

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02181

研究課題名（和文）異種材料接合を用いた弾性表面波高調波強勢励振と次世代超高周波フィルタへの応用

研究課題名（英文）Enhancement of surface acoustic wave harmonics excitation using bonded dissimilar-material structures and its application to next-generation super-high frequency filters

研究代表者

垣尾 省司（Shoji, Kakio）

山梨大学・大学院総合研究部・教授

研究者番号：70242617

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,000,000円

研究成果の概要（和文）：第5世代通信システムの普及、次世代通信システムへの進化のために、端末用の弾性表面波(SAW)フィルタの高周波化が急務であるが、高周波化に必要な電極周期の狭小化は限界である。本研究では、LiTaO₃(LT)薄板、またはLiNbO₃(LN)薄板を水晶基板と異種材料接合させた構造と、0.8程度の電極メタライゼーション比を組み合わせると、単体のLT、またはLNと比較してSAWの3次、5次高調波が強勢に励振され、格段に大きな共振特性が得られることを理論的、実験的に明らかにし、電極周期を狭くすることなく3倍、5倍の周波数で動作可能な超高周波フィルタへの適用可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スマートフォン等の端末用の弾性表面波(SAW)フィルタには、LiTaO₃(LT)やLiNbO₃(LN)の圧電結晶が用いられてきたが、第5世代通信システム、次世代通信システムの高周波化に必要な電極周期の狭小化は限界である。本研究では、LT薄板、またはLN薄板を水晶基板と異種材料接合させた構造と、0.8程度の電極メタライゼーション比を組み合わせると、単体のLT、またはLNと比較してSAWの3次、5次高調波が強勢に励振され、格段に大きな共振特性が得られることを理論的、実験的に明らかにし、電極周期を狭くすることなく3倍、5倍の周波数で動作可能な超高周波フィルタへの適用可能性を示した。

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 and wide bandwidth are strongly demanded. The conventional SAW devices have a frequency limit of around 3.5 GHz owing to the limitations of narrower electrodes and power handling capability. In this study, the enhancement of high-order SAW harmonics by increasing the metallization ratio was theoretically and experimentally investigated in high-performance bonded dissimilar-material structures, such as LiTaO₃(LT)/quartz and LiNbO₃(LN)/quartz. It was clarified that the 3rd and 5th harmonics of the SAW are strongly excited compared to a single LT or LN, resulting in significantly larger resonance characteristics. The applicability to ultra-high frequency filters that can operate at frequencies 3 and 5 times higher without narrowing the electrode period was demonstrated.

研究分野：通信工学，超音波エレクトロニクス

キーワード：SAWフィルタ 高周波化 異種材料接合 高調波

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

LiNbO₃(LN)や LiTaO₃(LT)などの圧電結晶基板上に形成された微細なすだれ状電極(IDT)を基本要素とする弾性表面波(SAW)フィルタは、小型・軽量性と優れたフィルタ特性から、スマートフォン等の通信端末に不可欠なデバイスである。第5世代(5G)以降の次世代通信システムへの進化、実現のために、現状の周波数帯(主に2GHz)から、Sub-6(サブシックス)と呼ばれる5GHz帯へのSAWフィルタの高周波化が急務である。SAWデバイスメーカーの量産設備において、高周波化に必要な電極周期の狭小化は限界に達しており(概ね周期 $2p=1.2\mu\text{m}$, 電極幅 $a=0.3\mu\text{m}$, ギャップ $g=0.3\mu\text{m}$), 3.5GHz以上のフィルタ製造は困難である。

高周波化のアプローチの一つは、現状のフィルタに多用されているリーキーSAW(LSAW)よりも1.5~2倍の伝搬速度をもつ縦型LSAWの適用である。縦型LSAWは、LSAWよりも基板内部へのエネルギー漏洩が大きいこと、フィルタ応用が困難である。本研究代表者は、科研費基盤研究(B)(2017-2019, 17H03233)において、弾性波の1波長よりも薄い板厚を有するLN薄板、またはLT薄板を、薄板よりも速度の速い水晶支持基板と異種材料接合させると、縦型LSAWとLSAWの高性能化を実現できることを理論的、実験的に世界で初めて明らかにした。

もう一つの高周波化アプローチとして高調波の利用がある。電極に印加される電気信号により励振されるSAWは、基本波に加えて奇数次の高調波成分を含むこと、その励振強度は電極幅 a とピッチ p の比(メタライゼーション比 $=a/p$)に依存することは古くから知られている。 a/p が1.0に近づくほど奇数次高調波の励振強度は強い。しかし、基本波と同等以上の励振強度は得られないため、低損失が要求される端末用フィルタ応用は困難である。

2. 研究の目的

本研究代表者の科研費基盤研究(B)(2017-2019)における成果の例として、36°YカットX伝搬LT薄板とATカット90°X伝搬水晶との接合構造において、規格化板厚に対して結合係数は増大し、0.17付近でLT単体(5%)の2.2倍の結合係数(12%)が得られた。この結合係数の規格化板厚依存性(=周波数依存性)を用いて高次高調波を強勢に励振させる。すなわち、三次高調波に対する規格化板厚を結合係数最大となる規格化板厚に設定する。このとき、基本波の規格化板厚は三次高調波の1/3となるため、三次高調波の結合係数は基本波の約2倍となる。従って、圧電薄板と水晶の接合構造を用いることにより、圧電基板単体で電極メタライゼーション比によって高調波を励振させる場合と比べて、三次高調波が約2倍に強勢励振される。この手法は五次高調波にも適用可能である。縦型LSAWの結合係数も圧電薄板の板厚に対して増加し、単体基板の約3倍となるため、縦型LSAWにも適用可能である。

本研究では、異種材料接合を用いてSAWの奇数次高調波を強勢に励振させ、電極周期を狭小化させることなく高周波化が可能なSAW基板構造を開発し、次世代通信端末用の超高周波フィルタに適用することを目的として研究を遂行した。

3. 研究の方法

(1) 水晶接合構造上のLSAW高調波共振特性

まず、LT、LN薄板を水晶基板と直接接合した構造上を伝搬するLSAWの電気機械結合係数 K^2 、伝搬減衰、周波数温度係数(TCF)について理論解析を行い、三次、五次高調波の強勢励振に最適な板厚を設計した。次に、有限要素法(FEM)を用いて、接合構造上に形成したIDT型共振子におけるLSAW高調波の共振特性をシミュレートした。さらに、36°YX-LT、36°YX-LNとATカット水晶支持基板の接合構造を準備し、波長8~38 μm のAl製IDTを作製し、LSAWの三次、五次高調波の共振特性を実験的に評価した。

(2) 縦型LSAWの高調波共振特性

LLSAWの高調波については、LN/水晶接合構造上の共振特性をFEMによりシミュレートし、超高周波フィルタへの適用可能性を検討した。

4. 研究成果

(1) 水晶接合構造上のLSAW高調波共振特性

解析解

36°YカットX伝搬LT/ATカット90°X伝搬Quartz構造(36°YX-LT/AT90°X-Quartz)上を伝搬するLSAWについて、図1に波長で規格化したLT板厚 h/λ に対する(a)伝搬減衰、(b)結合係数 K^2 と短絡表面のTCFの解析結果を示す。 $h/\lambda=0.17$ において、11.9%の K^2 とゼロTCFが得られ、その h/λ において、自由、短絡表面共に約10⁻⁴dB/ λ の伝搬減衰が得られる。三次高調波の波長は基本波の1/3であるため、基本波に対する規格化板厚を $h/\lambda=0.06$ 付近に設定することにより、三次高調波に対して上述の高結合、高安定、低伝搬減衰な特性の適用が期待できる。

次に、27°YX-LN/AT90°X-Quartz構造上のLSAWについて同様に解析した。基本波に対する規格化板厚を $h/\lambda=0.1$ に設定することにより、三次高調波($h/\lambda=0.3$)に対して、TCFは大きいものの約10⁻⁵

dB/λ の短絡表面伝搬減衰と 25% の K^2 の適用が期待できる。

FEM 解析

上記を踏まえ、LSAW 三次高調波の共振特性を FEM により解析した。波長 $\lambda(=2p)$ を $2.5 \mu\text{m}$ 、支持基板の厚みを 10λ とし、LT, LN 板厚として前項で設定した基本波に対する板厚、 0.06λ , 0.1λ をそれぞれ選択した。電極として 1 周期分のアルミニウム (Al) IDT を仮定し (Al 膜厚 700\AA)、そ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設定した。メタライゼーション比 a/p を 0.8 と設定し ($a=1 \mu\text{m}$, $p=1.25 \mu\text{m}$)、 $\pm 1.0 \text{ V}$ の正弦波交流電圧を印加した。各材料の誘電損、材料損は考慮していない。

図 2 (a) に $36^\circ\text{YX-LT}(0.06\lambda)/\text{AT}90^\circ\text{X-Quartz}$ 構造と 36°YX-LT 単体の共振特性を示す。4.8 GHz 付近に観測される三次高調波のアドミタンス比、比帯域幅、共振 Q 、反共振 Q は、LT/Quartz 構造では 98.5 dB, 1.6%, 6,200, 13,300 であり、LT 単体の 60.5 dB, 0.8%, 4,800, 1,200 よりもそれぞれ大きな値を示した。1.7 GHz 付近の基本波共振特性と比較すると、単体、接合構造共に比帯域幅が半減する傾向がみられた。

図 2 (b) に $27^\circ\text{YX-LN}(0.1\lambda)/\text{AT}90^\circ\text{X-Quartz}$ 構造と 27°YX-LN 単体の共振特性を示す。LN 単体の三次高調波において、共振周波数と反共振周波数の間に多くのリップルが現れているが、LN/Quartz 構造では抑制されている。基本波の共振特性と比較すると、LT の場合と同様に比帯域幅は半減するが、LN/Quartz 構造の三次高調波では 3.5% の比帯域幅が得られた。

LT/水晶接合構造における実験

まず、 36°YX-LT ウェハと $\text{AT}0^\circ\text{X-Quartz}$ ウェハが表面活性化接合法により直接接合された後、LT の板厚が $h=1 \mu\text{m}$ に研磨された接合ウェハを用意した。接合ウェハを $16 \times 15 \text{ mm}^2$ 程度に切断し、Al 蒸着膜を用いて共振子パターン ($\lambda=2p=20 \mu\text{m}$, 対数 $N=100.5$, 200.5, 反射器本数 $N_R=0, 100$, 交叉幅 $W=25\lambda$, $a/p=0.4\sim 0.8$, Al 膜厚: 380 nm) を形成した。基本波に対する規格化板厚は $h/\lambda=0.05$ である。また、 36°YX-LT 単体試料にも同様の共振子パターン ($a/p=0.4\sim 0.85$) を形成した。

図 3 に、ネットワークアナライザを用いて測定した LT/Quartz 試料、LT 単体試料における LSAW の基本波と三次高調波の共振特性を示す ($N=100.5$, $N_R=100$, $a/p=0.8$)。LT 単体 ($a/p=0.85$) と比較すると、Quartz との接合により、三次高調波のアドミタンス比は 31 dB から 63 dB に、比帯域幅は 0.8% から 1.4% に、共振 Q 値は 480 から 1,770 にそれぞれ増加した。さらに、LT/Quartz 試料の三次高調波のアドミタンス比と共振 Q 値は、約 210 MHz における LT 単体の基本波のアドミタンス比と共振 Q 値 (51 dB および 1,440) よりも大きい値を示した。また、 a/p が増加するほど三次高調波の共振が強勢に現れる傾向が観測された。

次に、 36°YX-LT と $\text{AT}90^\circ\text{X-Quartz}$ が異種材料接合され、LT が $0.9 \mu\text{m}$ 程度の板厚に研磨された 4 インチ径ウェハ上に、Al スパッタ膜 (膜厚 300 nm) を用いて共振子パターン (波長 $\lambda=8, 10 \mu\text{m}$, 対数 $N=100.5$, 反射器本数 $N_R=100$, 交叉幅 $W=25\lambda$, $a/p=0.8$) を作製し、1.2 GHz 帯で三次高調波の共振特性を評価した。図 4 にネットワークアナライザを用いて測定した共振特性を示す ($\lambda=10 \mu\text{m}$)。0.4 GHz 付近の応答が基本波、1.2 GHz 付近の応答が三次高調波であり、2 GHz 付近に五次高調波も観測された。

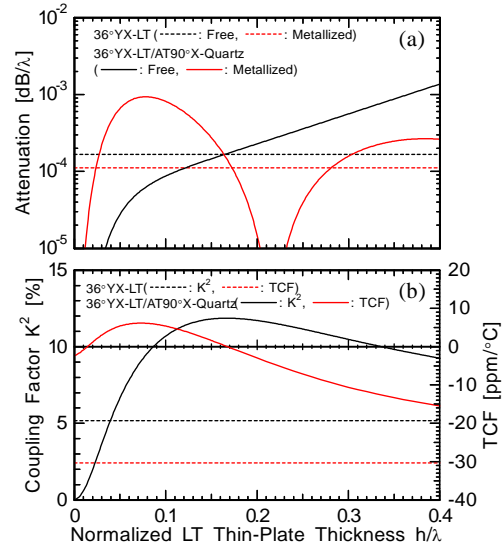


図 1 LT/水晶構造上の LSAW 伝搬特性 (a)伝搬減衰,(b) K^2 と短絡表面の TCF

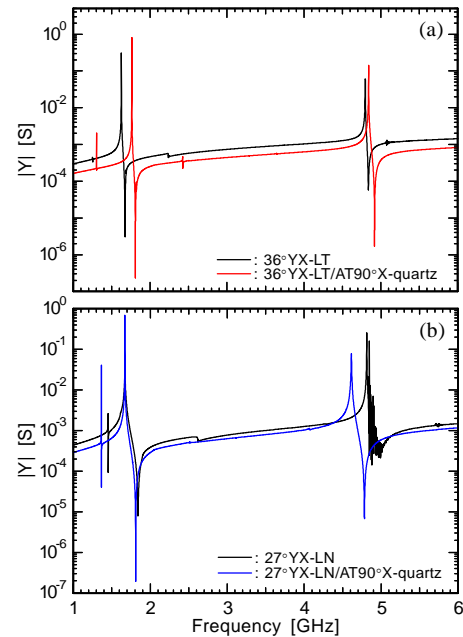


図 2 LSAW 共振特性(FEM 解析結果) (a) LT/水晶と LT 単体, (b) LN/水晶と LN 単体

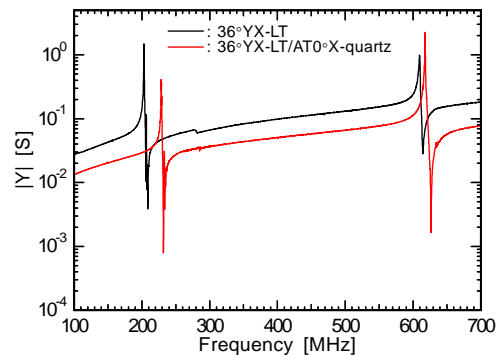


図 3 LT/水晶 ($a/p=0.8$), LT 単体 ($a/p=0.85$) の共振特性 (測定結果)

図5に三次高調波の応答の拡大図と、上述のパラメータをモデル化してFEMにより解析したシミュレーション結果を示す。LTの材料 $Q(Q_m)$ を1,000に仮定した。三次高調波のアドミタンス比、比帯域幅、共振 Q 、反共振 Q の各測定値は、61.1 dB, 1.3%, 1,700, 1,720であり、シミュレート値(59.1 dB, 1.4%, 1,040, 1,150)と同等の特性を示した。また、上述の600 MHzにおける $36^\circ\text{YX-LT}/\text{AT}90^\circ\text{X-Quartz}$ 上の三次高調波の測定値と比較すると、この2倍の周波数帯において同等の特性が得られた。

次に、LT/Quartz試料を設置したホットプレートを常温から75°Cに変化させた場合の基本波、三次および五次高調波の共振(f_r)、および反共振周波数(f_a)の変化率を測定し、TCFを求めた。図6に $36^\circ\text{YX-LT}/\text{AT}90^\circ\text{X-Quartz}$ 接合ウエハのTCF実験値を示す。TCFを測定した共振子パラメータは $\lambda=8$ 、または $10\ \mu\text{m}$, $N=100.5$, $N_R=100$, $W=25\lambda$ である。図中には、 $36^\circ\text{YX-LT}/\text{AT}90^\circ\text{X-Quartz}$ 上のTCF理論値も示す。 $\lambda=10\ \mu\text{m}$ の基本波($h/\lambda=0.088$)における f_r, f_a のTCF測定値は $-6.8, -18.4\ \text{ppm}/^\circ\text{C}$ を示し、三次高調波($h/\lambda=0.264$)の f_r, f_a のTCF測定値は $-36.7, -42.5\ \text{ppm}/^\circ\text{C}$ を示した。三次高調波のTCF測定値は、基本波のTCF測定値と比べると、理論値に対してより大きな絶対値を示した。

LN/水晶接合構造における実験

高結合化に最適な 27°YX-LN に近いカット角の 36°YX-LN を用いて接合、研磨された、 $36^\circ\text{YX-LN}(h=1.3\ \mu\text{m})/\text{AT}90^\circ\text{X-Quartz}$ 試料を用意した。LSAW三次高調波の共振特性を評価するために、この試料上にAl蒸着膜(膜厚420 nm)を用いて波長 $\lambda=20, 24\ \mu\text{m}$ の共振子パターン($N=100.5$, $N_R=100$, $W=25\lambda$)を作製した。三次高調波に最大の K^2 を適用するために $h/\lambda=0.06$ となる $\lambda=20\ \mu\text{m}$ とし、 $\lambda=24\ \mu\text{m}$ の試料も作製した。共振子パターンの作製後、デジタルマイクロスコプで測定した a/p は $\lambda=20\ \mu\text{m}$ で0.7、 $\lambda=24\ \mu\text{m}$ で0.75であった。図7にネットワークアナライザを用いて測定したLSAW基本波、三次高調波の共振特性を示す。比較として 36°YX-LN 単体に同じパターンを作製した試料の共振特性も示す。200~250 MHz付近の応答が基本波、500~700 MHz付近の応答が三次高調波である。

図8にLN/Quartz試料($\lambda=20\ \mu\text{m}$)の三次高調波共振特性の拡大図を示す。LN/Quartz試料($\lambda=20\ \mu\text{m}$)の三次高調波におけるアドミタンス比、比帯域幅、共振 Q 、反共振 Q の測定値はそれぞれ65 dB, 2.8%, 1,030, 860、LN/Qz試料($\lambda=24\ \mu\text{m}$)ではそれぞれ64 dB, 3.1%, 1,240, 1,530であり、LN単体試料($\lambda=20\ \mu\text{m}$)の36 dB, 1.6%, 180, 220より大きな値を示した。これらの比帯域幅の測定値は、上述の $36^\circ\text{YX-LT}/\text{AT}90^\circ\text{X-Quartz}$ 構造で同様のパラメータを持つLSAW三次高調波の比帯域幅の測定値(1.4%)の約2倍であった。

また、LN/Quartz試料($\lambda=20\ \mu\text{m}$, $a/p=0.7$)と同じパラメータを有する解析モデルを用いてFEMより求めた三次高調波共振特性の解析結果も図8中に示す。LNの Q_m を1,000と仮定した。その解析結果におけるアドミタンス比、比帯域幅、共振 Q 、反共振 Q はそれぞれ68 dB, 3.0%, 900, 590であり、上述の測定結果と同様の特性を示した。

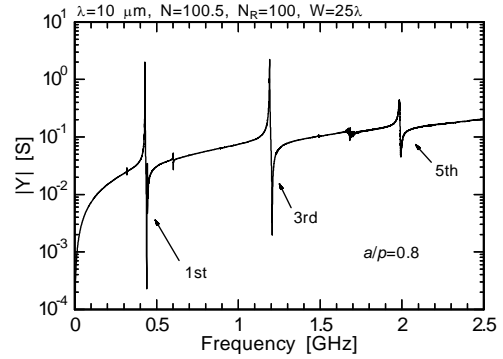


図4 $36^\circ\text{YX-LT}/\text{AT}90^\circ\text{X-Quartz}$ における共振特性の測定結果($\lambda=10\ \mu\text{m}$)

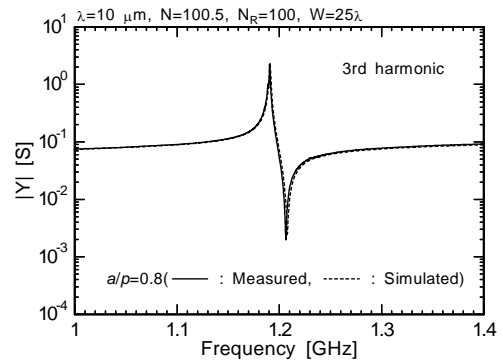


図5 $36^\circ\text{YX-LT}/\text{AT}90^\circ\text{X-Quartz}$ における三次高調波($\lambda=10\ \mu\text{m}$)の共振特性の測定結果と解析結果

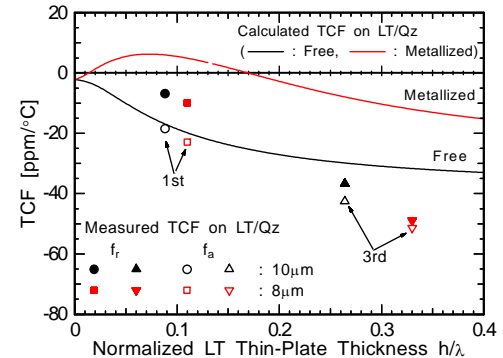


図6 $36^\circ\text{YX-LT}/\text{AT}90^\circ\text{X-Quartz}$ におけるTCF測定値と理論値

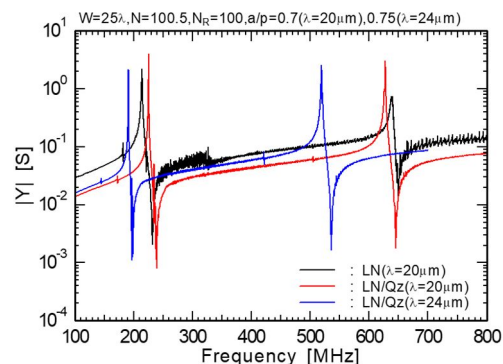


図7 $36^\circ\text{YX-LN}/\text{AT}90^\circ\text{X-Quartz}$ とLN単体におけるLSAW三次高調波の共振特性(測定結果)

さらに、LSAW 五次高調波における共振特性を評価するために、 $36^\circ\text{YX-LN}(h=1.3\ \mu\text{m})/\text{AT}90^\circ\text{X-Quartz}$ 試料上に Al 蒸着膜(膜厚 400 nm)を用いて波長 $\lambda=32, 38\ \mu\text{m}$ の共振子パターン($N=100.5$, $N_R=100$, $W=25\lambda$)を作製した。五次高調波に最大の K^2 を適用するために $h/\lambda=0.04$ となる $\lambda=32\ \mu\text{m}$ とし、 $\lambda=38\ \mu\text{m}$ の試料も作製した。 a/p は $\lambda=32\ \mu\text{m}$ で 0.83, $\lambda=38\ \mu\text{m}$ で 0.84 であった。LN/Qz 試料($\lambda=32\ \mu\text{m}$)の五次高調波におけるアドミタンス比、比帯域幅、共振 Q 、反共振 Q はそれぞれ 50 dB, 1.8%, 380, 470, LN/Qz 試料($\lambda=38\ \mu\text{m}$)はそれぞれ 53 dB, 1.9%, 370, 540 であり、LN 単体試料($\lambda=32\ \mu\text{m}$)の 28 dB, 1.1%, 80, 450 よりも大きな値を示した。

図 9 に規格化板厚 h/λ に対する TCF 実験値を示す。図中に $36^\circ\text{YX-LN}/\text{AT}90^\circ\text{X-Quartz}$ 上、短絡表面における TCF 理論値も示す。共振周波数 f_r は短絡表面に相当する。TCF を測定した試料のパラメータは、各波長で $N=100.5$, $N_R=100$, $W=25\lambda$ である。 $\lambda=6.4\ \mu\text{m}$ の接合試料上、基本波($h_{\text{LN}}/\lambda=0.203$)の TCF 測定値は $-59.3\ \text{ppm}/^\circ\text{C}$ であり、単体試料($-71.9\ \text{ppm}/^\circ\text{C}$)より小さい絶対値を示した。また、 $\lambda=20\ \mu\text{m}$ の接合試料上、三次高調波の TCF 測定値は $-80.7\ \text{ppm}/^\circ\text{C}$ ($h/\lambda=0.195$)であり、 $\lambda=32\ \mu\text{m}$ の接合試料上、五次高調波の TCF 測定値である $-79.6\ \text{ppm}/^\circ\text{C}$ ($h/\lambda=0.203$)とほぼ同じ値であった。 h/λ がほぼ等しいにもかかわらず、三次高調波と五次高調波の TCF は基本波よりも大きな絶対値を示した。

高調波の TCF が基本波よりも大きな絶対値を示す要因について検討した。基本波に対して三次高調波は $1/3$ の波長、五次高調波は $1/5$ の波長で伝搬している。このため、基本波に対する Al 電極の規格化膜厚 h_{Al}/λ は、三次、五次高調波に対して 3, 5 倍の影響を与える。そこで、作製した試料の Al 膜厚(400 nm)を波長($32\ \mu\text{m}$)で規格化した基本波の規格化膜厚を $h_{\text{Al}}/\lambda=0.0125$ として、FEM による TCF 解析を行った。その後、 h_{Al}/λ を三次高調波で 3 倍、五次高調波で 5 倍としたモデルにより TCF 解析を行った。このとき h_{Al}/λ は 0.0125(基本波), 0.0375(三次高調波), 0.0625(五次高調波)である。また、解析では Al, LN, Qz の線膨張係数を考慮した。その結果、 h_{Al}/λ が増加するにつれて TCF は負の方向にシフトすることがわかった。これは、高調波の TCF が基本波よりも大きな絶対値を示している要因の一つである。このような高調波の TCF を改善する方法を検討する必要がある。

(2) 縦型 LSAW の高調波共振特性

縦型 LSAW の三次高調波共振特性を、高結合かつ高 Q な縦型 LSAW が得られる X- $36^\circ\text{Y-LN}/\text{X}35^\circ\text{Y-Quartz}$ について FEM 解析した。IDT 電極間のギャップを SAW デバイス製造上、限界とされる $0.3\ \mu\text{m}$ 、メタライゼーション比を 0.8, $\lambda=3\ \mu\text{m}$ と設定したところ、6.6 GHz, 11.0 GHz に三次、五次高調波の応答が観測された。図 10 に $h_{\text{Al}}/\lambda=0.01$, $h/\lambda=0.027$, LN の材料 Q を 1,000 と仮定したときの三次高調波の共振特性を示す。アドミタンス比、比帯域幅、共振 Q 、反共振 Q の各シミュレート値は 70.4 dB, 2.0%, 1,620, 2,200 であり、超高周波フィルタへの適用可能性を示した。

(3) 研究成果のまとめと今後の展望

以上の検討により、異種材料接合と電極メタライゼーション比を組み合わせた LSAW の高次高調波の強制励振を理論的、実験的に実証し、単体の圧電基板上の高次高調波と比較して格段に大きな共振特性を実現させた。これにより IDT 波長を狭小化させることなく 5 GHz 帯の SAW フィルタへの高い実現可能性を示した。さらに、縦型 LSAW の高次高調波を用いることにより、さらに高い周波数帯におけるフィルタへの適用可能性を示した。今後は、異種材料接合構造上の LSAW、縦型 LSAW に対して波長 $3\ \mu\text{m}$ の共振子を作製、三次高調波に対して、それぞれ 4.0 GHz, 6.6 GHz の共振特性を評価し、5G 通信システムに適用可能な SAW フィルタ用基板構造を確立させる。

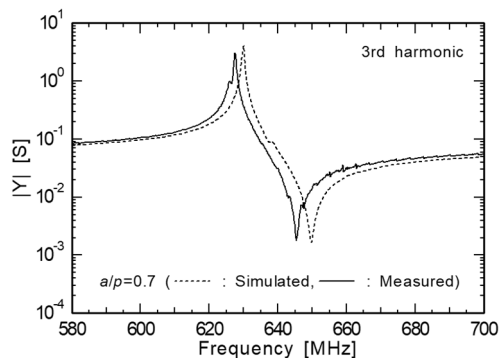


図 8 $36^\circ\text{YX-LN}/\text{AT}90^\circ\text{X-Quartz}$ 上の LSAW 三次高調波($\lambda=20\ \mu\text{m}$)の共振特性の測定結果と解析結果の比較

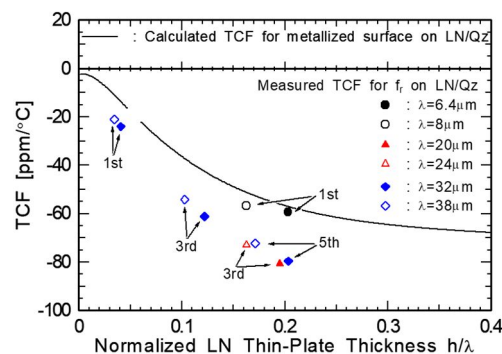


図 9 $36^\circ\text{YX-LN}/\text{AT}90^\circ\text{X-Quartz}$ における TCF 測定値と理論値

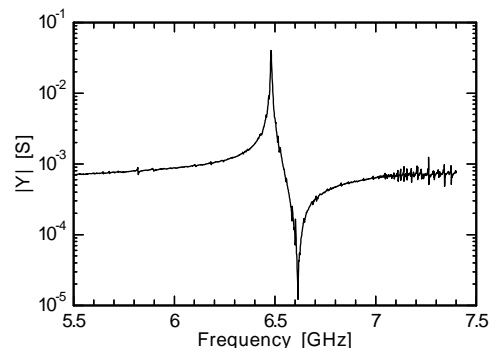


図 10 X- $36^\circ\text{Y-LN}/\text{X}35^\circ\text{Y-Quartz}$ 上の縦型 LSAW 三次高調波の共振特性 (FEM 解析結果)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Shoji Kakio	4. 巻 60
2. 論文標題 <Progress Review> High-performance surface acoustic wave devices using composite substrate structures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SD0802-1～11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/abf2d9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shiori Asakawa, Masashi Suzuki, Shoji Kakio, Ami Tezuka, and Jun Mizuno	4. 巻 60
2. 論文標題 Enhancement of leaky surface acoustic wave harmonics excitation using bonded dissimilar-material structures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SDDC08-1～7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/abeff2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ami Tezuka, Hiroyuki Kuwae, Kosuke Yamada, Shuichi Shoji, Shoji Kakio, and Jun Mizuno	4. 巻 13
2. 論文標題 Low-Residual-Stress Amorphous Film for LiTaO ₃ /Quartz or LiNbO ₃ /Quartz Bonding toward 5G Surface Acoustic Wave Devices	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Transactions of The Japan Institute of Electronics Packaging	6. 最初と最後の頁 E19-009-1～7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5104/jiepeng.13.E19-009-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計17件（うち招待講演 2件／うち国際学会 5件）

1. 発表者名 森田 響生, 鈴木 雅視, 垣尾 省司, 水野 潤
2. 発表標題 LiNbO ₃ /水晶接合構造のリーキーSAW五次高調波の共振特性
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hibiki Morita, Masashi Suzuki, Shoji Kakio, and Jun Mizuno
2. 発表標題 Resonance Properties of Leaky SAW Harmonics on LiNbO ₃ /Quartz Bonded Structures
3. 学会等名 The 43rd Symposium on Ultrasonic Electronics (USE2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森田 響生, 鈴木 雅視, 垣尾 省司, 水野 潤
2. 発表標題 LiNbO ₃ /水晶接合構造のリーキーSAW高調波の共振特性
3. 学会等名 第51回EMシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森田 響生, 鈴木 雅視, 垣尾 省司, 水野 潤
2. 発表標題 LiNbO ₃ /水晶接合構造のリーキーSAW 高調波の共振特性
3. 学会等名 圧電材料・デバイスシンポジウム2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森田 響生, 鈴木 雅視, 垣尾 省司, 水野 潤
2. 発表標題 異種材料接合構造上のリーキーSAW高次高調波の共振特性
3. 学会等名 弾性波素子技術コンソーシアム第10回研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森田 響生, 鈴木 雅視, 垣尾 省司, 水野 潤
2. 発表標題 LiTaO ₃ /水晶接合構造上のリーキ-SAW三次高調波の共振特性 - 1GHz帯における評価 -
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shoji Kakio
2. 発表標題 <Session Invited> High-performance SAW devices using bonded dissimilar-material structures
3. 学会等名 2021 International Conference on Electronics Packaging (ICEP) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 森田 響生, 鈴木 雅視, 垣尾 省司, 水野 潤
2. 発表標題 LiNbO ₃ /水晶接合構造のリーキ-SAW三次高調波の共振特性
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shiori Asakawa, Masashi Suzuki, Shoji Kakio, Ami Tezuka, and Jun Mizuno
2. 発表標題 Resonance properties of leaky SAW harmonics on bonded dissimilar-material structures
3. 学会等名 IEEE International Ultrasonics Symposium 2020, C5P-10-1390 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shiori Asakawa, Masashi Suzuki, Shoji Kakio, Ami Tezuka, and Jun Mizuno
2. 発表標題 Enhancement of leaky SAW harmonics excitation using bonded dissimilar material structures
3. 学会等名 The 41st Symposium on Ultrasonics Electronics, 2E3-1 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shoji Kakio
2. 発表標題 High-performance surface acoustic wave devices using composite substrate structures
3. 学会等名 The 41st Symposium on Ultrasonics Electronics, PL1 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 浅川詩織, 鈴木雅視, 垣尾省司, 手塚彩水, 水野潤
2. 発表標題 LiTaO ₃ /水晶接合構造を用いたリーキーSAW高調波の強勢励振
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会, 10p-Z22-9
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 浅川詩織, 鈴木雅視, 垣尾省司, 手塚彩水, 水野潤
2. 発表標題 LiTaO ₃ と水晶の接合構造を用いたリーキーSAW共振子の高周波特性
3. 学会等名 2020年電子情報通信学会ソサイエティ大会, A-4-2
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 浅川詩織, 鈴木雅視, 垣尾省司, 手塚彩水, 水野潤
2. 発表標題 LiTaO ₃ /水晶接合構造上のリーキーSAW共振特性の周波数依存性
3. 学会等名 電子情報通信学会・日本音響学会2020年度超音波研究会(US), US2020-32
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 浅川詩織, 鈴木雅視, 垣尾省司, 手塚彩水, 水野潤
2. 発表標題 異種材料接合構造を用いたリーキーSAW高調波の強勢励振
3. 学会等名 第49回EM シンポジウム, EM49-1-12
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 浅川詩織, 鈴木雅視, 垣尾省司, 手塚彩水, 水野潤
2. 発表標題 異種材料接合構造を用いたリーキーSAW高調波の強勢励振
3. 学会等名 弾性波素子技術コンソーシアム第1回研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 浅川詩織, 鈴木雅視, 垣尾省司, 手塚彩水, 水野潤
2. 発表標題 LiTaO ₃ /水晶接合構造におけるリーキーSAW高調波の共振特性
3. 学会等名 圧電・材料デバイスシンポジウム2021, F-1
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

垣尾・鈴木研究室 https://www.ccn.yamanashi.ac.jp/~kakio/

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	水野 潤 (Mizuno Jun) (60386737)	早稲田大学・ナノ・ライフ創新研究機構・上級研究員(研究院教授) (32689)	
研究分担者	鈴木 雅視 (Suzuki Masashi) (60763852)	山梨大学・大学院総合研究部・助教 (13501)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	岸田 和人 (Kishida Kazuhito)	株式会社日本製鋼所	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------