

令和元年6月11日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06378

研究課題名(和文)非接触による焦点型圧電高分子トランスデューサを用いた物質内部の画像形成

研究課題名(英文)Acoustic imaging using air-coupled focus-type P(VDF/TrFE) transducers on non contact ultrasound by through-transmission method.

研究代表者

高橋 貞幸 (Takahashi, Sadayuki)

山形大学・地域教育文化学部・技術専門職員

研究者番号：10396559

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、有機材料である圧電高分子P(VDF/TrFE)を用いて、焦点型の超音波トランスデューサを開発した。このP(VDF/TrFE)-トランスデューサは、動作中心周波数2MHzであり挿入損失(トランスデューサ・ロス)は、72dBである。この同性能(同形状)P(VDF/TrFE)トランスデューサをそれぞれ、送信用・受信用とし、超音波による物質の透過波検出を行った。更に、これらのP(VDF/TrFE)トランスデューサを使用し、透過用超音波画像システムを開発した。観測対象物は、IC(11229-12・ROCKWELL社)である。この研究の結果、透過画像に成功した。分解能はおよそ1mmである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで、空気中で物質(観測対象物)の内部を観察するためには、X線を用いた機器のみが主流であった。しかし、X線機器は高額であり、また法的制約もあるため、一般には普及しない。加えて、X線機器から得られる物質内部の情報は、必ずしも多いとも限らない。もし、超音波機器により物質内部の画像化が可能となれば、その被検査対象範囲は広がる。

本研究では、できるだけ空気中で超音波エネルギーの減衰が小さい有機圧電材料P(VDF/TrFE)を用いて、高周波超音波トランスデューサを開発することを目的とした。この結果、ICの物質内部の画像化に成功した。

研究成果の概要(英文)：In this study, the high frequency ultrasonic transducers have been developed using piezoelectric polymer P(VDF/TrFE)(75/25 mol%). This concave type P(VDF/TrFE) transducer has a transducer insertion loss of 72 dB. The transducer insertion loss is the 10 times large more than conventional P(VDF/TrFE) transducer. In addition, Ultrasonic imaging system also had developed to utilize with these P(VDF/TrFE) transducers.

As the result, it was successful to display for through transmission image of Integrated Circuit (11229-12・ROCKWELLIC).

研究分野：超音波計測

キーワード：空気中 高周波 超音波 トランスデューサ 物質内部 画像化 圧電高分子材料

## 1. 研究開始当初の背景

物質(観測対象物)の内部を見る技術は、非常に重要な課題のひとつである。観測対象物を、全く破壊することなく、内部を画像化することは難しい。一般に、物質を破壊せずに検査を行うことを、非破壊検査と言う。現在、この非破壊検査法には、電離放射線(主にX線が利用される)・磁気および超音波が用いられる。前述の2つの方法は、大掛かりな装置であり、且つ法的規制もあるため、一般には、容易に設置し、運用することはできない。また、これらの装置を用いたとしても、観測対象物によっては、必ずしも鮮明な画像情報が得られるとは限らない。

一方、超音波を用いた非破壊検査法は、前述の2つの検査装置と比較すると、小型化された機器であり、また法的規制を受けない。このことから、超音波を用いることは非常に有効である。健康診断などで、人体の断層画像に用いられる超音波エコーは、その典型的な例である。しかし、この超音波技法にも欠点がある。超音波のエネルギーは周波数の2乗に比例して、大きく減衰する。言い換えれば、周波数が高いほど、超音波は極度に減衰する。このため、超音波の出力を大きくすることが必要不可欠となる。また、音を伝えるためには、媒質が必要である(音波は真空中では伝搬しない)。超音波を効率良く観測対象物に照射するためには、超音波トランスデューサ(センサー)と観測対象物との間に、前述の理由により、固体や液体の媒質を必要とする。本来は、空気(気体)を媒質として利用することが、最も理想的であるが、空気と水とでは、空気の方が水と比較して3桁も超音波の減衰値が大きくなる。このため、空气中で利用することは困難となる(人体の皮膚上にゼリーなどを塗布し、センサーを密着する理由はこのためである)。しかし、媒質を空気にすることは重要な取り組みである。現在、工学的に超音波による非破壊検査は、観測対象物を水中に設置する方法、センサーと観測対象物間に液体の媒質を用いる方法、および直接センサーを観測対象物に密着する方法が用いられる。しかし、これらの方法では、水を嫌う物質は、その検査自体ができない。特に、親水性が大きく水に浸すことが困難な紙などは、検査が不可能である。本研究では、上述の課題を克服し、非破壊検査を空气中で行うことを主題としている。

## 2. 研究の目的

本研究では、空气中で、被検査体内部の画像形成を1mm以下の解像度で行うために、焦点型高感度の圧電高分子トランスデューサと、このトランスデューサを用いた高分解能の空中超音波画像装置を開発する。この空中超音波画像装置ができると、内部の構造を鮮明に画像化できる可能性が高い。空气中で、MHz帯域での超音波による非破壊検査は、工業製品に限らず、将来、理想的な無侵襲医用超音波検査法などの医療分野にも応用できる。

上述の目的を達成するために、以下の(1)~(5)のコンセプトを設定し目的を遂行した。

- (1) 従来技術では、圧電体と電極を兼ねるパッキングプレート間に接着剤を用いるが、本研究では接着剤を用いない凹面(焦点)型P(VDF/TrFE)トランスデューサを開発する。

- (2) P(VDF/TrFE)トランスデューサの動作中心周波数は、空気の減衰値を考慮し 2MHz とする。
- (3) 開発した P(VDF/TrFE)トランスデューサの動作特性を求め、Mason の等価回路から性能を評価する。
- (4) 送受信分離型の透過画像用超音波送受信システムを開発し、平面画像形成(C スキャン)を行う。
- (5) 観測対象物は、これまでの研究経過から集積回路[Integrated Circuit (IC)]とし、内部構造の状態検出を目指す。

#### (1)の概略

本研究で、P(VDF/TrFE)圧電材料を用いる理由は、本材料は無機質の圧電材料であるチタン酸ジルコン酸鉛 (PZT) と比較して、音響インピーダンス値が 1桁小さいことに着目した点である(空気は音響インピーダンス値が小さいため、圧電材料の音響インピーダンス値が小さいほど、送受信効率が上昇する)。この圧電材料は、有機溶媒で容易に溶かすことができるため、電極を兼ねる金属基板上に直接展開することができ、接着剤が不要である(接着剤を用いると、効率の減少が起こる)。

#### (2)の概略

画像の高分解能化を行う場合は、利用する超音波の周波数と波長の関係から MHz 帯域とする必要がある。この場合、前述の通り高周波数に伴い、空気の吸収値が増大する。このため、これまでの研究経過から開発する P(VDF/TrFE)トランスデューサは、2MHz に設定した。

#### (3)の概略

開発した P(VDF/TrFE)トランスデューサは、ネットワークアナライザにより、Admittance/Phase -Frequency の測定を行う。この結果に基づき、P(VDF/TrFE)トランスデューサの挿入損失/周波数の実測を行う(実測値の測定)。この実測値は、超音波の送受信距離間の空気吸収値を含む。このため、各周波数での空気吸収値を引去り、正確な P(VDF/TrFE)トランスデューサの挿入損失を求める。P(VDF/TrFE)トランスデューサの挿入損失(実測値)を Mason の等価回路から評価を行う。

#### (4)の概略

開発した 2MHz-P(VDF/TrFE)トランスデューサを、一旦、既存の超音波送受信装置に設置し、このトランスデューサの効率を最大限に引き出すため、出力アンプの高出力化・受信回路の改良および伝送回路の再構築を行う。

#### (5)の概略

超音波透過法による観測対象物は、これまでの研究経過により集積回路(11229-12 LOGIC-IC ROCKWELL 社)を用いる。

### 3. 研究の方法

研究目的の項、(1)～(5)に対応して、それぞれの概略を述べる。

(1) PVDF系コポリマーであるP(VDF/TrFE)(75/25mol%)圧電材料を有機溶媒(ジメチルホルムアミド:DMF)に溶かしたP(VDF/TrFE)溶液を、厚さ0.6mmの銅板上に展開する。次に、真空蒸留法によりDMFを除去し、厚さ0.3mmのP(VDF/TrFE)膜を得る。引き続き、常誘電相(145℃)で数時間熱処理後、結晶化を行う。その後、分極処理を行い圧電振動子を得る。この時点で、圧電振動子をネットワークアナライザにより、Admittance/Phase-Frequencyの測定を行う(トランスデューサを製作する前の一次的な性能評価)。次に、この圧電振動子から焦点型P(VDF/TrFE)トランスデューサを製作する。

(2) P(VDF/TrFE)トランスデューサの動作中心周波数は、これまでの研究経過から、2MHzとする。2MHz-P(VDF/TrFE)トランスデューサ振動子の厚みは、材料の音速から求まる1/4波長( )から、0.3mmとなる。この振動子厚みの制御は、製膜するP(VDF/TrFE)の面積に対応して展開する溶液容量および溶液濃度を調節する。

(3) 上述(2)で開発したP(VDF/TrFE)トランスデューサの開口径は、直径約20mm・開口径は約80度である。P(VDF/TrFE)トランスデューサは、ネットワークアナライザにより、Admittance/Phase-Frequencyを測定(二次測定)し、その後、挿入損失/周波数を可変アッテネータにより測定する。

(4) 発振周波数(2MHz)は、パースト波(波数約50サイクル)とし、送受信波を安定させる。発振器からの送信信号を、高周波アンプにより増幅し、送信用P(VDF/TrFE)トランスデューサに印加する。受信用P(VDF/TrFE)トランスデューサとアンプとの整合回路を追加し、最大の受信信号電圧を得るように、焦点を調整する(XYZステージによる調整)。

(5) 上述(4)で改良した透過用超音波送受信システムに、観測対象物IC(11229-12)を設置し透過信号を検出する。

### 4. 研究成果

本研究では、従来行っていた平面型P(VDF/TrFE)トランスデューサから、更に発展させ、焦点を持つ凹面型のP(VDF/TrFE)トランスデューサを開発した[3.研究の方法(3)]。開発したP(VDF/TrFE)トランスデューサの挿入損失は、72dB(1.97MHz)であった。これは、接着剤を用いて製作したP(VDF/TrFE)トランスデューサよりも、20dB効率が良い。開発した凹面型P(VDF/TrFE)トランスデューサを用いて、更に改良した送受信分離型透過画像装置に設置し、観測対象物[11229-12(Logic IC)]の、透過法による受信信号の検出に成功した。更にCスキャンを行った。得られた画像からは、IC内のチップ部・ボンディングワイヤーおよびフィキシングテープなどが観測(検出)できた。今後は、P(VDF/TrFE)トランスデューサの効率を更に上昇させるために、電気機械結合係数値(k<sub>t</sub>)をより向上させ、また音響整合層を付加することにより、更なる高周波での画像化に期待がもてる。現在、本研究の成果として投稿中である(Ultrasonics)。

## 5. 主な発表論文等

### [雑誌論文](計 1 件)

高橋貞幸、平面型圧電高分子トランスデューサを用いた空中超音波による IC の透過画像、超音波テクノ、査読無、Vol 29.No.3、2017、pp64-68

### [学会発表](計 4 件)

高橋貞幸、非接触による焦点型圧電高分子トランスデューサを用いた集積回路の画像形成、日本音響学会 2018 年秋季研究発表会、2018

高橋貞幸、音響整合材料による圧電高分子トランスデューサの効率改善について、日本音響学会 2017 年秋季研究発表会、2017

Sadayuki Takahashi, Acoustic imaging and measuring in air at MHz range using P(VDF/TrFE) transducers constricted piezoelectric polymer films, 2017 International Symposium of Innovational Piezoelectric Materials and Acoustic Devices and Their Applications, 2017, China

高橋貞幸、凹面型圧電高分子トランスデューサを用いた空中超音波透過法による高分解能画像形成、日本音響学会 2016 年秋季研究発表会、2016

### [その他]

ホームページ等

<http://keiai.kj.yamagata-u.ac.jp/takahashi.files/happyou.html>