(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11月14日(14.11.2024)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2024/232192 A1

(51) 国際特許分類:
H03H 9/25 (2006.01) *H10N 30/853* (2023.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2024/013466

(22) 国際出願日： 2024年4月1日(01.04.2024)

(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 2023-077370 2023年5月9日(09.05.2023) JP

(71) 出願人: 信越化学工業株式会社(**SHIN-ETSU CHEMICAL CO., LTD.**) [JP/JP]; 〒1000005 東京都千代田区丸の内一丁目４番１号 Tokyo (JP).

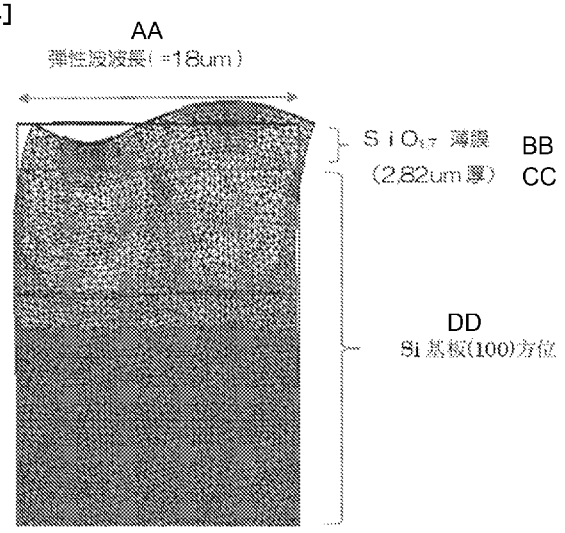
(72) 発明者: 丹野 雅行(**TANNO, Masayuki**); 〒3790195 群馬県安中市磯部二丁目１３番１号 信越化学工業株式会社 精密機能材料研究所内 Gunma (JP). 秋山 昌次(**AKIYAMA, Shoji**); 〒3790195 群馬県安中市磯部二丁目１３番１号 信越化学工業株式会社 精密機能材料研究所内 Gunma (JP). 佐々木 寛和(**SASAKI, Hirokazu**); 〒3790195 群馬県安中市磯部二丁目１３番１号 信越化学工業株式会社 精密機能材料研究所内 Gunma (JP).

(74) 代理人: 田口 昌浩, 外(**TAGUCHI, Masahiro** et al.); 〒1050001 東京都港区虎ノ門三丁目２５番２号 虎ノ門ＥＳビル８階 ダイヤ特許事務所 Tokyo (JP).

(54) **Title:** COMPOSITE SUBSTRATE FOR SURFACE ACOUSTIC WAVE DEVICES

(54) 発明の名称： 表面弾性波デバイス用複合基板

[図4]



AA Wavelength of acoustic wave (= 18 μm)
BB $SiO_{1.7}$ thin film
CC 2.82 μm thick
DD Si substrate (100) orientation

(57) **Abstract:** The present invention provides a composite substrate for surface acoustic wave devices, the composite substrate comprising: a piezoelectric single crystal thin film; a supporting substrate; and at least one intervening layer that is provided between the piezoelectric single crystal thin film and the supporting substrate. The intervening layer is in contact with the piezoelectric single crystal thin film. The total thickness of the intervening layer is equal to or less than twice the wavelength of the surface acoustic wave. The attenuation of a

WO 2024/232192 A1

[続葉有]

(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, 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, 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:

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

longitudinal wave in the intervening layer as calculated by a Brillouin oscillation method at a frequency of 40 GHz to 60 GHz is 8×10^{-2} ($nm^{-1} \cdot THz^{-2}$) or less. According to the present invention, it is possible to provide a composite substrate for surface acoustic wave devices, the composite substrate having a small loss in the pass band of a filter, a small spurious component, and excellently high performance and high reliability.

(57) 要約：圧電単結晶薄膜と、支持基板と、圧電単結晶薄膜と支持基板の間に設けられた少なくとも１種の介在層と、を備える複合基板であって、介在層は圧電単結晶薄膜と接しており、介在層の合計厚みは、表面弾性波の波長の２倍の厚み以下であり、かつ介在層をブリリュアン振動法により４０ＧＨｚ～６０ＧＨｚの周波数で算出した縦波の減衰が８×１０$^{-2}$（ｎｍ$^{-1}$・ＴＨｚ$^{-2}$）以下である表面弾性波デバイス用複合基板である。本発明によれば、フィルタの通過帯域のロスが小さく、スプリアスが少ない、優れた高性能で信頼性が高い表面弾性波デバイス用複合基板を提供することができる。

明　細　書

発明の名称 ： 表面弾性波デバイス用複合基板

技術分野

[0001] 本発明は、圧電単結晶薄膜と支持基板とを含んで構成される表面弾性波デバイス用複合基板に関する。

背景技術

[0002] 携帯電話等には、周波数調整・選択用の部品として、圧電基板上に表面弾性波を励起するための櫛形電極（ＩＤＴ：Inter digital Transducer）が形成された表面弾性波（ＳＡＷ：surface acoustic wave）デバイスが用いられている。表面弾性波デバイスには、小型で挿入損失が小さく、不要波を通さない性能が要求され、タンタル酸リチウム（$LiTaO_3$；ＬＴ）やニオブ酸リチウム（$LiNbO_3$；ＬＮ）などの圧電材料が用いられている。

[0003] 一方で、第四世代以降の携帯電話の通信規格のもとでは、表面弾性波デバイスに用いられる圧電材料は、その温度による特性変動を十分小さくする必要がある。また、バンド間に余計なノイズがはみ出ないように、フィルタやデュプレクサ、マルチプレクサは挿入損失が限りなく小さく、またフィルタの肩特性は極めて急峻である必要があり、フィルタを構成する共振子は高いＱ値（Quality Factor）が求められる。また、フィルタは用いるバンドにより広帯域に対応できることも要求される。

[0004] このような表面弾性波デバイスに用いられる材料に関して、圧電材料と他の材料からなる複合基板が検討されている。例えば、特許文献１には圧電膜を有する弾性波装置であって、支持基板と、前記支持基板上に形成されており、前記圧電膜を伝搬する弾性波音速より伝搬するバルク波音速が高速である高音速膜と、前記高音速膜上に積層されており、前記圧電膜を伝搬するバルク波音速より伝搬するバルク波音速が低速である低音速膜と、前記低音速膜上に積層された前記圧電膜と、前記圧電膜の一方面に形成されているＩＤＴ電極とを備える、弾性波装置が開示されている。

[0005] さらに、特許文献２には支持基板と、前記支持基板上に積層された媒質層と、前記媒質層上に積層されており、バルク波が伝搬する圧電体と、前記圧電体の一方面に形成されているＩＤＴ電極とを備え、前記媒質層が、前記圧電体を伝搬する弾性波の音速よりも、前記弾性波の主成分であるバルク波と同じバルク波の伝搬速度が低速である低速媒質と、前記圧電体を伝搬する前記弾性波の音速よりも、前記弾性波の主成分であるバルク波と同じバルク波の伝搬速度が高速である高速媒質とを含んでおり、前記高速媒質で該媒質層を形成した場合の主振動モードの音速をＶＨ、前記低速媒質で該媒質層を形成した場合の主振動モードの音速をＶＬ、としたとき、前記媒質層が形成された弾性波装置における主振動モードの音速が、ＶＬ＜主振動モードの音速＜ＶＨ、となるように、前記媒質層が形成されており、前記媒質層の厚みが、ＩＤＴの周期をλとしたときに、１λ以上である、ことを特徴とする、弾性波装置が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特許第５７１３０２５号公報

特許文献2：特許第５８６１７８９号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、特許文献１または特許文献２の複合基板を用いて表面弾性波フィルタを作製した場合、圧電体から低速媒質への弾性波のエネルギーが漏れ出し滞在するため、表面弾性波フィルタの通過帯域内、若しくは、より高い周波数にスプリアス若しくはリップルと呼ばれるノイズが発生するという問題がある。このノイズは、圧電結晶膜と支持基板の接合界面における波の反射や、圧電結晶膜と支持基板間の介在層に弾性波動がトラップされることにより生じ、表面弾性波フィルタの周波数特性を悪化させたり、フィルタの通過帯域のロスが増大する原因となったりするため好ましくない。

[0008] 本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであり、フィルタの通過帯域のロスが小さく、スプリアスが少ない、優れた高性能で信頼性が高い表面弾性波デバイス用複合基板を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明者らは、鋭意検討の結果、圧電単結晶薄膜と、支持基板と、圧電単結晶薄膜と支持基板との間に少なくとも１層の介在層と、を備え、介在層の合計厚み、及び、縦波の減衰を規定することで、フィルタの通過帯域のロスが小さく、高い信頼性が得られることを見出し、本発明を完成させた。本発明の要旨は、以下のとおりである。

［１］圧電単結晶薄膜と、支持基板と、前記圧電単結晶薄膜と前記支持基板の間に設けられた少なくとも１層の介在層と、を備える複合基板であって、前記介在層は前記圧電単結晶薄膜と接しており、前記介在層の合計厚みは、表面弾性波の波長の２倍の厚み以下であり、かつブリリュアン振動法により４０ＧＨｚ～６０ＧＨｚの周波数で算出した前記介在層の縦波の減衰が８×１０$^{-2}$（ｎｍ$^{-1}$・ＴＨｚ$^{-2}$）以下である表面弾性波デバイス用複合基板。

［２］前記介在層の横波の音速は、前記圧電単結晶薄膜の遅い横波の音速より速い［１］に記載の表面弾性波デバイス用複合基板。

［３］前記圧電単結晶薄膜は、鉄を１２０ｐｐｍ以下含み、前記圧電単結晶薄膜の体積抵抗率は２×１０^{11}Ω・ｃｍ以下である［１］又は［２］に記載の表面弾性波デバイス用複合基板。

［４］前記介在層は、ＳｉＯｘ（１．８＜ｘ＜２．０５）、及びＳｉＯｙＮｚ（０．０２＜ｚ／（ｙ＋ｚ）＜０．１）のいずれかである［１］～［３］のいずれか１つに記載の表面弾性波デバイス用複合基板。

［５］前記圧電単結晶薄膜の主成分が、タンタル酸リチウムもしくはニオブ酸リチウムである［１］～［４］のいずれか１つに記載の表面弾性波デバイス用複合基板。

［６］前記支持基板が、シリコン基板、サファイア基板、アルミナ基板、炭化ケイ素基板、窒化アルミニウム基板、窒化ケイ素基板、及び水晶基板のい

ずれかである［１］～［５］のいずれか１つに記載の表面弾性波デバイス用複合基板。

［７］前記支持基板は、Ｓｉ単結晶とＳｉ単結晶上に形成したポリシリコン層からなる［１］～［５］のいずれか１つに記載の表面弾性波デバイス用複合基板。

［８］前記介在層中のＬｉイオンの含有量が、1×10^{17}ａｔｏｍ／ｃｍ^{3}以下である［１］～［７］のいずれか１つに記載の表面弾性波デバイス用複合基板

発明の効果

[0010] 本発明によれば、フィルタ通過帯域のロスが小さく、高い信頼性が得られる表面弾性波デバイス用複合基板を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]図１は、$SiO_{1.7}$薄膜のブリリュアン振動のスペクトルの一例を示す図である。

[図2]図２は、薄膜内の超音波（縦波）による反射光のみをフーリエ変換した波形を示す図である。

[図3]図３は、薄膜のＬＳＡＷ音速と、薄膜厚を超音波の波長で規格化した値（薄膜厚／波長）との異存性の関係、及び、有限要素法により求めた弾性波の音速計算結果を示す図である。

[図4]図４は、弾性波が$SiO_{1.7}$薄膜／（１１１）Ｓｉ基板構成の薄膜表層にエネルギーが集中している波動の変位分布計算結果例を示す図である。

[図5]図５は、実施例１で製造した複合基板の断面ＴＥＭ観察写真例を示す図である。

[図6]図６は、表面にＡｌ微細電極を形成した複合基板を示す図である。

[図7]図７は、実施例１で得られたＳＡＷの共振波形（入力インピーダンス（Ｚｉｎ）とＱ値）を示す図である。

[図8]図８は、実施例２で得られたＳＡＷの共振波形（入力インピーダンス（Ｚｉｎ）とＱ値）を示す図である。

[図9]図９は、比較例１で得られたＳＡＷの共振波形（入力インピーダンス（Ｚｉｎ）とＱ値）を示す図である。

[図10]図１０は、比較例２で得られたＳＡＷの共振波形（入力インピーダンス（Ｚｉｎ）とＱ値）を示す図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、本発明の表面弾性波デバイス用複合基板について詳細に説明するが、本発明は、当該実施形態に限定されるものではない。また、記号「～」を用いて限定された数値範囲は「～」の両端（上限及び下限）の数値を含むものとする。

[0013] ［表面弾性波デバイス用複合基板］

本発明の表面弾性波デバイス用複合基板は、圧電単結晶薄膜と、支持基板と、圧電単結晶薄膜と支持基板の間に設けられた少なくとも１層の介在層と、を備える複合基板であって、介在層は圧電単結晶薄膜と接しており、介在層の合計厚みは、表面弾性波の波長の２倍の厚み以下であり、かつブリリュアン振動法により４０ＧＨｚ～６０ＧＨｚの周波数で算出した介在層の縦波の減衰が8×10^{-2}（$nm^{-1}\cdot THz^{-2}$）以下である。

[0014] （圧電単結晶薄膜）

本発明の一実施形態における表面弾性波デバイス複合基板における圧電単結晶薄膜は、圧電体膜として使用することができれば特に制限されないが、主成分が、タンタル酸リチウム（$LiTaO_3$：ＬＴ）、又は、ニオブ酸リチウム（$LiNbO_3$：ＬＮ）であることが好ましい。圧電単結晶薄膜の主成分を上記成分とすることで、電気機械結合が大きな弾性波デバイスとすることができる。

なお、本願発明において、圧電単結晶薄膜の主成分が、タンタル酸リチウム、又はニオブ酸リチウムであるとは、圧電単結晶薄膜を構成する成分のうち、５０質量％以上が、タンタル酸リチウム、又はニオブ酸リチウムであることをいう。また、圧電単結晶薄膜の成分として、タンタル酸リチウム及びニオブ酸リチウム以外の成分として、鉄，マグネシウム等を含有することが

できる。

[0015] また、圧電単結晶薄膜中に、鉄が１２０ｐｐｍ以下含まれていることが好ましい。圧電単結晶薄膜中に鉄を微少量含むことで、圧電単結晶薄膜の分極が破壊される電界、すなわち、抗電界が上昇するため、分極が破壊されにくくすることができる。上記の点から、鉄の含有量は、１０ｐｐｍ以上１２０ｐｐｍ以下であることがより好ましく、５０ｐｐｍ以上１００ｐｐｍ以下であることがさらに好ましい。

[0016] また、圧電単結晶薄膜の初期の体積抵抗率が２×１０^{11}Ω・ｃｍ以下であることが好ましい。圧電単結晶薄膜の初期の体積抵抗率が、２×１０^{11}Ω・ｃｍ以下であることで、本発明の表面弾性波デバイス用複合基板の恒温耐性を向上させることができる。圧電単結晶薄膜の初期の体積抵抗率は、２×１０^{10}Ω・ｃｍ以上２×１０^{11}Ω・ｃｍ以下であることがより好ましく、２×１０^{10}Ω・ｃｍ以上１×１０^{11}Ω・ｃｍ以下であることがさらに好ましい。

[0017]（支持基板）

本発明の一実施形態における表面弾性波デバイス複合基板における支持基板は、シリコン基板、サファイア基板、アルミナ基板、炭化ケイ素基板、窒化アルミニウム基板、窒化ケイ素基板、水晶基板のいずれかを用いることができる。

支持基板として、上記の基板を用いた表面弾性波デバイス用複合基板を用いて製造された表面弾性波共振子は、Ｑ値が高く、帯域外のスプリアスがさらに抑制され、さらに、温度特性が優れた表面弾性波デバイスを得ることができる。

[0018] また、支持基板としては、Ｓｉ単結晶と、Ｓｉ単結晶上に形成したポリシリコン層からなる支持基板を用いることができる。

支持基板として、ポリシリコン層の厚みを適宜調整することで、帯域外のスプリアスをさらに抑制することができる。

ポリシリコン層の厚みは、０．２μｍ以上２μｍ以下であることが好ましく、０．５μｍ以上１．９μｍ以下であることがより好ましく、０．５μｍ

以上１．２μｍ以下であることがさらに好ましい。

[0019]（介在層）

本発明の表面弾性波デバイス用複合基板は、上記の圧電単結晶薄膜と、支持基板との間に介在層を備え、介在層は、圧電単結晶薄膜と接して設けられている。本発明の一実施形態における表面弾性波デバイス複合基板における介在層は、ＳｉＯｘ（１．８＜ｘ＜２．０５）、及びＳｉＯｙＮｚ（０．０２＜ｚ／（ｙ＋ｚ）＜０．１）のいずれかであることが好ましい。

また、本発明の表面弾性波デバイス用複合基板は、少なくとも１層の介在層を備えている。介在層は１層であっても良く、２層以上であってもよく、２層以上の場合は、各層を同じ材料で構成しても良く、異なる材料で構成しても良い。

[0020] また、介在層中のＬｉイオンの含有量は、１×１０^{17}ａｔｏｍ／ｃｍ^{3}以下であることが好ましい。Ｌｉイオンは、主に、圧電単結晶薄膜から介在層に拡散するが、介在層中のＬｉイオンの含有量が、介在層中のＬｉイオンの含有量が、１×１０^{17}ａｔｏｍ／ｃｍ^{3}以下とすることで、介在層の軟化を防止することができ、帯域内及び帯域外のスプリアスを抑制することができる。

[0021] さらに、介在層の厚みは、介在層が１層の場合はその厚み、２層以上の場合は、その合計厚みが、介在層の表面弾性波の波長の２倍の厚み以下である。介在層の厚みが介在層の表面弾性波の波長の２倍の厚みを超えると、介在層内に弾性波がトラップされやすくなり、帯域外のスプリアスが大きくなる問題が生じる。介在層の合計厚みは、表面弾性波の波長の２倍の厚み以下であることが好ましく、１倍以下であることがより好ましい。

[0022] また、ブリリュアン振動法により４０ＧＨｚ～６０ＧＨｚの周波数で算出した介在層の縦波の減衰が、８×１０$^{-2}$（ｎｍ$^{-1}$・ＴＨｚ$^{-2}$）以下である。

介在層の縦波の音波減衰が大きい場合は、介在層内に弾性波がトラップされやすくなる。この場合、本発明の表面弾性波デバイス用複合基板からなる表面弾性波共振子は、帯域外のスプリアスが大きくなる問題が生じる。介在層の縦波の減衰を８×１０$^{-2}$（ｎｍ$^{-1}$・ＴＨｚ$^{-2}$）以下とすることで、表面

弾性波共振子のＱ値が高く、帯域外のスプリアスをさらに抑制することができる。介在層の縦波の減衰は、２×１０$^{-2}$（ｎｍ$^{-1}$・ＴＨｚ$^{-2}$）以下であることが好ましく、０．５×１０$^{-2}$（ｎｍ$^{-1}$・ＴＨｚ$^{-2}$）以下であることがより好ましい。

[0023] また、介在層の横波の音速は、圧電単結晶薄膜の遅い横波の音速より速いことが好ましい。介在層の横波（バルク波）の速度が圧電単結晶薄膜の遅い横波（バルク波）より速くすることで、表面弾性波デバイス用複合基板を用いて得られる表面弾性波フィルタの通過帯域のロスを改善することができる。介在層の横波の速度が圧電単結晶薄膜の遅い横波より遅いと、介在層内に弾性波がトラップされやすくなることが懸念される。なお、圧電単結晶薄膜は、異方性を有する材料であるので，圧電単結晶薄膜の横波には速い横波と遅い横波の２つの横波が存在する。

[0024] 例えば、圧電単結晶薄膜の一例としてのＬｉＴａＯ$_3$において、４６°回転ＹカットのＬｉＴａＯ$_3$の遅い横波は３３３０ｍ／ｓである。また、介在層の一例としてのＳｉＯ$_{1.85}$、あるいはＳｉＯ$_{1.94}$Ｎ$_{0.06}$において、ＳｉＯ$_{1.85}$、あるいはＳｉＯ$_{1.94}$Ｎ$_{0.06}$の横波の音速は、夫々３８５０ｍ／ｓ、及び３７５０ｍ／ｓと高音速である。ＳｉＯ$_{1.85}$、あるいはＳｉＯ$_{1.94}$Ｎ$_{0.06}$の横波の音速は、詳しくは後述するが、例えば、Tatsuya Omori1, Kensuke Sakamoto, Satoshi Suzuki , Jun-ichi Kushibiki, Satoru Matsuda , and Ken-ya Hashimoto , “Characterization of Elastic Properties of SiO_2 Thin Films by Ultrasonic Microscopy”, に記載されている直線収束ビーム超音波顕微鏡による圧電単結晶薄膜のＬＳＡＷの横波音速測定値と有限要素法による解析より求めることができる。

介在層をＳｉＯ$_{1.85}$、あるいはＳｉＯ$_{1.94}$Ｎ$_{0.06}$とし、圧電単結晶薄膜をＬｉＴａＯ$_3$とすることで、介在層の横波の音速が、圧電単結晶薄膜の遅い横波の音速より速くすることができる。

[0025] また、ブリリュアン振動法により４０ＧＨｚ～６０ＧＨｚの周波数で算出した介在層の縦波の減衰を求めたところ、ＳｉＯ$_{1.85}$は、該減衰が１．２×

10^{-2}（$nm^{-1}\cdot THz^{-2}$）、$SiO_{1.94}N_{0.06}$は該減衰が０．１×10^{-2}（$nm^{-1}\cdot THz^{-2}$）であり、縦波の減衰を８×10^{-2}（$nm^{-1}\cdot THz^{-2}$）以下とすることができる。

[0026] ここで、ブリリュアン振動法としては、H.Ogi et.al, “Elastic constant and Brillouin oscillations in sputtered vitreous SiO2 thin films”, PHISICAL REVIEW B 78,13204 (2008), に記載の方法を用いることができる。図１に、介在層の組成が$SiO_{1.7}$である場合、介在層と同一組成かつ同一製法による$SiO_{1.7}$薄膜のブリリュアン振動のスペクトルの一例を示す。

[0027] 図１の測定に用いた$SiO_{1.7}$薄膜（以下、単に「薄膜」ともいう。）は、介在層と同一組成かつ同一製法による$SiO_{1.7}$薄膜を１０５５ｎｍの厚さ（前記厚さをｄとする）でＳｉ基板上に形成し、さらに$SiO_{1.7}$薄膜上にＡｌ膜を１０ｎｍ形成した。薄膜の製法は、特に限定されないが例えばＣＶＤ法であってもよい。このＡｌ膜と$SiO_{1.7}$薄膜とＳｉ基板からなる構造体に極短パルス光を入射して超高周波の超音波を発生させる。さらに、参照用波長（λ）が４００ｎｍの遅延パルス光を照射する。薄膜内で超音波によって回折される光を検出することにより、薄膜の縦波音速を求めることが出来る。

[0028] この時、薄膜の密度と４００ｎｍでの屈折率を予め求めておく。プリズムカプラー法により薄膜の４００ｎｍでの屈折率（ｎ）は、１．７２８であった。

また、薄膜の密度（ρ）はＸＰＳ（Ｘ線光電子分光法）によって求めたところ、２３００ｋｇ／m^3であった。図１に示すブリリュアンスペクトルの前半部位は、薄膜内の超音波（縦波）による回折による反射光強度を示している。薄膜内の超音波（縦波）による反射光のみをフーリエ変換すると、図２に示す薄膜内の超音波（縦波）の周波数が得られる。図２から前記の薄膜内の超音波（縦波）の周波数（ｆ）は、５４．５ＧＨｚと算出できる。

[0029] この時、薄膜内の超音波（縦波）の音速ｖｌは、以下の式（１）により求めることができる。

ｖｌ＝ｆ×λ／（２×ｎ）　　・・・・・・式（１）

式（１）により求めた図２に示す薄膜内の超音波（縦波）の音速は６３２５ｍ／ｓであった。また、薄膜の弾性定数Ｃ１１はｖｌ＝√（Ｃ１１／ρ）より算出でき、薄膜の弾性定数Ｃ１１は９２ＧＰａとなった。

[0030] 次に、$SiO_{1.7}$膜の横波の音速を直線収束ビーム超音波顕微鏡および有限要素法により求める方法を説明する。

まず、例えば、上述したTatsuya Omori1, Kensuke Sakamoto, Satoshi Suzuki , Jun-ichi Kushibiki, Satoru Matsuda , and Ken-ya Hashimoto , “Characterization of Elastic Properties of SiO_2 Thin Films by Ultrasonic Microscopy”, に記載されている直線収束ビーム超音波顕微鏡により、薄膜のＬＳＡＷ音速を、周波数を１６０ＭＨｚ～２７５ＭＨｚと変化させて、薄膜厚を超音波の波長で規格化した値（薄膜厚／波長）の異存性を求めた。関係図を図３に示す。

[0031] 図３の直線収束ビーム超音波顕微鏡によるＬＳＡＷ音速（縦軸）は、介在層と同一組成かつ同一製法による$SiO_{1.7}$薄膜を２８３０ｎｍの厚さでＳｉ（１１１）方位の基板上に形成し、直線収束ビーム超音波顕微鏡の直線収束ビームがＳｉ基板面内の（１１０）方向から、薄膜側から見て時計回りに４５度ずらした方向となるようにカップラントの純水を介して$SiO_{1.7}$薄膜／Ｓｉ基板構成の表層にＬＳＡＷ伝搬させることにより得た。

[0032] 一方、２次元の有限要素法を用いて$SiO_{1.7}$薄膜／（１１１）Ｓｉ基板構成の薄膜表層に、電極周期と比べ十分薄いＺｎＯ膜とＡｌ電極を配置して、薄膜付きＳｉ基板のＳｉの＜１１０＞方向から、時計回りに４５度ずらした方向に弾性波を励振させ、電極周期により決まる波長を有限要素法の計算のモデル上で変化させて$SiO_{1.7}$薄膜／（１１１）Ｓｉ基板構成の弾性波音速と波長で規格化した介在層の関係を計算した。この時、$SiO_{1.7}$薄膜の弾性定数Ｃ１２が未知数となっている為、Ｃ１２は仮の値を入力し、図３の直線収束ビーム超音波顕微鏡によるＬＳＡＷ音速の測定結果と合致するように、Ｃ１２を決定した。それ以外の定数（Ｃ１１，ρ）は、前記の値を計算に用

いた。

[0033] 前記により求めたＣ１２は、２０ＧＰａとなった。さらに、$SiO_{1.7}$薄膜の弾性定数Ｃ１２が２０ＧＰａである場合の有限要素法による弾性波の音速計算結果を図３に付記した。

また、一例として弾性波波長が１８μｍの場合の有限要素法による計算モデルにおいて弾性波が$SiO_{1.7}$薄膜／（１１１）Ｓｉ基板構成の薄膜表層にエネルギーが集中している波動の変位分布計算結果例を図４に示した。

[0034] 上記の検討から、$SiO_{1.7}$薄膜単体の横波音速Ｖｓ（$=\sqrt{((C11-C12)/\rho)}$）を求めた結果、Ｖｓ＝３９６０ｍ／ｓが得られた。上記の本願有限要素法による計算モデルでは、Ｓｉ基板、ＺｎＯ膜、Ａｌ膜の弾性定数は弾性表面波データブック（財団法人　日本電子工業興業会編集），（ｐ．６６（ＺｎＯ），ｐ．１６５（Ｓｉ）、ｐ．１７２（Ａｌ））に記載の値を用いた。

[0035] また、本願の検討では、本願独自の試みとして、図１に示すブリリュアンスペクトルの前半部位である薄膜層内の超音波（縦波）による回折による反射光強度が時間とともに指数関数的に減衰していることに着目した。すなわち、図１に点線で示した反射光強度の包絡線において、時間が０ｐｓｅｃのときの振幅強度をＡ０、超音波がＳｉに達した時刻における振幅強度をＡとすると、式（２）により、薄膜内の超音波（縦波）の減衰定数（β）を記述する。

$A=A0\cdot\exp(-\beta\cdot f^2\cdot d)$　　・・・・・・式（２）

図２の場合、Ａ０は０．０３、Ａは０．００４であった。前記より減衰定数βを式（３）より求める。

$\beta=-1/(f^2\cdot d)\cdot\ln(A/A0)$　　・・・・式（３）

図２の場合　βは　１０．８×10^{-2}（$nm^{-1}\cdot THz^{-2}$）であった。

[0036] 上述した種々の介在層について、上記と同様の方法で、ブリリュアン振動法により４０ＧＨｚ～６０ＧＨｚの周波数で算出した縦波の減衰を求めた。

介在層の縦波の音波減衰が大きい場合は、介在層内に弾性波がトラップさ

れやすくなる。この場合、表面弾性波デバイス用複合基板からなる表面弾性波共振子は、帯域外のスプリアスが大きくなる問題が生じることを確認した。

一方、本願発明による介在層が高音速でかつ縦波の減衰が少ないと、介在層に極端に弾性波が集中することができずに、圧電単結晶薄膜に波動エネルギーを集中させることができる。このため、本願発明の表面弾性波デバイス用複合基板を用いた表面弾性波共振子のＱ値が高く、帯域外のスプリアスがさらに抑圧され好ましい。

実施例

[0037] 以下、実施例を示して本発明をより具体的に説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。

[0038] （実施例１）

直径１５０ｍｍの（１１１）方位の高抵抗シリコン基板の表層にポリシリコン層を１．７μｍ形成した。

[0039] 次に、コングルーエント組成のタンタル酸リチウム結晶に含まれるリチウム量を基準としてリチウムの量を減らした組成の融液を調整して、該調整した組成の融液から鉄置換タンタル酸リチウム結晶を成長させた。

鉄の添加量を、鉄置換タンタル酸リチウム結晶中の鉄の含有量が９５質量ｐｐｍになるように調整して得られた６ｉｎｃｈの鉄含有４２°Ｙカットのタンタル酸リチウム（ＬＴ）基板を準備した。鉄含有４２°Ｙカットのタンタル酸リチウム（ＬＴ）基板は、還元処理を施すことにより体積抵抗率を２．２×10^{10}Ω・ｃｍに調整した。

[0040] 次に、６ｉｎｃｈの鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）基板の接合予定面側から水素分子イオンを注入した。このときのドーズ量は９×10^{16}ａｔｍ／ｃｍ^{2}で、加速電圧は１６０ＫｅＶであった。

続いて、水素分子イオンを注入した６ｉｎｃｈの鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）基板イオン注入面に０．４μｍ厚の組成が$SiO_{1.85}$である介在層をＣＶＤ法により形成した。

続いて、上記のポリシリコン層を形成したシリコン基板と、０．４μｍ厚の$SiO_{1.85}$を用いた介在層を有する鉄含有ＬＴ基板をプラズマ処理により表面活性化処理を行った。さらに、ポリシリコン層を形成したシリコン基板と、０．４μｍ厚の$SiO_{1.85}$を用いた介在層を介在させて鉄含有ＬＴ基板と、を貼り合せて接合体とした。

[0041] 続いて、接合体を貼り合わせ界面のずれによる結晶欠陥導入を防ぐため窒素下において３５０℃で熱処理をおこなった。続いて熱処理後の接合体を１１０℃に加熱して、鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）基板のイオン注入部の一端にクサビを打ち込んで、シリコン基板に接合された鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）圧電単結晶薄膜層と残りの鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）基板とに分離した。

分離後のシリコン基板に接合された鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）圧電単結晶薄膜層の厚みを分光光度計により測定したところ、０．５２μｍの厚みであった。次に、このシリコン基板に接合された鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）圧電単結晶薄膜層からなる複合基板を５００℃で６時間加熱した。

[0042] さらに、複合基板の鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）圧電単結晶薄膜表層を２０ｎｍ研磨して、シリコン基板に接合された鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）圧電単結晶薄膜層の厚みを分光光度計により測定したところ、０．５μｍの厚みであった。

図５は、上記の方法で製造した実施例１の複合基板の断面ＴＥＭ観察写真例を示す図であり、図５（ｂ）は図５（ａ）の一部をさらに拡大した写真である。

[0043] 上記の方法で製造した複合基板の介在層（$SiO_{1.85}$層）内のＬｉ量を二次イオン質量分析（ＳＩＭＳ、 Ｓｅｃｏｎｄａｒｙ Ｉｏｎ Ｍａｓｓ Ｓｐｅｃｔｒｏｍｅｔｒｙ）により測定したところ、$SiO_{1.85}$層内のＬｉ量は，最大で2×10^{16}ａｔｏｍ／ｃｍ^{3}であった。また、介在層（$SiO_{1.85}$層）の組成比は、Ｘ線光電子分光法（ＸＰＳ）により求めた。

[0044] さらに、介在層（$SiO_{1.85}$層）の密度をＸＰＳ（Ｘ線光電子分光法）によって求めたところ、２２４０ｇ／ｃｍ^{3}であった。また、ブリリュアン振動法により介在層（$SiO_{1.85}$層）の縦波音速と減衰を求めた。結果、介在層（$SiO_{1.85}$層）の縦波音速は６２００ｍ／ｓ、音波減衰率は、５５ＧＨｚで１．２×１０$^{-3}$（ｎｍ$^{-1}$・ＴＨｚ$^{-2}$）であった。

また、介在層（$SiO_{1.85}$層）単体の横波音速を直線収束ビーム超音波顕微鏡と有限要素法解析を組み合わせて求めたところ、介在層（$SiO_{1.85}$層）単体の横波音速は３８５０ｍ／ｓであった。

[0045] 次に、上記で得られた複合基板表面に、ＡｌＮ膜を０．１４μｍの厚みでスパッタし、レジストを塗布したのちｉ線露光で約０．５μｍ線幅のレジストパタンを形成した。次いでドライエッチングによりＡｌＮをエッチングして１ポートのＳＡＷ共振子の１層目を形成した。この時、弾性表面波の波長は２μｍであり、介在層（$SiO_{1.85}$層）の厚みは０．２波長である。

さらに、上記の複合基板に、リフトオフ法によりＡｌＮ膜０．６μｍ厚の２層目のパッド部を形成した。図６に、表面にＡｌＮ微細電極を形成した複合基板を示す。

[0046] 次に、上記で作成したシリコン基板に接合された鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）圧電単結晶薄膜基板上の１ポートＳＡＷ共振子の電気特性をネットワークアナライザにて測定した。得られたＳＡＷの共振波形（入力インピーダンス（Ｚｉｎ）とＱ値）を図７に示す。

また、ＳＡＷ共振子の共振周波数（ｆｒ）、反共振周波数（ｆａ），電気機械結合係数（ｋ^2）、Ｑの最大値（Ｑｍａｘ）、入力インピーダンスの振幅（ΔＺ）、比帯域の値（比帯域＝（反共振周波数－共振周波数）／共振周波数）、２４００～２８００ＭＨｚ間のスプリアス強度を表１に示す。

[0047]

[表1]

共振周波数（ｆｒ）	反共振周波数（ｆａ）	電気機械結合係数（k^2）	Ｑの最大値（Ｑｍａｘ）	入力インピーダンスの振幅（ΔＺ）	比帯域	2400~2800MHzでの最大スプリアス強度
ＭＨｚ	ＭＨｚ	％		（ｄｂ）	％	（ｄｂ）
1992.9	2079.1	9.8	2522.4	75.0	4.3	6.4

[0048] 次に、上記で作成した１ポートＳＡＷ共振子のパタンが付いたシリコン基板に接合された鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）圧電単結晶薄膜基板を、１０分間、３５０℃に加熱してあるホットプレート上に乗せ、その後室温の冷却板に乗せて冷やして再度１ポートＳＡＷ共振子の電気特性をネットワークアナライザにて測定した。その結果、特性は表１と同様であった。さらに、この３５０℃のホットプレート加熱と冷却と測定について、３５０℃のホットプレート加熱の累積時間で計４時間繰り返したところ各累積時間加熱後の１ポートＳＡＷ共振子の電気特性は表１と変わらなかった。

[0049] （実施例２）

実施例１において０．４μｍ厚で組成が$SiO_{1.85}$である介在層の代わりに、０．３μｍ厚で組成が$SiO_{1.94}N_{0.06}$である介在層を用いた以外は実施例１と同様にしてシリコン基板に接合された鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）圧電単結晶薄膜からなる複合基板を作成した。

[0050] シリコン基板に接合された鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）圧電単結晶薄膜基板の介在層（$SiO_{1.94}N_{0.06}$層）の層内のＬｉ量を二次イオン質量分析（ＳＩＭＳ、Ｓｅｃｏｎｄａｒｙ Ｉｏｎ Ｍａｓｓ Ｓｐｅｃｔｒｏｍｅｔｒｙ）により測定したところ、$SiO_{1.94}N_{0.06}$層内のＬｉ量は，1×10^{14}ａｔｏｍ／ｃｍ^{3}以下であった。また、前記の介在層（$SiO_{1.94}N_{0.06}$層）の組成比は、Ｘ線光電子分光法（ＸＰＳ）により求めた。

[0051] また、シリコン基板に接合された鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）圧電単結晶薄膜からなる複合基板のＬＴ層を除去して、Ｘ線反射率測定法（ＸＲＲ，Ｘ－ｒａｙ Ｒｅｆｌｅｃｔｉｏｎ）により介在層（$SiO_{1.94}N_{0.}$

$_{06}$層）の密度を求めた。結果、介在層（$SiO_{1.94}N_{0.06}$層）の密度は、２１０ｇ／ｃｍ^{3}であった。また、前記のシリコン基板に接合された鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）圧電単結晶薄膜基板のＬＴ層を除去し、ブリリュアン振動法により介在層（$SiO_{1.94}N_{0.06}$層）の縦波音速と減衰を求めた。結果、介在層（$SiO_{1.94}N_{0.06}$層）の縦波音速は６１９０ｍ／ｓ、音波減衰率は、５５ＧＨｚで１．２×１０$^{-3}$（ｎｍ$^{-1}$・ＴＨｚ$^{-2}$）であった。

また、介在層である$SiO_{1.94}N_{0.06}$層単体の横波音速を、前述した直線収束ビーム超音波顕微鏡と有限要素法解析を組み合わせて求めたところ、$SiO_{1.94}N_{0.06}$層単体の横波音速は３７５０ｍ／ｓであった。

[0052] 次に、上記で作成したシリコン基板に接合された鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）圧電単結晶薄膜基板上の１ポートＳＡＷ共振子の電気特性をネットワークアナライザにて測定した。得られたＳＡＷの共振波形（入力インピーダンス（Ｚｉｎ）とＱ値）を図８に示す。この時、弾性表面波の波長は２μｍであり、介在層（$SiO_{1.94}N_{0.06}$層）の厚みは０．１５波長である。

また、ＳＡＷ共振子の共振周波数（ｆｒ）、反共振周波数（ｆａ），電気機械結合係数（ｋ^2）、Ｑの最大値（Ｑｍａｘ）、入力インピーダンスの振幅（ΔＺ）、比帯域の値、２４００～２８００ＭＨｚ間のスプリアス強度を表１に示す。

[0053] [表2]

共振周波数（ｆｒ）	反共振周波数（ｆａ）	電気機械結合係数（ｋ^2）	Ｑの最大値（Ｑｍａｘ）	入力インピーダンスの振幅（ΔＺ）	比帯域	2400~2800MHzでの最大スプリアス強度
ＭＨｚ	ＭＨｚ	％		（ｄｂ）	％	（ｄｂ）
1992.9	2079.1	9.8	2631	74.5	4.3	6.7

[0054] 次に、実施例１と同様の方法で作成した１ポートＳＡＷ共振子のパタンが付いたシリコン基板に接合された鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）圧電単結晶薄膜基板を、１０分間、３５０℃に加熱してあるホットプレート上に乗せ、その後室温の冷却板に乗せて冷やして再度１ポートＳＡＷ共振子の電気特性をネットワークアナライザにて測定した。その結果、特性は表２と同様

であった。さらに、この３５０℃のホットプレート加熱と冷却と測定について、３５０℃のホットプレート加熱の累積時間で計４時間繰り返したところ各累積時間加熱後の１ポートＳＡＷ共振子の電気特性は表２と変わらなかった。

[0055] （比較例１）

直径１５０ｍｍの（１１１）方位の高抵抗シリコン基板の表層にポリシリコン層を１．７μｍ形成した。

[0056] 次に、コングルーエント組成のタンタル酸リチウム結晶に含まれるリチウム量を基準としてリチウムの量を減らした組成の融液に調整して、該調整した組成の融液から鉄置換タンタル酸リチウム結晶を成長させた。

鉄の添加量を、鉄置換タンタル酸リチウム結晶中の鉄の含有量が９５質量ｐｐｍになるように添加して得られた６ｉｎｃｈの鉄含有４２°Ｙカットのタンタル酸リチウム（ＬＴ）基板を準備した。鉄含有４２°Ｙカットのタンタル酸リチウム（ＬＴ）基板は、還元処理を施すことにより体積抵抗率を２．２×10^{10}Ω・ｃｍに調整した。

[0057] 次に、６ｉｎｃｈの鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）基板の接合予定面側から水素分子イオンを注入した。このときのドーズ量は９×10^{16}ａｔｍ／ｃｍ^{2}で、加速電圧は１６０ＫｅＶであった。

続いて、水素分子イオンを注入した６ｉｎｃｈの鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）基板イオン注入面に０．４μｍ厚の組成が$SiO_{1.7}$である介在層をＣＶＤ法により形成した。

続いて、上記のポリシリコン層を形成したシリコン基板と、０．４μｍ厚の$SiO_{1.7}$を用いた介在層を有する鉄含有ＬＴ基板をプラズマ処理により表面活性化処理を行った。さらに、上記のポリシリコン層を形成したシリコン基板と０．４μｍ厚の$SiO_{1.7}$を用いた介在層を介在させて鉄含有ＬＴ基板を貼り合せて接合体とした。

[0058] 続いて、接合体を貼り合わせ界面のずれによる結晶欠陥導入を防ぐため窒素下において３５０℃で熱処理をおこなった。続いて熱処理後の接合体を１

１０℃に加熱して、鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）基板のイオン注入部の一端にクサビを打ち込んで、支持基板に接合された鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）圧電単結晶薄膜層と残りの鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）基板とに分離した。

分離後のシリコン基板に接合された鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）圧電単結晶薄膜層の厚みを分光光度計により測定したところ、０．５２μｍの厚みであった。次にこのシリコン基板に接合された鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）圧電単結晶薄膜からなる複合基板を５００℃で６時間加熱した。

[0059] さらに、複合基板の鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）圧電単結晶薄膜表層を２０ｎｍ研磨して、シリコン基板に接合された鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）圧電単結晶薄膜層の厚みを分光光度計により測定したところ、０．５μｍの厚みであった。

[0060] 上記の方法で製造した複合基板の介在層（$SiO_{1.7}$層）内のＬｉ量を二次イオン質量分析（ＳＩＭＳ、Ｓｅｃｏｎｄａｒｙ ｉｏｎ Ｍａｓｓ Ｓｐｅｃｔｒｏｍｅｔｒｙ）により測定したところ、$SiO_{1.7}$層内のＬｉ量は，最大で2×10^{17}ａｔｏｍ／ｃｍ^{3}であった。介在層（$SiO_{1.7}$層）の組成比は、Ｘ線光電子分光法（ＸＰＳ）により求めた。

[0061] また、介在層（$SiO_{1.7}$層）の密度をＸＰＳ（Ｘ線光電子分光法）によって求めたところ、２２４０ｇ／ｃｍ^{3}であった。また、ブリリュアン振動法により介在層（$SiO_{1.7}$層）の縦波音速と減衰を求めた。結果、介在層（$SiO_{1.7}$層）の縦波音速は６３２５ｍ／ｓ、音波減衰率は、５５ＧＨｚで10.8×10^{-2}（$nm^{-1}\cdot THz^{-2}$）であった。

また、介在層（$SiO_{1.7}$層）単体の横波音速を直線収束ビーム超音波顕微鏡と有限要素法解析を組み合わせて求めたところ、介在層（$SiO_{1.7}$層）単体の横波音速は３９６０ｍ／ｓであった。

[0062] 次に、上記で得られた複合基板表面に、ＡＩ膜を０．１４μｍの厚みでスパッタし、レジストを塗布したのちｉ線露光で約０．５μｍ線幅のレジストパタンを形成した。次いでドライエッチングによりＡＩをエッチングして１

ポートのＳＡＷ共振子の１層目を形成した。

さらに、上記の複合基板に、リフトオフ法によりＡｌ膜０．６μｍ厚の２層目のパッド部を形成した。この時、弾性表面波の波長は２μｍであり、介在層（$SiO_{1.7}$層）の厚みは０．２波長である。

[0063] 次に、上記で作成したシリコン基板に接合された鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）圧電単結晶薄膜基板上の１ポートＳＡＷ共振子の電気特性をネットワークアナライザにて測定した。得られたＳＡＷの共振波形（入力インピーダンス（Ｚｉｎ）とＱ値）を図９に示す。

また、ＳＡＷ共振子の共振周波数（ｆｒ）、反共振周波数（ｆａ），電気機械結合係数（k^2）、Ｑの最大値（Ｑｍａｘ）、入力インピーダンスの振幅（ΔＺ）、比帯域の値、２４００～２８００ＭＨｚ間のスプリアス強度を表３に示す。

[0064] [表3]

共振周波数（ｆｒ）	反共振周波数（ｆａ）	電気機械結合係数（k^2）	Ｑの最大値（Ｑｍａｘ）	入力インピーダンスの振幅（ΔＺ）	比帯域	2400~2800MHzでの最大スプリアス強度
ＭＨｚ	ＭＨｚ	%		（ｄｂ）	%	（ｄｂ）
1983.0	2072.5	10.2	1556.4	72.2	4.5	16

[0065] 次に、上記で作成した１ポートＳＡＷ共振子のパタンが付いたシリコン基板に接合された鉄含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）圧電単結晶薄膜基板を、１０分間、３５０℃に加熱してあるホットプレート上に乗せ、その後室温の冷却板に乗せて冷やして再度１ポートＳＡＷ共振子の電気特性をネットワークアナライザにて測定した。その結果、特性は表３と同様であった。さらに。この３５０℃のホットプレート加熱と冷却と測定について、３５０℃のホットプレート加熱の累積時間で計４時間繰り返したところ各累積時間加熱後の１ポートＳＡＷ共振子の電気特性は表３と変わらなかった。

[0066] （比較例２）

直径１５０ｍｍの高抵抗シリコン基板の表層にポリシリコン層を１．７μｍ形成した。

[0067] 次にコングルーエント組成のタンタル酸リチウム結晶に鉄非含有のタンタル酸リチウム結晶を成長させた。

鉄非含有のタンタル酸リチウム結晶を加工し、６ｉｎｃｈの鉄非含有４２°Ｙカットのタンタル酸リチウム（ＬＴ）基板を準備した。鉄非含有４２°Ｙカットのタンタル酸リチウム（ＬＴ）基板は、還元処理を施すことにより体積抵抗率を２．２×10^{10}Ω・ｃｍに調整した。

[0068] 次に、６ｉｎｃｈの鉄非含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）基板の接合予定面側から水素分子イオンを注入した。このときのドーズ量は９×１０^{16}ａｔｍ／ｃｍ^{2}で、加速電圧は１６０ＫｅＶであった。

[0069] 次に、６ｉｎｃｈの鉄非含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）基板イオン注入面に０．４μｍ厚の組成がSiO_2である介在層をＣＶＤ法により形成した。

続いて、上記のポリシリコン層を形成したシリコン基板と、０．４μｍ厚のSiO_2を用いた介在層を有する鉄非含有ＬＴ基板をプラズマ処理により表面活性化処理を行った。さらに、上記のポリシリコン層を形成したシリコン基板と０．４μｍ厚のSiO_2を用いた介在層を介在させて鉄非含有ＬＴ基板を貼り合せて接合体とした。

[0070] 続いて、研削と研磨により、接合体（接合基板）の表層を削った。

薄化後のシリコン基板に接合された鉄非含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）圧電単結晶薄膜層の厚みを分光光度計により測定したところ、０．５μｍの厚みであった。

[0071] 上記の方法で製造した複合基板の介在層（SiO_2層）内のＬｉ量を二次イオン質量分析（ＳＩＭＳ、 Ｓｅｃｏｎｄａｒｙ ｉｏｎ Ｍａｓｓ Ｓｐｅｃｔｒｏｍｅｔｒｙ）により測定したところ、SiO_2層内のＬｉ量は，最大で５×１０^{19}ａｔｏｍ／ｃｍ^{3}であった。介在層（SiO_2層）の組成比は、Ｘ線光電子分光法（ＸＰＳ）により求めた。

[0072] また、上記の方法で製造した複合基板のＬＴ層を除去して、Ｘ線反射率測定法（ＸＲＲ， Ｘ－ｒａｙ Ｒｅｆｌｅｃｔｉｏｎ）により介在層（SiO_2層）の密度を求めた。結果、介在層（SiO_2層）の密度は、２１００ｇ

／ｃｍ^{3}であった。また、複合基板のＬＴ層を除去し、ブリリュアン振動法により介在層（ＳｉＯ$_{2}$層）の縦波音速と減衰を求めた。結果、介在層（ＳｉＯ$_{2}$層）の縦波音速は５４００ｍ／ｓ、音波減衰率は、５５ＧＨｚで５×１０$^{-1}$（ｎｍ$^{-1}$・ＴＨｚ$^{-2}$）であった。

また、介在層であるＳｉＯ$_{2}$層単体の横波音速を、前述した直線収束ビーム超音波顕微鏡と有限要素法解析を組み合わせて求めたところ、前記のＳｉＯ$_{2}$層単体の横波音速は３１５０ｍ／ｓであった。

[0073] 次に、上記で作成したシリコン基板に接合された鉄を含まないタンタル酸リチウム（ＬＴ）圧電単結晶薄膜基板上の１ポートＳＡＷ共振子の電気特性をネットワークアナライザにて測定した。得られたＳＡＷの共振波形（入力インピーダンス（Ｚｉｎ）とＱ値）を図１０に示す。

また、ＳＡＷ共振子の共振周波数（ｆｒ）、反共振周波数（ｆａ），電気機械結合係数（ｋ^{2}）、Ｑの最大値（Ｑｍａｘ）、入力インピーダンスの振幅（ΔＺ）、比帯域の値、２４００～２８００ＭＨｚ間のスプリアス強度を表４に示す。この時、弾性表面波の波長は２μｍであり、介在層（ＳｉＯ$_{2}$層）の厚みは０．２波長である。

[0074] [表4]

共振周波数（ｆｒ）	反共振周波数（ｆａ）	電気機械結合係数（ｋ^{2}）	Ｑの最大値（Ｑｍａｘ）	入力インピーダンスの振幅（ΔＺ）	比帯域	2400~2800MHzでの最大スプリアス強度
ＭＨｚ	ＭＨｚ	%		（ｄｂ）	%	（ｄｂ）
1954.6	2029.2	8.7	1260	65	3.8	21

[0075] 次に、上記で作成した１ポートＳＡＷ共振子のパタンが付いたシリコン基板に接合された鉄非含有タンタル酸リチウム（ＬＴ）圧電単結晶薄膜基板を、１０分間、３５０℃に加熱してあるホットプレート上に乗せ、その後室温の冷却板に乗せて冷やして再度１ポートＳＡＷ共振子の電気特性をネットワークアナライザにて測定した。その結果、特性は表４と同様であった。さらに、この３５０℃のホットプレート加熱と冷却と測定について、３５０℃のホットプレート加熱の累積時間で計４時間繰り返したところ、加熱の累計時

間が計１時間の頃から、電気機械結合係数（ｋ^2）が、表３の値から減少し始めて、加熱の累計時間が計４時間後においては、電気機械結合係数（ｋ^2）は５％まで減少していた。

請求の範囲

[請求項1] 圧電単結晶薄膜と、支持基板と、前記圧電単結晶薄膜と前記支持基板の間に設けられた少なくとも１層の介在層と、を備える複合基板であって、

前記介在層は前記圧電単結晶薄膜と接しており、前記介在層の合計厚みは、表面弾性波の波長の２倍の厚み以下であり、かつブリリュアン振動法により４０ＧＨｚ～６０ＧＨｚの周波数で算出した前記介在層の縦波の減衰が8×10^{-2}（$nm^{-1}\cdot THz^{-2}$）以下である表面弾性波デバイス用複合基板。

[請求項2] 前記介在層の横波の音速は、前記圧電単結晶薄膜の遅い横波の音速より速い請求項１に記載の表面弾性波デバイス用複合基板。

[請求項3] 前記圧電単結晶薄膜は、鉄を１２０ｐｐｍ以下含み、

前記圧電単結晶薄膜の体積抵抗率は$2\times10^{11}\Omega\cdot cm$以下である請求項１又は２に記載の表面弾性波デバイス用複合基板。

[請求項4] 前記介在層は、ＳｉＯｘ（１．８＜ｘ＜２．０５）、及びＳｉＯｙＮｚ（０．０２＜ｚ／（ｙ＋ｚ）＜０．１）のいずれかである請求項１又は２に記載の表面弾性波デバイス用複合基板。

[請求項5] 前記圧電単結晶薄膜の主成分が、タンタル酸リチウムもしくはニオブ酸リチウムである請求項１又は２に記載の表面弾性波デバイス用複合基板。

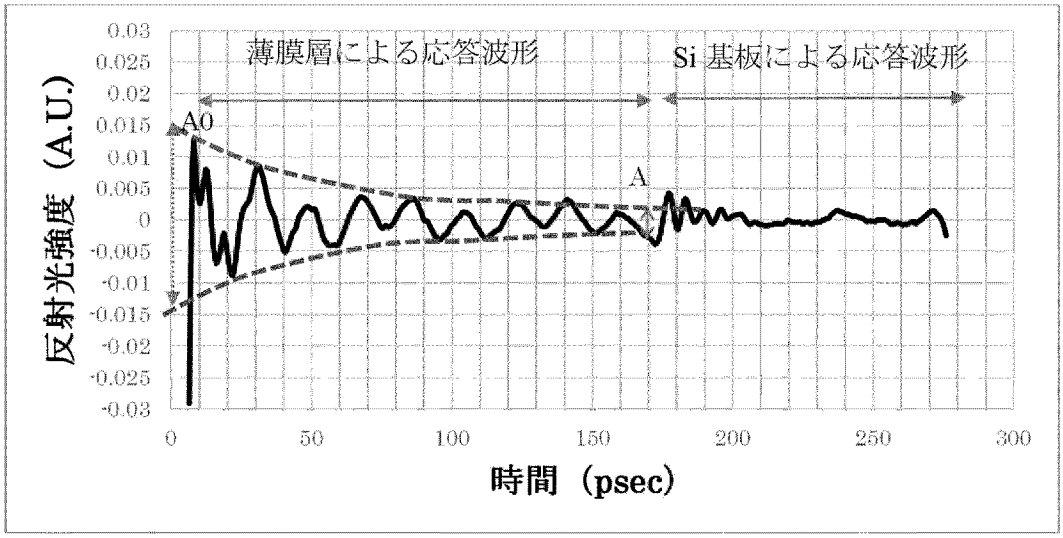
[請求項6] 前記支持基板が、シリコン基板、サファイア基板、アルミナ基板、炭化ケイ素基板、窒化アルミニウム基板、窒化ケイ素基板、及び水晶基板のいずれかである請求項１又は２に記載の表面弾性波デバイス用複合基板。

[請求項7] 前記支持基板は、Ｓｉ単結晶とＳｉ単結晶上に形成したポリシリコン層からなる請求項１又は２に記載の表面弾性波デバイス用複合基板。

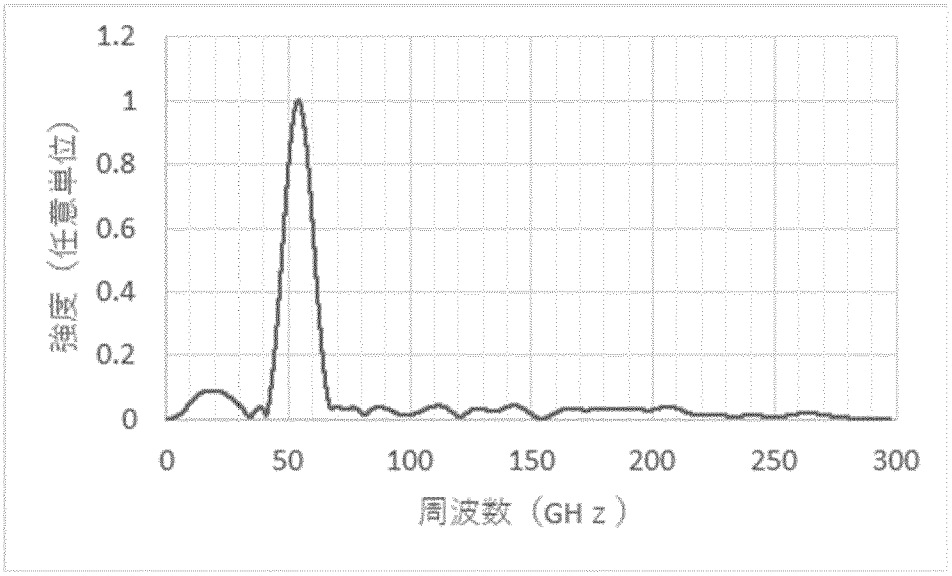
[請求項8] 前記介在層中のＬｉイオンの含有量が、1×10^{17}ａｔｏｍ／ｃ

m^3以下である請求項１又は２に記載の表面弾性波デバイス用複合基板。

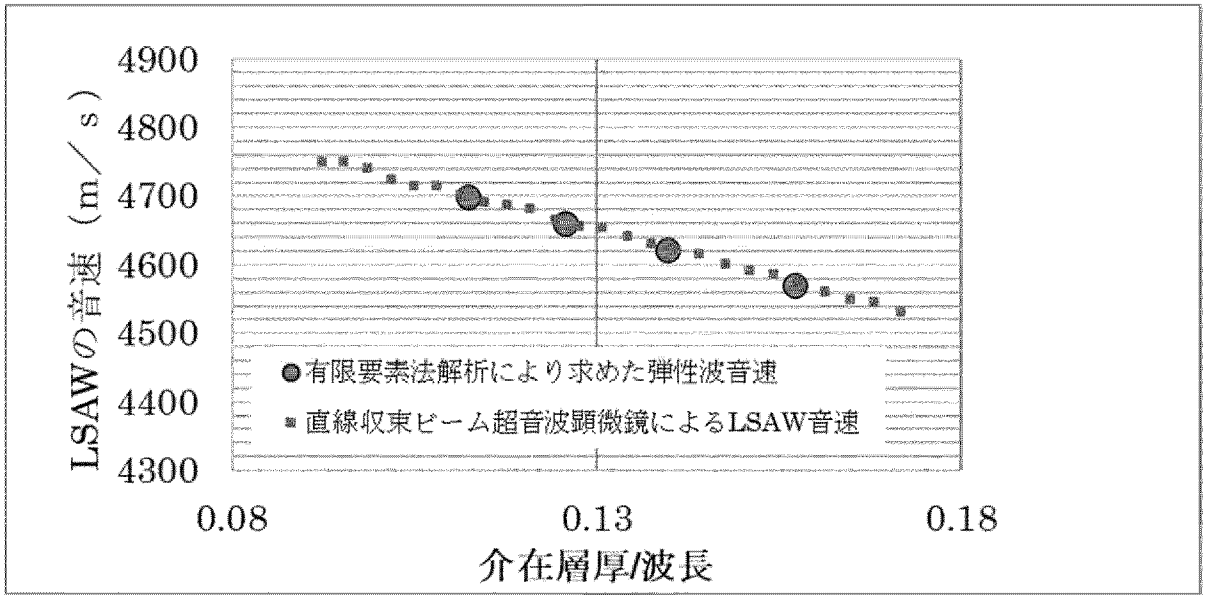
[図1]


薄膜層による応答波形
Si 基板による応答波形
A0
A
反射光強度（A.U.）
時間（psec）

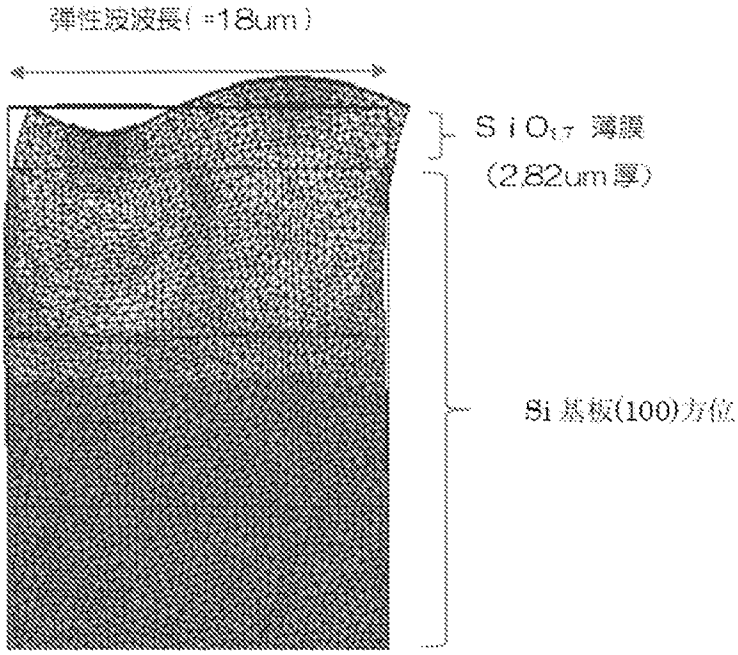
[図2]


強度（任意単位）
周波数（GHz）

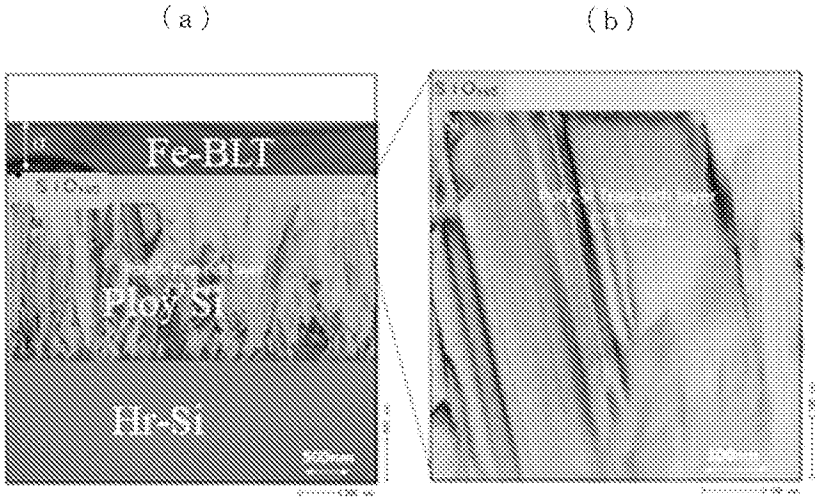
[図3]


LSAWの音速（m／s）
有限要素法解析により求めた弾性波音速
直線収束ビーム超音波顕微鏡によるLSAW音速
介在層厚/波長

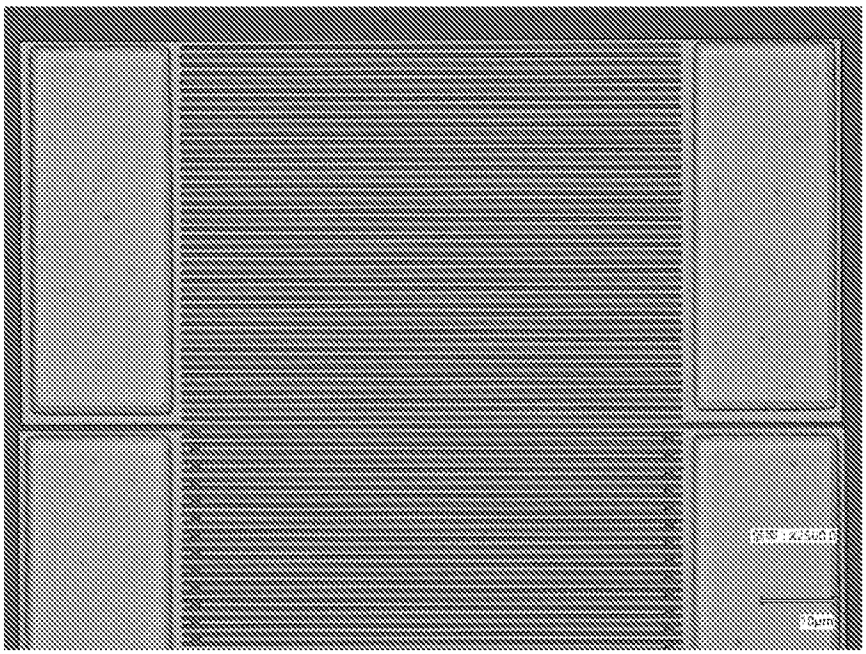
[図4]



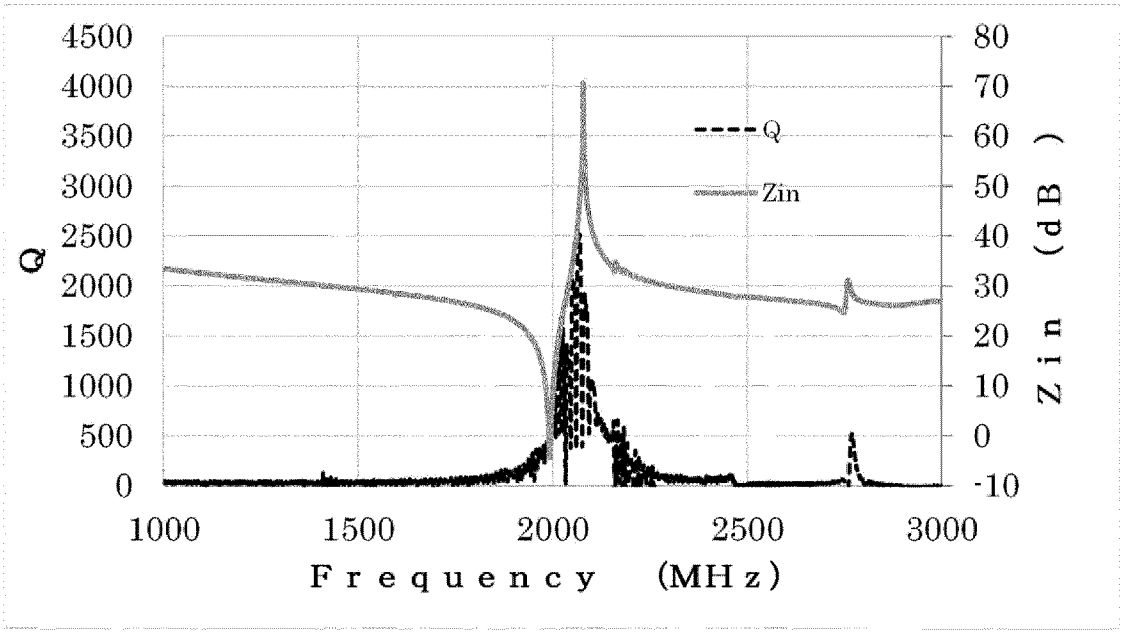
[図5]



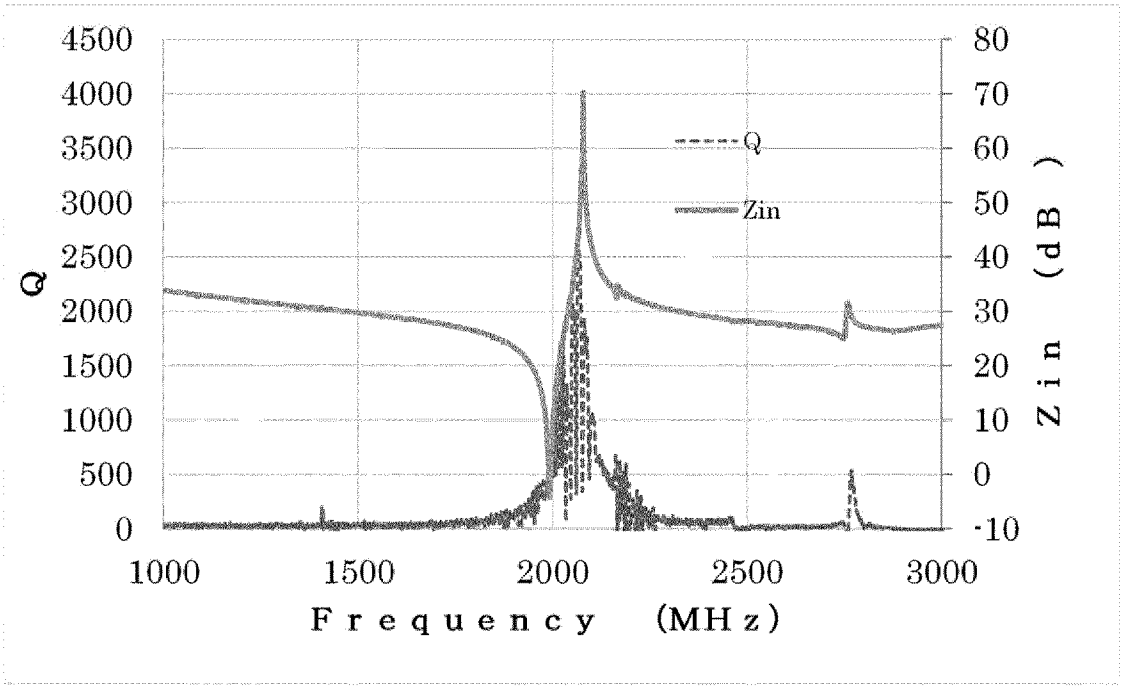
[図6]



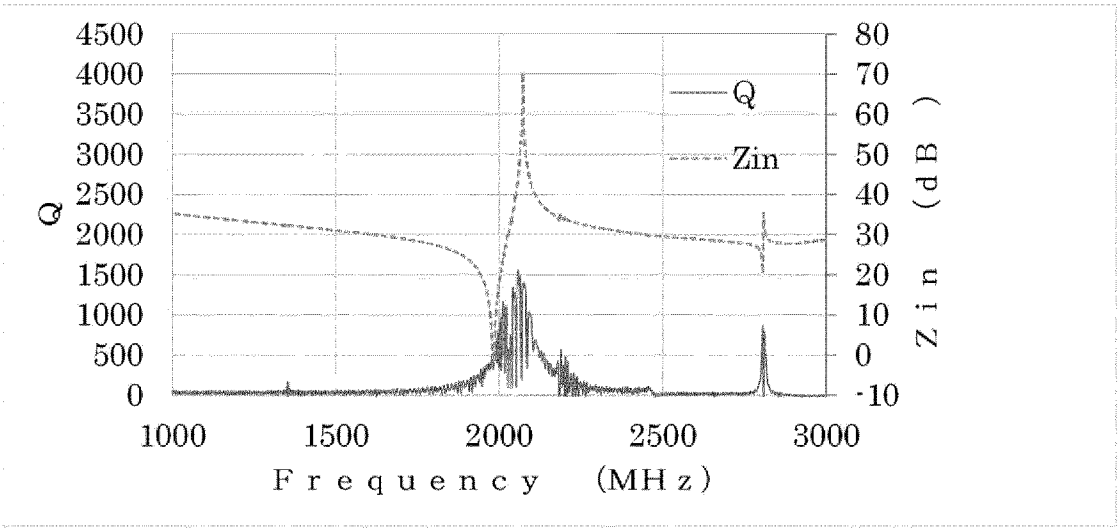
[図7]


4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
Q
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
Zin (dB)
Q
Zin
1000
1500
2000
2500
3000
Frequency (MHz)

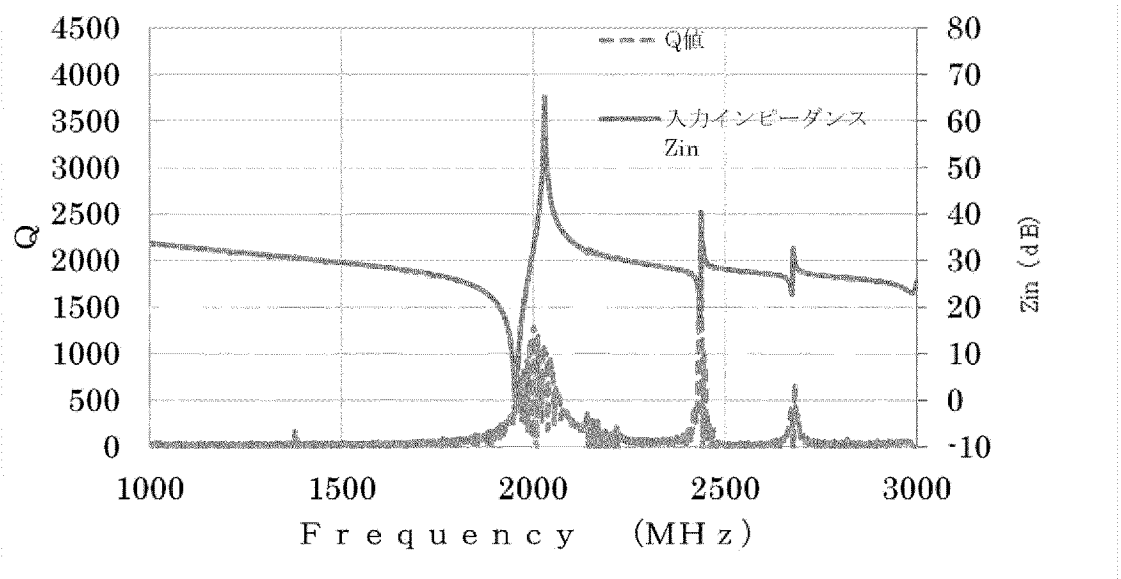
[図8]


4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
Q
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
Zin (dB)
Q
Zin
1000
1500
2000
2500
3000
Frequency (MHz)

[図9]


4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
Q
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
Zin (dB)
Q
Zin
1000
1500
2000
2500
3000
Frequency (MHz)

[図10]


4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
Q
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
Zin (dB)
Q値
入力インピーダンス
Zin
1000
1500
2000
2500
3000
Frequency (MHz)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2024/013466

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H03H 9/25(2006.01)i; ***H10N 30/853***(2023.01)i
FI: H03H9/25 C; H10N30/853

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)

H03H9/25; H10N30/853

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.
A	JP 2021-180465 A (SHIN ETSU CHEM. CO., LTD.) 18 November 2021 (2021-11-18) entire text, all drawings	1-8
A	JP 2021-5785 A (SHIN ETSU CHEM. CO., LTD.) 14 January 2021 (2021-01-14) entire text, all drawings	1-8
A	CN 113872557 A (BEIJING CHAOCAI INFORMATION TECHNOLOGY CO., LTD.) 31 December 2021 (2021-12-31) entire text, all drawings	1-8

☐ 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	Date of mailing of the international search report
06 June 2024	**18 June 2024**

Name and mailing address of the ISA/JP	Authorized officer
Japan Patent Office (ISA/JP) **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2024/013466

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2021-180465 A	18 November 2021	US 2021/0359660 A1 entire text, all drawings EP 3920417 A2 KR 10-2021-0141345 A CN 113676147 A	
JP 2021-5785 A	14 January 2021	US 2020/0412326 A1 entire text, all drawings US 2023/0370043 A1 CN 112152587 A	
CN 113872557 A	31 December 2021	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2024/013466

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

H03H 9/25(2006.01)i; H10N 30/853(2023.01)i
FI: H03H9/25 C; H10N30/853

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））

H03H9/25; H10N30/853

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
A	JP 2021-180465 A (信越化学工業株式会社) 18.11.2021 (2021-11-18) 全文,全図	1-8
A	JP 2021-5785 A (信越化学工業株式会社) 14.01.2021 (2021-01-14) 全文,全図	1-8
A	CN 113872557 A (BEIJING CHAOCAI INFORMATION TECHNOLOGY CO., LTD.) 31.12.2021 (2021-12-31) 全文,全図	1-8

☐ 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	国際調査報告の発送日
06.06.2024	18.06.2024

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）
柳下　勝幸 5G 9561
電話番号 03-3581-1101 内線 3524

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/JP2024/013466

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2021-180465 A	18.11.2021	US 2021/0359660 A1 全文,全図 EP 3920417 A2 KR 10-2021-0141345 A CN 113676147 A	
JP 2021-5785 A	14.01.2021	US 2020/0412326 A1 全文,全図 US 2023/0370043 A1 CN 112152587 A	
CN 113872557 A	31.12.2021	（ファミリーなし）	