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

特許第3591316号

(P3591316)

(45)発行日　平成16年11月17日(2004.11.17)　(24)登録日　平成16年9月3日(2004.9.3)

(51)Int.Cl.[7]	F I		
H01L 41/09	H01L	41/08	C
B41J 2/045	H01L	41/18	101D
B41J 2/055	H01L	41/22	Z
B41J 2/16	B41J	3/04	103A
H01L 41/187	B41J	3/04	103H

請求項の数 5　(全 13 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願平10-228204
(22)出願日　平成10年8月12日(1998.8.12)
(65)公開番号　特開2000-52559(P2000-52559A)
(43)公開日　平成12年2月22日(2000.2.22)
審査請求日　平成14年8月7日(2002.8.7)

(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、インクジェット式記録ヘッド、及びプリンタ

(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において、前記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、電極膜に平行な面方向における前記柱状結晶粒の平均粒径が１００ｎｍ乃至１５０００ｎｍの範囲にあることを特徴とする圧電アクチュエータ。

【請求項２】

前記圧電体薄膜の前記上部電極側における表面粗さが、最大高さで２０ｎｍ以下に設定されている請求項１に記載の圧電アクチュエータ。

【請求項３】

前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）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請求項１に記載の圧電アクチュエータ。

【請求項４】

請求項１に記載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、
圧力室が形成された圧力室基板と、
前記圧力室の一方の面に設けられた振動板と、
前記振動板の前記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前記圧電アクチュエータと、を備えたことを特徴とするインクジェット式記録ヘッド。

【請求項５】

請求項４に記載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、

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、

前記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前記インクジェット式記録ヘッドにより印字させるヘッド制御回路と、を備えるプリンタ。

【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乾燥脱脂の後、高熱処理を行っ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】

また水熱法という結晶化方法では、有機金属を含むＫＯＨ溶液中にＴｉまたはＮｉ基板を浸してＰＺＴ粒子を析出させていた。

【０００４】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、ゾルゲル法によって圧電アクチュエータを製造すると、熱応力が作用し、圧電体薄膜に容易にクラックが生じるという問題点があったため、広い面積の圧電アクチュエータを製造することが難しかった。例えば、ラインプリンタ用の圧電アクチュエータを製造できなかった。

【０００５】

また従来の水熱法によって製造される圧電アクチュエータでは表面が粗く、上部電極をうまく密着させることが困難であった。

【０００６】

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。ただし上記論文では、プリンタのインクジェット式記録ヘッドなどに適する特性の良い圧電アクチュエータの製造について十分に記載されていなかった。

【０００７】

本願発明者は、ゾルゲル法などによる圧電アクチュエータやインクジェット式記録ヘッドの製造に長い経験を有している。このことから本願発明者は、水熱法による圧電アクチュエータの製造について、有機金属で構成されたゾルの塗布を含めた圧電アクチュエータ全体の製造条件について実験を実行し、上記水熱法の実施化に適する製造方法を明らかにし

た。
【０００８】
すなわち、本発明の第１の課題は、大面積化が可能で表面が平坦な結晶構造を備えた圧電アクチュエータを提供することである。
本発明の第２の課題は、大面積化が可能で表面が平坦な圧電アクチュエータを備えたラインプリンタ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３の課題は、ラインプリンタに適するインクジェット式記録ヘッドを備えたプリンタを提供することである。
【０００９】
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において、前記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、電極膜に平行な面方向における柱状結晶粒の平均粒径が１００ｎｍ乃至１５０００ｎｍの範囲にあることを特徴とする圧電アクチュエータである。上記結晶構造が、本発明の製造方法によって製造された圧電アクチュエータにおける特徴の一部となる。
【００１０】
また、前記圧電体薄膜の前記上部電極側における表面粗さが、最大高さで２０ｎｍ以下に設定されている。
【００１１】
ここで例えば、前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）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。
【００１２】
上記第２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）前記圧力室の一方の面に設けられた振動板と、
ｃ）前記振動板の前記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前記圧電アクチュエータと、を備えたことを特徴とする。
【００１３】
上記第３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）前記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前記インクジェット式記録ヘッドにより印字させるヘッド制御回路と、を備える。
【００２０】
【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、ラインプリンタとして機能可能なように、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、制御回路８が備えられている。
【００２１】
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。このヘッド１は特にラインプリンタ用のヘッドであり、供給可能な用紙の幅を覆う長さに形成されている。すなわち、このヘッドは、本発明の製造方法によって従来不可能であった大きさ（長さ）に形成されたものである。インクジェット式記録ヘッド１は、制御回路８から供給される吐出信号Ｓｈに対応して、用紙の幅いっぱいに設けられたノズルからインクを吐出可能に構成されている。

【００２２】

本体２は、プリンタの筐体であって、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の幅を覆って印字可能なようにラインプリンタ用の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。

【００２３】

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から供給される駆動信号Ｓｄ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。

【００２４】

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Ｓｄを供給機構６に供給したり、吐出信号Ｓｈ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。

【００２５】

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に示すように、ノズル板１０、圧力室基板２０および振動板３０を備えて構成されている。このヘッドは、オンデマンド形のピエゾジェット式ヘッドを構成している。

【００２６】

圧力室基板２０は、キャビティ（圧力室）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、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。なおキャビティ２１などの形状はインクジェット方式によって種々に変形可能である。例えば平面的な形状のカイザー（Ｋｙｓｅｒ）形であっても円筒形のゾルタン（Ｚｏｌｔａｎ）形でもよい。またキャビティが１室形用に構成されていても２室形に構成されていてもよい。

【００２７】

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、さらに図示しない筐体に納められて、インクジェット式記録ヘッド１を構成している。

【００２８】

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。

【００２９】

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。この断面図は、図５のＡ－Ａ切断面から観察した層構造のうち、一つの圧電アクチュエータの断面を拡大したものである。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。特にこのインクジェット式記録ヘッド１は、印刷対象となる用紙の幅を覆うことが可能なように、圧電アクチュエータ４０、キャビティ２１およびノズル１１が一定のピッチで連設されて構成されている。このノズル間のピッチは、印刷精度に応じて適時設計変更が可能である。例えば４００ｄｐｉになるように配置される。

【００３０】

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。

【００３１】

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。

【００３２】

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例えば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）が主として膜厚方向に結晶方向の一定しないランダムな配向をいる点に特徴がある。また、これら柱状結晶粒は、電極膜に平行な面方向の幅、すなわち平均粒径ｄが１００ｎｍ乃至１５０００ｎｍの範囲にあることを特徴とする。さらに、圧電体薄膜層４１の上部電極４２と接することとなる面は、従来の水熱法に比べ平坦化されている。例えば、表面粗さが最大高さで２０ｎｍ以下になっている。表面粗さが小さいことも、ゾルゲル法を併用した本水熱法による結晶構造の特徴である。

【００３３】

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）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などである。ただし本発明は製造方法に特徴があり、上記組成に限定されるものではない。

【００３４】

上記インクジェット式記録ヘッド１の構成において、印刷動作を説明する。制御回路８から駆動信号Ｓｄが出力されると、供給機構６が動作し用紙５がヘッド１によって印刷可能な位置まで搬送される。制御回路８から吐出信号Ｓｈ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Ｓｈ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。

【００３５】

一方、制御回路８から吐出信号Ｓｈ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。細長いヘッド中で印刷させたい位置の圧電アクチュエータに吐出信号Ｓｈを個別に供給することで、任意の文字や図形を印刷させることができる。

【００３６】

（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およびテトラ－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前駆体として用いる。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。

【００３７】

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にこの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、特にラインプリンタ用に細長く成形されたものを用いる。その厚みは側壁の高さが高くなりすぎないように、例えば２００μｍ程度のものを使用する。絶縁膜３１は例えば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。

【００３８】

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。これらの層の製造は公知の直流スパッタ法等を用いる。

【００３９】

圧電体薄膜層形成工程（図２（ｃ）（ｄ））：　圧電体前駆体薄膜層形成工程は、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圧電体前駆体薄膜層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、一定温度で一定時間乾燥させる。例えば、乾燥温度は例えば１５０℃以上で２００℃以下に設定する。好ましくは、１８０℃で乾燥させる。乾燥時間は例えば５分以上で１５分以下にする。好ましくは１０分程度乾燥させる。

【００４０】

乾燥後、さらに大気雰囲気下において一定の脱脂温度で一定時間脱脂する。脱脂温度は、上記論文では２００℃以下が良いと記載されているが、実験の結果、良好な圧電アクチュエータを形成するためには、３００℃以上で５００℃以下の範囲が好ましいことが判っている。この範囲より高い温度では結晶化が始まってしまい、この範囲より低い温度では、十分な脱脂が行えないからである。好ましくは４５０℃程度に設定する。脱脂時間は、例えば５分以上で９０分以下にする。この範囲より長い時間では結晶化が始まってしまい、この範囲より短い時間では十分に脱脂されないからである。好ましくは６０分程度脱脂させる。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。

【００４１】

このゾルの塗布→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。
【００４２】
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、アルカリ性溶液１０１を圧力を加えることが可能に構成されている水槽１００に満たす。そして上記の工程で積層された圧電体前駆体薄膜層４１ｂを基板ごと水槽１００に浸し、オートクレーブ（ａｕｔｏｃｌａｖｅ）中で一定条件で結晶化を促進させる。
【００４３】
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、２Ｍ［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、圧電体薄膜および基板などを侵食するおそれがあるからである。例えば、０．５Ｍ［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、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。
【００４４】
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。
【００４５】
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。
【００４６】
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。
【００４７】
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。
【００４８】
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を筐体に取り付け、インクジェット式記録ヘッド１を完成させる。

【００４９】

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。

【００５０】

（実施例）

上記製造方法の実施例として、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圧電アクチュエータを製造した。比較例１として、従来の完全ゾルゲル法によって製造した圧電体薄膜を、比較例２として、従来の水熱法によって製造した圧電体薄膜を挙げる。比較例１の圧電体薄膜は、アモルファス状態のＰＺＴゲル膜を酸素雰囲気中で高速熱処理（６５０℃で５分、９００℃で１分）をさせて製造した。比較例２の圧電体薄膜は、Pb^{+2}、Zr^{+4}およびTi^{+4}を含むＫＯＨ溶液中にＴｉまたはＮｉ基板を浸してＰＺＴ粒子を析出させて製造した。

【００５１】

図６に本発明の水熱処理後における実施例の圧電体薄膜層の断面透過電子回折スポット写真を示す。この写真から判るように、回折スポットが規則正しく並んでおり、良好に結晶していることが判る。また当該圧電体薄膜層の断面ＴＥＭ（Ｔｒａｎｓｍｉｓｓｉｏｎ Ｅｌｅｃｔｒｏｎ Ｍｉｃｒｏｓｃｏｐｙ）暗視野写真（図８）および平面ＳＥＭ（Ｓｃａｎｎｉｎｇ Ｅｌｅｃｔｒｏｎ Ｍｉｃｒｏｓｃｏｐｙ）写真（図９）から柱状結晶粒の平均粒径は１００ｎｍ～１５０００ｎｍ程度であることが確認された。図７にこの圧電体薄膜層の反射Ｘ線回折（ＸＲＤ）スペクトルを示す。図７から判るように、膜厚方向に結晶粒は［１１０］配向が含まれているが、Ｘ線極点図と断面透過電子回折パターンによって、膜厚方向に結晶粒はランダムな配向が含まれている。

【００５２】

比較例１と比べ、本実施例の圧電アクチュエータでは熱による内部応力が少ないため大面積化が可能である。比較例１では、結晶化によって生ずる膜の内部応力が10^8パスカル程度であったが、本実施例の圧電アクチュエータでは10^6～10^7パスカル程度であった。また、比較例１では、高温の熱処理がされているため電極や圧電体薄膜の熱膨張があったり成分が拡散されたりしていたが、本実施例によれば低温化で結晶化が促進されるため熱膨張によって変形が生じたり成分の拡散によって圧電アクチュエータの性能が劣化したりすることがない。そのため本実施例では、歩留まりがよくなり、製造コストの低減が図れることが期待できる。

【００５３】

また比較例２と比べ、本実施例で用いた本発明の製造方法では、ＰＺＴの結晶化を促進させるだけなので、比較例２のように圧電体薄膜の組成制御が大変ではない。また、比較例２の圧電アクチュエータでは、その上部電極側の表面粗さが最大高さで１μｍ以上になっていたが、本実施例の圧電アクチュエータでは、０．０１μｍ以下と大幅に改善された。また、製造は比較的程度の弱いまたは低濃度のアルカリ性溶液であるため、比較例２に比べ、電極や基板の素材の選択範囲が広まっていることも特徴である。

【００５４】

（利点）

ａ）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。

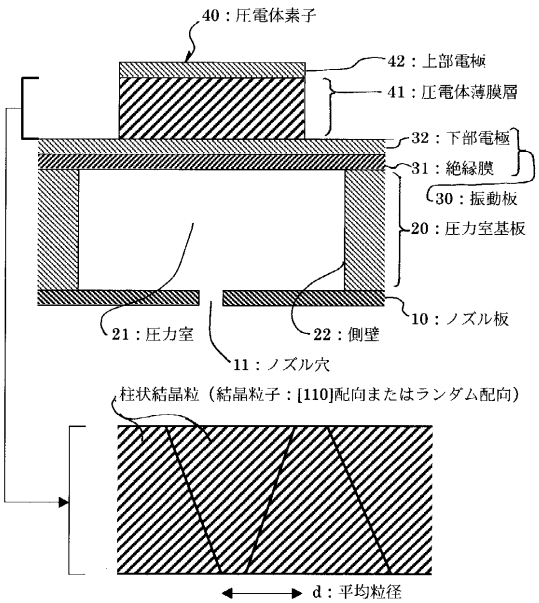
【００５５】

ｂ）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。

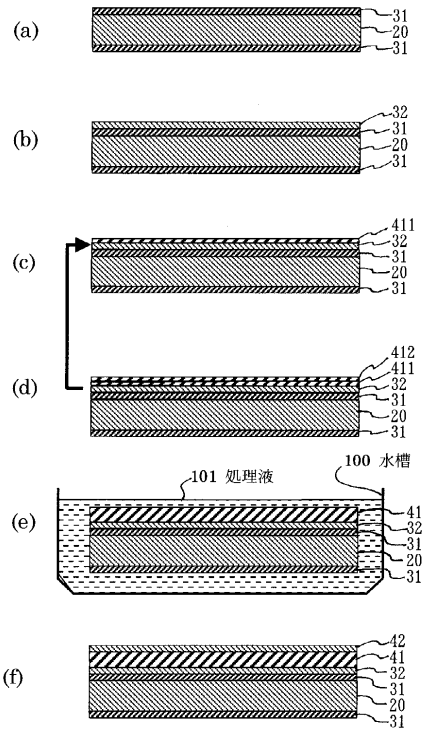
【００５６】
ｃ）本実施形態によれば、高熱処理をしないため下部電極元素が圧電体薄膜中に拡散することがなく、圧電アクチュエータの特性劣化を防止できる。
【００５７】
ｄ）本実施形態によれば、高熱処理をしないので、各膜に特性変化や熱ストレスが発生することなく、圧電アクチュエータやインクジェット式記録ヘッドの信頼性を向上させることができる。
【００５８】
ｅ）本実施形態によれば、処理液のアルカリが弱かったりまたは低濃度であったりするので、下部電極や基板材料を耐アルカリ性のものに選択する必要が無く、材料の選択範囲を広げられる。
【００５９】
ｆ）本実施形態によれば、高熱処理が不要であり、また不良の発生率も少なくなるので、コストを下げることができる。
【００６０】
ｇ）本実施形態によれば、高熱処理をせず内部応力（熱応力を含む）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。
【００６１】
（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。
【００６２】
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及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。
【００６３】
【発明の効果】
本発明によれば、大面積化が可能で表面が平坦な結晶構造を備えた圧電アクチュエータを提供できる。
本発明によれば、大面積化が可能で表面が平坦な圧電アクチュエータを備えたラインプリンタ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、ラインプリンタに適するインクジェット式記録ヘッドを備えたプリンタを提供できる。
本発明によれば、良好な性能を備える圧電アクチュエータの製造条件が明らかされた。
本発明によれば、良好な性能を有する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の製造方法を提供できる。
【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斜視図一部断面図である。
【図６】本発明の製造方法で水熱処理した圧電アクチュエータの断面透過電子回折スポット写真である。

【図７】本発明の製造方法で水熱処理した圧電体薄膜層の反射Ｘ線回折スペクトルである。
【図８】（ａ）は本発明の製造方法で水熱処理した圧電体薄膜の断面ＴＥＭ暗視野写真であり、（ｂ）はその模写図である。
【図９】（ａ）は本発明の製造方法で水熱処理した圧電体薄膜層の平面ＳＥＭ写真であり、（ｂ）はその模写図である。
【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

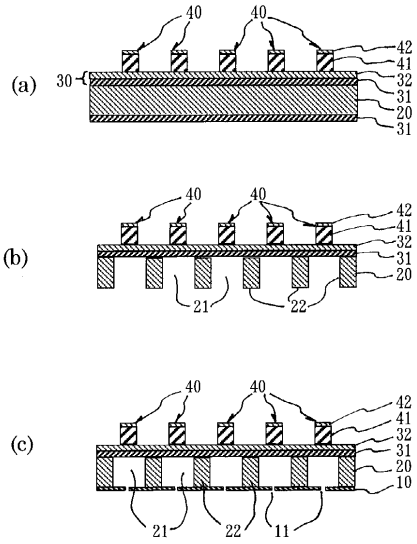
【図１】



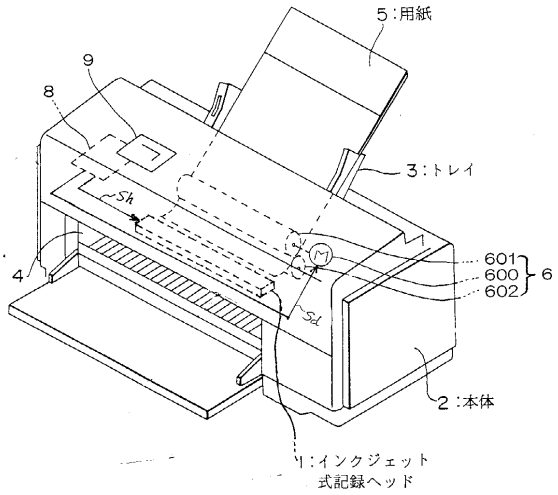
【図２】



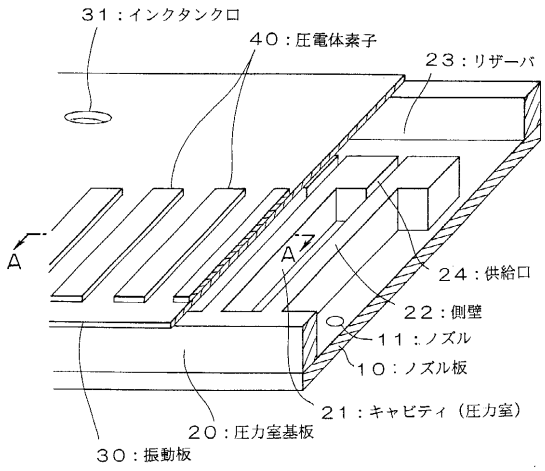
【図３】


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

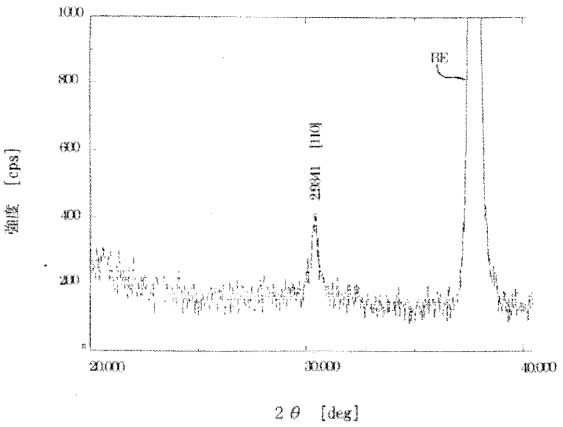
【図４】


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

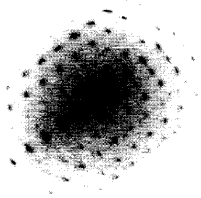
【図５】


31：インクタンクロ
40：圧電体素子
23：リザーバ
A
A
24：供給口
22：側壁
11：ノズル
10：ノズル板
21：キャビティ（圧力室）
20：圧力室基板
30：振動板

【図７】

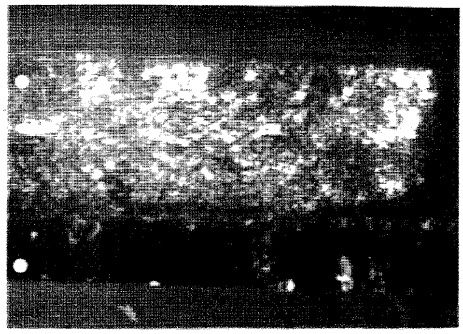

1000
800
600
400
200
0
強度 [cps]
BE
25641 [110]
20000
30000
40000
2θ [deg]

【図６】

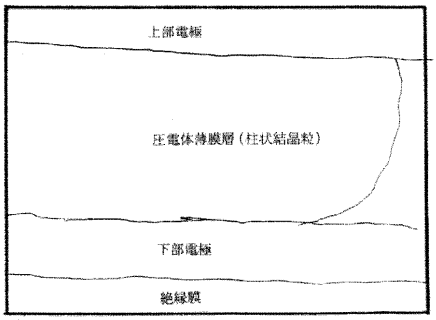


【図８】

(a)



(b)

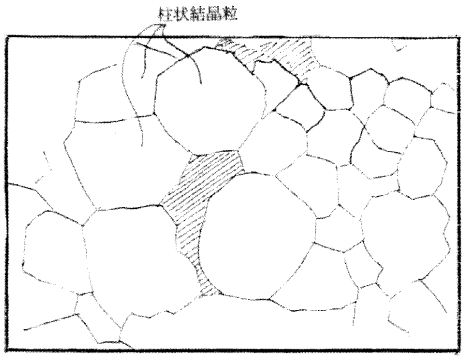


【図９】

(a)



(b)



フロントページの続き

(51)Int.Cl.[7]　　Ｆ Ｉ
　ＨＯ１Ｌ　41/22

(72)発明者　魏　志強
　　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
(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　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　瀧内　健夫

(56)参考文献　特開平１１－１９２７１３（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
　　H01L 41/09
　　H01L 41/187
　　H01L 41/22