

(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2004-300012

(P2004-300012A)

(43) 公開日 平成16年10月28日(2004.10.28)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
CO4B 35/495	CO4B 35/00	4GO30
HO1L 41/187	HO1L 41/18	
HO1L 41/24	HO1L 41/22	

審査請求 未請求 請求項の数 21 O L (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2003-274919 (P2003-274919)	(71) 出願人	000004260 株式会社デンソー
(22) 出願日	平成15年7月15日 (2003. 7. 15)		愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
(31) 優先権主張番号	特願2002-207208 (P2002-207208)	(71) 出願人	000003609
(32) 優先日	平成14年7月16日 (2002. 7. 16)		株式会社豊田中央研究所
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4-1番地の1
(31) 優先権主張番号	特願2003-69060 (P2003-69060)	(74) 代理人	100079142
(32) 優先日	平成15年3月14日 (2003. 3. 14)		弁理士 高橋 祥泰
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(74) 代理人	100110700
			弁理士 岩倉 民芳
		(72) 発明者	野々山 龍彦
			愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧電磁器組成物及びその製造方法並びに圧電素子及び誘電素子

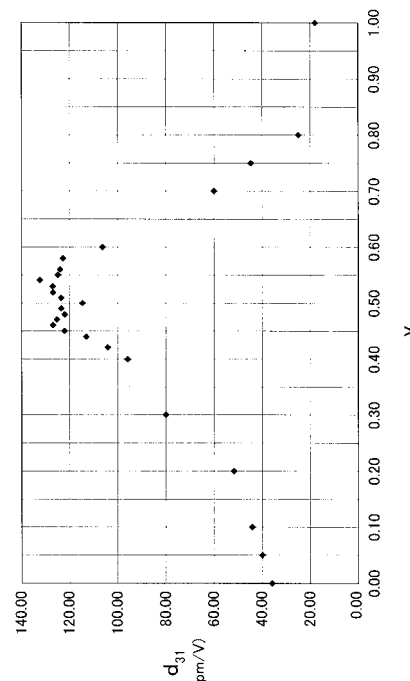
(57) 【要約】

【課題】 鉛を含まず、常圧にて焼成が可能であり、圧電 d_{31} 定数等の圧電磁器組成物特有の特性のうち少なくとも1つが従来より優れた圧電磁器組成物及びその製造方法、並びに該圧電磁器組成物を利用した圧電素子及び誘電素子を提供すること。

【解決手段】 一般式 $\{Li_x(K_{1-y}Na_y)_{1-x}\}(Nb_{1-z-w}Ta_zSb_w)O_3$ で表され、かつ x, y, z, w がそれぞれ $0 < x < 0.2, 0 < y < 1, 0 < z < 0.4, 0 < w < 0.2$ の組成範囲にあることを特徴とする圧電磁器組成物。

【選択図】 図1

(図1)



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

一般式 $\{Li_x(K_{1-y}Na_y)_{1-x}\}(Nb_{1-z-w}Ta_zSb_w)O_3$ で表され、かつ x, y, z, w がそれぞれ $0 < x < 0.2, 0 < y < 1, 0 < z < 0.4, 0 < w < 0.2$ の組成範囲にあることを特徴とする圧電磁器組成物。

【請求項 2】

請求項 1 において、上記一般式における上記 x の範囲は、 $0 < x < 0.2$ であることを特徴とする圧電磁器組成物。

【請求項 3】

請求項 1 において、上記一般式における上記 x の値は、 $x = 0$ であることを特徴とする圧電磁器組成物。 10

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項において、上記一般式における上記 y の範囲は、 $0 < y < 1$ であることを特徴とする圧電磁器組成物。

【請求項 5】

請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項において、上記一般式における上記 y の値は、 $y = 0$ であることを特徴とする圧電磁器組成物。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項において、上記圧電磁器組成物は、圧電 d_{31} 定数が 30 p m / V 以上であることを特徴とする圧電磁器組成物。 20

【請求項 7】

請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項において、上記圧電磁器組成物は、圧電 g_{31} 定数が $7 \times 10^{-3} \text{ V m / N}$ 以上であることを特徴とする圧電磁器組成物。

【請求項 8】

請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項において、上記圧電磁器組成物は、電気機械結合係数 K_p が 0.3 以上であることを特徴とする圧電磁器組成物。

【請求項 9】

請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項において、上記圧電磁器組成物は、誘電損失が 0.09 以下であることを特徴とする圧電磁器組成物。

【請求項 10】

請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項において、上記圧電磁器組成物は、比誘電率が 400 以上であることを特徴とする圧電磁器組成物。 30

【請求項 11】

請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 項において、上記圧電磁器組成物は、キュリー温度 T_c が 200 以上であることを特徴とする圧電磁器組成物。

【請求項 12】

請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項において、上記圧電磁器組成物は、圧電 d_{31} 定数が 30 p m / V 以上で、かつキュリー温度 T_c が 200 以上であることを特徴とする圧電磁器組成物。

【請求項 13】

請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項において、上記圧電磁器組成物は、圧電 g_{31} 定数が $7 \times 10^{-3} \text{ m V m / N}$ 以上で、かつキュリー温度 T_c が 200 以上であることを特徴とする圧電磁器組成物。 40

【請求項 14】

請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項において、上記圧電磁器組成物は、電気機械結合係数 K_p が 0.3 以上で、かつキュリー温度 T_c が 200 以上であることを特徴とする圧電磁器組成物。

【請求項 15】

請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項において、上記圧電磁器組成物は、誘電損失が 0.09 以下で、かつキュリー温度 T_c が 200 以上であることを特徴とする圧電磁器組成物。 50

【請求項 16】

請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項において，上記圧電磁器組成物は，圧電 d_{31} 定数が 30 p m / V 以上で，かつ電気機械結合係数 K_p が 0.3 以上で，かつキュリー温度 T_c が 200 以上であることを特徴とする圧電磁器組成物。

【請求項 17】

一般式 $\{ \text{Li}_x (\text{K}_{1-y} \text{Na}_y)_{1-x} \} (\text{Nb}_{1-z-w} \text{Ta}_z \text{Sb}_w) \text{O}_3$ で表され，かつ x, y, z, w がそれぞれ $0 < x < 0.2, 0 < y < 1, 0 < z < 0.4, 0 < w < 0.2$ の組成範囲にある圧電磁器組成物よりなる粉末を成形し，焼成することを特徴とする圧電磁器組成物の製造方法。

【請求項 18】

リチウムを含有してなる化合物と，ナトリウムを含有してなる化合物と，カリウムを含有してなる化合物と，ニオブを含有してなる化合物と，タンタルを含有してなる化合物と，アンチモンを含有してなる化合物とを混合，焼成することにより請求項 1 ~ 16 のいずれか 1 項に記載の圧電磁器組成物を得ることを特徴とする圧電磁器組成物の製造方法。

10

【請求項 19】

請求項 18 において，上記リチウムを含有する化合物は Li_2CO_3 であり，ナトリウムを含有してなる化合物は Na_2CO_3 であり，カリウムを含有してなる化合物は K_2CO_3 であり，ニオブを含有してなる化合物は Nb_2O_5 であり，タンタルを含有してなる化合物は Ta_2O_5 であり，アンチモンを含有してなる化合物は Sb_2O_5 または Sb_2O_3 であることを特徴とする圧電磁器組成物の製造方法。

20

【請求項 20】

請求項 1 ~ 16 のいずれか 1 項に記載の圧電磁器組成物よりなる圧電体を有することを特徴とする圧電素子。

【請求項 21】

請求項 1 ~ 16 のいずれか 1 項に記載の圧電磁器組成物よりなる誘電体を含有することを特徴とする誘電素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は，組成物中に鉛を含有しない圧電磁器組成物及びその製造方法，並びに該圧電磁器組成物を材料とする圧電素子及び誘電素子に関する。

30

【背景技術】

【0002】

従来より，圧電磁器組成物としては，鉛を含んだ $\text{PZT} (\text{PbTiO}_3 - \text{PbZrO}_3)$ 成分系磁器が用いられてきた。上記 PZT は，大きな圧電性を示し，かつ長期安定性に優れた高い機械的品質係数を有しており，センサ，アクチュエータ，フィルター等の各用途に要求される様々な特性の材料を容易に作製できるからである。

また，上記 PZT は高い比誘電率を有するため，コンデンサ等としても利用することができる。

【0003】

40

ところが，上記 PZT から成る圧電磁器組成物は，優れた特性を有する一方で，その構成元素に鉛を含んでいるため， PZT を含んだ製品の産業廃棄物から有害な鉛が溶出し，環境汚染を引き起こすおそれがあった。そして，近年の環境問題に対する意識の高まりは， PZT のように環境汚染の原因となりうる製品の製造を困難にしてきた。そのため，組成中に鉛を含有しない圧電磁器組成物の開発が求められ，一般式 $(\text{K}_{1-x} \text{Na}_x) \text{NbO}_3$ (但し， $0 < x < 1$) で表される圧電磁器組成物 (非特許文献 1 参照) が注目されてきた。

【0004】

しかしながら，上記一般式 $(\text{K}_{1-x} \text{Na}_x) \text{NbO}_3$ (但し， $0 < x < 1$) で表される圧電磁器組成物は焼成が困難であるため，ホットプレス焼成を行う必要がある。そのため，

50

製造コストが高くなるという問題があった。

さらに、上記一般式で表される圧電磁器組成物には、圧電 d_{31} 定数、電気機械結合係数 K_p 及びキュリー温度 T_c 等の特性が低いという問題があった。そのため、例えば高い圧電定数 d_{31} 定数、電気機械結合係数 K_p を必要とする圧電アクチュエータ、圧電フィルター、圧電振動子、圧電トランス、圧電超音波モータ、圧電ジャイロセンサ、ノックセンサ、ヨーレートセンサ、エアバッグセンサ、バックソナー、コーナソナー、圧電ブザー、圧電スピーカー、圧電着火器等の圧電素子への適用が困難であった。また、キュリー温度 T_c が低いため、高温環境下における圧電特性が劣化するという問題があった。

【非特許文献1】“Journal of the American Ceramic Society”，米国，1962，Vol. 45，No. 5，p. 209 10

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明は、かかる従来の問題点に鑑みてなされたもので、鉛を含まず、常圧にて焼成が可能であり、圧電 d_{31} 定数等の圧電磁器組成物特有の特性のうち少なくとも1つが従来より優れた圧電磁器組成物及びその製造方法、並びに該圧電磁器組成物を利用した圧電素子及び誘電素子を提供しようとするものである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

第1の発明は、一般式 $\{Li_x(K_{1-y}Na_y)_{1-x}\}(Nb_{1-z-w}Ta_zSb_w)O_3$ で表され、かつ x, y, z, w がそれぞれ $0 < x < 0.2, 0 < y < 1, 0 < z < 0.4, 0 < w < 0.2$ の組成範囲にあることを特徴とする圧電磁器組成物にある（請求項1）。 20

【0007】

上記第1の発明の圧電磁器組成物は、上記の一般式 $\{Li_x(K_{1-y}Na_y)_{1-x}\}(Nb_{1-z-w}Ta_zSb_w)O_3$ で表されるように、組成物中に鉛を含有していない。

そのため、上記圧電磁器組成物は、該圧電磁器組成物の廃棄物等から有害な鉛が自然界に流出することがなく、安全である。

【0008】

また、上記圧電磁器組成物は、上記の一般式における x, y, z, w がそれぞれ上記の範囲にある。そのため、上記圧電磁器組成物は、圧電 d_{31} 定数、電気機械結合係数 K_p 、圧電 g_{31} 定数、比誘電率 $\epsilon_{33T}/\epsilon_0$ 、誘電損失 $\tan \delta$ 、キュリー温度 T_c のいずれか1つ以上が優れたものとなる。 30

【0009】

また、上記圧電磁器組成物は、上記の一般式における z の範囲が $0 < z < 0.4$ 、かつ w の範囲が $0 < w < 0.2$ であり、 Ta 及び Sb を必須成分として含有している。そのため、上記圧電磁器組成物は焼成時に緻密化し易く、常圧下での焼成によっても十分に緻密化することができる。これは、 Ta 及び Sb を上記の範囲内において必須成分とすることにより、焼成温度が低下すると共に、 Ta 及び Sb が焼成助剤の役割を果たし、空孔の少ない焼成を可能とするからである。そのため、従来のようにホットプレス焼成を行う必要がなく簡単かつ低コストに上記圧電磁器組成物を作製できる。また、上記圧電磁器組成物の誘電損失 $\tan \delta$ の安定性を向上させることができる。 40

【0010】

このように、上記圧電磁器組成物は、環境に対して安全で、常圧にて焼成が可能であり、かつ高性能な圧電素子又は誘電素子等の材料として利用することができる。

なお、上記第1の発明における圧電磁器組成物は、圧電特性を有する磁器組成物に限らず、誘電特性を有する誘電磁器組成物をも含む概念である。

【0011】

第2の発明は、一般式 $\{Li_x(K_{1-y}Na_y)_{1-x}\}(Nb_{1-z-w}Ta_zSb_w)O_3$ で表され、かつ x, y, z, w がそれぞれ $0 < x < 0.2, 0 < y < 1, 0 < z < 0.4, 0 < w < 0.2$ の組成範囲にある圧電磁器組成物よりなる粉末を成形し、焼成することを特徴 50

とする圧電磁器組成物の製造方法にある（請求項17）。

【0012】

上記圧電磁器組成物よりなる粉末を用いて成形した成形体は、常圧下にて焼成することができる。そのため、簡単かつ低コストにて焼成を行うことができる。そして、上記焼成後に得られる圧電磁器組成物は、鉛を含有せず、圧電 d_{31} 定数等の圧電磁器組成物特有の特性に優れたものとなる。そのため、高性能な圧電素子又は誘電素子等の材料として利用することができる。

【0013】

第3の発明は、リチウムを含有してなる化合物と、ナトリウムを含有してなる化合物と、カリウムを含有してなる化合物と、ニオブを含有してなる化合物と、タンタルを含有してなる化合物と、アンチモンを含有してなる化合物とを混合、焼成することにより請求項1～16のいずれか1項に記載の圧電磁器組成物を得ることを特徴とする圧電磁器組成物の製造方法にある（請求項18）。

10

【0014】

上記第3の発明においては、上記のごとく、リチウムを含有してなる化合物と、ナトリウムを含有してなる化合物と、カリウムを含有してなる化合物と、ニオブを含有してなる化合物と、アンチモンを含有してなる化合物とを混合、焼成する。

これにより上記第1の発明の圧電磁器組成物を容易に得ることができる。

【0015】

また、上記焼成時には、常圧下にて上記圧電磁器組成物を焼成することができる。そして、上記焼成後に得られる圧電磁器組成物は、鉛を含有せず、圧電 d_{31} 定数等の圧電磁器組成物特有の特性に優れたものとなる。そのため、高性能な圧電素子又は誘電素子等の材料として利用することができる。

20

【0016】

第4の発明は、第1の発明の圧電磁器組成物よりなる圧電体を有することを特徴とする圧電素子にある（請求項20）。

【0017】

上記第4の発明の圧電素子は、第1の発明（請求項1）の圧電磁器組成物よりなる圧電体を有している。そのため、上記圧電素子は、鉛を含有せず、環境に対して安全である。

また、上記圧電素子は、上記圧電磁器組成物が有する、圧電 d_{31} 定数等の圧電磁器組成物特有の特性が優れるという性質をそのまま利用することができる。そのため、上記圧電素子は、感度の高い圧電センサ素子、高い電気機械エネルギー変換効率を有する圧電振動子及びアクチュエータ素子等の優れた圧電素子として利用することができる。

30

【0018】

第5の発明は、第1の発明の圧電磁器組成物よりなる誘電体を有することを特徴とする誘電素子にある（請求項21）

【0019】

上記第5の発明の誘電素子は、第1の発明（請求項1）の圧電磁器組成物よりなる誘電体を有している。そのため、上記誘電素子は、鉛を含有せず、環境に対して安全である。また、上記誘電素子は、上記圧電磁器組成物が有する、比誘電率、誘電損失、誘電損失の長期安定性等の特性のいずれか1つ以上に優れるという性質をそのまま利用することができる。そのため、静電容量の大きいコンデンサ等の優れた誘電素子として利用することができる。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0020】

本発明において、上記圧電磁器組成物は、一般式 $\{Li_x(K_{1-y}Na_y)_{1-x}\}(Nb_{1-z-w}Ta_zSb_w)O_3$ で表され、かつ x, y, z, w がそれぞれ $0 < x < 0.2, 0 < y < 1, 0 < z < 0.4, 0 < w < 0.2$ の組成範囲にある。

ここで、 $x > 0.2, z > 0.4, w > 0.2, z = 0$ 、又は $w = 0$ の場合には、上記圧電 d_{31} 定数等の圧電磁器組成物に特有の特性が低下し、所望の特性を有する圧電磁器組

50

成物を得ることができないおそれがある。

【0021】

上記圧電磁器組成物は、上記のごとく、ペロブスカイト構造 (ABO_3) の化合物を主成分としている。本発明において、上記ペロブスカイト構造 (ABO_3) における A サイトの元素構成は、K, Na 乃至は K, Na, Li に相当し、B サイトの元素構成は、Nb, Ta, Sb に相当する。このペロブスカイト構造の組成式においては、A サイトを構成する原子と B サイト構成する原子が 1 : 1 となる化学量論比のとき、完全なペロブスカイト構造となるが、上記圧電磁器組成物の場合には、特に K, Na, Li, Sb が焼成工程等で数%、具体的には 3% 程度揮発したり、また全構成元素が混合粉碎や造粒工程等にて数%、具体的には 3% 程度変動することがある。即ち、製法のバラツキにより、化学量論組成からの変動が起こる場合がある。

10

【0022】

このような製造工程上の組成変動への対応として、意図的に配合組成比を変えることにより、焼成後の圧電磁器組成物の組成比を、±数%、より具体的には ±3 ~ 5% 程度変動させることができる。このことは、例えば従来のチタン酸ジルコン酸塩 (PZT) の場合でも同様であり、焼成時の鉛の蒸発や、粉碎メディアであるジルコニアボールからのジルコニアの混入を考慮して配合比を調整することができる。

【0023】

本発明の圧電磁器組成物においては、上記のように意図的に配合組成比を変えても、圧電特性等の電気的特性は大きく変化しない。

20

したがって、本発明においては、上記一般式 $Li_x (K_{1-y} Na_y)_{1-x} (Nb_{1-z-w} Ta_z Sb_w) O_3$ で表される化合物は、これをペロブスカイト構造の組成式 ABO_3 にあてはめたときに、A サイト原子と B サイト原子の構成比を 1 : 1 に対してそれぞれ ±5 モル% 程度までずれた構成比とすることができる。なお、構成される結晶中の格子欠陥をより少なくし、高い電気的特性を得るためには、好ましくは ±3% 程度までの組成がよい。

即ち、上記圧電磁器組成物の主成分としての上記一般式で表される化合物は、 $[Li_x (K_{1-y} Na_y)_{1-x}]_a \{ (Nb_{1-z-w} Ta_z Sb_w) \}_b O_3$ ($0 < x < 0.2$, $0 < y < 1$, $0 < z < 0.4$, $0 < w < 0.2$, $0.95 < a < 1.05$) となる範囲を含むものである。また、上述のごとく、上記の式において、a 及び b の範囲は $0.97 < a < 1.03$ であることが好ましい。

30

【0024】

また、上記一般式 $\{ Li_x (K_{1-y} Na_y)_{1-x} \} (Nb_{1-z-w} Ta_z Sb_w) O_3$ において、 $z + w < 0.37$ であることが好ましい。

この場合には、上記圧電 d_{31} 定数等の圧電磁器組成物に特有の特性を一層向上させることができる。

【0025】

上記圧電磁器組成物は圧電性及び誘電性を有し、圧電体としても誘電体としても用いることができる。具体的には、例えば圧電アクチュエータ、圧電フィルター、圧電振動子、圧電トランス、圧電超音波モータ、圧電ジャイロセンサ、ノックセンサ、ヨーレートセンサ、エアバッグセンサ、バックソナー、コーナソナー、圧電ブザー、圧電スピーカー、圧電着火器等として用いることができる。

40

【0026】

上記第 1 の発明 (請求項 1) において、上記一般式 $\{ Li_x (K_{1-y} Na_y)_{1-x} \} (Nb_{1-z-w} Ta_z Sb_w) O_3$ の x の範囲は、 $0 < x < 0.2$ であることが好ましい (請求項 2)。

この場合には、Li が必須成分となるので、上記圧電磁器組成物は、焼成時の焼成体の作製を一層容易に行うことができると共に、圧電特性をより向上させ、キュリー温度を一層高くすることができる。これは、Li を上記の範囲内において必須成分とすることにより、焼成温度が低下すると共に、Li が焼成助剤の役割を果たし、空孔の少ない焼成を可能とするからである。

50

【0027】

次に，上記一般式 $\{Li_x(K_{1-y}Na_y)_{1-x}\}(Nb_{1-z-w}Ta_zSb_w)O_3$ の x の値は， $x = 0$ とすることができる（請求項3）。

この場合には，上記一般式は $(K_{1-y}Na_y)(Nb_{1-z-w}Ta_zSb_w)O_3$ で表される。そしてこの場合には，上記圧電磁器組成物を作製する際に，その原料中に例えば Li_2CO_3 のように，最も軽量の Li を含有してなる化合物を含まないので，原料を混合し上記圧電磁器組成物を作製するとき，原料粉の偏析による特性のばらつきを小さくすることができる。また，この場合には，高い比誘電率と比較的大きな圧電 g 定数を実現できる。

【0028】

また，上記一般式 $\{Li_x(K_{1-y}Na_y)_{1-x}\}(Nb_{1-z-w}Ta_zSb_w)O_3$ における上記 y の範囲は， $0 < y < 1$ であることが好ましい。（請求項4）

この場合には，上記圧電磁器組成物の圧電 g_{31} 定数をさらに向上させることができる。また，上記 y の範囲は， $0 < y < 0.85$ であることがより好ましく、 $0.05 < y < 0.75$ であることがさらに好ましい。これらの場合には，上記圧電磁器組成物の圧電 d_{31} 定数及び電気機械結合係数 K_p を一層向上させることができる。さらに一層好ましくは， $0.05 < y < 0.75$ がよく、さらには $0.35 < y < 0.65$ がよく、さらには $0.35 < y < 0.65$ がより好ましい。また，最も好ましくは， $0.42 < y < 0.60$ がよい。

【0029】

また，上記一般式において，上記 y の値は $y = 0$ とすることができる（請求項5）。

この場合には，上記一般式は $\{Li_xK\}_{1-x}(Nb_{1-z-w}Ta_zSb_w)O_3$ で表される。そしてこの場合には，上記圧電磁器組成物は Na を含まず，上記圧電磁器組成物の誘電損失及び誘電損失の長期安定性を向上させることができる。

【0030】

次に，上記圧電磁器組成物は，圧電 d_{31} 定数が 30 pm/V 以上であることが好ましい（請求項6）。

この場合には，上記 30 pm/V 以上という高い圧電 d_{31} 定数を活かして，上記圧電磁器組成物を感度の高い圧電アクチュエータ，圧電フィルター，圧電振動子，圧電トランス，圧電超音波モータ，圧電ジャイロセンサ，ロックセンサ，ヨーレートセンサ，エアバッグセンサ，バックソナー，コーナソナー，圧電ブザー，圧電スピーカー，圧電着火器等として利用することができる。

【0031】

上記圧電 d_{31} 定数が 30 pm/V 未満の場合には，上記圧電磁器組成物を優れた感度を必要とする圧電素子に利用することができないおそれがある。

また，より感度の優れた圧電センサ特性又はより大きな圧電アクチュエータ特性を得るために，上記圧電 d_{31} 定数は 40 pm/V 以上であることがより好ましい。さらに好ましくは 80 pm/V 以上がよい。さらに好ましくは，上記圧電 d_{31} 定数は 100 pm/V 以上がよい。

【0032】

次に，上記圧電磁器組成物は，圧電 g_{31} 定数が $7 \times 10^{-3} \text{ Vm/N}$ 以上であることが好ましい（請求項7）。

この場合には，上記 $7 \times 10^{-3} \text{ Vm/N}$ 以上という高い圧電 g_{31} 定数を活かして，上記圧電磁器組成物を昇圧比の優れた圧電トランス，超音波モータ素子，センサ素子等として利用することができる。

【0033】

上記圧電 g_{31} 定数が $7 \times 10^{-3} \text{ Vm/N}$ 未満の場合には，上記圧電磁器組成物を優れた昇圧比を必要とする圧電素子に利用することができないおそれがある。

また，さらに昇圧比の優れたものを得るために，上記圧電 g_{31} 定数は $10 \times 10^{-3} \text{ Vm/N}$ 以上であることがより好ましい。

【0034】

次に，上記圧電磁器組成物は，電気機械結合係数 K_p が 0.3 以上であることが好ましい（請求項 8）。

この場合には，上記 0.3 以上という高い電気機械結合係数 K_p を活かして，上記圧電磁器組成物を機械エネルギーと電気エネルギーの変換効率に優れた圧電アクチュエータ，圧電フィルター，圧電振動子，圧電トランス，圧電超音波モータ，圧電ジャイロセンサ，ノックセンサ，ヨーレートセンサ，エアバッグセンサ，バックソナー，コーナーソナー，圧電ブザー，圧電スピーカー，圧電着火器等として利用することができる。

【0035】

上記電気機械結合係数 K_p が 0.3 未満の場合には，上記圧電磁器組成物を，上記機械エネルギーと電気エネルギーの優れた変換効率を必要とする圧電素子に利用することができるおそれがある。 10

また，機械エネルギーと電気エネルギーの変換効率がより一層優れたものを得るためには，上記電気機械結合係数 K_p は 0.34 以上であることがより好ましい。さらに好ましくは 0.4 以上がよい。さらに好ましくは，上記電気機械結合係数 K_p は 0.5 以上がよい。

【0036】

次に，上記圧電磁器組成物は，誘電損失が 0.09 以下であることが好ましい（請求項 9）。

この場合には，0.09 以下という低い誘電損失を活かして，上記圧電磁器組成物をコンデンサ等の誘電素子，圧電アクチュエータ，圧電フィルター，圧電振動子，圧電トランス，圧電超音波モータ，圧電ジャイロセンサ，ノックセンサ，ヨーレートセンサ，エアバッグセンサ，バックソナー，コーナーソナー，圧電ブザー，圧電スピーカー，圧電着火器等として利用することができる。 20

【0037】

上記誘電損失が 0.09 を超える場合には，上記圧電磁器組成物を上記コンデンサ等誘電素子，圧電トランス素子，超音波モータ素子等として利用することができないおそれがある。

また，上記誘電損失は 0.035 以下であることがより好ましい。

【0038】

次に，上記圧電磁器組成物は，比誘電率が 400 以上であることが好ましい（請求項 10）。 30

この場合には，上記 400 以上という高い比誘電率を活かして，上記圧電磁器組成物を静電容量の大きなコンデンサ等の誘電素子等として利用することができる。

上記比誘電率が 400 未満の場合には，静電容量が低下し，上記圧電磁器組成物をコンデンサ等の誘電素子等として利用することができないおそれがある。

また，上記比誘電率は，430 以上であることがより好ましい。さらに好ましくは，600 以上がよい。

【0039】

次に，上記圧電磁器組成物は，キュリー温度 T_c が 200 以上であることが好ましい（請求項 11）。 40

この場合には，200 以上という高いキュリー温度 T_c を活かして，上記圧電磁器組成物を，例えば自動車のエンジン付近等のように 100 を超える高温の環境下にて利用することができる。

上記キュリー温度 T_c が 200 未満の場合には，上記圧電磁器組成物を例えば自動車のエンジン付近のように高温の場所に用いると，その圧電 d_{31} 定数や電気機械結合係数 K_p 等の特性が低下するおそれがある。

また，上記キュリー温度 T_c は 250 以上であることがより好ましい。

【0040】

次に，上記圧電磁器組成物は，圧電 d_{31} 定数が 30 pm/V 以上で，かつキュリー温度 T_c が 200 以上であることが好ましい（請求項 12）。 50

この場合には、温度 100 を超える高温環境下において、上記圧電磁器組成物を感度の高いセンサ素子、超音波モータ素子、アクチュエータ素子、圧電トランス素子、圧電振動子等として利用することができる。

また、より感度の優れた圧電センサ特性又はより大きな圧電アクチュエータ特性を得るために、上記圧電 d_{31} 定数は 40 pm/V 以上であることが好ましい。さらに好ましくは 80 pm/V 以上がよい。さらに好ましくは、上記圧電 d_{31} 定数は 100 pm/V 以上がよい。

また、上記キュリー温度 T_c は 250 以上であることがより好ましい。

【0041】

次に、上記圧電磁器組成物は、圧電 g_{31} 定数が $7 \times 10^{-3} \text{ mVm/N}$ 以上で、かつキュリー温度 T_c が 200 以上であることが好ましい（請求項 13）。 10

この場合には、温度 100 を超える高温環境下において、上記圧電磁器組成物を昇圧比の優れた圧電トランス、超音波モータ素子、センサ素子等として利用することができる。

また、さらに昇圧比の優れたものを得るために、上記圧電 g_{31} 定数は $10 \times 10^{-3} \text{ Vm/N}$ 以上であることがより好ましい。

また、上記キュリー温度 T_c は 250 以上であることがより好ましい。

【0042】

次に、上記圧電磁器組成物は、電気機械結合係数 K_p が 0.3 以上で、かつキュリー温度 T_c が 200 以上であることが好ましい（請求項 14）。 20

この場合には、温度 100 を超える高温環境下において、上記圧電磁器組成物を機械エネルギーと電気エネルギーの変換効率に優れた圧電アクチュエータ素子、圧電振動子、センサ素子、圧電トランス素子、超音波モータ素子等として利用することができる。

また、機械エネルギーと電気エネルギーの変換効率がより一層優れたものを得るためには、上記電気機械結合係数 K_p は 0.34 以上であることがより好ましい。さらに好ましくは、 0.4 以上がよい。

また、上記キュリー温度 T_c は 250 以上であることがより好ましい。

【0043】

次に、上記圧電磁器組成物は、誘電損失が 0.09 以下で、かつキュリー温度 T_c が 200 以上であることが好ましい（請求項 15）。 30

この場合には、温度 100 を超える高温環境下において、上記圧電磁器組成物をコンデンサ等の誘電素子、圧電トランス素子、超音波モータ素子、センサ素子等として利用することができる。

また、上記誘電損失は 0.035 以下であることがより好ましい。

また、上記キュリー温度 T_c は 250 以上であることがより好ましい。

【0044】

次に、上記圧電磁器組成物は、圧電 d_{31} 定数が 30 pm/V 以上で、かつ電気機械結合係数 K_p が 0.3 以上で、かつキュリー温度 T_c が 200 以上であることが好ましい（請求項 16）。 40

この場合には、上記圧電磁器組成物を、温度 100 を超える高温環境下において使用することができ、感度及び機械エネルギーと電気エネルギーの変換効率に優れたものとすることができる。 40

また、より感度の優れた圧電センサ特性、又はより大きな圧電アクチュエータ特性を得るために、上記圧電 d_{31} 定数は 40 pm/V 以上であることがより好ましい。また、上記電気機械結合係数 K_p は、 0.34 以上であることがより好ましい。

【0045】

また、上記第 3 の発明（請求項 18）において、上記リチウムを含有する化合物としては、例えば Li_2CO_3 、 Li_2O 、 LiNO_3 、 LiOH 等がある。また、上記ナトリウムを含有する化合物としては、 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 、 NaNO_3 等がある。

【0046】

また、上記カリウムを含有してなる化合物としては、 K_2CO_3 、 KNO_3 、 $KNbO_3$ 、 $KTaO_3$ 等がある。また、上記ニオブを含有してなる化合物としては、例えば Nb_2O_5 、 Nb_2O_3 、 NbO_2 等がある。また、上記タンタルを含有してなる化合物としては、 Ta_2O_5 等がある。また、上記アンチモンを含有してなる化合物としては、例えば Sb_2O_5 、 Sb_2O_3 、 Sb_2O_4 等がある。

【0047】

次に、上記リチウムを含有する化合物は Li_2CO_3 であり、ナトリウムを含有してなる化合物は Na_2CO_3 であり、カリウムを含有してなる化合物は K_2CO_3 であり、ニオブを含有してなる化合物は Nb_2O_5 であり、タンタールを含有してなる化合物は Ta_2O_5 であり、アンチモンを含有してなる化合物は Sb_2O_5 または Sb_2O_3 であることが好ましい(請求項19)。

この場合には、上記圧電磁器組成物を容易に作製することができる。

【0048】

次に、上記第4の発明(請求項20)において、上記圧電素子としては、例えば圧電アクチュエータ、圧電フィルター、圧電振動子、圧電トランス、圧電超音波モータ、圧電ジャイロセンサ、ロックセンサ、ヨーレートセンサ、エアバッグセンサ、バックソナー、コーナーソナー、圧電ブザー、圧電スピーカー、圧電着火器等がある。

【0049】

次に、上記第5の発明(請求項21)において、上記誘電素子としては、例えばコンデンサ、積層コンデンサ等がある。

【実施例】

【0050】

(実施例)

次に、本発明の実施例にかかる圧電磁器組成物について説明する。

本例では、上記圧電磁器組成物を製造し、その特性を測定する。

本例の圧電磁器組成物は、一般式 $\{Li_x(K_{1-y}Na_y)_{1-x}\}(Nb_{1-z-w}Ta_zSb_w)O_3$ で表され、かつ x 、 y 、 z 、 w がそれぞれ $0 < x < 0.2$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < z < 0.4$ 、 $0 < w < 0.2$ の組成範囲にある。

【0051】

以下、本例の圧電磁器組成物の製造方法につき説明する。

まず、圧電磁器組成物の原料として、純度99%以上の高純度の Li_2CO_3 、 Na_2CO_3 、 K_2CO_3 、 Nb_2O_5 、 Ta_2O_5 、 Sb_2O_5 を準備した。

これらの原料を上記一般式 $\{Li_x(K_{1-y}Na_y)_{1-x}\}(Nb_{1-z-w}Ta_zSb_w)O_3$ において、 x 、 y 、 z 、 w が $0 < x < 0.2$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < z < 0.4$ 、 $0 < w < 0.2$ となるような化学量論比にて混合した。

【0052】

ここで、後述する表1～表6に示すごとく、 x としては、 $x = 0$ 、 0.01 、 0.02 、 0.03 、 0.04 、 0.06 、 0.08 、 0.10 、 0.15 、 0.20 となるようにした。

また、 y としては、 $y = 0$ 、 0.05 、 0.1 、 0.2 、 0.3 、 0.4 、 0.42 、 0.44 、 0.45 、 0.46 、 0.47 、 0.48 、 0.49 、 0.5 、 0.51 、 0.52 、 0.53 、 0.54 、 0.55 、 0.56 、 0.58 、 0.6 、 0.70 、 0.75 、 0.8 、 1.0 となるようにした。

また、 z としては、 $z = 0.002$ 、 0.08 、 0.10 、 0.12 、 0.14 、 0.16 、 0.18 、 0.20 、 0.22 、 0.30 となるようにした。

また、 w としては、 $w = 0.02$ 、 0.04 、 0.05 、 0.06 、 0.07 、 0.1 、 0.2 となるようにした。

そして、各化学量論組成になるように配合した原料をボールミルによりアセトン中で24時間混合して混合物を作製した。

【0053】

10

20

30

40

50

次に、この混合物を750℃にて5時間仮焼し、この仮焼後の混合物をボールミルにて24時間粉碎した。続いて、バインダーとしてポリビニールブチラールを添加し、造粒した。

造粒後の粉体を圧力2 t o n / c m²にて、直径18mm、厚さ1mmの円盤状に加圧成形し、この成形体を1000～1300℃にて1時間焼成し、焼成体を作製した。なお、このときの焼成温度は、1000～1300℃の間で最大密度になる温度を選定した。また、上記焼成体は、すべて相対密度98%以上に緻密化されていた。

【0054】

次に、焼成後の各焼成体の両面を平行研磨し、円形研磨した後、この円盤試料の両面にスパッタ法により金電極を設けた。そして、100℃のシリコンオイル中にて1～5kV/mmの直流電圧を10分間電極間に印加し、厚み方向に分極を施して圧電磁器組成物とした。

このようにして、182種類の化学量論組成を有する圧電磁器組成物（試料1～182）を作製した。各試料の化学組成比を表1～表6に示す。

【0055】

また、本例では、上記圧電磁器組成物の優れた特性を明らかにするため、以下のようにして比較品1～5を作製した。

まず、比較品1の原料として、純度99%以上の高純度のK₂CO₃、Na₂CO₃及びNb₂O₅を準備した。

これらの原料と一般式(K_{0.5}Na_{0.5})NbO₃となるような化学量論比にて、混合し、ボールミルによりアセトン中で24時間混合して混合物を得た。

この混合物を上記試料1～182と同様にして、仮焼、造粒、成形、焼成し、分極を施して、比較品1とした。

【0056】

また、純度99%以上の高純度のLi₂CO₃、K₂CO₃、Na₂CO₃、Nb₂O₅、Ta₂O₅、及びSb₂O₅を準備し、比較品2、3、4、及び5として、{Li_x(K_{1-y}Na_y)_{1-x}} (Nb_{1-z-w}Ta_zSb_w)組成式において、それぞれx=0.22、y=0.50、z=0.45、w=0.22、及びx=0.22、y=0.50、z=0.10、w=0.02、及びx=0.02、y=0.50、z=0.45、w=0.02、及びx=0.02、y=0.50、z=0.10、w=0.22となる試料を同様の方法にて作製した。

比較品1～5の化学組成比を表6に示す。

【0057】

次に、上記試料1～182及び比較品1～5について、圧電d₃₁定数、圧電g₃₁定数、電気機械結合係数K_p、キュリー温度T_c、比誘電率ε_{33T}/ε₀、誘電損失tanδを測定した。

【0058】

ここで圧電d₃₁定数、圧電g₃₁定数及び電気機械結合係数K_pは、インピーダンスアナライザーを用いて共振-反共振法により測定した。

また、誘電損失及び比誘電率は、インピーダンスアナライザーを用いて、測定周波数1kHzにて測定した。

また、キュリー温度T_cは、比誘電率が最も高いときの温度をもってキュリー温度T_cとした。

その結果を表7～表12に示す。

【0059】

また、上記試料2、4、5、8、15、16、31～34、40、41、48、49、71、72、74、75、79、80、81、88～90、103、104、107、110、112、115、118、119、123～129、133、134、136～140、143、145、151、152及び比較品1について、誘電損失の長期安定性を測定した。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 0 】

上記誘電損失の長期安定性の測定方法としては、まず、上記分極後の試料及び比較品 1 の誘電損失 \tan を上記と同様にインピーダンスアナライザーを用いて、測定周波数 1 kHz にて測定して、これを初期 \tan とした。さらに、分極から 50 日、100 日、又は 200 日経過後の誘電損失 \tan を測定し、初期 \tan の値と比較することにより、誘電損失の長期安定性を評価した。

その結果を表 13 ~ 表 14 に示す。

【 0 0 6 1 】

【表 1】

(表 1)

	x	y	z	w
試料 1	0	0.5	0.002	0.02
試料 2	0.02	0.5	0.002	0.02
試料 3	0.04	0.5	0.002	0.02
試料 4	0.06	0.5	0.002	0.02
試料 5	0.08	0.5	0.002	0.02
試料 6	0.1	0.5	0.002	0.02
試料 7	0	0.5	0.1	0.02
試料 8	0.02	0.5	0.1	0.02
試料 9	0.04	0.5	0.1	0.02
試料 10	0.06	0.5	0.1	0.02
試料 11	0.08	0.5	0.1	0.02
試料 12	0.1	0.5	0.1	0.02
試料 13	0.15	0.5	0.1	0.02
試料 14	0.2	0.5	0.1	0.02
試料 15	0	0.5	0.2	0.02
試料 16	0.02	0.5	0.2	0.02
試料 17	0.04	0.5	0.2	0.02
試料 18	0.06	0.5	0.2	0.02
試料 19	0.08	0.5	0.2	0.02
試料 20	0.1	0.5	0.2	0.02
試料 21	0.15	0.5	0.2	0.02
試料 22	0.2	0.5	0.2	0.02
試料 23	0	0.5	0.3	0.02
試料 24	0.02	0.5	0.3	0.02
試料 25	0.04	0.5	0.3	0.02
試料 26	0.06	0.5	0.3	0.02
試料 27	0.08	0.5	0.3	0.02
試料 28	0.1	0.5	0.3	0.02
試料 29	0.15	0.5	0.3	0.02
試料 30	0.2	0.5	0.3	0.02

10

20

30

40

【 0 0 6 2 】

【表 2】
(表 2)

	x	y	z	w
試料 3 1	0	0.5	0.002	0.04
試料 3 2	0.02	0.5	0.002	0.04
試料 3 3	0.04	0.5	0.002	0.04
試料 3 4	0.06	0.5	0.002	0.04
試料 3 5	0.08	0.5	0.002	0.04
試料 3 6	0.1	0.5	0.002	0.04
試料 3 7	0.15	0.5	0.002	0.04
試料 3 8	0.2	0.5	0.002	0.04
試料 3 9	0	0.5	0.1	0.04
試料 4 0	0.02	0.5	0.1	0.04
試料 4 1	0.04	0.5	0.1	0.04
試料 4 2	0.06	0.5	0.1	0.04
試料 4 3	0.08	0.5	0.1	0.04
試料 4 4	0.1	0.5	0.1	0.04
試料 4 5	0.15	0.5	0.1	0.04
試料 4 6	0.2	0.5	0.1	0.04
試料 4 7	0	0.5	0.2	0.04
試料 4 8	0.02	0.5	0.2	0.04
試料 4 9	0.04	0.5	0.2	0.04
試料 5 0	0.06	0.5	0.2	0.04
試料 5 1	0.08	0.5	0.2	0.04
試料 5 2	0.1	0.5	0.2	0.04
試料 5 3	0.15	0.5	0.2	0.04
試料 5 4	0.2	0.5	0.2	0.04
試料 5 5	0	0.5	0.3	0.04
試料 5 6	0.02	0.5	0.3	0.04
試料 5 7	0.04	0.5	0.3	0.04
試料 5 8	0.06	0.5	0.3	0.04
試料 5 9	0.08	0.5	0.3	0.04
試料 6 0	0.1	0.5	0.3	0.04
試料 6 1	0.15	0.5	0.3	0.04
試料 6 2	0.2	0.5	0.3	0.04

10

20

30

【 0 0 6 3 】

【表 3】
(表 3)

	x	y	z	w
試料 6 3	0	0.5	0.4	0.04
試料 6 4	0.02	0.5	0.4	0.04
試料 6 5	0.04	0.5	0.4	0.04
試料 6 6	0.06	0.5	0.4	0.04
試料 6 7	0.08	0.5	0.4	0.04
試料 6 8	0.1	0.5	0.4	0.04
試料 6 9	0.15	0.5	0.4	0.04
試料 7 0	0.2	0.5	0.4	0.04
試料 7 1	0	0.5	0.002	0.06
試料 7 2	0.02	0.5	0.002	0.06
試料 7 3	0.04	0.5	0.002	0.06
試料 7 4	0.06	0.5	0.002	0.06
試料 7 5	0.08	0.5	0.002	0.06
試料 7 6	0.1	0.5	0.002	0.06
試料 7 7	0.15	0.5	0.002	0.06
試料 7 8	0.2	0.5	0.002	0.06
試料 7 9	0	0.5	0.1	0.06
試料 8 0	0.02	0.5	0.1	0.06
試料 8 1	0.04	0.5	0.1	0.06
試料 8 2	0.06	0.5	0.1	0.06
試料 8 3	0.08	0.5	0.1	0.06
試料 8 4	0.1	0.5	0.1	0.06
試料 8 5	0.15	0.5	0.1	0.06
試料 8 6	0.2	0.5	0.1	0.06
試料 8 7	0	0.5	0.2	0.06
試料 8 8	0.02	0.5	0.2	0.06
試料 8 9	0.04	0.5	0.2	0.06
試料 9 0	0.06	0.5	0.2	0.06
試料 9 1	0.08	0.5	0.2	0.06
試料 9 2	0.1	0.5	0.2	0.06
試料 9 3	0.15	0.5	0.2	0.06
試料 9 4	0.2	0.5	0.2	0.06

10

20

30

【 0 0 6 4 】

【表 4】
(表 4)

	x	y	z	w
試料 9 5	0	0.5	0.3	0.06
試料 9 6	0.02	0.5	0.3	0.06
試料 9 7	0.04	0.5	0.3	0.06
試料 9 8	0.06	0.5	0.3	0.06
試料 9 9	0.08	0.5	0.3	0.06
試料 1 0 0	0.1	0.5	0.3	0.06
試料 1 0 1	0.15	0.5	0.3	0.06
試料 1 0 2	0.2	0.5	0.3	0.06
試料 1 0 3	0.02	0.5	0.12	0.04
試料 1 0 4	0.04	0.5	0.12	0.04
試料 1 0 5	0.06	0.5	0.12	0.04
試料 1 0 6	0.02	0.5	0.14	0.04
試料 1 0 7	0.04	0.5	0.14	0.04
試料 1 0 8	0.06	0.5	0.14	0.04
試料 1 0 9	0.02	0.5	0.16	0.04
試料 1 1 0	0.04	0.5	0.16	0.04
試料 1 1 1	0.06	0.5	0.16	0.04
試料 1 1 2	0.02	0.5	0.18	0.04
試料 1 1 3	0.04	0.5	0.18	0.04
試料 1 1 4	0.01	0.5	0.2	0.04
試料 1 1 5	0.03	0.5	0.2	0.04
試料 1 1 6	0.02	0.5	0.22	0.04
試料 1 1 7	0.04	0.5	0.22	0.04
試料 1 1 8	0.02	0.5	0.08	0.05
試料 1 1 9	0.04	0.5	0.08	0.05
試料 1 2 0	0.06	0.5	0.08	0.05
試料 1 2 1	0.02	0.5	0.1	0.05
試料 1 2 2	0.04	0.5	0.1	0.05
試料 1 2 3	0.06	0.5	0.1	0.05
試料 1 2 4	0.02	0.5	0.12	0.05
試料 1 2 5	0.04	0.5	0.12	0.05
試料 1 2 6	0.06	0.5	0.12	0.05
試料 1 2 7	0.02	0.5	0.14	0.05
試料 1 2 8	0.04	0.5	0.14	0.05
試料 1 2 9	0.06	0.5	0.14	0.05

10

20

30

40

【 0 0 6 5 】

【表 5】
(表 5)

	x	y	z	w
試料 1 3 0	0.02	0.5	0.16	0.05
試料 1 3 1	0.04	0.5	0.16	0.05
試料 1 3 2	0.06	0.5	0.16	0.05
試料 1 3 3	0.02	0.5	0.08	0.06
試料 1 3 4	0.04	0.5	0.08	0.06
試料 1 3 5	0.06	0.5	0.08	0.06
試料 1 3 6	0.03	0.5	0.1	0.06
試料 1 3 7	0.05	0.5	0.1	0.06
試料 1 3 8	0.02	0.5	0.12	0.06
試料 1 3 9	0.04	0.5	0.12	0.06
試料 1 4 0	0.06	0.5	0.12	0.06
試料 1 4 1	0.02	0.5	0.14	0.06
試料 1 4 2	0.04	0.5	0.14	0.06
試料 1 4 3	0.06	0.5	0.14	0.06
試料 1 4 4	0.02	0.5	0.16	0.06
試料 1 4 5	0.04	0.5	0.16	0.06
試料 1 4 6	0.06	0.5	0.16	0.06
試料 1 4 7	0.02	0.5	0.08	0.07
試料 1 4 8	0.04	0.5	0.08	0.07
試料 1 4 9	0.06	0.5	0.08	0.07
試料 1 5 0	0.02	0.5	0.1	0.07
試料 1 5 1	0.04	0.5	0.1	0.07
試料 1 5 2	0.06	0.5	0.1	0.07
試料 1 5 3	0.02	0.5	0.12	0.07
試料 1 5 4	0.04	0.5	0.12	0.07

10

20

30

【 0 0 6 6 】

【表 6】
(表 6)

	x	y	z	w
試料 1 5 5	0.04	0	0.1	0.06
試料 1 5 6	0.04	0.2	0.1	0.06
試料 1 5 7	0.04	0.4	0.1	0.06
試料 1 5 8	0.04	0.5	0.1	0.06
試料 1 5 9	0.04	0.6	0.1	0.06
試料 1 6 0	0.04	0.8	0.1	0.06
試料 1 6 1	0.04	1	0.1	0.06
試料 1 6 2	0.04	0.05	0.1	0.06
試料 1 6 3	0.04	0.1	0.1	0.06
試料 1 6 4	0.04	0.3	0.1	0.06
試料 1 6 5	0.04	0.42	0.1	0.06
試料 1 6 6	0.04	0.44	0.1	0.06
試料 1 6 7	0.04	0.45	0.1	0.06
試料 1 6 8	0.04	0.46	0.1	0.06
試料 1 6 9	0.04	0.47	0.1	0.06
試料 1 7 0	0.04	0.48	0.1	0.06
試料 1 7 1	0.04	0.49	0.1	0.06
試料 1 7 2	0.04	0.51	0.1	0.06
試料 1 7 3	0.04	0.52	0.1	0.06
試料 1 7 4	0.04	0.53	0.1	0.06
試料 1 7 5	0.04	0.54	0.1	0.06
試料 1 7 6	0.04	0.55	0.1	0.06
試料 1 7 7	0.04	0.56	0.1	0.06
試料 1 7 8	0.04	0.58	0.1	0.06
試料 1 7 9	0.04	0.7	0.1	0.06
試料 1 8 0	0.04	0.75	0.1	0.06
試料 1 8 1	0.02	0.5	0.1	0.1
試料 1 8 2	0.02	0.5	0.1	0.2
比較品 1	0	0.5	0	0
比較品 2	0.22	0.5	0.45	0.22
比較品 3	0.22	0.5	0.1	0.02
比較品 4	0.02	0.5	0.45	0.02
比較品 5	0.02	0.5	0.1	0.22

10

20

30

40

【 0 0 6 7 】

【表 7】
(表 7)

	d_{31} (pm/V)	K_p	g_{31} ($\times 10^{-3} V_m/N$)	$\epsilon_{33T}/\epsilon_0$	$\tan \delta$	T_c ($^{\circ}C$)
試料 1	52.1	0.463	12.1	486	0.032	369
試料 2	52.9	0.444	11.3	526	0.046	394
試料 3	69.0	0.451	10.2	810	0.040	398
試料 4	84.3	0.457	8.7	1092	0.072	430
試料 5	72.5	0.411	7.5	1090	0.099	441
試料 6	49.6	0.291	5.0	1122	0.041	453
試料 7	39.2	0.360	10.0	1193	0.026	244
試料 8	66.4	0.446	9.5	786	0.040	335
試料 9	88.9	0.463	8.3	1209	0.037	355
試料 10	83.0	0.468	8.3	1124	0.040	374
試料 11	66.4	0.404	7.3	1028	0.089	385
試料 12	50.5	0.355	7.1	825	0.062	396
試料 13	38.2	0.284	5.8	739	0.059	407
試料 14	25.2	0.200	4.7	607	0.042	413
試料 15	58.6	0.346	6.1	1090	0.037	218
試料 16	84.0	0.450	7.5	1272	0.036	292
試料 17	87.2	0.444	7.6	1290	0.029	270
試料 18	67.9	0.428	7.7	996	0.029	316
試料 19	53.4	0.389	7.5	809	0.047	331
試料 20	45.1	0.341	6.6	775	0.029	330
試料 21	33.6	0.275	5.8	651	0.025	343
試料 22	28.7	0.226	4.8	679	0.129	352
試料 23	13.0	0.076	1.2	1489	0.107	192
試料 24	33.8	0.160	2.6	1454	0.048	214
試料 25	63.8	0.368	5.9	1213	0.022	227
試料 26	56.7	0.382	6.8	947	0.041	248
試料 27	45.8	0.339	6.4	812	0.092	269
試料 28	41.5	0.310	5.8	812	0.116	276
試料 29	29.8	0.230	5.3	641	0.129	296
試料 30	22.9	0.179	3.9	661	0.116	296

10

20

30

【 0 0 6 8 】

【表 8】
(表 8)

	d_{31} (pm/V)	K_p	g_{31} ($\times 10^{-3} V_m/N$)	$\epsilon_{33T}/\epsilon_0$	$\tan \delta$	T_c ($^{\circ}C$)
試料 3 1	86.2	0.623	16.2	603	0.032	330
試料 3 2	62.9	0.478	12.7	559	0.050	346
試料 3 3	65.3	0.433	9.2	798	0.059	370
試料 3 4	99.8	0.484	8.0	1407	0.086	384
試料 3 5	61.7	0.363	6.6	1057	0.040	399
試料 3 6	55.8	0.344	6.3	1008	0.095	407
試料 3 7	42.2	0.282	5.5	873	0.129	437
試料 3 8	26.6	0.194	4.2	706	0.138	448
試料 3 9	74.8	0.452	6.6	1275	0.029	275
試料 4 0	70.1	0.465	9.5	1233	0.035	292
試料 4 1	96.1	0.452	7.8	1389	0.026	309
試料 4 2	76.8	0.426	7.2	1204	0.019	328
試料 4 3	58.7	0.355	6.4	1043	0.031	337
試料 4 4	52.9	0.342	6.0	1000	0.057	347
試料 4 5	35.9	0.250	4.8	851	0.085	358
試料 4 6	39.4	0.274	5.2	849	0.082	361
試料 4 7	81.0	0.440	8.1	1133	0.025	209
試料 4 8	108.0	0.452	7.0	1907	0.028	231
試料 4 9	88.9	0.440	7.0	1437	0.018	252
試料 5 0	67.7	0.416	7.0	1091	0.020	272
試料 5 1	53.7	0.355	6.3	956	0.017	280
試料 5 2	46.4	0.323	5.8	907	0.034	289
試料 5 3	31.3	0.231	4.5	790	0.039	302
試料 5 4	27.5	0.214	4.4	713	0.033	319
試料 5 5	55.0	0.321	2.7	2274	0.023	140
試料 5 6	81.6	0.341	4.2	2199	0.026	168
試料 5 7	70.5	0.370	5.4	1478	0.019	196
試料 5 8	62.3	0.376	7.0	1098	0.021	212
試料 5 9	46.1	0.322	5.5	944	0.024	225
試料 6 0	36.6	0.269	4.7	874	0.019	232
試料 6 1	23.7	0.185	3.5	776	0.023	247
試料 6 2	20.4	0.164	3.3	700	0.035	260

10

20

30

40

【 0 0 6 9 】

【表 9】
(表 9)

	d_{31} (pm/V)	K_p	g_{31} ($\times 10^{-3} V_m/N$)	$\epsilon_{33T}/\epsilon_0$	$\tan \delta$	T_c ($^{\circ}C$)
試料 6 3	4.9	0.080	0.2	3625	0.085	76
試料 6 4	19.9	0.080	0.8	2656	0.032	104
試料 6 5	34.8	0.179	8.0	1687	0.026	132
試料 6 6	36.3	0.223	3.2	1269	0.023	150
試料 6 7	41.0	0.288	4.8	972	0.018	173
試料 6 8	30.1	0.226	3.8	889	0.019	177
試料 6 9	22.3	0.178	3.3	757	0.016	199
試料 7 0	16.1	0.129	2.5	719	0.018	201
試料 7 1	66.3	0.452	9.7	769	0.040	289
試料 7 2	66.8	0.435	9.2	819	0.036	307
試料 7 3	86.9	0.476	8.8	1121	0.035	326
試料 7 4	104.0	0.502	8.4	1399	0.018	341
試料 7 5	78.9	0.400	7.3	1386	0.136	365
試料 7 6	71.2	0.397	7.0	1146	0.073	389
試料 7 7	67.9	0.388	7.0	1094	0.040	386
試料 7 8	40.6	0.287	5.5	849	0.040	400
試料 7 9	61.4	0.311	5.1	1358	0.040	227
試料 8 0	85.1	0.425	7.0	1414	0.035	253
試料 8 1	114.9	0.494	7.1	1841	0.027	272
試料 8 2	83.6	0.444	7.0	1358	0.017	290
試料 8 3	66.0	0.387	6.4	1159	0.029	306
試料 8 4	54.8	0.344	6.1	1021	0.027	318
試料 8 5	40.1	0.283	5.4	845	0.040	351
試料 8 6	26.2	0.200	4.1	721	0.056	371
試料 8 7	38.4	0.152	3.7	1175	0.037	166
試料 8 8	90.6	0.346	4.4	2305	0.030	192
試料 8 9	83.3	0.384	5.3	1769	0.021	216
試料 9 0	68.2	0.389	5.9	1298	0.020	233
試料 9 1	50.0	0.318	5.3	1060	0.018	247
試料 9 2	40.5	0.272	4.7	980	0.017	249
試料 9 3	32.7	0.238	4.7	784	0.025	288
試料 9 4	24.4	0.181	3.5	797	0.092	296

10

20

30

【 0 0 7 0 】

40

【表 1 0】
(表 1 0)

	d_{31} (pm/V)	K_p	g_{31} ($\times 10^{-3} \text{Vm/N}$)	$\epsilon_{33T} / \epsilon_0$	$\tan \delta$	T_c ($^{\circ}\text{C}$)
試料 9 5	0.0	0.000	0.0	3058	0.110	105
試料 9 6	16.7	0.061	0.8	2422	0.065	130
試料 9 7	54.8	0.258	3.5	1786	0.025	156
試料 9 8	48.5	0.277	4.1	1351	0.022	173
試料 9 9	38.6	0.245	3.8	1161	0.022	186
試料 1 0 0	33.8	0.221	3.4	1109	0.022	188
試料 1 0 1	26.9	0.200	3.8	803	0.024	248
試料 1 0 2	22.7	0.184	3.8	670	0.023	252
試料 1 0 3	73.5	0.426	7.9	1050	0.031	280
試料 1 0 4	92.1	0.447	7.2	1453	0.024	302
試料 1 0 5	80.9	0.452	7.7	1190	0.029	273
試料 1 0 6	84.7	0.468	8.3	1150	0.030	265
試料 1 0 7	99.4	0.480	7.7	1466	0.016	289
試料 1 0 8	73.1	0.429	7.4	1122	0.014	307
試料 1 0 9	90.7	0.449	7.3	1406	0.032	253
試料 1 1 0	104.3	0.483	7.4	1597	0.019	276
試料 1 1 1	72.3	0.428	7.3	1127	0.038	291
試料 1 1 2	101.9	0.445	6.7	1715	0.030	245
試料 1 1 3	89.0	0.425	6.7	1503	0.017	265
試料 1 1 4	115.2	0.449	6.4	2024	0.024	221
試料 1 1 5	113.4	0.488	7.3	1748	0.021	243
試料 1 1 6	84.1	0.398	6.8	1393	0.035	221
試料 1 1 7	89.2	0.436	6.5	1552	0.017	243
試料 1 1 8	70.3	0.429	8.0	988	0.043	281
試料 1 1 9	97.0	0.466	7.5	1458	0.022	297
試料 1 2 0	86.5	0.461	7.4	1314	0.040	317
試料 1 2 1	70.5	0.403	7.2	1099	0.033	266
試料 1 2 2	107.2	0.473	7.1	1698	0.022	290
試料 1 2 3	82.3	0.447	7.3	1276	0.056	309
試料 1 2 4	74.3	0.416	7.4	1140	0.031	258
試料 1 2 5	123.6	0.548	8.4	1665	0.024	273
試料 1 2 6	75.2	0.422	7.0	1218	0.020	295
試料 1 2 7	79.7	0.406	7.2	1396	0.034	248
試料 1 2 8	103.9	0.469	7.0	1688	0.018	270
試料 1 2 9	77.3	0.445	7.4	1183	0.012	286

10

20

30

40

【 0 0 7 1 】

【表 1 1】
(表 1 1)

	d_{31} (pm/V)	K_p	g_{31} ($\times 10^{-3}$ Vm/N)	$\epsilon_{33T}/\epsilon_0$	$\tan \delta$	T_c ($^{\circ}$ C)
試料 1 3 0	96.5	0.434	7.1	1527	0.033	236
試料 1 3 1	97.8	0.444	6.4	1722	0.018	253
試料 1 3 2	74.4	0.428	6.9	1211	0.030	274
試料 1 3 3	68.8	0.380	6.6	1177	0.033	264
試料 1 3 4	107.5	0.487	7.1	1708	0.030	278
試料 1 3 5	81.1	0.425	6.6	1381	0.022	294
試料 1 3 6	105.1	0.454	7.1	1738	0.027	259
試料 1 3 7	92.5	0.463	7.0	1497	0.014	280
試料 1 3 8	87.8	0.416	7.1	1392	0.033	236
試料 1 3 9	107.4	0.478	7.0	1740	0.020	260
試料 1 4 0	79.9	0.434	6.9	1302	0.022	273
試料 1 4 1	86.8	0.402	6.4	1527	0.032	226
試料 1 4 2	95.5	0.431	6.1	1759	0.019	247
試料 1 4 3	75.8	0.422	6.8	1250	0.013	265
試料 1 4 4	106.6	0.438	6.3	1921	0.030	215
試料 1 4 5	100.6	0.444	6.4	1761	0.016	234
試料 1 4 6	70.1	0.397	6.4	1240	0.014	250
試料 1 4 7	82.1	0.425	6.9	1349	0.035	240
試料 1 4 8	107.5	0.447	6.2	1955	0.022	265
試料 1 4 9	90.3	0.448	6.7	1532	0.028	278
試料 1 5 0	85.3	0.416	6.4	1506	0.034	228
試料 1 5 1	111.1	0.458	6.1	2053	0.022	256
試料 1 5 2	78.5	0.404	6.1	1464	0.026	265
試料 1 5 3	78.0	0.357	5.1	1725	0.037	217
試料 1 5 4	111.5	0.457	6.0	2100	0.024	235

10

20

30

【 0 0 7 2 】

【表 1 2】

(表 1 2)

	d_{31} (pm/V)	K_p	g_{31} ($\times 10^{-3} V_m/N$)	$\epsilon_{33T}/\epsilon_0$	$\tan \delta$	T_c ($^{\circ}C$)	d_{31} 比
試料 1 5 5	36.0	0.246	4.8	846	0.041	286	0.31
試料 1 5 6	51.9	0.305	5.3	1103	0.044	270	0.45
試料 1 5 7	96.2	0.439	6.6	1636	0.027	270	0.84
試料 1 5 8	114.9	0.494	7.1	1841	0.027	269	1
試料 1 5 9	106.2	0.454	6.7	1780	0.025	270	0.92
試料 1 6 0	25.1	0.260	7.5	377	0.036	264	0.22
試料 1 6 1	18.0	0.222	7.5	301	0.027	265	0.16
試料 1 6 2	40.0	0.261	4.9	910	0.042	282	0.35
試料 1 6 3	44.0	0.275	5.1	975	0.043	278	0.38
試料 1 6 4	80.0	0.372	6.0	1369	0.036	270	0.7
試料 1 6 5	104.4	0.470	7.5	1582	0.024	270	0.91
試料 1 6 6	113.4	0.483	7.2	1798	0.023	270	0.99
試料 1 6 7	122.3	0.496	6.9	2013	0.022	270	1.06
試料 1 6 8	126.9	0.509	7.1	2033	0.021	270	1.1
試料 1 6 9	125.1	0.506	7.1	1980	0.021	270	1.09
試料 1 7 0	122.2	0.488	6.6	2091	0.019	270	1.06
試料 1 7 1	123.3	0.501	7.0	2004	0.022	270	1.07
試料 1 7 2	123.3	0.496	6.9	2017	0.025	270	1.07
試料 1 7 3	127.3	0.509	7.0	2051	0.020	270	1.11
試料 1 7 4	127.5	0.503	6.9	2079	0.021	270	1.11
試料 1 7 5	132.4	0.511	7.0	2136	0.021	270	1.15
試料 1 7 6	124.7	0.491	6.8	2066	0.021	270	1.09
試料 1 7 7	123.9	0.488	6.8	2045	0.023	270	1.08
試料 1 7 8	123.0	0.485	6.9	2023	0.024	270	1.07
試料 1 7 9	60.0	0.357	7.1	1078	0.030	267	0.52
試料 1 8 0	45.0	0.309	7.3	727	0.033	266	0.39
試料 1 8 1	66.2	0.239	4.0	1733	0.040	185.5	
試料 1 8 2	47.1	0.061	1.2	2312	0.040	80.5	
比較品 1	37.6	0.334	9.9	429	0.036	415	
比較品 2	0.5	0.027	0.0	1762	0.111	室温 以下	
比較品 3	9.8	0.069	1.6	680	0.141	400	
比較品 4	42.6	0.193	2.3	2093	0.025	114.2	
比較品 5	13.3	0.053	0.6	2471	0.041	71	

10

20

30

40

【 0 0 7 3 】

【表 1 3】

(表 1 3)

	初期 tan δ	50日後 tan δ	100日後 tan δ	200日後 tan δ
試料 2	0.046		0.132	
試料 4	0.072		0.253	
試料 5	0.099		0.432	
試料 8	0.040			0.053
試料 1 5	0.037		0.038	
試料 1 6	0.036		0.036	
試料 3 1	0.032		0.041	
試料 3 2	0.050		0.050	
試料 3 3	0.059			0.088
試料 3 4	0.086			0.141
試料 4 0	0.035			0.033
試料 4 1	0.026			0.023
試料 4 8	0.028			0.029
試料 4 9	0.018			0.017
試料 7 1	0.040		0.040	
試料 7 2	0.036		0.046	
試料 7 4	0.018		0.020	
試料 7 5	0.056		0.130	
試料 7 9	0.038			0.035
試料 8 0	0.035			0.042
試料 8 1	0.027			0.024
試料 8 8	0.030	0.030		
試料 8 9	0.021		0.019	
試料 9 0	0.020		0.044	
試料 1 0 3	0.031	0.032		
試料 1 0 4	0.024	0.024		

10

20

30

【 0 0 7 4 】

【表 1 4】
(表 1 4)

	初期 tan δ	50日後 tan δ	100日後 tan δ	200日後 tan δ
試料 1 0 7	0.016	0.017		
試料 1 1 0	0.019	0.022		
試料 1 1 2	0.030	0.029		
試料 1 1 5	0.021		0.032	
試料 1 1 8	0.043	0.043		
試料 1 1 9	0.022	0.020		
試料 1 2 3	0.056	0.059		
試料 1 2 4	0.031	0.033		
試料 1 2 5	0.024	0.020		
試料 1 2 6	0.020		0.027	
試料 1 2 7	0.034	0.034		
試料 1 2 8	0.018	0.021		
試料 1 2 9	0.012		0.014	
試料 1 3 3	0.033	0.032		
試料 1 3 4	0.030	0.030		
試料 1 3 6	0.027	0.029		
試料 1 3 7	0.014		0.015	
試料 1 3 8	0.033		0.031	
試料 1 3 9	0.020		0.025	
試料 1 4 0	0.022		0.032	
試料 1 4 3	0.013		0.012	
試料 1 4 5	0.016	0.013		
試料 1 5 1	0.022	0.023		
試料 1 5 2	0.026	0.020		
比較品 1	0.036	0.120	0.220	0.250

10

20

30

【 0 0 7 5 】

表 6 ~ 表 1 2 より知られるごとく，試料 1 ~ 1 3 ， 1 5 ~ 2 0 ， 2 5 ~ 2 8 ， 3 1 ~ 3 7 ， 3 9 ~ 4 4 ， 4 6 ~ 5 2 ， 5 5 ~ 5 9 ， 6 7 ， 7 1 ~ 8 5 ， 8 7 ~ 9 2 ， 9 7 ~ 9 9 ， 1 0 3 ~ 1 5 4 ， 1 5 6 ~ 1 5 9 ， 1 6 2 ~ 1 8 2 は，比較品 1 より高い圧電 d_{31} 定数を示した。

ここで，表 1 2 における試料 1 5 5 ~ 試料 1 8 0 は，上記一般式 $\{Li_x(K_{1-y}Na_y)_{1-x}\}(Nb_{1-z}Ta_zSb_w)O_3$ において， x ， z 及び w の値を固定し， y の値を変化させたときの各種圧電特性及び誘電特性を示している。試料 1 5 5 ~ 試料 1 8 0 においては， y の値を変化させたときの圧電 d_{31} 定数の変化を明らかにするため， $y = 0.5$ (試料 1 5 8) のときの圧電 d_{31} 定数の値に対する，試料 1 5 5 ~ 1 8 0 の各圧電 d_{31} 定数値の比を d_{31} 比として示している。

40

【 0 0 7 6 】

また，表 6 ~ 1 2 より知られるごとく，試料 1 ~ 5 ， 7 ~ 1 2 ， 1 5 ~ 2 0 ， 2 5 ~ 2 8 ， 3 1 ~ 3 6 ， 3 9 ~ 4 4 ， 4 7 ~ 5 1 ， 5 6 ~ 5 8 ， 7 1 ~ 7 8 ， 8 0 ~ 8 4 ， 8 8 ~ 9 0 ， 1 0 3 ~ 1 5 4 ， 1 5 7 ~ 1 5 9 ， 1 6 4 ~ 1 7 9 は，比較品 1 より高い電気機械結合係数 K_p を示した。

【 0 0 7 7 】

また，試料 1 ~ 1 5 9 及び試料 1 6 2 ~ 1 8 2 は，430 以上という高い比誘電率を示し，比較品 1 よりも優れていた。

50

また、試料 1 ~ 5, 7 ~ 12, 16 ~ 20, 31 ~ 34, 40 ~ 42, 47 ~ 50, 58, 65, 71 ~ 77, 80 ~ 82, 103 ~ 111, 115, 118 ~ 130, 134, 136 ~ 139, 158, 160 ~ 161, 165 ~ 166, 168 ~ 169, 171, 173, 175, 及び試料 179 ~ 180 は、 7.0×10^{-3} 以上という高い圧電 d_{31} 定数を示した。

【0078】

また、試料 1 ~ 22, 24 ~ 54, 58 ~ 62, 70 ~ 86, 89 ~ 94, 101 ~ 180 は、200 以上という高いキュリー温度 T_c を示した。

また、試料 1 ~ 22, 24 ~ 26, 31 ~ 35, 39 ~ 74, 76 ~ 94, 96 ~ 182 は、0.09 以下という低い誘電損失 $\tan \delta$ を示した。

10

【0079】

また、表 13 及び表 14 より知られるごとく、各試料の誘電損失は、50 日、100 日、又は 200 日経過後も、大きく上昇することなく、安定性に優れていた。これに対し、比較品 1 の誘電損失は、50 日経過後には初期 $\tan \delta$ の 3 倍、100 日経過後には 6 倍を超えて増加した。また、200 日経過後には初期 $\tan \delta$ の 7 倍近くまで増加しており、安定性に問題があった。

【0080】

ここで、圧電 d_{31} 定数に注目すると、表 1 ~ 表 12 より知られるごとく、 $x = 0.04$, $y = 0.54$, $z = 0.1$, 及び $w = 0.06$ (試料 175) のとき、圧電 d_{31} 定数は、 132.4 pm/V というもっとも高い値を示した。

20

【0081】

また、表 6 及び表 12 より知られるごとく、上記一般式 $\{Li_x(K_{1-y}Na_y)_{1-x}\}(Nb_{1-z-w}Ta_zSb_w)O_3$ において、 y の値を変化させて、上記圧電磁器組成物を作製すると、圧電 d_{31} 定数が大きく変化することがわかる。

そこで、上記一般式における y の値と圧電 d_{31} 定数の関係をわかりやすくするため、表 12 中の圧電 d_{31} 定数の結果を図 1 に示した。図 1 は、横軸が上記一般式における y の値を示し、縦軸が圧電 d_{31} 定数を示すものである。

【0082】

図 1 より知られるごとく、 40 pm/V 以上という高い圧電 d_{31} 定数を実現するためには、上記一般式 $\{Li_x(K_{1-y}Na_y)_{1-x}\}(Nb_{1-z-w}Ta_zSb_w)O_3$ における y の値を、 $0.05 < y < 0.75$ とすることが好ましいことがわかる。また、 y の値の範囲が $0.35 < y < 0.65$ の場合には、 80 pm/V 以上というより高い圧電 d_{31} 定数を実現することができる。さらに、 y の値の範囲が $0.42 < y < 0.60$ の場合には、 100 pm/V を越える、より一層高い圧電 d_{31} 定数を実現することができる。ただし、この好ましい y の値の範囲は、上記一般式における x , z , 及び w の値が変わると変化する。

30

【0083】

電荷検出型回路或いは電流検出型回路を用いた場合には、一般に上記圧電 d_{31} 定数は、加速度センサ、加重センサ、衝撃センサ及びノックセンサ等の圧電型センサの出力電圧に比例する。その点からみると、圧電 d_{31} 定数が高い圧電磁器組成物ほど電荷センサ出力の大きなセンサ素子を作ることができる。そして、比較品 1 と同等以上の特性を有するセンサ素子を作製するには、少なくとも 30 pm/V 以上の圧電 d_{31} 定数を有することが好ましいといえる。さらに信号雑音比 (SN 比) 及び出力電圧を高めて高感度なセンサ素子を作製するためには、上記圧電 d_{31} 定数は 80 pm/V 以上のものがよい。さらに好ましくは 100 pm/V 以上のものがよい。

40

【0084】

また、アクチュエータとして使用する場合には、一般に上記圧電 d_{31} 定数は圧電アクチュエータの発生歪或いは変位量に比例する。その点からみると、圧電 d_{31} 定数が高い圧電磁器組成物ほど発生歪或いは変位量の大きなアクチュエータ素子を作ることができる。そして比較品 1 と同等以上の特性を有するアクチュエータ素子を作製するには、少なくとも 30 pm/V 以上の圧電 d_{31} 定数を有することが好ましいといえる。より好ましくは 40

50

$\text{p m} / \text{V}$ 以上がよい。さらに変位量の大きなアクチュエータを作製するためには、上記圧電 d_{31} 定数は $80 \text{ p m} / \text{V}$ 以上のものがよい。さらに好ましくは $100 \text{ p m} / \text{V}$ 以上のものがよい。

【0085】

また、電気機械結合係数 K_p に注目すると、表1～表12より知られるごとく、 $x = 0$ 、 $y = 0.5$ 、 $z = 0.002$ 、及び $w = 0.04$ (試料31) のとき、電気機械結合係数 K_p は、 0.623 というもっとも高い値を示した。

【0086】

一般に、上記電気機械結合係数 K_p は、圧電トランス素子、超音波モータ素子、アクチュエータ素子、又は超音波振動子等の電気機械エネルギー変換効率に比例する。その点からみると、電気機械結合係数 K_p が高い圧電磁器組成物ほど電気機械エネルギー変換効率の高い圧電トランス素子、超音波モータ素子、アクチュエータ素子、又は超音波振動子を作ることができる。そして、比較品1と同等以上の特性を有する圧電トランス素子、超音波モータ素子、アクチュエータ素子、又は超音波振動子を作製するには、少なくとも 0.3 以上の電気機械結合係数 K_p を有することが好ましいといえる。より好ましくは 0.34 以上がよい。さらに好ましくは、 0.4 以上がよい。また、さらに好ましくは 0.5 以上がよい。

【0087】

また、キュリー温度 T_c に注目すると、試料1～22、24～54、58～62、70～86、89～94、101～180の圧電磁器組成物のキュリー温度 T_c は、 200 以上という高い値をとっている。そのため、上記組成領域にある本例の圧電磁器組成物は、例えば自動車のエンジン付近等の高温部においても長時間安定に使用することができるノックセンサ等の高温用のセンサ部品、アクチュエータ部品、超音波モータ部品等として利用することができる。

また、上記高温用のセンサ部品、アクチュエータ部品、超音波モータ部品等としてさらに長時間安定に使用するためには、上記キュリー温度 T_c は、 200 以上であることが好ましい。さらに好ましくは、 250 以上のものがよい。

【0088】

また、圧電 g_{31} 定数に注目すると、表1～表12より知られるごとく、 $x = 0$ 、 $y = 0.5$ 、 $z = 0.002$ 、及び $w = 0.04$ (試料31) のとき、圧電 g_{31} 定数は、 $16.2 \times 10^{-3} \text{ V m} / \text{N}$ というもっとも高い値を示した。

【0089】

圧電 g_{31} 定数は、上記圧電 d_{31} 定数と同様に、圧電型センサ、圧電トランス素子、超音波モータ素子等の出力電圧に比例する。そのため、圧電 g_{31} 定数が高い圧電磁器組成物ほど電圧センサ出力の大きなセンサを作ることができる。そして、比較品1と同等以上の特性を有するセンサを作製するには、少なくとも $7 \times 10^{-3} \text{ V m} / \text{N}$ 以上の圧電 g_{31} 定数を有することが好ましいといえる。さらに好ましくは、 $10 \times 10^{-3} \text{ V m} / \text{N}$ 以上のものがよい。

【0090】

また、比誘電率 $\epsilon_{33T} / \epsilon_0$ に注目すると、試料1～159及び試料162～182の比誘電率 $\epsilon_{33T} / \epsilon_0$ は、 430 以上という高い値をとっている。

【0091】

上記比誘電率 $\epsilon_{33T} / \epsilon_0$ は、一般に積層コンデンサ部品等のコンデンサの静電容量に比例する。その点からみると、上記比誘電率が高い圧電磁器組成物ほど静電容量の大きなコンデンサを作ることができる。コンデンサを作製するためには、少なくとも 400 以上の比誘電率を有することが好ましいといえる。また、より好ましくは、 430 以上のものがよい。さらに好ましくは、 600 以上のものがよい。

【0092】

また、誘電損失 $\tan \delta$ に注目すると、試料1～22、24～26、31～35、39～74、76～94、96～182の誘電損失 $\tan \delta$ は、 0.09 以下という低い値を

10

20

30

40

50

とっている。

【0093】

上記誘電損失は、コンデンサ部品等のコンデンサ、圧電超音波モータ、圧電アクチュエータ、圧電トランス等の部品に交流電圧を印加した際に、該部品が損失する熱エネルギーに比例する。その点からみると、上記誘電損失が小さい圧電磁器組成物ほどエネルギー損失の少ないコンデンサ及び発熱の少ない圧電超音波モータ、圧電アクチュエータ、圧電トランスを作製することができる。そして、エネルギー損失の少ない上記部品を作製するためには、0.09以下の誘電損失を有することが好ましい。さらに好ましくは、0.035以下のものがよい。

【0094】

また、誘電損失の長期安定性に注目すると、表13及び表14に示すごとく、 $z = 0.002$ 即ちTaの含有量が非常に少ない試料では長時間大気中に放置されると誘電損失が大きくなるという欠点がある。一方、 $z > 0.002$ 及び $w = 0$ の試料においては、長時間大気中に放置されても誘電損失の変化が小さく、また誘電損失の値も0.09以下という小さな値を保っている。このように、本発明に示す一般式上記一般式 $\{Li_x(K_{1-y}Na_y)_{1-x}\}(Nb_{1-z-w}Ta_zSb_w)O_3$ において、 $0 < x < 0.2$ 、 $0 < y < 0.1$ 、 $0 < z < 0.4$ 、 $0 < w < 0.2$ の組成範囲における本例の圧電磁器組成物の誘電損失 $\tan \delta$ は、長期安定性を有している。

【0095】

また、表12に示すごとく、本発明の圧電磁器組成物の組成領域に含まれない、比較品2、3及び5は圧電 d_{31} 定数が、それぞれ0.5、9.81、13.31 pm/Vといずれも低い値となることが分かった。また、比較品4は圧電 d_{31} 定数が42.62 pm/Vである反面、キュリー温度が117と低く、200以上のキュリー温度が必要な、自動車用部品としては使用できないことが分かった。

【図面の簡単な説明】

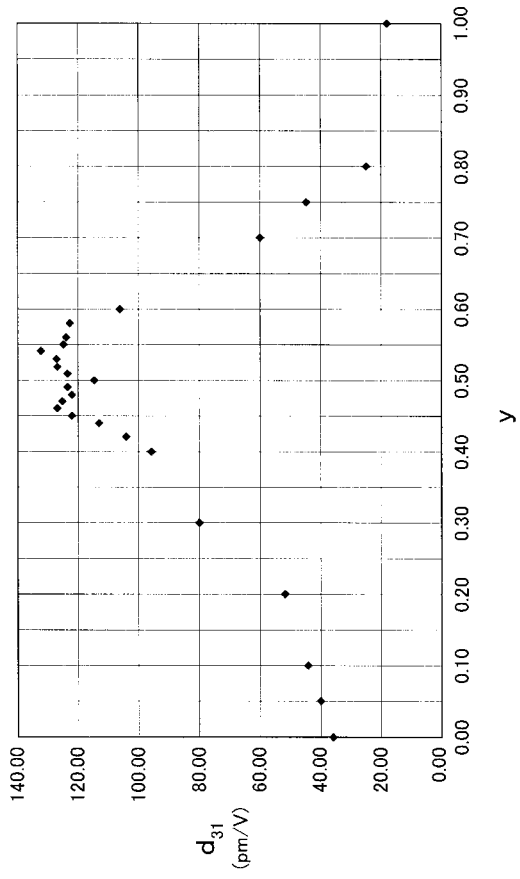
【0096】

【図1】実施例にかかる、上記一般式 $\{Li_x(K_{1-y}Na_y)_{1-x}\}(Nb_{1-z-w}Ta_zSb_w)O_3$ における y の値と圧電 d_{31} 定数の関係を示す説明図。

10

20

【図1】
(図1)



フロントページの続き

- (72)発明者 長屋 年厚
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内
- (72)発明者 斎藤 康善
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1番地の1 株式会社豊田中央研究所内
- (72)発明者 鷹取 一雅
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1番地の1 株式会社豊田中央研究所内
- (72)発明者 高尾 尚史
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1番地の1 株式会社豊田中央研究所内
- (72)発明者 本間 隆彦
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1番地の1 株式会社豊田中央研究所内
- Fターム(参考) 4G030 AA02 AA03 AA04 AA20 AA21 AA42 BA09 BA10 CA01 GA09
GA23