

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年8月2日(02.08.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/157984 A1

(51) 国際特許分類:
H03H 9/17 (2006.01) H03H 3/02 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2024/001898

(22) 国際出願日: 2024年1月23日(23.01.2024)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2023-008867 2023年1月24日(24.01.2023) JP
特願 2023-140222 2023年8月30日(30.08.2023) JP

(71) 出願人: 日東電工株式会社 (NITTO DENKO CORPORATION) [JP/JP]; 〒5678680 大阪府茨木市下穂積1丁目1番2号 Osaka (JP).

(72) 発明者: 柳谷 隆彦 (YANAGITANI, Takahiko); 〒1698050 東京都新宿区戸塚町1丁目104番地 学校法人早稲田大学内 Tokyo (JP).

渡海 智 (TOKAI, Satoshi); 〒1698050 東京都新宿区戸塚町1丁目104番地 学校法人早稲田大学内 Tokyo (JP).

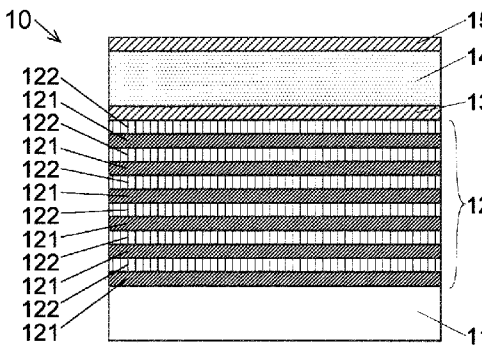
(74) 代理人: 伊東 忠重, 外 (ITO, Tadashige et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号 丸の内 M Y P L A Z A (明治安田生命ビル) 16階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,

(54) Title: BULK ACOUSTIC WAVE FILTER AND METHOD FOR MANUFACTURING SAME

(54) 発明の名称: バルク音響波フィルタ及びその製造方法

[図1]



(57) Abstract: The present invention comprises: an acoustic Bragg reflector (12) in which a plurality of first acoustic impedance layers (121) and second acoustic impedance layers (122) are alternately layered one by one, each of said impedance layers being composed of a metal polycrystal or single crystal that is oriented in a predetermined direction, and having a different acoustic impedance than the other; and a piezoelectric layer (14) that is provided on the acoustic Bragg reflector (12) and is composed of a polycrystal or a single crystal piezoelectric material that is oriented in a predetermined direction, the crystal lattice of the polycrystal or the single crystal matching the crystal lattice of the metal polycrystal or single crystal of a layer among the first acoustic impedance layers and the second acoustic impedance layers that is at a position close to the piezoelectric layer.



SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: いずれも所定の方向に配向した金属の多結晶又は単結晶から成り、互いに音響インピーダンスが異なる第1音響インピーダンス層(121)と第2音響インピーダンス層(122)が交互に1層ずつそれぞれ複数積層した音響ブラッグ反射器(12)と、音響ブラッグ反射器(12)上に設けられた、所定の方向に配向した多結晶又は単結晶の圧電体から成る圧電層(14)であって、前記多結晶又は前記単結晶の結晶格子が、前記第1音響インピーダンス層及び前記第2音響インピーダンス層のうち前記圧電層に近い位置にある層の金属の多結晶又は単結晶の結晶格子と整合している圧電層(14)とを備える。

明 細 書

発明の名称： バルク音響波フィルタ及びその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、スマートフォン等の通信機器等で使用される周波数フィルタであるバルク音響波（B A W : Bulk Acoustic Wave）フィルタ、特にソリッドマウント共振器（S M R : Solidly Mounted Resonator）型のB A Wフィルタ及びその製造方法に関する。

背景技術

[0002] B A Wフィルタは、圧電体から成る層である圧電層のバルクの振動を利用して特定の周波数帯の電気信号を通過させる周波数フィルタである。圧電層を用いた周波数フィルタとしては、圧電層の表面に生じる表面弾性波（S A W : Surface Acoustic Wave）を利用したS A Wフィルタも用いられているが、B A WフィルタはS A Wフィルタよりも耐電圧性が高く、且つ、より高い周波数帯で使用することができるという特徴を有する。

[0003] B A Wフィルタには、S M R型のものとF B A R（Film Bulk Acoustic Resonator）型のものが存在する。S M R型のB A Wフィルタは、音響インピーダンスが異なる層が交互に積層して成る音響ブラッグ反射器の上に圧電層を備える。これに対して、F B A R型のB A Wフィルタは、一部に空洞が設けられた基板の該空洞上を含む上面に圧電層を備える。このような構造の相違により、S M R型のB A WフィルタはF B A R型のものよりも機械的強度が高いという特徴を有する。

[0004] 現状では、スマートフォン用の周波数フィルタとして実用化されているS M R型のB A Wフィルタは、二酸化ケイ素（SiO₂）から成る低インピーダンス層と該低インピーダンス層の構成元素よりも重い原子であるタングステン（W）やモリブデン（Mo）等の金属から成る高インピーダンス層を交互に積層した音響ブラッグ反射器と、所定の結晶軸が層に垂直な方向に配向した多数の微結晶から成る圧電体製の圧電層とを備えるものが一般的である。今後、さ

らに高い周波数帯に対応するためには、配向の精度が高い多結晶、又は単結晶から成る圧電体を用いた圧電層を備える周波数フィルタが求められている。

[0005] 特許文献1には、シリコン (Si)、酸化マグネシウム (MgO)、チタン酸ストロンチウム (SrTiO_3) 等の単結晶から成る基板の表面に、ジルコニウム酸バリウム (BaZrO_3)、マグネシウムタンタル酸バリウム ($\text{Ba}(\text{Mg}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})\text{O}_3$)、チタン酸カルシウム (CaTiO_3) 等のペロブスカイト型酸化物のうちの互いに音響インピーダンスが異なる2種類をエピタキシャル法により交互に積層することで音響ブラッグ反射器を形成し、該音響ブラッグ反射器の表面にエピタキシャル法によりチタン酸バリウムから成る圧電層を形成してSMR型BAWフィルタを作製することが記載されている。このように、エピタキシャル法を用いて、基板、音響ブラッグ反射器及び圧電層と順次形成することにより、該圧電層は基板の結晶の結晶格子と整合した配向の精度が高い多結晶又は単結晶となる。そのため、高い周波数帯に対応したSMR型BAWフィルタが得られる。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：日本国特開2003-101375号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 圧電層では、振動のエネルギーの一部は熱に変換されるため、SMR型BAWフィルタでは、その温度上昇を防ぐために、圧電層で生じた熱をフィルタ外へ逃がす必要がある。SMR型BAWフィルタでは、入力された電気信号に従って圧電層をできるだけ外部に束縛されない状態で振動させるように音響ブラッグ反射器側が外部に固定されるため、圧電層で生じた熱は音響ブラッグ反射器を介して外部に放熱される。しかし、特許文献1に記載のSMR型BAWフィルタは、音響ブラッグ反射器を構成する高インピーダンス層

及び低インピーダンス層がいずれもセラミクス（セラミックス）製であることから、伝熱性が低く、圧電層から外部への放熱性が低いという欠点を有する。

[0008] 本発明が解決しようとする課題は、高い周波数帯に対応しつつ、圧電層から外部への放熱性が高いSMR型BAWフィルタを提供することである。

課題を解決するための手段

[0009] 上記課題を解決するために成された本発明に係る第1のSMR型BAWフィルタは、

a) いずれも所定の方向に配向した金属の多結晶又は単結晶から成り、互いに音響インピーダンスが異なる第1音響インピーダンス層と第2音響インピーダンス層が交互に1層ずつそれぞれ複数積層した音響ブラッグ反射器と、

b) 前記音響ブラッグ反射器上に設けられた、所定の方向に配向した多結晶又は単結晶の圧電体から成る圧電層であって、該多結晶又は単結晶の結晶格子が、前記第1音響インピーダンス層及び前記第2音響インピーダンス層のうち該圧電層に近い位置にある層の金属の多結晶又は単結晶の結晶格子と整合している圧電層と

を備える。

[0010] 一般に、金属はセラミクスよりも熱伝導率が高い。本発明に係る第1のSMR型BAWフィルタにおける音響ブラッグ反射器はそれを構成する各層がいずれも金属から成るため、各層がいずれもセラミクス製の音響ブラッグ反射器よりも伝熱性が高い。そのため、本発明に係るSMR型BAWフィルタは、圧電層から音響ブラッグ反射器を介して外部へ放熱する性能を高くすることができる。

[0011] また、本発明に係る第1のSMR型BAWフィルタは、圧電層が所定の方向に配向した圧電体の多結晶又は単結晶から成るため、高い周波数帯に対応することができる。

[0012] このような構成を有するSMR型BAWフィルタは、音響ブラッグ反射器の各層と圧電層を順にエピタキシャル法で作製することにより、容易に製造

することができる。すなわち、このような構成を有するSMR型BAWフィルタを製造する方法は、

所定の結晶面を表面に有する単結晶から成る基板を準備する基板準備工程と、

前記基板の表面に、いずれも前記基板の単結晶の結晶格子と整合する結晶格子を有する金属から成り、互いに音響インピーダンスが異なる第1音響インピーダンス層と第2音響インピーダンス層を交互に1層ずつそれぞれ複数、エピタキシャル法で形成することにより音響ブラッグ反射器を作製する音響ブラッグ反射器作製工程と、

前記音響ブラッグ反射器の上に、前記第1音響インピーダンス層と前記第2音響インピーダンス層のうち最上部にある層の金属の結晶格子と整合する結晶格子を有する圧電体から成る圧電層をエピタキシャル法により作製する圧電層作製工程と

を有する。

[0013] 前記基板における前記所定の結晶面は、圧電層に形成する多結晶の配向方向又は単結晶の結晶軸の方向に応じて定める。例えば、六方晶の結晶構造を有する酸化亜鉛 (ZnO)、酸化マグネシウム亜鉛 (MgZnO)、窒化アルミニウム (AlN)、窒化スカンジウムアルミニウム (ScAlN) 等から成る圧電層を、(0001)面が圧電層に平行になるように作製する場合には、基板には3回回転対称性又は6回回転対称性を有する結晶軸を有する単結晶を用い、該結晶軸に垂直な面を前記所定の結晶面とするとよい。

[0014] 本発明に係る第1のSMR型BAWフィルタにおいて、前記第1音響インピーダンス層の熱膨張率の値と前記第2音響インピーダンス層の熱膨張率の値が近いことが好ましい。具体的には、前者と後者の熱膨張率の値のうち高い方を低い方で除した値である熱膨長率比指標値が1.0~1.1の範囲内にあることが好ましい。これにより、温度変化に伴う膨張又は収縮によって第1音響インピーダンス層と第2音響インピーダンス層の一方が他方から剥がれてしまうというリスクを抑えることができる。

- [0015] 例えば、第1音響インピーダンス層と第2音響インピーダンス層の材料の一方に白金（室温での線膨張率が $8.8 \times 10^{-6}/K$ ）を、他方にチタン（同 $8.4 \times 10^{-6}/K$ ）をそれぞれ用いることにより、熱膨長率比指標値を1.05とすることができる。
- [0016] 前記第1音響インピーダンス層の音響インピーダンスの値と前記第2音響インピーダンス層の音響インピーダンスの値のうち高い方を低い方で除した値である音響インピーダンス比指標値が3以上であることが好ましい。このように、音響インピーダンスの差が大きい第1音響インピーダンス及び第2音響インピーダンス層を用いることにより、第1音響インピーダンス及び第2音響インピーダンス層の層数を少なくしても音響ブラッグ反射を生じさせることができる。特許文献1に記載のブラッグ反射器では、音響インピーダンス比指標値が1.34であり、音響ブラッグ反射を生じさせるためには、第1音響インピーダンス及び第2音響インピーダンス層を10組以上設ける必要がある。これに対して、本発明のように、音響インピーダンス比指標値を3以上にすれば、音響ブラッグ反射器が有する第1音響インピーダンス及び第2音響インピーダンス層を6組以下とすることができる。
- [0017] 例えば、第1音響インピーダンス層と第2音響インピーダンス層の材料の一方に白金（音響インピーダンス 85×10^6 ）、他方にチタン（同 27×10^6 ）をそれぞれ用いることにより、音響インピーダンス比指標値を3.15とすることができる。このように、第1音響インピーダンス層と第2音響インピーダンス層の一方に白金を、他方にチタンを用いたSMR型BAWフィルタは、上述の熱膨張率の点と音響インピーダンスの比の双方の点において好ましい。
- [0018] なお、音響ブラッグ反射器と圧電層の間に他の層が介在していてもよい。例えば、音響ブラッグ反射器と圧電層の間に、圧電層を挟むように設けられた1対の電極のうちの一方を介在させることができる。通常、この種の電極は金属製であるため、圧電層から外部への放熱性に与える影響は低い。また、音響ブラッグ反射器と圧電層の間に、圧電層の多結晶又は単結晶の結晶格子と整合し、且つ、前記第1音響インピーダンス層及び前記第2音響インピ

ーダンス層のうち該圧電層に近い位置にある層の金属の多結晶又は単結晶の結晶格子と整合する、金属又は絶縁体（圧電体を含む）から成るバッファ層を介在させてもよい。このようなバッファ層を介在させることにより、圧電層の結晶性をより高くすることができる。なお、バッファ層が絶縁体から成る場合には、圧電層から外部への放熱性に与える影響をできるだけ抑えるために、バッファ層は薄く（例えば、圧電層よりも薄く）することが望ましい。

[0019] 本発明に係る第2のSMR型BAWフィルタは、

a) 所定の方向に配向した金属の多結晶又は単結晶から成る第1音響インピーダンス層と、所定の方向に配向したセラミックスの多結晶又は単結晶から成り前記第1音響インピーダンス層とは音響インピーダンスが異なる第2音響インピーダンス層が交互に1層ずつそれぞれ複数積層した音響ブラッグ反射器と、

b) 前記音響ブラッグ反射器上に設けられた、所定の方向に配向した多結晶又は単結晶の圧電体から成る圧電層であって、前記多結晶又は前記単結晶の結晶格子が、前記第1音響インピーダンス層及び前記第2音響インピーダンス層のうち前記圧電層に近い位置にある層の多結晶又は単結晶の結晶格子と整合している圧電層と

を備える。

[0020] 本発明に係る第2のSMR型BAWフィルタは、第1音響インピーダンス層と第2音響インピーダンス層のうち的一方が金属から成るため、各層がいずれもセラミックス製である音響ブラッグ反射器を備えるSMR型BAWフィルタよりも、圧電層から音響ブラッグ反射器を介して外部へ放熱する性能が高い。また、本発明に係る第2のSMR型BAWフィルタは、圧電層が所定の方向に配向した圧電体の多結晶又は単結晶から成るため、高い周波数帯に対応することができる。

[0021] 本発明において、

前記第2のSMR型BAWフィルタが2個、前記第1音響インピーダンス層

及び前記第2音響インピーダンス層に平行な方向に離間して配置されており、

前記2個のSMR型BAWフィルタにおける前記音響ブラッグ反射器同士が、前記セラミクスから成る接続材により接続されているという構成を取ることができる。

[0022] このように、2個（又は3個以上）の第2のSMR型BAWフィルタがセラミクスから成る接続材により（機械的に）接続されることにより、音響ブラッグ反射器同士を電氣的に絶縁しつつ複数のSMR型BAWフィルタを集積したデバイスを構成することができる。その際、接続材の材料が第2音響インピーダンス層の材料と同じ（前記セラミクス）であるため、当該デバイスの製造時に、第2音響インピーダンス層と接続材を同時に形成することができる。それにより、製造プロセスを簡略化することができる。

[0023] 本発明に係る第2のSMR型BAWフィルタの製造方法は、所定の結晶面を表面に有する単結晶から成る基板を準備する基板準備工程と、

前記基板の表面に、所定の方向に配向した金属の多結晶又は単結晶から成る第1音響インピーダンス層と、所定の方向に配向したセラミクスの多結晶又は単結晶から成る前記第1音響インピーダンス層とは音響インピーダンスが異なる第2音響インピーダンス層を交互に1層ずつそれぞれ複数、エピタキシャル法で形成することにより音響ブラッグ反射器を作製する音響ブラッグ反射器作製工程と、

前記音響ブラッグ反射器の上に、前記第1音響インピーダンス層と前記第2音響インピーダンス層のうち最上部にある層の結晶格子と整合する結晶格子を有する圧電体から成る圧電層をエピタキシャル法により作製する圧電層作製工程と

を有する。

[0024] なお、第1音響インピーダンス層と第2音響インピーダンス層の積層順は問わない。従って、音響ブラッグ反射器を構成する各層のうち、前記基板の

表面に最も近い層は、第1音響インピーダンス層（すなわち金属製の層）と第2音響インピーダンス層（セラミクス製の層）のいずれであってもよい。

[0025] 上記第2のSMR型BAWフィルタの製造方法は、

前記音響ブラッグ反射器作製工程において、前記第1音響インピーダンス層及び前記第2音響インピーダンス層を作製する際に、互いに前記第1音響インピーダンス層及び前記第2音響インピーダンス層に平行な方向に離間して2個ずつ作製し、

前記音響ブラッグ反射器作製工程において前記第2音響インピーダンス層を作製する際に同時に、2個の第2音響インピーダンス層の間及び前記2個の第2音響インピーダンス層の直下にある2個の第1音響インピーダンス層の間に前記セラミクスの多結晶又は単結晶をエピタキシャル成長させる、

ことができる。これにより、前記2個（又は3個以上）の第2のSMR型BAWフィルタがセラミクスから成る接続材により接続されたデバイスを容易に作製することができる。

発明の効果

[0026] 本発明により、高い周波数帯に対応しつつ、圧電層から外部への放熱性が高いSMR型BAWフィルタを得ることができる。

図面の簡単な説明

[0027] [図1]本発明に係る第1のSMR型BAWフィルタの一実施形態（第1実施形態）の概略構成を示す縦断面図。

[図2A]第1実施形態のSMR型BAWフィルタの製造方法における基板準備工程を示す縦断面図。

[図2B]第1実施形態のSMR型BAWフィルタの製造方法における音響ブラッグ反射器作製工程の途中経過を示す縦断面図。

[図2C]第1実施形態のSMR型BAWフィルタの製造方法における音響ブラッグ反射器作製工程の途中経過を示す縦断面図。

[図2D]第1実施形態のSMR型BAWフィルタの製造方法において、音響ブラッグ反射器を作製した状態を示す縦断面図。

[図2E]第1実施形態のSMR型BAWフィルタの製造方法において、第1電極層を作製した状態を示す縦断面図。

[図2F]第1実施形態のSMR型BAWフィルタの製造方法において、圧電層を作製した状態を示す縦断面図。

[図3A]圧電層が酸化亜鉛から成る第1実施形態のSMR型BAWフィルタにつき、縦断面を撮影した走査電子顕微鏡写真。

[図3B]圧電層が酸化マグネシウム亜鉛から成る第1実施形態のSMR型BAWフィルタにつき、縦断面を撮影した走査電子顕微鏡写真。

[図3C]圧電層が窒化スカンジウムアルミニウムから成る第1実施形態のSMR型BAWフィルタにつき、縦断面を撮影した走査電子顕微鏡写真。

[図4A]圧電層が酸化亜鉛から成る第1実施形態のSMR型BAWフィルタにつき、 2θ - ω スキャンでX線回折測定を行った結果を示すグラフ。

[図4B]圧電層が酸化マグネシウム亜鉛から成る第1実施形態のSMR型BAWフィルタにつき、 2θ - ω スキャンでX線回折測定を行った結果を示すグラフ。

[図4C]圧電層が窒化スカンジウムアルミニウムから成る第1実施形態のSMR型BAWフィルタにつき、 2θ - ω スキャンでX線回折測定を行った結果を示すグラフ。

[図5A]第1実施形態のSMR型BAWフィルタにおける第1音響インピーダンス層につき、X線回折により得られた(002)面極点図。

[図5B]第1実施形態のSMR型BAWフィルタにおける第2音響インピーダンス層につき、X線回折により得られた(10-12)面極点図。

[図5C]第1実施形態のSMR型BAWフィルタにおける酸化亜鉛から成る圧電層につき、X線回折により得られた(10-11)面極点図。

[図5D]第1実施形態のSMR型BAWフィルタにおける酸化マグネシウム亜鉛から成る圧電層につき、X線回折により得られた(10-11)面極点図。

[図5E]第1実施形態のSMR型BAWフィルタにおける窒化スカンジウムアルミニウムから成る圧電層につき、X線回折により得られた(10-11)面極点図

。

[図6A]第1実施形態のSMR型BAWフィルタにおける酸化亜鉛から成る圧電層について得られた電子回折像。

[図6B]第1実施形態のSMR型BAWフィルタにおける窒化スカンジウムアルミニウムから成る圧電層について得られた電子回折像。

[図7A]圧電層が酸化亜鉛から成る第1実施形態のSMR型BAWフィルタにつき、周波数特性を測定した結果を示すグラフ。

[図7B]圧電層が酸化マグネシウム亜鉛から成る第1実施形態のSMR型BAWフィルタにつき、周波数特性を測定した結果を示すグラフ。

[図7C]圧電層が窒化スカンジウムアルミニウムから成る第1実施形態のSMR型BAWフィルタにつき、周波数特性を測定した結果を示すグラフ。

[図8]第1実施形態のSMR型BAWフィルタの変形例の概略構成を示す縦断面図。

[図9A]窒化スカンジウムアルミニウム ($\text{Sc}_{0.12}\text{Al}_{0.88}\text{N}$) から成る圧電層を加熱することなく作製した第1実施形態のSMR型BAWフィルタの一例につき、縦断面を撮影した走査電子顕微鏡写真。

[図9B]窒化スカンジウムアルミニウム ($\text{Sc}_{0.40}\text{Al}_{0.60}\text{N}$) から成る圧電層を加熱することなく作製した第1実施形態のSMR型BAWフィルタの一例につき、縦断面を撮影した走査電子顕微鏡写真。

[図10A] $\text{Sc}_{0.12}\text{Al}_{0.88}\text{N}$ から成る圧電層を加熱することなく作製した第1実施形態のSMR型BAWフィルタの一例につき、 $2\theta-\omega$ スキャンでX線回折測定を行った結果を示すグラフ。

[図10B] $\text{Sc}_{0.40}\text{Al}_{0.60}\text{N}$ から成る圧電層を加熱することなく作製した第1実施形態のSMR型BAWフィルタの一例につき、 $2\theta-\omega$ スキャンでX線回折測定を行った結果を示すグラフ。

[図11A] $\text{Sc}_{0.12}\text{Al}_{0.88}\text{N}$ から成る圧電層を加熱することなく作製した第1実施形態のSMR型BAWフィルタの一例につき、X線回折により得られた(10-11)面極点図。

[図11B] $\text{Sc}_{0.40}\text{Al}_{0.60}\text{N}$ から成る圧電層を加熱することなく作製した第1実施形態のSMR型BAWフィルタの一例につき、X線回折により得られた(10-11)面極点図。

[図12] $\text{Sc}_{0.12}\text{Al}_{0.88}\text{N}$ から成る圧電層を加熱することなく作製した第1実施形態のSMR型BAWフィルタの一例につき得られた圧電層の電子回折像。

[図13] $\text{Sc}_{0.12}\text{Al}_{0.88}\text{N}$ から成る圧電層を加熱することなく作製した第1実施形態のSMR型BAWフィルタの一例につき得られた圧電層につき、 ω スキャンでX線回折測定を行った結果を示すグラフ。

[図14] $\text{Sc}_{0.12}\text{Al}_{0.88}\text{N}$ から成る圧電層を加熱することなく作製した第1実施形態のSMR型BAWフィルタの一例につき得られた圧電層につき、(10-11)面内での ϕ スキャンでX線回折測定を行った結果を示すグラフ。

[図15A] $\text{Sc}_{0.12}\text{Al}_{0.88}\text{N}$ から成る圧電層を加熱することなく作製した第1実施形態のSMR型BAWフィルタの一例につき、音響インピーダンスを測定した結果を示すグラフ。

[図15B] $\text{Sc}_{0.40}\text{Al}_{0.60}\text{N}$ から成る圧電層を加熱することなく作製した第1実施形態のSMR型BAWフィルタの一例につき、音響インピーダンスを測定した結果を示すグラフ。

[図16A] $\text{Sc}_{0.12}\text{Al}_{0.88}\text{N}$ から成る圧電層を加熱することなく作製した第1実施形態のSMR型BAWフィルタの一例につき、音響インピーダンスの実部を求めた結果を示すグラフ。

[図16B] $\text{Sc}_{0.40}\text{Al}_{0.60}\text{N}$ から成る圧電層を加熱することなく作製した第1実施形態のSMR型BAWフィルタの一例につき、音響インピーダンスの実部を求めた結果を示すグラフ。

[図17]本発明に係る第2のSMR型BAWフィルタの一実施形態（第2実施形態）の概略構成を示す縦断面図。

[図18]第2実施形態のSMR型BAWフィルタを2個以上組み合わせた複数一体型のデバイスの概略構成を示す縦断面図。

[図19A]複数一体型のデバイスの製造工程を示す縦断面図。

[図19B]複数一体型のデバイスの製造工程を示す縦断面図。

[図19C]複数一体型のデバイスの製造工程を示す縦断面図。

[図19D]複数一体型のデバイスの製造工程を示す縦断面図。

[図20A]圧電層が酸化亜鉛から成る第2実施形態のSMR型BAWフィルタにつき、縦断面を撮影した走査電子顕微鏡写真。

[図20B]圧電層が酸化マグネシウム亜鉛から成る第2実施形態のSMR型BAWフィルタにつき、縦断面を撮影した走査電子顕微鏡写真。

[図20C]圧電層が窒化スカンジウムアルミニウムから成る第2実施形態のSMR型BAWフィルタにつき、縦断面を撮影した走査電子顕微鏡写真。

[図21A]圧電層が酸化亜鉛から成る第2実施形態のSMR型BAWフィルタにつき、 2θ - ω スキャンでX線回折測定を行った結果を示すグラフ。

[図21B]圧電層が酸化マグネシウム亜鉛から成る第2実施形態のSMR型BAWフィルタにつき、 2θ - ω スキャンでX線回折測定を行った結果を示すグラフ。

[図21C]圧電層が窒化スカンジウムアルミニウムから成る第2実施形態のSMR型BAWフィルタにつき、 2θ - ω スキャンでX線回折測定を行った結果を示すグラフ。

[図22A]圧電層が酸化亜鉛から成る第2実施形態のSMR型BAWフィルタにつき、 ω スキャンでX線回折測定を行った結果を示すグラフ。

[図22B]圧電層が酸化マグネシウム亜鉛から成る第2実施形態のSMR型BAWフィルタにつき、 ω スキャンでX線回折測定を行った結果を示すグラフ。

[図22C]圧電層が窒化スカンジウムアルミニウムから成る第2実施形態のSMR型BAWフィルタにつき、 ω スキャンでX線回折測定を行った結果を示すグラフ。

[図23A]圧電層が酸化亜鉛から成る第2実施形態のSMR型BAWフィルタにつき、(10-11)面内での ϕ スキャンでX線回折測定を行った結果を示すグラフ。

[図23B]圧電層が酸化マグネシウム亜鉛から成る第2実施形態のSMR型BAW

Wフィルタにつき、(10-11)面内での ϕ スキャンでX線回折測定を行った結果を示すグラフ。

[図23C]圧電層が窒化スカンジウムアルミニウムから成る第2実施形態のSMR型BAWフィルタにつき、(10-11)面内での ϕ スキャンでX線回折測定を行った結果を示すグラフ。

[図24A]圧電層が酸化亜鉛から成る第2実施形態のSMR型BAWフィルタにつき、X線回折により得られた圧電層の(10-11)面極点図。

[図24B]圧電層が酸化マグネシウム亜鉛から成る第2実施形態のSMR型BAWフィルタにつき、X線回折により得られた圧電層の(10-11)面極点図。

[図24C]圧電層が窒化スカンジウムアルミニウムから成る第2実施形態のSMR型BAWフィルタにつき、X線回折により得られた圧電層の(10-11)面極点図。

[図25]圧電層が窒化スカンジウムアルミニウムから成る第2実施形態のSMR型BAWフィルタにつき、音響インピーダンスを測定した結果を示すグラフ。

[図26]圧電層が窒化スカンジウムアルミニウムから成る第2実施形態のSMR型BAWフィルタにつき、音響インピーダンスの実部を求めた結果を示すグラフ。

発明を実施するための形態

[0028] 図1～図26を用いて、本発明に係るSMR型BAWフィルタ及びその製造方法の実施形態を説明する。

[0029] (1) 第1実施形態のSMR型BAWフィルタの構成

図1に、第1のSMR型BAWフィルタの一実施形態（第1実施形態）であるSMR型BAWフィルタ10の概略構成を縦断面図で示す。図1に示すように、SMR型BAWフィルタ10は、基板11と、音響ブラッグ反射器12と、第1電極層13と、圧電層14と、第2電極層15とをこの順に積層した構造を有する。

[0030] 基板11は、SMR型BAWフィルタ10の製造のために用いるものであ

り、SMR型BAWフィルタ10の構成要素としては必須のものではないため、設ける必要はない。但し、基板11はSMR型BAWフィルタ10の動作に影響を及ぼさなく、また、SMR型BAWフィルタ10を保持するという副次的な役割を有するため、本実施形態ではそのまま残している。本実施形態では、基板11には六方晶の結晶構造を有するサファイヤの単結晶から成るものを用いている。このサファイヤの単結晶は、基板11の表面に結晶の(0001)面が現れるように切り出している。サファイヤの代わりに、炭化シリコン(SiC)、シリコン(Si)、酸化マグネシウム(MgO)、チタン酸ストロンチウム(SrTiO_3)、ガリウムヒ素(GaAs)、ゲルマニウム(Ge)等の単結晶を基板11の材料に用いてもよい。

[0031] 音響ブラッグ反射器12は、互いに異なる材料から成る第1音響インピーダンス層121と第2音響インピーダンス層122が交互に1層ずつそれぞれ複数積層した構造を有する。図1では、第1音響インピーダンス層121と第2音響インピーダンス層122を6層ずつ設けているが、この層数には限定されず、それぞれ2層ずつ以上あればよい。第1音響インピーダンス層121及び第2音響インピーダンス層122はいずれも金属から成る。また、本実施形態では、第1音響インピーダンス層121及び第2音響インピーダンス層122はいずれも、後述のように、エピタキシャル法により作製されるため、配向した多結晶又は単結晶となっている。

[0032] 本実施形態では、第1音響インピーダンス層121には白金(Pt)から成るものを、第2音響インピーダンス層122にはチタン(Ti)から成るものを、それぞれ用いた。白金よりもチタンの方が軽い原子から成るため、第1音響インピーダンス層121よりも第2音響インピーダンス層122の方が音響インピーダンスは低くなる。具体的には、第1音響インピーダンス層121の音響インピーダンスは 85×10^6 、第2音響インピーダンス層122の音響インピーダンスは 27×10^6 となり、音響インピーダンス比指標値は3.15という高い値となる。そのため、第1音響インピーダンス層121と第2音響インピーダンス層122をそれぞれ6層設けることで音響ブラッグ反射を実現す

ることができる。また、白金とチタンは熱膨張係数が近く（室温での線膨張係数で白金は $8.8 \times 10^{-6}/K$ 、チタンは $8.4 \times 10^{-6}/K$ ）、それにより第1音響インピーダンス層121と第2音響インピーダンス層122の熱膨張率も近い（熱膨長率比指標値が1.05）ため、温度変化に伴う膨張又は収縮によって第1音響インピーダンス層121と第2音響インピーダンス層122の一方が他方から剥がれてしまうリスクを抑えることができる。

[0033] 第1音響インピーダンス層121及び第2音響インピーダンス層122の材料は、上記の例には限定されない。第1音響インピーダンス層121の材料には、白金の他に、例えば、モリブデン（Mo）、タンタル（Ta）、ハフニウム（Hf）、イリジウム（Ir）、ルテニウム（Ru）、タングステン（W）、金（Au）、ジルコニウム（Zr）、ニオブ（Nb）等の単体やそれらの合金を用いることができる。第2音響インピーダンス層122の材料には、チタンの他に、例えば、スカンジウム（Sc）、バナジウム（V）、クロム（Cr）、マンガン（Mn）、鉄（Fe）、コバルト（Co）、ニッケル（Ni）、銅（Cu）、亜鉛（Zn）、ゲルマニウム（Ge）、アルミニウム（Al）、シリコン（Si）、炭素（C）等の単体やそれらの合金を用いることができる。なお、単体の炭素（C）は、金属的な熱伝導性を有するグラフェンを用いる。ここで列挙した第2音響インピーダンス層122の材料となる元素の原子は、いずれも、第1音響インピーダンス層121の材料となる元素の原子よりも軽い。

[0034] 第1電極層13は、導電性を有する材料から成る層であれば特に限定されないが、本実施形態では、後述のように、エピタキシャル法により作製されるため、配向した多結晶、又は単結晶となっている。本実施形態では、電極の材料は、白金とした。なお、音響ブラッグ反射器12が電極としての十分に高い導電性を有する場合には、第1電極層13を省略して音響ブラッグ反射器12を電極として用いてもよい。

[0035] 圧電層14は、所定の方向に配向した多結晶又は単結晶の圧電体から成る。本実施形態では、それぞれ、圧電層14が、酸化亜鉛（ZnO）、酸化マグネシウム亜鉛（MgZnO）及び窒化スカンジウムアルミニウム（ScAlN）の単結晶

から成る3種類のSMR型BAWフィルタ10を作製した。これら3種類の材料は、いずれも六方晶であるウルツ鉱構造を有する。また、これら3種類の圧電層14は、いずれも後述のように、エピタキシャル法により作製され、c軸が圧電層14に垂直な方向を向いている。圧電層14の上下の両表面は六方晶の(0001)面の結晶面が現れており、該表面ではc軸の周りに6回回転対称性を有するように原子が配列している。圧電層14の材料は、これら3つの例には限定されず、窒化アルミニウム (AlN) 等の他の圧電体を用いてもよい。

[0036] 第2電極層15は、導電性を有する材料から成る層であれば特に限定されない。本実施形態では、金から成る第2電極層15を用いた。第2電極層15は、配向した多結晶又は単結晶である必要はなく、エピタキシャル法で作製する必要もない。

[0037] (2) 本実施形態のSMR型BAWフィルタの製造方法

本実施形態のSMR型BAWフィルタ10は、図2A～図2Fに示す方法により製造する。まず、表面に結晶の(0001)面が現れるように切り出されたサファイヤの単結晶から成る基板11を準備する(図2A：基板準備工程)。このような基板は市販されていることから、そのような市販のものをそのまま基板11として使用しても良い。

[0038] 以下、基板11上に音響ブラッグ反射器12(図2B～図2D：音響ブラッグ反射器作製工程)、第1電極層13(図2E)及び圧電層14(図2F)を順に、エピタキシャル法により作製した(図2B～図2F)。本実施形態では、これら各層の作製にはいずれもRF(高周波)マグネトロンスパッタ装置を用いた。音響ブラッグ反射器12の作製時には、まず基板11上に第1音響インピーダンス層121を1層作製し(図2B)、作製した第1音響インピーダンス層121上に第2音響インピーダンス層122を1層作製し(図2C)、作製した第2音響インピーダンス層122上に第1音響インピーダンス層121を作製するという操作を繰り返し行った。

[0039] 各層を作製する際のRFマグネトロンスパッタ装置に関する条件は以下の通りである。

(第1音響インピーダンス層121)

R Fマグネトロンスパッタ装置のカソード上に白金製のターゲットを裁置し、当該第1音響インピーダンス層121が作製される基板11又は第2音響インピーダンス層122の表面を当該ターゲットに対向して30mm離れた位置に配置した。圧力0.5Paのアルゴンガス雰囲気中で80Wの高周波電力を投入しつつ温度500℃で、1層につき10分間、厚さ450nmになるまで成膜した。

[0040] (第2音響インピーダンス層122)

R Fマグネトロンスパッタ装置のカソード上にチタン製のターゲットを裁置し、当該第2音響インピーダンス層122が作製される第1音響インピーダンス層121の表面を当該ターゲットに対向して30mm離れた位置に配置した。圧力0.5Paのアルゴンガス雰囲気中で100Wの高周波電力を投入しつつ温度350℃で、1層につき30分間、厚さ760nmになるまで成膜した。

[0041] (第1電極層13)

R Fマグネトロンスパッタ装置のカソード上に白金製のターゲットを載置し、当該第1電極層13が作製される第2音響インピーダンス層122の表面を当該ターゲットに対向して30mm離れた位置に配置した。圧力0.5Paのアルゴンガス雰囲気中で80Wの高周波電力を投入しつつ温度500℃で2分間、厚さ150nmになるまで成膜した。

[0042] (圧電層14)

圧電層14が酸化亜鉛から成る場合には、R Fマグネトロンスパッタ装置のカソード上に酸化亜鉛製のターゲットを載置し、第1電極層13の表面を当該ターゲットに対向して30mm離れた位置に配置した。圧力1Paのアルゴンと酸素の混合ガス（分圧比はアルゴン3に対して酸素1）雰囲気中で150Wの高周波電力を投入しつつ温度500℃で30分間、厚さ1.2μmになるまで成膜した。

[0043] 圧電層14が酸化マグネシウム亜鉛から成る場合には、酸化マグネシウム亜鉛製のターゲットを用いて、酸化亜鉛の場合と同様の配置条件にて、圧力1Paのアルゴンと酸素の混合ガス（分圧比は同上）雰囲気中で80Wの高周波電力を投入しつつ温度450℃で40分間、厚さ1.0μmになるまで成膜した。

[0044] 圧電層 14 が窒化スカンジウムアルミニウムから成る場合には、窒化スカンジウムアルミニウム製のターゲットを用いて、酸化亜鉛の場合と同様の配置条件にて、圧力0.5Paのアルゴンと窒素の混合ガス（分圧比はアルゴン4に対して窒素1）雰囲気中で100Wの高周波電力を投入しつつ温度450℃で60分間、厚さ2.1 μ mになるまで成膜した。

[0045] ここまでに述べたように、音響ブラッグ反射器 12、第1電極層 13及び圧電層 14をいずれもエピタキシャル法で作製したことにより、音響ブラッグ反射器 12の各層及び第1電極層 13は基板 11の単結晶の結晶格子と整合するように配向した多結晶又は単結晶が形成され、圧電層 14は音響ブラッグ反射器 12の各層及び第1電極層 13の結晶格子と整合するように配向した多結晶又は単結晶が形成される。

[0046] 圧電層 14まで作製した後、圧電層 14上に第2電極層 15を作製することにより、SMR型BAWフィルタ 10が完成する。第2電極層 15は、前述のように、エピタキシャル法で作製する必要はなく、通常の蒸着法等を用いて作製すればよい。

[0047] (3) 第1実施形態のSMR型BAWフィルタに対する測定結果

次に、実際に作製した第1実施形態のSMR型BAWフィルタ 10に対して行った各種測定の結果を説明する。なお、圧電層 14が酸化マグネシウム亜鉛である例では、マグネシウムと亜鉛の原子比を3:7 ($\text{Mg}_{0.3}\text{Zn}_{0.7}\text{O}$) とした。圧電層 14が窒化スカンジウムアルミニウムである例では、スカンジウムとアルミニウムの原子比を12:88 ($\text{Sc}_{0.12}\text{Al}_{0.88}\text{N}$) とした。

[0048] 図3A～図3Cに、製造されたSMR型BAWフィルタ 10の縦断面の走査電子顕微鏡 (SEM) 写真を示す。圧電層 14が酸化亜鉛 (図3A)、酸化マグネシウム亜鉛 (図3B) 及び窒化スカンジウムアルミニウム (図3C) のいずれから成る場合にも、圧電層 14には柱状構造が見られない。

[0049] 次に、第2電極層 15が無い（同層を作製する前の）、圧電層 14が表面に露出した状態で、X線回折測定を行った結果を示す。まず、圧電層 14の表面に対する入射X線の入射角を ω 、入射X線と検出器で検出される出射X

線の成す角度を 2θ として、 $\omega=\theta$ を維持しつつ ω 及び 2θ を変化させる $2\theta-\omega$ スキャンを行った。

[0050] その結果、圧電層 1 4 が酸化亜鉛（図 4 A）、酸化マグネシウム亜鉛（図 4 B）及び窒化スカンジウムアルミニウム（図 4 C）のいずれから成る場合にも、それらの結晶の(0002)面の回折ピークが観測された。また、いずれの場合にも、併せて、六方晶であるTiの結晶の(0002)面、及び面心立方構造（立方晶）を有するPtの結晶の(111)面の回折ピークも観測された。なお、面心立方構造の結晶の(111)面は、六方晶の結晶の(0002)面と同様に6回回転対称性を有する。これらの測定結果は、エピタキシャル法により作製された音響ブラッグ反射器 1 2 及び第 1 電極層 1 3 を介して、基板 1 1 の結晶構造を引き継ぐように圧電層 1 4 の結晶構造が形成されたことを意味している。なお、図 4 A 及び図 4 B では、上記3つの回折ピークの他に 36.0° 付近に弱いピークが見られるが、これはチタンの一部が酸化することで僅かに形成されたルチル型 TiO_2 の(10-11)面による回折ピークであると考えられ、本質的なものではない。

[0051] 次に、第 1 音響インピーダンス層 1 2 1、第 2 音響インピーダンス層 1 2 2 及び圧電層 1 4 につき、極点図測定を行った結果を示す。第 1 音響インピーダンス層 1 2 1（図 5 A）及び第 2 音響インピーダンス層 1 2 2（図 5 B）では、いずれも、層に垂直な軸の周り（方位角 ϕ ）に6回回転対称性を有する強度分布が得られた。圧電層 1 4 も、また、酸化亜鉛（図 5 C）、酸化マグネシウム亜鉛（図 5 D）及び窒化スカンジウムアルミニウム（図 5 E）のいずれから成るものにおいても、層に垂直な軸の周りに6回回転対称性を有する強度分布が得られた。これらの結果は、第 1 音響インピーダンス層 1 2 1 及び第 2 音響インピーダンス層 1 2 2 が基板 1 1 の結晶構造の6回回転対称性を引き継いで形成され、さらに圧電層 1 4 もそれら各層の6回回転対称性を引き継いで形成されていることを示している。

[0052] さらに、酸化亜鉛及び窒化スカンジウムアルミニウムから成る圧電層についてそれぞれ電子回折像を取得した結果を示す。酸化亜鉛から成る圧電層（

図 6 A) は、単結晶の所定の結晶面（例えば(0000)面、(0002)面、(1100)面、等）に対応する明瞭な回折スポットのみから成る電子回折像が得られたことから、単結晶又はそれに近い（面内にも同方向に揃った）多結晶が形成されていると考えられる。窒化スカンジウムアルミニウムから成る圧電層（図 6 B）は、単結晶の所定の結晶面に対応する明瞭な回折スポットの他に、暗いスポットも見られる電子回折像が得られたことから、一部に、全体とは異なる方向を向いた多結晶が形成されていることが考えられる。

[0053] 次に、作製した S M R 型 B A W フィルタ 1 0 について周波数特性を測定した結果を示す。圧電層 1 4 が酸化亜鉛から成る場合（図 7 A）には、周波数 1.5GHz 付近に、酸化マグネシウム亜鉛から成る（図 7 B）には、周波数 1.6~1.7GHz 付近に、窒化スカンジウムアルミニウムから成る場合（図 7 C）には、周波数 1.4~1.5GHz 付近に、それぞれ、ピークが見られ、圧電層 1 4 がこれらの周波数で共振することが確認された。

[0054] ここまでに述べた例では、圧電層 1 4 は加熱した状態で作製したが、以下では、圧電層 1 4 が窒化スカンジウムアルミニウムから成る場合において、ヒータで加熱することなく圧電層 1 4 を作製した例を示す。スカンジウムとアルミニウムの原子比は、(i) 上記と同じく 12:88 ($\text{Sc}_{0.12}\text{Al}_{0.88}\text{N}$) である場合と、(ii) それよりもスカンジウムの比率が大きい 4:6 ($\text{Sc}_{0.40}\text{Al}_{0.60}\text{N}$) である場合について、それぞれ作製した。(ii) の場合には、第 1 電極層 1 3 の上に、 $\text{Sc}_{0.12}\text{Al}_{0.88}\text{N}$ から成るバッファ層 1 4 1（図 8 参照）を作製し、その上に $\text{Sc}_{0.40}\text{Al}_{0.60}\text{N}$ から成る圧電層 1 4 を作製した。温度以外の圧電層 1 4 の作製条件は、ガス雰囲気圧力を 0.5Pa のアルゴンと窒素の混合ガス、投入する高周波電力を 100W とし、厚さ 1.6 μm になるまで成膜した。圧電層 1 4 以外の作製条件は、音響ブラッグ反射器 1 2 の第 1 音響インピーダンス層 1 2 1 及び第 2 音響インピーダンス層 1 2 2 の層数を 5 層ずつとした点を除いて、上記の例と同様である。なお、別途、(ii) の構成のものを、450℃ に加熱しながら圧電層 1 4 を作製することを試みたが、その場合にはエピタキシャル成長した圧電層 1 4 を得ることはできなかった。

[0055] これらヒータで加熱することなく圧電層 14 を作製することで製造した S M R 型 B A W フィルタ 10 のうち、圧電層 14 が $\text{Sc}_{0.12}\text{Al}_{0.88}\text{N}$ である例につき、縦断面の S E M 写真を図 9 A に、 $2\theta-\omega$ スキャンで X 線回折測定を行った結果を図 10 A に、X 線回折により得られた圧電層 14 の (10-11) 面極点図を図 11 A に、音響インピーダンスの測定結果を図 15 A に、音響インピーダンスの実部を求めた結果を図 16 A に、それぞれ示す。同様に、圧電層 14 が $\text{Sc}_{0.40}\text{Al}_{0.60}\text{N}$ である例につき、縦断面の S E M 写真を図 9 B に、 $2\theta-\omega$ スキャンの結果を図 10 B に、圧電層 14 の (10-11) 面極点図を図 11 B に、音響インピーダンスの測定結果を図 15 B に、音響インピーダンスの実部を求めた結果を図 16 B に、それぞれ示す。圧電層 14 が $\text{Sc}_{0.12}\text{Al}_{0.88}\text{N}$ の例については、さらに、電子回折像を図 12 に、 ω スキャンで X 線回折測定を行った結果を図 13 に、(10-11) 面内での ϕ スキャンで X 線回折測定を行った結果を図 14 に、それぞれ示す。

[0056] $\text{Sc}_{0.12}\text{Al}_{0.88}\text{N}$ から成る圧電層 14 を加熱することなく作製した例は、同じ組成から成る圧電層 14 を 450°C に加熱しながら作製した例と対比すると、 $2\theta-\omega$ スキャンの X 線回折ピークが 1桁大きく (図 10 A 対図 4 C)、(10-11) 面極点図にはより明瞭な 6 回回転対称性を有するスポットが見られ (図 11 A 対図 5 E)、より明瞭な電子回折像が得られている (図 12 対図 6 B)。これらの結果は、 $\text{Sc}_{0.12}\text{Al}_{0.88}\text{N}$ から成る圧電層 14 は、作製時に加熱しない方が結晶の配向性を構造させることができることを示している。また、(450°C に加熱しながら作製した例のデータは無いが)、 $\text{Sc}_{0.12}\text{Al}_{0.88}\text{N}$ から成る圧電層 14 を加熱することなく作製した例では、 ω スキャンでは線幅が狭いシャープなピークが見られ、 ϕ スキャンでは明瞭な 6 回回転対称性が見られる。

[0057] また、 $\text{Sc}_{0.40}\text{Al}_{0.60}\text{N}$ から成る圧電層 14 を加熱することなく作製した例は、特に図 11 B の (10-11) 面極点図に示されているように、基板 11 及び音響ブラッグ反射器 12 の結晶における 6 回回転対称性を引き継いで配向した圧電層 14 が得られていることを示している。このような配向は、 $\text{Sc}_{0.40}\text{Al}_{0.60}\text{N}$ から成る圧電層 14 を加熱しながら作製したときには得られないものである。

[0058] 以上の結果は、窒化スカンジウムアルミニウムから成る圧電層 14 は、ヒータで加熱することなく作製した方が良いことを示している。これは、原料のスカンジウムが不純物として微量の酸素原子を含有することが避けられず、加熱しながら圧電層 14 を作製すると原料中の酸素原子が放出されてしまうのに対して、ヒータで加熱することなく圧電層 14 を作製すると酸素原子が原料中に留まることによる、と考えられる。

[0059] これら2つの例につき、音響インピーダンスを測定し（図 15 A、図 15 B）、その結果に基づいて電気機械結合定数の実効値 k_{eff} の2乗の値である k_{eff}^2 を求めたところ、圧電層 14 が $Sc_{0.12}Al_{0.88}N$ から成る例では5.1%、圧電層 14 が $Sc_{0.40}Al_{0.60}N$ から成る例では13.6%となった。この結果は、原子量がAlよりも大きいScの含有率が大きくなることで、 k_{eff}^2 が大きくなり、音響特性が高くなることを示している。

[0060] また、音響インピーダンスの実部（図 16 A、図 16 B）からQ値を見積もると、圧電層 14 が $Sc_{0.12}Al_{0.88}N$ から成る例では167、圧電層 14 が $Sc_{0.40}Al_{0.60}N$ から成る例では38となった。この結果は、Scの含有率が大きくなることにより、c軸長とa軸長の比 c/a が小さくなり、それによって k_{eff}^2 が大きくなるため、圧電特性が高くなることを示している。

[0061] なお、図 9 B のSEM写真では、 $Sc_{0.12}Al_{0.88}N$ から成るバッファ層 14 1 と $Sc_{0.40}Al_{0.60}N$ から成る圧電層 14 の境界は見られない。これは、バッファ層 14 1 と圧電層 14 がスカンジウムとアルミニウムの原子比を除いてほぼ同じ構造を有することから、両者をSEM写真で区別することが困難であるためである。

[0062] (4) 第2実施形態のSMR型BAWフィルタの構成及び製造方法

図 17 に、第2のSMR型BAWフィルタの一実施形態（第2実施形態）であるSMR型BAWフィルタ20の構成を示す。SMR型BAWフィルタ20は、基板21と、音響ブラッグ反射器22と、第1電極層23と、圧電層24と、第2電極層25とをこの順に積層した構造を有する。これら各構成要素のうち、基板21、第1電極層23、圧電層24及び第2電極層25

は、それぞれ、第1実施形態のSMR型BAWフィルタ10における基板11、第1電極層13、圧電層14及び第2電極層15と同様のものである。

[0063] 音響ブラッグ反射器22は、金属から成る第1音響インピーダンス層221と、セラミクスから成る第2音響インピーダンス層222が交互に1層ずつそれぞれ複数積層した構造を有する。図17では、第1音響インピーダンス層221と第2音響インピーダンス層222を6層ずつ設けているが、この層数には限定されず、それぞれ2層ずつ以上あればよい。第1音響インピーダンス層221と第2音響インピーダンス層222は、いずれも、エピタキシャル法により作製された、配向した多結晶又は単結晶である。

[0064] 第1音響インピーダンス層221の材料として用いる金属には、例えば、白金又はチタン等が挙げられる。第2音響インピーダンス層222の材料として用いるセラミクスには、酸化亜鉛、マグネシウム酸化亜鉛、窒化アルミニウム及び窒化スカンジウムアルミニウム等が挙げられる。第1音響インピーダンス層221の材料と第2音響インピーダンス層222の材料の組み合わせは、両者の音響インピーダンスが互いに異なるように選択する。

[0065] 第2実施形態のSMR型BAWフィルタ20の製造方法は、第2音響インピーダンス層222を作製する際に（第1実施形態における金属の代わりに）セラミクスをエピタキシャル成長させる点を除いて、第1実施形態のSMR型BAWフィルタ10の製造方法と同様である。第2音響インピーダンス層222のセラミクスをエピタキシャル成長させる方法は、圧電層14、24のセラミクスをエピタキシャル成長させる方法と同様である。

[0066] 第2実施形態のSMR型BAWフィルタは、例えば、図18に示すように、それを2個以上組み合わせた一体型のデバイス（以下、単に、「デバイス」という。）30とすることもできる。図18の例では、1枚の基板21の上の互いに異なる位置にそれぞれ、第1音響インピーダンス層221と第2音響インピーダンス層222を交互に積層した音響ブラッグ反射器22、第1電極層23、圧電層24及び第2電極層25が下からこの順に形成されることにより、個々のSMR型BAWフィルタ20が複数個設けられている。隣接

するSMR型BAWフィルタ20では、音響ブラッグ反射器22の間に、第2音響インピーダンス層222と同じセラミクスから成る接続材31が設けられている。第2音響インピーダンス層222と接続材31は、一体形成されている。なお、個々のSMR型BAWフィルタ20は、1次元状に並べて配置してもよいし、2次元状に配置してもよい。

[0067] デバイス30は、以下の方法により製造することができる。まず、基板21上の接続材31を設ける位置にマスク35を形成したうえで、基板21上に金属製の第1音響インピーダンス層221をエピタキシャル法により形成する(図19A)。次に、マスク35を除去したうえで(図19B)、セラミクス製の第2音響インピーダンス層222及び接続材31をエピタキシャル法により同時に形成する(図19C)。ここまでの操作を繰り返し実行することにより音響ブラッグ反射器22を形成する。その後、接続材31の上面にマスク35を形成したうえで、音響ブラッグ反射器22の上に第1電極層23、圧電層24の順でエピタキシャル法により形成する(図19D)。最後に、圧電層24の上に第2電極層25を形成する(このときはエピタキシャル法を用いてもよいし、それ以外の方法を用いてもよい)ことにより、デバイス30が完成する。この方法によれば、第2音響インピーダンス層222と接続材31を同時に形成するため、製造工程を簡略化することができる。

[0068] (5) 第2実施形態のMR型BAWフィルタに対する測定結果

次に、実際に作製した第2実施形態のSMR型BAWフィルタ20に対して行った各種測定の結果を説明する。作製したSMR型BAWフィルタ20は、いずれも第1音響インピーダンス層221が金属である白金、第2音響インピーダンス層222がセラミクスである酸化亜鉛から成り、圧電層24が酸化亜鉛(ZnO)から成るものと、酸化マグネシウム亜鉛($\text{Mg}_{0.3}\text{Zn}_{0.7}\text{O}$)から成るものと、窒化スカンジウムアルミニウム($\text{Sc}_{0.2}\text{Al}_{0.8}\text{N}$)から成るものの3種類である。

[0069] これら3種の例につき、縦断面のSEM写真を図20A～図20Cに、 2θ -

ω スキャンでX線回折測定を行った結果を図21A～図21Cに、 ω スキャンの結果を図22A～図22Cに、(10-11)面内での ϕ スキャンの結果を図23A～図23Cに、X線回折により得られた圧電層24の(10-11)面極点図を図24A～図24Cに、それぞれ示す。ここで、各図番には、3種の例のうち、圧電層24が ZnO から成るものには末尾に「A」を付し（例えば、図20A）、圧電層24が $\text{Mg}_{0.3}\text{Zn}_{0.7}\text{O}$ から成るものには末尾に「B」を付し（例えば、図20B）、圧電層24が $\text{Sc}_{0.2}\text{Al}_{0.8}\text{N}$ から成るものには末尾に「C」を付した（例えば、図20C）。これら3種の例のいずれにおいても、圧電層24は、所期の結晶（ ZnO 、 $\text{Mg}_{0.3}\text{Zn}_{0.7}\text{O}$ 、 $\text{Sc}_{0.2}\text{Al}_{0.8}\text{N}$ ）が形成されており（図21A～図21C）、且つ6回回転対称性を有するように配向している（図23A～図23C、図24A～図24C）ことが確認された。また、 $\text{Sc}_{0.2}\text{Al}_{0.8}\text{N}$ から成る圧電層24よりもそれぞれ ZnO 及び $\text{Mg}_{0.3}\text{Zn}_{0.7}\text{O}$ から成る圧電層24の方が、 ω スキャンで得られたプロファイルの半値全幅が小さく（図22A～図22C）、結晶性が良好である。

[0070] $\text{Sc}_{0.2}\text{Al}_{0.8}\text{N}$ から成る圧電層24を有するSMR型BAWフィルタ20につき、音響インピーダンス（図25）及びその実部（図26）を測定して k_{eff}^2 の値及びQ値を求めたところ、 $k_{\text{eff}}^2=3.1\%$ 、 $Q=47$ であった。

[0071] 以上、本発明に係るSMR型BAWフィルタ及びその製造方法の実施形態を、変形例を交えて説明したが、本発明はこれら実施形態及び変形例には限定されず、本発明の主旨の範囲内で更なる変形が可能である。

[0072] [態様]

上述した例示的な実施形態が以下の態様の具体例であることは、当業者には明らかである。

[0073] （第1項）本発明の一態様に係るSMR型BAWフィルタは、

a) いずれも所定の方向に配向した金属の多結晶又は単結晶から成り、互いに音響インピーダンスが異なる第1音響インピーダンス層と第2音響インピーダンス層が交互に1層ずつそれぞれ複数積層した音響ブラッグ反射器と、

b) 前記音響ブラッグ反射器上に設けられた、所定の方向に配向した多結晶

又は単結晶の圧電体から成る圧電層であって、前記多結晶又は前記単結晶の結晶格子が、前記第1音響インピーダンス層及び前記第2音響インピーダンス層のうち前記圧電層に近い位置にある層の金属の多結晶又は単結晶の結晶格子と整合している圧電層とを備える。

[0074] (第2項) 第2項に係るSMR型BAWフィルタは、第1項に係るSMR型BAWフィルタにおいて、前記第1音響インピーダンス層の熱膨張率の値と前記第2音響インピーダンス層の熱膨張率の値のうち高い方を低い方で除した値である熱膨長率比指標値が1.0~1.1の範囲内にある。

[0075] (第3項) 第3項に係るSMR型BAWフィルタは、第1項又は第2項に係るSMR型BAWフィルタにおいて、前記第1音響インピーダンス層の音響インピーダンスの値と前記第2音響インピーダンス層の音響インピーダンスの値のうち高い方を低い方で除した値である音響インピーダンス比指標値が3以上である。

[0076] (第4項) 第4項に係るSMR型BAWフィルタは、第2項又は第3項に係るSMR型BAWフィルタにおいて、前記第1音響インピーダンス層と前記第2音響インピーダンス層のうち的一方が白金から成り、他方がチタンから成る。

[0077] (第5項) 本発明の他の一態様に係るSMR型BAWフィルタは、
a) 所定の方向に配向した金属の多結晶又は単結晶から成る第1音響インピーダンス層と、所定の方向に配向したセラミックスの多結晶又は単結晶から成り前記第1音響インピーダンス層とは音響インピーダンスが異なる第2音響インピーダンス層が交互に1層ずつそれぞれ複数積層した音響ブラッグ反射器と、

b) 前記音響ブラッグ反射器上に設けられた、所定の方向に配向した多結晶又は単結晶の圧電体から成る圧電層であって、前記多結晶又は前記単結晶の結晶格子が、前記第1音響インピーダンス層及び前記第2音響インピーダンス層のうち前記圧電層に近い位置にある層の多結晶又は単結晶の結晶格子と

整合している圧電層と
を備える。

- [0078] (第6項) 第6項に係るSMR型BAWフィルタは、
第5項に係るSMR型BAWフィルタが2個、前記第1音響インピーダンス層及び前記第2音響インピーダンス層に平行な方向に離間して配置されており、
該2個のSMR型BAWフィルタにおける前記音響ブラッグ反射器同士が、
前記セラミクスから成る接続材により接続されている。

- [0079] (第7項) 第7項に係るSMR型BAWフィルタの製造方法は、
所定の結晶面を表面に有する単結晶から成る基板を準備する基板準備工程と、
前記基板の表面に、いずれも前記基板の単結晶の結晶格子と整合する結晶格子を有する金属から成り、互いに音響インピーダンスが異なる第1音響インピーダンス層と第2音響インピーダンス層を交互に1層ずつそれぞれ複数、エピタキシャル法で形成することにより音響ブラッグ反射器を作製する音響ブラッグ反射器作製工程と、
前記音響ブラッグ反射器の上に、前記第1音響インピーダンス層と前記第2音響インピーダンス層のうち最上部にある層の金属の結晶格子と整合する結晶格子を有する圧電体から成る圧電層をエピタキシャル法により作製する圧電層作製工程と
を有する。

- [0080] (第8項) 第8項に係るSMR型BAWフィルタの製造方法は、
所定の結晶面を表面に有する単結晶から成る基板を準備する基板準備工程と、
前記基板の表面に、所定の方向に配向した金属の多結晶又は単結晶から成る第1音響インピーダンス層と、所定の方向に配向したセラミクスの多結晶又は単結晶から成り前記第1音響インピーダンス層とは音響インピーダンスが異なる第2音響インピーダンス層を交互に1層ずつそれぞれ複数、エピタキ

シャル法で形成することにより音響ブラッグ反射器を作製する音響ブラッグ反射器作製工程と、

前記音響ブラッグ反射器の上に、前記第1音響インピーダンス層と前記第2音響インピーダンス層のうち最上部にある層の結晶格子と整合する結晶格子を有する圧電体から成る圧電層をエピタキシャル法により作製する圧電層作製工程と

を有する。

[0081] (第9項) 第9項に係るSMR型BAWフィルタの製造方法は、第8項に係るSMR型BAWフィルタの製造方法の前記音響ブラッグ反射器作製工程において、

前記第1音響インピーダンス層及び前記第2音響インピーダンス層を作製する際に、互いに前記第1音響インピーダンス層及び前記第2音響インピーダンス層に平行な方向に離間して2個ずつ作製し、

前記第2音響インピーダンス層を作製する際に同時に、2個の第2音響インピーダンス層の間及び前記2個の第2音響インピーダンス層の直下にある2個の第1音響インピーダンス層の間に前記セラミックスの多結晶又は単結晶をエピタキシャル成長させる。

[0082] 第1項に係るSMR型BAWフィルタと、第5項に係るSMR型BAWフィルタは、いずれも、

a) 所定の方向に配向した金属の多結晶又は単結晶から成る第1音響インピーダンス層と、所定の方向に配向した金属又はセラミックスの多結晶又は単結晶から成り前記第1音響インピーダンス層とは音響インピーダンスが異なる第2音響インピーダンス層が交互に1層ずつそれぞれ複数積層した音響ブラッグ反射器と、

b) 前記音響ブラッグ反射器上に設けられた、所定の方向に配向した多結晶又は単結晶の圧電体から成る圧電層であって、前記多結晶又は前記単結晶の結晶格子が、前記第1音響インピーダンス層及び前記第2音響インピーダンス層のうち前記圧電層に近い位置にある層の多結晶又は単結晶の結晶格子と

整合している圧電層と

を備える。

[0083] 第7項に係るSMR型BAWフィルタの製造方法と第8項に係るSMR型BAWフィルタの製造方法は、いずれも、

所定の結晶面を表面に有する単結晶から成る基板を準備する基板準備工程と、

前記基板の表面に、所定の方向に配向した金属の多結晶又は単結晶から成る第1音響インピーダンス層と、所定の方向に配向した金属又はセラミックスの多結晶又は単結晶から成り前記第1音響インピーダンス層とは音響インピーダンスが異なる第2音響インピーダンス層を交互に1層ずつそれぞれ複数、エピタキシャル法で形成することにより音響ブラッグ反射器を作製する音響ブラッグ反射器作製工程と、

前記音響ブラッグ反射器の上に、前記第1音響インピーダンス層と前記第2音響インピーダンス層のうち最上部にある層の結晶格子と整合する結晶格子を有する圧電体から成る圧電層をエピタキシャル法により作製する圧電層作製工程と

を有する。

[0084] 本出願は、2023年1月24日に日本国特許庁に出願した特願2023-8867号、および2023年8月30日に日本国特許庁に出願した特願2023-140222号に基づく優先権を主張し、これらの前記出願に記載された全ての内容を援用する。

符号の説明

[0085] 10、20…SMR型BAWフィルタ
11、21…基板
12、22…音響ブラッグ反射器
121、221…第1音響インピーダンス層
122、222…第2音響インピーダンス層
13、23…第1電極層

1 4、2 4 …圧電層

1 4 1 …バッファ層

1 5、2 5 …第2 電極層

3 0 …S M R 型B A Wフィルタを2個以上組み合わせた一体型のデバイス

3 1 …接続材

3 5 …マスク

請求の範囲

- [請求項1] a) いずれも所定の方向に配向した金属の多結晶又は単結晶から成り、互いに音響インピーダンスが異なる第1音響インピーダンス層と第2音響インピーダンス層が交互に1層ずつそれぞれ複数積層した音響ブラッグ反射器と、
- b) 前記音響ブラッグ反射器上に設けられた、所定の方向に配向した多結晶又は単結晶の圧電体から成る圧電層であって、前記多結晶又は前記単結晶の結晶格子が、前記第1音響インピーダンス層及び前記第2音響インピーダンス層のうち前記圧電層に近い位置にある層の金属の多結晶又は単結晶の結晶格子と整合している圧電層と
- を備えるSMR型BAWフィルタ。
- [請求項2] 前記第1音響インピーダンス層の熱膨張率の値と前記第2音響インピーダンス層の熱膨張率の値のうち高い方を低い方で除した値である熱膨長率比指標値が1.0～1.1の範囲内にある、請求項1に記載のSMR型BAWフィルタ。
- [請求項3] 前記第1音響インピーダンス層の音響インピーダンスの値と前記第2音響インピーダンス層の音響インピーダンスの値のうち高い方を低い方で除した値である音響インピーダンス比指標値が3以上である、請求項1に記載のSMR型BAWフィルタ。
- [請求項4] 前記第1音響インピーダンス層と前記第2音響インピーダンス層のうち的一方が白金から成り、他方がチタンから成る、請求項2又は3に記載のSMR型BAWフィルタ。
- [請求項5] a) 所定の方向に配向した金属の多結晶又は単結晶から成る第1音響インピーダンス層と、所定の方向に配向したセラミックスの多結晶又は単結晶から成り前記第1音響インピーダンス層とは音響インピーダンスが異なる第2音響インピーダンス層が交互に1層ずつそれぞれ複数積層した音響ブラッグ反射器と、
- b) 前記音響ブラッグ反射器上に設けられた、所定の方向に配向し

た多結晶又は単結晶の圧電体から成る圧電層であって、前記多結晶又は前記単結晶の結晶格子が、前記第1音響インピーダンス層及び前記第2音響インピーダンス層のうち前記圧電層に近い位置にある層の多結晶又は単結晶の結晶格子と整合している圧電層と
を備えるSMR型BAWフィルタ。

[請求項6] 請求項5に記載のSMR型BAWフィルタが2個、前記第1音響インピーダンス層及び前記第2音響インピーダンス層に平行な方向に離間して配置されており、

前記2個のSMR型BAWフィルタにおける前記音響ブラッグ反射器同士が、前記セラミクスから成る接続材により接続されている、
SMR型BAWフィルタ。

[請求項7] 所定の結晶面を表面に有する単結晶から成る基板を準備する基板準備工程と、

前記基板の表面に、いずれも前記基板の単結晶の結晶格子と整合する結晶格子を有する金属から成り、互いに音響インピーダンスが異なる第1音響インピーダンス層と第2音響インピーダンス層を交互に1層ずつそれぞれ複数、エピタキシャル法で形成することにより音響ブラッグ反射器を作製する音響ブラッグ反射器作製工程と、

前記音響ブラッグ反射器の上に、前記第1音響インピーダンス層と前記第2音響インピーダンス層のうち最上部にある層の金属の結晶格子と整合する結晶格子を有する圧電体から成る圧電層をエピタキシャル法により作製する圧電層作製工程と

を有する、SMR型BAWフィルタの製造方法。

[請求項8] 所定の結晶面を表面に有する単結晶から成る基板を準備する基板準備工程と、

前記基板の表面に、所定の方向に配向した金属の多結晶又は単結晶から成る第1音響インピーダンス層と、所定の方向に配向したセラミクスの多結晶又は単結晶から成り前記第1音響インピーダンス層とは

音響インピーダンスが異なる第2音響インピーダンス層を交互に1層ずつそれぞれ複数、エピタキシャル法で形成することにより音響ブラッグ反射器を作製する音響ブラッグ反射器作製工程と、

前記音響ブラッグ反射器の上に、前記第1音響インピーダンス層と前記第2音響インピーダンス層のうち最上部にある層の結晶格子と整合する結晶格子を有する圧電体から成る圧電層をエピタキシャル法により作製する圧電層作製工程と

を有する、SMR型BAWフィルタの製造方法。

[請求項9]

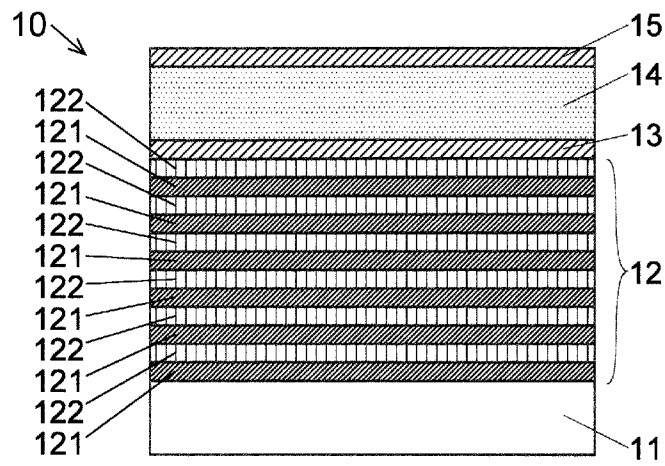
前記音響ブラッグ反射器作製工程において、

前記第1音響インピーダンス層及び前記第2音響インピーダンス層を作製する際に、互いに前記第1音響インピーダンス層及び前記第2音響インピーダンス層に平行な方向に離間して2個ずつ作製し、

前記第2音響インピーダンス層を作製する際に同時に、2個の第2音響インピーダンス層の間及び前記2個の第2音響インピーダンス層の直下にある2個の第1音響インピーダンス層の間に前記セラミックスの多結晶又は単結晶をエピタキシャル成長させる、

請求項8に記載のSMR型BAWフィルタの製造方法。

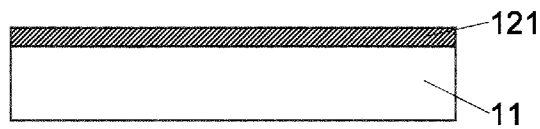
[図1]



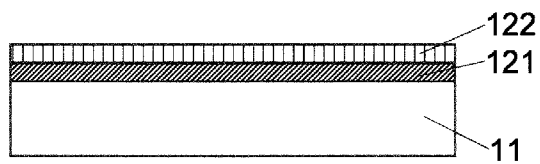
[図2A]



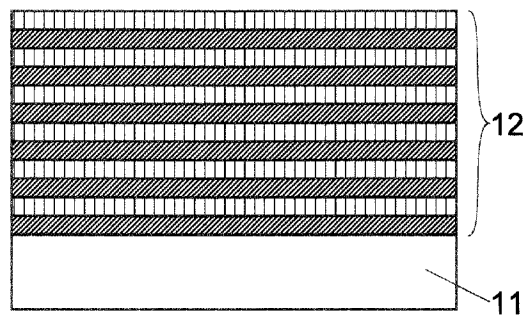
[図2B]



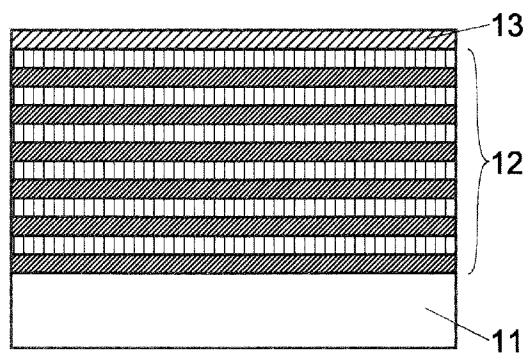
[図2C]



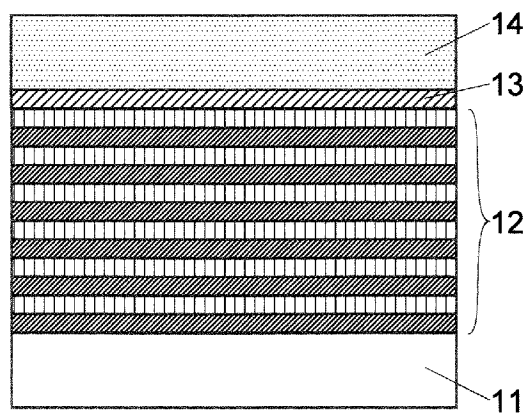
[図2D]



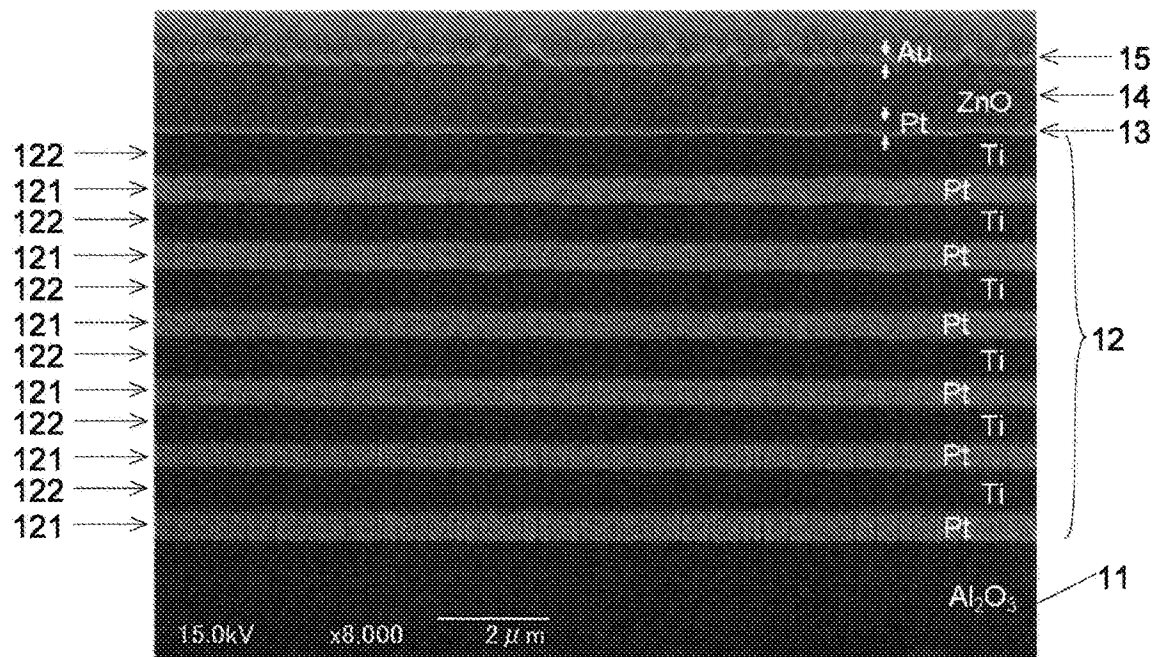
[図2E]



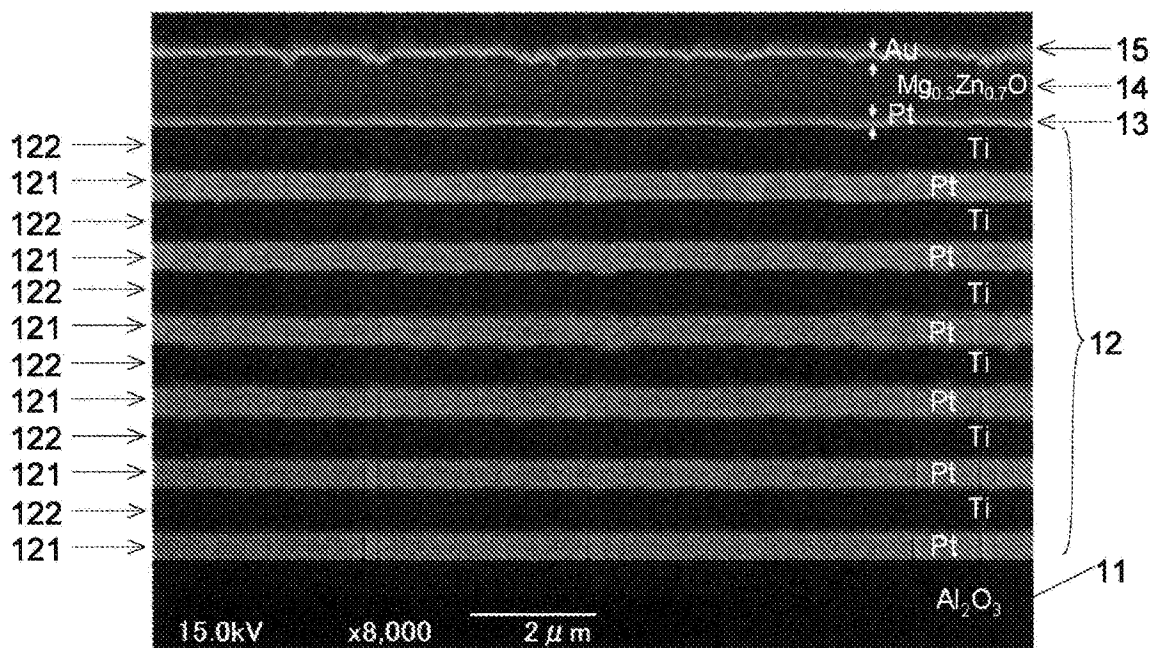
[図2F]



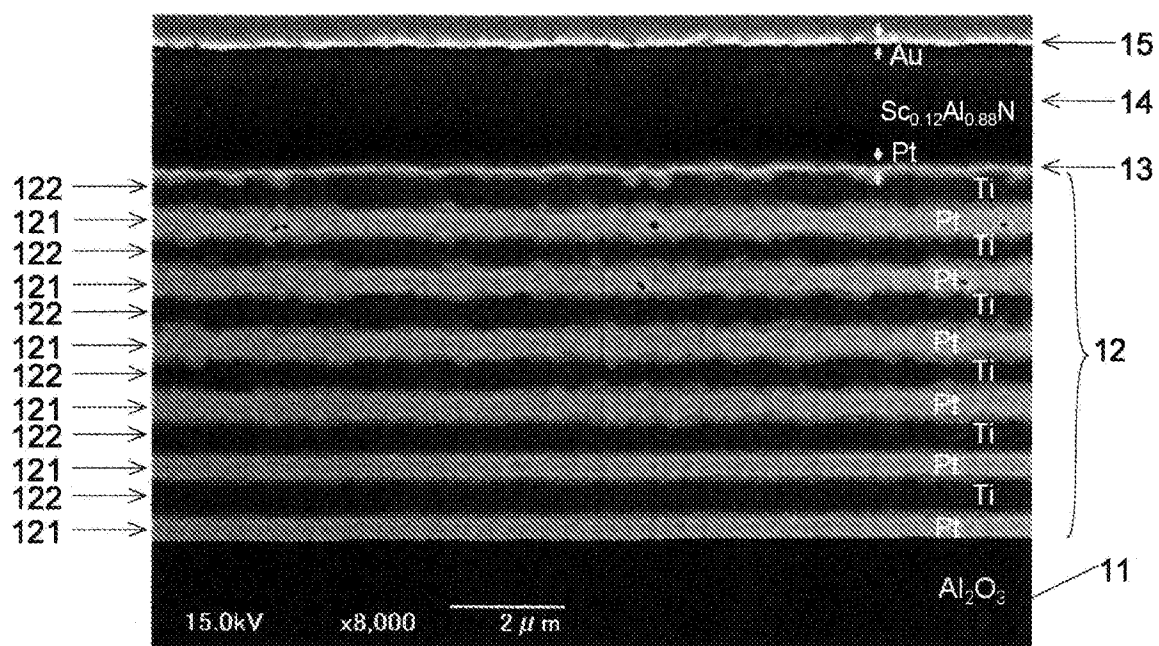
[図3A]



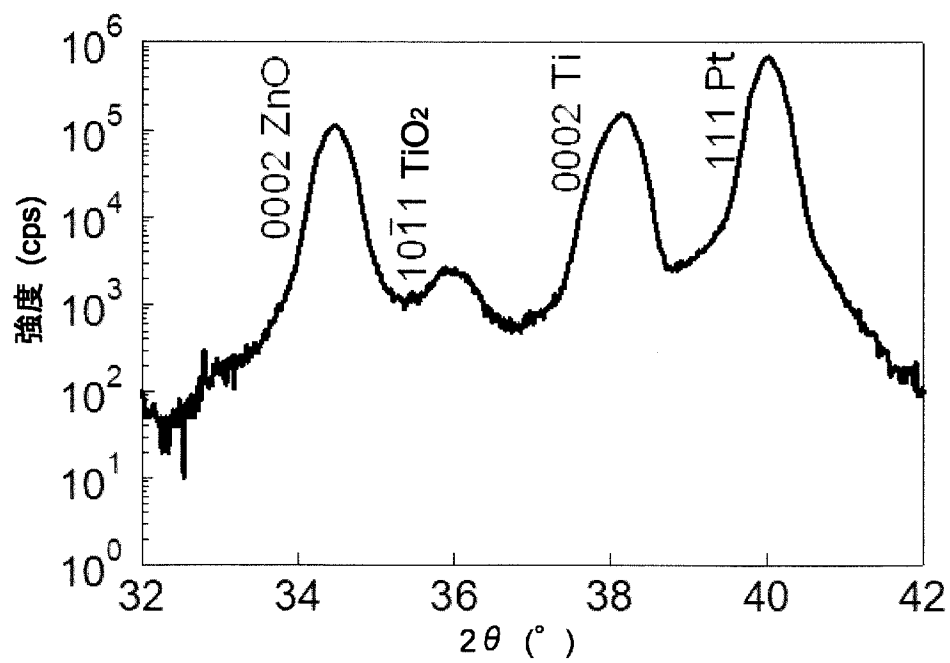
[図3B]



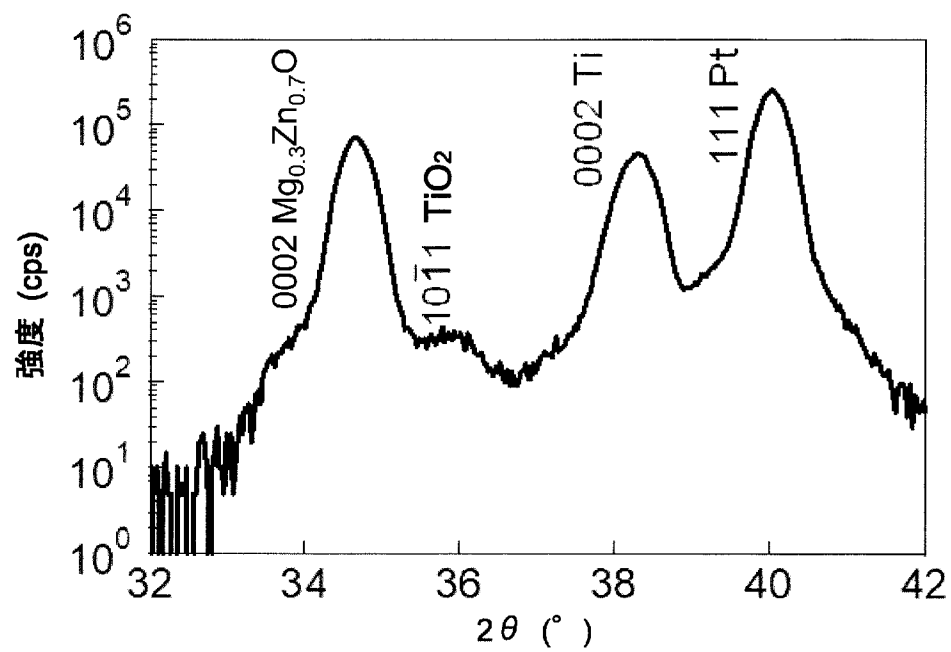
[図3C]



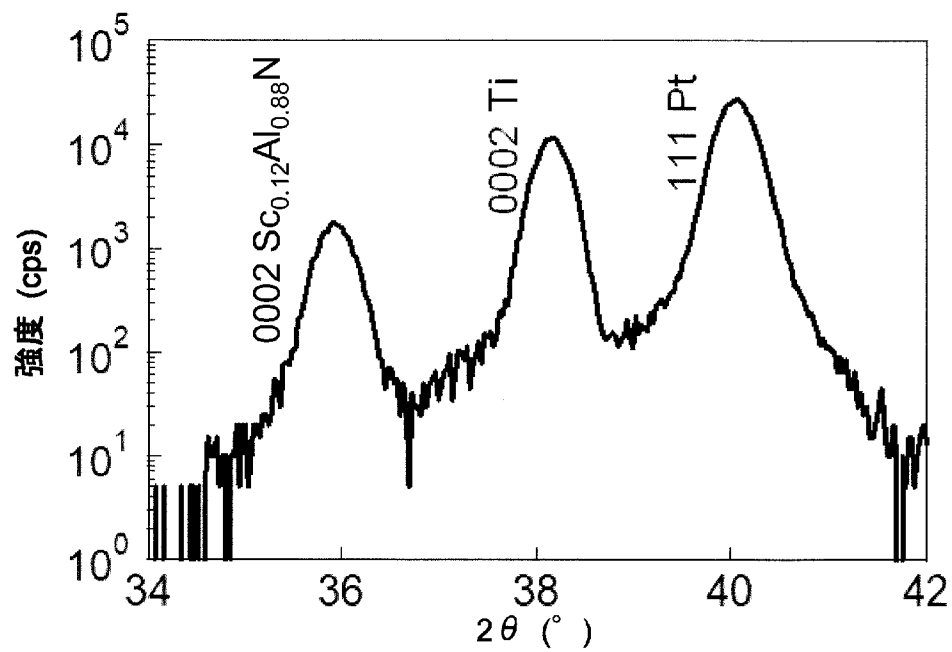
[図4A]



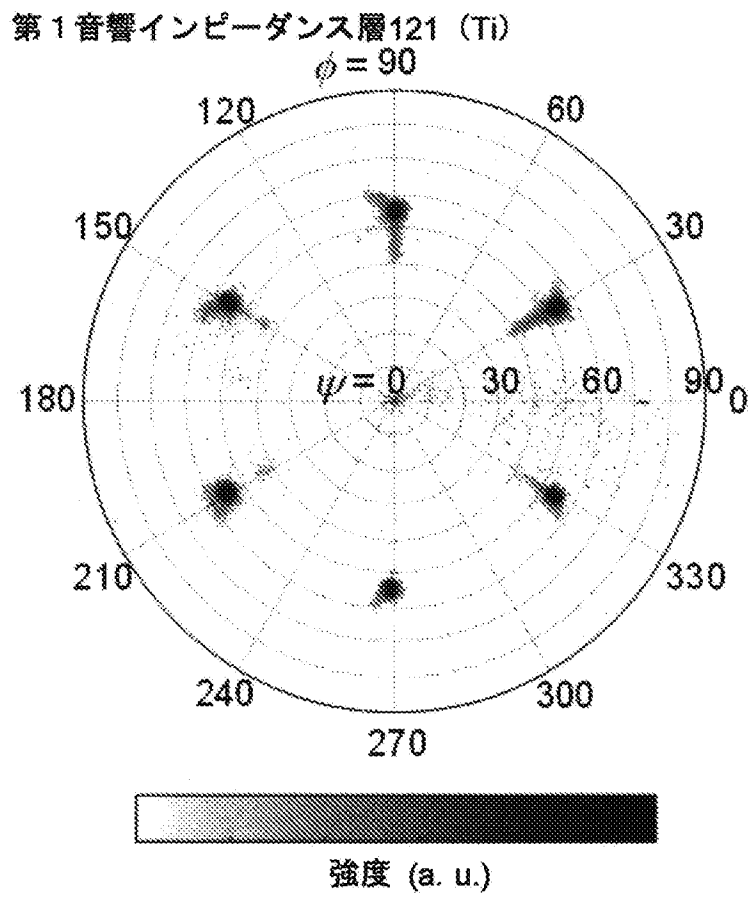
[図4B]



[図4C]

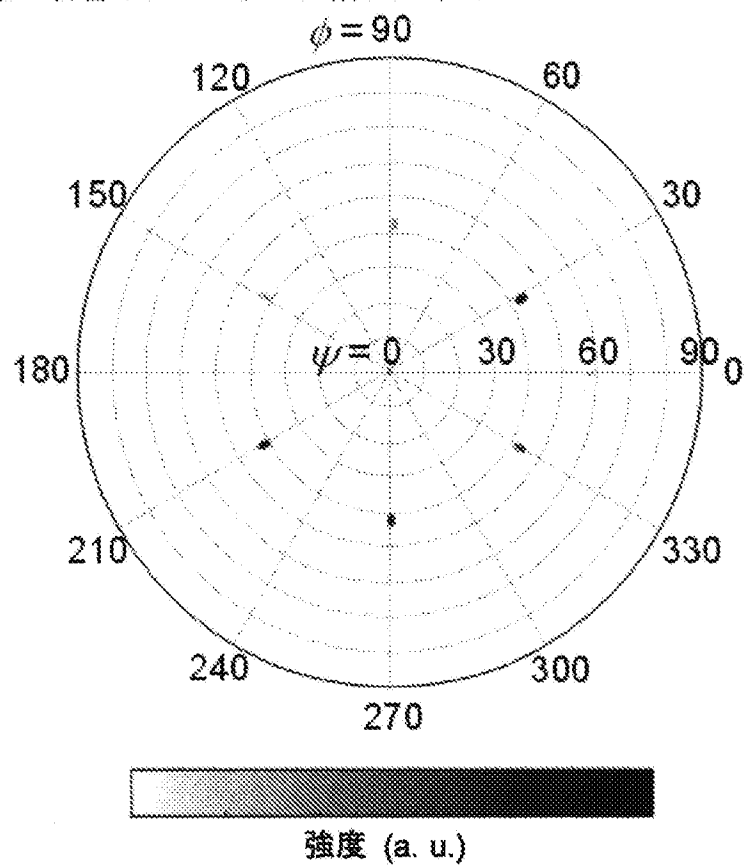


[図5A]

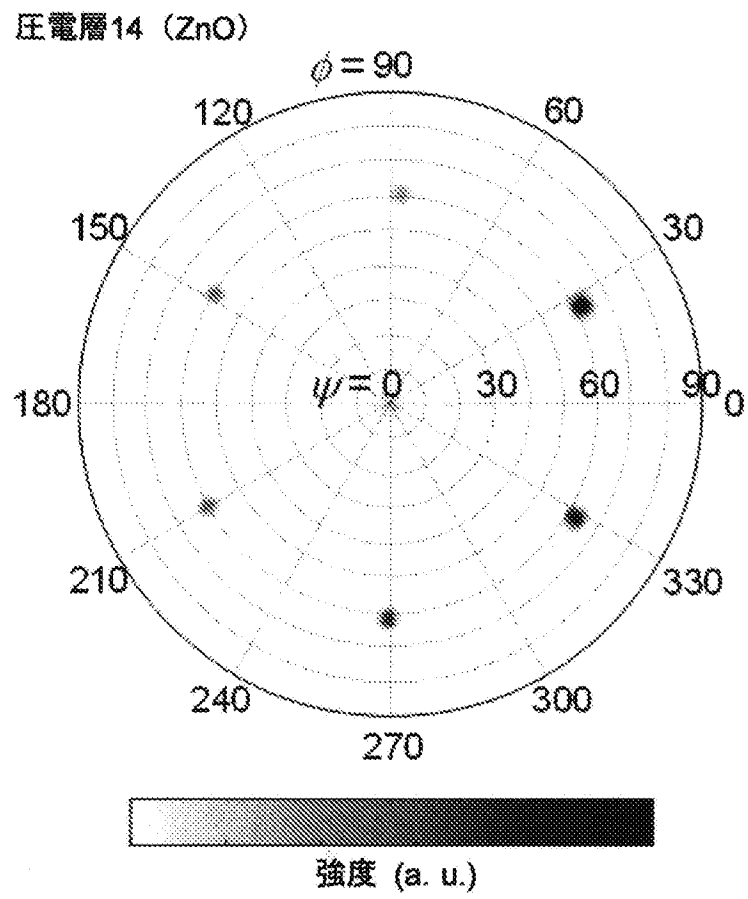


[図5B]

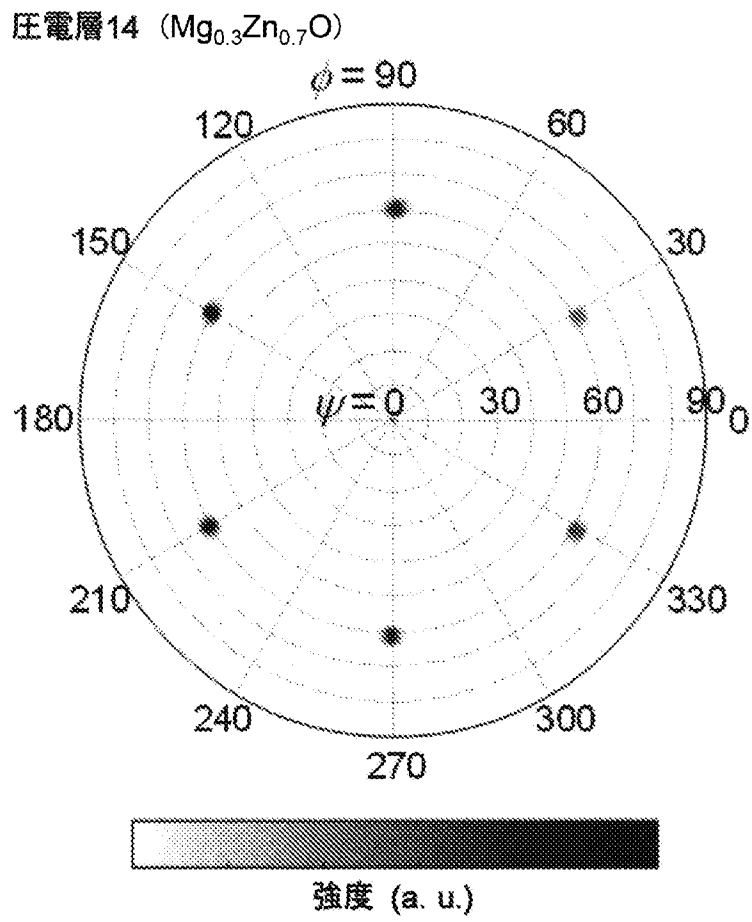
第2音響インピーダンス層122 (Pt)



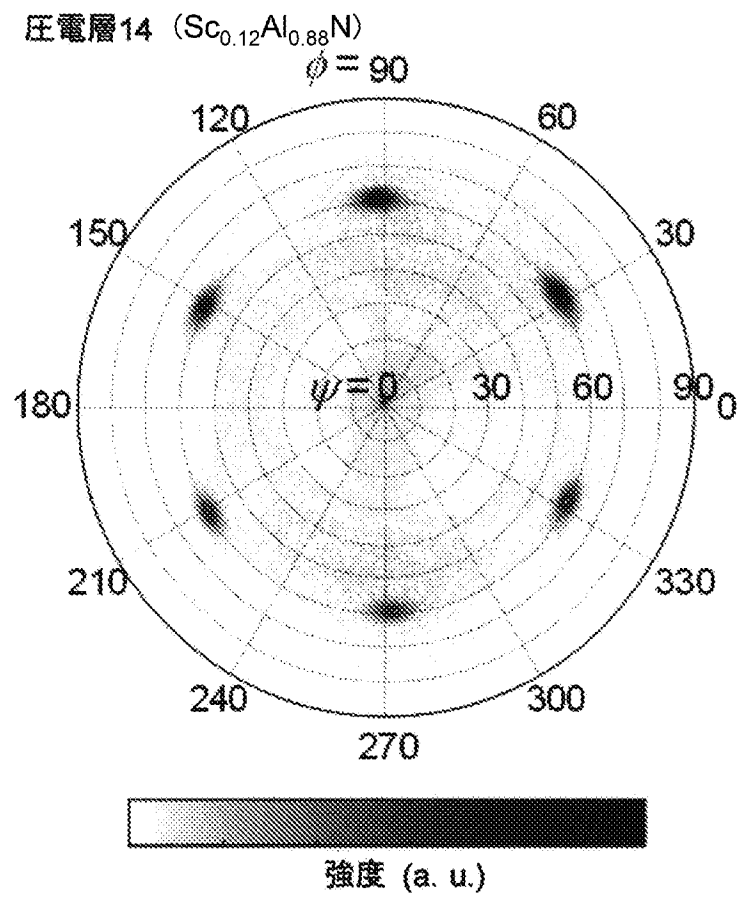
[図5C]



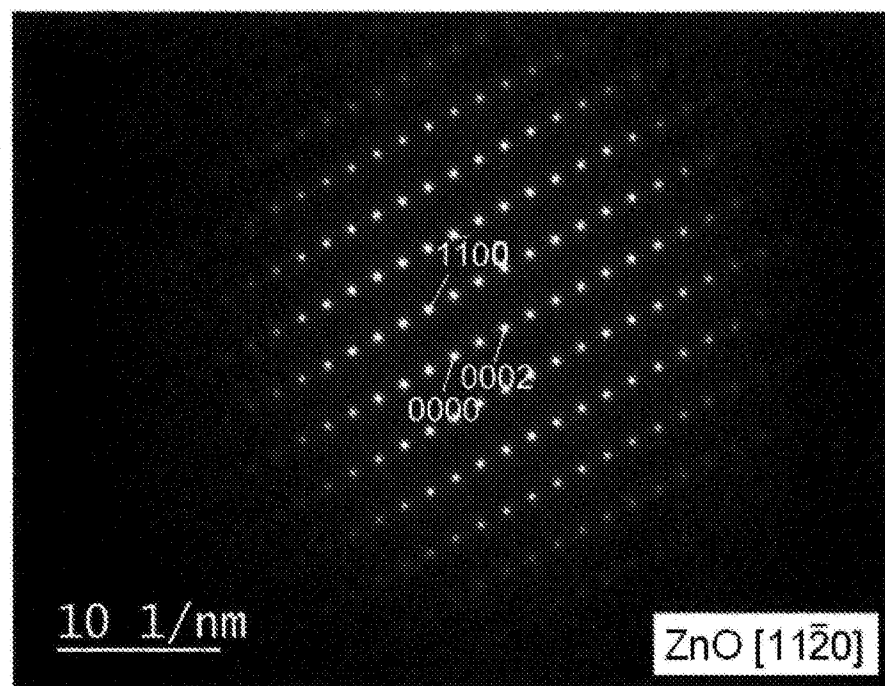
[図5D]



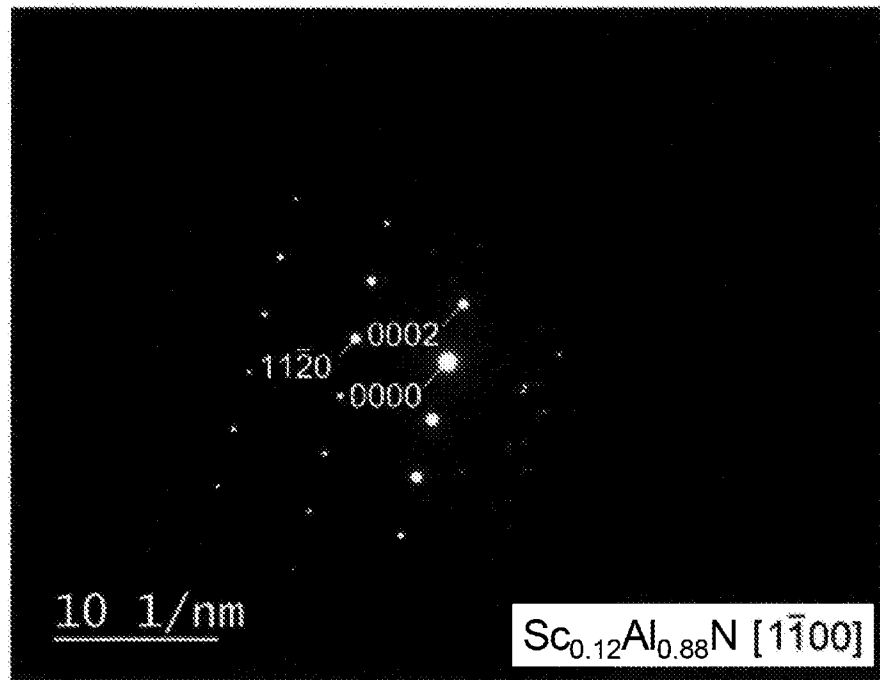
[図5E]



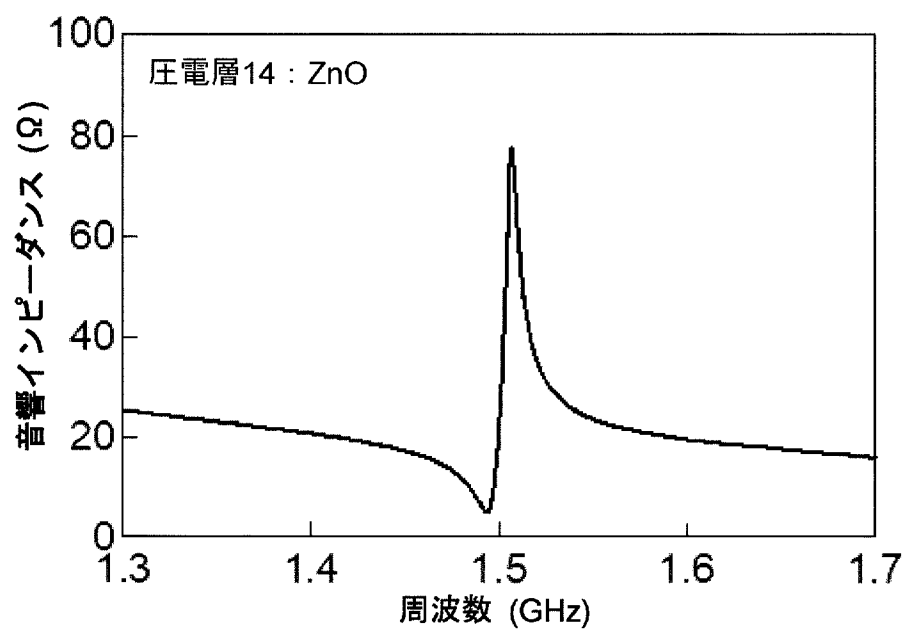
[図6A]



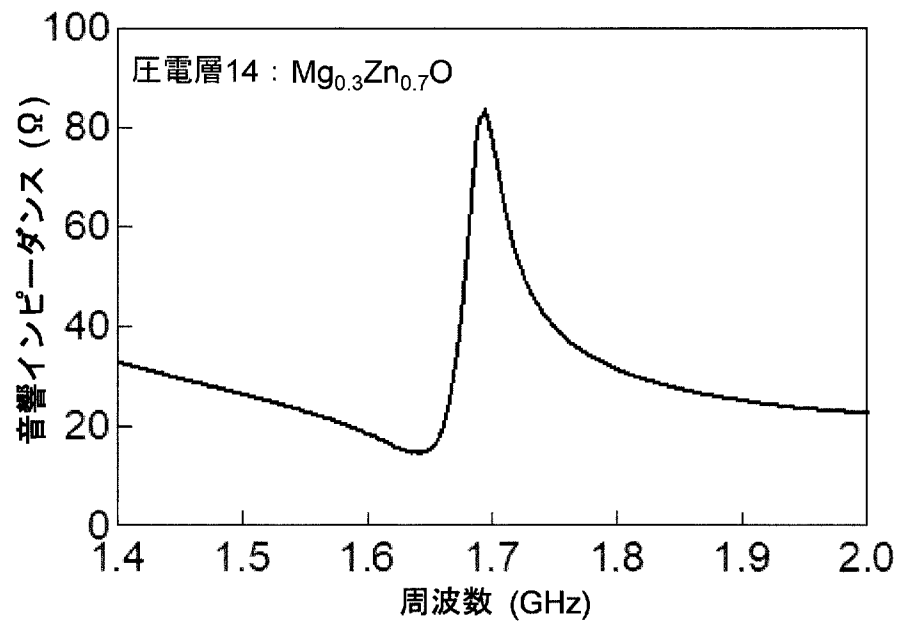
[図6B]



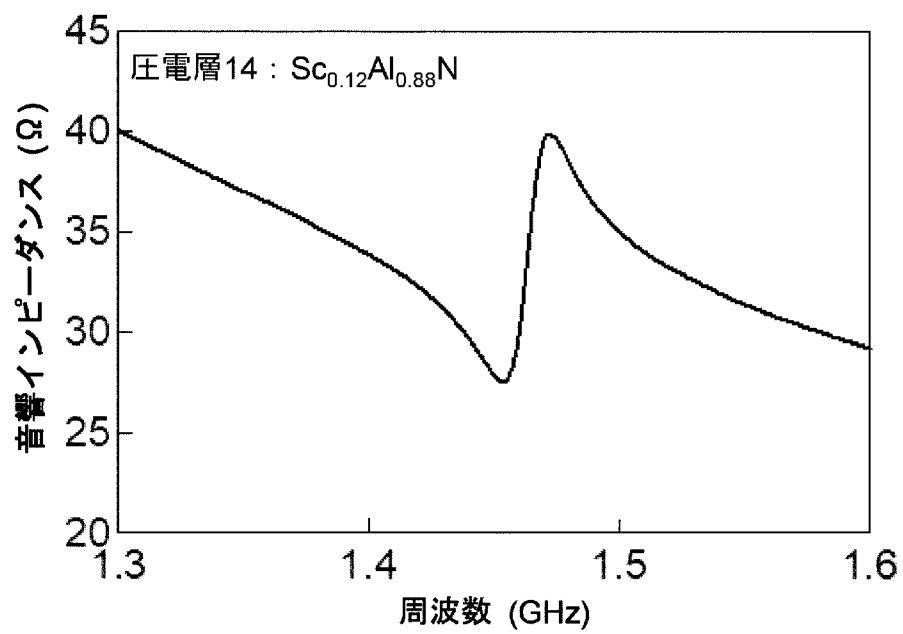
[図7A]



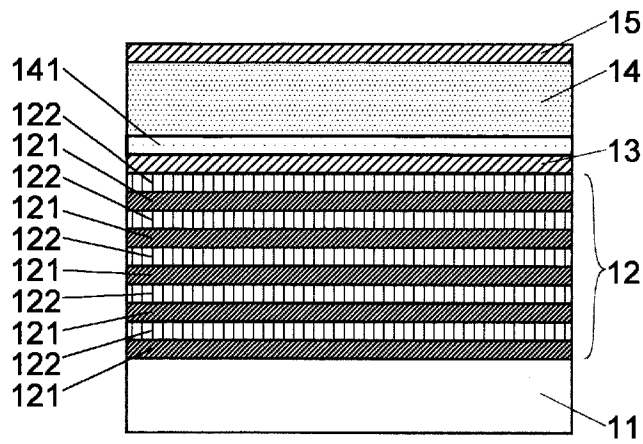
[図7B]



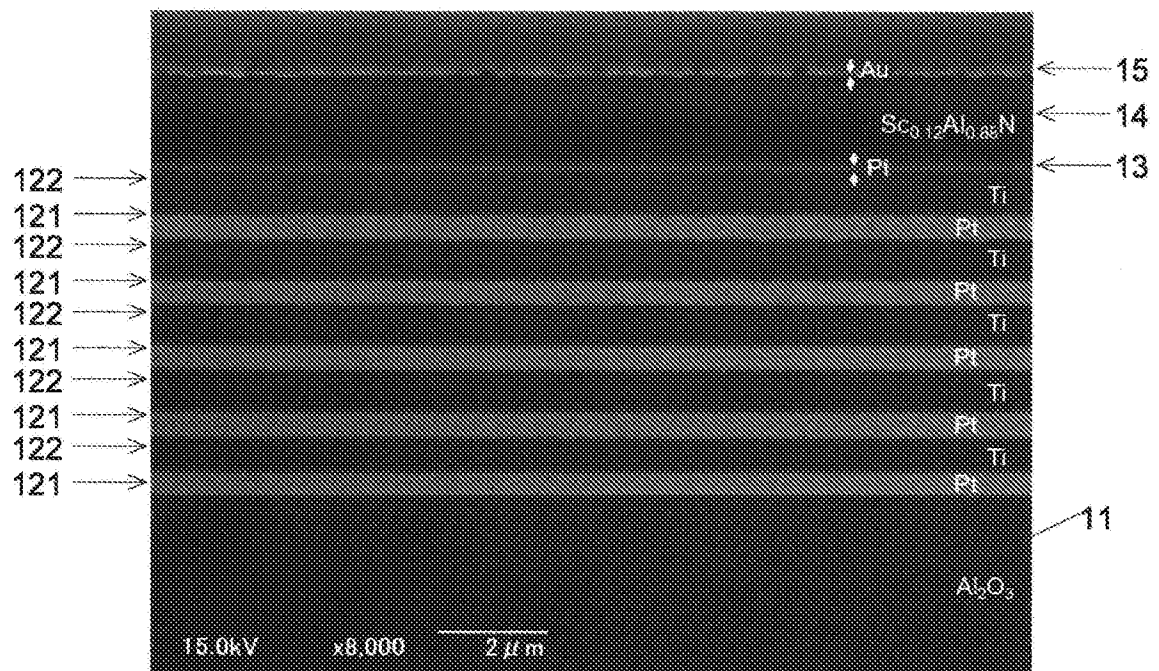
[図7C]



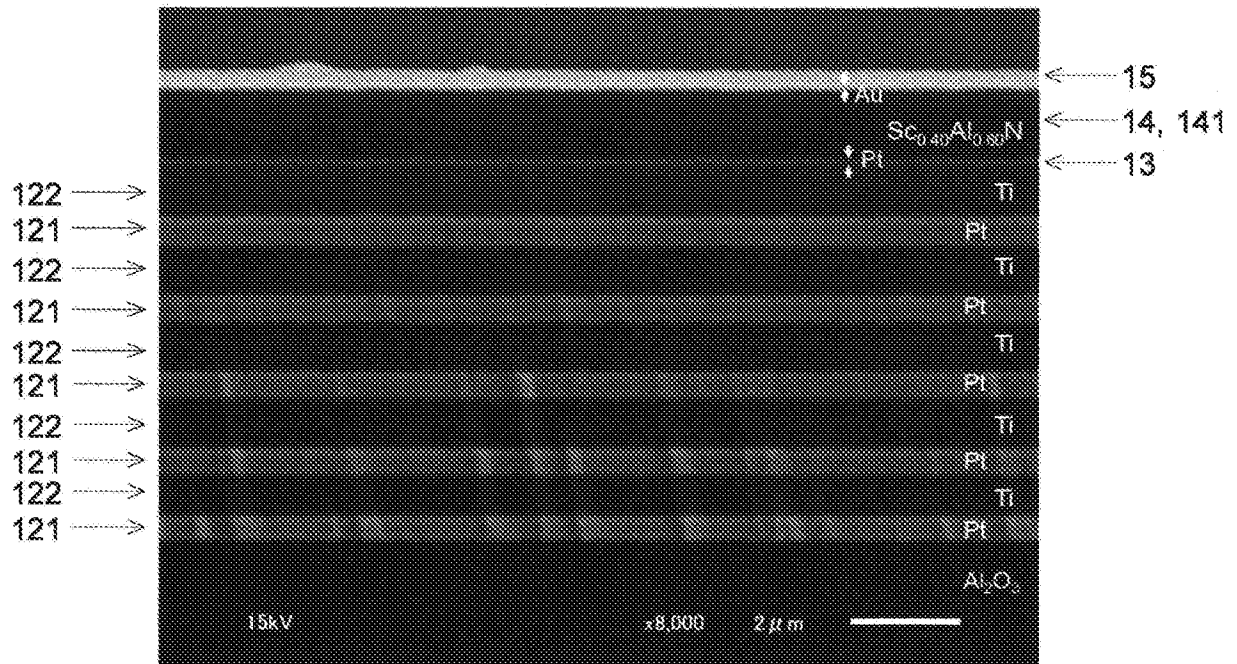
[図8]



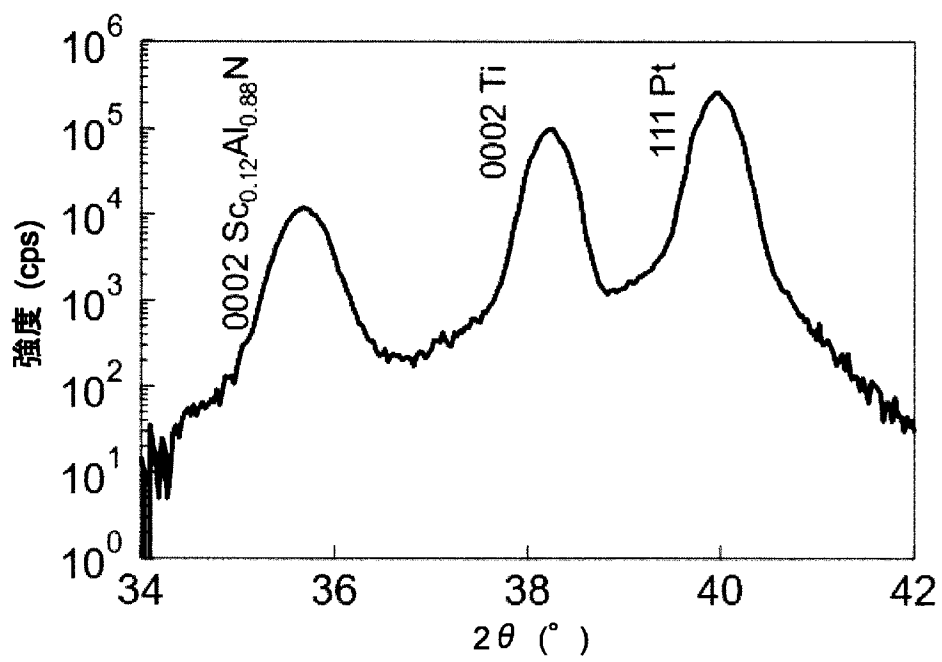
[図9A]



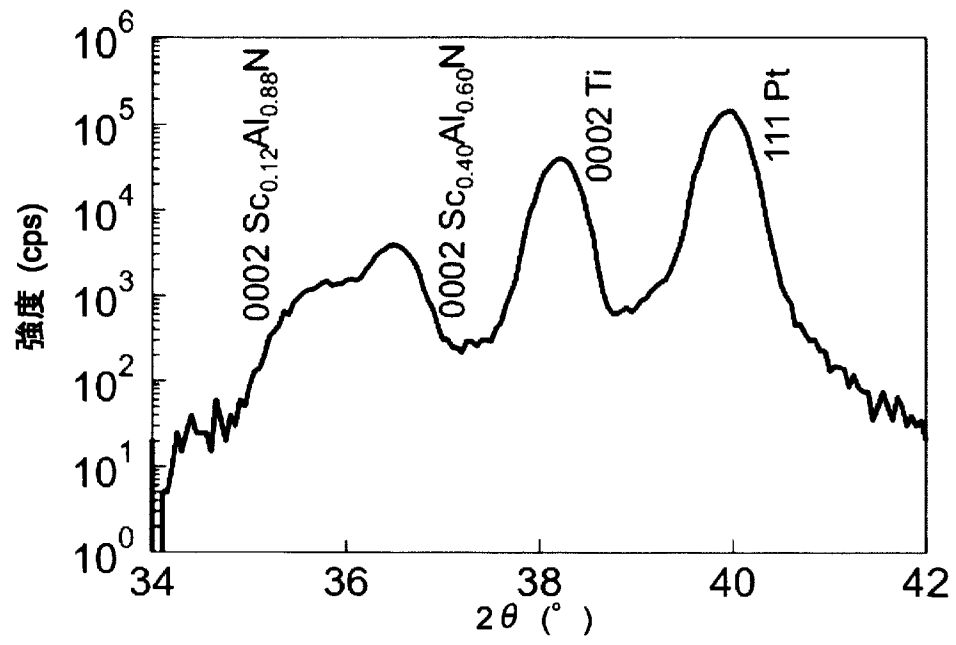
[図9B]



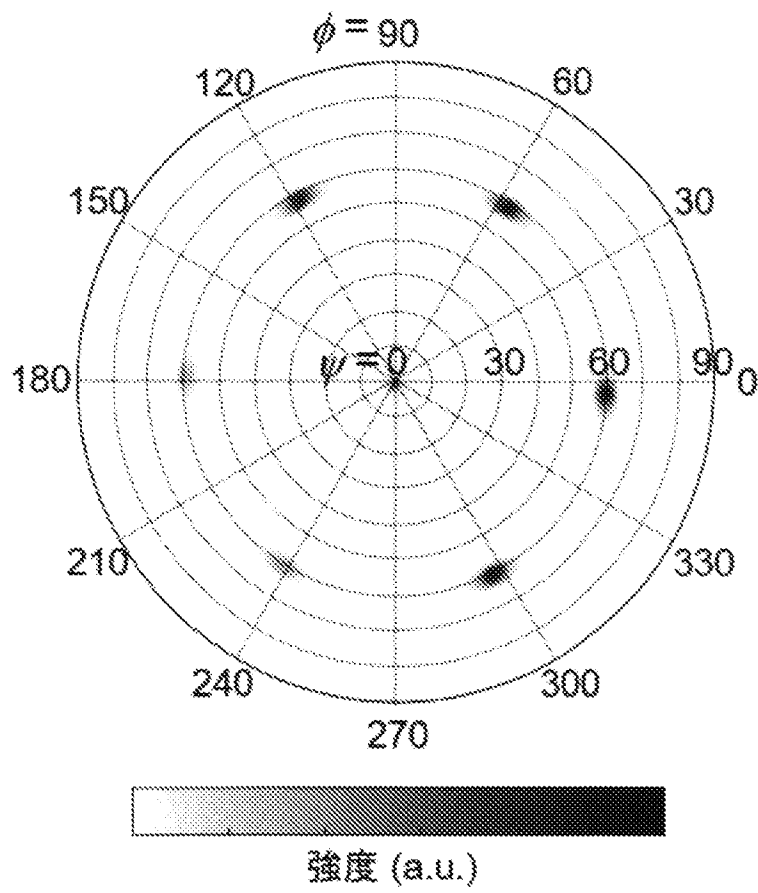
[図10A]



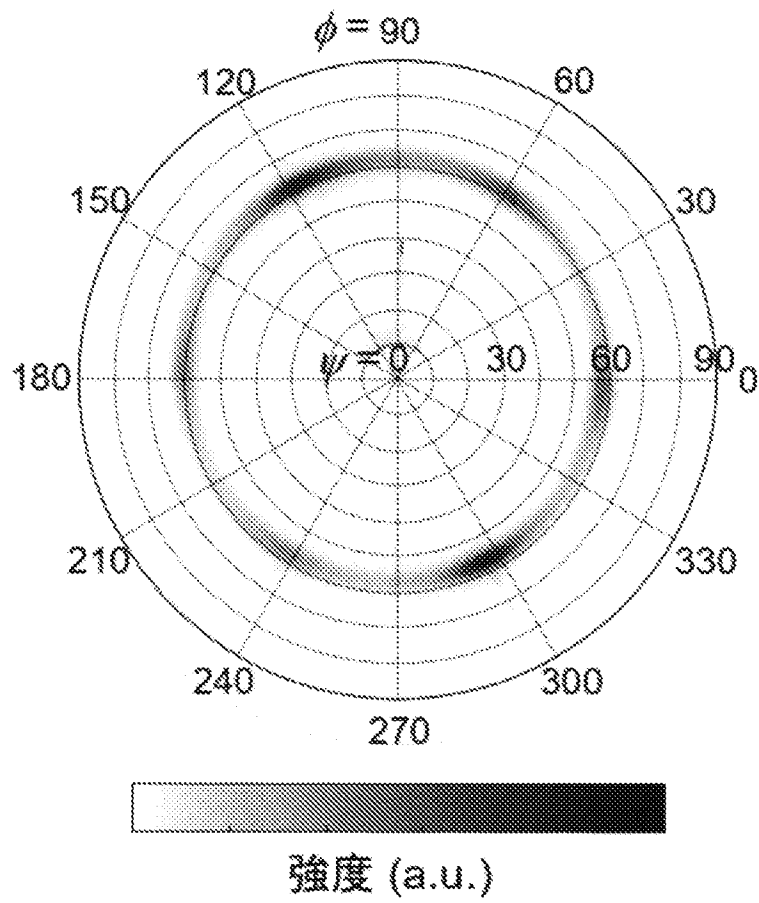
[図10B]



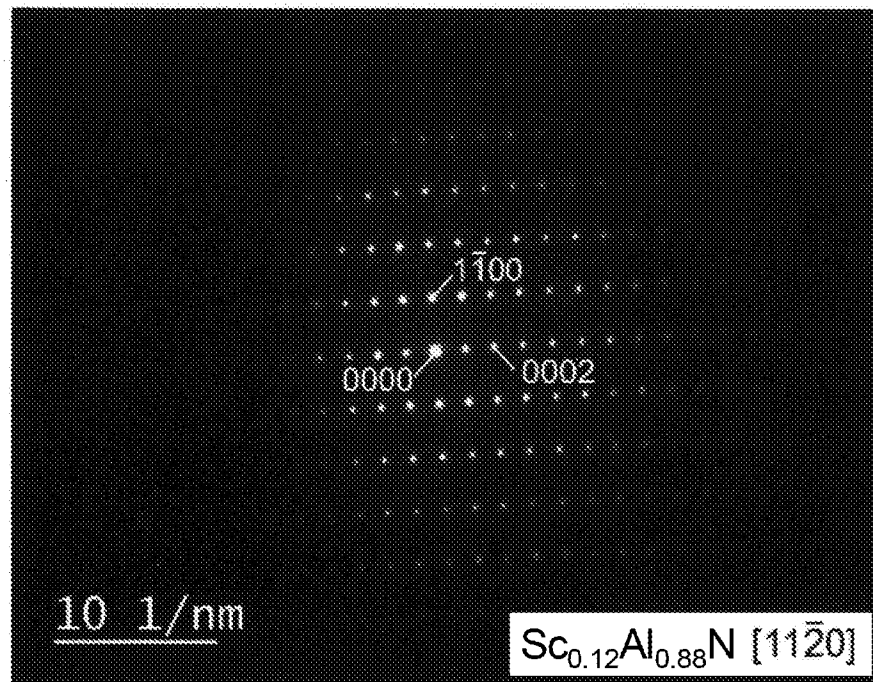
[図11A]

圧電層14 ($\text{Sc}_{0.12}\text{Al}_{0.88}\text{N}$)

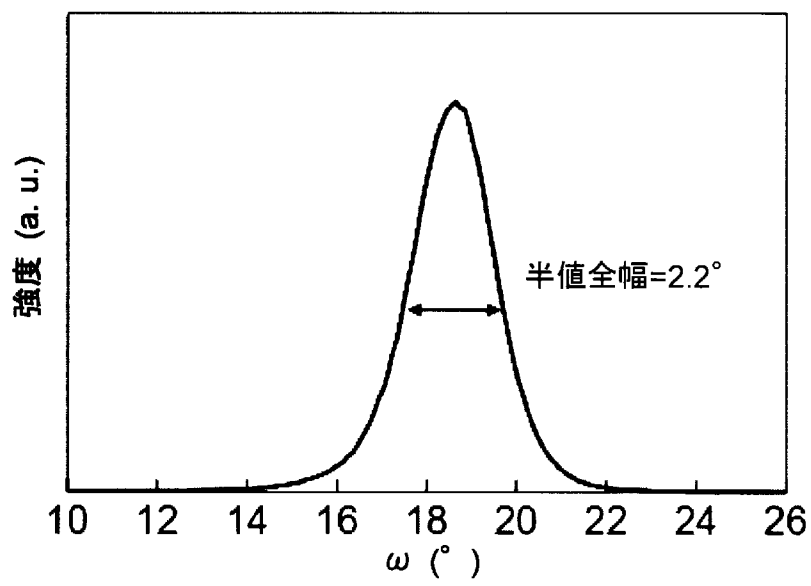
[図11B]

圧電層14 ($\text{Sc}_{0.40}\text{Al}_{0.60}\text{N}$)

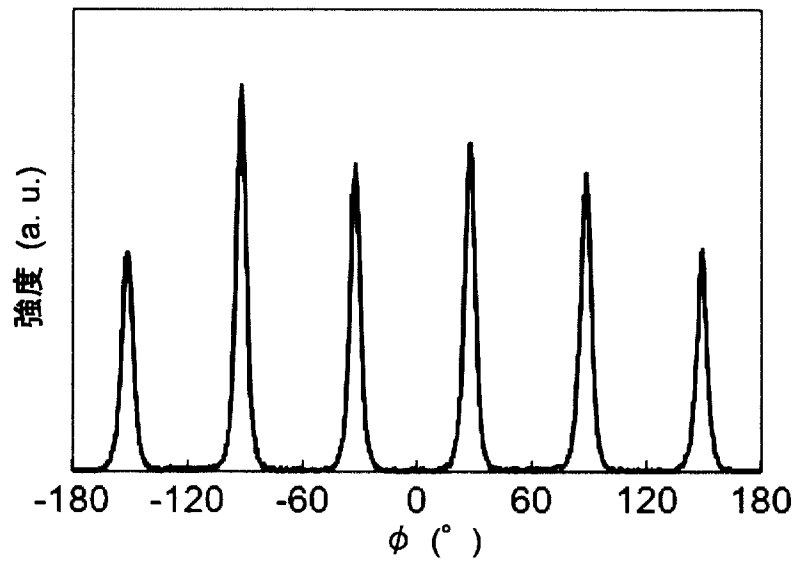
[図12]

圧電層14 ($\text{Sc}_{0.12}\text{Al}_{0.88}\text{N}$)

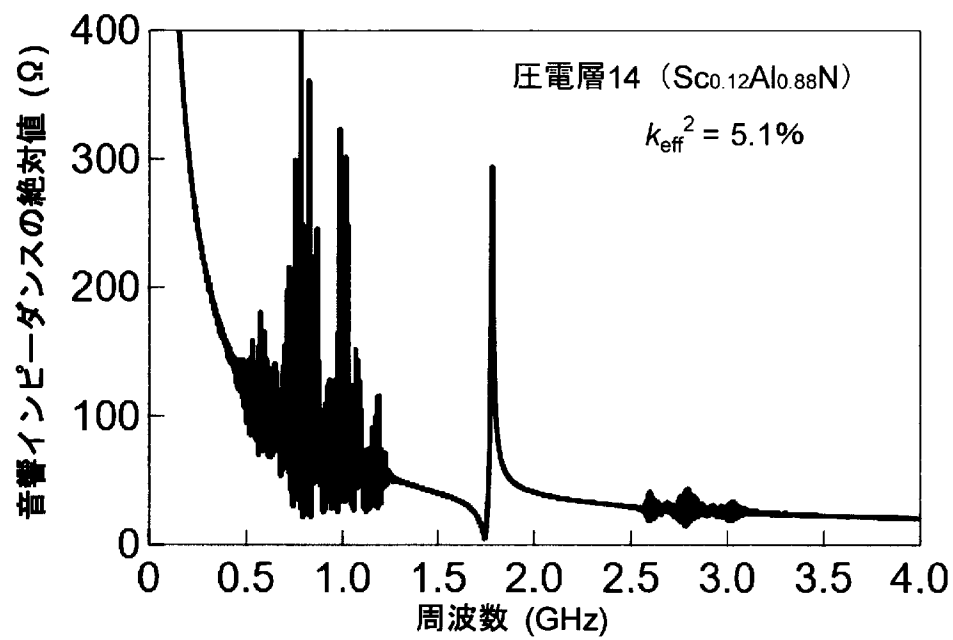
[図13]

圧電層14 ($\text{Sc}_{0.12}\text{Al}_{0.88}\text{N}$)

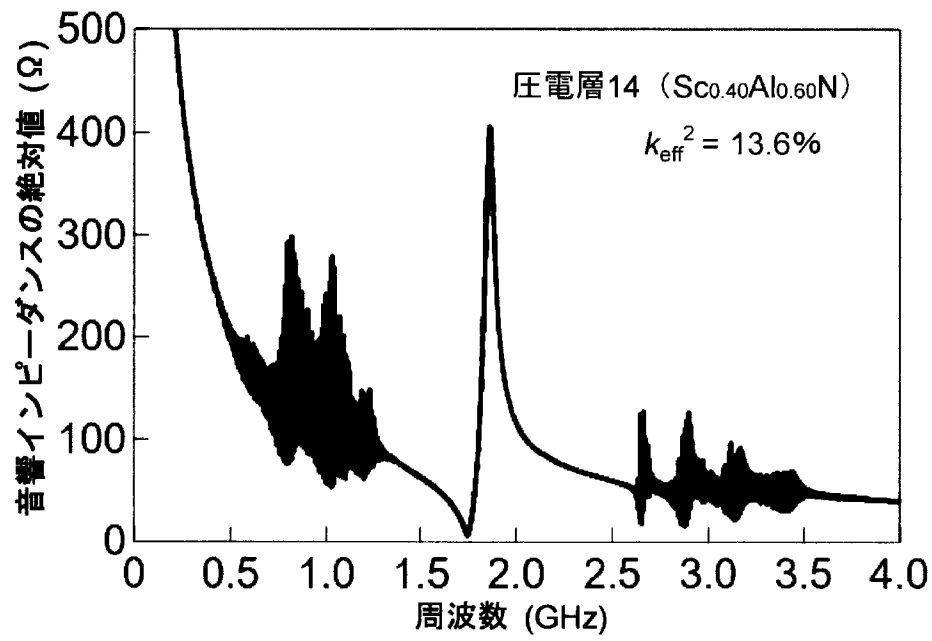
[図14]

圧電層14 ($\text{Sc}_{0.12}\text{Al}_{0.88}\text{N}$)

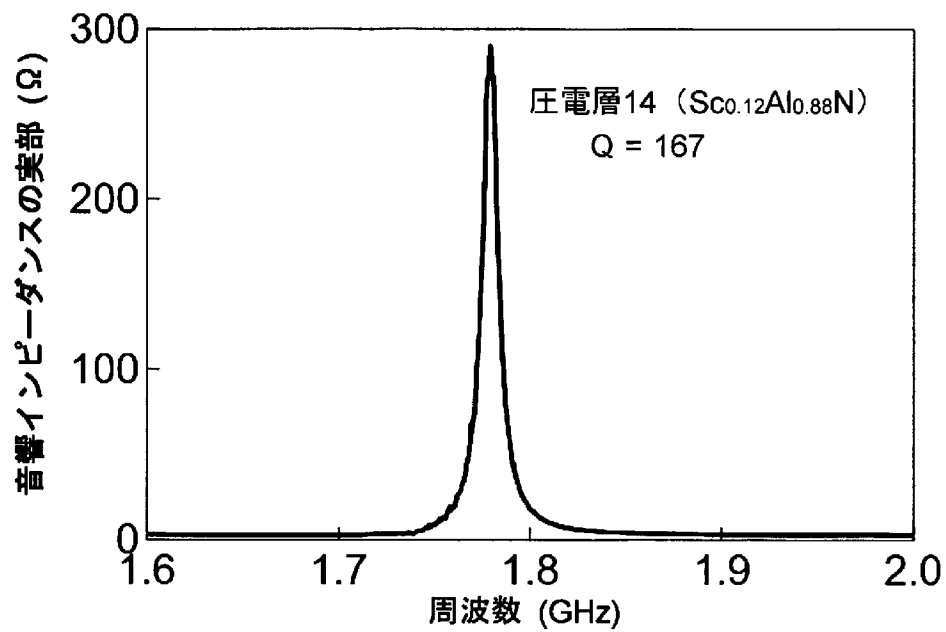
[図15A]



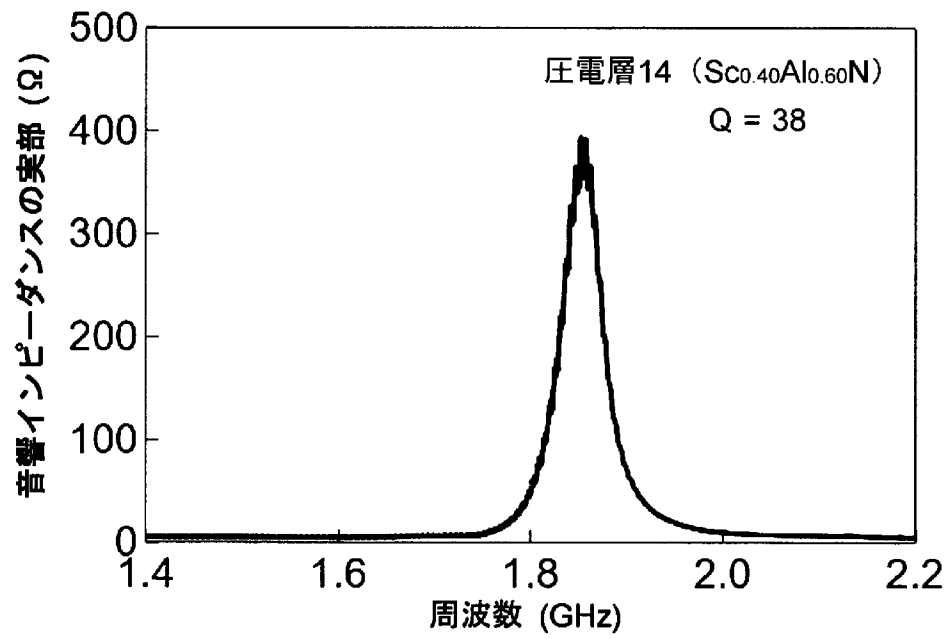
[図15B]



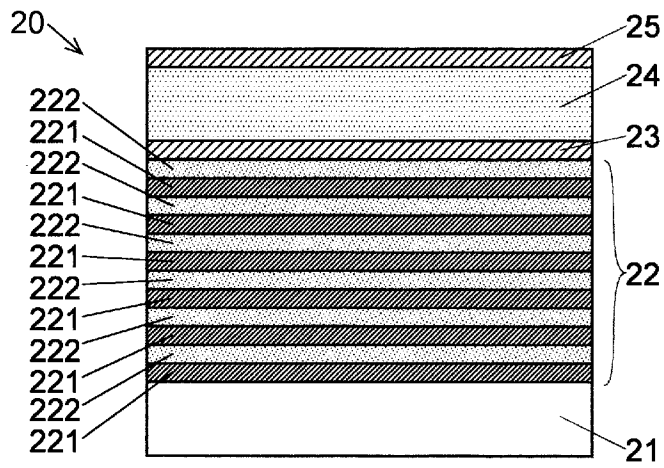
[図16A]



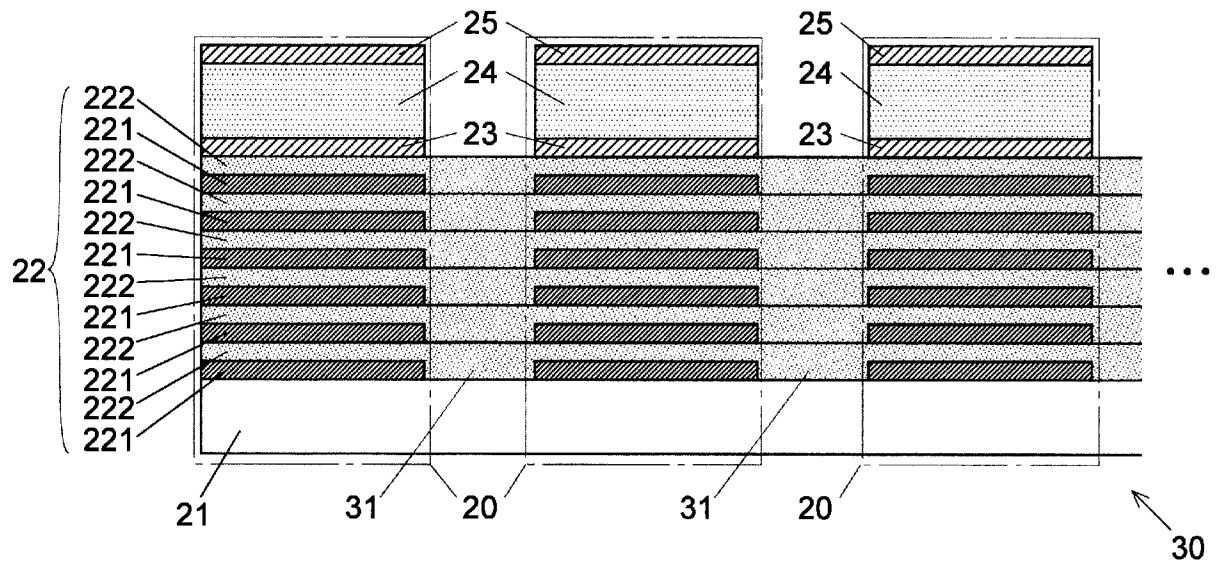
[図16B]



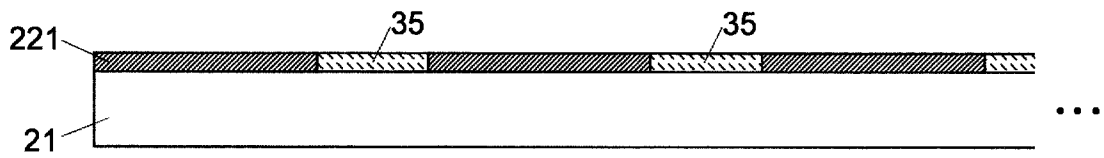
[図17]



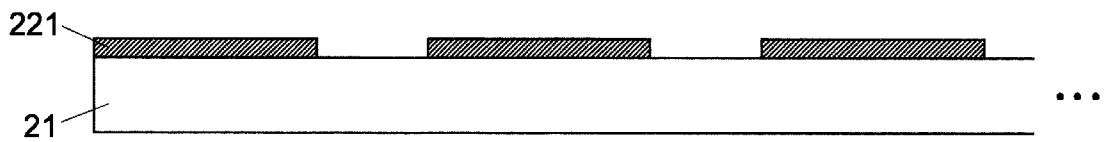
[図18]



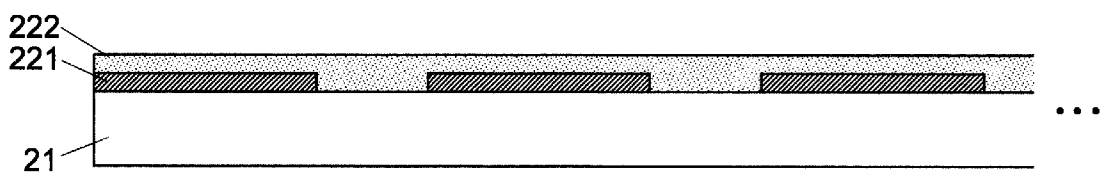
[図19A]



[図19B]



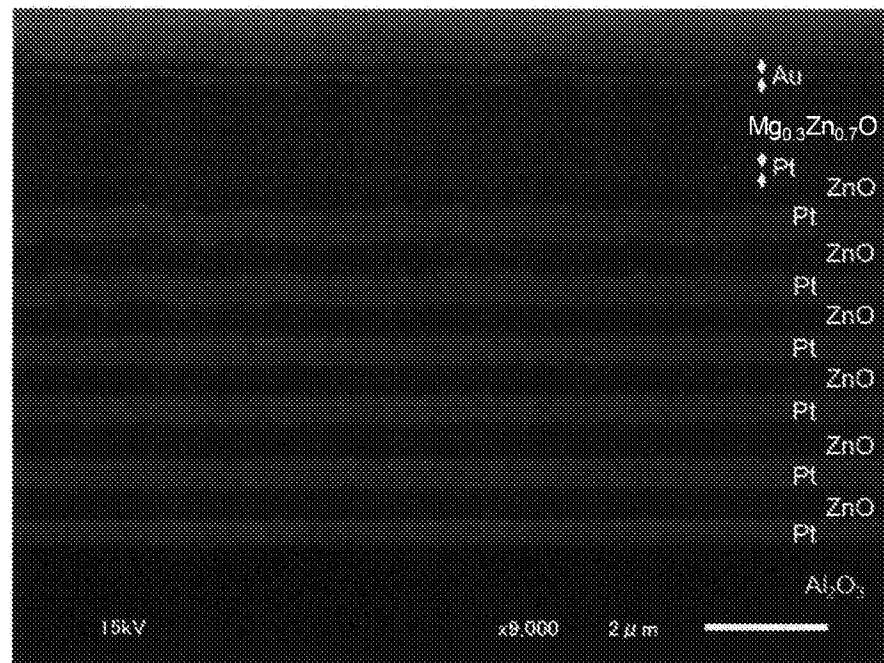
[図19C]



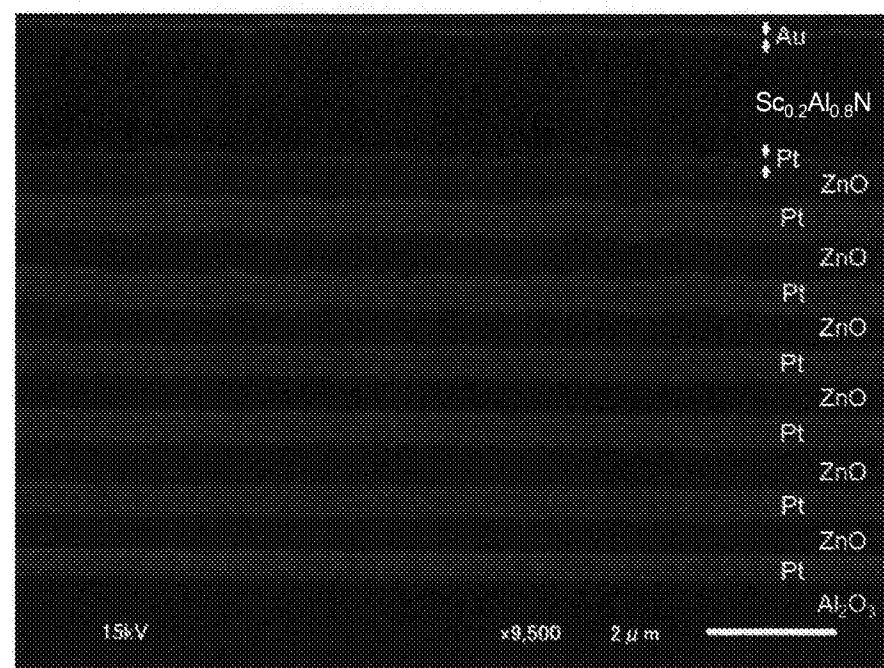
[illegible]

EDS spectrum of the Pt/ZnO/Pt structure. The spectrum shows peaks for Au, Pt, ZnO, and Al₂O₃. The x-axis is labeled '15kV' and the y-axis is labeled 'x9,000'. A scale bar indicates 2 μm.

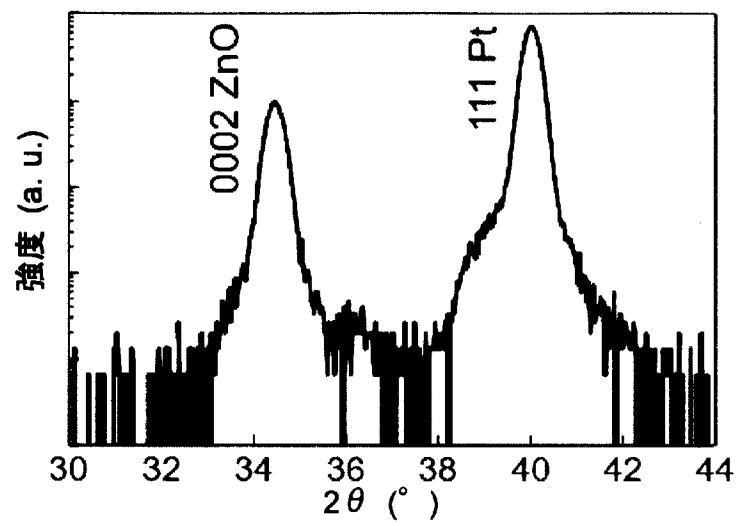
[図20B]



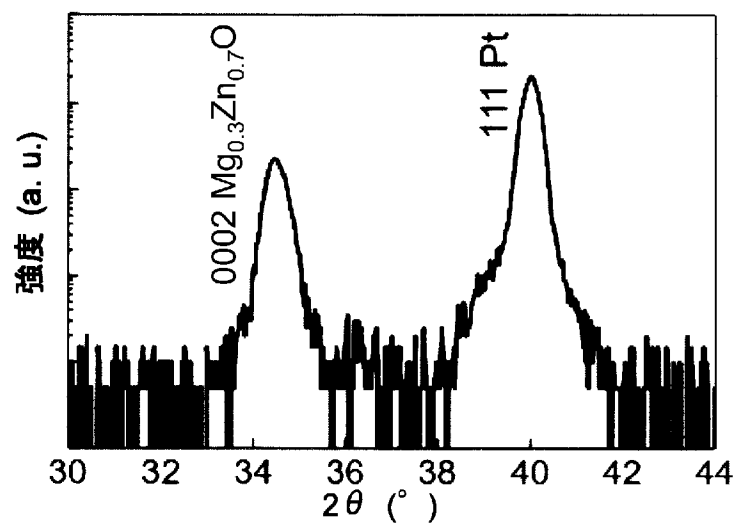
[図20C]



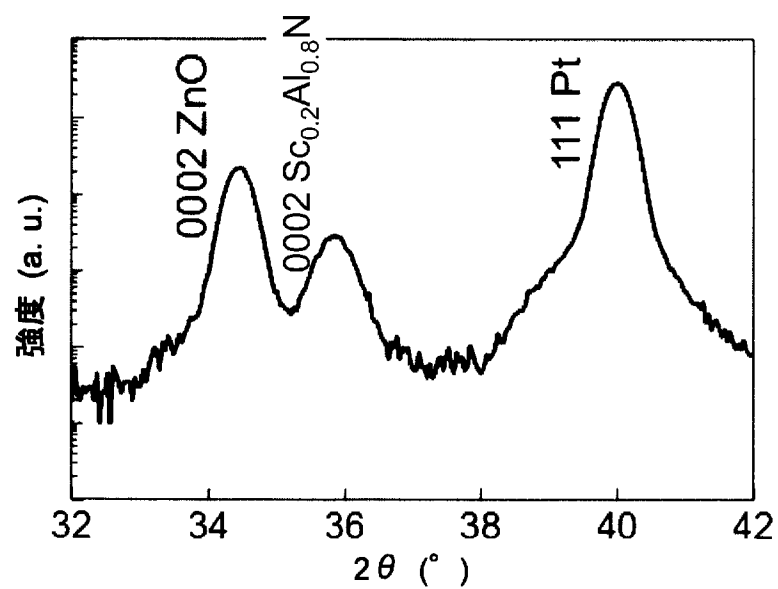
[図21A]



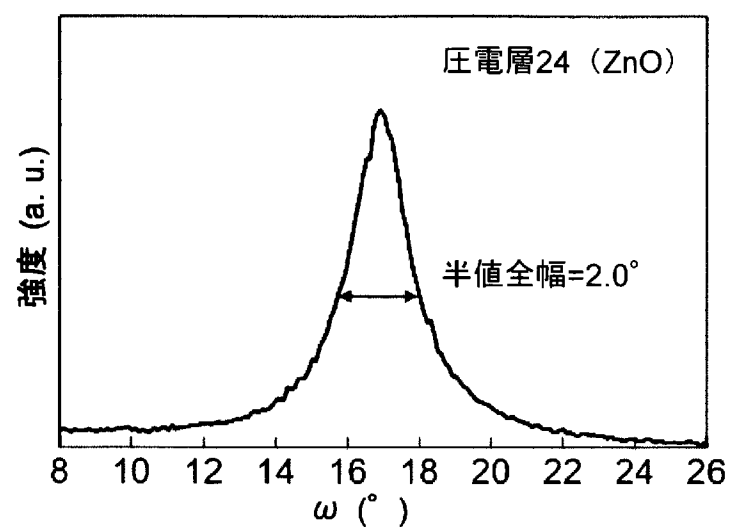
[図21B]



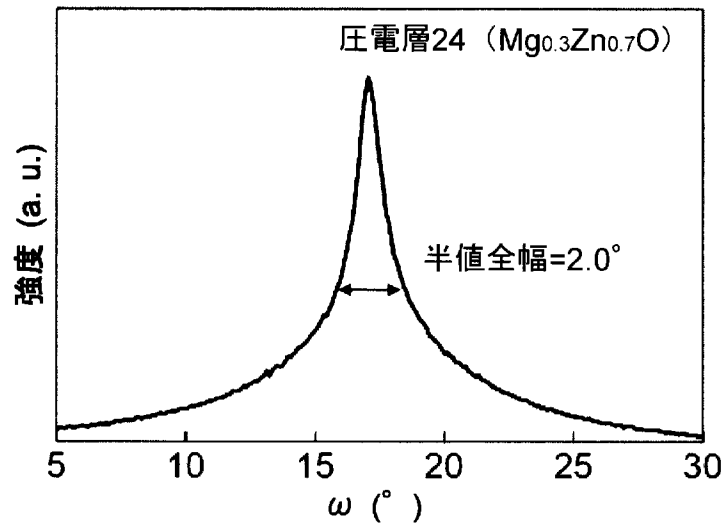
[図21C]



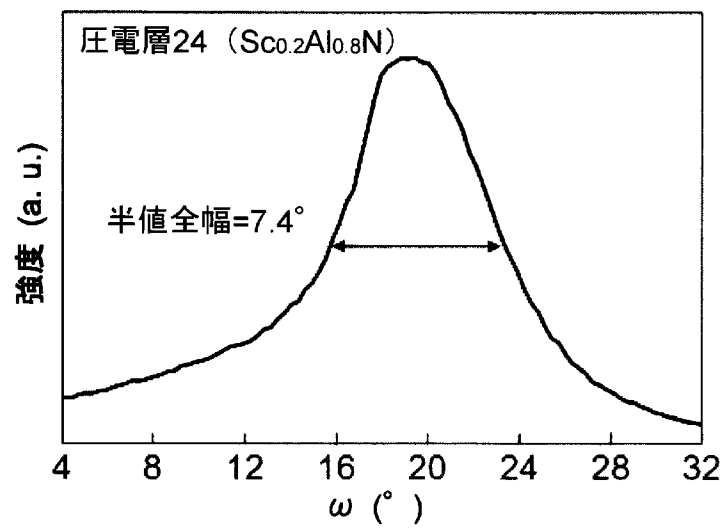
[図22A]



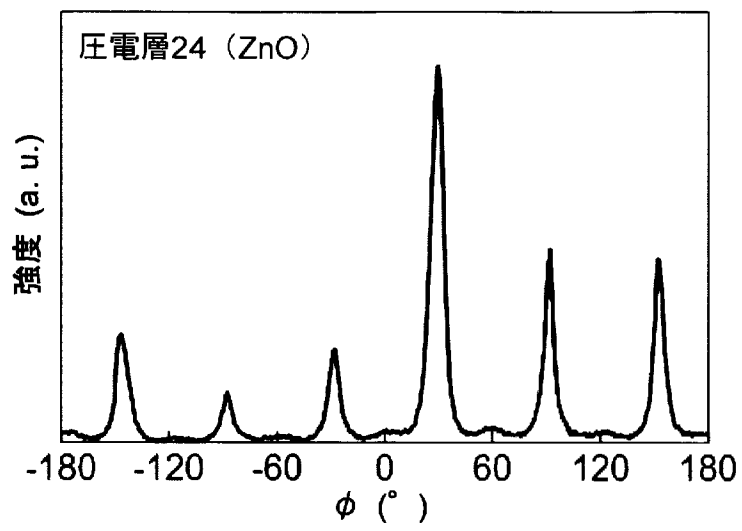
[図22B]



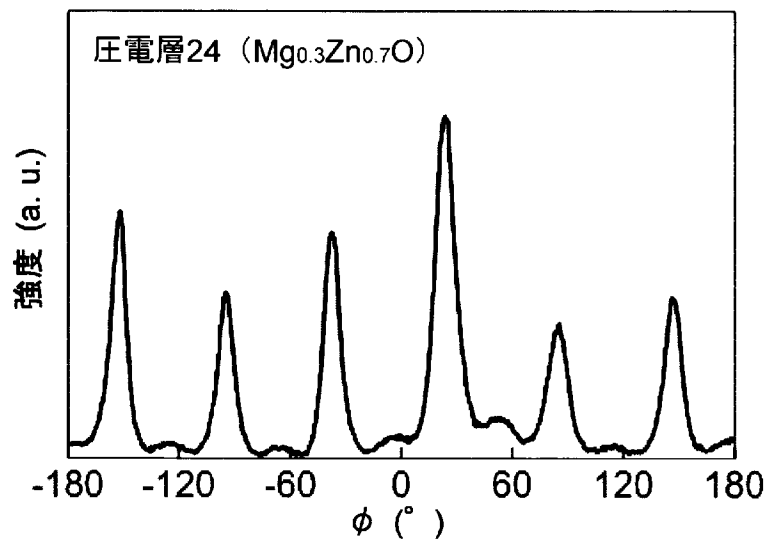
[図22C]



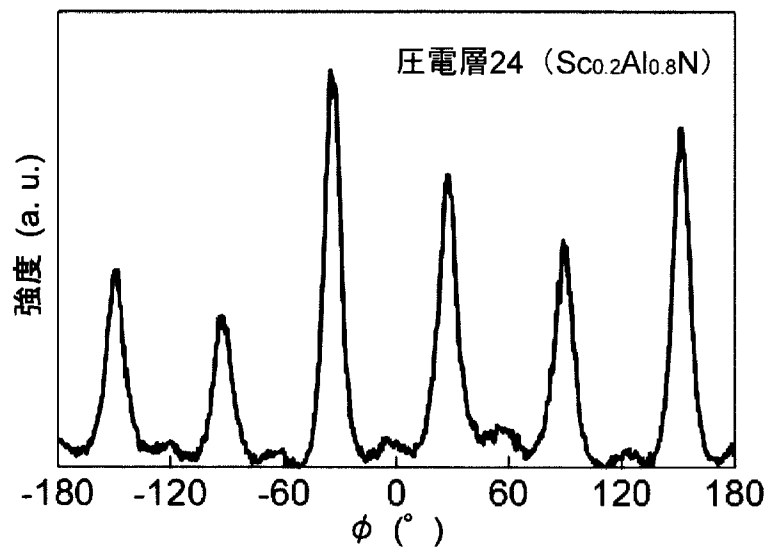
[図23A]



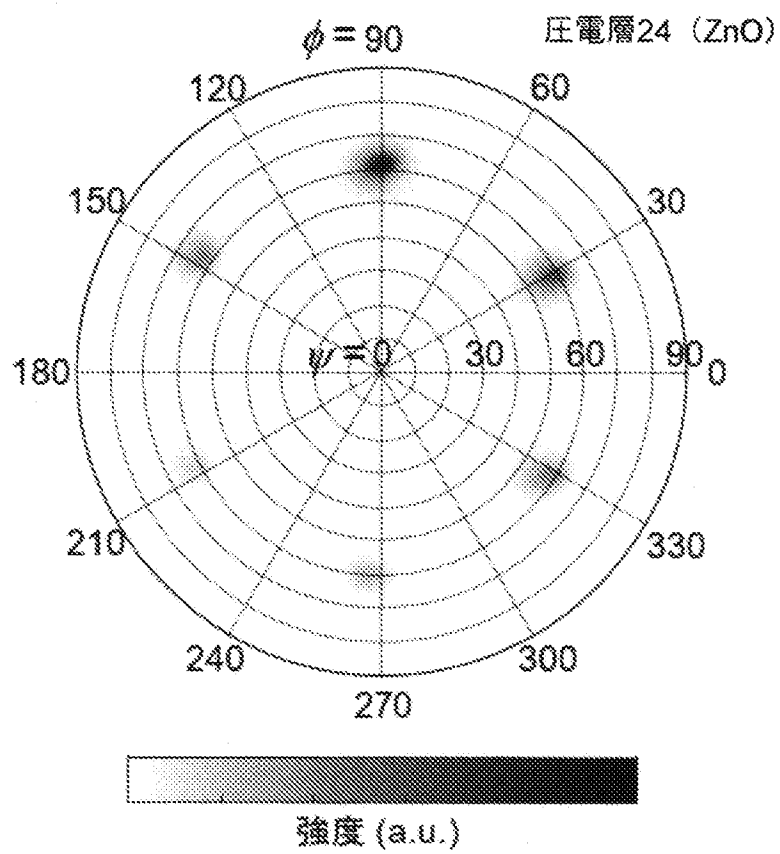
[図23B]



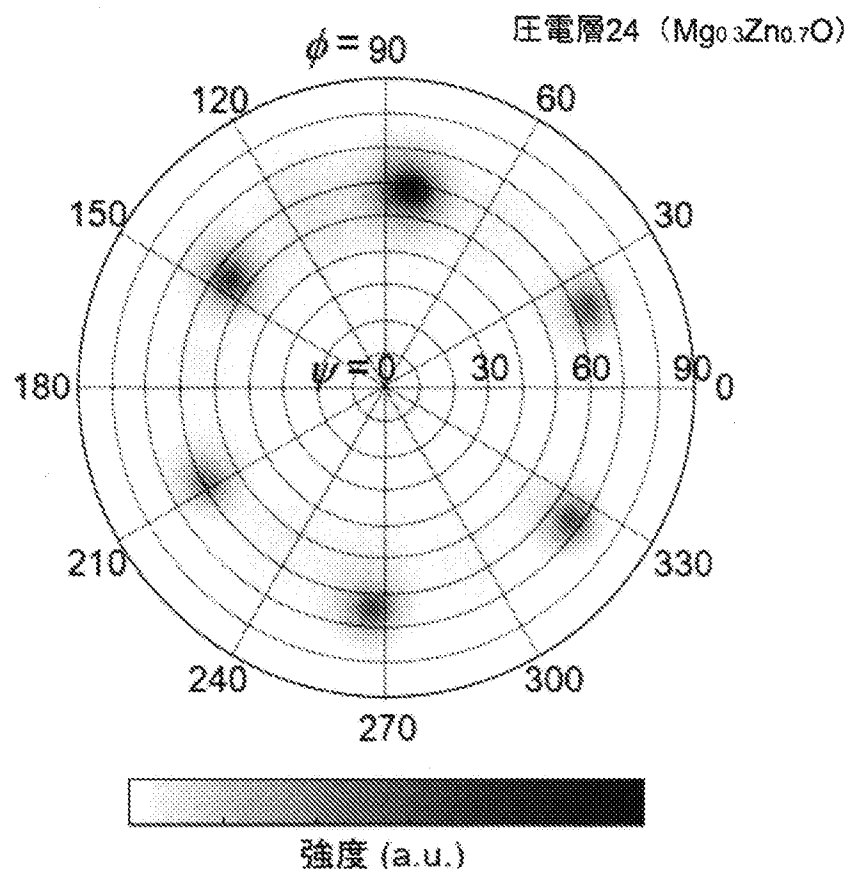
[図23C]



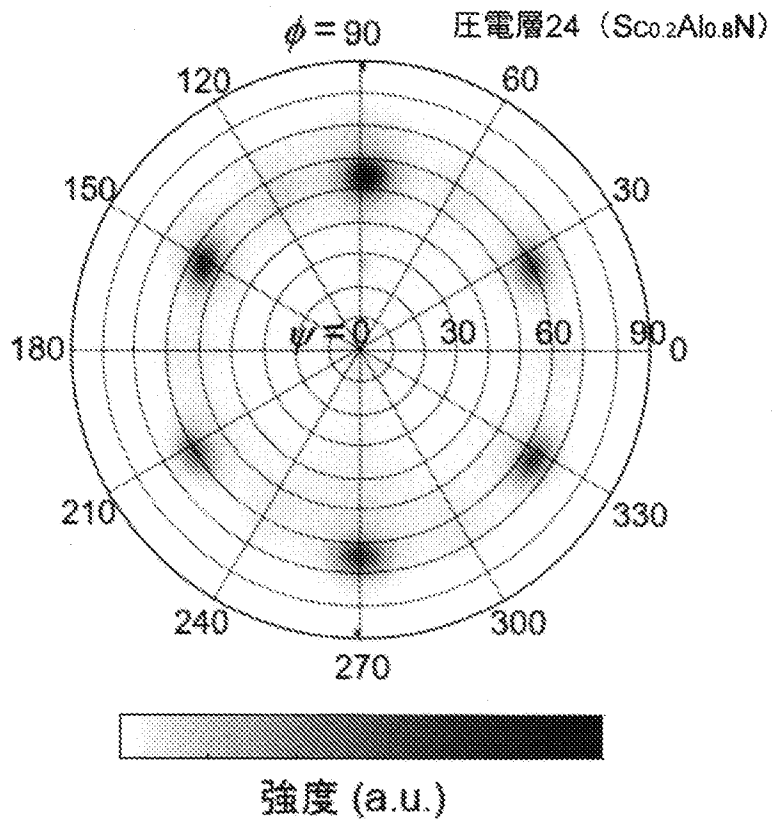
[図24A]



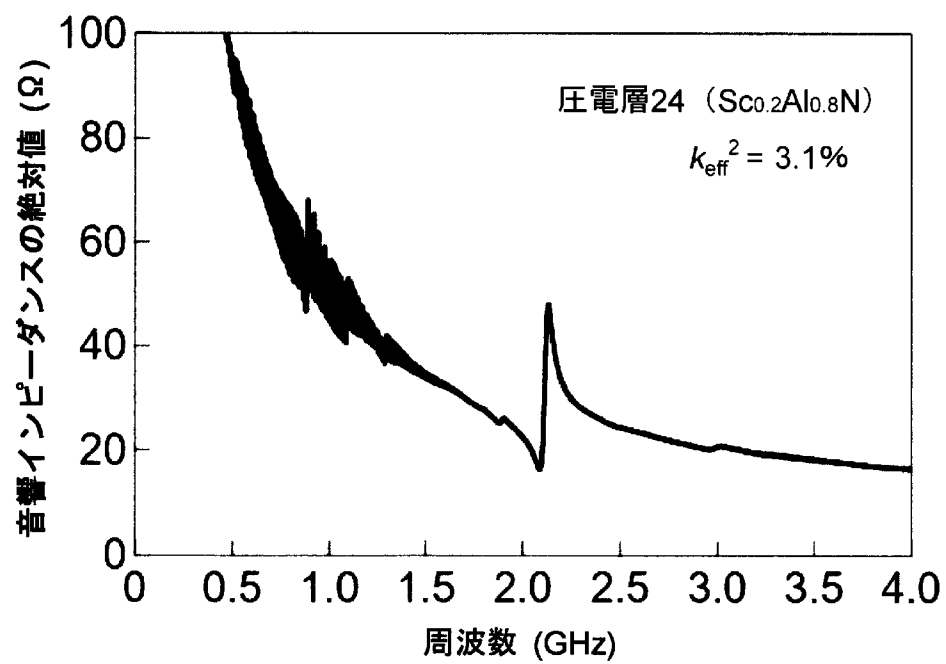
[図24B]



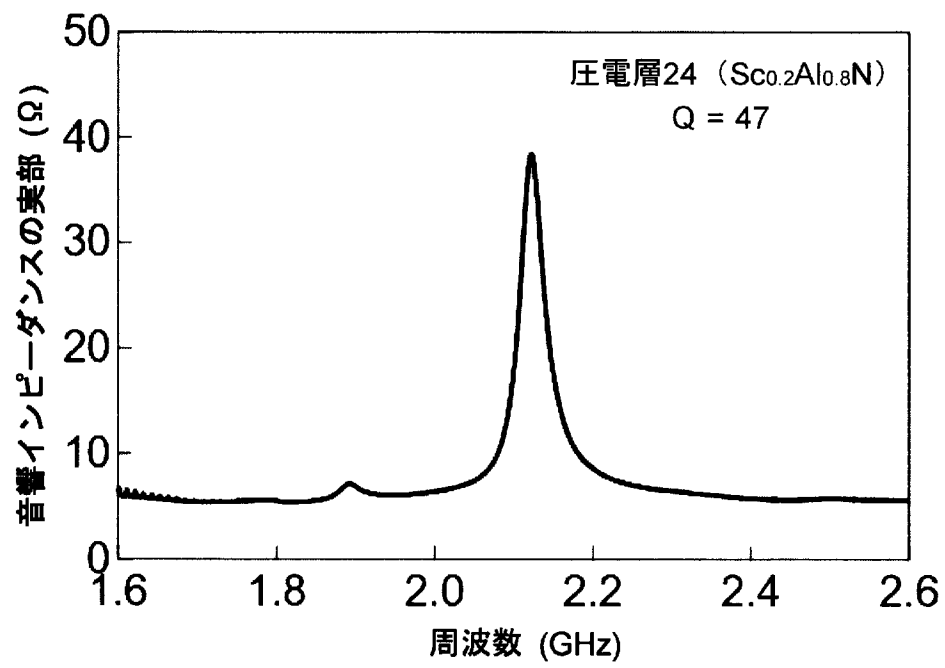
[図24C]



[図25]



[図26]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/001898

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H03H 9/17**(2006.01)i; **H03H 3/02**(2006.01)i

FI: H03H9/17 F; H03H3/02 B

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H03H9/17; H03H3/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024
Registered utility model specifications of Japan 1996-2024
Published registered utility model applications of Japan 1994-2024

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2006-166036 A (MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) 22 June 2006 (2006-06-22) paragraphs [0030]-[0056], fig. 1, 3-5	1, 3, 7
Y		2, 4-6, 8-9
Y	JP 2007-324689 A (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) 13 December 2007 (2007-12-13) paragraph [0023]	2, 4
Y	WO 2020/203093 A1 (MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) 08 October 2020 (2020-10-08) paragraph [0020]	2, 4
Y	JP 2021-190794 A (TAMAGAWA HOLDINGS CO., LTD.; SMACS CO., LTD.) 13 December 2021 (2021-12-13) paragraphs [0015]-[0033], fig. 1- 6	5-6, 8-9

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
“D” document cited by the applicant in the international application
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

22 March 2024

Date of mailing of the international search report

02 April 2024

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/001898

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2007-129391 A (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) 24 May 2007 (2007-05-24) paragraphs [0043]-[0054], fig. 2	6, 9

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

Document 1: JP 2006-166036 A (MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) 22 June 2006 (2006-06-22)
paragraphs [0030]-[0056], fig. 1, 3, 5
& US 2006/0119230 A 1, paragraphs [0037]-[0074], fig. 1, 3A-1 to 5B-2

The claims are classified into the following two inventions.

(Invention 1) Claims 1-4 and 7

Claim 1 lacks novelty in the light of document 1, and thus does not have special technical features. However, claim 2 depending from claim 1 has the special technical feature of "the thermal expansion ratio index value, which is obtained by dividing the higher of the value of the thermal expansion rate of the first acoustic impedance layer and the value of the thermal expansion rate of the second acoustic impedance layer by the lower, is within the range between 1.0 and 1.1". Claim 4 citing claim 2 also has the same special technical feature as claim 2. Therefore, claims 1-2 and claim 4 citing claim 2 are classified as invention 1.

Furthermore, claim 3 and claim 4 citing claim 3 depend from claim 1 and are inventively linked to claim 1, and thus are classified as invention 1.

Additionally, claim 7 is substantially identical to or similarly closely related to claim 1, and thus is classified as invention 1.

(Invention 2) Claims 5-6 and 8-9

Claims 5-6 and 8-9 share, with claim 2 classified as invention 1, the feature of a "SMR-type BAW filter comprising: a) an acoustic Bragg reflector which is composed of multiple repetitions of alternate staking of a single first acoustic impedance layer made of metal polycrystals or single crystals oriented in a prescribed direction, and a single second acoustic impedance layer made of polycrystals or single crystals oriented in a prescribed direction and having an acoustic impedance different from that of the first acoustic impedance layer; and b) a piezoelectric layer that is provided on the acoustic Bragg reflector and is made of a piezoelectric body of polycrystals or single crystals oriented in a prescribed direction, where the crystal lattice of the polycrystals or the single crystals in the piezoelectric layer is consistent with the crystal lattice of polycrystals or single crystals in a layer at a position close to the piezoelectric layer among the first acoustic impedance layer and the second acoustic impedance layer". However, this feature does not make a contribution over the prior art in the light of the content disclosed in document 1, and thus cannot be said to be a special technical feature. Furthermore, there are no other identical or corresponding special technical features between claims 5-6, 8-9 and claim 2.

Additionally, claims 5-6 and 8-9 do not depend from claim 1. Moreover, claims 5-6 and 8-9 are not substantially identical to or similarly closely related to any of the claims classified as invention 1.

Therefore, claims 5-6 and 8-9 cannot be classified as invention 1.

Claims 5-6 and 8-9 are classified as invention 2 as a result of having the special technical feature of "an acoustic Bragg reflector which is composed of multiple repetitions of alternate staking of a single first acoustic impedance layer made of metal polycrystals or single crystals oriented in a prescribed direction, and a single second acoustic impedance layer made of polycrystals or single crystals of ceramics oriented in a prescribed direction and having an acoustic impedance different from that of the first acoustic impedance layer".

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/001898

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

1. ☒ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☒ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2024/001898

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2006-166036	A	22 June 2006	US 2006/0119230 A1 paragraphs [0037]-[0074], fig. 1, 3A-1 to 5B-2	
JP	2007-324689	A	13 December 2007	US 2007/0279155 A1 paragraph [0054]	
WO	2020/203093	A1	08 October 2020	US 2022/0014174 A1 paragraph [0042]	
JP	2021-190794	A	13 December 2021	(Family: none)	
JP	2007-129391	A	24 May 2007	US 2007/0096851 A1 paragraph [0065], fig. 5 CN 1960177 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

H03H 9/17(2006.01)i; H03H 3/02(2006.01)i

FI: H03H9/17 F; H03H3/02 B

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

H03H9/17; H03H3/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報

1922 - 1996年

日本国公開実用新案公報

1971 - 2024年

日本国実用新案登録公報

1996 - 2024年

日本国登録実用新案公報

1994 - 2024年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2006-166036 A（株式会社村田製作所）22.06.2006（2006 - 06 - 22） [0030]-[0056], 図1, 図3-図5	1, 3, 7
Y		2, 4-6, 8-9
Y	JP 2007-324689 A（松下電器産業株式会社）13.12.2007（2007 - 12 - 13） [0023]	2, 4
Y	WO 2020/203093 A1（株式会社村田製作所）08.10.2020（2020 - 10 - 08） [0020]	2, 4
Y	JP 2021-190794 A（株式会社多摩川ホールディングス, 株式会社SMACs） 13.12.2021（2021 - 12 - 13） [0015]-[0033], 図1-図6	5-6, 8-9
Y	JP 2007-129391 A（松下電器産業株式会社）24.05.2007（2007 - 05 - 24） [0043]-[0054], 図2	6, 9

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献

“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献

“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

“&” 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

22. 03. 2024

国際調査報告の発送日

02. 04. 2024

名称及びあて先

日本国特許庁(ISA/JP)

〒100-8915

日本国

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

権限のある職員（特許庁審査官）

▲高▼橋 徳浩 5W 4877

電話番号 03-3581-1101 内線 3576

様式 PCT/ISA/210（第2ページ）（2022年7月）

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

1. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の
申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☒ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

文献1：JP 2006-166036 A（株式会社村田製作所）22.06.2006（2006-06-22）
[0030]-[0056], 図1, 図3-図5
& US 2006/0119230 A1, [0037]-[0074], 図1, 図3A-1-図5B-2

請求の範囲は、以下の2つの発明に区分される。

（発明1）請求項1-4, 7

請求項1は文献1により新規性が欠如しているため、特別な技術的特徴を有しない。しかしながら、請求項1の従属請求項である請求項2は、「前記第1音響インピーダンス層の熱膨張率の値と前記第2音響インピーダンス層の熱膨張率の値のうち高い方を低い方で除した値である熱膨張率比指標値が1.0～1.1の範囲内にある」という特別な技術的特徴を有しており、請求項2を引用する請求項4も、請求項2と同一の特別な技術的特徴を有している。したがって、請求項1-2及び請求項2を引用する請求項4を発明1に区分する。

また、請求項3及び請求項3を引用する請求項4は請求項1の従属請求項であり、請求項1に対して発明の連関を有しているので、発明1に区分する。

更に、請求項7は請求項1と実質同一またはそれに準ずる関係にあるので、発明1に区分する。

（発明2）請求項5-6, 8-9

請求項5-6, 8-9は、発明1に区分された請求項2と、「a）所定の方向に配向した金属の多結晶又は単結晶から成る第1音響インピーダンス層と、所定の方向に配向した多結晶又は単結晶から成り前記第1音響インピーダンス層とは音響インピーダンスが異なる第2音響インピーダンス層が交互に1層ずつそれぞれ複数積層した音響ブラッグ反射器と、b）前記音響ブラッグ反射器上に設けられた、所定の方向に配向した多結晶又は単結晶の圧電体から成る圧電層であって、前記多結晶又は前記単結晶の結晶格子が、前記第1音響インピーダンス層及び前記第2音響インピーダンス層のうち前記圧電層に近い位置にある層の多結晶又は単結晶の結晶格子と整合している圧電層とを備えるSMR型BAWフィルタ」という共通の技術的特徴を有している。しかしながら、当該技術的特徴は、文献1の開示内容に照らして、先行技術に対する貢献をもたらすものではないから、特別な技術的特徴であるとはいえない。また、請求項5-6, 8-9と請求項2との間に、他に同一のまたは対応する特別な技術的特徴は存在しない。

更に、請求項5-6, 8-9は請求項1の従属請求項ではない。また、請求項5-6, 8-9は、発明1に区分されたいずれの請求項に対しても実質同一またはそれに準ずる関係にはない。

したがって、請求項5-6, 8-9は発明1に区分できない。

そして、請求項5-6, 8-9は、「所定の方向に配向した金属の多結晶又は単結晶から成る第1音響インピーダンス層と、所定の方向に配向したセラミックスの多結晶又は単結晶から成り前記第1音響インピーダンス層とは音響インピーダンスが異なる第2音響インピーダンス層が交互に1層ずつそれぞれ複数積層した音響ブラッグ反射器」という特別な技術的特徴を有しているので、発明2に区分する。

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2024/001898

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2006-166036	A	22.06.2006	US 2006/0119230 A1 [0037]-[0074], 図1, 図3A-1- 図5B-2	
JP	2007-324689	A	13.12.2007	US 2007/0279155 A1 [0054]	
WO	2020/203093	A1	08.10.2020	US 2022/0014174 A1 [0042]	
JP	2021-190794	A	13.12.2021	(ファミリーなし)	
JP	2007-129391	A	24.05.2007	US 2007/0096851 A1 [0065], 図5	
				CN 1960177 A	