

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-353756

(P2005-353756A)

(43) 公開日 平成17年12月22日(2005.12.22)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 41/09	HO 1 L 41/08	2 C 0 5 7
B 4 1 J 2/045	FO 4 B 9/00	3 H 0 7 5
B 4 1 J 2/055	HO 3 B 5/30	4 G 0 3 1
FO 4 B 9/00	HO 3 H 9/17	5 J 0 7 9
HO 1 L 41/187	HO 3 H 9/64	5 J 0 9 7
審査請求 未請求 請求項の数 30 O L (全 47 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2004-171522 (P2004-171522)	(71) 出願人	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16年6月9日(2004.6.9)	(74) 代理人	100090479 弁理士 井上 一
		(74) 代理人	100090387 弁理士 布施 行夫
		(74) 代理人	100090398 弁理士 大淵 美千栄
		(72) 発明者	宮澤 弘 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	木島 健 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
最終頁に続く			

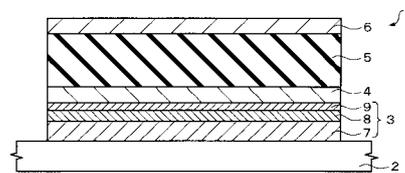
(54) 【発明の名称】 圧電素子、圧電アクチュエーター、圧電ポンプ、インクジェット式記録ヘッド、インクジェットプリンター、表面弾性波素子、周波数フィルタ、発振器、電子回路、薄膜圧電共振器、および電

(57) 【要約】

【課題】 良好な圧電特性を有する圧電素子を提供する。

【解決手段】 本発明に係る圧電素子は、基体2と、基体2の上方に形成された下部電極4と、下部電極4の上方に形成された圧電体膜5と、圧電体膜5の上方に形成された上部電極6と、を含み、下部電極4および上部電極6のうちの少なくとも一つは、ペロブスカイト型構造であってAサイトにPbを有する導電性材料を含み、圧電体膜5は、ペロブスカイト型構造であってAサイトにPbを有する材料からなる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基体と、
 前記基体の上方に形成された下部電極と、
 前記下部電極の上方に形成された圧電体膜と、
 前記圧電体膜の上方に形成された上部電極と、を含み、
 前記下部電極および前記上部電極のうちの少なくとも一つは、ペロブスカイト型構造であって A サイトに P b を有する導電性材料を含み、
 前記圧電体膜は、ペロブスカイト型構造であって A サイトに P b を有する材料からなる、圧電素子。

10

【請求項 2】

請求項 1 において、
 前記導電性材料は、 $PbBaO_3$ である、圧電素子。

【請求項 3】

請求項 1 において、
 前記導電性材料は、 $Pb((Zr, Ti)_{1-x}X_x)O_3$ からなり、
 X は、Ru、Rd、Pd、Fe、Co、および Ni のうちの少なくとも一つからなり、
 x は、 $0 < x < 0.4$ の範囲である、圧電素子。

【請求項 4】

請求項 1～3 のいずれかにおいて、
 前記導電性材料は、擬立方晶 (100) に優先配向している、圧電素子。

20

【請求項 5】

請求項 1～4 のいずれかにおいて、
 前記圧電体膜は、 $Pb(Zr_{1-x}Ti_x)O_3$ からなり、
 x は、 $0 < x < 1$ の範囲である、圧電素子。

【請求項 6】

請求項 1～4 のいずれかにおいて、
 前記圧電体膜は、 $Pb((Zr_{1-x}Ti_x)_{1-y}Nb_y)O_3$ からなり、
 x は、 $0 < x < 1$ の範囲であり、
 y は、 $0.05 < y < 0.3$ の範囲である、圧電素子。

30

【請求項 7】

請求項 1～4 のいずれかにおいて、
 前記圧電体膜は、リラクサー材料からなる、圧電素子。

【請求項 8】

請求項 7 において、
 前記圧電体膜は、ロンボヘドラル構造を有し、かつ擬立方晶 (100) に優先配向している、圧電素子。

【請求項 9】

請求項 7 または 8 において、
 前記リラクサー材料は、 $Pb_{1-b}[(X_{1/3}Nb_{2/3})_{1-c}B'_c]_{1-a}Y_a]O_3$ の一般式で示され、
 X は、Mg、Zn、および Ni のうちの少なくとも一つからなり、
 B' は、Zr、Ti、および Hf のうちの少なくとも一つからなり、
 Y は、V、Nb、Ta、Cr、Mo、および W のうちの少なくとも一つからなり、
 a は、 $0.05 < a < 0.30$ の範囲であり、
 b は、 $0.05 < b < 0.15$ の範囲であり、
 X が Mg, Ni のとき、
 c は、 $0.20 < c < 0.45$ の範囲であり、
 X が Zn のとき、
 c は、 $0.5 < c < 0.20$ の範囲である、圧電素子。

50

【請求項 10】

請求項 7 または 8 において、

前記リラクサー材料は、 $Pb_{1-b-d}[(X_{1/3}Nb_{2/3})_{1-c}B'_c]_aY_aO_3-d$ の一般式で示され、

X は、Mg、Zn、および Ni のうちの少なくとも一つからなり、

B' は、Zr、Ti および Hf のうちの少なくとも一つからなり、

Y は、V、Nb、Ta、Cr、Mo、および W のうちの少なくとも一つからなり、

a は、0.05 ≤ a ≤ 0.30 の範囲であり、

b は、0.05 ≤ b ≤ 0.15 の範囲であり、

X が Mg、Ni のとき、

c は、0.20 ≤ c ≤ 0.45 の範囲であり、

X が Zn のとき、

c は、0.5 ≤ c ≤ 0.20 の範囲であり、

d は、0 < d ≤ 0.03 の範囲である、圧電素子。

10

【請求項 11】

請求項 9 または 10 において、

前記 Pb は、一部が Pb より価数の高い元素のうちの少なくとも一つによって置換されている、圧電素子。

【請求項 12】

請求項 11 において、

前記 Pb より価数の高い元素は、ランタノイド系元素からなる、圧電素子。

20

【請求項 13】

請求項 9 ~ 12 のいずれかにおいて、

前記 Y は、V、Nb、および Ta のうちの少なくとも一つからなり、

前記 Pb の欠損量 b は、前記 Y の量 a のほぼ半分である、圧電素子。

【請求項 14】

請求項 9 ~ 12 のいずれかにおいて、

前記 Y は、Cr、Mo、および W のうちの少なくとも一つからなり、

前記 Pb の欠損量 b は、前記 X の量 a とほぼ同じである、圧電素子。

【請求項 15】

請求項 9 ~ 12 のいずれかにおいて、

前記 Y は、Y1 および Y2 を含み、

前記 Y1 と前記 Y2 との組成比は、(a - e) : e で示され、

前記 Y1 は、V、Nb、および Ta のうちの少なくとも一つからなり、

前記 Y2 は、Cr、Mo、および W のうちの少なくとも一つからなり、

前記 Pb の欠損量 b は、前記 Y1 の量の半分の量 (a - e) / 2 と、前記 Y2 の量 e と、を合計した量とほぼ同じである、圧電素子。

30

【請求項 16】

請求項 9 ~ 15 のいずれかにおいて、

前記 Y は、ペロブスカイト型構造の B サイトに存在する、圧電素子。

40

【請求項 17】

請求項 9 ~ 16 のいずれかにおいて、

前記 B' は、Zr および Ti を含み、

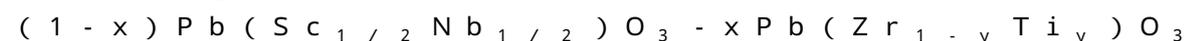
Zr と Ti との組成比は、(1 - p) : p で示され、

p は、p ≤ 0.6 の範囲である、圧電素子。

【請求項 18】

請求項 7 または 8 において、

前記リラクサー材料は、以下の式 (1) ~ (9) で示される材料のうちの少なくとも一種からなる、圧電素子。



50

・・・式(1)

(ただし、 x は $0.10 < x < 0.42$ 、 y は、 $0 \leq y \leq 1$)



・・・式(2)

(ただし、 x は $0.10 < x < 0.37$ 、 y は、 $0 \leq y \leq 1$)



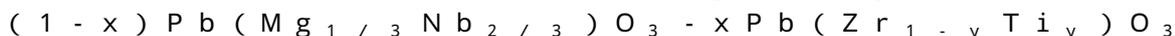
・・・式(3)

(ただし、 x は $0.10 < x < 0.50$ 、 y は、 $0 \leq y \leq 1$)



・・・式(4)

(ただし、 x は $0.10 < x < 0.45$ 、 y は、 $0 \leq y \leq 1$)



・・・式(5)

(ただし、 x は $0.10 < x < 0.35$ 、 y は、 $0 \leq y \leq 1$)



・・・式(6)

(ただし、 x は $0.01 < x < 0.10$ 、 y は、 $0 \leq y \leq 1$)



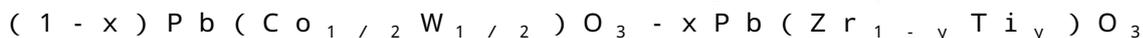
・・・式(7)

(ただし、 x は $0.01 < x < 0.10$ 、 y は、 $0 \leq y \leq 1$)



・・・式(8)

(ただし、 x は $0.10 < x < 0.38$ 、 y は、 $0 \leq y \leq 1$)



・・・式(9)

(ただし、 x は $0.10 < x < 0.42$ 、 y は、 $0 \leq y \leq 1$)

【請求項19】

請求項7または8において、

前記リラクサー材料は、以下の式(1)～(9)で示される材料のうちの少なくとも一種からなる、圧電素子。



(ただし、 x は $0.10 < x < 0.42$)



(ただし、 x は $0.10 < x < 0.37$)



(ただし、 x は $0.10 < x < 0.50$)



(ただし、 x は $0.10 < x < 0.45$)



(ただし、 x は $0.10 < x < 0.35$)



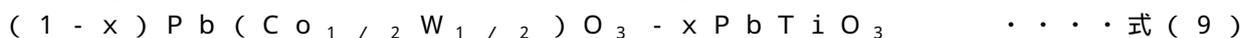
(ただし、 x は $0.01 < x < 0.10$)



(ただし、 x は $0.01 < x < 0.10$)



(ただし、 x は $0.10 < x < 0.38$)



(ただし、 x は $0.10 < x < 0.42$)

【請求項20】

請求項1～19のいずれかにおいて、

10

20

30

40

50

内容積が変化するキャビティを備えたインクジェット式記録ヘッドにおいて用いられ

前記圧電体膜の変形によって前記キャビティの内容積を変化させる、圧電素子。

【請求項 2 1】

請求項 1 ~ 2 0 のいずれかに記載の圧電素子を有する、圧電アクチュエーター。

【請求項 2 2】

請求項 1 ~ 2 0 のいずれかに記載の圧電素子を有する、圧電ポンプ。

【請求項 2 3】

請求項 1 ~ 2 0 のいずれかに記載の圧電素子を有する、インクジェット式記録ヘッド。

【請求項 2 4】

請求項 2 3 に記載のインクジェット式記録ヘッドを有する、インクジェットプリンター

10

【請求項 2 5】

請求項 1 ~ 2 0 のいずれかに記載の圧電素子が、基板の上方に形成されてなる、表面弾性波素子。

【請求項 2 6】

請求項 2 5 に記載の表面弾性波素子が有する前記圧電体膜の上方に形成された第 1 の電極と、

前記圧電体膜の上方に形成され、前記第 1 の電極に印加される電気信号によって、前記圧電体膜に生ずる表面弾性波の特定の周波数または特定の帯域の周波数に共振して電気信号に変換する第 2 の電極と、を含む、周波数フィルタ。

20

【請求項 2 7】

請求項 2 5 に記載の表面弾性波素子が有する前記圧電体膜の上方に形成され、印加される電気信号によって前記圧電体膜に表面弾性波を発生させる電気信号印加用電極と、

前記圧電体膜の上方に形成され、前記電気信号印加用電極によって発生される表面弾性波の特定の周波数成分または特定の帯域の周波数成分を共振させる共振用電極およびトランジスタを有する発振回路と、を含む、発振器。

【請求項 2 8】

請求項 2 7 に記載の発振器と、

前記発振器に設けられている前記電気信号印加用電極に対して前記電気信号を印加する電気信号供給素子と、を含み、

前記電気信号の周波数成分から特定の周波数成分を選択し、もしくは特定の周波数成分に変換し、または、前記電気信号に対して所定の変調を与え、所定の復調を行い、もしくは所定の検波を行う機能を有する、電子回路。

30

【請求項 2 9】

請求項 1 ~ 2 0 のいずれかに記載の圧電素子を有する共振子が、基板の上方に形成されてなる、薄膜圧電共振器。

【請求項 3 0】

請求項 2 6 に記載の周波数フィルタ、請求項 2 7 に記載の発振器、請求項 2 8 に記載の電子回路、請求項 2 9 に記載の薄膜圧電共振器のうちの少なくとも 1 つを有する、電子機器。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、圧電体膜を有する圧電素子、圧電アクチュエーター、圧電ポンプ、インクジェット式記録ヘッド、インクジェットプリンター、表面弾性波素子、周波数フィルタ、発振器、電子回路、薄膜圧電共振器、および電子機器に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

高画質、高速印刷を可能にするプリンターとして、インクジェットプリンターが知られ

50

ている。インクジェットプリンターは、内容積が変化するキャピティを備えたインクジェット式記録ヘッドを備える。インクジェットプリンターは、インクジェット式記録ヘッドを走査させつつ、そのノズルからインク滴を吐出することにより、印刷を行うものである。このようなインクジェットプリンター用のインクジェット式記録ヘッドにおけるヘッドアクチュエーターとしては、従来、PZT ($Pb(Zr, Ti)O_3$) に代表される圧電体膜を用いた圧電素子が用いられている（たとえば、特許文献1）。

【0003】

また、表面弾性波素子や周波数フィルタ、発振器、電子回路などにおいても、その特性向上が望まれていることから、新たな圧電材料による良好な製品の提供が望まれている。

【特許文献1】特開2001-223404号公報

10

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ところで、インクジェットプリンターにあっては、さらなる高画質化や高速化が要求されるようになってきている。このような要求に応えるためには、インクジェット式記録ヘッドにおけるノズルの高密度化が欠かせない技術となってきている。そのためには、キャピティ上に積層される圧電素子（ヘッドアクチュエーター）についても、特に圧電体膜の特性、すなわちその圧電定数を向上する必要がある。

【0005】

本発明の目的は、良好な圧電特性を有する圧電素子を提供することにある。また本発明の他の目的は、上記圧電素子を用いた圧電アクチュエーター、圧電ポンプ、インクジェット式記録ヘッド、インクジェットプリンター、表面弾性波素子、周波数フィルタ、発振器、電子回路、薄膜圧電共振器、および電子機器を提供することにある。

20

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明に係る圧電素子は、
 基体と、
 前記基体の上方に形成された下部電極と、
 前記下部電極の上方に形成された圧電体膜と、
 前記圧電体膜の上方に形成された上部電極と、を含み、
 前記下部電極および前記上部電極のうちの少なくとも一つは、ペロブスカイト型構造であってAサイトにPbを有する導電性材料を含み、
 前記圧電体膜は、ペロブスカイト型構造であってAサイトにPbを有する材料からなる。

30

【0007】

本発明において、基体とは、1つの層と、複数の層と、を含む。

【0008】

本発明において、特定のもの（以下、「A」という）の上方の他の特定のもの（以下、「B」という）とは、A上に直接形成されたBと、A上に、A上の他のものを介して形成されたBと、を含む。

40

【0009】

この圧電素子によれば、前記下部電極は、ペロブスカイト型構造であってAサイトにPbを有する導電性材料を含むことができ、かつ、前記圧電体膜は、ペロブスカイト型構造であってAサイトにPbを有する材料からなる。すなわち、前記下部電極および前記圧電体膜のどちらもAサイトにPbを有する。これにより、高温条件下でも、前記圧電体膜の鉛（Pb）原子は、前記下部電極中に拡散することがないか、もしくは、拡散したとしても、前記圧電体膜中の鉛原子と前記下部電極中の鉛原子が入れ替わるだけである。その結果、前記圧電体膜における鉛（Pb）の抜けにより、前記下部電極と前記圧電体膜との界面部において材料劣化が生じることを防ぐことができる。そして、前記下部電極と前記圧電体膜との界面部に組成ずれが生じて、誘電率の低い領域が該界面部に形成されることを

50

防ぐことができる。したがって、前記圧電体膜自体に十分な電圧を印加することができる。すなわち、この圧電素子は、良好な圧電特性を有することができる。

【0010】

また、この圧電素子によれば、前記上部電極は、ペロブスカイト型構造であってAサイトにPbを有する導電性材料を含むことができ、かつ、前記圧電体膜は、ペロブスカイト型構造であってAサイトにPbを有する材料からなる。すなわち、前記上部電極および前記圧電体膜のどちらもAサイトにPbを有する。これにより、高温条件下でも、前記圧電体膜の鉛(Pb)原子は、前記上部電極中に拡散することがないか、もしくは、拡散したとしても、前記圧電体膜中の鉛原子と前記上部電極中の鉛原子が入れ替わるだけである。その結果、前記圧電体膜における鉛(Pb)の抜けにより、前記上部電極と前記圧電体膜との界面部において材料劣化が生じることを防ぐことができる。そして、前記上部電極と前記圧電体膜との界面部に組成ずれが生じて、誘電率の低い領域が該界面部に形成されることを防ぐことができる。したがって、前記圧電体膜自体に十分な電圧を印加することができる。すなわち、この圧電素子は、良好な圧電特性を有することができる。

10

【0011】

本発明に係る圧電素子において、
前記導電性材料は、 $PbBaO_3$ であることができる。

【0012】

本発明に係る圧電素子において、
前記導電性材料は、 $Pb((Zr, Ti)_{1-x}X_x)O_3$ からなり、
Xは、Ru、Rd、Pd、Fe、Co、およびNiのうちの少なくとも一つからなり、
xは、 $0 < x < 0.4$ の範囲であることができる。

20

【0013】

本発明に係る圧電素子において、
前記導電性材料は、擬立方晶(100)に優先配向していることができる。

【0014】

本発明において、「優先配向」とは、100%の結晶が所望の配向である擬立方晶(100)になっている場合と、所望の配向である擬立方晶(100)にほとんどの結晶(たとえば90%以上)が配向し、残りの結晶が他の配向(たとえば(111)配向)となっている場合と、を含む。

30

【0015】

本発明に係る圧電素子において、
前記圧電体膜は、 $Pb(Zr_{1-x}Ti_x)O_3$ からなり、
xは、 $0 < x < 1$ の範囲であることができる。

【0016】

本発明に係る圧電素子において、
前記圧電体膜は、 $Pb((Zr_{1-x}Ti_x)_{1-y}Nb_y)O_3$ からなり、
xは、 $0 < x < 1$ の範囲であり、
yは、 $0.05 < y < 0.3$ の範囲であることができる。

【0017】

本発明に係る圧電素子において、
前記圧電体膜は、リラクサー材料からなることができる。

40

【0018】

本発明に係る圧電素子において、
前記圧電体膜は、ロンボヘドラル構造を有し、かつ擬立方晶(100)に優先配向していることができる。

【0019】

本発明に係る圧電素子において、
前記リラクサー材料は、 $Pb_{1-b}[(X_{1/3}Nb_{2/3})_{1-c}B'_c]_{1-a}Y_a]O_3$ の一般式で示され、

50

Xは、Mg、Zn、およびNiのうちの少なくとも一つからなり、
 B'は、Zr、Ti、およびHfのうちの少なくとも一つからなり、
 Yは、V、Nb、Ta、Cr、Mo、およびWのうちの少なくとも一つからなり、
 aは、0.05 ≤ a ≤ 0.30の範囲であり、
 bは、0.05 ≤ b ≤ 0.15の範囲であり、
 XがMg、Niのとき、
 cは、0.20 ≤ c ≤ 0.45の範囲であり、
 XがZnのとき、
 cは、0.5 ≤ c ≤ 0.20の範囲であることができる。

【0020】

10

本発明に係る圧電素子において、
 前記リラクサー材料は、 $Pb_{1-b-d}[(X_{1/3}Nb_{2/3})_{1-c}B'_c]_1 - aY_a]O_{3-d}$ の一般式で示され、
 Xは、Mg、Zn、およびNiのうちの少なくとも一つからなり、
 B'は、Zr、TiおよびHfのうちの少なくとも一つからなり、
 Yは、V、Nb、Ta、Cr、Mo、およびWのうちの少なくとも一つからなり、
 aは、0.05 ≤ a ≤ 0.30の範囲であり、
 bは、0.05 ≤ b ≤ 0.15の範囲であり、
 XがMg、Niのとき、
 cは、0.20 ≤ c ≤ 0.45の範囲であり、
 XがZnのとき、
 cは、0.5 ≤ c ≤ 0.20の範囲であり、
 dは、0 < d ≤ 0.03の範囲であることができる。

20

【0021】

本発明に係る圧電素子において、
 前記Pbは、一部がPbより価数の高い元素のうちの少なくとも一つによって置換されていることができる。

【0022】

本発明に係る圧電素子において、
 前記Pbより価数の高い元素は、ランタノイド系元素からなることができる。

30

【0023】

本発明に係る圧電素子において、
 前記Yは、V、Nb、およびTaのうちの少なくとも一つからなり、
 前記Pbの欠損量bは、前記Yの量aのほぼ半分であることができる。

【0024】

本発明に係る圧電素子において、
 前記Yは、Cr、Mo、およびWのうちの少なくとも一つからなり、
 前記Pbの欠損量bは、前記Xの量aとほぼ同じであることができる。

【0025】

本発明に係る圧電素子において、
 前記Yは、Y1およびY2を含み、
 前記Y1と前記Y2との組成比は、(a-e) : eで示され、
 前記Y1は、V、Nb、およびTaのうちの少なくとも一つからなり、
 前記Y2は、Cr、Mo、およびWのうちの少なくとも一つからなり、
 前記Pbの欠損量bは、前記Y1の量の半分の量(a-e)/2と、前記Y2の量eと、
 を合計した量とほぼ同じであることができる。

40

【0026】

本発明に係る圧電素子において、
 前記Yは、ペロブスカイト型構造のBサイトに存在することができる。

【0027】

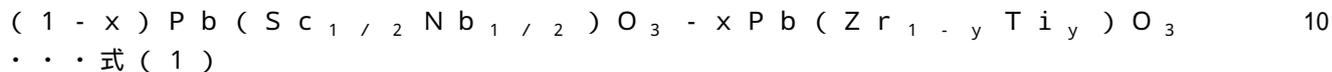
50

本発明に係る圧電素子において、
前記 B' は、Zr および Ti を含み、
Zr と Ti との組成比は、(1 - p) : p で示され、
p は、p = 0.6 の範囲であることができる。

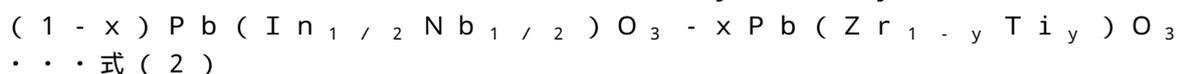
【0028】

本発明に係る圧電素子において、
前記リラクサー材料は、以下の式(1) ~ (9) で示される材料のうちの少なくとも一
種からなることができる。

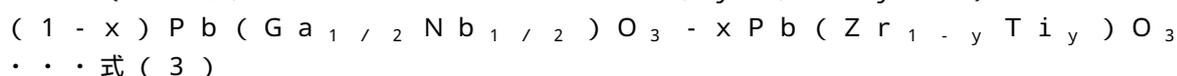
【0029】



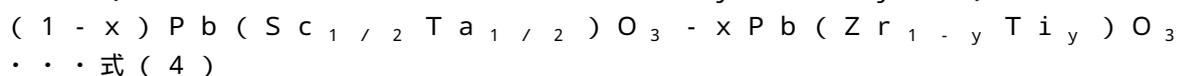
(ただし、x は $0.10 < x < 0.42$ 、y は、 $0 \leq y \leq 1$)



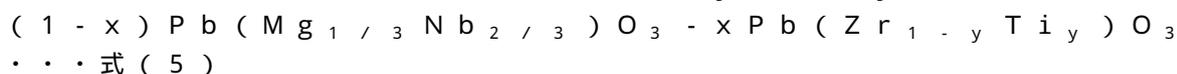
(ただし、x は $0.10 < x < 0.37$ 、y は、 $0 \leq y \leq 1$)



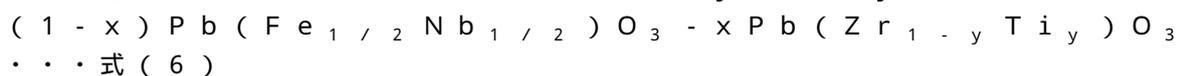
(ただし、x は $0.10 < x < 0.50$ 、y は、 $0 \leq y \leq 1$)



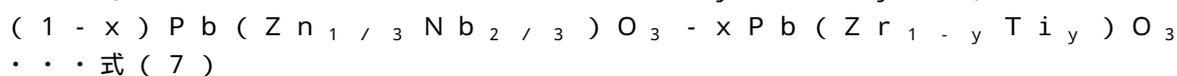
(ただし、x は $0.10 < x < 0.45$ 、y は、 $0 \leq y \leq 1$)



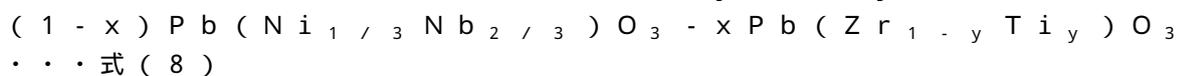
(ただし、x は $0.10 < x < 0.35$ 、y は、 $0 \leq y \leq 1$)



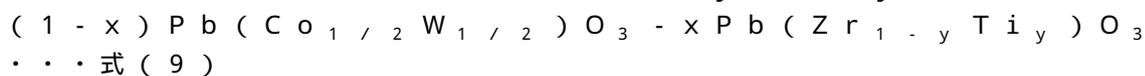
(ただし、x は $0.01 < x < 0.10$ 、y は、 $0 \leq y \leq 1$)



(ただし、x は $0.01 < x < 0.10$ 、y は、 $0 \leq y \leq 1$)



(ただし、x は $0.10 < x < 0.38$ 、y は、 $0 \leq y \leq 1$)

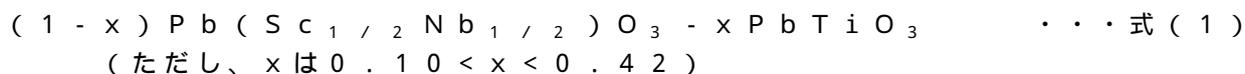


(ただし、x は $0.10 < x < 0.42$ 、y は、 $0 \leq y \leq 1$)

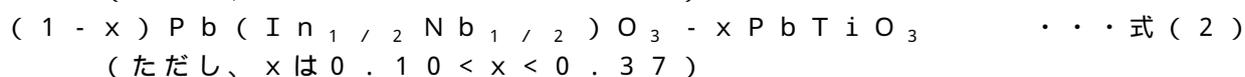
【0030】

本発明に係る圧電素子において、
前記リラクサー材料は、以下の式(1) ~ (9) で示される材料のうちの少なくとも一
種からなることができる。

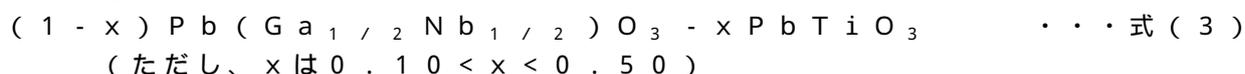
【0031】



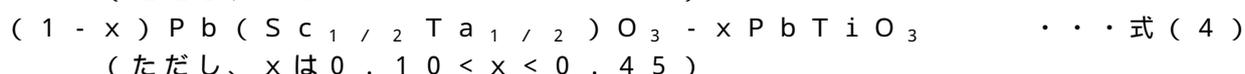
(ただし、x は $0.10 < x < 0.42$)



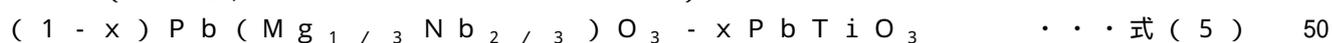
(ただし、x は $0.10 < x < 0.37$)



(ただし、x は $0.10 < x < 0.50$)



(ただし、x は $0.10 < x < 0.45$)



(ただし、 x は $0.10 < x < 0.35$)
 $(1-x)Pb(Fe_{1/2}Nb_{1/2})O_3 - xPbTiO_3$ ……式(6)

(ただし、 x は $0.01 < x < 0.10$)
 $(1-x)Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3 - xPbTiO_3$ ……式(7)
 (ただし、 x は $0.01 < x < 0.10$)

$(1-x)Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})O_3 - xPbTiO_3$ ……式(8)
 (ただし、 x は $0.10 < x < 0.38$)

$(1-x)Pb(Co_{1/2}W_{1/2})O_3 - xPbTiO_3$ ……式(9)
 (ただし、 x は $0.10 < x < 0.42$)

【0032】

10

本発明に係る圧電素子において、

内容積が変化するキャビティを備えたインクジェット式記録ヘッドにおいて用いられ

、前記圧電体膜の変形によって前記キャビティの内容積を変化させることができる。

【0033】

本発明に係る圧電アクチュエーターは、上述の圧電素子を有することができる。

【0034】

本発明に係る圧電ポンプは、上述の圧電素子を有することができる。

【0035】

本発明に係るインクジェット式記録ヘッドは、上述の圧電素子を有することができる。

20

【0036】

本発明に係るインクジェットプリンターは、上述のインクジェット式記録ヘッドを有することができる。

【0037】

本発明に係る表面弾性波素子は、上述の圧電素子が、基板の上方に形成されてなることができる。

【0038】

本発明に係る周波数フィルタは、上述の表面弾性波素子が有する前記圧電体膜の上方に形成された第1の電極と、

前記圧電体膜の上方に形成され、前記第1の電極に印加される電気信号によって、前記圧電体膜に生ずる表面弾性波の特定の周波数または特定の帯域の周波数に共振して電気信号に変換する第2の電極と、を含むことができる。

30

【0039】

本発明に係る発振器は、上述の表面弾性波素子が有する前記圧電体膜の上方に形成され、印加される電気信号によって前記圧電体膜に表面弾性波を発生させる電気信号印加用電極と、

前記圧電体膜の上方に形成され、前記電気信号印加用電極によって発生される表面弾性波の特定の周波数成分または特定の帯域の周波数成分を共振させる共振用電極およびトランジスタを有する発振回路と、を含むことができる。

40

【0040】

本発明に係る電子回路は、上述の発振器と、

前記発振器に設けられている前記電気信号印加用電極に対して前記電気信号を印加する電気信号供給素子と、を含み、

前記電気信号の周波数成分から特定の周波数成分を選択し、もしくは特定の周波数成分に変換し、または、前記電気信号に対して所定の変調を与え、所定の復調を行い、もしくは所定の検波を行う機能を有することができる。

【0041】

本発明に係る薄膜圧電共振器は、上述の圧電素子を有する共振子が、基板の上方に形成されてなることができる。

【0042】

50

本発明に係る電子機器は、上述の周波数フィルタ、上述の発振器、上述の電子回路、上述の薄膜圧電共振器のうちの少なくとも1つを有することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0043】

以下、本発明に好適な実施の形態について、図面を参照しながら説明する。

【0044】

1-1. 圧電素子

図1は、本発明に係る圧電素子を、特にインクジェット式記録ヘッド用のヘッドアクチュエーターとなる圧電素子1に適用した場合の一実施の形態を示す図である。

【0045】

この圧電素子1は、基体2上に形成されたバッファ層3と、バッファ層3の上に形成された下部電極4と、下部電極4の上に形成された圧電体膜5と、圧電体膜5の上に形成された上部電極6と、を備えて構成されている。

【0046】

基体2は、たとえばシリコン基板を用いることができる。本実施の形態において、基体2には、シリコンの(110)基板を用いている。基体2は加工されることにより、後述するようにインクジェット式記録ヘッド50においてインクキャビティを形成するものとなる。また、バッファ層3は、インクジェット式記録ヘッド50において弾性板として機能するものとなる。

【0047】

バッファ層3としては、単一配向している(厚さ方向にのみ配向方位が揃っている)ものであればよいが、さらに面内配向している(三次元方向の全てに配向方位が揃っている)ものであるのが好ましい。このようなバッファ層3を設けることにより、自然酸化膜を形成したシリコン基板からなる基体2と後述する下部電極4との間で、優れた接合性(密着性)を得ることができる。

【0048】

また、このバッファ層3は、NaCl構造の金属酸化物、蛍石型構造の金属酸化物、ペロブスカイト構造の金属酸化物等のうちの少なくとも1種を含むものが好ましく、特に、NaCl構造の金属酸化物または蛍石型構造の金属酸化物と、ペロブスカイト構造の金属酸化物とが積層された構造となっているのが好ましい。NaCl構造の金属酸化物や蛍石型構造の金属酸化物は、ペロブスカイト構造を有する金属酸化物との格子不整合が小さいので、後述するように下部電極4として特にペロブスカイト構造のものを形成する場合に、その下地となるペロブスカイト構造の層を形成するうえで有利となることができる。

【0049】

本実施の形態におけるバッファ層3は、NaCl構造の金属酸化物または蛍石型構造の金属酸化物からなる第1バッファ層7および第2バッファ層8と、この第2バッファ層8の上に形成されたペロブスカイト構造を有する金属酸化物からなる第3バッファ層9とによって構成されている。

【0050】

第1バッファ層7は、たとえばイオンビームアシスト法で形成することができる。第1バッファ層7は、たとえば立方晶(100)配向のイットリア安定化ジルコニア(以下、「YSZ」という)を用いることができる。YSZとしては、以下の式で表されるものを任意に用いることができる。

【0051】

$$\text{Zr}_{1-x}\text{Ln}_x\text{O}_y \quad 0 < x < 1.0$$

(Ln; Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu)

【0052】

第1バッファ層7の厚さは、たとえば1μm程度に厚く形成される。第1バッファ層7を厚く形成するのは、後述するようにエッチングによって基体2にインクキャビティを

10

20

30

40

50

形成する際、この第1バッファ層7をエッチングストップ層として機能させているためである。また、このように第1バッファ層7を厚く形成しているので、前述したようにバッファ層3をインクジェット式記録ヘッド50において弾性板として機能させた際、実質的にはこの第1バッファ層7が弾性板として機能することができる。

【0053】

第1バッファ層7は、基体2上に直接形成されるが、シリコン基板からなる基体2表面には通常、自然酸化膜(二酸化シリコン)が形成されている。したがって、この自然酸化膜上にYSZをエピタキシャル成長させることは一般的な成膜法では難しいことから、本実施の形態では、後述するように特にイオンビームアシスト法を用いてエピタキシャル成長させることにより、この第1バッファ層7を形成するものとする。なお、基体2表面に形成されている自然酸化膜は、アモルファス膜であってもよい。

10

【0054】

第2バッファ層8は、たとえば立方晶(100)配向の CeO_2 を用いることができる。第2バッファ層8は、第1バッファ層7上にエピタキシャル成長させられるものを用いることができる。第2バッファ層8の厚さは、たとえば100nm程度である。

【0055】

なお、これら第1バッファ層7および第2バッファ層8としては、YSZや CeO_2 に限定されることなく、任意のNaCl構造の金属酸化物や蛍石型構造の金属酸化物を用いることができる。NaCl構造の金属酸化物としては、たとえば MgO 、 CaO 、 SrO 、 BaO 、 MnO 、 FeO 、 CoO 、 NiO 、または、これらを含む固溶体などが挙げられるが、これらの中でも、特に、 MgO 、 CaO 、 SrO 、 BaO 、または、これらを含む固溶体のうちの少なくとも1種を用いるのが好ましい。このようなNaCl構造の金属酸化物は、ペロブスカイト構造を有する金属酸化物との格子不整合が特に小さいものとなる。

20

【0056】

蛍石型構造の金属酸化物としては、たとえば、YSZ、 CeO_2 、 ZrO_2 、 ThO_2 、 UO_2 、または、これらを含む固溶体等が挙げられるが、これらの中でも、YSZ、 CeO_2 、 ZrO_2 、または、これらを含む固溶体のうちの少なくとも1種を用いるのが好ましい。このような蛍石型構造の金属酸化物も、ペロブスカイト構造を有する金属酸化物との格子不整合が特に小さいものとなる。

30

【0057】

第3バッファ層9としては、たとえばペロブスカイト型金属酸化物である SrRuO_3 を用いることができる。第3バッファ層9は、第2バッファ層8上に擬立方晶(100)配向でエピタキシャル成長させられるものを用いることができる。第3バッファ層9の厚さは、たとえば30nm程度である。第3バッファ層9にペロブスカイト構造を有する金属酸化物を用いることにより、第3バッファ層9は、前述したように第2バッファ層8との間で格子不整合が特に小さいものとなる。したがって、欠陥等がない良好な結晶構造を有するとともに、この第3バッファ層9上に、ペロブスカイト型の下部電極4を良好にエピタキシャル成長させることができる。

【0058】

なお、第3バッファ層9としては、 SrRuO_3 に限定されることなく、他のペロブスカイト型金属酸化物を用いることもできる。たとえば、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ (x は、たとえば7)、 CaRuO_3 、 BaRuO_3 、 SrVO_3 、 $(\text{La}, \text{Sr})\text{MnO}_3$ 、 $(\text{La}, \text{Sr})\text{CrO}_3$ 、 $(\text{La}, \text{Sr})\text{CoO}_3$ 、または、これらを含む固溶体などを用いることもできる。

40

【0059】

下部電極4は、ペロブスカイト型構造であってAサイトにPbを有する導電性材料を含むことができる。ペロブスカイト型構造であってAサイトにPbを有する導電性材料としては、たとえば、 PbBaO_3 、または、 $\text{Pb}((\text{Zr}, \text{Ti})_{1-x}\text{X}_x)\text{O}_3$ などを用いることができる。ここで、Xは、Ru、Rd、Pd、Fe、Co、およびNiのうち

50

の少なくとも一つからなり、 x は、 $0 < x < 0.4$ の範囲であることができる。 $Pb((Zr, Ti)_{1-x}X_x)O_3$ は、 $Pb(Zr, Ti)O_3$ のBサイトにRu、Rd、Pd、Fe、Co、およびNiのうちの少なくとも一つを添加し、電荷中性を破ることによって導電性を持たせたものである。ペロブスカイト型構造であってAサイトにPbを有する導電性材料としては、たとえば、上述した例示物質のうちの少なくとも一種を好適に用いることができる。 $Pb((Zr, Ti)_{1-x}X_x)O_3$ としては、たとえば、 $Pb(Zr_{0.4}Ti_{0.4}Ru_{0.2})O_3$ 、 $Pb(Zr_{0.4}Ti_{0.4}Co_{0.2})O_3$ 、または、 $Pb(Zr_{0.4}Ti_{0.4}Fe_{0.2})O_3$ などが挙げられる。なお、本実施の形態では、下部電極4として、擬立方晶(100)に優先配向している $PbBaO_3$ を用いている。なお、後述する上部電極6がペロブスカイト型構造であってAサイトにPbを有する導電性材料を含むならば、下部電極4は、ペロブスカイト型構造であってAサイトにPbを有する導電性材料を含まないことができる。この場合、下部電極4としては、Pt、Ir、 IrO_x 、または $SrRuO_3$ などの電極材料を用いることができる。

10

20

30

40

50

【0060】

下部電極4が含む導電性材料は、擬立方晶(100)に優先配向していることができる。ここで、「優先配向」とは、所望配向の擬立方晶(100)にすべての結晶が配向している場合と、所望配向の擬立方晶(100)にほとんどの結晶が配向しており、擬立方晶(100)に配向していない残りの結晶が他の配向となっている場合とを含むことができる。このように、ほとんどの結晶が所望配向の擬立方晶(100)に配向していれば、後述するように下部電極4の上に圧電体膜5を形成した際、圧電体膜5が下部電極4の結晶構造を引き継いで同じ結晶構造、すなわち擬立方晶(100)に優先配向するようになる。下部電極4は、第3パuffa層9上にエピタキシャル成長させることができる。下部電極4の膜厚は、例えば、200nm程度に形成されたものである。

【0061】

圧電体膜5は、ペロブスカイト型構造であってAサイトにPbを有する材料からなる。具体的には、圧電体膜5は、たとえば、 $Pb(Zr_{1-x}Ti_x)O_3$ からなり、 x は、 $0 < x < 1$ の範囲であることができる。また、圧電体膜5は、たとえば、 $Pb((Zr_{1-x}Ti_x)_{1-y}Nb_y)O_3$ からなり、 x は、 $0 < x < 1$ の範囲であり、 y は、 $0 < y < 0.3$ の範囲であることができる。また、圧電体膜5は、たとえば、リラクサー材料からなることができる。なお、本実施の形態では、圧電体膜5として、リラクサー

【0062】

リラクサー材料は、具体的には、 $Pb_{1-b}[(X_{1/3}Nb_{2/3})_{1-c}B'_c]_{1-a}Y_a]O_3$ の一般式(1)で示され、 X は、Mg、Zn、およびNiのうちの少なくとも一つからなり、 B' は、Zr、Ti、およびHfのうちの少なくとも一つからなり、 Y は、V、Nb、Ta、Cr、Mo、およびWのうちの少なくとも一つからなり、 a は、 $0 < a < 0.30$ の範囲であり、 b は、 $0 < b < 0.15$ の範囲であり、 c は、 X がMg、Niのとき、 c は、 $0 < c < 0.45$ の範囲であり、 X がZnのとき、 c は、 $0 < c < 0.20$ の範囲であることが好ましい。さらに好ましくは、 X がMg、Niのとき、 c は、 $0 < c < 0.40$ の範囲であり、 X がZnのとき、 c は、 $0 < c < 0.15$ の範囲であれば、容易に圧電体膜をロンボヘドラル構造にコントロールすることができ、高い圧電特性を発現できる。以下、一般式(1)で示される組成を「 $PXNB'Y$ 」と表すこともある。

【0063】

ペロブスカイト型とは、図2および図3に示すような結晶構造を有するもので、図2および図3においてAで示す位置をAサイト、Bに示す位置をBサイトという。たとえば、一般式(1)で示される $PXNB'Y$ では、PbがAサイトに位置し、 X 、Nb(ニオブ)、 B' および Y がBサイトに位置する。また、O(酸素)は図2および図3中においてOで示したところに位置する。

【0064】

Yは、 $((X_1 / 3 N b_2 / 3)_{1-c} B'_c)$ で示される組成全体の価数、すなわち + 4 価より価数の高い金属元素を用いることができる。+ 4 価より価数の高い金属元素としては、たとえばV (+ 5 価)、Nb (+ 5 価)、Ta (+ 5 価)、Cr (+ 6 価)、Mo (+ 6 価)、およびW (+ 6 価)などである。

【0065】

Pb系のペロブスカイト型構造を有するもの、たとえばPZTなどは、Pbの蒸気圧が高いために、ペロブスカイト型構造のAサイトに位置するPbが蒸発しやすい。上述の $PXNB'Y$ では、組成式 $Pb_{1-b} [((X_1 / 3 N b_2 / 3)_{1-c} B'_c)_{1-a} Y_a] O_3$ において、bがPbの欠損量を表している。PbがAサイトから抜けると、電荷中性の原理によって同時に酸素が欠損する。この現象は、Schottky欠陥と呼ばれる。たとえば、PZTにおいて酸素が欠損すると、PZTのバンドギャップが低下する。このバンドギャップの低下によって、電極界面でのバンドオフセットが減少し、PZTからなる圧電体膜の絶縁性が低下する。

10

【0066】

しかし、本発明によれば、 $((X_1 / 3 N b_2 / 3)_{1-c} B'_c)$ で示される組成全体の価数より価数の高いYを、Bサイトの元素(X, Nb, B)と置換させることで、結晶構造全体としての中性を保持することができ、酸素の欠損を防止することができる。これにより圧電体膜5の絶縁性は良好なものとなり、電流リークを防止することができる。

【0067】

たとえばYで示される元素としてNbを用いた場合に、NbはTiとサイズ(イオン半径が近く、原子半径は同一である。)がほぼ同じで、重さが2倍であるため、格子振動による原子間の衝突によっても格子から原子が抜けにくい。また、結晶化時に、Pb抜けが発生したとしても、サイズの大きなO(酸素)が抜けるより、サイズの小さなNbが入る方が容易である。したがって、O(酸素)抜けを効果的に防止することができる。更に、Nbは酸素との共有結合性が非常に強く系から抜け難くなっていると考えられる(H. Miyazawa, E. Natori, S. Miyashita; Jpn. J. Appl. Phys. 39 (2000) 5679)。なお、ここではYとして、Nbを用いた例について述べたが、YとしてV、Ta、Cr、Mo、Wを用いても同等あるいはそれに近い効果を有する。

20

【0068】

Yが+ 5 価の元素の場合に、Yの量aは、
 $0.10 < a < 0.30$
 の範囲であることが好ましい。このとき、Pbの欠損量bは、Yの量aのほぼ半分であることが好ましい。すなわち、Pbの欠損量bは、

30

$$b = a / 2$$

で示され、

$$0.05 < b < 0.15$$

の範囲であることが好ましい。なお、これらaおよびbの範囲は、実際には測定誤差等が関係してくる。すなわち、たとえばPbの欠損量bは、測定誤差、たとえば約2パーセントの測定誤差を考慮すると、

40

$$0.05 - 0.02 < b < 0.15 + 0.02$$

の範囲であることが好ましい。このことは、以下に述べるすべての数値範囲についても同様である。

【0069】

上述した数値範囲は次の意義を有する。Yの量aが0.10未満では、Yの添加による電流リーク防止効果が良好とならず、一方Yの量aが0.30を越えても、それ以上は電流リーク防止効果の向上があまり期待できないからである。Yが+ 5 価の元素としては、たとえばV、Nb、Taなどが挙げられるが、好ましい元素は、Nb、Taであり、より好ましい元素は、Nbである。

【0070】

50

Y が + 6 価の元素の場合に、Y の量 a は、

$$0.05 \leq a \leq 0.15$$

の範囲であることが好ましい。このとき、P b の欠損量 b は、Y の量 a とほぼ同じであることが好ましい。すなわち、P b の欠損量 b は、

$$b \approx a$$

で示され、

$$0.05 \leq b \leq 0.15$$

の範囲であることが好ましい。

【0071】

Y の量 a が 0.05 未満では、Y の添加による電流リーク防止効果が良好とならず、Y の量 a が 0.15 を越えても、それ以上は電流リーク防止効果の向上があまり期待できないからである。Y が + 6 価の元素のとして、たとえば Cr、Mo、W などが挙げられるが、好ましい元素は、Mo、W であり、より好ましい元素は、W である。

【0072】

Y が Y 1 (+ 5 価) および Y 2 (+ 6 価) の元素を含む場合には、P X N B ' Y の組成式は、 $Pb_{1-b} [(X_{1/3} Nb_{2/3})_{1-c} B'c] Y_{1-a-e} Y_2_e O_3$ で示される。(a - e) は、Y 1 の量を示し、e は、Y 2 の量を示す。この場合に、Y 1 の量 (a - e)、および Y 2 の量 e は、

$$0.05 \leq (a - e) / 2 + e \leq 0.15$$

の範囲であることが好ましい。このとき、P b の欠損量 b は、Y 1 の量の半分の量 (a - e) / 2 と、Y 2 の量 e と、を合計した量とほぼ同じであることが好ましい。すなわち、

$$b \approx (a - e) / 2 + e$$

で示され、

$$0.05 \leq b \leq 0.15$$

の範囲であることが好ましい。

【0073】

Y 1 の量の半分の量 (a - e) / 2 と、Y 2 の量 e と、を合計した量 (a - e) / 2 + e (以下、単に「合計量 f」という) が 0.05 未満では、添加による電流リーク防止効果が良好とならず、合計量 f が 0.15 を越えても、それ以上は電流リーク防止効果の向上があまり期待できないからである。Y 1 として好ましい元素は、Nb、Ta であり、Y 2 として好ましい元素は、W である。

【0074】

なお、上述の圧電体膜 5 は、組成式が $Pb_{1-b} [(X_{1/3} Nb_{2/3})_{1-c} B'c]_{1-a} Y_a O_3$ で示され、O (酸素) は欠損していないが、O を欠損させることもできる。すなわち、その場合の組成式は、 $Pb_{1-b-d} [(X_{1/3} Nb_{2/3})_{1-c} B'c]_{1-a} Y_a O_{3-d}$ で示される。この場合、酸素の欠損量 d は、

$$0 < d \leq 0.03$$

の範囲であることが好ましい。

【0075】

また、圧電体膜 5 におけるペロブスカイト型構造の A サイトの P b を、P b (+ 2 価) よりも価数の高い元素 Z で一部置換することもできる。すなわち、その場合の圧電体膜 5 の組成式は、 $(Pb_{1-g} Z_g)_{1-b} [(X_{1/3} Nb_{2/3})_{1-c} B'c]_{1-a} Y_a O_3$ となる。この場合、Z の量 g は、

$$0 < g \leq 0.05$$

の範囲であることが好ましい。Z は、たとえば La、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、および Lu などのランタノイド系などであるが、好ましい元素は + 3 価である La、Pr、Nd、Sm である。また、Z は Ce であっても良い特性を得ることができる。

【0076】

また、圧電体膜 5 におけるペロブスカイト型構造の A サイトの P b を、P b (+ 2 価) よりも価数の高い元素 Z で一部置換することもできる。すなわち、その場合の圧電体膜 5 の組成式は、 $(Pb_{1-g} Z_g)_{1-b} [(X_{1/3} Nb_{2/3})_{1-c} B'c]_{1-a} Y_a O_3$ となる。この場合、Z の量 g は、

$$0 < g \leq 0.05$$

の範囲であることが好ましい。Z は、たとえば La、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、および Lu などのランタノイド系などであるが、好ましい元素は + 3 価である La、Pr、Nd、Sm である。また、Z は Ce であっても良い特性を得ることができる。

【0076】

10

20

30

40

50

また、Yは、圧電体膜5におけるペロブスカイト型構造のBサイトに存在することができる。

【0077】

また、B'は、ZrおよびTiを含むことができる。この場合に、ZrとTiとの組成比は、(1-p):pで示される。そして、pは、

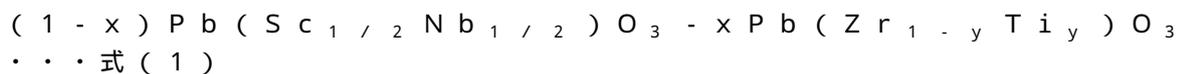
$$p = 0.6$$

の範囲であることが好ましい。

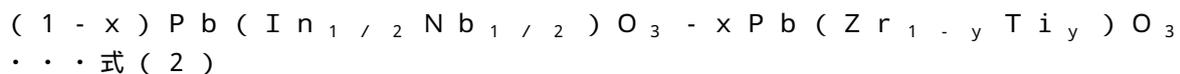
【0078】

また、リラクサー材料としては、たとえば以下の式(1)~(9)で示される材料が挙げられる。これらのうちから選択された一種あるいは複数種が後述するように液相法または気相法で成膜されることにより、圧電体膜5が得られる。 10

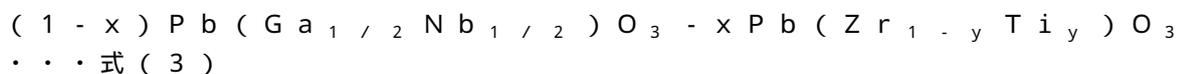
【0079】



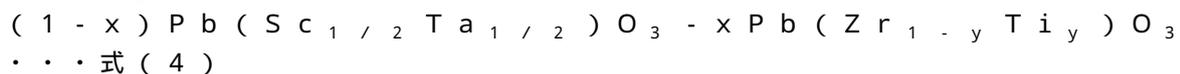
(ただし、xは0.10 < x < 0.42、好ましくは0.20 < x < 0.42、yは、0 ≤ y ≤ 1)



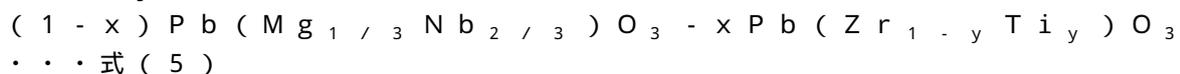
(ただし、xは0.10 < x < 0.37、好ましくは0.20 < x < 0.37、yは、0 ≤ y ≤ 1) 20



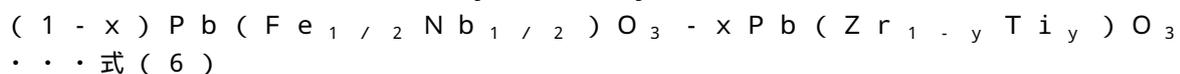
(ただし、xは0.10 < x < 0.50、好ましくは0.30 < x < 0.50、yは、0 ≤ y ≤ 1)



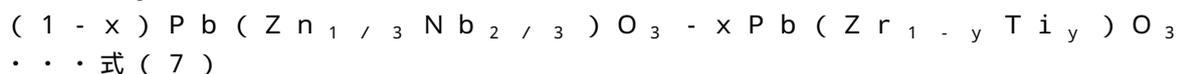
(ただし、xは0.10 < x < 0.45、好ましくは0.20 < x < 0.45、yは、0 ≤ y ≤ 1)



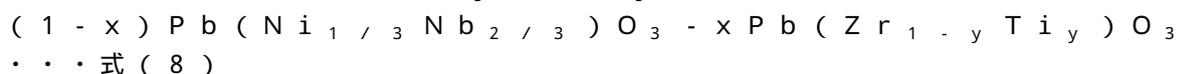
(ただし、xは0.10 < x < 0.35、好ましくは0.20 < x < 0.35、さらに好ましくは、X = 0.3、yは、0 ≤ y ≤ 1)



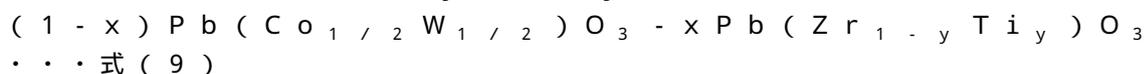
(ただし、xは0.01 < x < 0.10、好ましくは0.03 < x < 0.10、yは、0 ≤ y ≤ 1)



(ただし、xは0.01 < x < 0.10、好ましくは0.03 < x < 0.09、さらに好ましくは、X = 0.09、yは、0 ≤ y ≤ 1) 40



(ただし、xは0.10 < x < 0.38、好ましくは0.20 < x < 0.38、さらに好ましくは、X = 0.3、yは、0 ≤ y ≤ 1)



(ただし、xは0.10 < x < 0.42、好ましくは0.20 < x < 0.42、yは、0 ≤ y ≤ 1)

【0080】

また、リラクサー材料として、たとえば以下の式(1)~(9)で示される材料も挙げ 50

られる。これらのうちから選択された一種あるいは複数種が後述するように液相法または気相法で成膜されることにより、圧電体膜5が得られる。

【0081】



(ただし、xは0.10 < x < 0.42、好ましくは0.20 < x < 0.42)



(ただし、xは0.10 < x < 0.37、好ましくは0.20 < x < 0.37)



(ただし、xは0.10 < x < 0.50、好ましくは0.30 < x < 0.50)



(ただし、xは0.10 < x < 0.45、好ましくは0.20 < x < 0.45)



(ただし、xは0.10 < x < 0.35、好ましくは0.20 < x < 0.35、さ

らに好ましくは、x = 0.3)



(ただし、xは0.01 < x < 0.10、好ましくは0.03 < x < 0.10)



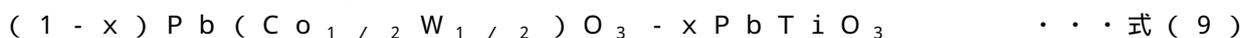
(ただし、xは0.01 < x < 0.10、好ましくは0.03 < x < 0.09、さら

に好ましくは、x = 0.09)



(ただし、xは0.10 < x < 0.38、好ましくは0.20 < x < 0.38、さら

に好ましくは、x = 0.3)



(ただし、xは0.10 < x < 0.42、好ましくは0.20 < x < 0.42)

【0082】

リラクサー材料とは、バルクの固体において図4に示すように誘電率の温度依存がブロードな(幅が広い)ピークを示す材料であって、誘電率が極大となる温度が周波数測定によりシフトする材料をいう。また、リラクサー材料は、圧電定数の温度依存がブロードな(幅が広い)ピークを示す材料である。これに対し、Pb(Zr,Ti)O₃(以下、「PZT」ともいう)等の非リラクサー材料である圧電体材料は、図5に示すように誘電率、および圧電定数の温度依存が非常に鋭いピークを示すものである。したがって、圧電体膜5としてリラクサー材料を用いることにより、得られた圧電素子1は広い温度範囲で良好な圧電特性を発揮し、これにより信頼性が高く特性が安定したものとなる。ただしリラクサー材料の膜厚が100nm~1μm程度においては、必ずしも図4に示す明瞭なピークを示すとは限らない。100nm~1μm程度の膜厚を有するリラクサー材料は、室温から100 の間で、よりなだらかな誘電率の変化を示すものもある。

【0083】

圧電体膜5の形成材料(リラクサー材料)において、前述したように材料間におけるPbTiO₃(以下、「PT」ともいう)側の組成比を表すxの範囲については、特にその上限値としては、相境界(MPB: Morphological Phase Boundary)となる。相境界とは、ロンボヘドラル構造とテトラゴナル構造とが相転移するときのPbTiO₃(PT)側の組成比を示す値である。そして、このxの範囲としては、相転移するときの組成比より小さく、これによりロンボヘドラル構造となる範囲とされる。ここで、圧電定数であるd定数(d₃₁)は、相境界付近で極大値をとる。したがって、前記のxについては、その下限値としては、この相境界のときのxの値に近い値が選択されるのである。よって、xの範囲としては、本発明を構成するうえでは比較的小さい値まで許容できるものの、より高い圧電定数であるd定数(d₃₁)を得るためには、好ましい範囲としたときの値、すなわち相境界のときのxの値により近い値が選択される。つまり、圧電素子1を動作させる際に許容される圧電定数(d₃₁)の下限値のときのxが、xの範囲の下限値となる。xの下限値は、MPBとなるxの値から、たとえば0.05を引いた値となる。より具体的

10

20

30

40

50

には、MPBとなる x が0.33である場合、 x の下限値は、0.28程度がより好ましい。

【0084】

圧電体膜5は、ロンボヘドラル構造であり、かつ擬立方晶(100)に優先配向していることが望ましい。ロンボヘドラル構造で擬立方晶(100)に優先配向している圧電体膜5は、特に温度等の成膜条件を調整することで得られる。このように、圧電体膜5は、ペロブスカイト型でロンボヘドラル構造を有し、かつ擬立方晶(100)に優先配向したもので、エンジニアードメイン配置と呼ばれるものである。したがって、圧電体膜5は、高い圧電定数(d_{31})を有する。ここで、「優先配向」とは、前述したように、所望配向の擬立方晶(100)にすべての結晶が配向している場合と、所望配向の擬立方晶(100)にほとんどの結晶が配向しており、擬立方晶(100)に配向していない残りの結晶が他の配向となっている場合とを含むことができる。圧電体膜5は、同様に優先配向した下部電極4上に形成され、下部電極4の結晶構造を引き継いだ結晶構造となる。したがって、圧電体膜5も下部電極4と同様に、擬立方晶(100)に優先配向したものである。

10

【0085】

圧電体膜5の厚さは、たとえば500~1500nm程度である。なお、圧電体膜5の代表的な膜厚は300nmから3.0 μ mである。この厚みの上限値に関しては、薄膜としての緻密さ、結晶配向性を維持する範囲で厚くすることができ、10 μ m程度まで許容できる。

20

【0086】

上部電極6は、本実施の形態では下部電極4と同様、ペロブスカイト型構造であってAサイトにPbを有する導電性材料を含むことができる。この導電性材料は、擬立方晶(100)に優先配向していることができる。上部電極6は、圧電体膜5上にエピタキシャル成長させることができる。上部電極6の膜厚は、例えば、200nm程度に形成されたものである。上部電極6を形成するペロブスカイト型構造であってAサイトにPbを有する導電性材料としては、たとえば、 $PbBaO_3$ 、または、 $Pb((Zr, Ti)_{1-x}X_x)O_3$ などを用いることができる。ここで、Xは、Ru、Rd、Pd、Fe、Co、およびNiのうちの少なくとも一つからなり、 x は、 $0 < x < 0.4$ の範囲であることができる。 $Pb((Zr, Ti)_{1-x}X_x)O_3$ は、 $Pb(Zr, Ti)O_3$ のBサイトにRu、Rd、Pd、Fe、Co、およびNiのうちの少なくとも一つを添加し、電荷中性を破ることによって導電性を持たせたものである。ペロブスカイト型構造であってAサイトにPbを有する導電性材料としては、たとえば、上述した例示物質のうちの少なくとも一種を好適に用いることができる。 $Pb((Zr, Ti)_{1-x}X_x)O_3$ としては、たとえば、 $Pb(Zr_{0.4}Ti_{0.4}Ru_{0.2})O_3$ 、 $Pb(Zr_{0.4}Ti_{0.4}Co_{0.2})O_3$ 、または、 $Pb(Zr_{0.4}Ti_{0.4}Fe_{0.2})O_3$ などが挙げられる。なお、本実施の形態では、上部電極6として、擬立方晶(100)に優先配向している $PbBaO_3$ を用いている。なお、上述した下部電極4がペロブスカイト型構造であってAサイトにPbを有する導電性材料を含むならば、上部電極6は、ペロブスカイト型構造であってAサイトにPbを有する導電性材料を含まないことができる。この場合、上部電極6としては、Pt、Ir、 IrO_x 、または $SrRuO_3$ などの電極材料を用いることができる。

30

40

【0087】

なお、上述した例では、バッファ層3上に下部電極4を形成する場合について説明したが、下部電極4は、バッファ層3を介せず、直接基体2上に形成することもできる。

【0088】

また、上述した例では、圧電素子1をインクジェット式記録ヘッド用のヘッドアクチュエーターとして用いる場合について説明したが、圧電素子1は、インクジェット式記録ヘッド用のヘッドアクチュエーター以外の圧電アクチュエーターとして用いることができる。

50

【0089】

1-2. 圧電素子の製造方法

次に、本実施の形態における圧電素子の製造方法について説明する。

【0090】

(1) まず、表面が(110)面であるシリコン基板からなる基体2を用意する。基体2として用いられるシリコン基板としては、後述するようにこれにキャビティー(インクキャビティー)を形成することから、これに必要な厚さを有したものが用いられる。

【0091】

続いて、この基体2を基板ホルダーに装填し、真空装置(図示せず)内に設置する。この真空装置内には、基体2に対向して、バッファ層7、8、9の構成元素を含む各ターゲット(バッファ層用ターゲット)を所定距離、離間して配置しておく。各ターゲットとしては、目的とする第1バッファ層7、第2バッファ層8、第3バッファ層9の各組成と同一または近似した組成のものがそれぞれ好適に用いられる。

【0092】

すなわち、第1バッファ層7用のターゲットとしては、所望のYSZ組成、またはこれに近似した組成のものをを用いることができる。第2バッファ層8用のターゲットとしては、所望のCeO₂組成、またはこれに近似した組成のものをを用いることができる。第3バッファ層9用のターゲットとしては、所望のSrRuO₃組成、またはこれに近似した組成のものをを用いることができる。

【0093】

(2) 次いで、図6に示すように、前述したようにイオンビームアシスト法を用いて、基体2上に第1バッファ層7を直接形成する。具体的には以下の通りである。

【0094】

レーザー光を第1バッファ層7用のターゲットに照射し、このターゲットから酸素原子および金属原子を含む原子を叩き出すレーザーアブレーション法により、ブルームを発生させる。このブルームは基体2上に向けて出射し、基体2上に接触するようになる。これとほぼ同時に、基体2の表面に対して、イオンビームを後述する所定角度で照射(入射)し、イオンビームアシストを行う。その結果、基体2表面に自然酸化膜が形成されているにもかかわらず、基体2上に、立方晶(100)配向のYSZからなる第1バッファ層7がエピタキシャル成長によって形成される。

【0095】

なお、YSZの構成原子をターゲットから叩き出す方法としては、前述したようにレーザー光をターゲット表面に照射する方法のほか、たとえば、アルゴンガス(不活性ガス)プラズマや電子線などをターゲット表面に照射(入射)する方法を用いることもできる。これらの方法の中では、レーザー光をターゲット表面に照射する方法が最も好ましい。この方法によれば、レーザー光の入射窓を備えた簡易な構成の真空装置を用いることにより、原子をターゲットから容易に、かつ確実に叩き出すことができる。

【0096】

このターゲットに照射するレーザー光としては、波長が150~300nm程度、パルス長が1~100ns程度のパルス光が好適に用いられる。具体的には、ArFエキシマレーザー、KrFエキシマレーザー、XeClエキシマレーザーなどのエキシマレーザー、さらにYAGレーザー、YVO₄レーザー、CO₂レーザーなどが挙げられる。これらの中でも、特にArFエキシマレーザー、またはKrFエキシマレーザーが好適に用いられる。ArFエキシマレーザーおよびKrFエキシマレーザーは、いずれも取り扱いが容易であり、また、より効率よく原子をターゲットから叩き出すことができる。

【0097】

基体2の表面にイオンビームアシストとして照射するイオンビームについては、特に限定されないものの、たとえばアルゴン、ヘリウム、ネオン、キセノン、クリプトンのような不活性ガスのうちの少なくとも1種のイオン、または、これらのイオンと酸素イオンとの混合イオンなどが好適に用いられる。このイオンビームのイオン源としては、例えば、

10

20

30

40

50

K a u f f m a n イオン源などを用いるのが好ましい。このイオン源を用いることにより、イオンビームを比較的容易に生成することができる。

【0098】

基体2表面に対するイオンビームの照射(入射)角度、すなわち前記の所定角度としては、特に限定されないものの、基体2の表面に対して35~65°程度傾斜した角度とするのが好ましい。特に、NaCl構造の金属酸化物を主材料として第1バッファ層7を形成する場合には、照射角度を42~47°程度、また、蛍石型構造の金属酸化物を主材料として第1バッファ層7を形成する場合には、照射角度を52~57°程度とするのがより好ましい。なお、本実施の形態では、蛍石型構造の金属酸化物であるYSZによって第1バッファ層7を形成するので、照射角度を52~57°程度、特に55°程度としている。このような照射角度でイオンビームを基体2表面に照射することにより、立方晶(100)配向の第1バッファ層7を良好に形成することができる。

10

【0099】

ターゲットに対してはアルゴンなどのイオンを(111)方向から入射させつつ、レーザーアブレーションを行うようにする。ただし、MgOなどのNaCl構造の金属酸化物によって第1バッファ層7を形成する場合には、そのターゲットに対し、アルゴンなどのイオンを(110)方向で入射させつつ、レーザーアブレーションを行うようにする。

【0100】

第1バッファ層7の形成における各条件については、第1バッファ層7がエピタキシャル成長し得るものであれば特に限定されることなく、たとえば次のような条件を採用することができる。

20

【0101】

レーザー光の周波数としては、30Hz以下とするのが好ましく、15Hz以下とするのがより好ましい。レーザー光のエネルギー密度としては、0.5J/cm²以上とするのが好ましく、2J/cm²以上とするのがより好ましい。

【0102】

イオンビームの加速電圧としては、100~300V程度とするのが好ましく、150~250V程度とするのがより好ましい。イオンビームの照射量としては、1~30mA程度とするのが好ましく、5~15mA程度とするのがより好ましい。

【0103】

基体2の温度としては、0~50°程度とするのが好ましく、室温(5~30°)程度とするのがより好ましい。基体2とターゲットとの距離としては、60mm以下とするのが好ましく、45mm以下とするのがより好ましい。

30

【0104】

真空装置内の圧力としては、 1.33×10^{-1} Pa (1×10^{-1} Torr) 以下とするのが好ましく、 1.33×10^{-3} Pa (1×10^{-3} Torr) 以下とするのがより好ましい。真空装置内の雰囲気としては、不活性ガスと酸素との混合比を、体積比で300:1~10:1程度とするのが好ましく、150:1~50:1程度とするのがより好ましい。

【0105】

第1バッファ層7の形成条件をそれぞれ前記範囲とすれば、第1バッファ層7をエピタキシャル成長によって、より効率よく形成することができる。

40

【0106】

また、レーザー光およびイオンビームの照射時間を適宜設定することにより、第1バッファ層7の平均厚さを前記厚さ、すなわち1μm程度に調整することができる。このレーザー光およびイオンビームの照射時間は、前記各条件によって異なるものの、通常、200秒以下とするのが好ましく、100秒以下とするのがより好ましい。

【0107】

このような第1バッファ層7の形成方法によれば、イオンビームの照射角度を調整するイオンビームアシスト法を採用することにより、基体2表面に自然酸化膜が形成されてい

50

るにもかかわらず、前述したように立方晶(100)配向の第1バッファ層7を良好に形成することができる。なお、このように第1バッファ層7の配向方位を精度よく揃えることができるので、必要に応じて、この第1バッファ層7の平均厚さをより小さくすることもできる。

【0108】

(3)次に、図7に示すように、第1バッファ層7上に第2バッファ層8を形成する。第2バッファ層8の形成は、自然酸化膜上に形成する第1バッファ層7の場合とは異なり、良好な結晶構造を有する第1バッファ層7の上に形成することから、イオンビームアシスト法を用いることなく、単にレーザーアブレーション法を用いることで行う。すなわち、第1バッファ層7用のターゲットに代えて、所望の CeO_2 組成、またはこれに近似した組成の第2バッファ層8用ターゲットを用いる。そして、第2バッファ層8用ターゲットにレーザー光を照射して、これから酸素原子および金属原子を含む原子を叩き出し、ブルームを発生させる。そして、このブルームを基体2上の第1バッファ層7に向けて出射させ接触させる。その結果、第2バッファ層8が第1バッファ層上にエピタキシャル成長して形成される。

10

【0109】

第2バッファ層8を形成するための、レーザーアブレーション法等の条件については、第1バッファ層7を形成する際の、レーザーアブレーション法等の条件と同様とすることができる。

【0110】

(4)次に、図8に示すように、第2バッファ層8上に第3バッファ層9を形成する。これにより第1バッファ層7、第2バッファ層8、および第3バッファ層9からなるバッファ層3を得ることができる。第3バッファ層9の形成では、第2バッファ層9の場合と同様にレーザーアブレーション法を単独で用いる。すなわち、第2バッファ層8用のターゲットに代えて、所望の SrRuO_3 組成、またはこれに近似した組成の第3バッファ層9用ターゲットを用意する。そして、第3バッファ層9用ターゲットにレーザー光を照射し、これから酸素原子および金属原子を含む原子を叩き出し、ブルームを発生させる。そして、このブルームを基体2上の第2バッファ層8に向けて出射させ接触させる。その結果、第3バッファ層9が第2バッファ層8上にエピタキシャル成長して形成される。

20

【0111】

なお、この第3バッファ層9の形成では、必要に応じて、第1バッファ層7の形成工程と同様に、イオンビームアシストを用いることもできる。すなわち、第2バッファ層8の表面にイオンビームを照射しつつ、これの上に第3バッファ層9を形成することができる。イオンビームアシストを用いることで、より効率よく第3バッファ層9を形成することができる。

30

【0112】

第3バッファ層9の形成における各条件については、各種金属原子が、所定の比率(すなわち、ペロブスカイト構造を有する金属酸化物における組成比)で、第2バッファ層8上に到達し、かつ、第3バッファ層9がエピタキシャル成長し得るものであれば特に限定されることはない。たとえば次のような条件を採用することができる。

40

【0113】

レーザー光の周波数としては、30Hz以下程度とするのが好ましく、15Hz以下程度とするのがより好ましい。レーザー光のエネルギー密度としては、 0.5 J/cm^2 以上とするのが好ましく、 2 J/cm^2 以上とするのがより好ましい。

【0114】

第2バッファ層8が形成された基体2の温度としては、300~800程度とするのが好ましく、700程度とするのがより好ましい。イオンビームの照射を併用する場合には、この温度を、0~50程度とするのが好ましく、室温(5~30)程度とするのが好ましい。第2バッファ層8が形成された基体2とターゲットとの距離としては、60mm以下とするのが好ましく、45mm以下とするのがより好ましい。

50

【0115】

また、真空装置内の圧力としては、1気圧以下が好ましく、そのうち、酸素分圧については、 $399 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ ($3 \times 10^{-3} \text{ Torr}$)程度とするのが好ましい。イオンビームの照射を併用する場合には、真空装置内の圧力を、 $133 \times 10^{-1} \text{ Pa}$ ($1 \times 10^{-1} \text{ Torr}$)以下とするのが好ましく、 $133 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ ($1 \times 10^{-3} \text{ Torr}$)以下とするのがより好ましい。また、この場合、真空装置内の雰囲気としては、不活性ガスと酸素との混合比を、体積比で300:1~10:1程度とするのが好ましく、150:1~50:1程度とするのがより好ましい。

【0116】

第3バッファ層9の形成条件をそれぞれ上述の範囲とすれば、第3バッファ層9をエピタキシャル成長によって、より効率よく形成することができる。このとき、レーザー光およびイオンビームの照射時間を適宜設定することにより、第3バッファ層9の平均厚さを前記厚さ、すなわち30nm程度に調整することができる。このレーザー光の照射時間は、上述の各条件によっても異なるものの、通常、3~90分程度とするのが好ましく、15~45分程度とするのがより好ましい。

【0117】

(5)次に、図9に示すように、第3バッファ層9(バッファ層3)上にたとえばPbBaO₃からなる下部電極4を形成する。具体的には、PbBaO₃の前駆体溶液をスピコート法や液滴吐出法等の塗布法で第3バッファ層9上に配する。次に、焼成等の熱処理を行うことにより、下部電極4を得る。より具体的には、たとえば以下の通りである。

【0118】

まず、前駆体溶液の塗布工程、溶媒除去工程~乾燥熱処理工程~脱脂熱処理工程の一連の工程を所望する膜厚に応じて適宜回数繰り返す。次に、結晶化アニールを行うことで圧電体膜5を形成する。各工程における条件は、たとえば以下のとおりである。

【0119】

混合溶液塗布工程は、混合液の塗布をスピコートなどの塗布法で行う。まず、第3バッファ層9上に混合溶液を滴下する。滴下された溶液を基板全面に行き渡らせる目的でスピンを行う。スピンの回転数は、たとえば初期では500rpm程度とし、続いて塗布ムラが起らないように回転数を2000rpm程度に上げて、塗布を完了させる。乾燥熱処理工程については、大気雰囲気下でホットプレート等を用い、前駆体溶液に用いた溶媒の沸点よりたとえば10程度高い温度で熱処理(乾燥)することで行う。脱脂熱処理工程については、前駆体溶液に用いた有機金属の配位子を分解/除去するべく、大気雰囲気下でホットプレートを用い、350~400程度に加熱することで行う。結晶化アニール、すなわち結晶化のための焼成工程については、酸素雰囲気中でラピッドサーマルアニリング(RTA)等を用いて、たとえば600程度に加熱することで行う。焼結後の下部電極4の膜厚は、たとえば、100~1000nm程度とすることができる。

【0120】

下部電極4の形成材料である前駆体溶液については、下部電極4となるPbBaO₃の構成金属、すなわち、PbおよびBaをそれぞれ含んでなる有機金属を各金属が所望のモル比となるように混合し、さらにアルコールなどの有機溶媒を用いてこれらを溶解、または分散させることにより作製する。PbBaO₃の構成金属をそれぞれ含んでなる有機金属としては、金属アルコキシドや有機酸塩といった有機金属を用いることができる。具体的には、PbBaO₃の構成金属を含むカルボン酸塩またはアセチルアセトナート錯体としては、たとえば、以下のものが挙げられる。

【0121】

鉛(Pb)を含む有機金属としては、たとえば、酢酸鉛が挙げられる。バリウム(Ba)を含む有機金属としては、たとえば、酢酸バリウムが挙げられる。なお、PbBaO₃の構成金属を含んでなる有機金属としては、これらに限定されるわけではない。

【0122】

前駆体溶液には、必要に応じて安定化剤等の各種添加剤を添加することができる。さら

に、前駆体溶液に加水分解・重縮合を起こさせる場合には、前駆体溶液に適当な量の水とともに、触媒として酸あるいは塩基を添加することができる。

【0123】

このようにして、擬立方晶(100)に配向した第3バッファ層9上に下部電極4を形成することにより、下部電極4は、ペロブスカイト型でロンボヘドラル構造であって、擬立方晶(100)に優先配向した状態で形成される。下部電極4は、第3バッファ層9の配向を引き継いで形成される。

【0124】

なお、本実施の形態では下部電極4を液相法で形成する例について述べたが、レーザーアブレーション法やスパッタ法等の気相法を用いて、下部電極4を形成することもできる。

【0125】

(6)次に、図10に示すように、下部電極4上に圧電体膜5を形成する。圧電体膜5は、代表的には、前記一般式(1)の組成となる前駆体を用いて、たとえばゾルゲル法にて塗布膜を形成し、該塗布膜を結晶化させることにより形成できる。たとえば、一般式(1)で示すリラクサー系誘電体の組成は、以下の3成分の固溶体として得られる。すなわち、 $x\text{Pb}(X_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ と $y\text{Pb}(B')\text{O}_3$ と PbYO_3 とを形成するための溶液を用いて前記前駆体を形成できる。かかる3成分の組合せとしての例として以下の組成を挙げることができる。もちろん、これらの組成の組合せは単なる例であり、本発明はこれに限定されない。

【0126】

$x\text{Pb}(Mg_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3 - y\text{Pb}(Zr_{1-i}\text{Ti}_i)\text{O}_3 - z\text{PbYO}_3$
 $\dots(2)$
 $x + y + z = 1.0$ のもとで、
 $0.38x \quad 0.76$
 $0.19y \quad 0.32$
 $0.05z \quad 0.30$
 $i \quad 0.60$

である。ただし、MgはNiで置き換えてもよい。

【0127】

$x\text{Pb}(Zn_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3 - y\text{Pb}(Zr_{1-i}\text{Ti}_i)\text{O}_3 - z\text{PbYO}_3$
 $\dots(3)$
 $x + y + z = 1.0$ のもとで、
 $0.56x \quad 0.90$
 $0.05y \quad 0.14$
 $0.05z \quad 0.30$
 $i \quad 0.60$

である。

【0128】

圧電体膜5は、一般式(1)を構成する元素として、たとえば上記式(2)または(3)の組成を用いる場合には、Pb、X(MgまたはZn)、Nb、B'(Ti, Zr)、およびYの少なくともいずれかを含む第1~第5の原料溶液からなる混合溶液を用意し、これらの混合液に含まれる酸化物を熱処理等により結晶化させて得ることができる。

【0129】

第1の原料溶液としては、PXNB'Y圧電体膜の構成金属元素のうち、PbおよびZrによる PbZrO_3 ペロブスカイト結晶を形成するため縮重合体をn-ブタノール等の溶媒に無水状態で溶解した溶液が例示できる。

【0130】

第2の原料溶液としては、PXNB'Y圧電体膜の構成金属元素のうち、PbおよびTiによる PbTiO_3 ペロブスカイト結晶を形成するため縮重合体をn-ブタノール等の溶

媒に無水状態で溶解した溶液が例示できる。

【0131】

第3の原料溶液としては、 $PXNB'Y$ 圧電体膜の構成金属元素のうち、 Pb および Mg または Zn による $PbMgO_3$ または $PbZnO_3$ ペロブスカイト結晶を形成するため縮重合体を n -ブタノール等の溶媒に無水状態で溶解した溶液が例示できる。

【0132】

第4の原料溶液としては、 $PXNB'Y$ 圧電体膜の構成金属元素のうち、 Pb および Nb による $PbNbO_3$ ペロブスカイト結晶を形成するため縮重合体を n -ブタノール等の溶媒に無水状態で溶解した溶液が例示できる。

【0133】

第5の原料溶液としては、 $PXNB'Y$ 圧電体膜の構成金属元素のうち、 Pb および Y による $PbYO_3$ ペロブスカイト結晶を形成するため縮重合体を n -ブタノール等の溶媒に無水状態で溶解した溶液が例示できる。

【0134】

なお、圧電体膜5の形成材料である前駆体溶液については、圧電体膜5となるリラクサー材料の構成金属をそれぞれ含んでなる有機金属を各金属が所望のモル比となるように混合し、さらにアルコールなどの有機溶媒を用いてこれらを溶解、または分散させることにより作製することができる。リラクサー材料の構成金属をそれぞれ含んでなる有機金属としては、金属アルコキシドや有機酸塩といった有機金属を用いることができる。具体的には、リラクサー材料の構成金属を含むカルボン酸塩またはアセチルアセトナート錯体として、たとえば、以下のものが挙げられる。

【0135】

鉛(Pb)を含む有機金属としては、たとえば、酢酸鉛が挙げられる。ジルコニウム(Zr)を含む有機金属としては、たとえば、ジルコニウムブトキシドが挙げられる。チタン(Ti)を含む有機金属としては、たとえば、チタンイソプロポキシドが挙げられる。マグネシウム(Mg)を含む有機金属としては、たとえば、酢酸マグネシウムが挙げられる。ニオブ(Nb)を含む有機金属としては、たとえば、ニオブエトキシドが挙げられる。ニッケル(Ni)を含む有機金属としては、たとえば、ニッケルアセチルアセトナートが挙げられる。スカンジウム(Sc)を含む有機金属としては、たとえば、酢酸スカンジウムが挙げられる。インジウム(In)を含む有機金属としては、たとえば、インジウムアセチルアセトナートが挙げられる。亜鉛(Zn)を含む有機金属としては、たとえば、酢酸亜鉛が挙げられる。鉄(Fe)を含む有機金属としては、たとえば、酢酸鉄が挙げられる。ガリウム(Ga)を含む有機金属としては、たとえば、ガリウムイソプロポキシドが挙げられる。タンタル(Ta)を含む有機金属としては、たとえば、タンタルエトキシドが挙げられる。タングステン(W)を含む有機金属としては、たとえば、タングステンヘキサカルボニルが挙げられる。なお、リラクサー材料の構成金属を含んでなる有機金属としては、これらに限定されるわけではない。

【0136】

前駆体溶液には、必要に応じて安定化剤等の各種添加剤を添加することができる。さらに、前駆体溶液に加水分解・重縮合を起こさせる場合には、前駆体溶液に適当な量の水とともに、触媒として酸あるいは塩基を添加することができる。

【0137】

上述した第1～第5の原料溶液を用いて、圧電体膜5が所望の組成比となるように、第1～第5の原料溶液を所望の比で混合する。この混合溶液に熱処理等を加えて結晶化させることにより、圧電体膜5を形成することができる。

【0138】

具体的には、混合溶液塗布工程、アルコール除去工程～乾燥熱処理工程～脱脂熱処理工程の一連の工程を所望の回数行い、その後結晶化アニールにより焼成して圧電体膜5を形成する。各工程における条件は、たとえば以下のとおりである。

【0139】

10

20

30

40

50

混合溶液塗布工程は、混合液の塗布をスピンコートなどの塗布法で行う。まず、下部電極 4 上に混合溶液を滴下する。滴下された溶液を基板全面に行き渡らせる目的でスピンを行う。スピンの回転数は、たとえば初期では 500 rpm 程度とし、続いて塗布ムラが起これないように回転数を 2000 rpm 程度に上げて、塗布を完了させる。乾燥熱処理工程については、大気雰囲気下でホットプレート等を用い、前駆体溶液に用いた溶媒の沸点よりたとえば 10 程度高い温度で熱処理（乾燥）することで行う。脱脂熱処理工程については、前駆体溶液に用いた有機金属の配位子を分解／除去するべく、大気雰囲気下でホットプレートを用い、350 ~ 400 程度に加熱することで行う。結晶化アニール、すなわち結晶化のための焼成工程については、酸素雰囲気中でラピッドサーマルアニリング（RTA）等を用いて、たとえば 600 程度に加熱することで行う。焼結後の圧電体膜 5 の膜厚は 500 ~ 1500 nm 程度とすることができる。

【0140】

このようにして、擬立方晶（100）に優先配向した $PbBaO_3$ からなる下部電極 4 上に圧電体膜 5 を形成することにより、圧電体膜 5 は、ペロブスカイト型でロンボヘドラル構造であって、擬立方晶（100）に優先配向した状態で形成される。圧電体膜 5 は、下部電極 4 の配向を引き継いで形成される。

【0141】

なお、本実施の形態では圧電体膜 5 を液相法で形成する例について述べたが、レーザーアブレーション法やスパッタ法等の気相法を用いて、圧電体膜 5 を形成することもできる。

【0142】

（7）次に、図 1 に示すように、圧電体膜 5 上にたとえば $PbBaO_3$ からなる上部電極 6 を形成する。上部電極 6 は、たとえば液相法などによって形成することができる。上部電極 6 の製造方法については、下部電極 4 と同様であるので詳細な説明を省略する。

【0143】

（8）次に、必要に応じて、ポストアニールを酸素雰囲気中で RTA 等を用いて行うことができる。これにより、上部電極 6 と圧電体膜 5 との良好な界面を形成することができる。かつ圧電体膜 5 の結晶性を改善することができる。

【0144】

以上の工程によって、本実施の形態にかかる圧電素子 1 を製造することができる。

【0145】

1-3. 作用・効果

本実施の形態に係る圧電素子 1 によれば、下部電極 4 は、ペロブスカイト型構造であって A サイトに Pb を有する導電性材料を含むことができ、かつ、圧電体膜 5 は、ペロブスカイト型構造であって A サイトに Pb を有する材料からなる。すなわち、下部電極 4 および圧電体膜 5 のどちらも A サイトに Pb を有する。これにより、高温条件下でも、圧電体膜 5 の鉛（Pb）原子は、下部電極 4 中に拡散することがないか、もしくは、拡散したとしても、圧電体膜 5 中の鉛原子と下部電極 4 中の鉛原子が入れ替わるだけである。その結果、圧電体膜 5 における鉛（Pb）の抜けにより、下部電極 4 と圧電体膜 5 との界面部において材料劣化が生じることを防ぐことができる。そして、下部電極 4 と圧電体膜 5 との界面部に組成ずれが生じて、誘電率の低い領域が該界面部に形成されることを防ぐことができる。したがって、圧電体膜 5 自体に十分な電圧を印加することができる。すなわち、本実施の形態に係る圧電素子 1 は、良好な圧電特性を有することができる。

【0146】

また、本実施の形態に係る圧電素子 1 によれば、上部電極 6 は、ペロブスカイト型構造であって A サイトに Pb を有する導電性材料を含むことができ、かつ、圧電体膜 5 は、ペロブスカイト型構造であって A サイトに Pb を有する材料からなる。すなわち、上部電極 6 および圧電体膜 5 のどちらも A サイトに Pb を有する。これにより、高温条件下でも、圧電体膜 5 の鉛（Pb）原子は、上部電極 6 中に拡散することがないか、もしくは、拡散したとしても、圧電体膜 5 中の鉛原子と上部電極 6 中の鉛原子が入れ替わるだけである。

その結果、圧電体膜 5 における鉛 (Pb) の抜けにより、上部電極 6 と圧電体膜 5 との界面部において材料劣化が生じることを防ぐことができる。そして、上部電極 6 と圧電体膜 5 との界面部に組成ずれが生じて、誘電率の低い領域が該界面部に形成されることを防ぐことができる。したがって、圧電体膜 5 自体に十分な電圧を印加することができる。すなわち、本実施の形態に係る圧電素子 1 は、良好な圧電特性を有することができる。

【0147】

また、本実施の形態に係る圧電素子 1 によれば、下部電極 4 は、ペロブスカイト型構造であって A サイトに Pb を有する導電性材料を含むことができ、かつ、圧電体膜 5 は、ペロブスカイト型構造であって A サイトに Pb を有する材料からなる。仮に、下部電極 4 が、ペロブスカイト型構造であって A サイトに Pb を有する導電性材料を含まない場合、たとえば、下部電極 4 が $SrRuO_3$ からなるような場合には、下部電極 4 から圧電体膜 5 へ Sr が拡散して、圧電体膜 5 における鉛 (Pb) および酸素の抜けなどが起こる場合がある。これにより、圧電体膜 5 と下部電極 4 との界面部において材料劣化が生じる場合がある。

10

【0148】

これに対し、本実施の形態に係る圧電素子 1 によれば、下部電極 4 は、ペロブスカイト型構造であって A サイトに Pb を有する導電性材料を含むことができる。したがって、圧電体膜 5 における鉛 (Pb) および酸素の抜けなどにより、下部電極 4 と圧電体膜 5 との界面部において材料劣化が生じることを防ぐことができる。そして、下部電極 4 と圧電体膜 5 との界面部に組成ずれが生じて、誘電率の低い領域が該界面部に形成されることを防ぐことができる。したがって、圧電体膜 5 自体に十分な電圧を印加することができる。すなわち、本実施の形態に係る圧電素子 1 は、良好な圧電特性を有することができる。

20

【0149】

また、本実施の形態に係る圧電素子 1 によれば、上部電極 6 は、ペロブスカイト型構造であって A サイトに Pb を有する導電性材料を含むことができ、かつ、圧電体膜 5 は、ペロブスカイト型構造であって A サイトに Pb を有する材料からなる。仮に、上部電極 6 が、ペロブスカイト型構造であって A サイトに Pb を有する導電性材料を含まない場合、たとえば、上部電極 6 が $SrRuO_3$ からなるような場合には、上部電極 6 から圧電体膜 5 へ Sr が拡散して、圧電体膜 5 における鉛 (Pb) および酸素の抜けなどが起こる場合がある。これにより、圧電体膜 5 と上部電極 6 との界面部において材料劣化が生じる場合がある。

30

【0150】

これに対し、本実施の形態に係る圧電素子 1 によれば、上部電極 6 は、ペロブスカイト型構造であって A サイトに Pb を有する導電性材料を含むことができる。したがって、圧電体膜 5 における鉛 (Pb) および酸素の抜けなどにより、上部電極 6 と圧電体膜 5 との界面部において材料劣化が生じることを防ぐことができる。そして、上部電極 6 と圧電体膜 5 との界面部に組成ずれが生じて、誘電率の低い領域が該界面部に形成されることを防ぐことができる。したがって、圧電体膜 5 自体に十分な電圧を印加することができる。すなわち、本実施の形態に係る圧電素子 1 は、良好な圧電特性を有することができる。

【0151】

また、本実施の形態に係る圧電素子 1 によれば、下部電極 4 および上部電極 6 の両方が、ペロブスカイト型構造であって A サイトに Pb を有する導電性材料を含むこともできる。この場合、下部電極 4 が、ペロブスカイト型構造であって A サイトに Pb を有する導電性材料を含む場合の上述の作用・効果と、上部電極 6 が、ペロブスカイト型構造であって A サイトに Pb を有する導電性材料を含む場合の上述の作用・効果との両方を奏することができる。

40

【0152】

また、本実施の形態に係る圧電素子 1 によれば、圧電体膜 5 として上述の各式で示されるリラクサー材料を用いることができる。その結果、本実施の形態に係る圧電素子 1 は、圧電定数が十分に高いものとなる。したがって、本実施の形態に係る圧電素子 1、より具

50

体的には圧電体膜 5 は、より良好な変形をなすものとなる。

【0153】

1 - 4 . 実験例

上述の圧電素子の製造方法に基づき、圧電素子 1 を以下のようにして作製した。

【0154】

まず、基板 2 上にバッファ層 3 を介して、擬立方晶 (100) に優先配向している Pb Ba O₃ (以下、「PBO」ともいう。) からなる下部電極 4 を液相法で形成した。具体的には以下の通りである。

【0155】

まず、PBO の前駆体溶液を以下のようにして調製した。まず、酢酸鉛、および酢酸バリウムの各金属試薬の金属試薬をそれぞれ用意した。次に、形成する PBO に対応したモル比となるようにこれらを混合するとともに、これらをブチルセロソルブに溶解 (分散) させた。さらに、この溶液の安定化剤としてジエタノールアミンを添加した。このようにして前駆体溶液を調整した。なお、ジエタノールアミンの代わりに酢酸を用いることもできる。

【0156】

そして、この前駆体溶液をスピンコート法によってバッファ層 3 上に塗布した (前駆体溶液の塗布工程)。次に、溶媒の沸点 (ブチルセロソルブの場合、170 程度) より約 10 高い温度で熱処理 (乾燥) して溶媒を除去しゲル化させた (乾燥熱処理工程)。次に、さらに 350 程度に加熱することで膜中に残存している溶媒以外の有機成分を分解 / 除去し (脱脂熱処理工程)、アモルファス膜を形成した。次に、酸素雰囲気中でラピッドサーマルアニーリング (RTA) を用いて 600 程度に加熱し、結晶化を行うことで下部電極 4 を形成した。下部電極 4 の膜厚は、200 nm とした。

【0157】

次に、0.70 Pb (Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃ - 0.30 PbTiO₃ (以下、「PMN-PT」ともいう) の前駆体溶液を以下のようにして調製した。

【0158】

まず、酢酸鉛、チタンイソプロポキシド、酢酸マグネシウム、ニオブエトキシドの各金属試薬の金属試薬をそれぞれ用意した。次に、形成する PMN-PT に対応したモル比となるようにこれらを混合するとともに、これらをブチルセロソルブに溶解 (分散) させた。さらに、この溶液の安定化剤としてジエタノールアミンを添加した。このようにして前駆体溶液を調整した。なお、ジエタノールアミンの代わりに酢酸を用いることもできる。

【0159】

そして、この前駆体溶液をスピンコート法によって下部電極 4 上に塗布した (前駆体溶液の塗布工程)。次に、溶媒の沸点 (ブチルセロソルブの場合、170 程度) より約 10 高い温度で熱処理 (乾燥) して溶媒を除去しゲル化させた (乾燥熱処理工程)。次に、さらに 350 程度に加熱することで膜中に残存している溶媒以外の有機成分を分解 / 除去し (脱脂熱処理工程)、アモルファス膜を形成した。次に、酸素雰囲気中でラピッドサーマルアニーリング (RTA) を用いて 600 程度に加熱し、結晶化を行うことで圧電体膜 5 を形成した。圧電体膜 5 の膜厚は、500 nm とした。

【0160】

次に、圧電体膜 5 上に、擬立方晶 (100) に優先配向している PBO からなる上部電極 6 を液相法で形成して、圧電素子 1 を得た。具体的には以下の通りである。

【0161】

まず、PBO の前駆体溶液を以下のようにして調製した。まず、酢酸鉛、および酢酸バリウムの各金属試薬の金属試薬をそれぞれ用意した。次に、形成する PBO に対応したモル比となるようにこれらを混合するとともに、これらをブチルセロソルブに溶解 (分散) させた。さらに、この溶液の安定化剤としてジエタノールアミンを添加した。このようにして前駆体溶液を調整した。なお、ジエタノールアミンの代わりに酢酸を用いることもできる。

【0162】

そして、この前駆体溶液をスピンコート法によって圧電体膜5上に塗布した(前駆体溶液の塗布工程)。次に、溶媒の沸点(ブチルセロソルブの場合、170程度)より約10高い温度で熱処理(乾燥)して溶媒を除去しゲル化させた(乾燥熱処理工程)。次に、さらに350程度に加熱することで膜中に残存している溶媒以外の有機成分を分解/除去し(脱脂熱処理工程)、アモルファス膜を形成した。次に、酸素雰囲気中でラピッドサーマルアニーリング(RTA)を用いて600程度に加熱し、結晶化を行うことで上部電極6を形成した。上部電極6の膜厚は、200nmとした。

【0163】

このようにして得られた圧電素子1における、圧電体膜5をX線回折法(XRD)で調べたところ、擬立方晶(100)に優先配向していることが確認され、さらにロンボヘドラル構造であることも確認された。また、圧電体膜5をラマン散乱法を用いて解析したところ、PXNB'に添加したYがすべてペロブスカイト型構造のBサイトに位置していることが確認できた。

【0164】

また、この圧電体膜5の圧電定数(d_{31})を測定したところ、450pC/Nであった。また、リーク電流は、100kV/cmのとき、 10^{-5} A/cm²未満であった。さらに、圧電素子1の300kV/cm印加時における繰り返し耐久性を調べたところ、 1×10^9 回を保証できる耐久性を備えていた。

【0165】

なお、以下の表1に示すリラクサー材料を用いて圧電体膜5を作製し、圧電定数(d_{31})を調べたところ、いずれも d_{31} は400pC/N以上という高い圧電特性を示した。ここで、表1の d_{31} は、絶対値を示している。圧電定数の測定方法は以下のようだった。

【0166】

まず実際のキャピティにおける電圧印加時の圧電体膜5の変位量Sを、レーザー変位計を用いて実測する。この値Sと、有限要素法による圧電変位のシミュレーションで得られた変位量S'とを比較することで、有限要素法で仮定した圧電体膜5の圧電定数(d_{31})を合わせ込むことができる。ちなみに有限要素法による圧電変位シミュレーションで必要になる物理量は、各膜のヤング率、膜応力、および圧電体膜5の圧電定数(d_{31})である。

【0167】

また、リラクサー材料の組成において、PbTiO₃に代えて、Pb(Zr_{1-y}Ti_y)O₃であってもよい。また、yの値は、0.7 < y < 1が好ましい。

【0168】

【表1】

リラクサー材料	圧電定数 d_{31} (pC/N)
0.58Pb(Sc _{1/2} Nb _{1/2})O ₃ -0.42PbTiO ₃	500
0.63Pb(In _{1/2} Nb _{1/2})O ₃ -0.37PbTiO ₃	400
0.50Pb(Ga _{1/2} Nb _{1/2})O ₃ -0.50PbTiO ₃	400
0.55Pb(Sc _{1/2} Ta _{1/2})O ₃ -0.45PbTiO ₃	400
0.65Pb(Mg _{1/3} Nb _{2/3})O ₃ -0.35PbTiO ₃	600
0.90Pb(Fe _{1/2} Nb _{1/2})O ₃ -0.10PbTiO ₃	400
0.91Pb(Zn _{1/3} Nb _{2/3})O ₃ -0.09PbTiO ₃	600
0.62Pb(Ni _{1/3} Nb _{2/3})O ₃ -0.38PbTiO ₃	500
0.58Pb(Co _{1/2} W _{1/2})O ₃ -0.42PbTiO ₃	400

【0169】

2-1. インクジェット式記録ヘッド

次に、図1に示した圧電素子を用いたインクジェット式記録ヘッドについて説明する。

図 1 1 は、図 1 に示した圧電素子を用いたインクジェット式記録ヘッドの概略構成を示す側断面図であり、図 1 2 は、このインクジェット式記録ヘッドの分解斜視図である。なお、図 1 2 は、通常使用される状態とは上下逆に示したものである。

【 0 1 7 0 】

インクジェット式記録ヘッド（以下、「ヘッド」ともいう）5 0 は、図 1 1 に示すように、ヘッド本体 5 7 と、ヘッド本体 5 7 の上に設けられた圧電素子 5 4 と、を備えて構成されたものである。なお、図 1 1 に示した圧電素子 5 4 は、図 1 に示した圧電素子 1 における下部電極 4 と、圧電体膜 5 と、上部電極 6 とからなるものであり（図 1 2 参照）、図 1 に示した圧電素子 1 におけるバッファ層 3 は、図 1 1 において弾性板 5 5 となっている。また、基体 2（図 1 参照）は後述するようにヘッド本体 5 7 の要部を構成するものとなっている。

10

【 0 1 7 1 】

すなわち、このヘッド 5 0 は、図 1 2 に示すようにノズル板 5 1 と、インク室基板 5 2 と、弾性板 5 5 と、弾性板 5 5 に接合された圧電素子（振動源）5 4 とを備え、これらが基体 5 6 に収納されて構成されている。なお、このヘッド 5 0 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。

【 0 1 7 2 】

ノズル板 5 1 は、たとえばステンレス製の圧延プレート等で構成されたもので、インク滴を吐出するための多数のノズル 5 1 1 を一列に形成したものである。これらノズル 5 1 1 間のピッチは、印刷精度に応じて適宜に設定されている。

20

【 0 1 7 3 】

このノズル板 5 1 には、インク室基板 5 2 が固着（固定）されている。インク室基板 5 2 は、上述の基体 2 によって形成されたものである。インク室基板 5 2 は、ノズル板 5 1、側壁（隔壁）5 2 2、および後述する弾性板 5 5 によって、複数のキャビティー（インクキャビティー）5 2 1 と、リザーバ 5 2 3 と、供給口 5 2 4 と、を区画形成したものである。リザーバ 5 2 3 は、インクカートリッジ 6 3 1 から供給されるインクを一時的に貯留する。供給口 5 2 4 によって、リザーバ 5 2 3 から各キャビティー 5 2 1 にインクが供給される。

【 0 1 7 4 】

キャビティー 5 2 1 は、それぞれ短冊状に形成されている。キャビティー 5 2 1 の平面形状は、図 1 3 に示すように、長軸と短軸とを有した矩形形状（平行四辺形状）である。キャビティー 5 2 1 の長軸、短軸の代表的なスケールは、それぞれ 2 mm、60 μm である。キャビティー 5 2 1 は、図 1 1、図 1 2 に示すように、各ノズル 5 1 1 に対応して配設されている。キャビティー 5 2 1 は、後述する弾性板 5 5 の振動によってそれぞれ容積可変になっている。キャビティー 5 2 1 は、この容積変化によってインクを吐出するよう構成されている。

30

【 0 1 7 5 】

インク室基板 5 2 を得るための母材、すなわち上述の基体 2 としては、（1 1 0）配向のシリコン単結晶基板（Si 基板）が用いられている。この（1 1 0）配向のシリコン単結晶基板は、異方性エッチングに適しているのでインク室基板 5 2 を、容易にかつ確実に形成することができる。なお、このようなシリコン単結晶基板は、図 1 に示したバッファ層 3 の形成面、すなわち弾性板 5 5 の形成面が（1 1 0）面となるようにして用いられている。

40

【 0 1 7 6 】

インク室基板 5 2 の平均厚さ、すなわちキャビティー 5 2 1 を含む厚さとしては、特に限定されないが、10 ~ 1000 μm 程度とするのが好ましく、100 ~ 500 μm 程度とするのがより好ましい。また、キャビティー 5 2 1 の容積としては、特に限定されないが、0.1 ~ 100 nL 程度とするのが好ましく、0.1 ~ 10 nL 程度とするのがより好ましい。

【 0 1 7 7 】

50

インク室基板 5 2 のノズル板 5 1 と反対の側には弾性板 5 5 が配設されている。さらに弾性板 5 5 のインク室基板 5 2 と反対の側には複数の圧電素子 5 4 が設けられている。弾性板 5 5 は、前述したように図 1 に示した圧電素子 1 におけるバッファ層 3、すなわち第 1 バッファ層 7、第 2 バッファ層 8、第 3 バッファ層 9 によって構成されたものである。ただし、このバッファ層 3 においては、前述したように特に第 1 バッファ層 7 が他のバッファ層 8、9 に比べその厚さが格段に厚くなっていることから、実質的にはこの第 1 バッファ層 7 が、弾性板 5 5 として機能する。

【 0 1 7 8 】

弾性板 5 5 の所定位置には、図 1 2 に示すように、弾性板 5 5 の厚さ方向に貫通して連通孔 5 3 1 が形成されている。連通孔 5 3 1 により、後述するインクカートリッジ 6 3 1 からリザーバ 5 2 3 へのインクの供給がなされる。

【 0 1 7 9 】

各圧電素子 5 4 は、前述したように下部電極 4 と上部電極 6 との間に圧電体膜 5 が介挿されて構成されている。各圧電素子 5 4 は、図 1 4 に示すように、各々が各キャビティー 5 2 1 のほぼ中央部に対応して配設された、平面視長形状のものである。これら各圧電素子 5 4 は、後述する圧電素子駆動回路に電氣的に接続され、圧電素子駆動回路の信号に基づいて作動（振動、変形）するよう構成されている。すなわち、各圧電素子 5 4 はそれぞれ振動源（ヘッドアクチュエーター）として機能する。弾性板 5 5 は、圧電素子 5 4 の振動（たわみ）によって振動し（たわみ）、キャビティー 5 2 1 の内部圧力を瞬間的に高めるよう機能する。

【 0 1 8 0 】

基体 5 6 は、たとえば各種樹脂材料、各種金属材料等で形成されている。図 1 2 に示すように、この基体 5 6 にインク室基板 5 2 が固定、支持されている。

【 0 1 8 1 】

2 - 2 . インクジェット式記録ヘッドの動作

次に、本実施の形態におけるインクジェット式記録ヘッド 5 0 の動作について説明する。本実施の形態におけるヘッド 5 0 は、圧電素子駆動回路を介して所定の吐出信号が入力されていない状態、すなわち、圧電素子 5 4 の下部電極 4 と上部電極 6 との間に電圧が印加されていない状態では、図 1 5 に示すように圧電体膜 5 に変形が生じない。このため、弾性板 5 5 にも変形が生じず、キャビティー 5 2 1 には容積変化が生じない。したがって、ノズル 5 1 1 からインク滴は吐出されない。

【 0 1 8 2 】

一方、圧電素子駆動回路を介して所定の吐出信号が入力された状態、すなわち、圧電素子 5 4 の下部電極 4 と上部電極 6 との間に一定電圧（たとえば 3 0 V 程度）が印加された状態では、図 1 6 に示すように圧電体膜 5 においてその短軸方向にたわみ変形が生じる。これにより、弾性板 5 5 がたとえば 5 0 0 n m 程度たわみ、キャビティー 5 2 1 の容積変化が生じる。このとき、キャビティー 5 2 1 内の圧力が瞬間的に高まり、ノズル 5 1 1 からインク滴が吐出される。

【 0 1 8 3 】

すなわち、電圧を印加すると、圧電体膜 5 の結晶格子は面に対して垂直な方向に引き伸ばされるが、同時に面に平行な方向には圧縮される。この状態では、圧電体膜 5 にとっては面内に引っ張り応力が働いていることになる。したがって、この応力によって弾性板 5 5 をそらせ、たわませることになる。キャビティー 5 2 1 の短軸方向での圧電体膜 5 の変位量（絶対値）が大きければ大きいほど、弾性板 5 5 のたわみ量が大きくなり、より効率的にインク滴を吐出することが可能になる。ここで、効率的とは、より少ない電圧で同じ量のインク滴を飛ばすことができることを意味する。すなわち、駆動回路を簡略化することができ、同時に消費電力を低減することができるため、ノズル 5 1 1 のピッチをより高密度に形成することができる。または、キャビティー 5 2 1 の長軸の長さを短くすることができるため、ヘッド全体を小型化することができる。

【 0 1 8 4 】

10

20

30

40

50

1回のインクの吐出が終了すると、圧電素子駆動回路は、下部電極4と上部電極6との間への電圧の印加を停止する。これにより、圧電素子54は図15に示した元の形状に戻り、キャビティー521の容積が増大する。なお、このとき、インクには、後述するインクカートリッジ631からノズル511へ向かう圧力（正方向への圧力）が作用している。このため、空気がノズル511からキャビティー521へと入り込むことが防止され、インクの吐出量に見合った量のインクがインクカートリッジ631からリザーバ523を経てキャビティー521へ供給される。

【0185】

このように、インク滴の吐出を行わせたい位置の圧電素子54に対して、圧電素子駆動回路を介して吐出信号を順次入力することにより、任意の（所望の）文字や図形等を印刷

10

【0186】

2-3. インクジェット式記録ヘッドの製造方法

次に、本実施の形態におけるインクジェット式記録ヘッド50の製造方法の一例について説明する。

【0187】

まず、インク室基板52となる母材、すなわち（110）配向のシリコン単結晶基板（Si基板）からなる基体2を用意する。次に、図6～図8に示すように、基体2上にバッファ層3（第1バッファ層7、第2バッファ層8、第3バッファ層9）を形成する。次にバッファ層3上に下部電極4、圧電体膜5、上部電極6を順次形成する。なお、ここで形成したバッファ層3が、弾性板55となるのは前述した通りである。

20

【0188】

次いで、上部電極6、圧電体膜5、下部電極4を、図14に示すように、個々のキャビティー521に対応させてパターンニングし、図11に示すように、キャビティー521の数に対応した数の圧電素子54を形成する。

【0189】

次いで、インク室基板52となる母材（基体2）を加工（パターンニング）し、圧電素子54に対応する位置にそれぞれキャビティー521となる凹部を、また、所定位置にリザーバ523および供給口524となる凹部を形成する。具体的には、キャビティー521、リザーバ523および供給口524を形成すべき位置に合せてマスク層を形成する。次に、たとえば平行平板型反応性イオンエッチング、誘導結合型方式、エレクトロンサイクロトロン共鳴方式、ヘリコン波励起方式、マグネトロン方式、プラズマエッチング方式、イオンビームエッチング方式などのドライエッチング、あるいは5重量%～40重量%程度の水酸化カリウム、テトラメチルアンモニウムハイドロオキサイドなどの高濃度アルカリ水溶液によるウエットエッチングを行う。

30

【0190】

本実施の形態では、母材（基体2）として（110）配向のシリコン基板を用いているので、高濃度アルカリ水溶液を用いたウエットエッチング（異方性エッチング）が好適に採用される。高濃度アルカリ水溶液によるウエットエッチングの際には、前述したようにバッファ層3における第1バッファ層7をエッチングストッパとして機能させることができることから、インク室基板52の形成をより容易に行うことができる。

40

【0191】

このようにして母材（基体2）を、その厚さ方向に弾性板55（バッファ層3）が露出するまでエッチング除去することにより、インク室基板52を形成する。このときエッチングされずに残った部分が側壁522となる。露出したバッファ層3（弾性板55）は、弾性板55としての機能を発揮し得る状態となる。

【0192】

次いで、複数のノズル511が形成されたノズル板51を、各ノズル511が各キャビティー521となる凹部に対応するように位置合わせし、その状態で接合する。これにより、複数のキャビティー521、リザーバ523および複数の供給口524が形成される

50

。ノズル板 5 1 の接合については、たとえば接着剤による接着法や、融着法などを用いることができる。次に、インク室基板 5 2 を基体 5 6 に取り付ける。

【 0 1 9 3 】

以上の工程によって、本実施の形態にかかるインクジェット式記録ヘッド 5 0 を製造することができる。

【 0 1 9 4 】

2 - 4 . 作用・効果

本実施の形態にかかるインクジェット式記録ヘッド 5 0 によれば、前述したように、圧電素子 5 4 (圧電素子 1) が良好な圧電特性を有することで効率的なインクの吐出が可能となっていることから、ノズル 5 1 1 の高密度化などが可能となる。したがって、高密度印刷や高速印刷が可能となる。さらには、ヘッド全体の小型化を図ることができる。

10

【 0 1 9 5 】

3 - 1 . インクジェットプリンター

次に、上述のインクジェット式記録ヘッド 5 0 を備えたインクジェットプリンターについて説明する。図 1 7 は、本発明のインクジェットプリンター 6 0 を、紙等に印刷する一般的なプリンターに適用した場合の一実施形態を示す概略構成図である。なお、以下の説明では、図 1 7 中の上側を「上部」、下側を「下部」と言う。

【 0 1 9 6 】

インクジェットプリンター 6 0 は、装置本体 6 2 を備えており、上部後方に記録用紙 P を設置するトレイ 6 2 1 を有し、下部前方に記録用紙 P を排出する排出口 6 2 2 を有し、上部面に操作パネル 6 9 を有する。

20

【 0 1 9 7 】

操作パネル 6 9 は、たとえば液晶ディスプレイ、有機 E L ディスプレイ、LED ランプなどで構成されたもので、エラーメッセージなどを表示する表示部 (図示せず) と、各種スイッチなどで構成される操作部 (図示せず) とを備えている。

【 0 1 9 8 】

装置本体 6 2 の内部には、主に、往復動するヘッドユニット 5 3 を備えた印刷装置 5 8 と、記録用紙 P を 1 枚ずつ印刷装置 5 8 に送り込む給紙装置 6 5 と、印刷装置 5 8 および給紙装置 6 5 を制御する制御部 5 9 とが設けられている。

【 0 1 9 9 】

制御部 5 9 の制御により、給紙装置 6 5 は、記録用紙 P を一枚ずつ間欠送りするようになっている。間欠送りされる記録用紙 P は、ヘッドユニット 5 3 の下部近傍を通過する。このとき、ヘッドユニット 5 3 が記録用紙 P の送り方向とほぼ直交する方向に往復移動し、記録用紙 P への印刷を行うようになっている。すなわち、ヘッドユニット 5 3 の往復動と、記録用紙 P の間欠送りとが、印刷における主走査および副走査となり、インクジェット方式の印刷が行なわれるようになっている。

30

【 0 2 0 0 】

印刷装置 5 8 は、ヘッドユニット 5 3 と、ヘッドユニット 5 3 の駆動源となるキャリッジモータ 6 4 1 と、キャリッジモータ 6 4 1 の回転を受けて、ヘッドユニット 5 3 を往復動させる往復動機構 6 4 2 とを備えている。

40

【 0 2 0 1 】

ヘッドユニット 5 3 は、その下部に、上述の多数のノズル 5 1 1 を備えるインクジェット式記録ヘッド 5 0 と、このインクジェット式記録ヘッド 5 0 にインクを供給するインクカートリッジ 6 3 1 と、インクジェット式記録ヘッド 5 0 およびインクカートリッジ 6 3 1 を搭載したキャリッジ 6 3 2 とを有する。

【 0 2 0 2 】

インクカートリッジ 6 3 1 として、イエロー、シアン、マゼンタ、ブラック (黒) の 4 色のインクを充填したものをを用いることにより、フルカラー印刷が可能となる。この場合、ヘッドユニット 5 3 には、各色にそれぞれ対応したインクジェット式記録ヘッド 5 0 が設けられることになる。

50

【0203】

往復動機構642は、その両端がフレーム（図示せず）に支持されたキャリッジガイド軸643と、キャリッジガイド軸643と平行に延在するタイミングベルト644とを有する。

【0204】

キャリッジ632は、キャリッジガイド軸643に往復動自在に支持されるとともに、タイミングベルト644の一部に固定されている。

【0205】

キャリッジモータ641の作動により、プーリを介してタイミングベルト644を正逆走行させると、キャリッジガイド軸643に案内されて、ヘッドユニット53が往復動する。そして、この往復動の際に、インクジェット式記録ヘッド50から適宜インクが吐出され、記録用紙Pへの印刷が行われる。

10

【0206】

給紙装置65は、その駆動源となる給紙モータ651と、給紙モータ651の作動により回転する給紙ローラ652とを有する。給紙ローラ652は、記録用紙Pの送り経路（記録用紙P）を挟んで上下に対向する従動ローラ652aと、駆動ローラ652bとで構成されており、駆動ローラ652bは、給紙モータ651に連結されている。このような構成によって給紙ローラ652は、トレイ621に設置した多数枚の記録用紙Pを、印刷装置58に向かって1枚ずつ送り込むことができる。なお、トレイ621に代えて、記録用紙Pを収容する給紙カセットを着脱自在に装着し得るような構成とすることもできる。

20

【0207】

制御部59は、たとえばパーソナルコンピュータやデジタルカメラなどのホストコンピュータから入力された印刷データに基づいて、印刷装置58や給紙装置65などを制御することにより印刷を行うものである。

【0208】

制御部59には、いずれも図示しないものの、主に各部を制御する制御プログラムなどを記憶するメモリ、圧電素子（振動源）54を駆動してインクの吐出タイミングを制御する圧電素子駆動回路、印刷装置58（キャリッジモータ641）を駆動する駆動回路、給紙装置65（給紙モータ651）を駆動する駆動回路、およびホストコンピュータからの印刷データを入手する通信回路と、これらに電氣的に接続され、各部での各種制御を行うCPUとが備えられている。

30

【0209】

CPUには、たとえば、インクカートリッジ631のインク残量、ヘッドユニット53の位置、温度、湿度などの印刷環境などを検出可能な各種センサが、それぞれ電氣的に接続されている。制御部59は、通信回路を介して印刷データを入手してメモリに格納する。CPUは、この印刷データを処理し、この処理データおよび各種センサからの入力データに基づき、各駆動回路に駆動信号を出力する。この駆動信号により圧電素子54、印刷装置58および給紙装置65は、それぞれ作動する。これにより、記録用紙Pに所望の印刷がなされる。

【0210】

3-2. 作用・効果

本実施の形態にかかるインクジェットプリンター60によれば、前述したように、高性能でノズルの高密度化が可能なインクジェット式記録ヘッド50を備えているので、高密度印刷や高速印刷が可能となる。

40

【0211】

なお、本発明のインクジェットプリンター60は、工業的に用いられる液滴吐出装置として用いることもできる。その場合に、吐出するインク（液状材料）としては、各種の機能性材料を溶媒や分散媒によって適当な粘度に調整して使用することができる。

【0212】

4-1. 圧電ポンプ

50

次に、本実施の形態に係る圧電ポンプについて図面を参照しながら説明する。図18および図19は、図1に示す圧電素子1を用いた圧電ポンプ20の概略断面図である。図18および図19に示す圧電素子22は、図1に示した圧電素子1における下部電極4と、圧電体膜5と、上部電極6とからなるものであり、図1に示した圧電素子1におけるバッファ層3は、図18および図19において振動板24となっている。また、基体2(図1参照)は、圧電ポンプ20の要部を構成する基体21となっている。圧電ポンプ20は、基体21と、圧電素子22と、ポンプ室23と、振動板24と、吸入側逆止弁26aと、吐出側逆止弁26bと、吸入口28aと、吐出口28bとを含む。

【0213】

4-2. 圧電ポンプの動作

次に、上述の圧電ポンプの動作について説明する。まず、圧電素子22に電圧が供給されると、圧電体膜5(図1参照)の膜厚方向に電圧が印加される。そして、図18に示すように、圧電素子22は、ポンプ室23が広がる方向(図18に示す矢印aの方向)にたわむ。また、圧電素子22と共に振動板24もポンプ室23が広がる方向にたわむ。このため、ポンプ室23内の圧力が変化し、逆止弁26a、26bの働きによって流体が吸入口28aからポンプ室23内に流れる(図18に示す矢印bの方向)。

【0214】

次に、圧電素子22への電圧の供給を停止すると、圧電体膜5(図1参照)の膜厚方向への電圧の印加が停止される。そして、図19に示すように、圧電素子22は、ポンプ室23が狭まる方向(図19に示す矢印aの方向)にたわむ。また、圧電素子22と共に振動板24もポンプ室23が狭まる方向にたわむ。このため、ポンプ室23内の圧力が変化し、逆止弁26a、26bの働きによって流体が吐出口28bから外部に吐出される(図19に示す矢印bの方向)。

【0215】

圧電ポンプ20の駆動電圧は、たとえば100V(AC)程度とすることができる。また、圧電ポンプ20の駆動周波数は、たとえば、数十Hz~数十kHz程度とすることができる。

【0216】

4-3. 作用・効果

本実施の形態に係る圧電ポンプ20によれば、前述したように、圧電素子22(圧電素子1)が良好な圧電特性を有することによって、流体の吸入・吐出を効率的に行うことができる。したがって、本実施の形態に係る圧電ポンプ20によれば、大きな吐出圧および吐出量を有することができる。また、圧電ポンプ20の高速動作が可能となる。さらには、圧電ポンプ20の全体の小型化を図ることができる。

【0217】

5-1. 表面弾性波素子

次に、本実施の形態に係る表面弾性波素子について、図面を参照しながら説明する。表面弾性波素子は、図20に示すように、単結晶シリコン基板11と、バッファ層12と、導電膜13と、圧電体膜14と、保護膜としての酸化物または窒化物からなる保護層15と、電極16とから構成されている。電極16は、インターディジタル型電極(Inte 40
r-Digital Transducer:以下、「IDT電極」という)であり、上部から観察すると、たとえば後述する図21および図22に示すインターディジタル型電極141、142、151、152、153のような形状を有する。

【0218】

5-2. 表面弾性波素子の製造方法

次に、本発明を適用した表面弾性波素子の製造方法の一例について説明する。

【0219】

まず、単結晶シリコン基板11として自然酸化膜が表面に形成されたSi(111)基板を用意する。ここで用意する単結晶シリコン基板11としては、予め薄膜トランジスタ(TFT)等の半導体素子を作製しておいたものとしてもよく、その場合には、得られる 50

表面弾性波素子はこの半導体素子との集積化がなされたものとなる。

【0220】

次に、この単結晶シリコン基板 11 上に、図 1 に示した圧電素子 1 におけるバッファ層 3 を形成し、これをバッファ層 12 とする。なお、このバッファ層 12 (バッファ層 3) の形成は、前述したように第 1 バッファ層 7、第 2 バッファ層 8、第 3 バッファ層 9 をこの順に積層することで行う。このようにして形成するバッファ層 12 の厚さ、すなわち第 1 バッファ層 7、第 2 バッファ層 8、第 3 バッファ層 9 の合計の厚さとしては、たとえば 1 μm 程度とされる。ただし、これに限るものでないのもちろんである。

【0221】

次いで、前記バッファ層 12 上に、図 1 に示した下部電極 4 を形成し、これを導電膜 13 とする。次いで、この導電膜 13 上に、図 1 に示した圧電体膜 5、すなわち上述のロンボヘドラル構造で擬立方晶 (100) 配向の $PXNB'Y$ からなる圧電体膜 5 を厚さ 1 μm 程度に形成し、これを圧電体膜 14 とする。

【0222】

次いで、この圧電体膜 14 上に、保護層 15 として酸化シリコン膜をたとえばレーザーアブレーション法によって形成する。この保護層 15 は、圧電体膜 14 を雰囲気から保護して、たとえば雰囲気中の水分や不純物による影響を防ぐと同時に、圧電体膜 14 の温度特性をコントロールする役割も果たす。なお、このような目的を満たす限り、保護膜の材質としては酸化シリコンに限定されるものではない。

【0223】

次に、保護層 15 上に、たとえばアルミニウム薄膜を成膜し、続いてこれをパターニングすることにより、IDT と呼ばれる所望の形状の電極 16 を形成し、図 20 に示した表面弾性波素子を得る。

【0224】

5-3. 作用・効果

本実施の形態に係る表面弾性波素子によれば、擬立方晶 (100) 配向した結晶膜からなるバッファ層 12 上に、やはり擬立方晶 (100) 配向した導電膜 13 (図 1 の下部電極 4) を介して圧電体膜 14 を形成するので、圧電体膜 14 がロンボヘドラル構造で擬立方晶 (100) 配向にエピタキシャル成長するようになる。したがって、この圧電体膜 14 が良好な膜質となり、これにより表面弾性波素子自体も高性能なものとなる。

【0225】

また、バッファ層 12 上に、擬立方晶 (100) 配向した導電膜 13 (図 1 の下部電極 4) を介在させて圧電体膜 14 を形成しているので、圧電体膜 14 がバッファ層 12 上に直接配向しにくい場合にも、圧電体膜 14 を良好に配向させつつ成膜することができる。したがって、圧電体膜 14 として電気機械結合係数を高くすることができる材質を選択することができ、これにより表面弾性波素子自体が高性能なものとなる。

【0226】

また、特にバッファ層 12 上に上述のロンボヘドラル構造で擬立方晶 (100) 配向の $PXNB'Y$ をエピタキシャル成長させる場合には、導電膜 13 の形成を省略してバッファ層 12 上に直接圧電体膜 14 を形成することもできる。その場合にも、圧電体膜 14 が良好な膜質となることにより、表面弾性波素子自体が高性能なものとなる。

【0227】

6-1. 周波数フィルタ

次に、本実施の形態に係る周波数フィルタについて、図面を参照しながら説明する。図 21 に、本発明の周波数フィルタの一実施形態を示す。

【0228】

図 21 に示すように、周波数フィルタは基板 140 を有する。この基板 140 としては、たとえば図 20 に示した表面弾性波素子を形成した基板が用いられる。すなわち、単結晶シリコン基板 11 上にバッファ層 12、導電膜 13、圧電体膜 14、保護層 15 をこの順に積層して形成された基板である。

10

20

30

40

50

【0229】

基板140の上には、IDT電極141および142が形成されている。IDT電極141、142は、たとえばAlまたはAl合金によって形成されており、その厚みはIDT電極141、142のピッチの100分の1程度に設定されている。また、IDT電極141、142を挟むように、基板140の上には吸音部143、144が形成されている。吸音部143、144は、基板140の表面を伝播する表面弾性波を吸収するものである。基板140上に形成されたIDT電極141には高周波信号源145が接続されており、IDT電極142には信号線が接続されている。

【0230】

6-2. 周波数フィルタの動作

次に、上述の周波数フィルタの動作について説明する。前記構成において、高周波信号源145から高周波信号が出力されると、この高周波信号はIDT電極141に印加され、これによって基板140の上面に表面弾性波が発生する。この表面弾性波は、約5000m/s程度の速度で基板140上面を伝播する。IDT電極141から吸音部143側へ伝播した表面弾性波は、吸音部143で吸収されるが、IDT電極142側へ伝播した表面弾性波のうち、IDT電極142のピッチ等に応じて定まる特定の周波数または特定の帯域の周波数の表面弾性波は電気信号に変換されて、信号線を介して端子146a、146bに取り出される。なお、前記特定の周波数または特定の帯域の周波数以外の周波数成分は、大部分がIDT電極142を通過して吸音部144に吸収される。このようにして、本実施形態の周波数フィルタが備えるIDT電極141に供給した電気信号のうち、特定の周波数または特定の帯域の周波数の表面弾性波のみを得る（フィルタリングする）ことができる。

【0231】

7-1. 発振器

次に、本実施の形態に係る発振器について、図面を参照しながら説明する。図22に、本発明の発振器の一実施形態を示す。

【0232】

図22に示すように、発振器は基板150を有する。この基板150としては、先の周波数フィルタと同様に、たとえば図20に示した表面弾性波素子を形成した基板が用いられている。すなわち、単結晶シリコン基板11上にバッファ層12、導電膜13、圧電体膜14、保護層15をこの順に積層して形成された基板である。

【0233】

基板150の上には、IDT電極151が形成されており、さらに、IDT電極151を挟むように、IDT電極152、153が形成されている。IDT電極151~153は、たとえばAlまたはAl合金によって形成されたもので、それぞれの厚みはIDT電極151~153各々のピッチの100分の1程度に設定されている。IDT電極151を構成する一方の櫛歯状電極151aには、高周波信号源154が接続されており、他方の櫛歯状電極151bには、信号線が接続されている。なお、IDT電極151は、電気信号印加用電極に相当し、IDT電極152、153は、IDT電極151によって発生される表面弾性波の特定の周波数成分または特定の帯域の周波数成分を共振させる共振用電極に相当する。

【0234】

7-2. 発振器の動作

次に、上述の発振器の動作について説明する。前記構成において、高周波信号源154から高周波信号が出力されると、この高周波信号は、IDT電極151の一方の櫛歯状電極151aに印加され、これによって基板150の上面にIDT電極152側に伝播する表面弾性波およびIDT電極153側に伝播する表面弾性波が発生する。なお、この表面弾性波の速度は5000m/s程度である。これらの表面弾性波のうち特定の周波数成分の表面弾性波は、IDT電極152およびIDT電極153で反射され、IDT電極152とIDT電極153との間には定在波が発生する。この特定の周波数成分の表面弾性

10

20

30

40

50

波が I D T 電極 1 5 2、1 5 3 で反射を繰り返すことにより、特定の周波数成分または特定の帯域の周波数成分が共振して、振幅が増大する。この特定の周波数成分または特定の帯域の周波数成分の表面弾性波の一部は、I D T 電極 1 5 1 の他方の櫛歯状電極 1 5 1 b から取り出され、I D T 電極 1 5 2 と I D T 電極 1 5 3 との共振周波数に応じた周波数（または、ある程度の帯域を有する周波数）の電気信号が端子 1 5 5 a と端子 1 5 5 b に取り出すことができる。

【0235】

7 - 3 . 電圧制御 S A W 発振器

図 2 3 および図 2 4 は、本発明の発振器（表面弾性波素子）を V C S O（V o l t a g e C o n t r o l l e d S A W O s c i l l a t o r : 電圧制御 S A W 発振器）に応用した場合の一例を示す図であり、図 2 3 は側面透視図であり、図 2 4 は上面透視図である。

10

【0236】

V C S O は、金属製（A l またはステンレススチール製）の筐体 6 0 内部に実装されて構成されている。基板 6 1 上には、I C（I n t e g r a t e d C i r c u i t）6 2 および発振器 6 3 が実装されている。この場合、I C 6 2 は、外部の回路（不図示）から入力される電圧値に応じて、発振器 6 3 に印加する周波数を制御する発振回路である。

【0237】

発振器 6 3 は、基板 6 4 上に、I D T 電極 6 5 a ~ 6 5 c が形成されており、その構成は、図 2 2 に示した発振器とほぼ同様である。なお、基板 6 4 には、先の実施形態と同様に、たとえば図 2 0 に示した表面弾性波素子を形成した基板が用いられている。

20

【0238】

基板 6 1 上には、I C 6 2 と発振器 6 3 とを電気的に接続するための配線 6 6 がパターンニングされている。I C 6 2 および配線 6 6 が、たとえば金線等のワイヤー線 6 7 によって接続され、発振器 6 3 および配線 6 6 が金線等のワイヤー線 6 8 によって接続されることにより、I C 6 2 と発振器 6 3 とが配線 6 6 を介して電気的に接続されている。

【0239】

また、前記の V C S O は、I C 6 2 と発振器（表面弾性波素子）6 3 を同一基板上に集積させて形成することも可能である。

【0240】

図 2 5 に、I C 6 2 と発振器 6 3 とを集積させた V C S O の概略図を示す。なお、図 2 5 中において発振器 6 3 は、図 2 0 に示した表面弾性波素子において導電膜 1 3 の形成を省略した構造を有している。

30

【0241】

図 2 5 に示すように、V C S O は、I C 6 2 と発振器 6 3 とにおいて、単結晶シリコン基板 6 1（1 1）を共有させて形成されている。I C 6 2 と、発振器 6 3 に備えられた電極 6 5 a（1 6）とは、図示しないものの電気的に接続されている。本実施の形態では、I C 6 2 を構成するトランジスタとして、特に、T F T（薄膜トランジスタ）を採用している。

【0242】

I C 6 2 を構成するトランジスタとして T F T を採用することにより、本実施の形態では、まず、単結晶シリコン基板 6 1 上に発振器（表面弾性波素子）6 3 を形成し、その後、単結晶シリコン基板 6 1 とは別の第 2 の基板上で形成した T F T を、単結晶シリコン基板 6 1 上に転写させて、T F T と発振器 6 3 を集積させることができる。したがって、基板上に T F T を直接形成させることが困難か、あるいは形成させることが適さない材料であっても、転写により好適に形成させることが可能となる。転写方法については、種々の方法が採用可能であるが、特に、特開平 1 1 - 2 6 7 3 3 号公報に記載の転写方法が好適に採用できる。

40

【0243】

図 2 3 ~ 図 2 5 に示す V C S O は、たとえば、図 2 6 に示す P L L 回路の V C O（V o

50

l t a g e C o n t r o l l e d O s c i l l a t o r) とし て 用 い ら れ る 。 こ こ で 、 P L L 回 路 に つ い て 簡 単 に 説 明 す る 。

【 0 2 4 4 】

図 2 6 は P L L 回 路 の 基 本 構 成 を 示 す ブ ロ ッ ク 図 で あ り 、 こ の 図 2 6 に 示 す よ う に P L L 回 路 は 、 位 相 比 較 器 7 1 、 低 域 フ ィ ル タ 7 2 、 増 幅 器 7 3 、 お よ び V C O 7 4 か ら 構 成 さ れ て い る 。 位 相 比 較 器 7 1 は 、 入 力 端 子 7 0 か ら 入 力 さ れ る 信 号 の 位 相 (ま た は 周 波 数) と 、 V C O 7 4 か ら 出 力 さ れ る 信 号 の 位 相 (ま た は 周 波 数) と を 比 較 し 、 そ の 差 に 応 じ て 値 が 設 定 さ れ る 誤 差 電 圧 信 号 を 出 力 す る も の で あ る 。 低 域 フ ィ ル タ 7 2 は 、 位 相 比 較 器 7 1 か ら 出 力 さ れ る 誤 差 電 圧 信 号 の 位 置 の 低 周 波 成 分 の み を 通 過 さ せ る も の で あ り 、 増 幅 器 7 3 は 、 低 域 フ ィ ル タ 7 2 か ら 出 力 さ れ る 信 号 を 増 幅 す る も の で あ る 。 V C O 7 4 は 、 入 力 さ れ た 電 圧 値 に 応 じ て 発 振 す る 周 波 数 が 、 あ る 範 囲 で 連 続 的 に 変 化 す る 発 振 回 路 で あ る 。

10

【 0 2 4 5 】

こ の よ う な 構 成 の も と に P L L 回 路 は 、 入 力 端 子 7 0 か ら 入 力 さ れ る 位 相 (ま た は 周 波 数) と 、 V C O 7 4 か ら 出 力 さ れ る 信 号 の 位 相 (ま た は 周 波 数) と の 差 が 減 少 す る よ う に 動 作 し 、 V C O 7 4 か ら 出 力 さ れ る 信 号 の 周 波 数 を 入 力 端 子 7 0 か ら 入 力 さ れ る 信 号 の 周 波 数 に 同 期 さ せ る 。 V C O 7 4 か ら 出 力 さ れ る 信 号 の 周 波 数 が 入 力 端 子 7 0 か ら 入 力 さ れ る 信 号 の 周 波 数 に 同 期 す る と 、 そ の 後 は 一 定 の 位 相 差 を 除 い て 入 力 端 子 7 0 か ら 入 力 さ れ る 信 号 に 一 致 し 、 ま た 、 入 力 信 号 の 変 化 に 追 従 す る よ う な 信 号 を 出 力 す る よ う に な る 。

【 0 2 4 6 】

8 . 電 子 回 路 お よ び 電 子 機 器

次 に 、 本 実 施 の 形 態 に 係 る 電 子 回 路 お よ び 電 子 機 器 に つ い て 、 図 面 を 参 照 し な が ら 説 明 す る 。 図 2 7 に 、 本 発 明 の 電 子 回 路 の 一 実 施 形 態 と し て 、 そ の 電 気 的 構 成 を ブ ロ ッ ク 図 で 示 す 。 な お 、 図 2 7 に 示 す 電 子 回 路 は 、 た と え ば 、 図 2 8 に 示 す 携 帯 電 話 機 1 0 0 の 内 部 に 設 け ら れ る 回 路 で あ る 。 こ こ で 、 図 2 8 に 示 し た 携 帯 電 話 機 1 0 0 は 、 本 発 明 の 電 子 機 器 の 一 例 と し て の も の で 、 ア ン テ ナ 1 0 1 、 受 話 器 1 0 2 、 送 話 器 1 0 3 、 液 晶 表 示 部 1 0 4 、 及 び 操 作 釦 部 1 0 5 な ど を 備 え て 構 成 さ れ て い る 。

20

【 0 2 4 7 】

図 2 7 に 示 す 電 子 回 路 は 、 携 帯 電 話 機 1 0 0 内 に 設 け ら れ る 電 子 回 路 の 基 本 構 成 を 有 し た も の で 、 送 話 器 8 0 、 送 信 信 号 処 理 回 路 8 1 、 送 信 ミ キ サ 8 2 、 送 信 フ ィ ル タ 8 3 、 送 信 電 力 増 幅 器 8 4 、 送 受 分 波 器 8 5 、 ア ン テ ナ 8 6 a , 8 6 b 、 低 雑 音 増 幅 器 8 7 、 受 信 フ ィ ル タ 8 8 、 受 信 ミ キ サ 8 9 、 受 信 信 号 処 理 回 路 9 0 、 受 話 器 9 1 、 周 波 数 シ ン セ サ イ ザ 9 2 、 制 御 回 路 9 3 、 お よ び 入 力 / 表 示 回 路 9 4 を 備 え て 構 成 さ れ た も の で あ る 。 な お 、 現 在 実 用 化 さ れ て い る 携 帯 電 話 機 は 、 周 波 数 変 換 処 理 を 複 数 回 行 っ て い る た め 、 そ の 回 路 構 成 は よ り 複 雑 と な っ て い る 。

30

【 0 2 4 8 】

送 話 器 8 0 は 、 た と え ば 音 波 信 号 を 電 気 信 号 に 変 換 す る マ イ ク ロ フ ォ ン 等 で 実 現 さ れ る も の で 、 図 2 8 に 示 す 携 帯 電 話 機 1 0 0 中 の 送 話 器 1 0 3 に 相 当 す る も の で あ る 。 送 信 信 号 処 理 回 路 8 1 は 、 送 話 器 8 0 か ら 出 力 さ れ る 電 気 信 号 に 対 し て 、 た と え ば D / A 変 換 処 理 、 変 調 処 理 等 の 処 理 を 施 す 回 路 で あ る 。 送 信 ミ キ サ 8 2 は 、 周 波 数 シ ン セ サ イ ザ 9 2 か ら 出 力 さ れ る 信 号 を 用 い て 送 信 信 号 処 理 回 路 8 1 か ら 出 力 さ れ る 信 号 を ミ キ シ ン グ す る も の で あ る 。 な お 、 送 信 ミ キ サ 8 2 に 供 給 さ れ る 信 号 の 周 波 数 は 、 た と え ば 3 8 0 M H z 程 度 で あ る 。 送 信 フ ィ ル タ 8 3 は 、 中 間 周 波 数 (以 下 、 「 I F 」 と 表 記 す る) の 必 要 と な る 周 波 数 の 信 号 の み を 通 過 さ せ 、 不 要 と な る 周 波 数 の 信 号 を カ ッ ト す る も の で あ る 。 な お 、 送 信 フ ィ ル タ 8 3 か ら 出 力 さ れ る 信 号 は 、 図 示 し な い 変 換 回 路 に よ っ て R F 信 号 に 変 換 さ れ る よ う に な っ て い る 。 こ の R F 信 号 の 周 波 数 は 、 例 え ば 1 . 9 G H z 程 度 で あ る 。 送 信 電 力 増 幅 器 8 4 は 、 送 信 フ ィ ル タ 8 3 か ら 出 力 さ れ る R F 信 号 の 電 力 を 増 幅 し 、 送 受 分 波 器 8 5 へ 出 力 す る も の で あ る 。

40

【 0 2 4 9 】

送 受 分 波 器 8 5 は 、 送 信 電 力 増 幅 器 8 4 か ら 出 力 さ れ る R F 信 号 を ア ン テ ナ 8 6 a , 8

50

6 b へ出力し、アンテナ 8 6 a , 8 6 b から電波の形で送信するものである。また、送受分波器 8 5 は、アンテナ 8 6 a , 8 6 b で受信した受信信号を分波して、低雑音増幅器 8 7 へ出力するものである。なお、送受分波器 8 5 から出力される受信信号の周波数は、たとえば 2 . 1 G H z 程度である。低雑音増幅器 8 7 は、送受分波器 8 5 からの受信信号を増幅するものである。なお、低雑音増幅器 8 7 から出力される信号は、図示しない変換回路によって I F に変換されるようになっている。

【 0 2 5 0 】

受信フィルタ 8 8 は、図示しない変換回路によって変換された I F の必要となる周波数の信号のみを通過させ、不要となる周波数の信号をカットするものである。受信ミキサ 8 9 は、周波数シンセサイザ 9 2 から出力される信号を用いて、送信信号処理回路 8 1 から出力される信号をミキシングするものである。なお、受信ミキサ 8 9 に供給される中間周波数は、たとえば 1 9 0 M H z 程度である。受信信号処理回路 9 0 は、受信ミキサ 8 9 から出力される信号に対して、たとえば A / D 変換処理、復調処理等の処理を施す回路である。受話器 9 1 は、たとえば電気信号を音波に変換する小型スピーカ等で実現されるもので、図 2 8 に示した携帯電話機 1 0 0 中の受話器 1 0 2 に相当するものである。

10

【 0 2 5 1 】

周波数シンセサイザ 9 2 は、送信ミキサ 8 2 へ供給する信号（たとえば、周波数 3 8 0 M H z 程度）および受信ミキサ 8 9 へ供給する信号（たとえば、周波数 1 9 0 M H z ）を生成する回路である。なお、周波数シンセサイザ 9 2 は、たとえば 7 6 0 M H z の発振周波数で発信する P L L 回路を備え、この P L L 回路から出力される信号を分周して周波数が 3 8 0 M H z の信号を生成し、さらに分周して周波数が 1 9 0 M H z の信号を生成している。制御回路 9 3 は、送信信号処理回路 8 1 、受信信号処理回路 9 0 、周波数シンセサイザ 9 2 、および入力 / 表示回路 9 4 を制御することにより、携帯電話機の全体動作を制御するものである。入力 / 表示回路 9 4 は、図 2 8 に示す携帯電話機 1 0 0 の使用者に対して機器の状態を表示したり、操作者の指示を入力するためのものであり、たとえばこの携帯電話機 1 0 0 の液晶表示部 1 0 4 および操作部 1 0 5 に相当するものである。

20

【 0 2 5 2 】

以上の構成の電子回路において、送信フィルタ 8 3 および受信フィルタ 8 8 として、図 2 1 に示した周波数フィルタが用いられている。フィルタリングする周波数（通過させる周波数）は、送信ミキサ 8 2 から出力される信号のうちの必要となる周波数、および、受信ミキサ 8 9 で必要となる周波数に応じて送信フィルタ 8 3 および受信フィルタ 8 8 で個別に設定されている。また、周波数シンセサイザ 9 2 内に設けられる P L L 回路は、図 2 6 に示す P L L 回路の V C O 7 4 として、図 2 2 に示す発振器、または図 2 3 ~ 図 2 5 に示す発振器（V C S O）を設けている。

30

【 0 2 5 3 】

9 - 1 . 第 1 の薄膜圧電共振器

次に、本実施の形態に係る薄膜圧電共振器について、図面を参照しながら説明する。図 2 9 に、本発明の薄膜圧電共振器の一実施形態を示す。図 2 9 に示す薄膜圧電共振器 3 0 は、特に通信用素子や通信用フィルタとして用いられるダイアフラム型の薄膜圧電共振器 3 0 であり、この薄膜圧電共振器 3 0 は、単結晶シリコン基板からなる基体 3 1 上に、弾性板 3 2 を介して共振子 3 3 を形成したものである。

40

【 0 2 5 4 】

基体 3 1 は、(1 1 0) 配向した厚さ 2 0 0 μ m 程度の単結晶シリコン基板からなるもので、その底面側（弾性板 3 2 と反対の側）には、該基体 3 1 の底面側から上面側にまで貫通するピアホール 3 4 が形成されている。

【 0 2 5 5 】

弾性板 3 2 は、本実施の形態では図 1 に示した圧電素子 1 におけるバッファ層 3 によって形成されたもので、基体 3 1 の (1 1 0) 面上に形成されたものである。また、共振子 3 3 は、図 1 に示した圧電素子 1 における下部電極 4 、圧電体膜 5 、上部電極 6 によって

50

形成されている。このような構成のもとに薄膜圧電共振器 30 は、基体 31 上に図 1 に示した圧電素子 1 の主部（基体 2 を除く部分）をそのまま形成した構成のものとなっている。

【0256】

すなわち、弾性板 32 を構成するバッファ層 3 は、前述したように第 1 のバッファ層 7 と第 2 のバッファ層 8 と第 3 のバッファ層 9 とからなっている。特に第 1 バッファ層 7 は、イオンビームアシスト法によってエピタキシャル成長させられており、これによって基体 31 上に直接形成されている。

【0257】

弾性板 32 については、たとえば基体 31 上に窒化シリコン (SiN) を厚さ 200 nm 程度に形成し、さらにその上に二酸化シリコン (SiO₂) を厚さ 400 nm ~ 3 μm 程度に形成しておき、これらの上にバッファ層 3 を形成して、これら窒化シリコンと二酸化シリコンとバッファ層 3 との積層膜を弾性板 32 とすることもできる。

【0258】

圧電体膜 5 は、ンボヘドラル構造であり、かつ擬立方晶 (100) 配向の P X N B ' Y からなっている。なお、本実施の形態では厚さが 0.9 μm 程度に形成されている。

【0259】

上部電極 6 は、Pt からなっている。上部電極 6 は、本実施の形態では厚さ 700 nm 程度に厚く形成されている。上部電極 6 についても、Pt に限定されることなく、Ir、IrO_x など公知の電極材料を用いることができる。

【0260】

なお、この上部電極 6 には、弾性板 32 上に形成された電極 35 に電氣的に接続するための、金などからなる配線 37 がパッド 36 を介して設けられている。

【0261】

9-2. 第 1 の薄膜圧電共振器の製造方法

次に、上述の薄膜圧電共振器 30 の製造方法について説明する。まず、基体 31 となる母材、すなわち前述した (110) 配向の単結晶シリコン基板 (Si 基板) を用意する。そして、この Si 基板上にバッファ層 3 (第 1 バッファ層 7、第 2 バッファ層 8、第 3 バッファ層 9) を形成し、さらにその上に下部電極 4、圧電体膜 5、上部電極 6 を順次形成する。なお、弾性板 32 として窒化シリコンと二酸化シリコンとバッファ層 3 との積層膜を採用する場合には、バッファ層 3 の形成に先立って Si 基板上に窒化シリコンと二酸化シリコンとをこの順に形成しておく。この場合に、バッファ層 3 の第 1 バッファ層 7 は二酸化シリコン上に形成されることになるが、前述したようにイオンビームアシスト法を用いてエピタキシャル成長させることにより、この第 1 バッファ層 7 は二酸化シリコン上にも良好に形成されるようになる。

【0262】

次いで、上部電極 6、圧電体膜 5、下部電極 4 を、ビアホール 34 に対応させてそれぞれパターニングし、共振子 33 を形成する。なお、特に下部電極 4 のパターニングに際しては、図 29 に示したように下部電極 4 とは別に、電極 35 も同時に形成しておく。

【0263】

次いで、単結晶シリコン基板をその底面側からエッチング等によって加工 (パターニング) し、これを貫通するビアホール 34 を形成する。次に、上部電極 6 と電極 35 との間を接続するパッド 36 及び配線 37 を形成する。

【0264】

以上の工程によって、本実施の形態にかかる薄膜圧電共振器 30 を製造することができる。

【0265】

9-3. 作用・効果

本実施の形態に係る第 1 の薄膜圧電共振器 30 によれば、たとえば 1.4 GHz、1.8 GHz といった GHz 帯の波長にて吸収ピークを有するものとなり、したがってこのよ

10

20

30

40

50

うな GHz 帯などの高周波数領域で共振する共振器となる。また、この薄膜圧電共振器 30 にあっては、特に P X N B ' Y からなる圧電体膜が高い電気機械結合係数（たとえば $k^2 = 5 \sim 10\%$ ）を有することから、小型（薄型）であるにもかかわらず良好に機能するものとなる。

【0266】

9 - 4 . 第 2 の薄膜圧電共振器

図 30 は、本実施の形態にかかる第 2 の薄膜圧電共振器を示す図である。薄膜圧電共振器 40 が図 29 に示した薄膜圧電共振器 30 と主に異なるところは、ビアホールを形成せず、基体 41 と共振子 42 との間にエアギャップ 43 を形成した点にある。

【0267】

すなわち、この薄膜圧電共振器 40 は、(110) 配向した単結晶シリコン基板からなる基体 41 上に、共振子 42 を形成している。この共振子 42 は、前述した下部電極 4、圧電体膜 5、上部電極 6 と同じ材質からなる下部電極 44、圧電体膜 45、上部電極 46 によって形成されており、特にエアギャップ 43 上にて、これら下部電極 44、圧電体膜 45、上部電極 46 が積層されて形成されている。

【0268】

ここで、本実施の形態では、下部電極 44 の下側に前記エアギャップ 43 を覆った状態でバッファ層 3 が形成されており、このバッファ層 3 が先の例と同様に弾性板 47 となっている。なお、この弾性板 47 についても、先の例と同様に基体 41 上に窒化シリコンと二酸化シリコンとを形成しておき、あるいは二酸化シリコンのみを形成しておき、これの上

にバッファ層 3 を形成してこれらの積層膜を弾性板 47 としてもよい。

【0269】

9 - 5 . 第 2 の薄膜圧電共振器の製造方法

第 2 の薄膜圧電共振器 40 を形成するには、まず、基体 41 上にたとえばゲルマニウム (Ge) を蒸着等によって成膜し、さらにこれを形成するエアギャップの形状と同じ形状にパターニングすることにより、犠牲層を形成する。

【0270】

次に、この犠牲層を覆ってバッファ層 3、すなわち前述した第 1 のバッファ層と第 2 のバッファ層と第 3 のバッファ層とをこの順に形成する。なお、これに先だって窒化シリコンと二酸化シリコンとを形成しておき、あるいは二酸化シリコンのみを形成しておいても

よい。続いて、これらバッファ層を所望形状にパターニングする。

【0271】

次いで、バッファ層 3 を覆って下部電極 44 となる層を形成し、さらにこれをドライエッチング等でパターニングすることにより、下部電極 44 を形成する。次いで、下部電極 44 を覆って圧電体膜 45 となる層を形成し、さらにこれをドライエッチング等でパターニングすることにより、圧電体膜 45 を形成する。

【0272】

次いで、圧電体膜 45 を覆って上部電極 46 となる層を形成し、さらにこれをドライエッチング等でパターニングすることにより、上部電極 46 を形成する。なお、このようにして犠牲層の上に、バッファ層 3、下部電極 44、圧電体膜 45、上部電極 46 をそれぞれパターニングして形成することにより、犠牲層はその一部が外側露出したものとなる。次に、前記犠牲層をたとえば過酸化水素水 (H_2O_2) でエッチングすることで基体 41 上から除去し、これによってエアギャップ 43 を形成する。

【0273】

以上の工程によって、本実施の形態にかかる薄膜圧電共振器 40 を製造することができる。

【0274】

9 - 6 . 作用・効果

本実施の形態にかかる第 2 の薄膜圧電共振器 40 によれば、たとえば 2 GHz の波長にて吸収ピークを有するものとなり、したがってこのような GHz 帯などの高周波数領域で

10

20

30

40

50

共振する共振器となる。また、この薄膜圧電共振器 40 にあっても、特に P X N B ' Y からなる圧電体膜が高い電気機械結合係数（たとえば $k^2 = 5 \sim 10\%$ ）を有することから、小型（薄型）であるにもかかわらず良好に機能するものとなる。

【0275】

また、前述した薄膜圧電共振器 30、40 にあっては、インダクタンスやコンデンサなどの回路構成要素と適宜に組み合わせられることにより、良好な誘導フィルタを構成するものとなる。

【0276】

以上、本実施の形態に係るインクジェット式記録ヘッド、インクジェットプリンター、圧電ポンプ、表面弾性波素子、周波数フィルタ、発振器、電子回路、薄膜圧電共振器及び電子機器（携帯電話機 100）について説明したが、本発明は、前記実施の形態に制限されず、本発明の範囲内で自由に変更が可能である。本発明に係る圧電素子は、前述したデバイスに適用されるだけでなく、種々のデバイスに適用可能である。

【0277】

たとえば、前記実施の形態においては電子機器として携帯電話機を、電子回路として携帯電話機内に設けられる電子回路をその一例として挙げ、説明したが、本発明は携帯電話機に限定されることなく、種々の移動体通信機器およびその内部に設けられる電子回路に適用することができる。

【0278】

さらに、移動体通信機器のみならず B S および C S 放送を受信するチューナなどの据置状態で使用される通信機器、およびその内部に設けられる電子回路にも適用することができる。さらには、通信キャリアとして空中を伝播する電波を使用する通信機器のみならず、同軸ケーブル中を伝播する高周波信号または光ケーブル中を伝播する光信号を用いる H U B などの電子機器およびその内部に設けられる電子回路にも適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0279】

【図 1】実施の形態にかかる圧電素子を示す断面図。

【図 2】ペロブスカイト型結晶構造の説明図。

【図 3】ペロブスカイト型結晶構造の説明図。

【図 4】リラクサー材料を説明するためのグラフ。

【図 5】リラクサー材料を説明するためのグラフ。

【図 6】圧電素子の製造工程図。

【図 7】圧電素子の製造工程図。

【図 8】圧電素子の製造工程図。

【図 9】圧電素子の製造工程図。

【図 10】圧電素子の製造工程図。

【図 11】インクジェット式記録ヘッドの概略構成図。

【図 12】インクジェット式記録ヘッドの分解斜視図。

【図 13】キャピティの平面図。

【図 14】圧電素子の平面図。

【図 15】ヘッドの動作を説明するための図。

【図 16】ヘッドの動作を説明するための図。

【図 17】実施の形態にかかるインクジェットプリンターの概略構成図。

【図 18】図 1 に示す圧電素子を用いた圧電ポンプの概略断面図。

【図 19】図 1 に示す圧電素子を用いた圧電ポンプの概略断面図。

【図 20】実施の形態にかかる表面弾性波素子を示す側断面図。

【図 21】実施の形態にかかる周波数フィルタを示す斜視図。

【図 22】実施の形態にかかる発振器を示す斜視図。

【図 23】前記発振器を V C S O に応用した一例を示す概略側面透視図。

【図 24】前記発振器を V C S O に応用した一例を示す概略上面透視図。

10

20

30

40

50

【図 25】前記発振器を V C S O に応用した一例を示す概略図。

【図 26】P L L 回路の基本構成を示すブロック図。

【図 27】実施の形態にかかる電子回路の構成を示すブロック図。

【図 28】電子機器の実施形態としての携帯電話機を示す斜視図。

【図 29】実施の形態にかかる薄膜圧電共振器を示す側断面図。

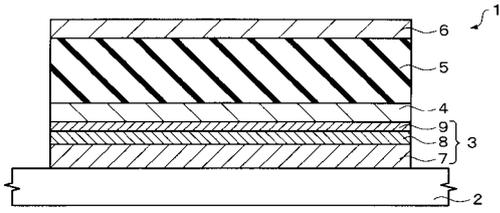
【図 30】実施の形態にかかる薄膜圧電共振器を示す側断面図。

【符号の説明】

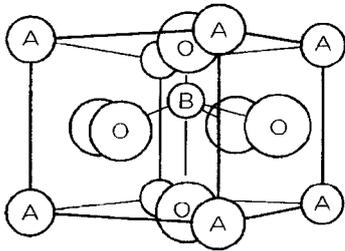
【0280】

1 圧電素子、2 基体、3 バッファ層、4 下部電極、5 圧電体膜、6 上部電極、7 第1バッファ層、8 第2バッファ層、9 第3バッファ層、11 単結晶シリコン基板、12 バッファ層、13 導電膜、14 圧電体膜、15 保護層、16 電極、20 圧電ポンプ、21 基体、22 圧電素子、23 ポンプ室、24 振動板、30 薄膜圧電共振器、31 基体、32 弾性板、33 共振子、34 ピアホール、35 電極、36 パッド、37 配線、40 薄膜圧電共振器、41 基体、42 共振子、43 エアギャップ、44 下部電極、45 圧電体膜、46 上部電極、47 弾性板、50 インクジェット式記録ヘッド、51 ノズル板、52 インク室基板、54 圧電素子、55 弾性板、56 基体、57 ヘッド本体、58 印刷装置、59 制御部、60 インクジェットプリンター、61 単結晶シリコン基板、62 装置本体、63 ヘッドユニット、63 発振器、64 基板、65 給紙装置、66 配線、67 ワイヤ線、68 ワイヤ線、69 操作パネル、70 入力端子、71 位相比較器、72 低域フィルタ、73 増幅器、80 送話器、81 送信信号処理回路、82 送信ミキサ、83 送信フィルタ、84 送信電力増幅器、85 送受分波器、87 低雑音増幅器、88 受信フィルタ、89 受信ミキサ、90 受信信号処理回路、91 受話器、92 周波数シンセサイザ、93 制御回路、94 表示回路、100 携帯電話機、102 受話器、103 送話器、104 液晶表示部、105 操作部、140 基板、141 電極、142 電極、143 吸音部、144 吸音部、145 高周波信号源、150 基板、151 電極、152 電極、153 電極、154 高周波信号源、511 ノズル、521 キャピティ、522 側壁、523 リザーバ、524 供給口、531 連通孔、621 トレイ、622 排出口、631 インクカートリッジ、632 キャリッジ、640 印刷装置、641 キャリッジモータ、642 往復動機構、643 キャリッジガイド軸、644 タイミングベルト、651 給紙モータ、652 給紙ローラ、

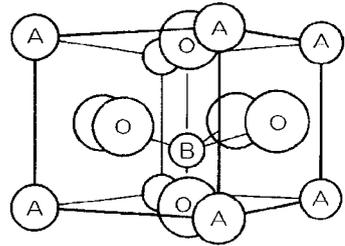
【 図 1 】



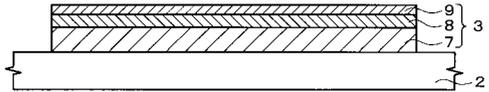
【 図 2 】



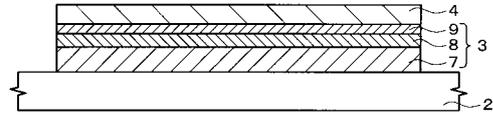
【 図 3 】



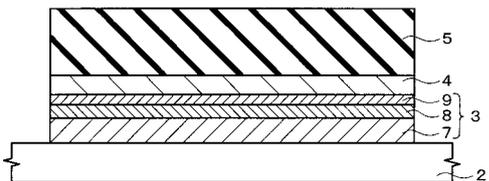
【 図 8 】



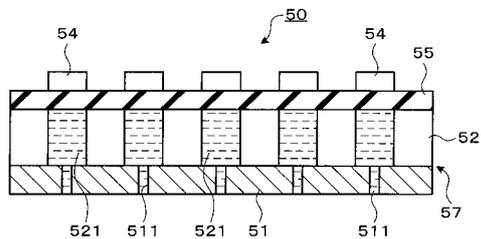
【 図 9 】



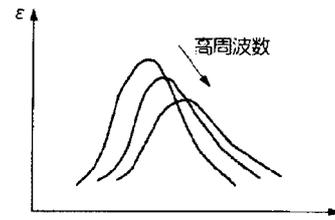
【 図 10 】



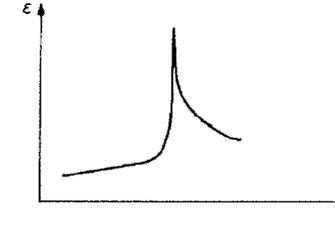
【 図 11 】



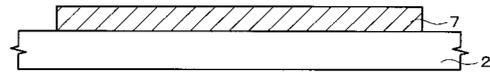
【 図 4 】



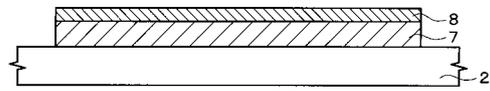
【 図 5 】



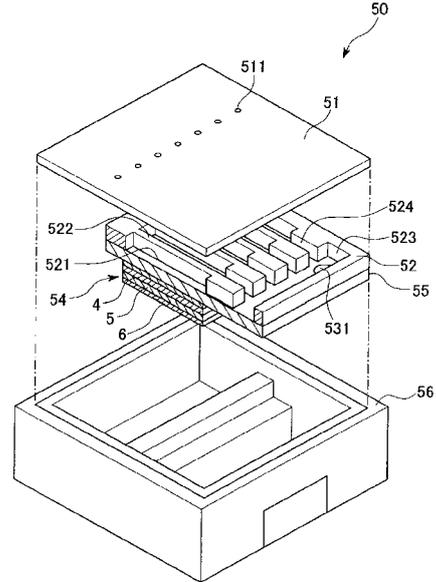
【 図 6 】



【 図 7 】



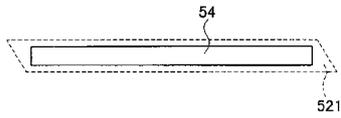
【 図 12 】



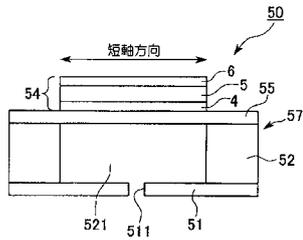
【 図 13 】



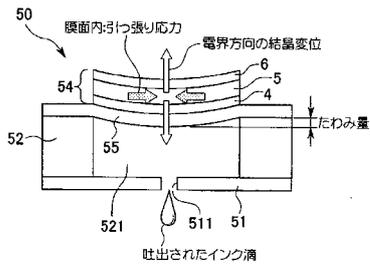
【 図 1 4 】



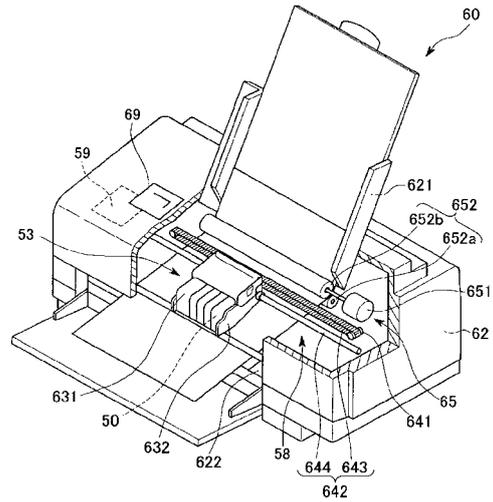
【 図 1 5 】



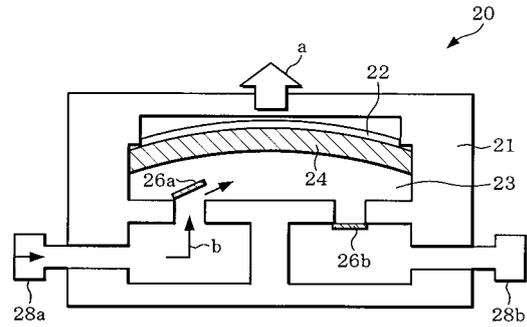
【 図 1 6 】



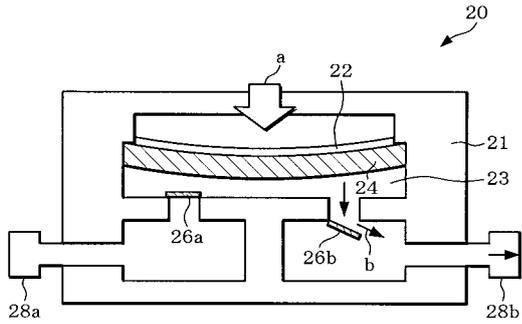
【 図 1 7 】



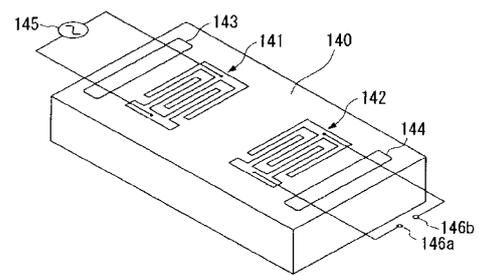
【 図 1 8 】



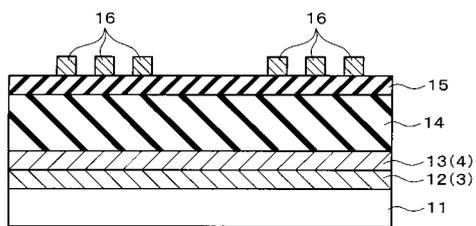
【 図 1 9 】



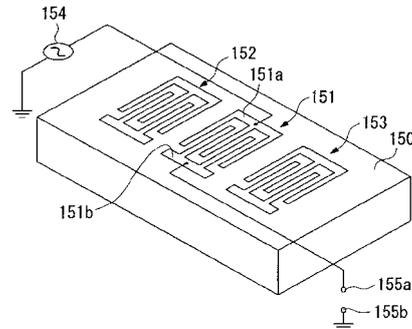
【 図 2 1 】



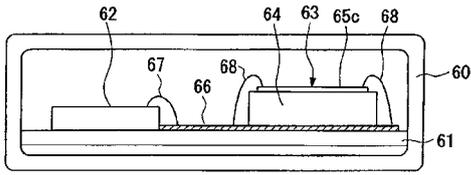
【 図 2 0 】



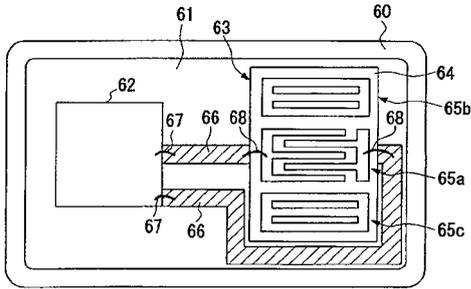
【 図 2 2 】



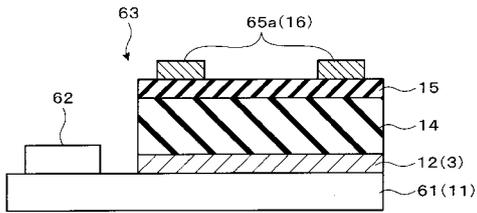
【図 2 3】



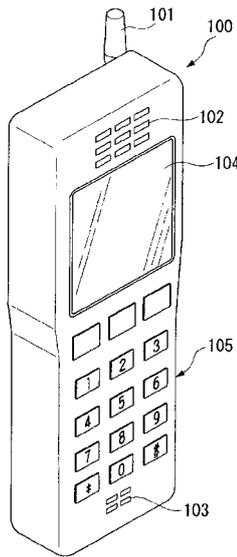
【図 2 4】



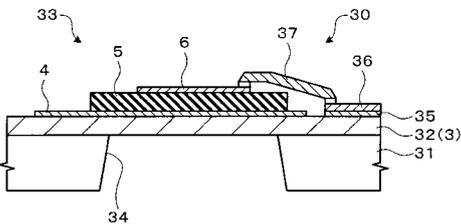
【図 2 5】



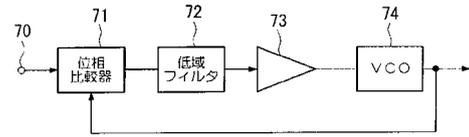
【図 2 8】



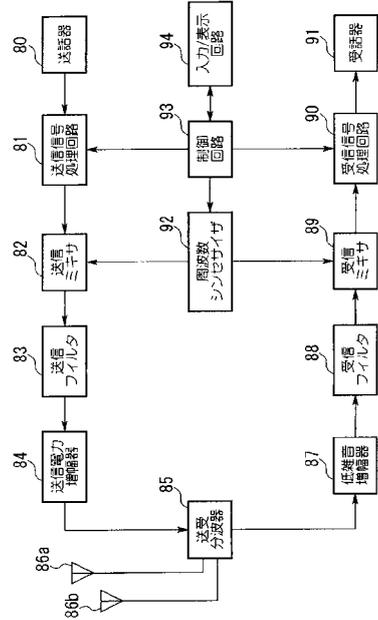
【図 2 9】



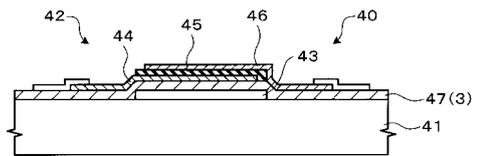
【図 2 6】



【図 2 7】



【図 3 0】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. ⁷	F I	テーマコード(参考)
H 0 1 L 41/22	H 0 1 L 41/08	L 5 J 1 0 8
H 0 1 L 41/24	H 0 1 L 41/18	1 0 1 D
H 0 3 B 5/30	H 0 1 L 41/18	1 0 1 E
H 0 3 H 9/17	H 0 1 L 41/18	1 0 1 F
H 0 3 H 9/64	H 0 1 L 41/18	1 0 1 J
// C 0 4 B 35/49	H 0 1 L 41/08	J
	H 0 1 L 41/22	Z
	H 0 1 L 41/22	A
	B 4 1 J 3/04	1 0 3 A
	C 0 4 B 35/49	F

(72)発明者 野口 元久

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

Fターム(参考) 2C057 AF51 AG42 AG44 AG47 AP16 BA04 BA14
 3H075 AA07 BB04 CC32 DA05 DB02
 4G031 AA03 AA06 AA07 AA10 AA11 AA12 AA13 AA14 AA15 AA16
 AA17 AA18 AA20 AA21 AA22 AA23 AA26 AA27 AA32 BA10
 CA01 CA02 CA08
 5J079 AA06 BA47 FA01 HA06
 5J097 AA04 BB11 BB15 DD28 EE07 FF03 KK09 KK10
 5J108 CC11 EE03 EE04 FF05 KK01 KK07

(54)【発明の名称】圧電素子、圧電アクチュエーター、圧電ポンプ、インクジェット式記録ヘッド、インクジェットプリンター、表面弾性波素子、周波数フィルタ、発振器、電子回路、薄膜圧電共振器、および電子機器