

氏名	かき はら ゆき お 笠 原 征 夫
授与学位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 59 年 7 月 11 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最終学歴	昭和 39 年 3 月 東北大学大学院工学研究科電気及通信工学専攻 修士課程修了
学位論文題目	弾性表面波発振器のセンサへの応用に関する研究
論文審査委員	東北大学教授 清水 洋 東北大学教授 御子柴宣夫 東北大学教授 中鉢 憲賢 東北大学教授 山之内和彦 東北大学助教授 中村 億良

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

弾性表面波発振器は、帰還系である弾性表面波遅延線に何らかの物理量を作用させると発振周波数が変化し、この発振周波数の変化を検出すると逆に作用した物理量が検出できる。この原理を利用したセンサは、圧力、応力などの機械的外力あるいは温度の検出などへの応用が考えられている。しかし従来のセンサへの応用は、比較的大きな周波数変化の得られる範囲での動作を論じたものが大部分で、センサとしての検知限界や信頼性が充分把握されておらず、また実際の要求に必ずしもマッチしたものになっていず、そのため広く実用されるに至っていない。

本研究は、現実のニーズに合致し充分実用化への可能性をもつセンサとして、弾性表面波発振器を応用した電位センサ、輻射温度センサに関して、まず弾性表面波発振器の発振周波数が極めて安定度の高いものであり、極めて微小の物理量の作用による微小周波数変化を検出できることを示し、これらのセンサへの可能性を理論的および実験的に論じ、試作を通じて実用化への提案をする。

第 2 章 弾性表面波発振器の発振周波数とその安定性

弾性表面波発振器の圧電基板に物理量を作用させると発振周波数が変化する事から、逆に発振周

波数変化から作用した物理量を検出するセンサへの応用の可能性について論ずる。その場合、センサの観測時間と同程度の時間変化を示す発振器の短期安定度が最も重要となる。この短期安定度は発振周波数のゆらぎに起因し、本章ではまず発振条件からパワースペクトル密度を計算し、これより周波数ゆらぎのスペクトルを求め、これに観測時の有限記録時間およびサンプリング周期によるフィルタ効果を考慮し、周波数ゆらぎの理論的解析を試みる。つぎにLiNbO₃基板を用いて弾性表面波発振器（発振周波数173 MHz）を試作し、サンプリング周期を変化させて求めた周波数ゆらぎの実測値と理論計算値とを比較する。その結果実測値および計算値は、サンプリング周期1秒の時それぞれ2 Hz, 6.26 Hzであり、同0.1秒の時それぞれ6 Hz, 19.79 Hzとなりかなり良い一致を示した。図1にはサンプリング周期1秒での周波数ゆらぎの実測値を示す。この発振器は10⁻⁸のオーダの周波数変化に相当する検知能力もつセンサとして利用できる可能性をもつことを示す。

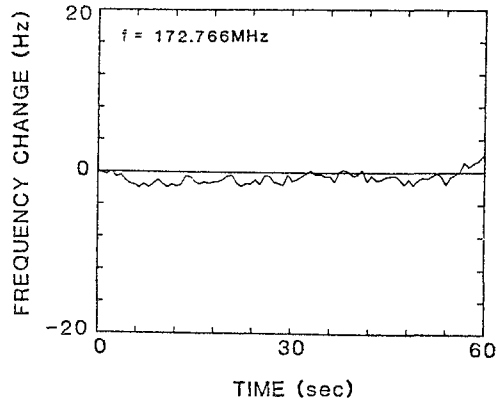


図1 サンプリング周期1秒の時の弾性表面波発振器の発振周波数の時間変化

第3章 基板の印加電圧による弾性表面波発振器の周波数変化

弾性表面波発振器の応用の1つとして、圧電基板に電圧を印加した時の発振周波数の変化を検出することにより、印加電圧の大きさを検知できる電圧検知装置への応用の可能性について論ずる。まず圧電基板の電圧印加による基板表面に沿った縦歪を計算し、つぎにこの縦歪および印加電界による弾性表面波速度の変化に基づく弾性表面波素子の遅延時間の変化量の予測を行う。これらの歪の量および遅延時間の変化量はいずれも10⁻⁸のオーダであり、これを直接検出することは難しいが、弾性表面波発振器を構成すれば発振周波数の変化として検出することができることを、128° YX LiNbO₃基板の場合について計算と実験により示した。この結果を図2に示す。図2から実験結果と計算による予測はほぼ一致し、電圧検出装置としての応用の可能性が充分期待できることを示した。

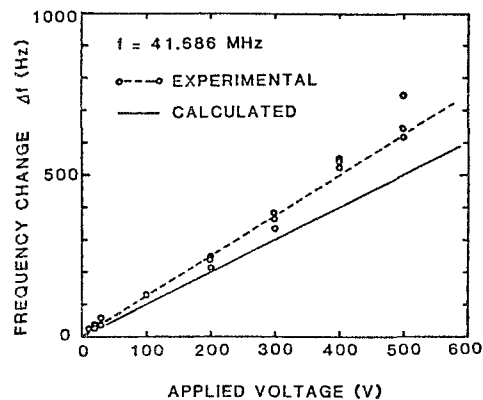


図2 電圧印加による発振周波数の微小変化 Δf
128° YX LiNbO₃ 基板 (0.5 mm) に電圧を印加した時の弾性表面波発振器の発振周波数の変化を示す。

第4章 入射赤外線による弾性表面波発振器の周波数変化

弾性表面波発振器の応用の他の1つとして、圧電基板に赤外線を入射した時の発振周波数の変化を検出することにより、入射赤外線を検知する赤外線検出装置への応用の可能性について論ずる。まず圧電基板表面への赤外線の入射による基板の温度分布を計算により求め、その結果から基板表面を伝搬する弾性表面波の遅延時間変化を計算し、赤外線照射に基づく弾性表面波発振器の発振周波数の変化量およびその時間変化(時定数)を予測する。この予測結果として、周波数変化量が大きく時定数が小さいいわゆる figure of merit が、送受波トランスジューサ間距離 $2l$ が $2 \sim 2.5$ mmの時最大となることを示した。ついでYZ LiNbO₃基板を用い、 $2l = 2.5$ mmとした弾性表面波素子を用いた実験の結果、微小エネルギーの赤外線照射による発振周波数の時間変化曲線は、図3に示すように計算による曲線とほぼ一致し、赤外線検出装置としての応用の可能性が充分期待できることを示した。

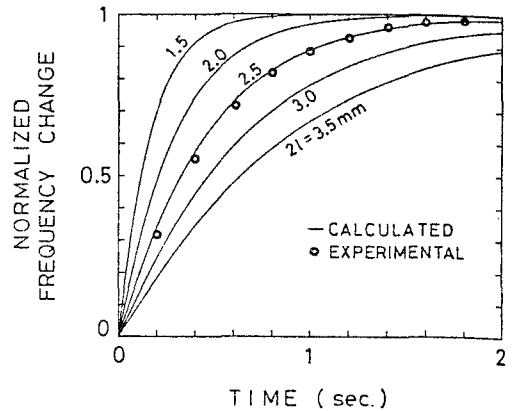


図3 基板有効長 $2l = 2.5$ mmのニオブ酸リチウムY板(厚さ $120 \mu\text{m}$)を用いた発振周波数変化の実験結果と計算結果との比較を示す熱応答特性図

第5章 弾性表面波発振器を用いた電位センサ

産業機器用特に複写機やレーザプリンタの帯電ドラムの表面電位計測用として、高入力インピーダンスで、小型で簡単な構成の低価格のセンサが求められている。本章では第3章で示した電圧検出への考察に基づき、上記の要求を満足する表面帯電電位検出用センサとしての応用について論ずる。まず電位センサの基本構成について述べ、続いて2素子差動方式による発振周波数の温度ドリフトを補償した電位センサについて述べる。さらにこの方式の連続計測への欠点を改善した振動電極を用いる計測方式について記述す

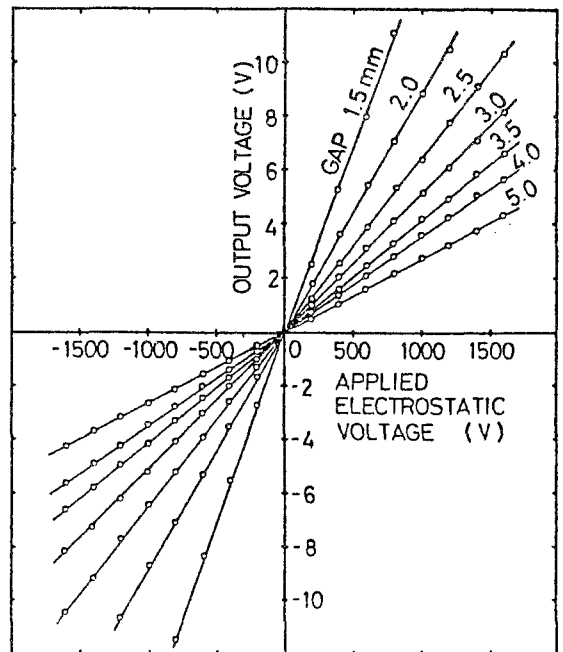


図4 被測定対象物電位(横軸)に対するセンサ出力(縦軸)
パラメータ: 被測定対象物と振動電極との距離

る。続いて S/N 比をさらに改善し、この振動電極方式で不満足であった低電圧側の非直線性を改良し、さらに電位極性の検出を可能とした同期検波方式による電位センサについて論ずる。この方式による電位センサは、 S/N 比 46 dB、測定分解能は 10 V 程度で、図 4 に示すように印加電界による出力の直線性がすぐれ、極性の検出も可能で、連続計測に対して安定な特性をもつことを示し、上記の用途に充分使用可能であることを示した。

第 6 章 弾性表面波発振器を用いた輻射温度センサ

産業用の生活温度領域の温度計測分野特に自動電子調理器などにおいて、安価で冷却不要の高感度デジタル出力でマイクロコンピュータへのインターフェースの不要なセンサが強く求められている。本章では第 4 章で示した赤外線検出の考察に基づき、上記の要求を満足する弾性表面波発振器を利用した輻射温度センサの原型構成について記述する。まず温度センサ用弾性表面波基板材料について述べ、 LiNbO_3 が適することを示す。ついで、センサ出力の温度ドリフト軽減対策としてシャッタ機構を用いることにより、またセンサ感度の向上のためにシャッタ開閉周期と計測周期とをシフトさせることによる計測方法について論ずる。この輻射温度センサの出力特性は図 5 に示すように、 $100\sim 140^\circ\text{C}$ で $8.4\text{ Hz}/^\circ\text{C}$ 、 $60\sim 100^\circ\text{C}$ で $4.8\text{ Hz}/^\circ\text{C}$ 、 $0\sim 60^\circ\text{C}$ で $3.3\text{ Hz}/^\circ\text{C}$ の感度を持ち、温度分解能は約 0.5°C となり、上記用途に使用できることを示した。

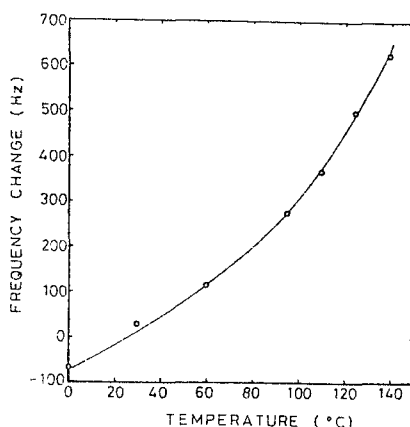


図 5 輻射温度センサの測定対象物温度による感度（周波数変化）曲線（距離 95 mm）

第 7 章 結 論

本研究で得られた内容を要約し、結論としてまとめている。

審 査 結 果 の 要 旨

弾性表面波遅延素子を帰還路に用いる弾性表面波発振器では、表面波基板の温度や応力などが変化すると、遅延時間が変化し、そのため発振周波数も変化する。最近、この現象をセンサに利用する試みがいくつか報告されている。しかし、従来の研究は、比較的大きな周波数変化の得られる場合を扱っており、センサとしての検知限界や信頼性の把握が充分でなく、広く実用されるには至っていない。著者は、弾性表面波発振器の周波数ゆらぎを究明して周波数変化の検出限界を求めると共に、高感度の電位センサと輻射温度センサを開発した。本論文はこの成果をまとめたもので全文7章よりなる。

第1章は緒論である。第2章では、センサにしたときの検知限界を支配する弾性表面波発振器の短期安定度、すなわち、雑音に基づく発振周波数のゆらぎを理論的・実験的に追究している。その結果、サンプリング周期が1秒のときの周波数ゆらぎは 10^{-8} のオーダーであり、その程度の周波数変化まで検出できることを示している。

第3章では、表面波基板に垂直に直流電界を加えたときの弾性表面波発振器の周波数変化を調べ、厚さ0.5mmの 128° YX LiNbO₃基板の場合、印加電圧3ボルトで、充分に検出可能な 10^{-7} の周波数変化が得られることを示している。

第4章では、表面波基板に赤外線をステップ状に照射したときの温度分布、遅延時間、発振周波数の変化を計算し、赤外線の入射パワーがマイクロワット程度でも充分に検出できる程度の周波数変化が得られることを示している。また応答速度を上げ、しかも周波数変化量を大きくするには、基板の有効長を適当な大きさにする必要があることを指摘している。

第5章では、第3章の結果に基づいて高入力インピーダンスの電位センサを研究開発した結果を述べている。ドリフトの除去、直線性、安定性の改善に工夫を加え、複写機の帯電ドラムの表面電位計測などに充分実用し得るものに仕上げている。

第6章では、第4章の結果に基づいて研究開発した高感度の輻射温度センサについて述べている。0～140℃の範囲で3.3～8.4 Hz/℃の感度と約0.5℃の分解能をもち、自動電子調理器などに使用するセンサとして適合したものを得ている。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、弾性表面波発振器をセンサに応用することに着目し、その場合の検知限界を支配する発振周波数のゆらぎを定量的に明らかにすると共に、新しい電位センサおよび輻射温度センサを提案・開発したもので、通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。