

(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
2012 年 8 月 2 日(02.08.2012)



(10) 国際公開番号

WO 2012/102131 A1

- (51) 国際特許分類:
H03H 9/145 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/050821
- (22) 国際出願日: 2012 年 1 月 17 日(17.01.2012)
- (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 2011-015649 2011 年 1 月 27 日(27.01.2011) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 京セラ株式会社(KYOCERA Corporation) [JP/JP]; 〒6128501 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町 6 番地 Kyoto (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 生田 貴紀(IKUTA, Takanori) [JP/JP]; 〒6190237 京都府相楽郡精華町光台 3 丁目 5 番地 3 号 京セラ株式会社 中央研究所内 Kyoto (JP). 田中 宏行(TANAKA,

Hiroyuki) [JP/JP]; 〒6190237 京都府相楽郡精華町光台 3 丁目 5 番地 3 号 京セラ株式会社 中央研究所内 Kyoto (JP).

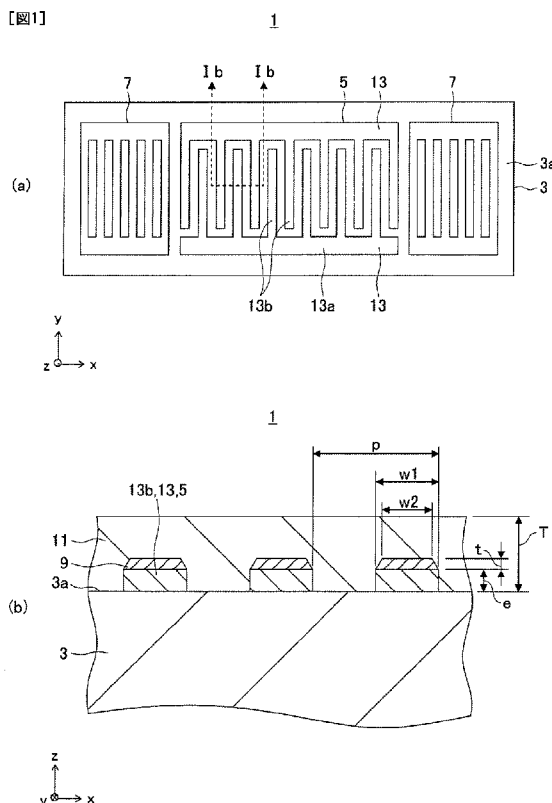
(74) 代理人: 佐藤 隆久(SATO, Takahisa); 〒1050004 東京都港区新橋 3 丁目 1 番 1 1 号 長友ランディックビル 8 階 創進国際特許事務所 Tokyo (JP).

(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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: ELASTIC WAVE ELEMENT AND ELASTIC WAVE APPARATUS USING SAME

(54) 発明の名称: 弾性波素子およびそれを用いた弾性波装置



(57) Abstract: A SAW element (1) comprises a substrate (3), electrode fingers (13b) arranged on an upper face (3a) of the substrate (3), and mass-adding films (9) arranged on the upper faces of the electrode fingers (13b). When viewing cross sections of the mass adding films (9) in a direction intersecting at right angles with the direction in which the electrode fingers (13b) extend, the width of the cross sections is made to become the narrowest at the upper side thereof. By arranging mass adding films (9) formed to be such a shape on the upper faces of the electrode fingers (13b), the electromechanical coupling factor of the SAW element (1) can be increased.

(57) 要約: SAW素子 1 は、基板 3 と、基板 3 の上面 3a に配置された電極指 13b と、電極指 13b の上面に配置された質量付加膜 9 とを有する。質量付加膜 9 は、電極指 13b が伸びている方向に直交する方向における断面を見たときに、該断面における幅が上辺で最も小さくなっている。このような形状からなる質量付加膜 9 を電極指 13b の上面に配置したことによって、電気機械結合係数を高くすることができる。



(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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,

SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：弾性波素子およびそれを用いた弾性波装置

技術分野

[0001] 本発明は、弾性表面波（SAW：Surface Acoustic Wave）素子等の弾性波素子およびそれを用いた弾性波装置に関する。

背景技術

[0002] 圧電基板と、圧電基板の主面上に設けられたIDT（InterDigital Transducer）電極（励振電極）とを有する弾性波素子が知られている（例えば特許文献1または2）。IDT電極は、弾性波の進行方向に直交する方向に延びる複数の電極指を有する。そして、弾性波素子は、圧電効果を利用して、電気信号の弾性波への変換および弾性波の電気信号への変換を行う。

[0003] なお、特許文献1および2の技術では、 SiO_2 からなる保護層（ SiO_2 膜）がIDT電極の上から圧電基板の主面に被せられている。保護層は、IDT電極の腐食抑制、IDT電極の特性の温度変化の補償等に寄与している。また、特許文献1および2では、IDT電極と保護層との密着性を向上させるために、これらの間に密着層を形成することを提案している（特許文献1の段落0011、特許文献2の段落0107）。特許文献1および2において、密着層は、SAWの伝搬に影響を及ぼさないように薄く形成されている。具体的には、密着層は、 $50 \sim 100 \text{ \AA}$ （特許文献1の段落0009）もしくはSAWの波長の1%以下（特許文献2の段落0108）とされている。

[0004] 弾性波素子においては、電気機械結合係数の向上が望まれることがある。例えば、電気機械結合係数を大きくすることにより、高帯域フィルタを実現することができる。

[0005] 従って、電気機械結合係数を高くすることが可能な弾性波素子および弾性波装置が提供されることが望ましい。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開平8－204493号公報

特許文献2：特開2004－112748号公報

発明の概要

[0007] 本発明の一態様に係る弾性波素子は、圧電基板と、該圧電基板の上面に配置された電極指と、該電極指の上面に配置された質量付加膜と、を備え、前記質量付加膜は、前記電極指が伸びている方向に直交する方向における断面を見たときに、該断面における幅が上辺で最も小さい。

[0008] 本発明の一態様に係る弾性波装置は、上記の弾性波素子と、該弾性波素子を取り付けられた回路基板と、を備える。

[0009] 上記の構成によれば、電極指の上面に質量付加膜を配置し、該質量付加膜を、電極指が伸びている方向に直交する方向における断面を見たときに、該断面における幅が上辺で最も小さいことによって、電気機械結合係数を高くすることができる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]図1（a）は本発明の実施形態に係るSAW素子の平面図、図1（b）は図1（a）のI b－I b線における断面図である。

[図2]図2（a）～図2（e）はSAW素子の製造方法を説明する、図1（b）に対応する断面図である。

[図3]図3（a）及び図3（b）は、質量付加膜を台形に形成する方法の例を説明する断面図である。

[図4]図4（a）及び図4（b）は、質量付加膜を台形に形成する方法の他の例を説明する断面図である。

[図5]図5（a）～図5（c）は比較例および実施形態のSAW素子の作用を説明する図である。

[図6]図6（a）及び図6（b）は他の比較例および実施形態のSAW素子の作用を説明する図である。

[図7]図7（a）及び図7（b）は実施形態のSAW素子の作用を説明する計

算結果例を示す図である。

[図8]図8 (a)～図8 (f) は、SAW素子の変形例を示す断面図である。

[図9]図9 (a) および図9 (b) は電極指1本当たりの反射係数 Γ_1 および電気機械結合係数 K^2 を示すグラフである。

[図10]図10 (a) および図10 (b) は電極指1本当たりの反射係数 Γ_1 および電気機械結合係数 K^2 を示す他のグラフである。

[図11]電極指1本当たりの反射係数 Γ_1 を示す他のグラフである。

[図12]図12 (a) および図12 (b) は質量付加膜の厚みの好ましい範囲の下限の求め方を説明する図である。

[図13]質量付加膜の厚みの好ましい範囲の例の下限を示すグラフである。

[図14]質量付加膜の厚みの好ましい範囲の例を示すグラフである。

[図15]本発明の実施形態に係るSAW装置を示す断面図である。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、本発明の実施形態に係るSAW素子およびSAW装置について、図面を参照して説明する。なお、以下の説明で用いられる図は模式的なものであり、図面上の寸法比率等は現実のものとは必ずしも一致していない。

[0012] (SAW素子の構成および製造方法)

図1 (a) は本発明の実施形態に係るSAW素子1の平面図、図1 (b) は図1 (a) のI b-I b線における断面図である。なお、SAW素子1は、いずれの方向が上方または下方とされてもよいものであるが、以下では、便宜的に、直交座標系xyzを定義するとともに、z方向の正側(図1 (a) の紙面手前側、図1 (b) の紙面上方)を上方として、上面、下面等の用語を用いるものとする。

[0013] SAW素子1は、基板3と、基板3の上面3aに設けられたIDT電極5および反射器7と、IDT電極5および反射器7上に設けられた質量付加膜9(図1 (b))と、上面3aを質量付加膜9の上から覆う保護層11(図1 (b))とを有している。なお、SAW素子1は、この他にも、IDT電極5に信号の入出力を行うための配線等を有していてもよい。

- [0014] 基板3は、圧電基板によって構成されている。具体的には、例えば、基板3は、タンタル酸リチウム (LiTaO_3) 単結晶、ニオブ酸リチウム (LiNbO_3) 単結晶等の圧電性を有する単結晶の基板によって構成されている。より好適には、基板3は、 $128^\circ \pm 10^\circ$ Y-Xカットの LiNbO_3 基板によって構成されている。基板3の平面形状および各種寸法は適宜に設定されてよい。一例として、基板3の厚み (z方向) は、 $0.2\text{ mm} \sim 0.5\text{ mm}$ である。
- [0015] IDT電極5は、一对の櫛歯状電極13を有している。各櫛歯状電極13は、SAWの伝搬方向 (x方向) に延びるバスバー13a (図1(a)) と、バスバー13aから上記伝搬方向に直交する方向 (y方向) に伸びる複数の電極指13bとを有している。2つの櫛歯状電極13同士は、互いに噛み合うように (電極指13bが互いに交差するように) 設けられている。
- [0016] なお、図1(a)等は模式図であり、実際には、これよりも多数の電極指を有する複数対の櫛歯状電極が設けられてよい。また、複数のIDT電極5が直列接続や並列接続等の方式で接続されたラダー型SAWフィルタが構成されてもよいし、複数のIDT電極5をX方向に沿って配置した2重モードSAW共振器フィルタ等が構成されてよい。また、複数の電極指の長さを異ならせることによって、アポタイズによる重み付けを行ってもよい。
- [0017] IDT電極5は、例えば、Alを主成分とする材料 (Al合金を含む) によって形成されている。Al合金は、例えば、Al-Cu合金である。なお、「Alを主成分とする」とは、基本的にはAlを材料とするものであるが、SAW装置1の製造過程等において自然に混入しうるAl以外の不純物等が混ざった材料も含む。以下、主成分との表現を用いた場合も同様の意味である。また、IDT電極5は、複数の金属層から構成されてもよい。IDT電極5の各種寸法は、SAW素子1に要求される電気特性等に応じて適宜に設定される。一例として、IDT電極5の厚みe (図1(b)) は、 $100\text{ nm} \sim 300\text{ nm}$ である。
- [0018] なお、IDT電極5は、基板3の上面3aに直接配置されていてもよいし

、別の部材を介して基板 3 の上面 3 a に配置されていてもよい。別の部材は、例えば、Ti、Cr、あるいはこれらの合金等である。このように IDT 電極 5 を別の部材を介して基板 3 の上面 3 a に配置する場合は、別の部材の厚みは IDT 電極 5 の電気特性に殆ど影響を与えない程度の厚み（例えば、Ti の場合は IDT 電極 5 の厚みの 5 % の厚み）に設定される。

[0019] 複数の電極指 13 b は、そのピッチ（繰り返し間隔） p （図 1（b））が、例えば、共振させたい周波数での SAW の波長 λ の半波長と同等となるように設けられている。波長 λ （ $2p$ ）は、例えば、 $1.5\mu\text{m} \sim 6\mu\text{m}$ である。各電極指 13 b の幅 w_1 （図 1（b））は、SAW 素子 1 に要求される電気特性等に応じて適宜に設定され、例えば、ピッチ p に対して $0.4p \sim 0.6p$ である。

[0020] 反射器 7 は、IDT 電極 5 の電極指 13 b のピッチ p と概ね同等のピッチの格子状に形成されている。反射器 7 は、例えば、IDT 電極 5 と同一の材料によって形成されるとともに、IDT 電極 5 と同等の厚みに形成されている。

[0021] 質量付加膜 9 は、IDT 電極 5 および反射器 7 の電気特性を向上させるためのものである。質量付加膜 9 は、例えば、IDT 電極 5 および反射器 7 の上面の全面に亘って設けられている。質量付加膜 9 を構成する材料は、例えば、IDT 電極 5 および反射器 7 を構成する材料（Al または Al 合金等）に比較して弾性波の伝搬速度が遅くなる材料、あるいは IDT 電極 5 および反射器 7 を構成する材料（Al または Al 合金等）、および保護層 11 を構成する材料（後述）に比較して音響インピーダンスが異なる材料のうち、少なくとも一方の条件を満たす材料を主成分とする材料によって構成されている。音響インピーダンスの相違は、ある程度以上であることが好ましく、例えば、 15MRayl 以上、より好ましくは 20MRayl 以上であることが好ましい。質量付加膜 9 の好適な材料および質量付加膜 9 の好適な厚み t （図 1（b））については後述する。

[0022] 質量付加膜 9 は、電極指 13 b の長手方向（ y 方向）に直交する方向にお

ける断面を見たときに、該断面における幅が上辺で最も小さくなるように形成されている。そして、この断面における幅は、下辺では上辺よりも大きくなっている。換言すれば、質量付加膜 9 は、y 方向に見て、上面側部分が下面側部分よりも狭く形成されている。SAW 素子 1 において質量付加膜 9 の断面形状は台形状になっている。質量付加膜 9 の台形の下底の長さは、例えば、電極指 13b の幅 w_1 と同等である。台形の上底の長さ（幅 w_2 ）の好ましい範囲については後述する。

[0023] 保護層 11 は、例えば、基板 3 の上面 3a の概ね全面に亘って設けられており、質量付加膜 9 が設けられた IDT 電極 5 および反射器 7 を覆うとともに、上面 3a のうち IDT 電極 5 および反射器 7 から露出する部分を覆っている。保護層 11 の上面 3a からの厚み T （図 1（b））は、IDT 電極 5 および反射器 7 の厚み e よりも大きく設定されている。例えば、厚み T は、厚み e よりも 100 nm 以上厚く、200 nm～700 nm である。

[0024] 保護層 11 は、絶縁性を有する材料を主成分とする材料からなる。好適には、保護層 11 は、温度が上昇すると弾性波の伝搬速度が速くなる SiO_2 などの材料を主成分とする材料によって形成されており、これによって温度の変化による特性の変化を小さく抑えることができる。すなわち温度補償に優れた弾性波素子とすることができる。なお、基板 3 を構成する材料など、一般的な材料は、温度が上昇すると弾性波の伝搬速度は遅くなる。

[0025] また保護層 11 の表面は、大きな凹凸がないようにしておくことが望ましい。圧電基板上を伝搬する弾性波の伝搬速度は保護層 11 の表面の凹凸に影響を受けて変化するため、保護層 11 の表面に大きな凹凸が存在すると、製造された各弾性波素子の共振周波数に大きなばらつきが生じることとなる。したがって、保護層 11 の表面を平坦にしておけば、各弾性波素子の共振周波数が安定化する。具体的には、保護層 11 の表面の平坦度を、圧電基板上を伝搬する弾性波の波長の 1% 以下とすることが望ましい。

[0026] 図 2（a）～図 2（e）は、SAW 素子 1 の製造方法の概要を説明する、製造工程毎の図 1（b）に対応する断面図である。製造工程は、図 2（a）

から図2（e）まで順に進んでいく。なお、各種の層は、プロセスの進行に伴って形状等が変化するが、変化の前後で共通の符号を用いることがあるものとする。

[0027] 図2（a）に示すように、まず、基板3の上面3a上には、IDT電極5および反射器7となる導電層15、ならびに質量付加膜9となる付加層17が形成される。具体的には、まず、スパッタリング法、蒸着法またはCVD（Chemical Vapor Deposition：化学的気相堆積）法等の薄膜形成法によって、上面3a上に導電層15が形成される。次に、同様の薄膜形成法によって、付加層17が形成される。

[0028] 付加層17が形成されると、図2（b）に示すように、付加層17および導電層15をエッチングするためのマスクとしてのレジスト層19が形成される。具体的には、ネガ型もしくはポジ型の感光性樹脂の薄膜が適宜な薄膜形成法によって形成され、フォトリソグラフィー法等によってIDT電極5および反射器7等の非配置位置において薄膜の一部が除去される。

[0029] 次に、図2（c）に示すように、RIE（Reactive Ion Etching：反応性イオンエッチング）等の適宜なエッチング法によって、付加層17および導電層15のエッチングを行う。これによって、質量付加膜9が設けられたIDT電極5および反射器7が形成される。その後、図2（d）に示すように、適宜な薬液を用いることによって、レジスト層19は除去される。

[0030] そして、図2（e）に示すように、スパッタリング法もしくはCVD法等の適宜な薄膜形成法によって保護層11となる薄膜が形成される。この時点においては、保護層11となる薄膜の表面には、IDT電極5等の厚みに起因して凹凸が形成されている。そして、必要に応じて化学機械研磨等によって表面が平坦化され、図1（b）に示すように、保護層11が形成される。なお、保護層11は、平坦化の前もしくは後において、後述するパッド39（図15）等を露出させるために、フォトリソグラフィー法等によって一部が除去されてもよい。

[0031] 図3（a）および図3（b）は、質量付加膜9を台形に形成する方法の例

を説明する図である。具体的には、図3（a）は、図2（b）の領域ⅠⅠⅠ aの拡大図、図3（b）は、図2（c）の領域ⅠⅠⅠ bの拡大図である。

[0032] 付加層17および導電層15のエッチングにおいては、わずかながらマスクであるレジスト層19もエッチングされる。従って、図3（a）において示すように、実線で示されたレジスト層19および付加層17の表面形状は、エッチングの進行に伴って、点線EL1で示される形状から、点線EL2で示される形状へと順次移行していく。

[0033] すなわち、エッチングの初期段階（図3（a）において実線で示されたレジスト層19）では、レジスト層19の下面外周部の下に位置していた付加層17が露出するようになり、この部分がエッチングされ、さらにエッチングが進行すると、今度は、若干エッチングされたレジスト層19（図3（a）において点線EL1で示されたレジスト層19）の下面外周部の下に位置していた付加層17が露出するようになり、この部分がエッチングされ、このようなエッチングが徐々に進行することによって台形状の質量付加膜9が得られる。

[0034] そこで、レジスト層19の側面がよりいっそうエッチングされるようにエッチング条件（例えば、RIEによるエッチングの場合は、エッチングガスの組成比や印加電圧）を設定すれば、レジスト層19の側面がより傾斜した状態となり、これに伴って質量付加膜9の側面もより傾斜したものとなる。すなわち、エッチングの条件を変えることによって質量付加膜9の形状を制御することができる。

[0035] 図4（a）および図4（b）は、質量付加膜9を台形に形成する方法の他の例を説明する図である。具体的には、図4（a）は、図2（a）から図2（b）へ遷移する間（露光工程）における図2（b）の領域ⅠⅠⅠ aの拡大図に相当する図であり、図4（b）は、図2（b）の領域ⅠⅠⅠ aの拡大図である。

[0036] この例においては、レジスト層19は、ポジ型のフォトリソグラフィーによって構成されている。従って、図4（a）に示すように、マスク21を介

して I D T 電極 5 等の非配置位置に対して光が照射される。そして、光が照射された部分が除去されて、レジスト層 19 は、図 4 (b) に示す形状となる。

[0037] このとき、マスク 21 の遮光部の下に位置するレジスト層 19 は、光が照射されないため基本的には除去されないが、マスク 21 の遮光部の外周部の下に位置する部分は、遮光部の縁で回折した光が照射され、その上面側が除去される。その結果、レジスト層 19 は、上面側部分が下面側部分よりも小さい台形状となる。そうすると図 3 において説明したように、付加層 17 のエッチング方向が傾斜しやすくなり、図 4 (b) において点線 E L 3 に示すように、付加層 17 は台形状にエッチングされる。なお、この例においても、露光条件などを変えることによって、質量付加膜 9 の形状を制御することができる。

[0038] 図 5 (a) ~ 図 5 (c) 、図 6 (a) および図 6 (b) 、ならびに、図 7 (a) および図 7 (b) を参照して、比較例の作用を説明するとともに、実施形態の S A W 素子 1 の作用を説明する。

[0039] 図 5 (a) は、第 1 の比較例の S A W 素子 101 の作用を説明する断面図である。S A W 素子 101 は、実施形態の S A W 素子 1 において質量付加膜 9 および保護層 11 が不在状態のものとなっている。

[0040] I D T 電極 5 によって基板 3 に電圧が印加されると、矢印 y 1 によって示すように、基板 3 の上面 3 a 付近において上面 3 a に沿って伝搬する S A W が誘起される。また、S A W は、矢印 y 2 によって示すように、電極指 13 b とギャップ部（電極指 13 b の非配置領域）との境界において反射する。そして、矢印 y 1 および y 2 で示す S A W によって電極指 13 b のピッチを半波長とする定在波が形成される。定在波は、当該定在波と同一周波数の電気信号に変換され、電極指 13 b によって取り出される。このようにして、S A W 素子 1 は、共振子もしくはフィルタとして機能する。

[0041] しかし、S A W 素子 101 においては、その温度が上昇すると、基板 3 における弾性波の伝搬速度が遅くなり、また、ギャップ部が大きくなる。その

結果、共振周波数が低くなり、所望の特性が得られないおそれがある。また、ＩＤＴ電極５は、上方に露出されていることから、水分に触れやすく、腐食のおそれがある。

[0042] 図５（ｂ）は、第２の比較例のＳＡＷ素子２０１の作用を説明する断面図である。ＳＡＷ素子２０１は、実施形態のＳＡＷ素子１において質量付加膜９がない状態のものとなっている。換言すれば、第１の比較例のＳＡＷ素子１０１に保護層１１を付加したものとなっている。

[0043] ＳＡＷ素子２０１においては、保護層１１が設けられていることから、矢印 y_3 によって示すように、誘起されるＳＡＷは、基板３だけでなく、保護層１１においても伝搬する。ここで、例えば、保護層１１は、温度が上昇すると弾性波の伝搬速度が速くなる SiO_2 などの材料によって形成されている。従って、基板３および保護層１１を伝搬するＳＡＷ全体としては、温度上昇による速度の変化が抑制されることになる。すなわち、保護層１１によって、温度上昇による基板３の特性変化が補償される。また、保護層１１によってＩＤＴ電極５は水分に触れる蓋然性が低減され、ひいては、腐食のおそれが低減される。

[0044] しかし、ＳＡＷの振動が基板３から保護層１１に移り過ぎると、ＳＡＷから電気信号への変換等が十分になされないようになる。すなわち、電気機械結合係数が低下する。また、ＩＤＴ電極５がＡｌもしくはＡｌ合金で形成され、保護層１１が SiO_2 で形成された場合においては、ＩＤＴ電極５と保護層１１とで音響的な性質が近似し、電極指１３ｂとギャップ部との境界が音響的に曖昧になる。換言すれば、電極指１３ｂとギャップ部との境界における反射係数が低下する。その結果、図５（ｂ）において図５（ａ）の矢印 y_2 よりも小さい矢印 y_4 によって示すように、ＳＡＷの反射波が十分に得られず、所望の特性が得られないおそれがある。

[0045] 図５（ｃ）は、実施形態のＳＡＷ素子１の作用を説明する断面図である。

[0046] ＳＡＷ素子１は、保護層１１を有していることから、第２の比較例のＳＡＷ素子２０１と同様に、温度特性の補償効果等が得られる。また、質量付加

膜 9 が I D T 電極 5 よりも弾性波の伝搬速度が遅くなる材料によって形成されている場合においては、矢印 y 5 の位置を矢印 y 3 の位置よりも下方にして示すように、電極指 1 3 b 付近において S A W が保護層 1 1 に移り過ぎることが抑制され、その結果、電気機械結合係数が高くなる。さらに、質量付加膜 9 が、音響インピーダンスが I D T 電極 5 および保護層 1 1 の音響インピーダンスとある程度相違する材料によって形成されている場合には、電極指 1 3 b とギャップ部との境界位置における反射係数が高くなる。その結果、矢印 y 2 によって示すように、S A W の反射波を十分に得ることが可能となる。

[0047] 図 6 (a) は、第 3 の比較例の S A W 素子 3 0 1 の作用を説明する断面図である。S A W 素子 3 0 1 は、実施形態における台形状の質量付加膜 9 に代えて、矩形状の質量付加膜 3 0 9 を有したものとなっている。

[0048] 図 6 (a) において、複数の点 B P は、S A W の振動中心の一例を示している。S A W は、電極指 1 3 b の非配置領域（ギャップ部）においては、基板 3 の表面付近に分布し、電極指 1 3 b の配置領域においては、質量付加膜 3 0 9 に分布する。換言すれば、S A W の振動中心の軌跡は、電極指 1 3 b の配置領域において基板 3 の表面から離れる。その結果、電気機械結合係数は小さくなる。

[0049] 図 6 (b) は、実施形態の S A W 素子 1 の作用を説明する断面図である。

[0050] 図 6 (b) において、複数の点 B P (B P 1 含む) は、S A W の振動中心の一例を示している。S A W 素子 1 においては、電極指 1 3 b の非配置位置と配置位置との境界において、質量付加膜 9 の質量が少なくなっていることから、S A W 素子 3 0 1 に比較して、S A W の振動中心の基板 3 から質量付加膜 9 への遷移は緩やかとなり、S A W の振動中心は点 B P 1 に示されるように、電極指 1 3 b を通る。すなわち、S A W の振動中心は、基板 3 に近づく。その結果、電気機械結合係数は大きくなる。

[0051] 図 7 (a) は、質量付加膜 9 の形状を変化させたときの電気機械結合係数 K^2 の変化を示している。

[0052] 図7(a)は、シミュレーション計算によって得られたものである。

計算条件は、以下のとおりである。

基板3の材料： 128° Y-Xカットの LiNbO_3 基板

IDT電極5の材料：Al

保護層11の材料： SiO_2

質量付加膜9の材料： Ta_2O_5

IDT電極5の正規化厚み e/λ ：0.08

保護層11の正規化厚み T/λ ：0.33

質量付加膜9の正規化厚み t/λ ：0.05

質量付加膜9の下底の正規化長さ w_1/p ：0.50

質量付加膜9の上底の正規化長さ w_2/p ：0.35～0.50の範囲で変化させた。

[0053] 図7(a)において、横軸は、質量付加膜9の上底の正規化長さ w_2/p を示し、縦軸は、電気機械結合係数 K^2 を示している。今回の計算条件では、 $w_2/p=0.5$ のとき、 $w_2/p=w_1/p$ である。すなわち、 $w_2/p=0.5$ のとき、質量付加膜の形状は矩形である（質量付加膜は、第3の比較例の質量付加膜309である）。

[0054] この計算結果より、質量付加膜9を台形にすることによって（ w_2/p を0.5未満とすることによって）、電気機械結合係数 K^2 が高くなることが確認された。より具体的には、 w_2/w_1 が0.7以上1.0未満の場合において電気機械結合係数 K^2 が高くなることが確認された。なお、質量付加膜9を矩形状から少しでも台形状にすれば、電気機械結合係数 K^2 が高くなる効果が得られると考えられるが、シミュレーション計算上は、 w_2/w_1 が0.98のとき（ w_2/p が0.49のとき）に効果が発現されることが確認できている。

[0055] ここで、質量付加膜9を台形にすると、質量付加膜9の体積も全体として減少する。従って、質量付加膜の形状に関わらず、単に質量付加膜の体積が減少したことによって電気機械結合係数 K^2 が高くなった可能性がある。そこ

で、質量付加膜の厚さ t を変化させることによって質量付加膜 9 の体積を減少させた場合における、質量付加膜の体積の減少の影響を調べた。

[0056] 図 7 (b) は、質量付加膜の厚さ t を変化させたときの電気機械結合係数 K^2 の変化を示している。

[0057] 図 7 (b) は、シミュレーション計算によって得られたものであり、その計算条件は、質量付加膜に係る条件以外については、図 7 (a) の計算条件と概ね同一である。

図 7 (b) の計算においては、質量付加膜は矩形（第 3 の比較例の質量付加膜 309）とされ、その正規化厚み t/λ を 0.03～0.05 の範囲で変化させた。

図 7 (b) において、横軸は、質量付加膜 309 の正規化厚み t/λ を示し、縦軸は、電気機械結合係数 K^2 を示している。

[0058] 図 7 (b) から、質量付加膜の厚み t を減少させて質量付加膜の体積を減少させた場合には、電気機械結合係数 K^2 は減少している。従って、図 7 (a) における電気機械結合係数 K^2 の向上は、単純な質量付加膜の体積の減少によるものではなく、その形状の変化に起因するものであることが確認された。

[0059] また、図 7 (a) においては、 w^2/p を小さくしていくと、電気機械結合係数 K^2 の上昇は頭打ちとなる（ $w^2/p = 0.4$ ）。これは、図 7 (b) の結果から、体積の減少による電気機械結合係数 K^2 の減少によるものと考えられる。

[0060] 図 8 (a)～図 8 (f) は、SAW 素子の変形例を示す断面図である。

[0061] 図 8 (a) の SAW 素子は、電極指 25 の形状が図 1 (b) 等にした電極指 13b の形状と相違する。具体的には、電極指 25 の長手方向に沿った側面が、基板 3 の上面に近づくにつれて広がるように傾斜している。より具体的には、電極指 25 は、電極指 25 の長手方向に直交する方向における断面を見たときに、断面形状が台形になるように形成されている。なお、質量付加膜 9 の下底の長さは、電極指 25 の上底の長さと同等とされ、また、質

量付加膜 9 と電極指 2 5 とは、これらの側面の上面 3 a に対する傾斜角が互いに同一とされている。

[0062] 図 8 (b) および図 8 (c) の SAW 素子は、図 8 (a) の SAW 素子と同様に、台形状の電極指 2 5 を有し、また、質量付加膜 9 の下底の長さは、電極指 2 5 の上底の長さと同等とされている。ただし、図 8 (b) の SAW 素子においては、質量付加膜 9 の側面は、電極指 2 5 の側面よりも傾斜が大きくなっている。逆に、図 8 (c) の SAW 素子においては、質量付加膜 9 の側面は、電極指 2 5 の側面よりも傾斜が小さくなっている。

[0063] 図 8 (a) ~ 図 8 (c) のいずれにおいても、質量付加膜 9 において、上面側部分が下面側部分よりも狭くされることによって、上述したように、電気機械結合係数 K^2 の向上の効果が得られる。さらに、電極指 2 5 においても、上面側部分が下面側部分よりも狭くされることによって、SAW の振動中心の基板 3 から質量付加膜 9 への遷移がさらに緩やかになり、ひいては、電気機械結合係数 K^2 がさらに向上することが期待される。

[0064] なお、図 8 (a) ~ 図 8 (c) の電極指 2 5 は、例えば、質量付加膜 9 と同様に、エッチングの時間を比較的短くすることなどによって、台形状とされる。電極指 2 5 および質量付加膜 9 の側面の傾斜角は、質量付加膜 9 のエッチング速度と電極指 2 5 のエッチング速度との差を考慮して適宜にエッチングの条件が設定されることなどによって、互いに同一または異なる大きさとされる。または、電極指 2 5 および質量付加膜 9 の側面の傾斜角は、電極指 2 5 と質量付加膜 9 とで、別個に、マスクの形成およびエッチングが行われることによって、互いに同一または異なる大きさとされる。

[0065] 図 8 (d) ~ 図 8 (f) の SAW 素子は、質量付加膜 9 と同様に、電極指 2 5 の長手方向に見て、上面側部分が下面側部分よりも狭く形成された質量付加膜 2 6、2 7 および 2 8 を有している。ただし、質量付加膜 2 6、2 7 および 2 8 は、台形状とは異なる形状とされている。

[0066] 具体的には、図 8 (d) の質量付加膜 2 6 は、電極指 2 5 の長手方向に見て、一の矩形の上に当該矩形よりも幅が狭い他の矩形を重ねた形状とされて

いる。このような形状は、例えば、マスクの形成およびエッチングを2回に分けて行うことによって実現される。

[0067] 図8(e)の質量付加膜27は、電極指25の長手方向に見て、上面と側面との角部が平面もしくは曲面(図8(e)では曲面)によって面取りされた形状となっている。このような形状は、例えば、台形状の質量付加膜9と同様に、エッチングの時間の調整など、エッチングの条件を適宜に設定することによって実現される。

[0068] 図8(f)の質量付加膜28は、電極指25の長手方向に見て、概略ドーム状とされている。この場合の質量付加膜28の断面における上辺はほぼ点に近い。このような形状は、例えば、質量付加膜28となる材料を電極指25上に印刷して形成すると、該材料の表面張力によって実現される。

[0069] なお、図8(d)~図8(f)のSAW素子においては、電極指は、台形状の電極指25とされているが、矩形状の電極指13bとされてもよい。

[0070] 図8(d)~図8(f)のいずれの質量付加膜においても、質量付加膜9と同様に、上面側部分が下面側部分よりも狭くされることによって、電極指25の配置領域と非配置領域との境界において、質量付加膜の質量が減少される。その結果、いずれの質量付加膜も、質量付加膜9と同様に、SAWの振動中心の基板3から質量付加膜への遷移を緩やかにする作用を奏し、ひいては、電気機械結合係数 K^2 が向上する。

[0071] (質量付加膜の好適な材料および厚み)

以下、質量付加膜9の好適な材料および厚み t について検討する。ただし、以下の検討におけるシミュレーション計算においては、質量付加膜は矩形(第3の比較例の質量付加膜309)とされている。しかし、質量付加膜9は、質量付加膜309を改良したものであるから、質量付加膜309における好適な材料および厚みは、質量付加膜9においても好適な材料および厚みである。

[0072] また、以下の検討においては、質量付加膜の奏する作用のうち、反射係数の増大の作用に着目する。ただし、反射係数の増大の作用に着目して選定し

た好適な材料および厚みは、電気機械結合係数 K^2 に関しても好適なものであることを随所にて確認する。

[0073] 以下の検討において、特に断りがない限り、基板3は 128° Y-Xカットの LiNbO_3 基板であり、IDT電極5はAlからなり、保護層11は SiO_2 からなるものとする。

[0074] 図9(a)および図9(b)は、電極指13bの1本当たりの反射係数 Γ_1 および電気機械結合係数 K^2 を示すグラフである。

[0075] 図9(a)および図9(b)は、シミュレーション計算によって得られたものである。計算条件は、以下のとおりである。

IDT電極5の正規化厚み e/λ : 0.08

保護層11の正規化厚み T/λ : 0.25

質量付加膜309の正規化厚み t/λ : 0.01~0.05の範囲で変化させた。

質量付加膜309の材料: WC、TiN、TaSi₂

各材料の音響インピーダンス(単位はMRayl):

SiO_2 : 12.2 Al: 13.5

WC: 102.5 TiN: 56.0 TaSi₂: 40.6

[0076] 図9(a)および図9(b)において、横軸は質量付加膜309の正規化厚み t/λ を示している。図9(a)において縦軸は電極指13bの1本当たりの反射係数 Γ_1 を示している。図9(b)において縦軸は電気機械結合係数 K^2 を示している。

[0077] 図9(a)および図9(b)において、線L1、L2およびL3は、それぞれ、質量付加膜309がWC、TiNおよびTaSi₂からなる場合に対応している。図9(a)において、線LS1は、反射係数 Γ_1 の一般的に好ましいとされる範囲の下限を示している。図9(b)において、線LS2は、電気機械結合係数 K^2 の一般的に好ましいとされる範囲の下限を示している。

[0078] これらの図より、質量付加膜309が設けられることによって、電気機械結合係数 K^2 を一般的に好ましいとされる範囲に留めつつ、反射係数 Γ_1 を一

般的に好ましいとされる範囲とすることが可能であることが確認された。

[0079] また、これらの図より、質量付加膜 309 の正規化厚み t/λ が大きくなるほど、反射係数 Γ_1 および電気機械結合係数 K^2 が高くなっていることが窺える。このような傾向は、いずれの材料によって質量付加膜 309 が形成された場合においても生じている。

[0080] 一般には、音波が伝搬する媒質間における音響インピーダンスの差が大きいほど反射波は大きい。しかし、 TaSi_2 (線 L3) は、 TiN (線 L2) に比較して、音響インピーダンスが小さく、ひいては、 SiO_2 との音響インピーダンスの差が小さいにも関わらず、反射係数 Γ_1 が高くなっている。以下では、この理由について検討する。

[0081] 音響インピーダンス Z_s が互いに同一で、ヤング率 E および密度 ρ が互いに異なる種々の仮想材料によって質量付加膜 309 を形成した場合 (ケース No. 1 ~ No. 7) について、反射係数 Γ_1 および電気機械結合係数 K^2 を計算した。

[0082] 計算条件は、以下のとおりである。

IDT 電極 5 の正規化厚み e/λ : 0.08

保護層 11 の正規化厚み T/λ : 0.30

質量付加膜 309 の正規化厚み t/λ : 0.03

質量付加膜 309 の物性値 :

	Z_s	E	ρ
	(MRayl)	(GPa)	(10^3 kg/m^3)
No. 1 :	50	100	25.0
No. 2 :	50	200	12.5
No. 3 :	50	300	8.33
No. 4 :	50	400	6.25
No. 5 :	50	500	5.00
No. 6 :	50	600	4.17
No. 7 :	50	700	3.57

なお、 $Z_s = \sqrt{\rho E}$ である。

[0083] 図 10 (a) および図 10 (b) は、上記の条件に基づいて計算した結果を示すグラフである。横軸は、No. を示し、縦軸は、電極指 13b の 1 本当たりの反射係数 Γ_1 または電気機械結合係数 K^2 を示している。線 L5 は計算結果を示している。

[0084] 図 10 (a) において、反射係数 Γ_1 は、音響インピーダンス Z_s が同一であっても、ヤング率 E が小さく、密度 ρ が大きいほど大きくなっている。また、No. 1 ~ No. 3 における反射係数 Γ_1 の変化率は、No. 3 ~ No. 7 における反射係数 Γ_1 の変化率よりも大きくなっている。換言すれば、No. 3 付近において、臨界的意義を見出す余地がある。

[0085] このような反射係数 Γ_1 の変化は、以下のように、質量付加膜 309 を構成する材料の弾性波の伝搬速度の相違によって生じているものと考えられる。まず、導波路理論より、振動分布は弾性波の伝搬速度の遅い媒質の領域ほど大きくなる。一方、No. 1 ~ No. 7 の仮想材料の弾性波の伝搬速度 V は、以下のようになる (単位は m/s)。なお、 $V = \sqrt{E/\rho}$ である。

No. 1 :	2000	No. 2 :	4000	No. 3 :	6000
No. 3 :	8000	No. 4 :	10000	No. 6 :	12000
No. 7 :	14000				

[0086] 従って、同等の音響インピーダンスの質量付加膜 309 であっても、振動分布が質量付加膜 309 に集中する弾性波の伝搬速度が遅い質量付加膜 309 の方が、振動分布が周りに分散してしまう弾性波の伝搬速度が速い質量付加膜 309 よりも、実効的に反射係数が高くなると考えられる。

[0087] また、 SiO_2 の弾性波の伝搬速度は $5560 m/s$ 、Al の弾性波の伝搬速度は $5020 m/s$ である。従って、No. 1 および 2 の質量付加膜 309 の弾性波の伝搬速度は、保護層 11 および IDT 電極 5 の弾性波の伝搬速度よりも遅く、No. 3 ~ 7 の質量付加膜 309 の弾性波の伝搬速度は、保護層 11 および IDT 電極 5 の弾性波の伝搬速度よりも速い。従って、上述した No. 3 付近における反射係数の変化率の変化も、弾性波の伝搬速度に

よって説明できる。

[0088] なお、図10(a)において、横軸を弾性波の伝搬速度とみなしたときの SiO_2 および Al の弾性波の伝搬速度を線LV1およびLV2によって示す。また、図10(b)に示す電気機械結合係数 K^2 は、ヤング率 E および密度 ρ が変化しても、好ましい範囲内に収まっている。

[0089] 以上のとおり、質量付加膜309は、保護層11およびIDT電極5を形成する材料と音響インピーダンスが相違し、かつ保護層11およびIDT電極5を形成する材料よりも弾性波の伝搬速度が遅い材料からなることが好ましい。なお、保護層11およびIDT電極5を形成する材料よりも音響インピーダンスが小さい材料よりも、大きい材料の方が、保護層11およびIDT電極5を形成する材料よりも弾性波の伝搬速度が遅いという条件を満たしやすく、材料の選定が容易である。

[0090] このような材料としては、例えば、 Ta_2O_5 、 TaSi_2 、 W_5Si_2 が挙げられる。これらの物性値（音響インピーダンス Z_s 、弾性波の伝搬速度 V 、ヤング率 E 、密度 ρ ）は、以下のとおりである。

	Z_s	V	E	ρ
	(MRayl)	(m/s)	(GPa)	(10^3 kg/m^3)
Ta_2O_5	: 33.8	4352	147	7.76
TaSi_2	: 40.6	4438	180	9.14
W_5Si_2	: 67.4	4465	301	15.1

[0091] なお、図9(a)において例示したWCおよびTiNは、保護層11およびIDT電極5を形成する材料よりも弾性波の伝搬速度が遅いという条件を満たさない(WCの V : 6504 m/s 、TiNの V : 10721 m/s)。

[0092] TaSi_2 (図9(a)の線L3)よりもさらに音響インピーダンスが保護層11およびIDT電極5の音響インピーダンスに近い Ta_2O_5 (Al および SiO_2 との音響インピーダンスの差が 20 MRayl 程度) について反射係数を計算し、上記の材料に関する知見について確認を行った。

[0093] 計算条件は、以下のとおりである。

ＩＤＴ電極５の正規化厚み e/λ : 0.08

保護層１１の正規化厚み T/λ : 0.27、0.30または0.33

質量付加膜３０９の正規化厚み t/λ : 0.01～0.09の範囲で変化させた。

[0094] 図１１は上記の条件に基づいて計算した結果を示すグラフである。横軸および縦軸は図９（ａ）の縦軸および横軸と同様である。なお、線Ｌ７、Ｌ８およびＬ９は、それぞれ、保護層１１の正規化厚み T/λ が0.27、0.30および0.33の場合に対応している（線Ｌ７、Ｌ８およびＬ９はほぼ重なっている）。

[0095] 図１１において、 Ta_2O_5 は、 TiN （図９（ａ）の線Ｌ２）に比較して、音響インピーダンスが保護層１１の音響インピーダンスに近いにも関わらず、弾性波の伝搬速度が遅いことから、反射係数が高くなっている。

[0096] 図１１においては、保護層１１の正規化厚み T/λ は、概ね、反射係数に影響を及ぼさないという結果となっている。

[0097] 次に、質量付加膜３０９の厚み t の好ましい範囲について検討する。まず、質量付加膜３０９の厚み t の好ましい範囲の下限值（以下、「好ましい範囲の」を省略して単に「下限値」ということがある。）について検討する。

[0098] 図１２（ａ）は、ＩＤＴ電極５（全ての電極指１３ｂ）の反射係数 Γ_{all} を模式的に示すグラフである。図１２（ａ）において横軸は周波数 f を示し、縦軸は反射係数 Γ_{all} を示している。

[0099] 反射係数 Γ_{all} が概ね１（１００％）となる周波数帯（ $f_1 \sim f_2$ ）は、ストップバンドと呼ばれている。なお、実用上、ストップバンドにおける反射係数 Γ_{all} は、完全に１である必要はなく、例えば、反射係数 Γ_{all} が０.９９以上である周波数帯がストップバンドとして特定されてよい。また、一般に、ストップバンドの下端 f_1 もしくは上端 f_2 においては、反射係数 Γ_{all} が急激に変化するから、この変化の間がストップバンドと特定されてもよい。

[0100] ＩＤＴ電極５の反射係数 Γ_{all} は、電極指１３ｂの１本当たりの反射係数 Γ_1

および電極指 1 3 b の本数等によって決定される。そして、反射係数 Γ_1 が小さくなると、ストップバンドの幅 $S B$ は小さくなることが一般的に知られている。

[0101] 図 1 2 (b) は、I D T 電極 5 の電氣的なインピーダンス Z_e を模式的に示すグラフである。

[0102] 図 1 2 (b) において横軸は周波数 f を示し、縦軸はインピーダンスの絶対値 $|Z_e|$ を示している。一般に知られているように、 $|Z_e|$ は、共振周波数 f_3 において極小値をとり、反共振周波数 f_4 において極大値をとる。また質量付加膜 3 0 9 の正規化厚み t/λ を変えるとストップバンドの下端 f_1 と共振周波数 f_3 とが一致した状態でストップバンドの上端 f_2 と反共振周波数 f_4 とが変化する。このときの変化の割合は、ストップバンドの上端 f_2 の方が反共振周波数 f_4 よりも大きい。

[0103] ここで、仮に、ストップバンドの上端 f_2 が、線 $L 1 1$ で示す、反共振周波数 f_4 よりも低い周波数であると仮定すると、領域 $S p 1$ において仮想線（2 点鎖線）で示すように、共振周波数 f_3 と反共振周波数 f_4 との間の周波数帯（幅 Δf ）においてスプリアスが発生する。その結果、所望のフィルタ特性等が得られないおそれがある。

[0104] 一方、ストップバンドの上端 f_2 が、線 $L 1 2$ で示す、反共振周波数 f_4 よりも高い周波数であると仮定すると、領域 $S p 2$ において仮想線（2 点鎖線）で示すように、スプリアスは、反共振周波数 f_4 よりも高い周波数において発生する。この場合、スプリアスがフィルタ特性等に及ぼす影響は抑制される。

[0105] 従って、ストップバンドの上端 f_2 は反共振周波数 f_4 よりも高い周波数であることが好ましい。ここでストップバンドの上端 f_2 は反射係数に依存するから、ストップバンドの上端 f_2 が反共振周波数 f_4 よりも高い周波数となるように I D T 電極 5 の反射係数を調整すればよい。そして、I D T 電極 5 の反射係数は図 9 や図 1 1 において示したように質量付加膜 3 0 9 の正規化厚み t/λ が大きくなるほど直線的に増加するから、質量付加膜 3 0 9 の正規

化厚み t/λ を調整することによってストップバンドの上端 f_2 を反共振周波数 f_4 よりも高い周波数とすることができる。すなわち、質量付加膜 309 の正規化厚み t/λ をストップバンドの上端 f_2 が反共振周波数 f_4 よりも高くなる厚みとすることによって、共振周波数 f_3 と反共振周波数 f_4 との間の周波数帯（幅 Δf ）においてスプリアスの発生が抑制される。

[0106] ここで、図 11 に示したように、反射係数 Γ_1 は、保護層 11 の正規化厚み T/λ の影響を受ける。また、幅 Δf は、保護層 11 の正規化厚み T/λ の影響を受ける。そこで、質量付加膜 309 の正規化厚み t/λ は、保護層 11 の正規化厚み T/λ に応じて決定されることが好ましい。

[0107] そこで、ストップバンドの上端 f_2 が反共振周波数 f_4 と同等となる正規化厚み t/λ を保護層 11 の正規化厚み T/λ を変化させて算出し、その計算結果に基づいて、正規化厚み t/λ の下限値を正規化厚み T/λ によって規定した。

[0108] 図 13 は、ストップバンドの上端 f_2 が反共振周波数 f_4 よりも高くなる正規化厚み t/λ を説明するグラフであり、質量付加膜 309 の材料を Ta_2O_5 とした場合を例にとっている。

[0109] 図 13 において、横軸は保護層 11 の正規化厚み T/λ を示し、縦軸は質量付加膜 309 の正規化厚み t/λ を示している。実線 LN1 は、ストップバンドの上端 f_2 が反共振周波数 f_4 と同等となる正規化厚み t/λ の計算結果を示したものである。なお、計算において、IDT 電極 5 の正規化厚み e/λ は、 0.08λ とした。

[0110] 実線 LN1 によって示されるように、ストップバンドの上端 f_2 が反共振周波数 f_4 と同等となる正規化厚み t/λ は、2 次曲線により好適に近似曲線を導き出すことが可能であった。

[0111] 具体的には、以下のとおりである。

Ta_2O_5 :

$$t/\lambda = 0.5706 (T/\lambda)^2 - 0.3867 (T/\lambda) + 0.0913$$

TaSi_2 :

$$t/\lambda = 0.3995 (T/\lambda)^2 - 0.2675 (T/\lambda) + 0.0657$$

W₅Si₂:

$$t/\lambda = 0.2978 (T/\lambda)^2 - 0.1966 (T/\lambda) + 0.0433$$

[0112] なお、いずれの下限値の式においても、正規化厚み t/λ の極小値は、特許文献2において示された密着層の正規化厚みの最大値（0.01）よりも大きい。特許文献1は、密着層の厚みが波長によって正規化されていないので比較が難しい。しかし、正規化された厚みが大きくなるように、周波数を高く（例えばUMTSの最大周波数2690MHz）、弾性波の伝搬速度を遅く（例えば3000m/s）しても、 $\lambda = 1.1 \mu\text{m}$ であり、特許文献1の密着層の厚さの最大値（100Å）は0.01 λ 未満である。

[0113] 次に、質量付加膜309の厚み t の好ましい範囲の上限値（以下、「好ましい範囲の」を省略して単に「上限値」ということがある。）について検討する。

[0114] 図9（a）および図11に示したように、質量付加膜309の正規化厚み t/λ が大きくなるほど反射係数が高くなる。従って、正規化厚み t/λ の上限値は、質量付加膜309が保護層11から露出しない範囲ということになる。

[0115] 正規化厚み t/λ の下限値と同様に、正規化厚み t/λ の上限値を式によって規定するならば、例えば、IDT電極5の厚さ e/λ を、一般的なSAW素子における厚さ e/λ に照らして0.1未満と見積もり、下記の式のよう規定できる。

$$\text{上限値: } t/\lambda = T/\lambda - 0.1$$

[0116] 以上の検討から導かれる正規化厚み t/λ の好ましい範囲を、Ta₂O₅を例にとり、図14に示す。

図14において、横軸および縦軸は、図13と同様に、保護層11の正規化厚み T/λ および質量付加膜309の正規化厚み t/λ を示している。線LL1は下限値を示し（図13の線LN1に対応）、線LH1は上限値を示している。これらの線の間のハッチングされた領域が質量付加膜309の正

規化厚み t/λ の好ましい範囲である。なお、線 LH5 は、特許文献2において示された密着層の正規化厚みの上限値 (0.01) を示している。

[0117] (SAW装置の構成)

図15は、本実施形態に係るSAW装置51を示す断面図である。

[0118] SAW装置51は、例えば、フィルタもしくはデュプレクサを構成している。SAW装置51は、SAW素子31と、SAW素子31が実装される回路基板53とを有している。

[0119] SAW素子31は、例えば、いわゆるウェハレベルパッケージのSAW素子として構成されている。SAW素子31は、上述したSAW素子1と、基板3のSAW素子1側を覆うカバー33と、カバー33を貫通する端子35と、基板3のSAW素子1とは反対側を覆う裏面部37とを有している。

[0120] カバー33は、樹脂等によって構成されており、SAWの伝搬を容易化するための振動空間33aをIDT電極5および反射器7の上方(z方向の正側)に構成している。基板3の上面3a上には、IDT電極5と接続された配線38と、配線38に接続されたパッド39とが形成されている。端子35は、パッド39上において形成され、IDT電極5と電氣的に接続されている。裏面部37は、例えば、特に図示しないが、温度変化等によって基板3表面にチャージされた電荷を放電するための裏面電極と当該裏面電極を覆う絶縁層とを有している。

[0121] 回路基板53は、例えば、いわゆるリジッド式のプリント配線基板によって構成されている。回路基板53の実装面53aには、実装用パッド55が形成されている。

[0122] SAW素子31は、カバー33側を実装面53aに対向させて配置される。そして、端子35と実装用パッド55は、半田57によって接着される。その後、SAW素子31は封止樹脂59によって封止される。

[0123] なお、以上の実施形態において、基板3は圧電基板の一例であり、保護層11は絶縁層の一例である。

[0124] 本発明は、以上の実施形態に限定されず、種々の態様で実施されてよい。

[0125] 弾性波素子は、（狭義の）SAW素子に限定されない。例えば、絶縁層（11）の厚さが比較的大きい（例えば $0.5\lambda \sim 2\lambda$ ）、いわゆる弾性境界波素子（ただし、広義のSAW素子に含まれる。）であってもよい。なお、弾性境界波素子においては、振動空間（33a）の形成は不要であり、ひいては、カバー33等も不要である。

[0126] 弾性波素子において、絶縁層（11）は必須の要件ではなく、また、絶縁層は、腐食防止のみを目的として設けられ、電極指の厚みよりも薄くされてもよい。これらの場合においても、質量付加膜は、例えば、電極指の材料よりも弾性波の伝搬速度の遅い材料により形成されることにより、反射係数を大きくすることができ、SAWの反射効率が良くなるためSAWの共振子内における閉じ込め効果が向上する。これにより、例えば、損失を少なくすることができるといった効果を奏する。また、これらの場合においても、実施形態と同様に、付加層が、上面側部分が下面側部分よりも狭く形成されることによって、SAWの振動中心が電極指の表面に急激に遷移することが抑制され、電気機械結合係数が向上するという効果が奏される。

[0127] 弾性波素子は、ウェハレベルパッケージのものに限定されない。例えば、SAW素子は、カバー33および端子35等を有さず、基板3の上面3a上のパッド39と、回路基板53の実装用パッド55とが半田57によって直接接着されてもよい。そして、SAW素子1（保護層11）と回路基板53の実装面53aとの隙間によって振動空間が形成されてよい。

[0128] 質量付加膜は、電極の全面に亘って設けられることが好ましい。ただし、質量付加膜は、電極指のみに設けられるなど、電極の一部にのみ設けられてもよい。さらに、質量付加膜は、電極指の長手方向に見て中央側の一部のみに設けられるなどしてもよい。また、質量付加膜は、電極の上面だけでなく、側面にも設けられてもよい。質量付加膜の材料は、導電材料であってもよいし、絶縁材料であってもよい。具体的には、タングステン、イリジウム、タンタル、銅などの導電材料、 $Ba_xSr_{1-x}O_3$ 、 $Pb_xZn_{1-x}O_3$ 、 ZnO_3 などの絶縁材料を質量付加膜の材料として挙げるができる。また、図9

(a) において好ましい材料とされなかったWC等も質量付加膜の材料とされてよい。

[0129] 質量付加膜を絶縁材料により形成することによって、質量付加膜を金属材料によって形成したものに比べ、電極の腐食を抑制し弾性波素子の電気特性を安定化させることができる。なぜならば、 SiO_2 からなる絶縁層にはピンホールが形成されることがあり、このピンホールが形成されると、これを介して電極部分まで水分が浸入することとなるが、電極上に電極材料と異なる材料からなる金属膜が配置されていると、浸入した水分によって、異種金属間の電池効果による腐食が発生するおそれがあるからである。よって、質量付加膜を Ta_2O_5 などの絶縁材料によって形成すれば、電極と質量付加膜との間において電池効果は殆ど起きないため、電極の腐食が抑制された信頼性の高い弾性波素子とすることができる。

[0130] 絶縁層(11)の上面は、電極指の位置において凸となるように、凹凸を有していてもよい。この場合、反射係数をさらに高くすることができる。当該凹凸は、図2(e)を参照して説明したように、絶縁層の成膜時に電極指の厚みに起因して形成されるものであってもよいし、絶縁層の表面を電極指の間の領域においてエッチングして形成されるものであってもよい。

[0131] 基板は、 $128^\circ \pm 10^\circ$ Y-Xカットの LiNbO_3 基板の他にも、例えば、 $38.7^\circ \pm$ Y-Xカットの LiTaO_3 などを用いることができる。電極(電極指)の材料は、AlおよびAlを主成分とする合金に限定されず、例えば、Cu、Ag、Au、Pt、W、Ta、Mo、Ni、Co、Cr、Fe、Mn、Zn、Tiであってもよい。絶縁層の材料は、 SiO_2 に限定されず、例えば、 SiO_2 以外の酸化珪素であってもよい。

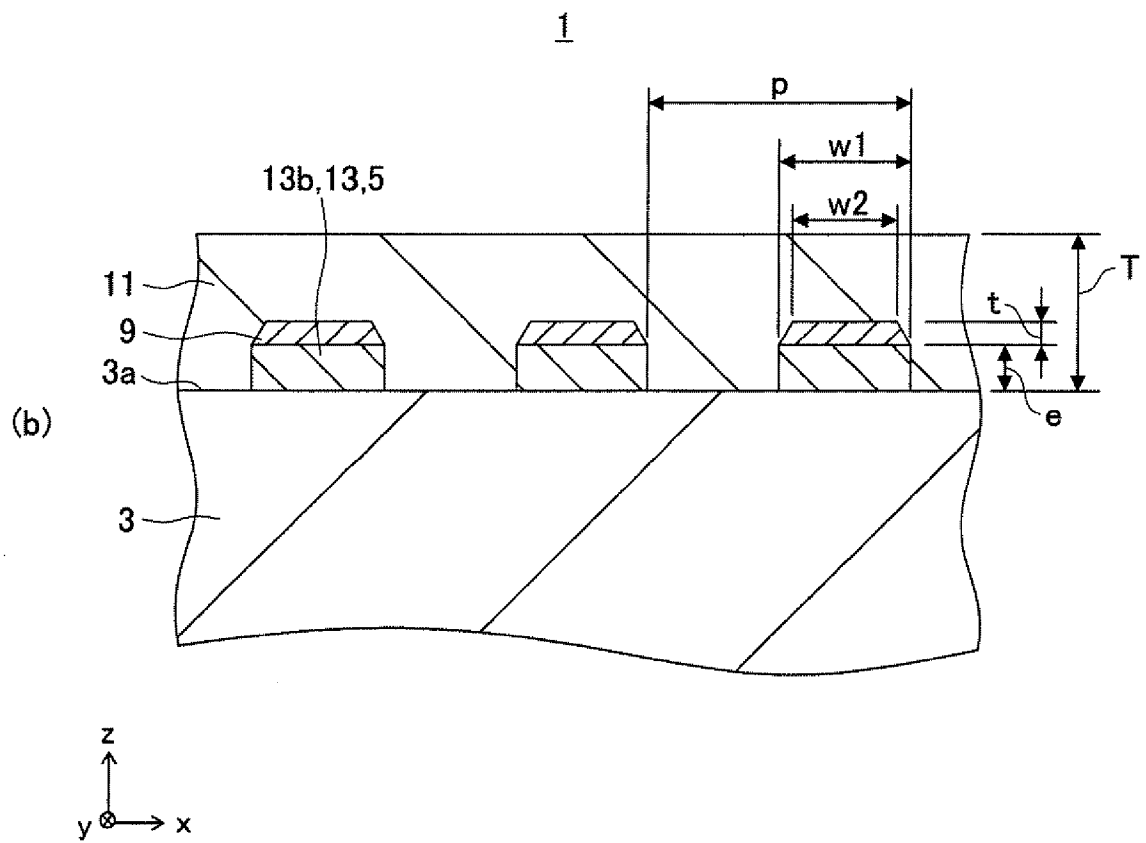
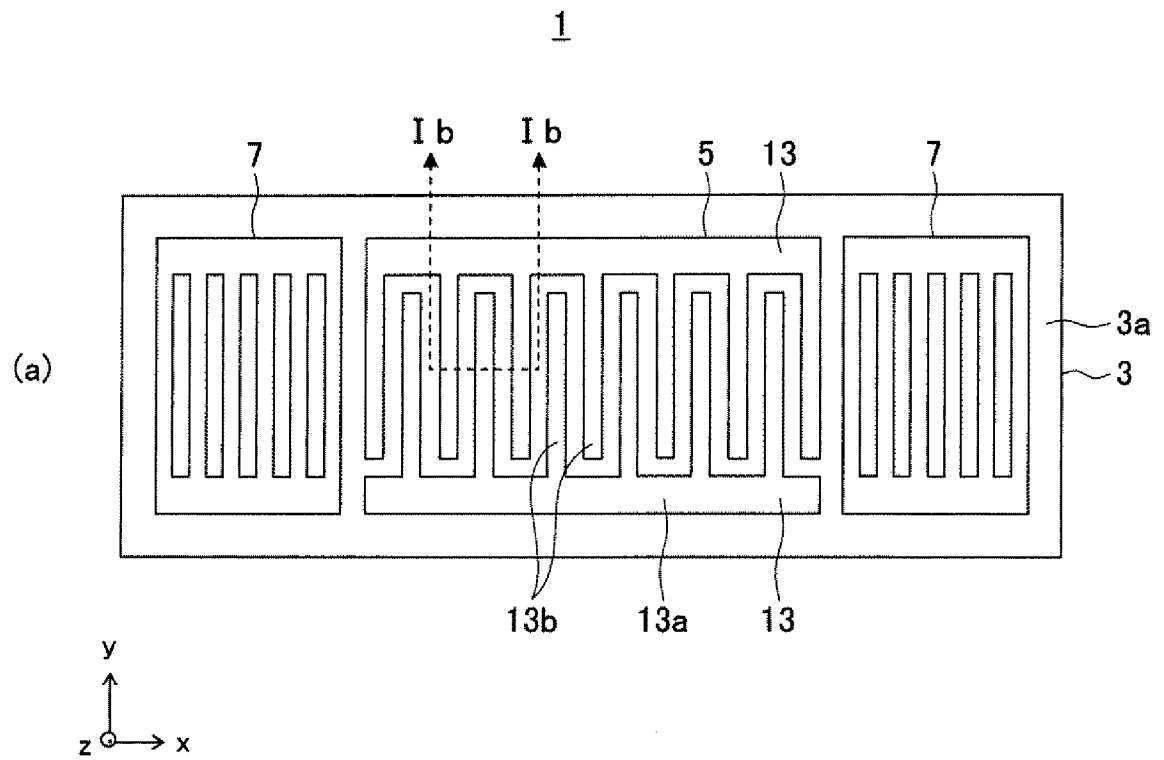
符号の説明

[0132] 1…SAW素子(弾性波素子)、3…基板(圧電基板)、3a…上面、5…IDT電極(電極)、9…質量付加膜、11…保護層(絶縁層)。

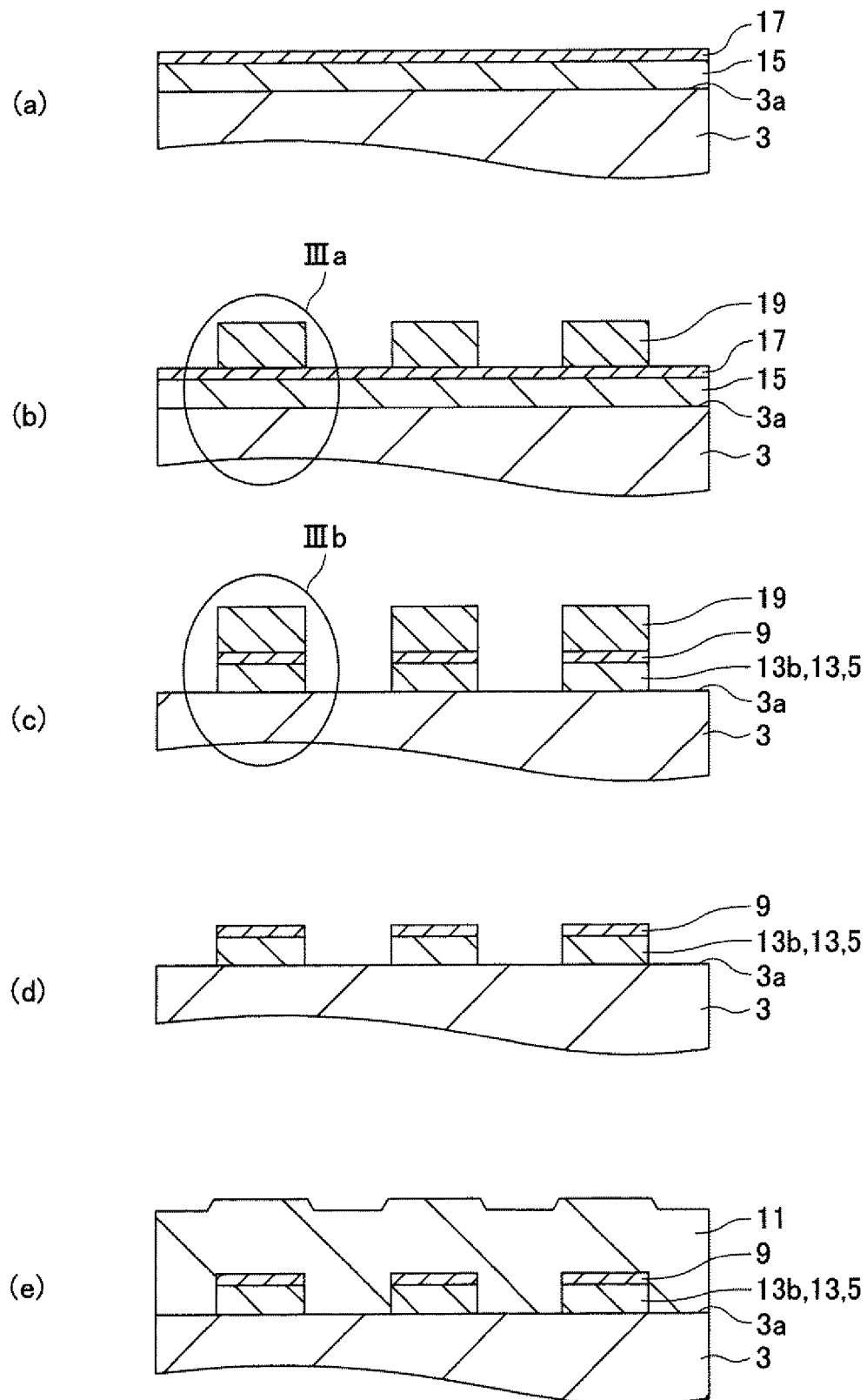
請求の範囲

- [請求項1] 圧電基板と、
該圧電基板の上面に配置された電極指と、
該電極指の上面に配置された質量付加膜と、を備え、
該質量付加膜は、前記電極指が伸びている方向に直交する断面を見たときに、該断面における幅が上辺で最も小さい、弾性波素子。
- [請求項2] 前記質量付加膜が配置された前記電極指と、前記圧電基板の上面のうち前記電極指から露出する部分とを覆い、前記圧電基板の上面からの厚みが前記電極指および前記質量付加膜の合計の厚みよりも大きい絶縁層をさらに備える、請求項1に記載の弾性波素子。
- [請求項3] 前記絶縁層は酸化珪素を主成分とする、請求項2に記載の弾性波素子。
- [請求項4] 前記質量付加膜は、前記電極指の材料および前記絶縁層の材料よりも音響インピーダンスが大きく、かつ前記電極指の材料および前記絶縁層の材料よりも弾性波の伝搬速度が遅い材料を主成分とする、請求項2または3に記載の弾性波素子。
- [請求項5] 前記質量付加膜は絶縁材料を主成分とする、請求項1～4のいずれか1項に記載の弾性波素子。
- [請求項6] 前記質量付加膜は、前記断面における形状が台形である、請求項1～5のいずれか1項に記載の弾性波素子。
- [請求項7] 前記台形の下底に対する前記台形の上底の長さの比が0.7以上1.0未満である、請求項6に記載の弾性波素子。
- [請求項8] 前記電極指は、該電極指の長手方向に沿った側面が、前記圧電基板の上面に近づくにつれて広がるように傾斜している、請求項1～7のいずれか1項に記載の弾性波素子。
- [請求項9] 請求項1～8のいずれか1項に記載の弾性波素子と、
該弾性波素子を取り付けられた回路基板と、を備える弾性波装置。

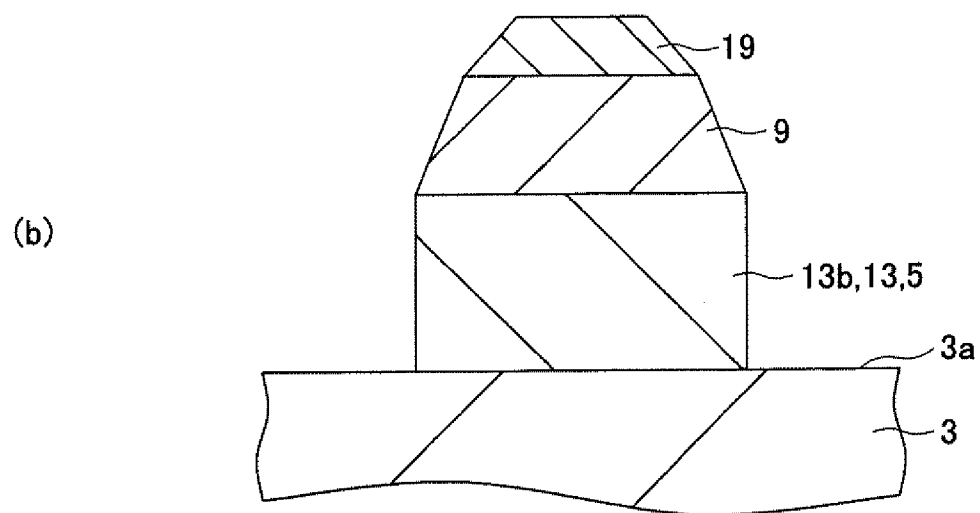
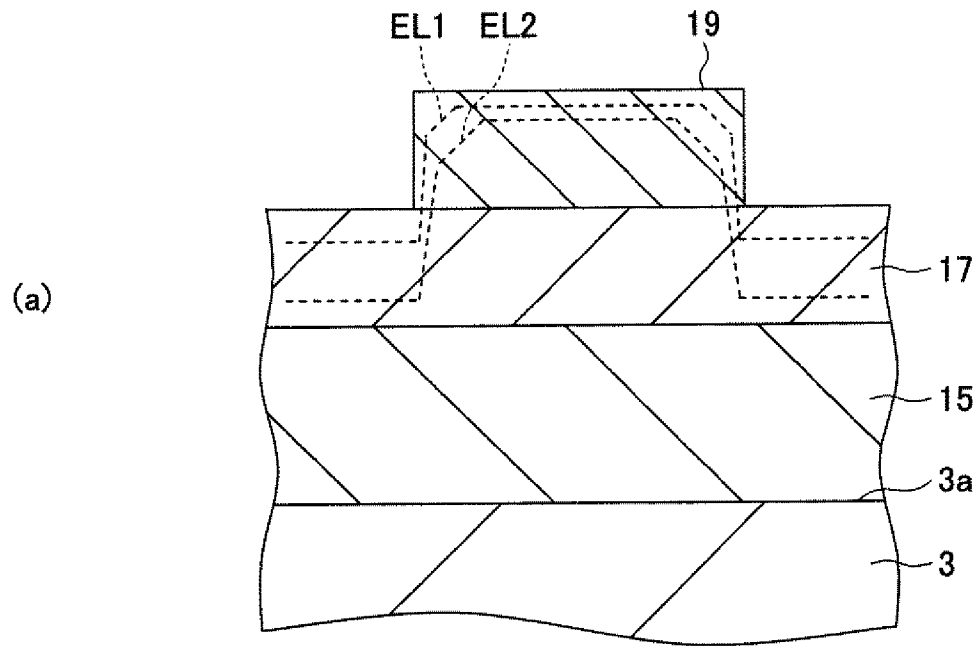
[図1]



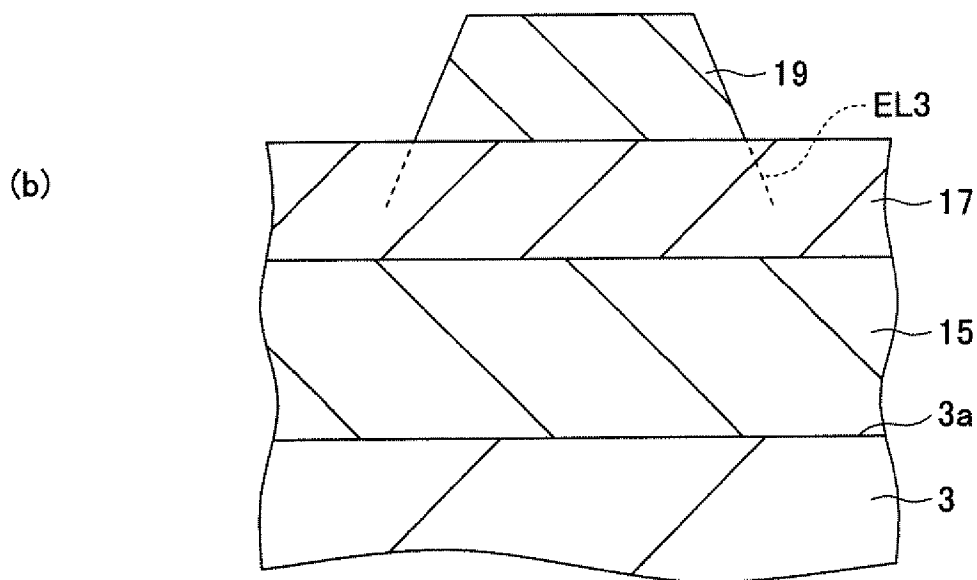
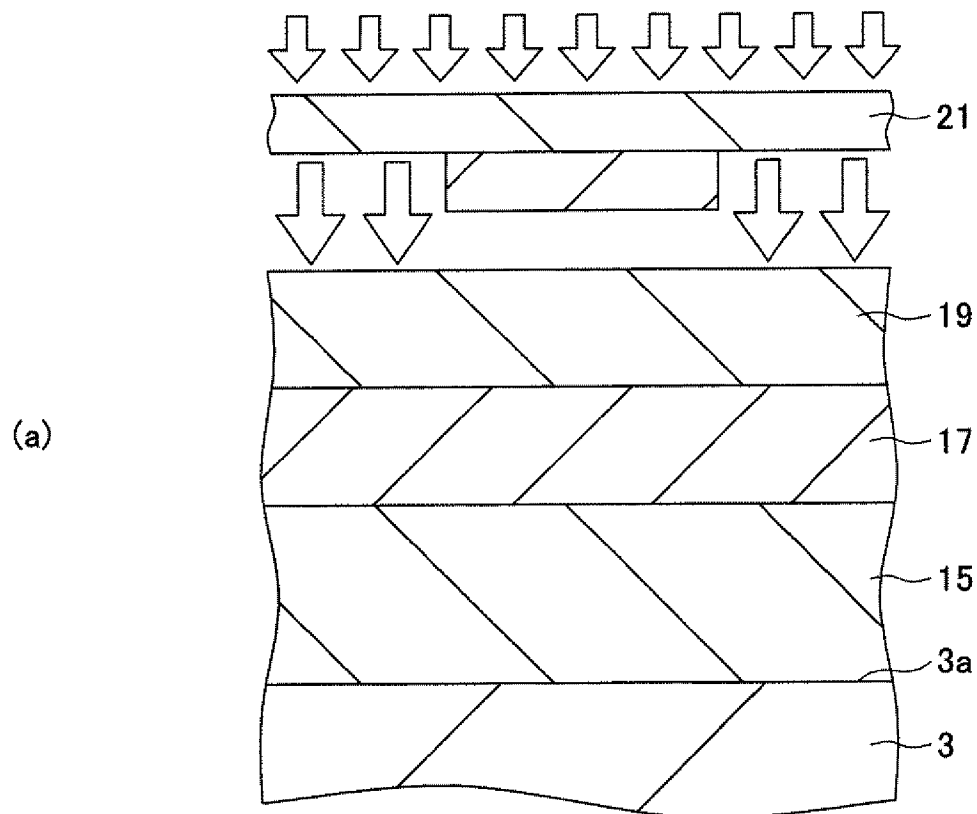
[図2]



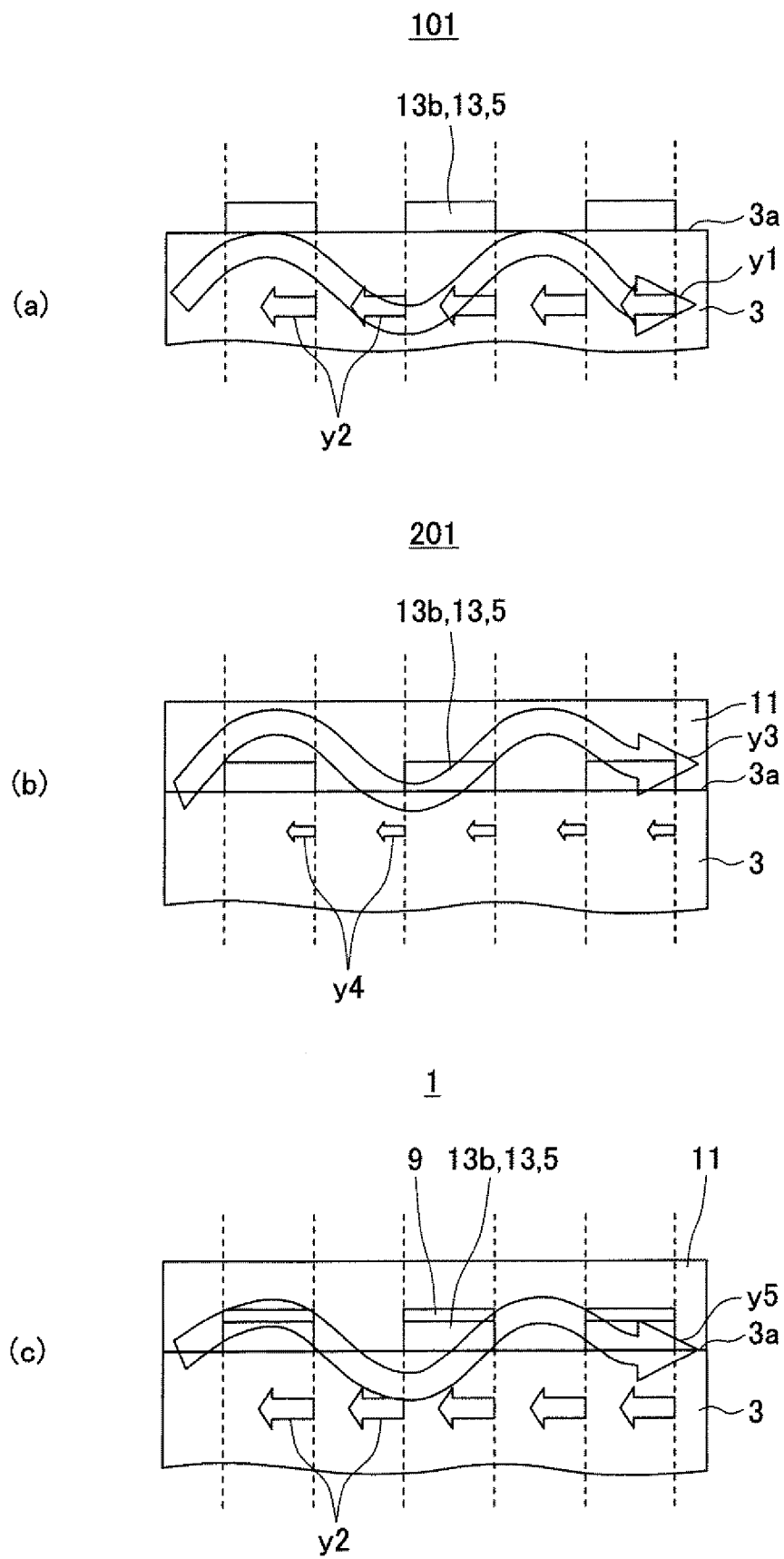
[図3]



[図4]



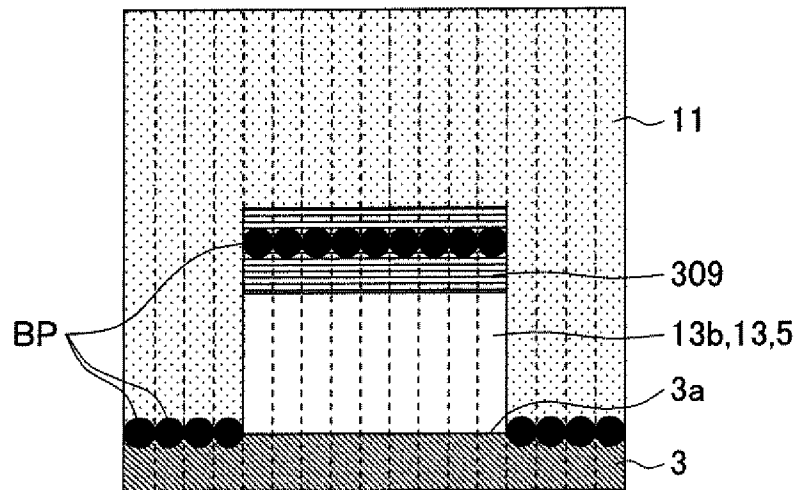
[図5]



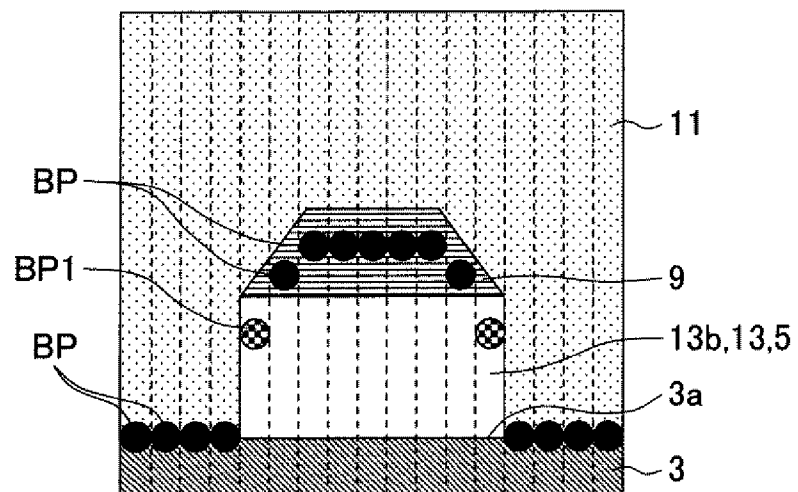
[図6]

301

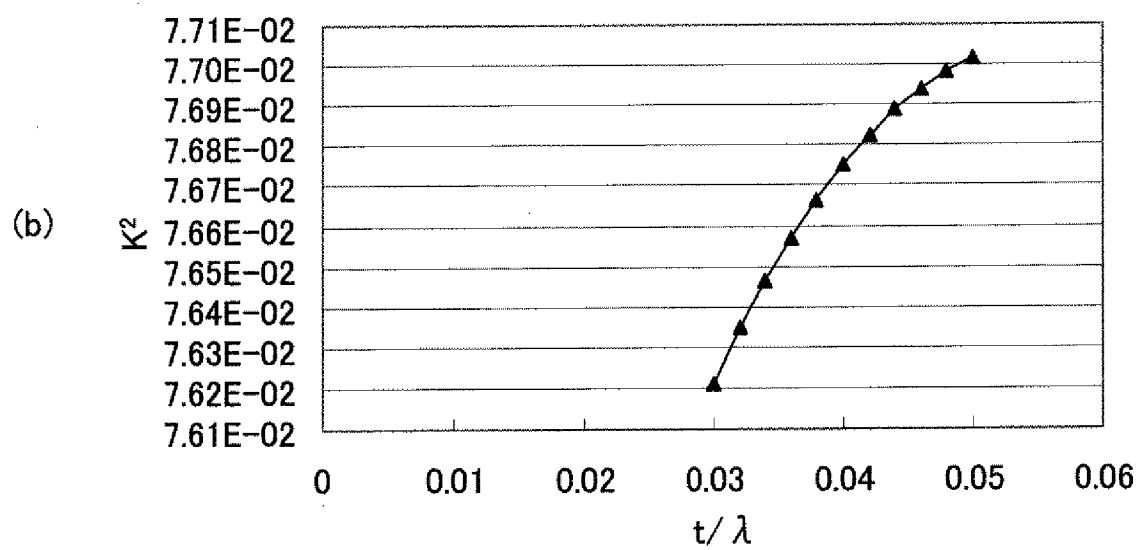
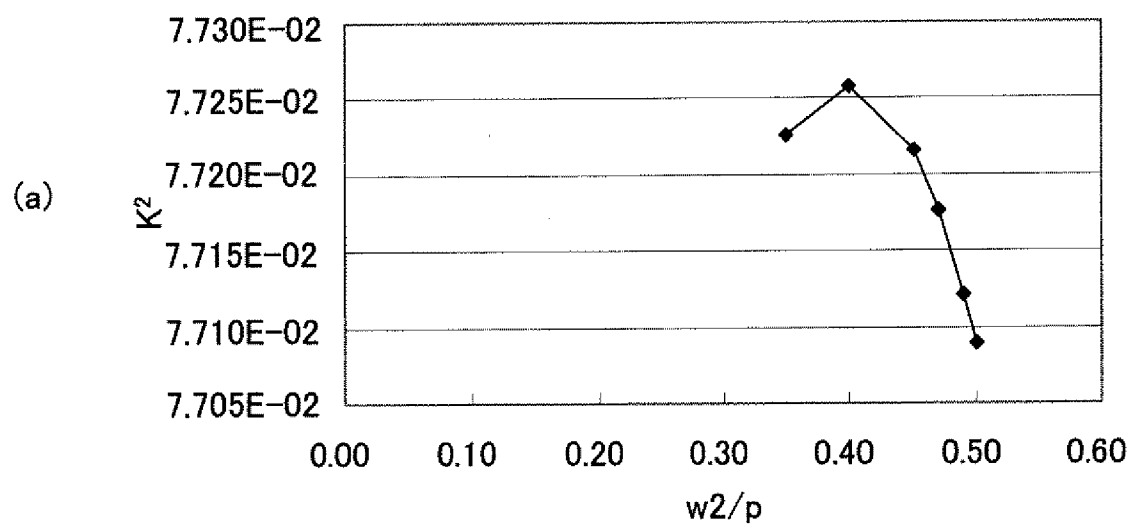
(a)

1

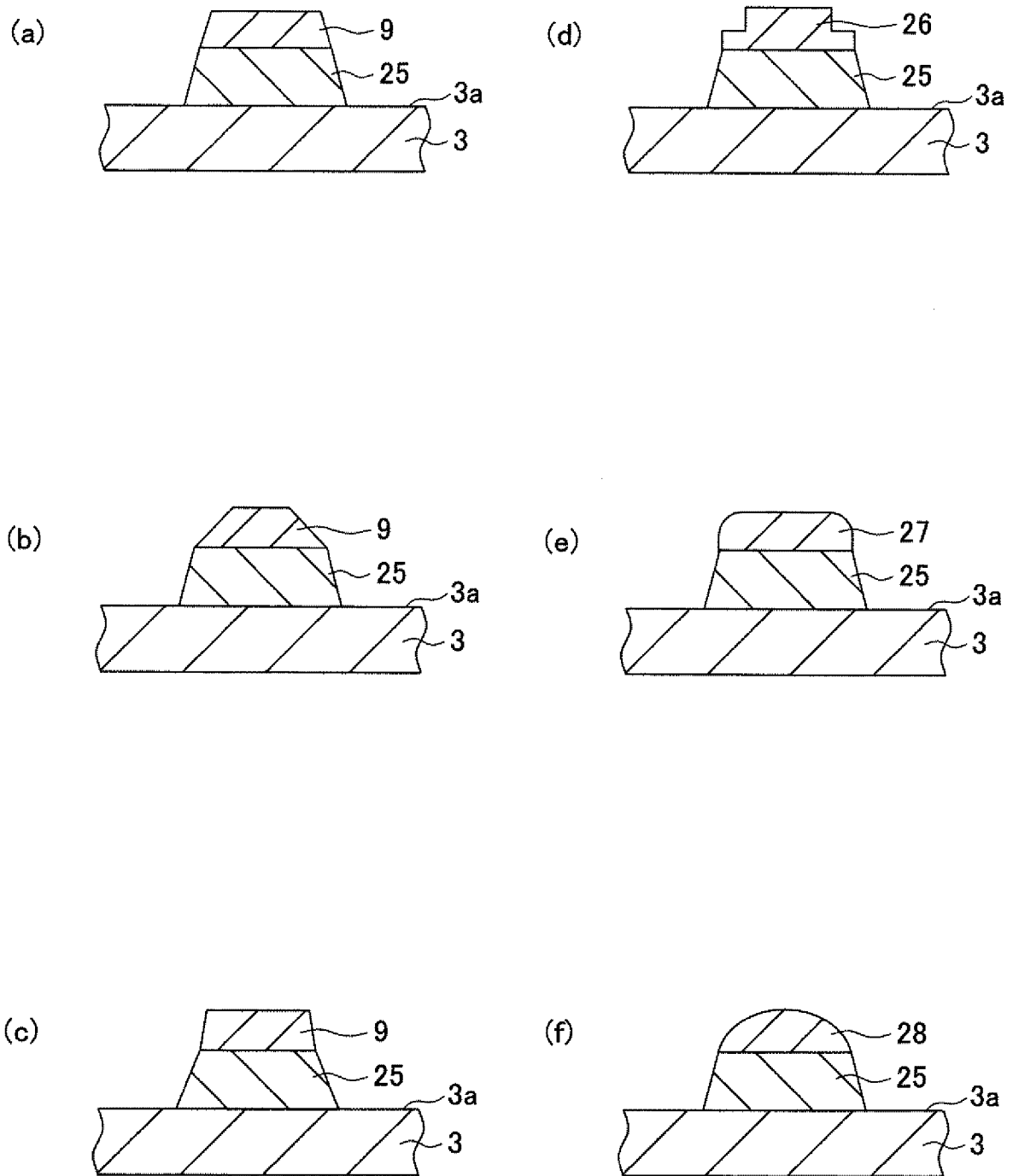
(b)



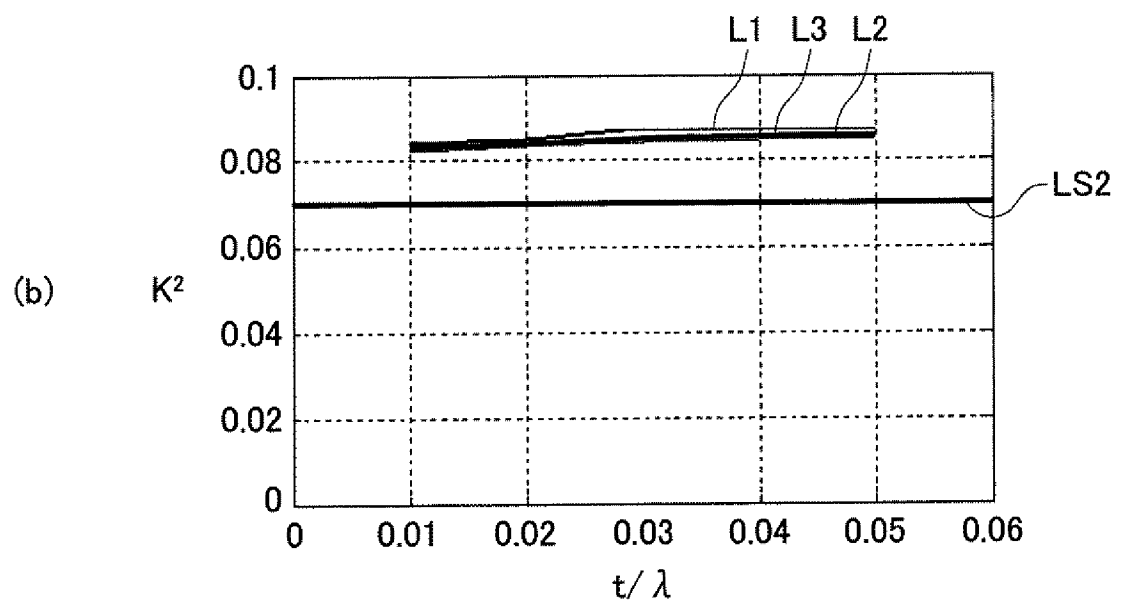
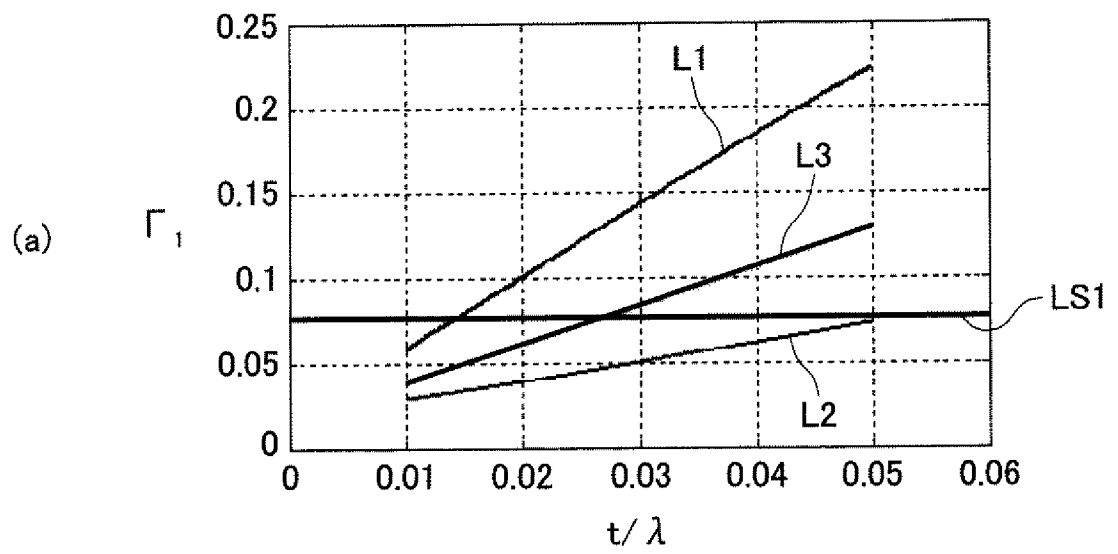
[図7]



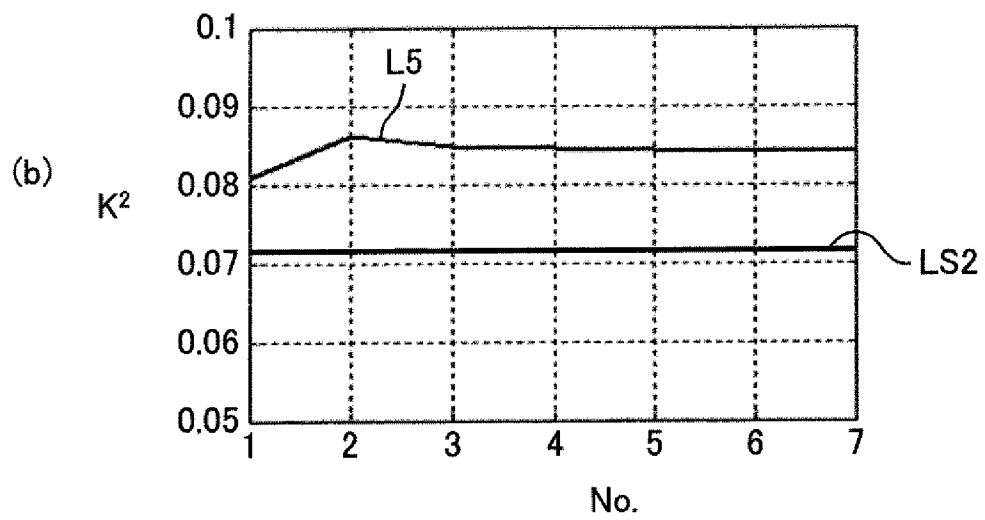
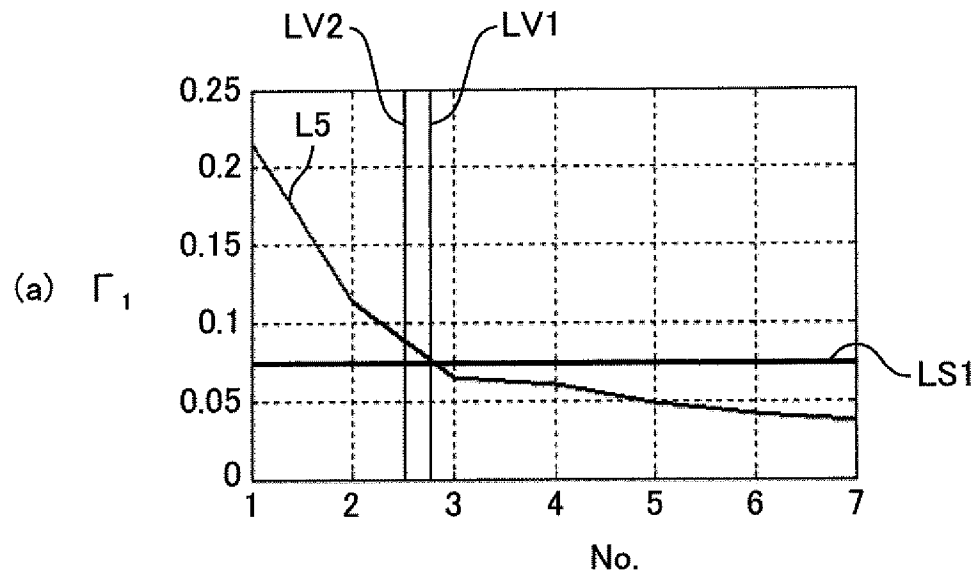
[図8]



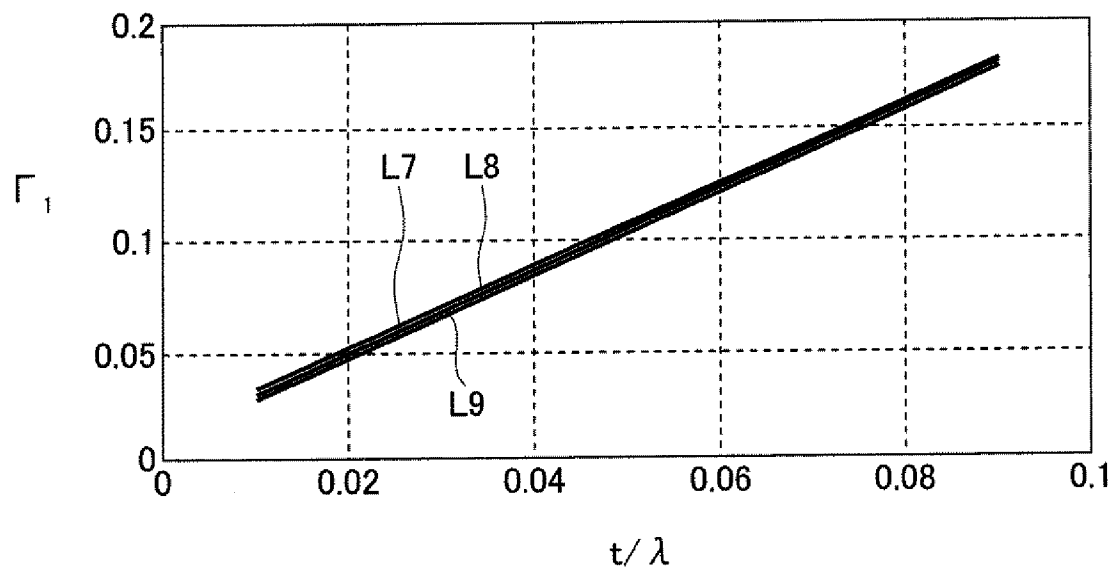
[図9]



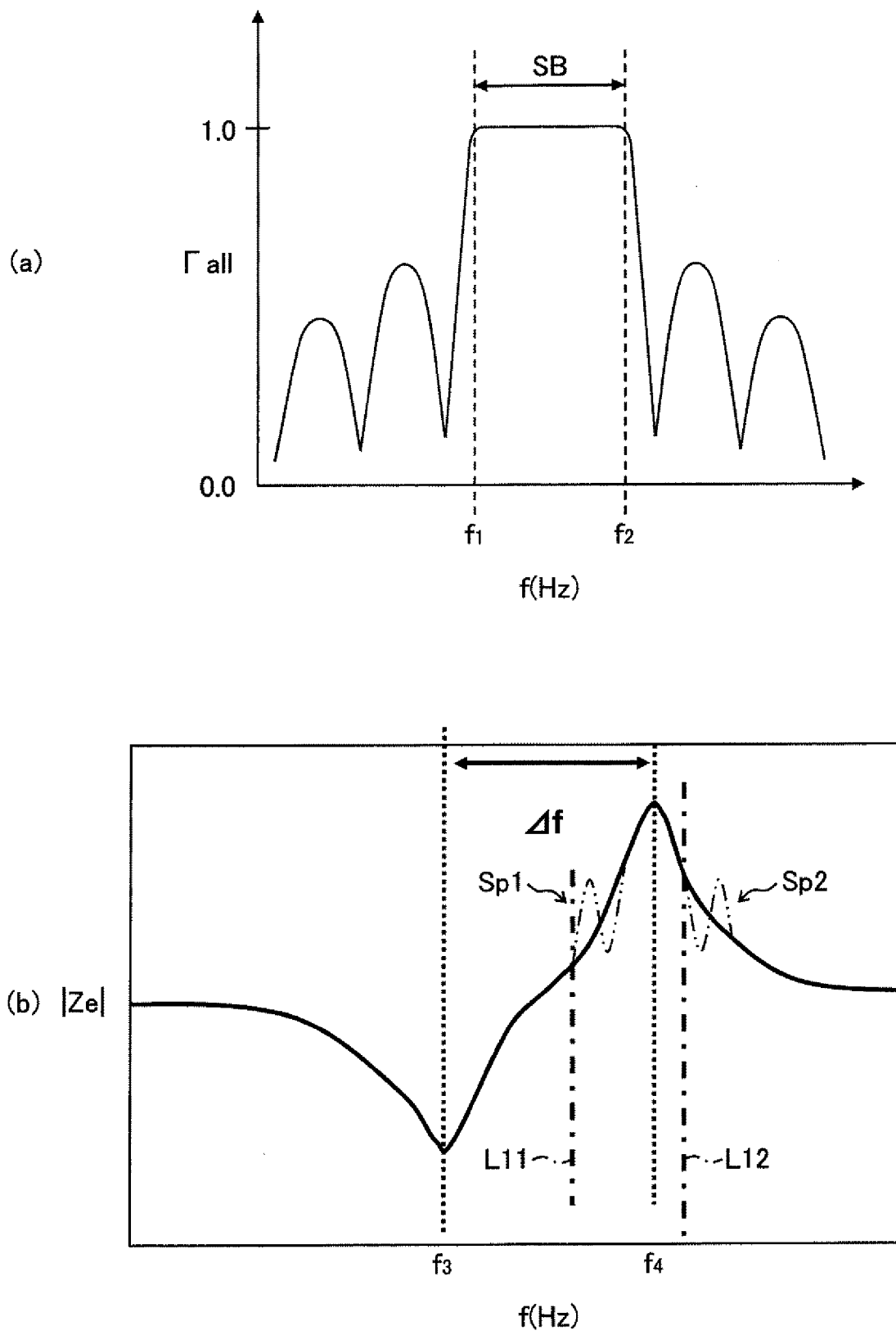
[図10]



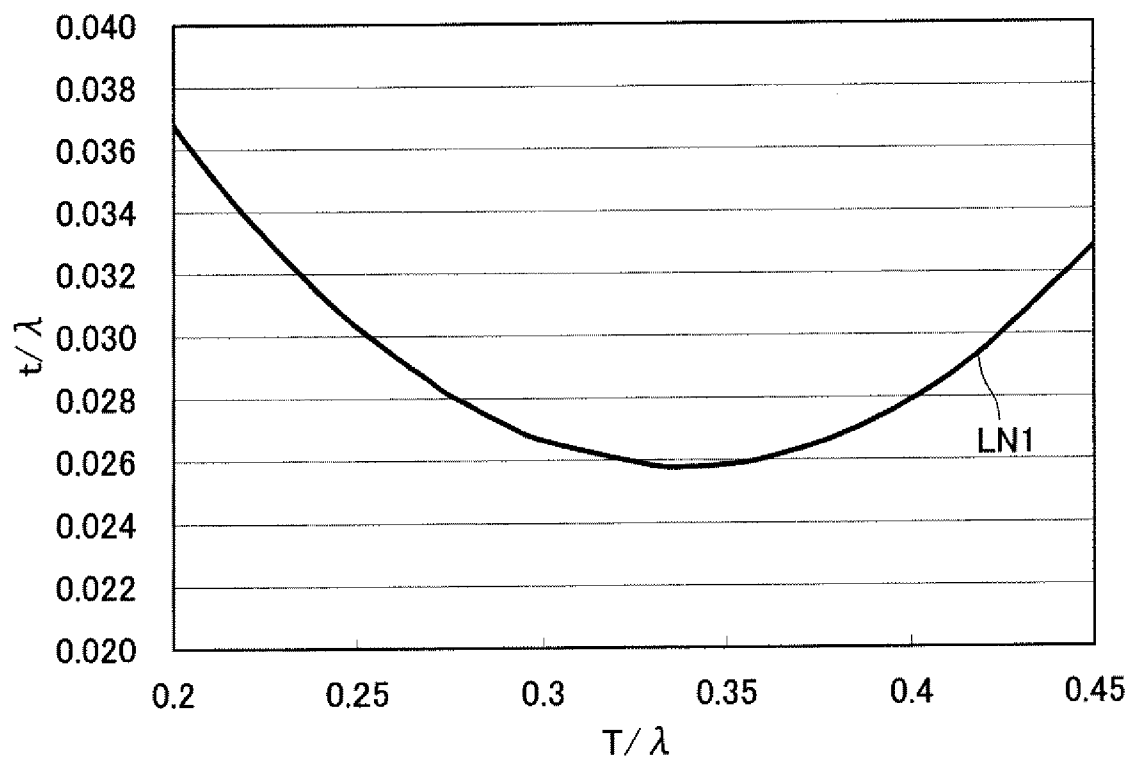
[図11]



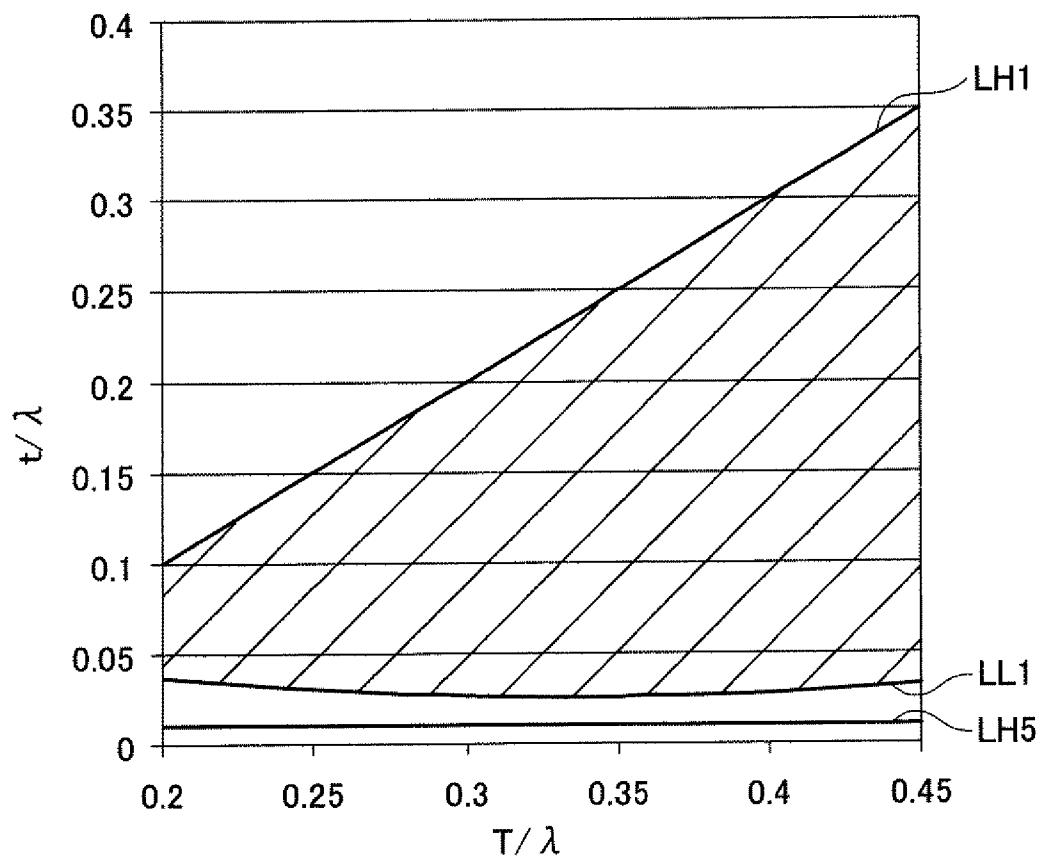
[図12]



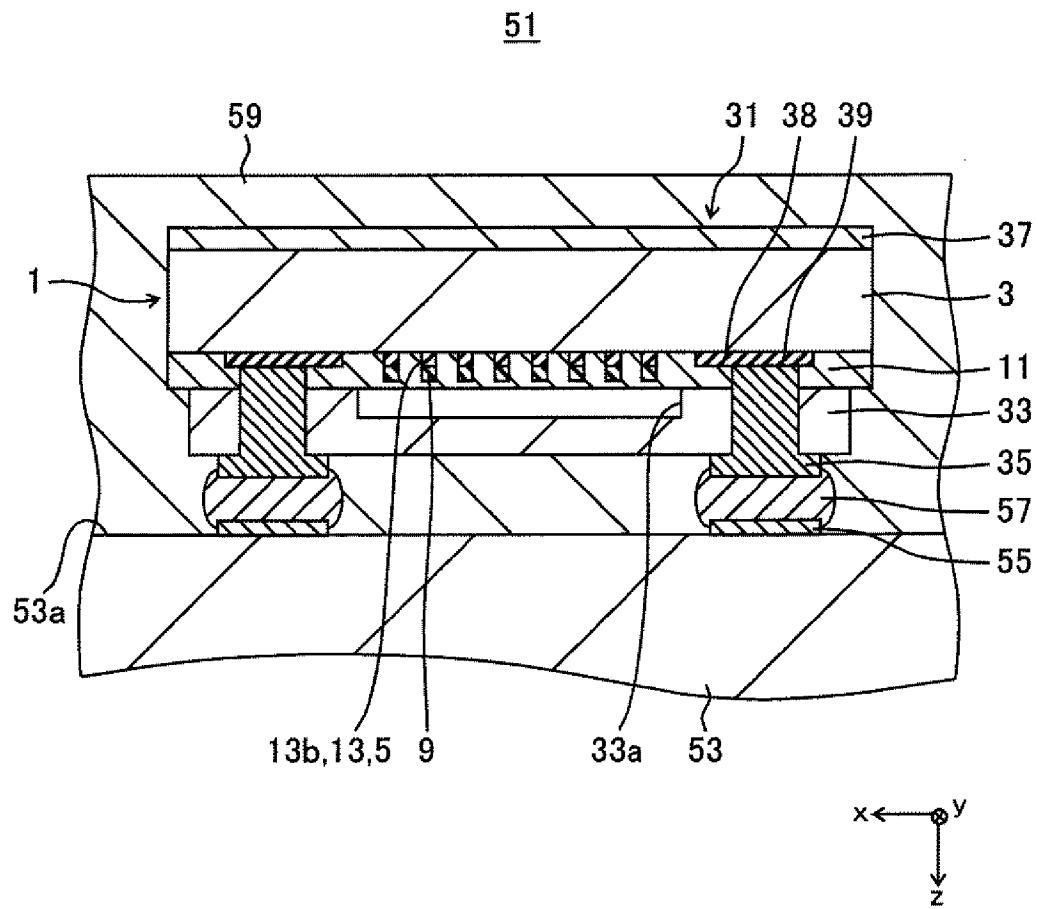
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/050821

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H03H9/145 (2006.01) i

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)

H03H9/145

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

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 Y A	JP 2001-168671 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 22 June 2001 (22.06.2001), paragraphs [0015] to [0024]; fig. 3 (Family: none)	1, 6, 8 2, 3, 9 4, 5, 7
X Y	JP 2008-79275 A (Kyocera Corp.), 03 April 2008 (03.04.2008), paragraphs [0037], [0050] to [0055], [0060] to [0062], [0069], [0070]; fig. 2 to 4 (Family: none)	1, 5-9 2-4
Y	JP 2006-109287 A (Alps Electric Co., Ltd.), 20 April 2006 (20.04.2006), paragraphs [0054], [0055]; fig. 2 & US 2006/0076851 A1 & EP 1646144 A2	2-4



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

“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
10 February, 2012 (10.02.12)

Date of mailing of the international search report
28 February, 2012 (28.02.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/050821

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2007-221416 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 30 August 2007 (30.08.2007), paragraph [0014]; fig. 2 & US 2010/0164646 A1 & EP 1971026 A1 & WO 2007/094368 A1 & KR 10-2008-0077193 A & CN 101379700 A	2-4
Y	JP 2005-65050 A (Seiko Epson Corp.), 10 March 2005 (10.03.2005), paragraph [0028]; fig. 3 (Family: none)	4
Y	JP 2006-237750 A (Seiko Epson Corp.), 07 September 2006 (07.09.2006), paragraph [0032]; fig. 2 (Family: none)	4
A	WO 2009/125536 A1 (Murata Mfg. Co., Ltd.), 15 October 2009 (15.10.2009), paragraph [0067]; fig. 6, 7 (Family: none)	1-9
A	WO 2010/098139 A1 (Epson Toyocom Corp.), 02 September 2010 (02.09.2010), paragraph [0027]; fig. 1 & JP 2010-233203 A & US 2010/0219913 A1 & EP 2224591 A2 & CN 101820265 A & KR 10-2010-0098316 A	1-9

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H03H9/145 (2006.01) i

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 (I P C))

Int.Cl. H03H9/145

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 2 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 2 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 2 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 Y A	JP 2001-168671 A (松下電器産業株式会社) 2001.06.22, [0015]-[0024], 図 3 (ファミリーなし)	1, 6, 8 2, 3, 9 4, 5, 7
X Y	JP 2008-79275 A (京セラ株式会社) 2008.04.03 [0037], [0050]-[0055], [0060]-[0062], [0069], [0070], 図 2-図 4 (ファミリーなし)	1, 5-9 2-4

☒ 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
「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矛盾するものではなく、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

1 0 . 0 2 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

2 8 . 0 2 . 2 0 1 2

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官 (権限のある職員)

上田 智志

5 W

4 8 7 7

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 7 6

C (続き) . 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
Y	JP 2006-109287 A (アルプス電気株式会社) 2006.04.20, [0054], [0055], 図 2 & US 2006/0076851 A1 & EP 1646144 A2	2-4
Y	JP 2007-221416 A (松下電器産業株式会社) 2007.08.30, [0014], 図 2 & US 2010/0164646 A1 & EP 1971026 A1 & WO 2007/094368 A1 & KR 10-2008-0077193 A & CN 101379700 A	2-4
Y	JP 2005-65050 A (セイコーエプソン株式会社) 2005.03.10, [0028], 図 3 (ファミリーなし)	4
Y	JP 2006-237750 A (セイコーエプソン株式会社) 2006.09.07, [0032], 図 2 (ファミリーなし)	4
A	WO 2009/125536 A1 (株式会社村田製作所) 2009.10.15, [0067], 図 6, 図 7 (ファミリーなし)	1-9
A	WO 2010/098139 A1 (エプソントヨコム株式会社) 2010.09.02, [0027], 図 1 & JP 2010-233203 A & US 2010/0219913 A1 & EP 2224591 A2 & CN 101820265 A & KR 10-2010-0098316 A	1-9