

氏名	おだがわ ひろゆき 小田川 裕之		
授与学位	博士(工学)		
学位授与年月日	平成11年2月10日		
学位授与の根拠法	学位規則第4条第2項		
最終学歴	平成5年3月 東北大学大学院工学研究科電気及通信工学専攻前期課程 修了		
学位論文題目	微細加工技術を用いた超高周波低損失弾性表面波フィルタに関する研究		
論文審査委員	主査 東北大学教授 山之内和彦	東北大学教授 中村 僖良	
	東北大学教授 櫛引 淳一	東北大学助教授 長 康雄	

論文内容要旨

弾性表面波(Surface Acoustic Wave: SAW)デバイスは、小型軽量かつ高性能のフィルタを中心に、携帯電話をはじめとする移動体通信機器に不可欠な素子として近年著しく発展している。今後進展すると思われる動画を含めた将来の移動体通信には、データ量の高速・高密度化が求められるため、通信システムの高周波化と共に、デバイスの高周波化が不可欠となってくる。また、移動体端末は低消費電力であることが必要であるため、デバイスの低損失化も重要である。

将来の移動体通信に備えて、SAW デバイスを一層高周波・低損失化していくためには、弾性表面波を励振する、すだれ状電極の高性能化の研究と、それを形成する基板材料の研究の両方からのアプローチが重要である。

すだれ状電極の電極構造について考える際には、実際にその構造が作製可能であるかどうかを常に合わせて考慮しなくてはならない。新しい構造を得るためには、新しいプロセスが必要となる場合が多い。新しいデバイス作製プロセス技術が生まれると、それを用いることにより、従来の基本的な蒸着、リソグラフィ、エッチング、或いはリフトオフといったプロセスでは得ることが困難であった構造を、容易に実現できるようになる。

本論文は、高周波低損失の一方方向性変換器についての検討と、新しい微細加工プロセスに基づいたすだれ状電極作製法を研究することにより、弾性表面波フィルタの高周波化と低損失化

を行い、GHz 帯で低損失特性を有する SAW フィルタを得たこと、及び、すだれ状電極の高結合圧電基板材料への適用について述べたものである。

第 2 章では、位相器を用いた一方向性変換器の高周波低損失化について、特に、グループ型一方向性変換器(GUDT)の高周波低損失化の検討を行った。GUDT は各電極で励振した SAW の位相の重ね合わせで一方向性の条件を満たしているため、内部反射を用いた構造と比べて少ない対数で方向性が大きく、位相特性もよいという特長を有する。また、GUDT は正規型電極を空間的に位相をずらして配置しているため励振効率が大きく、且つ、最小線幅が $\lambda/4$ であり作製も容易である。しかし、ミアンダライン電極を有するため、高周波化に対しては、電極抵抗が問題となり制限があった。この問題を解決するために、陽極酸化法を用いた多層電極配線法を用いることにより GUDT のミアンダライン電極のない構造にすると同時に、微小ギャップ化による高周波化を実現する作製プロセス、及び、電極幅を太くした構造を用いることにより高周波に適用可能にすることが可能にする方法について検討を行った。これにより、中心周波数約 640MHz において挿入損失 1.97dB の低損失特性を得て、本法により GUDT が高周波に対応可能であることを示した。

第 3 章では、機械的な反射を利用した内部反射型一方向性変換器について検討を行った。機械的な反射を効果的に利用し、励振の中心はそのままの状態に保ったまま、反射の中心をシフトする構造と、それを実現する新しい微細加工プロセスについて検討した。その結果、まず、電気化学効果による選択エッチングプロセスを用いた $\lambda/8$ 膜厚差型一方向性変換器を提案した。本変換器は、Al 電極と Cr/Al の二層構造電極の反射係数の違いを利用して一方向性を得る構造である。このような Al だけの電極と二層構造をなす電極とが混在した電極列を作製するには、従来は、重ね合わせ露光を必要としていたため、高周波化に伴い電極を微細化する必要が生じて作製が困難であった。本方法は、電気化学効果を用いることにより、金属膜への印加電圧を制御することにより Cr の選択エッチングを行い、任意の電極を二層構造にする事を可能にした。これにより重ね合わせ露光プロセスを用いずに作製でき高周波化が可能となった。

次に、斜め蒸着プロセスを用いた $\lambda/4$ 微小ギャップ膜厚差型一方向性変換器を提案した。本構造は、膜厚の厚い電極と薄い電極を用いることにより、弾性表面波の反射係数の違いを利用して一方向性を得るものであり、電極幅が $\lambda/2$ と広く電極抵抗を低減できるため低損失特性が可能である。本作製プロセスは、基板を傾斜させて斜め方向から成膜し、レジストの陰になる部分には成膜しないことを利用したプロセスであり、従来のプロセスでは本構造の作製は不可能で高周波帯では実現できなかった。本方法を用いて、膜厚が異なる電極が交互に並んだ

電極列を作製し、5GHz 帯で 4.1dB の今までにない低損失特性を得た。このすだれ状電極の構造を図 1 に、Al で作製した電極の SEM 写真を図 2 に、周波数特性を図 3 に示す。

更に、斜め露光プロセスを用いた $\lambda/4$ 一方向性変換器を提案した。本構造は、すだれ状電極に付加された誘電体薄膜或いは、すだれ状電極の上に成膜された誘電体膜に作製した溝による反射を効果的に利用したものであり、励振電極と反射ストリップを分離して作製することが可能である。本構造は、基板と逆の温度係数を有する誘電体膜を用いることで、温度特性が良好なデバイスを得ることが可能である。本構造も、従来のプロセスでは作製が困難であったが、新しい作製プロセスでは基板の裏面から基板の面に対して斜めの方向から露光を行うことにより、目的の構造を得ることを可能とした。光の入射角度を調節することにより誘電体膜の位置を調節して、一方向性の条件を満たすことができることを等価回路解析により確認し、実験によりそれを確かめた。これにより、周波数 1GHz で挿入損失 2.6dB、周波数温度係数 2.5ppm/°C の低損失且つ温度安定な特性のフィルタを得た。

第 4 章では、最近 K^2 が著しく大きいため注目されている超高結合圧電体 KNbO_3 単結晶を用いた、電氣的な反射を利用した一方向性変換器の高周波低損失化の検討を行った。 KNbO_3 単結晶は従来用いられている KNbO_3 の約 10 倍の電気機械結合係数を有しており、 KNbO_3 上の電極での弾性表面波の反射は殆ど圧電による電氣的な反射によるものであると考えられるため、機械的な反射を利用した構造は適さない。そこで、電氣的な反射を効果的に利用した浮き電極型一方向性変換器 (FEUDT) について検討を行った。実験結果により、 $\lambda/12$ FEUDT が KNbO_3 に適用可能であることがわかり、挿入損失 2.0dB の広帯域低損失特性を得た。更に、高周波化が可能な最小線幅 $0.44\lambda_2$ の 2 倍高調波動作の新しい FEUDT を提案し、それを実現するための作製プロセスについて検討を行った。この作製プロセスは、浮き電極を含む任意の電極列のギャップを狭くした微小ギャップ構造を作製可能にするプロセスである。

以上、微細加工プロセスを用いた、すだれ状電極の一方向性化と高周波低損失化について研究を行い、今までにない高周波低損失フィルタを得た。これにより、将来の移動体通信に適用可能な高周波低損失 SAW デバイスを得ることが可能であることを示した。また、本論文の微細加工プロセスは、種々の SAW デバイスをはじめ半導体デバイスに適用可能であり、これらは SAW デバイス及び電子デバイスの発展に寄与するものである。

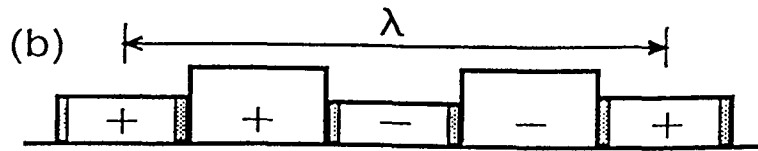


図 1. $\lambda/4$ 微小ギャップ膜厚差型一方向性変換

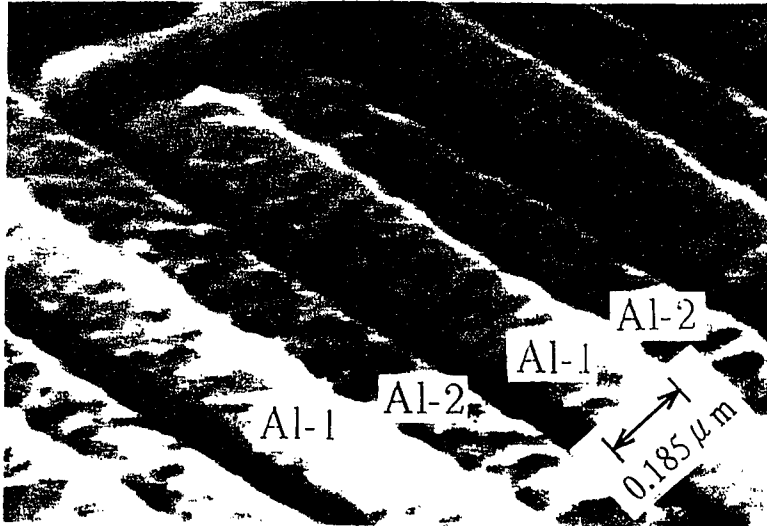


図 2. 電極の SEM 写真

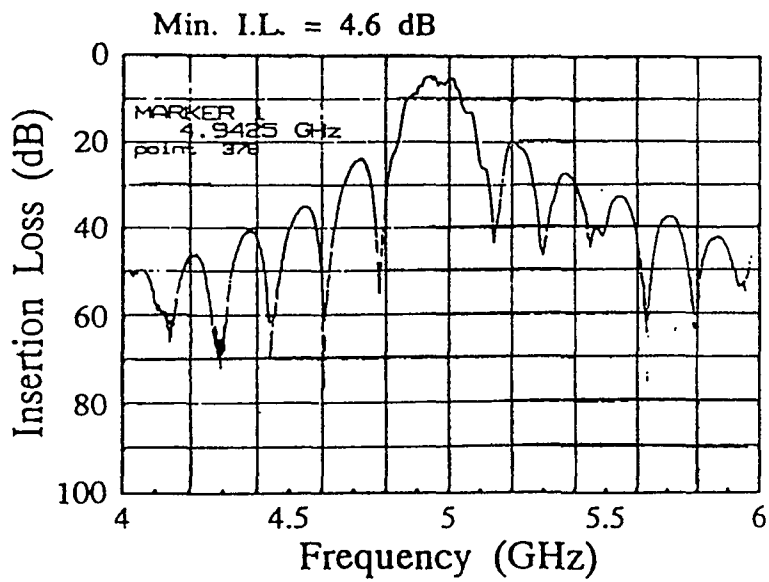


図 3. $\lambda/4$ 微小ギャップ膜厚差型一方向性変換を用いた弾性表面波フィルタの周波数特性

審査結果の要旨

情報通信・移動体通信分野では、通信・情報量の増大に伴い、使用周波数帯の高周波化と機能の高性能化が望まれている。このような中で、弾性表面波(SAW)フィルタは、小型軽量高安定かつ量産性に優れたデバイスとして注目されているが、この目的のためには、すだれ状電極変換器(IDT)の微細化と低挿入損失化が重要な課題である。本論文は、弾性表面波デバイスの基礎であるすだれ状電極変換器を一方向性化するための電極構造とそれを実現するための微細加工プロセスについて検討し、次世代の情報通信分野への弾性表面波フィルタの実用化を目指して行った研究成果を纏めたもので、全編5章よりなる。

第1章は結論であり、研究の背景と目的について述べている。

第2章では、移相器を用いたグループ型一方向性変換器(GUDT)の高周波・低損失化について検討している。陽極酸化法を用いた多層電極配線法を用いることにより、損失の大きな原因であったミアンダライン電極の無い構成とするとともに、電極間を微小ギャップ化することにより高周波化と高効率化を実現する構造と作製プロセスを開発し、中心周波数 640MHz において挿入損失 1.9dB の低損失特性を得ている。

第3章では、電極膜の機械的負荷による反射率の差を利用した内部反射型一方向性変換器について検討を行っている。まず、電気化学効果による選択エッチングプロセスを用いることにより、重ね合わせ露光を必要としない、高周波化の可能な $\lambda/8$ 膜厚差型一方向性変換器を提案し、Al電極と Cr/Alの層構造電極の反射係数の違いを利用することにより、低挿入損失のフィルタを実現した。また、高周波化と低損失化の可能な $\lambda/4$ 微小ギャップ構造膜厚差型一方向性変換器を考案した。これを斜め蒸着プロセスを用いて実現し、5GHz 帯で4.1dB と世界最小の低損失特性を得た。さらに、斜め露光プロセスを用いることにより重ね合わせ露光を必要としない、誘電体薄膜の膜厚差による反射を効果的に用いた $\lambda/4$ 一方向性変換器を提案した。本構造は、励振電極と一方向性を得るための反射ストリップを分離する構造であり、基板と逆の温度係数をもつ誘電体膜を用いることで、温度特性に優れたデバイスが可能であり、実験により、2.5ppm/°Cの温度安定な一方向性変換器を得た。これらは実用上有用な成果である。

第4章では、最近電気機械結合係数(k^2)が著しく大きいことから注目されているKNbO₃超高結合圧電単結晶の応用を目指した、電極の電氣的な反射を効果的に利用した一方向性変換器の高周波化と低損失化について検討している。KNbO₃単結晶では、電極による反射は、ほとんど電氣的な反射によるものであり、第3章のような機械的な反射を利用した構造には適用できない。そこで、電氣的な反射を効果的に利用した $\lambda/12$ 浮き電極型一方向性変換器(FEUDT)をKNbO₃基板に適用し、挿入損失 2.0dB、帯域幅 20%以上の低損失広帯域特性を得た。さらに、高周波化が可能な最小線幅が 0.22λ の2倍高調波動作の新しい FEUDTを提案し、それを実現するための作製プロセスについて検討した。この作製プロセスは、浮き電極を含む任意の微小ギャップ構造を作製可能にするプロセスであり、重要な成果である。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は、高周波化と低挿入損失化の可能な一方向性弾性表面波変換器の構造とその作製プロセスについて検討し、弾性表面波フィルタの高性能化を実現した研究成果を纏めたものであり、電子通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。