(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第3644267号
(P3644267)

(45)発行日　平成17年4月27日(2005.4.27)　(24)登録日　平成17年2月10日(2005.2.10)

(51)Int.Cl.[7]	F I		
B41J 2/045	B41J	3/04	103A
B41J 2/055	B41J	3/04	103H
B41J 2/16	H01L	41/08	C
H01L 41/09	H01L	41/22	Z
H01L 41/22			

請求項の数 8　(全 13 頁)

(21)出願番号　特願平10-228203
(22)出願日　平成10年8月12日(1998.8.12)
(65)公開番号　特開2000-52558(P2000-52558A)
(43)公開日　平成12年2月22日(2000.2.22)
審査請求日　平成15年6月9日(2003.6.9)

(73)特許権者　000002369
セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区西新宿２丁目４番１号
(74)代理人　100079108
弁理士　稲葉　良幸
(74)代理人　100080953
弁理士　田中　克郎
(74)代理人　100093861
弁理士　大賀　眞司
(72)発明者　奥山　雅則
大阪府豊中市待兼山町１番３号
大阪大学大学院基礎工学研究科内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】圧電アクチュエータの製造方法及びインクジェット式記録ヘッドの製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

下部電極および上部電極に挟持された圧電体薄膜を備える圧電アクチュエータの製造方法において、

前記下部電極上に金属および酸素のみからなるアモルファス状態の前駆体膜を形成する工程と、

前記前駆体膜を、所定のアルカリ性溶質が０．１Ｍ[ｍｏｌ／ｌ]以下の濃度に調整され形成されたアルカリ水溶液に浸して一定条件下でランダムな配向の結晶化を促進させる水熱処理工程と、

を備えることを特徴とする圧電アクチュエータの製造方法。

【請求項２】

前記アルカリ性溶質は、ＫＯＨ、Ｂａ（ＯＨ）$_2$、Ｐｂ（ＯＨ）$_2$、Ｂａ（ＯＨ）$_2$＋Ｐｂ（ＯＨ）$_2$またはＫＯＨ＋Ｐｂ（ＯＨ）$_2$のうちいずれかである請求項１に記載の圧電アクチュエータの製造方法。

【請求項３】

前記前駆体膜を形成する工程は、有機金属を含むゾルを前記下部電極上に塗布して熱を加えることにより前記アモルファス状態の前駆体膜を形成することを特徴とする請求項１に記載の圧電アクチュエータの製造方法。

【請求項４】

前記前駆体膜を形成する工程は、ＲＦスパッタ法、イオンビームスパッタ法または電子

ビーム蒸着法のいずれかの方法により前記金属および酸素のみからなるアモルファス状態の前駆体膜を形成する請求項１に記載の圧電アクチュエータの製造方法。
【請求項５】
前記水熱処理工程の一定条件は、１００℃乃至２００℃の温度下であって、かつ、１０気圧以下の圧力下である請求項１に記載の圧電アクチュエータの製造方法。
【請求項６】
前記水熱処理工程の一定条件は、１４０℃の温度下であって、かつ、４ｋｇ／ｃｍ^{2}の圧力下である請求項１に記載の圧電アクチュエータの製造方法。
【請求項７】
前記前駆体膜を形成する工程は、前記有機金属溶液を塗布する工程と、塗布して形成された有機金属膜を第１の温度で乾燥させる工程と、乾燥させた有機金属膜をさらに第２の温度で脱脂する工程と、を少なくとも１回以上繰り返して構成される請求項３に記載の圧電アクチュエータの製造方法。
【請求項８】
請求項１乃至請求項７のいずれかに記載の製造方法で製造した圧電アクチュエータを備えるインクジェット式記録ヘッドの製造方法であって、
基板の一面に振動板を形成する工程と、
前記振動板に前記圧電アクチュエータを製造する工程と、
前記圧電アクチュエータが設けられた振動板が前記圧力室の一面を形成するような配置で前記基板をエッチングし前記圧力室を形成する工程と、を備えたインクジェット式記録ヘッドの製造方法。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、インクジェット式記録ヘッド等に用いられる圧電アクチュエータに係り、特に、内部応力が極端に緩和され、ヘッドの大型化が可能な圧電アクチュエータの製造方法およびその製造品に関する。
【０００２】
【従来の技術】
圧電アクチュエータは、電気機械変換機能を呈する素子であり、結晶化した圧電性セラミックスにより構成されている。この圧電アクチュエータの製造方法としては、有機金属のゾルを電極上に塗布して結晶化させるという、いわゆるゾルゲル法を用い、最後に高熱を加えて一気に結晶化させる方法が一般的であった。
【０００３】
ところで、論文"Application of Hydrothermal Mechanism for Tailor-making Perovskite Titanate Films", IEEE Proc. of the 9th Int'l Symp. on Electrets, Shanghai, China, Sept. 25-30, pp. 617-622(1996), W-ping Xu, Masanori Okuyama, et al.,によれば、基板上に塗布し乾燥した圧電性セラミックスを、所定のアルカリ溶液中に入れて結晶化させる方法が記載されている。このように水溶液中で結晶化させる方法を水熱法という。この水熱法によればゾルゲル法に比べ比較的低い温度で結晶化が可能であるため、数々の利点が存在する。例えば、低温製造であれば結晶化の過程で発生する膜の内部応力（熱応力を含む）が少ないので、従来品よりも大きな面積の圧電体薄膜を形成可能であると考えられる。
【０００４】
上記論文では、水熱処理に使用するにはアルカリ性の処理液を用いる旨が記載されている。
【０００５】
【発明が解決しようとする課題】
しかしながら、圧力室基板の材料として微細加工に適するシリコンやあるいは圧電体薄膜層自体が、ＫＯＨ等の強アルカリ性処理液に対して溶解しやすいという問題があった。こ

のため、基板にシリコンを用いる場合には、強アルカリ性処理液に水酸化バリウムなどのＢａを含む弱アルカリ溶液を用いたり処理条件を調整したりする必要があった。特に、シリコンを用いた基板に微細加工を施す必要がある場合、たとえＢａを含む弱アルカリ処理液を用いたとしてもわずかながら浸食されるため、不都合が生じうると考えられる。処理液のアルカリ性の程度はなるべく低い方がよい。

【０００６】

そこで、本願発明者は、上記不都合に鑑み、数々の実験を実施した結果、浸食が少ない水熱処理を発見した。

【０００７】

【課題を解決するための手段】

すなわち、本発明の第１の課題は、材料や製造条件選択の自由度が高い圧電アクチュエータの製造方法を提供することである。

本発明の第２の課題は、前記圧電アクチュエータの製造方法を適用し、材料や製造条件選択の自由度が高いインクジェット式記録ヘッドの製造方法を提供することである。

本発明の第３の課題は、材料や製造条件選択の自由度が高い圧電アクチュエータの製造方法で製造された大面積化が可能な圧電アクチュエータを提供することである。

本発明の第４の課題は、材料や製造条件選択の自由度が高い圧電アクチュエータの製造方法で圧電アクチュエータが製造された、ラインプリンタなどに適するインクジェット式記録ヘッドを提供することである。

本発明の第５の課題は、材料や製造条件選択の自由度が高い圧電アクチュエータの製造方法で製造された圧電アクチュエータを有するインクジェット式記録ヘッドを備え、大面積印刷が可能なプリンタを提供することである。

【０００８】

上記第１の課題を解決する発明は、下部電極および上部電極に挟持された圧電体薄膜を備える圧電アクチュエータの製造方法において、

ａ）下部電極上に金属および酸素のみからなるアモルファス状態の前駆体膜を形成する工程と、

ｂ）前駆体膜を、所定のアルカリ性溶質が０．１Ｍ[ｍｏｌ／ｌ]以下の濃度に調整され形成されたアルカリ水溶液に浸して一定条件下で結晶化を促進させる水熱処理工程と、を備えるここで例えば、アルカリ性溶質は、ＫＯＨ、Ｂａ（ＯＨ）$_2$、Ｐｂ（ＯＨ）$_2$、Ｂａ（ＯＨ）$_2$＋Ｐｂ（ＯＨ）$_2$またはＫＯＨ＋Ｐｂ（ＯＨ）$_2$のうちいずれかである。

【０００９】

例えば前駆体膜を形成する工程は、有機金属を含むゾルを下部電極上に塗布して熱を加えることにより前記アモルファス状態の前駆体膜を形成する。

【００１０】

また例えば前駆体膜を形成する工程は、ＲＦスパッタ法、イオンビームスパッタ法または電子ビーム蒸着法のいずれかにより前記金属および酸素のみからなるアモルファス状態の前駆体膜を形成する。例えばこのスパッタ法では、５００Ｗ程度のパワーでスパッタ時間を８０分程度とし、アルゴンガスの圧力を４Ｐａ程度に設定して行われる。このときの圧電体薄膜の組成としてはＰＺＴ－ＰＭＮ等が採用可能である。

【００１１】

ここで、例えば水熱処理工程の一定条件は、１００℃乃至２００℃の温度下であって、かつ、１０気圧以下の圧力下である。また例えば、水熱処理工程の一定条件は、１４０℃の温度下であって、かつ、４ｋｇ／ｃｍ^{2}の圧力下である。

【００１２】

さらに例えば、前駆体膜を形成する工程は、有機金属溶液を塗布する工程と、塗布して形成された有機金属膜を第１の温度で乾燥させる工程と、乾燥させた有機金属膜をさらに第２の温度で脱脂する工程（例えば４００℃～５００℃）と、を少なくとも１回以上繰り返して構成される。

【００１３】

上記第２の課題を解決する発明は、本発明の製造方法で製造した圧電アクチュエータを備えるインクジェット式記録ヘッドの製造方法であって、
ａ）基板の一面に振動板を形成する工程と、
ｂ）振動板に圧電アクチュエータを製造する工程と、
ｃ）圧電アクチュエータが設けられた振動板が圧力室の一面を形成するような配置で基板をエッチングし圧力室を形成する工程と、を備える。
【００１４】
上記第３の課題を解決する発明は、下部電極および上部電極に挟持された圧電体薄膜を備える圧電アクチュエータにおいて、圧電アクチュエータを構成する圧電性セラミックスからなる柱状結晶粒は、膜厚方向にランダムな配向を有し、かつ、その柱状結晶粒の平均粒径が１００ｎｍ乃至１００００ｎｍの範囲にあることを特徴とする。
【００１５】
例えば、上記圧電体薄膜を構成する元素組成は、ジルコニウム酸チタン酸鉛（Ｐｂ（Ｚｒ、Ｔｉ）O_3：ＰＺＴ）、チタン酸鉛ランタン（（Ｐｂ，Ｌａ）TiO_3）、ジルコニウム酸鉛ランタン（（Ｐｂ，Ｌａ）ZrO_3）、ジルコニウム酸チタン酸鉛ランタン（（Ｐｂ、Ｌａ）（Ｚｒ、Ｔｉ）O_3：ＰＬＺＴ）またはマグネシウムニオブ酸ジルコニウム酸チタン酸鉛（Ｐｂ（Ｍｇ、Ｎｂ）（Ｚｒ、Ｔｉ）O_3：ＰＭＮ－ＰＺＴ）のうちいずれかの圧電性セラミックスを含む。
【００１６】
上記第４の課題を解決する発明は、本発明の圧電アクチュエータを備えたインクジェット式記録ヘッドにおいて、
ａ）圧力室が形成された圧力室基板と、
ｂ）圧力室の一方の面を閉鎖する振動板と、
ｃ）振動板の圧力室に対応する位置に設けられ、当該圧力室に体積変化を及ぼすことが可能に構成された圧電アクチュエータと、を備えたことを特徴とする。
【００１７】
上記第５の課題を解決する発明は、本発明のインクジェット式記録ヘッドを備えたプリンタにおいて、
ａ）記録媒体を供給および搬出が可能に構成された記録媒体搬送機構と、
ｂ）記録媒体搬送機構により供給された記録媒体上の任意の位置にインクジェット式記録ヘッドを搬送するヘッド搬送機構と、を備える。
【００１８】
【発明の実施の形態】
次に、図面を参照しながら本発明の実施の形態を説明する。本実施形態は、水熱法を利用した圧電アクチュエータ、それを使用したインクジェット式記録ヘッドおよびプリンタに関する。
（構造）
まず、本発明の圧電アクチュエータを有するインクジェット式記録ヘッドが使用されるプリンタの構造を説明する。本形態のプリンタは、図４に示すように、本体２に、トレイ３、排出口４および操作ボタン９が設けられている。さらに本体２の内部には、インクジェット式記録ヘッド１、供給機構６、ヘッド制御機構７および制御回路８が備えられている。
【００１９】
インクジェット式記録ヘッド１は、本発明の製造方法で製造された圧電アクチュエータを備えるものであり、円の中に拡大して示すように、ヘッド１ｂｋ、１ｃ、１ｍおよび１ｙを備え、それぞれが同一の構造を備えている。各ヘッドは、制御回路８から供給される吐出信号に対応して、そのノズルからインクを吐出可能に構成されている。ヘッド１ｂｋは黒色インクを、ヘッド１ｃはシアンインクを、ヘッド１ｍはマゼンタインクを、ヘッド１ｙはイエローインクをそれぞれ吐出するようになっている。ただし、カラー印刷をしない場合には、例えば黒色インクのヘッドのみで構成してもよい。ヘッドの具体的な構造につ

いては後述する。

【００２０】

本体２は、ヘッド１の筐体であって、用紙５をトレイ３から供給可能な位置に供給機構６を配置し、用紙５の上を横切って通過可能な位置にインクジェット式記録ヘッド１をそれぞれ配置している。トレイ３は、印字前の用紙５を供給機構６に供給可能に構成され、排出口４は、印刷が終了した用紙５を排出する出口である。

【００２１】

供給機構６は、モータ６００、ローラ６０１・６０２および図示しない機械構造を備えている。モータ６００は、制御回路８から供給させる駆動信号に対応して回転可能になっている。機械構造は、モータ６００の回転力をローラ６０１・６０２に伝達可能に構成されている。ローラ６０１および６０２は、モータ６００の回転力が伝達されると回転するようになっており、回転によりトレイ３に載置された用紙５を引き込み、ヘッド１によって印刷可能に供給するようになっている。

【００２２】

ヘッド制御機構７は、モータ７００および図示しない機械構造を備えている。モータ７００は、制御回路８から供給されるヘッド移送信号に対応して回転可能になっている。機械構造は、モータ７００の回転運動を水平運動に変換し、インクジェット式記録ヘッド１を図４の矢印方向に移送できるようになっている。ただし、インクジェット式記録ヘッド１が用紙の幅方向を覆うことが可能な程度に大面積に形成されている場合には（例えばラインプリンタである場合）、ヘッド自体の移送を行う必要はない。すなわちヘッドの移送機構は必須の構成ではない。

【００２３】

制御回路８は、図示しないが、ＣＰＵ、ＲＯＭ、ＲＡＭ、インターフェース回路などを備え、図示しないコネクタを介してコンピュータから供給される印字情報に対応させて、駆動信号を供給機構６に供給したり、ヘッド移送信号をヘッド制御機構７に供給したり、吐出信号をインクジェット式記録ヘッド１に供給したりできるようになっている。また、制御回路８は操作パネル９からの操作信号に対応させて動作モードの設定、リセット処理などが行えるようになっている。

【００２４】

次いで、本発明のインクジェット式記録ヘッドの構造を説明する。インクジェット式記録ヘッド１は、図５および図６に示すように、ノズル板１０、圧力室基板２０、振動板３０および筐体２５を備えて構成されている。圧力室基板２０は、キャビティ２１、側壁（隔壁）２２、リザーバ２３および供給口２４を備えている。キャビティ２１は、圧力室であってシリコン等の基板をエッチングすることにより形成されたインクなどを吐出するために貯蔵する空間となっている。側壁２２はキャビティ２１間を仕切るよう形成されている。リザーバ２３は、インクを共通して各キャビティ２１に充たすための流路となっている。供給口２４は、リザーバ２３から各キャビティ２１にインクを導入可能に形成されている。

【００２５】

ノズル板１０は、圧力室基板２０に設けられたキャビティ２１の各々に対応する位置にそのノズル穴１１が配置されるよう、圧力室基板２０の一方の面に貼り合わせられている。ノズル板１０を貼り合わせた圧力室基板２０は、さらに図５に示すように筐体２５に填められて、インクジェット式記録ヘッド１を構成している。

【００２６】

振動板３０は圧力室基板２０の他方の面に貼り合わせられている。振動板３０には圧電アクチュエータ４０が設けられている。振動板３０には、インクタンク口３１が設けられて、図示しないインクタンクに貯蔵されているインクを圧力室基板２０内部に供給可能になっている。振動板３０には、本発明の圧電アクチュエータ４０が設けられている。

【００２７】

図１に、本発明のインクジェット式記録ヘッドおよび圧電アクチュエータのさらに具体的

な構造を説明する断面図を示す。図１に示すように、振動板３０は、絶縁膜３１および下部電極３２を積層して構成され、圧電アクチュエータ４０は圧電体薄膜層４１および上部電極４２を積層して構成されている。

【００２８】

絶縁膜３１は、導電性のない材料、例えばシリコン基板を熱酸化等して形成された二酸化珪素により構成され、圧電体層の変形により変形し、キャビティ２１の内部の圧力を瞬間的に高めることが可能に構成されている。

【００２９】

下部電極３２は、圧電体層に電圧を印加するための一方の電極であり、導電性を有する材料、例えば、チタン（Ｔｉ）などにより構成されている。下部電極３２は、圧力室基板２０上に形成される複数の圧電アクチュエータに共通な電極として機能するように絶縁膜３１と同じ領域に形成される。ただし、圧電体薄膜層４１と同様の大きさに、すなわち上部電極と同じ形状に形成することも可能である。上部電極４２は、圧電体層に電圧を印加するための他方の電極となり、導電性を有する材料、例えば膜厚０．１μｍの白金（Ｐｔ）で構成されている。

【００３０】

圧電アクチュエータ４０は、本発明の製造方法で製造されたペロブスカイト構造を持つ圧電性セラミックスの結晶であり、振動板３０上に所定の形状で形成されて構成されている。特に、本発明の圧電体薄膜層４１は、図１下部に示す拡大図から判るように、柱状をなす結晶粒子（柱状結晶粒）が結晶方向の一定しないランダムな配向をしている点に特徴がある。さらにこれら柱状結晶粒の電極膜に平行な面方向の幅、すなわち柱状結晶粒の平均粒径ｄが１００ｎｍ乃至１００００ｎｍの範囲にあることを特徴とする。本発明の水熱法を適用することにより、このような特徴の構造を備えた圧電体薄膜層が形成される。圧電体薄膜層の組成は、例えばジルコニウム酸チタン酸鉛（Ｐｂ（Ｚｒ、Ｔｉ）O_3：ＰＺＴ）、チタン酸鉛ランタン（（Ｐｂ，Ｌａ）ＴｉO_3）、ジルコニウム酸鉛ランタン（（Ｐｂ，Ｌａ）ＺｒO_3）、ジルコニウム酸チタン酸鉛ランタン（（Ｐｂ、Ｌａ）（Ｚｒ、Ｔｉ）O_3：ＰＬＺＴ）またはマグネシウムニオブ酸ジルコニウム酸チタン酸鉛（Ｐｂ（Ｍｇ、Ｎｂ）（Ｚｒ、Ｔｉ）O_3：ＰＭＮ－ＰＺＴ）のうちいずれかの圧電性セラミックスである。

【００３１】

上記インクジェット式記録ヘッドの構成におけるインク滴吐出の原理を説明する。制御回路８から吐出信号が供給されず圧電アクチュエータ４０の下部電極３２と上部電極４２との間に電圧が印加されていない場合、圧電体薄膜層４１には変形を生じない。吐出信号が供給されていない圧電アクチュエータ４０が設けられているキャビティ２１には、圧力変化が生じず、そのノズル穴１１からインク滴は吐出されない。

【００３２】

一方、制御回路８から吐出信号が供給され圧電アクチュエータ４０の下部電極３２と上部電極４２との間に一定電圧が印加された場合、圧電体薄膜層４１に変形を生じる。吐出信号が供給された圧電アクチュエータ４０が設けられているキャビティ２１ではその振動板３０が大きくたわむ。このためキャビティ２１内の圧力が瞬間的に高まり、ノズル穴１１からインク滴が吐出される。

【００３３】

（製造方法の説明）

次に、圧電アクチュエータの製造方法を、インクジェット式記録ヘッドの製造方法と併せて説明する。

ゾルの製造：　まず、圧電体薄膜層の原料となる圧電性セラミックスのゾルを製造する。例えば、２－ｎ－ブトキシエタノール中にチタニウムテトライソプロポキシド、ペンタエトキシニオブ、テトラ－ｎ－プロポキシジルコニウムを混入し、室温下で２０分間攪拌する。次いでジエタノールアミンを加えて室温下でさらに２０分間攪拌する。酢酸鉛と酢酸マグネシウムを加え８０℃に加温する。加温した状態で２０分間攪拌し、その後室温にな

るまで自然冷却する。以上の工程で製造された金属アルコキシド溶液をゾルとして用いる。ただし、ゾルの製造方法は上記に限定されるものではない。

【００３４】

次に、上記製造方法によって製造されたゾルを用いて圧電アクチュエータ、さらにインクジェット式記録ヘッドを製造する。図２に圧電アクチュエータの製造工程断面図を示す。絶縁膜形成工程（図２（ａ））：　絶縁膜形成工程は、シリコン基板２０に絶縁膜３１を形成する工程である。シリコン基板２０は、例えば２００μｍ程度、絶縁膜３１は１μｍ程度の厚みに形成する。絶縁膜の製造には、公知の熱酸化法等を用いる。

【００３５】

下部電極形成工程（図２(ｂ)）：　下部電極形成工程では、絶縁膜３１の上に下部電極３２を形成する工程である。下部電極３２は、例えばチタン層を０．１μｍの厚みで積層する。これら層の製造は公知の直流スパッタ法等を用いる。

【００３６】

圧電体薄膜層の前駆体膜の形成工程（図２（ｃ）（ｄ））：　圧電体薄膜層の前駆体膜の形成工程は、ゾルの塗布とその乾燥・脱脂とを繰り返して、複数の薄膜からなる前駆体膜を形成する工程である。まず上記のようにして製造した金属アルコキシド溶液を下部電極３２上に一定の厚みに塗布する。例えば公知のスピンコート法を用いる場合には、毎分５００回転で３０秒、毎分１５００回転で３０秒、最後に毎分５００回転で１０秒間塗布する。塗布した段階では、ＰＺＴを構成する各金属原子は有機金属錯体として分散している。塗布後、一定温度（例えば１８０度）で一定時間（例えば１０分程度）乾燥させる。乾燥により水分が蒸発する。乾燥後、さらに大気雰囲気下において一定の脱脂温度（例えば４００℃～５００℃の範囲内、好ましくは４５０℃で一定時間（６０分間）脱脂する。脱脂により金属に配位している有機物が金属から解離し酸化燃焼反応を生じ、大気中に飛散する。脱脂後に残される前駆体膜は金属と酸素のみからなるアモルファス膜である。この塗布→乾燥→脱脂の各工程を所定回数、例えば４回繰り返して４層の薄膜層（４１１，４１２…）を積層する。多層化するのはクラックの発生を防止しながら厚膜化するためである。

【００３７】

ここで、前記圧電体膜の前駆体膜の形成工程を、スパッタ法を用いた工程で置き換えることができる。例えばＲＦ（Radio Frequency）スパッタ法、イオンビームスパッタ法または電子ビーム蒸着法等のいずれかの方法で前駆体膜である薄膜層４１１，４１２、…、を一括して製造する。そして所定条件、例えば、Ｐｂ、Ｚｒ、Ｔｉ、Ｍｇ、Ｎｂ等を含むスパッタターゲットを用い、スパッタパワーが５００Ｗ、スパッタ中のアルゴンガス圧力が４Ｐａ、スパッタ中の基板の加熱なし、スパッタ時間は８０分で処理すると、厚みが約１０００ｎｍである前駆体膜が得られる。スパッタで得られる前駆体膜は、もちろん有機物は含まれない。前述したゾルを塗布してから乾燥脱脂して形成した前駆体膜と同様に、このスパッタ法で形成された有機物を含まない前駆体膜は、金属および酸素の、圧電体薄膜を形成するための直接的な元素のみから構成されているので、後述する水熱処理の圧力による相変化で結晶化させることができる。もしも前駆体膜中に有機物が残留しているものとすれば、有機物は結晶化の妨げとなる。したがって、低アルカリ性水溶液による水熱処理では、前駆体膜中に有機物が含有されていないことが条件となる。

【００３８】

なお、有機物を含む前駆体膜から圧電体薄膜を結晶化させたい場合には、一定濃度以上のアルカリ性水溶液中での水熱処理が必要となる。なぜなら、アルカリによって金属に配位した有機物が溶解、離脱して金属元素がイオン化し、イオン化した金属が圧力と温度の作用で拡散して結晶化するからである。いわばアルカリによる脱脂を行うことを要するからである。

【００３９】

水熱処理工程（図２（ｅ））：　水熱処理工程は、本発明の特徴的な工程である。まず、弱いアルカリ性溶液１０１を水槽１００に満たす。そして上記の工程で積層された前駆体

膜４１を基板ごと水槽１００に浸し、オートクレーブ（auto clave）中で一定条件で結晶化を促進させる。

【００４０】

処理液は、アルカリ性溶液を用いる場合には、溶質として、ＫＯＨ、Ｂａ（ＯＨ）$_2$、Ｐｂ（ＯＨ）$_2$、Ｂａ（ＯＨ）$_2$とＰｂ（ＯＨ）$_2$の混合液またはＫＯＨとＰｂ（ＯＨ）$_2$の混合液のうちいずれかを用いる。これらのアルカリ性溶液で圧電性セラミックスが結晶することが確認されているからである。アルカリ溶液の濃度としては、０．１Ｍ[ｍｏｌ／ｌ]より低い濃度に調整する。これ以上の濃度であると、アルカリが強く、基板などを侵食するおそれがあるからである。例えば、０．０５Ｍ[ｍｏｌ／ｌ]の濃度に調整する。水熱処理の温度は、１００℃以上で２００℃以下に設定する。この範囲より低い温度では結晶化が促進されず、この範囲より高い温度では、前駆体膜または圧電体薄膜層およびシリコン基板がエッチングされるからである。例えば処理温度を１４０℃程度にする。水熱処理の圧力は、２ｋｇ／ｃｍ^{2}以上で１０ｋｇ／ｃｍ^{2}以下に設定する。この範囲からはずれる圧力では、良好な結晶が得られないからである。例えば圧力を４ｋｇ／ｃｍ^{2}程度にする。水熱処理の時間は、１０分以上で６０分以下に設定する。この範囲より短い時間では十分な結晶ができず、この範囲より長い時間では圧電体薄膜層や基板が侵食されたりするおそれがあるからである。例えば処理時間を３０分程度にする。

【００４１】

上部電極形成工程（図２(ｆ)）：　圧電体薄膜層４１の上に、さらに電子ビーム蒸着法、スパッタ法等の技術を用いて、上部電極４２を形成する。上部電極の材料は、白金（Ｐｔ）等を用いる。厚みは１００ｎｍ程度にする。

【００４２】

上記工程で圧電アクチュエータの層構造が完成する。この層構造を、圧電アクチュエータを適用する装置に適合した形状にエッチング等で成形すればよい。本実施形態では、圧電アクチュエータをインクジェット式記録ヘッドの圧力発生源として使用するため、さらに図３の製造工程断面図で示す処理を行う。

【００４３】

エッチング工程（図３(ａ)）：　エッチング工程は、圧電アクチュエータ４０を形成する工程である。まず、上記圧電アクチュエータの積層構造４１および４２を圧力室基板２０に形成するキャビティに合わせた形状となるようマスクする。そしてその周囲をエッチングし圧電アクチュエータ４０にする。具体的には、まずスピンナー法、スプレー法等の方法を用いて均一な厚さのレジスト材料を塗布する。次いでマスクを圧電アクチュエータの形状に形成してから露光し現像して、レジストパターンを上部電極４２上に形成する。マスクはレジスト材料がポジ型かネガ型かに合わせて形成する。そして通常用いるイオンミリング、あるいはドライエッチング法等を適用して、上部電極４２および圧電体薄膜層４１をエッチングし除去する。以上でインクジェット式記録ヘッドに適合した圧電アクチュエータ４０が形成できる。

【００４４】

圧力室形成工程（図３（ｂ））：　圧力室形成工程は、圧電アクチュエータ４０が形成された圧力室基板２０の他方の面をエッチングしてキャビティ２１を形成する工程である。圧電アクチュエータ４０を形成した面と反対側から、例えば異方性エッチング、平行平板型反応性イオンエッチング等の活性気体を用いた異方性エッチングを用いて、キャビティ２１空間のエッチングを行う。エッチングされずに残された部分が側壁２２になる。

【００４５】

ノズル板貼り合わせ工程（図３（ｃ））：　ノズル板貼り合わせ工程は、エッチング後のシリコン基板２０にノズル板１０を接着剤で貼り合わせる工程である。貼り合わせのときに各ノズル穴１１がキャビティ２１各々の空間に配置されるよう位置合せする。最後に、ノズル板１０が貼り合わせられた圧力室基板２０を筐体２５に取り付け（図５参照）、インクジェット式記録ヘッド１を完成させる。

【００４６】

なお、ノズル板と圧力室基板を一体的にエッチングして形成する場合には、ノズル板の貼り合わせ工程は不要である。すなわち、ノズル板と圧力室基板とを併せたような形状に圧力室基板をエッチングし、最後にキャビティに相当する位置にノズル穴を設ければよいからである。

【００４７】

（実施例）

上記製造方法に基づいてジルコン酸チタン酸鉛（$Pb(Zr_{0.56}Ti_{0.44})O_3$）を圧電体薄膜層とするインクジェット式記録ヘッドを製造した。この結晶の水熱処理後における断面ＳＥＭ（Scanning Electron Microscopy）写真等を撮影した。図７にこの断面ＳＥＭ写真の模写図を示す。下部電極上に積乱雲状のＰＺＴ結晶粒が形成されている。この結晶粒の個々は柱状結晶粒であり、この柱状結晶粒が寄り集まって積乱雲状の結晶を構成している。各柱状結晶粒は、下部電極面に垂直な結晶であったり下部電極面の法線方向と一定角をなしていたりする。個々の柱状結晶粒は粒径が１００ｎｍ～４００ｎｍをしている。この結晶をＸ線極点法で測定したところ、膜厚方向にランダムな配向をしていることが確認された。シリコン基板の侵食は確認されなかった。

【００４８】

（利点）

ａ）本実施形態によれば、極低濃度のアルカリ溶液を処理液として用いたので、圧電体薄膜や基板が処理液によってエッチングされることがない。

【００４９】

ｂ）本実施形態によれば、アルカリ濃度が低いので、圧電アクチュエータの内部にアルカリの金属陽イオンなどの不純物が入り込み特性を劣化させることがない。

【００５０】

ｃ）本実施形態によれば、低い温度による結晶化が行えるので、結晶化処理が容易である。

【００５１】

ｄ）本実施形態によれば、高熱処理をしないため下部電極元素が圧電体薄膜中に拡散することがなく、圧電アクチュエータの特性劣化を防止できる。

【００５２】

ｅ）本実施形態によれば、高熱処理をしないので、各膜に特性変化や熱ストレスが発生することなく、圧電アクチュエータやインクジェット式記録ヘッドの信頼性を向上させることができる。

【００５３】

ｆ）本実施形態によれば、処理液のアルカリが極弱いので、下部電極や基板材料を耐アルカリ性のものに選択する必要が無く、材料の選択範囲を広げられる。

【００５４】

ｇ）本実施形態によれば、高熱処理が不要であり、また不良の発生率も少なくなるので、コストを下げることができる。

【００５５】

ｈ）本実施形態によれば、高熱処理をせず熱応力の発生が少ないため、大面積の圧電アクチュエータを製造しても熱応力によるクラックが発生することがない。すなわちラインプリンタなどの大面積印刷装置に適するインクジェット式記録ヘッドを提供可能である。

【００５６】

（その他の変形例）

本発明は、上記各実施形態によらず種々に変形して適応することが可能である。例えば、上記実施例はＰＺＴであったが、他のアクチュエータ用の圧電性セラミックスについても同様に水熱法による結晶化が可能である。

【００５７】

また、本発明で製造した圧電アクチュエータは上記インクジェット式記録ヘッドの圧力発生源のみならず、圧電ファン、超音波モータ、超音波振動子のようなアクチュエータ装置

、およびこの様な装置の製造に適応することができる。すなわち、本発明の圧電アクチュエータは大面積化が可能でコストダウンを図れるため、従来品にない用途を提供したり、従来の機能をさらに安く提供したりできる。

【００５８】

【発明の効果】

本発明によれば、材料や製造条件選択の自由度が高い圧電アクチュエータの製造方法を提供できる。

本発明によれば、前記圧電アクチュエータの製造方法を適用することにより、材料や製造条件選択の自由度が高いインクジェット式記録ヘッドの製造方法を提供できる。

本発明によれば、材料や製造条件選択の自由度が高い圧電アクチュエータの製造方法で製造された大面積化が可能な圧電アクチュエータを提供できる。

本発明によれば、材料や製造条件選択の自由度が高い圧電アクチュエータの製造方法で圧電アクチュエータが製造された、ラインプリンタなどに適するインクジェット式記録ヘッドを提供できる。

本発明によれば、材料や製造条件選択の自由度が高い圧電アクチュエータの製造方法で製造された圧電アクチュエータを有するインクジェット式記録ヘッドを備え、大面積印刷が可能なプリンタを提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の圧電アクチュエータの層構造を説明する断面図である。

【図２】本発明の圧電アクチュエータの製造方法を説明する製造工程断面図である。

【図３】本発明のインクジェット式記録ヘッドの製造方法を説明する製造工程断面図である。

【図４】本発明のプリンタの構造を説明する斜視図である。

【図５】本発明のインクジェット式記録ヘッドの分解斜視図である。

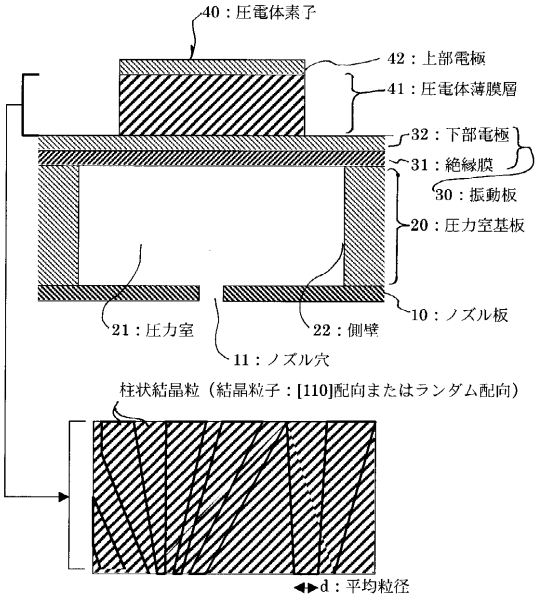
【図６】本発明のインクジェット式記録ヘッドの斜視図一部断面図である。

【図７】本発明の製造方法で水熱処理した圧電体薄膜層の断面ＳＥＭ写真の模写図である。

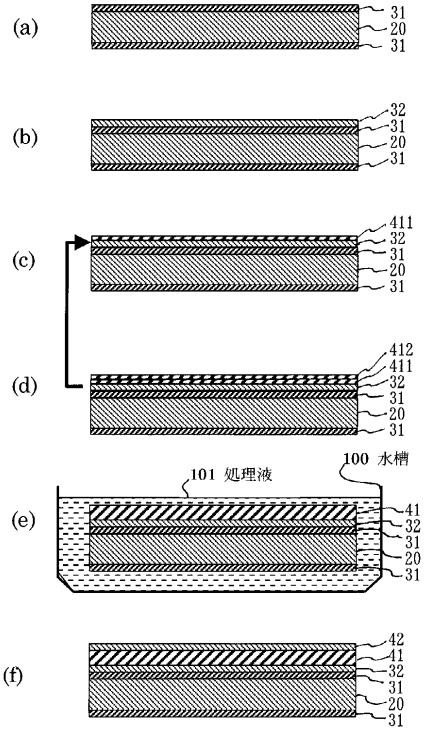
【符号の説明】

１０…ノズル板
２０…圧力室基板
３０…振動板
３１…絶縁膜
３２…下部電極
４０…圧電アクチュエータ
４１…圧電体薄膜層
４２…上部電極
２１…キャビティ

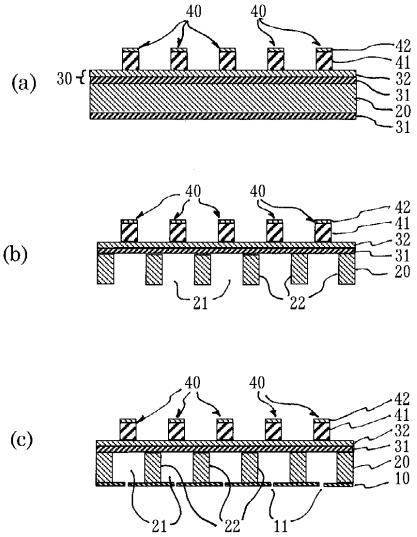
【図１】


40：圧電体素子
42：上部電極
41：圧電体薄膜層
32：下部電極
31：絶縁膜
30：振動板
20：圧力室基板
10：ノズル板
21：圧力室
22：側壁
11：ノズル穴
柱状結晶粒（結晶粒子：[110]配向またはランダム配向）
d：平均粒径

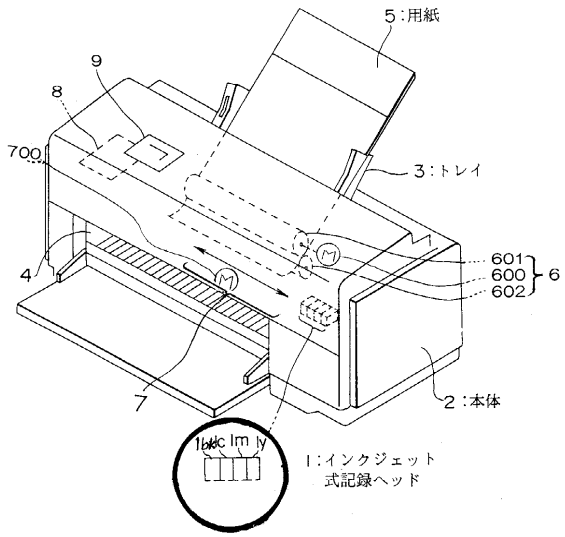
【図２】


(a)
(b)
(c)
(d)
(e)
(f)
100 水槽
101 処理液

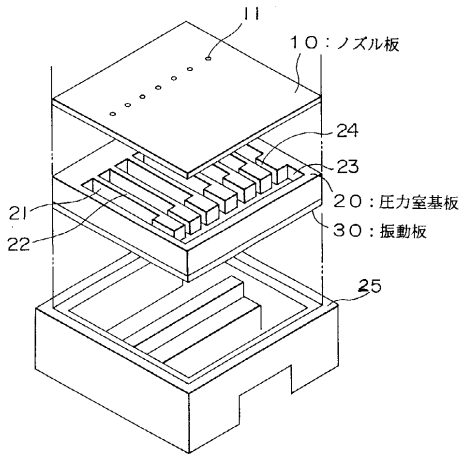
【図３】


(a)
(b)
(c)
40
42
41
32
31
20
10
30
21
22
11

【図４】

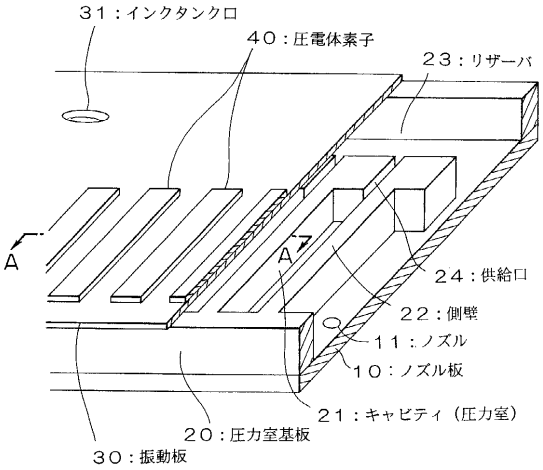

5：用紙
9
8
700
3：トレイ
4
601
600
602
6
7
2：本体
1：インクジェット
式記録ヘッド

【図５】

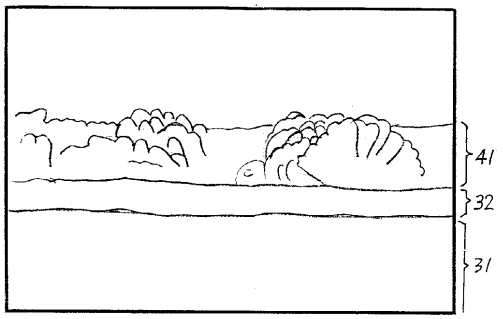


1：インクジェット式記録ヘッド

【図６】



【図７】



フロントページの続き

(72)発明者　邱　宏
長野県諏訪市大和３丁目３番５号　セイコーエプソン株式会社内
(72)発明者　角　浩二
長野県諏訪市大和３丁目３番５号　セイコーエプソン株式会社内
(72)発明者　島田　勝人
長野県諏訪市大和３丁目３番５号　セイコーエプソン株式会社内
(72)発明者　西脇　学
長野県諏訪市大和３丁目３番５号　セイコーエプソン株式会社内

審査官　桐畑　幸▲廣▼

(56)参考文献　特開２０００－０５２５５９（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.^{7}，ＤＢ名)
B41J　2/045
B41J　2/055
B41J　2/16
H01L 41/09
H01L 41/22