(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第6124661号
(P6124661)

(45)発行日　平成29年5月10日(2017.5.10)　(24)登録日　平成29年4月14日(2017.4.14)

(51)Int.Cl.			F I		
H03H	9/145	(2006.01)	H03H	9/145	C
H03H	9/25	(2006.01)	H03H	9/145	Z
H03H	3/08	(2006.01)	H03H	9/25	C
			H03H	3/08	

請求項の数 21　外国語出願　(全 29 頁)

(21)出願番号　特願2013-87275(P2013-87275)
(22)出願日　平成25年4月18日(2013.4.18)
(65)公開番号　特開2013-225853(P2013-225853A)
(43)公開日　平成25年10月31日(2013.10.31)
審査請求日　平成28年2月23日(2016.2.23)
(31)優先権主張番号　61/635,821
(32)優先日　平成24年4月19日(2012.4.19)
(33)優先権主張国　米国(US)
(31)優先権主張番号　13/801,145
(32)優先日　平成25年3月13日(2013.3.13)
(33)優先権主張国　米国(US)

(73)特許権者　599034594
コーボ　ユーエス、インコーポレイテッド
アメリカ合衆国オレゴン州９７１２４・ヒルスボロ・ノースイーストブルックウッドパークウェイ　２３００
２３００　ＮＥ　Ｂｒｏｏｋｗｏｏｄ　Ｐａｒｋｗａｙ，Ｈｉｌｌｓｂｏｒｏ，Ｏｒｅｇｏｎ　９４１２４，Ｕ．Ｓ．Ａ．
(74)代理人　100105924
弁理士　森下　賢樹
(72)発明者　アボット、ベンジャミン　ピー.
アメリカ合衆国オレゴン州９７１２４・ヒルスボロ・ノースイーストブルックウッドパークウェイ　２３００

最終頁に続く

(54)【発明の名称】高結合で低損失な圧電境界波デバイスおよび関連する方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
基板と、
前記基板表面に接続され、周期を有する複数の電極を備え、複数の電極の内のある電極が、その電極の周期に少なくとも部分的に基づいた幅を有する共振器と、
前記基板および前記共振器に接続されてこれらの上部に配置され、せん断波速度を有する誘電体オーバーコートと、
前記誘電体オーバーコートの表面に接続され、前誘電体オーバーコートのせん断波速度より大きなせん断波速度を有する付加的な材料と、
を備え、
前記複数の電極中の電極は、前記電極の材料の測定密度とその材料のせん断弾性率とに少なくとも部分的に基づいた高さを有し、前記電極の前記高さは、
【数１】

$$\frac{\sqrt[4]{\left(\frac{c_m}{c_{ox}}\right)}}{\left(\frac{\Delta_m}{\Delta_{ox}}-1\right)} > h_m > 0.5 * \frac{\sqrt[4]{\left(\frac{c_m}{c_{ox}}\right)}}{\left(\frac{\Delta_m}{\Delta_{ox}}-1\right)}$$

（式中、h_mは前記電極の高さ、c_mは前記電極のせん断弾性率、c_{ox}は前記誘電体オーバーコートのせん断弾性率、Δ_mは前記電極の密度、Δ_{ox}は前記誘電体オーバーコー

トの密度）に等しいことを特徴とする圧電境界波（ＰＢＡＷ）デバイス。
【請求項２】
前記幅と前記周期との比は、０．５＊（ｐ／ｐ$_{ref}$－１）≦ａ／ｐ－０．５≦１．５＊（ｐ／ｐ$_{ref}$－１）（式中、ｐは前記周期、ａは前記幅、ｐ$_{ref}$は前記ＰＢＡＷデバイスの基準周期）に等しい請求項１に記載のＰＢＡＷデバイス。
【請求項３】
前記幅と前記周期との前記比は、０．５＋（ｐ／ｐ$_{ref}$－１）に等しい請求項２に記載のＰＢＡＷデバイス。
【請求項４】
前記基板はニオブ酸リチウム（ＬｉＮｂＯ$_3$）を含む請求項１に記載のＰＢＡＷデバイス。
【請求項５】
前記誘電体オーバーコートは酸化シリコン（ＳｉＯｘ）を含む請求項１に記載のＰＢＡＷデバイス。
【請求項６】
前記共振器の電気機械結合係数は約１６％である請求項１に記載のＰＢＡＷデバイス。
【請求項７】
前記基板のＹ－回転は１８～２４°である請求項１に記載のＰＢＡＷデバイス。
【請求項８】
前記電極は、金（Ａｕ）、銅（Ｃｕ）あるいはタングステン（Ｗ）を含む請求項１に記載のＰＢＡＷデバイス。
【請求項９】
圧電境界波（ＰＢＡＷ）デバイスの基板上に、複数の電極の内のそれぞれが、それぞれの周期に少なくとも部分的に基づいた幅を有する複数の電極を備えた共振器を堆積するステップと、
前記複数の電極と前記基板上に、せん断波速度を有する誘電体オーバーコートを堆積するステップと、
前記誘電体オーバーコート上に、前記誘電体オーバーコートのせん断波速度より大きなせん断波速度を有する付加的な材料を堆積するステップと、
を備え、
前記複数の電極中の電極は、前記電極の材料の測定密度とその材料のせん断弾性率とに少なくとも部分的に基づいた高さを有し、前記電極の前記高さは、
【数２】

$$\frac{\sqrt[4]{\left(\frac{c_m}{c_{ox}}\right)}}{\left(\frac{\Delta_m}{\Delta_{ox}}-1\right)} > h_m > 0.5 * \frac{\sqrt[4]{\left(\frac{c_m}{c_{ox}}\right)}}{\left(\frac{\Delta_m}{\Delta_{ox}}-1\right)}$$

（式中、ｈ$_m$は前記電極の高さ、ｃ$_m$は前記電極のせん断弾性率、ｃ$_{ox}$は前記誘電体オーバーコートのせん断弾性率、Δ$_m$は前記電極の密度、Δ$_{ox}$は前記誘電体オーバーコートの密度）に等しいことを特徴とする方法。
【請求項１０】
前記複数の電極の内のある電極の幅と前記周期との比は、０．５＊（ｐ／ｐ$_{ref}$－１）≦ａ／ｐ－０．５≦１．５＊（ｐ／ｐ$_{ref}$－１）（式中、ｐは前記周期、ａは前記幅、ｐ$_{ref}$は前記ＰＢＡＷデバイスの基準周期）に等しい請求項９に記載の方法。
【請求項１１】
前記電極の前記幅と前記周期との前記比は、０．５＋（ｐ／ｐ$_{ref}$－１）に等しい請求項１０に記載の方法。
【請求項１２】
前記基板はニオブ酸リチウム（ＬｉＮｂＯ$_3$）を含む請求項９に記載の方法。
【請求項１３】

前記誘電体オーバーコートは酸化シリコン（ＳｉＯｘ）を含む請求項９に記載の方法。
【請求項１４】
前記共振器の電気機械結合係数は約１６％である請求項９に記載の方法。
【請求項１５】
前記基板のＹ－回転は１８～２４°である請求項９に記載の方法。
【請求項１６】
前記複数の電極中の電極は、金（Ａｕ）、銅（Ｃｕ）あるいはタングステン（Ｗ）を含む請求項９に記載の方法。
【請求項１７】
電源と、
前記電源に接続された圧電境界波（ＰＢＡＷ）デバイスと、
を備えたシステムであって、前記ＰＢＡＷデバイスは、
基板と、
前記基板の表面に接続され、周期と、少なくとも部分的に前記周期に基づいた幅とを有する第１の電極を備えた第１の共振器と、
前記基板の表面に接続され、前記第１の電極の周期とは異なる周期と、少なくとも部分的に前記周期に基づくが前記第１の電極の前記幅とは異なる幅と、を有する第２の電極を備えた第２の共振器と、
前記基板、前記第１の電極、および前記第２の電極上に配置され、せん断波速度を有する誘電体オーバーコートと、
前記誘電体オーバーコート上に配置され、前記誘電体オーバーコートのせん断波速度より大きなせん断波速度を有する付加的な材料と、
を備え、
前記第１の電極の高さは、
【数３】

$$\frac{\sqrt[4]{\left(\frac{c_m}{c_{ox}}\right)}}{\left(\frac{\Delta_m}{\Delta_{ox}}-1\right)} > h_m > 0.5 * \frac{\sqrt[4]{\left(\frac{c_m}{c_{ox}}\right)}}{\left(\frac{\Delta_m}{\Delta_{ox}}-1\right)}$$

（式中、h_mは前記第１の電極の高さ、c_mは前記第１の電極のせん断弾性率、c_{ox}は前記誘電体オーバーコートのせん断弾性率、Δ_mは前記第１の電極の密度、Δ_{ox}は前記誘電体オーバーコートの密度）に等しいことを特徴とするシステム。
【請求項１８】
前記第１の電極の前記幅と前記周期との比は、０．５＊（ｐ／p_{ref}－１）≦ａ／ｐ－０．５≦１．５＊（ｐ／p_{ref}－１）（式中、ｐは前記周期、ａは前記幅、p_{ref}は基準周期）に等しい請求項１７に記載のシステム。
【請求項１９】
前記第１の共振器の電気機械結合係数は約１６％である請求項１７に記載のシステム。
【請求項２０】
前記基板のＹ－回転は１８～２４°である請求項１７に記載のシステム。
【請求項２１】
前記第１の電極は、金（Ａｕ）、銅（Ｃｕ）あるいはタングステン（Ｗ）を含む請求項１７に記載のシステム。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
（関連出願の相互参照）
本出願は、２０１２年４月１９日出願の「境界弾性波方法および構成」（米国仮特許出願第６１／６３５，８２１号）の優先権を主張し、その開示全体は、参照によって本明細書に援用される。

【０００２】
実施形態は、ＰＢＡＷフィルタとも呼ばれる圧電境界波（ＰＢＡＷ：piezoelectric boundary acoustic wave）デバイスに関し、より具体的には、無線通信用の無線周波数（ＲＦ）フィルタリング用途用の、高い電気機械結合と低スプリアス応答と所望の周波数温度特性とを有する圧電境界波デバイスに関する。
【背景技術】
【０００３】
ＰＢＡＷデバイスは、高い電気機械結合係数を有する圧電基板上に構築された共振器型構造によって得られるその小型化と低挿入損失により、無線通信システムに好適に用いられる。
【０００４】
ＰＢＡＷデバイスが、比較的広範囲の周波数に亘って、滑らかな周波数応答を有することは一般的に望ましいものであり得る。しかしながら、ＰＢＡＷデバイスが、その周波数応答が歪められる「スプリアス」モードを有する場合もある。この場合、比較的狭い周波数帯に対して、ＰＢＡＷデバイスの周波数応答が相対的に上昇あるいは低下し得る。スプリアスモードによって、比較的狭い周波数範囲に亘って、予測不能な結果や大きな偏差が生じ得るため、こうしたＰＢＡＷデバイスは使いにくいものであり得る。
【図面の簡単な説明】
【０００５】
本開示の特徴および利点は、例として開示される実施形態に関する以下の詳細な説明と添付図の参照とにより明らかになるであろう。
【０００６】
【図１】種々の実施形態による、ＰＢＡＷデバイス例の横断面図である。
【０００７】
【図２】種々の実施形態による、オイラー角（λ，μ，θ）を示す斜視図である。
【０００８】
【図３】種々の実施形態による、スプリアスモードを有していても有していなくてもよいＰＢＡＷデバイス通過帯域内の電気的応答例を示すグラフである。
【０００９】
【図４】種々の実施形態による、ＰＢＡＷデバイスの通過帯域と阻止帯域、およびフィルタの並列共振器のうちの１つのＢｒｉｌｌｉｏｎ図に対する関係を示す図である。
【００１０】
【図５】種々の実施形態による、銅電極を用いた共振器での共振係数例を示すグラフである。
【００１１】
【図６】種々の実施形態による、銅電極を用いた共振器でのカットオフマージン係数例を示すグラフである。
【００１２】
【図７】種々の実施形態による、銅電極を用いた共振器での結合係数例を示すグラフである。
【００１３】
【図８】種々の実施形態による、銅電極を用いた共振器でのスプリアスモード結合係数例を示すグラフである。
【００１４】
【図９】種々の実施形態による、金電極を用いた共振器での共振係数例を示すグラフである。
【００１５】
【図１０】種々の実施形態による、金電極を用いた共振器での結合係数例を示すグラフである。
【００１６】

【図１１】種々の実施形態による、金電極を用いた共振器でのスプリアスモード結合係数例を示すグラフである。
【００１７】
【図１２】種々の実施形態による、タングステン電極を用いた共振器での共振係数例を示すグラフである。
【００１８】
【図１３】種々の実施形態による、タングステン電極を用いた共振器での結合係数例を示すグラフである。
【００１９】
【図１４】種々の実施形態による、タングステン電極を用いた共振器でのスプリアスモード結合係数例を示すグラフである。
【００２０】
【図１５】種々の実施形態による、電極高さと電極周期との関係例を示すグラフである。
【００２１】
【図１６】種々の実施形態による、デューティファクタが４０％の金電極を用いた共振器でのスプリアスモード結合係数例を示すグラフである。
【００２２】
【図１７】種々の実施形態による、デューティファクタが４５％の金電極を用いた共振器でのスプリアスモード結合係数例を示すグラフである。
【００２３】
【図１８】種々の実施形態による、デューティファクタが５０％の金電極を用いた共振器でのスプリアスモード結合係数例を示すグラフである。
【００２４】
【図１９】種々の実施形態による、デューティファクタが５５％の金電極を用いた共振器でのスプリアスモード結合係数例を示すグラフである。
【００２５】
【図２０】種々の実施形態による、デューティファクタが６０％の金電極を用いた共振器でのスプリアスモード結合係数例を示すグラフである。
【００２６】
【図２１】種々の実施形態による、１８°ｙ回転－ｘ伝搬基板上の、金電極を用いた共振器での結合係数例を示すグラフである。
【００２７】
【図２２】種々の実施形態による、１８°ｙ回転－ｘ伝搬基板上の、金電極を用いた共振器でのスプリアスモード結合係数例を示すグラフである。
【００２８】
【図２３】種々の実施形態による、２０°ｙ回転－ｘ伝搬基板上の、金電極を用いた共振器での結合係数例を示すグラフである。
【００２９】
【図２４】種々の実施形態による、２０°ｙ回転－ｘ伝搬基板上の、金電極を用いた共振器でのスプリアスモード結合係数例を示すグラフである。
【００３０】
【図２５】種々の実施形態による、２２°ｙ回転－ｘ伝搬基板上の、金電極を用いた共振器での結合係数例を示すグラフである。
【００３１】
【図２６】種々の実施形態による、２２°ｙ回転－ｘ伝搬基板上の、金電極を用いた共振器でのスプリアスモード結合係数例を示すグラフである。
【００３２】
【図２７】種々の実施形態による、２４°ｙ回転－ｘ伝搬基板上の、金電極を用いた共振器での結合係数例を示すグラフである。
【００３３】

【図２８】種々の実施形態による、２４°ｙ回転－ｘ伝搬基板上の、金電極を用いた共振器でのスプリアスモード結合係数例を示すグラフである。
【００３４】
【図２９】種々の実施形態による、金電極を用いた共振器のスプリアスモード結合係数のＹ－回転基板と電極厚みとに対する関係例を示すグラフである。
【００３５】
【図３０】種々の実施形態による、周波数変動とＹ－回転基板との関係例を示すグラフである。
【００３６】
【図３１】種々の実施形態による、結合係数とＹ－回転基板との関係例を示すグラフである。
【００３７】
【図３２】種々の実施形態による、デューティファクタが４０％の金電極を用いた共振器のスプリアスモード結合係数例を示すグラフである。
【００３８】
【図３３】種々の実施形態による、デューティファクタが４５％の金電極を用いた共振器のスプリアスモード結合係数例を示すグラフである。
【００３９】
【図３４】種々の実施形態による、デューティファクタが５０％の金電極を用いた共振器のスプリアスモード結合係数例を示すグラフである。
【００４０】
【図３５】種々の実施形態による、デューティファクタが５５％の金電極を用いた共振器のスプリアスモード結合係数例を示すグラフである。
【００４１】
【図３６】種々の実施形態による、デューティファクタが６０％の金電極を用いた共振器のスプリアスモード結合係数例を示すグラフである。
【００４２】
【図３７】種々の実施形態による、金電極を用いた共振器の電極のデューティファクタとＰＢＡＷデバイスの層厚みとの関係例を示すグラフである。
【００４３】
【図３８】種々の実施形態による、金電極を用いた共振器におけるデューティファクタと電極周期との関係例を示すグラフである。
【００４４】
【図３９】種々の実施形態による、金電極を用いた共振器におけるデューティファクタと電極周期との関係例を示すグラフである。
【００４５】
【図４０】種々の実施形態による、金電極を用いた共振器での、共振周波数のスプリアスフリー範囲の推定例を示すグラフである。
【００４６】
【図４１】種々の実施形態による、金電極を用いた共振器のスプリアスモード結合係数例を示すグラフである。
【００４７】
【図４２】種々の実施形態による、金電極を用いた共振器の周波数係数例を示すグラフである。
【００４８】
【図４３】種々の実施形態による、金電極を用いた共振器の結合係数例を示すグラフである。
【００４９】
【図４４】種々の実施形態による、金電極を用いた共振器のスプリアスモード結合係数例を示すグラフである。

【００５０】
【図４５】種々の実施形態による、金電極を用いた共振器の周波数係数例を示すグラフである。
【００５１】
【図４６】種々の実施形態による、金電極を用いた共振器の結合係数例を示すグラフである。
【００５２】
【図４７】種々の実施形態による、無線通信デバイス例のブロック図である。
【００５３】
【図４８】種々の実施形態による、ＰＢＡＷデバイスの製造プロセス例を示す図である。
（詳細な説明）
【００５４】
以下の詳細な説明では、本明細書の一部を成す添付図面を参照する。図面中、同じ符号は同じ部品を示し、本開示の主題が実施され得る実施形態が例示される。他の実施形態を用いることも可能であり、また、構造や論理的な変更が本開示の範囲を逸脱することなく可能であることは理解されるべきである。従って、以下の詳細な説明は制限的な意味合いで捉えられるものではなく、実施形態の範囲は、添付の請求項およびその均等物によって画定されるものである。
【００５５】
特許請求された主題の理解に最も有用な順番と方法で、種々の操作が複数の別個の操作として説明される。しかしながら、説明の順番は、これらの操作が必ず順番依存であることを示唆するように解釈されるべきでない。これらの操作は、特に提示の順番に行われなくてもよい。記載の実施形態と異なる順番で、記載された操作を行ってもよい。追加の実施形態では、種々の追加の操作を行ってもよく、およびまたは記載の操作を省略してもよい。
【００５６】
本開示の目的のために、「ＡおよびまたはＢ」と「ＡまたはＢ」は、（Ａ）、（Ｂ）または（ＡおよびＢ）を意味する。本開示の目的のために、「Ａ、ＢおよびまたはＣ」は、（Ａ）、（Ｂ）、（Ｃ）、（ＡおよびＢ）、（ＡおよびＣ）、（ＢおよびＣ）または（Ａ、ＢおよびＣ）を意味する。
【００５７】
以下の説明では、「ある実施形態では」または「実施形態では」が使用されるが、これらはそれぞれ、１つまたは複数の同じであっても異なっていてもよい実施形態を指す。また、本開示の実施形態に関して使用される「備える」、「含む」、「有する」などは同意語である。また、本明細書での温度、質量、体積、時間間隔、範囲、その他の測定値、量および数値表現はいずれも、明らかにそうでないことが明記されない限り、近似であり、正確な値あるいは臨界値ではないものと意図されることも理解されるべきである。適切な場合には、測定された、約、実質的に、本質的に、含み、などの慣用の近似や相対用語、程度用語を用いて種々の実施形態を説明することが妥当であり得る。
【００５８】
一部の実施形態では、図３に関して以下に非常に詳しく説明するように、ＰＢＡＷデバイスは、特定の通過帯域を有するフィルタとして作用させてもよい。すなわち、ＰＢＡＷデバイスは、特定の周波数帯の信号を通過させるように作用してもよい。しかしながら、ある場合には上記のように、ＰＢＡＷデバイスの性能に悪影響を及ぼすスプリアスモードが該通過帯域に導入され得る。スプリアスモードは、通過帯域内のバルク弾性波（ＢＡＷ）の放射などの要因によるものであり得る。
【００５９】
具体的には、一部のＰＢＡＷデバイスでは、実質的にスプリアスモードの影響がない広いフィルタ帯域幅を有する大きな結合係数を維持することが困難であり得る。例えば、一部のＰＢＡＷデバイスでは、弾性波の伝搬方向がｘ方向から反れるように共振器を回転さ

せることによって、スプリアスモードを低減し得る。しかしながら、この回転によって、ＰＢＡＷデバイスの結合係数が低減し得る。他のＰＢＡＷデバイスでは、共振器の電極周期の変動のために、ＰＢＡＷデバイスの各共振器に対してスプリアスモードの影響が実質的にない状態を維持することが困難であり得る。

【００６０】

一部の既存のＰＢＡＷデバイスは、携帯電話用途での使用を好適なものとする、好都合なせん断水平偏波（ＳＨ）型境界弾性波を有し得る。ＰＢＡＷデバイスは一般に、例えば、図１に関連して以下に説明する基板と誘電体オーバーコート間などの２つの材料間に配置された、せん断波速度が小さい電極で構成され得る。一部のＰＢＡＷデバイスでは、下記に詳細に説明する電気機械結合係数K^2は０～１６％であり得る。これらのＰＢＡＷデバイスは、ある場合には、３６°～４６°ｙ回転－ｘ伝搬タンタル酸リチウム（$LiTaO_3$）基板で構成され得る漏洩表面弾性波（ＬＳＡＷ）フィルタの正規化帯域幅より０．６７～１．８５倍大きな正規化帯域幅を有し得る。$LiTaO_3$を有するＬＳＡＷフィルタは、ＬＴ－ＬＳＡＷフィルタとも呼ばれ得る。さらに、一部のＰＢＡＷデバイスの周波数温度特性（ＴＣＦ）は、０～約－２５ｐｐｍ／℃あり得る。

【００６１】

しかしながら、上記のＰＢＡＷデバイスの一部のものには、基板の表面あるいは基板の層間の界面に誘導され得る種々の分極モードが存在するという問題があり得る。これらの種々の音響形波動（acoustic mode）はＰＢＡＷデバイスの通過帯域に存在し得、上記のように、スプリアス歪みを誘導し得る。上記した現在のＰＢＡＷデバイスの構成では、スプリアスフリーな通過帯域を有するフィルタは構成し得ない。既存のＰＢＡＷデバイスがそのように制限されている理由の１つは、それらが一般的にそうであるように、電極厚みとオーバーコート厚みとが固定され、電極周期が数パーセント以上変動すると、スプリアス応答が少なくとも一部の共振器で出現し得るためである。

【００６２】

本開示の実施形態は、ＰＢＡＷデバイスのスプリアス応答を低減あるいは除去するように、より好適に構成され得る。実施形態では、該デバイス上の共振器の電極のデューティファクタを共振器の電極周期に基づいて調節することにより、ＰＢＡＷデバイスのスプリアスモードを抑制し得る。具体的には、より大きな周期の電極を有する共振器のデューティファクタはより大きくしてもよく、より小さな周期の電極を有する共振器のそれはより小さくしてもよい。この方法でスプリアスモードを制御することによって、もたらされるＰＢＡＷデバイスは、とりわけ、潜在的なハーメチックパッケージ、ベアダイとほぼ同様のサイズ、低温度ドリフト、下記に詳細に説明するように、約１６％のK^2と同様の比較的大きな結合係数およびスプリアスフリーな広通過帯域などの利点を有し得る。

【００６３】

まず図１を参照して、ＰＢＡＷデバイス１０は、弾性波を伝搬させるための単結晶圧電基板などの基板１２を備えていてもよい。実施形態では、基板１２の表面２２上の第１電極パターン１８および第２電極パターン２０によって、第１共振器１４および第２共振器１６を形成してもよい。ＰＢＡＷデバイス１０は、正の周波数温度特性（ＴＣＦ）を有する誘電体オーバーコート２４を備えていてもよい。実施形態では、誘電体オーバーコート２４は、厚みh_{ox}２６を有してもよく、酸化シリコン（SiO_2）で構成してもよい。他の実施形態では、誘電体オーバーコート２４は他の誘電材料であってもよい。図１に示したＰＢＡＷデバイス１０などの実施形態では、第１共振器１４と第２共振器１６は音響経路（acoustic path）を共有してもよい。しかしながら、２個以上の共振器を有するＰＢＡＷデバイスの他の実施形態では、共振器は音響経路を共有しなくてもよい。

【００６４】

実施形態では、誘電体オーバーコート２４は、共振器１４と共振器１６の電極３０および電極３０ａ間およびそれらの上にあってもよい。共振器１４は、電極周期２８（ｐ１とも呼ぶ）を有していてもよく、それは、電極３０の幅３２（ａ１とも呼ぶ）と隣接する電極３０間のスペースとを示し得る。共振器１６は、第１共振器１８と共に誘電体オーバー

コート２４を共有し、電極周期２８Ａ（ｐ２とも呼ぶ）と、電極幅が３２Ａ（ａ２とも呼ぶ）の電極３０Ａとを有する。実施形態では、電極３０などの電極は高さh_mを有してもよい。

【００６５】

実施形態では、銅（Ｃｕ）、金（Ａｕ）およびタングステン（Ｗ）電極が説明され得るが、それらが電極３０あるいは３０Ａと同様であってもよい。特定の電極の態様を説明する場合、その材料は上記のものの内の１つで表示され得る。一般的な電極の態様を説明する場合、その材料は「ｍ」で表示され得る。例えば、h_mは一般的な電極の高さであってもよく、h_{cu}は銅電極の高さを指していてもよい。h_mの例は、一般的な電極３０および３０ａの高さについて議論する図１に見られ得る。同様に、表示「ｏｘ」は、誘電体オーバーコート２４を指すために使用され得る。その例として、h_{ox}２６が図１に見られ得る。

【００６６】

他の実施形態では、ＰＢＡＷデバイス１０は、単独の共振器、例えば、共振器１４または共振器１６だけを備えていてもよい。あるいは、実施形態によっては、図４９に関してさらに詳細に説明するように、それぞれ関連する電極周期と幅を有する３個以上の共振器を備えていてもよい。実施形態では、ＰＢＡＷデバイス１０は、誘電体オーバーコート２４を覆う付加的な材料４０をさらに備えていてもよい。実施形態では、窒化ケイ素（Si_3N_4）、窒化アルミニウム（ＡｌＮ）およびまたは他の材料で付加的な材料４０を構成してもよい。実施形態では、誘電体オーバーコート２４より大きなせん断波速度を有するように、付加的な材料４０を特定的に選択してもよい。付加的な材料４０を通過するより大きなせん断波速度を有することにより、付加的な材料４０の頂面４２上の音響運動（acoustic motion）を抑制し得る。実施形態では、付加的な材料４０は、図１に示すように平坦であってもよいが、他の実施形態では、丸みを帯びているなどの他の形状であってもよい。

【００６７】

図４８は、ＰＢＡＷデバイス１０などのＰＢＡＷデバイスの製造方法を示す。４８００において、基板１２などの基板をまず堆積してもよい。次に４８１０において、電極３０または３０Ａなどの１つまたは複数の電極を基板１２の表面２２上に堆積してもよい。電極堆積後に、４８２０において、誘電体オーバーコート２４などの誘電体オーバーコートを、実質的に電極３０と３０Ａおよび基板１２上に堆積してもよい。最終的に４８３０において、付加的な材料４０を誘電体オーバーコート上に堆積してもよい。該堆積ステップの１つまたは複数を、これに限定されないが、ラミネーション、スプレー、エッチングなどを含む任意の手段または方法を用いて行なってもよく、また、これらのステップは、フォトレジスト層、ソルダレジスト層あるいは他の層の１つまたは複数の使用を含んでいてもよい。

【００６８】

種々の実施形態では、ＰＢＡＷデバイス１０の効率的な作動が促進されるように、電極周期２８と２８Ａおよび電極幅３２と３２Ａ間の関係を特定的に構成してもよい。効率的な作動とは、例えば、高い電気機械結合係数、低減された周波数温度係数（ＴＣＦ）、およびまたは堅調なスプリアスモードの抑制などの発揮が含まれ得る。一部の実施形態では、電極幅３２と電極周期２８との関係は、各電極周期２８（例えばｐ１）が電極の幅と周期とのそれぞれの比（例えばａ１／ｐ１）と関連するものであってもよい。電極の幅と周期との比を「デューティファクタ」と呼んでもよい。したがって、例えば、ある実施形態は、それぞれが電極の幅と周期とのそれぞれの比に関連した複数の異なる電極周期を有する電極を備えていてもよい。図１に示す実施形態は一般に、共通の電極周期２８および２８Ａと幅３２および３２Ａとを有する電極３０および３０Ａを備えた２つの共振器１４および１６を示す。しかしながら、他の実施形態は、異なる数の共振器を有していてもよく、その中の１つまたは複数が異なる電極周期およびまたは電極幅を有していてもよい。

【００６９】

一部の実施形態では、以下に詳細に説明するように、基板１２はｙ－回転であってもよい。図２は、ｙ－回転に対する参照を提供し得るオイラー角の例を示す。これらの実施形態では、せん断波はｘ－方向に伝搬し得る。一部の実施形態では、基板１２をｙ回転－ｘ伝搬ニオブ酸リチウム（ＹＸ－ＬＮ）基板と呼んでもよいが、上記のように、他の実施形態では、基板１２は他の成分、材料あるいは化合物であってもよい。

【００７０】

上記のように一部の実施形態では、ＰＢＡＷデバイス１０には、例えば図３に見られるように、バンドパス応答内にスプリアスモードが存在するという問題があり得る。実施形態では、電極厚みｈ$_m$と誘電体オーバーコート厚みｈ$_{ox}$が固定された場合、スプリアスモードが生じ得るが、電極周期は、ＰＢＡＷデバイス１０の共振器間で変動する。ライン５０は、ＰＢＡＷデバイス１０内のスプリアスモードの応答として、バンドパスフィルタ中の鋸歯状パターンの存在を示す。該スプリアスモードによって、ある周波数、例えば図３の約９２８ＭＨｚにおいて、ＰＢＡＷデバイス１０中の信号応答が著しく低下し得る。対照的に、ライン５５は、スプリアスモードが抑制されているＰＢＡＷデバイス１０のより好適な応答を示す。スプリアスモードが抑制されている場合、フィルタ応答はより滑らかであり、より予測可能であることが分かるであろう。実施形態では、ライン５５で示されるような、ある程度の抑制は、本明細書でさらに詳細に説明されるように、電極厚みと誘電体オーバーコート厚みを適切に選択し組み合わせることによって実現され得る。

【００７１】

図４９は、ＰＢＡＷ１０などのＰＢＡＷ４９００のハイレベルな例を示す。実施形態では、ＰＢＡＷ４９００は、共振器１４または１６と同様なものであり得る直列共振器４９０５や、共振器１４または１６と同様なものであり得る並列共振器４９１０などの数個の共振器を有していてもよい。一般に、直列共振器４９０５のそれぞれは、同様の電極周期およびまたは周波数特性を有していてもよい。同様に、並列共振器４９１０のそれぞれは、同様の電極周期およびまたは周波数特性を有していてもよい。ここでは、ある数および構成の直列共振器４９０５と並列共振器４９１０が示されているが、他の実施形態は、違った数及び構成の直列および並列共振器４９０５および４９１０を備えていてもよい。

【００７２】

実施形態では、共振器のそれぞれは、共振周波数ｆ$_R$および反共振周波数ｆ$_A$を有していてもよい。実施形態では、並列共振器４９１０はすべて、互いに同様の共振周波数および反共振周波数を有していてもよく、直列共振器４９０５はすべて、互いに同様の共振周波数および反共振周波数を有していてもよい。実施形態では、直列共振器のｆ$_R$およびｆ$_A$間の差は、並列共振器のｆ$_R$およびｆ$_A$間の差とほぼ等しくてもよい。一部の実施形態では、並列共振器のｆ$_A$は、直列共振器のｆ$_R$とほぼ等しくてもよい。

【００７３】

図４は、上部スカート（skirt）（２＊ｆ$_A$－ｆ$_R$）と下部スカートｆ$_R$とを有するＰＢＡＷデバイス１０のスプリアスモードフリーな通過帯域６０の例を示す。図４では、図示のように、ｆ$_A$およびｆ$_R$は、例えば並列共振器４９１０などの、１つまたは複数の並列共振器の反共振周波数と共振周波数に対応していてもよい。一部の実施形態において、ここでは（２＊ｆ$_A$－ｆ$_R$）で表される並列共振器の上部スカートは、例えば直列共振器４９０５などの、ＰＢＡＷデバイス１０の直列共振器に対してはｆ$_A$と表示してもよい。

【００７４】

図４は、フィルタの下部スカートを形成する並列共振器４９１０に対するブリルアン（Ｂｒｉｌｌｏｕｉｎ）領域例も示す。ブリルアン領域の波数はＤで表わされる。図４では、ＰＢＡＷデバイス１０のブリルアン領域阻止帯域６５の例を示す。阻止帯域６５はＩｍ（Ｄ）で表示され、下部阻止帯域端ｆ$_R$と上部阻止帯域端ｆ$_U$間に存在する。図４では、阻止帯域６５のわずかに上方に、基板内に下方へ伝搬するＢＡＷ内にＰＢＡＷが散乱することで形成されるカットオフ周波数ｆ$_B$が示される。

【００７５】

実施形態では、通過帯域６０の上部スカート（２＊ｆ$_A$－ｆ$_R$）が、ＰＢＡＷデバイス

カットオフf_Bおよび上部阻止帯域端f_Uより小さいことが望ましいものであり得る。例えば、上部スカート（$2*f_A-f_R$）をＰＢＡＷデバイスカットオフf_Bおよび上部阻止帯域端f_Uより小さく設定することで、ＰＢＡＷデバイス１０の過度の損失およびまたは通過帯域歪を防止あるいは低減してもよい。一般に、通過帯域６０の上部スカート（$2*f_A-f_R$）がＰＢＡＷデバイスカットオフf_Bおよびまたは上部阻止帯域端f_Uのいずれかより大きい場合、ＰＢＡＷデバイス１０にスプリアスモードが導入され得る。

【００７６】

一部の実施形態では、音響エネルギー（acoustic energy）を共振器１４または１６などの共振器内に縦方向に閉じ込めるために、また、阻止帯域の上端に関連するスプリアスモードがＰＢＡＷデバイス１０の通過帯域に出現するのを防止するために、下部スカートを形成する並列共振器の阻止帯域中心f_Cを、これらの同様な共振器の反共振周波数f_Aより大きく設定することも望ましいものであり得る。実施形態では、基板１２のｙ－回転および共振器１４および１６の電極３０および３０Ａのデューティファクタの１つまたは複数に基づいて、f_R、f_A、f_Uおよびf_Bを選択してもよい。実施形態では、カットオフマージンΔf_Cは、$\Delta f_C=f_B-(2*f_A-f_R)$、またはカットオフ周波数$f_B$と上部通過帯域スカート（$2*f_A-f_R$）間の差として定義してもよい。

【００７７】

ここでの実施形態は、有限要素法／境界要素法（ＦＥＭ／ＢＥＭ）あるいは有限要素法／スペクトル領域解析（ＦＥＭ／ＳＤＡ）を用いた分析を適用して、ＹＸ－ＬＮ基板上の所望モードおよびスプリアスモードの挙動を求めるものとして示される。特に、ＦＥＭ／ＢＥＭ方法およびまたはＦＥＭ／ＳＤＡ方法の１つまたは複数を用いて、各モードの結合と速度の依存性を推定してもよい。

【００７８】

以下の図では、説明した曲線（等高線：contour）が示される。一般に、また、そうでないことが明記されない限り、曲線は、図の少なくともｙ軸およびｘ軸上の変数の関数の結果として解釈され得る。少なくとも一部の図では、一点鎖線（－・－・－）は、図中のカットオフマージンが０に近いかまたは０である点を表わす。また、少なくとも一部の図では、破線（－－－）は、スプリアスモードが０かまたは０に近い点を表す。

電極物質

【００７９】

実施形態では、ＰＢＡＷデバイス１０は、電極３０および３０Ａの材料の選択によって、図４に関して上記に説明した通過帯域６０の望ましい特性の少なくとも一部と、その後のスプリアスモード除去または低減と、を達成してもよい。具体的には、共振器の電極の電極高さh_mまたは周期ｐの１つまたは複数を設定すると、次に、電極を構成する材料を変えてもよい。

【００８０】

図５は、一実施形態での、銅電極を用いた共振器での共振係数例を示す。該係数は（f_R*p/v_B）単位で示される。f_Rは共振器の共振周波数、ｐは共振器の銅電極の周期、v_Bは共振器内のバルク波のせん断速度であり、一部の実施形態では、約４，０２９．３ｍ／ｓであり得る。特に、図５の値は、正規化単位または無単位で与えられる。つまり、値０．４は、（h_{ox}/p）単位のオーバーコート厚みとh_{cu}/p単位の電極厚みに対して、バルク波のせん断速度で割った共振周波数／周波数が、０．４、０．４１、０．４２あるいは図５に示す他の数値の１つであり得ることを表す。

【００８１】

図６は、一実施形態での、銅電極を用いた共振器でのカットオフマージン係数例を示す。該係数は（$\Delta f_C*p/v_B$）単位で示される（Δf_C：共振器のカットオフマージン、ｐ：は銅電極の周期、v_B：上記のバルク波速度）。図６に示される値は無単位であり、図５に関連して上記のように解釈される。

【００８２】

図７は、一実施形態での、銅電極を用いた共振器での結合係数K^2例を示す。該係数は

一般にパーセントで表され、１２．５は１２．５％に相当し、１３は１３％に相当する。実施形態では、該パーセントは、K^2の値を１００で割ったパーセントであると解釈されてもよい。つまり、１２．５％はK^2＝０．１２５に相当し得る。実施形態では、結合係数が高いほど望ましく、ＰＢＡＷデバイス１０と銅電極のより望ましい構成に関連し得る。

【００８３】

図８は、一実施形態での、銅電極を用いた共振器でのスプリアスモード結合係数例を示す。該スプリアスモード結合係数はK^2で示され、（log_{10}）単位で表される。言い換えれば、－５の値はlog_{10}（K^2）＝－５、すなわちK^2＝０．０００１として解釈され得る。上記のように、スプリアスモードはＰＢＡＷデバイス１０の性能に悪影響を与え得るため、スプリアスモード結合係数ができるだけ低いことが望ましいものであり得る。

【００８４】

実施形態では、銅電極の密度Δ_{cu}は約８．９４ｋｇ／ｍ^{3}であってもよい。また、銅電極のせん断弾性率c_{cu}は約４８ＧＰａであってもよい。例えば図８では、共振器内の銅電極のh_{cu}／ｐは、h_{ox}／ｐが１．５の時に約０．２５９であることがわかるであろう。

【００８５】

図９は、上記の図５と同様な方法における一実施形態での、金電極を用いた共振器での周波数係数例を示す。同様に、図１０は、上記の図７と同様な方法における一実施形態での、金電極を用いた共振器での結合係数例を示す。同様に、図１１は、上記の図８と同様な方法における一実施形態での、金電極を用いた共振器でのスプリアスモード結合係数例を示す。実施形態では、金電極の密度Δ_{au}は約１９．３ｋｇ／ｍ^{3}であってもよい。また、金電極のせん断弾性率c_{au}は約２７ＧＰａであってもよい。例えば図１１では、共振器内の金電極のh_{au}／ｐは、h_{ox}／ｐが１．５の時に約０．０８５であることがわかるであろう。

【００８６】

図１２は、上記の図５と同様な方法における一実施形態での、タングステン電極を用いた共振器での周波数係数例を示す。同様に、図１３は、上記の図７と同様な方法における一実施形態での、タングステン電極を用いた共振器での結合係数例を示す。同様に、図１４は、上記の図８と同様な方法における一実施形態での、タングステン電極を用いた共振器でのスプリアスモード結合係数例を示す。実施形態では、タングステン電極の密度Δ_wは約１９．２５ｋｇ／ｍ^{3}であってもよい。また、タングステン電極のせん断弾性率c_wは約１６１ＧＰａであってもよい。例えば図１４では、タングステン電極を用いた共振器内の電極のh_w／ｐは、h_{ox}／ｐが１．５の時に約０．１２９であることがわかるであろう。

【００８７】

図５～１４に対する考察から、特に図８、図１１および図１４に対する考察から、スプリアスモードを低減または除去するように、電極厚みを電極周期で除した値h_m／ｐを近似させてもよい。上記のように、h_{ox}が１．５であってもよい実施形態では、h_m／ｐは、

【数１】

$$h_m/p \approx \frac{2*\sqrt[4]{\left(\frac{c_m}{c_{ox}}\right)}}{3*\left(\frac{\Delta_m}{\Delta_{ox}}-1\right)}$$

であってもよい。

【００８８】

実施形態では、c_mは、上記のような金属電極のせん断弾性率であってもよい。c_{ox}は、上記のような誘電体オーバーコート２４のせん断弾性率であってもよい。同様に、Δ

$_m$は金属電極の密度であってもよく、Δ_{ox}は、上記のような誘電体オーバーコート２４の密度であってもよい。実施形態では、c_{ox}は約３２ＧＰａであってもよく、Δ_{ox}は約２．２ｋｇ／ｍ^{3}であってもよい。上記のように、下付きｃｕが銅電極を表し、下付き－ｗがタングステン電極を表し、下付きａｕが金電極を表すように、下付きｍ（x_m）表記を拡張してもよい。図１５は、上記の式と図５～１４の曲線から、より具体的には上記のように、図８、図１１およびまたは図１４の曲線から求められるデータとの典型的な適合度を表わす。

【００８９】

上記のように、上式は、h_{ox}／ｐが１．５の時に最も適用可能である。他の実施形態では、誘電体オーバーコート２４が薄ければ薄いほど、電極は厚くなり得る。言いかえれば、誘電体オーバーコート２４の高さは、共振器内の電極高さに反比例し得、図８、図１１およびまたは図１４を参照して、上式を適切に修正してもよい。

デューティファクタ

【００９０】

実施形態では、電極３０または３０Ａなどの共振器内の電極でのデューティファクタａ／ｐは、ＰＢＡＷデバイス１０における該共振器により生じるスプリアスモードの抑制量に影響し得る。一部の実施形態では、電極高さh_mは、ＰＢＡＷデバイス上の共振器間で不変であってもよい。また、電極周期ｐも同様に、共振器内で、あるいは共振器間で不変であってもよい。従って、デューティファクタを変えてスプリアスモードを抑制し得るように、電極幅を変更してもよい。

【００９１】

図１６は、一実施形態での、金電極を用いた共振器のスプリアスモード結合係数のグラフ例を示す。図８に関する上記の係数と同様に、スプリアスモード結合係数はK^2で示され（log_{10}）単位で表される。図１６に示す実施形態では、金電極のデューティファクタａ／ｐは、０．４０すなわち４０％であってもよい。図１７は同様に、この実施形態ではデューティファクタａ／ｐが０．４５すなわち４５％であり得る金電極を用いた共振器のスプリアスモード結合係数のグラフ例である。図１８は同様に、この実施形態ではデューティファクタａ／ｐが０．５０すなわち５０％であり得る金電極を用いた共振器のスプリアスモード結合係数のグラフ例である。図１９は同様に、この実施形態ではデューティファクタａ／ｐが０．５５すなわち５５％であり得る金電極を用いた共振器のスプリアスモード結合係数のグラフ例である。図２０は同様に、この実施形態ではデューティファクタａ／ｐが０．６０すなわち６０％であり得る金電極を用いた共振器のスプリアスモード結合係数のグラフ例である。

Ｙ－回転の影響

【００９２】

一部の実施形態では、基板１２のｙ－回転は、ＰＢＡＷデバイス１０のスプリアスモードの存在または抑制に同様に影響し得る。図２１は、一実施形態による基板１２などの、１８°ｙ－回転ＹＸ－ＬＮ基板上における金電極を用いた共振器の結合係数のグラフ例である。結合係数は、図７に関する上記の結合係数と同様に解釈され得る。図２２は、一実施形態による基板１２などの、１８°ｙ－回転ＹＸ－ＬＮ基板上における金電極を用いた共振器のスプリアスモード結合係数のグラフ例である。図８に関する上記の係数と同様に、スプリアスモード結合係数はK^2で示され、（log_{10}）単位で表わされる。

【００９３】

図２１と同様に、図２３、図２５および図２７は、一実施形態による基板１２などの、２０°、２２°および２４°ｙ－回転ＹＸ－ＬＮ基板上における金電極を用いた共振器の結合係数のグラフ例である。図２２と同様に、図２４、図２６および図２８は、一実施形態による基板１２などの、２０°、２２°および２４°ｙ－回転ＹＸ－ＬＮ基板上における金電極を用いた共振器のスプリアスモード結合係数のグラフ例である。

【００９４】

図２９は、図２１、図２３、図２５および図２７のデータをまとめたものと理解され得

るグラフ例である。具体的には、図２９は、h_{ox}/pがほぼ０の実施形態における基板１２などの１８°、２０°、２２°および２４°ｙ－回転ＹＸ－ＬＮ基板に対して、ほぼ０に近いスプリアスモード結合係数が実現され得る場合の電極厚み（h_{au}/p）を示す。実施形態では、破線は、スプリアスモード結合係数が０に接近し得る場合の電極厚みの範囲を表わすと解釈され得る。

【００９５】

図３０は、ｈｏｘ／ｐが１にほぼ等しい実施形態における基板１２などのＹＸ－ＬＮ基板における、ｙ－回転の機能としてのＰＢＡＷデバイスに対する正規化周波数係数、例えば、図５に関する上記の正規化周波数係数を示すグラフ例である。具体的には、図４に関する上記のf_B、f_U、$2*f_A-f_R$、f_Aおよびf_Rに対する正規化係数を示す。約０．３９～０．５間の正規化周波数係数からわかるように、ＹＸ－ＬＮ基板のｙ－回転が１８°～２４°間にある実施形態では、通過帯域歪は見られない。ＹＸ－ＬＮのｙ－回転が約２４°より大きい実施形態では、通過帯域歪が見られ得る。一部の実施形態では、該通過帯域歪は、ＰＢＡＷデバイス１０へのスプリアスモードの導入によるものであり得る。

【００９６】

図３１は、金電極を用いた共振器の結合係数、例えば図７に関する上記の結合係数と、ｈｏｘ／ｐがほぼ１の実施形態での基板１２などのＹＸ－ＬＮ基板のｙ－回転との関係を示すグラフ例である。具体的には、図３１には、例えば、図２１、図２３、図２５および図２７に示すような、スプリアスモード結合係数が最小であり得る結合係数が示され得る。

用途

【００９７】

図１を参照して、実施形態では、複数の周期２８および２８Ａそれぞれを有する共振器１４および１６などの広範な共振器を用いて、ＰＢＡＷデバイス１０などのＰＢＡＷデバイスを構成してもよい。実施形態では、共振器１４の周期２８を、共振器１４を備えるＰＢＡＷデバイス１０の共振周波数f_Rに直接に関係付けてもよい。また、ＰＢＡＷデバイス１０の電極周期２８および２８Ａを当デバイスの比帯域幅に比例的に関係付けてもよい。具体的には、ＰＢＡＷデバイスの電極周期２８および２８Ａの変動を、ＰＢＡＷデバイス１０の比帯域幅に比例的に関係付けてもよい。さらに、ＰＢＡＷデバイス１０の帯域幅を、ＰＢＡＷデバイス１０の結合係数、例えば、図７に関する上記の結合係数の１／４～１／２に近似させてもよい。一部の実施形態では、最終的に、１８°～２４°ｙ－回転を有する基板１２などのＹＸ－ＬＮ基板を備えるＰＢＡＷデバイス１０に対して、電極周期２８および２８Ａを少なくとも共振器ごとの比帯域幅と同じ程度に変動させてもよい。ある場合には、この変動は４～８％であってもよい。上記のように、スプリアスモードの結合係数は周期と密接に関係し得るため、ＰＢＡＷデバイスの共振器周期の変動に対して、スプリアスモード抑制を４％～８％に維持することは困難であり得る。

【００９８】

しかしながら、上記のように、ＰＢＡＷデバイス１０の共振器１４または１６などの共振器のデューティファクタ（ａ／ｐ）を変えることによって、図１６～２０に関して上記に議論したように、ＰＢＡＷデバイス１０のほぼスプリアスフリーな応答場所のシフトが生じ得る。一般に、デューティファクタが大きければ大きいほど、相対的により大きな電極周期を有する共振器で、ほぼスプリアスフリーな応答モードが得られ得る。同様に、デューティファクタが小さいほど、相対的により小さな電極周期を有する共振器で、ほぼスプリアスフリーな応答が得られ得る。実施形態では、共振器の周期が変化するにつれて、電極幅を変えることで電極のデューティファクタを変動させてもよい。共振器のデューティファクタを変化させることによって、ＰＢＡＷデバイスの一部のまたはすべての共振器で、ほぼスプリアスフリーな応答を得てもよい。これらの実施形態では、誘電体オーバーコート２４の高さh_{ox}と電極厚みh_mとの比は、ＰＢＡＷデバイスのすべての共振器でほぼ一定であると考えてもよい。

【００９９】
図３２は、一実施形態による、デューティファクタ（ａ／ｐ）が４０％の金電極を用いた共振器の、h_{au}／ｐとh_{ox}／h_{au}の関数としてのスプリアスモード結合係数のグラフ例を示す。図８に関する上記の係数と同様に、該スプリアスモード結合係数はK^2として示され、（log_{10}）単位で表される。同様に、図３３、図３４、図３５および図３６はそれぞれ、種々の実施形態による、デューティファクタ（ａ／ｐ）が４５％、５０％、５５％および６０％の金電極を用いた共振器のスプリアスモード結合係数のグラフ例を示す。図３７は、一実施形態による、４０％、４５％、５０％、５５％および６０％のデューティファクタでほぼスプリアスフリーな応答を得るための、h_{au}／ｐとh_{ox}／h_{au}とを比較したグラフ例によって、図３２～３６のデータをまとめたものである。

【０１００】
一部の実施形態では、共振器の周期、例えば、図１の共振器１４の周期２８を特定することによって、ＰＢＡＷデバイス１０を設計してもよい。これらの実施形態では、共振器１４のデューティファクタ（ａ／ｐ）を特定してもよい。これらの実施形態では、周期対誘電体オーバーコート厚みの関数であるグラフを考慮する方がより便利であり得る。これらの実施形態では、基準周期p_{ref}と基準電極幅a_{ref}を定義してもよい。実施形態では、a_{ref}／p_{ref}は０．５であってもよい。基準周期p_{ref}と基準幅a_{ref}は、共振器１４、ＰＢＡＷデバイス１０または他の値の公称値であってもよい。基準周期p_{ref}および基準幅a_{ref}のデューティファクタは、電極材料高さh_mおよびオーバーコート厚みh_{ox}の共振器に使用された場合に、スプリアス内容がほとんどないか、あるいは全くない応答が得られる５０％であってもよい。

【０１０１】
図３８は、図３７のデータを上記で検討した基準値を用いて説明したものである。具体的には、図３７は上記のように、一実施形態による、４０％、４５％、５０％、５５％および６０％のデューティファクタでほぼスプリアスフリーな応答を得るための、h_{au}／ｐとh_{ox}／h_{au}とを比較したグラフ例によって、図３２～３６のデータをまとめたものである。図３８は、一実施形態による、４０％、４５％、５０％、５５％および６０％のデューティファクタでほぼスプリアスフリーな応答を得るための、ｐ／p_{ref}とh_{ox}／h_{au}とを比較したグラフ例によって、図３２～３６のデータをまとめたものである。図３８では、ほぼスプリアスフリーな応答を得るデューティファクタは、与えられた電極周期では直線に近いことがわかり得る。

【０１０２】
ほぼスプリアスフリーな応答をデューティファクタの関数と考えることによって、ほぼスプリアスフリーな応答でのデューティファクタの周期への公称の依存関係を示す範囲を求めてもよい。具体的には、図３９は、ある実施形態の金電極のデューティファクタ（ａ／ｐ）を正規化周期（ｐ／p_{ref}）の関数とした例を示す。図３９に示すように、一部の実施形態では、ａ／ｐが０．５＋１．０＊（ｐ／p_{ref}－１）にほぼ等しくなるように、デューティファクタは近似し得る。他の実施形態では、ａ／ｐが０．５＋１．２＊（ｐ／p_{ref}－１）にほぼ等しくなるように、デューティファクタは近似し得る。

【０１０３】
追加の実施形態では、基準共振周波数$f_{R,ref}$の例を導入してもよい。この基準共振周波数は、ＰＢＡＷデバイス上に、一部の実施形態ではＰＢＡＷデバイス上の公称の共振器であってもよい共振器の共振周波数であってもよい。実施形態では、正規化周波数f_R／$f_{R,ref}$は、一部の実施形態では図４０に示すように、ほぼスプリアスフリーな応答を得るために、金電極を用いた共振器の正規化基準周期ｐ／p_{ref}と反比例関係を有するように示されてもよい。

【０１０４】
図３９と図４０に関して上記に見られ得るように、デューティファクタの調節によって、金電極を用いた共振器に対して、比帯域幅２５％に亘ってほぼスプリアスフリーな応答が得られ得る。具体的には、ｐ＜p_{ref}の場合、ａ／ｐを０．５＋１．０＊（ｐ／p_r

$_{ef}$－１）に近似させてもよい。また、ｐ＞$ｐ_{ref}$の場合、ａ／ｐを０．５＋１．２＊（ｐ／$ｐ_{ref}$－１）に近似させてもよい。狭い範囲の場合は、デューティファクタの調節でのより単純な近似を用いてもよい。具体的には、ａ－ｐを$ａ_{ref}$－$ｐ_{ref}$に近似させてもよい。これらの近似によって、ＰＢＡＷデバイスの共振器、例えば、ＰＢＡＷデバイス１０の共振器１４および１６はそれぞれ、ほぼ等しい電極間隔（ｐ－ａ）を有していてもよいことが示唆され得る。

【０１０５】

実施形態では、これらのデューティファクタを用いて、金電極の場合にほぼスプリアスフリーな応答を有するＰＢＡＷデバイス１０などのＰＢＡＷデバイスを得てもよい。例えば、一実施形態では、$ｈ_{au}$／$ｐ_{ref}$は０．０８３であってもよい。図４１は、図３９に関する上記の議論のように、$ｈ_{au}$／$ｐ_{ref}$が０．０８３であり、ａ／ｐが０．５＋（ｐ／$ｐ_{ref}$－１）に近似し得る実施形態での、金電極のスプリアスモード結合係数の例を示す。該スプリアスモード結合係数は、図８に関して上記したように、$ｌｏｇ_{10}$スケールで解釈され得る。図４１では、スプリアスモード結合係数を、$ｈ_{au}$／ｐ、$ｈ_{ox}$／$ｈ_{au}$および電極のデューティファクタ（ａ／ｐ）の関数として示す。$ｌｏｇ_{10}$（$Ｋ^{2}$，ｓｐｕｒ）オーダのスプリアスモード結合係数をほぼ≦－４とすることによって、図４１の実質的な部分はほぼスプリアスフリーな応答を示すことが、図４１から分かり得る。

【０１０６】

図４２は、図３９に関する上記の検討のように、$ｈ_{au}$／$ｐ_{ref}$が０．０８３であり、ａ／ｐが０．５＋（ｐ／$ｐ_{ref}$－１）に近似し得る実施形態での、金電極を用いた共振器の正規化周波数係数の例を示す。図４３は、図３９に関する上記の検討のように、$ｈ_{au}$／$ｐ_{ref}$が０．０８３であり、ａ／ｐが０．５＋（ｐ／$ｐ_{ref}$－１）に近似し得る実施形態での、金電極を用いた共振器の結合係数の例を示す。図４３では、該結合係数を、図７に関して上記に検討した結合係数と同様に解釈してもよい。図４１と同様に、図４２および図４３を、$ｈ_{au}$／ｐ、$ｈ_{ox}$／$ｈ_{au}$および共振器のデューティファクタ（ａ／ｐ）の関数として示す。$ｈ_{au}$／$ｐ_{ref}$を約０．０８３とすることにより、約３０％超という実質的に広範囲の周期に亘って、スプリアスモードを抑制し得、$ｈ_{au}$／$ｐ_{ref}$が約０．０８３のフィルタは、スプリアスモード応答をほとんど、あるいは全く示さないことが図４１～４３から分かり得る。

【０１０７】

一方、図４４～４６はそれぞれ図４１～４３と同様であるが、主要な相違点は、図４４～４６が、$ｈ_{au}$／$ｐ_{ref}$が０．０９に近似し得る実施形態を示す点である。図４１～４３と図４４～４６の比較によって、基準電極の相対的な金属厚みが上昇すると、厚みがより薄いオーバーコートに対し、ほぼスプリアスフリーな応答が得られることがわかる。言いかえれば、基準共振器の相対的な金属厚みをオーバーコート厚みに反比例させてもよい。

【０１０８】

上記の一部の実施形態は、金電極を用いた共振器に関して記載されていることに留意されるであろう。しかしながら、他の実施形態では、該電極はさらにあるいはその代替として、銅、タングステンおよびまたは他の適切な材料を含んでいてもよい。一般に、上記および種々の図における式および値を、異なる材料の材料差異を説明するように適切に修正してもよい。

【０１０９】

上記の実施形態の考察によって、ＰＢＡＷデバイスの共振器における電極の厚み、例えばＰＢＡＷデバイス１０における電極３０または３０Ａの厚みを、図１５に関する上記の検討のように、電極密度と弾性率に応じた実験的な関係を用いて一括してもよいことがわかる。具体的には、$ｈ_{m}$を約

【数２】

$$\frac{\sqrt[4]{\left(\frac{c_m}{c_{ox}}\right)}}{\left(\frac{\Delta_m}{\Delta_{ox}}-1\right)} \sim \frac{\sqrt[4]{\left(\frac{c_m}{c_{ox}}\right)}}{2*\left(\frac{\Delta_m}{\Delta_{ox}}-1\right)}$$

の値としてもよい。また、図３０に関して上記したように、ＰＢＡＷデバイス１０の基板１２などのＹＸ－ＬＮ基板のｙ－回転に、通過帯域に生じるＢＡＷ放射により通過帯域歪を与えてもよい。

【０１１０】

実施形態では、ＹＸ－ＬＮ基板のｙ－回転が約１８°～２４°の間にあることが望ましいものであり得る。一部の実施形態では、ｙ－回転の上昇と共にＰＢＡＷデバイスの共振周波数が上昇するように、ＰＢＡＷデバイスの共振周波数を基板のｙ－回転に比例させて、ほぼスプリアスフリーな応答を維持してもよい。

【０１１１】

一部の実施形態では、図３９に関して、またその他で金電極に関して上記したように、共振器の一般的な電極の望ましいデューティファクタａ／ｐは、約０．５＋（ｐ／ｐ$_{ref}$－１）であり得る。一部の実施形態では、望ましいデューティファクタａ／ｐは、約０．５＋０．５＊（ｐ／ｐ$_{ref}$－１）と約０．５＋１．５＊（ｐ／ｐ$_{ref}$－１）の間に存在するように外挿されてもよい。上記の範囲で示されるように、ＰＢＡＷデバイス１０の電極３０または３０Ａなどの電極のデューティファクタを、電極周期２８または２８Ａの上昇と共に上昇させてもよい。一部の実施形態では、ＰＢＡＷデバイスの通過帯域と一致しないスプリアスモード応答を有する共振器についてはこの例外となり得る。

【０１１２】

一部の実施形態による無線通信デバイス４７００を図４７に示す。無線通信デバイス４７００は、アンテナ構造４７０４、デュプレクサ４７０８（ＲＸフィルタ４７１２とＴＸフィルタ４７１３を備える）、電力増幅器（ＰＡ）４７１６、低雑音増幅器（ＬＮＡ）４７１５、トランシーバ４７２０、プロセッサ４７２４、およびメモリ４７２８を有していてもよく、それぞれは少なくとも図示のように接続されている。

【０１１３】

アンテナ構造４７０４は、無線通信により無線周波数（ＲＦ）信号を送受信するために、１つまたは複数のアンテナを備えていてもよい。アンテナ構造４７０４は、アンテナ構造をＬＮＡ４７１５またはＰＡ４７１６に選択的に接続するように作動するデュプレクサ４７０８と接続されていてもよい。発信ＲＦ信号を送信する場合、デュプレクサ４７０８のＴＸフィルタ４７１３は、アンテナ構造４７０４をＰＡ４７１６に接続してもよい。着信ＲＦ信号を受信する場合、デュプレクサ４７０８のＲＸフィルタ４７１２は、アンテナ構造４７０４をＬＮＡ４７１５に接続してもよい。ＲＸフィルタ４７１２およびＴＸフィルタ４７１３は、１つまたは複数の、ＰＢＡＷデバイス１０または４９００などのＰＢＡＷデバイスを備えていてもよい。一部の実施形態では、ＲＸフィルタ４７１２とＴＸフィルタ４７１３は、第１の複数の直列共振器と第２の複数の共振器とを備えていてもよい。ＲＸフィルタ４７１２は、アンテナ４７０４から受信したＲＦシグナルをフィルタリングし、所定のバンドパス内のＲＦ信号部分をトランシーバ４７２０に渡してもよい。

【０１１４】

発信ＲＦ信号を送信する場合、デュプレクサ４７０８は、アンテナ構造４７０４をＰＡ４７１６に接続してもよい。ＰＡ４７１６は、トランシーバ４７２０からのＲＦ信号を受信・増幅して、無線通信のためにアンテナ構造４７０８に供給する。

【０１１５】

プロセッサ４７２４は、メモリ４７２８に記憶されている基本オペレーティングシステムプログラムを実行して、無線通信デバイス４７００の全面的な作動を制御する。例えば、メインプロセッサ４７２４は、トランシーバ４７２０による信号の送受信を制御してもよい。メインプロセッサ４７２４は、メモリ４７２８に存在する他のプロセスおよびプロ

グラムを実行でき、実行プロセスで要求されるように、メモリ４７２８へのまたはそれからのデータの出し入れを行ってもよい。

【０１１６】

トランシーバ４７２０は、プロセッサ４７２４から発信データ（例えば音声データ、ウェブデータ、電子メール、シグナリングデータなど）を受信して、該発信データを表すＲＦ信号を生成してＰＡ４７１６に提供してもよい。反対に、トランシーバ４７２０は、着信データを表わすＲＦ信号をフィルタ４７１２から受信してもよい。トランシーバ４７２０は、該ＲＦシグナルを処理して、さらなる処理のために着信信号をプロセッサ４７２４に送ってもよい。

【０１１７】

種々の実施形態では、無線通信デバイス４７００は、これに限定されないが、携帯電話、ページングデバイス、携帯情報端末、テキストメッセージ装置、ポータブルコンピュータ、デスクトップコンピュータ、基地局、加入者局、アクセスポイント、レーダ、衛星通信装置、あるいは無線でのＲＦ信号送／受信が可能な他の任意の装置であってもよい。

【０１１８】

当業者であれば、無線通信デバイス４７００が例示として与えられ、簡潔性と明白性のために、実施形態の理解に必要な程度に、該デバイスの構成と操作が示され説明されていることを理解するであろう。種々の実施形態では、特別のニーズに応じて、無線通信デバイス４７００に関連する適切な任意のタスクを行う任意の適切な構成要素あるい構成要素の組み合わせが考慮される。また、無線通信デバイス４７００は、実施形態が組込まれたデバイスのタイプを限定するように解釈されるべきではないことも理解される。

【０１１９】

実施形態では、ＰＢＡＷは、基板と；前記基板表面に接続され、周期を有する複数の電極を備え、複数の電極におけるある電極がその電極の周期に少なくとも部分的に基づいた幅を有する共振器と；前記基板および前記共振器に接続されてこれらの上部に配置され、せん断波速度を有する誘電体オーバーコートと；前記誘電体オーバーコートの表面に接続され、前誘電体オーバーコートのせん断波速度より大きなせん断波速度を有する付加的な材料と、を備えていてもよい。実施形態では、前記幅と前記周期との比は、０．５＊（ｐ／p_{ref}－１）≦ａ／ｐ－０．５≦１．５＊（ｐ／p_{ref}－１）に等しくてもよい。式中、ｐは前記周期、ａは前記幅、p_{ref}は前記ＰＢＡＷデバイスの基準周期である。実施形態では、前記幅と前記周期との前記比は、０．５＋（ｐ／p_{ref}－１）に等しくてもよい。実施形態では、前記基板はニオブ酸リチウム（$LiNbO_3$）を含んでいてもよい。実施形態では、前記誘電体オーバーコートは、酸化シリコン（ＳｉＯｘ）を含んでいてもよい。実施形態では、前記共振器の電気機械結合係数は約１６％であってもよい。実施形態では、前記基板のＹ－回転は１８～２４°であってもよい。実施形態では、前記複数の電極中の電極は、前記電極の材料の測定密度とその材料のせん断弾性率とに少なくとも部分的に基づいた高さを有していてもよい。実施形態では、前記電極の高さを

【数３】

$$\frac{\sqrt[4]{\left(\frac{c_m}{c_{ox}}\right)}}{\left(\frac{\Delta_m}{\Delta_{ox}}-1\right)} > h_m > 0.5 * \frac{\sqrt[4]{\left(\frac{c_m}{c_{ox}}\right)}}{\left(\frac{\Delta_m}{\Delta_{ox}}-1\right)}$$

に等しくてもよい。式中、h_mは前記電極の高さであり、c_mは前記電極のせん断弾性率であり、c_{ox}は前記誘電体オーバーコートのせん断弾性率であり、Δ_mは前記電極の密度であり、Δ_{ox}は前記誘電体オーバーコートの密度である。実施形態では、前記電極は、金（Ａｕ）、銅（Ｃｕ）あるいはタングステン（Ｗ）を含んでいてもよい。

【０１２０】

実施形態では、プロセスは、圧電境界波（ＰＢＡＷ）デバイスの基板上に、複数の電極の内のそれぞれが、それぞれの周期に少なくとも部分的に基づいた幅を有する複数の電極を備えた共振器を堆積するステップと；前記複数の電極と前記基板上に、せん断波速度を

有する誘電体オーバーコートを堆積するステップと；前記誘電体オーバーコート上に、前記誘電体オーバーコートのせん断波速度より大きなせん断波速度を有する付加的な材料を堆積するステップと、を備えていてもよい。実施形態では、前記複数の電極の内のある電極の幅と前記周期との比は、０．５＊（ｐ／ｐ$_{ref}$－１）≦ａ／ｐ－０．５≦１．５＊（ｐ／ｐ$_{ref}$－１）に等しくてもよい。式中、ｐは前記周期、ａは前記幅、ｐ$_{ref}$は前記ＰＢＡＷデバイスの基準周期である。実施形態では、前記電極の幅と周期との前記比は、０．５＋（ｐ／ｐ$_{ref}$－１）に等しくてもよい。実施形態では、前記基板はニオブ酸リチウム（ＬｉＮｂＯ$_3$）を含んでいてもよい。実施形態では、前記誘電体オーバーコートは、酸化シリコン（ＳｉＯｘ）を含んでいてもよい。実施形態では、前記共振器の電気機械結合係数は約１６％であってもよい。実施形態では、前記基板のＹ－回転は１８～２４°であってもよい。実施形態では、前記複数の電極の内のある電極は、前記電極の材料の測定密度とその材料のせん断弾性率とに少なくとも部分的に基づいた高さを有していてもよい。実施形態では、前記電極の高さを

【数４】

$$\frac{\sqrt[4]{\left(\frac{c_m}{c_{ox}}\right)}}{\left(\frac{\Delta_m}{\Delta_{ox}}-1\right)} > h_m > 0.5 * \frac{\sqrt[4]{\left(\frac{c_m}{c_{ox}}\right)}}{\left(\frac{\Delta_m}{\Delta_{ox}}-1\right)}$$

に等しくてもよい。式中、ｈ$_m$は前記電極の高さであり、ｃ$_m$は前記電極のせん断弾性率であり、ｃ$_{ox}$は前記誘電体オーバーコートのせん断弾性率であり、$\underline{\Delta_m}$は前記電極の密度であり、$\underline{\Delta_{ox}}$は前記誘電体オーバーコートの密度である。実施形態では、前記複数の電極の内のある電極は、金（Ａｕ）、銅（Ｃｕ）あるいはタングステン（Ｗ）を含んでいてもよい。

【０１２１】

実施形態では、システムは、電源と、前記電源に接続された圧電境界波（ＰＢＡＷ）デバイスとを含んでいてもよい。前記ＰＢＡＷデバイスは、基板と；前記基板の表面に接続され、周期と、少なくとも部分的に前記周期に基づいた幅とを有する第１の電極を備えた第１の共振器と；前記基板の表面に接続され、前記第１の電極の周期とは異なる周期と、少なくとも部分的に前記周期に基づくが前記第１の電極の前記幅とは異なる幅と、を有する第２の電極を備えた第２の共振器と；前記基板、前記第１の電極、および前記第２の電極上に配置され、せん断波速度を有する誘電体オーバーコートと；前記誘電体オーバーコート上に配置され、前記誘電体オーバーコートのせん断波速度より大きなせん断波速度を有する付加的な材料と、を備えていてもよい。実施形態では、前記第１の電極の前記幅と周期との比は、最初の電極の時間に対する最初の電極の幅の比率は、０．５＊（ｐ／ｐ$_{ref}$－１）≦ａ／ｐ－０．５≦１．５＊（ｐ／ｐ$_{ref}$－１）に等しくてもよい。式中、ｐは前記周期、ａは前記幅、ｐ$_{ref}$は基準周期である。実施形態では、前記第１の共振器の電気機械結合係数は約１６％であってもよい。実施形態では、前記基板のＹ－回転は１８～２４°であってもよい。実施形態では、前記第１の電極の高さは、

【数５】

$$\frac{\sqrt[4]{\left(\frac{c_m}{c_{ox}}\right)}}{\left(\frac{\Delta_m}{\Delta_{ox}}-1\right)} > h_m > 0.5 * \frac{\sqrt[4]{\left(\frac{c_m}{c_{ox}}\right)}}{\left(\frac{\Delta_m}{\Delta_{ox}}-1\right)}$$

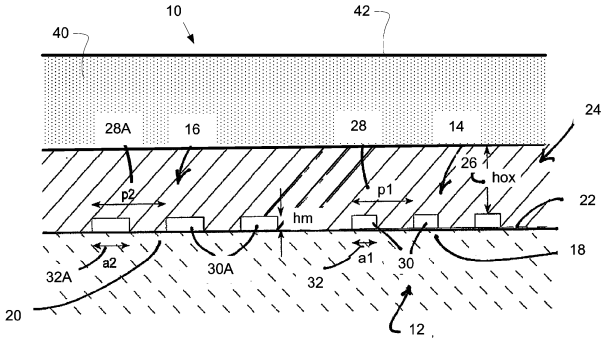
に等しくてもよい。式中、ｈ$_m$は前記第１の電極の高さであり、ｃ$_m$は前記第１の電極のせん断弾性率であり、ｃ$_{ox}$は前記誘電体オーバーコートのせん断弾性率であり、$\underline{\Delta_m}$は前記第１の電極の密度であり、$\underline{\Delta_{ox}}$は前記誘電体オーバーコートの密度である。実施形態では、前記第１の電極は金（Ａｕ）、銅（Ｃｕ）あるいはタングステン（Ｗ）を含んでいてもよい。

【０１２２】

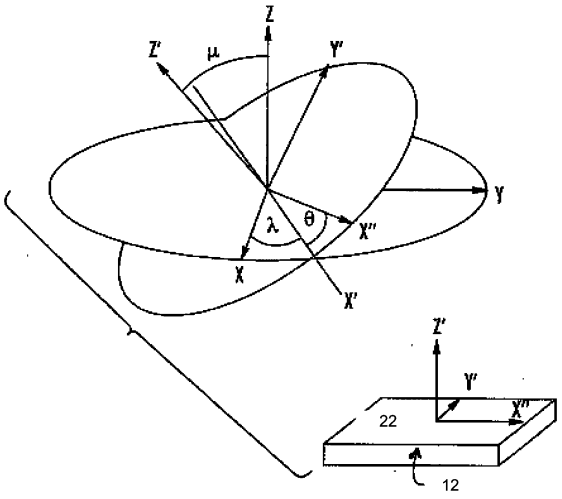
本開示を上記の実施形態の観点から説明したが、当業者であれば、同じ目的を達成する

ように意図された代替となるおよびまたは均等な種々の実施によって、本開示の範囲から逸脱することなく、提示された特定の実施形態が置換され得ることは理解するであろう。当業者であれば、本開示の教示は、広範な実施形態において実施され得ることは容易に理解するであろう。本明細書は、限定するものではなく、例示と見なされるように意図される。

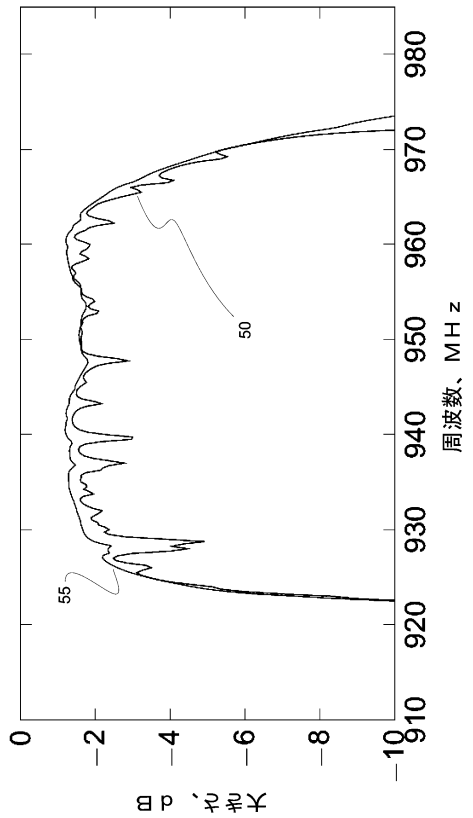
【図１】



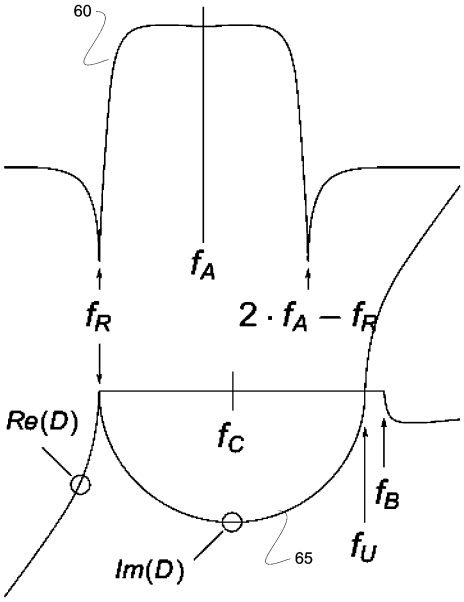
【図２】



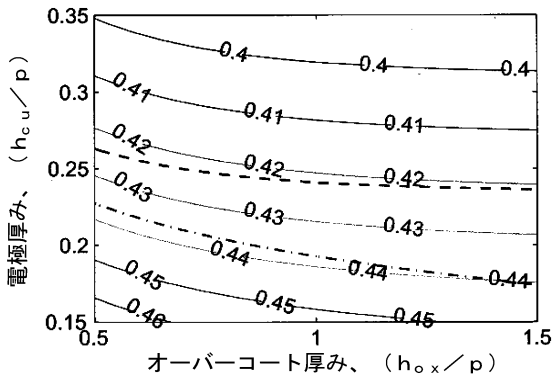
【図３】



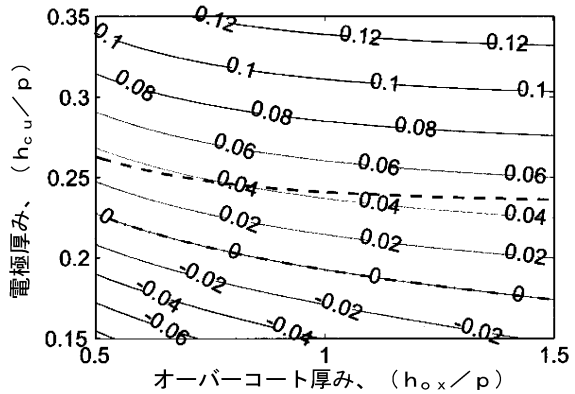
【図４】



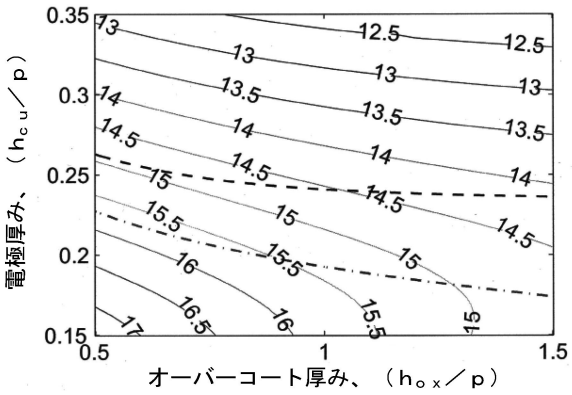
【図５】



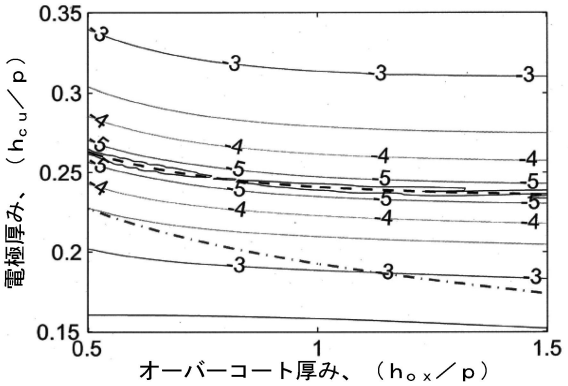
【図６】



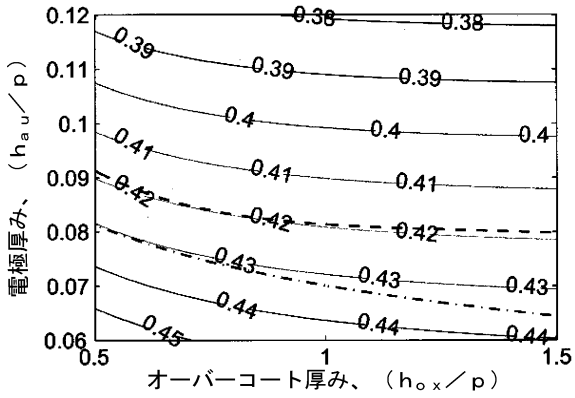
【図７】



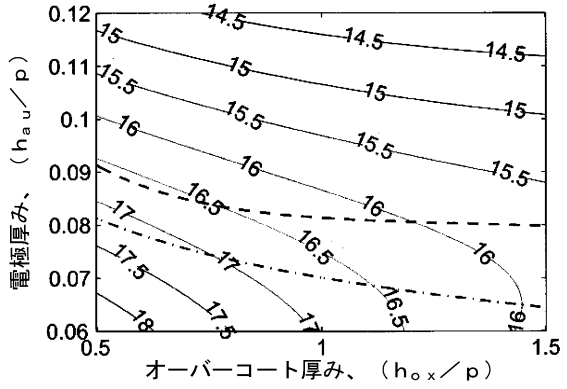
【図８】



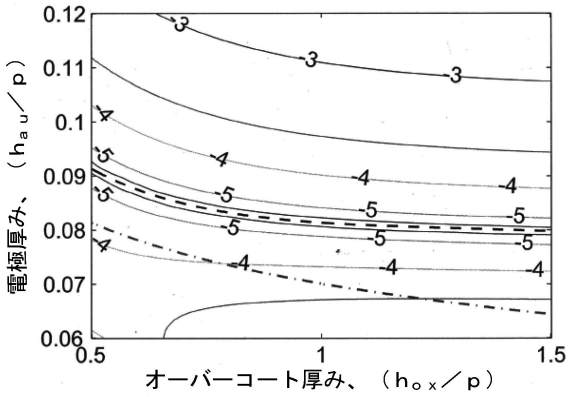
【図９】



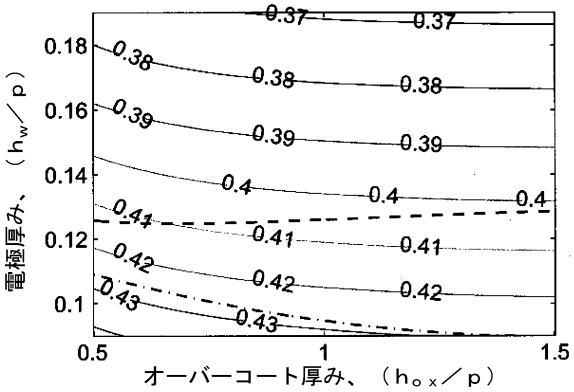
【図１０】



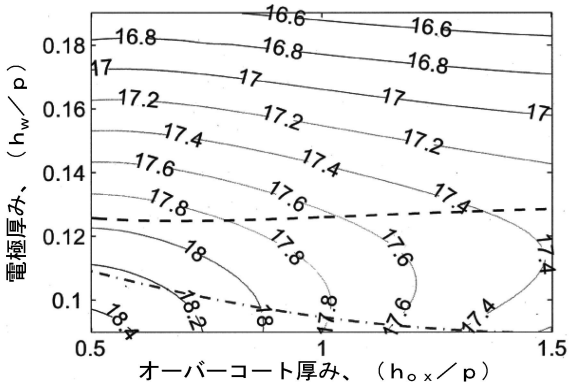
【図１１】



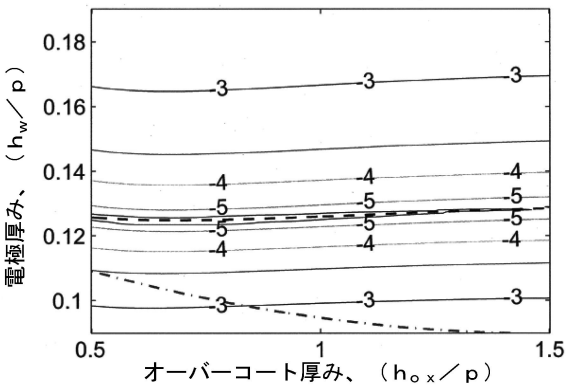
【図１２】



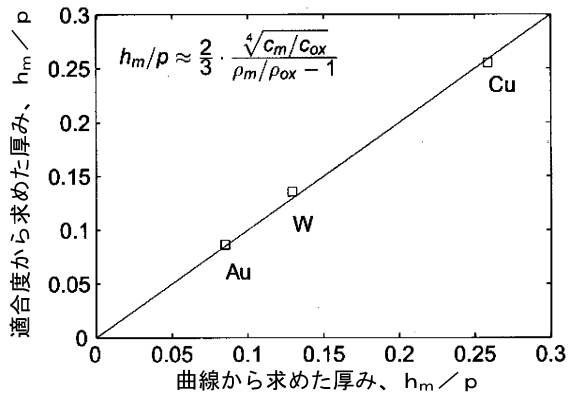
【図１３】



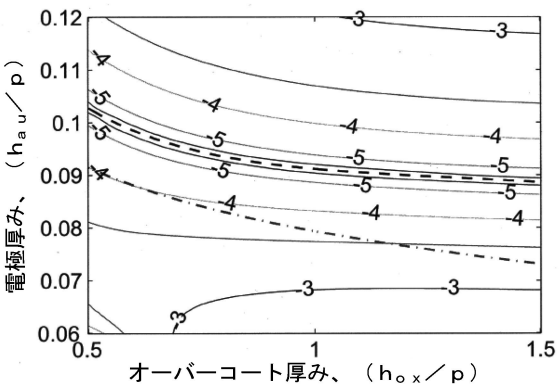
【図１４】



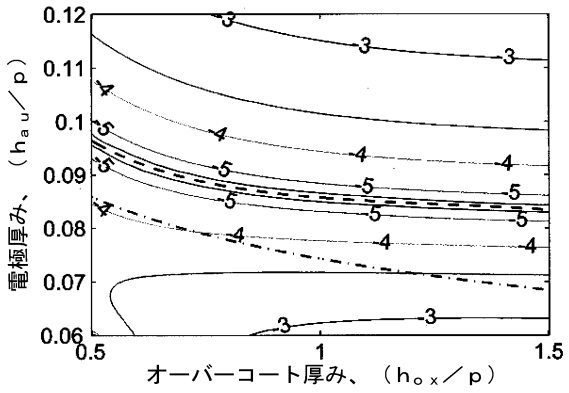
【図１５】



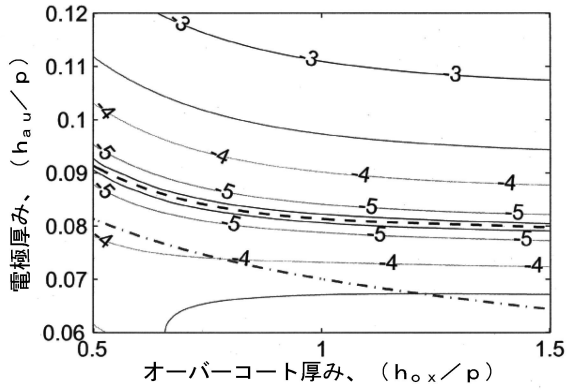
【図１６】



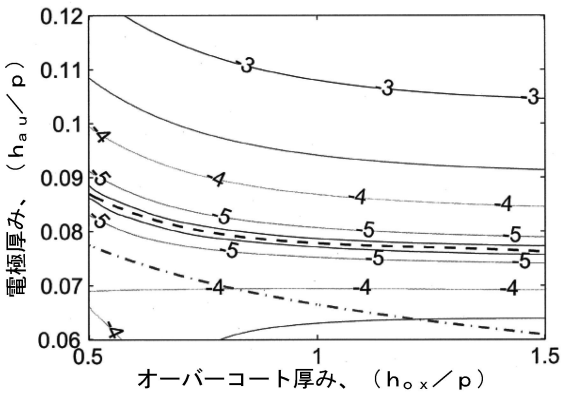
【図１７】



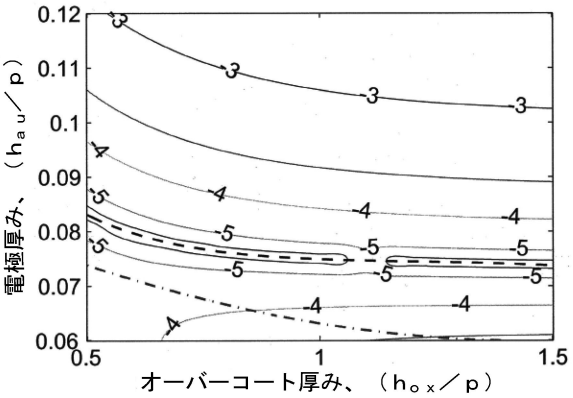
【図１８】



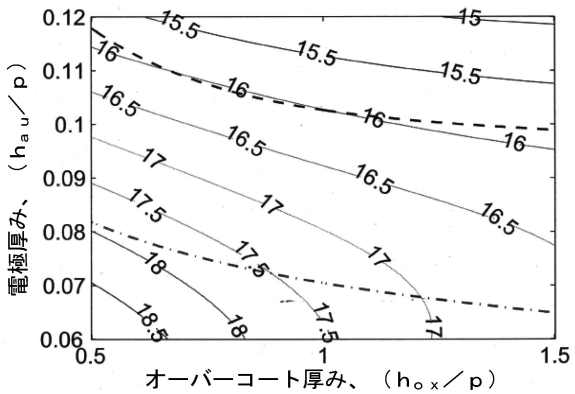
【図１９】



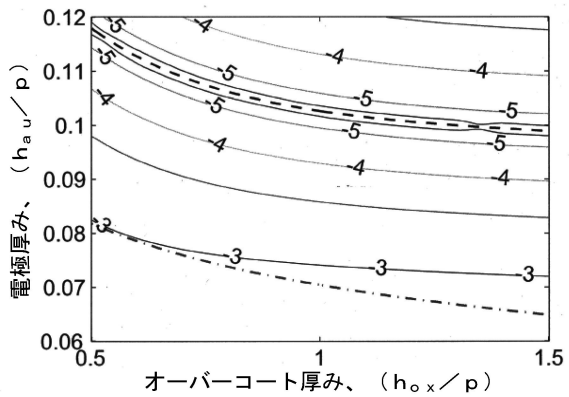
【図２０】



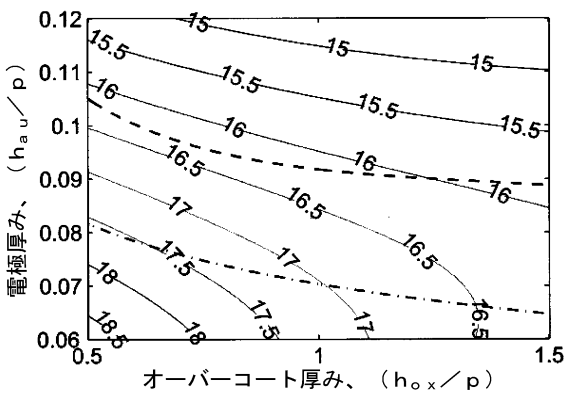
【図２１】



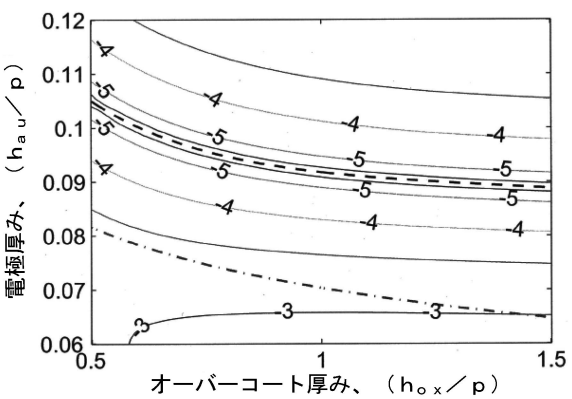
【図２２】



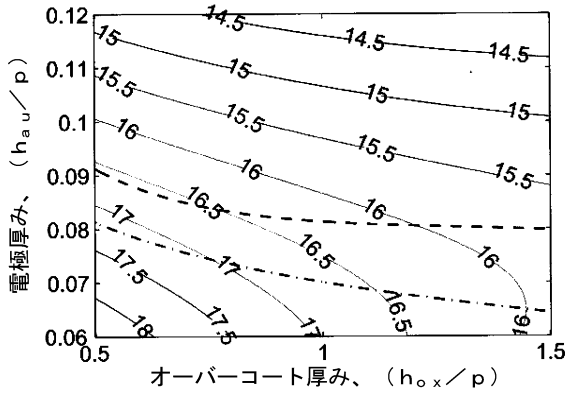
【図２３】



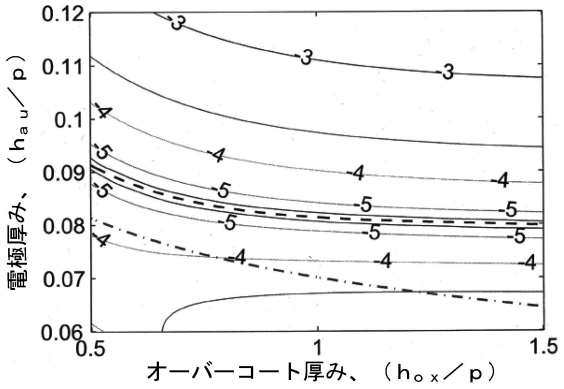
【図２４】



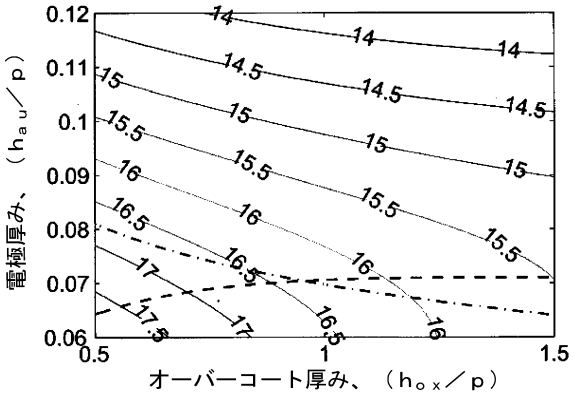
【図２５】



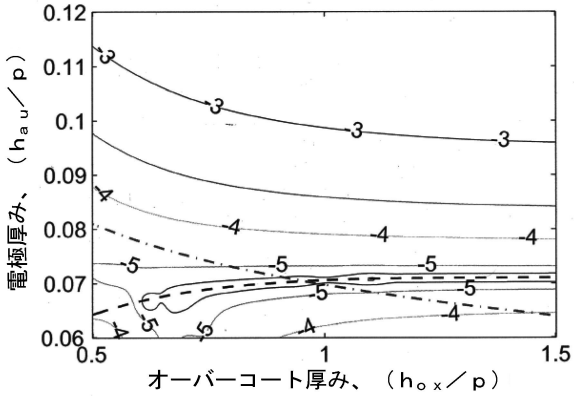
【図２６】



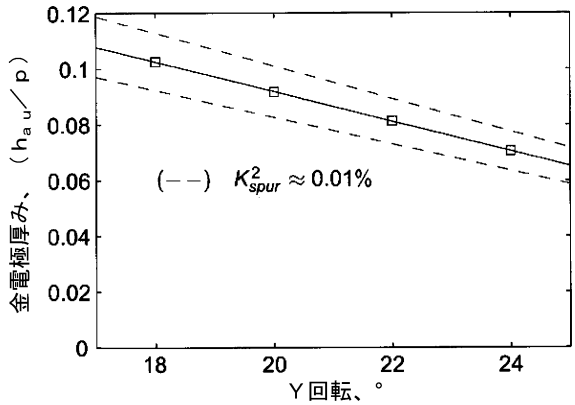
【図２７】



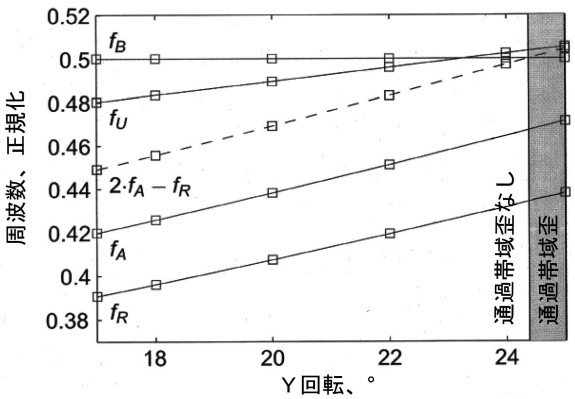
【図２８】



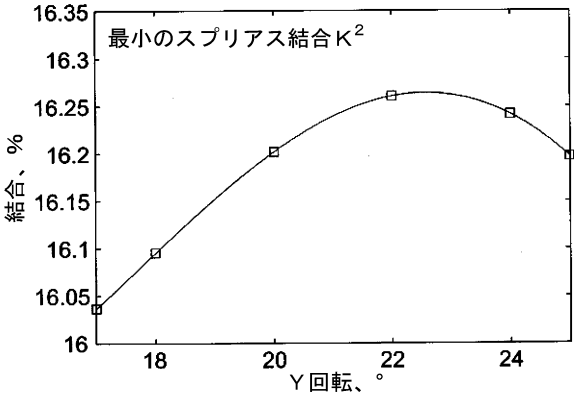
【図２９】



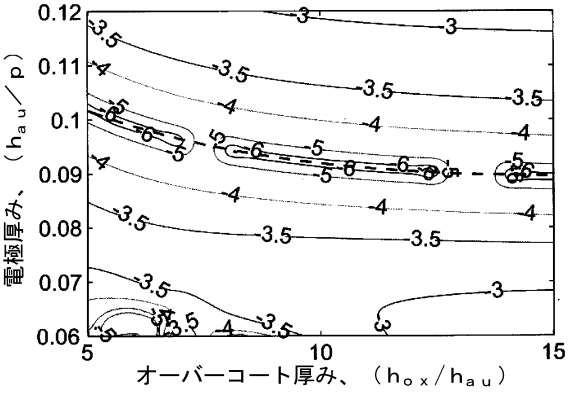
【図３０】



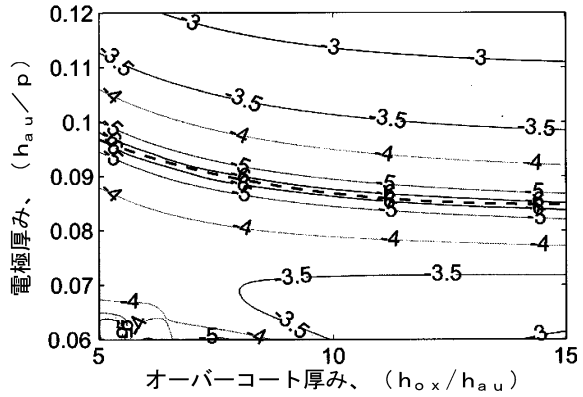
【図３１】



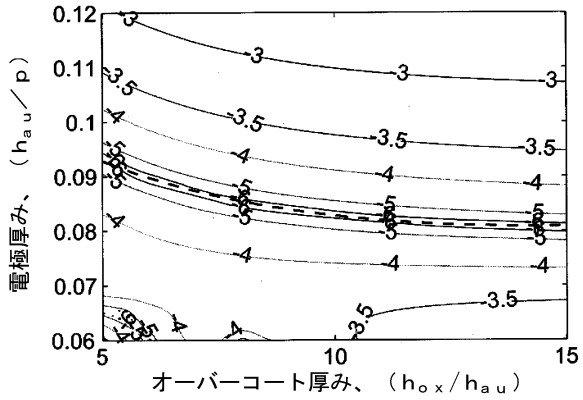
【図３２】



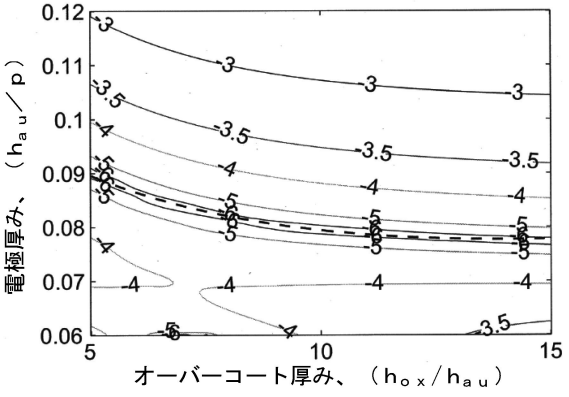
【図３３】



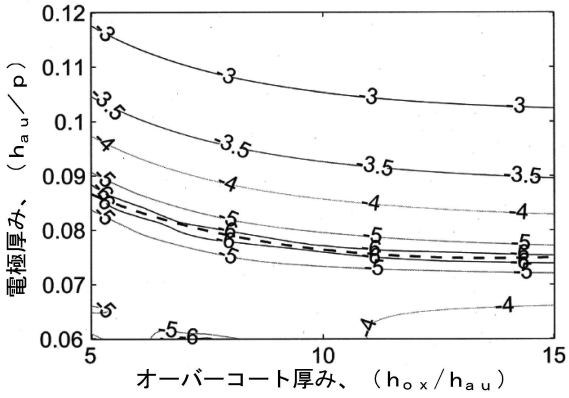
【図３４】



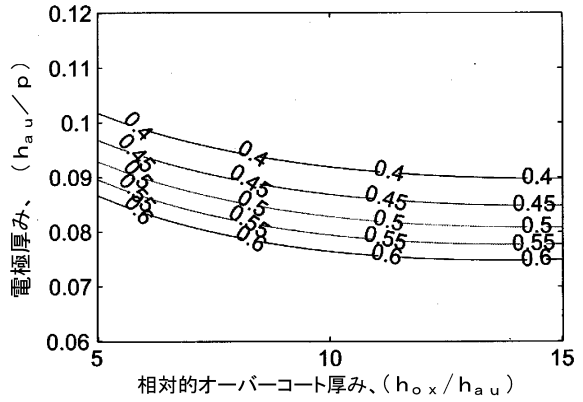
【図３５】



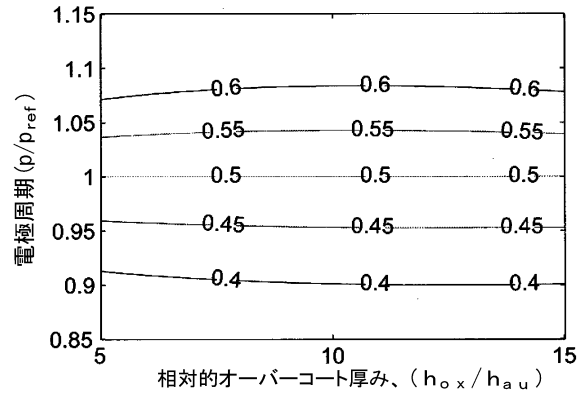
【図３６】



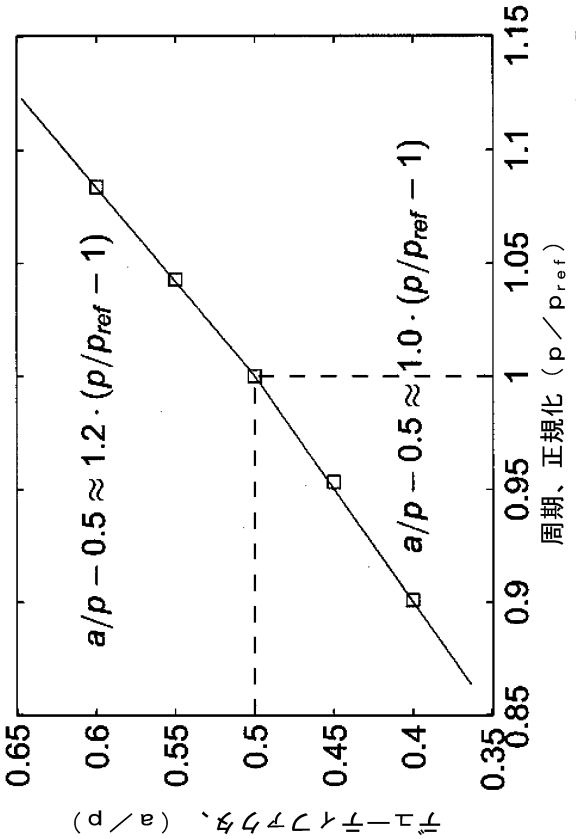
【図３７】



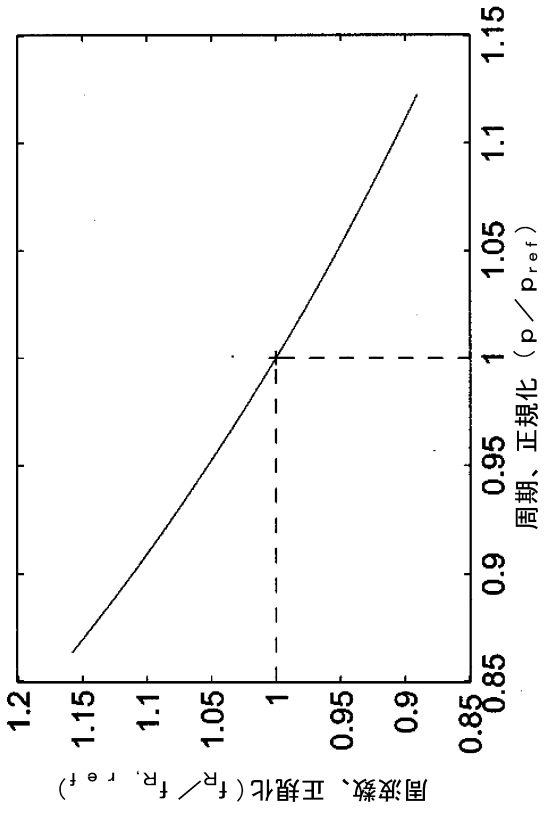
【図３８】



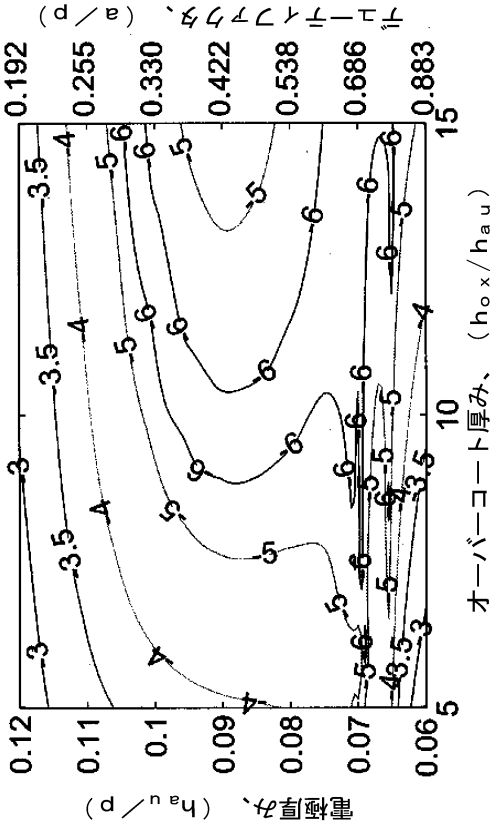
【図３９】



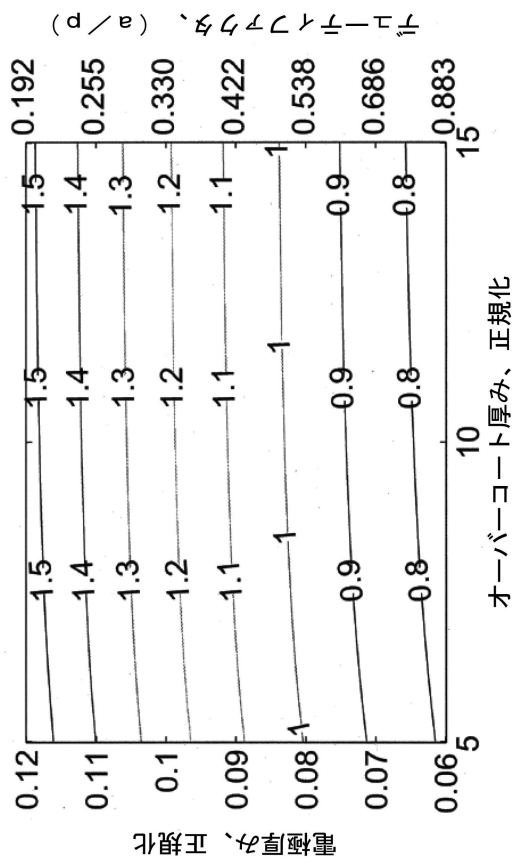
【図４０】



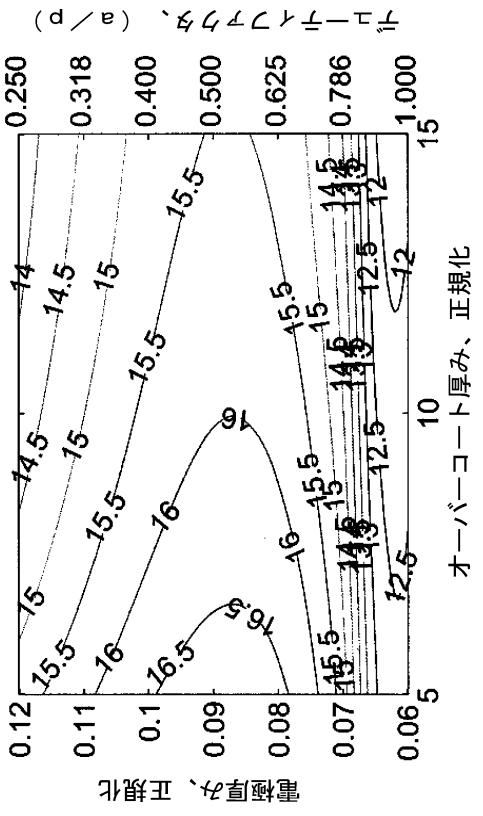
【図４１】



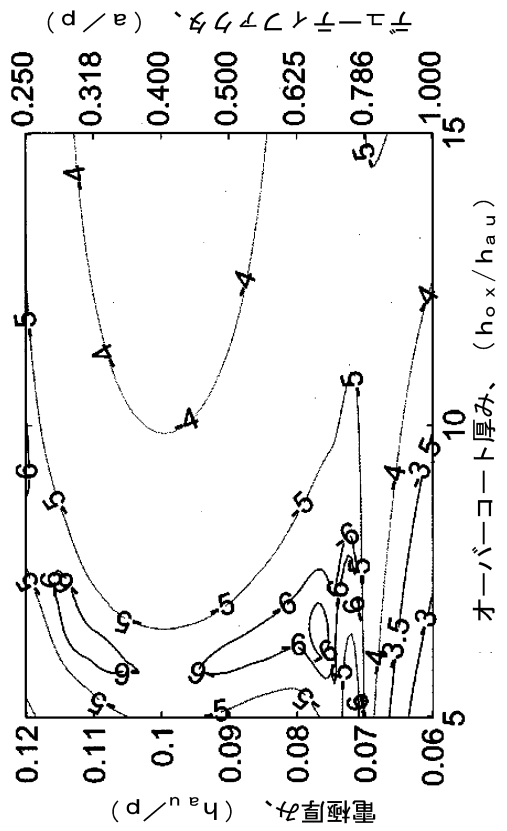
【図４２】



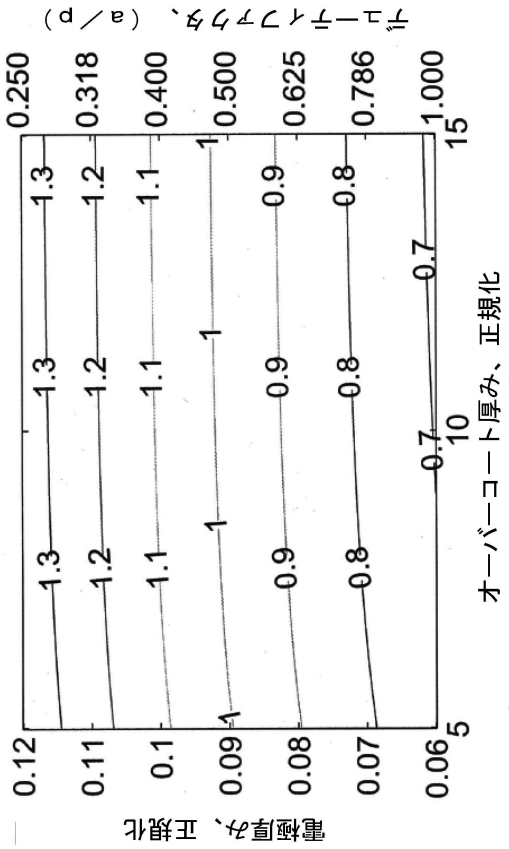
【図４３】



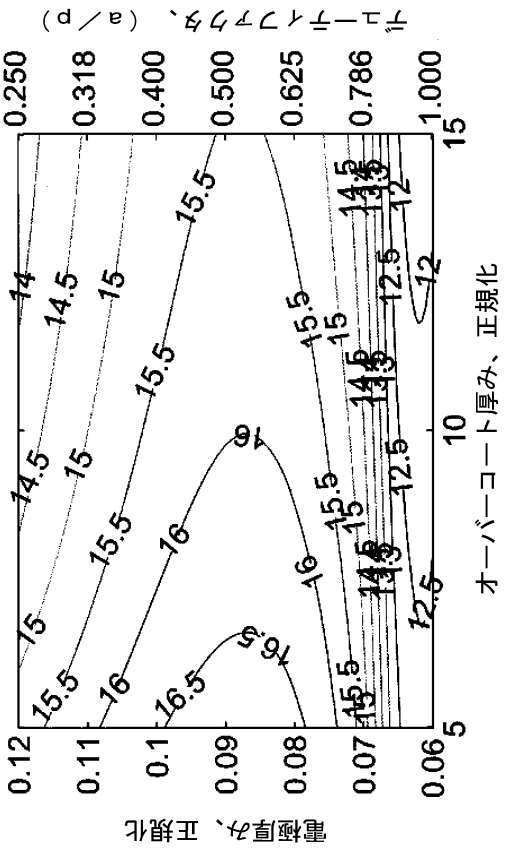
【図４４】



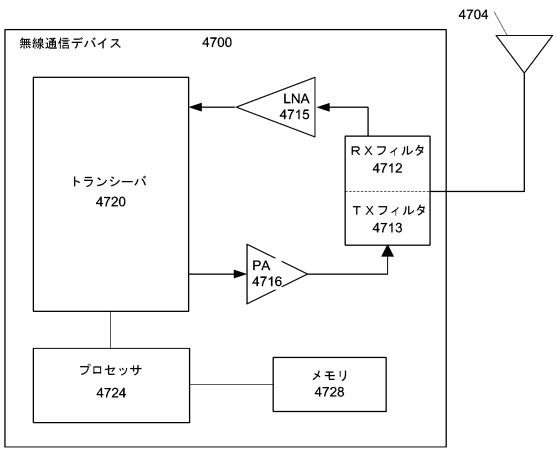
【図４５】



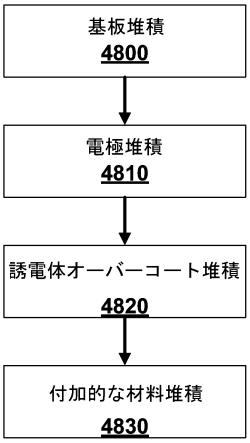
【図４６】



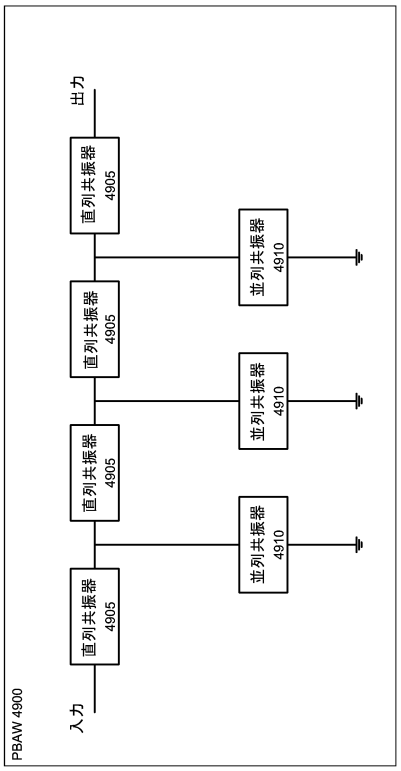
【図４７】



【図４８】


基板堆積
4800
電極堆積
4810
誘電体オーバーコート堆積
4820
付加的な材料堆積
4830

【図４９】


PBAW 4900
入力
出力
直列共振器 4905
直列共振器 4905
直列共振器 4905
直列共振器 4905
並列共振器 4910
並列共振器 4910
並列共振器 4910

フロントページの続き

(72)発明者　ナウメンコ、ナタリア　エフ.
ロシア連邦　モスクワ　１１７４５２　アゾブスカヤ　ストリート　２４－１－５０３
(72)発明者　ソラル、マーク
アメリカ合衆国オレゴン州９７１２４・ヒルスボロ・ノースイーストブルックウッドパークウェイ
２３００

審査官　角張　亜希子

(56)参考文献　国際公開第２００６／１１４９３０（WO，Ａ1）
国際公開第２００９／０２２４１０（WO，Ａ1）
国際公開第２００５／０６００９４（WO，Ａ1）
特開平０８－２５０９６６（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２００５／０９９０９１（WO，Ａ1）
特開２００６－２９５９７６（ＪＰ，Ａ）
特開２００７－２６７３６６（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２０１１／０４０３３２（WO，Ａ1）
国際公開第２０１０／１１６９９５（WO，Ａ1）
特表２０１０－５２１１１４（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０３Ｈ３／０８－３／１０
９／１４５
９／２５
９／４２－９／４４
９／６４
９／６８
９／７２
９／７６