

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5648908号
(P5648908)

(45) 発行日 平成27年1月7日 (2015.1.7)

(24) 登録日 平成26年11月21日 (2014.11.21)

(51) Int.Cl.	F I
H O 3 H 9/25 (2006.01)	H O 3 H 9/25 Z
H O 3 H 3/08 (2006.01)	H O 3 H 9/25 C
H O 3 B 5/30 (2006.01)	H O 3 H 3/08
	H O 3 B 5/30 A
	H O 3 B 5/30 F

請求項の数 12 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2010-272914 (P2010-272914)	(73) 特許権者	000002369
(22) 出願日	平成22年12月7日 (2010.12.7)		セイコーエプソン株式会社
(65) 公開番号	特開2012-124677 (P2012-124677A)		東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
(43) 公開日	平成24年6月28日 (2012.6.28)	(74) 代理人	100091306
審査請求日	平成25年11月27日 (2013.11.27)		弁理士 村上 友一
		(74) 代理人	100152261
			弁理士 出口 隆弘
		(72) 発明者	山中 國人
			東京都日野市日野421-8 エプソント
			ヨコム株式会社内
		審査官	橋本 和志

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 振動デバイス、並びに発振器、および電子機器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

3次関数温度特性を備え前記3次関数温度特性における3次温度係数が $- \alpha_1$ であり $\alpha_1 > 0$ である第1の振動子と、
前記第1の振動子に接続され、3次関数温度特性を備え前記3次関数温度特性における3次温度係数が α_2 であり $\alpha_2 > 0$ である第2の振動子とを備え、
前記第1の振動子と前記第2の振動子とは、オイラー角 $(-1.5^\circ \sim +1.5^\circ, 11.7^\circ, 14.2^\circ, 42.79^\circ, 49.75^\circ)$ の水晶基板上に設けられ、ストップバンドの上端モードの弾性表面波を励起する弾性表面波共振子であり、
前記弾性表面波を励起する励振電極を構成する電極指の間に位置する前記水晶基板の部分にある電極指間の溝を備え、
前記第1の振動子の3次関数温度特性の変曲点となる温度と、前記第2の振動子の3次関数温度特性の変曲点となる温度との差の絶対値が 19°C 以下であり、
 $0 < | \alpha_1 | - | \alpha_2 | < 2.4$
の関係を満たすと共に、
前記第1の振動子における前記電極指間の溝深さを G_1 、前記第2の振動子における前記電極指間の溝深さを G_2 として、
 $G_1 < G_2$
の関係を満たすことを特徴とする振動デバイス。

【請求項 2】

3次関数温度特性を備え前記3次関数温度特性における3次温度係数が $- \frac{1}{2} \alpha_1$ であり $\alpha_1 > 0$ である第1の振動子と、
 前記第1の振動子に接続され、3次関数温度特性を備え前記3次関数温度特性における3次温度係数が $\frac{1}{2} \alpha_2$ であり $\alpha_2 > 0$ である第2の振動子とを備え、
 前記第1の振動子の3次関数温度特性の変曲点となる温度と、前記第2の振動子の3次関数温度特性の変曲点となる温度との差の絶対値が $1/9$ 以下であり、
 $0 < \left| \frac{1}{2} \alpha_1 \right| - \left| \frac{1}{2} \alpha_2 \right| < 2 \cdot 4 \cdot \frac{1}{2} \alpha_2$
 の関係を満たし、
前記第1の振動子と前記第2の振動子とが電氣的に並列に接続されていることを特徴とする振動デバイス。

10

【請求項3】

3次関数温度特性を備え前記3次関数温度特性における3次温度係数が $- \frac{1}{2} \alpha_1$ であり $\alpha_1 > 0$ である第1の振動子と、
 前記第1の振動子に接続され、3次関数温度特性を備え前記3次関数温度特性における3次温度係数が $\frac{1}{2} \alpha_2$ であり $\alpha_2 > 0$ である第2の振動子とを備え、
 前記第1の振動子の3次関数温度特性の変曲点となる温度と、前記第2の振動子の3次関数温度特性の変曲点となる温度との差の絶対値が $1/9$ 以下であり、
 $0 < \left| \frac{1}{2} \alpha_1 \right| - \left| \frac{1}{2} \alpha_2 \right| < 2 \cdot 4 \cdot \frac{1}{2} \alpha_2$
 の関係を満たし、

前記第1の振動子と前記第2の振動子とを電氣的に直列に接続し、かつ前記第1の振動子と前記第2の振動子のそれぞれに対し、電氣的に並列となるようにインダクタを接続していることを特徴とする振動デバイス。

20

【請求項4】

請求項1に記載の振動デバイスであって、
 前記第1の振動子と前記第2の振動子とを単一の前記水晶基板上に設けたことを特徴とする振動デバイス。

【請求項5】

請求項4に記載の振動デバイスであって、
 前記圧電基板上に段差を備え、
 前記段差は、前記水晶基板を平面視して前記第1の振動子と前記第2の振動子との間に設けることを特徴とする振動デバイス。

30

【請求項6】

請求項1、請求項4、請求項5のいずれか1項に記載の振動デバイスであって、
 前記第1の振動子と前記第2の振動子とが電氣的に並列に接続されていることを特徴とする振動デバイス。

【請求項7】

請求項2または請求項6に記載の振動デバイスであって、
 電氣的に並列に接続された前記第1の振動子と前記第2の振動子と電氣的に並列となるようにコンデンサを接続したことを特徴とする振動デバイス。

【請求項8】

請求項1に記載の振動デバイスであって、
 前記第1の振動子と前記第2の振動子とが電氣的に直列に接続されていることを特徴とする振動デバイス。

40

【請求項9】

請求項8に記載の振動デバイスであって、
 電氣的に直列に接続された前記第1の振動子と前記第2の振動子のそれぞれに対し、電氣的に並列となるようにインダクタを接続したことを特徴とする振動デバイス。

【請求項10】

請求項1乃至請求項9のいずれか1項に記載の振動デバイスと、
 発振回路とを有することを特徴とする発振器。

50

【請求項 1 1】

請求項 1 乃至請求項 9 のいずれか 1 項に記載の振動デバイスを搭載したことを特徴とする電子機器。

【請求項 1 2】

オイラー角 $(-1.5^\circ \leq \theta < 1.5^\circ, 117^\circ \leq \phi < 142^\circ, 42.79^\circ \leq \psi < 49.75^\circ)$ の水晶基板上に 3 次関数温度特性を備え前記 3 次関数温度特性における 3 次温度係数が γ_1 であり $\gamma_1 > 0$ であり、ストップバンドの上端モードの弾性表面波を励起する弾性表面波共振子であって、前記弾性表面波を励起する励振電極を構成する電極指の間に位置する前記水晶基板の部分にある電極指間の溝を備える第 1 の振動子を製造する工程と、

10

オイラー角 $(-1.5^\circ \leq \theta < 1.5^\circ, 117^\circ \leq \phi < 142^\circ, 42.79^\circ \leq \psi < 49.75^\circ)$ の水晶基板上に 3 次関数温度特性を備え前記 3 次関数温度特性における 3 次温度係数が γ_2 であり $\gamma_2 > 0$ であり、ストップバンドの上端モードの弾性表面波を励起する弾性表面波共振子であって、前記弾性表面波を励起する励振電極を構成する電極指の間に位置する前記水晶基板の部分にある電極指間の溝を備える第 2 の振動子を製造する工程と、

製造された第 1 の振動子群と第 2 の振動子群の中から、前記 3 次関数温度特性の変曲点となる温度の差が 19°C 以下であり、

$$0 < |\gamma_2| \leq 2.4 \times 10^{-4}$$

の関係および、

20

前記第 1 の振動子における前記電極指間の溝深さを G_1 、前記第 2 の振動子における前記電極指間の溝深さを G_2 として、

$$G_1 < G_2$$

の関係を満たす前記第 1 の振動子と前記第 2 の振動子の組み合わせを選定する工程と、

選定された前記第 1 の振動子と前記第 2 の振動子とを接続する工程とを有することを特徴とする振動デバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、振動デバイス、並びにこの振動デバイスを実装した発振器、および電子機器に係り、特に周波数温度特性が良好な振動デバイス、並びに発振器、および電子機器に関する。

30

【背景技術】

【0002】

圧電デバイスの中において特に、弾性表面波 (SAW: surface acoustic wave) デバイスでは、ストップバンドの上端モードの共振を利用することで、周波数温度特性が向上することが知られている。

【0003】

特許文献 1 には、特定のカット角で切り出された水晶基板上に、ストップバンドの上端モードで励振可能な IDT を形成する際、IDT の電極指間に溝を設け、この溝の深さ G や、電極指のライン占有率 η を適格に定める SAW 共振子が開示されている。特許文献 1 に開示されている条件に従って SAW 共振子を製造することによれば、良好な周波数温度特性を得ることができ、耐環境特性、および Q 値の向上を図ることができるという。

40

【0004】

また、周波数温度特性の改善技術としては、2 つの SAW 共振子を電氣的に接続することで、2 つの周波数温度特性を合成する技術が知られている。例えば特許文献 2 に開示されている技術は、2 次関数温度特性を持ち、それぞれ頂点温度が異なる 2 つの SAW 共振子を、いわゆる横結合させることで、結合状態で得られる周波数温度特性カーブを平坦なものとするというものである。また、非特許文献 1 には、周波数温度特性を改善させるために、2 つの 1 ポート SAW 共振子を連続接続する構成が開示されている。具体的には、

50

各 1 ポート SAW 共振子に対して並列にインダクタを接続した構成や、当該インダクタを排除した構成（並列コンデンサを備える場合がある）が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】国際公開第 2010/098139 号

【特許文献 2】特開平 9 - 298446 号公報

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献 1】G. Martin, H. Schmidt B. Wall 「IMPROVED TEMPERATURE STABILITY OF ONE-PORT SAW RESONATORS ACHIEVED WITHOUT COILS」、2007 IEEE Ultrasonics Symposium、p925 - 928

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上記のような構成圧電デバイスによれば、確かに、従来の SAW デバイスに比べて周波数温度特性の向上を図ることができると考えられる。しかし、特許文献 1 に開示されている SAW デバイスは、3 次温度特性を示すものの、 -40 から $+85$ の範囲において、周波数変動量は ± 25 ppm 以内とするものであり、特許文献 2、非特許文献 1 に開示されている SAW デバイスではさらに周波数変動量が大きなものとなる。

20

【0008】

本発明は、動作温度範囲内（例えば、 -40 から $+85$ ）において、従来に比べて周波数温度特性をさらに向上させることのできる振動デバイス、およびこの振動デバイスを搭載した発振器、並びに電子機器を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明は、上述の課題の少なくとも一部を解決するためになされたものであり、以下の形態又は適用例として実現することが可能である。

第 1 の形態の振動デバイスは、3 次関数温度特性を備え前記 3 次関数温度特性における 3 次温度係数が $- \alpha_1$ であり $\alpha_1 > 0$ である第 1 の振動子と、前記第 1 の振動子に接続され、3 次関数温度特性を備え前記 3 次関数温度特性における 3 次温度係数が α_2 であり $\alpha_2 > 0$ である第 2 の振動子とを備え、前記第 1 の振動子と前記第 2 の振動子とは、オイラー角 $(-1.5^\circ, +1.5^\circ, 117^\circ, 142^\circ, 42.79^\circ, 49.75^\circ)$ の水晶基板上に設けられ、ストップバンドの上端モードの弾性表面波を励起する弾性表面波共振子であり、前記弾性表面波を励起する励振電極を構成する電極指の間に位置する前記水晶基板の部分にある電極指間の溝を備え、前記第 1 の振動子の 3 次関数温度特性の変曲点となる温度と、前記第 2 の振動子の 3 次関数温度特性の変曲点となる温度との差の絶対値が 19 以下であり、 $0 < | \alpha_1 | - | \alpha_2 | < 2.4$ の関係を満たすと共に、前記第 1 の振動子における前記電極指間の溝深さを G_1 、前記第 2 の振動子における前記電極指間の溝深さを G_2 として、 $G_1 < G_2$ の関係を満たすことを特徴とする振動デバイス。

30

40

第 2 の形態の振動デバイスは、3 次関数温度特性を備え前記 3 次関数温度特性における 3 次温度係数が $- \alpha_1$ であり $\alpha_1 > 0$ である第 1 の振動子と、前記第 1 の振動子に接続され、3 次関数温度特性を備え前記 3 次関数温度特性における 3 次温度係数が α_2 であり $\alpha_2 > 0$ である第 2 の振動子とを備え、前記第 1 の振動子の 3 次関数温度特性の変曲点となる温度と、前記第 2 の振動子の 3 次関数温度特性の変曲点となる温度との差の絶対値が 19 以下であり、 $0 < | \alpha_1 | - | \alpha_2 | < 2.4$ の関係を満たし、前記第 1 の振動子と前記第 2 の振動子とが電氣的に並列に接続されていることを特徴とする振動デバイス。

第 3 の形態の振動デバイスは、3 次関数温度特性を備え前記 3 次関数温度特性における

50

3次温度係数が $- \frac{1}{\alpha_1}$ であり $\alpha_1 > 0$ である第1の振動子と、前記第1の振動子に接続され、3次関数温度特性を備え前記3次関数温度特性における3次温度係数が $\frac{1}{\alpha_2}$ であり $\alpha_2 > 0$ である第2の振動子とを備え、前記第1の振動子の3次関数温度特性の変曲点となる温度と、前記第2の振動子の3次関数温度特性の変曲点となる温度との差の絶対値が $\frac{1}{9}$ 以下であり、 $0 < \left| \frac{1}{\alpha_1} - \frac{1}{\alpha_2} \right| \leq \frac{2}{4}$ の関係を満たし、前記第1の振動子と前記第2の振動子とを電氣的に直列に接続し、かつ前記第1の振動子と前記第2の振動子のそれぞれに対し、電氣的に並列となるようにインダクタを接続していることを特徴とする振動デバイス。

第4の形態の振動デバイスは、第1の形態に記載の振動デバイスであって、前記第1の振動子と前記第2の振動子とを単一の前記水晶基板上に設けたことを特徴とする振動デバイス。

10

第5の形態の振動デバイスは、第4の形態に記載の振動デバイスであって、前記圧電基板上に段差を備え、前記段差は、前記水晶基板を平面視して前記第1の振動子と前記第2の振動子との間に設けることを特徴とする振動デバイス。

第6の形態の振動デバイスは、第1、第4、第5のいずれか1形態に記載の振動デバイスであって、前記第1の振動子と前記第2の振動子とが電氣的に並列に接続されていることを特徴とする振動デバイス。

第7の形態の振動デバイスは、第2または第6の形態に記載の振動デバイスであって、電氣的に並列に接続された前記第1の振動子と前記第2の振動子と電氣的に並列となるようにコンデンサを接続したことを特徴とする振動デバイス。

20

第8の形態の振動デバイスは、第1の形態に記載の振動デバイスであって、前記第1の振動子と前記第2の振動子とが電氣的に直列に接続されていることを特徴とする振動デバイス。

第9の形態の振動デバイスは、第8の形態に記載の振動デバイスであって、電氣的に直列に接続された前記第1の振動子と前記第2の振動子のそれぞれに対し、電氣的に並列となるようにインダクタを接続したことを特徴とする振動デバイス。

第10の形態の発振器は、第1乃至第9のいずれか1形態に記載の振動デバイスと、発振回路とを有することを特徴とする発振器。

第11の形態の電子機器は、第1乃至第9のいずれか1形態に記載の振動デバイスを搭載したことを特徴とする電子機器。

30

第12の形態の振動デバイスの製造方法は、オイラー角 $(-1.5^\circ \sim +1.5^\circ, 11.7^\circ, 14.2^\circ, 42.79^\circ, 49.75^\circ)$ の水晶基板上に3次関数温度特性を備え前記3次関数温度特性における3次温度係数が $\frac{1}{\alpha_1}$ であり $\alpha_1 > 0$ であり、ストップバンドの上端モードの弾性表面波を励起する弾性表面波共振子であって、前記弾性表面波を励起する励振電極を構成する電極指の間に位置する前記水晶基板の部分にある電極指間の溝を備える第1の振動子を製造する工程と、オイラー角 $(-1.5^\circ \sim +1.5^\circ, 11.7^\circ, 14.2^\circ, 42.79^\circ, 49.75^\circ)$ の水晶基板上に3次関数温度特性を備え前記3次関数温度特性における3次温度係数が $\frac{1}{\alpha_2}$ であり $\alpha_2 > 0$ であり、ストップバンドの上端モードの弾性表面波を励起する弾性表面波共振子であって、前記弾性表面波を励起する励振電極を構成する電極指の間に位置する前記水晶基板の部分にある電極指間の溝を備える第2の振動子を製造する工程と、製造された第1の振動子群と第2の振動子群の中から、前記3次関数温度特性の変曲点となる温度の差が $\frac{1}{9}$ 以下であり、 $0 < \left| \frac{1}{\alpha_2} - \frac{1}{\alpha_1} \right| \leq \frac{2}{4}$ の関係および、前記第1の振動子における前記電極指間の溝深さを G_1 、前記第2の振動子における前記電極指間の溝深さを G_2 として、 $G_1 < G_2$ の関係を満たす前記第1の振動子と前記第2の振動子の組み合わせを選定する工程と、選定された前記第1の振動子と前記第2の振動子とを接続する工程とを有することを特徴とする振動デバイスの製造方法。

40

【0010】

[適用例1] 3次関数温度特性を備え前記3次関数温度特性における3次温度係数が $\frac{1}{\alpha_1}$ であり $\alpha_1 > 0$ である第1の振動子と、前記第1の振動子に接続され、3次関数温度

50

特性を備え前記 3 次関数温度特性における 3 次温度係数が α_2 であり $\alpha_2 > 0$ である第 2 の振動子とを備え、前記第 1 の振動子と前記第 2 の振動子との間における変曲点の差が $1/9$ 以下であり、 $0 < |\alpha_1| < 2.4 |\alpha_2|$ の関係を満たすことを特徴とする振動デバイス。

このような特徴を有する振動デバイスであれば、動作温度範囲内における周波数変動量を従来よりもさらに向上させることができる。

【0011】

〔適用例 2〕適用例 1 に記載の振動デバイスであって、前記第 1 の振動子と前記第 2 の振動子とは互いに、オイラー角 (-1.5° から $+1.5^\circ$, 117° から 142° , 42.79° から 49.75°) の水晶基板上に設けられ、ストップバンドの上端モードの弾性表面波を励起する弾性表面波共振子であり、前記弾性表面波を励起する励振電極を構成する電極指間に溝を備え、前記第 1 の振動子における前記電極指間の溝深さを G_1 、前記第 2 の振動子における前記電極指間の溝深さを G_2 とした場合に、 $G_1 < G_2$ の関係を満たすことを特徴とする振動デバイス。

10

このような特徴を有する振動デバイスによれば、同じカット角の基板を利用してデバイスを製造することができる。

【0012】

〔適用例 3〕適用例 2 に記載の振動デバイスであって、前記第 1 の振動子と前記第 2 の振動子とを単一の圧電基板上に設けたことを特徴とする振動デバイス。

このような特徴を有する振動デバイスによれば、1 つの素子として周波数変動量が非常に小さいデバイスを製造することができる。

20

【0013】

〔適用例 4〕適用例 3 に記載の振動デバイスであって、前記圧電基板上に段差を備え、前記段差は、前記圧電基板を平面視して前記第 1 の振動子と前記第 2 の振動子との間に設けることを特徴とする振動デバイス。

このような特徴を有する振動デバイスによれば、段差部分にて、第 1 の振動子と第 2 の振動子との間を伝播する不要波を抑圧することができる。また、第 1 の振動子と第 2 の振動子との間における不要な音響結合を低減することも可能となる。

【0014】

〔適用例 5〕適用例 1 乃至適用例 4 のいずれか 1 例に記載の振動デバイスであって、前記第 1 の振動子と前記第 2 の振動子とが電氣的に並列に接続されていることを特徴とする振動デバイス。

30

【0015】

〔適用例 6〕適用例 5 に記載の振動デバイスであって、電氣的に並列に接続された前記第 1 の振動子と前記第 2 の振動子と電氣的に並列となるようにコンデンサを接続したことを特徴とする振動デバイス。

このような特徴を有することによれば、コンデンサの容量により、第 1 の振動子と第 2 の振動子との間の結合度を変化させることができる。

【0016】

〔適用例 7〕適用例 1 乃至適用例 4 のいずれか 1 例に記載の振動デバイスであって、前記第 1 の振動子と前記第 2 の振動子とが電氣的に直列に接続されていることを特徴とする振動デバイス。

40

【0017】

〔適用例 8〕適用例 7 に記載の振動デバイスであって、電氣的に直列に接続された前記第 1 の振動子と前記第 2 の振動子のそれぞれに対し、電氣的に並列となるようにインダクタを接続したことを特徴とする振動デバイス。

このような特徴を有することによれば、インダクタの値を変化させることで、第 1 の振動子と第 2 の振動子との間の結合度を変化させることができる。

【0018】

〔適用例 9〕適用例 1 乃至適用例 8 のいずれか 1 例に記載の振動デバイスと、発振回路

50

とを有することを特徴とする発振器。

このような特徴を有する発振器によれば、上記構成に基づく効果を得ることができ、広い動作温度範囲内において、高精度な発振を実現することができ、信頼性を向上させることができる。

【0019】

〔適用例10〕適用例1乃至適用例8のいずれか1例に記載の振動デバイスを搭載したことを特徴とする電子機器。

このような特徴を有する電子機器によれば、広い動作温度範囲内において信頼性の高い電子機器を提供することが可能となる。

【0020】

〔適用例11〕3次関数温度特性を備え前記3次関数温度特性における3次温度係数が1であり $1 > 0$ である第1の振動子を製造する工程と、3次関数温度特性を備え前記3次関数温度特性における3次温度係数が -2 であり $2 > 0$ である第2の振動子を製造する工程と、製造された第1の振動子群と第2の振動子群の中から、変曲点の差が 1.9 以下であり、 $0 < | \alpha_2 | < | 2.4 \alpha_1 |$ の関係を満たす第1の振動子と第2の振動子の組み合わせを選定する工程と、選定された前記第1の振動子と前記第2の振動子とを接続する工程とを有することを特徴とする振動デバイスの製造方法。

このような特徴を有する振動デバイスの製造方法によれば、周波数温度特性が良好となる第1の振動子と第2の振動子を適宜組み合わせることができる。このため、製造後の不良が減少し、歩留まりを向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】実施形態に係るSAWデバイスの構成を示す斜視図である。

【図2】実施形態に係るSAWデバイスにおける第1の共振子と第2の共振子の溝深さ G_1 、 G_2 、電極膜厚 H_1 、 H_2 、電極指幅 L_1 、 L_2 、溝幅 S_1 、 S_2 、および波長 λ の関係を示す断面図である。

【図3】電極膜厚 H が 0.02 の場合における溝深さ G と3次温度係数 α_3 の関係を示すグラフである。

【図4】電極膜厚 H が 0.03 の場合における溝深さ G と3次温度係数 α_3 の関係を示すグラフである。

【図5】電極膜厚 H が 0.04 の場合における溝深さ G と3次温度係数 α_3 の関係を示すグラフである。

【図6】ライン占有率 α と変曲点 T_i の関係を示すグラフである。

【図7】特定条件下における第1の共振子の周波数温度特性と第2の共振子の周波数温度特性を示すグラフである。

【図8】特定条件下における第1の共振子の周波数温度特性と第2の共振子の周波数温度特性とを結合させることで得られる周波数温度特性を示すグラフである。

【図9】2つのSAW共振子間における変曲点 T_i の差分温度と周波数変動量の関係を示すグラフである。

【図10】2つのSAW共振子間における3次温度係数 α_3 の割合と周波数変動量の関係を示すグラフである。

【図11】実施形態に係るSAWデバイスの変形例を示す斜視図である。

【図12】外付け素子としてコンデンサを設ける場合の回路図である。

【図13】外付け素子としてインダクタを設ける場合の回路図である。

【図14】実施形態に係る圧電デバイスを搭載した発振器の構成を示す平面図である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

以下、本発明の振動デバイス、発振器、および電子機器に係る実施の形態について、図面を参照しつつ詳細に説明する。なお、本実施形態では、振動デバイスの一例として、圧電デバイス、特に弾性表面波デバイス（以下、単にSAWデバイスと称す）を例に挙げて

10

20

30

40

50

説明する。

【 0 0 2 3 】

図 1 に示すように、本実施形態に係る弾性表面波デバイス（以下、単に S A W デバイス 1 0 と称す）は、水晶基板 1 2 と、この水晶基板 1 2 上に形成された 2 つの S A W 共振子（第 1 の共振子（第 1 の振動子）1 4、第 2 の共振子（第 2 の振動子）1 6）を基本として構成される。第 1 の共振子 1 4 と第 2 の共振子 1 6 は互いに I D T 1 8、2 8、反射器 2 4、3 4 を基本として構成され、引出電極 3 8 を介して入出力電極 4 0 に接続される。

【 0 0 2 4 】

水晶基板 1 2 は、オイラー角表示で $(-1.5^\circ, +1.5^\circ, 117.142^\circ, 42.79^\circ, 49.75^\circ)$ で表される面内回転 S T カット水晶基板を採用している。なお、オイラー角 $(0^\circ, 0^\circ, 0^\circ)$ で表される基板は、Z 軸に垂直な主面を有する Z カット基板となる。ここで、オイラー角 (\quad, \quad, \quad) の \quad は、Z カット基板の第 1 の回転に関するものであり、Z 軸を回転軸とし、+ X 軸から + Y 軸側へ回転する方向を正の回転角度とした第 1 回転角度である。 \quad は、Z カット基板の第 1 の回転後に行う第 2 の回転に関するものであり、第 1 の回転後の X 軸 (= X' 軸) を回転軸とし、第 1 の回転後の + Y 軸 (= + Y' 軸) から + Z 軸へ回転する方向を正の回転角度とした第 2 の回転角度である。圧電基板のカット面は、第 1 回転角度 \quad と第 2 回転角度 \quad とで決定される。 \quad は、Z カット基板の第 2 の回転後に行う第 3 の回転に関するものであり、第 2 の回転後の Z 軸 (= Z' 軸) を回転軸とし、第 2 の回転後の + X 軸 (= + X' 軸) から第 2 の回転後の + Y 軸 (= + Y' 軸) 側へ回転する方向を正の回転角度とした第 3 回転角度である。S A W の伝搬方向は、第 2 の回転後の X 軸 (= X' 軸) に対する第 3 回転角度で表される。

【 0 0 2 5 】

本実施形態において I D T 1 8 と I D T 2 8 は互いに、1 つの水晶基板 1 2 上に形成されている。各 I D T 1 8、2 8 は、一对の櫛歯状電極を備える。櫛歯状電極は、複数の電極指 2 0、3 0 の基端部をそれぞれバスバー 2 2、3 2 で接続して成る。I D T 1 8、2 8 は、櫛歯状電極における電極指 2 0、3 0 同士をかみ合わせるように配置すると共に、隣接する電極指 2 0、3 0 間に所定の間隔が設けられるように櫛歯状電極を組み合わせることで構成される。本実施形態では、櫛歯状電極を構成する電極指 2 0、3 0 のバスバー 2 2、3 2 からの延出方向は、水晶の結晶軸である X 軸から傾きを持った X' 軸に直交するように設けられる。第 1 の共振子 1 4、第 2 の共振子 1 6 で励起される S A W は、R a y l e i g h 型の S A W であり、Z' 軸と X' 軸の両方に振動変位成分を有する。そしてこのように S A W の伝播方向を水晶の結晶軸である X 軸からずらすことで、ストップバンドの上端モードの S A W を励起することが可能となる。また、本願発明者はこのように、水晶基板のカット角をオイラー角表示で $(-1.5^\circ, +1.5^\circ, 117.142^\circ, 42.79^\circ, 49.75^\circ)$ とした上で、ストップバンドの上端モードを用いることで、S A W 共振子において 3 次関数で示すことのできる周波数温度特性を得ることができることを確認した。

【 0 0 2 6 】

反射器 2 4、3 4 は、各 I D T 1 8、2 8 を S A W の伝播方向に挟み込むように一対ずつ設けられる。具体的構成としては、I D T 1 8、2 8 を構成する電極指 2 0、3 0 と平行に設けられる複数の導体ストリップ 2 6、3 6 の両端をそれぞれ接続したものである。複数の導体ストリップ 2 6、3 6 をそれぞれ接続する位置は必ずしも両端である必要はなく、一端のみで接続する形態や、一端と他端との間の何れかの位置で接続する形態などであっても良い。

【 0 0 2 7 】

なお、水晶基板 1 2 の S A W 伝播方向の端面からの反射波を積極的に利用する端面反射型 S A W 共振子や、I D T の電極指対数を多くすることで I D T 自体で S A W の定在波を励起する多対 I D T 型 S A W 共振子においては、反射器は必ずしも必要では無い。

【 0 0 2 8 】

図 1 に示すように、本実施形態に係る弾性表面波デバイス（以下、単に S A W デバイス 1 0 と称す）は、水晶基板 1 2 と、この水晶基板 1 2 上に形成された 2 つの S A W 共振子（第 1 の共振子（第 1 の振動子）1 4、第 2 の共振子（第 2 の振動子）1 6）を基本として構成される。第 1 の共振子 1 4 と第 2 の共振子 1 6 は互いに I D T 1 8、2 8、反射器 2 4、3 4 を基本として構成され、引出電極 3 8 を介して入出力電極 4 0 に接続される。

【 0 0 2 8 】

入出力電極 40 は、入力ポート（または出力ポート）用と出力ポート（または入力ポート）用に、一対設けられたパターン電極である。

引出電極 38 は、2つの IDT 18, 28 と一対の入出力電極 40 とを電氣的に並列に接続するパターン電極である。本実施形態では、入出力電極 40 を介して印加された電圧により 2つの IDT 18, 28 にて励起される双方の SAW の位相が、一致または略一致するように、引出電極 38 が配される。これらの IDT 18, 28、反射器 24, 34、入出力電極 40、および引出電極 38 等を構成するパターン電極は、アルミニウム (Al) や、Al を主体とした合金を構成材料として用いることができる。

【0029】

本実施形態に係る SAW デバイス 10 は、IDT 18（具体的には櫛歯状電極）を構成する複数の電極指 20 の間、および IDT 28 を構成する複数の電極指 30 の間に溝を設けている。溝深さ G は SAW デバイスの 3 次温度係数 に影響を及ぼし、一般的には、3 次温度係数の値（絶対値）が小さいほど、周波数温度特性が良好となることが知られている。

【0030】

図 2 は、図 1 に示した本実施形態に係る SAW デバイス 10 における IDT 18 を構成する電極指 20 と、IDT 28 を構成する電極指 30 の部分断面拡大図である。図 2 中、IDT 18、および IDT 28 における SAW の波長を示す。また、 L_1 は電極指 20 の幅、 L_2 は電極指 30 の幅を示し、 S_1 は隣接する電極指 20 間に形成される溝の幅、 S_2 は隣接する電極指 30 間に形成される溝の幅を示す。さらに、 G_1 は IDT 20 における溝深さ、 G_2 は IDT 30 における溝深さを示し、 H_1 は IDT 20 における電極膜厚、 H_2 は IDT 30 における電極膜厚を示す。なお、以下に示すライン占有率（ γ_1, γ_2 ）とは、電極指の幅 L （ L_1, L_2 ）を電極指間のピッチ P （ $= L_1 + S_1$ または $L_2 + S_2$ ）で除して得られる値である。

【0031】

3 次温度係数 と溝深さ G との関係は、オイラー角表示で第 3 回転角度を示す θ について、 $|\theta| = 42^\circ \sim 45^\circ$ の範囲で、周波数温度特性が最も良好となる角度を適宜選択してシミュレーションを実施することで、図 3 から図 5 に示すようなグラフを得ることができる。なお、図 3 から図 5 において横軸は、弾性表面波の波長 λ に対する溝深さ G の割合を示し、縦軸は、3 次温度係数 α_3 の値を示す。また、図 3 は励振電極を構成する電極の膜厚（電極膜厚 H）を 0.02 μm とした場合の例を示すグラフである。また、図 4 は励振電極を構成する電極の膜厚（電極膜厚 H）を 0.03 μm とした場合の例を示すグラフである。また、図 5 は励振電極を構成する電極の膜厚（電極膜厚 H）を 0.04 μm とした場合の例を示すグラフである。

【0032】

電極膜厚 H を 0.02 μm とした図 3 によれば、溝深さ G が 0.01 μm である点付近において、3 次温度係数の正負が逆転していることを読み取ることができる。

【0033】

また、電極膜厚 H を 0.03 μm とした図 4 によれば、溝深さ G が 0.015 μm である点付近において、3 次温度係数の正負が逆転していることを読み取ることができる。

【0034】

さらに、電極膜厚 H を 0.04 μm とした図 5 によれば、溝深さ G が 0.013 μm である点付近において、3 次温度係数の正負が逆転していることを読み取ることができる。

【0035】

また、図 3 から図 5 に示すシミュレーションによれば、溝深さ G が 0.01 μm ~ 0.05 μm の範囲においてはいずれも、3 次温度係数 α_3 が、 $-0.1 (10^{-10} / \text{m}^3) \sim +0.1 (10^{-10} / \text{m}^3)$ の範囲内であることを読み取ることができる。さらに、図 3 から図 5 によれば、3 次温度係数が負の値となる場合には、3 次温度係数が正の値となる場合に比べ、溝深さ G が浅くなるということを読み取ることができる。

【0036】

10

20

30

40

50

なお、図3から図5に示すグラフを得るためのシミュレーションは、IDTにおける電極指の対数が210対、反射器の導体ストリップが97本（片側当たり）のSAW共振子をモデルとして行った。

【0037】

また、電極指の対数、導体ストリップの本数を共通とし、電極膜厚を0.02、溝深さGを0.05としたSAW共振子をモデルとして、ライン占有率と、変曲点Tiとの関係のシミュレーションを実施した結果、図6に示すようなグラフを得ることができた。図6によれば、ライン占有率の変動に応じて変曲点Tiの値が、対数関数的に変化することを読み取ることができる。さらに、変曲点Tiの変動は、ライン占有率が0.63未満である場合には急激な変化を示し、0.63以上では、穏やかな変化を示すことも読み取ることができる。なお、溝深さGが0.05以外の場合でも、ライン占有率により変曲点Tiを変えることができる。

10

【0038】

これらの結果より、第1の共振子14と第2の共振子16との間において、IDT18, 28を構成する電極指20, 30間の溝深さGを異ならせることにより、3次温度係数の符号を互いに逆にし、周波数温度特性を示す3次曲線を逆転させることができる。

また、周波数温度特性を示す3次曲線から読み取ることのできる変曲点については、ライン占有率を調整することで制御することができる。

【0039】

よって、第1の共振子14における周波数温度特性と、第2の共振子16における周波数温度特性の3次温度係数の符号の正負を互いに逆の関係とし、これを結合させることによれば、フラットな、すなわち周波数変動量の少ない周波数温度特性を得ることができる。ここで、第1の共振子14における3次温度係数を $- \alpha_1$ 、第2の共振子16における3次温度係数を α_2 とし、 α_1 、 α_2 はそれぞれ、 $\alpha_1 > 0$ かつ $\alpha_2 > 0$ の要件を満たすものとする。図3から図5に示すグラフからも読み取れるように、第1の共振子14における3次温度係数が負の値であり、第2の共振子34における3次温度係数が正の値である場合、第1の共振子14における溝深さ G_1 と第2の共振子16における溝深さ G_2 との関係は、 $G_1 < G_2$ の関係を満たすこととなる。

20

【0040】

図7に示すグラフは、オイラー角表示で(0°、123°、43.6°)のカット角の水晶基板12を用いたSAWデバイス10における第1の共振子14と第2の共振子16の周波数温度特性を示すものである。図7に示す例の場合、第1の共振子14におけるIDT18の電極膜厚 H_1 は0.03、溝深さ G_1 は0.010、ライン占有率 α_1 は0.69である(図中実線)。一方、第2の共振子16におけるIDT28の電極膜厚 H_2 は0.02、溝深さ G_2 は0.045、ライン占有率 α_2 は0.064である(図中破線)。なお、溝深さ G_1 、 G_2 と電極膜厚 H_1 、 H_2 、および波長 λ の関係、並びにライン占有率 α_1 、 α_2 を求めるために必要とされる電極指幅 L_1 、 L_2 並びに溝幅 S_1 、 S_2 の関係については、図2に示す。

30

【0041】

図7のように示される第1の共振子14の周波数温度特性と第2の共振子16の周波数温度特性を合成すると、周波数温度特性は、図8に示すようなものとなる。すなわち、-40 ~ +85までの温度帯域における周波数変動量が、わずか2.5 ppm程度となる。よって、本実施形態に係るSAWデバイス10は、従来のSAWデバイスに比べ、周波数温度特性を飛躍的に向上させることができると言える。

40

【0042】

ところで、本実施形態に係るSAWデバイス10では、第1の共振子14の周波数温度特性と、第2の共振子16の周波数温度特性を合成することで、SAWデバイス10としての周波数温度特性を得ることとなる。このため、第1の共振子14の周波数温度特性と第2の共振子16の周波数温度特性とを示す傾き、すなわち3次温度係数が等しい場合であっても、両者の変曲点がずれた場合には周波数温度特性が悪化してしまう可能性がある

50

。よって、2つのSAW共振子間における変曲点 T_i の差分温度の許容範囲について検討する。

【0043】

図9に示すグラフは、図8（図7）の周波数温度特性を示す第1の共振子14と第2の共振子16における変曲点 T_i のずれ量（変曲点の差分温度）と、変曲点 T_i のずれによって生ずる周波数変動量の多寡を示すものである。図9によれば、変曲点 T_i の差分温度が19以内であれば、SAWデバイスとしての周波数温度特性の周波数変動量は、10ppm以内とすることができると判る。つまり、変曲点 T_i の差分温度が19以内であれば、3次温度係数が著しく大きいような場合であっても、従来技術よりもさらに周波数温度特性を向上させるといった本願の課題を解決することができる。

10

【0044】

また、当然に、第1の共振子14の3次温度係数 α_1 と第2の共振子16の3次温度係数 α_2 の絶対値が異なる場合には、3次曲線として示される周波数温度特性の合成時における打ち消しに偏りが生じ、SAWデバイス10としての周波数温度特性は悪化することとなる。よって、2つのSAW共振子間における3次温度係数の関係についての許容範囲について検討する。

【0045】

図10は、第1の共振子14の3次温度係数 α_1 と、第2の共振子16の3次温度係数 α_2 との比率と、周波数変動量の関係を示すグラフである。図10からはまず、 $\alpha_1 = \alpha_2$ の場合、すなわち $\alpha_1 / \alpha_2 = 1$ の場合、周波数変動量が0ppmとなることが判る。また、図10からは、 $\alpha_1 / \alpha_2 > 0$ 、および $\alpha_1 / \alpha_2 = 2.4$ の範囲、すなわち $0 < |\alpha_1| \leq 2.4 |\alpha_2|$ の範囲であれば、合成された周波数温度特性における周波数変動量が、10ppm以内となることを読み取ることができる。

20

【0046】

このような構成のSAWデバイス10であれば、-40から+85といった動作温度範囲内における周波数変動量を10ppm以内に抑えることができ、従来に比べて周波数温度特性を飛躍的に向上させることができる。

【0047】

なお、図1に示す形態では、単一の水晶体基板12を平面視した際に、第1の共振子14と第2の共振子16との間に段差を設けることで、第1の共振子14と第2の共振子16との間における溝深さ G （ G_1 、 G_2 ）に差をつけるように示した。このような構成とした場合、段差部分にて、第1の共振子14と第2の共振子16との間を伝播する不要波を抑圧することができる。また、当該段差部分は、第1の共振子14と第2の共振子16との間における不要な音響結合を低減するといった効果も奏することとなる。

30

【0048】

しかしながら水晶体基板12に段差を設ける構成は必須要素ではなく、本実施形態に係るSAWデバイス10は、図11に示すように、水晶体基板12をフラットとした上で、電極形成部をエッチングすることで溝深さ G に変化を与えるようにしても良い。なお、このような構成とした場合、2つの共振子間に生ずる段差は、引出電極38に位置させると良い。

40

【0049】

また、上記実施形態に係るSAWデバイス10は、単一の水晶体基板12上に第1の共振子14と第2の共振子16の双方を形成する構成としていた。しかしながら、本発明に係る圧電デバイスは、第1の共振子と第2の共振子とを異なる基板により形成し、これらを電氣的に接続する形態としても良い。このような構成とした場合であっても同様な効果を得ることができるからである。

【0050】

具体的には、設計上の3次温度係数が α_1 となる第1の共振子を製造する工程と、設計上の3次温度係数が α_2 となる第2の共振子を製造する工程とを有する。なお、第1の共振子の製造ラインと、第2の共振子の製造ラインとは、同一ラインであっても個別ライ

50

ンであっても良い。

【0051】

製造された第1の共振子群と第2の共振子群は、各々変曲点 T_i と3次温度係数 α_3 が計測される。その後、変曲点 T_i と3次温度係数 α_3 が計測された第1の共振子群と第2の共振子群の中から、2つの共振子における変曲点 T_i の差が 19°C 以下であり、第1の共振子における3次温度係数 α_{31} と第2の共振子における3次温度係数 α_{32} との関係が、 $0 < |\alpha_{31} - \alpha_{32}| < 4 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}^3$ の関係を満たす組み合わせを選択する。ここで、選択される2つの共振子は、変曲点 T_i の差が0に近似し、第1の共振子の3次温度係数 α_{31} と第2の共振子の3次温度係数 α_{32} との絶対値が近似する関係となることが望ましい。

【0052】

第1の共振子と第2の共振子を選択した後、入出力電極に対し、2つの共振子が並列な関係となるように電氣的に接続する。

このような方法で圧電デバイスを構成することによれば、単一基板上に2つの共振子を構成する場合に比べ、変曲点 T_i の差、および3次温度係数 α_3 の関係が最適となるように組み合わせることが可能となり、歩留まりを向上させることができる。

【0053】

また、上記実施形態では、基板として、水晶基板12を採用する旨記載した。しかしながら、本発明に係る圧電デバイスは、3次温度係数を得ることのできる構成であれば、基板の構成素材を水晶とする必要は無い。例えば、SAWを励起することのできるタンタル酸リチウムや、ニオブ酸リチウム等としても良い。

【0054】

また、上記実施形態では、第1の振動子、第2の振動子共にSAW共振子として説明した。しかしながら、本発明に係る振動デバイスは、周波数温度特性が3次曲線を示す振動子であって、第1の振動子における3次温度係数 α_{31} と第2の振動子における3次温度係数 α_{32} とが $0 < |\alpha_{31} - \alpha_{32}| < 4 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}^3$ の関係を満たせば、その形態を特に問うものではない。例えば、第1の振動子が、3次温度係数 α_{31} のATカット振動子であり、第2の振動子が3次温度係数 α_{32} のSAW共振子であっても良い。

【0055】

また、本発明に係る振動デバイスは、図12に示すように、コンデンサを設けても良い。このような構成とする場合、第1の振動子14aと第2の振動子16a、およびコンデンサ70は、入力（出力）端子と出力（入力）端子に対して並列となるように接続すると良い。このような構成とすることで、コンデンサ70の容量により、第1の振動子14aと第2の振動子16aの結合度を变化させることができる。

【0056】

また、上記実施形態に係る振動デバイスは、いずれも第1の振動子（第1の共振子14）と第2の振動子（第2の共振子16）を電氣的に並列となるように接続する旨説明した。しかしながら本発明に係る振動デバイスは、図13に示すように、入力（出力）端子と出力（入力）端子に対して直列接続となるように第1の振動子14aと第2の振動子16aを配置しても良い。さらにこのような接続形態を採った場合には、同図に示すように、第1の振動子14aと第2の振動子16aのそれぞれに対して並列となるようにインダクタ72を設けるようにしても良い。インダクタ72を接続することによれば、インダクタ72の値を变化させることで、第1の振動子14aと第2の振動子16aの結合度を变化させることができるからである。

【0057】

次に、本発明に係るSAW発振器について、図14を参照して説明する。本発明に係るSAW発振器は図14に示すように、上述したSAWデバイス10と、このSAWデバイス10に形成された第1の共振子14、第2の共振子16を構成するIDT18, 28に電圧を印加して駆動制御するIC（integrated circuit）50と、これらを収容するパッケージ56とを備える。

【0058】

10

20

30

40

50

実施形態に係る SAW 発振器 100 では、SAW デバイス 10 と IC 50 とを同一のパッケージ 56 に収容し、パッケージ 56 の底板 56a に形成された電極パターン 54a ~ 54g と SAW デバイス 10 に形成された入出力電極 40、および IC 50 のパッド 52a ~ 52f とを金属ワイヤ 60 により接続している。そして、SAW デバイス 10 と IC 50 とを収容したパッケージ 56 のキャビティは、リッド（不図示）により気密に封止している。このような構成とすることで、IDT 18, 28 と IC 50、及びパッケージ 56 の底面に形成された図示しない外部実装電極とを電氣的に接続することができる。

【0059】

また、本発明に係る SAW 共振子は、携帯電話やハードディスク、サーバコンピュータ、および有線・無線基地におけるクロック源として用いることができ、本発明に係る電子機器は、これらの携帯電話やハードディスク等に、上述した SAW 共振子を搭載したものをいう。

10

【0060】

上記実施形態では、振動デバイスとして特に、弾性表面波を励起する圧電デバイスを例に挙げ、従来技術に比して周波数温度特性の向上が図れる旨を説明した。しかしながら本願の思想は圧電以外の駆動方式による振動デバイスにも適用することができる。例えば、クーロン力による静電駆動による振動子や、シリコン半導体を用いた MEMS 振動子等であっても、3 次関数温度特性を備え、3 次温度係数の符号が互いに逆となる 2 つの振動子であれば、本発明を適用することができる。

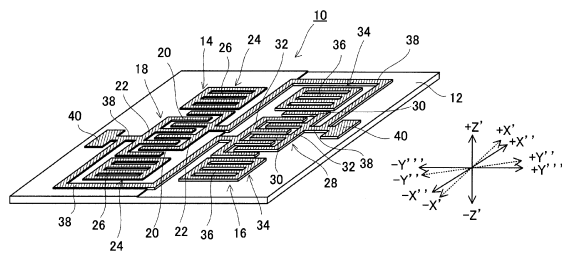
【符号の説明】

20

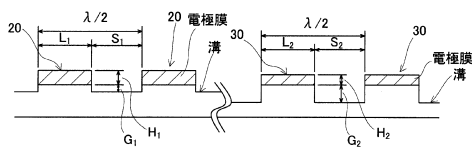
【0061】

10 SAW デバイス、12 水晶基板、14 第 1 の共振子、16 第 2 の共振子、18 IDT、20 電極指、22 バスバー、24 反射器、26 導体ストリップ、28 IDT、30 電極指、32 バスバー、34 反射器、36 導体ストリップ、38 引出電極、40 入出力電極。

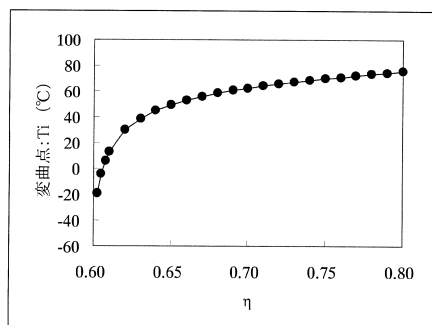
【図 1】



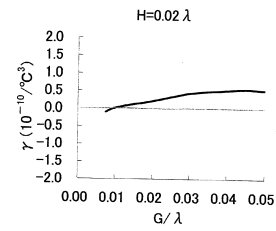
【図 2】



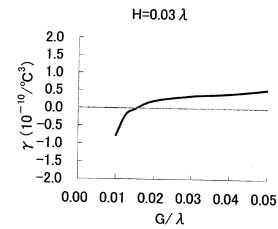
【図 6】



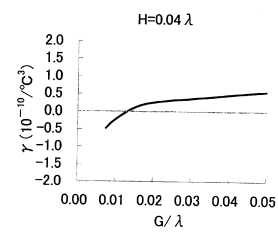
【図 3】



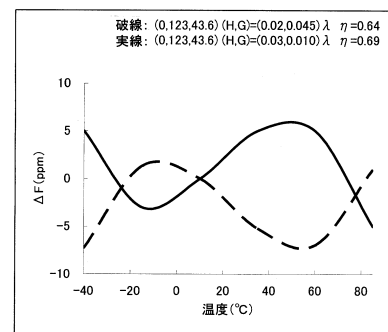
【図 4】



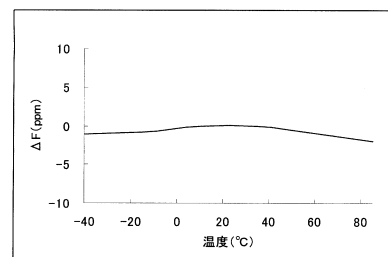
【図 5】



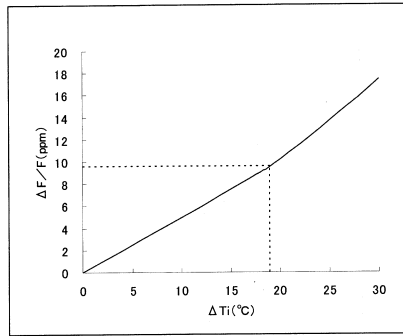
【図 7】



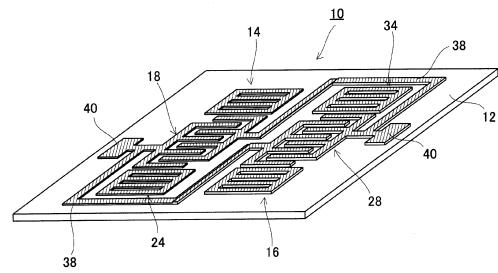
【図 8】



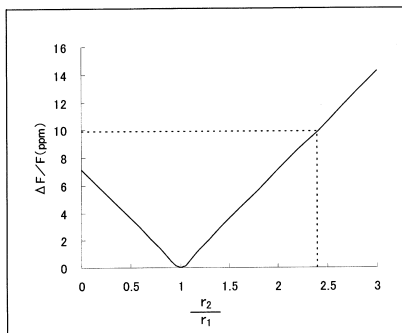
【図 9】



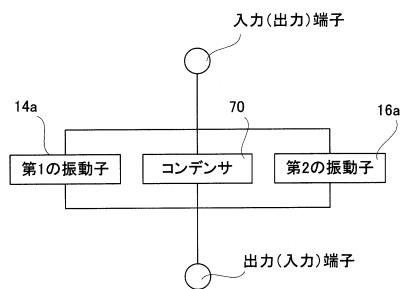
【図 11】



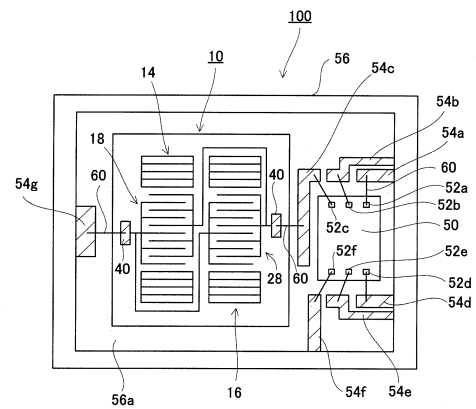
【図 10】



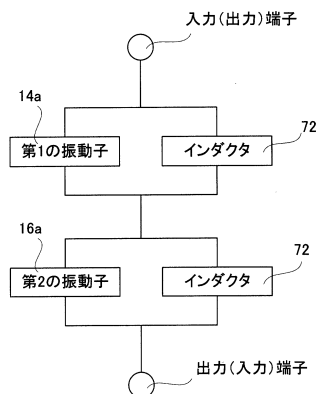
【図 12】



【図 14】



【図 13】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開昭54-079548(JP,A)
特開2004-274696(JP,A)
国際公開第2010/098139(WO,A1)
特開昭57-005418(JP,A)
特表2009-540640(JP,A)
特表2008-523752(JP,A)
特開2003-152487(JP,A)
特開2005-137031(JP,A)
特表2007-503744(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H03H	9/25
H03B	5/30
H03H	3/08