

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014年1月23日(23.01.2014)



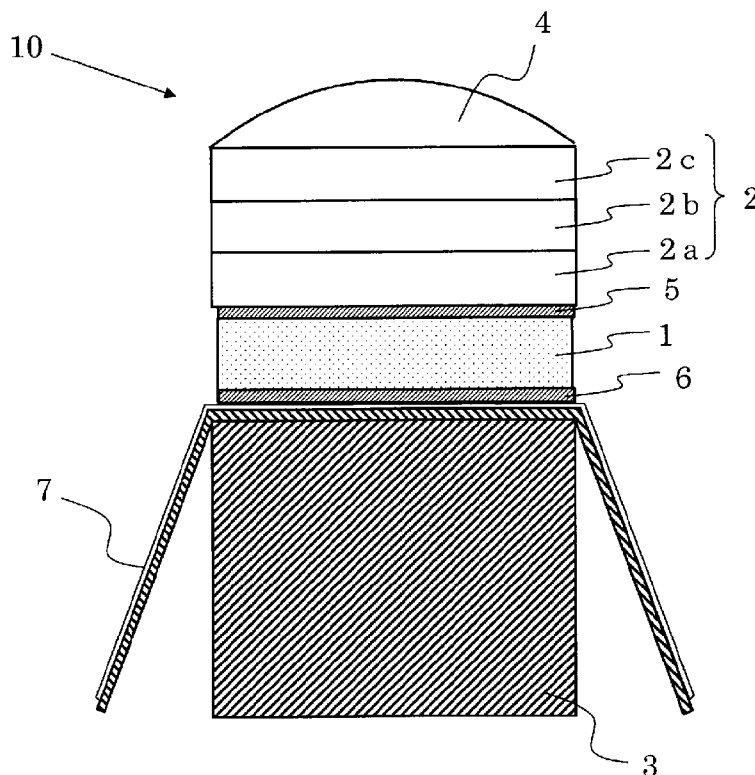
(10) 国際公開番号

WO 2014/013735 A1

- (51) 国際特許分類:
H04R 17/00 (2006.01) A61B 8/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/004374
- (22) 国際出願日: 2013年7月17日(17.07.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2012-158347 2012年7月17日(17.07.2012) JP
- (71) 出願人: パナソニック株式会社 (PANASONIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒5718501 大阪府門真市大字門真1006番地 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 斉藤 孝悦(SAITO, Koetsu). 小澤 仁(OZAWA, Masashi). 小西 美有紀(KONISHI, Miyuki).
- (74) 代理人: 橋本 公秀, 外(HASHIMOTO, Kimihide et al.); 〒1050003 東京都港区西新橋一丁目7番13号 虎ノ門イーストビルディング10階 栄光特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

- (54) Title: ULTRASONIC PROBE
- (54) 発明の名称: 超音波探触子



(57) Abstract: In an ultrasonic probe, by having used a mixture of a resin and an elastomer for at least one layer of a plurality of layers configuring an acoustic matching layer provided on one side of a piezoelectric element, broadband and smooth-form frequency characteristics and short pulse length characteristics are achieved. As a result, it is possible to obtain a high-resolution ultrasound image.

(57) 要約: 超音波探触子では、圧電素子の一方の面に設けられた音響マッチング層を構成する複数の層の少なくとも1層に、樹脂とエラストマーの混合物が用いられたことで、広帯域でスムーズな形の周波数特性とパルス長が短い特性が得られる。その結果、高分解能の超音波画像を得ることができる。

WO 2014/013735 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：超音波探触子

技術分野

[0001] 本発明は、生体等の被検体に超音波を当てて被検体の超音波画像を得るために使用される超音波探触子に関する。

背景技術

[0002] 超音波診断装置は、超音波を人間や動物等の生体の被検体に当てて、その反射信号に基づく生体内組織の断層像等をモニタに表示することで、被検体の診断に必要な情報を提供する。この際、超音波診断装置のユーザは、被検体へ超音波信号を送信し、被検体内における反射信号である超音波信号を受信するセンサを備えた超音波探触子を利用する。

[0003] 図10は、超音波探触子の一例を示す概略斜視図である。図10に示す超音波探触子100は、被検体（図示せず）との間で超音波信号を送受信するべく配列された複数個の圧電素子11と、圧電素子11の被検体側の前面（図10に示すZ方向）に設けられる1層以上（図10では3層）の音響マッチング層12（12a、12b、12c）と、音響マッチング層12の被検体側の表面に設けられた音響レンズ13と、圧電素子11の音響マッチング層12とは反対側である背面に設けられる背面負荷材14とを備える。

[0004] 圧電素子11の前面と背面には、それぞれ図示しない電極が配置される。この電極に電圧を印加して圧電素子11が振動することで超音波が発生する。

[0005] 圧電素子11は、PZT系等の圧電セラミック、PMN-PTなどの単結晶、若しくは当該材料と高分子を複合した複合圧電体、又はPVDf等に表示される高分子の圧電体等によって形成される。圧電素子11は、電圧を超音波に変換して被検体に送信し、被検体内で反射した超音波を受信して電気信号に変換する。図10に示した例では、X軸方向に複数の圧電素子11が配列されている。このような圧電素子11の複数個の配列は、電子的に超音

波を走査する所謂「電子走査型」といわれるタイプである。このタイプの超音波探触子は、位相制御により超音波ビームを偏向又は集束することができ、更に電子的に複数の圧電素子 11 を順次切換えて走査して実時間で超音波断層を画像化する。このほか、単一の圧電素子を機械的に走査させて、ほぼ時間差なく超音波断層を画像化するタイプの超音波探触子もある。

[0006] 音響レンズ 13 は、診断画像の分解能を高めるために、超音波ビームを絞る役割を果たす。図 10 に示した例では、音響レンズ 13 は、図 10 に示す Y 方向（圧電素子 11 の配列方向 X に直交する方向）に沿って延びると共に、Z 方向になめらかな凸状に形成され、超音波ビームを Y 方向に絞ることができる。なお、音響レンズ 13 はオプション要素であり、必要に応じて設けられる。

[0007] 背面負荷材 14 は、圧電素子 11 に結合されてこれを保持し、さらに不要な超音波を減衰させる役割を果たす。背面負荷材 14 もオプション要素であり、必要に応じて設けられる。

[0008] 音響マッチング層 12 は、圧電素子 11 と被検体の音響インピーダンスの差が大きいため、その不整合により生じる感度と分解能の低下を防止するために設けられている。近年、更なる高分解能化を実現するために、周波数の広帯域化の検討が進められている。その方法の一つとして、圧電素子の被検体側に設ける音響マッチング層を 3 層以上に多層化することが考えられる（例えば、特許文献 1、2 参照）。

[0009] 多層化された音響マッチング層の被検体側の層の材料は、特許文献 1 に示されるように音響インピーダンスが 2.44 メガレールスの値を有するジビニルベンゼンとの橋架けポリスチレンによって生成される熱硬化性材料を用いているものや、特許文献 2 に示されるように音響インピーダンスが約 1.97 メガレールスである低密度ポリエチレン（LDPE）のを用いたものがある。

[0010] なお、本明細書では、例えば図 10 に示した X 軸方向を「（圧電素子の）配列方向」、Y 軸方向を「（圧電素子の）幅方向」、Z 軸方向を「（圧電素

子の) 厚さ方向」とも呼ぶ。

先行技術文献

特許文献

[0011] 特許文献1：日本国特開2003-125494号公報

特許文献2：日本国特表2009-505468号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0012] 音響マッチング層を多層の構成にすると、被検体側に設ける音響マッチング層の音響インピーダンスの値をどのように選択するかにより、周波数特性の広帯域化だけではなく、周波数特性も大きく変わる。周波数特性は超音波画像の分解能に大きく影響してくるため、音響マッチング層の各層の音響インピーダンスの値をどのように選択し、その選択した値に適合する材料を用いるかが重要である。

[0013] 前述の特許文献1で説明されているように、多層化された音響マッチング層の被検体側の層の材料として、ジビニルベンゼンとの橋架けポリスチレンによって生成される熱硬化性材料を用いた場合、被検体側に設ける層の音響インピーダンスが大きいため、低周波数域がもちあがり、かつリップルのある周波数特性となり、またパルス長も長くなる。このため、広帯域化ができたとしても、周波数依存減衰のある被検体に対しては、深さが浅い領域から分解能の低下が著しくなる。更に、深さが深くなるにつれて分解能が低下し、高分解能の画像を得ることが難しくなる。

[0014] また、前述の特許文献2で説明されているように、多層化された音響マッチング層の被検体側の層の材料として、低密度ポリエチレン(LDPE)を用いた場合、ジビニルベンゼンとの橋架けポリスチレンによって生成される熱硬化性材料よりも生体に近い音響インピーダンスが得られる反面、この材料は接着性が弱いため、超音波探触子を使用する環境又は運搬若しくは保存する環境の温度変化により剥れやすいといった課題がある。こういった接着

性の課題は超音波探触子の品質を左右する。

[0015] 本発明の目的は、高分解能の超音波画像を得ることができる高品質の超音波探触子を提供することである。

課題を解決するための手段

[0016] 本発明は、第1の面と第2の面とを有する圧電素子と、第1の面に接続された第1の電極と、第2の面に接続された第2の電極と、第1の面上に設けられた音響マッチング層と、を備え、音響マッチング層の少なくとも一部には、樹脂とエラストマーの混合物が用いられた構成の超音波探触子である。

[0017] また、本発明は、音響マッチング層は複数の層で構成され、少なくとも一部の音響マッチング層が、複数の層のうち、圧電素子から最も離間した位置に存在する層であることを特徴としてもよい。

[0018] また、本発明は、複数の層のうち圧電素子から最も離間した位置に存在する層のみが、混合物が用いられた層であることを特徴としてもよい。

[0019] また、本発明は、樹脂が、スチレン又はスチレン-メチルメタクリレート共重合体であることを特徴としてもよい。

[0020] また、本発明は、エラストマーが、合成ゴム又は天然ゴムであることを特徴としてもよい。

[0021] また、本発明は、合成ゴムが、ブタジエンであることを特徴としてもよい。

[0022] また、本発明は、音響マッチング層は複数の層で構成され、複数の層の各音響インピーダンスが、圧電素子に近い層から遠い層にむかって順次小さくなることを特徴としてもよい。

[0023] また、本発明は、音響マッチング層が3層で構成されたことを特徴としてもよい。

[0024] また、本発明は、少なくとも一部の音響マッチング層が、3層のうち、圧電素子から最も離間した位置に存在する層であり、少なくとも一部の音響マッチング層の音響インピーダンスは、1.9～2.3メガレールスの範囲の値であることを特徴としてもよい。

- [0025] また、本発明は、少なくとも一部の音響マッチング層が、3層のうち、圧電素子から最も離間した位置に存在する層であり、樹脂はスチレンであり、エラストマーはブタジエンであり、スチレンに混合するブタジエンの配合重量比が3～29%の範囲であることを特徴としてもよい。
- [0026] また、本発明は、音響マッチング層が4層で構成されたことを特徴としてもよい。
- [0027] また、本発明は、少なくとも一部の音響マッチング層が、4層のうち、圧電素子から最も離間した位置に存在する層であり、少なくとも一部の音響マッチング層の音響インピーダンスは、1.8～2.28メガレールスの範囲の値であることを特徴としてもよい。
- [0028] また、本発明は、少なくとも一部の音響マッチング層が、4層のうち、圧電素子から最も離間した位置に存在する層であり、樹脂はスチレンであり、エラストマーはブタジエンであり、スチレンに混合するブタジエンの配合重量比が4～40%の範囲であることを特徴としてもよい。
- [0029] また、本発明は、音響マッチング層は5層で構成されたことを特徴としてもよい。
- [0030] また、本発明は、少なくとも一部の音響マッチング層が、5層のうち、圧電素子から最も離間した位置に存在する層であり、少なくとも一部の音響マッチング層の音響インピーダンスは、1.6～1.8メガレールスの範囲の値であることを特徴としてもよい。
- [0031] また、本発明は、少なくとも一部の音響マッチング層が、5層のうち、圧電素子から最も離間した位置に存在する層であり、樹脂はスチレンであり、エラストマーはブタジエンであり、スチレンに混合するブタジエンの配合重量比が40～68%の範囲であることを特徴としてもよい。
- [0032] また、本発明は、第1の電極と電氣的に接続される導体箔が、圧電素子と音響マッチング層の間に形成されていることを特徴としてもよい。

発明の効果

- [0033] 本発明によれば、圧電素子の一方の面に設けられた音響マッチング層を構

成する複数の層の少なくとも一層に、樹脂とエラストマーの混合物が用いられるため、広帯域でスムーズな形の周波数特性とパルス長が短い特性を得ることができる。その結果、高分解能な超音波画像が得られ、且つ、接着性も良好な高品質の超音波探触子を提供できる。

図面の簡単な説明

- [0034] [図1]本発明に係る第1実施形態の超音波探触子を示す概略断面図
[図2]本発明に係る第1実施形態の超音波探触子を示す概略斜視図
[図3]第3の音響マッチング層の音響インピーダンスと、周波数比帯域及びパルス長との関係を示す図
[図4]スチレンに対するブタジエンの充填重量比と音響インピーダンスの関係を示す図
[図5]本発明に係る第2実施形態の超音波探触子を示す概略斜視図
[図6]第4の音響マッチング層の音響インピーダンスと、周波数比帯域及びパルス長との関係を示す図
[図7]本発明に係る第3実施形態の超音波探触子を示す概略斜視図
[図8]第5の音響マッチング層の音響インピーダンスと、周波数比帯域及びパルス長との関係を示す図
[図9]本発明に係る第4実施形態の超音波探触子を示す概略斜視図
[図10]従来技術に係る超音波探触子の構成を示す概略斜視図

発明を実施するための形態

- [0035] (第1実施形態)

図1は、第1実施形態の超音波探触子を示す概略断面図である。図2は、第1実施形態の超音波探触子を示す概略斜視図である。

- [0036] 超音波探触子は、超音波診断装置を構成する際に、ケーブルを介して超音波診断装置の本体と電氣的に接続されて使用され得る。超音波探触子は、超音波を送受信し、その受信波を電気信号に変換して超音波診断装置の本体に送信する。超音波診断装置内の信号処理部によって画像が生成され、表示部にその画像が表示される。

[0037] 図1に示す超音波探触子10は、圧電素子1と、接地電極5と、信号電極6と、信号用電気端子7と、背面負荷材3と、音響マッチング層2と、音響レンズ4とを備える。

[0038] 圧電素子1は、PZT系などの圧電セラミック、PZN-PT若しくはPMN-PT系のような圧電単結晶、又は当該材料と高分子を複合した複合圧電体等によって形成され、超音波を送受信する。接地電極5は、金や銀を蒸着若しくはスパッタリングすることによって、又は銀の焼き付け等によって、圧電素子1の一方の面に設けられる。接地電極5は、圧電素子1の当該一方の面と電氣的に接続されている。

[0039] 信号電極6は、接地電極5と同じように、金や銀を蒸着若しくはスパッタリングすることによって、又は銀の焼き付け等によって、接地電極5が設けられた圧電素子1の前記一方の面と対向するもう一方の面に設けられる。信号電極6は、圧電素子1の当該もう一方の面と電氣的に接続されている。信号用電気端子7は、信号電極6と電氣的に導通する。背面負荷材3は、圧電素子1を物理的に保持し、且つ、必要に応じて不要な超音波信号を減衰させる。

[0040] 音響マッチング層2は、圧電素子1の接地電極5上に設けられる。音響マッチング層2は、3層（図1では、それぞれ圧電素子1側から2a、2b、2c）で構成されている。以下、音響マッチング層2を構成する各層を「音響マッチング分割層」という。図1に示した例では、圧電素子1側から被検体側へ、第1の音響マッチング分割層2a、第2の音響マッチング分割層2b、第3の音響マッチング分割層2cの順にそれぞれ積層されている。

[0041] 音響レンズ4は、オプション要素であり、音響マッチング層2上に配置される。また、図1に示した例では、圧電素子1と音響マッチング層2は個々に分割されており、これら分割された溝の部分には音響的な結合が小さいシリコーンゴム又はウレタンゴム等のような材料が充填されている。

[0042] 超音波探触子10が接続されている図示しない超音波診断装置の本体から接地電極5と信号電極6に電圧が印加されると、圧電素子1が機械的に振動

して超音波が発生する。圧電素子 1 で発生した超音波は音響マッチング層 2 を伝播して被検体に送信される。また、圧電素子 1 は、被検体からの反射波を受信する。生体を被検体とする超音波診断装置の超音波探触子は、生体に直接接触または超音波伝播媒体を介して間接的に接触して、生体に超音波を送信し生体から反射してきた反射波を再び受信するいわゆるセンサである。超音波探触子が受信した信号は超音波診断装置の本体で処理され、モニタに表示される画像は診断等のために用いられる。

[0043] 音響マッチング層 2 を構成する第 1 の音響マッチング分割層 2 a には、音響インピーダンスが 8 ～ 20 メガレールの範囲の値を有する材料が用いられる。当該材料は、例えばシリコン、水晶、溶融石英などのガラス、快削性セラミックス、または金属粉を充填したグラファイトなどである。また、第 2 の音響マッチング分割層 2 b には、音響インピーダンスが 3 ～ 8 メガレールの範囲の値を有する材料が用いられる。当該材料は、例えばグラファイト、またはエポキシ樹脂に金属若しくは酸化物などのフィラーを充填したエポキシ樹脂である。また、音響マッチング層 2 のうち最も圧電素子 1 から離間した位置に設けられる第 3 の音響マッチング分割層 2 c は、エラストマー材料を含む少なくとも 2 種類の材料の混合物、例えば、樹脂材料にエラストマー材料を混合した材料が用いられ、音響インピーダンスが 1.9 ～ 2.3 メガレールの範囲の値を有することが好ましい。樹脂材料にエラストマー材料を混合した混合物は、樹脂材料とエラストマーの共重合体からなる。

[0044] それぞれの音響マッチング分割層の音響インピーダンスは、圧電素子 1 に近い層から被検体に近い層に向かって順に小さくなる。

[0045] 第 3 の音響マッチング分割層 2 c は、エラストマー材料を含む混合物からなるため、接着性が高い。また、第 3 の音響マッチング分割層 2 c の材料は少なくとも 2 種類の混合物であるため、その配合比率によって音響インピーダンスを適宜調整することができる。

[0046] 以下、図 3 を用いて、第 3 の音響マッチング分割層 2 c の音響インピーダンスが 1.9 ～ 2.3 メガレールであることが好適である理由について説

明する。図3は、第3の音響マッチング分割層2cの音響インピーダンスと、パルス長及び周波数比帯域との関係を示す図である。図3に示すグラフの横軸は、第3の音響マッチング分割層2cの音響インピーダンス（単位はメガレールス）を示す。また、同グラフの左側の縦軸はパルス長（単位は μs ）を示し、右側の縦軸は周波数比帯域（帯域幅／中心周波数）（単位はパーセント）を表す。

[0047] なお、図3に示した例では、超音波の中心周波数を7.5MHzに設定して、背面負荷材3の音響インピーダンスが7メガレールス、圧電素子1にPZT系の圧電セラミックスでPZT-5H相当の材料を用い、第1の音響マッチング分割層2aは音響インピーダンスが13メガレールスの快削性セラミックスを用い、第2の音響マッチング分割層2bは音響インピーダンスが4メガレールスの金属粉を充填したエポキシ樹脂を用いて、最も被検体側に位置する第3の音響マッチング分割層2cの音響インピーダンスを1.6～2.6メガレールスの範囲で変動させた構成において、周波数比帯域及びパルス長を計算した。第1～第3の音響マッチング分割層2a、2b、2cの各厚みは0.25波長とした。図3では、周波数比帯域は-6dBでの値が実線で示され、パルス長は-6dB、-20dB、-40dBの各レベルでの値がそれぞれ破線で示されている。

[0048] 図3に示す例では、パルス長は、-6dBのレベルでは第3の音響マッチング分割層2cの音響インピーダンスが変化してもほとんど大きな数値変動がない。しかし、-20dBのレベルでは、音響インピーダンスが1.9メガレールスより小さい値になったとき及び2.3メガレールスより大きい値になったときにパルス長の値が比較的大きくなる。また、-40dBのレベルでは、音響インピーダンスが1.7メガレールスより小さい値になったときにパルス長の値が比較的大きくなる。パルス長が小さい値であるほど分解能が高くなり良好であるので、パルス長を小さい値にすることが分解能を向上させるためには重要である。

[0049] 一方、周波数比帯域の値が大きいほど分解能が高くなり、被検深度が深く

なる。音響マッチング層が3層で構成されている場合、周波数比帯域は90パーセント以上であることが望ましい。図3に示す例において周波数比帯域が90パーセント以上となるのは、第3の音響マッチング分割層2cの音響インピーダンスが1.75メガレールス以上2.4メガレールス以下である。

[0050] このように、高分解能のためには、周波数比帯域は大きく、且つ、パルス長が短いことが望ましい。これは即ち、超音波の周波数特性の形がスムーズになり正規分布の形に近くなることを示している。図3に示したパルス長および周波数比帯域の両特性の結果に基づけば、第3の音響マッチング分割層2cの音響インピーダンスは1.9メガレールス以上かつ2.3メガレールス以下の範囲が望ましいことがわかる。

[0051] 次に、第3の音響マッチング分割層2cの材料として、樹脂材料であるスチレンと合成ゴム材料の一つであるブタジエンの混合物を用いた場合のその混合比について、図4を用いて説明する。図4は、スチレンに対するブタジエンの充填重量比と音響インピーダンスの関係を示す図である。図4に示すグラフの横軸は、スチレンに対してブタジエンを配合した混合充填重量比（単位はパーセント）の値を示す。つまり、横軸の0の値はスチレン100%を示し、100の値はブタジエン100%を示す。また、同グラフの縦軸は、音響インピーダンス（単位はメガレールス）を示す。

[0052] 図4に示されているように、スチレン100%（横軸が0の値）の音響インピーダンスは2.42メガレールスであり、ブタジエン100%（横軸が100の値）の音響インピーダンスは1.37メガレールスである。スチレンに対してブタジエンの混合比を変えることにより、スチレン単体とブタジエン単体の各音響インピーダンスの間で任意の値を得ることができる。ブタジエンの混合比を例えば5%、10%、20%、30%にしたときの混合物の音響インピーダンスは、それぞれ2.25（音速は2165 m/sec.）、2.17（音速は2107 m/sec.）、2.07（音速は2028 m/sec.）、1.87（音速は1853 m/sec.）メガレールスで

ある。なお、音響インピーダンスは、作成した材料の密度と音速を 25℃で測定して、密度×音速から算出した値を示す。

[0053] 第3の音響マッチング分割層2cの音響インピーダンスの好ましい範囲である1.9～2.3メガレールスの範囲となる、第3の音響マッチング分割層2cに使用する場合のスチレンに混合するブタジエンの充填重量比は3～29%の範囲であるため、この範囲の充填重量比でスチレンにブタジエンを混合することが好ましい。

[0054] スチレンとブタジエンの混合物は、樹脂材料をフィルム化する方法と同じような方法で、任意の厚みのフィルム化が容易にでき、極めて大量に精度良く作製することができるという利点があるため、コストも下げることができる。また、ブタジエンが混合されていることで、スチレン単体に比べて接着性もよく、高品質の超音波探触子とすることができる。

[0055] 以上説明したように、3層構造の音響マッチング層2において、被検体側に設ける第3の音響マッチング分割層2cの材料として、スチレンにブタジエンを任意の充填重量比で混合した混合物を用いることで、周波数の広帯域化とパルス長の短い特性、つまり、超音波の周波数特性の形が正規分布に近い特性を得ることができる。このため、高分解能の超音波画像を得ることができる超音波探触子の実現可能である。

[0056] なお、本実施形態では、第1、第2の音響マッチング分割層2a、2bの各音響インピーダンスがそれぞれ1.3メガレールス、4メガレールスの場合について説明している。第1の音響マッチング分割層2aの音響インピーダンスが8～20メガレールスの範囲で変動し、第2の音響マッチング分割層2bの音響インピーダンスが3～8メガレールスの範囲で変動した場合には、それぞれの組合せにおいて、第3の音響マッチング分割層2cの音響インピーダンスは最適な値が算出される。しかし、基本的には、第3の音響マッチング分割層2cの好ましい音響インピーダンスの値は、1.9～2.3メガレールスの範囲から大きく逸脱することはない。

[0057] また、本実施形態では、圧電素子1を1次元に配列した図2に示す構成に

ついて説明したが、当該構成を複数個配列した2次元アレイ状の電子走査型の超音波探触子に適用しても同様の効果が得られる。このとき、圧電素子1と対応させて3層の音響マッチング層2もX軸方向に複数個に分割しても、第1、第2の音響マッチング分割層2a、2bは分割して第3の音響マッチング分割層2cは分割しないで作製しても良い。また、単一の圧電素子の超音波探触子に適用しても同様の効果が得られる。

[0058] なお、本実施形態では、樹脂材料として熱可塑性材料のスチレンを用いた場合について説明したが、このほか熱可塑性材料の樹脂材料として、例えばスチレン-メチルメタクリレート共重合体を用いても同様の効果が得られる。樹脂材料は合成樹脂であることが好ましい。合成樹脂は、熱可塑性樹脂と熱硬化性樹脂に大別できる。熱硬化性樹脂材料としては、例えばフェノール樹脂、エポキシ樹脂又はウレタン樹脂などを用いることができる。樹脂材料は、前述した樹脂材料のほかに、エラストマー材料と混合できる材料であれば、これらの樹脂材料に限定するものではないが、特に熱可塑性材料を用いることが好ましい。熱可塑性樹脂材料は、樹脂材料とエラストマーの混合物を作製する際に、一軸又は二軸混練押出機などでエラストマーなどを均一に分散させた混合物にすることが可能であり、この混合物を押出し成形機で成形できる。このため、音響マッチング層としてばらつきの少ない均一な音響特性の材料を得ることができる。更に、熱可塑性樹脂材料を用いた混合物は、押出し成形機などを用いて均一で高精度に所望の厚みにフィルム化して量産することができるというコスト的なメリットもある。

[0059] また、本実施形態では、エラストマー材料としてブタジエンを用いた場合について説明したが、このほか天然ゴムや合成ゴム材料でも樹脂材料との混合物を作成できるエラストマー材料であれば、これらに限定するものではない。なお、エラストマー材料は、ブタジエンのように超音波減衰の小さいエラストマー材料を選択するとなお好ましい。なぜなら、混合物にしたときの材料の超音波減衰も小さくできるためである。音響マッチング層の超音波減衰が超音波探触子の感度に影響し、感度の高いことが望まれる超音波探触子

では、音響マッチング層の材料の減衰も考慮する必要がある。特に高周波数領域で使用する超音波探触子の場合には影響が大きくなるため、音響マッチング層は、超音波減衰の小さな材料であることが好ましい。

[0060] 本実施形態では、第3の音響マッチング分割層2cの材料として、スチレンとブタジエンの2種類の混合物を用いると説明した。このほか、スチレンとブタジエンを基本にして、そこに他の材料、例えば強度を高める必要がある場合には繊維状の材料を、硬さを高める場合には酸化物などの粉体などを配合しても、前記の範囲の音響インピーダンスが得られることができれば同様の効果が得られる。

[0061] また、本実施形態では、3層構造の音響マッチング層2について説明したが、圧電素子1の音響インピーダンスが小さい材料、例えばPZTの圧電セラミックスとエポキシ樹脂の複合圧電体で音響インピーダンスを約15メガレールス以下の値にしたものを用いる場合、音響マッチング層2は1層や2層からなる構成にすることができ、且つ広帯域化が可能となる。このように、1層又は2層の音響マッチング層に対して、樹脂材料とエラストマー材料の混合物からなる層を用いてもよい。

[0062] (第2実施形態)

本発明に係る第2実施形態の超音波探触子について、図面を参照して説明する。第2実施形態では、第1実施形態で説明した3層構造の音響マッチング層2の代わりに、4層構造の音響マッチング層が設けられる。図5は、第2実施形態の超音波探触子を示す概略斜視図である。図5に示した第2実施形態の超音波探触子20は、図1及び図2に示した第1実施形態の超音波探触子10が備える音響マッチング層2の構成以外は同様の構成を有する。第1実施形態の超音波探触子10が備える構成要素と同一の構成要素には同一の符号を付して説明を省略する。

[0063] 超音波探触子20は、第1実施形態と同様の圧電素子1、接地電極5、信号電極6、信号用電気端子7、背面負荷材3及び音響レンズ4、並びに、音響マッチング層202を備える。

- [0064] 図5に示した例では、圧電素子1と音響マッチング層202は個々に分割されており、これら分割された溝の部分には音響的な結合が小さいシリコーンゴム又はウレタンゴム等のような材料が充填されている。
- [0065] 音響マッチング層202は、圧電素子1の接地電極5上に設けられる。音響マッチング層202は、4層（図5では、それぞれ圧電素子1側から202a、202b、202c、202d）で構成されている。音響マッチング層202を構成する各層を「音響マッチング分割層」という。図5に示した例では、圧電素子1側から被検体側へ、第1の音響マッチング分割層202a、第2の音響マッチング分割層202b、第3の音響マッチング分割層202c、第4の音響マッチング分割層202dの順にそれぞれ積層されている。
- [0066] 第1の音響マッチング分割層202aには、音響インピーダンスが15～25メガレールの範囲の値を有する材料が用いられる。当該材料は、例えばシリコン単結晶、水晶、熔融石英などのガラス、または快削性セラミックスなどである。また、第2の音響マッチング分割層202bには、音響インピーダンスが6～12メガレールの範囲の値を有する材料が用いられる。当該材料は、例えばグラファイト、またはエポキシ樹脂に金属若しくは酸化物などのフィラーを充填したエポキシ樹脂などである。また、第3の音響マッチング分割層202cには、音響インピーダンスが3～5メガレールの範囲の値を有する材料が用いられる。当該材料は、例えばグラファイト、樹脂材料、またはエポキシ樹脂に金属若しくは酸化物などのフィラーを充填したエポキシ樹脂などである。また、音響マッチング層202のうち最も圧電素子1から離間した位置に設けられる第4の音響マッチング分割層202dは、エラストマー材料を含む少なくとも2種類の材料の混合物、例えば、樹脂材料にエラストマー材料を混合した材料が用いられ、音響インピーダンスが1.8～2.28メガレールの範囲の値を有することが好ましい。樹脂材料にエラストマー材料を混合した混合物は、樹脂材料とエラストマーの重合体からなる。

- [0067] それぞれの音響マッチング分割層の音響インピーダンスは、圧電素子 1 に近い層から被検体に近い層に向かって順に小さくなる。
- [0068] 第 4 の音響マッチング分割層 202d は、エラストマー材料を含む混合物からなるため、接着性が高い。また、第 4 の音響マッチング分割層 202d の材料は少なくとも 2 種類の混合物であるため、その配合比率によって音響インピーダンスを適宜調整することができる。
- [0069] 以下、図 6 を用いて、第 4 の音響マッチング分割層 202d の音響インピーダンスが 1.8 ～ 2.28 メガレールスであることが好適である理由について説明する。図 6 は、第 4 の音響マッチング分割層 202d の音響インピーダンスと、パルス長及び周波数比帯域との関係を示す図である。図 6 に示すグラフの横軸は、第 4 の音響マッチング分割層 202d の音響インピーダンス（単位はメガレールス）を示す。また、同グラフの左側の縦軸はパルス長（単位は μs ）を示し、右側の縦軸は周波数比帯域（帯域幅／中心周波数）（単位はパーセント）を表す。
- [0070] なお、図 6 に示した例では、超音波の中心周波数を 7.5 MHz に設定して、背面負荷材 3 の音響インピーダンスが 7 メガレールス、圧電素子 1 に PZT 系の圧電セラミックスで PZT-5H 相当の材料を用い、第 1 の音響マッチング分割層 202a は音響インピーダンスが 17 メガレールスの快削性セラミックスを用い、第 2 の音響マッチング分割層 202b は音響インピーダンスが 8 メガレールスの金属粉を充填したエポキシ樹脂を用い、第 3 の音響マッチング分割層 202c は音響インピーダンスが 3.8 メガレールスの金属粉を充填したエポキシ樹脂を用いて、最も被検体側に位置する第 4 の音響マッチング分割層 202d の音響インピーダンスを 1.6 ～ 2.6 メガレールスの範囲で変動させた構成において、周波数比帯域及びパルス長を計算した。第 1 の音響マッチング分割層 202a の厚みは 0.27 波長とし、第 2 ～ 第 4 の音響マッチング分割層 202b、202c、202d の各厚みは 0.25 波長とした。図 6 では、周波数比帯域は -6 dB での値が実線で示され、パルス長は -6 dB、-20 dB、-40 dB の各レベルでの値がそれ

ぞれ破線で示されている。

[0071] 図6に示す例では、パルス長は、 -6 dB のレベルでは第4の音響マッチング分割層202dの音響インピーダンスが変化してもほとんど大きな数値変動がない。しかし、 -20 dB のレベルでは、音響インピーダンスが1.8メガレールスより小さい値になったとき及び2.3メガレールスより大きい値になったときにパルス長の値が比較的大きくなる。また、 -40 dB のレベルでは、音響インピーダンスが1.8メガレールスより小さい値になったときにパルス長の値が比較的大きくなる。パルス長が小さい値であるほど分解能が高くなり良好であるので、パルス長を小さい値にすることが分解能を向上させるためには重要である。

[0072] 一方、周波数比帯域の値が大きいほど分解能が高くなり、被検深度が深くなる。音響マッチング層が4層で構成されている場合、周波数比帯域は90パーセント以上であることが望ましい。図6に示す例において周波数比帯域が90パーセント以上となるのは、第4の音響マッチング分割層202dの音響インピーダンスが1.6メガレールス以上2.28メガレールス以下である。なお、周波数比帯域は95パーセント以上であるとより好ましく、この場合の第4の音響マッチング分割層202dの音響インピーダンスは1.65メガレールス以上2.07メガレールス以下である。

[0073] このように、高分解能のためには、周波数比帯域は大きく、且つ、パルス長が短いことが望ましい。これは即ち、超音波の周波数特性の形がスムーズになり正規分布の形に近くなることを示している。図6に示したパルス長および周波数比帯域の両特性の結果に基づけば、第4の音響マッチング分割層202dの音響インピーダンスは1.8メガレールス以上2.28メガレールス以下の範囲が望ましいことがわかる。更に、第4の音響マッチング分割層202dの音響インピーダンスは、1.8メガレールス以上2.07メガレールス以下の範囲であるとより好ましい。

[0074] 次に、第4の音響マッチング分割層202dの材料として、樹脂材料であるスチレンと合成ゴム材料の一つであるブタジエンの混合物を用いた場合の

その混合比について、図4を用いて説明する。第4の音響マッチング分割層202dの音響インピーダンスの好ましい範囲である1.8～2.28メガレールスの範囲となる、第4の音響マッチング分割層202dに使用する場合のスチレンに混合するブタジエンの充填重量比は4～40%の範囲であるため、この範囲の充填重量比でスチレンにブタジエンを混合することが好ましい。更に、同充填重量比が5～40%の範囲であればより好ましい。

[0075] スチレンとブタジエンの混合物は、樹脂材料をフィルム化する方法と同じような方法で、任意の厚みのフィルム化が容易にでき、極めて大量に精度良く作製することができるという利点があるため、コストも下げることができる。また、ブタジエンが混合されていることで、スチレン単体に比べて接着性もよく、高品質の超音波探触子とすることができる。

[0076] 図3のグラフと図6のグラフを対比するとわかるように、3層構造の音響マッチング層の場合と4層構造の音響マッチング層の場合を比較すると、図6に示す4層構造のほうが、周波数比帯域が大きく、周波数比帯域が100%以上の領域もある。このように、音響マッチング層を構成する層数が多くなるに従い、周波数の広帯域化を図ることができ、高分解能の実現には望ましい特性になる傾向がある。

[0077] 以上説明したように、4層構造の音響マッチング層202において、被検体側に設ける第4の音響マッチング分割層202dの材料として、スチレンにブタジエンを任意の充填重量比で混合した混合物を用いることで、周波数の広帯域化とパルス長の短い特性、つまり、超音波の周波数特性の形が正規分布に近い特性を得ることができる。このため、高分解能の超音波画像を得ることができる超音波探触子の実現可能である。

[0078] なお、本実施形態では、第1の音響マッチング分割層202a、第2の音響マッチング分割層202b、第3の音響マッチング分割層202cの各音響インピーダンスがそれぞれ17メガレールス、8メガレールス、3.8メガレールスの場合について説明している。第1の音響マッチング分割層202aの音響インピーダンスが15～25メガレールスの範囲で変動し、第2

の音響マッチング分割層 202b の音響インピーダンスが 6 ~ 12 メガレールの範囲で変動し、第 3 の音響マッチング分割層 202c の音響インピーダンスが 3 ~ 5 メガレールの範囲で変動した場合には、それぞれの組合せにおいて、第 4 の音響マッチング分割層 202d の音響インピーダンスは最適な値が算出される。しかし、基本的には、第 4 の音響マッチング分割層 202d の好ましい音響インピーダンスの値は、1.8 ~ 2.28 メガレールの範囲から大きく逸脱することはない。

[0079] なお、本実施形態では、圧電素子 1 を 1 次元に配列した図 5 に示す構成について説明したが、当該構成を複数個配列した 2 次元アレイ状の電子走査型の超音波探触子に適用しても同様の効果が得られる。このとき、圧電素子 1 と対応させて 4 層の音響マッチング層 202 も X 軸方向に複数個に分割しても、第 1、第 2、第 3 の音響マッチング分割層 202a、202b、202c は分割して第 4 の音響マッチング分割層 202d は分割しないで作製しても良い。また、単一の圧電素子の超音波探触子に適用しても同様の効果が得られる。

[0080] なお、本実施形態では、樹脂材料として熱可塑性材料のスチレンを用いた場合について説明したが、このほか熱可塑性材料の樹脂材料として、例えばスチレン-メチルメタクリレート共重合体を用いても同様の効果が得られる。樹脂材料は合成樹脂であることが好ましい。合成樹脂は、熱可塑性樹脂と熱硬化性樹脂に大別できる。熱硬化性樹脂材料としては、例えばフェノール樹脂、エポキシ樹脂又はウレタン樹脂などを用いることができる。樹脂材料は、前述した樹脂材料のほかに、エラストマー材料と混合できる材料であれば、これらの樹脂材料に限定するものではないが、特に熱可塑性材料を用いることが好ましい。熱可塑性樹脂材料は、樹脂材料とエラストマーの混合物を作製する際に、一軸又は二軸混練押出機などでエラストマーなどを均一に分散させた混合物にすることが可能であり、この混合物を押出し成形機で成形できる。このため、音響マッチング層としてばらつきの少ない均一な音響特性の材料を得ることができる。更に、熱可塑性樹脂材料を用いた混合物は、

押出し成形機などを用いて均一で高精度に所望の厚みにフィルム化して量産することができるというコスト的なメリットもある。

[0081] また、本実施形態では、エラストマー材料としてブタジエンを用いた場合について説明したが、このほか天然ゴムや合成ゴム材料でも樹脂材料との混合物を作成できるエラストマー材料であれば、これらに限定するものではない。なお、エラストマー材料は、ブタジエンのように超音波減衰の小さいエラストマー材料を選択するとなお好ましい。なぜなら、混合物にしたときの材料の超音波減衰も小さくできるためである。音響マッチング層の超音波減衰が超音波探触子の感度に影響し、感度の高いことが望まれる超音波探触子では、音響マッチング層の材料の減衰も考慮する必要がある。特に高周波数領域で使用する超音波探触子の場合には影響が大きくなるため、音響マッチング層は、超音波減衰の小さな材料であることが好ましい。

[0082] 本実施形態では、第4の音響マッチング分割層202dの材料として、スチレンとブタジエンの2種類の混合物を用いると説明した。このほか、スチレンとブタジエンを基本にして、そこに他の材料、例えば強度を高める必要がある場合には繊維状の材料を、硬さを高める場合には酸化物などの粉体などを配合しても、前記の範囲の音響インピーダンスが得られることができれば同様の効果が得られる。

[0083] (第3実施形態)

本発明に係る第3実施形態の超音波探触子について、図面を参照して説明する。第3実施形態では、第1実施形態で説明した3層構造の音響マッチング層2の代わりに、5層構造の音響マッチング層が設けられる。図7は、第2実施形態の超音波探触子を示す概略斜視図である。図7に示した第3実施形態の超音波探触子30は、図1及び図2に示した第1実施形態の超音波探触子10が備える音響マッチング層2の構成以外は同様の構成を有する。第1実施形態の超音波探触子10が備える構成要素と同一の構成要素には同一の符号を付して説明を省略する。

[0084] 超音波探触子30は、第1実施形態と同様の圧電素子1、接地電極5、信

号電極 6、信号用電気端子 7、背面負荷材 3 及び音響レンズ 4、並びに、音響マッチング層 302 を備える。

[0085] 図 7 に示した例では、圧電素子 1 と音響マッチング層 302 は個々に分割されており、これら分割された溝の部分には音響的な結合が小さいシリコンゴム又はウレタンゴム等のような材料が充填されている。

[0086] 音響マッチング層 302 は、圧電素子 1 の接地電極 5 上に設けられる。音響マッチング層 302 は、5 層（図 7 では、それぞれ圧電素子 1 側から 302 a、302 b、302 c、302 d、302 e）で構成されている。音響マッチング層 302 を構成する各層を「音響マッチング分割層」という。図 7 に示した例では、圧電素子 1 側から被検体側へ、第 1 の音響マッチング分割層 302 a、第 2 の音響マッチング分割層 302 b、第 3 の音響マッチング分割層 302 c、第 4 の音響マッチング分割層 302 d、第 5 の音響マッチング分割層 302 e の順にそれぞれ積層されている。

[0087] 第 1 の音響マッチング分割層 302 a には、音響インピーダンスが 15 ～ 25 メガレールの範囲の値を有する材料が用いられる。当該材料は、例えばシリコン単結晶、水晶、熔融石英などのガラス、または快削性セラミックスなどである。また、第 2 の音響マッチング分割層 302 b には、音響インピーダンスが 8 ～ 14 メガレールの範囲の値を有する材料が用いられる。当該材料は、例えば金属や酸化物などを充填したグラファイト、またはエポキシ樹脂に金属若しくは酸化物などのフィラーを充填したエポキシ樹脂などである。また、第 3 の音響マッチング分割層 302 c には、音響インピーダンスが 3 ～ 6 メガレールの範囲の値を有する材料が用いられる。当該材料は、例えばグラファイト、樹脂材料、またはエポキシ樹脂に金属若しくは酸化物などのフィラーを充填したエポキシ樹脂などである。また、第 4 の音響マッチング分割層 302 d には、音響インピーダンスが 2 ～ 3 メガレールの範囲の値を有する材料が用いられる。当該材料は、例えば樹脂材料や樹脂材料にエラストマー材料を混合した材料である。また、音響マッチング層 302 のうち最も圧電素子 1 から離間した位置に設けられる第 5 の音響マッ

ング分割層 302e は、エラストマー材料を含む少なくとも 2 種類の材料の混合物、例えば、樹脂材料にエラストマー材料を混合した材料が用いられ、音響インピーダンスが 1.6 ~ 1.8 メガレールスの範囲の値を有することが好ましい。樹脂材料にエラストマー材料を混合した混合物は、樹脂材料とエラストマーの共重合体からなる。

[0088] それぞれの音響マッチング分割層の音響インピーダンスは、圧電素子 1 に近い層から被検体に近い層に向かって順に小さくなる。

[0089] 第 5 の音響マッチング分割層 302e は、エラストマー材料を含む混合物からなるため、接着性が高い。また、第 5 の音響マッチング分割層 302e の材料は少なくとも 2 種類の混合物であるため、その配合比率によって音響インピーダンスを適宜調整することができる。

[0090] 以下、図 8 を用いて、第 5 の音響マッチング分割層 302e の音響インピーダンスが 1.6 ~ 1.8 メガレールスであることが好適である理由について説明する。図 8 は、第 5 の音響マッチング分割層 302e の音響インピーダンスと、パルス長及び周波数比帯域との関係を示す図である。図 8 に示すグラフの横軸は、第 5 の音響マッチング分割層 302e の音響インピーダンス（単位はメガレールス）を示す。また、同グラフの左側の縦軸はパルス長（単位は μs ）を示し、右側の縦軸は周波数比帯域（帯域幅／中心周波数）（単位はパーセント）を表す。

[0091] なお、図 8 に示した例では、超音波の中心周波数を 7.5 MHz に設定して、背面負荷材 3 の音響インピーダンスが 7 メガレールス、圧電素子 1 に PZT 系の圧電セラミックスで PZT-5H 相当の材料を用い、第 1 の音響マッチング分割層 302a は音響インピーダンスが 23 メガレールスの快削性セラミックスを用い、第 2 の音響マッチング分割層 302b は音響インピーダンスが 10 メガレールスの金属粉を充填したエポキシ樹脂を用い、第 3 の音響マッチング分割層 302c は音響インピーダンスが 4.4 メガレールスの金属粉を充填したエポキシ樹脂を用いて、第 4 の音響マッチング分割層 302d は音響インピーダンスが 2.3 メガレールスの樹脂材料にエラストマー

材料を混合した材料を用いて、最も被検体側に位置する第5の音響マッチング分割層302eの音響インピーダンスを1.5～2.3メガレールスの範囲で変動させた構成において、周波数比帯域及びパルス長を計算した。第1の音響マッチング分割層302aの厚みは0.28波長とし、第2～第5の音響マッチング分割層302b、302c、302d、302eの各厚みは0.25波長とした。図8では、周波数比帯域は-6dBでの値が実線で示され、パルス長は-6dB、-20dB、-40dBの各レベルでの値がそれぞれ破線で示されている。

[0092] 図8に示す例では、パルス長は、-6dBのレベルでは第5の音響マッチング分割層302eの音響インピーダンスが変化してもほとんど大きな数値変動がない。しかし、-20dBのレベルでは、音響インピーダンスが1.8メガレールスより大きい値になったときにパルス長の値が比較的大きくなる。また、-40dBのレベルでは、音響インピーダンスが1.6メガレールスより小さい値になったとき及び1.9メガレールスより大きい値になったときにパルス長の値が比較的大きくなる。パルス長が小さい値であるほど分解能が高くなり良好であるので、パルス長を小さい値にすることが分解能を向上するためには重要である。

[0093] 一方、周波数比帯域の値が大きいほど分解能が高くなり、被検深度が深くなる。音響マッチング層が5層で構成されている場合、周波数比帯域は100パーセント以上であることが望ましい。図8に示す例において周波数比帯域が100パーセント以上となるのは、第5の音響マッチング分割層302eの音響インピーダンスが2.07メガレールス以下である。

[0094] このように、高分解能のためには、周波数比帯域は大きく、且つ、パルス長が短いことが望ましい。これは即ち、超音波の周波数特性の形がスムーズになり正規分布の形に近くなることを示している。図8に示したパルス長および周波数比帯域の両特性の結果に基づけば、第5の音響マッチング分割層302eの音響インピーダンスは1.6メガレールス以上1.8メガレールス以下の範囲が望ましいことがわかる。更に、第5の音響マッチング分割層

302eの音響インピーダンスは、1.7メガレールス以上1.8メガレールス以下の範囲であるとより好ましい。

[0095] 次に、第5の音響マッチング分割層302eの材料として、樹脂材料であるスチレンと合成ゴム材料の一つであるブタジエンの混合物を用いた場合のその混合比について、図4を用いて説明する。第5の音響マッチング分割層302eの音響インピーダンスの好ましい範囲である1.6～1.8メガレールスの範囲となる、第5の音響マッチング分割層302eに使用する場合のスチレンに混合するブタジエンの充填重量比は40～68%の範囲であるため、この範囲の充填重量比でスチレンにブタジエンを混合することが好ましい。更に、同充填重量比が40～55%の範囲であればより好ましい。

[0096] スチレンとブタジエンの混合物は、樹脂材料をフィルム化する方法と同じような方法で、任意の厚みのフィルム化が容易にでき、極めて大量に精度良く作製することができるという利点があるため、コストも下げることができる。また、ブタジエンが混合されていることで、スチレン単体に比べて接着性もよく、高品質の超音波探触子とすることができる。

[0097] 図6のグラフと図8のグラフを対比するとわかるように、4層構造の音響マッチング層の場合と5層構造の音響マッチング層の場合を比較すると、図8に示す5層構造のほうが、周波数比帯域が大きく、周波数比帯域が100%以上の領域を広範囲で得ることができる。このように、音響マッチング層を構成する層数が多くなるに従い、周波数の広帯域化を図ることができ、高分解能の実現には望ましい特性になる傾向がある。

[0098] 以上説明したように、5層構造の音響マッチング層302において、被検体側に設ける第5の音響マッチング分割層302eの材料として、スチレンにブタジエンを任意の充填重量比で混合した混合物を用いることで、周波数の広帯域化とパルス長の短い特性、つまり、超音波の周波数特性の形が正規分布に近い特性を得ることができる。このため、高分解能の超音波画像を得ることができる超音波探触子の実現可能である。

[0099] なお、本実施形態では、第1の音響マッチング分割層302a、第2の音

響マッチング分割層 302b、第3の音響マッチング分割層 302c、第4の音響マッチング分割層 302dの各音響インピーダンスがそれぞれ23メガレールス、10メガレールス、4.4メガレールス、2.3メガレールスの場合について説明している。第1の音響マッチング分割層 302aの音響インピーダンスが15～25メガレールスの範囲で変動し、第2の音響マッチング分割層 302bの音響インピーダンスが8～14メガレールスの範囲で変動し、第3の音響マッチング分割層 302cの音響インピーダンスが3～6メガレールスの葉にで変動し、第4の音響マッチング分割層 302dの音響インピーダンスが2～3メガレールスの範囲で変動した場合には、それぞれの組合せにおいて、第5の音響マッチング分割層 302eの音響インピーダンスは最適な値が算出される。しかし、基本的には、第5の音響マッチング分割層 302eの好ましい音響インピーダンスの値は、1.6～1.8メガレールスの範囲から大きく逸脱することはない。

[0100] なお、本実施形態では、圧電素子1を1次元に配列した図7に示す構成について説明したが、当該構成を複数個配列した2次元アレイ状の電子走査型の超音波探触子に適用しても同様の効果が得られる。このとき、圧電素子1と対応させて5層の音響マッチング層 302もX軸方向に複数個に分割しても、第1、第2、第3、第4の音響マッチング分割層は分割して第5の音響マッチング分割層 302eは分割しないで作製しても良い。また、単一の圧電素子の超音波探触子に適用しても同様の効果が得られる。

[0101] なお、本実施形態では、樹脂材料として熱可塑性材料のスチレンを用いた場合について説明したが、このほか熱可塑性材料の樹脂材料として、例えばスチレン-メチルメタクリレート共重合体を用いても同様の効果が得られる。樹脂材料は合成樹脂であることが好ましい。合成樹脂は、熱可塑性樹脂と熱硬化性樹脂に大別できる。熱硬化性樹脂材料としては、例えばフェノール樹脂、エポキシ樹脂又はウレタン樹脂などを用いることができる。樹脂材料は、前述した樹脂材料のほかに、エラストマー材料と混合できる材料であれば、これらの樹脂材料に限定するものではないが、特に熱可塑性材料を用いる

ことが好ましい。熱可塑性樹脂材料は、樹脂材料とエラストマーの混合物を作製する際に、一軸又は二軸混練押出機などでエラストマーなどを均一に分散させた混合物にすることが可能であり、この混合物を押出し成形機で成形できる。このため、音響マッチング層としてばらつきの少ない均一な音響特性の材料を得ることができる。更に、熱可塑性樹脂材料を用いた混合物は、押出し成形機などを用いて均一で高精度に所望の厚みにフィルム化して量産することができるというコスト的なメリットもある。

[0102] また、本実施形態では、エラストマー材料としてブタジエンを用いた場合について説明したが、このほか天然ゴムや合成ゴム材料でも樹脂材料との混合物を作成できるエラストマー材料であれば、これらに限定するものではない。なお、エラストマー材料は、ブタジエンのように超音波減衰の小さいエラストマー材料を選択するとなお好ましい。なぜなら、混合物にしたときの材料の超音波減衰も小さくできるためである。音響マッチング層の超音波減衰が超音波探触子の感度に影響し、感度の高いことが望まれる超音波探触子では、音響マッチング層の材料の減衰も考慮する必要がある。特に高周波数領域で使用する超音波探触子の場合には影響が大きくなるため、音響マッチング層は、超音波減衰の小さな材料であることが好ましい。

[0103] 本実施形態では、第5の音響マッチング分割層302eの材料として、スチレンとブタジエンの2種類の混合物を用いると説明した。このほか、スチレンとブタジエンを基本にして、そこに他の材料、例えば強度を高める必要がある場合には繊維状の材料を、硬さを高める場合には酸化物などの粉体などを配合しても、前記の範囲の音響インピーダンスが得られることができれば同様の効果が得られる。

[0104] また、第1実施形態、第2実施形態及び第3実施形態を全体として参照すると、音響マッチング層を構成する層数が増加するに従って、最も被検体側に設けられる音響マッチング分割層の音響インピーダンスは、被検体の音響インピーダンスの1.54メガレールの値に近づいていることがわかる。

[0105] (第4実施形態)

本発明に係る第4実施形態の超音波探触子について、図面を参照して説明する。図9は、第4実施形態の超音波探触子を示す概略斜視図である。図9に示した第4実施形態の超音波探触子40は、図5に示した第2実施形態の超音波探触子20が備える構成要素に加え、さらに導体箔8を備える。第2実施形態の超音波探触子20が備える構成要素と同一の構成要素には同一の符号を付して説明を省略する。

[0106] 圧電素子1の一方の面上に設けた接地電極5の面上には、導体箔8が形成され、これらは電氣的に接続させている。更に、導体箔8の面上には4層構造の音響マッチング層202（圧電素子1側から音響マッチング分割層202a、202b、202c、202d）が設けられる。背面負荷材3の面上に設ける信号用電気端子7、圧電素子1、導体箔8及び音響マッチング層202（音響マッチング分割層202a、202b、202c、202d）はエポキシ樹脂などの接着剤で一緒に接着して積層させてもよい。

[0107] 背面負荷材3の一部と信号用電気端子7、圧電素子1、導体箔8及び音響マッチング層202（音響マッチング分割層202a、202b、202c、202d）とをダイシングソーなどで複数個に分割して、図9に示すようにアレイ状に形成する。分割した溝にはシリコーンゴムやウレタン樹脂などを充填し、その上に音響レンズ4を必要に応じて設けてもよい。

[0108] 導体箔8としては銅箔又はアルミ箔などの金属を用いることが好ましいが、導体であればよく、これらの材料に限定されない。導体箔8として銅箔を用いる場合、銅の音響インピーダンスは圧電素子1と第1の音響マッチング分割層202aの音響インピーダンスより大きい値の約44.6メガレールスであるため、音響的には不整合となり、周波数特性と感度に影響するの。このため、銅箔の厚みは可能な限り薄いことが望ましく、約40分の1波長以下の厚みであれば影響が少く好ましい。また、導体箔8としてアルミ箔を用いる場合、アルミの音響インピーダンスは約17メガレールスであり、第1の音響マッチング分割層202aに近い値であるため、アルミ箔を第1の音響マッチング分割層の一部として機能させることができる。但し、アルミ

箔そのものを第1の音響マッチング分割層202a単体として使用するにはダイシングソーなどで加工分割することが難しくなる。このため、アルミ箔を加工分割できるレベルの厚み以下にして導体箔8として使用することが望ましい。

[0109] また、導体箔8は、圧電素子1及び音響マッチング層202より大きな形状にして延伸させることにより、半田付けなどにより容易に配線することができる。

[0110] このように、音響マッチング層を介さずに圧電素子1の上面に導体箔8を設け、全ての音響マッチング層が導体箔8よりも上に積層された構成にすることで、信号用電気端子7と導体箔8に電圧を印加することにより圧電素子1は超音波の送受信できる。当該構成では、音響マッチング層は電氣的な接続を全く考慮する必要がなくなるため、音響的な観点に特化して、それぞれの層に適合した材料を自由に選択できるという大きな利点がある。つまり、音響マッチング層202（音響マッチング分割層202a、202b、202c、202d）の材料は、導体、半導体及び絶縁体のどの材料であっても構わないのでため選択の範囲が広がる。

[0111] すなわち、本実施形態によれば、第2実施形態で説明した音響インピーダンスを満たす各音響マッチング分割層の材料を選択する際、その材料の導電性には留意する必要がなくなる。なお、第1の音響マッチング分割層202aには、音響インピーダンスが15～25メガレールの範囲の値を有する材料が用いられる。当該材料は、例えばシリコン単結晶、水晶、熔融石英などのガラス、または快削性セラミックスなどである。また、第2の音響マッチング分割層202bには、音響インピーダンスが6～12メガレールの範囲の値を有する材料が用いられる。当該材料は、例えばグラファイト、またはエポキシ樹脂に金属若しくは酸化物などのフィラーを充填したエポキシ樹脂などである。また、第3の音響マッチング分割層202cには、音響インピーダンスが3～5メガレールの範囲の値を有する材料が用いられる。当該材料は、例えばグラファイト、樹脂材料、またはエポキシ樹脂に金属若

しくは酸化物などのフィラーを充填したエポキシ樹脂などである。また、最も被検体側に設ける第4の音響マッチング分割層202dは、エラストマー材料を含む少なくとも2種類の材料の混合物、例えば、樹脂材料にエラストマー材料を混合した材料が用いられ、音響インピーダンスが1.8～2.28メガレールの範囲の値を有することが好ましい。

[0112] なお、本実施形態では、4層構造の音響マッチング層を例に説明したが、このほか3層構造又は5層以上の構造の音響マッチング層の場合にも同様の効果が得られる。

[0113] 本発明を詳細にまた特定の実施態様を参照して説明したが、本発明の精神と範囲を逸脱することなく様々な変更や修正を加えることができることは当業者にとって明らかである。

[0114] 本出願は、2012年7月17日出願の日本特許出願（特願2012-158347）に基づくものであり、その内容はここに参照として取り込まれる。

産業上の利用可能性

[0115] 本発明に係る超音波探触子は、人体等の被検体の超音波診断を行う各種医療分野、さらには材料や構造物の内部探傷を目的とした工業分野において利用が可能である。

符号の説明

- [0116] 1 圧電素子
2 音響マッチング層
2 a 第1の音響マッチング分割層
2 b 第2の音響マッチング分割層
2 c 第3の音響マッチング分割層
3 背面負荷材
4 音響レンズ
5 接地電極
6 信号電極
7 信号用電気端子

8 導体箔

1 0 超音波探触子

1 1 圧電素子

1 2 音響マッチング層

1 3 音響レンズ

1 4 背面負荷材

2 0 超音波探触子

3 0 超音波探触子

4 0 超音波探触子

1 0 0 超音波探触子

2 0 2 音響マッチング層

2 0 2 a 第1の音響マッチング分割層

2 0 2 b 第2の音響マッチング分割層

2 0 2 c 第3の音響マッチング分割層

2 0 2 d 第4の音響マッチング分割層

3 0 2 a 第1の音響マッチング分割層

3 0 2 b 第2の音響マッチング分割層

3 0 2 c 第3の音響マッチング分割層

3 0 2 d 第4の音響マッチング分割層

3 0 2 e 第5の音響マッチング分割層

請求の範囲

- [請求項1] 第1の面と第2の面とを有する圧電素子と、
前記第1の面に接続された第1の電極と、
前記第2の面に接続された第2の電極と、
前記第1の面上に設けられた音響マッチング層と、を備え、
前記音響マッチング層の少なくとも一部には、樹脂とエラストマーの混合物が用いられたことを特徴とする超音波探触子。
- [請求項2] 前記音響マッチング層は複数の層で構成され、
前記少なくとも一部の音響マッチング層は、前記複数の層のうち、
前記圧電素子から最も離間した位置に存在する層であることを特徴とする請求項1に記載の超音波探触子。
- [請求項3] 前記複数の層のうち前記圧電素子から最も離間した位置に存在する層のみが、前記混合物が用いられた層であることを特徴とする請求項2に記載の超音波探触子。
- [請求項4] 前記樹脂は、スチレン又はスチレン-メチルメタクリレート共重合体であることを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載の超音波探触子。
- [請求項5] 前記エラストマーは、合成ゴム又は天然ゴムであることを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載の超音波探触子。
- [請求項6] 前記合成ゴムは、ブタジエンであることを特徴とする請求項5に記載の超音波探触子。
- [請求項7] 前記音響マッチング層は複数の層で構成され、
前記複数の層の各音響インピーダンスは、前記圧電素子に近い層から遠い層にむかって順次小さくなることを特徴とする請求項1～6のいずれか1項に記載の超音波探触子。
- [請求項8] 前記音響マッチング層は3層で構成されたことを特徴とする請求項1～7のいずれか1項に記載の超音波探触子。
- [請求項9] 前記少なくとも一部の音響マッチング層は、前記3層のうち、前記

圧電素子から最も離間した位置に存在する層であり、

前記少なくとも一部の音響マッチング層の音響インピーダンスは、
1. 9～2. 3メガレールスの範囲の値であることを特徴とする請求項8に記載の超音波探触子。

[請求項10] 前記少なくとも一部の音響マッチング層は、前記3層のうち、前記圧電素子から最も離間した位置に存在する層であり、

前記樹脂はスチレンであり、

前記エラストマーはブタジエンであり、

前記スチレンに混合する前記ブタジエンの配合重量比が3～29%の範囲であることを特徴とする請求項8又は9に記載の超音波探触子。

[請求項11] 前記音響マッチング層は4層で構成されたことを特徴とする請求項1～7のいずれか1項に記載の超音波探触子。

[請求項12] 前記少なくとも一部の音響マッチング層は、前記4層のうち、前記圧電素子から最も離間した位置に存在する層であり、

前記少なくとも一部の音響マッチング層の音響インピーダンスは、
1. 8～2. 28メガレールスの範囲の値であることを特徴とする請求項11に記載の超音波探触子。

[請求項13] 前記少なくとも一部の音響マッチング層は、前記4層のうち、前記圧電素子から最も離間した位置に存在する層であり、

前記樹脂はスチレンであり、

前記エラストマーはブタジエンであり、

前記スチレンに混合する前記ブタジエンの配合重量比が4～40%の範囲であることを特徴とする請求項11又は12に記載の超音波探触子。

[請求項14] 前記音響マッチング層は5層で構成されたことを特徴とする請求項1～7のいずれか1項に記載の超音波探触子。

[請求項15] 前記少なくとも一部の音響マッチング層は、前記5層のうち、前記

圧電素子から最も離間した位置に存在する層であり、

前記少なくとも一部の音響マッチング層の音響インピーダンスは、
1.6～1.8メガレールスの範囲の値であることを特徴とする請求
項14に記載の超音波探触子。

[請求項16] 前記少なくとも一部の音響マッチング層は、前記5層のうち、前記
圧電素子から最も離間した位置に存在する層であり、

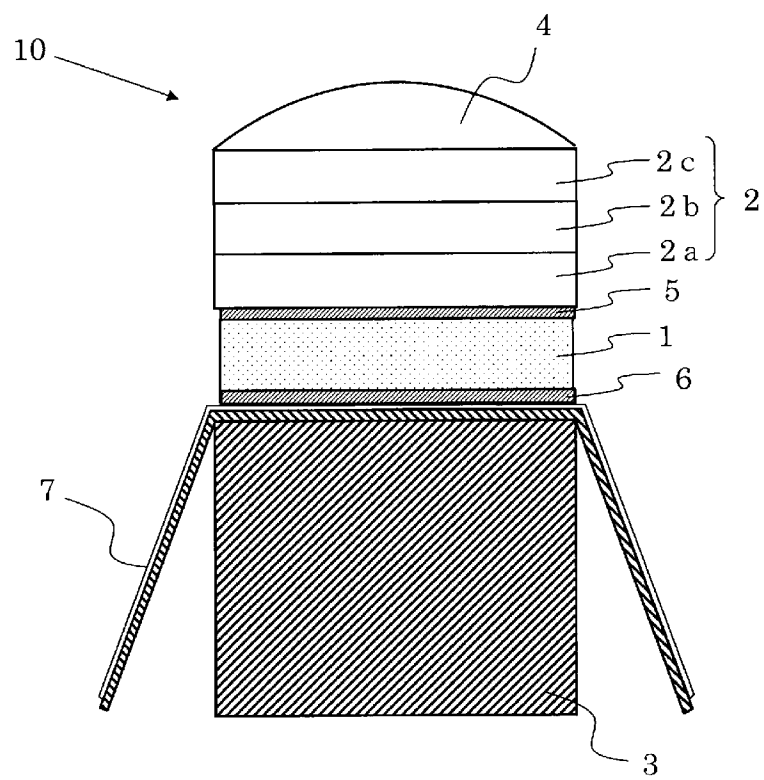
前記樹脂はスチレンであり、

前記エラストマーはブタジエンであり、

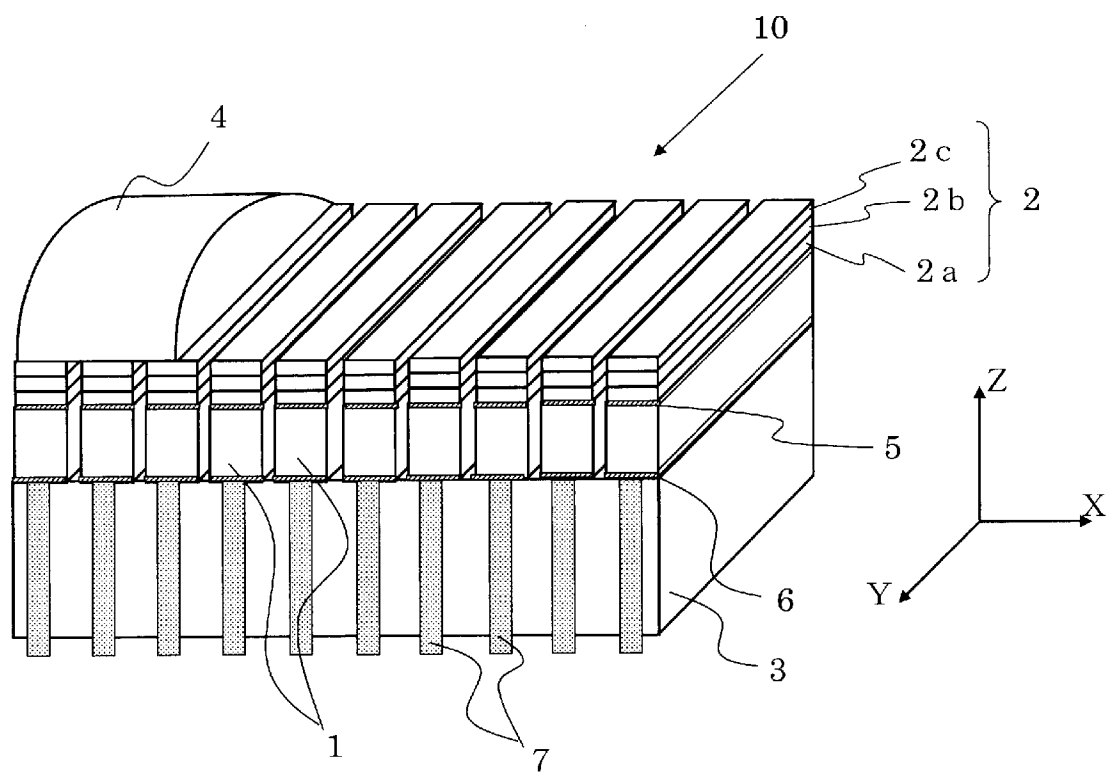
前記スチレンに混合する前記ブタジエンの配合重量比が40～68
%の範囲であることを特徴とする請求項14又は15に記載の超音波
探触子。

[請求項17] 前記第1の電極と電氣的に接続される導体箔が、前記圧電素子と前
記音響マッチング層の間に形成されていることを特徴とする請求項1
～16のいずれか1項に記載の超音波探触子。

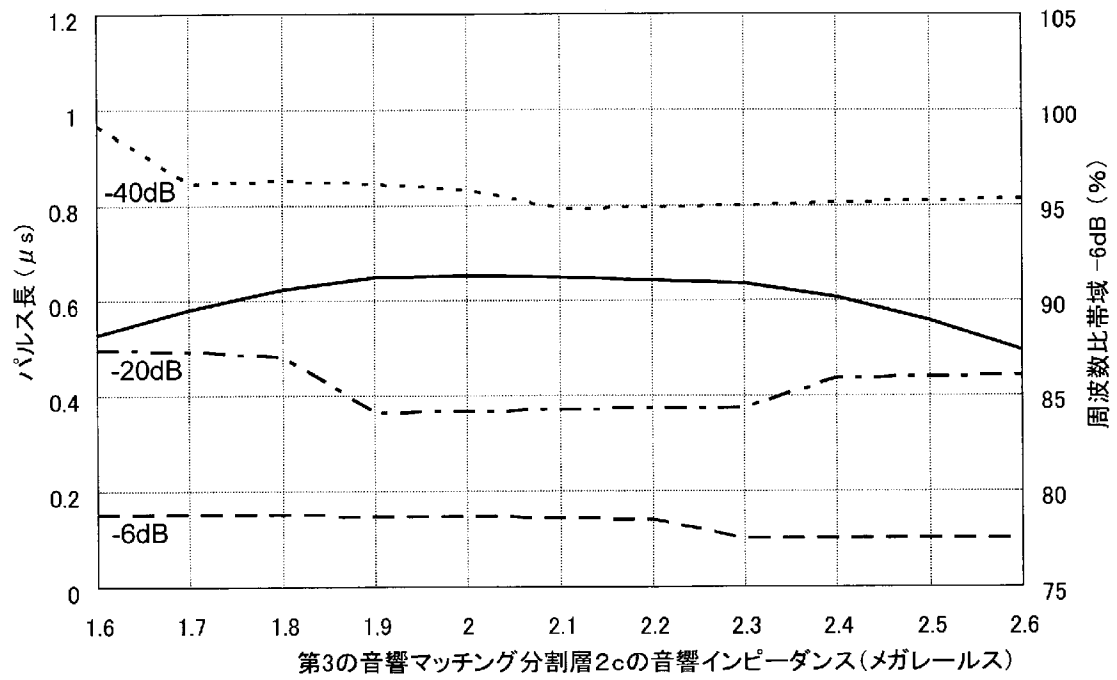
[図1]



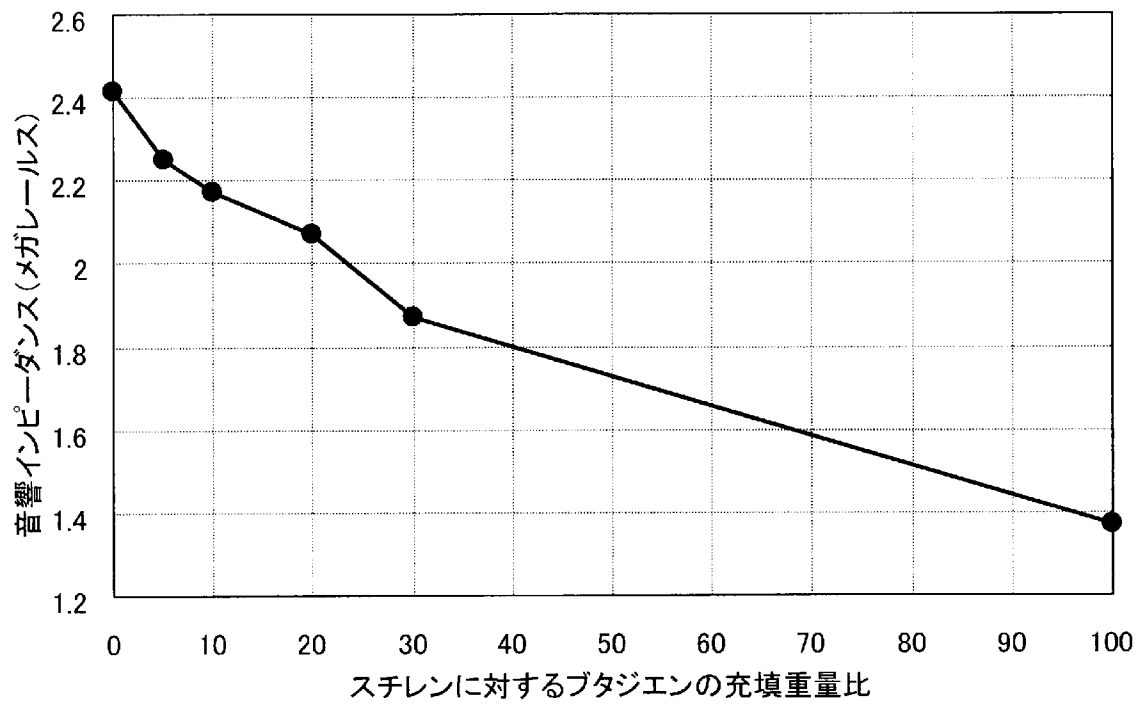
[図2]



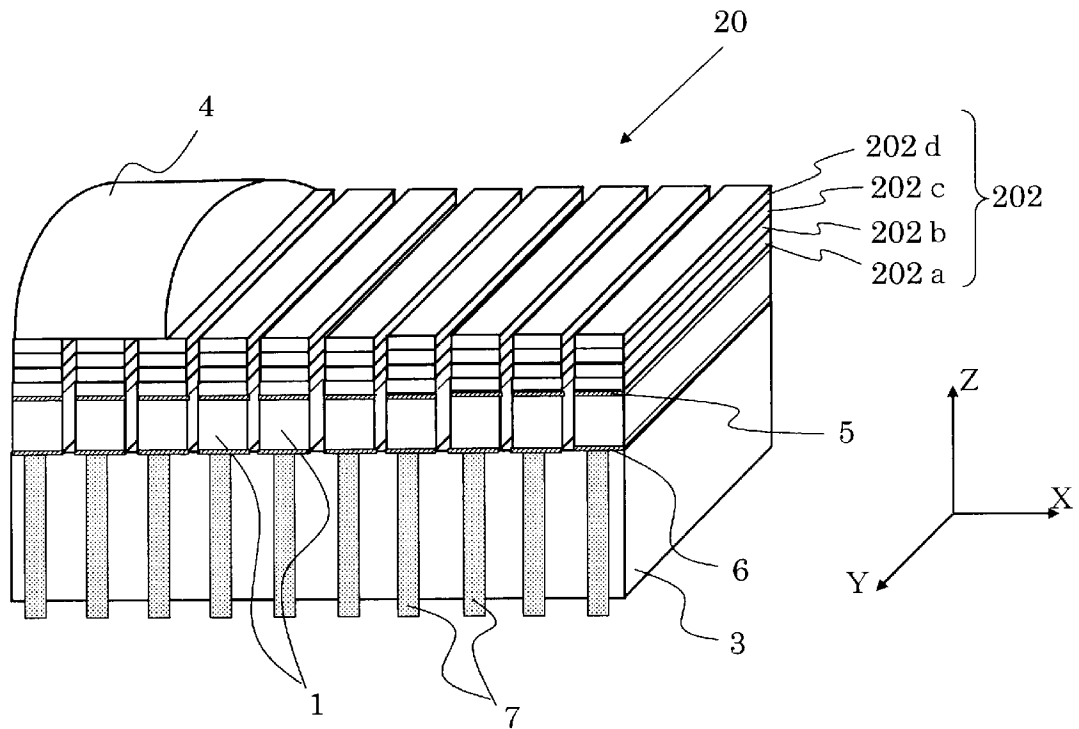
[図3]



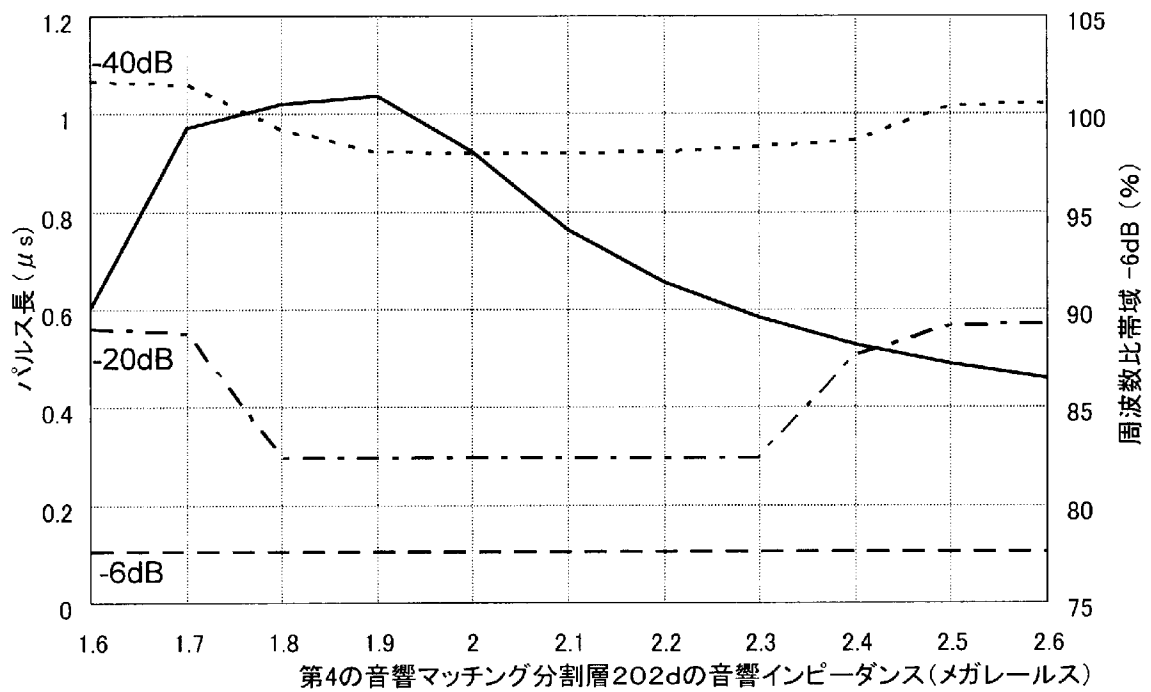
[図4]



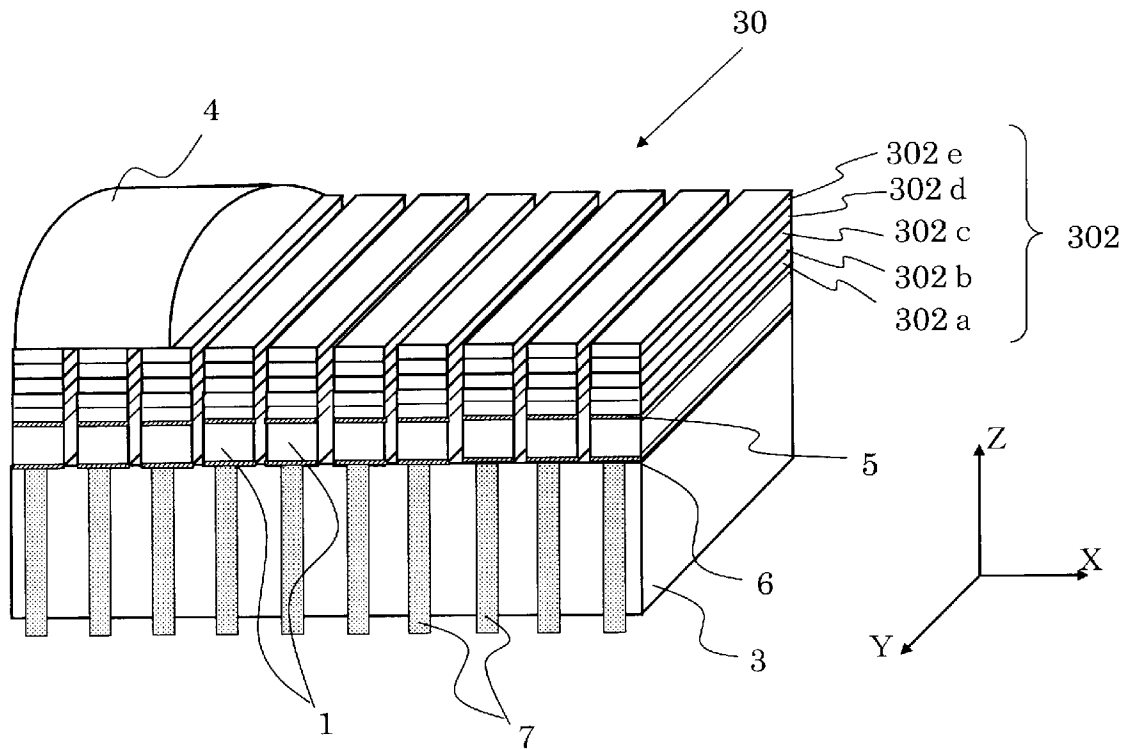
[図5]



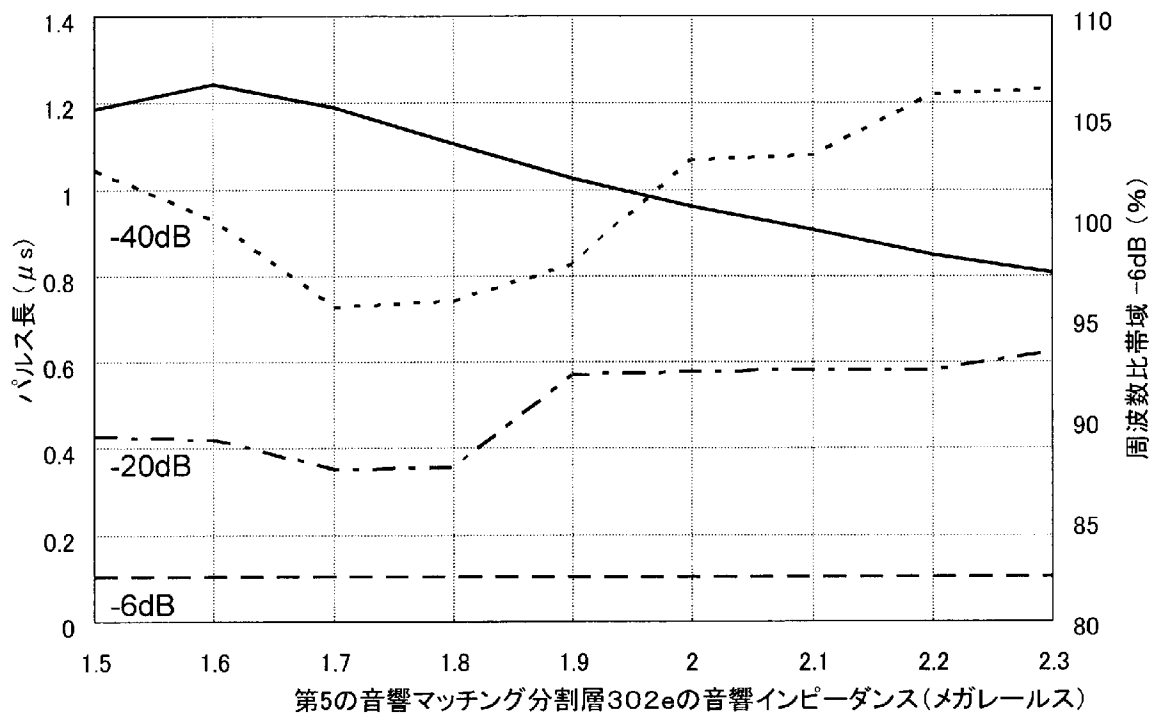
[図6]



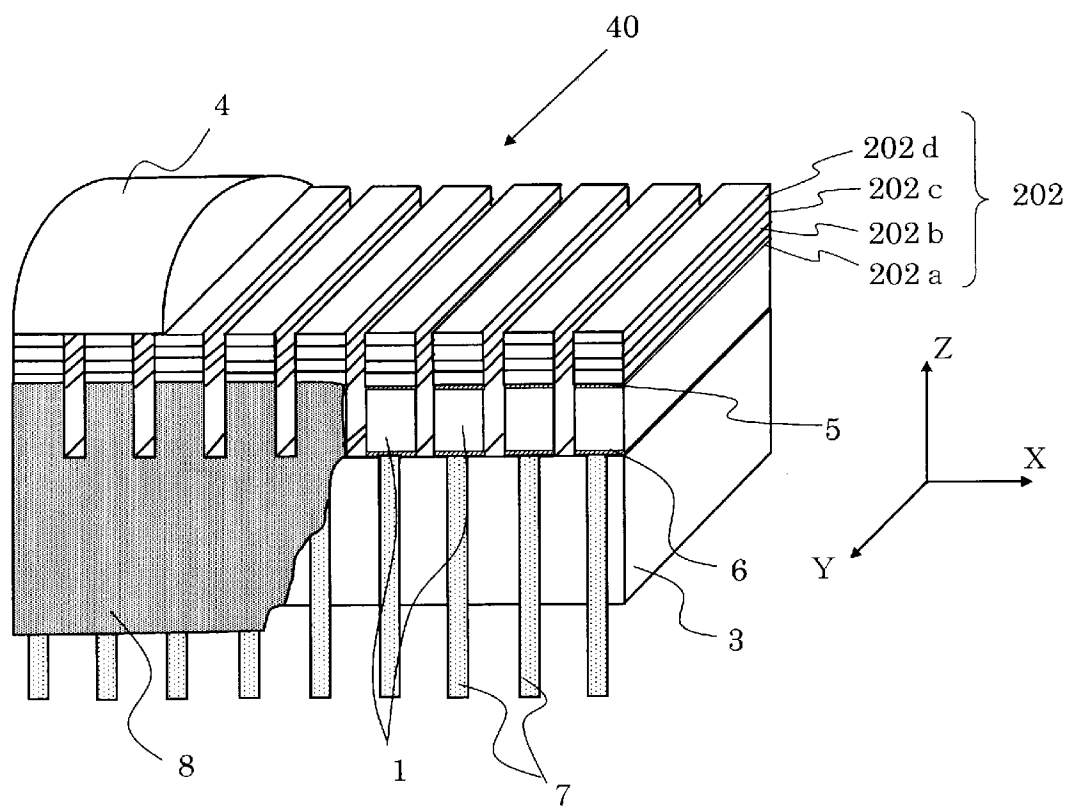
[図7]



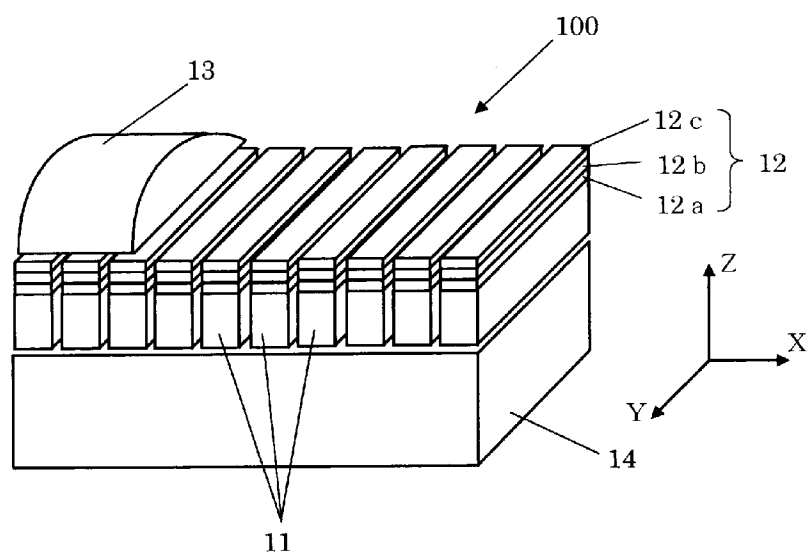
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/004374

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04R17/00(2006.01)i, A61B8/00(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04R17/00, A61B8/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	WO 2007/088772 A1 (Panasonic Corp.), 09 August 2007 (09.08.2007), entire text; all drawings & JP 5037362 B & US 8454518 B2 & EP 1981308 A1 & CN 101379871 A & KR 10-2008-0094020 A & RU 2008135361 A	1-16 17
Y	JP 2004-056504 A (Aloka Co., Ltd.), 19 February 2004 (19.02.2004), paragraphs [0037] to [0038]; fig. 4 (Family: none)	17
A	JP 2006-174991 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 06 July 2006 (06.07.2006), entire text; all drawings (Family: none)	1-17



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
07 October, 2013 (07.10.13)

Date of mailing of the international search report
15 October, 2013 (15.10.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H04R17/00(2006.01)i, A61B8/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H04R17/00, A61B8/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	WO 2007/088772 A1（パナソニック株式会社）2007.08.09, 全文, 全図 & JP 5037362 B & US 8454518 B2 & EP 1981308 A1 & CN 101379871 A & KR 10-2008-0094020 A & RU 2008135361 A	1-16 17
Y	JP 2004-056504 A（アロカ株式会社）2004.02.19, 【0037】－【0038】、【図4】（ファミリーなし）	17
A	JP 2006-174991 A（松下電器産業株式会社）2006.07.06, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-17

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 7 . 1 0 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

1 5 . 1 0 . 2 0 1 3

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

▲吉▼澤 雅博

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 9 1

5 Z

9 5 5 8