

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号
特表2004-507960
(P2004-507960A)

(43) 公表日 平成16年3月11日(2004.3.11)

(51) Int.Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
H03H 9/25	H03H 9/25	5J097
H03H 9/145	H03H 9/145	C

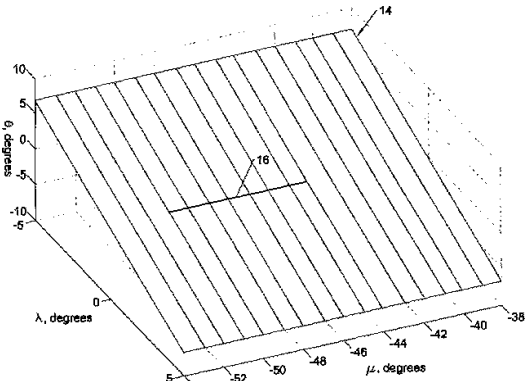
審査請求 有 予備審査請求 有 (全 61 頁)

(21) 出願番号	特願2002-523709 (P2002-523709)	(71) 出願人	503080497 ソーテック・インコーポレーテッド アメリカ合衆国 フロリダ州 32860 -9501 オーランド ビー・オー・ボ ックス 609501
(86) (22) 出願日	平成13年5月3日 (2001.5.3)	(74) 代理人	100064355 弁理士 川原田 一穂
(85) 翻訳文提出日	平成15年2月28日 (2003.2.28)	(72) 発明者	ナターリャ・エフ.・ナウメンコ ロシア連邦国 115569 モスコウ カシルスコーヴェ ショッセ 80-1- 135
(86) 国際出願番号	PCT/US2001/014347	(72) 発明者	ベンジャミン・ビー.・アボット アメリカ合衆国 フロリダ州 32810 オーランド ビサ ドライブ 8637 最終頁に続く
(87) 国際公開番号	W02002/019522		
(87) 国際公開日	平成14年3月7日 (2002.3.7)		
(31) 優先権主張番号	60/229, 523		
(32) 優先日	平成12年8月31日 (2000.8.31)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

(54) 【発明の名称】 圧電性基板の非対称最適カットを用いた弾性表面波デバイス

(57) 【要約】

弾性表面波デバイスが、単結晶 LiTaO_3 からなる圧電性基板と、この圧電性基板上に設けられた電極パターンを含み、これが基板表面上で励起される弾性表面波の音響波長の約1%～約15%の範囲の電極厚さを有する共振器を形成する。圧電性基板は、オイラー角 (λ , μ) により定義される非対称な方位を有し、角 λ の範囲は $-4^\circ \sim +4^\circ$ であり、角 μ の範囲は約 $-52^\circ \sim -36^\circ$ であり、角 λ の範囲は約 $(-1.365 - 4)^\circ \sim (-1.365 + 4)^\circ$ である。このような方位が共振及び反共振周波数での最適伝搬損失と同時に組み合わせられると、RF用途において改善された性能を示す。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

単結晶 LiTaO_3 の圧電性基板と、
 前記圧電性基板の表面上に設けられた電極パターンであって、電極厚さが約 1 % ~ 約 15 % の範囲にある共振器を形成し、ここで は前記圧電性基板の前記表面上に励起される弾性表面波の音響波長である前記電極パターンと、
 を備え、前記圧電性基板が、オイラー角 (, μ ,) により定められる方位を有し、角 は $-4^\circ \sim +4^\circ$ の範囲にあり、角 μ は約 $-52^\circ \sim$ 約 -36° の範囲にあり、角 は約 $(-1.365 - 4)^\circ \sim (-1.365 + 4)^\circ$ の範囲にあり、また、前記角及び の一つが 0° に等しくない弾性表面波デバイス。

10

【請求項 2】

は約 $+2^\circ$ の値を有し、角 μ は -44° より大きくかつ -36° より小さく、角 は、 がほぼ -1.365 の値を有するとして定められて に対して固定した関係を有する、請求項 1 記載の弾性表面波デバイス。

【請求項 3】

= -2.73° である、請求項 2 記載の弾性表面波デバイス。

【請求項 4】

前記電極の主材料成分が Al を含む、請求項 1 記載の弾性表面波デバイス。

【請求項 5】

前記電極の主材料成分が Au を含み、前記電極の厚さが約 1 % ~ 約 2.5 % の範囲にある、請求項 1 記載の弾性表面波デバイス。

20

【請求項 6】

前記電極の主材料成分が Cu を含み、前記電極の厚さが約 1 % ~ 約 6 % の範囲にある、請求項 1 記載の弾性表面波デバイス。

【請求項 7】

単結晶 LiTaO_3 の圧電性基板と、
 前記圧電性基板の表面上に設けられた電極パターンであって、電極厚さが約 1 % ~ 約 15 % の範囲にある共振器を形成し、ここで は前記圧電性基板の前記表面上に励起される弾性表面波の音響波長である前記電極パターンと、
 を備え、前記圧電性基板が、オイラー角 (, μ ,) により定められる非対称的な方位を有し、前記角 及び の一つが 0° に等しくなく、また、特性として 0.01 dB / より小さい伝搬損失と 0.07 より大きい電気機械的結合係数を備える、弾性表面波デバイス。

30

【請求項 8】

単結晶 LiTaO_3 の圧電性基板と、
 前記圧電性基板の表面上に設けられた電極パターンであって、電極厚さが約 5 % ~ 約 15 % の範囲にある共振器を形成し、ここで は前記圧電性基板の前記表面上に励起される弾性表面波の音響波長であり、前記電極の主材料成分が Al を含む前記電極パターンと、
 を備え、前記圧電性基板が、オイラー角 (, μ ,) により定められる方位を有し、角 は 0° 又はほぼ 0° であり、角 μ は約 $-44^\circ \sim$ 約 -36° の範囲にあり、角 は 0° 又はほぼ 0° である、弾性表面波デバイス。

40

【請求項 9】

単結晶 LiTaO_3 の圧電性基板と、
 前記圧電性基板の表面上に設けられた電極パターンであって、電極厚さが約 1.5 % ~ 約 2.5 % の範囲にある共振器を形成し、ここで は前記圧電性基板の前記表面上に励起される弾性表面波の音響波長であり、前記電極の主材料成分が Au を含む前記電極パターンと、
 を備え、前記圧電性基板が、オイラー角 (, μ ,) により定められる方位を有し、角 は 0° 又はほぼ 0° であり、角 μ は約 $-44^\circ \sim$ 約 -36° の範囲にあり、角 は 0°

50

又はほぼ 0° である弾性表面波デバイス。

【請求項 10】

単結晶 LiTaO_3 の圧電性基板と、

前記圧電性基板の表面上に設けられた電極パターンであって、電極厚さが約 3% ~ 約 6% の範囲にある共振器を形成し、ここで は前記圧電性基板の前記表面上に励起される弾性表面波の音響波長であり、前記電極の主材料成分が Cu を含む前記電極パターンと、を備え、前記圧電性基板が、オイラー角 (θ , μ , ϕ) により定められる方位を有し、角 θ は 0° 又はほぼ 0° であり、角 μ は約 -44° ~ 約 -36° の範囲にあり、角 ϕ は 0° 又はほぼ 0° である弾性表面波デバイス。

【請求項 11】

単結晶 LiTaO_3 からなる圧電性基板を備えた弾性表面波デバイスであって、前記圧電性基板は、オイラー角 (θ , μ , ϕ) により定められる表面方位を有し、角 θ は -4° ~ $+4^\circ$ の範囲にあり、角 μ は約 -52° ~ 約 -36° の範囲にあり、角 ϕ は約 $(-1.365 - 4)^\circ$ ~ $(-1.365 + 4)^\circ$ の範囲にあり、前記角 θ 及び ϕ の一つが 0° に等しくない前記弾性表面波デバイス。

【請求項 12】

Al を主材料成分とする電極から形成された前記表面上に電極パターンをさらに備え、前記電極パターンは、電極厚さが約 1% ~ 約 15% の範囲にある共振器を形成し、ここで は前記圧電性基板の前記表面上に励起される弾性表面波の音響波長である、請求項 11 記載の弾性表面波デバイス。

【請求項 13】

Au を主材料成分とする電極から形成された前記表面上に電極パターンをさらに備え、前記電極パターンは、電極厚さが約 1% ~ 約 2.5% の範囲にある共振器を形成し、ここで は前記圧電性基板の前記表面上に励起される弾性表面波の音響波長である、請求項 11 記載の弾性表面波デバイス。

【請求項 14】

Cu を主材料成分とする電極から形成された前記表面上に電極パターンをさらに備え、前記電極パターンは、電極厚さが約 1% ~ 約 6% の範囲にある共振器を形成し、ここで は前記圧電性基板の前記表面上に励起される弾性表面波の音響波長である、請求項 11 記載の弾性表面波デバイス。

【請求項 15】

単結晶 LiTaO_3 からなる漏洩弾性表面波圧電性基板であって、オイラー角 (θ , μ , ϕ) により定められる方位を有する表面を備え、角 θ は -4° ~ $+4^\circ$ の範囲にあり、角 μ は約 -52° ~ 約 -36° の範囲にあり、角 ϕ は約 $(-1.365 - 4)^\circ$ ~ $(-1.365 + 4)^\circ$ の範囲にあり、前記角 θ 及び ϕ の一つは 0° に等しくない前記漏洩弾性表面波圧電性基板。

【請求項 16】

角 θ が約 $+2^\circ$ の値を有し、角 μ が -44° より大きくかつ -36° より小さく、角 ϕ は、角 θ がほぼ -1.365 の値を有するとして定められて ϕ に対して固定した関係を有する、請求項 15 記載の漏洩弾性表面波圧電性基板。

【請求項 17】

$\phi = -2.73^\circ$ である、請求項 16 記載の漏洩弾性表面波圧電性基板。

【請求項 18】

単結晶 LiTaO_3 からなる漏洩弾性表面波圧電性基板であって、オイラー角 (θ , μ , ϕ) により定められる方位を有する表面を備え、角 θ は 0 又はほぼ 0 に設定され、角 μ は約 -44° ~ -36° の範囲にあり、角 ϕ は 0 又はほぼ 0 である前記漏洩弾性表面波圧電性基板。

【発明の詳細な説明】

【0001】

関連出願の相互参照

10

20

30

40

50

この出願は、本出願と共に所有している同時係属の出願番号第 6 0 / 2 2 9 , 5 2 3 号、
2 0 0 0 年 8 月 3 1 日提出の優先権を主張し、それを援用する。

【 0 0 0 2 】

発明の分野

本発明は一般に弾性表面波 (S A W) デバイスに関し、特に、無線通信用の R F フィルタ
リングに適用するために改善された性能特性を有する S A W デバイスに関する。

【 0 0 0 3 】

発明の背景

高周波の弾性表面波 (S A W) デバイスは、無線製品において特に送受信動作のラジオ
周波 (R F) フィルターとして広く用いられる。このようなフィルターは、所望のフィル
タリング機能が発生するコンポーネントとして単結晶の圧電性基板上に形成された共振 S
A W デバイスをしばしば利用する。R F フィルターに一般に用いられ且つこのようなフィル
ターとして望ましい特性をいくつか有する単結晶圧電性基板の一つは、タンタル酸リチ
ウム (L i T a O ₃) である。結晶基板の性能特性は、選択した波伝搬方向により変わ
り、これはオイラー角により定義できる。一定の用途に対して特に望ましいカットが、ウ
エダ (U e d a) 他により米国特許第 6 , 0 3 7 , 8 4 7 号及び米国特許第 5 , 8 7 4 ,
8 6 9 号に記載されている。米国特許第 6 , 0 3 7 , 8 4 7 号は、 θ が固定 (零に設
定) で、 μ が使用する金属化の種類と厚みに依存して変わるようなオイラー角 (θ , μ ,
) を有する L i T a O ₃ の使用を教示する。A l を主成分として含み、かつ、波長
の 0 . 0 3 ~ 0 . 1 5 倍 (すなわち 3 % ~ 1 5 %) の範囲の厚みを有する共振器を形
成する電極パターンの場合、好ましい回転角 μ は、 $- 5 1^{\circ}$ ($3 9^{\circ}$ 回転の Y X カットに
対応) より大きく、 $- 4 4^{\circ}$ ($4 6^{\circ}$ 回転の Y X カットに対応) より小さい (Y カットの
回転角は $\mu' = \mu + 9 0^{\circ}$ として求められる) 。さらなる制限として、回転角 μ が $- 4 8^{\circ}$
($4 2^{\circ}$ 回転の Y X カット) を中心としたオイラー角の範囲が好ましいことを提示する
。主成分として C u を有し、電極の厚みが 0 . 9 % ~ 4 . 5 % である電極パターンで
は、 $- 5 1^{\circ}$ より大きく $- 4 4^{\circ}$ より小さい回転角 μ が選択される。主成分として A u を
有し、厚みが 0 . 4 % ~ 2 . 1 % の範囲にある電極パターンでは、 $- 5 1^{\circ}$ より大き
く $- 4 4^{\circ}$ より小さい回転角 μ が選択される。従って、ウエダの米国特許第 6 , 0 3 7 ,
8 4 7 号では、 $- 5 1^{\circ}$ より大きく $- 4 4^{\circ}$ より小さい範囲の回転角 μ が使用される。米
国特許第 5 , 8 7 4 , 8 6 9 号は、特定のデバイス設計特性の範囲を有するマルチモード
S A W デバイスに対して、オイラー角 θ 及び ϕ が固定 (公称的には零) であり、 μ の範囲
が $- 5 0^{\circ} \sim - 4 8^{\circ}$ である L i T a O ₃ の使用を教示する。

【 0 0 0 4 】

ウエダの米国特許第 6 , 0 3 7 , 8 4 7 号及び第 5 , 8 7 4 , 8 6 9 号は、オイラー角
及び ϕ の値を明確に述べてはいないが、その Y 軸から Z 軸に向かって X 軸を中心として回
転した方位を有し且つ回転角が特定の範囲にある圧電性基板についての記載、及び X 方向
に設定された弾性表面波の伝搬方向についての記載により、当業者ならば第 1 オイラー角
 θ と第 3 オイラー角 ϕ が零に等しいことが分かるであろう。

【 0 0 0 5 】

上述の方位の L i T a O ₃ 上に作成された S A W デバイスは、漏洩弾性表面波 (L S A
W) を利用する。漏洩波は、S A W に比べて大きな伝搬速度を有し、これは高周波 S A W
デバイスにとって有利な特徴である。通常、漏洩波は、零ではない減衰を伴って結晶表面
に沿って伝搬し、この減衰は結晶のバルク中に入るバルク弾性波の放射により生じるので
あるが、一定の条件下ではこの減衰は零になる傾向がある。無視しうる減衰を伴う漏洩波
の一種は、準バルク波である。結晶の自由表面との機械的な境界条件は、境界面に沿って
伝搬しかつこの面内に偏波したバルク波 (よって水平偏波と称する) に対して満ちし得る
。いずれの結晶においても、バルク波の一つが機械的境界条件を満たすような方位は、3
つのオイラー角により定められる結晶空間内の線 (l i n e s) を形成する。L i T a O
3 に対しては、以前にこのような方位が、エヌ・エフ・ナウメンコ (N . F . N a u
m e n k o) による刊行物、S o v . P h y . - C r y s t a l l o g r a p h y 3 7 50

、pp. 220 - 223、1992年に議論されている。特に、これらの方位の一つは 36° 回転した YX カットたるオイラー角 (0° , -54° , 0°) として知られていることが分かった。これは対称的な方位であり、その特徴は、X 軸に平行であり且つ LiTaO₃ の鏡映対称 YZ の平面内に存する境界面に対する法線に平行である伝搬方向である。X 軸に沿って伝搬しかつ 36° 回転した YX カットの平面内で偏波した速い剪断バルク波は、X 軸に沿った電場成分に強く圧電的に結合する。これは、対応する有効な圧電モジュールが LiTaO₃ のその絶対最高点 (absolute maximum) に近いからである。SAW デバイスにおける用途で見込みのある 36° 回転 YX カットの特性に関しては、ケイ・ナカムラ (K. Nakamura) 他、Proc. 1977 IEEE Ultrasonics Symposium, pp. 819 - 822 を参照されたい。 10

【0006】

電氣的な境界条件は、バルク波の性質を変え、バルク波よりもわずかに遅い伝搬速度を有する準バルクにする。大量負荷 (mass loading) 及び 36° 回転した YX カットの表面上に配置された電極パターンにおける電氣的境界条件の効果により、減衰すなわち伝搬損失が増大する。しかしながら、ウエダ他への米国特許第 6,037,847 号に記載のように、伝搬損失がほぼ零の方位は消滅しないが、Al 電極の厚みが零から 0.08 μ m まで増加する際に 36° YX から 42° YX カットまで連続的に動く。同様に、LSAW 減衰が零の方位が、金属厚の関数として Cu 又は Au を主要成分として含有する電極パターンに対して見いだされた。遅い剪断バルク波中への LSAW の散乱による伝搬損失の評価に使用される方法についてのハシモト (Hashimoto) による報告 [K. ハシモト他、Proc. 1997 IEEE Ultrasonics Symposium, pp. 245 - 254] の詳細な記載によると、LSAW 共振器の共振周波数に対応するブラッグ反射の阻止帯の下端での最小伝搬損失が、最適カット角の基準として選択された。しかしながら、伝搬損失は周波数の関数である。従って、帯域幅におけるその平均値を最小にすることが望ましい。後で分かるように、本発明は、共振周波数 (fr) 及び反共振周波数 (fa) にて同時に伝搬損失を最小にする。 20

【0007】

以下、フィルター性能における伝搬損失の効果を説明するために、図 1 を参照する。図 1 は、ラダーフィルターの例であり、3 つの分路共振 SAW 構造 (R4、R5、R6) 及び 3 つの直列共振 SAW 構造 (R1、R2、R3) を含み、 42° 回転した YX カットの LiTaO₃ 基板を利用する。考慮中のデバイスでは、共振 SAW 構造が、格子状領域を含み得る複合デバイス構造内にて直列及び並列 (分路) の両方のコンポーネントとして使用される。ラダーフィルターにおいては、直列要素の共振周波数にほぼ等しい分路要素の反共振周波数を有するのが普通である。次に、フィルターの通過帯域の下端が、分路要素の共振周波数での伝搬損失により決められ、通過帯域の上端が、直列要素の反共振での伝搬損失により決められる。従って、両周波数たる共振及び反共振周波数での伝搬損失が重要であり、それらが同時に最小にされるのが望ましい。 30

【0008】

図 2 は、電極材料として Al を有する 42° 回転した YX カット LiTaO₃ について計算した共振及び反共振周波数での伝搬損失を、LSAW 波長に対して正規化した電極厚さ h/λ の関数として示す。例えばコバックス (Kovacs) により報告された定数などの別の材料定数の組が用いられるなら結果は有意には変わらないことが分かったけれども (G. Kovacs et al., Proc. 1990 IEEE Ultrasonics Symposium, pp. 435 - 438)、タジエブ (Taziev) により報告された LiTaO₃ の材料定数を用いてこれら及び他の計算を行った (R. M. Taziev et al., Proc. 1994 IEEE Ultrasonics Symposium, pp. 415 - 419)。 40

【0009】

例として、電極の厚さを 10% とおく。特に GHz 用途での最近の RF フィルターでは 50

、このような電極厚さは、高い動作周波数すなわち短波長のためむしろ一般的である。共振周波数での伝搬損失は約 0.003 dB / とかなり低い、反共振周波数では約 0.03 dB / であり、10倍大きい。従って、フィルターの周波数応答は、非対称であり、高周波通過帯域の端部がより大きく劣化し、形状ファクターが増加することが期待される。図3は、共振及び反共振での伝搬損失のSAWフィルター性能への効果を表し、伝搬損失が平均周波数 $f_0 = (f_r + f_a) / 2$ にて最小化されるならば、伝搬損失が共振又は反共振周波数のどちらかにて最小化される場合に比べて、より小さい挿入損失とより良い形状ファクターを得ることができることを示す。通過帯域についてのより広い帯域幅及びより険しい端部のため、さらに望ましい形状ファクターが期待される。

【0010】

10

上記記載より、本発明の目的の一つは、電極厚さが1% から15% まで広範囲に変化する一方で共振及び反共振周波数にて同時に最適化された伝搬損失を有する LiTaO_3 の選択された方位を用いて、共振器型の要素を備えたSAWフィルターについて改善された性能を与えること、特に挿入損失を小さくしかつ形状ファクターを改善することである。

【0011】

特に、主成分としてAlを有する電極パターンでは、厚さが8% から15% までの範囲にある相当に低い挿入損失（望ましくは 0.01 dB / より小）の基板カットを提供する強い要求がある。米国特許第6,037,847号の図13によると、電極の厚さが8% を超えると、 $36^\circ - YX$ から $46^\circ - YX$ までの範囲にある LiTaO_3 の方位は、75% のAl厚さの $42^\circ - YX$ におけるのと同程度に低い伝搬損失を与えることができない。例えば、10% Al厚さでは、最小の伝搬損失は約 0.01 dB / であることが分かった。また、Auが電極材料の主成分として用いられ、電極厚さが1.5% から2.5% までの範囲にあるとき、およびCuが電極材料の主成分として用いられ、電極厚さが3% から6% までの範囲にあるとき、最適化された伝搬損失を有する基板カットに対する要求が存在する。

20

【0012】

異なる用途のRFフィルターにおける種々の電気パラメータの特定値は、LSAW特性の異なる値、特に異なる電気機械的結合係数を有する圧電性基板を必要とする。しかしながら、低い挿入損失と高い動作周波数の必要性により、 LiNbO_3 の μ' 回転した YX カット及び LiTaO_3 の μ' 回転した YX カット（回転角 μ' は電極の要求厚さにより選択）に対して、RFフィルターでは一般に用いられる基板カットが制限される。一方、非対称的な LiTaO_3 の方位ゆえに、かなり低い伝搬損失を有する種々の基板カットを与えることができ、オイラー角（ θ, μ, ϕ ）（ θ と ϕ は零でない）により定められる。 $36^\circ \sim 42^\circ$ 回転した LiTaO_3 の Y カットの例により、準バルク性質の低減衰漏洩波は、消えるのではなく、電極厚さが増大するにつれ結晶空間中を連続的に移動することが示された（米国特許第6,037,847号）。

30

【0013】

本発明は、このような挙動は、速い剪断表面 - スキミング（skimming）バルク波（SSBW）が自由表面上での機械的な境界条件を満足するような非対称的な方位に対しても一般的であることを教示する。また、伝搬損失が最適化された非対称的な方位は、結晶空間内で連続的な線を形成し、この線は対称点（ $0, \mu, 0$ ）と交差する。従って、低い伝搬損失を維持するためには、この線を配置することで、対称的な方位からの結晶カット面の時々逸脱を伴う伝搬方向を調整し得る。

40

【0014】

発明の概要

従って、上述した背景より、本発明の目的は、高周波（RF）SAWデバイスにおいて使用するため最適な方位を有する圧電性基板を提供することであり、これは従来技術の基板方位の既知の欠点を解消し得るものである。

【0015】

50

本発明の別の目的は、電極厚さが 1 % から 15 % (は音響 (a c o u s t i c) 波長) までの広範囲にて変化する一方、共振及び反共振周波数にて同時に最適化された伝搬損失を伴う LiTaO_3 の方位を用いて、改良された性能を有する共振器型の要素を備えた SAW デバイスを提供することである。

【0016】

本発明の別の目的は、パターン電極厚さが 1 % より大きく 15 % より小さい一方、オイラー角 (, μ ,) (と は零でない) により定められる非対称的な方位を用い、0.01 dB / 未満の伝搬損失と 0.07 より大の電気機械的結合係数を有する RF 用途の SAW デバイスにおける種々の電気的パラメータを与えることである。

【0017】

本発明の別の目的は、結晶カット面の望ましい対称的方位 (0 , μ , 0) からの時々逸脱を伴う伝搬方向を調整して低い伝搬損失を維持することである。これは、角度 が -4° から 4° まで変化し角度 μ が固定されている一方、最適な伝搬損失の方位 (, μ ,) を記載するオイラー角 と 間のこのような関係を見つけることにより達成される。

【0018】

本発明の別の目的は、前記圧電性基板の表面に配置され共振器を形成する電極パターンを有し、単結晶 LiTaO_3 の圧電性基板を備えた SAW デバイスを提供することである。この電極パターンの厚さは、1 % から 15 % までの範囲にあり、Al が電極材料の主成分として使用され、また、圧電性基板は、オイラー角 (, μ ,) により定められる方位を有し、角 は $-4^\circ \sim +4^\circ$ の範囲にあり、角 μ は $-52^\circ \sim -36^\circ$ の範囲にあり、角 は $(-1.365^\circ - 4^\circ) \sim (-1.365^\circ + 4^\circ)$ の範囲にあり、角 又は のどちらかが零に等しくない。

【0019】

本発明の別の目的は、圧電性基板の表面に配置され共振器を形成する電極パターンを有し、単結晶 LiTaO_3 の圧電性基板を備えた SAW デバイスを提供することである。この電極パターンの厚さは、1 % から 25 % までの範囲にあり、Au が電極材料の主成分として使用され、また、圧電性基板がオイラー角 (, μ ,) により定められる方位を有し、角 は $-4^\circ \sim +4^\circ$ の範囲にあり、角 μ は $-52^\circ \sim -36^\circ$ の範囲にあり、角 は $(-1.365^\circ - 4^\circ) \sim (-1.365^\circ + 4^\circ)$ の範囲にあり、角 又は のどちらかが零に等しくない。

【0020】

本発明の別の目的は、圧電性基板の表面に配置され共振器を形成する電極パターンを有し、単結晶 LiTaO_3 の圧電性基板を備えた SAW デバイスを提供することである。この電極パターンの厚さは、1 % から 6 % までの範囲にあり、Cu が電極材料の主成分として使用され、また、圧電性基板がオイラー角 (, μ ,) により定められる方位を有し、角 は $-4^\circ \sim +4^\circ$ の範囲にあり、角 μ は $-52^\circ \sim -36^\circ$ の範囲にあり、角 は $(-1.365^\circ - 4^\circ) \sim (-1.365^\circ + 4^\circ)$ の範囲にあり、角 又は のどちらかが零に等しくない。

【0021】

本発明の別の目的は、圧電性基板の表面に配置され共振器を形成する電極パターンを有し、単結晶 LiTaO_3 の圧電性基板を備えた SAW デバイスを提供することである。この電極パターンの厚さは、5 % から 15 % までの範囲にあり、Al が電極材料の主成分として使用され、また、圧電性基板がオイラー角 (0 , μ , 0) により定められる方位を有し、角 μ は $-44^\circ \sim -36^\circ$ の範囲にある。

【0022】

本発明の別の目的は、圧電性基板の表面に配置され共振器を形成する電極パターンを有し、単結晶 LiTaO_3 の圧電性基板を備えた SAW デバイスを提供することである。この電極パターンの厚さは、1.5 % から 2.5 % までの範囲にあり、Au が電極材料の主成分として使用され、また、圧電性基板がオイラー角 (0 , μ , 0) により定められる方位を有し、角 μ は $-44^\circ \sim -36^\circ$ の範囲にある。

10

20

30

40

50

【0023】

本発明の別の目的は、圧電性基板の表面に配置され共振器を形成する電極パターンを有し、単結晶 LiTaO_3 の圧電性基板を備えた SAW デバイスを提供することである。この電極パターンの厚さは、3% から 6% までの範囲にあり、Cu が電極材料の主成分として使用され、また、圧電性基板がオイラー角 $(0, \mu, 0)$ により定められる方位を有し、角 μ は $-44^\circ \sim -36^\circ$ の範囲にある。

【0024】

好ましい実施態様の説明

本発明の好ましい実施態様の詳細な説明の前に、特定のオイラー角 (\quad, μ, \quad) により基板カット及びこのカット内の LSAW の伝搬方向を定義するために、方位を定める手順についてさらに説明する。さて図 4 を参照する。オイラー角の慣例により LiTaO_3 の結晶軸に沿って固定された初期座標軸 X、Y、Z を用い、第 1 の補助軸 X' (正方向) が、正の X 軸から正の Y 軸に向けて角 \quad だけ回転することにより得られる。次に、基板カット 12 に対し外方向の法線 Z' が、正の X' から見て角 μ だけ反時計回りに補助軸 X' を中心として正の Z 軸から回転することにより見いだされる。最後に、表面波伝搬方向 X は、正の Z' 軸から見て角 \quad だけ反時計回りに Z' を中心として正の X' 軸から回転することにより見いだされる。

【0025】

ここに記載のオイラー角は正又は負どちらかの値を取ることができ、よって角 \quad 、 μ 又は \quad により記載される回転も反対方向の回転を指示する正又は負どちらかの符号により記載でき、ここに記載のような所望の伝搬損失を達成するのに好ましい表面カットを指定する。

【0026】

表面波の発生及び検出に用いられ又は共振器を形成する電極パターンを備えた圧電性基板を有するいずれの SAW フィルターの性能も、基板における伝搬損失により影響される。異なるメカニズムが伝搬損失に寄与するのだが、漏洩波の性質により生じる伝搬損失、すなわち基板のバルク中へのバルク波の放射により生じる伝搬損失についてさらに説明する。特定の基板カット及び伝搬方向では、この伝搬損失は金属化比率や波長に対して正規化した電極厚さ h/p のようなフィルター構造の詳細に依存する。電極パターンが主成分として Al、Cu 又は Au を含み、金属化比率 $a/p = 0.5$ であり、正規化した電極厚さが 1% から 15% までの広範囲に亘ることを仮定して調べた。上記説明したように、共振及び反共振周波数での伝搬損失の同時最小化が、最適化の基準として用いられた。

【0027】

第 1 及び第 3 オイラー角を零とし、Al を電極材料の主成分とした LiTaO_3 の μ' 回転した YX カット [オイラー角 $(0^\circ, \mu' + 90^\circ, 0^\circ)$] に対して、電極厚さ及び回転角 μ' の関数として伝搬損失を計算した。図 5 及び図 6 は、それぞれ共振周波数 f_r での伝搬損失及び反共振周波数 f_a での伝搬損失を等高線図として示す。(破線により示された) 最小損失の線が各々の図において明瞭に分かり、これは正規化された厚さ h/p の関数として最小損失を与えるカット角 μ' を示す。図 5 及び図 6 では、これらの破線は互いに近接してはいるが異なる値を示す。 $(f_r + f_a)/2$ として概算した平均伝搬損失が図 7 に示される。Al を電極材料とした共振型要素を有する SAW デバイスでは、最小損失の線(破線)が、カット角の関数として最適な電極厚さを決める。

【0028】

例として、電極厚さ 10% に対して図 7 から求められた LiTaO_3 の最適な方位の一つは、 48° 回転した YX カット [オイラー角 $(0^\circ, -42^\circ, 0^\circ)$] であり、一方 42° 回転した YX カット [オイラー角 $(0^\circ, -48^\circ, 0^\circ)$] は Al 電極厚さ 5% に対してほぼ最適である。図 8 は、 LiTaO_3 の 3 方位たる 36° YX、 42° YX 及び 48° YX カットにおける共振及び反共振周波数での伝搬損失を電極厚さの関数として示す。正規化した厚さに依存した各々の伝搬損失は、ほぼ零の損失値の最小値を有する。 42° YX カットでは、共振周波数での伝搬損失の最小が約 7% にて生じ、反共

振周波数での伝搬損失の最小が約 4 % にて生じる。よって、平均伝搬損失は、約 5 % にて最小である。48° YX カットでは、共振及び反共振周波数での伝搬損失の最小が、それぞれ 12 % 及び 8 % にて生じ、平均伝搬損失は 10 % にて最小である。

【0029】

図 9 は、36° YX、42° YX 及び 48° YX カットに対してシミュレーションした電気機械的結合係数 k^2 を電極厚さの関数として示す。すべての従属性 (dependencies) は、約 10 % にて最大値を有する。 μ' が 36° から 48° まで増加すると、圧電結合は一般に減少する。しかしながら、電極厚さがカット角 μ' に対して最適化されて最小の平均伝搬損失を与えるならば、図 10 ~ 12 に示されるように、最大の圧電結合たる $k^2 = 0.082$ が $\mu' = 48^\circ$ 及び $h/\lambda = 10\%$ にて生じる。図 10 は、Al、Cu 又は Au を電極材料の主成分とする SAW デバイスに対し、電極厚さとカット角との間の最適な関係を示し、図 11 及び図 12 は、図 10 により厚さを最適化した場合の電気機械的結合係数及び伝搬損失 $L_r = L_a$ をカット角の関数としてそれぞれ示す。Al を電極材料として用いると、最大結合 $k^2 = 0.083$ が、 $\mu' = 46.5^\circ$ 及び厚さ約 9 % にて生じる一方、伝搬損失は 0.0025 dB/ である。Au を電極材料とすると、最大結合 $k^2 = 0.086$ が、 $\mu' = 47^\circ$ および最適厚さが約 1.6 % にて生じ、また、Cu が電極材料の場合には、最大結合 $k^2 = 0.086$ が、 $\mu' = 47^\circ$ および最適厚さが約 3.6 % にて生じる。

10

【0030】

従って、図 10 ~ 12 により、第 1 及び第 3 オイラー角 (μ 及び μ') が (公称では) 零に固定されている場合に Al 電極の厚さが 8 % から 13 % までのグレーティングでは、最適な回転角 μ' は 46° より大きく 54° より小さいことが分かった。同じ場合に、Au を電極材料の主成分とすると、最適な回転角 μ' は、電極厚さが 1.5 % から 2.5 % までの範囲内で変わるときには 46° より大きく 54° より小さいことが分かり、Cu を電極材料の主成分とすると、最適な回転角 μ' は、電極厚さが 3 % から 6 % までの範囲内で変わるときには 46° より大きく 54° より小さいことが分かった。本発明の好ましい実施態様は、48° に名目上等しい μ' の値、すなわちオイラー角 (0° , -42° , 0°) を有する。

20

【0031】

図 1 による構造を有しかつ LiTaO_3 の 36° YX、42° YX 又は 48° YX カットの表面上に配置された 3 つのラダーフィルターのシミュレーションした周波数応答についての比較が図 13 に示され、帯域の拡大図が図 14 に示される。厚さ 10 % の電極パターンは、Al を主成分として用いる。48° YX カットは、通過帯域における最適化された平均伝搬損失ゆえに、36° YX 及び 42° YX カットに比べてより低い挿入損失及びより良い形状ファクターを与える。

30

【0032】

上記説明したように、結晶方位の対称的カット (0° , μ , 0°) からの逸脱 (deviation) は、基板平面の逸脱の後にこの平面内で伝搬方向の適当な回転が行われる場合には、伝搬損失の有意な増加を必ずしも生じない。従って、非対称的カットを含めたより全般的な調査により、所望の伝搬特性を有し、パワーフロー角が零ではないが相対的に小さく、よってデバイス設計中に管理可能であるような方位のより広い範囲が見つかった。オイラー角 μ を -52° から -36° までの範囲内に固定し、角 μ' 及び μ の範囲を $-5^\circ \sim 5^\circ$ に亘って調査した。分析した各 μ に対して、電極厚さは、図 10 に示す関係に従って最適となるように設定した。

40

【0033】

例として、オイラー角 (μ , -42° , μ')、($\mu' = 48^\circ$) の方位についてさらに説明する。Al が電極材料として用いられ、最適な電極厚さは 10 % である。共振及び反共振周波数での伝搬損失、電気機械的結合係数並びにパワーフロー角についての等高線図 (それぞれ図 15、16、17 及び 18) は、LSAW 特性を角 μ 及び μ' の関数として示す。図 15 及び図 16 における最小伝搬損失の線 (ここでも破線で示す) はほぼ一致し、

50

次の関係： $\theta = -1.365^\circ$ により記述できる。 -4° より大きく $+4^\circ$ より小さい θ を用いた上述の関係により記述される方位では、共振及び反共振周波数での伝搬損失は 0.003 dB を超えず、 K^2 は 8% より大きい。これらの値は、対称的な方位 (0° , -4.2° , 0°)、すなわち 4.8% YXカットの値に近い。パワーフロー角の絶対値は、 θ が増大するにつれて大きくなるが、 $-4^\circ < \theta < 4^\circ$ のときには 5° を超えない。

【0034】

従来技術とは違って、例としてここに記載の本発明は、図19に関する例として記載のような平面14内にあるオイラー角 μ 、 θ の許容可能な値を示すものであり、ウエダの米国特許第6,037,847号及び第5,874,869号に例として当該技術における記載がされたような線16に限定すべき1組のオイラー角を示しているのではない。 10

【0035】

さらなる分析により、電極厚さが図10に従って各 μ に対して最適に設定されて最小の平均伝搬損失を与えるならば、 $-5.2^\circ \sim -3.6^\circ$ の範囲に固定された μ に対して、関係 $\theta = -1.365^\circ$ が非対称的な線 () を適切に記述する。また、Au又はCuが電極材料の主成分である場合、 μ が $-5.2^\circ \sim -3.6^\circ$ の範囲内に固定されていれば、同じ関係が最適な方位 (, μ ,) の非対称的な線に対して参照できる。このことは図20、21及び22により示される。これらは、 10% 厚のAl電極、 4% 厚のCu電極及び 1.8% 厚のAu電極のパターンを有するLiTaO₃ の方位 (, -4.2° , -1.365°) に対し、角 θ に対する平均伝搬損失、電気機械的結合係数及びパワーフロー角をそれぞれ示す。3つの場合すべてにおいて、LSAW特性は θ と共に非常にゆっくりと変化し、よって平均伝搬損失は、 0.004 dB を超えず、 $-4^\circ < \theta < 4^\circ$ のとき K^2 は 8% より大きい一方、パワーフロー角の絶対値は 5° より小さい。 20

【0036】

従って、零でない第1及び第3オイラー角の場合には、第1オイラー角 θ は、その絶対値によって零でなくかつ 4° より小さく設定される。 θ の公称値は $\theta = +2^\circ$ となる。第2オイラー角 μ は、 μ が -5.2° より大きいが -3.6° より小さいようにかなり広い範囲内で選択できる。この第2の発明の好ましい実施態様では、 μ が -4.4° より大きく -3.6° より小さいように第2オイラー角を制限する。第3オイラー角 θ は、第1オイラー角に対する固定した関係 $\theta = -1.365^\circ$ を有する。よって、好ましい実施態様での θ の公称値は、 $\theta = -2.73^\circ$ である。 30

【0037】

本発明の多くの特徴や利点について、発明の構造や機能の詳細と共に述べてきたが、この開示は単なる説明であり、詳細において、特にSAWデバイスの種類、ダイ (die) 上のデバイス方位及び部品の形状サイズ・配置についての選択において、本発明の原理内にて特許請求の範囲に表される用語の一般的な広い意味により示される十分な範囲にまで変更が可能であることが分かる。例えば、電極材料の主成分としての用語Alは、主成分としてAlを用いる合金を含むべきである。

【図面の簡単な説明】

【図1】共振及び反共振周波数にて同時に伝搬損失を最小化する必要があるフィルターの例として、ラダーフィルターの概念図を示す。 40

【図2】LiTaO₃ の 4.2° 回転したYXカット上のLSAWに対し、共振及び反共振周波数での伝搬損失を、波長について正規化したAl電極厚さの関数としてグラフに示す。

【図3】ラダーSAWフィルターの性能に対する共振及び反共振周波数での伝搬損失の増大の効果を概略的に示す図である。

【図4】初期結晶軸X, Y, Zに対するオイラー角を用いて、結晶面の方位とこの面における伝搬方向を概略的に示す。

【図5】LiTaO₃ の μ' 回転したYXカット上のAl電極を有するパターンに対し、共振周波数での伝搬損失の等高線をカット角 μ' と正規化した電極厚さとの関数として 50

示す。

【図 6】 LiTaO_3 の μ' 回転した YX カット上の Al 電極を有するパターンに対し、反共振周波数での伝搬損失の等高線をカット角 μ' と正規化した電極厚さとの関数として示す。

【図 7】 LiTaO_3 の μ' 回転した YX カット上の Al 電極を有するパターンに対し、平均伝搬損失の等高線をカット角 μ' と正規化した電極厚さとの関数として示す。

【図 8】Al 電極のパターンを有する LiTaO_3 の 36° YX、 42° YX 及び 48° YX カットに対する共振及び反共振周波数での伝搬損失を、正規化した電極厚さの関数としてグラフに示す。平均伝搬損失は、 42° YX カットでは $h/0.05$ にて最小化され、 48° YX カットでは $h/0.1$ にて最小化される。

10

【図 9】Al 電極のパターンを有する LiTaO_3 の 36° YX、 42° YX 及び 48° YX カットに対する電気機械的結合係数を、正規化した電極厚さの関数としてグラフに示す。

【図 10】電極材料の主成分として Al、Cu 及び Au を有する LiTaO_3 の μ' 回転した YX カットに対し、最適な正規化した電極厚さとカット角 μ' との関係を示す図である。

【図 11】電極材料の主成分として Al、Cu 及び Au を有する LiTaO_3 の μ' 回転した YX カットに対し、最適化した厚さに対応する電気機械的結合係数と、図 10 の回転角依存性との関係をグラフに示す。

【図 12】電極材料の主成分として Al、Cu 及び Au を有する LiTaO_3 の μ' 回転した YX カットに対し、最適化した厚さに対応する平均伝搬損失と、図 10 の回転角依存性との関係をグラフに示す。

20

【図 13】 LiTaO_3 の 36° YX、 42° YX 及び 48° YX カットの基板上に図 1 に従って構成された 3 つのフィルターの SAW フィルター周波数応答を示す図である。

【図 14】フィルター通過帯域を含んだ図 13 の図の拡大部分を示す。

【図 15】オイラー角 (, -42° ,) により定められる LiTaO_3 基板上に配置され厚さ 10 % の Al 電極のパターンに対し、共振周波数での伝搬損失の等高線を、角 及び の関数として示す。ここで、最適な非対称方位の線たる $= -1.365$ が示される。

【図 16】オイラー角 (, -42° ,) により定められる LiTaO_3 基板上に配置され厚さ 10 % の Al 電極のパターンに対し、反共振周波数での伝搬損失の等高線を、角 及び の関数として示す。ここで、最適な非対称方位の線たる $= -1.365$ が示される。

30

【図 17】オイラー角 (, -42° ,) により定められる LiTaO_3 基板上に配置され厚さ 10 % の Al 電極のパターンに対し、電気機械的結合係数の等高線を、角 及び の関数として示す。ここで、最適な非対称方位の線たる $= -1.365$ が示される。

【図 18】オイラー角 (, -42° ,) により定められる LiTaO_3 基板上に配置され厚さ 10 % の Al 電極のパターンに対し、パワーフロー角の等高線を、角 及び の関数として示す。

40

【図 19】SAW デバイスの性能を最適化するのに望ましい表面を達成するオイラー角の得られた面を示すオイラー角、 μ 、 の図である。

【図 20】10 % の厚みの Al 電極、4 % の厚みの Cu 電極、及び 1.8 % の厚みの Au 電極を有する 3 つのパターンに対し、オイラー角 (, -42° , -1.365^*) により定められる方位における平均伝搬損失をグラフに示す。

【図 21】10 % の厚みの Al 電極、4 % の厚みの Cu 電極、及び 1.8 % の厚みの Au 電極を有する 3 つのパターンに対し、オイラー角 (, -42° , -1.365^*) により定められる方位における電気機械的結合係数をグラフに示す。

【図 22】10 % の厚みの Al 電極、4 % の厚みの Cu 電極、及び 1.8 % の厚みの Au 電極を有する 3 つのパターンに対し、オイラー角 (, -42° , -1.365^*) により定められる方位における平均伝搬損失をグラフに示す。

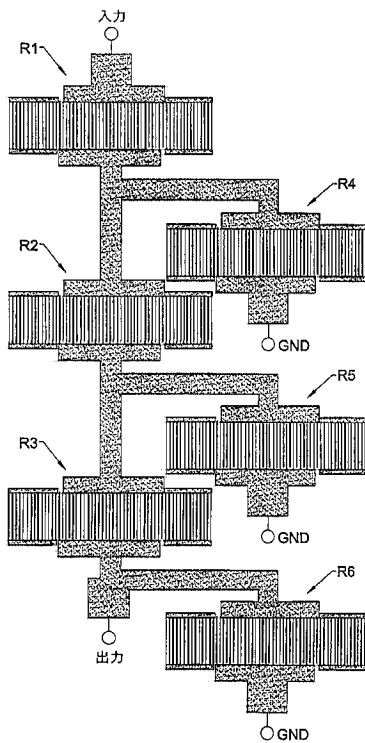
50

）により定められる方位における L S A W のパワーフロー角をグラフに示す。

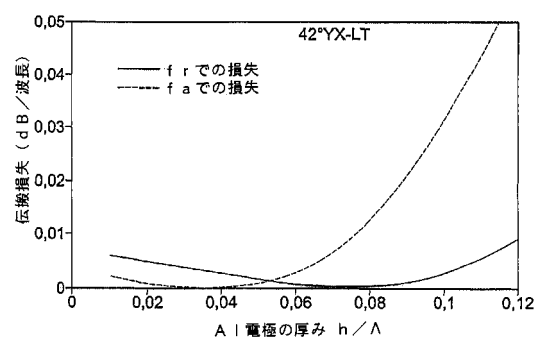
【符合の説明】

- 1 0 圧電性基板
1 2 基板カット

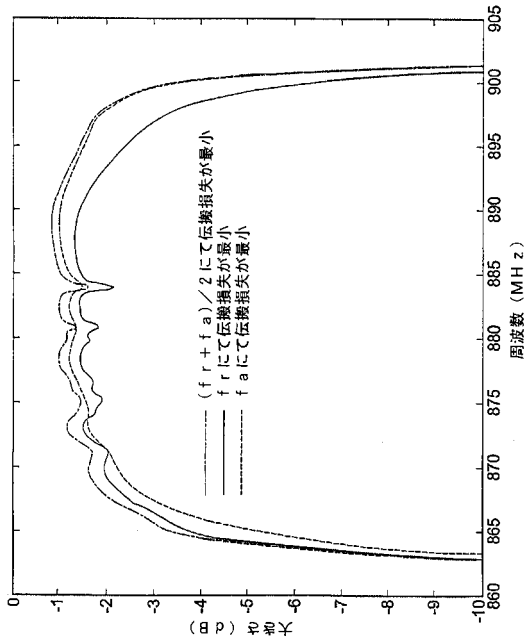
【図 1】



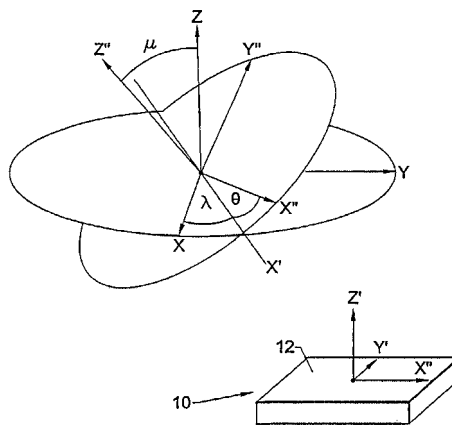
【図 2】



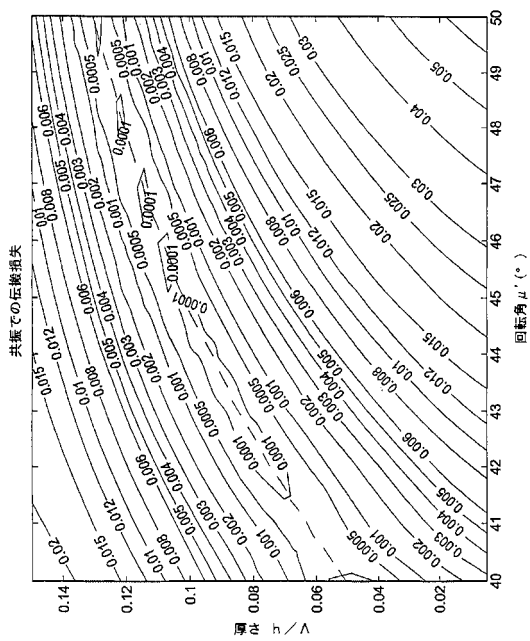
【図 3】



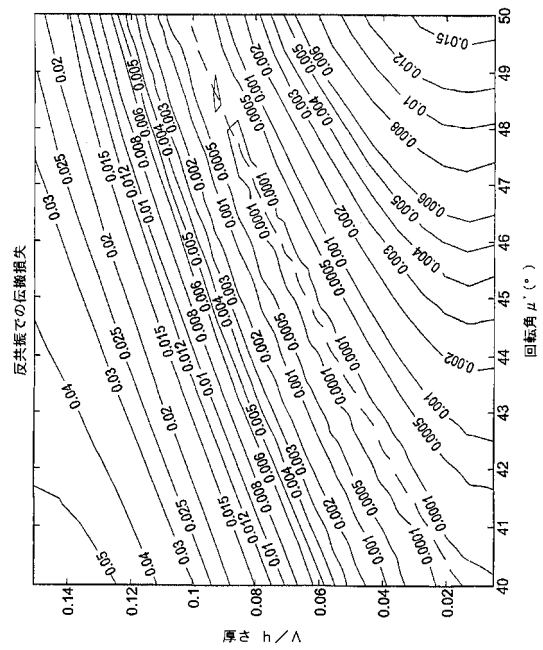
【図 4】



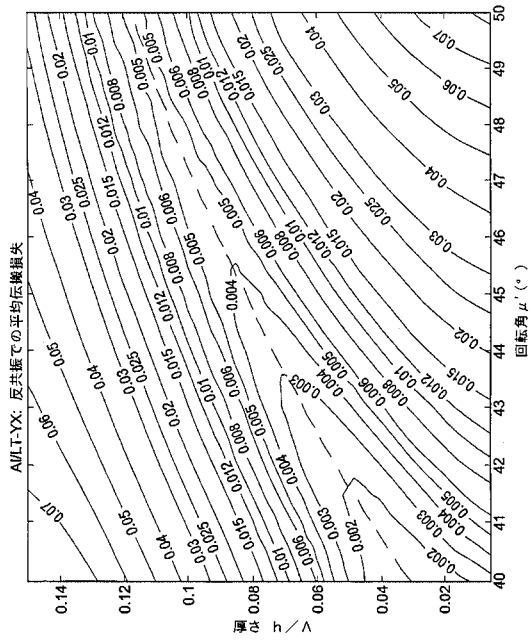
【図 5】



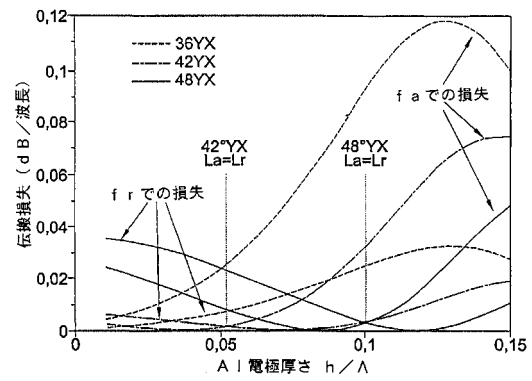
【図 6】



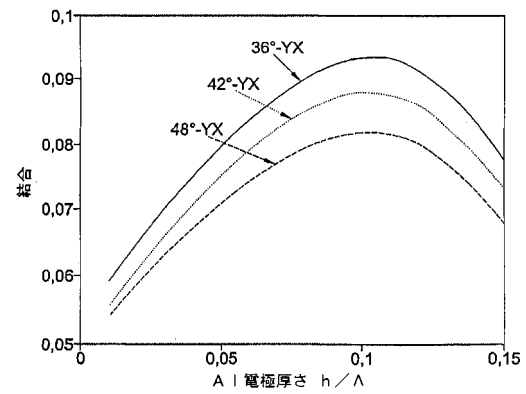
【図 7】



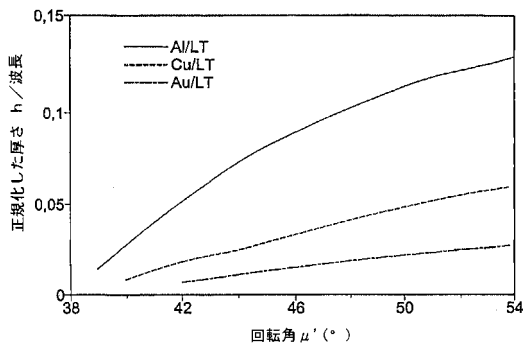
【図 8】



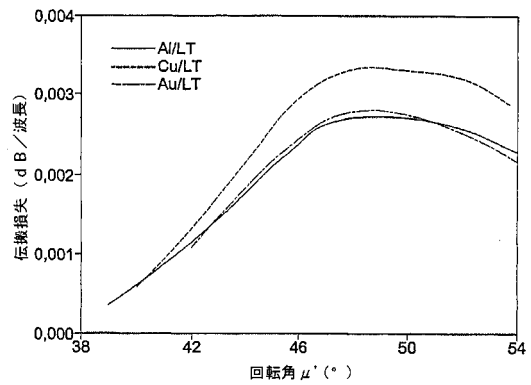
【図 9】



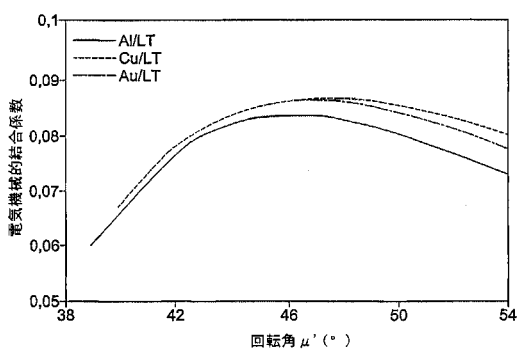
【図 10】



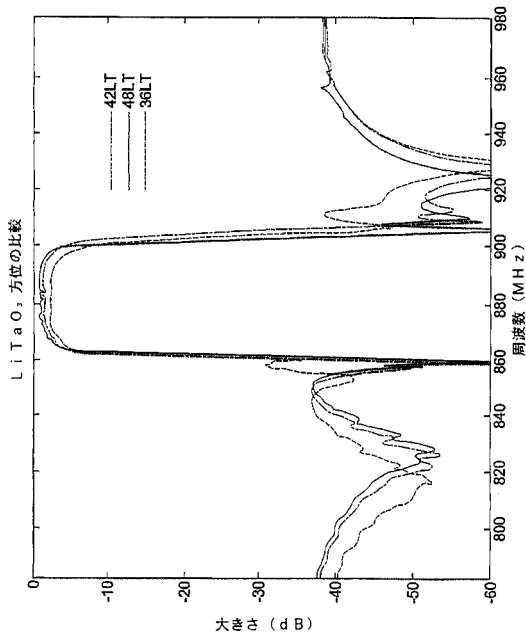
【図 12】



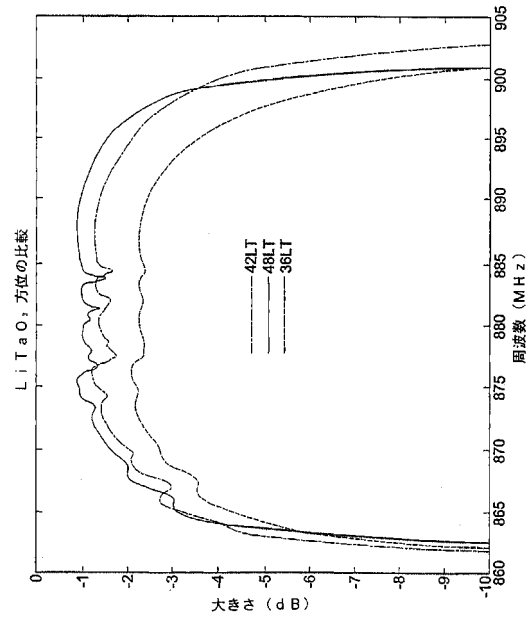
【図 11】



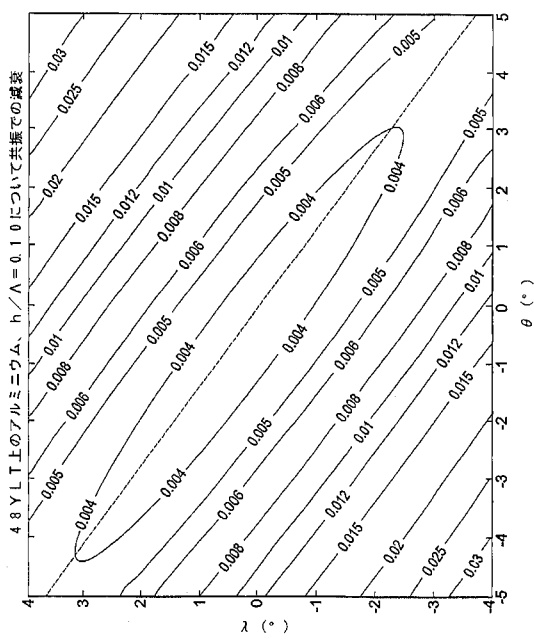
【図 13】



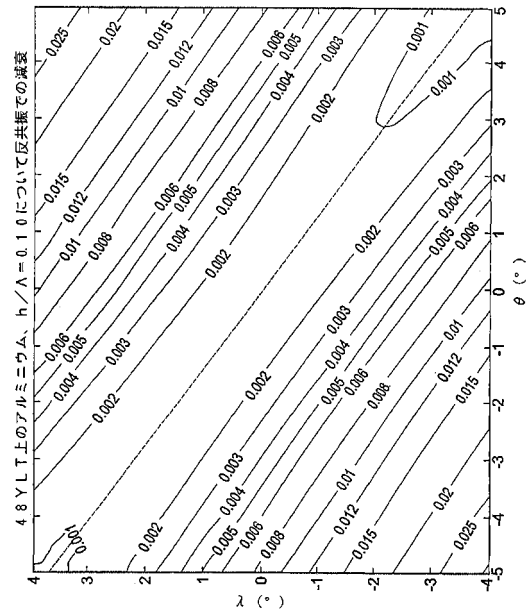
【図 14】



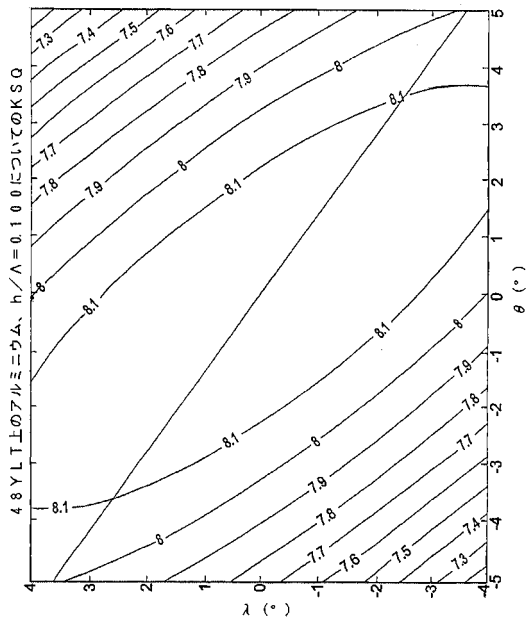
【図 15】



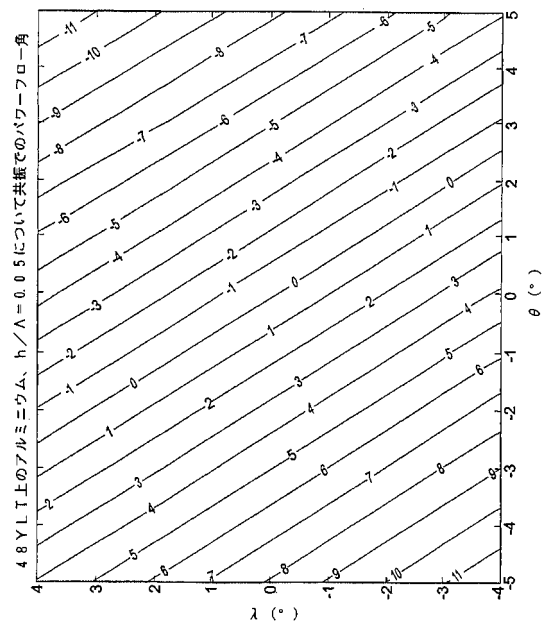
【図 16】



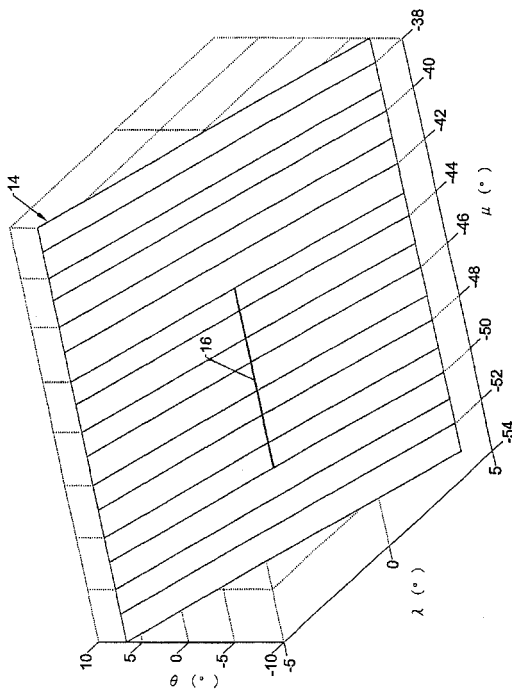
【図 17】



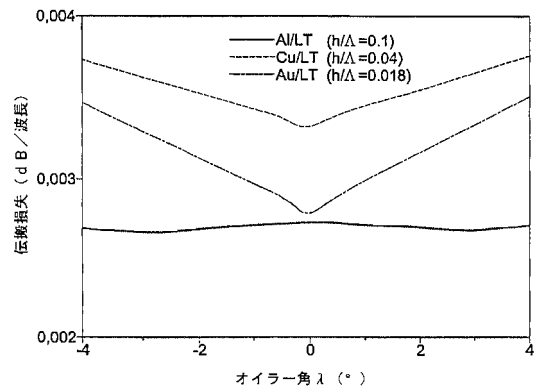
【図 18】



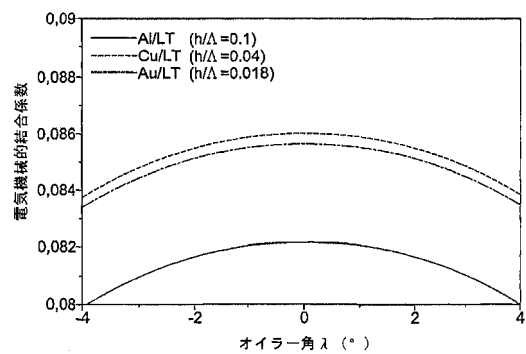
【図 19】



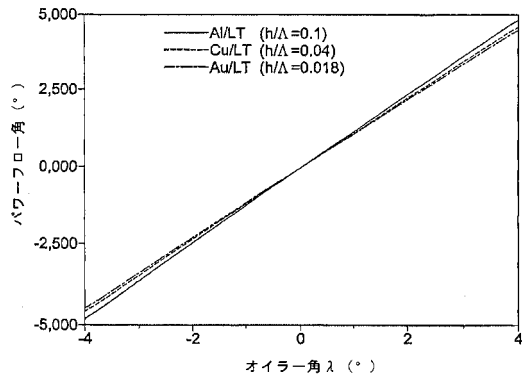
【図 20】



【図 21】



【図 22】



【国際公開パンフレット】

(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau(43) International Publication Date
7 March 2002 (07.03.2002)

PCT

(10) International Publication Number
WO 02/19522 A1

(51) International Patent Classification: H03H 9/02

(21) International Application Number: PCT/US01/14347

(22) International Filing Date: 3 May 2001 (03.05.2001)

(25) Filing Language: English

(26) Publication Language: English

(30) Priority Data: 60/229,523 31 August 2000 (31.08.2000) US

(71) Applicant: SAWTEK INC. [US/US]; P.O. Box 609501, Orlando, FL 32860-9501 (US).

(72) Inventors: NAUMENKO, Natalya, F.; Kashirskove Shosse, 80-1-135, Moscow, 115569 (RU). ABBOTT, Benjamin, P.; 8637 Pisa Drive, Orlando, FL 32810 (US).

(81) Designated States (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

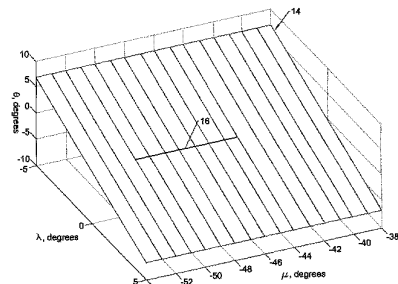
(84) Designated States (regional): ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Published:
— with international search report

(74) Agent: ALLEN, Herbert, L.; Allen, Dyer, Doppelt, Milbrath & Gilchrist, P.A., 255 S. Orange Avenue, Suite 1401, P.O. Box 3791, Orlando, FL 32802-3791 (US).

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

(54) Title: SURFACE ACOUSTIC WAVE DEVICES USING NON-SYMMETRIC OPTIMIZED CUTS OF A PIEZOELECTRIC SUBSTRATE

(57) Abstract: A surface acoustic wave device includes a piezoelectric substrate of a single crystal LiTaO_3 and an electrode pattern provided on a surface of the piezoelectric substrate which forms a resonator having an electrode thickness in a range of about 1 % to about 15 % of an acoustic wavelength of a surface acoustic wave excited on the surface of the substrate. The piezoelectric substrate has non-symmetric orientation defined by Euler angles (λ, μ, θ) , with angle λ in a range from -4° to $+4^\circ$, angle μ in a range from about -52° to about -36° , and angle θ in a range from about $(-1.365\lambda - 4)^\circ$ to $(-1.365\lambda + 4)^\circ$. Such orientations simultaneously combined with an optimized propagation loss at resonant and anti-resonant frequencies provide for improved performance in RF applications.

WO 02/19522 A1

WO 02/19522

PCT/US01/14347

SURFACE ACOUSTIC WAVE DEVICES USING NON-SYMETRIC OPTIMIZED CUTS OF A PIEZOELECTRIC SUBSTRATE

Cross-Reference to Related Applications

This application claims priority to and incorporates by reference co-pending Application Serial No. 60/229,523, filed August 31, 2000, commonly owned with the present application.

Field of the Invention

The present invention relates generally to surface acoustic wave (SAW) devices and more particularly to a SAW device having improved performance characteristics for application to RF filtering for wireless communications.

Background of the Invention

High frequency surface acoustic wave (SAW) devices are widely used in wireless communications products, particularly as radio frequency (RF) filters for transmit and receive operations. Such filters often utilize resonant SAW devices formed on single crystal piezoelectric substrates as components to generate the desired filtering function. One single crystal piezoelectric substrate, which is commonly used for RF filters, and which has some desirable characteristics for such filters, is lithium tantalate (LiTaO_3). The performance characteristics of any crystal substrate vary with the selected wave propagation direction, which can be defined in terms of Euler angles. A particularly desirable cut for certain applications is described by Ueda et. al. in U. S. Patent No. 6,037,847 and U. S. Patent No. 5,874,869. U.S. Patent No. 6,037,847 teaches the use of LiTaO_3 with Euler angles (λ, μ, θ) such that λ and θ fixed (set at zero), and μ varied depending on the metalization type and thickness used. For an electrode pattern containing Al as a primary component and forming a resonator with thickness in the range of 0.03-0.15 times a wavelength Λ (i.e. 3% Λ to 15% Λ), the preferred rotation angle μ is greater than -51° , which corresponds to 39° -rotated YX-cut, and less than -44° , which corresponds to 46° -rotated YX-cut (the angle of rotation of Y-cut is determined as $\mu' = \mu + 90^\circ$). Additional restrictions are presented indicating that the range of Euler angles with rotational angle μ centered on -48° (42° -rotated YX-

cut) is preferred. For electrode patterns having Cu as a primary component, with electrode thickness of 0.9% Λ to 4.5% Λ , a rotational angle μ greater than -51° but less than -44° is selected. For electrode patterns containing Au as a primary component and having thickness in the range of 0.4% Λ to 2.1% Λ , a rotational angle μ greater than -51° but less than -44° is selected. As a result, Ueda '847 uses a rotational angle μ in ranges greater than -51° but less than -44° . U. S. Patent No. 5,874,869 teaches the use of LiTaO_3 with Euler Angles λ and θ fixed (nominally zero), and μ in a range between -50° and -48° for multi-mode SAW devices with a range of specific device design characteristics.

While the Ueda '847 and '869 patents do not specifically state values for Euler angles λ and θ , the description of piezoelectric substrate having an orientation rotated about an X-axis thereof, from a Y-axis thereof, toward a Z-axis thereof, with a rotational angle in a specified range, and the direction of propagation of the surface acoustic wave set in the X-direction would lead one skilled in the art to appreciate that the first Euler angle λ and the third Euler angle θ are equal to zero.

SAW devices built on the aforementioned orientations of LiTaO_3 utilize leaky surface acoustic waves (LSAW). A leaky wave has higher propagation velocity, as compared to SAW, which is an advantageous feature for high-frequency SAW devices. Though normally a leaky wave propagates along crystal surface with non-zero attenuation, caused by radiation of bulk acoustic waves into the bulk of crystal, under certain conditions this attenuation tends to zero. One class of leaky waves having negligible attenuation is quasi-bulk waves. With a free surface of a crystal, the mechanical boundary condition can be satisfied for a bulk wave propagating along the boundary plane and polarized in this plane, thus called horizontally polarized wave. In any crystal, orientations in which one of bulk waves satisfies mechanical boundary conditions, form lines in crystallographic space defined by three Euler angles. For LiTaO_3 , such orientations were previously discussed in a publication by N.F. Naumenko, Sov.Phys.-Crystallography 37, pp. 220-223, 1992. In particular, it was found that one of these orientations is known as 36° -rotated YX-cut, Euler angles $(0^\circ, -54^\circ, 0^\circ)$. This is a symmetric orientation characterized by the propagation direction parallel

to X axis and a normal to the boundary plane lying in the plane of reflection symmetry YZ of LiTaO_3 . The fast shear bulk wave propagating along X-axis and polarized in the plane of 36° -rotated YX-cut is strongly piezoelectrically coupled with the electric field component along X-axis, due to proximity of the corresponding effective piezoelectric module to its absolute maximum for LiTaO_3 . As to the promising characteristics of 36° -rotated YX-cut for application in SAW devices, reference should be made to K. Nakamura et al., Proc. 1977 IEEE Ultrasonics Symposium, pp. 819-822.

Electrical boundary conditions change the nature of the bulk wave and make it quasi-bulk with propagation velocity slightly lower than that of the bulk wave. The effect of mass loading and electric boundary conditions in an electrode pattern disposed on the surface of 36° -rotated YX cut results in increasing attenuation or propagation loss. However, as described in U.S. Patent No. 6,037,847 to Ueda et al., orientation with nearly zero propagation loss does not disappear but continuously moves from 36° YX to 42° YX cut while Al electrode thickness increases from zero to 0.08λ . Similarly, orientations with zero LSAW attenuation were found for electrode patterns containing Cu or Au as a primary component, as functions of metal thickness. According to the detailed description of a method used for evaluation of propagation loss due to scattering of LSAW into slow shear bulk waves, reported by Hashimoto (K. Hashimoto et al., Proc. 1997 IEEE Ultrasonics Symposium, pp. 245-254), minimum propagation loss at the lower edge of a stopband of Bragg's reflection, which corresponds to the resonant frequency of LSAW resonator, was chosen as a criterion of optimizing cut angle. However, propagation loss is a function of frequency. Thus, it is desirable to minimize its average value in a bandwidth. As will be seen, the present invention minimizes propagation loss simultaneously at resonant (f_r) and anti-resonant (f_a) frequencies.

To explain the effect of propagation loss on a filter performance, reference is now made to FIG. 1, which is an example of a ladder filter, comprising three shunt (R_4, R_5, R_6) and three series (R_1, R_2, R_3) resonant SAW structures and utilizing 42° -rotated YX-cut LiTaO_3 substrate. For the devices under consideration, resonant SAW structures are used as both series and as parallel

(shunt) components within a composite device structure, which may include lattice-like regions. In ladder filters it is common to have the anti-resonant frequency of the shunt elements approximately equal to the resonant frequency of the series elements. The lower passband edge of a filter is then determined by propagation loss at the resonant frequency of the shunt elements and the upper passband edge is determined by the propagation loss at the anti-resonance of the series elements. Thus, the propagation loss at both frequencies, resonant and anti-resonant one, are significant and it is desirable that they be simultaneously minimized.

FIG. 2 shows propagation loss at resonant and anti-resonant frequencies calculated for 42°-rotated YX cut LiTaO₃ with Al as electrode material, as functions of electrode thickness normalized to LSAW wavelength, h/λ . These and other calculations were made with material constants of LiTaO₃ reported by Taziev (R.M. Taziev et al., Proc. 1994 IEEE Ultrasonics Symposium, pp.415-419), though it was found that the results do not change significantly if another set of material constants is used, for example, the constants reported by Kovacs (G. Kovacs et al. Proc. 1990 IEEE Ultrasonics Symposium, pp.435-438).

By way of example, let an electrode thickness of 10% λ . In recent RF filters, especially for GHz applications, such electrode thickness is rather conventional due to high operating frequencies and hence short wavelengths. While propagation loss at resonant frequency is fairly low, about 0.003 dB/ λ , at anti-resonance it is about 0.03 dB/ λ , which is 10 times higher. As a result, a frequency response of a filter is expected to be non-symmetric, with larger degradation of a high-frequency passband edge, and increased shape factor. FIG. 3 illustrates the effect of propagation loss at resonance and anti-resonance on SAW filter performance and demonstrates that if propagation loss is minimized at average frequency $f_0 = (f_r + f_a)/2$, lower insertion loss and better shape factor can be provided, as compared to the cases when propagation loss is minimized either at resonant or at anti-resonant frequency. A more desirable shape factor is expected due to wider bandwidth and steeper edges of the passband.

In view of the aforementioned, one purpose of the present invention is to provide improved performance, and, in particular, to reduce insertion loss and

improve shape factor, in SAW filters comprising resonator-type elements, using selected orientations of LiTaO_3 with simultaneously optimized propagation loss at resonant and anti-resonant frequencies, while the electrode thickness varies in a wide range from $1\% \lambda$ to $15\% \lambda$.

In particular, there is a strong need to provide substrate cuts with fairly low propagation loss (desirably less than $0.01 \text{ dB}/\lambda$) in the interval of thicknesses from $8\% \lambda$ to $15\% \lambda$, for an electrode pattern with Al as a primary component. According to Fig. 13 of U.S. Patent No. 6,037,847, if an electrode thickness exceeds $8\% \lambda$, no LiTaO_3 orientation in the interval from 36°-YX to 46°-YX can provide as low a propagation loss as it is in a 42°YX cut with Al thickness $7.5\% \lambda$. For example, with $10\% \lambda$ Al thickness, minimum propagation loss was found to be about $0.01 \text{ dB}/\lambda$. Further, there is a need for substrate cuts with optimized propagation loss when Au is utilized as a primary component of electrode material, with electrode thickness in the range from $1.5\% \lambda$ to $2.5\% \lambda$ and with Cu utilized as a primary component of electrode material, when electrode thickness is in the range from $3\% \lambda$ to $6\% \lambda$.

A variety of specified values of electrical parameters in RF filters for different applications requires piezoelectric substrates with different values of LSAW characteristics, in particular, different electromechanical coupling coefficients. However, the requirement of low insertion loss and high operating frequencies restricts the substrate cuts, which are commonly used in RF filters, to μ' -rotated YX-cuts of LiNbO_3 and μ' -rotated YX-cuts of LiTaO_3 , with rotation angle μ' selected according to the required thickness of electrodes. On the other hand, a variety of substrate cuts with fairly low propagation loss can be provided due to non-symmetric orientations of LiTaO_3 , defined by Euler angles (λ, μ, θ) (with λ and θ being nonzero). By the example of $36^\circ\text{-}42^\circ$ rotated Y-cuts of LiTaO_3 , it was demonstrated (U.S. Patent No. 6,037,847) that low-attenuated leaky waves of quasi-bulk nature continuously move in crystallographic space with increasing electrode thickness, rather than disappear.

The teachings of the present invention will show that such behavior is also typical for non-symmetric orientations in which the fast shear surface-skimming bulk wave (SSBW) satisfies mechanical boundary condition on a free surface.

Moreover, non-symmetric orientations with optimized propagation loss form a continuous line in crystallographic space, and this line crosses a symmetric point $(0, \mu, 0)$. Therefore, locating this line can provide for adjusting the propagation direction with occasional deviation of a crystal cut plane from a symmetric orientation, in order to retain low propagation loss.

Summary of the Inventions

In view of the foregoing background, it is therefore an object of the present invention to provide a piezoelectric substrate with an optimum orientation for use in high frequency (RF) SAW devices, which can eliminate known disadvantages of the prior art substrate orientations.

Another object of the present invention is to provide a SAW device, comprising resonator-type elements, with improved performance using orientations of LiTaO_3 with simultaneously optimized propagation loss at resonant and anti-resonant frequencies, while electrode thickness varies in a wide range from $1\% \Lambda$ to $15\% \Lambda$, where Λ is acoustic wavelength.

Another object of the present invention is to provide a variety of electrical parameters in SAW devices for RF applications using non-symmetric orientations defined by Euler angles (λ, μ, θ) (with λ and θ being nonzero) and having propagation loss less than $0.01 \text{ dB}/\Lambda$ and electromechanical coupling factor greater than 0.07 , while electrode thickness of the pattern is larger than $1\% \Lambda$ and less than $15\% \Lambda$.

Another object of the present invention is to provide for adjusting the propagation direction with occasional deviation of a crystal cut plane from a desired symmetric orientation $(0, \mu, 0)$, to retain low propagation loss. This is achieved by finding such relationship between Euler angles λ and θ , which describes orientations (λ, μ, θ) with optimized propagation loss, while the angle λ varies from -4° to 4° and angle μ is fixed.

Another object of the present invention is to provide a SAW device comprising a piezoelectric substrate of a single crystal LiTaO_3 with an electrode pattern disposed on a surface of said piezoelectric substrate and forming resonator, wherein a thickness of the electrode pattern is in the range from 1% to

15% Λ and Al is used as a primary component of electrode material, and wherein a piezoelectric substrate has orientation defined by the Euler angles (λ , μ , θ), with angle λ in the range from -4° to $+4^\circ$, angle μ in the range from -52° to -36° , and angle θ in the range from $(-1.365\lambda-4)^\circ$ to $(-1.365\lambda+4)^\circ$, wherein either angles λ or θ are not equal to zero.

Another object of the present invention is to provide a SAW device comprising a piezoelectric substrate of a single crystal LiTaO_3 with an electrode pattern disposed on a surface of the piezoelectric substrate and forming a resonator, wherein thickness of a said electrode pattern is in the range from 1% to 2.5% Λ and Au is used as a primary component of electrode material, and wherein a piezoelectric substrate has orientation defined by the Euler angles (λ , μ , θ), with angle λ in the range from -4° to $+4^\circ$, angle μ in the range from -52° to -36° , and angle θ in the range from $(-1.365\lambda-4)^\circ$ to $(-1.365\lambda+4)^\circ$, wherein either angles λ or θ are not equal to zero.

Another object of the present invention is to provide a SAW device comprising a piezoelectric substrate of a single crystal LiTaO_3 with an electrode pattern disposed on a surface of the piezoelectric substrate and forming a resonator, wherein a thickness of the electrode pattern is in the range from 1% to 6% Λ and Cu is used as a primary component of electrode material, and wherein a piezoelectric substrate has orientation defined by the Euler angles (λ , μ , θ), with angle λ in the range from -4° to $+4^\circ$, angle μ in the range from -52° to -36° , and angle θ in the range from $(-1.365\lambda-4)^\circ$ to $(-1.365\lambda+4)^\circ$, wherein either angles λ or θ are not equal to zero.

Another object of the present invention is to provide a SAW device comprising a piezoelectric substrate of a single crystal LiTaO_3 with an electrode pattern disposed on a surface of the piezoelectric substrate and forming a resonator, wherein a thickness of the electrode pattern is in the range from 5% to 15% Λ and Al is used as a primary component of the electrode material, and wherein a piezoelectric substrate has orientation defined by the Euler angles (0 , μ , 0), with angle μ in the range from -44° to -36° .

Another object of the present invention is to provide a SAW device comprising a piezoelectric substrate of a single crystal LiTaO_3 with an electrode

pattern disposed on a surface of the piezoelectric substrate and forming a resonator, and wherein a thickness of the electrode pattern is in the range from 1.5% Λ and Au is used as a primary component of electrode material, and wherein a piezoelectric substrate has orientation defined by the Euler angles $(0, \mu, 0)$, with angle μ in the range from -44° to -36° .

Another object of the present invention is to provide a SAW device comprising a piezoelectric substrate of a single crystal LiTaO_3 with an electrode pattern disposed on a surface of the piezoelectric substrate and forming a resonator, wherein a thickness of the electrode pattern is in the range from 3% to 6% Λ and Cu is used as a primary component of the electrode material, and wherein a piezoelectric substrate has orientation defined by the Euler angles $(0, \mu, 0)$, with angle μ in the range from -44° to -36° .

Brief Description of the Drawings

FIG. 1 is a schematic diagram of ladder filter as an example of a filter in which propagation losses need to be minimized simultaneously at resonant and anti-resonant frequencies;

FIG. 2 graphically shows propagation losses at resonant and anti-resonant frequencies, for LSAW on 42° -rotated YX cut of LiTaO_3 , as functions of Al electrode thickness normalized to wavelength;

FIG. 3 is a diagram schematically illustrating an effect of increased propagation loss at resonant or at anti-resonant frequency on ladder SAW filter performance;

FIG. 4 diagrammatically illustrates an orientation of a crystal plane and propagation direction in this plane using Euler angles, with reference to initial crystal axes X, Y, Z;

FIG. 5 is a contour plot of propagation loss at resonant frequency, as a function of cut angle μ' and a normalized electrode thickness, for a pattern having Al electrodes on μ' -rotated YX cut of LiTaO_3 ;

FIG. 6 is a contour plot of propagation loss at anti-resonant frequency, as a function of cut angle μ' and a normalized electrode thickness, for a pattern having Al electrodes on μ' -rotated YX cut of LiTaO_3 ;

FIG. 7 is a contour plot of average propagation loss, as a function of cut angle μ' and a normalized electrode thickness, for a pattern having Al electrodes on μ' -rotated YX cut of LiTaO_3 ;

FIG. 8 graphically shows a propagation loss at resonant and anti-resonant frequencies for 36°YX , 42°YX and 48°YX cuts of LiTaO_3 with a pattern of Al electrodes, as function of normalized electrode thickness, wherein an average propagation loss is minimized at $h/\Lambda \approx 0.05$ for 42°-YX cut and at $h/\Lambda \approx 0.1$ for 48°-YX cut;

FIG. 9 graphically shows electromechanical coupling coefficient for 36°-YX , 42°-YX and 48°-YX cuts of LiTaO_3 with pattern of Al electrodes, as a function of a normalized electrode thickness;

FIG. 10 is a diagram showing relationship between optimal normalized electrode thickness and cut angle μ' , for μ' -rotated YX cuts of LiTaO_3 with Al, Cu and Au as primary components of electrode material;

FIG. 11 graphically shows electromechanical coupling coefficients corresponding to the optimized thickness versus rotation angle dependencies shown in FIG.10, for μ' -rotated YX cuts of LiTaO_3 with Al, Cu and Au as primary components of electrode material;

FIG. 12 graphically shows average propagation losses corresponding to the optimized thickness versus rotation angle dependencies shown in FIG.10, for μ' -rotated YX cuts of LiTaO_3 with Al, Cu and Au as primary components of electrode material;

FIG. 13 is a diagram showing SAW filter frequency responses of three filters, constructed according to FIG.1 on substrates of 36°YX , 42°YX and 48°YX cuts of LiTaO_3 ;

FIG. 14 is an enlarged portion of a diagram shown in FIG.13, including filter passband;

FIG. 15 is a contour plot of propagation loss at resonant frequency, as a function of angles λ and θ , for a pattern of Al electrodes with thickness $10\% \Lambda$, disposed on LiTaO_3 substrates defined by Euler angles $(\lambda, -42^\circ, \theta)$, and wherein a line of optimal non-symmetric orientations $\theta = -1.365\lambda$ is shown;

10

FIG. 16 is a contour plot of propagation loss at anti-resonant frequency, as a function of angles λ and θ , for pattern of Al electrodes with thickness $10\% \Lambda$, disposed on LiTaO_3 substrates defined by Euler angles $(\lambda, -42^\circ, \theta)$, wherein a line of optimal non-symmetric orientations $\theta = -1.365\lambda$ is shown;

FIG. 17 is a contour plot of electromechanical coupling coefficient, as a function of angles λ and θ , for pattern of Al electrodes with thickness $10\% \Lambda$, disposed on LiTaO_3 substrates defined by Euler angles $(\lambda, -42^\circ, \theta)$, wherein a line of optimal non-symmetric orientations $\theta = -1.365\lambda$ is shown;

FIG. 18 is a contour plot of power flow angle, as a function of angles λ and θ , for a pattern of Al electrodes with thickness $10\% \Lambda$, disposed on LiTaO_3 substrates defined by Euler angles $(\lambda, -42^\circ, \theta)$;

FIG. 19 is a plot of Euler angles λ, μ, θ , illustrating a resulting plane of Euler angles to achieve a desirable surface for optimizing SAW device performance;

FIG. 20 graphically shows average propagation losses in orientations defined by Euler angles $(\lambda, -42^\circ, -1.365\lambda)$ for three patterns, with Al electrodes of $10\% \Lambda$ thickness, with Cu electrodes of $4\% \Lambda$ thickness, and with Au electrodes of $1.8\% \Lambda$ thickness;

FIG. 21 graphically shows electromechanical coupling coefficients in orientations defined by Euler angles $(\lambda, -42^\circ, -1.365\lambda)$ for three patterns, with Al electrodes of $10\% \Lambda$ thickness, with Cu electrodes of $4\% \Lambda$ thickness, and with Au electrodes of $1.8\% \Lambda$ thickness; and

FIG. 22 graphically shows power flow angles of LSAW in orientations defined by Euler angles $(\lambda, -42^\circ, -1.365\lambda)$ for three patterns, with Al electrodes of $10\% \Lambda$ thickness, with Cu electrodes of $4\% \Lambda$ thickness, and with Au electrodes of $1.8\% \Lambda$ thickness.

Description of the Preferred Embodiments

Prior to a detailed description of preferred embodiments of the present invention, an orientation procedure will be further described in order to define a substrate cut and propagation direction of LSAW within this cut, according to the specified Euler angles (λ, μ, θ) . Reference is now made to FIG. 4. With initial

coordinate axes X,Y,Z fixed along crystal axes of a LiTaO₃ substrate **10**, according to the Euler angle convention, first, auxiliary axis X' (positive direction) is obtained by rotation from positive X axis towards positive Y axis by the angle λ . The outward normal Z' to the substrate cut **12** is then found by rotation about auxiliary axis X' from positive Z axis, by the angle μ counter-clockwise, as viewed from positive X'. Finally, the direction of surface wave propagation X'' is found by rotation about Z' from positive X' axis by the angle θ counterclockwise, as viewed from positive Z' axis.

It will be understood by those skilled in the art that the Euler angles herein described can have alternate positive or negative values and, as a consequence, rotations described by angles λ , μ , or θ may also be described with alternate positive or negative signs to indicate rotations in the opposite direction to arrive at the preferred surface cut to achieve a desired propagation loss as herein described.

A performance of any SAW filter comprising a piezoelectric substrate with electrode patterns, used for generation and detection of surface waves or forming resonators, is affected by propagation loss in a substrate. Though different mechanisms contribute to propagation loss, further discussions refer to propagation loss caused by the nature of leaky waves, that is by radiation of bulk waves into the bulk of a substrate. For a specified substrate cut and propagation direction, this propagation loss depends on the details of filter structure, such as metalization ratio and electrode thickness normalized to wavelength h/λ . Searches were conducted assuming the electrode patterns contain Al, Cu or Au as a primary component, with metalization ratio $a/p=0.5$, and spanned a wide range of normalized electrode thickness from 1% λ to 15% λ . As explained above, simultaneous minimization of propagation loss at resonant and anti-resonant frequencies was used as a criterion of optimization.

With the first and third Euler angles set equal to zero, propagation loss was calculated as a function of electrode thickness and rotation angle μ' for μ' -rotated YX-cuts of LiTaO₃ [Euler angles (0°, $\mu'+90^\circ$, 0°)], with Al as a primary component of electrode material. FIG. 5 and FIG. 6 show respectively propagation loss at resonant frequency f_r and propagation loss at anti-resonant frequency f_a , as

contour plots. A line of minimum loss (indicated by a dashed line) is clearly seen in each plot and shows cut angle μ' , providing minimum loss, as function of normalized thickness h/Λ . In FIG. 5 and FIG. 6, these dashed lines indicate different values, though are close to each other. Average propagation loss estimated approximately as $(f_r + f_a)/2$ is shown in FIG. 7. The line of minimum loss (the dashed line) determines optimal electrode thickness as function of cut angle, for SAW devices having resonant-type elements with Al as electrode material.

By way of example, one optimal orientation of LiTaO_3 , determined from FIG. 7 for electrode thickness $10\% \Lambda$, is 48° -rotated YX-cut [Euler angles $(0^\circ, -42^\circ, 0^\circ)$], while 42° -rotated YX cut [Euler angles $(0^\circ, -48^\circ, 0^\circ)$] is optimal approximately for Al electrode thickness $5\% \Lambda$. FIG. 8 shows propagation losses at resonant and anti-resonant frequencies in three LiTaO_3 orientations, 36°YX , 42°YX and 48°YX cuts, as functions of electrode thickness. Each propagation loss versus normalized thickness dependence has a minimum with nearly zero loss value. For 42°YX cut, a minimum for the resonant frequency propagation loss occurs at about $7\% \Lambda$, and a minimum for the anti-resonant frequency propagation loss occurs at about $4\% \Lambda$. Thus, average propagation loss is minimum at approximately $5\% \Lambda$. For 48°YX cut, a minima of propagation loss at resonant and anti-resonant frequencies occurs respectively at $12\% \Lambda$ and $8\% \Lambda$, and an average propagation loss is minimum at $10\% \Lambda$.

FIG. 9 shows the simulated electromechanical coupling coefficients k^2 for 36°YX , 42°YX and 48°YX cuts, as a function of electrode thickness. All dependencies have a maximum at approximately $10\% \Lambda$. With μ' increasing from 36° to 48° , piezoelectric coupling generally reduces. However, if an electrode thickness is optimized with respect to the cut angle μ' to provide minimum average propagation loss, then a maximum piezoelectric coupling, $k^2=0.082$, occurs for $\mu'=48^\circ$ and $h/\Lambda=10\%$, as illustrated in FIGS. 10-12. FIG. 10 shows the optimal relations between electrode thickness and cut angle for SAW devices having Al, Cu or Au as a primary component of electrode material, and FIGS. 11 and 12 show respectively electromechanical coupling coefficient and propagation loss $L_r=L_a$ as functions of cut angle, with thickness optimized according to FIG. 10. With Al as electrode material, maximum coupling $k^2=0.083$ occurs at $\mu'\approx 46.5^\circ$

and thickness about $9\% \Lambda$, while propagation loss is 0.0025 dB/ Λ . With Au as electrode material, maximum coupling $k^2=0.086$ occurs for $\mu' \approx 47^\circ$ with optimized thickness about $1.6\% \Lambda$, and for Cu as electrode material, maximum coupling $k^2=0.086$ occurs for $\mu' \approx 47^\circ$ with optimized thickness about $3.6\% \Lambda$.

Thus, according to FIGS. 10-12, for a grating with Al electrode thickness from $8\% \Lambda$ to $13\% \Lambda$ for the case with the first and third Euler angles (λ and θ) fixed at (nominally) zero, the optimal rotational angle μ' was found to be greater than 46° but less than 54° . For the same case, with Au as a primary component of electrode material, the optimal rotational angle μ' was found to be greater than 46° but less than 54° when electrode thickness changes within the range from $1.5\% \Lambda$ to $2.5\% \Lambda$, and with Cu as a primary component of electrode material, the optimal rotational angle μ' was found to be greater than 46° but less than 54° , when electrode thickness changes within the range from $3\% \Lambda$ to $6\% \Lambda$. A preferred embodiment of the present invention has the value of μ' nominally equal to 48° , or Euler angles (0° , -42° , 0°).

The comparison of simulated frequency responses of three ladder filter having structure according to FIG. 1 and disposed on the surface of 36°YX , 42°YX or 48°YX cuts of LiTaO_3 is demonstrated in FIG. 13, with enlarged view of the bandwidth shown in FIG. 14. Electrode patterns with thickness $10\% \Lambda$ utilize Al as a primary component. The 48°-YX cut provides lower insertion loss and better shape factor, compared to 36°YX and 42°YX cuts, due to optimized average propagation loss in a passband.

As discussed above, deviation of crystal orientation from a symmetric cut (0° , μ , 0°) does not necessarily cause a significant increase of propagation loss, provided that deviation of a substrate plane is followed by proper rotation of propagation direction within this plane. Therefore, more general search, including non-symmetric cuts, resulted in the discovery of a broader range of orientations with desirable propagation characteristics and power flow angle non-zero but relatively small and thus manageable during device design. With Euler angle μ fixed within the interval from -52° to -36° , the search spanned a range of angles λ and θ from -5° to 5° . For each analyzed μ , electrode thickness was set to be optimal, according to relation shown in FIG. 10.

By way of example, orientations with Euler angles $(\lambda, -42^\circ, \theta)$, $(\mu=48^\circ)$ will be further discussed. Al is utilized as electrode material, with optimized electrode thickness $10\% \Lambda$. Contour plots of propagation loss at resonant and anti-resonant frequencies, electromechanical coupling coefficient and power flow angle (FIGS. 15, 16, 17 and 18 respectively), show LSAW characteristics as functions of angles λ and θ . The lines of minimum propagation loss in FIG. 15 and FIG. 16 (again illustrated by dashed lines) nearly coincide and can be described by the following relationship: $\theta = -1.365^\circ \lambda$. In any orientation described by the aforementioned relationship, with λ larger than -4° and smaller than $+4^\circ$, propagation losses at resonant and anti-resonant frequencies do not exceed $0.003 \text{ dB}/\Lambda$ and K^2 is higher than 8% . These values are close to that of symmetric orientation $(0^\circ, -42^\circ, 0^\circ)$, i.e., the $48\% \text{ YX}$ cut. The absolute value of power flow angle grows with increasing λ but does not exceed 5° when $-4^\circ < \lambda < 4^\circ$.

Unlike the teachings typical in the art, the present invention as herein described by way of example, illustrates acceptable values of Euler angles λ, μ, θ that fall within a plane **14** such as described by way of example with reference to FIG. 19 and not a set of Euler angles that must be confined to a line **16** such as has been described in the art, by way of example in the Ueda '847 and '869 patents.

Further analysis shows that the relationship $\theta = -1.365^\circ \lambda$ adequately describes non-symmetric lines $\theta(\lambda)$ for any μ fixed in the interval from -52° to -36° , if electrode thickness is set optimal for each μ , according to FIG. 10, to provide minimum average propagation loss. Moreover, the same relationship can be referred to non-symmetric lines of optimal orientations (λ, μ, θ) with μ fixed in the interval from -52° to -36° , when Au or Cu is a primary component of electrode material. This is illustrated by FIGS. 20, 21, and 22 showing respectively average propagation loss, electromechanical coupling coefficient and power flow angle versus angle λ , for LiTaO_3 orientations $(\lambda, -42^\circ, -1.365^\circ \lambda)$ with patterns of Al electrodes of $10\% \Lambda$ thickness, Cu electrodes of $4\% \Lambda$ thickness, and Au electrodes of $1.8\% \Lambda$ thickness. In all three cases, LSAW characteristics change very slowly with λ and therefore average propagation loss does not

exceed 0.004 dB/Å and k_2 is greater than 8%, if $-4^\circ < \lambda < 4^\circ$, while absolute value of power flow angle is less than 5° .

Thus, for the case of nonzero first and third Euler angles, the first Euler angle λ is set to be non-zero and less than 4° by its absolute value. A nominal value for λ would be $\lambda = +2^\circ$. The second Euler angle μ can be selected within a fairly wide range such that μ is greater than -52° but less than -36° . A preferred embodiment of this second invention restricts the second Euler angle such that μ is greater than -44° and less than -36° . The third Euler angle, θ , has a fixed relationship to the first Euler angle, $\theta = -1.365 \cdot \lambda$. Thus, the nominal value for θ in a preferred embodiment is $\theta = -2.73^\circ$.

It is to be understood that even though numerous characteristics and advantages of the present invention have been set forth in the foregoing description, together with details of the structure and function of the invention, the disclosure is illustrative only, and changes may be made in detail, especially in the choice of type of SAW device, device orientation on the die, and shape size and arrangement of parts within the principles of the invention to the full extent indicated by the broad general meaning of the terms in which the appended claims are expressed. For example, the term Al as a primary component of electrode material should cover alloys using Al as a primary component.

THAT WHICH IS CLAIMED IS:

1. A surface acoustic wave device comprising:
a piezoelectric substrate of a single crystal LiTaO_3 ; and
an electrode pattern provided on a surface of said piezoelectric substrate, wherein said electrode pattern forms a resonator having an electrode thickness in a range of about $1\% \Lambda$ to about $15\% \Lambda$, where Λ is an acoustic wavelength of a surface acoustic wave excited on said surface of said piezoelectric substrate, and wherein
said piezoelectric substrate has an orientation defined by Euler angles (λ, μ, θ) , with angle λ in a range from -4° to $+4^\circ$, angle μ in a range from about -52° to about -36° , and angle θ in a range from about $(-1.365 \lambda - 4)^\circ$ to $(-1.365 \lambda + 4)^\circ$, wherein one of said angle λ and θ is not equal to zero degrees.
2. A surface acoustic wave device as recited in claim 1, wherein λ has a value of about $+2^\circ$, angle μ is greater than -44° and less than -36° , and angle θ has a fixed relation to λ such that θ is defined as having a value of approximately -1.365λ .
3. A surface acoustic wave device as recited in claim 2, wherein $\theta = -2.73^\circ$.
4. A surface acoustic wave device as recited in claim 1, wherein a primary material component of said electrode comprises Al.
5. A surface acoustic wave device as recited in claim 1, wherein a primary material component of said electrode comprises Au, and wherein said electrode thickness ranges from about $1\% \Lambda$ to about $2.5\% \Lambda$.
6. A surface acoustic wave device as recited in claim 1, wherein a primary material component of said electrode comprises Cu, and wherein said electrode thickness ranges from about $1\% \Lambda$ to about $6\% \Lambda$.

7. A surface acoustic wave device comprising:
a piezoelectric substrate of a single crystal LiTaO_3 ; and
an electrode pattern provided on a surface of said piezoelectric substrate, wherein said electrode pattern forms a resonator having an electrode thickness in a range of about $1\% \Lambda$ to about $15\% \Lambda$, where Λ is an acoustic wavelength of a surface acoustic wave excited on said surface of said piezoelectric substrate, and wherein
said piezoelectric substrate has a non-symmetric orientation defined by Euler angles (λ, μ, θ) , wherein one of said angle λ and θ is not equal to zero degrees, and characteristics include a propagation loss less than $0.01 \text{ dB}/\Lambda$, and an electromechanical coupling factor greater than 0.07 .

8. A surface acoustic wave device comprising:
a piezoelectric substrate of a single crystal LiTaO_3 ; and
an electrode pattern provided on a surface of said piezoelectric substrate, wherein said electrode pattern forms a resonator having an electrode thickness in a range of about $5\% \Lambda$ to about $15\% \Lambda$, where Λ is an acoustic wavelength of a surface acoustic wave excited on said surface of said piezoelectric substrate, and wherein a primary material component of said electrode comprises Al, and wherein
said piezoelectric substrate has an orientation defined by Euler angles (λ, μ, θ) , with angle λ at or about 0° , angle μ in a range from about -44° to about -36° , and angle θ at or about 0° .

9. A surface acoustic wave device comprising:
a piezoelectric substrate of a single crystal LiTaO_3 ; and
an electrode pattern provided on a surface of said piezoelectric substrate, wherein said electrode pattern forms a resonator having an electrode thickness in a range of about $1.5\% \Lambda$ to about $2.5\% \Lambda$, where Λ is an acoustic wavelength of a surface acoustic wave excited on said surface of said piezoelectric substrate, and wherein a primary material component of said electrode comprises Au, and wherein

said piezoelectric substrate has an orientation defined by Euler angles (λ , μ , θ), with angle λ at or about 0° , angle μ in a range from about -44° to about -36° , and angle θ at or about 0° .

10. A surface acoustic wave device comprising:

a piezoelectric substrate of a single crystal LiTaO_3 ; and

an electrode pattern provided on a surface of said piezoelectric substrate, wherein said electrode pattern forms a resonator having an electrode thickness in a range of about $3\% \Lambda$ to about $6\% \Lambda$, where Λ is an acoustic wavelength of a surface acoustic wave excited on said surface of said piezoelectric substrate, and a wherein a primary material component of said electrode comprises Cu, and wherein

said piezoelectric substrate has an orientation defined by Euler angles (λ , μ , θ), with angle λ at or about 0° , angle μ in a range from about -44° to about -36° , and angle θ at or about 0° .

11. A surface acoustic wave device comprising a piezoelectric substrate of a single crystal LiTaO_3 , wherein said piezoelectric substrate has a surface orientation defined by Euler angles (λ , μ , θ), with angle λ in a range from -4° to $+4^\circ$, angle μ in a range from about -52° to about -36° , and angle θ in a range from about $(-1.365 \lambda - 4)^\circ$ to $(-1.365 \lambda + 4)^\circ$, wherein one of said angle λ and θ is not equal to zero degrees.

12. A surface acoustic wave device as recited in claim 11, further comprising an electrode pattern on said surface formed from electrodes having Al as a primary material component, wherein said electrode pattern forms a resonator having an electrode thickness in a range of about $1\% \Lambda$ to about $15\% \Lambda$, where Λ is an acoustic wavelength of a surface acoustic wave excited on said surface of said piezoelectric substrate.

13. A surface acoustic wave device as recited in claim 11, further comprising an electrode pattern on said surface formed from electrodes having

Au as a primary material component, wherein said electrode pattern forms a resonator having an electrode thickness in a range of about $1\% \Lambda$ to about $2.5\% \Lambda$, where Λ is an acoustic wavelength of a surface acoustic wave excited on said surface of said piezoelectric substrate.

14. A surface acoustic wave device as recited in claim 11, further comprising an electrode pattern on said surface formed from electrodes having Cu as a primary material component, wherein said electrode pattern forms a resonator having an electrode thickness in a range of about $1\% \Lambda$ to about $6\% \Lambda$, where Λ is an acoustic wavelength of a surface acoustic wave excited on said surface of said piezoelectric substrate.

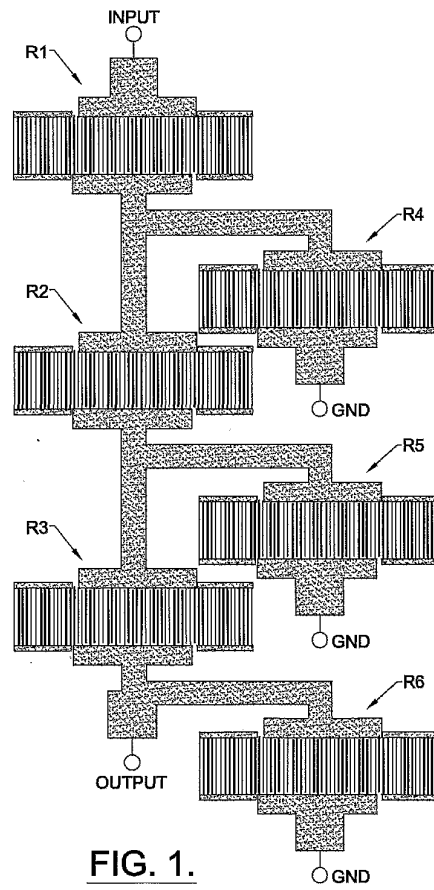
15. A leaky surface acoustic wave piezoelectric substrate of a single crystal LiTaO_3 , wherein said piezoelectric substrate includes a surface having an orientation defined by Euler angles (λ, μ, θ) , with angle λ in a range from -4° to $+4^\circ$, angle μ in a range from about -52° to about -36° , and angle θ in a range from about $(-1.365 \lambda - 4)^\circ$ to $(-1.365 \lambda + 4)^\circ$, wherein one of said angle λ and θ is not equal to zero degrees.

16. A leaky surface acoustic wave piezoelectric substrate as recited in claim 15, wherein λ has a value of about $+2^\circ$, angle μ is greater than -44° and less than -36° , and angle θ has a fixed relation to λ such that θ is defined as having a value of approximately -1.365λ .

17. A leaky surface acoustic wave piezoelectric substrate as recited in claim 16, wherein $\theta = -2.73^\circ$.

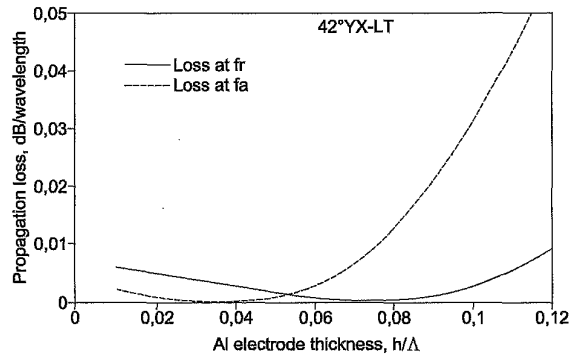
18. A leaky surface acoustic wave piezoelectric substrate of a single crystal LiTaO_3 , wherein said piezoelectric substrate includes a surface having an orientation defined by Euler angles (λ, μ, θ) with angle λ set at or about zero, angle μ in a range from about -44° to -36° , and angle θ at or about zero.

1/19

**FIG. 1.**

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

2/19

**FIG. 2.**

3/19

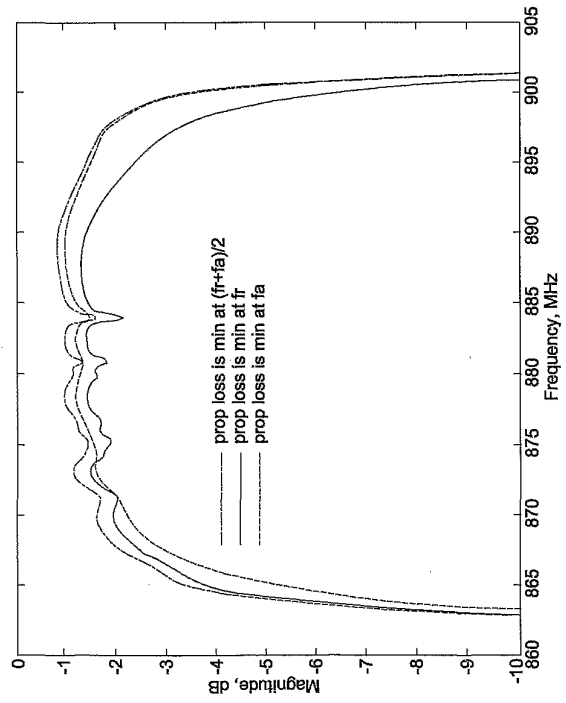
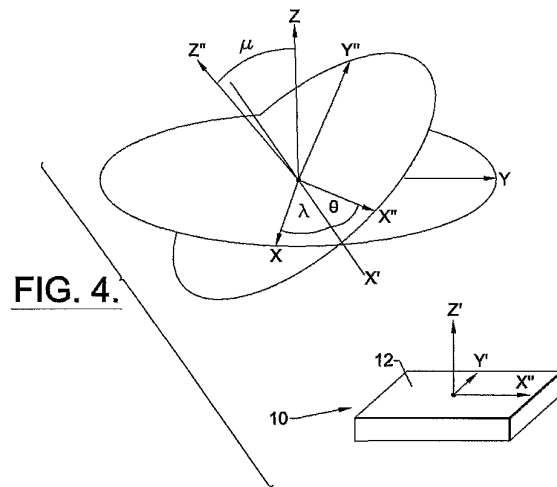


FIG. 3.

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

4/19



SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

5/19

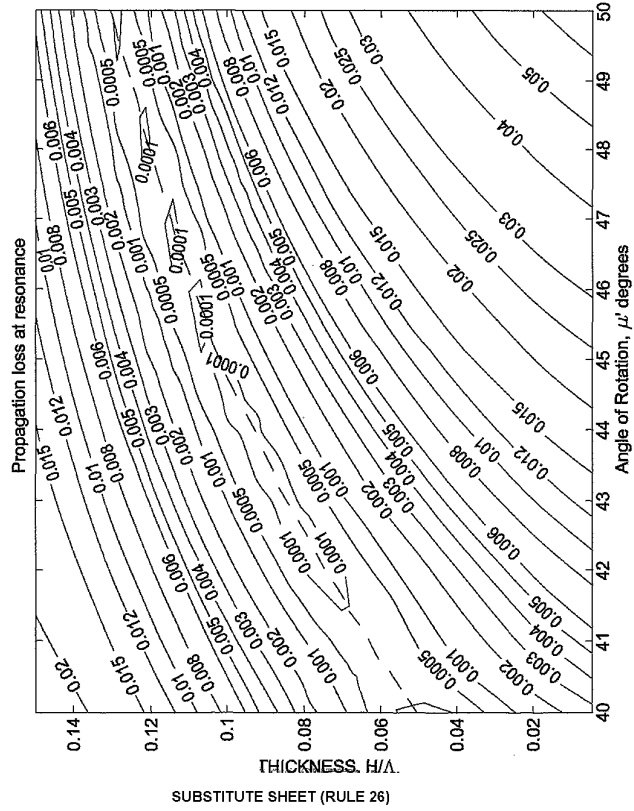
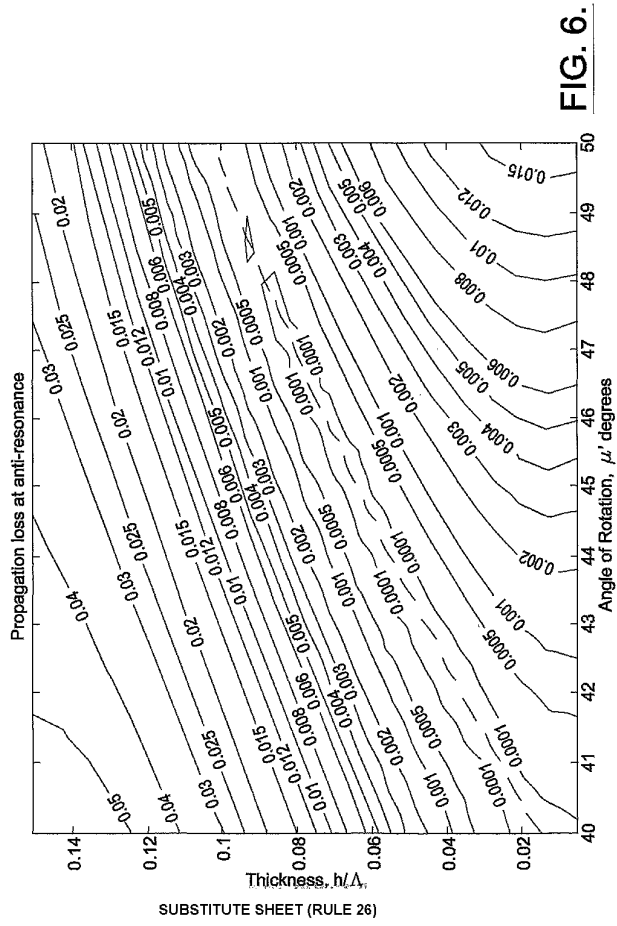
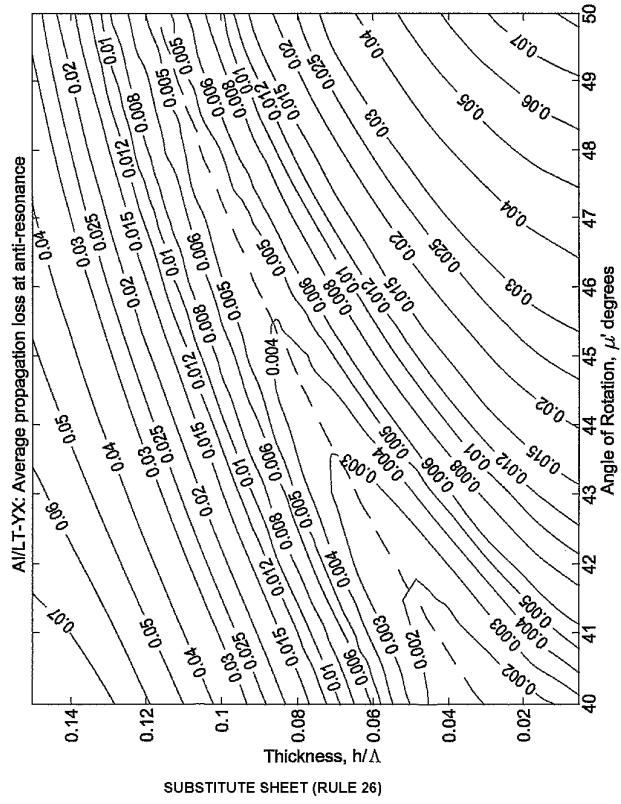


FIG. 5.

6/19



7/19



8/19

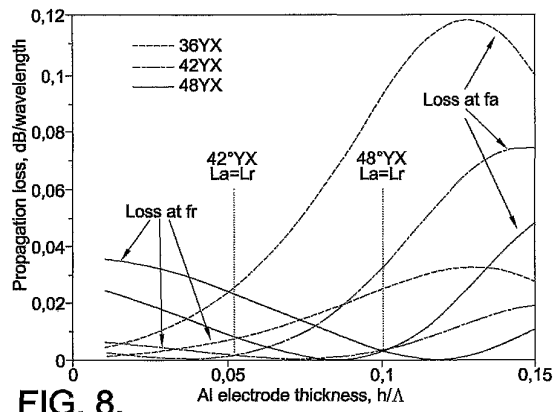


FIG. 8.

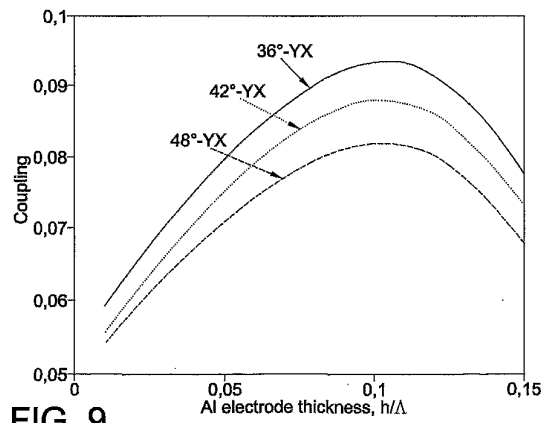


FIG. 9.

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

9/19

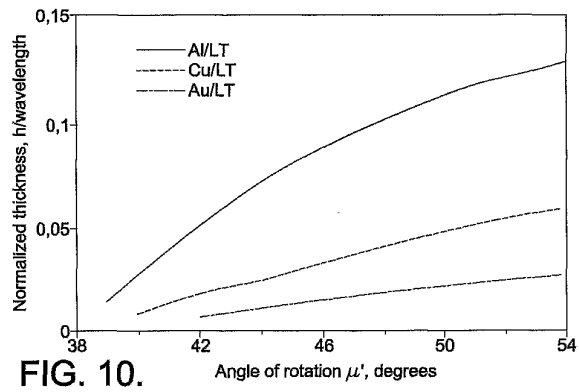


FIG. 10.

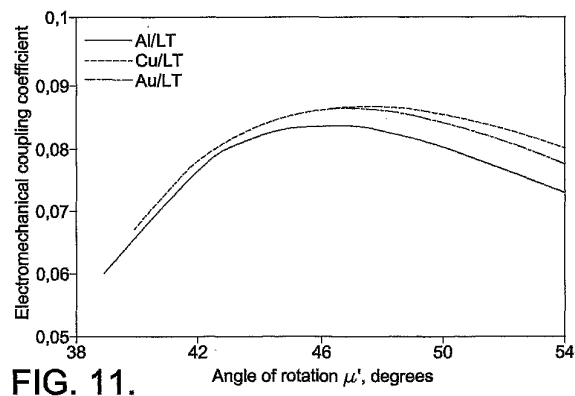
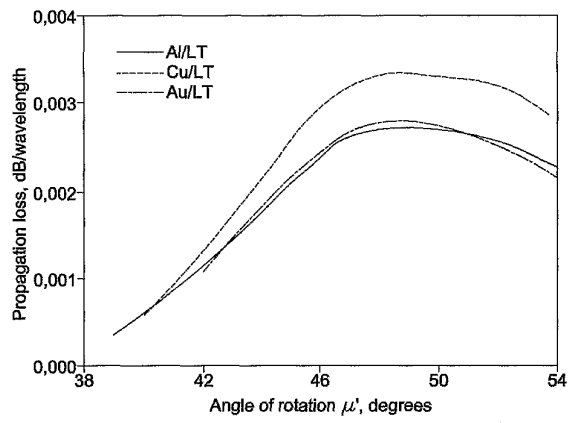


FIG. 11.

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

10/19

**FIG. 12.**

11/19

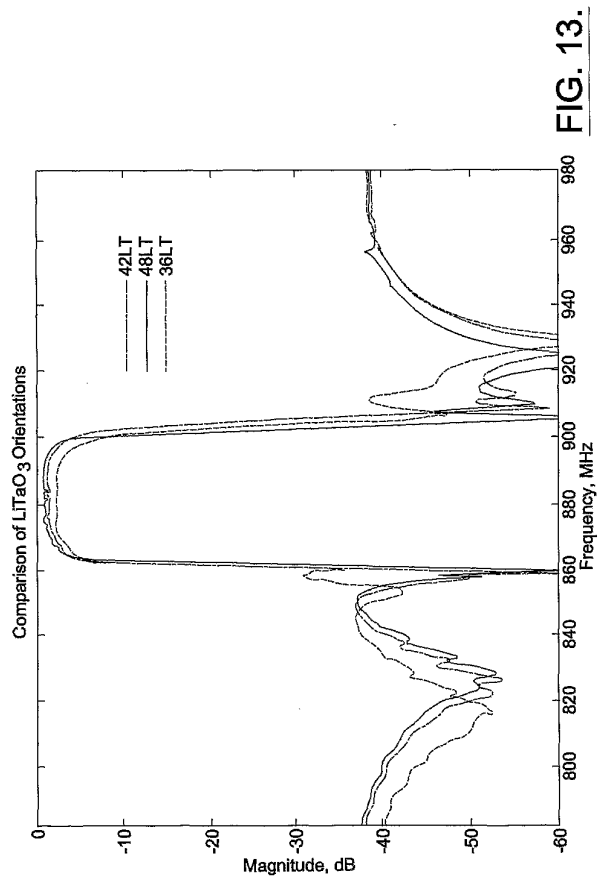
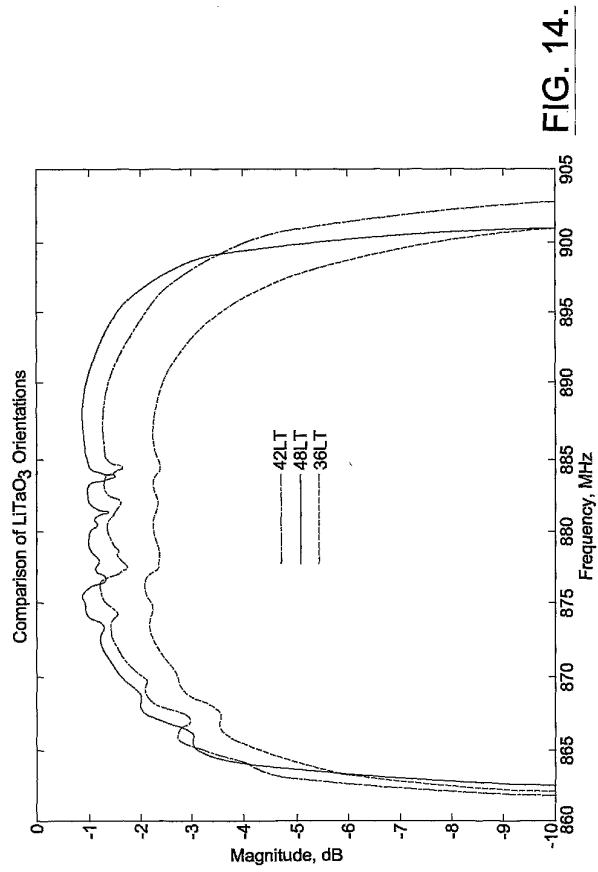


FIG. 13.

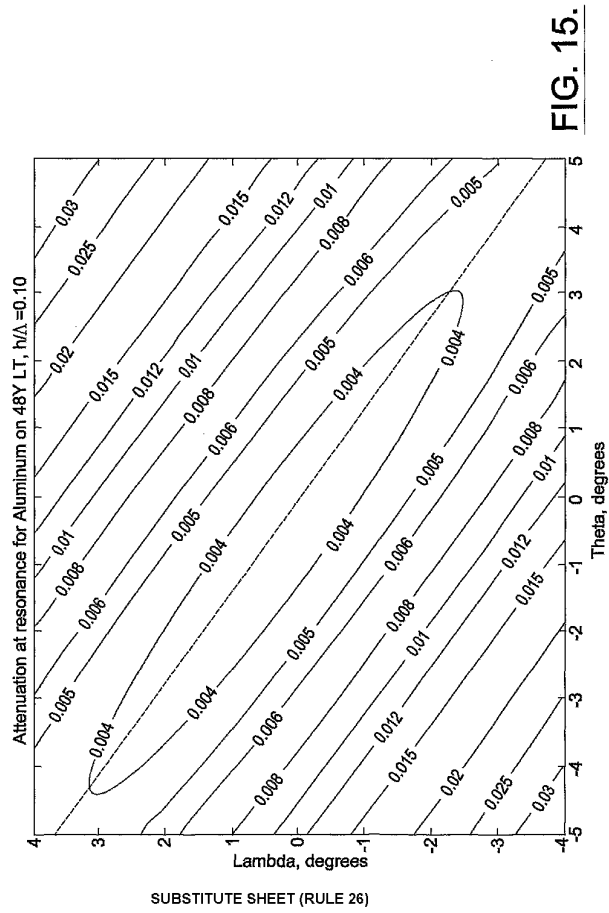
SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

12/19



SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

13/19



14/19

FIG. 16

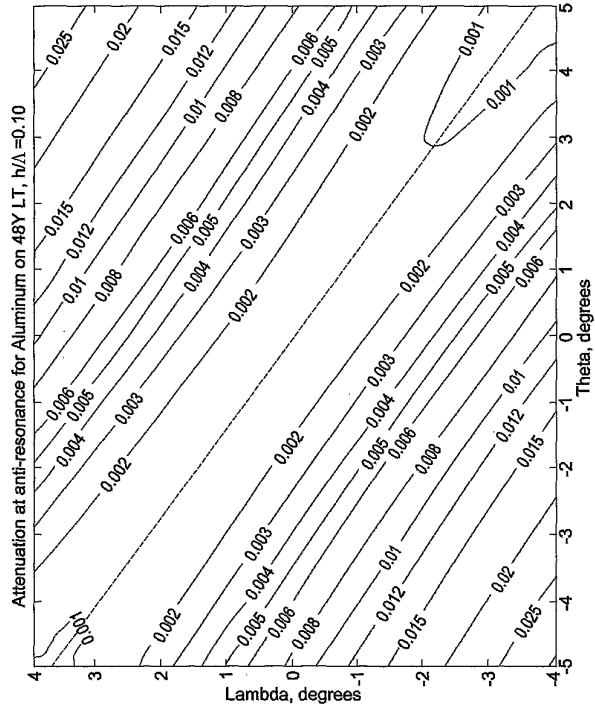
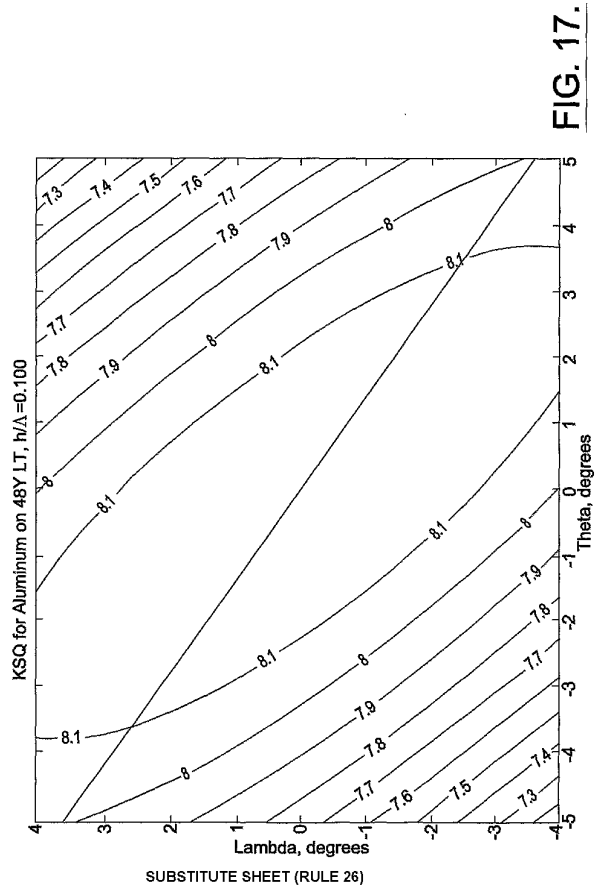


FIG. 16.

15/19



16/19

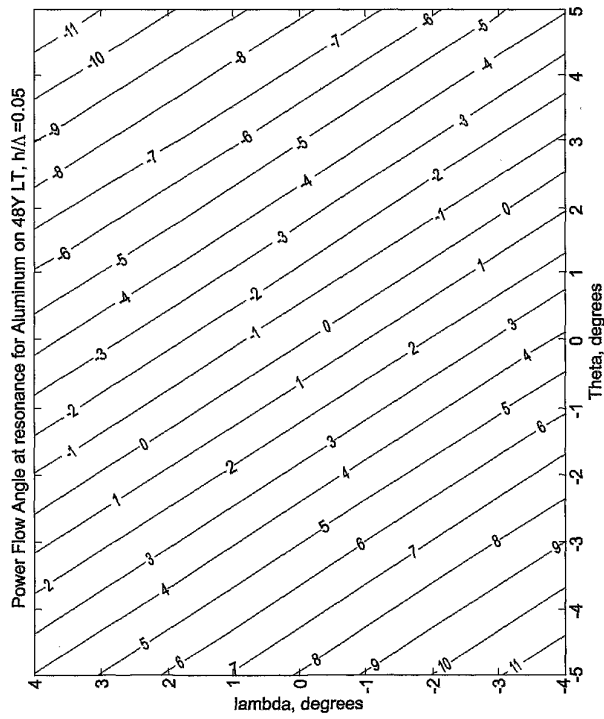


FIG. 18.

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

FIG. 19.



18/19

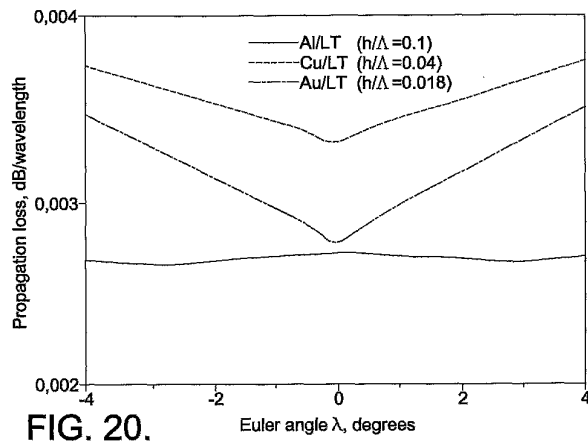


FIG. 20.

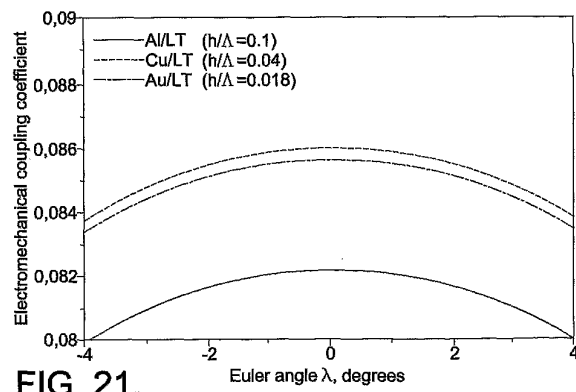
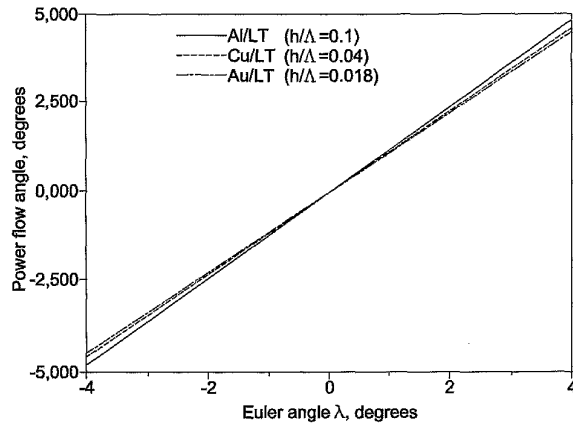


FIG. 21.

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

19/19

**FIG. 22.**

【手続補正書】

【提出日】平成14年5月14日(2002.5.14)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

単結晶 LiTaO_3 の圧電性基板(10)と、前記圧電性基板(10)の表面(12)上に設けられた電極パターンとを備え、前記電極パターンが、電極厚さが約1%～約15%の範囲にある共振器を形成し、ここで は前記圧電性基板(10)の前記表面(12)上に励起される弾性表面波の音響波長である弾性表面波デバイスにおいて、前記圧電性基板(10)が、オイラー角(θ , μ , ϕ)により定められる方位を有し、角 θ は $-4^\circ \sim +4^\circ$ の範囲にあり、角 μ は約 $-52^\circ \sim -36^\circ$ の範囲にあり、角 ϕ は約 $(-1.365 - 4)^\circ \sim (-1.365 + 4)^\circ$ の範囲にあり、また、前記角 θ 及び ϕ の一つが 0° に等しくないことを特徴とする前記弾性表面波デバイス。

【請求項2】

は約 $+2^\circ$ の値を有し、角 μ は -44° より大きくかつ -36° より小さく、角 ϕ は、 θ がほぼ -1.365 の値を有するとして定められるような ϕ に対する固定した関係を有する、請求項1記載の弾性表面波デバイス。

【請求項3】

$\phi = -2.73^\circ$ である、請求項2記載の弾性表面波デバイス。

【請求項4】

前記電極の主材料成分がAlを含む、請求項1記載の弾性表面波デバイス。

【請求項5】

前記電極の主材料成分がAuを含み、前記電極の厚さが約1%～約2.5%の範囲にある、請求項1記載の弾性表面波デバイス。

【請求項6】

前記電極の主材料成分がCuを含み、前記電極の厚さが約1%～約6%の範囲にある、請求項1記載の弾性表面波デバイス。

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International Application No. PCT/US 01/14347
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 H03H9/02		
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) IPC 7 H03H		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, PAJ, COMPENDEX, INSPEC, IBM-TDB		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 037 699 A (KONDO TATED ET AL) 14 March 2000 (2000-03-14) column 7, line 18 -column 8, line 23	7 1-6,8-18
A	KOSKELA J ET AL: "SUPPRESSION OF THE LEAKY SAW ATTENUATION WITH HEAVY MECHANICAL LOADING" IEEE TRANSACTIONS ON ULTRASONICS, FERROELECTRICS AND FREQUENCY CONTROL, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 45, no. 2, 1 March 1998 (1998-03-01), pages 439-449, XP000775482 ISSN: 0885-3010 page 447-448	1-18
-/-		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in 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 document 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 relating 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 "A" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 29 October 2001		Date of mailing of the international search report 09/11/2001
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.O. 5316 Palatinen 2 NL - 2260 HW Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 051 epo nl, Fax (+31-70) 340-3016		Authorized officer Radomirescu, B-M

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Application No.
PC 1/US 01/14347

C. (Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KOBAYASHI Y ET AL.: "1.9-GHZ-BAND SURFACE ACOUSTIC WAVE DEVICE USING SECOND LEAKY WAVE ON LITAO3 AND LINBO3", PROCEEDINGS OF THE 1996 IEEE INTERNATIONAL FREQUENCY CONTROL SYMPOSIUM. (50TH ANNIVERSARY) HONOLULU, HAWAII, JUNE 5 - 7, 1996, PROCEEDINGS OF THE IEEE INTERNATIONAL FREQUENCY CONTROL SYMPOSIUM, NEW YORK, IEEE, US, PAGE(S) 240-247 XP000698473 ISBN: 0-7803-3310-1 the whole document	1-18
A	ISOBE A ET AL.: "PROPAGATION CHARACTERISTICS OF LONGITUDINAL LEAKY SAW IN AL-GRATING STRUCTURE", PROCEEDINGS OF THE 1997 IEEE ULTRASONICS SYMPOSIUM, ONTARIO, CANADA, OCT. 5 - 8, 1997, IEEE ULTRASONICS SYMPOSIUM PROCEEDINGS, NEW YORK, NY: IEEE, US, VOL. 1, PAGE(S) 17-21 XP000848451 ISBN: 0-7803-4154-6 the whole document	1-18
A	KNUUTTILA J V ET AL.: "ASYMMETRIC ACOUSTIC RADIATION IN LEAKY SAW RESONATORS ON LITHIUM TANTALATE" 20 October 1999 (1999-10-20), PROCEEDINGS ON ULTRASONIC SYMPOSIUM, CAESARS TAHOE, NV, USA XP002181372 page 83	1-18

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1998)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT				International Application No.	
Information on patent family members				PCT/US 01/14347	
Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date		
US 6037699 A	14-03-2000	JP 8288788 A	01-11-1996		
		US 5760522 A	02-06-1998		

Form PCT/ISA210 (patent family annex) (July 1999)

フロントページの続き

(81)指定国 AP(GH,GM,KE,LS,MW,MZ,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,CH,CY,DE,DK,ES,FI,FR,GB,GR,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EE,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,NO,NZ,PL,PT,RO,RU,SD,SE,S

G,SI,SK,SL,TJ,TM,TR,TT,TZ,UA,UG,UZ,VN,YU,ZA,ZW

Fターム(参考) 5J097 AA01 DD28 FF03 GG03 KK04 KK06