

氏名(本籍)	箕輪 純一郎 (長野県)
学位の種類	工学博士
学位記番号	工博第340号
学位授与年月日	昭和47年3月24日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
研究科専門課程	東北大学大学院工学研究科 (博士課程)電子工学専攻
学位論文題目	弾性表面波用圧電薄膜トランスジューサの解析 及びその通信用素子への応用
論文審査委員	(主査) 教授 柴山 乾夫 教授 菊池 喜充 教授 清水 洋 助教授 中鉢 憲賢 助教授 山之内和彦

## 論文内容要旨

### 第1章 緒 論

弾性表面波は、そのエネルギーのほとんど大部分を深さ方向一波長以内に集中させ、表面に沿って伝搬する波であるから、外部表面より波を制御することが容易である。従ってこの波を用いた素子作成にあたり、電子工学の分野で大きな発展をとげているIC技術をそのまま導入することができるため、バルク波では得られなかった種々の工学的応用が期待される。現在では、とくに、マイクロ波素子、通信システムにおける信号処理用デバイス、光偏向器あるいは光変調器等への応用が強く注目されている。

しかしながら、弾性表面波のいずれの工学的応用をはかるにも、電氣的エネルギーを表面波のエ

エネルギーに変換せしめる表面波用トランスジューザが重要な問題である。これに関しては、従来より(i)機械的変換法と呼ばれる方法があるが、これは接着層等を有するため、VHF帯周波数での使用は困難で、実用化はむづかしいと考えられる。現在では実用上有望なものとして、(ii)圧電結晶表面上に直接“すだれ状電極”を置く直接変換法、(iii)薄膜変換法、(iv)その他磁性体表面を利用する方法等があり、それぞれ長所、短所を有している。

筆者が初めて提案した(iii)の変換法は、トランスジューサ部として必要な場所にだけ、圧電蒸着膜を設ける構成のもので、(ii)の方法のように圧電物質がそのまま伝搬媒体となることを避けることができ、伝搬媒質に非常に多くの材料の中から、任意の特性をもつ材料を選べるという特徴を有したものである。従って、(1)温度特性の良いガラスのような等方性の非圧電物質を用いて、特性の良い遅延線を構成できることや、(2)IC回路の構成されている基板上に、さらに表面波用トランスジューサをもうけて、表面波を利用して信号処理を行なわせること等が考えられる。このように(iii)の変換法は、工学的要求を最も合理的に満す物質に表面波を励振、検出する方法で、通信工学上、非常に幅広い応用面を有している方法である。

本論文は、このような(iii)の方法による応用面の特徴を考慮して、非圧電基板上に、圧電薄膜を設けた構造の表面波用トランスジューサを取上げたものである。第2章では、これに関する解析を行ない、第3章では、解析モデルと同一構造を有する表面波用トランスジューサを作成し、これによる表面波送受信の実験を行なった結果について述べ、第4章は、この薄膜トランスジューサを用いて長時間遅延線の試作実験を行なった結果について述べたものである。

## 第2章 弾性表面波用圧電薄膜トランスジューサの解析

解析モデルとしては、図1に示すように、非圧電媒質基板上に、きわめて薄い弾性的には無視できる全面ベース電極を設け、さらにその上に厚さHなる圧電物質が存在し、表面には“すだれ

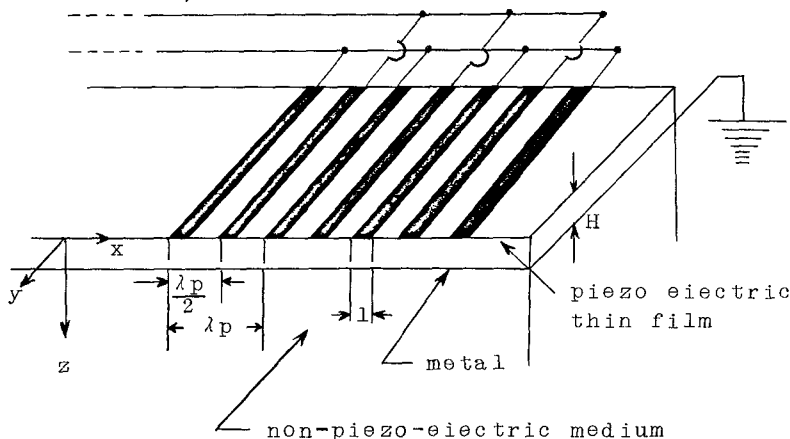


図1 層構造を有する弾性体とすだれ状電極

状電極”がある構造の表面波用トランスジューサを考える。解析は、まず純弾性的問題として、層構造を有する場合の表面波の変位を算出し、これを駆動項にして、圧電膜表面に生ずる電位 $\phi_s$ を算出する。次に静電界問題に帰着させ、等角写像法を用いて電極のキャパシタンスを算出する。電極フィンガー1本について外部回路にアドミタンス $Y$ を接続したとき、表面波より取出すことのできる電気的パワー量を算出し、パワー変換の効率を3つのファクタ $\eta^2$ ,  $G$ ,  $Q$ の積の形で表現している。ここに、 $\eta^2$ は圧電膜の厚さの効果を考慮に入れた表面波に関する実効的な電気機械結合係数で、圧電物質を構成する材料定数、圧電物質の厚さおよび圧電物質と基板媒質の組合せの関数である。 $G$ は”すだれ状電極”のフィンガーの幅、電極周期、圧電物質の厚さに依存する電極の形状効果であり、 $Q$ は電気的終端条件に関するファクタである。

圧電物質として、蒸着法でできるものを考慮して $CdS$ ,  $ZnO$ を取上げ、また基板媒質として、熔融石英、音速のきわめて大きいベリウム、圧電性をマスクした状態の $CdS$ ,  $ZnO$ を取り上げて、これらの幾つかの組合せについて数値解析を行なっている。これらの組合せにおける $\eta^2$ について得られた結果を図2に示す。横軸は波数 $k$ と圧電物質の厚さ $H$ との積 $kH$ である。図中

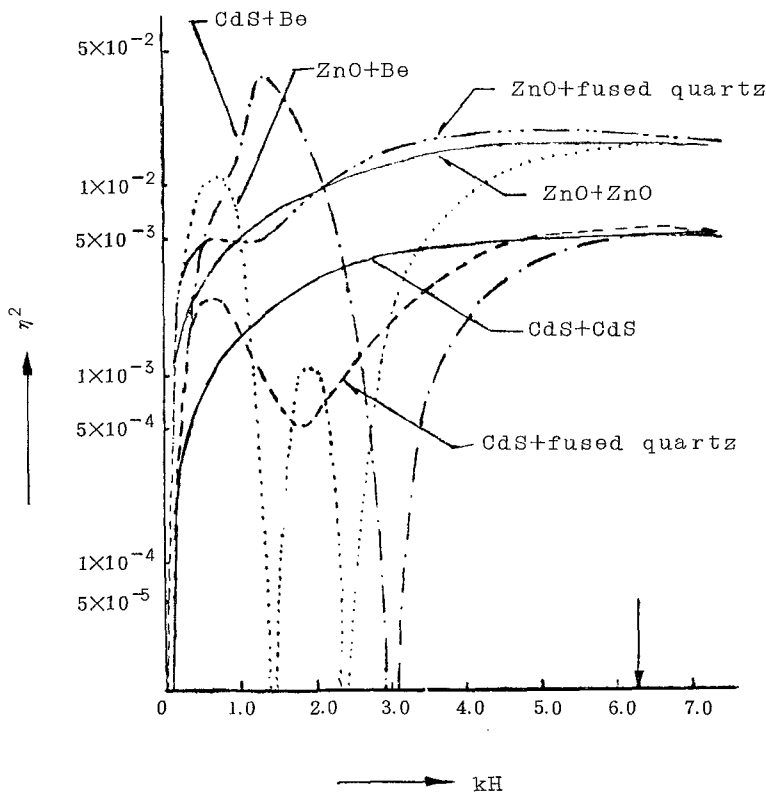


図2 圧電膜の厚さの効果

例えば、CdS + Be は CdS 圧電膜とベリリウム基板との組合せ、CdS + CdS は CdS 圧電膜と圧電性をマスクした状態の CdS 基板との組合せを示し、とくに後者の場合はいわゆる拡散層トランスジューサの場合にもあてはめることができる。横軸上の矢印↓は、圧電膜厚  $H$  と表面波波長  $\lambda_s$  とが等しくなる点である。この図において、圧電膜の厚さが弾性表面波波長の  $\frac{1}{10}$  程度の小さなところで  $\eta^2$  に関する極大があることがわかる。そしてこの極大値が得られる条件は、圧電物質と基板物質との組合せに主として関係しており、基板物質に対して蒸着する圧電物質の音速比が大きければ大きい程、極大値は大きくなるという結果を得ている。このような特性は、VHF 帯において薄膜トランスジューサを製作する場合、極めて有用な知見を与える。また基板選定にも役立つ。

電極の形状効果については基本波及び高次高調波について考察しており、一般に膜厚が電極周期に比し小さいときに、 $G$  の値は大きいこと、また高調波では形状によって  $G$  の値は零となって表面波の送受信はできないという結果を得ている。

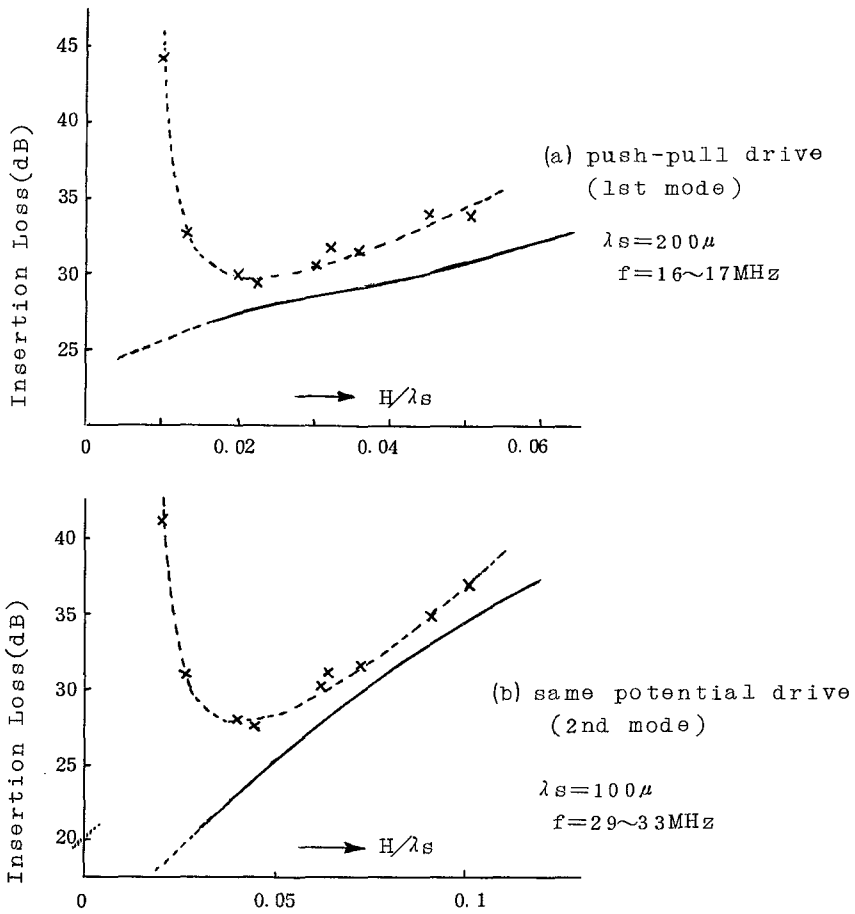
電極フィンガーが  $N$  本ある場合のトランスジューサの取扱いについて、1 次近似のもとに示してある。

### 第 3 章 圧電薄膜トランスジューサによる表面波送受信の実験

解析モデルと同じ構成により、ZnO + fused quartz, CdS + fused quartz および CdS + CdS (ここでは拡散層トランスジューサを意味する) の場合について、表面波用トランスジューサを実際に製作した技術について述べ、さらにこれを用いて表面波送受信の実験を行なった結果について述べている。

まず、これらの組合せにおいて、それぞれ表面波の系が挿入されたことによる減衰量を実効減衰量を測定する方法によって行ない、圧電膜厚の効果を検討している。図 3 に 1 例として ZnO + fused quartz の場合を示す。×印は実験値であり、実線は第 2 章の数値解析の結果より得られる理論値である。横軸は、圧電膜厚  $H$  と表面波長  $\lambda_s$  の比  $H/\lambda_s$  である。(a) はプッシュプルドライブ法 (すだれ状電極の相隣るフィンガーは交互に正負の電位にあり、ベース電極はアース電位にある方法) のもので (b) はセイルポテンシャルドライブ法 (すみだれ状電極の各フィンガーはすべて同相で、ベース電極とは逆位相の関係にある方法) によるものである。図 3 において比較的膜厚の厚いところでは、実験値と理論値とは良い一致を得ていることがわかる。 $H/\lambda_s$  の極めて小さいところでの両者の違いは、主として膜の性質、電気的同調に関する問題であることを考察してある。また CdS + CdS の場合は、第 6 次までの高調波について実効減衰量の測定を行ない、理論値と良い一致を得ている。

また、これらの組合せにおける表面波の位相速度および群速度に関する実験では、理論値と極



めて良く一致した結果を得ている。

圧電薄膜トランスジューサの場合、ベース電極の無い場合にも表面波の送受信は可能であるが、このベース電極の有無によって実効減衰量が $H/\lambda_s$  に対しどのように変化するかを、 $\text{ZnO} + \text{fused quartz}$  を用いて実験的に比較し、かつ工学的応用の見地からも検討を加えて、VHF帯のうち、低い周波数で薄膜トランスジューサを使用する場合は、本論文で取上げているベース電極のある場合の方が、はるかに有利であることを示している。

#### 第4章 通信素子への応用

この薄膜トランスジューサの通信素子への応用として、長時間遅延線を取上げて試作実験を行った結果である。まず、種々の形状を有する非圧電媒質表面上に、トランスジューサとして必要な場所にだけ圧電膜を作成し、その表面に“すだれ状電極”を設けた構造の表面波用トランスジューサを用いて、長時間遅延線を構成する方法を考察し、このうち、代表的な形態である平面板表面および円筒表面を伝搬する表面波による遅延線を製作し、良好な結果を得ている。とくに円筒表面を利用した長時間遅延線では、小さな形状にもかかわらず表面の利用率が良く、約  $46\mu\text{sec}$  の遅延時間を得ている。

このように薄膜変換法においては、直接変換法に比し、基板媒質およびその形状の選定について、きわめて大きな自由度を有している。

#### 第5章 結 論

本論文は、弾性表面波用圧電薄膜トランスジューサを初めて取上げ、まず第2章においてベース電極のある場合における解析を行ない、圧電膜の厚さの効果について検討した結果、圧電膜の厚さは、表面波波長の0.1倍程度の薄い膜厚で十分であるという工学的に極めて重要な結果を得ている。第3章において、解析モデルと同一のトランスジューサを製作しこれによる表面波の送受信の実験を行ない、実効減衰量に関し、ある膜厚以上で理論値と良い一致が得られた。また、ベース電極の有無による影響について工学的見地より比較検討を行ない、低いVHF帯周波数では、本論文で取上げているベース電極のある場合の方がはるかに有利であることを明らかにしている。第4章では、この薄膜トランスジューサの通信素子への応用として長時間遅延線の試作実験を行ない、良好な結果を得ることができている。

## 審査結果の要旨

弾性表面波は波の伝搬媒質の表面近くにそのエネルギーが集中しているため外部からの制御が容易であることから最近通信用素子として多くの注目が集められている。本論文は圧電薄膜を基板媒質上において弾性表面波用トランスジューサの特性を解明したもので全編5章より成る。

第1章は緒論で、各種弾性表面波用トランスジューサに対して薄膜トランスジューサの位置づけを与えている。

第2章では薄膜トランスジューサの解析モデルとして非圧電基板と圧電薄膜との間にうすい導電膜を有する形状のものを取り上げており、電圧はこの導電膜と圧電薄膜表面に置かれたすだれ状電極との間に印加される。このモデルに対して弾性表面波が進行してきた場合、トランスジューサより取り出しうる電氣的パワーを1次近似の下に解析し、これを3つの因子、 $\eta^2$ 、 $G$ および $Q$ の積の形として表わすと、 $\eta^2$ は弾性表面波に関するトランスジューサの見掛けの電気機械結合係数によって決まる因子、また $G$ はすだれ状電極の幅、周期などの形状効果、 $Q$ は電氣的終端条件によって決まる因子となることを示した。圧電膜として $\text{CdS}$ 、 $\text{ZnO}$ を選び基板媒質として熔融石英、音速の大きいベリリウムを与えたほか前記圧電膜に対してそれぞれ圧電性のない $\text{CdS}$ および $\text{ZnO}$ をとっている。これらは $\text{CdS}$ および $\text{ZnO}$ 結晶の表面に高抵抗層を生成せしめた、いわゆる拡散層トランスジューサの特性を与える。数値解析の結果基板媒質の音速が圧電物質の音速より大きい場合、圧電膜の厚さが弾性表面波の波長の $1/10$ 程度の小さなところで $\eta^2$ に関して極大があり、その値は音速の比が大きい程大きいことを見出している。これはVHF帯薄膜トランスジューサを製作する際、圧電膜の厚さを蒸着しやすい厚さの範囲内にもちきたすことが可能であることの根拠を与えたもので実用上有用な知見である。

第3章は解析モデルに相当するトランスジューサを実際に製作し実験した結果である。同一基板上に同一形状のトランスジューサを向い合せにおき、可逆則の成立を前提として一方を送信、他方を受信として送受両端子間の実効減衰量を測定する手法によって圧電膜厚の効果を検討したもので、 $\text{CdS}$ 拡散層トランスジューサに対する同様の実験をも含めて理論と実験との間に相当よい一致がみられる。これらを通じてこの思考方法の妥当性が認められる。第4章は通信素子への応用として遅延線を構成し実験した結果である。数 $10\mu\text{s}$ の遅延線を簡単に得ることができ、結晶体自身を伝搬媒質とする方法に比し、基板媒質の選定が自由であるため広い応用がある。

第5章は結論である。

以上、要するに本研究は弾性表面波用薄膜トランスジューサを初めて取り上げ、これに関して解析ならびに実験を行なったもので、その結果は長時間遅延線をはじめ弾性表面波を用いた機能素子の設計に対し有用なる知見を与え、通信工学ならびに電気音響工学上寄与するところ少なくない。

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。