

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3832075号  
(P3832075)

(45) 発行日 平成18年10月11日(2006.10.11)

(24) 登録日 平成18年7月28日(2006.7.28)

(51) Int. Cl.	F I
B 4 1 J 2/045 (2006.01)	B 4 1 J 3/04 1 O 3 A
B 4 1 J 2/055 (2006.01)	B 4 1 J 3/04 1 O 3 H
B 4 1 J 2/16 (2006.01)	C O 4 B 35/49 R
C O 4 B 35/49 (2006.01)	H O 1 L 41/08 C
H O 1 L 41/09 (2006.01)	H O 1 L 41/18 1 O 1 D
請求項の数 21 (全 25 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号 特願平10-47484	(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
(22) 出願日 平成10年2月27日(1998.2.27)	(74) 代理人 100095728 弁理士 上柳 雅誉
(65) 公開番号 特開平11-129478	(74) 代理人 100107261 弁理士 須澤 修
(43) 公開日 平成11年5月18日(1999.5.18)	(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
審査請求日 平成15年6月11日(2003.6.11)	(72) 発明者 亀井 宏行 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
(31) 優先権主張番号 特願平9-72212	
(32) 優先日 平成9年3月25日(1997.3.25)	
(33) 優先権主張国 日本国(JP)	
(31) 優先権主張番号 特願平9-232638	
(32) 優先日 平成9年8月28日(1997.8.28)	
(33) 優先権主張国 日本国(JP)	
最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 インクジェット式記録ヘッド、その製造方法および圧電体素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ノズルと連通する圧力室の少なくとも一壁面に、電圧印加により前記圧力室に体積変化を生ずる圧電体素子を形成したインクジェット式記録ヘッドであって、

前記圧電体素子は、圧電g定数  $g_1$  及び誘電率  $\epsilon_1$  を備える第1圧電体層と、圧電g定数  $g_2$  ( $g_2 > g_1$ ) 及び誘電率  $\epsilon_2$  ( $\epsilon_1 > \epsilon_2$ ) を備える第2圧電体層と、を備え、第1圧電体層と第2圧電体層との間で膜構造的に第1圧電体層及び第2圧電体層のペロプスカイト型構造の結晶構造が連続していることを特徴とするインクジェット式記録ヘッド。

【請求項2】

前記第1圧電体層は、bおよびb'を2価乃至6価の金属元素とし、元素bをn価(nは自然数)、b'をm価、並びにxを  $0 < x < 1$ 、yを  $0 < y < 1$  およびzを  $0 < z < 1$  の実数とした場合に、

$Pb(Zr_{(1-y)}Ti_y)_{(1-z)}(b_{(1-x)}b'_x)_zO_3$   
という一般式で表される組成を備え、かつ、前記n、mおよびxは、

$$n(1-x) + mx = 4$$

という関係を満たすペロプスカイト結晶である請求項1に記載のインクジェット式記録ヘッド。

【請求項3】

前記2価乃至6価の金属元素であるbおよびb'は、Mg, Sc, Cr, Mn, Fe,

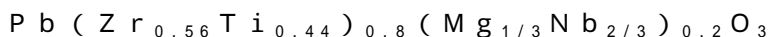
C o , N i , Z n , N b , C d , I n , S n , S b , L a , Y b , L u , T a , W , B i  
のうちいずれか二種の元素で構成される請求項 2 に記載のインクジェット式記録ヘッド。

【請求項 4】

前記第 1 圧電体層は、さらに Z r および T i のいずれかまたは双方の元素を備える請求項 3 に記載のインクジェット式記録ヘッド。

【請求項 5】

前記第 1 圧電体層は、



なる組成を備える請求項 1 に記載のインクジェット式記録ヘッド。

【請求項 6】

前記第 2 圧電体層は、P b、Z r、T i および O の各元素からなる圧電性セラミックスである請求項 1 に記載のインクジェット式記録ヘッド。

【請求項 7】

前記第 2 圧電体層は、

P b Z r \_ { 0 . 5 6 } T i \_ { 0 . 4 4 } O \_ 3 なる組成を備える請求項 1 に記載のインクジェット式記録ヘッド。

【請求項 8】

前記第 1 圧電体層が圧電 g 定数 g 1 を備え、前記第 2 圧電体層が圧電 g 定数 g 2 ( g 2 > g 1 ) を備える場合、所望の圧電 g 定数 g ( g 2 > g > g 1 ) となるように、前記第 1 圧電体層と前記第 2 圧電体層との厚みの比を調整して構成した請求項 1 に記載のインクジェット式記録ヘッド。

【請求項 9】

前記第 1 圧電体層が誘電率 1 を備え、前記第 2 圧電体層が誘電率 2 ( 1 > 2 ) を備える場合、所望の誘電率 ( 1 > 2 ) となるように、前記第 1 圧電体層と前記第 2 圧電体層との厚みの比を調整して構成した請求項 1 に記載のインクジェット式記録ヘッド。

【請求項 10】

前記第 1 圧電体層および前記第 2 圧電体層とは異なる組成を備える 1 種類以上の第 3 圧電体層を備え、当該第 3 圧電体層と他の圧電体層との間で膜構造的に第 3 圧電体層及び他の圧電体層のペロプスカイト型構造の結晶構造が連続していることを特徴とする請求項 1 に記載のインクジェット式記録ヘッド。

【請求項 11】

前記第 1 圧電体層および前記第 2 圧電体層を複数備え、前記第 1 圧電体層と前記第 2 圧電体層とが規則的に繰り返されて積層されている請求項 1 に記載のインクジェット式記録ヘッド。

【請求項 12】

前記第 1 圧電体層、前記第 2 圧電体層および 1 種類以上の第 3 圧電体層をそれぞれ複数備え、前記第 1 圧電体層、前記第 2 圧電体層および 1 種類以上の第 3 圧電体層が規則的に繰り返されて積層されている請求項 10 に記載のインクジェット式記録ヘッド。

【請求項 13】

前記第 1 圧電体層、前記第 2 圧電体層および 1 種類以上の第 3 圧電体層をそれぞれ 1 層以上備え、前記第 1 圧電体層、前記第 2 圧電体層および 1 種類以上の第 3 圧電体層が不規則に積層されている請求項 10 に記載のインクジェット式記録ヘッド。

【請求項 14】

前記圧電体素子は上部電極と結晶成長の基礎となる下部電極とを備え、前記下部電極に密着する圧電体層が結晶成長の核となる結晶粒を備えている請求項 1 に記載のインクジェット式記録ヘッド。

【請求項 15】

ノズルと連通する圧力室の少なくとも一壁面に、電圧印加により前記圧力室に体積変化を生ずる圧電体素子を形成したインクジェット式記録ヘッドの製造方法であって、

10

20

30

40

50

前記圧力室が形成された圧力室基板の一方の面に絶縁膜および下部電極膜を形成する振動板形成工程と、

前記振動板形成工程により形成された下部電極膜に、圧電  $g$  定数  $g_2$  ( $g_2 > g_1$ ) 及び誘電率  $\epsilon_2$  ( $\epsilon_1 > \epsilon_2$ ) を備えた第 2 圧電体層を形成する第 2 圧電体層形成工程と、

前記第 2 圧電体層形成工程により形成された第 2 圧電体層上に、圧電  $g$  定数  $g_1$  及び誘電率  $\epsilon_1$  を備えた第 1 圧電体層を形成する第 1 圧電体層形成工程と、

第 1 圧電体層及び第 2 圧電体層における成分がともにエピタキシャル成長し、第 2 圧電体層と第 1 圧電体層との間で膜構造的に第 1 圧電体層及び第 2 圧電体層のペロプスカイト型構造の結晶構造が連続している結晶化工程と、

前記第 1 圧電体層形成工程により形成された第 1 圧電体層に上部電極膜を形成する上部電極形成工程と、 10

前記上部電極形成工程により上部電極膜が形成された圧力室基板をエッチングし、前記圧電体素子を形成するエッチング工程と、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の製造方法。

【請求項 16】

前記第 1 圧電体層または前記第 2 圧電体層のうちいずれか一方は一定値以上の圧電  $g$  定数を有し、その他方は一定値以上の誘電率を有する請求項 15 に記載のインクジェット式記録ヘッドの製造方法。

【請求項 17】

前記圧力室基板の他方の面に、前記圧力室を形成する圧力室形成工程と、 20

前記圧力室形成工程により圧力室が形成された圧力室基板の他方の面に、ノズル板を設けるノズル板設置工程と、をさらに備えた請求項 15 に記載のインクジェット式記録ヘッドの製造方法。

【請求項 18】

前記第 1 圧電体層が圧電  $g$  定数  $g_1$  を備え、前記第 2 圧電体層が圧電  $g$  定数  $g_2$  ( $g_2 > g_1$ ) を備える場合、所望の圧電  $g$  定数  $g$  ( $g_2 > g > g_1$ ) となるように、前記第 1 圧電体層と前記第 2 圧電体層との厚みの比を調整する請求項 15 に記載のインクジェット式記録ヘッドの製造方法。

【請求項 19】

前記第 1 圧電体層が誘電率  $\epsilon_1$  を備え、前記第 2 圧電体層が誘電率  $\epsilon_2$  ( $\epsilon_1 > \epsilon_2$ ) を備える場合、所望の誘電率  $\epsilon$  ( $\epsilon_1 > \epsilon > \epsilon_2$ ) となるように、前記第 1 圧電体層と前記第 2 圧電体層との厚みの比を調整する請求項 15 に記載のインクジェット式記録ヘッドの製造方法。 30

【請求項 20】

圧電  $g$  定数  $g_1$  及び誘電率  $\epsilon_1$  を備える第 1 圧電体層と、圧電  $g$  定数  $g_2$  ( $g_2 > g_1$ ) 及び誘電率  $\epsilon_2$  ( $\epsilon_1 > \epsilon_2$ ) を備える第 2 圧電体層と、を備え、第 1 圧電体層と第 2 圧電体層との間で膜構造的に第 1 圧電体層及び第 2 圧電体層のペロプスカイト型構造の結晶構造が連続していることを特徴とする圧電体素子。

【請求項 21】

前記第 1 圧電体層および前記第 2 圧電体層とは異なる組成を備える 1 種類以上の第 3 圧電体層を備え、当該第 3 圧電体層と他の圧電体層との間で膜構造的に第 3 圧電体層及び他の圧電体層のペロプスカイト型構造の結晶構造が連続していることを特徴とする請求項 20 に記載の圧電体素子。 40

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、インク滴をノズルから噴射して記録媒体に印字するインクジェット式記録ヘッドに係り、特にインクを溜める圧力室に、より強い圧力を発生させることのできる圧電体層を備えたインクジェット式記録ヘッドおよびその製造方法に関する。

【0002】

**【従来の技術】**

インクジェット式記録ヘッドは、振動板上に形成された圧電体素子に電圧を印加し、ノズルと連通する圧力室の体積変化を生じさせ、圧力室の圧力を瞬間的に高めることにより圧力室内のインク滴を記録媒体に噴射させるものである。

**【0003】**

従来のインクジェットプリンタでは、ジルコン酸チタン酸鉛（PZT）等の圧電性セラミックスの層を圧力室基板の一方の面に形成して圧電体素子とし、分極処理して用いていた。

**【0004】**

このようなインクジェットプリンタの圧電体素子には、より少ない駆動電圧でより大きな変位を生ずることが求められる。この特性は、物理的には圧電d定数という圧電g定数と誘電率との積から得られる値により定量化することができる。ここで、圧電d定数とは、変位と電場との間の比例係数のことをいい、圧電g定数とは、電場と応力との間の比例係数のことをいう。また、誘電率とは電場と面電荷密度との間の比例係数をいう。

**【0005】**

しかしながら、上記インクジェット式記録ヘッドに要求される特性に応ずるべく圧電体素子を形成する圧電性セラミックスの組成を変更して実験しても、単一の組成で満足しうる圧電d定数を有する圧電性セラミックスを得ることが困難であった。

**【0006】****【発明が解決しようとする課題】**

上記問題点に鑑み、本願出願人は、複数の圧電体セラミックスを積層することで良好な圧電特性が得られることから、上記問題点を解決する構造に想到した。

**【0007】**

すなわち、本発明の第1の課題は、異なる特性の圧電性セラミックスを積層する構造を備えることにより、従来より高い圧電d定数を備えた圧電体素子を形成し、より少ない電圧でより多量のインク滴の吐出を可能とし、より速いインク滴の吐出を可能としたインクジェット式記録ヘッドを提供することである。

**【0008】**

本発明の第2の課題は、異なる特性の圧電性セラミックスを積層する工程を備えることにより、従来より高い圧電d定数を備えた圧電体素子を形成し、より少ない電圧でより多量のインク滴の吐出を可能とし、より速いインク滴の吐出を可能とした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。

**【0009】**

本発明の第3の課題は、異なる特性の圧電性セラミックスを積層する構造を備えることにより、従来より高い圧電d定数を備えた圧電体素子を提供することである。

**【0010】****【課題を解決するための手段】**

上記第1の課題を解決する発明は、インクが充填される圧力室基板の少なくとも一面に、電圧印加により圧力室の体積変化を生ずる圧電体素子を含む振動板が設けられたインクジェット式記録ヘッドであって、

圧電体素子は、一定値（例えば、1400）以上の誘電率を有する第1圧電体層と一定値（例えば  $13 [\times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{V/N}]$ ）以上の圧電g定数を有する第2圧電体層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である。すなわち、複数層が積層された圧電体層が誘電分離した場合、層全体としての圧電d定数は、各層のうち比較的高い圧電g定数と比較的高い誘電率との積に対応するので、高い圧電d定数を備えた圧電体素子を形成することができる。なお、圧電体とは圧電性セラミックス（piezoelectric ceramics）のことで、力を加えると誘電分極を起こす金属化合物の総称をいう。

**【0011】**

上記第1圧電体層および第2圧電体層の各々は、例えば同種類の組成を備える層を複数積層して構成されるものである。

10

20

30

40

50

## 【0012】

上記第1圧電体層は、例えば、bおよびb'を2価乃至6価の金属元素とし、元素bをn価(nは自然数)、b'をm価、並びにxを $0 < x < 1$ 、yを $0 < y < 1$ およびzを $0 < z < 1$ の実数とした場合に、



という一般式で表される組成を備え、かつ、n、mおよびxは、

$$n(1-x) + mx = 4$$

という関係を満たすペロブスカイト(perovskite)結晶である。この組成によれば、圧電d定数を向上させ、さらに耐電圧特性および耐久性も向上させることができる。例えば上記2価乃至6価の金属元素であるbおよびb'は、Mg, Sc, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Nb, Cd, In, Sn, Sb, La, Yb, Lu, Ta, W, Biのうちいずれか二種の元素で構成される。第1圧電体層は、さらにZrおよびTiのいずれかまたは双方の元素を備えていてもよい。具体的には、上記第1圧電体層は、 $Pb(Zr_{0.56}Ti_{0.44})_{0.8}(Mg_{1/3}Nb_{2/3})_{0.2}O_3$ という組成を備える。

## 【0013】

また例えば第2圧電体層は、Pb、Zr、TiおよびOの各元素からなる圧電性セラミックスである。さらに具体的には上記第2圧電体層は、 $PbZr_{0.56}Ti_{0.44}O_3$ という組成を備える。

## 【0014】

好ましくは、第1圧電体層が圧電g定数g1を備え、第2圧電体層が圧電g定数g2( $g_2 > g_1$ )を備える場合、所望の圧電g定数g( $g_2 > g > g_1$ )となるように、第1圧電体層と第2圧電体層との厚みの比を調整して構成する。本発明によれば、二つの圧電体層を積層した場合、層全体の圧電g定数は、各層の圧電g定数の中間値をとる。層全体の圧電g定数は、両圧電体層の厚みの比によって変化するので、所望の圧電g定数をとるように両圧電体層の厚みを変化させることができる。例えば、圧電g定数が、 $14[mV \cdot m/N]$ になるよう調整される。この現象を分子構造レベルで考察する。異なる組成の圧電体層が接触して形成されると、両層がエピタキシャル成長して、両者のペロブスカイト(perovskite)型構造が連結する。いずれか一方の結晶に大きな応力が発生すると、他方の結晶がこれに引きずられ、他方の結晶単独で発生しうる応力よりも大きな圧電g定数を生む。したがって、類似の結晶構造を備える異種のセラミックスを重ねると、単独の結晶で圧電セラミックスを構成したときと異なる圧電g定数を示すようになる。圧電g定数がより高い方の圧電体に、より低いほうの圧電体が引きずられるようにして、単独では圧電g定数がより低い方の圧電体においても実際には圧電g定数が向上するのである。

## 【0015】

また好ましくは第1圧電体層が誘電率 $\epsilon_1$ を備え、第2圧電体層が誘電率 $\epsilon_2$ ( $\epsilon_1 > \epsilon_2$ )を備える場合、所望の誘電率( $\epsilon_1 > \epsilon > \epsilon_2$ )となるように、第1圧電体層と第2圧電体層との厚みの比を調整して構成する。すなわち、異なる誘電率を備える二つの圧電体層が積層されると、コンデンサが直列接続されたときに類似する誘電特性を備える。したがって、全圧電体層における誘電率は、両圧電体層の誘電率の中間値をとる。圧電体層全体の誘電率は、両圧電体層の厚みの比によって変化するので、所望の誘電率をとるように両圧電体層の厚みを変化させることができる。例えば、誘電率が1400になるよう調整される。

## 【0016】

また本発明のインクジェット式記録ヘッドは、第1圧電体層および前記第2圧電体層とは異なる組成を備える1種類以上の第3圧電体層を備えていてもよい。すなわち第3圧電体層には種類の異なる複数種類からなる複数層をも含むものとする。ここで例えば、第3圧電体層は前記第1圧電体層および前記第2圧電体層のそれぞれの組成を合成して構成されるものである。

## 【0017】

層構造としては、例えば第1圧電体層および前記第2圧電体層を複数備え、前記第1圧電

10

20

30

40

50

体層と前記第2圧電体層とが規則的に繰り返されて積層されている。

【0018】

また前記第1圧電体層、前記第2圧電体層および1種類以上の第3圧電体層をそれぞれ複数備え、前記第1圧電体層、前記第2圧電体層および1種類以上の第3圧電体層が規則的に繰り返されて積層されていてもよい。

【0019】

さらに前記第1圧電体層、前記第2圧電体層および1種類以上の第3圧電体層をそれぞれ1層以上備え、前記第1圧電体層、前記第2圧電体層および1種類以上の第3圧電体層が不規則に積層されていてもよい。

【0020】

また上記圧電体素子は上部電極と結晶成長の基礎となる下部電極とを備え、前記下部電極に密着する圧電体層が結晶成長の核となる結晶粒を備えていることが好ましい。下部電極に密着する圧電体層に結晶粒が存在するとその結晶粒から結晶の成長が始まり良好な結晶状態の圧電体層を構成するからである。

【0021】

上記第2の課題を解決する発明は、インクが充填される圧力室基板の少なくとも一面に、電圧印加により圧力室の体積変化を生ずる圧電体素子を含む振動板が設けられたインクジェット式記録ヘッドの製造方法であって、圧力室基板の一方の面に絶縁膜および下部電極膜を形成する振動板形成工程と、振動板形成工程により形成された下部電極膜に、第2の組成を有する第2圧電体層を形成する第2圧電体層形成工程と、第2圧電体層形成工程により形成された第2圧電体層に、第1の組成を有する第1圧電体層を形成する第1圧電体層形成工程と、第1圧電体層形成工程により形成された第1圧電体層に上部電極膜を形成する上部電極形成工程と、上部電極形成工程により上部電極膜が形成された圧力室基板をエッチングし、圧電体素子を形成するエッチング工程と、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の製造方法である。

【0022】

好ましくは上記第1の組成または第2の組成を有する圧電体層のうちいずれか一方は一定値以上の圧電 $g$ 定数を有し、その他方は一定値以上の誘電率を有する。

【0023】

また上記第1圧電体層形成工程および第2圧電体層形成工程は、圧電体層の前駆体を塗布する塗布工程と、塗布工程により塗布された圧電体層の前駆体を乾燥させる乾燥工程と、乾燥工程により乾燥させた圧電体層からさらに脱脂する脱脂工程と、脱脂工程により脱脂させた圧電体層をさらに高速熱処理する結晶化工程と、を備えることは好ましい。さらに塗布工程と乾燥工程と脱脂工程とを順に複数回繰り返すことにより、乾燥されおよび脱脂された圧電体層を複数積層することは好ましい。このように乾燥させ、脱脂させ、結晶化させることにより、各圧電体層を特定の方向に誘電分極させアモルファス状態を解消するので、第1の組成と第2の組成の各圧電体層の組成差を少なく抑えることができる。すなわち、アモルファス状態の異種の圧電体層を重ねると拡散現象が生じ、組成の差が消失する傾向にあるが、複数の層に分け、それぞれを乾燥させ、脱脂させ、および結晶化することにより、拡散現象を少なく抑え、組成差を元のセラミックスの組成の通り維持させることができる。

【0024】

また本発明は、圧力室基板の他方の面に、圧力室を形成する圧力室形成工程と、圧力室形成工程により圧力室が形成された圧力室基板の他方の面に、ノズル板を設けるノズル板設置工程と、をさらに備える。

【0025】

【発明の実施の形態】

次に、本発明の最良の実施の形態を図面を参照して説明する。

【0026】

<実施形態1>

10

20

30

40

50

(構成の説明)

まず本発明のインクジェット式記録ヘッドが適用されるインクジェットプリンタの構成を説明する。本実施形態1におけるインクジェットプリンタ100は、図2に示すように、本発明のインクジェット式記録ヘッド101、本体102、トレイ103を備えて構成されている。インクジェット式記録ヘッド101は、用紙105が給紙された際に、同図の矢印の方向へ駆動され、そのノズル11(図3参照)から吐出されたインク滴により用紙105上に印字可能なように構成されている。本体102は、トレイ103を備え、その内部にインクジェット式記録ヘッド101を駆動可能に配置しており、図示しないコンピュータから印字情報が送信されてきた際に、トレイ103から供給された用紙105を排出口104に排紙可能に構成されている。トレイ103は、用紙105を載置し、給紙時

10

【0027】

図3に示すように、本インクジェット式記録ヘッド101は、ノズル板1、圧力室基板2、振動板3および筐体5を備えて構成されている。

【0028】

ノズル板1は、圧力室基板2に貼り合わせられた状態で、圧力室基板2に複数設けられたキャビティ(圧力室)21の各々に対応する位置にノズル11が配置されるよう構成されている。

【0029】

圧力室基板2は、キャビティ21、側壁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等することにより形成され、側壁22は、キャビティ21間を仕切るよう構成され、リザーバ23は、各キャビティ21にインク充填時にインクを供給可能な共通の流路として構成されている。供給口24は、各キャビティ21にインクを導入可能に構成されている。

20

【0030】

筐体5は、樹脂または金属により成型され、ノズル板1および振動板3が貼り付けられた圧力室基板2を収納可能に構成されている。筐体5には、図示しないインクタンクからインクが供給され、図4に示すインクタンク口33を介して圧力室基板2内にインクを供給可能に構成されている。

【0031】

振動板膜3は、図4に示すように、圧力室基板2の一方の面に貼り合わせ可能な構成を備えている。圧電体素子4は、振動板3上に所定の形状で形成されて構成されている。

30

【0032】

振動板膜3および圧電体素子4の層構造(図4のA-A切断面)は、具体的には図1に示すように、圧電体素子4としての上部電極膜40、第1圧電体層41および第2圧電体層42、並びに振動板3としての下部電極膜30および絶縁膜31を備えて構成されている。

【0033】

上部電極膜40は、圧電体層に電圧を印加するための一方の電極となり、導電性を有する材料、例えば、厚み0.1μmの白金(Pt)で構成されている。

40

【0034】

第1圧電体層41は複数の層、例えば4層のセラミックス層411乃至414から構成されている。各セラミックス層は、一層を形成するごとに乾燥されおよび脱脂されることにより、各層が分極されて構成されている。各セラミックス層411乃至414は、圧電性セラミックスの中でも誘電率が相対的に高い組成により構成されている。具体的には、第1圧電体層41は一般式、

$$Pb(Zr_{(1-y)}Ti_y)_{(1-z)}(b_{(1-x)}b'_x)_zO_3 \quad \dots (1)$$

で表されるペロブスカイト(perovskite)構造の結晶が好ましい。ただし、bおよびb'は2価乃至6価の金属元素とする。0 < x < 1、yを0 < y < 1およびzを0 < z < 1の実数とする。元素bをn価(nは自然数)、b'をm価とした場合、nおよびmは、

50

$$n(1-x) + mx = 4 \quad \dots (2)$$

という関係を満たすように調整される。(2)式は、元素が電氣的に中性であることを意味している。例えば、2価から6価の金属元素としては、Mg, Sc, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Nb, Cd, In, Sn, Sb, La, Yb, Lu, Ta, W, Bi等の金属元素が挙げられる。例えば第1圧電体層41のb及びb'に関する組成は、 $Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ 、 $Pb(Mg_{1/3}Ta_{2/3})O_3$ 、 $Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ 、 $Pb(Co_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ 、 $Pb(Mn_{1/2}W_{1/2})O_3$ 、 $Pb(Zn_{1/2}W_{1/2})O_3$ 、 $Pb(Mg_{1/2}W_{1/2})O_3$ 、 $Pb(Co_{1/2}W_{1/2})O_3$ 、 $Pb(Ni_{1/2}W_{1/2})O_3$ 、 $Pb(Fe_{2/3}W_{1/3})O_3$ 等が挙げられる。例えば良好な圧電特性を示す第1圧電体層の代表的組成例として、 $Pb(Zr_{0.56}Ti_{0.44})_{0.8}(Mg_{1/3}Nb_{2/3})_{0.2}O_3$ が挙げられる。

10

#### 【0035】

また、Mgは深さ(厚み)方向に比較的容易に拡散しやすく、圧電体素子の耐電圧特性を劣化させるので、第1圧電体層はMgを含まない組成であってもよい。このような第1圧電体層の組成によれば、圧電d特性と比例関係にある誘電率が向上するためその圧電d特性が向上する。また、比較的深さ方向に拡散しやすいMgを使用していない場合には、第3成分が深さ方向により均一に分布することで、その耐電圧特性および耐久性が向上する。

#### 【0036】

圧電体層の製造時、塗布直後の圧電性セラミックス(以下「前駆体」と称する)はアモルファス状態であり、他の組成物(例えば、第2圧電体層)と接する面において元素の拡散現象が生じる。しかし、本形態では、第2圧電体層421が乾燥・脱脂され結晶化されている上、セラミックス層414bについても、塗布後に乾燥および脱脂を行い結晶化するので、第2圧電体層の組成物との間で拡散現象が及び難い。したがって、少なくともセラミックス層411乃至413については塗布時の組成のまま維持される。

20

#### 【0037】

第2圧電体層42は複数の層、例えば4層のセラミックス層421乃至424から構成されている。各セラミックス層は、一層を形成するごとに乾燥されおよび脱脂されることにより、結晶化されて構成されている。各セラミックス層421乃至424は、圧電性セラミックスの中でも圧電g定数が相対的に高い組成により構成されている。このような組成として、例えば鉛(Pb)、ジルコニウム(Zr)、およびチタン(Ti)の酸化物(PZT、ジルコン酸チタン酸鉛)等を含む組成が挙げられる。第2圧電体層の具体的組成例として、 $PbZr_{0.56}Ti_{0.44}O_3$ が挙げられる。

30

#### 【0038】

圧電体層の製造時、塗布直後の第2圧電体層42におけるセラミックス層の前駆体424bはアモルファス状態であり、他の組成物(例えば、下部電極膜30のチタン層301)と接する面において元素の拡散現象が生じる。しかし、セラミックス層424bを塗布後に乾燥および脱脂を行って結晶化するので、下部電極膜30の組成物との間で拡散現象が及び難い。したがって、少なくともセラミックス層421乃至423については塗布時の組成のまま維持される。下部電極膜30に直接接する圧電体層424は結晶が最初に成長する層である。この圧電体層の形成時に塗布された圧電体膜前駆体には結晶核が含まれていることが好ましい。下部電極膜に接する層に結晶核が存在すると、その結晶核の界面からペロブスカイト結晶構造が成長する。下部電極膜に接しない圧電体層ではその圧電体層が接する圧電体層の結晶構造に対応して結晶成長が進む。つまり少なくとも下部電極膜に接する層に結晶核が存在することは良好な結晶構造の圧電体素子を形成するために好ましい。

40

#### 【0039】

なお、第1圧電体層41と第2圧電体層42は、その積層の順序が逆であってもよい。つまり、第1圧電体層41を下部電極膜30上に形成し、その上に第2圧電体層42を形成

50

し、その上に上部電極膜 40 を形成するよう構成してもよい。

【0040】

また、各圧電体層は、4層で構成する他に4層より多い層で構成しても、より少ない層で構成してもよい。ただしあまり多くの層を積層すると、駆動電圧が高くなり本発明の利点を損なう。積層数を少なくしすぎると、拡散現象による組成の均一化が両圧電体層間で進み、単一の組成で圧電体素子を構成したのと同様の構造となり、圧電 d 定数の向上が期待できなくなる。また各セラミックス層の厚みは、あまりに厚くすると、層全体の厚みが厚くなり、高い駆動電圧が必要となる。あまりに薄くすると、厚みを均一にできずエッチング後に分離された各圧電体素子の特性がばらついたり、製造工数が多くなり、妥当なコストで製造できなくなったりする。したがって、各圧電体層におけるセラミックス層の積層数は、2層乃至6層が好ましく、特に好適には4層程度である。各セラミックス層の厚みは、80nm~200nm、特に好適には125nm程度が好ましい。

10

【0041】

また、各圧電体層を構成するセラミックス層はすべて同じ厚みにする必要はなく、例えば、他の組成物と接する層(414や424)のみ薄くし、他の層を厚めに形成してもよい。このようにすれば、組成物の拡散の生じうる層の厚さをさらに少なくすることができる。

【0042】

下部電極膜30は、圧電体層に電圧を印加するための上部電極膜40と対になる他方の電極であり、導電性を有する材料、例えば、チタン(Ti)層301、白金(Pt)層302、およびチタン(Ti)層303を積層して構成されている。さらに酸化チタン層304およびチタン層305は、チタン層301、白金層302およびチタン層303からなる下部電極膜30と絶縁膜31との密着性を向上させるために、下部電極膜30と絶縁膜31との間に積層されている。

20

【0043】

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、圧電体層の厚み方向と厚みに垂直な方向の変位により変形し、キャピティ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。

【0044】

(作用)

圧電体素子の特性を示す指標として、圧電 d 定数がある。圧電 d 定数は、単位 C/N で表わされる。すなわち、1ニュートンの圧力を加えた場合に発生する電荷量で示される。圧電 d 定数は、電場と応力との間の比例定数である圧電 g 定数と電場と面電荷密度との間の比例定数である誘電率との積に相関する。

30

【0045】

いま、第1の圧電 g 定数  $g_1$  および第1の誘電率  $\epsilon_1$  を有する圧電体層と、第2の圧電 g 定数  $g_2$  ( $g_1 < g_2$ ) および第2の誘電率  $\epsilon_2$  ( $\epsilon_1 > \epsilon_2$ ) を有する圧電体層とを積層した場合、この二層全体の厚み方向の圧電 d 定数は、

$$d = g \times \epsilon \times \epsilon_0 \dots (3)$$

という関係で表わされる。ここで、 $g_1 < g_2$ 、 $\epsilon_2 < \epsilon_1$ 、 $\epsilon_0$  は真空誘電率 ( $= 8.85 \times 10^{-12}$  [F/m]) である。つまり、複数の圧電体層を重ねた場合に、全体の圧電 d 定数は、相対的に大きい圧電 g 定数と相対的に大きい誘電率との積に比例するのである。この理由としては、圧電体素子の構造がコンデンサ配列モデルと力学配列モデルにより解析できることに起因すると考えられる。両層の圧電 g 定数が異なる場合に全体の圧電 g 定数がどのようになるかは原子構造レベルでの考察で理解することができる。異なる組成の圧電体層が接触して形成される場合、一方の圧電体層から結晶がエピタキシャル成長して他方の圧電体層に伝播していく。これら両圧電体層の界面付近を高分解能断面 TEM (transmission electron microscopy) により撮影すると、これら両層の界面付近を超えて原子の格子が連なっているのが観察される。つまり両層における成分がともにエピタキシャル成長し、第2圧電体層と第1圧電体層との間で膜構造的に欠陥なく原子レベ

40

50

ルで結晶構造が連続していることを示している。一方の圧電体層における結晶構造の変化は、他方の圧電体層にも及ぼされ、いずれか一方の結晶に、より大きな応力が発生すると他方の結晶がこれに引きずられ、他方の結晶単独で発生しうる応力よりも大きな圧電  $g$  定数を生む。したがって、類似の結晶構造を備える異種のセラミックスを重ねると、単独の結晶で圧電セラミックスを構成したときと異なる圧電  $g$  定数を示すようになる。圧電  $g$  定数がより高い方の圧電体に、より低いほうの圧電体が引きずられるようにして、より圧電  $g$  定数が低い方の圧電体においても圧電  $g$  定数が向上するのである。

#### 【0046】

また両層の誘電率が異なる場合に圧電体素子全体の誘電率がどのような値をとるかは、圧電体層をコンデンサの接続関係に見立て考察すると理解しやすい。圧電体層が単一である圧電体素子をコンデンサとして見た場合に比べ、異なる誘電率を備える二つの圧電体層が積層された圧電体素子では、単一層に比べ間隙が狭くなった異なる誘電率のコンデンサが直列接続されたときに類似する誘電特性を備える。全圧電体層における誘電率は両圧電体層の誘電率の中間値に近い値をとる。つまり誘電率の高い層を積層しておくことで全体の誘電率を上げることができるのである。

10

#### 【0047】

本実施形態では、第2圧電体層42はPZTで構成されるため、圧電  $g$  定数が高い。第1圧電体層41は、PZTにさらにマグネシウム(Mg)とニオブ(Nb)とを含有する場合、圧電  $g$  定数が若干第2圧電体層42より落ちるが、誘電率が第2圧電体層42より高くなる。このため、第1圧電体層41と第2圧電体層42とを積層した場合の圧電  $d$  定数は、式(3)にしたがえば、それぞれの圧電体層単独で圧電体素子を構成した場合よりも高くなる。したがって、本実施形態の圧電体素子は、従来の単一の組成で圧電体素子を形成した場合よりもより大きな圧電  $d$  定数を示し、同一の印加電圧であれば、より大きな変位を生ずる。

20

#### 【0048】

次に、インク滴吐出の原理を説明する。図5に、本形態のインクジェット式記録ヘッドのうち、2つのキャビティを含む断面図を示す。キャビティ21Aに対応する圧電体素子4Aには、電圧  $V_0$  が印加され、キャビティ21Bに対応する圧電体素子4Bには、電圧  $V_1$  が印加されている。電圧  $V_0$  は、圧電体素子に変位を生じさせない電圧(例えば0V)であり、電圧  $V_1$  は、圧電体素子に変位を生じさせる電圧(例えば1.5V)である。

30

#### 【0049】

電圧  $V_0$  が印加されている圧電体素子4Aは変位を生じないので、キャビティ21A内の圧力に変化は生じない。ノズル11Aにはインクのメカニカス107Aが生ずるのみで、インク滴は吐出されない。

#### 【0050】

一方、電圧  $V_1$  が印加されている圧電体素子4Bでは複数の圧電体層の積層構造により、大きな変位を生じる。下部電極膜30および絶縁膜31が図5の破線の32bおよび31bで示すような位置に大きくたわみ、キャビティ21B内の体積を減少させる。このためキャビティ21B内の圧力が瞬間的に高まり、ノズル11Bからインク滴108が吐出する。

40

#### 【0051】

(製造方法の説明)

次に、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。

#### 【0052】

振動板形成工程(図6(a))： まず、シリコン基板20に振動板膜3となる絶縁膜31と下部電極膜30を形成する。絶縁膜31は、例えば、1100の炉の中で、乾燥酸素を流して22時間程度熱酸化させ、約1 $\mu$ mの厚みの熱酸化膜とすることで形成される。あるいは、1100の炉の中で、水蒸気を含む酸素を流して5時間程度熱酸化させ、約1 $\mu$ mの厚みの熱酸化膜を形成してもよい。これらの方法により形成された絶縁膜は、電気的な絶縁をする他、エッチング処理に対する保護層となる。

50

## 【 0 0 5 3 】

下部電極膜 3 0 としては、例えば、チタン層 3 0 5 を約 2 0 n m、酸化チタン層 3 0 4 を約 2 0 n m、チタン層 3 0 3 を約 5 n m、白金 3 0 2 を約 5 0 0 n m およびチタン層 3 0 1 を約 5 n m の各厚みで、直流スパッタ法等を用いて順次積層して形成する。なお、厚み約 8 0 0 n m の白金層をスパッタ法等により形成してもよい。ただし、白金層 3 0 2 の下のチタン層 3 0 3 は必要である。

## 【 0 0 5 4 】

第 2 圧電体層形成工程 ( 図 6 ( b ) ( c ) ) : 次に第 2 圧電体層 4 2 を形成する。

## 【 0 0 5 5 】

i ) 塗布工程 ( 同図 ( b ) ) : 一定値以上の圧電 g 定数を有する圧電性セラミックス材料 ( 例えば、ジルコン酸チタン酸鉛 : P Z T ) あるいはそれらの固溶体を主成分とする材料を、スピコーティング法で下部電極膜 3 0 の上に塗布 ( 形成 ) する。層の厚みは、本形態のように 4 層重ねる場合には、一層当たり 1 2 5 n m 程度の厚さにする。各層の厚みを均一化するために、スピコーティングする回転台は、小さい回転速度 ( 例えば 5 0 0 r.p.m で 3 0 秒程度 ) から始め、次第に大きい回転速度 ( 例えば 1 5 0 0 r.p.m で 3 0 秒程度 ) に加速され、最後に再び小さい回転速度 ( 例えば 5 0 0 r.p.m で 1 0 秒程度 ) まで減速される。

10

## 【 0 0 5 6 】

なお、塗布直後からセラミックス層と下部電極膜との界面で拡散現象が生ずるが、次の乾燥・脱脂工程後さらに当該セラミックス層 4 2 4 を結晶化することで、拡散現象は止まる。

20

## 【 0 0 5 7 】

i i ) 乾燥・脱脂工程 ( 図 6 ( c ) ) : 塗布直後のセラミックス層 4 2 4 b はアモルファス状態の圧電体膜前駆体というものであり、結晶化していない。このため、セラミックス層 4 2 4 b の塗布後、有機溶媒を蒸発させるべく、一定温度 ( 例えば 1 8 0 度 ) で一定時間 ( 例えば 1 0 分程度 ) 乾燥させる。乾燥後、所定の高温 ( 例えば 4 0 0 度 ) で一定時間 ( 3 0 分間 ) 脱脂する。脱脂により圧電体膜前駆体中の金属元素に配位している有機の配位子が熱分解され、金属が酸化されて金属酸化物となる。この工程で、前駆体であったセラミックス層 4 2 4 b はセラミックス層 4 2 4 に変化する。

## 【 0 0 5 8 】

乾燥・脱脂によりセラミックス層 4 2 4 が形成されると、この上にさらに上記 i ) および i i ) の工程をくり返し、セラミックス層 4 2 3 を形成し、さらにもう 2 回、上記 i ) および i i ) の工程をくり返してセラミックス層 4 2 2 、 4 2 1 を形成する。この塗布 乾燥 脱脂の各工程を所定回数、例えば 4 回繰り返す。これらの乾燥や脱脂により、前駆体中の金属アルコキシドが加水分解や重縮合され金属 - 酸素 - 金属のネットワークが形成される。

30

## 【 0 0 5 9 】

4 回重ねてセラミックス層を形成した後、所定の雰囲気下で熱処理する。例えば、酸素中において、高速熱処理 ( R T A : Rapid Thermal Annealing ) するため、6 0 0 度で 5 分間、さらに 7 2 5 度で 1 分間加熱する。この熱処理によりアモルファス状態のゲルからペロブスカイト結晶構造の結晶化が促進され圧電体としての特性が向上する。

40

## 【 0 0 6 0 】

第 1 圧電体層形成工程 ( 図 6 ( d ) ( e ) ) : 上記工程で形成された第 2 圧電体層 4 2 上に、さらに第 1 圧電体層 4 1 を形成する。

## 【 0 0 6 1 】

i ) 塗布工程 ( 図 6 ( d ) ) : 一定値以上の誘電率を有する圧電性セラミックス ( P b 、 Z r 、 T i 、 M g および N b の酸化物 ) またはその固溶体の材料を、第 1 セラミックス層形成時と同様に、スピコーティング法等により第 2 圧電体層 4 2 上に塗布する。塗布条件、厚み等は上記第 1 セラミックス層形成工程と同様である。

## 【 0 0 6 2 】

50

i i) 乾燥・脱脂工程(図6(e)) : 最初のセラミックス層の前駆体414bを塗布後、乾燥・脱脂させる処理および条件についても上記第1セラミックス層形成工程と同様である。また、セラミックス層414形成後、さらにセラミックス層413乃至411を積層していく点も、第1セラミックス層形成工程と同様である。

【0063】

また4回重ねてセラミックス層を形成した後、セラミックス層の結晶化を促進し、圧電体層の特性を向上させるために、所定の雰囲気下で熱処理する。例えば、酸素中において、高速熱処理(RTA)するために、650度で5分間、さらに900度で1分間加熱する。これにより8層積層されて1000nm程度の厚みの圧電体層が形成される。

【0064】

上部電極形成工程(図6(f)) : 第1圧電体層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、上部電極膜40を形成する。上部電極の材料は、アルミニウム、白金等を用いる。厚みは100nm程度にする。

【0065】

エッチング工程(図6(g)) : 各層を形成後、振動板膜3上の積層構造を、各キャビティの形状に合わせた形状になるようマスクし、その周囲をエッチングし、上部電極膜と圧電体層を取り除く。すなわち、スピナー法、スプレー法等の方法を用いて均一な厚さのレジストを塗布し、露光・現像して、レジストを上部電極膜40上に形成する。これに、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、不要な層構造部分を除去する。以上の工程で、圧電体素子が完成する。

【0066】

圧力室形成・ノズル板設置工程(図6(h)) : 圧力室基板2の他方の面にキャビティ21を形成する。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。エッチング後の圧力室基板2にノズル板1を樹脂等を用いて貼り合わせる。このとき、各ノズル11が圧力室基板2のキャビティ21の各々の空間に配置されるよう位置合せする。ノズル板1の貼り合わせられた圧力室基板2を筐体5に取り付ければ、インクジェット式記録ヘッド101が完成する。

【0067】

(実施例1)

上記製造方法によりインクジェット式記録ヘッド101を製造した。第1圧電体層の組成には、 $Pb(Zr_{0.56}Ti_{0.44})_{0.8}(Mg_{1/3}Nb_{2/3})_{0.2}O_3$ を採用した。第2圧電体層の組成には、 $PbZr_{0.56}Ti_{0.44}O_3$ を使用した。実施例のインクジェット式記録ヘッドの圧電体層深度に対する各元素のイオン数(Pb、Zr、Ti、Mg、Nb、O、Pt、Si)を測定すると、図7に示すように変化した。

【0068】

図7に示すように、第1圧電体層41では、第2圧電体層42に比べ、マグネシウムMgとニオブNbの含有量が上昇している。同図によれば、イオンの拡散が防止され、それぞれ圧電体の当初の組成が維持されていることがわかる。これは、各圧電体層を4層の積層構造としたことによると考えられる。このときの第1圧電体層の厚みは500nm、第2圧電体層の厚みは500nmである。最表面の平滑性をSEM(走査型電子顕微鏡)で評価したところ、30nm~100nmであった。

【0069】

表1に、本実施例のインクジェット式記録ヘッドの圧電d定数、圧電g定数および誘電率を、第1圧電体層の組成で同厚の圧電体素子を形成した場合と第2圧電体層の組成で同厚の圧電体素子を形成した場合と比較した結果を示す。なお、分極電場強度Epを、 $E_p = 275 \text{ kV/cm}$ とした条件下で測定した。

【0070】

【表1】

10

20

30

40

圧電体層の種類	圧電d定数 d31[pC/N]	圧電g定数 g31[m·mV/N]	誘電率 $\epsilon$
本実施例	185	14.0	1500
第1圧電体層	140	9.0	1800
第2圧電体層	120	13.5	1000

10

## 【0071】

表1で添字31は、圧電体素子の厚み方向の値であることを示している。表1に示すように、第1圧電体層のみで圧電体素子を形成した場合や、第2圧電体層のみで圧電体素子を形成した場合に比べ、これら2種類の圧電体層を積層した本発明の圧電体素子では、圧電g定数および誘電率ともに比較的大きく、高い圧電d定数が得られている。

## 【0072】

(実施例2)

本発明の実施例2は第1圧電体層におけるMgの影響を調べたものである。表2に、実施例1の第1圧電体層の組成の代わりに上記(1)式および(2)式にしたがった組成を使用した場合の圧電体素子の圧電特性を、耐電圧特性および耐久性と併せて示す。比較のため従来の単層のみで構成した圧電体素子の圧電特性も示す。

20

## 【0073】

【表2】

圧電体素子の種類	組成式(第1圧電体層)	圧電d定数 d31[pC/N]	耐電圧特性 [V/ $\mu$ m]	耐久性
本実施形態の 圧電体素子	$Pb(Zr_{0.56}Ti_{0.44})_{0.8}(Ni_{1/3}Nb_{2/3})_{0.2}O_3$	170	80	1.2倍
通常の圧電体 素子	$Pb(Zr_{0.56}Ti_{0.44})_{0.8}(Mg_{1/3}Nb_{2/3})_{0.2}O_3$	150	70	1.0倍

30

## 【0074】

この表からも判るように、Mgが第1圧電体層にMgが含まれていないと、全体の圧電d特性が向上し、さらに耐電圧特性および耐久性に優れる。

## 【0075】

上記実施形態1によれば、複数種類の圧電体層を積層することにより、高い圧電d定数を  
得ることができる。同一の電圧であれば、より大きい変位を生ずる圧電体素子を製造できる。したがって、同一の電圧でより多量のインク滴を高速に吐出できるインクジェット式記録ヘッドを提供できる。

40

## 【0076】

また、圧電体層を、セラミックス層一層ごとに結晶化することにより、アモルファス状態のセラミックスであっても、拡散現象を抑えることができ、高い圧電d定数を維持可能な層構造を提供することができる。

## 【0077】

また、複数の圧電体層のうち一部の圧電体層に特定の組成を使用することで圧電体素子全体の誘電率を上げることができる。特にMgを含まない圧電体層の組成を使用すると高い

50

圧電 d 特性とともに、耐電圧特性にも優れた圧電体素子を提供できる。

【0078】

<実施形態2>

上記実施形態1では第1圧電体層の厚みと第2圧電体層の厚みとが同じであったが、本実施形態2では、両層の厚みを変更することにより、新たな用途を提供するものである。

【0079】

(層構造の説明)

本実施形態2の圧電体素子は、上記実施形態1と同様のインクジェットプリンタ(図2参照)、インクジェット式記録ヘッド(図3および図4参照)に使用されるものであるため、その説明を省略する。

10

【0080】

本実施形態の圧電体素子4bの層構造(図4におけるA-A切断面)は、図8に示すように、上部電極膜40およびセラミックス層431~438を備えて構成されている。

【0081】

上部電極膜40は、実施形態1と同様に、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、厚み0.1μmの白金(Pt)で構成されている。

【0082】

セラミックス層431~438は、上記実施形態1と同様の第1圧電体層41および第2圧電体層42に分けられるが、両圧電体層の境界は、第2層432と第3層433との間から第6層436と第7層437との間まで任意に変化させて構成する。各セラミックス層の厚みは上記実施形態1と同様に例えば125nmの厚みで形成する。

20

【0083】

第1圧電体層41に割り当てられるセラミックス層の組成は、実施形態1と同様、圧電性セラミックスの中でも誘電率が相対的に高い組成により構成されている。その組成には実施形態1と同様のものが適用できる。例えば第1圧電体層の組成例として、 $Pb(Zr_{0.56}Ti_{0.44})_{0.8}(Mg_{1/3}Nb_{2/3})_{0.2}O_3$ が挙げられる。

【0084】

第2圧電体層42に割り当てられる層の組成は、実施形態1と同様、圧電性セラミックスの中でも誘電率が比較的低く、圧電g定数が相対的に高い組成により構成されている。その組成には実施形態1と同様のものが適用できる。例えば第2圧電体層の組成例として、 $PbZr_{0.56}Ti_{0.44}O_3$ が挙げられる。

30

【0085】

また上記実施形態1と同様の理由により、少なくとも下部電極膜に接する層に結晶核が存在することは良好な結晶構造の圧電体素子を形成するために好ましい。

【0086】

振動板膜3は、下部電極膜30と絶縁膜31とにより構成され、その具体的な層構造については上記実施形態1と同様であり、その説明を省略する。

【0087】

なお、第1圧電体層41と第2圧電体層42は、その積層の順序が逆であってもよい。つまり、第1圧電体層41を下部電極膜30上に形成し、その上に第2圧電体層42を形成し、その上に上部電極膜40を形成するよう構成してもよい。

40

【0088】

本実施形態2における圧電体素子の製造方法は、各圧電体層の積層数を除き、上記実施形態1とほぼ同様である。すなわち、振動板形成工程(図6(a))により、シリコン基板20に振動板膜3となる絶縁膜31と下部電極膜30を形成し、第2圧電体層形成工程(図6(b)(c))により、第2圧電体層42を形成する。このとき、積層するセラミックス層の層数を適宜変化させる。積層するセラミックス層の層数は、圧電体素子全体が所望の圧電g定数を示すように、あるいは所望の誘電率を示すように両圧電体層の厚みの比を変えて調整する。すなわち、第1圧電体層が圧電g定数g1を備え、前記第2圧電体層が圧電g定数g2( $g2 > g1$ )を備える場合には、所望の圧電g定数g( $g2 > g > g1$ )とな

50

るように、第1圧電体層と第2圧電体層との厚みの比を調整する。

【0089】

また、第1圧電体層が誘電率 $\epsilon_1$ を備え、第2圧電体層が誘電率 $\epsilon_2$  ( $\epsilon_1 > \epsilon_2$ )を備える場合には、所望の誘電率 ( $\epsilon_1 > \epsilon > \epsilon_2$ )となるようにセラミックス層の積層数を変える。もちろんセラミックス層の厚みを変えて第1圧電体層と第2圧電体層との厚みの比を調整することも可能である。セラミックス層の層数は、第1圧電体層と第2圧電体層とを合わせた全層数が、12層程度を超えないようにする。層数が多すぎると、駆動電圧が高くなってしまふからである。

【0090】

各セラミックス層は、塗布工程(図6(b))による上記圧電性セラミックス材料等の塗布と、乾燥・脱脂工程(図6(c))による、塗布されたセラミックス層の乾燥および脱脂により夫々形成される。また複数層を積層したのち高速熱処理を行う点も同じである。高速熱処理を行うタイミングはその圧電体層の積層数に応じて定める。最初の高速熱処理はセラミックス層の積層数が約半数のところで行う。最初の高速熱処理では、例えば酸素中においてセラミックス層を600度で5分間、さらに725度で1分間加熱する。

【0091】

次いで、第1セラミックス層形成工程(図6(d)(e))により、第2圧電体層42上に、さらに第1圧電体層41を形成する。第1圧電体層における各セラミックス層も、第2圧電体層と同様に、上記圧電性セラミックス材料の塗布と、乾燥・脱脂により形成される。総てのセラミックス層を積層したところでさらに最後の高速熱処理を一回行う。この最後の高速熱処理では、例えば酸素中においてセラミックス層を650度で5分間、さらに900度で1分間加熱する。そして、上部電極形成工程(図6(f))により、第1圧電体層41上に上部電極膜40を形成する。

【0092】

圧電体素子の形状をキャビティに合せた形状にするために、上記実施形態1と同様にエッチング工程(図6(g))により残したい圧電体素子以外の層を除去する。以上の工程で、圧電体素子4bが完成する。その後は、圧力室形成・ノズル板設置工程(図6(h))により、圧力室基板2の他方の面にキャビティ21を形成し、ノズルを貼り合わせる。

【0093】

(作用)

本発明によれば、二つの圧電体層を積層した場合、層全体の圧電g定数および誘電率は、各層の圧電g定数や誘電率の間の値をとる。層全体の圧電g定数や誘電率は、両圧電体層の厚みの比によって変化するので、所望の圧電g定数や誘電率をとるように両圧電体層の厚みを変化させることができる。

【0094】

圧電g定数が両層の圧電g定数の間の値をとる理由は、上記実施形態1と同様に原子構造レベルでの考察で理解することができる。誘電率が両圧電体層の誘電率の間の値をとる理由も上記実施形態1と同様、圧電体層をコンデンサの接続関係に見立て考察することで理解できる。圧電体層全体の誘電率は、両圧電体層の厚みの比によって変化するので、所望の誘電率をとるように両圧電体層の厚みを変化させることができる。したがって圧電体素子の圧電g定数あるいは誘電率に制限がある場合には、その制限に合わせて積層数を変化させることで、圧電体素子全体の圧電d定数を向上させながらも、圧電g定数または誘電率のどちらかを低く抑えた圧電体素子を設計できる。例えば、コンパクトディスク等から信号を読み取るためのアクチュエータでは、回路電流を少なくすることが望ましい。このためアクチュエータ用の圧電体素子では、誘電率を低く抑える必要がある。したがって所望の回路電流を提供する圧電体素子の誘電率を計算し、この誘電率以下で圧電体素子を設計すればよい。

【0095】

ただし一方の圧電体層が他方の圧電体層に影響を及ぼすためには、一方の圧電体層における結晶格子間距離の変化が、他方の圧電体層における格子間距離に変化を及ぼすことがで

10

20

30

40

50

きるよう、一方の圧電体層に十分な応力を発生させなければならない。したがって、たとえば、セラミックス層を125nmの厚みで積層するなら、第1圧電体層41および第2圧電体層42は、最低でも2層、すなわち250nm程度の厚みを確保できるように設計する必要がある。

【0096】

(実施例)

本実施形態2の実施例として、表3に全8層の圧電体素子において、第1圧電体層の層数と第2圧電体層の層数とを変化させていった場合の圧電d定数d31(厚み方向における圧電d特性)と、そのときの圧電g定数g31(厚み方向における圧電g特性)と誘電率とを示す。その組成は上記実施形態1の実施例1と同様のものを使用した。なお、分極電場強度Epを、 $E_p = 275 \text{ kV/cm}$ とした条件下で測定した。

【0097】

【表3】

第1圧電体層の層数	第2圧電体層の層数	圧電d定数 d31[pC/N]	圧電g定数 g31[m·mV/N]	誘電率ε
2層	6層	175	15.2	1300
3層	5層	175	14.5	1370
4層	4層	180	14.0	1450
5層	3層	180	13.5	1530
6層	2層	185	13.0	1620

【0098】

表3から判るように、第1圧電体層の層数を少なくし厚みを薄くすると、誘電率を低く抑えることができるが、圧電d特性自体は高い値を維持させることができる。

【0099】

上述したように本実施形態2によれば、上記実施形態1の効果を奏する他、第1圧電体層の厚みと第2圧電体層の厚みとを変えることにより、誘電率や圧電g定数を所望の値に抑えることができ、かつ圧電体素子として高い圧電d定数を維持させることができる。

【0100】

<実施形態3>

上記各実施形態では第1圧電体層と第2圧電体層とを一層ずつ積層したものであったが、本実施形態3ではさらに第3圧電体層を設け、それらの積層構造のバリエーションを提供するものである。

【0101】

(層構造の説明)

図9に本実施形態の圧電体素子4cの断面図を示す。この断面図は圧電体素子4cを振動板3および圧力室基板2を含めて幅方向に切断した様子を示す。本圧電体素子4cが適用されるインクジェットプリンタ(図2参照)およびインクジェット式記録ヘッド(図3および図4参照)は上記実施形態1と同様の構成であるため、その説明を省略する。

【0102】

本実施形態3の圧電体素子は3種類以上の圧電体層を備えるものである。本実施形態では3種類以上の圧電体層のうち最も誘電率の高い層を第1圧電体層と称し、最も圧電g定数の高い層を第2圧電体層と称し、それ以外の層を総称して第3圧電体層を称するものとする。したがって第3圧電体層というときは複数種類の層を指しうる。

【0103】

10

20

30

40

50

本実施形態の圧電体素子 4 c の層構造 ( 図 4 における A - A 切断面 ) は、図 9 に示すように、上部電極膜 4 0 と振動板 3 との間に 3 種類以上 ( 図では 6 種類 ) の圧電体層 4 1 ~ 4 6 を備えて構成されている。

【 0 1 0 4 】

上部電極膜 4 0 、 振動板 3 および圧力室基板 2 については、実施形態 1 と同様であり説明を省略する。

【 0 1 0 5 】

圧電体層 4 1 ~ 4 6 はそれぞれが異なる組成を備えている。その組成は上記実施形態 1 における第 1 圧電体層や第 2 圧電体層の具体的組成が適用される。例えば実施形態 1 と同一の符号 4 1 を付してある層が第 1 圧電体層、符号 4 2 を付してある層が第 2 圧電体層であるとする。他の層、すなわち第 3 圧電体層 4 3 ~ 4 6 は、誘電率を上げる目的、圧電 g 定数を上げる目的、またはそれ以外の目的で積層される。例えば圧電体層の内部応力を緩和するというような目的で積層される。具体的には例えば第 1 圧電体層 4 1 に上記実施形態 1 の式 ( 1 ) や式 ( 2 ) で表される組成を用い、第 2 圧電体層 4 2 に P Z T を用い、第 3 圧電体層 4 3 ~ 4 6 に式 ( 1 ) や式 ( 2 ) で表される組成を混入させた組成を用いる。第 3 圧電体層 4 3 ~ 4 6 のそれぞれには、例えば式 ( 1 ) や式 ( 2 ) において b や b ' の金属元素を変更して組成したものを適用する。

10

【 0 1 0 6 】

各圧電体層 4 1 ~ 4 6 は上記実施形態 1 と同様の考え方で複数のセラミックス層を積層して構成することが好ましい。一時に厚い層を形成するとクラックの発生が生じ結晶状態のよい層が作れないからである。また上記実施形態 1 と同様の理由により、少なくとも下部電極膜に接する層に結晶核が存在することは良好な結晶構造の圧電体素子を形成するために好ましい。

20

【 0 1 0 7 】

なお、積層の順番は図 9 に限定されることなく、種々に変更可能である。例えば第 3 圧電体層 4 3 ~ 4 6 は 4 層に限らず任意 ( 4 3 ~ 4 n ( n は自然数 ) ) に設定可能である。第 1 圧電体層 4 1 と第 2 圧電体層 4 2 が接している必要はない。また各圧電体層の厚みやセラミックス層の積層数は同じである必要はなく、各層の目的に応じて適宜変更可能である。例えば誘電率の影響を全体に強く及ぼしたい場合には第 1 圧電体層 4 1 における厚みやセラミックス層の積層数を多くする。圧電 g 定数の影響を全体に強く及ぼしたい場合には第 2 圧電体層 4 2 における厚みやセラミックス層の積層数を多くする。

30

【 0 1 0 8 】

( 作用 )

上記層構造の圧電体素子 4 c によれば、上記実施形態 1 と同様の理由により、圧電体素子全体として高い誘電率や圧電 g 定数を備え、圧電 d 定数を向上させることができる。具体的に各圧電体層 4 1 ~ 4 n の誘電率をそれぞれ  $\epsilon_1 \sim \epsilon_n$  とすると、 $\epsilon_1 > \epsilon_2 \sim \epsilon_n$  であり、各圧電体層 4 1 ~ 4 n の圧電 g 定数をそれぞれ  $g_1 \sim g_n$  とすると、 $g_2 > g_1$ 、 $g_3 \sim g_n$  である。これら誘電率および圧電 g 定数を備える圧電体層を積層すると、圧電体素子全体の厚み方向の圧電 d 定数は、 $d = g \times \epsilon \times d_0$ 、すなわち前記した式 ( 3 ) と同様に表せる。ここで、 $g_1$ 、 $g_3 \sim g_n$  のうち最小のもの  $< g_2$ 、 $\epsilon_2 \sim \epsilon_n$  のうち最小のもの  $< \epsilon_1$ 、 $\epsilon_0$  は真空誘電率 (  $= 8.85 \times 10^{-12}$  [F/m] ) である。

40

【 0 1 0 9 】

したがって各圧電体層のうち誘電率が低い層があっても他の圧電体層の誘電率を高く設定しておけば圧電体素子全体の誘電率を上げられる。誘電率の影響は前記したように層の厚みが厚いほど大きい。同様に、各圧電体層のうち圧電 g 定数が低い層があっても他の圧電体層の圧電 g 定数を高く設定しておけば圧電体素子全体の圧電 g 定数を上げられる。誘電率や圧電 g 定数を上げたい場合には誘電率や圧電 g 定数が高い圧電体層の厚みやセラミックス層の積層数を多くすればよい。

【 0 1 1 0 】

上記したように本実施形態 3 によれば、3 種類以上の圧電体層を備えても上記実施形態 1

50

で説明した効果を奏する圧電体素子を提供できる。特に誘電率や圧電 g 定数が少なくても、別の利点がある層を積層する際に本実施形態の層構造を適用できる。

【0111】

<実施形態4>

上記各実施形態では互いに異なる圧電体層が積層されるものであったが、本実施形態では第1圧電体層および第2圧電体層を複数層用いた層構造のバリエーションに関するものである。

【0112】

(層構造の説明)

図10に本実施形態の圧電体素子4dの断面図を示す。この断面図は圧電体素子4dを振動板3および圧力室基板2を含めて幅方向に切断した様子を示す。本圧電体素子4dが適用されるインクジェットプリンタ(図2参照)およびインクジェット式記録ヘッド(図3および図4参照)は上記実施形態1と同様の構成であるため、その説明を省略する。

10

【0113】

本実施形態4の圧電体素子4d(図4におけるA-A切断面)は図10に示すように、実施形態1における第1圧電体層41と第2圧電体層42を交互に複数回積層して構成されている。具体的な組成については上記実施形態1と同様なので説明を省略する。

【0114】

各圧電体層41および42は上記実施形態1と同様の考え方で複数のセラミックス層を積層して構成することが好ましい。一時に厚い層を形成するとクラックの発生が生じ結晶状態のよい層が作れないからである。また上記実施形態1と同様の理由により、少なくとも下部電極膜に接する層に結晶核が存在することは良好な結晶構造の圧電体素子を形成するために好ましい。

20

【0115】

なお、積層の順番は図10に限定されることなく、種々に変更可能である。第1圧電体層41と第2圧電体層42との配置を逆にしてもよい。また第1圧電体層や第2圧電体層の厚みやセラミックス層の積層数は同じである必要はなく適宜変更可能である。例えば誘電率の影響を全体に強く及ぼしたい場合には第1圧電体層41の厚みやセラミックス層の積層数を多くする。圧電g定数の影響を全体に強く及ぼしたい場合には第2圧電体層42の厚みやセラミックス層の積層数を多くする。

30

【0116】

(作用)

上記層構造の圧電体素子4dによれば、上記実施形態1と同様の理由により、圧電体素子全体として高い誘電率や圧電g定数を備え、圧電d定数を向上させることができる。各圧電体層の誘電率は各圧電体層の厚みをそれぞれ積算した厚みの圧電体層により得られる誘電率と同等である。圧電体素子の誘電率はコンデンサの直列接続であるためその位置を変えても圧電体素子全体における誘電率は変わらないからである。すなわち積算した第1圧電体層の厚みが実施形態1の第1圧電体層の厚みと同じであれば、圧電体素子に対する誘電率の寄与率は同じである。また圧電g定数に関しては実施形態1よりも高くできる可能性がある。上記したように本発明の圧電体素子では圧電g定数が高い方の第2圧電体層の応力が低い方の第1圧電体層の結晶構造に及ぼされる結果、圧電体素子全体の圧電g定数が高くなる。この応力の影響は第2圧電体層表面からの距離が小さい程大きいと考えられるので、図10のように第2圧電体層を分散させた方が、第1圧電体層に力学的影響を多く及ぼすことが可能となるからである。

40

【0117】

上記したように本実施形態4によれば第1圧電体層と第2圧電体層の繰り返し構造を使用しても上記実施形態1で説明した効果を奏する圧電体素子を提供できる。特に本実施形態によれば圧電g定数の影響を多くすることが可能である。

【0118】

<実施形態5>

50

上記実施形態 4 は第 1 圧電体層および第 2 圧電体層の繰り返し構造であったが、本実施形態 5 ではさらに実施形態 3 で述べた第 3 圧電体層を用いた繰り返し構造等の層構造のバリエーションに関するものである。

#### 【0119】

(層構造の説明)

図 1 1 に本実施形態の圧電体素子 4 e の断面図を示す。この断面図は圧電体素子を振動板 3 および圧力室基板 2 を含めて幅方向に切断した様子を示す。本圧電体素子 4 e が適用されるインクジェットプリンタ (図 2 参照) およびインクジェット式記録ヘッド (図 3 および図 4 参照) は上記実施形態 1 と同様の構成であるため、その説明を省略する。

#### 【0120】

本実施形態 5 の圧電体素子 4 e (図 4 における A - A 切断面) は図 1 1 に示すように、実施形態 4 における第 1 圧電体層 4 1 と第 2 圧電体層 4 2 の他に、さらに実施形態 3 で用いた第 3 圧電体層 4 3 を含めた層構造が複数回繰り返されて構成されている。なお図 1 1 では第 3 圧電体層 4 3 を一種類のみで示してあるが、図 9 で説明したように複数種類の第 3 圧電体層 4 3 ~ 4 n (n は自然数) の繰り返し構造であってもよい。具体的な組成については上記実施形態 1 や上記実施形態 3 と同様なので説明を省略する。

#### 【0121】

各圧電体層 4 1 ~ 4 3 は上記実施形態 1 と同様の考え方で複数のセラミックス層を積層して構成することが好ましい。一時に厚い層を形成するとクラックの発生が生じ結晶状態のよい層が作れないからである。また上記実施形態 1 と同様の理由により、少なくとも下部電極膜に接する層に結晶核が存在することは良好な結晶構造の圧電体素子を形成するために好ましい。

#### 【0122】

なお、積層の順番は図 1 1 に限定されることなく、種々に変更可能である。例えば第 1 圧電体層 4 1、第 2 圧電体層 4 2、第 3 圧電体層 4 3 のいずれか二層を逆に配置してもよい。また図 1 2 に示すように各圧電体層 4 1 ~ 4 3 を不規則に積層した圧電体素子 4 f であってもよい。このときある種類の圧電体層の数が他の種類の圧電体層の数と異なってもよい。また各圧電体層の厚みやセラミックス層の積層数は同じである必要はなく適宜変更可能である。例えば誘電率の影響を全体に強く及ぼしたい場合には第 1 圧電体層 4 1 の層数や一層当たりの厚み、セラミックス層の積層数を多くする。圧電 g 定数の影響を全体に強く及ぼしたい場合には第 2 圧電体層 4 2 の層数や一層当たりの厚み、セラミックス層の積層数を多くする。

#### 【0123】

(作用)

上記層構造の圧電体素子 4 e や 4 f によれば、上記実施形態 1 と同様の理由により、圧電体素子全体として高い誘電率や圧電 g 定数を備え、圧電 d 定数を向上させることができる。したがって各圧電体層のうち誘電率が低い層があっても他の圧電体層の誘電率を高く設定しておけば圧電体素子全体の誘電率を上げられる。誘電率の影響は前記したように層の厚みが厚いほど大きい。同様に、各圧電体層のうち圧電 g 定数が低い層があっても他の圧電体層の圧電 g 定数を高く設定しておけば圧電体素子全体の圧電 g 定数を上げられる。誘電率や圧電 g 定数を上げたい場合には誘電率や圧電 g 定数が高い圧電体層の層数、一層当たりの厚み、セラミックス層の積層数を多くすればよい。特に圧電 g 定数については上記実施形態 4 と同様の作用が働き、第 1 圧電体層に力学的影響を他の圧電体層に多く及ぼすことが可能となる。

#### 【0124】

上記したように本実施形態 5 によれば、3 種類以上の圧電体層を 1 層以上任意の配置で積層しても上記各実施形態で説明した効果を奏する圧電体素子を提供できる。特に圧電体素子を厚膜化する上で、複数種類の圧電体層を機能に併せて配置したい場合には、各圧電体層の機能を利用しながらも本実施形態の考え方を利用することで、圧電体素子全体の圧電特性を調整することができる。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 2 5 】

(その他の変形例)

なお、本発明は上記実施形態によらず種々に変形が可能である。例えば上記各実施形態で示した層構造は例示であり他の層構造も適用可能である。すなわち圧電体素子を複数の組成で構成し、その中に誘電率の高い層と圧電  $g$  定数の高い層とを配置しておけば本発明の効果を奏する圧電体素子を構成できる。その圧電体素子の組成は上記した実施形態の例に限定されるものではなく、高い誘電率を示したり高い圧電  $g$  定数を示すあらゆる組成が適用可能である。

## 【 0 1 2 6 】

また圧電体素子の形状や配置、その他振動板や圧力室基板の構造は種々に変更が可能であり本発明の主旨に影響を与えるものではない。

10

## 【 0 1 2 7 】

また、本発明はインクジェット式記録ヘッドの圧電体素子を主たる適用対象としたが、本発明により形成される圧電体層を、二つの電極膜で挟持された圧電体素子として使用してもよい。すなわち上記各実施形態における圧電体層を積層し、適用対象の大きさに合わせた形状となるように切り出せば、高性能の圧電体素子が得られる。本発明の圧電体層によれば、高い圧電  $d$  定数を有するので、従来の圧電体素子と比べ、同一の圧力を加えた際にはより大きな電荷を発生させ、同一の電圧を加えた際にはより大きな変位をすることが期待できる。このような圧電体素子の適用対象としては、フィルタ、遅延線、リードセレクタ、音叉発振子、音叉時計、トランシーバ、圧電ピックアップ、圧電イヤホン、圧電マイクロフォン、SAWフィルタ、RFモジュレータ、共振子、遅延素子、マルチストリップカプラ、圧電加速度計、圧電スピーカ等が考えられる。

20

## 【 0 1 2 8 】

## 【発明の効果】

本発明のインクジェット式記録ヘッドによれば、異なる特性の圧電性セラミックスを積層する構造を備えたので、従来品より高い圧電  $d$  定数を備えた圧電体素子を形成し、より少ない電圧でより多量のインク滴の吐出を可能とし、より速いインク滴の吐出を可能とすることができる。

## 【 0 1 2 9 】

本発明のインクジェット式記録ヘッドの製造方法によれば、異なる特性の圧電性セラミックスを積層する工程を備えることにより、従来品より高い圧電  $d$  定数を備えた圧電体素子を形成し、より少ない電圧でより多量のインク滴の吐出を可能とし、より速いインク滴の吐出を可能とすることができる。

30

## 【 0 1 3 0 】

本発明の圧電体素子によれば、異なる特性の圧電性セラミックスを積層する構造を備えることにより、従来品より高い圧電  $d$  定数を備え、従来品より少ない電圧でおより大きな体積収縮を生じさせ、従来品より少ない力で同等の電圧を生じさせる等、電気機械変換特性を向上させることができる。

## 【図面の簡単な説明】

【図 1】実施形態 1 の圧電体素子の層構造を説明する断面図であり、図 4 の A - A 切断面から一つの圧電体素子を観察したものである。

40

【図 2】本発明のインクジェットプリンタの全体斜視図である。

【図 3】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 4】本発明のインクジェット式記録ヘッドの圧力室基板の斜視図で一部断面図である。

【図 5】本発明のインクジェット式記録ヘッドの動作原理を説明する断面図であり、図 4 の A - A 切断面から観察したものである。

【図 6】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 7】本発明の実施例のインクジェット式記録ヘッドの組成分布図であり、横軸のスパ

50

ッタ時間は、圧電体の表面からの膜厚方向への深度に相当するものである。

【図8】実施形態2の圧電体素子の層構造を説明する断面図であり、図4のA - A切断面から一つの圧電体素子を観察したものである。

【図9】実施形態3の圧電体素子の層構造を説明する断面図であり、図4のA - A切断面から一つの圧電体素子を観察したものである。

【図10】実施形態4の圧電体素子の層構造を説明する断面図であり、図4のA - A切断面から一つの圧電体素子を観察したものである。

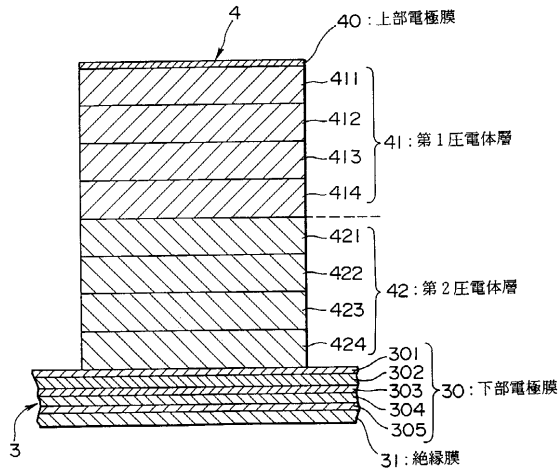
【図11】実施形態5の圧電体素子の層構造を説明する断面図であり、図4のA - A切断面から一つの圧電体素子を観察したものである。

【図12】実施形態5における圧電体素子の層構造の変形例を説明する断面図であり、図4のA - A切断面から一つの圧電体素子を観察したものである。 10

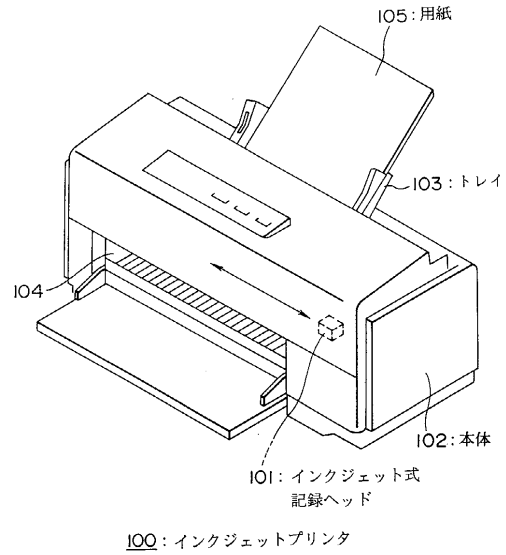
【符号の説明】

- 1 ... ノズル板
- 2 ... 圧力室基板
- 3 ... 振動板
- 3 0 ... 下部電極膜
- 3 1 ... 絶縁膜
- 4 , 4 b , 4 c , 4 d , 4 e , 4 f ... 圧電体素子
- 2 1 ... キャピティ
- 4 0 ... 上部電極膜
- 4 1 ... 第1圧電体層
- 4 1 1 ~ 4 1 4 ... セラミックス層
- 4 2 ... 第2圧電体層
- 4 2 1 ~ 4 2 4 ... セラミックス層
- 4 3 ~ 4 6 ... 第3圧電体層
- 1 0 1 ... インクジェット式記録ヘッド

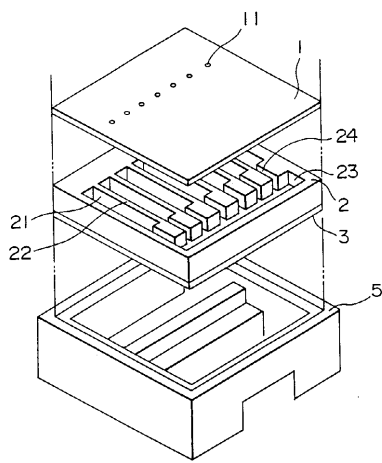
【 図 1 】



【 図 2 】

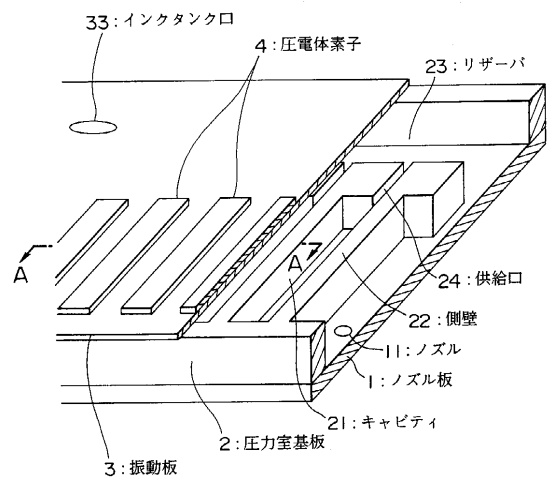


【 図 3 】

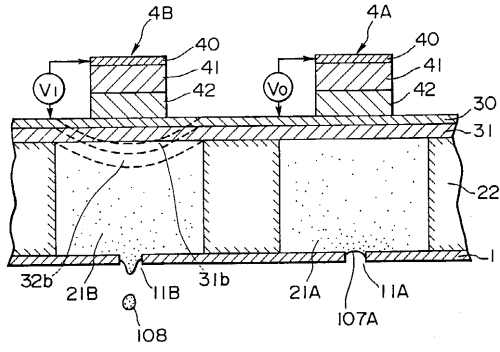


101 : インクジェット式記録ヘッド

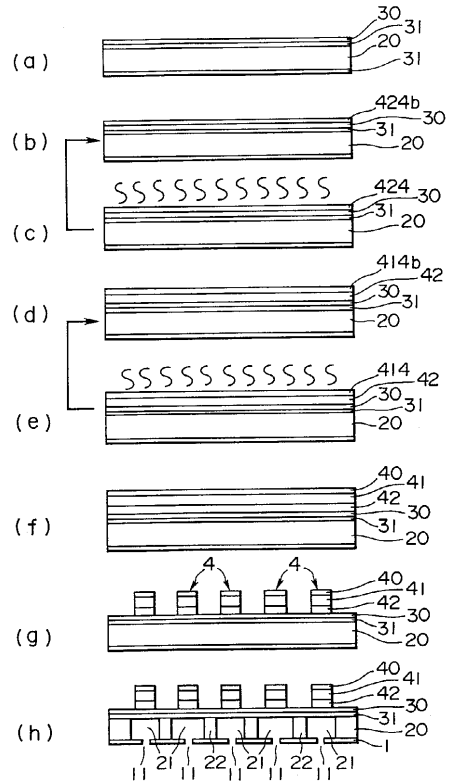
【 図 4 】



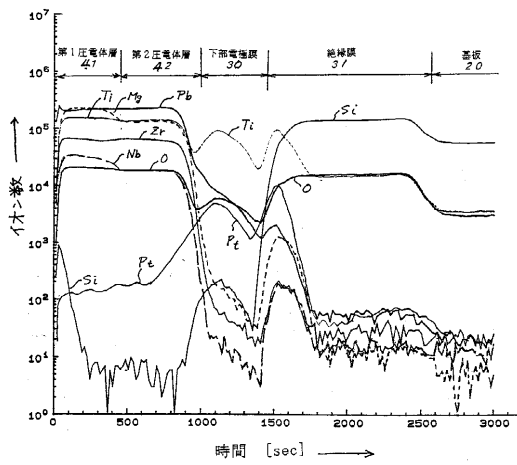
【図5】



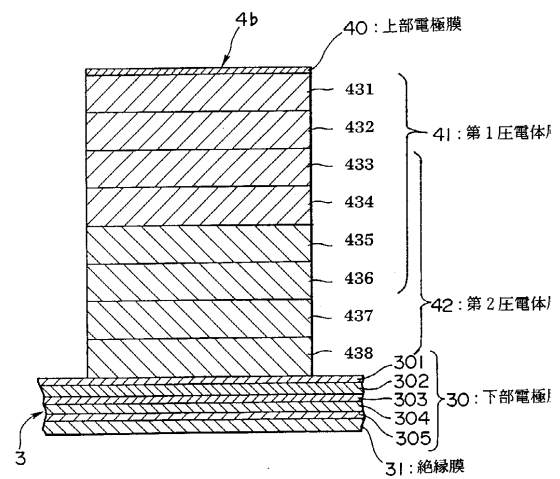
【図6】



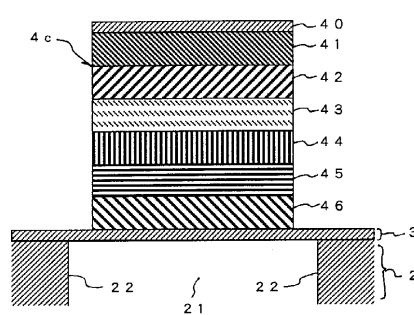
【図7】



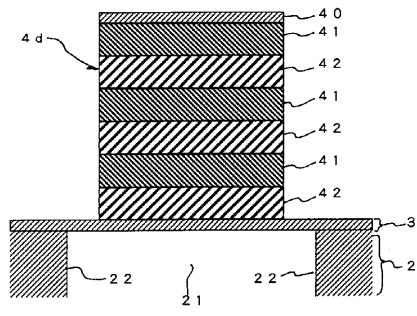
【図8】



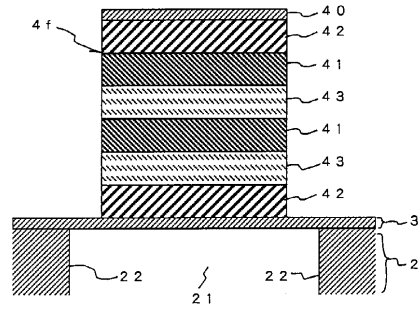
【図9】



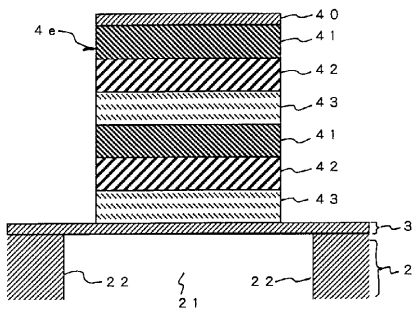
【図10】



【図12】



【図11】



## フロントページの続き

(51) Int.Cl. F I  
H 0 1 L 41/187 (2006.01) H 0 1 L 41/22 A  
H 0 1 L 41/24 (2006.01)

(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 守谷 壮一  
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 特開平01-111386(JP,A)  
特開平08-112896(JP,A)  
特開昭63-169777(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B41J 2/045  
B41J 2/055  
B41J 2/16  
C04B 35/49  
H01L 41/09  
H01L 41/187  
H01L 41/24