

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420269

研究課題名(和文) 高音速薄膜装荷による縦波型リーキー弾性表面波の低損失化と高周波フィルタへの応用

研究課題名(英文) Loss reduction of longitudinal-type leaky surface acoustic wave by loading with high-velocity thin film and its application to high-frequency filter

研究代表者

垣尾 省司 (KAKIO, Shoji)

山梨大学・総合研究部・教授

研究者番号：70242617

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：次世代移動体通信システムへの進化、実現に向けて、LiNbO₃等の圧電性基板を利用した弾性表面波フィルタの高周波化が強く要請されている。縦波型リーキーSAW(LLSAW)は、通常のSAWと比べて1.5～2倍の位相速度を持つため、弾性表面波フィルタの高周波化に有利であるが非常に大きな伝搬損失を有する。本研究では、LiNbO₃基板上に高音速なScAlN薄膜を装荷すると縦波型リーキー弾性表面波のバルク波放射に起因する損失が低減することを実験的に明らかにした。また、1波長以下の厚みをもつ圧電薄板と高音速な支持基板を接合するとLLSAWの結合係数が2～3倍に増加することを理論的、実験的に明らかにした。

研究成果の概要(英文)：For the evolution of next-generation mobile communication systems, surface acoustic wave (SAW) devices with higher frequency are strongly demanded. The longitudinal-type leaky surface acoustic wave (LLSAW) has advantage for application to high-frequency SAW devices since LLSAWs have a higher phase velocity than the general SAWs. However, LLSAWs exhibit inherent attenuation because they lose energy by continuously radiating bulk waves into the substrate. In this study, it was found experimentally for the LLSAW propagating on LiNbO₃ substrate that, the losses can be reduced by loading with a ScAlN thin film with a higher velocity than the substrate. Moreover, it was also found theoretically and experimentally that when the LiNbO₃ or LiTaO₃ thin plate with a smaller thickness than one wavelength bonded to a quartz or sapphire substrate with a high phase velocity, the electromechanical coupling factor of the LLSAW was increased to two to three times that in the single substrate.

研究分野：通信工学，超音波エレクトロニクス

キーワード：弾性表面波 LiNbO₃ ScAlN薄膜 低損失フィルタ 異種材料接合

1. 研究開始当初の背景

ワイヤレスブロードバンドシステムが世界的に普及拡大し、より高速・大容量で利便性の高い第4世代(4G)移動通信システムの早期導入が強く要請されている。LiNbO₃(LN)やLiTaO₃(LT)などの圧電結晶基板を用いた弾性表面波(SAW)デバイス(フィルタやデュプレクサなど)は、小型・軽量性と優れた電気的特性から、全世界の移動通信システムを支える極めて重要な役割を果たしている。3.4~3.6GHz帯を利用する4G移動通信システムへの進化、実現のために、端末用SAWデバイスの高周波化が急務である。現状の2GHz以下の周波数帯を用いる移動通信システムで多用されている圧電結晶基板と伝搬モード(例えば、42°YカットX伝搬LT上のリーキーSAW(Leaky SAW: LSAW))を利用して高周波化を図ろうとすると、SAW励振電極の周期を約半分に微細化する必要があるが、微細化に限界がある。

LSAWよりも1.5~2倍の伝搬速度をもつ縦波型リーキー弾性表面波(Longitudinal-type Leaky SAW: LLSAW)を利用できれば、高周波化が可能である。しかし、二種類のバルク波(表面に垂直・水平な横波)を基板内へ放射しながら伝搬するため、1dB/波長以上の非常に大きな伝搬損失を有する問題点がある。

本研究者らは、科研費基盤研究(C)の採択課題(H23-25年度)において、LN基板上に基板よりも弾性波速度が速いAlN薄膜を装荷することによって、LLSAWのバルク波放射に起因する損失が格段に減少することを理論的、実験的に明らかにした。しかし、アモルファスAlN薄膜には圧電性が無いために結合係数が小さく、実用SAWフィルタに必要な帯域を有する共振特性は得られないという問題点があった。一方で、圧電性AlN薄膜にスカンジウム(Sc)を添加すると、その圧電定数が5倍弱(25pC/N)に増加することが報告されている。

2. 研究の目的

本研究では、AlターゲットとScターゲットによる2元同時スパッタリングにより配向性ScAlN薄膜を作製し、圧電性を増加させたScAlN薄膜の装荷により、大きな結合係数とゼロ伝搬損失が同時に得られる高周波・低損失基板構造を確立と高周波フィルタへの応用を目的として研究を遂行した。LLSAWに加えて、横波型LSAWについても高音速薄膜装荷による低損失化・高結合化を検討した。さらに、LLSAWを高結合化させるアプローチとして、LN薄板、LT薄板を高音速な支持基板と接合した場合のLLSAW伝搬特性についても目的に加えて研究を遂行した。

3. 研究の方法

(1) ScAlN薄膜の作製とLLSAWの低損失化

2基のロングスロースパッタカソード

(Long throw sputter cathode: LTS)を有するRFマグネトロンスパッタリング装置(ULVAC MPS-2000)を用いて、石英(SiO₂)基板上にScAlN薄膜を成膜した。成膜条件を表1に示す。高配向なScAlN薄膜の成膜条件を得るために、まず、ArとN₂のガス流量比、ガス圧の2つを変化させ、SiO₂基板上に成膜した。薄膜の配向性をX線回折(X-ray diffraction: XRD)によって評価した後、薄膜表面に波長λ=4.8μm、対数N=30のすだれ状電極(Interdigital transducer: IDT)をAl蒸着薄膜で作製し、SAWの結合係数K²を評価した。次に、R面サファイア(R-Al₂O₃)基板や(111)Si基板、また、(100)Si基板の表面を酸化させてSiO₂を形成した基板(SiO₂/(100)Si)上に、後述する最適な成膜条件で、ScAlN薄膜を成膜した。ただし、Sc側RFパワーは150Wである。

また、後述するように、ScAlN薄膜の大きな圧電性は得られていないが、ScAlN薄膜装荷におけるLLSAWの伝搬損失低減の効果を検討した。X36°Y-LN基板上にλ=4.8μm、対N=15 or 30のIDTを形成した後、ScAlN薄膜を成膜した。Sc側RFパワーは150W、成膜時間は、AlN薄膜装荷によってLLSAW伝搬損失が最も小さくなる膜厚(h/λ=0.23)付近となるように3.5hとした。実際の膜厚はh/λ=0.25であった。

表1 成膜条件

Gas pressure [Pa]	0.22, 0.27, 0.36
Gas ratio (Ar:N ₂)	8:12, 10:10, 12:8, 14:6
Substrate heating [°C]	150
RF power (Al) [W]	150
RF power (Sc) [W]	50
N ₂ radical power [W]	150
Deposition time [h]	2

(2) 高音速薄膜装荷による横波型LSAWの低損失化

AlN薄膜を装荷した回転YカットX伝搬LN上のLSAW伝搬特性を計算した。自由表面の位相速度v_fと、薄膜と基板の境界面を電氣的に短絡した場合の位相速度v_mを求め、K²=2×(v_f-v_m)/v_fよりK²を求めた。

実験用の回転YカットLN基板として、0°、10°、41°、64°Yカットの四種の基板を用いた。まず、各基板上に波長λ=8.0μm、交叉幅50λ、対数10のシングル電極を有するIDTをAl蒸着薄膜(膜厚0.015λ)にて形成した。伝搬路はIDTと同じ膜厚のAl薄膜で短絡されている。伝搬損失を評価するため、伝搬路長Lが5λ、10λ、25λ、50λの送受IDTを作製した。伝搬損失が比較的小さい41°YX-LNの装荷前後の試料と、64°YX-LNの未装荷試料については、L=100λ、200λ、300λの送受IDTを用いた。次に、ロングスロースパッタカソードを有するRFスパッタリング装置を用い

て、基板温度 150°C にて、IDT と伝搬路上に AlN 薄膜を成膜した。各カット角に対してゼロ減衰を示した規格化膜厚を含むように、複数の膜厚を有する試料を作製した。

(3) 圧電薄板と高音速支持基板との接合による LLSAW の高結合化

高音速な支持基板として AT カット水晶 (AT-Quartz) と Al₂O₃ の c 面 (c-Al₂O₃) を取り上げ、これらの支持基板と接合した LN 薄板、LT 薄板上の LLSAW 伝搬特性を計算した。

また、有限要素法 (Finite Element Method: FEM) を用いて、X31°Y-LT 接合構造上に形成した IDT 型共振器 ($\lambda=8.0 \mu\text{m}$, 交叉幅 $W=25 \mu\text{m}$, 電極 Al 膜厚 $0.1 \mu\text{m}$) の LLSAW の共振特性を解析した。解析モデルとして、支持基板の板厚を 10λ とし、1 周期分の IDT の両側に周期境界条件 (無限周期構造) を、底面に完全整合層をそれぞれ仮定した。

実験として、表面活性化常温接合法により、X36°Y-LN と c-Al₂O₃ を直接接合し、研磨により LN の板厚を $1.5 \mu\text{m}$ とした試料を入手し、研磨面上に、LT の X 軸方向が伝搬方向となるように、IDT 型共振器 ($\lambda=8 \mu\text{m}$, 対数 $N=30.5$, Al 膜厚 $0.10 \mu\text{m}$) を形成した試料を作製した。

4. 研究成果

(1) ScAlN 薄膜の作製と LLSAW の低損失化

図 1 に Ar:N₂=12:8, ガス圧 0.22 Pa で成膜した試料の XRD パターンを示す。いずれの成膜条件においても、回折角 $2\theta=15\text{--}30^\circ$ における SiO₂ 基板のブロードなピークと $2\theta=36^\circ$ 付近における ScAlN の (002) 面のピークがみられたため、c 軸配向された薄膜であると考えられる。特に、Ar:N₂=12:8, ガス圧 0.22 Pa で成膜した ScAlN 薄膜においてピーク強度が最も大きくなったため、この条件が最適な条件であると考えられる。

配向性の高い ScAlN 薄膜が得られたため、試料表面上に IDT を形成したが、SAW の励振が観測されなかった。薄膜中の Sc 含有率を高めるために、Sc ターゲットのカソードパワーを 150 W に増加させても同様であった。

次に、R-Al₂O₃, (111)Si, SiO₂/(100)Si の各基板上に、上述の最適な成膜条件で、ScAlN 薄膜を成膜した試料における波長で規格化した膜厚 h/λ , 配向性, K^2 を表 2 に示す。特に、Si 基板上で高配向な薄膜が得られ、これらの 3 種類の基板試料では SAW の励振が観測された。しかし、いずれの試料でも K^2 は 0.1% 未満と小さい値であった。

作製した ScAlN 薄膜の組成をラザフォード後方散乱分析法 (Rutherford backscattering Spectrometry: RBS) によって分析した結果、作製した薄膜は Sc_{24%}-Al_{76%} の Sc_{0.24}Al_{0.76}N 薄膜であることが分かった。これは ScAlN 薄膜の圧電定数が最大となる Sc 含有率 43% の約半分であるが、Sc 含有率 22% の Sc_{0.22}Al_{0.78}N 薄膜で $K^2=$

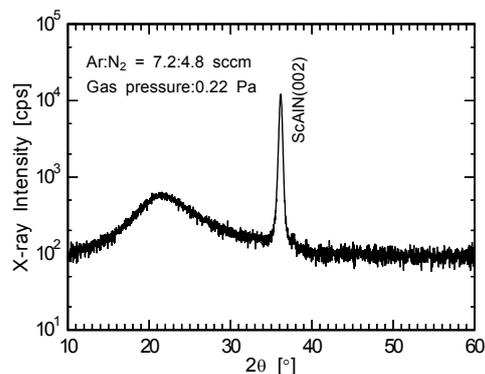


図 1 ScAlN/SiO₂ 試料の XRD パターン

表 2 各基板上の ScAlN 薄膜の特性

Substrate	Orientation	h/λ	K^2 [%]
R-Al ₂ O ₃	Polycrystalline	0.37	0.081
(111)Si	c axis	0.15	0.065
SiO ₂ /(100)Si	c axis	0.21	0.086

1.3% と報告されており、本研究で作製した薄膜の Sc 含有率が小さすぎるわけではない。このことから、薄膜中の分極方向が均一でないために、大きな圧電性が得られていないと考えられる。

図 2 に薄膜未装荷試料と薄膜装荷試料の $N=15$, $L=100 \lambda$ における LLSAW 周波数特性を示す。LLSAW の最小挿入損失は薄膜装荷によって約 28 dB 減少した。また、伝搬路長に対する LLSAW 最小挿入損失の傾きより伝搬損失を求めた結果、未装荷試料では $N=15$, 30 でそれぞれ 0.25, 0.20 dB/ λ , 薄膜装荷試料では $N=15$, 30 でそれぞれ 0.10, 0.08 dB/ λ であった。よって、ScAlN 薄膜装荷によって伝搬損失低減効果があることが分かった。

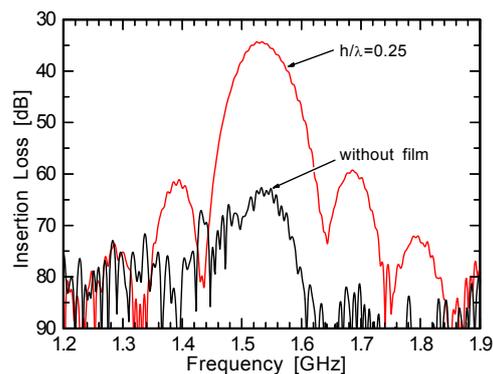


図 2 LLSAW の周波数特性

(2) 高音速薄膜装荷による横波型 LSAW の低損失化

Y 軸からのカット角 θ に対する伝搬減衰 (境界短絡), および K^2 の計算値を、図 3, 4 にそれぞれ示す。図中のパラメータは、波長 λ で規格化した AlN 薄膜の膜厚 h/λ である。図中には後述する測定値も示してある。 $\theta=60^\circ$ 付近で伝搬減衰がゼロとなる一方、比較的 K^2 の大きな Y カット ($\theta=0^\circ$) 付近では、伝搬減衰

が非常に大きいことがわかる. AIN 薄膜の膜厚増加に従い, ゼロ減衰を示すカット角が 60° 付近から 0° にシフトすることがわかった. また, AIN 薄膜の膜厚に対して K^2 は単調に減少する. これらの特性より, ゼロ減衰と最大の K^2 が同時に得られる膜厚とカット角の組み合わせが存在し, $h/\lambda=0.065$, $\theta=17^\circ$ のとき, 16.5%の K^2 計算値を示すことがわかった. これは未装荷においてゼロ減衰を示す $\theta=57^\circ$ の K^2 計算値(=12.1%)よりも大きな値である.

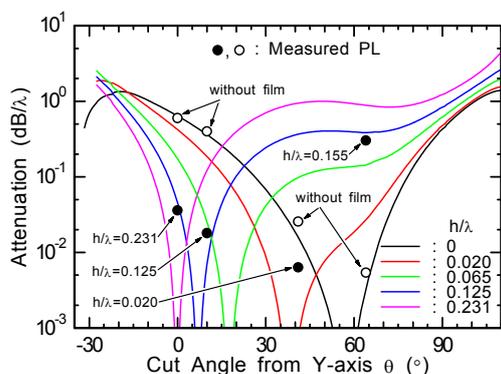


図3 カット角に対する伝搬減衰(境界短絡)

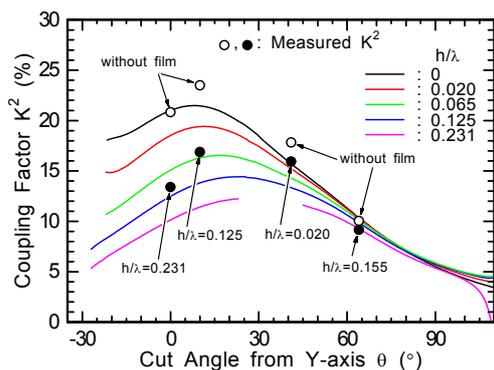


図4 カット角に対する結合係数 K^2

図5に, (a) 0° , (b) 10° , (c) 41° , (d) 64° YX-LN の場合の, 送受 IDT 間の周波数特性の例を示す. ネットワークアナライザのタイムゲート処理により, 直達電磁波と Triple transit echo の影響を除いたものである. いずれの試料においても, 550 MHz 付近に LSAW の応答が観測された. 0° と 10° YX-LN 試料においては, 450 MHz 付近に R-SAW の応答も観測された.

0° , 10° , 41° YX-LN 試料において, AIN 薄膜の装荷後に LSAW の最小挿入損失が低減した. 例えば, 0° YX-LN [図5 (a)] において, 約 40 dB であった未装荷試料の最小挿入損失は, $h/\lambda=0.231$ の AIN 薄膜装荷により 10.6 dB まで減少した. 一方, 64° YX-LN 試料 [図5 (d)] においては, AIN 薄膜装荷試料の伝搬路長が未装荷試料よりも短いにもかかわらず, 最小挿入損失が増加した.

伝搬路長に対する最小挿入損失の傾きから求めた伝搬損失の測定値は計算値と同様の膜厚依存性を示した. 0° , 10° , 41° YX-LN

の未装荷試料の PL は, それぞれ 0.60, 0.40, 0.03 dB/λであり, それぞれ $h/\lambda=0.231$, 0.125, 0.020 の AIN 薄膜装荷によって, 0.04, 0.02, 0.006 dB/λに減少した. 一方, 64° YX-LN 試料においては, 未装荷試料の 0.005 dB/λから, $h/\lambda=0.155$ の AIN 薄膜装荷後に 0.30 dB/λに増加した.

各カット角における未装荷の伝搬損失, AIN 薄膜装荷後の最小伝搬損失, およびその膜厚を図3中に示す. AIN 薄膜装荷によって伝搬損失が低減し, 各カット角において最小の伝搬損失を示した膜厚が計算値と概ね一致したことから, AIN 薄膜装荷によって最小伝搬減衰を示すカット角が小さい角度にシフトすることを実験的に明らかにした.

IDT のアドミタンス特性から求めた K^2 の測定値を図4中に示す. 0.02 dB/λの PL が得られた $h/\lambda=0.125$ の 10° YX-LN 試料において, 16.9%の K^2 測定値が得られた. この値は, 64° YX-LN の未装荷試料 (PL=0.005 dB/λ) の K^2 測定値(10.0%)よりも大きい. K^2 測定値は, 計算値と同様のカット角依存性, 膜厚依存性を示したことから, 前述のような, ゼロ減衰と最大の K^2 が同時に得られる膜厚とカット角の組み合わせが存在すると考えられる.

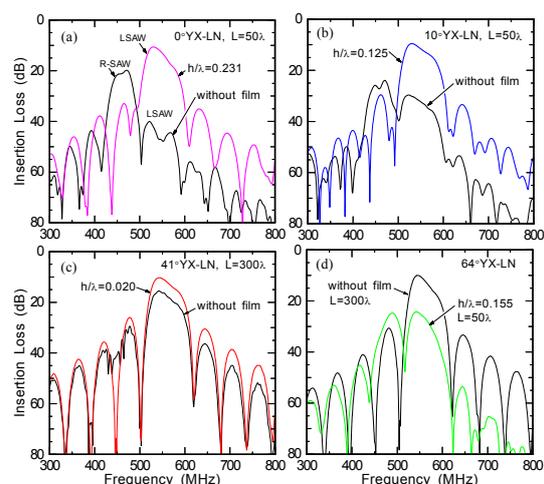


図5 送受 IDT 間の周波数特性
(a) 0° , (b) 10° , (c) 41° , (d) 64° YX-LN

また, この手法を LT に適用した場合, 伝搬損失は各段に低減するが, 未装荷においてゼロ減衰を示すカット角の K^2 よりも大きな K^2 は得られないことがわかった.

(3) 圧電薄板と高音速支持基板との接合による LLSAW の高結合化

水晶は異方性が大きいため, 接合時の伝搬特性は水晶の伝搬方向に大きく依存すると考えられる. AT-Quartz 上の X 軸からの伝搬角に対する LLSAW の位相速度を計算した結果, 45° X 伝搬において最も高速であることがわかった. これらの伝搬方位において, LN/LT 単体と最大の位相速度差を有するため, 粒子変位の集中効果が期待できる.

例として図 6 に、X36°Y-LN 薄板を AT 45°X-Quartz, または c-Al₂O₃ と接合した場合の LLSAW の(a)位相速度と(b)K²の計算値をそれぞれ示す。横軸は、波長λで規格化した LN, LT 薄板の板厚 h/λである。図 6(b)中には、後述する測定値も示してある。接合時の位相速度が LN/LT 単体の位相速度よりも遅くなる特異な現象を示す板厚が存在することがわかった。また、板厚の増加に従って LLSAW の K²は増加し、LN/LT 単体の値よりも大きな値を示した。特に LT 薄板と水晶との接合では、h/λ=0.15~0.40 において LT 単体の約 3 倍(約 8%)の K²を示した。

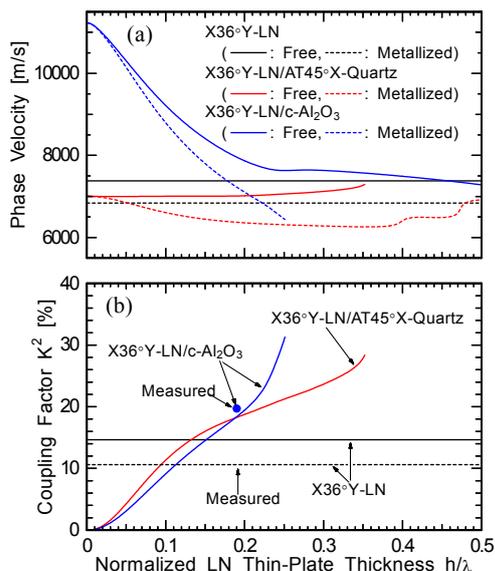


図 7 LN 薄板接合構造上の LLSAW の (a)位相速度と(b)K²

LLSAW の深さ方向に対する縦波成分(u₁)の粒子変位分布を計算した。LT 単体では表面から深さ方向 10 波長以上にわたって変位が分布しているが、接合構造では表面から 1 波長以内に变位が集中することがわかった。このため、高音速基板との接合により K²が増加すると考えられる。

FEM 解析例として、図 8 に支持基板を AT45°X-Quartz とした場合の LLSAW 共振特性を示す。h/λ=0.10 のとき最も大きなアドミタンス比 66 dB が得られ、LT 単体の 24 dB よりも格段に向上した。また、比帯域幅、共振 Q も LT 単体の 2.1%, 43 から 3.0%, 1057 にそれぞれ増加した。一方、c-Al₂O₃ との接合では、h/λ=0.20 のとき最も大きなアドミタンス比(45 dB)、共振 Q(397)が得られたが、水晶と接合した方がより良好な共振特性が得られることがわかった。

共振特性の測定結果と FEM 解析結果を図 9 に示す。LN 単体試料の特性と比較すると、接合試料の LLSAW の応答は高周波側にシフトし、アドミタンス比は 13 dB から 23 dB に、共振 Q 値は 4.1 から 22 にそれぞれ増加した。また、K²測定値は、LN 単体試料の 10.6%か

ら 19.7%に増加した。図 7(b)中にこれらの K²測定値を示してある。

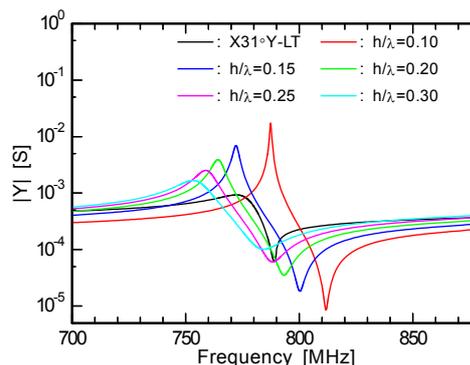


図 8 FEM 解析による X31°Y-LT /AT45°X-Quartz 上の LLSAW 共振特性(無限周期構造)

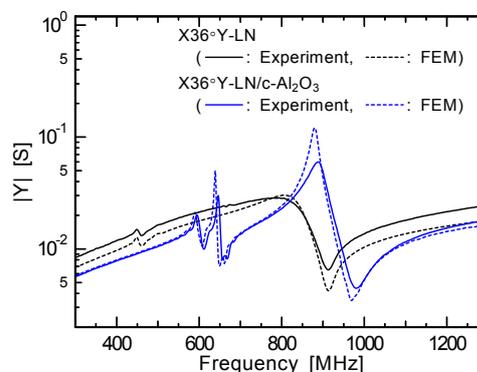


図 9 IDT/X36°Y-LN/c-Al₂O₃ 試料, IDT/X36°Y-LN 試料上の共振特性

共振特性の測定結果は、FEM 解析結果に近い特性を示しているが、特に接合試料において解析結果よりもアドミタンス比が小さい。接合試料においては LLSAW の伝搬損失が大きい可能性がある。

今後は、提案接合構造を用いて高周波・高結合・低損失基板構造の確立を目指す。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① M. Gomi, T. Kataoka, J. Hayashi, and S. Kakio, "High-coupling leaky surface acoustic waves on LiNbO₃ or LiTaO₃ thin plate bonded to high-velocity substrate," Jpn. J. Appl. Phys., vol.56, no.7S, 採録決定, 2017. 査読有
- ② S. Kakio and K. Hosaka, "Loss reduction of leaky surface acoustic wave by loading with high-velocity thin film," Jpn. J. Appl. Phys., vol.55, no.7S, pp.07KD11-1-6, 2016. doi: 10.7567/JJAP.55.07KD11 査読有
- ③ S. Kakio and K. Hosaka, "Loss reduction of leaky surface acoustic wave by loading with high-velocity thin film," Proc. of 2015 IEEE

International Ultrasonics Symposium, P4A3-5, pp.1-4, 2015. 査読有

[学会発表] (計 18 件)

- ① 垣尾 省司, 五味 将史, 林 純貴, 須崎 遥, 米内 敏文, 岸田 和人, 水野 潤, “LiTaO₃ 薄板と水晶基板の接合によるリーキー系 SAW の高結合化,” 第 64 回応用物理学会春季学術講演会, 14p-514-8, 2017/3/14. [パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市)]
- ② 五味 将史, 片岡 拓哉, 林 純貴, 垣尾 省司, “圧電薄板と高音速基板の接合によるリーキー系弾性表面波の高結合化,” 圧電材料・デバイスシンポジウム 2017, B-3, 2017/2/6. [東北大学 (宮城県・仙台市)]
- ③ 垣尾 省司, 五味 将史, 片岡 拓哉, 林 純貴, “圧電薄板と高音速基板の接合によるリーキー系 SAW の高結合化,” 平成 28 年度第 2 回『EM デバイス・システムの新技术調査専門委員会, 超精密周波数計測, 比較を目指す未来型回路技術調査専門委員会合同委員会』技術報告, EM-1, 2016/12/2. [登別会館 (北海道・登別市)]
- ④ M. Gomi, T. Kataoka, J. Hayashi, and S. Kakio, “High-coupling leaky SAWs on LiNbO₃ or LiTaO₃ thin plate bonded to high-velocity substrate,” The 37th Symposium on ULTRASONIC ELECTRONICS, 1P3-2, 2016/11/16. [Pusan (Korea)]
- ⑤ 垣尾 省司, 勝谷 信介, 保坂 桂子, “ScAlN/回転 Y-X LiTaO₃ 構造におけるリーキーSAW の理論解析,” 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会, 13p-P1-1, 2016/9/13. [朱鷺メッセ (新潟県・新潟市)]
- ⑥ 五味 将史, 片岡 拓哉, 林 純貴, 垣尾 省司, “LiNbO₃・LiTaO₃ 薄板と高音速基板の接合によるリーキー系 SAW の高結合化,” 第 77 回応用物理学会秋季学術講演会, 13a-D63-4, p.01-004, 2016/9/13. [朱鷺メッセ (新潟県・新潟市)]
- ⑦ 垣尾 省司, 勝谷 信介, 保坂 桂子, “高音速薄膜装荷によるリーキー弾性表面波の低損失化,” 第 45 回 EM シンポジウム, 2016/06/16-17. [東京理科大学 (東京都・新宿区)]
- ⑧ 垣尾 省司, 勝谷 信介, 保坂 桂子, “高音速薄膜装荷によるリーキー弾性表面波の低損失化,” 日本学術振興会 弾性波技術第 150 委員会 第 144 回研究会資料, 2016/05/17. [弘済会館 (東京都・千代田区)]
- ⑨ 垣尾 省司, 勝谷 信介, 保坂 桂子, “高音速薄膜装荷によるリーキー弾性表面波の低損失化 — LiTaO₃ 基板への適用 —”, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 20p-S322-12, 2016/03/20. [東京工業大学大岡山キャン

パス (東京都・目黒区)]

- ⑩ 垣尾 省司, 保坂 桂子, “高音速薄膜装荷によるリーキー弾性表面波の低損失化,” 圧電材料・デバイスシンポジウム 2016 予稿集, D-1, pp.59-62, 2016/02/09. [東北大学 (宮城県・仙台市)]
- ⑪ M. Gomi and S. Kakio, “Loss reduction of longitudinal-type leaky surface acoustic wave by loading with ScAlN thin film,” Proc. of The 36th Symposium on ULTRASONIC ELECTRONICS, 1P3-2, 2015/11/5. つくば国際会議場 (茨城県・つくば市)]
- ⑫ 垣尾 省司, 保坂 桂子, “高音速薄膜装荷によるリーキー弾性表面波の低損失化,” 平成 27 年度第 2 回『EM デバイス・システムの新技术調査専門委員会』技術報告, 1-3, 2015/10/30. 山梨大学 (山梨県・甲府市)]
- ⑬ 五味 将史, 垣尾 省司, “ScAlN 薄膜装荷による縦型リーキー弾性表面波の低損失化,” 平成 27 年度第 2 回『EM デバイス・システムの新技术調査専門委員会』技術報告, 1-1, 2015/10/30. [山梨大学 (山梨県・甲府市)]
- ⑭ 五味 将史, 垣尾 省司, “ScAlN 薄膜装荷による縦型リーキー弾性表面波の低損失化,” 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会講演予稿集, 14a-2K-8, 2015/09/14. [名古屋国際会議場 (愛知県・名古屋市)]
- ⑮ 垣尾 省司, 保坂 桂子, “高音速薄膜装荷によるリーキー弾性表面波の低損失化,” 第 62 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 11p-D12-11, p.02-037, 2015/03/11-3/14. [東海大学湘南キャンパス (神奈川県・平塚市)]

他 3 件

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 「接合基板, 弾性表面波素子, 弾性表面波デバイスおよび接合基板の製造方法」

発明者: 栗本 浩平, 岸田 和人, 茅野 林造, 水野 潤, 垣尾 省司

権利者: 早稲田大学, 国立大学法人山梨大学, 株式会社日本製鋼所

種類: 特願

番号: 2016-157122

出願年月日: 2016 年 8 月 10 日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ

<http://www.ccn.yamanashi.ac.jp/~kakio/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

垣尾 省司 (KAKIO Shoji)

山梨大学・大学院総合研究部・教授

研究者番号: 70242617