

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月 5日現在

機関番号：13801
 研究種目：挑戦的萌芽研究
 研究期間：2011～2012
 課題番号：23656059
 研究課題名（和文） 表面弾性波の周期性を用いた直線・曲面変位および回転角度計測用デジタル式エンコーダ
 研究課題名（英文） Digital encoders for curvilinear displacement and rotational angle based on periodic surface acoustic wave
 研究代表者
 大岩 孝彰（OIWA TAKAAKI）
 静岡大学・工学部・教授
 研究者番号：00223727

研究成果の概要（和文）：従来のデジタル式エンコーダでは目盛線の高精度な加工などを必要とした。本研究では、物体表面に沿って振動を発生させ、その周期性から変位や回転角度の計測を行うため、上記の加工が不要である。本研究計画では、波長0.16mmの波長を発生させるため、圧電材料の上に櫛歯形の電極を生成させた振動発生・受信用のデバイスを試作した。さらに表面弾性波を発生、ガラス基板表面を伝搬させ、検出を確認した。

研究成果の概要（英文）：It has been so difficult to provide highly precise gratings required for conventional digital encoders. In this study, no process above is needed because displacement measurement is based on periodic surface acoustic waves (SAWs) generated on a surface of measured object. SAW devices consisting of a piezoelectric substrate and interdigital electrodes were fabricated both for generating and for receiving the SAW with a wavelength of 0.16 mm. Moreover, it was confirmed to detect the SAW propagated along a glass substrate by measuring delay time.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎・応用物理学一般

キーワード：変位計測，弾性表面波，櫛歯形電極，超音波振動

1. 研究開始当初の背景

現在、さまざまな原理の変位計が開発されているが、大きくアナログ式とデジタル式に分類できる。アナログ式は数 mm 以下のギャップセンサ等では一般的であるが線形性やノイズの問題があり、10mm 以上の測定レンジではデジタル式が多く採用されている。特に微小な等間隔に加工された目盛線を光学的あるいは時期的に検出するデジタル式リニアエンコーダは、長距離計測においても精度の劣化が少なく、周期的な出力信号を内挿することによる高分解能化も可能で

ある。しかし、長いスケール基板に亘って目盛線や磁気パターン等を正確に加工する必要がある。また基板の材質、形状、表面性状に制約が多く、特に自由曲面上の変位を測る用途には適していない。さらに、光学的検出ヘッドでは、構成が複雑で部品点数も多く、小形化、低コスト化も容易ではない。

研究代表者は 1995 年ごろより、超音波振動を応用した機械要素の研究を数多く行ってきた。特に超音波振動を用いたリニアボールガイドや歯車歯面の摩擦力制御についての研究を行ってきた。以上の研究の中で物体内を縦振動が長い距離を伝搬することを見

出したが、物体表面に生ずる表面弾性波（SAW）を検出することができればその周期性を利用して変位計測が実現できるという発想に至った。現在までの予備実験において50mmの変位計測が可能であることを確認した。

2. 研究の目的

基板表面に弾性表面波（SAW：Surface Acoustic Wave）を伝搬させ、この周期性を用いて変位計測を行う原理の変位センサ（デジタル式エンコーダ）を開発する。基板上に弾性表面波発生用トランスデューサを設置するだけで弾性表面波が生成されるため、基板上に等間隔ピッチの目盛りや磁気パターンを作成するなどの加工が一切不要であり、また弾性表面波は曲面形状の基板表面上も伝搬するため、このような面に沿った変位計測が可能となる。

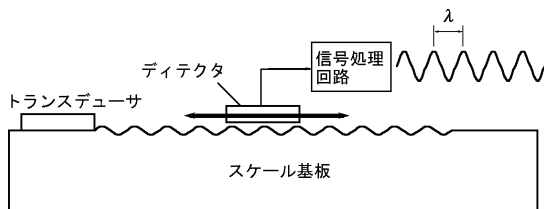


図1 表面弾性波を検出して変位計測する原理

本研究計画ではさらに波長を短くして高分解能化を達成する。さらに90度位相差を持つ2信号を用いて、移動方向の検出を可能とする。また現在の定在波を進行波として位相差を検出することにより、さらなる高分解能化を図る。

超音波や弾性表面波の伝搬時間を用いた原理の変位計測方法は国内外で研究されているが、周期性を基準として用いた変位計測については、国内外の研究発表および特許出願はなされていない。特に装置の構成や製造方法が簡単であり、曲面状の変位計測ができるという点で学術的重要性、工業的有用性が高い。

本研究の特長を下記(1)~(9)に記す。

(1)本技術では、スケールとなるSAWを生じさせる基板表面には、その長さに亘って等間隔ピッチの目盛りや磁気パターンを作成するなどの加工が何ら不要（つまりルーリングエンジン等の刻線機や長さ基準等も不要）であり、SAWを生じさせるための手段、例えば楕円電極や振動アクチュエータを設置するだけで一定の周期を持つ定在波や進行波が形成され、この結果変位計測の長さ基準が得られる。

(2)SAWは媒体の表面上を伝搬するため、基板は直線や平面である必要はなく、図2のよ

うに自由曲面上に表面弾性波を発生させることも可能であり、このような曲率を持つ物体上の変位を直接計測することが可能となる。例えば円柱上にSAWを発生させれば、ロータリエンコーダのように回転角度を計測することが可能となる。

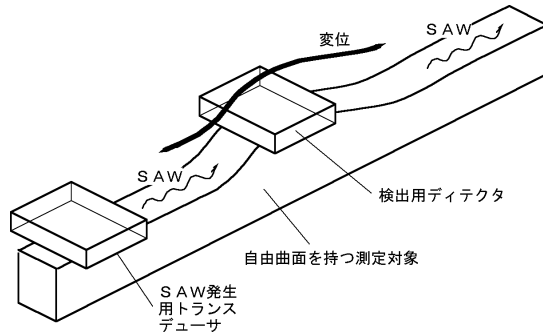


図2 自由曲面に沿った変位計測が可能

(3)SAWの周期は、媒体となる基板の音速および周波数で決まるため、基板を均一な材質で製作すれば均一な周期のSAWが得られる。また均質でない場合においても再現性のある誤差になるため、校正によって補正が可能となる。

(4)また周波数を高めることにより、発生する周期を短くすることが容易に可能であり、ひいては高分解能化が容易に達成できる。

(5)SAWの発生・検出に用いられるIDT（楕円電極）は、現在通信分野で広く用いられているSAWフィルタ等のもと同様のものであり量産が可能で低廉であり、本装置全体のコストを低く抑えられる。

(6)SAWは表面からおおよそ1波長分程度の深さまでを伝搬するため、スケールの厚みを薄く作成することができる。また検出ヘッドは圧電基板の楕円電極のみで構成され、機械的な運動部分がないため、小形化が可能である。以上により超小形、薄形のリニアエンコーダが実現する。

(7)媒体となる基板はSAWが発生すればよいので、材料選択の範囲が広い。例えばゼロデュールなどの低膨張ガラスセラミックスを用いれば、温度変化の影響の少ない変位センサが実現できる。

(8)基板上に塵埃・油などが付着しても、SAWの発生が阻害されることが少ない。

(9)1次元的な計測だけではなく、平面的なXY座標計測も可能。

以上のようにSAWを用いたデジタル式エンコーダのアイデアは斬新であり、チャレンジ性も卓越していると考えられる。さらに本アイデアの工業的な優位性が高いことや、エンコーダは現代の付加価値の高い高精度な機器のフィードバックシステムに不可欠なセンサであるため、波及効果が高い。

3. 研究の方法

(1) 概要

現在までに波長 $\lambda=4\text{mm}$ の予備実験を行い、50mmの測定距離に亘って変位の計測が可能であることを確認している。本研究計画（2カ年）では①方向弁別機能の追加、②計測精度の検証、および③高分解能化に取り組む。

(2) 原理

固体表面上を伝搬する弾性表面波（SAW）の周期性を用いて変位を計測するために、まず図1のように発振器からの正弦波高周波信号をトランスデューサに印加する。トランスデューサは図3に示すような圧電体に楕歯状電極を設けたもの（IDT: Inter-digital Transducer）が一般的である。このようにして基板表面に発生するSAWは進行波と定在波の2つの形態があるが、当初は定在波を用いる。SAWの波長 λ は基板の音速を c (m/s)、加振周波数を f (Hz)とすると、 $\lambda = c / f$ (m)となり、例えば $c = 2,000 \sim 5,000\text{m/s}$ 、 $f = 50\text{M} \sim 1\text{GHz}$ 程度を用いれば、波長 $\lambda = 2 \sim 100\ \mu\text{m}$ となり、リニアスケールとして適したものとなる。音速 c と周波数 f が安定なら波長 λ も一定となり、この波の数を計数すれば長さ計測が可能となる。

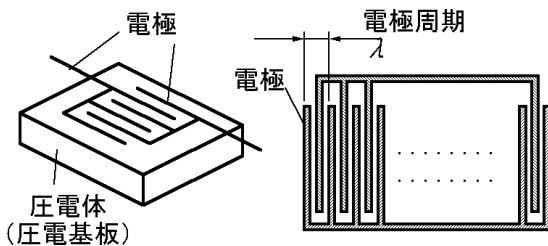


図3 楕歯形電極トランスデューサ

基板上的のSAWを検出するためには、同様にIDTを用いたディテクタを用いる（図6参照）。信号処理回路からの電圧波形を2値化して計数すれば、変位は $\lambda \times$ 計数値で求められる。

以上は定在波を用いた変位検出方法であるが、SAWの進行波の位相差を用いても変位計測は可能である。

(3) 高分解能化

IDTの楕歯電極間隔を $\lambda=4\text{mm}$ から1/10~1/100程度（0.04~0.4mm程度）のものを試作し、変位計の高分解能化をはかる。波長が短くなるにつれて基板の厚みも薄くすることができるという利点が生ずる。

(4) 曲面上の計測の可能性の確認

本手法ではSAWが伝搬すれば自由曲面上においても距離の計測が可能となる。第1段階として円環上の距離を計測する。これはロータリエンコーダとして、つまり角度計測用と

しても有用となる。

(5) 計測精度の検証

試作した変位センサの直線性、精度などを計測する。変位計測の基準として高精度なレーザ干渉計（レーザエンコーダ、設備備品）等を用い、モータ駆動による1軸ステージ（設備備品）を用いて、移動速度の影響などについても調査する。また高精度（分解能 0.01° ）な温度計（現有）を用いて温度依存性についても調査する。

4. 研究成果

本研究計画では、まず高分解能化に取り組んだ。使用するSAWデバイスの材料として圧電材料（二オブ酸リチウム）を用いるが、伝搬速度は 3980m/s であり、波長を従来のものの1/25程度を設計するために $\lambda = 160\ \mu\text{m}$ とすると、加振周波数は約25MHzとなる。対数20の楕歯電極パターンをCADを用いて設計し、マスク作成したのち、 $t.0.5 \times 18 \times 20\text{mm}$ の圧電基板上に楕歯電極を作成した電極の材質はアルミ、厚さは $0.56\ \mu\text{m}$ とした。次に、作成したSAWデバイスからSAWが励振されているかを確認するためにネットワークアナライザを用いてSパラメータを計測し、約25MHzで弾性表面波が最も効率良く励振されていることを確認した。

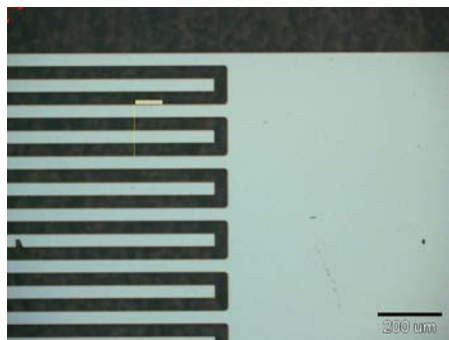
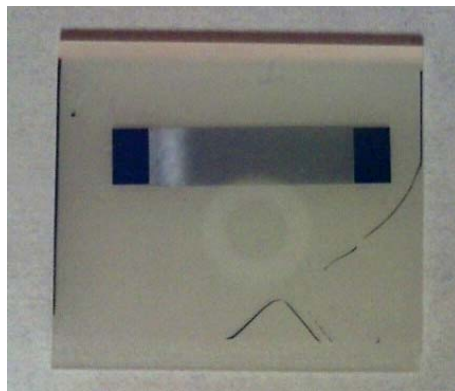


図4 試作したSAWデバイス（IDT）

次に、2つの SAW デバイスを接触させて片側の送信用デバイスを正弦波信号で励振した。もう片方の受信用デバイスからは同じ周波数を持つ正弦波信号が適正な遅延時間後に検出されたことから、弾性表面波が圧電基板上を伝搬していることが確認できた。さらに送信用と受信用のデバイス間の距離を変化させたところ、受信側の正弦波信号の振幅が周期的に増減したことから、櫛歯電極の波長を短くしたデバイスにおいても距離の計測が可能であることが確認できた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称：計測装置
発明者：大岩孝彰
権利者：国立大学法人静岡大学
種類：特許
番号：特願 2010-133282
出願年月日：2010 年 6 月 10 日
国内外の別：国内

[その他]

ホームページ等

静岡大学との連携による新技術説明会
<http://jstshingi.jp/abst/2010/shizuoka/program.html#4>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大岩 孝彰 (OIWA TAKAAKI)
静岡大学・工学部・教授
研究者番号：00223727

(2) 研究分担者

朝間 淳一 (ASAMA JUNICHI)
静岡大学・工学部・准教授
研究者番号：70447522

(3) 連携研究者

近藤 淳 (KONDOH JUN)
静岡大学・創造科学技術大学院・教授
研究者番号：10293606