

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載

【部門区分】第 7 部門第 3 区分

【発行日】平成 28 年 3 月 17 日 (2016.3.17)

【公開番号】特開 2014-154994 (P2014-154994A)

【公開日】平成 26 年 8 月 25 日 (2014.8.25)

【年通号数】公開・登録公報 2014-045

【出願番号】特願 2013-22030 (P2013-22030)

【国際特許分類】

H 0 3 H 9/19 (2006.01)

H 0 3 B 5/32 (2006.01)

H 0 1 L 41/09 (2006.01)

H 0 1 L 41/18 (2006.01)

H 0 1 L 41/22 (2013.01)

【F I】

H 0 3 H 9/19 F

H 0 3 H 9/19 D

H 0 3 B 5/32 H

H 0 3 B 5/32 A

H 0 1 L 41/08 C

H 0 1 L 41/08 L

H 0 1 L 41/18 1 0 1 A

H 0 1 L 41/22 Z

【手続補正書】

【提出日】平成 28 年 2 月 2 日 (2016.2.2)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

厚み滑り振動で振動し、表裏の関係にある第 1 の主面及び第 2 の主面を含む基板と、
前記第 1 の主面に配置されている第 1 の励振電極と、
前記第 2 の主面に配置されている第 2 の励振電極と、
を含み、
前記第 1 の励振電極は、平面視で、前記第 2 の励振電極の外縁以内に配置されており、
前記基板の厚さを t_s 、前記第 1 の励振電極と前記第 2 の励振電極の厚さの合計を t_e 、
前記第 2 の励振電極の厚さを t_{e2} 、前記第 1 の励振電極の厚みすべり振動の振動方向
に沿った方向の長さを h_x 、前記第 1 の励振電極および前記第 2 の励振電極の密度を e 、
前記基板の密度を x 、前記基板のカットオフ周波数を f_s 、前記基板に前記第 1 の励
振電極および前記第 2 の励振電極を配置したときに前記基板で励振される周波数を f_e 、
前記基板のエネルギー閉じ込め係数を M 、周波数低下量を \quad 、前記基板の周波数定数を R 、
前記基板の異方性定数を K 、として

$$M = K \times (h_x / (2 \times t_s)) \times$$

$$= (f_s - f_e) / f_s$$

$$f_s = R / [t_s + t_{e2} \times (e / x)]$$

$$f_e = R / [t_s + t_e \times (e / x)]$$

$$15.5 \quad M \quad 36.7$$

の関係を満たすことを特徴とする振動素子。

【請求項 2】

請求項 1 において、

$$1/7 < 1/M < 3/5 < 7$$

の関係を満たすことを特徴とする振動素子。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 において、

前記第 1 の励振電極の厚み滑り振動方向と直交する方向に沿った長さを h_z としたとき、

$$1/25 < h_x/h_z < 1/31$$

の関係を満たすことを特徴とする振動素子。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれか一項において、

前記基板は水晶基板であることを特徴とする振動素子。

【請求項 5】

請求項 4 において、

前記水晶基板が A T カット水晶基板であることを特徴とする振動素子。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の振動素子と、

前記振動素子を収容するパッケージと、

を備えていることを特徴とする振動子。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の振動素子と、

前記振動素子を駆動する発振回路と、

を備えていることを特徴とする電子デバイス。

【請求項 8】

請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の振動素子を備えていることを特徴とする電子機器。

【請求項 9】

請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の振動素子を備えていることを特徴とする移動体。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0006

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0006】

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、以下の形態または適用例として実現することが可能である。

[形態 1] 本形態に係る振動素子は、厚み滑り振動で振動し、表裏の関係にある第 1 の主面及び第 2 の主面を含む基板と、前記第 1 の主面に配置されている第 1 の励振電極と、前記第 2 の主面に配置されている第 2 の励振電極と、を含み、

前記第 1 の励振電極は、平面視で、前記第 2 の励振電極の外縁以内に配置されており、
前記基板の厚さを t_s 、前記第 1 の励振電極と前記第 2 の励振電極の厚さの合計を t_e 、
前記第 2 の励振電極の厚さを t_{e2} 、前記第 1 の励振電極の厚みすべり振動の振動方向に沿った方向の長さを h_x 、前記第 1 の励振電極および前記第 2 の励振電極の密度を e 、
前記基板の密度を x 、前記基板のカットオフ周波数を f_s 、前記基板に前記第 1 の励振電極および前記第 2 の励振電極を配置したときに前記基板で励振される周波数を f_e 、
前記基板のエネルギー閉じ込め係数を M 、周波数低下量を \quad 、前記基板の周波数定数を R 、
前記基板の異方性定数を K 、として

$$\begin{aligned}
 M &= K \times (h_x / (2 \times t_s)) \times \\
 &= (f_s - f_e) / f_s \\
 f_s &= R / [t_s + t_e \times (e / x)] \\
 f_e &= R / [t_s + t_e \times (e / x)] \\
 15.5 \quad M \quad 36.7
 \end{aligned}$$

の関係を満たすことを特徴とする。

本形態によれば、基本波の厚み滑り振動モードで励振する高周波の振動素子において、励振電極及びリード電極の薄膜化に伴うオーミックロスの影響によるC I値の劣化を低減し、励振電極の寸法や膜厚により決定されるインハーモニックモードのスプリアスの励振強度を低減することが可能となる。これにより、主振動のC I値は小さくなり、主振動のC I_m値に対する近接したスプリアスのC I_s値との比、即ちC I値比(C I_s / C I_m)の大きな振動素子が得られるという効果がある。

〔形態2〕上記形態に記載の振動素子において、17.1 M 35.7の関係を満たすことを特徴とする。

本形態によれば、インハーモニックモードのスプリアスの励振強度をよりいっそう低減することが可能となるという効果がある。

〔形態3〕上記形態に記載の振動素子において、前記第1の励振電極の厚み滑り振動方向と直交する方向に沿った長さをh_zとしたとき、

$$1.25 \quad h_x / h_z \quad 1.31$$

の関係を満たすことを特徴とする。

本形態によれば、結晶の異方性により定まる変位方向の変位分布と、それと直交する方向の変位分布が異なる基板を用いた場合、主振動のエネルギー閉じ込めの効率を高めることができる。さらに、振動素子の容量比(=C₀ / C₁、ここで、C₀は静電容量、C₁は直列共振容量)を小さくできる。

ここで、厚み滑り振動の共振周波数が200MHz以上とした場合、厚み滑り振動モードで励振する振動素子は、その周波数が基板の板厚に反比例し決定されるので、200MHz以上の高周波になると基板の板厚が8.4μm以下と非常に薄くなるため、形成する励振電極の膜厚も非常に薄くする必要がある。そのため、電極の薄膜化によるオーミックロスの影響が非常に大きくなり、エネルギー閉じ込め係数Mを前記範囲にすることは、これらの問題を低減できるので、発振回路が必要とするC I値仕様とスプリアス仕様を満足できる振動素子が得られるという効果がある。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0030

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0030】

一般的に厚み滑り振動モードは基板上に部分電極を形成するか、厚み差を設けると、その部分近傍に振動エネルギーを閉じ込めることができ、安定した共振周波数を得ることができる。この場合の閉じ込めモードの共振周波数は、基板の板厚t_sや励振電極の膜厚t_eと寸法h_xにより求まるエネルギー閉じ込め係数Mの関数として表される。

エネルギー閉じ込め係数Mは、下記式(1)で表される。

$$M = K \times (h_x / (2 \times t_s)) \times \dots (1)$$

ここで、Kは基板の異方性係数(ATカット基板の場合は1.538)、h_xは励振電極の厚み滑り振動の変位方向に沿った寸法、t_sは基板の厚み、は周波数低下量である。尚、h_xは、励振電極が円形や楕円形のように形状が矩形でない場合は、厚み滑り振動モードの変位方向に沿った長さのうち最大値を寸法とする。

また、周波数低下量は下記式(2)で表される。

$$= (f_s - f_e) / f_s \dots (2)$$

ここで、f_sは基板のカットオフ周波数、f_eは基板全面に励振電極を成膜した場合の

周波数である。

なお、表裏の励振電極の形状と面積が同一の場合、基板のカットオフ周波数 f_s は下記式 (3) で、基板全面に励振電極を成膜した場合の周波数 f_e は下記式 (4) で表される。

$$f_s = R / t_s \cdots (3)$$

$$f_e = R / [t_s + t_e \times (e / x)] \cdots (4)$$

ここで、 R は基板の周波数定数、 t_s は基板の厚み、 t_e は表裏の励振電極の厚みの合計、 e は励振電極の密度、 x は基板の密度である。

また、表裏の励振電極の形状と面積が異なる場合、基板のカットオフ周波数 f_s は下記式 (5) で、基板全面に励振電極を成膜した場合の周波数 f_e は下記式 (6) で表される。

$$f_s = R / [t_s + t_e 2 \times (e / x)] \cdots (5)$$

$$f_e = R / [t_s + t_e \times (e / x)] \cdots (6)$$

ここで、 R は基板の周波数定数、 t_s は基板の厚み、 $t_e 2$ は面積の大きい方の励振電極の厚み、 t_e は表裏の励振電極の厚みの合計、 e は励振電極の密度、 x は基板の密度である。また、式 (1) において、 h_x は面積の小さい方の励振電極の厚み滑り振動の変位方向に沿った寸法とする。

【手続補正 4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0036

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0036】

図4は図1の実施形態例で試作した246MHz～491MHz帯の共振周波数で振動するATカット水晶振動素子の試作条件と測定結果を示したものである。

表裏の励振電極25a, 25bは下地層としてのニッケル(Ni)層の厚みを7nmで一定とし、上地層としての金(Au)層の厚みを45nm～120nmとしている。励振電極25aの寸法は、 $h_x / h_z = 1.28$ を中心として、 $1.25 \leq h_x / h_z \leq 1.31$ を満足するように、 h_x を0.14mm～0.70mm、 h_z を0.11mm～0.56mmとしている。尚、 h_z は励振電極25aの厚み滑り振動方向と直交する方向に沿った寸法(長さ)である。

また、表裏のリード電極27a, 27bとパッド電極29a, 29bはオーミックロスの影響を回避するために励振電極と同等の厚みを形成した上層部に、厚みが7nmのニッケル(Ni)の層を積層し、その上に厚みが200nmの金(Au)層を積層している。

ここで、図4に示す試作条件は、前述の式(1)、(2)、(5)、(6)を満たしている。

$$M = K \times (h_x / (2 \times t_s)) \times \cdots (1)$$

$$= (f_s - f_e) / f_s \cdots (2)$$

$$f_s = R / [t_s + t_e 2 \times (e / x)] \cdots (5)$$

$$f_e = R / [t_s + t_e \times (e / x)] \cdots (6)$$

尚、各パラメータは以下の通りである。

$$K = 1.538$$

$$R = 1.67 (\text{MHz} \cdot \text{mm})$$

$$x = 2.649 (\text{g} / \text{cm}^3)$$

$$A_u (\text{金の密度}) = 19.3 (\text{g} / \text{cm}^3)$$

$$N_i (\text{ニッケルの密度}) = 8.9 (\text{g} / \text{cm}^3)$$

2層構造からなる励振電極の密度 e は以下のように算出される。

$$e = (A_u \times t_{A_u} + N_i \times t_{N_i}) / (t_{A_u} + t_{N_i})$$

ここで、 t_{A_u} は上地層の金(Au)層の厚み、 t_{N_i} は下地層のニッケル(Ni)層の厚みである。

f_s は振動部 1 2 のカットオフ周波数、 f_e は振動部 1 2 に励振電極を配置したときの周波数である。

図 4 からエネルギー閉じ込め係数 M は、 1.5×10^{-3} 以下としたとき、主振動の CI 値を 20 () 以下に低減できることが分かる。