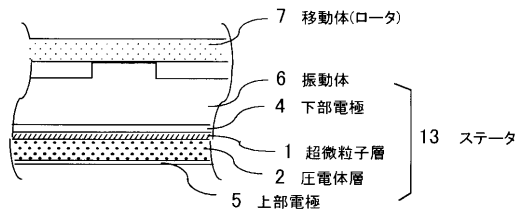
【図 13】



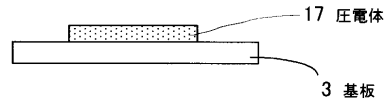
【図 14】



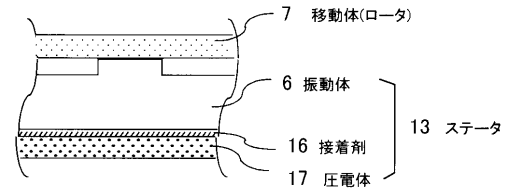
【図 18】



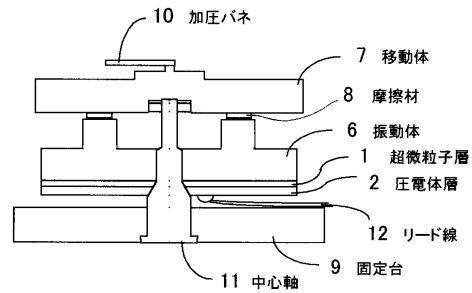
【図 15】



【図 16】



【図 17】



---

フロントページの続き

(72)発明者 作原 寿彦

千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地 セイコーインスツルメンツ株式会社内

審査官 井原 純

(56)参考文献 特開平 0 9 - 2 9 8 3 2 4 ( J P , A )

特開平 0 6 - 2 9 1 3 8 7 ( J P , A )

特開平 0 6 - 1 1 9 8 1 1 ( J P , A )

特開平 0 7 - 2 0 6 6 0 0 ( J P , A )

特開平 0 8 - 2 3 0 1 8 1 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H01L 41/09

H01L 41/187

H01L 41/22

H02N 2/00