

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7550757号

(P7550757)

(45)発行日 令和6年9月13日(2024.9.13)

(24)登録日 令和6年9月5日(2024.9.5)

(51)国際特許分類	F I			
H 0 3 H	9/25 (2006.01)	H 0 3 H	9/25	C
		H 0 3 H	9/25	Z

請求項の数 7 (全11頁)

(21)出願番号	特願2021-532034(P2021-532034)	(73)特許権者	523171814
(86)(22)出願日	令和1年11月29日(2019.11.29)		アールエフ360・シンガポール・ピー
(65)公表番号	特表2022-511074(P2022-511074		ティーイー・リミテッド
	A)		シンガポール共和国、シンガポール、3
(43)公表日	令和4年1月28日(2022.1.28)		49249、カラン・ウェイ 166
(86)国際出願番号	PCT/EP2019/083119	(74)代理人	110003708
(87)国際公開番号	WO2020/120175		弁理士法人鈴榮特許総合事務所
(87)国際公開日	令和2年6月18日(2020.6.18)	(72)発明者	クナップ、マティアス
審査請求日	令和4年10月31日(2022.10.31)		ドイツ連邦共和国、81671 ミュン
(31)優先権主張番号	102018131946.0	(72)発明者	ヘン、アンジンガー・シュトラッセ 13
(32)優先日	平成30年12月12日(2018.12.12)		ブライル、インゴ
(33)優先権主張国・地域又は機関	ドイツ(DE)	(72)発明者	ドイツ連邦共和国、81671 ミュン
			ヘン、アンジンガー・シュトラッセ 13
		(72)発明者	ハウザー、マルクス
			ドイツ連邦共和国、81671 ミュン
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 薄膜SAWデバイス

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

薄膜SAWデバイスであって、

- キャリア基板(CA)と、
- 前記キャリア基板の上部に配置された周波数温度係数(TCF)補償層(CL)と、
- 圧電層(PL)と、
- 前記圧電層の上部に配置されたIDT電極(EL)と

を備え、機能層(FL)が、前記圧電層と前記TCF補償層との間に配置され、前記機能層は、圧電効果を提供せず、

前記機能層の材料特性は、圧電効果を有することなく、音響速度、密度、及び剛性の観点から、それらが10%を超えて互いにずれないように前記圧電層の材料特性と一致する、薄膜SAWデバイス。

【請求項2】

前記機能層(FL)は、前記圧電層(PL)と同じ材料を備えるが、熱的、機械的、電気的処理、又はイオン衝撃により圧電効果を示さない、

請求項1に記載の薄膜SAWデバイス。

【請求項3】

- 前記圧電層は、厚さdPを有するタンタル酸リチウム(LT)又はニオブ酸リチウム(LN)の単結晶層であり、

- 前記機能層は、同じ材料であるが圧電効果を有することのない結晶層であり、

10

20

- 前記機能層の厚さ d_F について、以下が有効である：

$$0.005d_P \leq d_F \leq 0.50d_P,$$

請求項 1 又は 2 に記載の薄膜 SAW デバイス。

【請求項 4】

前記 TCF 補償層 (CL) よりも高い音速を有する 1 つ以上の追加層が、前記キャリア基板 (CA) と前記 TCF 補償層 (CL) との間に追加される、請求項 1 ~ 3 のうちのいずれか一項に記載の薄膜 SAW デバイス。

【請求項 5】

前記圧電層は、 $400 \sim 700 \text{ nm}$ の厚さ d_P のタンタル酸リチウム (LT) の単結晶層であり、

前記機能層は、同じ材料であるが圧電効果を有することのない結晶 LT 層であり、前記機能層の厚さ d_F は、 $2 \text{ nm} \leq d_F \leq 350 \text{ nm}$ に一致する、

請求項 1 ~ 4 のうちのいずれか一項に記載の薄膜 SAW デバイス。

【請求項 6】

前記 TCF 補償層 (CL) は、 $50 \text{ nm} \leq d_C \leq 500 \text{ nm}$ による厚さ d_C を有する SiO_2 層を備える、請求項 1 ~ 5 のうちのいずれか一項に記載の薄膜 SAW デバイス。

【請求項 7】

薄膜 SAW デバイスを製造する方法であって、

- キャリア基板 (CA) と、
- TCF 補償層 (CL) と、
- 機能層 (FL) と、
- 圧電層 (PL) と、
- 前記圧電層の上部の IDT 電極 (EL) と

を備え、前記方法は、その上面に一体的に形成された機能層 FL を有する圧電ウェハの、前記キャリア基板上に配置された下にある前記 TCF 補償層 CL に対するウェハ接合を備え、

前記機能層の材料特性が、音響速度、密度、及び剛性の観点から、それらが 10% を超えて互いにずれないように前記圧電層の材料特性と一致するように、および前記機能層が圧電効果を提供しないように、前記機能層 (FL) は、イオン注入 (ion implantation)、温度処理 (temperature treatment)、又はレーザー処理によって、ウェハ接合より前に形成される、方法。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

次世代のモバイル通信デバイス (mobile communication device) は、高い電気機械結合係数 (electromechanical coupling factor) k^2 及び低い周波数温度係数 TCF (temperature coefficient of frequency) のような優れた性能及び特性を必要とする。

【0002】

サンドイッチ基板系上に具現化された SAW フィルタデバイスは、サジタル導波効果 (sagittal wave guiding effect) を提供するので、それ自体高い結合係数 (coupling coefficient) を提供する。一般的な多層基板系の層のうちの 1 つは、TCF の低減を提供する SiO_2 層である。故に、そのような SiO_2 層は、TCF 補償層 (compensating layer) として使用され、その厚さ (thickness) は、所望の TCF 低減を達成するために調整されることができる。しかしながら、その補償効果 (compensating effect) は、小さすぎることが多い。その上、貧弱な音響特性のみを有する SiO_2 層のより高い厚さは、より多くのスプリアスモード (spurious mode)、例えば、より高い周波数にある近隣する周波数帯域において妨害共振 (disturbing resonance) を生成するには望ましくないバルク音響モード (bulk acoustic mode) をもたらす。更に、サンドイッチ基板系における高結合 (high coupling) は、より小さい帯域幅を必要とするある帯域にとって不利であり得る。これらの狭帯域では、帯域幅を再低減するためにキャパシタ (capacitor)

10

20

30

40

50

のような外部回路が必要とされる。これは次に、一般的な小型化要件に反するより高い面積消費 (higher area consumption) をもたらす。

【 0 0 0 3 】

故に、 SiO_2 層の層厚さを高めることなく補償された TCF を有する SAW デバイスが必要とされている。

【 技術分野 】

【 0 0 0 4 】

この目的及び他の目的は、独立請求項に記載の薄膜 SAW デバイス (thin film SAW device) 及び製造方法によって解決される。特定の特徴及び有利な実施形態は、従属請求項の主題である。

【 0 0 0 5 】

一般的な考えは、追加の機能層 (functional layer) を備える薄膜 SAW デバイスを提供することである。これは、薄膜 SAW デバイスの圧電層 (piezoelectric layer) の近く又は隣にあり、圧電層の機械的特性 (mechanical property) に非常に類似した機械的特性を有する追加層 (additional layer) であり得る。しかしながら、この機能層は、圧電性 (piezoelectric) ではない。

【 0 0 0 6 】

そのような層は、次いで、優れた音響特性 (acoustic property) を有し、音波 (acoustic wave) は、この機能層において少なくとも部分的に伝搬する。故に、圧電効果 (piezoelectric effect) がなくにより、結合 (coupling)、及び故に電気機械結合係数 k^2 が低減される。これは、狭帯域幅を有する帯域中で、それぞれ狭帯域で動作するように設計された SAW フィルタにとって有利である。さもなければ、帯域幅は、追加の空間及び/又はチップ面積を必要とするであろう外部キャパシタのような回路素子の助けを借りて低減されなければならなかった。その上、そのような外部素子は、それらの低い品質係数 (quality factor) Q を原因として、デバイス全体の品質係数 Q を低減する。提案された機能層、及びこのことから、低減された結合係数により、そのような回路は、狭帯域 SAW フィルタを設計するとき必要とされない。

【 0 0 0 7 】

圧電性の温度依存性 (temperature dependence) は、デバイスの負 (negative) の TCF の主な要因のうちの 1 つである。追加の機能層の圧電性の欠如は、組み合わされた層スタックの TCF の改善をもたらす。このことから、かつては非常に負であった TCF は、これまで一般的に使用されてきた層系 (layer system) と比較してより正 (positive) の値にシフトされる。故に、不十分な TCF 補償を有する層系であっても、この機能層は、非常に低い結果として生じる TCF を提供するために TCF 補償を改善することを可能にする。その上、機能層は、 SiO_2 層である通常の TCF 補償層の厚さを低減することを可能にする。機能層を挿入することによって、悪い音響特性を有する SiO_2 層の厚さを低減することは、薄膜 SAW デバイスの層系全体の音響特性を改善する。追加の利点として、スプリアモードの発生が、全体的な層厚さがより低いことにより低減されることが出来る。

【 0 0 0 8 】

所望であれば、結合係数 k^2 の低減は、圧電層の厚さを低減することによって補償されることが出来る。結果として、スプリアプレート及びバルクモード (spurious plate and bulk modes) の発生が更に低減される。

【 0 0 0 9 】

そのような新しい薄膜 SAW デバイスは、キャリア基板 (carrier substrate) と、TCF 補償層と、圧電層と、圧電層の上部の電極構造 (electrode structure) とを備える。機能層が、圧電層と TCF 補償層との間に配置される。一般的な薄膜 SAW デバイスと比較して、圧電層及び TCF 補償層の厚さは、低減されることができ、それによって少なくとも同じ TCF 補償を達成する。

【 0 0 1 0 】

10

20

30

40

50

機能層の材料特性 (material property) が、音響速度 (acoustic velocity)、密度 (density)、及び剛性 (stiffness) の観点から圧電層の材料特性と 10% 未満の偏差で一致すれば有利である。

【0011】

より好ましくは、機能層は、圧電層などと同じ材料 (material) を備えるが、例えば特別な熱的、機械的、電氣的処理、又はイオン衝撃 (ion bombardment) により圧電効果を示さない。

【0012】

そのような機能層は、構造を損傷すること、及び故に単結晶圧電層 (mono-crystalline piezoelectric layer) の損傷ゾーン (damage zone) 中での圧電効果によって、形成されることができる。圧電層の上部から所望の深さまでイオン (ion) を注入 (implant) することによって損傷ゾーンを形成することが可能である。しかしながら、圧電ウェハ (piezoelectric wafer) を多層基板系の表面に接合する前に、圧電ウェハ中に損傷ゾーンを形成することが好ましい。損傷ゾーンは、基板系に接合される表面の隣にあることが好ましい。

10

【発明の概要】

【0013】

実施形態によると、圧電層は、LT又はLNの単結晶層 (mono-crystalline layer) であり、厚さ d_P を有する。機能層は、同じ材料であるが圧電効果を有さない結晶層 (crystalline layer) である。損傷層 (damage layer) の厚さ d_D について、以下の関係が有効である：

20

$$0.005 d_P \leq d_D \leq 0.5 d_P。$$

【0014】

特定の実施形態では、圧電層は、400 nm ~ 700 nmの厚さ d_P のタンタル酸リチウムLT (lithium tantalate) の単結晶層である。次いで、機能層は、同じ材料であるがもう少しも圧電効果を有さない結晶LT層 (crystalline LT layer) である。上述の関係によると、損傷層の厚さ d_D は次いで、

$$2 \text{ nm} \leq d_D \leq 350 \text{ nm} \text{ に一致する。}$$

【0015】

機能層のTCF低減特性により、TCF補償層の厚さは、通常SiO₂から作られるそのような層を有する既知の薄膜SAWデバイスと比較して低減されることができる。TCF補償層/SiO₂層の例証的な厚さ d_C は、以下の関係に従う：

30

$$50 \text{ nm} \leq d_C \leq 500 \text{ nm}。$$

【0016】

以下では、薄膜SAWデバイスは、特定の実施形態及び添付の図面を参照してより詳細に説明される。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】薄膜SAWデバイスの概略断面図 (schematic cross section) を示す。

【図2】機能層の厚さに依存する薄膜SAWデバイスのTCFの経過を示す。

40

【図3】機能層の厚さに依存する薄膜SAWデバイスの結合係数 (coupling factor) k^2 の経過を示す。

【図4】薄膜SAWデバイスのアドミタンス (admittance) の実部 (real part) を示す。

【図5】薄膜SAWデバイスのアドミタンスの大きさ (magnitude) を示す。

【発明を実施するための形態】

【0018】

図1は、薄膜SAWデバイスを断面図で示す。図は、概略的なものでしかなく、原寸通りに描かれていない。より良い理解のために、いくつかの詳細は、図から絶対的な寸法も相対的な寸法も取ることができないように拡大された形式で図示されている。

50

【 0 0 1 9 】

キャリア基板 C A は、好ましくは、機械的に安定した剛性材料から作られたウェハ (wafer) である。シリコンが、そのための好ましい材料である。キャリア基板 C A の上部に、音速 (sound velocity) が S i O₂ よりも高いオプシオンの層が配置され得る。オプシオンの層は、例えば、A l N、多結晶又はアモルファスシリコンのような硬い材料から作られる。

【 0 0 2 0 】

このオプシオンの層 H V の上に、又はキャリア基板 C A 上に直接、例えば S i O₂ の T C F 補償層 C L (compensating layer) が適用される。これは、一般的な P V D 又は C V D プロセスによって行われ得る。しかし、任意の他の堆積方法も可能である。その上に
10
次の層として、機能層 F L 及び圧電層 P L が配置される。好ましい実施形態によると、これらの 2 つの層を配置することは、その上面に一体的に形成された機能層 F L を有する圧電ウェハの、下にある T C F 補償層 C L に対するウェハ接合 (wafer bonding) を備える。

【 0 0 2 1 】

圧電層 P L の厚さを所望の値 d P まで低減した後、圧電層 P L の上部に電極 E L (electrode) が形成される。電極構造 E L は、薄膜 S A W デバイスの機能を有効にし、インターデジタルトランスデューサ - I D T (interdigital transducer) - 反射器 (reflector)、共振器 (resonator)、又はフィルタ機能 (filter function) のような電気音響 S A W デバイス動作 (electro-acoustic SAW device operation) に必要な任意の他の構造を
20
備え得る。

【 0 0 2 2 】

図 2 は、上述した構造を有する薄膜 S A W デバイスの T C F の計算された経過を示す。T C F は、機能層 F L の様々な厚さ d F に依存して図示される。第 1 の値は、0 の厚さ d F を有する機能層 F L のないデバイスに一致する。ここで、S A W デバイスは、S A W デバイスの T C F に対する強い負の T C F を有する圧電層 P L の影響によるものである負の T C F を依然として示している。20 nm の厚さ d D で既に、T C F の大幅な低減が認められる。約 50 nm の厚さ d F を有する機能層は、デバイスの元の負の T C F を完全に補償する。厚さ d F がより高くなると、T C F は正になる。総経過は、ほぼ線形であり、T C F 補償効果は、S A W デバイスの他の層の全ての他の幾何学的パラメータが一定に保た
30
れる場合、機能層の厚さに比例することを示す。完全性のためにのみ、実際の値が層系及び層の厚さに依存することに留意されたい。しかしながら、機能層の厚さ d F に対する T C F の依存性は同じままである。

【 0 0 2 3 】

音響挙動 (acoustic behavior) を制御する機械的特性が機能層 F L と圧電層とで同じであるという事実により、かなりの量の波エネルギーが、圧電効果を有さない機能層に集中される。故に、機能層 F L のない S A W デバイスと比較して、結合係数が低減される。

【 0 0 2 4 】

図 3 は、機能層 F L の厚さ d F に依存する薄膜 S A W デバイスの結合係数 k² の経過を示す。0 の厚さで最も高い値が観測されることは明らかである。厚さ d F のより高い値では、観察された k² 値は低減する。この依存性も線形依存性であるので、それは、より小さい帯域幅、及び故により低い k² を必要とするデバイスに対して所望の k² を設定するために使用されることができ、高すぎる結合係数 k² を引き起こす機能層 F L の厚さ d F で所望の T C F が得られる場合、S A W デバイスの他の構造パラメータを変化させる必要がある。次いで、所望の k² を最初に設定するために、機能層 F L の厚さ d F を増加させなければならない。正すぎる T C F は、次いで、T C F 補償 S i O₂ 層 C L の厚さ d C の低減によって補償されることができ、逆もまた同様である。

【 0 0 2 5 】

提案された S A W デバイスは、所望の低い又は補償された T C F を見る必要なく、所望のパラメータを考慮して基板層系を最適化することを可能にする。まず、そのような最適
50

化の後、TCFは、機能層に対して適切な厚さ d_F を選択することによって補償されることができる。それにより、全ての他の設計特徴及びそれに依存するそれぞれの物理的パラメータは一定に保たれることができ、それらが最適化の結果として残る。例えば、形状パラメータは、製造プロセスにおいて不可避である公差により敏感でない値に設定されることができる。既知の薄膜SAWデバイスでは、低いTCFを達成するために、 SiO_2 層の高い層厚さ d_C が結果として必要とされるであろう。しかしながら、これは、かなりの量の音響バルク及びプレートモードを励起し、望ましくない共振を発生させるであろう。

【0026】

以下では、共振器として具現化された、提案された薄膜SAWデバイスの正の効果を示すために、3つのデバイスのアドミタンスが比較される。図4は、薄膜SAWデバイスのアドミタンスの実部を示す（一方、図5は、そのそれぞれの大きさを示す。第1のグラフ1は、完全なTCF補償を有していない技術による参照SAWデバイスに割り当てられている。第2のグラフ2は、完全なTCF補償を達成するように設計された提案されたSAWデバイスに一致する。最後に、グラフ3は、TCF補償 SiO_2 層の厚さ d_C を相応に増大させることによって完全なTCF補償を達成するように設計された機能層FLのないSAWデバイスに一致する。

10

【0027】

この例の場合、以下を備える層系が選ばれる：

- Si キャリア基板
- 200 nmの SiO_2
- 非圧電 (non-piezoelectric) LTの基部上の50 nmの損傷層
- 600 nmの圧電 (piezoelectric) LT
- Al 電極

20

【0028】

グラフ3は、損傷層が存在せず、 SiO_2 層の厚さ d_C が上記の例よりも200 nm大きい400 nmまで増大していることを除いて、上述のものに従う層系に一致する。故に、50 nmの損傷層は、200 nmの SiO_2 層などとほぼ同じTCF補償効果を有する。

【0029】

本発明によるグラフ2と従来のTCF補償を有するSAWデバイスによるグラフ3とを比較すると、最も顕著な効果が見られる。選択された例は、1900 MHzの共振周波数に設計された薄膜SAW共振器である。3つのグラフは全て、この周波数での最大値を示す。グラフ3は、約2150 MHzにおける望ましくないスプリアスモードによる更なる共振ピークと、2210 MHzにおけるより低い共振ピークとを示す。スプリアスモードは、波の局所的なエネルギー分布による相対的な厚い SiO_2 層を有する基板の層構造から生じ、このことから、主にバルクモードであるスプリアスモードの発生を可能にする。グラフ2は、図5で最もよく見られるように、これらのピークを示さない。

30

【0030】

約2800 MHzの周波数では、更なるポジティブな効果が見られる。ここでも、グラフ1及び3は、一致する従来のデバイスにおける更なるスプリアスモードによる共振を示す。しかしながら、グラフ2は、グラフ1及び3と比較して大幅に低減されたピークを示す。

40

【0031】

図5のグラフ1及び2の共振ピーク及び反共振ピークを比較すると、極零点距離 (pole zero distance) PZD、及びこのことから結合係数は、新しい設計によるグラフ2では約10 MHzだけ低減されることが分かる。

【0032】

故に、新しい薄膜SAWデバイスは、より高いQ係数、完全なTCF補償、及びスプリアスモードの大幅な低減を提供する。更に、結合は、低減されるか又は低減されることができる。

【0033】

50

本発明は、実施形態によって限定されず、特許請求の範囲によってのみ定義される。故に、示された例の更なる変形は、それらが特許請求の範囲によってカバーされる限り、本発明の範囲内であると見なされる。

以下に、本願の出願当初の特許請求の範囲に記載された発明を付記する。

[C 1]

薄膜SAWデバイスであって、

- キャリア基板 (CA) と、
- TCF補償層 (CL) と、
- 圧電層 (PL) と、

- 前記圧電層の上部のIDT電極 (EL) と

を備え、機能層 (FL) が、圧電層とTCF補償層との間に配置され、

前記機能層の材料特性は、音響速度、密度、及び剛性の観点から、圧電効果を有することなく、それらが10%を超えて互いにずれないように前記圧電層の材料特性と一致する、薄膜SAWデバイス。

10

[C 2]

前記機能層は、

- 前記圧電層のような同じ材料を備え、
- いかなる圧電効果も提供しない、

C 1 に記載の薄膜SAWデバイス。

[C 3]

前記圧電層は、厚さdPを有するLT又はLNの単結晶層であり、

- 前記機能層は、同じ材料であるが圧電効果を有することのない結晶層であり、
- 前記機能層の厚さdFについて、以下が有効である：

$0.005dP \leq dF \leq 0.50dP$ 、

C 1 又は2に記載の薄膜SAWデバイス。

20

[C 4]

前記TCF補償層 (CL) よりも高い音速を有する1つ以上の追加層が、前記キャリア基板 (CA) と前記TCF補償層 (CL) との間に追加される、C 1 ~ 3のうちのいずれか一項に記載の薄膜SAWデバイス。

[C 5]

前記圧電層は、400 ~ 700 nmの厚さdPのタンタル酸リチウムLTの単結晶層であり、

- 前記機能層は、同じ材料であるが圧電効果を有することのない結晶LT層であり、前記機能層の厚さdFは、

$2 \text{ nm} \leq dF \leq 350 \text{ nm}$ に一致する、

C 1 ~ 4のうちのいずれか一項に記載の薄膜SAWデバイス。

30

[C 6]

前記TCF補償層 (CL) は、

$50 \text{ nm} \leq dC \leq 500 \text{ nm}$

による厚さdCを有するSiO₂層を備える、C 1 ~ 5のうちのいずれか一項に記載の薄膜SAWデバイス。

40

[C 7]

薄膜SAWデバイスを製造する方法であって、

- キャリア基板 (CA) と、
- TCF補償層 (CL) と、
- 機能層 (FL) と、
- 圧電層 (PL) と、

- 前記圧電層の上部のIDT電極 (EL) と

を備え、前記方法は、その上面に一体的に形成された機能層FLを有する圧電ウェハの、前記キャリア基板上に配置された下にある前記TCF補償層CLに対するウェハ接合を

50

備え、

前記機能層 (FL) は、イオン注入 (ion implantation)、温度処理 (temperature treatment)、又はレーザー処理によって、ウェハ接合より前に形成される、方法。

【参照符号のリスト】

【0034】

1, 2, 3 例及び参照のアドミタンス曲線

CA キャリア基板 (Si ウェハ)

CL TCF 補償層 (SiO₂ 層)

dC TCF 補償層の厚さ

dF 機能層の厚さ

dP 圧電層の厚さ

EL IDT 電極

FL 機能層

PL 圧電層

10

20

30

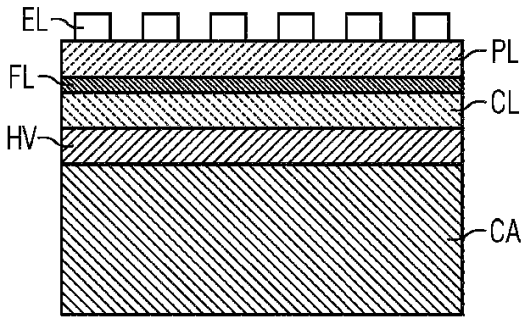
40

50

【図面】

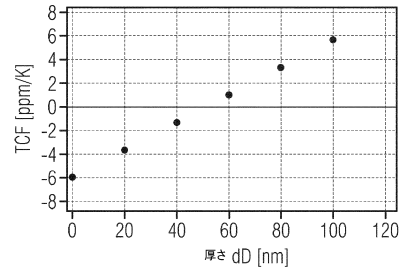
【図 1】

FIG 1



【図 2】

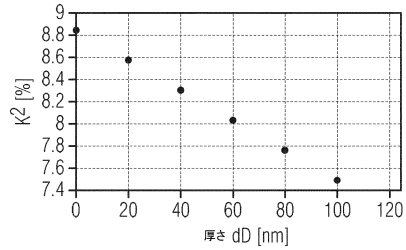
FIG 2



10

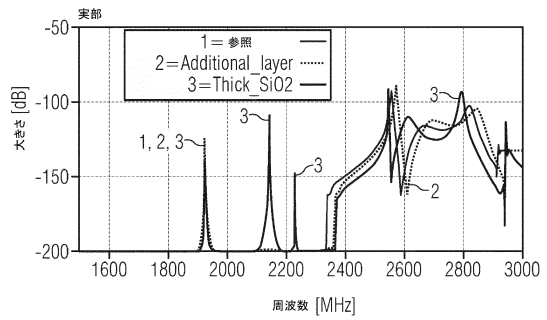
【図 3】

FIG 3



【図 4】

FIG 4



20

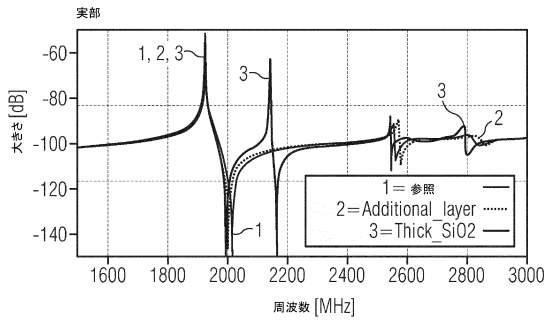
30

40

50

【 図 5 】

FIG 5



10

20

30

40

50

フロントページの続き

ヘン、アンジンガー・シュトラッセ 13

審査官 石田 昌敏

- (56)参考文献 国際公開第2017/207911(WO, A1)
国際公開第2018/163842(WO, A1)
特表2017-532758(JP, A)
国際公開第2018/002504(WO, A1)
特開2008-078739(JP, A)
特開平06-132760(JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H03H 9/145 - 9/76