

W-CDMA用小型弾性表面波デュプレクサの開発

Development of Miniature Surface Acoustic Wave Duplexer for Wide-band Code-Division Multiple-Access System

中村 弘 幸
Hiroyuki Nakamura

中西 秀 和
Hidekazu Nakanishi

鶴 成 哲 也
Tetsuya Tsurunari

松 波 賢
Ken Matsunami

岩 崎 行 緒
Yukio Iwasaki

要 旨

SiO₂薄膜 / Al電極 / LiNbO₃基板構造を用いたW-CDMA (Wide-band Code Division Multiple Access) 用の小型弾性表面波デュプレクサの開発を行った。2 GHz帯のW-CDMAシステムは、送信周波数帯と受信周波数帯との間隔が広く、小型化には大きな電気機械結合係数を有する基板構造が必要である。SiO₂薄膜 / Al電極 / LiNbO₃基板構造は、電気機械結合係数が大きく小型化に有利であるが、通過特性にスプリアスが発生するという課題があった。スプリアスには、レイリーモードと横モードの2種類が存在する。本開発においては、レイリーモードスプリアスに関して、SiO₂薄膜の形状を制御することによりスプリアスの抑圧ができることを見いだした。また、横モードスプリアスに関して、分散型ダミー重みづけを提案し、スプリアス抑圧の効果を実証した。本技術より、2.5 mm × 2.0 mmサイズの小型、かつ高性能な特性を有するW-CDMA用SAW (Surface Acoustic Wave) デュプレクサを実現した。

Abstract

A miniature Surface Acoustic Wave Duplexer for Wide-band Code-Division Multiple-Access System (W-CDMA) using SiO₂/Al/LiNbO₃ structure has been developed. The W-CDMA system at 2 GHz has a wide duplex gap between transmitting and receiving bands. The structure has the advantage of a large electromechanical coupling coefficient for miniaturization. However, it also supports a certain number of unwanted spurious responses. They are categorized into two types: one is caused by the Rayleigh mode and the other by the transverse mode. The former can be suppressed by controlling the cross-sectional shape of the SiO₂ overlay deposited on resonator electrodes. The latter can be suppressed by using the new scattered dummy electrode weighting. We applied the techniques to the development of a miniature W-CDMA duplexer with a package size of 2.5 mm × 2.0 mm, and the duplexer exhibited excellent performance.

1. はじめに

近年、弾性表面波 (SAW) を用いた高周波デバイスが携帯電話用途として広く用いられている。世界標準システムとして期待されているW-CDMAシステムにおいては、小型かつ高性能なSAWデュプレクサの開発が活発に行われている。

SAWデュプレクサの性能は、基板材料に依存するところが大きい。特に、電気機械結合係数や温度特性は、SAWデュプレクサにおける帯域幅や送信周波数帯と受信周波数帯との間隔 (送受信間隔) を決める重要な要素となる。よって、SAWデュプレクサの開発においては、使用するシステムによって最適な圧電基板を選択する必要がある。

2 GHz帯W-CDMAシステムは、世界各国で使用されている。周波数帯は、送信が1920 MHz-1980 MHz、受信が2110 MHz-2170 MHzである。送受信間隔は130 MHzと広く、圧電基板としては、電気機械結合係数が大きく、適度な温度特性を有する基板材料が必要となる。従来用いられている 36°48'Y-cut LiTaO₃基板は、電気機械結合係数

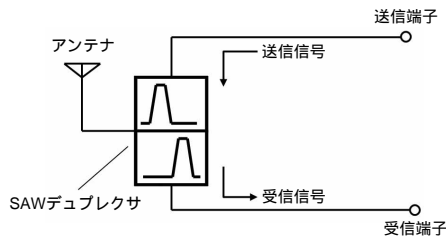
が10%程度と小さく、通過帯域と減衰帯域の特性を同時に満足するにはインダクタなどの付加回路が必要であり、小型化には限界があった。

このような用途に関しては、大きな電気機械結合係数が得られるということから、近年、回転Yカット LiNbO₃基板が注目を集めている^{1), 2)}。さらに、この基板とSiO₂薄膜とを組み合わせることにより温度特性が改善でき³⁾、IDT (Interdigital Transducer) 電極として、薄いAl電極を用いた構成⁴⁾ や質量の重いCu電極を用いた構成⁵⁾ の検討などが報告がされている。

ここでは、SiO₂薄膜 / Al電極 / 回転YカットLiNbO₃基板構造を用いた2 GHz帯W-CDMA用SAWデュプレクサの開発について述べる。

2. SAWデュプレクサの構成

まずはじめに、SAWデュプレクサについて説明する。第1図に、SAWデュプレクサの構成を示す。SAWデュプレクサは、携帯端末においてアンテナ直下に設置され、周波数の異なる送信信号と受信信号を分波し、一本のアン



第1図 SAWデュプレクサの構成
Fig. 1 Structure of SAW duplexer

テナで送受信を共用させる役割をもつ。SAWデュプレクサは送信帯域を通過させる送信フィルタと、受信帯域を通過する受信フィルタの2つの帯域通過フィルタから構成される。それぞれのフィルタは、SAW共振器により構成される。SAW共振器においては、共振周波数と反共振周波数との間隔が大きいほど、通過帯域と減衰帯域の周波数間隔を広くすることができる。この周波数間隔は、電気機械結合係数に依存しており、2 GHz帯W-CDMA用として、小型化を実現するには15 %程度以上の電気機械結合係数が必要となる。

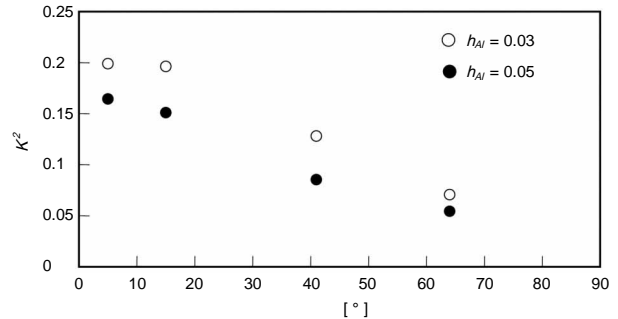
3. SAW共振器の特性

ここでは、SiO₂薄膜 / Al電極 / LiNbO₃基板構造において、大きな電気機械結合係数を実現するために、基板カット角の検討を行った。第2図は、電気機械結合係数 (K^2) と回転YカットLiNbO₃基板のカット角 (°) の関係を示す図である。SiO₂薄膜 / Al電極 / LiNbO₃基板構造のSAW共振器において、IDT電極のピッチ (p) は1 μm 、SiO₂薄膜の膜厚 (h_{SiO_2}) はSAWの波長を λ として0.2 λ である。また、第2図において、白丸 (○) と黒丸 (●) はAl電極の膜厚 (h_{Al}) がそれぞれ0.03 μm と0.05 μm のときの値を示している。図より、 15° 以下で K^2 が15 %以上の大きな値が得られている。第3図は、SAW共振器を2ポートで測定した場合の最小挿入損失と回転YカットLiNbO₃基板のカット角 (°) の関係を示す図である。最小挿入損失は、 h_{Al} が大きいほど小さくなっている。

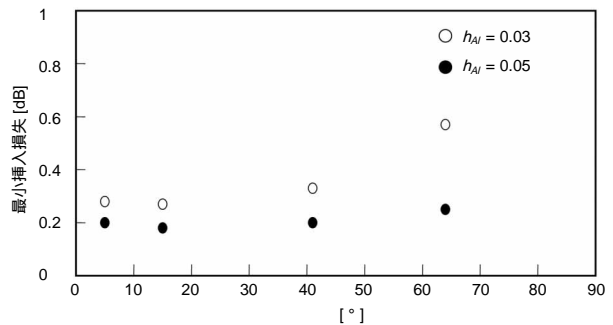
第4図に示すのは、 5° としたときのSAW共振器のアドミタンス特性である。ここで、横軸は共振周波数で規格化している。 $h_{\text{Al}}=0.03$ μm ではスプリアスは発生していないが、 $h_{\text{Al}}=0.05$ μm では、異なる2種類のスプリアスが発生している。1つは共振周波数より低い周波数側のレイリー波に起因するレイリーモードスプリアスであり、もう1つは共振と反共振周波数間の横モードスプリアスである。

第2図から第4図より、小型で高性能なW-CDMA用SAWデュプレクサを実現するには、回転YカットLiNbO₃基板

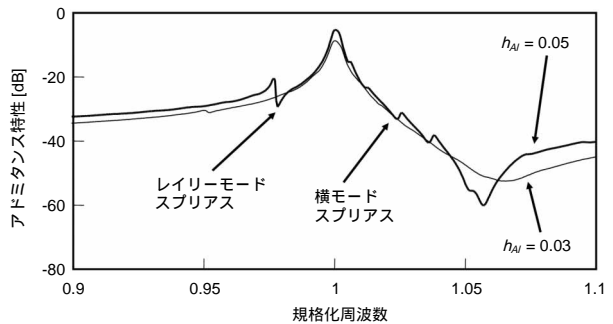
のカット角を小さく、Al電極の膜厚 h_{Al} を厚くし、更にスプリアスを十分に抑圧する必要がある。



第2図 電気機械結合係数と基板カット角の関係
Fig. 2 Electromechanical coupling coefficient dependence of LiNbO₃ cut angle



第3図 最小挿入損失と基板カット角の関係
Fig. 3 Minimum insertion loss dependence of LiNbO₃ cut angle



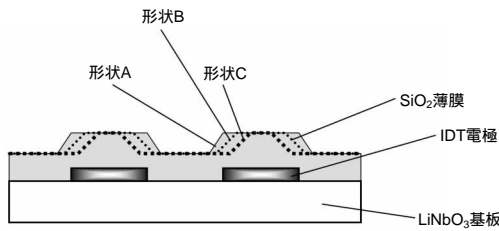
第4図 5° のときのSAW共振器のアドミタンス特性
Fig. 4 Admittance characteristics of SAW resonator in case of 5°

4. スプリアスの抑圧技術

本章では、スプリアスの抑圧技術について述べる。レイリーモードスプリアスに関しては、IDT電極上のSiO₂薄膜の形状制御によるスプリアス抑圧の検討を行った。また、横モードスプリアスに関しては、新たな重みづけ手法を提案してスプリアス抑圧の検討を行った。

4.1 レイリーモードスプリアスの抑圧

第5図に、本開発におけるSiO₂薄膜 / Al電極 / LiNbO₃基板構造の断面図を示す。IDT電極の上には、台形形状を有するSiO₂薄膜が形成されている。この形状に関しては、成膜時のスパッタ条件をコントロールすることにより、第5図に示すように、形状A、形状B、形状Cのように、SiO₂薄膜の高さはほぼ一定で、台形形状が小さくなるように制御することができる⁶⁾。

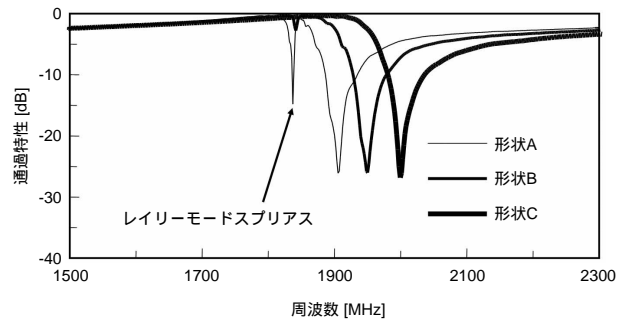


第5図 SiO₂薄膜 / Al電極 / LiNbO₃基板構造の断面図
Fig. 5 Cross-sectional view of SiO₂/Al/LiNbO₃ structure

ここでは、SiO₂薄膜の形状によるレイリーモードスプリアスの依存性を評価した。実験で用いたSAW共振器の構成は、 p 、 θ 、 h_{Al} 、および h_{SiO_2} がそれぞれ1.0 μ m、5°、0.08 μ m、0.2 μ mであり、IDT電極、および反射器電極の本数はそれぞれ121本、10本であり、交差幅は40 μ mである。また、SiO₂薄膜の台形形状に関しては、形状Aでは台形の上部は電極幅とほぼ同じで、台形の下部は電極幅よりも広く、形状Bでは、台形の上部が電極幅よりも狭く、形状Cでは、台形の上部、下部ともに、電極よりも狭く、高さに関してはいずれもほぼ同じとなるように形状制御されている。形状A、形状B、形状CのSiO₂薄膜の、台形形状の上底 / 下底の比は、それぞれ0.78、0.58、0.38である。なお、本検討では、レイリーモードスプリアスの抑圧効果を明確にするために、IDT電極にアポタイズ重みづけを施して横モードスプリアスを抑圧している。アポタイズ重みづけとは、交差幅をSAWの伝搬方向に沿って変化させる重みづけ手法であり、横モードスプリアス抑圧に有効な手段である。

第6図に、形状Aから形状CのSAW共振器の通過特性を示す。ここで、第6図より、SiO₂薄膜の台形形状が小さくなるにつれて、レイリーモードスプリアスが小さくなり、形状Cでは、レイリーモードスプリアスはほぼ零にまで抑圧されていることがわかる。

このように、SiO₂薄膜の形状を制御することにより、レイリーモードスプリアスの抑圧を実現することができた。ちなみに、形状CのSAW共振器の共振と反共振の周波数間隔は110 MHzと大きく、電気機械結合係数は約15 %と



第6図 形状Aから形状CのSAW共振器の通過特性

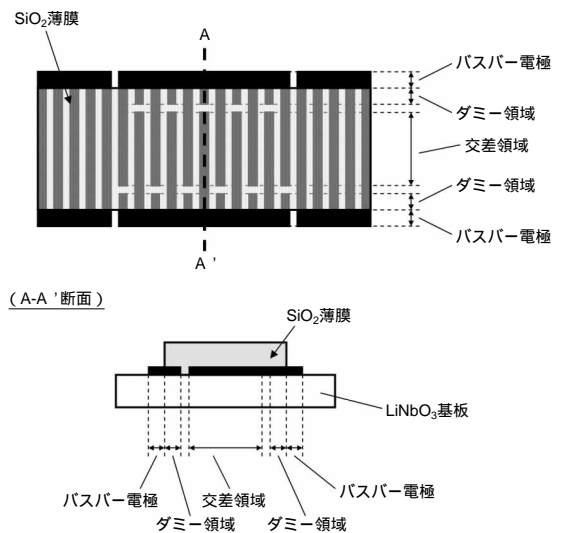
Fig. 6 Transmission performances of SAW resonators with SiO₂ shapes A, B, and C

W-CDMA用SAWデュプレクサに十分適用できる特性である。さらに、SiO₂薄膜の形状に関しては、上底 / 下底の比を形状Cよりも更に小さくした場合には、共振器特性として反共振周波数での減衰特性が劣化することが確認できている。そのため、SiO₂薄膜の形状に関しては、スプリアス抑圧と共振器特性の両観点から最適に決定する必要がある。

4.2 横モードスプリアスの抑圧

横モードスプリアスの抑圧には、アポタイズ重みづけが有効であるが、共振器特性として挿入損失を劣化させてしまう。ここでは、ダミー領域が三角形状にメタライズされたダミー重みづけ⁷⁾を応用した新規の重みづけ構成を提案し、スプリアス抑圧の検討を行った。

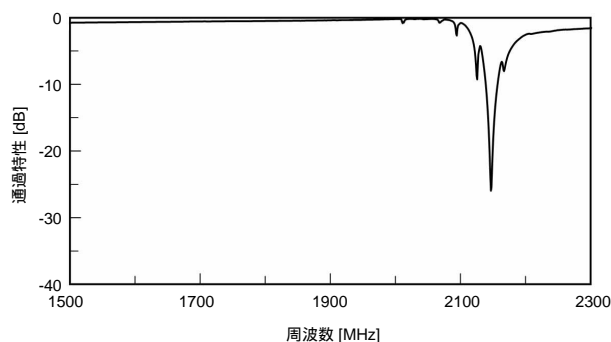
まず、重みづけを施していない正規型のSAW共振器の評価を行った。第7図に示すのは、正規型のSAW共振器の



第7図 正規型SAW共振器の構成

Fig. 7 Structure and cross-sectional view of SAW resonator

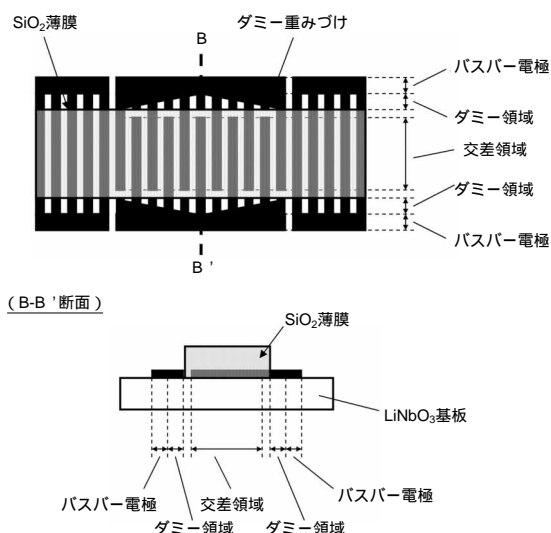
構成、および断面図である。IDT電極は正規型であり、SiO₂薄膜はIDT電極の交差領域、およびダミー領域の上に形成されている。ここで用いたSAW共振器の構成は、*p*、および *λ* はそれぞれ0.9 μm、5°であり、IDT電極、および反射器電極の本数はそれぞれ190本、30本であり、交差幅は36 μmである。この構成のSAW共振器の通過特性を、第8図に示す。この構成においては、共振周波数と反共振周波数との間に多数の横モードスプリアスが存在している。



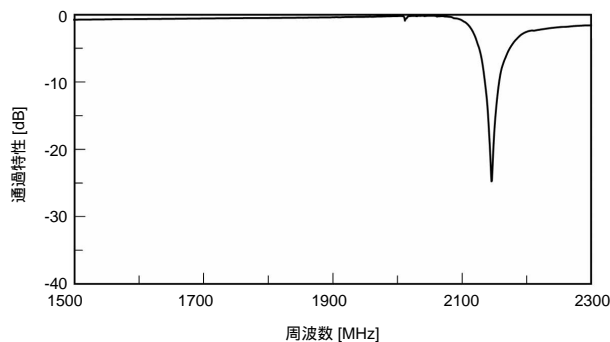
第8図 正規型SAW共振器の通過特性
Fig. 8 Transmission performance of SAW resonator

SiO₂薄膜 / Al電極 / LiNbO₃基板構造をSAWデュプレクサに適用するには、共振器特性を劣化させずに、横モードスプリアスを十分に抑圧できる新たな重みづけの構成が必要となる。横モードスプリアスの振る舞いは、交差領域とダミー領域の音速に起因している。ここでは、ダミー重みづけを応用して、第9図に示すように、ダミー領域上にSiO₂薄膜がない構成とした。これにより、交差領域におけるSAWのエネルギー閉じ込めの効率を向上させることができる。このような分散型ダミー重みづけの検討結果を、第10図に示す。第10図の通過特性において、横モードスプリアスが抑圧されており、良好な共振器特性が実現している。また、最小挿入損失は、上述のSAW共振器はいずれも0.18 dBで重みづけによる挿入損失の劣化はなかった。

このように、SiO₂薄膜の有無により、ダミー重みづけされたダミー領域の音速と交差領域の音速とを变えることにより、共振器特性をほとんど劣化させずに、横モードスプリアスを抑圧することが可能となった。



第9図 分散型ダミー重みづけSAW共振器の構成
Fig. 9 Structure and cross-sectional view of SAW resonator with scattered dummy electrode weighting

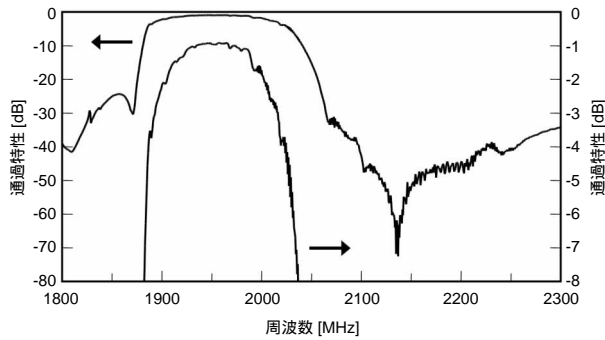


第10図 分散型ダミー重みづけSAW共振器の通過特性
Fig. 10 Transmission performance of SAW resonator with scattered dummy electrode weighting

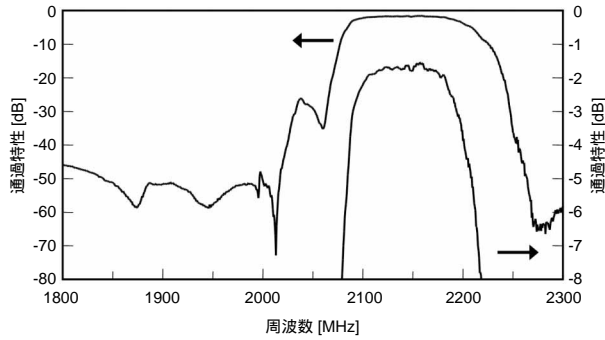
5. 2 GHz帯W-CDMA用SAWデュプレクサの開発

2 GHz帯W-CDMA用SAWデュプレクサをSiO₂薄膜 / Al電極 / LiNbO₃基板構造にて作製した。サイズは2.5 mm × 2.0 mmである。IDT電極としては、SAWデュプレクサとして要求される耐電力性を確保するためにAlMgCu / Ti積層電極を用いている⁸⁾。SAWデュプレクサの送信特性を第11図に、受信特性を第12図に示す。送信特性としては、挿入損失が1.2 dB、減衰量が45 dBであり、受信特性としては、挿入損失が1.9 dB、減衰量が51 dBである。また、第13図にアイソレーション特性を示す。送信周波数帯、および受信周波数帯のアイソレーションは、それぞれ53 dB、45 dBである。SAWデュプレクサの温度特性に関しては、約-30 ppm/°Cと良好な特性であった。今回開発したSAWデュプレクサは2 GHz帯W-CDMA用の要求仕様を満足す

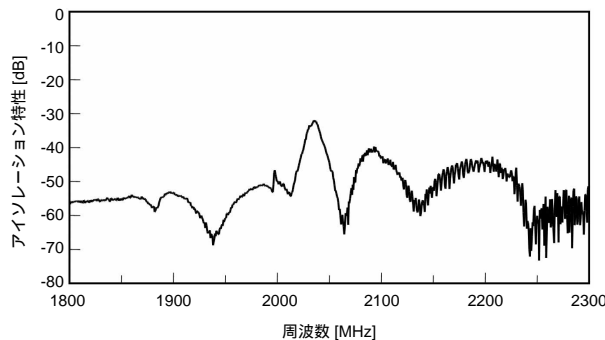
る特性を実現している。



第11図 SAWデュプレクサの送信特性
Fig. 11 Transmitting characteristics of SAW duplexer



第12図 SAWデュプレクサの受信特性
Fig. 12 Receiving characteristics of SAW duplexer



第13図 SAWデュプレクサのアイソレーション
Fig. 13 Isolation of SAW duplexer

6. まとめ

SiO₂薄膜 / Al電極 / 回転YカットLiNbO₃基板構造を用いた2 GHz帯W-CDMA用SAWデュプレクサの開発を行った。

課題であったレイリーモードスプリアスに関しては、SiO₂薄膜の形状を制御することにより抑圧を実現した。また、横モードスプリアスに関しては、分散型ダミー重みづけを提案し、共振器特性を劣化させずに、横モードスプリアスを抑圧することができることを実証した。また、電気機械結合係数は約15 %程度であり、2 GHz帯W-CDMA用として十分な値が得られた。

開発したSAWデュプレクサのサイズは2.5 mm × 2.0 mmであり、従来の3.0 mm × 2.5 mmに比べて大幅な小型化を実現した。さらに、低挿入損失、高減衰という高性能な特性も同時に実現した。なお、今回開発した技術は、広帯域な特性や広い送受信間隔が必要とされるアプリケーションに応用可能な技術である。

参考文献

- 1) K. Yamanouchi, et al. : Propagation and amplification of Rayleigh waves and piezoelectric leaky surface waves in LiNbO₃. J. Appl. Phys. 43,pp.856-862 (1972).
- 2) K. Hashimoto, et al. : Ultra-wideband surface acoustic wave devices using Cu-grating/rotated-YX-LiNbO₃ substrate structure. Jpn. J. Appl. Phys. 43,pp.3063-3066 (2004).
- 3) K. Yamanouchi, et al. : High temperature stable high electromechanical coupling substrates and application for surface acoustic wave devices. Proc. IEEE Ultrason. Symp. pp.189-192 (2001).
- 4) K. Yamanouchi, et al. : Theoretical and experimental results of ultrawide-band zero-TCF ladder-type SAW filters and arbitrary bandwidth filters using high-coupling SiO₂/Y-X LiNbO₃. Jpn. J. Appl. Phys. 44,pp.4520-4522 (2005).
- 5) M. Kadota, et al. : Small surface acoustic wave duplexer for Wide-band Code-Division Multiple Access full-band system having good temperature characteristics. Jpn. J. Appl. Phys. 46,pp.4714-4717 (2007).
- 6) R. Takayama, et al. : US-PCS SAW duplexer using high-Q SAW resonator with SiO₂ coat for stabilizing temperature characteristics. Proc. IEEE Ultrason. Symp. pp.959-962 (2004).
- 7) T. Omori, et al. : Suppression of transverse mode responses in ultra-wideband SAW resonators fabricated on a Cu-grating/15 ° YX-LiNbO₃ structure. IEEE Trans. Ultrason., Ferroelec., and Freq. Contr. 54,pp.1943-1948 (2007).
- 8) R. Takayama, et al. : High power durable electrodes for GHz band SAW duplexers. Proc. IEEE Ultrason. Symp. pp.9-13 (2000).

著者紹介



中村弘幸 Hiroyuki Nakamura
パナソニック エレクトロニックデバイス(株)
開発技術センター
Corporate Components Development Center,
Panasonic Electronic Devices Co., Ltd.
工学博士



中西秀和 Hidekazu Nakanishi
パナソニック エレクトロニックデバイス(株)
開発技術センター
Corporate Components Development Center,
Panasonic Electronic Devices Co., Ltd.



鶴成哲也 Tetsuya Tsurunari
パナソニック エレクトロニックデバイス(株)
開発技術センター
Corporate Components Development Center,
Panasonic Electronic Devices Co., Ltd.



松波 賢 Ken Matsunami
パナソニック エレクトロニックデバイス(株)
回路部品ビジネスユニット
Circuit Components Business Unit,
Panasonic Electronic Devices Co., Ltd.



岩崎行緒 Yukio Iwasaki
パナソニック エレクトロニックデバイス(株)
回路部品ビジネスユニット
Circuit Components Business Unit,
Panasonic Electronic Devices Co., Ltd.