

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 21 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560410

研究課題名（和文）超高感度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物質内部の画像形成

研究課題名（英文）Acoustic imaging of the substance inside using super-high sensitivity air-coupled P(VDF/TrFE) transducers in air

研究代表者

高橋 貞幸 (SADAYUKI TAKAHASHI)

山形大学・地域教育文化学部・技術専門職員

研究者番号：10396559

研究成果の概要（和文）：P(VDF/TrFE)は、圧電高分子材料中最大の電気機械結合係数($kt=0.3$)をもつ。また、この圧電材料は、音響インピーダンスが小さいため空中用の超音波トランスデューサとして用いると、MHz 帯域での送受信が可能である。本研究では、P(VDF/TrFE)溶液から、直接レゾネータを製作できる点に着目し、接着ロスのない高感度のトランスデューサを用いて、高周波での物質内部の画像化を試みた。その結果、2.5MHz の高周波に於いて、IC(ROCKWELL/11229-12)内部の画像化に成功した。

研究成果の概要（英文）：Copolymer of vinylidene fluoride and trifluoroethylene [P(VDF/TrFE)] has the largest coupling factor ($kt=0.3$) among piezoelectric polymers. Furthermore, it is possible to transmit and receive the ultrasonic waves at MHz range, because of that low acoustic impedance of P(VDF/TrFE) transducer. In this study, Acoustic imaging of the substance inside was tried using P(VDF/TrFE) transducers made by a solution casting method for use in the MHz range in air. As the results, acoustic imaging using the air coupled P(VDF/TrFE) transducers at 2.5 MHz had succeeded to display a chip of IC (ROCKWELL/11229-12).

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：電気電子工学

科研費の分科・細目：計測工学・センシングデバイス

キーワード：高分子、圧電体、空気中、超音波、高周波数

1. 研究開始当初の背景

空気(大気)中に於ける、これまでの超音波

の送受信可能な周波数は、ほとんど kHz 帯域 (40kHz が一般的)が主流であった。高周波数である MHz 帯域での超音波の送受信はあま

り行われたことがない。その理由には2つの要因が存在する。その第1は、圧電振動体から空気中に超音波が照射される場合、圧電材料と空気との音響インピーダンス差が大きく、超音波が空気中に伝達し難いためである。その差は、水と比較すると約1000倍にも達する。このため、空気中には小さいエネルギーとなった超音波しか伝達せず、受信波を捕捉することができない。第2の要因は、超音波の減衰係数が周波数の2乗に比例して増大するため、MHz帯域では、超音波の減衰値が大きくなり、その受信波を捕捉できなくなる。これら2つの要因が同時に発生するため、空気中では、MHz帯域での超音波送受信が困難という技術的な理由によっている。

本研究者は、無機の圧電体であるチタン酸ジルコン酸鉛(PZT)と比較して、圧電材料の音響インピーダンス値が、1桁小さい高分子圧電材料であるP(VDF/TrFE)に着目し、2~6MHzの空中超音波画像形成を行ったことを報告してきた。一般に、超音波トランスデューサを製作する場合、電極を兼ねるバッキングプレートと圧電体との接合には、主にエポキシ系の接着剤が用いられる。この方式により製作されるトランスデューサは、接着層での振動エネルギー低下が、およそ20~30dB存在することが判明している。本研究者は、P(VDF/TrFE)のレゾネータをコポリマー溶液から直接展開法により製作することに着目し、Masonの等価回路からシミュレーションした結果、接着ロスの存在しない高感度空中用超音波トランスデューサが開発できることを突き止めた。このため、本研究では、観測対象物の表面反射法による画像形成から更に発展させ、観測対象物内部の画像形成することを立案および計画した。

2. 研究の目的

本研究では、圧電高分子材料であるP(VDF/TrFE)を用いて、空気を媒質とした超音波トランスデューサを開発し、物質内部の画像形成を実証することを、主目的とする。

上述の目的を達成するために、以下の(1)~(4)のコンセプトを設定し目的を遂行した。

- (1) 透過画像用の観測対象物は、これまでの研究経過から Integrated Circuit (IC)とし、内部の Chip の検出を目指す。
- (2) 空気中での超音波の減衰を考慮し 2~3MHz で動作する P(VDF/TrFE)トランスデューサをコポリマー直接展開法により製作する。
- (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) 透過画像用の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。

3. 研究の方法

研究目的の項、(1)~(4)に対応してそれぞれの概略を述べる。

- (1) これまでの研究経過から、2MHz(ϕ 22mm)の P(VDF/TrFE)トランスデューサにより、厚み 3mm のシリコンゴムからの透過信号(多重反射)の検出に成功している。また、同トランスデューサによる、厚み 1.5mm のポリステレン板や、10 μ m のアルミホイルなどは、十分に透過することが判明している。このため、これらの経験に基づき、非破壊検査用として応用可能な IC を観測対象物に選択した。
- (2) 既に厚み 100 μ m までは、P(VDF/TrFE)コポリマー溶液からの直接展開法による製膜技術を確立している。圧電高分子膜では、結晶(非晶部も存在する)構造が大きく影響するため、結晶過度の評価は主に X 線回折法で行った。この直接展開法により、目標とする 2~3MHz のレゾネータの開発を継続する。この場合、圧電膜厚が 250 μ m(単層膜)前後である。高感度のトランスデューサは、P(VDF/TrFE)膜の分極電場が 75MV/m 以上必要と考えられるので、高電圧のポーリング装置を製作する。また、積層によるレゾネータの製作も試作する。図 1 に、本研究用のポーリングシステムのフローチャートを示す。

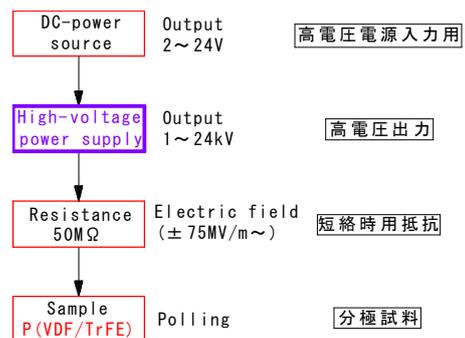


図 1. ポーリング装置の概略

- (3) 開発した P(VDF/TrFE)レゾネータをネットワークアナライザにより実測し、圧電膜の性能評価を Mason の等価回路より評価する。引き続き高性能の P(VDF/TrFE)レゾネータから、空中用トランスデューサを製作する。製作したトランスデューサの[周波数/挿入損失]を実測し、Mason の等価回路から同様に評価する。図 2 にトランスデューサ挿入損失

測定方法の概略図を示す。

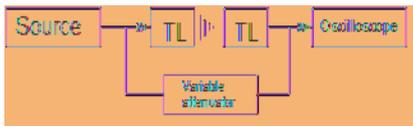


図 2. トランスデューサの挿入損失測定方法の概略

- (4) 図 3 に透過用超音波送受信システムの概略図を示す。発振機からの出力されるパースト波をおよそ 1kV 程度まで増幅し、観測対象物に照射する。観測対象物を透過した超音波信号を、small-signal-AMP により受信し、オシロスコープで観測後 X-Y スキャンし平面画像化を行う。

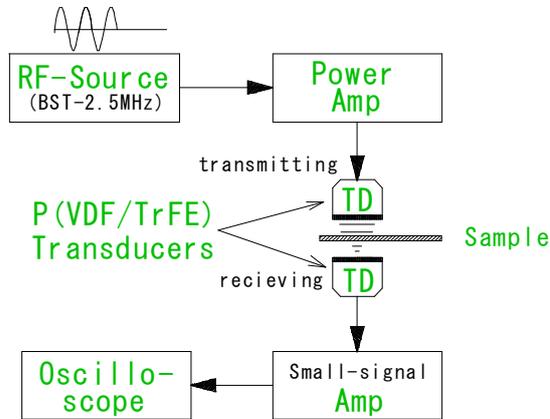


図 3. 透過用超音波送受信システムの概略

4. 研究成果

本研究で使用した圧電高分子材料は [P(VDF/TrFE) (75/25mol%)] であり、分子量は 350,000g/mol である。このコポリマーを DMF で溶かし、約 20% の溶液を基板 (電極) 上に展開した。その後約 140°C で 2 時間熱処理を行い ϕ 16mm のレゾネータを得た。図 4 には、開発した平面型の P(VDF/TrFE) 空中超音波トランスデューサの概略図を示した。

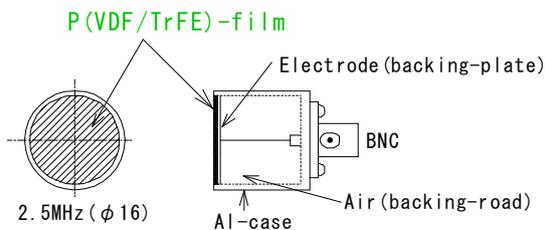


図 4. 平面型 P(VDF/TrFE) トランスデューサの概略

図 4 に示した P(VDF/TrFE) トランスデューサは、2.5MHz に動作の中心周波数をもつ。図 5 に本トランスデューサの性能曲線を示した。

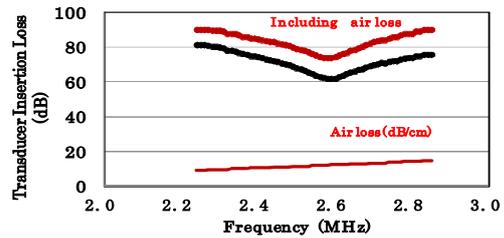


図 5. P(VDF/TrFE) トランスデューサの動作特性

このコポリマー直接展開法によって製作された P(VDF/TrFE) トランスデューサは、接着ロスがないため、約 60dB の高性能をもつ。本トランスデューサを図 3 に示した超音波送受信システムに取り付け、物質内部の透過画像形成を試みた。図 6 に観測対象物である LSI (通称 8255 / サイズ 51×13mm 厚さ 4.1mm 中心に厚み 0.25mm の電極 40 本がエポキシ樹脂にて封入) の分解写真を示した。

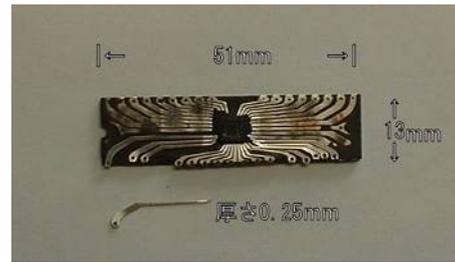


図 6. 観測対象物 [LSI (8255)] を分解した写真

図 7 には、8255 の裏面に 3 枚の真鍮板を取り付けた観測対象物 (左図)、その超音波透過画像 (中央図) および LSI (8255) のみの透過画像を示した。中央図より LSI の輪郭および真鍮板が確認可能なことが分かる。右図は Chip 部が微かに判別できる程度であった。

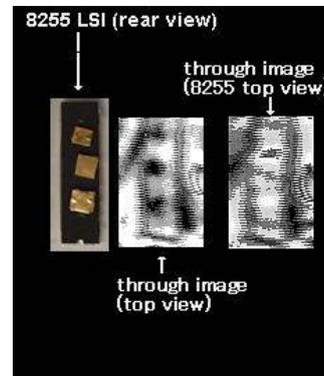


図 7. 対象物の写真 (左図)、左図の透過 (中央図) および 8255 のみの透過画像 (右図)

図7の結果から2.5MHzの超音波がLSI-8255 (エポキシ樹脂/金属電極/エポキシ樹脂)を透過可能であることが判明した。そこで、本研究の最終目的であるICのChipを検出するために、φ10mmのP(VDF/TrFE)トランスデューサを開発し、IC[ROCKWELL/11229-12]の透過画像形成を試みた(トランスデューサの構造は、図4と同じ)。以下に示す図8(a)は、IC(11229-12)サンプルの写真像である。図8(b)はそのX線透過画像であり、図8(c)が、本超音波システムにより形成した透過画像である。高分解能ではないが、Chipの部分を検出していることが分かる。この時の実験条件は、周波数2.5MHz-送信電圧1kVのバースト波、ICとトランスデューサとの距離間隔は、上下共3mmである。平面画像形成時のスキャンステップ幅は、0.2mm/stepで行った。

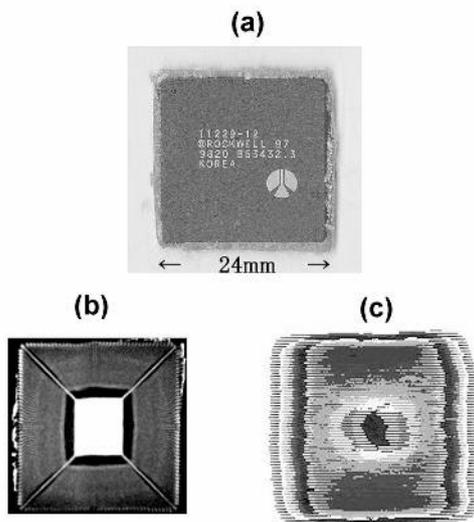


図8. 観測対象物 IC (ROCKWELL/11229-12) の写真像 (a)、(a) の X 線透過画像 (b)、2.5MHz での (a) の超音波透過画像

本研究では、これまでの圧電高分子トランスデューサを用いた、空気中に於ける対象物の表面反射画像形成から更に発展させ、物質の内部の画像形成を行った。その結果、ICのChip部の透過画像に成功した。特に本研究では、P(VDF/TrFE)のもつ電気機械結合係数(k_t)はPZT(k_t=0.51)よりも小さいが、抗電場が約10倍大きいため、高電圧の印加が可能であることが分かり、k_t値の差を補えることが判明した。本研究はまだ開発初期の段階ではあるが、今後の空中超音波による非接触の非破壊検査として役立つことが可能である。

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)

[雑誌論文] (計2件)

- ① Sadayuki Takahashi, Properties and characteristics of P(VDF/TrFE) transducers manufactured by a solution casting method for use in the MHz-range ultrasound in air, *Ultrasonics*, 査読有, 52, 2012, pp422-426
DOI:10.1016/j.ultras.2011.10.002
- ② Sadayuki Takahashi, Measurement of speed and absorption of ultrasonic waves in air at low temperature using P(VDF/TrFE) transducers, *Acoustical Science and Technology*, 査読有, 31, 2011, pp23-25
DOI:10.1250/ast.32.23

[学会発表] (計6件)

- ① 高橋貞幸、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透過画像形成、日本音響学会2013春季研究発表会、2013年3月13日、東京工科大学(八王子キャンパス)
- ② 高橋貞幸、P(VDF/TrFE)を用いた超音波顕微鏡用トランスデューサについて、日本音響学会アコースティックイメージング研究会、2012年10月24日、早稲田大学(西早稲田キャンパス)
- ③ 高橋貞幸、圧電高分子トランスデューサによるMHz帯の空中超音波画像と計測、日本音響学会2012秋季研究発表会、2012年9月21日、信州大学(長野キャンパス)
- ④ 高橋貞幸、高周波数型圧電高分子トランスデューサを用いた透過法によるLSIの空中超音波画像について、日本音響学会2011秋季研究発表会、2011年9月22日、島根大学(松江キャンパス)
- ⑤ 高橋貞幸、無接着法による圧電高分子トランスデューサの製作とその性能について、日本音響学会2011春季研究発表会、2011年3月11日、早稲田大学(西早稲田キャンパス)
- ⑥ 高橋貞幸、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透過画像の可能性について、日本音響学会2010秋季研究発表会、2010年9月15日、関西大学(千里山キャンパス)

[その他]

ホームページ等

[http://133.24.255.75/takahashi_files/ha
ppyyou.html](http://133.24.255.75/takahashi_files/happyyou.html)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 貞幸 (Sadayuki Takahashi)

山形大学・地域教育文化学部・技術専門職員

研究者番号：10396559