

氏 名	すず 鈴	き 木	ゆう 勇	じ 次
授 与 学 位	工 学 博 士			
学位授与年月日	昭和 54 年 3 月 27 日			
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項			
研究科、専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程)電気及通信工学専攻			
学 位 論 文 題 目	グレーティング反射器を用いた弾性表面波共振子およびフィルタ			
指 導 教 官	東北大学教授 清水 洋			
論 文 審 査 委 員	東北大学教授	清水 洋	東北大学教授	柴山 乾夫
	東北大学教授	御子柴宣夫	東北大学助教授	中村 偉良

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

従来のバルク波共振子は、圧電板の厚み振動を利用しており、その基本周波数は板厚に直接依存する。このため、VHFからUHF帯域では板厚が非常に薄くなり、製作が困難になる。これに対して、弾性表面波共振子は、表面波を閉じ込める空洞をグレーティング反射器により形成し、インターデジタルトランスジューサ (IDT) を空洞内に配置して構成される。グレーティング反射器は、基板の表面波の伝搬路上に伝搬方向に周期的な摂動を与えたものであり、ストップバンドで入射する表面波を強く反射する。したがって、表面波共振子の周波数はグレーティングの周期により定まり、UHF帯に及ぶものもフォトリソグラフィ技術により容易に製作できるので、その有用性が期待できる。

本論文は、圧電基板上にストリップ電極を周期的に配列して構成したグレーティング反射器とこの反射器を用いた共振子・フィルタについて理論解析した結果を中心に述べたものであり、共振子の設計の基礎を確立することを目的としている。すなわち、まず共振子を設計するために必要な反射器の振幅伝達行列や反射特性の解析解を導出し、諸特性を明らかにしている (2章)。そして、その結果を用いて共振子の構成条件と共振特性の関係を明らかにしている (3・4章)。つぎに、反射器共振モードや高次横モードに基づくスプリアスレスポンスを抑圧するための対策を考察し、実験により検証している (5・6章)。さらに、2個の2端子対共振子からなるフィル

タの設計方法を与え、狭帯域フィルタの設計例を示している（7章）。

第2章 グレーティング反射器の特性

圧電基板上にストリップ電極を周期的に配置した場合（図1），弾性表面波は電極下で電界が短絡されることによる電気摂動と応力が零でなくなることによる弾性摂動の効果により多重反射される。本章では，非摂動状態（基板表面が自由）で独立に存在する前進波と後退波が摂動により互いに結合すると考え，その結合を表わすモード結合方程式を導出している。そして，その式から分散式，振幅伝達行列，反射特性の解析解を得ている。また，例としてLiNbO₃基板上にAl, Ag電極を置いた場合について数値計算し，短絡電極列（ $Y_0 = \infty$ ）と開放電極列（ $Y_0 = 0$ ）では諸特性が全く異なることを明らかにした。たとえば，

(1) 反射係数あるいはモード結合係数 κ_{12} （図2）に対する電気摂動と弾性摂動の効果は， $Y_0 = \infty$ では打消し合い， $Y_0 = 0$ では強め合う。ただし，この重畳関係は，基板と電極の材質の組み合わせによって変わる。

(2) $H = 0$ の場合，反射の最大になる電極幅 W は， $Y_0 = \infty$ では $W/P \cong 0.21$ ， $Y_0 = 0$ では $W/P = 0.79$ である。

(3) ストップバンドの中心での反射係数の位相角は，電気摂動の効果が弾性摂動より大きいかぎり $Y = \infty$ では $-\pi/2$ ， $Y = 0$ では $\pi/2$ である。しかし，弾性摂動の効果が電気摂動より大きくなると，一般には電極と基板の材質の組み合わせにより異なる。

第3章 弾性表面波共振子の構成と特性

本章では，IDTの両側にグレーティング反射器を配置して構成される弾性表面波共振子（図3）の共振特性とIDTの対数 N_T やIDTと反射器との間隔 l などの構成条件の関係を理論解析した結果を中心に述べている。まず，前章で求めた振幅伝達行列と反射特性の解析解を用いて共振条件を導出し，数値計算により l と N_T による共振周波数の変化の様子を調べ，ストップバンド内で共振が生ずるために要求される条件を明らかにしている。つぎに，反射器の反射損失に基づく共振尖鋭度を導出し，反射器電極本数を決定している。さらに，アドミタンス周波数特性を波動論的に解析し，LiNbO₃基板を用いる場合について数値計算した結果（図4）は実験結果と比較的良く一致することを示している。また，この結果より，ストップバンド内では弾性表面波共振子をバルク波共振子と同様な集中定数等価回路で表わせることが分かり，その回路定数を定めるために必要な共振反共振周波数差と構成条件の関係を明らかにしている。

第4章 反射器内にIDTを組み入れた弾性表面波共振子

本章では，反射器短絡電極列の一部分の電極にIDTを兼ねさせた弾性表面波共振子（図5）を提案している。そして，そのアドミタンス特性の解析結果により構成条件（反射器間隔 l ，IDTの配置位置 n ，IDT対数 N_T ）と共振特性の関係を詳細に検討し，次のようなことを明らかにしている。

- (1) 共振周波数は ℓ により決定され、 N_T に依存しない。
 - (2) ℓ を $\ell/P = 2m + 1.5$ (m : 整数) として m を大きくしていった場合、共振反共振周波数差 Δf は一度増大した後減少し始め、 Δf があまり変化しない m の範囲が存在する。
 - (3) n を変えた場合、 Δf は近似的に $-\log n$ に比例する。したがって、 N_T と ℓ を一定にして Δf を容易に変えることができる。
- これらの結果は、3章の共振子には無い特徴であり、共振子の設計の自由度が増すことを示している。

第5章 反射器内 IDT を分散配置した共振子

弾性表面波共振子では、反射器自身が空胴として働くために存在する反射器共振モードに基づく多くのリップル状スプリアス応答がストップバンド外に生ずる。本章では、このスプリアス応答を抑圧する目的で、IDT を反射器内に分散配置する共振子構成法を提案し、理論と実験により検討している。IDT の分散配置位置は、空胴内（反射器領域）の反射器共振スプリアスモード振幅分布から決定している。すなわち、反射器共振は、反射器電極本数が有限であり、そのために反射損失があるとき始めて存在するものである。そこで、空胴を強制駆動した状態で生ずる反射器内部のスプリアスモード振幅分布を求め、具体例として反射器間隔 $\ell = 0$ と $\ell = 1.5$ の場合について数値計算してその様子を調べている。そして、 $\ell = 0$ の場合はストップバンドの上限付近で生ずるスプリアス応答を除いて他の全てを抑圧できる IDT 分散配置位置があること、 $\ell = 1.5$ の場合はストップバンドより高周波側に生ずるものを除いて他のほとんど全てを抑圧できる分散配置位置があることを示している。さらに、3・4章で導出した解析解によりアドミタンス特性を数値計算して抑圧効果を確認するとともに、実験により検証している。

第6章 重み付け IDT による高次横モードの抑圧

グレーティング反射器は、反射器内部の表面波の平均的な位相速度が外部の位相速度より遅いため、導波路として働く。このため、伝搬特性が反射器の横幅により定まる高次横モードが存在し、そのモードに応じたスプリアス応答がストップバンド内で生ずる。本章では、この高次横モードスプリアス応答を抑圧するために、IDT を重み付ける方法を検討している。まず、反射器内の横モード振幅分布は、横方向には一般のリボン導波路と同様に三角関数で表わせるものとし、また伝搬方向には2章の横方向を考慮しないモデルで求めた解に従うものとしている。つぎに、この振幅分布に基づき、重み付け IDT が高次横モードと結合しないようにするために必要な IDT 電極指の交差長の決定方法を与えている。そして、例として4対と6対の IDT の交差長を求め、この IDT を用いた共振子の実験によりほぼ完全に高次横モードが抑圧されることを示している。また、このときの共振反共振周波数差は、重み付けによる IDT の励振効率の変化を考慮すれば、3・4章の解析解により数値計算した結果と良く一致することを示している。

第7章 2端子対共振子を縦続接続したフィルタ

本章では、反射器内にIDTを組入れた2個の2端子対共振子を電気的に縦続接続して構成したフィルタの設計方法について述べている。まず、このフィルタの入出力端子を同相の電源で同時に駆動した場合と逆相の電源で駆動した場合の共振特性が異なり、このフィルタを従来のバルク波共振子で構成された2重モードフィルタと同様に考えることができることを示している。そして、2重モードフィルタの設計方法として用いられる影像パラメータ法をそのまま適用できることを述べている。この方法は、4章で述べた1端子対共振子の特性が分かれば、容易に設計できる利点がある。つぎに、設計例と3・4章の解析解を用いて数値計算したフィルタ特性を示し、良好な通過域特性が得られることを明らかにしている。さらに、フィルタの試作実験により、低損失な狭帯域フィルタを実現できることを確認している。

第8章 結 論

各章の結論を要約した。

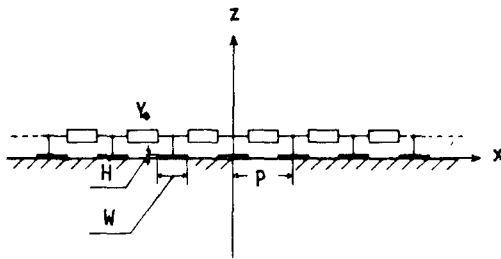


図1 圧電基板上に配置したストリップ電極列

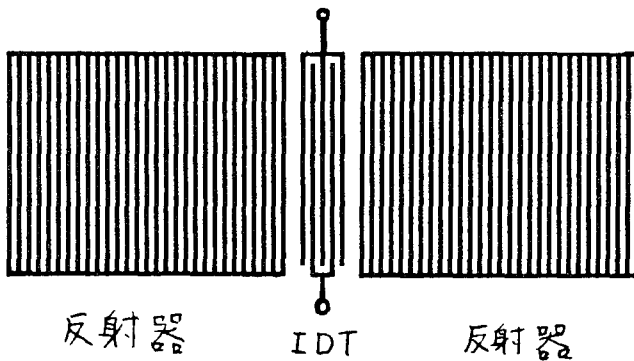


図3 反射器間にIDTを置いた弾性表面波共振子

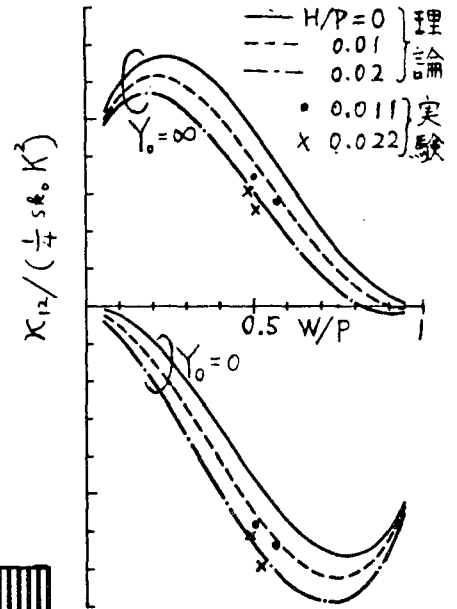


図2 モード結合係数 κ_{12}

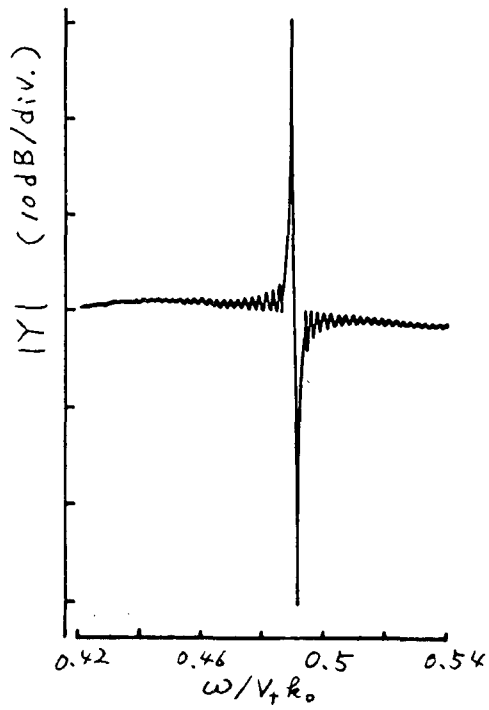


図4 アドミタンス特性

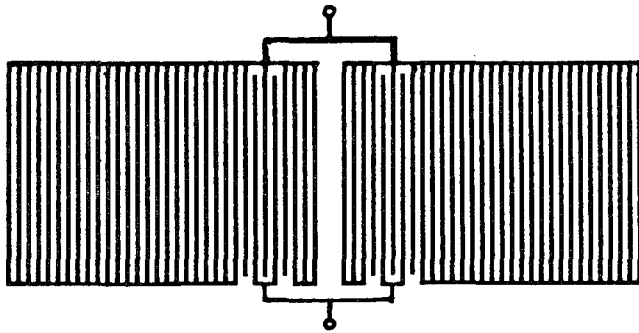


図5 反射器内にIDTを組み入れた弾性表面波共振子

審査結果の要旨

弾性表面波の伝搬路上に2個のグレーティング反射器を対向させ、その間にインターディジタルトランスジューサ (IDT) を設置することにより、共振器が構成される。この表面波共振器は、従来の圧電共振器の製作が困難になるVHF, UHF帯においても、フォトリソグラフィ技術を用いて比較的容易に実現できるので、その有用性が期待される。本論文は、表面波共振器の設計の基礎を確立するため、その動作理論と最適構成法を追求したもので、全文8章よりなる。

第1章は緒論である。第2章では、グレーティング反射器として圧電基板上的の周期配列電極を考え、弾性表面波の伝搬を摂動論とモード結合理論を用いて解析して分散特性、反射特性を明らかにしている。これによれば、電極の電気摂動と弾性摂動の反射係数に対する効果が互に強め合うか打消し合うかは、基板材料と電極材料の組み合わせによって変わり、電極間が電氣的に短絡か開放かによって逆になる。これは興味ある重要な知見である。

第3章では、グレーティング反射器の間にIDTを配置した共振器の基本構成について、共振条件やアドミタンス特性を導出し、要求される構成条件、共振器の構造と特性の関係を明らかにしている。これは共振器の設計の基礎を与えたもので、評価すべき成果である。

第4章では、IDTを反射器間に置かず反射器内に組入れた共振器構成を提案し、その諸特性を明らかにし、普通の構成に比べて設計の自由度が増すことを指摘している。第5章では、反射器の共振に起因して主共振の上下に現われるアドミタンス特性のリップルを抑圧する目的で、IDTを反射器内に分散配置する共振器構成法を提案し、最も効果的なIDTの配置を与えている。第6章では、反射器の横幅にのる高次の横モードに基づく不要副共振を抑圧するため、IDTに重み付けを施す方法を検討し、電極構造の決定方法を与えている。IDTの電極対数が4～6程度の少数でも、この方法で副共振をほぼ完全に抑圧できることを示している。

第7章では、2個の2端子対共振器を電氣的に縦続接続したフィルタを影像パラメータ法で設計する方法を与え、狭帯域フィルタの設計例を示している。

第8章は結論である。

以上要するに、本論文は、グレーティング反射器を用いた弾性表面波共振器について、その特性を理論的に解明し、良好な特性を得るための構成法を求めて、設計の基礎を与えると共に、狭帯域フィルタへの応用を試みたもので、通信工学、電気音響工学の発展に寄与するところが少ない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。