

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4590549号  
(P4590549)

(45) 発行日 平成22年12月1日(2010.12.1)

(24) 登録日 平成22年9月24日(2010.9.24)

(51) Int.Cl. F I  
H03H 3/08 (2006.01) H03H 3/08

請求項の数 11 (全 17 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2004-290711 (P2004-290711)                  (22) 出願日 平成16年10月1日(2004.10.1)                  (65) 公開番号 特開2006-108940 (P2006-108940A)                  (43) 公開日 平成18年4月20日(2006.4.20)                  審査請求日 平成19年9月4日(2007.9.4)</p> <p>特許法第30条第1項適用 2004年9月9日 社団法人電子情報通信学会発行の「電子情報通信学会技術研究報告 信学技報Vol. 104 No. 298」に発表</p>	<p>(73) 特許権者 504157024                  国立大学法人東北大学                  宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号</p> <p>(74) 代理人 100121706                  弁理士 中尾 直樹</p> <p>(74) 代理人 100128705                  弁理士 中村 幸雄</p> <p>(74) 代理人 100066153                  弁理士 草野 卓</p> <p>(72) 発明者 榑引 淳一                  宮城県仙台市太白区山田本町2-7-1</p> <p>(72) 発明者 大橋 雄二                  宮城県仙台市太白区八木山南3-18-2                  セゾンスマイル112</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
---	--

(54) 【発明の名称】 強誘電体単結晶製造のための原料組成決定方法、強誘電体単結晶の音響関連物理定数の校正方法、及び弾性表面波デバイスの設計パラメータ決定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

強誘電体単結晶製造のための原料組成決定方法において、コングルエント組成の近傍で互いに異なる組成を持つn個(nは2以上の整数)の強誘電体単結晶より予め決めたカット面で切り出した第1の基板の間の化学組成比の差分に対する漏洩弾性表面波速度の差分の比(差分比)の最大値を取る伝搬方向を最大値伝搬方向と定め、各上記強誘電体単結晶の育成軸方向の上部および下部より切り出した第2の基板の漏洩弾性表面波速度を前記最大値伝搬方向で測定し、該測定値より結晶育成軸方向の漏洩弾性表面波速度の分布が0となる真のコングルエント組成Ccを求め、前記強誘電体単結晶の弾性表面波速度に要求される許容幅、又はそれに対応する漏洩弾性表面波速度、キュリー温度、密度又は結晶組成のいずれかの許容幅を用いて上記真のコングルエント組成Ccからのずれの許容幅±Ccを求め、強誘電体単結晶製造のための原料組成を決める事を特徴とする原料組成決定方法。

【請求項2】

上記強誘電体単結晶より切り出す第1の基板は、カット面を異ならせた複数の基板であることを特徴とする請求項1記載の原料組成決定方法。

【請求項3】

上記漏洩弾性表面波速度の測定は、前記第1の基板の面内の複数の伝搬方向で行い、上記漏洩弾性表面波速度の差分比を得る為の漏洩弾性表面波速度の差分は、前記n個の強誘電体単結晶より同一のカット面で得られた1対の第1の基板において、同一の漏洩弾性表面波伝搬方向にて測定した漏洩弾性表面波速度を比較し、その差分である伝搬速度差分と

して求める事の特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の原料組成決定方法。

【請求項 4】

上記漏洩弾性表面波速度の差分比は、前記伝搬速度差分と、前記  $n$  個の強誘電体単結晶より同一カット面で得られた 1 対の第 1 の基板同士の化学組成比の差分との比であり、該比を前記  $n$  個の強誘電体単結晶より得られる第 1 の各基板の各対の組み合わせにおいて求め、この中の最大値を 1 乃至複数得る事の特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の原料組成決定方法。

【請求項 5】

前記カット面は、強誘電体単結晶の育成方向を Z 軸とし、X、Y、Z の 3 方向であり、また、その面の切り出し面は Z 方向中心軸を通り強誘電体単結晶の直径に渡る Y 面、該 Y 面に垂直で Z 方向中心軸を通り強誘電体単結晶の半径に渡る X 面、前記 Y 面に対し前記 X 面と反対面に位置する複数の Z 面であることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の原料組成決定方法。

【請求項 6】

強誘電体単結晶製造のための原料組成決定方法であり、

- (a) 強誘電体単結晶において、コングレント組成の近傍で互いに異なる化学組成をもつ  $n$  個 ( $n$  は 2 以上の整数) の強誘電体単結晶を作製する工程と、
- (b) 各前記強誘電体単結晶より、カット面を異ならせた基板を複数切り出す工程と、
- (c) 前記基板の各々において、基板面内の第 1 の漏洩弾性表面波速度  $V_{LSAW}$  を、伝搬方向を変えながら測定する工程と、
- (d) 各前記基板のキュリー温度より、化学組成比とキュリー温度の既知の関係を用いて、各前記強誘電体単結晶の化学組成比を求める工程と、
- (e) 上記強誘電体単結晶より同一のカット面で切り出された前記基板を 1 対選び出す工程と、
- (f) 前記 1 対の基板において、前記工程 (d) で求めた各化学組成比の差分を、化学組成比変化として求める工程と、
- (g) 前記工程 (f) で定めた 1 対の基板において前記工程 (c) で求めた第 1 の漏洩弾性表面波速度の内、同一伝搬方向の速度の差分である漏洩弾性表面波速度変化を求める工程と、
- (h) 前記工程 (g) で求めた漏洩弾性表面波速度変化の前記工程 (f) で求めた化学組成変化に対する変化率である漏洩弾性表面波速度変化 / 化学組成比変化の値を求める工程と、
- (i) 上記強誘電体単結晶より切り出された前記基板の各組み合わせに対して、前記工程 (f)、(g)、(h) を実施する工程と、
- (j) 前記工程 (i) で求めた漏洩弾性表面波速度変化 / 化学組成比変化の値の大きい方から 1 つ選び、該値を示すカット面と漏洩弾性表面波伝搬方向を特定する工程と、
- (k) 前記強誘電体単結晶の上部及び下部を、結晶育成時の種結晶側を上部、その反対側を下部とし、前記工程 (e) ~ (j) の測定を行った強誘電体単結晶より前記上部及び下部からの基板を得る工程と、
- (l) 前記工程 (k) で求めた上部基板及び下部基板において前記工程 (j) で特定した漏洩弾性表面波伝搬方向にて、第 2 の漏洩弾性表面波速度を測定する工程と、
- (m) 前記工程 (e) ~ (l) を、前記工程 (a) で作製した  $n$  個の強誘電体単結晶に実施する工程と、
- (n) 前記工程 (m) の測定を行った強誘電体単結晶の各原料組成値と、前記工程 (m) で得られた前記工程 (l) による各強誘電体単結晶上部基板及び下部基板の第 2 の漏洩弾性表面波速度とから結晶育成軸方向の漏洩弾性表面波速度の分布が 0 となる真のコングレント組成  $C_c$  及び、対応する第 3 の漏洩弾性表面波速度  $V_{LSAW}(C_c)$  を求める工程と、
- (p) 前記工程 (a) で作製した  $n$  個の強誘電体単結晶の、漏洩弾性表面波速度、漏洩弾性表面波速度勾配、原料組成、結晶組成、密度のいずれかの許容幅を用いて、前記真のコングレント組成  $C_c$  のずれの許容幅  $\pm C_c$  を求める工程と、

10

20

30

40

50

(q) 前記真のコングルエント組成  $C_c$  と、前記許容幅  $\pm C_c$  とから、強誘電体単結晶製造のための強誘電体単結晶原料組成を決める工程、  
とを含む事の特徴とする原料組成決定方法。

【請求項 7】

前記工程 (m) の測定を行った強誘電体単結晶の各原料組成値と、前記工程 (m) で得られた前記工程 (l) による各強誘電体単結晶上部基板及び下部基板の第 2 の漏洩弾性表面波速度、とから真のコングルエント組成  $C_c$  及び、対応する第 3 の漏洩弾性表面波速度  $V_{LSAW}(C_c)$  を求める工程 (n) は、原料組成値を横軸とし、漏洩弾性表面波速度を縦軸としてグラフを構成し、前記上部基板における漏洩弾性表面波速度曲線と、前記下部基板における漏洩弾性表面波速度曲線とを描き両曲線が交錯する原料組成値及び漏洩弾性表面波速度を求め、該原料組成値を真のコングルエント組成  $C_c$  とし、該漏洩弾性表面波速度を真のコングルエント組成に対応する第 3 の漏洩弾性表面波速度  $V_{LSAW}(C_c)$  とする事の特徴とする請求項 6 に記載の原料組成決定方法。

10

【請求項 8】

強誘電体単結晶製造のための原料組成決定方法において、上記強誘電体単結晶は  $LiNbO_3$  であり、上記コングルエント組成は  $48.481 Li_2O - mol\%$  であることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載の原料組成決定方法。

【請求項 9】

強誘電体単結晶製造のための原料組成決定方法において、上記許容幅  $\pm C_c$  は  $\pm 0.017 Li_2O - mol\%$  であることを特徴とする請求項 8 に記載の原料組成決定方法。

20

【請求項 10】

強誘電体単結晶の音響関連物理定数の校正方法であり、  
(a) 強誘電体単結晶において、コングルエント組成の近傍で互いに異なる化学組成をもつ  $n$  個 ( $n$  は 2 以上の整数) の強誘電体単結晶を作製する工程と、  
(b) 各前記強誘電体単結晶より、カット面を異ならせた基板を複数切り出す工程と、  
(c) 前記基板の各々において、基板面内の第 1 の漏洩弾性表面波速度  $V_{LSAW}$  を、伝搬方向を変えながら測定する工程と、  
(d) 各前記基板のキュリー温度より、化学組成比とキュリー温度の既知の関係をを用いて、各前記強誘電体単結晶の第 1 の化学組成比を求める工程と、  
(e) 上記強誘電体単結晶より同一のカット面で切り出された前記基板を 1 対選び出す工程と、  
(f) 前記 1 対の基板において、前記工程 (d) で求めた各第 1 の化学組成比の差分を、化学組成比変化として求める工程と、  
(g) 前記工程 (f) で定めた 1 対の基板において前記工程 (c) で求めた第 1 の漏洩弾性表面波速度の内、同一伝搬方向の速度の差分である漏洩弾性表面波速度変化を求める工程と、  
(h) 前記工程 (g) で求めた漏洩弾性表面波速度変化の前記工程 (f) で求めた化学組成変化に対する変化率である漏洩弾性表面波速度変化 / 化学組成比変化の値を求める工程と、  
(i) 上記強誘電体単結晶より切り出された前記基板の各組み合わせに対して、前記工程 (f)、(g)、(h) を実施する工程と、  
(j) 前記工程 (i) で求めた漏洩弾性表面波速度変化 / 化学組成比変化の値の大きい方から 1 つ選び、該値を示すカット面と漏洩弾性表面波伝搬方向を特定する工程と、  
(k) 前記強誘電体単結晶の上部及び下部を、結晶育成時の種結晶側を上部、その反対側を下部とし、前記工程 (e) ~ (j) の測定を行った強誘電体単結晶より前記上部及び下部からの基板を得る工程と、  
(l) 前記工程 (k) で求めた上部基板及び下部基板において前記工程 (j) で特定した漏洩弾性表面波伝搬方向にて、第 2 の漏洩弾性表面波速度を測定する工程と、  
(m) 前記工程 (e) ~ (l) を、前記工程 (a) で作製した  $n$  個の強誘電体単結晶に実施する工程と、

30

40

50

(n) 前記工程(m)の測定を行った強誘電体単結晶の各原料組成値と、前記工程(m)で得られた前記工程(1)による各強誘電体単結晶上部基板及び下部基板の第2の漏洩弾性表面波速度とから結晶育成軸方向の漏洩弾性表面波速度の分布が0となる真のコングレント組成 $C_c$ 及び、対応する第3の漏洩弾性表面波速度 $V_{LSAW}(C_c)$ を求める工程と、

(o) 前記工程(c)で得られた第1の漏洩弾性表面波速度 $V_{LSAW}$ と前記工程(d)で得られた第1の化学組成比の関係を近似直線であらわし、該近似直線を、前記工程(n)で得られた真のコングレント組成 $C_c$ および第3の漏洩弾性表面波速度 $V_{LSAW}(C_c)$ の値に合致するように第1の化学組成比を校正して、両者の関係を表す校正された近似直線を得る工程と、

(p) 前記工程(a)のn個の強誘電体単結晶の弾性定数、圧電定数、誘電率、密度のいずれかの音響関連物理定数を用いて計算される第4の漏洩弾性表面波速度と、上記工程(o)で得られた校正された近似直線とを用いて、上記n個の強誘電体単結晶の校正された第2の化学組成比を求め、該校正された第2の化学組成比における前記音響関連物理定数を求める工程、

とを含むことを特徴とする音響関連物理定数の校正方法。

#### 【請求項11】

請求項10の音響関連物理定数の校正方法を使った弾性表面波デバイスの設計パラメータ決定方法であり、

(1) 育成結晶に対する漏洩弾性表面波速度を測定し、前記工程(o)において得られた校正された近似直線を用いて、前記育成結晶の第2の化学組成比を求める工程と、

(2) 前記工程(1)で得られた第2の化学組成比と、前記工程(p)で得られた校正された第2の化学組成比における前記音響関連物理定数とを使って、前記工程(1)の育成結晶の前記音響関連物理定数を求める工程と、

(3) 前記工程(2)で求めた前記音響関連物理定数を用いて、弾性表面波デバイスとして切り出すためのカット面における伝搬方向での弾性表面波速度 $V_{SAW}$ を計算する工程と、

(4) 前記工程(3)で得られた弾性表面波速度 $V_{SAW}$ を用いて、弾性表面波デバイス設計のための設計パラメータ(電極周期、電極幅、電極厚さ)を決定する工程、とを含むことを特徴とする弾性表面波デバイスの設計パラメータ決定方法。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0001】

本発明は、LiNbO<sub>3</sub>やLiTaO<sub>3</sub>のような強誘電体単結晶を製造するための原料組成を決定する方法、及びその強誘電体単結晶の音響関連物理定数を校正する方法、及び弾性表面波デバイスの高精度な設計パラメータの決定方法に関する。

#### 【背景技術】

#### 【0002】

強誘電体LiNbO<sub>3</sub>、LiTaO<sub>3</sub>単結晶は、圧電効果だけでなく、電気光学効果や非線形光学効果など光学特性に関する優れた特性を有することから、弾性表面波(SAW)デバイスだけでなく光エレクトロニクスデバイスへの応用が盛んである。デバイスの性能は、究極的には単結晶基板の品質に依存する。そのため、デバイスの高性能化には、単結晶基板の均質性の向上(主に化学組成比の均一化)は欠かせない要素である。しかし、化学組成評価のために従来から広く利用されているキュリー温度 $T_C$ の測定値は、各結晶製造業者の測定条件や測定装置に依存して異なり、また、その測定再現性も十分ではないため、信頼性のある結晶評価が行えなかった([非特許文献1]、[非特許文献2])。

#### 【0003】

それに対し、信頼性の高い評価技術として、直線集束ビーム(LFB)超音波材料特性解析装置([非特許文献3]、[非特許文献4])が提案されている。本装置は、水と試料基板の境界を伝搬する音波である漏洩弾性表面波(LSAW)の位相速度 $V_{LSAW}$ を高精度に測定することができる。結晶の均一性を左右する主要因である化学組成比の変化を $V_{LSAW}$ の変化として捉えることにより評価が行われる。[特許文献1]において、量産される結晶内、結晶間

10

20

30

40

50

の化学組成分布を許容範囲に抑えるために、LiTaO<sub>3</sub>単結晶に対する真のコングルエント組成（原料融液と育成結晶の組成が一致する組成）および原料融液組成ずれの許容幅を与えている。

【0004】

しかし、LiNbO<sub>3</sub>単結晶に対するそれらの値は求められていない。また、前述のように信頼性の低いT<sub>C</sub>の測定値から化学組成比を推定していたため、従来求められているLiNbO<sub>3</sub>、LiTaO<sub>3</sub>単結晶に対する化学組成比と音響関連物理定数（弾性定数、圧電定数、誘電率、密度）の間の関係も信頼性が低い[非特許文献5]。さらに、信頼性の低い各パラメータ（化学組成比、音響関連物理定数）を元にSAWデバイス等の設計を行えば、デバイス性能の低下、歩留まりの低下を招く。

10

【特許文献1】特願2004-103891号

【非特許文献1】J. Kushibiki, Y. Ohashi, and N. Mishima, "Calibration of Curie temperatures for LiTaO<sub>3</sub> single crystals by the LFB ultrasonic material characterization system," IEEE Trans. Ultrason., Ferroelect., Freq. Contr., vol. 50, pp. 544-552, May 2003.

【非特許文献2】J. Kushibiki, Y. Ohashi, and M. Mochizuki, "Evaluation of mass-produced commercial LiTaO<sub>3</sub> single crystals using the LFB ultrasonic material characterization system," IEEE Trans. Ultrason., Ferroelect., Freq. Contr., vol. 51, pp. 748-755, June 2004.

【非特許文献3】J. Kushibiki and N. Chubachi, "Material characterization by line-focus-beam acoustic microscope," IEEE Trans. Sonics Ultrason., vol. SU-32, pp. 189-212, Mar. 1985.

20

【非特許文献4】J. Kushibiki, Y. Ono, Y. Ohashi, and M. Arakawa, "Development of the line-focus-beam ultrasonic material characterization system," IEEE Trans. Ultrason., Ferroelect., Freq. Contr., vol. 49, pp. 99-113, Jan. 2002.

【非特許文献5】J. Kushibiki, I. Takanaga, S. Komatsuzaki, and T. Ujiie, "Chemical composition dependences of the acoustical physical constants of LiNbO<sub>3</sub> and LiTaO<sub>3</sub> single crystals," J. Appl. Phys., vol. 91, pp. 6341-6349, May 2002.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0005】

強誘電体単結晶の評価のために従来から用いられているキュリー温度T<sub>C</sub>の測定値は、測定条件や装置間でばらついており、また、その測定再現性も十分ではないため、均質な結晶育成が行える真のコングルエント組成を求めることが困難であった。

【0006】

また、信頼性の低いT<sub>C</sub>測定値から推定された化学組成比を関数として求められた音響関連物理定数を用いてSAWデバイス等の設計を行う場合、高性能なデバイス設計に支障を来す。

【0007】

そこで、本発明は、均一な強誘電体単結晶を育成するため、LFB超音波材料特性解析装置を用いて、結晶内の化学組成が均一になる真のコングルエント組成を決定する方法を提供する。

40

【0008】

また、従来、キュリー温度から見積もられていた化学組成比を、より信頼性の高いV<sub>LSA</sub>により校正する方法を提供する。さらに、高精度なSAWデバイス設計のための方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0009】

第1の発明による強誘電体単結晶製造のための原料組成決定方法は、

(a) コングルエント組成の近傍で異なる化学組成のn個の単結晶を作製する工程と、 n

50

は2以上の整数であり、

(b) 各単結晶において、互いに異なるカット面の基板を複数切り出し、その各基板面内において漏洩弾性表面波の伝搬方向を変えながら漏洩弾性表面波速度を測定する工程と、

(c) 工程(b)で得られた結果をもとに、化学組成比変化に対して漏洩弾性表面波速度の変化率が大きいカット面の漏洩弾性表面波伝搬方向を少なくとも1つ選択する工程と、

(d) 工程(c)で選択したカット面の伝搬方向において、各単結晶の上部及び下部の漏洩弾性表面波速度を測定する工程と、単結晶の上部及び下部とは、結晶育成時の種結晶側が上部、その反対側が下部であり、

(e) 工程(d)で得られた上記上部及び下部の漏洩弾性表面波速度と仕込み時の原料組成との間の関係から、結晶の上部と下部で漏洩弾性表面波速度が一致する原料組成を真のコングルメント組成 $C_C$ とする工程と、

(f) 上記漏洩弾性表面波速度、漏洩弾性表面波速度勾配、原料組成、結晶組成、密度の関係から、上記コングルメント組成からのずれの許容幅 $\pm C_C$ を求め、強誘電体単結晶製造のための原料組成を決める工程、  
とを含む。

【0010】

第2の発明による組成決定方法は、上記第1の発明による原料組成決定方法において、上記許容幅 $\pm C_C$ は $\pm 0.017 \text{ Li}_2\text{O-mol}\%$ であることを特徴とする原料組成決定方法。

【0011】

第3の発明による組成決定方法は、上記第1又は第2の発明による組成決定方法において、上記強誘電体単結晶は $\text{LiNbO}_3$ であり、上記コングルメント組成は $48.481\text{-Li}_2\text{Omol}\%$ である。

【0012】

第4の発明は、強誘電体単結晶の音響関連物理定数の校正方法であり、

(a) 化学組成比の異なる複数の試料に対し漏洩弾性表面波速度 $V_{\text{LSAW}}$ を測定する工程と、

(b) 上記試料に対しするキュリー温度等の測定値から、既知のキュリー温度と化学組成比の関係を用いて化学組成比を求める工程と、

(c) 上記工程(a)で得られた測定速度 $V_{\text{LSAW}}$ と、上記工程(b)で得られた化学組成比の関係(近似直線)を、上記第1の発明の(c)および(d)の工程で得られたコングルメントにおける化学組成比および $V_{\text{LSAW}}$ の値に合致するように化学組成比を校正して、両者の関係(校正された近似直線)を得る工程、

(d) 第1の発明の工程(a)のn個の強誘電体単結晶に対するそれぞれの音響関連物理定数(弾性定数、圧電定数、誘電率、密度)を用いて計算される漏洩弾性表面波速度と、上記工程(c)で得られた校正された近似直線とを用いて、上記n個の各結晶の化学組成比を求め、化学組成比に関する音響関連物理定数を求める工程、  
とを含むことを特徴とする音響関連物理定数の校正方法。

【0013】

第5の発明は、弾性表面波デバイスの設計パラメータ決定方法であり、

(1) 育成結晶に対する漏洩弾性表面波速度を測定し、第4の発明の工程(c)において得られた関係を用いて、育成結晶の化学組成比を求める工程と、

(2) 上記工程(1)で得られた化学組成比と、第4の発明の工程(d)で得られた化学組成比に関する音響関連物理定数を使って、上記工程(1)の育成結晶に対する音響関連物理定数を求める工程と、

(3) 上記工程(2)で求めた音響関連物理定数を用いて、弾性表面波デバイスとして用いるカット面の伝搬方向に対する弾性表面波速度を計算する工程と、

(4) 上記工程(3)で得られた弾性表面波速度を用いて、弾性表面波デバイス設計のための設計パラメータ(電極周期、電極幅、電極厚さ)を決定する工程、

とを含むことを特徴とする弾性表面波デバイスの設計パラメータ決定方法。

【発明の効果】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 4 】

本発明は、均一な結晶育成を行うための真のコングルメント組成を決定することができる。従って、このような組成の強誘電体結晶を使用すれば、特性のばらつきの少ないデバイスを製造することができる。また、量産される単結晶に対し、 $V_{LSAW}$ 測定を用いた信頼性の高い化学組成評価が可能になる。さらに、これまで不明確であった育成結晶の化学組成比の絶対値が明らかになるため、化学組成比と音響関連物理定数やその他の化学的・物理的諸特性( $V_{LSAW}$ 、 $V_{SAW}$ 、 $T_C$ 、格子定数など)の間の正しい関係を得ることができ、様々な化学的・物理的特性による絶対的な結晶評価および、高精度なデバイス設計が可能になる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

10

## 【 0 0 1 5 】

コングルメント組成の決定方法および化学組成比の校正方法について図1のフロー図を用いて説明する。

## 【実施例1】

## 【 0 0 1 6 】

ステップS1：コングルメント組成近傍で異なる化学組成の結晶インゴットをn個（nは2以上の整数）準備する。

ステップS2：化学組成比の変化に対する感度の高いLSAWの伝搬方向を調べるために、ステップS1の各結晶インゴットから、数種類のカット面の基板試料を切り出す（図2参照）。ただし、結晶の育成軸方向の分布も調べられるように、育成軸に平行な基板面を準備するか、育成軸に垂直な基板面の場合は育成軸方向から2個以上の基板を準備する（[参考文献1]参照）。

20

ステップS3：各結晶インゴットに対するキュリー温度を測定し、化学組成比とキュリー温度の既知の関係を用いて、各結晶インゴットの化学組成比を求める。

ステップS4：ステップS2で切り出した各結晶インゴットの各基板試料に対し、図3の×で示された位置でLSAW速度の伝搬方向依存性を測定する。

ステップS5：ステップS3とステップS4で得られた結果から、各基板面における各伝搬方向のLSAW速度の化学組成比依存性を求め、化学組成比変化に対する感度が高いLSAW伝搬方向を決定する。

ステップS6：ステップS5で決定した伝搬方向で、各結晶インゴットの育成軸方向のLSAW速度分布を測定する。

30

ステップS7：各結晶インゴットの仕込み原料組成と育成軸方向のLSAW速度分布の関係から、育成軸方向のLSAW速度分布が0になる組成を真のコングルメント組成と定め、そのときのLSAW速度を求める。

ステップS8：ステップS5で得られた化学組成比とLSAW速度の関係を、ステップS7で得られた真のコングルメント組成における化学組成比とLSAW速度の关系到合致するよう化学組成比を校正し、化学組成比とLSAW速度の間の正しい関係を得る。

ステップS9-1：[特許文献1]の手順に従って、コングルメント組成とみなせる原料融液組成の許容幅（真のコングルメント組成からのずれ） $\pm C_C$ を求める。

ステップS9-2：ステップS8で得られた化学組成比とLSAW速度の関係から、化学組成比と音響関連物理定数の間の正しい関係を求める。

40

ステップS10-2：育成結晶に対して測定されたLSAW速度あるいはキュリー温度からステップS8で得られた関係を用いて化学組成比を求め、この化学組成比に対応する音響関連物理定数をステップS9-2で得られた関係から求め、この音響関連物理定数を用いて、この育成結晶に最適なSAWデバイスの設計パラメータ（電極幅、電極厚さ、電極間隔等）を求め、SAWデバイスを作製する。

## 【実施例2】

## 【 0 0 1 7 】

原料仕込み時における化学組成比を48.0、48.5、49.0  $\text{Li}_2\text{O}$ -mol%として育成した $\text{LiNbO}_3$ 単結晶を用意した。各結晶の育成条件およびサイズを図4に示す。いずれも、チョクラル

50

スキー法によりZ軸方向に育成されている。各結晶の育成軸方向および直径方向の均質性を評価するために、図2に示すように、X-、Y-cut基板各1枚およびZ-cut基板3枚を切り出し、両面光学研磨して試料とした。各基板の形状およびLSAW速度の測定位置は図3の×および破線で示す。

#### 【0018】

各結晶の化学組成を調べるために、図2に示したZ2基板と隣り合う別のZ-cut基板に対し、示差熱分析(DTA)法によりキュリー温度を測定した。結果を図5に示す。さらに、[参考文献2]に示されるキュリー温度と化学組成比の關係を用いて、各結晶の実際の $\text{Li}_2\text{O}$ 濃度を求めた結果も図5に“分析 $\text{Li}_2\text{O}$ 濃度”として示す。

#### 【0019】

密度は、Z2基板に対してアルキメデスの原理に基づいて測定した。また、格子定数 $a$ および $c$ は、それぞれX-cutおよびZ2試料に対し、図3の×に示す位置でBond法を用いたX線回折法により測定した。それぞれの結果を図5に示す。 $\text{Li}_2\text{O}$ 濃度が増大するにつれ、キュリー温度は単調に増大し、密度および格子定数は減少する。図5の結果に対する直線近似から、その変化率は、 $43.9 \text{ /mol\%}$ 、 $-5.93 \text{ (kg/m}^3\text{)/mol\%}$ 、 $-1.3 \times 10^{-4} \text{ nm/mol\%(a軸)}$ 、 $-5.7 \times 10^{-4} \text{ nm/mol\%(c軸)}$ である。

#### 【0020】

音響特性の化学組成比依存性を調べるために、225 MHzにおいて結晶1、2、3のX、Y、Z2基板(図3の×の位置)に対して、LSAW速度の伝搬方向依存性を測定した。結果を図6に示す。各結晶面において、LSAW速度は結晶の対称性を反映して変化している。Z-cut基板では、全伝搬方向において $\text{Li}_2\text{O}$ の増加とともにLSAW速度が上昇しているが、X-cutの $70^\circ \sim 160^\circ$ の間や、Y-cutの $40^\circ \sim 140^\circ$ の間の伝搬方向では逆転している。

#### 【0021】

図7に各基板間で化学組成比の変化(差分)に対する速度変化(差分)の比(即ち差分比)が最大となる伝搬方向および基本軸の伝搬方向に対するLSAW速度と分析 $\text{Li}_2\text{O}$ 濃度の關係を示す。最小二乗法による直線近似により求めた速度変化率は伝搬方向に依存して異なっているが、コングレント組成近傍で化学組成比と各LSAW速度との間にはほぼ線形な關係があることがわかる。各基板面における速度変化率の最大値は、X-cut面に対しては $123.4^\circ$  Y軸方向で $-24.9 \text{ (m/s)/Li}_2\text{O-mol\%}$ 、Y-cut面に対してはX軸方向で $+21.5 \text{ (m/s)/Li}_2\text{O-mol\%}$ 、Z-cut面に対してはY軸方向で $+39.4 \text{ (m/s)/Li}_2\text{O-mol\%}$ である。

#### 【0022】

結晶評価において、LSAWの伝搬方向は基本軸あるいはパワーフローアングルが0となる方向を選ぶべきである。また、選択した伝搬方向において化学組成比に対する感度が高くなければならない。これらの観点から、Z-cut面のY軸方向伝搬が最適であると考えられる。しかし、化学組成比の分布が大きく現れると考えられる育成軸方向(Z軸)の詳細な分布を調べるには、図2からわかるようにZ-cut基板よりもY-cut基板の方が有利である。そこで、ここではZ-cut面のY軸方向伝搬とともに、Y-cut基板のX軸方向伝搬のLSAWをとりあげて結晶内のLSAW速度分布測定を行う。

#### 【0023】

図8に、化学的・物理的諸特性に対する本評価法(ZY- $\text{LiNbO}_3$ およびYX- $\text{LiNbO}_3$ のLSAW速度)の感度および測定分解能を示す。測定分解能は、LSAW速度の測定再現性 $\pm 0.0013\%$ ( $3800 \text{ m/s}$ 近傍で $\pm 0.05 \text{ m/s}$ に相当)として計算している。本超音波法は、キュリー温度の分解能(約 $\pm 1^\circ$ )に比べ非常に分解能が高く、また局所的な組成の分布を評価する上で非常に有利である。また、Z-cut Y軸伝搬のLSAW速度を用いる場合の方が、Y-cut X軸伝搬のLSAW速度を用いる場合よりも、およそ2倍分解能が高い。

#### 【0024】

次に、各結晶インゴット内のLSAW速度分布を測定した結果を示す。まず、結晶1、2、3から切り出したZ-cut基板(上部Z1、中部Z2、下部Z3)の径方向(図3の点線)において、Y軸伝搬のLSAW速度を1 mm毎に測定した結果を図9に示す。結晶上部の径方向で、周辺部において $0.5 \sim 0.8 \text{ m/s}$ 程度の速度低下が見られる。

10

20

30

40

50



## 【 0 0 2 5 】

仕込み原料組成の変化に対しては、径方向に比べ育成軸方向の分布の変化が大きい。各 Z-cut 基板の中心（図 3 の x で示した位置）の LSAW 速度測定値と結晶上部からの距離との関係から、育成軸方向の分布を求めた結果を図 1 0 に示す。各結晶において、結晶上部から下部にかけてほぼ線形に LSAW 速度が変化している。

## 【 0 0 2 6 】

図 1 0 の実線は最小二乗法による近似直線である。その勾配は、結晶 1 に対しては -0.037 (m/s)/mm、結晶 2 に対しては -0.001 (m/s)/mm、結晶 3 に対しては +0.042 (m/s)/mm である。これらは、図 7 の関係を用いて  $\text{Li}_2\text{O}$  濃度の変化率に換算すると、結晶 1 に対しては -0.00093 mol%/mm、結晶 2 に対しては -0.00002 mol%/mm、結晶 3 に対しては +0.00107 mol%/mm である。

10

## 【 0 0 2 7 】

同様にして、結晶 1、2、3 から切り出した Y-cut 基板の径方向（図 3 の点線 T, M, B）において、X 軸伝搬の LSAW 速度を 1 mm 毎に測定した結果を図 1 1 に示す。図 9 の場合と同様に、結晶上部の径方向（T のライン）で、周辺部が 0.3 ~ 0.6 m/s 程度、速度低下する傾向が見られるが、いずれの結晶においても、育成軸方向に比べ径方向の分布は小さい。

## 【 0 0 2 8 】

次に、Y-cut 基板の育成軸方向（図 3 の点線 P）において、X 軸伝搬の LSAW 速度を 1 mm 毎に測定した結果を図 1 2 に実線で示す。各結晶において、結晶上部から下部にかけてほぼ線形に LSAW 速度が変化しているが、結晶 3 の上部近傍では、その線形的な変化から逸脱した特異な変化が見られる。

20

## 【 0 0 2 9 】

結晶 3 の結晶上部では気泡が観察されたことから、育成条件と関連した問題を検出しているものと考えられる。これは、Z-cut 基板では捉えにくい変化であり、Y-cut 基板を用いた場合の利点であると言える。図 1 2 の点線は最小二乗法による近似直線である。その勾配は、結晶 1 に対しては -0.022 (m/s)/mm、結晶 2 に対しては +0.001 (m/s)/mm、結晶 3 に対しては +0.024 (m/s)/mm である。

## 【 0 0 3 0 】

これらは、図 7 の関係を用いて  $\text{Li}_2\text{O}$  濃度の変化率に換算すると、結晶 1 に対しては -0.0102 mol%/mm、結晶 2 に対しては +0.00006 mol%/mm、結晶 3 に対しては +0.00112 mol%/mm である。いずれの結晶においても、育成軸方向の  $\text{Li}_2\text{O}$  濃度勾配は、ZY- $\text{LiNbO}_3$  に対する測定結果から求めたものとほぼ一致している。

30

## 【 0 0 3 1 】

より均質な結晶を育成するために、得られた結果からコングルエント組成を求めてみる。図 1 3 は、図 1 0 および図 1 2 の近似直線から求めた各結晶の上部（0 mm）と下部（80 mm）の位置での LSAW 速度と、各結晶の仕込み時の  $\text{Li}_2\text{O}$  濃度との関係を求めた結果を示している。

## 【 0 0 3 2 】

図中の実線は、最小二乗法による近似直線である。図 1 3 において、2 つの実線の交点が、育成軸方向の LSAW 速度分布が 0 になるコングルエント組成と考える。交点を求めると、コングルエント組成は ZY- $\text{LiNbO}_3$  の結果から求めた場合 48.481  $\text{Li}_2\text{O}$ -mol%、YX- $\text{LiNbO}_3$  の結果から求めた場合 48.477  $\text{Li}_2\text{O}$ -mol% であり、そのときの LSAW 速度はそれぞれ、3875.0 m/s (ZY- $\text{LiNbO}_3$ )、3711.6 m/s (YX- $\text{LiNbO}_3$ ) と見積もられた。分解能が最も高い ZY- $\text{LiNbO}_3$  の結果から求めた組成が、コングルエント組成として最も信頼性が高いと考えられる。しかし、YX- $\text{LiNbO}_3$  の結果から求めた場合でも、測定分解能と同程度のわずかな差（0.004  $\text{Li}_2\text{O}$ -mol%）しか生じていない。

40

## 【 0 0 3 3 】

図 5 および図 7 の分析  $\text{Li}_2\text{O}$  濃度はキュリー温度の測定値から換算された値である。我々のこれまでの検討（[非特許文献 1]、[非特許文献 2]）からキュリー温度の測定値は測定

50

条件や装置により異なる値が得られるため、図5および図7に示した分析Li<sub>2</sub>O濃度の絶対値の信頼性は低い。

【0034】

そこで、図7においてLSAW速度を基準にして、図13で求めた真のコングルメント組成におけるLi<sub>2</sub>O濃度とLSAW速度に合致するよう分析Li<sub>2</sub>O濃度を校正する。ZY-LiNbO<sub>3</sub>とYX-LiNbO<sub>3</sub>の結果を図14に示す。図14A、図14Bの結果において、分析Li<sub>2</sub>O濃度の校正量は、それぞれ0.057 Li<sub>2</sub>O-mol%、0.056 Li<sub>2</sub>O-mol%であり、ほぼ等しい校正量である。これはキュリー温度に換算すると約2.5の校正量に相当する。図14Aの校正後の結果は次式のように表される。

$$C(\text{Li}_2\text{O}) = 0.0254 \times (V_{\text{LSAW}} - 3875.0) + 48.481 \quad (1)$$

ここで、C(Li<sub>2</sub>O)は分析Li<sub>2</sub>O濃度、V<sub>LSAW</sub>はZY-LiNbO<sub>3</sub>に対するLSAW速度を表す。式(1)から、結晶1、2、3に対する分析Li<sub>2</sub>O濃度を求めると、順に、48.324、48.489、48.641 Li<sub>2</sub>O-mol%となる。したがって、結晶2はコングルメント組成に非常に近い組成(±0.01 Li<sub>2</sub>O-mol%以内)であったことがわかる。

【0035】

式(1)の関係を用いることで、[非特許文献5]で報告されていた音響関連物理定数(弾性定数、圧電定数、誘電率、密度)と化学組成比の正しい関係が得られる。[非特許文献5]では、図4に示した結晶1、2、3に対してそれぞれ音響関連物理定数が決定されている。各定数を用いてZY-LiNbO<sub>3</sub>に対するLSAW速度を計算し[参考文献3]、それを式(1)にそれぞれ代入することにより各定数に対応した化学組成比が与えられる。結果を図15に示す。

【0036】

また、各定数の化学組成比に対する勾配と、図13Aで見積もったコングルメント組成48.481 Li<sub>2</sub>O-mol%に対応する定数も図15に示した。式(1)に示されたLSAW速度は、ZY-LiNbO<sub>3</sub>に対するものであるが、図15の定数を用いた計算により、所望のカット面、伝搬方向に対するLSAW速度に換算することができる。LiTaO<sub>3</sub>単結晶に対しても、[特許文献1]で得られた結果を元に同様な手順で図16のように音響関連物理定数と化学組成比の正しい関係が得られる。

【0037】

図15に示した化学組成比と音響関連物理定数の関係を用いることによって、高精度なSAWデバイス設計パラメータを得ることができる。まず、育成結晶の上部および下部からZ-cut基板を切出しY軸方向伝搬のLSAW速度をそれぞれ測定する。

【0038】

(1)式の関係を用いて、測定したLSAW速度から育成結晶上部および下部の化学組成比を求める。得られた化学組成比を用いて、直線近似により結晶上部からの距離の関数として化学組成比を求める。育成結晶から切り出す基板がZ-cut以外の場合は、[特許文献1]に示された方法にしたがって、図15の音響関連物理定数を用いた計算により、ZY-LiNbO<sub>3</sub>に対するLSAW速度に換算してから(1)式に代入する。得られた化学組成比に対応する音響関連物理定数を、図15のデータより求める。得られた音響関連物理定数を用いて、SAWデバイスとして使用する所望の基板面の伝搬方向に対するSAW速度を数値計算する。

【0039】

得られたSAW速度から、直線近似により結晶上部からの距離の関数としてSAW速度を求める。SAWデバイス用基板の切出し位置に対応したSAW速度を用いて、SAWデバイスの設計パラメータ(電極幅、電極厚さ、電極周期等)を決定する。結晶上部と下部の化学組成比の差が許容範囲内の場合は、結晶上部と下部の化学組成比の中間値を育成結晶の化学組成比として上記計算を行えばより簡便である。

【0040】

10

20

30

40

50

上記の育成結晶の化学組成比を求める工程において、[特許文献1]に示される手法で、 $\text{LiNbO}_3$ に対する $T_C$ とLSAW速度の正しい関係を予め求めておくことで、上記の結晶の化学組成比をLSAW速度から求める代わりに $T_C$ から求めることも可能である。また、音響関連物理定数の代わりに、光学的諸特性(屈折率、非線形光学定数等)と化学組成比の正しい関係を予め求めておけば、光エレクトロニクスデバイス設計における高精度化を同様に実現できる。上記の例は、 $\text{LiTaO}_3$ に対しても同様に適用できる。

#### 【0041】

図13で決定した真のコングルメント組成からどれだけの組成変化までを許容できるかを見積もるために、[特許文献1]の手順にしたがってチャージ回数100回の繰返し結晶育成を行なった場合をシミュレーションし、SAWデバイス用基板に対するSAW速度( $V_{\text{SAW}}$ )分布の許容幅と融液組成変動の許容幅の関係を求めた。

10

#### 【0042】

シミュレーションでは、チャージ原料(融液)の総重量を5000 g、結晶固化率50%(2500 g)、直径77 mmの円柱状結晶を育成する場合を仮定し、チャージ用の原料組成のずれを真のコングルメント組成48.481  $\text{Li}_2\text{O}$ -mol%に対し、 $0 \sim \pm 1$   $\text{Li}_2\text{O}$ -mol%としている。

#### 【0043】

また、SAWデバイス用基板として $127.86^\circ$  Y-cut X軸伝搬 $\text{LiNbO}_3$ を仮定し、 $V_{\text{SAW}}$ の許容幅が $\pm 0.1\%$ 、 $\pm 0.05\%$ 、 $\pm 0.02\%$ 、 $\pm 0.01\%$ 、 $\pm 0.005\%$ 、 $\pm 0.002\%$ に対応する、 $V_{\text{LSAW}}$ 、結晶組成、チャージ原料組成、 $T_C$ の各変動を求めている。結果を図17に示す。

#### 【0044】

20

要求される $V_{\text{SAW}}$ 分布の許容幅を $\pm 0.02\%$ [参考文献4]とすれば、量産用コングルメント組成として見なせる原料組成の範囲は、 $48.481 \pm 0.017$   $\text{Li}_2\text{O}$ -mol%と考えることができる。この場合、現状におけるSAWデバイス用ウェハの規格として定められている $T_C$ の許容幅 $\pm 3$  [参考文献5]に対し、 $\pm 1.0$  のわずかな分布しか生じない結晶量産が行なえる。

#### 【0045】

以上のように、本発明によれば、真のコングルメント組成を与えることにより、量産される結晶内、結晶間の分布を極めて小さくできる。また、化学組成評価法の観点では、従来の結晶評価の指標である $T_C$ よりも、絶対精度を保証できる $V_{\text{LSAW}}$ による評価が可能になる。さらに、コングルメント組成結晶においては、これまで不明確であった育成結晶の化学組成比の絶対値が明らかになるため、化学組成比と音響関連物理定数やその他の化学的・物理的諸特性( $V_{\text{LSAW}}$ 、 $V_{\text{SAW}}$ 、 $T_C$ 、格子定数など)の間の絶対的な関係を得ることができ、様々な化学的・物理的特性による絶対的な結晶評価が可能になる。

30

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0046】

この発明は、例えば移動通信機などにフィルタとして使用されるSAWデバイスあるいは光変調器や周波数逡倍器などの光エレクトロニクスデバイスを製造するための強誘電体単結晶を量産する場合の原料組成の決定、単結晶の評価、及び高精度なデバイス設計に利用できる。

#### [参考文献]

[参考文献1] 特願2001-069181号

40

[参考文献2] K. Yamada, H. Takemura,

Y. Inoue, T. Omi, and, S. Matsumura, "Effect of Li/Nb ratio on the SAW velocity of  $128^\circ$  Y-X  $\text{LiNbO}_3$  wafers," Jpn. J. Appl.

Phys., vol. 26, Suppl. 26-2, pp. 219-222, 1987.

[参考文献3] J. J. Campbell and W. R. Jones,

"Propagation of surface waves at the boundary between a piezoelectric crystal and a fluid medium," IEEE Trans. Sonics Ultrason.,

vol. SU-17, pp. 71-76, Apr. 1970.

[参考文献4] M. Sato, A. Iwama, J.

Yamada, M. Hikita, and Y. Furukawa, "SAW

50

velocity variation LiTaO<sub>3</sub> substrates," Jpn.

J. Appl. Phys., vol. 28, Suppl.

28-1, pp. 111-113, 1989.

[参考文献 5] IEC-PAS, "Single crystal wafers applied for surface acoustic wave device

- Specification and Measuring Method -, " IEICE/Std-0002, April 17, 2001.

【図面の簡単な説明】

【 0 0 4 7 】

【図 1】真のコングルエント組成を求める方法と化学組成を校正する方法を示すフロー図

。

【図 2】結晶インゴットから、育成軸方向のLSAW速度分布測定が行えるよう各種カット面の試料基板を抽出する位置を示す図。

【図 3】各カット面の試料基板の形状とLSAW速度測定位置を示す図。

【図 4】用いた結晶インゴットの育成条件とサイズを示す図。

【図 5】各結晶インゴットに対するキュリー温度、密度、格子定数の測定値と、化学組成比とキュリー温度の既知の関係から求めた分析Li<sub>2</sub>O濃度の結果を示す図。

【図 6】異なる組成のLiNbO<sub>3</sub>に対するLSAW速度の伝搬方向依存性を示す図であり、AがX-cut基板に対する結果、BがY-cut基板に対する結果、CがZ-cut基板に対する結果を示す。

【図 7】LiNbO<sub>3</sub>に対する各伝搬方向のLSAW速度のLi<sub>2</sub>O濃度に対する変化率を示す図。

【図 8】LSAW速度測定によるLi<sub>2</sub>O濃度、キュリー温度、密度、格子定数に対する感度と分解能を示す図。

【図 9】異なる組成のLiNbO<sub>3</sub>単結晶インゴットから切り出したZ-cut基板試料に対してY軸方向伝搬のLSAW速度の径方向分布を測定した結果を示す図。

【図 10】図 9 の結果から得られた各LiNbO<sub>3</sub>単結晶インゴットの育成軸方向分布を示す図

。

【図 11】異なる組成のLiNbO<sub>3</sub>単結晶インゴットから切り出したY-cut基板試料に対してX軸方向伝搬のLSAW速度の径方向分布を測定した結果を示す図。

【図 12】異なる組成のLiNbO<sub>3</sub>単結晶インゴットから切り出したY-cut基板試料に対してX軸方向伝搬のLSAW速度の育成軸方向分布を測定した結果を示す図。

【図 13】各LiNbO<sub>3</sub>単結晶インゴットの上部と下部のLSAW速度と仕込み時のLi<sub>2</sub>O濃度の関係からコングルエント組成を求める方法を示す図であり、AはZY-LiNbO<sub>3</sub>に対する結果、BはYX-LiNbO<sub>3</sub>に対する結果を示す。

【図 14】校正前および校正後のLi<sub>2</sub>O濃度とLSAW速度との間の関係を示す図であり、AはZY-LiNbO<sub>3</sub>に対する結果、BはYX-LiNbO<sub>3</sub>に対する結果を示す。

【図 15】LiNbO<sub>3</sub>に対する校正後のLi<sub>2</sub>O濃度と音響関連物理定数の関係を示す図。

【図 16】LiTaO<sub>3</sub>に対する校正後のLi<sub>2</sub>O濃度と音響関連物理定数の関係を示す図。

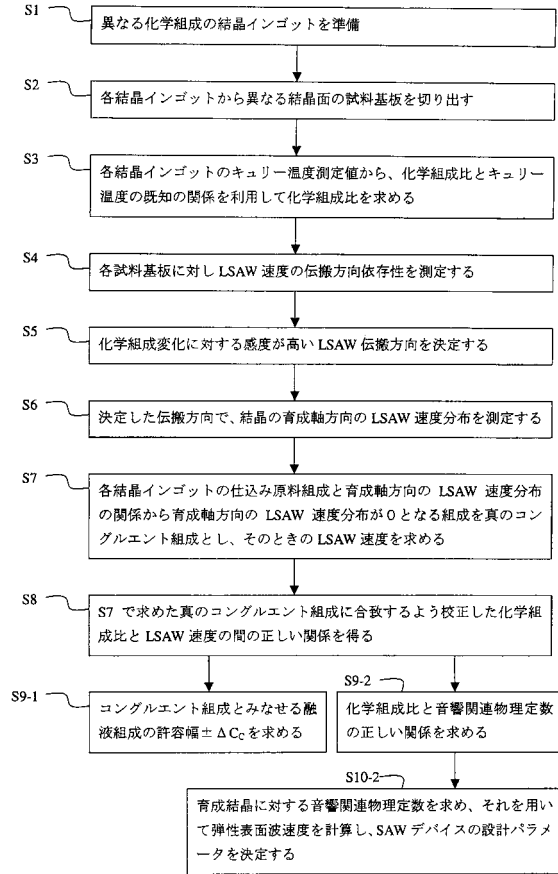
【図 17】127.86 ° YX-LiNbO<sub>3</sub>に対するSAW速度の各許容幅に相当するLSAW速度、キュリー温度、結晶組成、およびチャージ原料組成の許容幅を示す図。

10

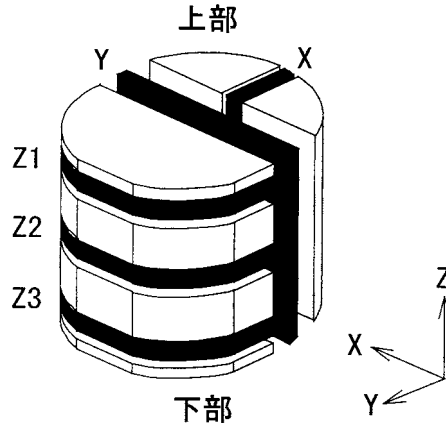
20

30

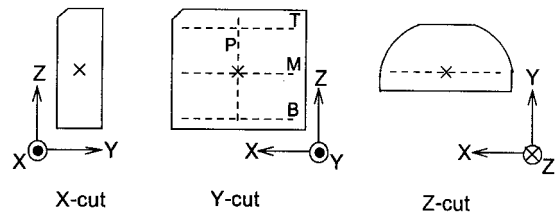
【図 1】



【図 2】



【図 3】



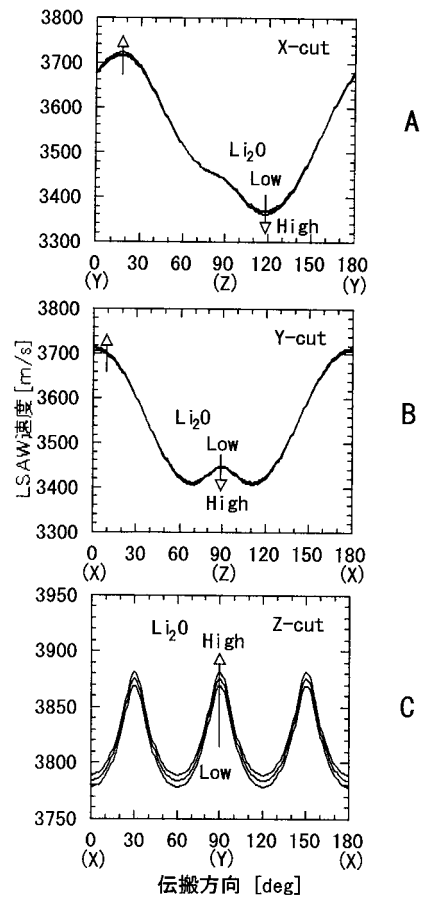
【図 4】

結晶 No.	仕込み Li <sub>2</sub> O 濃度 (mol%)	育成速度 (mm/h)	回転速度 (rpm)	育成長 (mm)	直径 (mm)
1	48.00	6.82	9	78	77
2	48.50	6.64	9	78	77
3	49.00	6.45	9	76	77

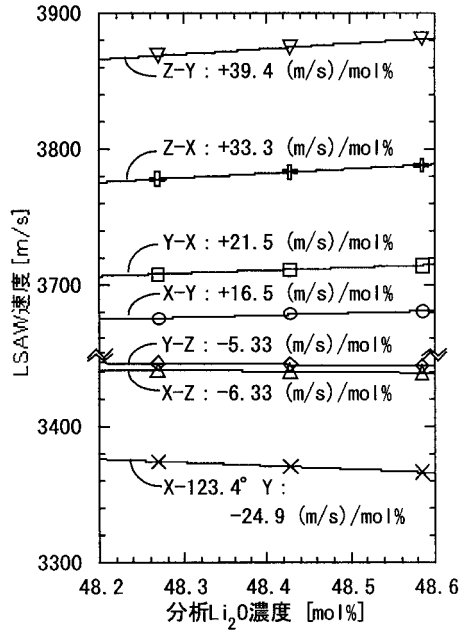
【図 5】

結晶 No.	仕込み Li <sub>2</sub> O 濃度 (mol%)	分析 Li <sub>2</sub> O 濃度 (mol%)	キュリー一温度 (°C)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	格子定数	
					a (nm)	c (nm)
1	48.00	48.269	1125.5	4643.5	0.515 059	1.386 753
2	48.50	48.428	1132.5	4642.8	0.515 038	1.386 664
3	49.00	48.585	1139.4	4641.7	0.515 017	1.386 574

【図 6】



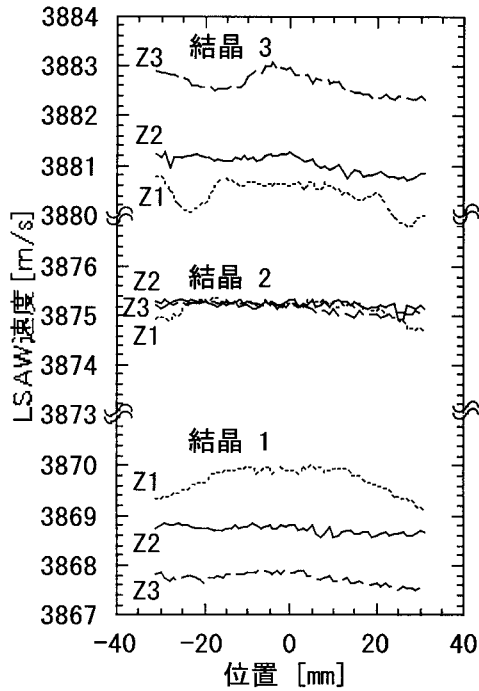
【 図 7 】



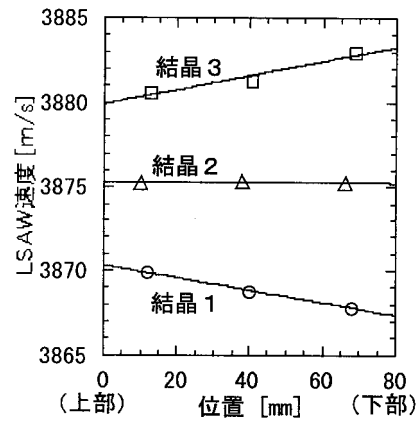
【 図 8 】

	Z-cut	Y 軸伝搬	Y-cut	X 軸伝搬
	感度	分解能	感度	分解能
LSAW 速度	-	$\pm 0.05$ m/s	-	$\pm 0.05$ m/s
$\text{Li}_2\text{O}$ 濃度	0.0254 mol%/(m/s)	$\pm 0.001$ mol%	0.0464 mol%/(m/s)	$\pm 0.002$ mol%
キュリー 温度	1.11 °C/(m/s)	$\pm 0.06$ °C	2.04 °C/(m/s)	$\pm 0.10$ °C
密度	-0.150 (kg/m <sup>3</sup> )/(m/s)	$\pm 0.008$ kg/m <sup>3</sup>	-0.275 (kg/m <sup>3</sup> )/(m/s)	$\pm 0.013$ kg/m <sup>3</sup>
格子定数 a	$-3.33 \times 10^{-6}$ nm/(m/s)	$\pm 1.7 \times 10^{-7}$ nm	$-6.11 \times 10^{-6}$ nm/(m/s)	$\pm 2.9 \times 10^{-7}$ nm
格子定数 c	$-1.44 \times 10^{-5}$ nm/(m/s)	$\pm 7.2 \times 10^{-7}$ nm	$-2.63 \times 10^{-5}$ nm/(m/s)	$\pm 1.3 \times 10^{-6}$ nm

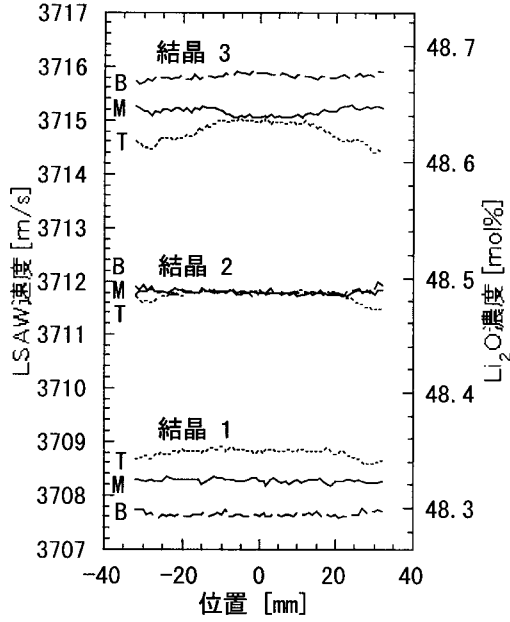
【 図 9 】



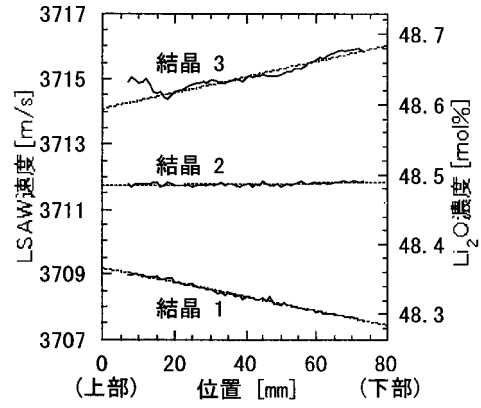
【 図 10 】



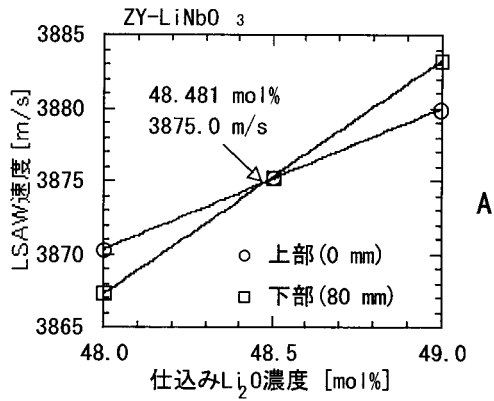
【図 1 1】



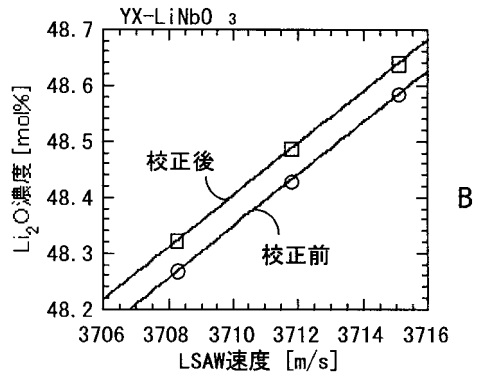
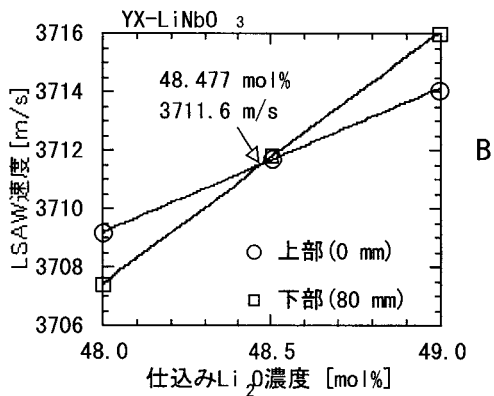
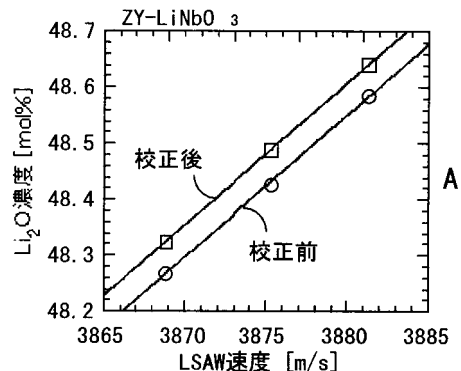
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】



【図 15】

		48.324 Li <sub>2</sub> O-mol%	48.489 Li <sub>2</sub> O-mol%	48.641 Li <sub>2</sub> O-mol%	勾配 (/mol%)	48.481 Li <sub>2</sub> O-mol%
弾性定数 ( $\times 10^{11}$ N/m <sup>2</sup> )	$c_{11}^E$	1.9841	1.9880	1.9914	0.023	1.9878
	$c_{12}^E$	0.5433	0.5463	0.5489	0.018	0.5461
	$c_{13}^E$	0.6794	0.6811	0.6820	0.008	0.6808
	$c_{14}^E$	0.0758	0.0779	0.0799	0.013	0.0778
	$c_{33}^E$	2.3382	2.3431	2.3459	0.024	2.3423
	$c_{44}^E$	0.5996	0.5984	0.5973	-0.007	0.5985
圧電定数 (C/m <sup>2</sup> )	$e_{15}$	3.631	3.659	3.682	0.164	3.657
	$e_{22}$	2.394	2.408	2.419	0.079	2.406
	$e_{31}$	0.332	0.328	0.320	-0.038	0.327
	$e_{33}$	1.896	1.878	1.870	-0.081	1.882
比誘電率	$\epsilon_{11}^E/\epsilon_0$	45.1	45.1	45.0	-0.22	45.1
	$\epsilon_{33}^E/\epsilon_0$	26.8	26.6	26.5	-1.14	26.6
密度 (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho$	4643.5	4642.8	4641.7	-5.91	4642.7

【図 16】

		48.321 Li <sub>2</sub> O-mol%	48.473 Li <sub>2</sub> O-mol%	48.621 Li <sub>2</sub> O-mol%	勾配 (/mol%)	48.460 Li <sub>2</sub> O-mol%
弾性定数 ( $\times 10^{11}$ N/m <sup>2</sup> )	$c_{11}^E$	2.3264	2.3300	2.3333	0.023	2.3296
	$c_{12}^E$	0.4620	0.4643	0.4653	0.011	0.4638
	$c_{13}^E$	0.8356	0.8341	0.8358	0.000	0.8352
	$c_{14}^E$	-0.1077	-0.1061	-0.1054	0.008	-0.1065
	$c_{33}^E$	2.7530	2.7574	2.7614	0.027	2.7569
	$c_{44}^E$	0.9513	0.9514	0.9521	0.002	0.9516
圧電定数 (C/m <sup>2</sup> )	$e_{15}$	2.609	2.634	2.650	0.135	2.630
	$e_{22}$	1.818	1.826	1.844	0.086	1.828
	$e_{31}$	-0.143	-0.090	-0.114	0.096	-0.117
	$e_{33}$	1.804	1.792	1.779	-0.082	1.793
比誘電率	$\epsilon_{11}^E/\epsilon_0$	41.7	41.7	41.7	0.00	41.7
	$\epsilon_{33}^E/\epsilon_0$	41.9	41.7	41.4	-1.73	41.7
密度 (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho$	7463.4	7460.6	7457.9	-18.61	7460.8

【図 17】

	コンパイル 組成	127.86° YZ-LiNbO <sub>3</sub> の SAW 速度の許容幅					
		±0.1%	±0.05%	±0.02%	±0.01%	±0.005%	±0.002%
SAW 速度 [m/s]	3976.84	±3.98	±1.99	±0.80	±0.40	±0.20	±0.08
LSAW 速度 [m/s]	3917.49	±3.70	±1.85	±0.74	±0.37	±0.18	±0.07
キュリ温度 [°C]	1134.82	±5.00	±2.50	±1.00	±0.50	±0.25	±0.10
結晶組成 [Li <sub>2</sub> O-mol%]	48.481	±0.114	±0.057	±0.023	±0.011	±0.006	±0.002
チャージ原料組成 [Li <sub>2</sub> O-mol%]	48.481	±0.086	±0.043	±0.017	±0.009	±0.004	±0.002



---

フロントページの続き

審査官 橋本 和志

- (56)参考文献 特開2002-267640(JP,A)  
特開2002-131295(JP,A)  
特開2003-267798(JP,A)  
特開平09-188596(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H03H3/007-H03H3/10, H03H9/00-9/76