

(19)日本国特許庁( J P )

(12) 公開特許公報 ( A ) (11)特許出願公開番号

特開2003 - 125494

(P2003 - 125494A)

(43)公開日 平成15年4月25日(2003.4.25)

(51) Int.CI <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マコード <sup>*</sup> (参考)
H 0 4 R 17/00	330	H 0 4 R 17/00	330 J 5 D 0 1 9
	332		332 A 5 D 1 0 7
B 0 6 B 1/06		B 0 6 B 1/06	A
H 0 1 L 41/08		H 0 1 L 41/08	J
	41/09	41/18	101 D

審査請求 未請求 請求項の数 25〇L (全 9 数) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2002 - 196611(P2002 - 196611)

(71)出願人 390041542

ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ  
GENERAL ELECTRIC C  
OMPANY

(31)優先権主張番号 09/898811

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ

(32)優先日 平成13年7月5日(2001.7.5)

クタディ、リバーロード、1番

(33)優先権主張国 米国(US)

ロウェル・スコット・スミス

(72)発明者 アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカ  
ユナ、チェシャー・プレイス、24番

(74)代理人 100093908

弁理士 松本 研一 (外2名)

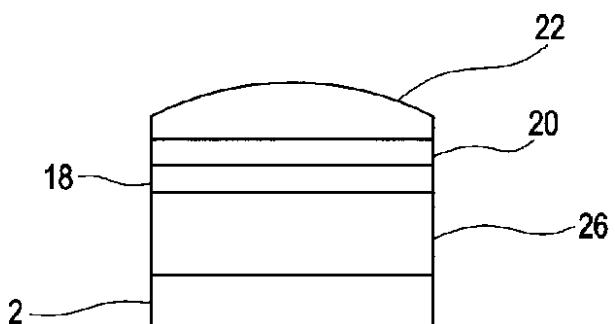
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 イメージング・システムの分解能を高める超音波トランステューサ

(57)【要約】

【課題】 超音波撮像について、最適な音響インピーダンスを有し、加工の容易な単純な超広帯域幅プローブ用の整合層材料を提供する。

【解決手段】 分解能を改善するために、超音波トランステューサにおいて、圧電層(2)に最も近接して設けられているシリコン音響整合層(26)を採用する。トランステューサの構築時に、適当な厚みまで研磨されたシリコン・ウェーハを他の整合層材料(18、20)と共に音響積層体に含める。正確な厚みは設計の細部によって決まるが、シリコンにおいてノミナルで四分の一波長である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 多数の素子を備えた超音波トランスデューサ・アレイであって、前記素子の各々は、第一の金属化された表面を有する圧電材料の層(2)と、

該圧電材料の層の前記第一の金属化された表面に隣接して設けられている第一の音響整合層(26)とを含んでおり、

前記第一の音響整合層はシリコンで構成されている、超音波トランスデューサ・アレイ。

【請求項2】 前記第一の音響整合層に隣接して設けられている第二の音響整合層(18)をさらに含んでおり、該第二の音響整合層は、前記第一の音響整合層の音響インピーダンスよりも小さい音響インピーダンスを有する材料を含んでいる請求項1に記載の超音波トランスデューサ・アレイ。

【請求項3】 前記第二の音響整合層に隣接して設けられている第三の音響整合層(20)をさらに含んでおり、該第三の音響整合層は、前記第二の音響整合層の音響インピーダンスよりも小さい音響インピーダンスを有する材料を含んでいる請求項2に記載の超音波トランスデューサ・アレイ。

【請求項4】 前記圧電材料はセラミックスを含んでいる請求項2に記載の超音波トランスデューサ・アレイ。

【請求項5】 前記セラミックスはジルコン酸チタン酸鉛を含んでいる請求項4に記載の超音波トランスデューサ・アレイ。

【請求項6】 前記第二の音響整合層はアンチモン・グラファイト複合材料で構成されている請求項2に記載の超音波トランスデューサ・アレイ。

【請求項7】 前記第三の音響整合層はRexoliteで構成されている請求項3に記載の超音波トランスデューサ・アレイ。

【請求項8】 前記第三の音響整合層に隣接して設けられている音響レンズ(22)をさらに含んでいる請求項3に記載の超音波トランスデューサ・アレイ。

【請求項9】 前記圧電材料の層は第二の金属化された表面(4)を含んでおり、当該超音波トランスデューサ・アレイは、前記第二の金属化された表面に隣接して設けられている音響吸収性材料の集塊体(16)をさらに含んでいる請求項1に記載の超音波トランスデューサ・アレイ。

【請求項10】 前記シリコンは、前記第一の音響整合層の音響インピーダンスが約19.6Mraylとなるように配向した単結晶構造を有する請求項1に記載の超音波トランスデューサ・アレイ。

【請求項11】 (a) 圧電層(2)の表面を金属化する工程と、

(b) 積層体を形成すべく、前記圧電材料の層の前記金属化された表面に第一の音響整合層(26)を付着させ

る工程と、

(c) 前記積層体を拡大するように前記第一の音響整合層に第二の音響整合層(18)を付着させる工程と、

(d) 前記積層体をさらに拡大するように前記第二の音響整合層に第三の音響整合層(20)を付着させる工程と、

(e) 独立した素子のアレイを形成するように前記積層体をダイス加工する工程とを備えた超音波トランスデューサ・アレイの製法であって、

10 前記第一の音響整合層はシリコン・ウェーハを含んでおり、前記第二の音響整合層は、前記第一の音響整合層の音響インピーダンスよりも小さい音響インピーダンスを有しており、前記第三の音響整合層は、前記第二の音響整合層の音響インピーダンスよりも小さい音響インピーダンスを有している超音波トランスデューサ・アレイの製法。

【請求項12】 前記シリコン・ウェーハは、チェビシェフ帯域形状についての最適値に近いインピーダンスを有するように配向した単結晶構造を有しており、前記第一の音響整合層の音響インピーダンスは約19.6Mraylである請求項11に記載の製法。

【請求項13】 多数の素子を備えた超音波トランスデューサ・アレイであって、前記素子の各々は、第一の表面及び第二の表面を有する圧電材料の層(2)と、

該圧電材料の層の前記第一の表面に電気的に結合されている第一の電極(6)と、

第一の表面及び第二の表面を有する第一の音響整合層(26)であって、該第一の音響整合層の前記第二の表面は前記圧電材料の層の前記第一の表面に音響的に結合されている、第一の音響整合層(26)とを含んでおり、

前記第一の音響整合層は約18.6Mrayl~19.6Mraylの範囲の音響インピーダンスを有しており、非複合材料で構成されている、超音波トランスデューサ・アレイ。

【請求項14】 前記第一の音響整合層はシリコンを含んでいる請求項13に記載の超音波トランスデューサ・アレイ。

【請求項15】 前記シリコンは、チェビシェフ帯域形状についての最適値に近いインピーダンスを有するように配向した単結晶構造を有しており、前記第一の音響整合層の音響インピーダンスは約19.6Mraylである請求項14に記載の超音波トランスデューサ・アレイ。

【請求項16】 第一の表面及び第二の表面を有する第二の音響整合層(20)をさらに含んでおり、該第二の音響整合層の前記第二の表面は、前記第一の音響整合層の前記第一の表面に音響的に結合されている請求項13に記載の超音波トランスデューサ・アレイ。

【請求項17】 第一の表面及び第二の表面を有する第三の音響整合層をさらに含んでおり、該第三の音響整合層の前記第二の表面は、前記第二の音響整合層の前記第一の表面に音響的に結合されている請求項16に記載の超音波トランスデューサ・アレイ。

【請求項18】 前記圧電材料はセラミックスを含んでいる請求項16に記載の超音波トランスデューサ・アレイ。

【請求項19】 前記セラミックスはジルコン酸チタン酸鉛を含んでいる請求項18に記載の超音波トランステューサ・アレイ。 10

【請求項20】 前記第二の音響整合層はアンチモン-グラファイト複合材料を含んでいる請求項16に記載の超音波トランスデューサ・アレイ。

【請求項21】 前記第三の音響整合層はRexoliteを含んでいる請求項17に記載の超音波トランスデューサ・アレイ。

【請求項22】 前記トランスデューサ素子の前記第三の音響整合層に隣接して設けられている音響レンズ(22)をさらに含んでいる請求項17に記載の超音波トランステューサ・アレイ。 20

【請求項23】 前記圧電材料の層の前記第二の表面に電気的に結合されている第二の電極(4)と、  
前記圧電材料の層の前記第二の表面に音響的に結合されている音響吸収性材料の集塊体(16)とをさらに含んでいる請求項13に記載の超音波トランスデューサ・アレイ。

【請求項24】 人体組織内に超音波エネルギーを伝達する方法であって、

超音波エネルギーを発生するように圧電セラミックス材料の層を電気的に起動する工程と、 30

前記超音波エネルギーが人体組織に入射する前に、該超音波エネルギーをシリコンの層に通過させる工程とを備えた方法。

【請求項25】 トランスデューサ素子のアレイ(30)と、

超音波エネルギーを伝達するように前記トランスデューサ素子を起動する多数のパルサ(12)を含んでいると共に、前記トランスデューサ素子に帰投した超音波エネルギーに応答して発生される前記トランスデューサ素子からの電気的受信信号を受け取る多数の受信チャネルをさらに含んでいるビームフォーマ(32)と、 40

画像データを形成するように前記受信信号を処理する信号プロセッサ(34)と、

前記画像データの関数である画像を表示する表示サブシステム(36、38)とを備えた超音波イメージング・システムであって、前記トランスデューサ素子の各々は、

第一の表面及び第二の表面を有する圧電セラミックス材料の層(2)と、

該圧電材料の層の前記第一の表面に電気的に結合されている電極(6)と、

第一の表面及び第二の表面を有する音響整合層(26)であって、該第一の音響整合層の前記第二の表面は前記圧電セラミックス材料の層の前記第一の表面に音響的に結合されており、当該音響整合層はシリコンで構成されている、音響整合層(26)とを含んでいる、超音波イメージング・システム。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の背景】 本発明は一般的には、超音波イメージング・システムに関し、さらに具体的には、超音波イメージング・システムの分解能を高める超音波トランスデューサ設計に関する。

【0002】 医用撮像及び非破壊試験に用いられる超音波トランスデューサは、感度及び帯域幅という二つの特性によって特徴付けられており、これらの特性はイメージング・システムの透過力及び分解能に直接的に相關付けられる。トランスデューサ設計が複雑化するにつれて、比帯域幅は単層整合層での30%~40%から二層整合層での60%~80%まで増大している。医療診断超音波撮像では、造影剤を利用する場合及び利用しない場合のハーモニック撮像の近年の発展によって、さらに帯域幅の広いプローブの利点が注目を浴びている。名称に含意されているように、ハーモニック撮像には100%を上回る比帯域幅での感度が必要とされる。比帯域幅(FBW)は、帯域幅を中心周波数で除したものとして定義される。

【0003】  $FBW = (U_{lim} - L_{lim}) / f_{ctr}$   
式中、 $U_{lim}$ は帯域幅の上限であり、 $L_{lim}$ は帯域幅の下限であり、 $f_{ctr}$ は中心周波数である。

【0004】 超広帯域幅プローブは、診断を実行するのに必要なプローブの数を減少させることにより走査を単純化させることができる。従来の状況では、皮膚の近傍で細部を細かく探索するためには高周波数プローブが必要とされ、カラー・フロー撮像、ドップラ撮像、及び体内のさらに深部の撮像には低周波数プローブが用いられる。しかしながら、プローブの切り替えには時間及び操作者の動作が費やされる。これを最小限に抑えることができれば、患者の走査を完遂するのに必要な時間及び労力を減少させることができる。

【0005】 効率的な超音波トランスデューサは、殆ど被検体とは大幅に異なる音響インピーダンスを有する。このことから、これら二つの物質の間で超音波をアップリングさせることが困難になる。周知のように、音響インピーダンスを有する物質から、水浴又は人体のような別の特定の音響インピーダンスを有する物質へ音響エネルギーをさらに効率的に伝達することにより、超音波トランスデューサの感度及び帯域幅を改善する。

【0006】音響整合層の理論は十分に理解されており、IEEE Trans. Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control、第43巻、第6号、第1136頁～第1149頁（1996年11月）のT. Rhyneによる“Computer Optimization of Transducer Transfer Functions Using Constraints on Bandwidth, Ripple, and Loss”に開示されているように、電子フィルタ設計方法と非常によく似ている。Rhyneに対する米国特許第5,706,564号に開示されているように、整合層の音響インピーダンス及び厚みを調節することにより、様々な標準的帯域通過特性を達成することができる。Rhyneの特許に示されているように、Thompson帯域形状とButterworth帯域形状との間には好都合な連続性が存在している。超音波トランスデューサについての実用上の問題点は、多層の整合層について最適音響インピーダンスが単純な物質では達成できることである。例えば、二層設計では、内側の整合層のインピーダンスは約7Mrayl～10Mraylである必要がある。このような値は、プラスチック（2Mrayl～4Mrayl）よりも高く、ガラス及び金属（10Mrayl～100Mrayl）よりも低く、不都合である。

#### 【0007】

【発明が解決しようとする課題】超音波トランスデューサの帯域幅の拡大を試みる場合には様々なアプローチが可能である。しかしながら、多くのアプローチは、大径の単結晶圧電体の成長のような複雑な材料開発又は複雑な複合材構造を必要とする。例えば、1996 IEEE Ultrasonics Symposium、第935頁～第942頁（1996年）のPark等による“Characteristics of Relaxor-Based Piezoelectric Single Crystals for Ultrasonic Transducers”、及び1989 IEEE Ultrasonics Symposium、第755頁～第766頁（1989年）のW. A. Smithの“The Role of Piezocomposites in Ultrasound Transducers”を参照されたい。従って、最適な音響インピーダンスを有し、加工の容易な単純な整合層材料が必要とされている。

#### 【0008】

【課題を解決するための手段】圧電層に最も近接した音響整合層をシリコンで製造することにより、超音波トランスデューサの分解能が格段によくなる。シリコンは、単純で、広く普及しており、入手の容易な材料であり、広範な研究が成されており、安価で、比較的加工しやすい。シリコンは実質的にすべての半導体電子回路の基礎材料があるので、径が何インチものウェーハを容易に入手することができる。

【0009】最も単純な実施形態では、半導体加工用に得られるシリコン・ウェーハが、トランスデューサの構築時に適当な厚みに研摩されて、他の整合層材料と共に音響積層体に含められる。正確な厚みは設計の細部によって決まるが、材料においてノミナルで四分の一波長で

ある。

【0010】一好適実施形態によれば、トランスデューサ整合層構造は、チェビシェフ（Chebyshev）帯域形状を形成するように設計される（計算機最適化を用いて）。この帯域形状では、第三の層について理想的な音響インピーダンスは約18.6Mraylであるので、音響インピーダンスが19.6Mraylである標準的なシリコン・ウェーハは最適に近いが全く最適という訳ではない。しかしながら、形状を変えると音響インピーダンスの値が修正される。ケイ素の形状を、例えばトランスデューサ・アレイ素子に適当な形状である細いビーム（梁構造）に変更すると、所望のインピーダンスへのよりよい整合が得られる。

【0011】もう一つの実施形態では、シリコンの音響インピーダンスを特定の帯域形状設計に必要とされる音響インピーダンスにさらに正確に整合させるようにシリコーン・ウェーハの配向を選択することができる。シリコンは立方晶系物質であるので、ミラー指数（100）、（110）及び（111）によって表わされる三つの標準的な配向又は「切断面」を利用することができる。これらの指数は、結晶軸に対するウェーハ平面の配向に関係付けられる。より複雑な好適実施形態では、代替的な切断面を採用すれば音響インピーダンスに一層の柔軟性を与えることが可能になる。

#### 【0012】

【発明の実施の形態】従来の超音波プローブはトランスデューサ・パレットを含んでおり、パレットはプローブ筐体内に支持されていなければならない。図1に示すように、従来のトランスデューサ・パレットは、細幅のトランスデューサ素子から成るリニア・アレイを含んでいる。各々のトランスデューサ素子が圧電セラミックス材料の層2を含んでいる。圧電材料は典型的には、ジルコン酸チタン酸鉛（PZT）のようなセラミックス、二フッ化樹脂（difluoride）又はPZTセラミックス／ポリマー複合材料である。

【0013】典型的には、各々のトランスデューサ素子の圧電材料2は、後面に信号電極4を、また前面に接地電極6を有している。各々の信号電極4は、信号用可撓性プリント回路基板（PCB）10上のそれぞれの導電性トレース8を介して、プローブが接続されている超音波イメージング・システムの送信器（図示されていない）の信号供給源、例えばそれぞれのパルサ12に接続することができる。各々の信号電極は典型的にはまた、それぞれの受信器チャネル（図示されていない）にも選択的に接続可能である。パルサによって印加される送信パルスの振幅、タイミング及び送信系列は、システムの送信器に組み入れられている様々な制御手段によって決定される。各々の接地電極6は、接地用可撓性PCB14上のそれぞれのトレース（図示されていない）を介して共通の接地（図示されていない）に接続されている。

図1では、各可撓性PCBは図示を単純化する目的のみでパレットの両側に示されているが、好ましくは、両方の可撓性PCBとも、パレットの同じ側に設けられる。

【0014】トランスデューサ・パレットはまた、例えば金属配合エポキシ等の音響損失の高い適当な音響減衰材の集塊体16を含んでおり、集塊体16はトランスデューサ素子アレイの背面に配置されている。このバックング層16はトランスデューサ素子の後面にカップリングされており、各々の素子の裏側から発生する超音波を吸収して、これらの超音波が部分的に反射したり前方に伝播する超音波と干渉したりしないようにしている。

【0015】典型的には、各々のトランスデューサ・アレイ素子はまた、図1に示すように、圧電層2の金属化された前面（接地電極を形成している）に接合されている第一の音響インピーダンス整合層18を含んでいる。また、第一の音響インピーダンス整合層18には、第二の音響インピーダンス整合層20が接合されている。トランスデューサ・パレットの層2、18及び20は、音響的に透明な接着剤の薄層を用いて接合されている。第二の整合層20の音響インピーダンスは、第一の整合層18の音響インピーダンスよりも小さく、且つトランスデューサ・アレイに音響的にカップリングされる媒体の音響インピーダンスよりも大きくなければならない。例えば、第二の整合層20は、音響伝達特性の優れたポリスルホン又はRexoliteのようなプラスチック材料から成っていてよい。Rexoliteはニュージャージー州、BeverlyのC-LEC Plastics, Inc.から入手可能なジビニルベンゼンとの橋かけポリスチレンによって生成される熱硬化性材料の商標である。

【0016】図1は、独立したトランスデューサ素子としてダイス加工されたパレットを示しており、各々の素子が積層した層2、4、6、18及び20を含んでいる。ダイス加工前のパレットは、積層体を形成するようにシート又はプレートを積層することにより構築される。次いで、パレットを十分な深さまでダイス切断して、それぞれのトランスデューサ素子を形成する。ダイス鋸を用いて、平行な素子分断切断部又は切り溝24を形成する。各々の切断部は音響整合層18及び20並びに圧電層2を完全に貫通し、音響吸収層16には部分的にのみ延在している。切り溝24は後に、エラストマー又はゴム材料で充填される。

【0017】ダイス加工の後に、音響的に透明なシリコン接着剤の薄層を用いてトランスデューサ素子の第二の音響インピーダンス整合層20の前面を凸面円筒レンズ22の平面状の後面に従来の方式で接合する。レンズ22は次の三つの目的を果たす。（1）音響的集束（レンズ22のレンズ形状の断面及び低音速という材料特性\*

\*による）、（2）ゲル、体液、及び洗浄剤等による侵蝕からトランスデューサ素子を保護する化学的障壁を設ける、並びに（3）電気的作用性のあるトランスデューサ素子から患者を保護する電気的障壁を設ける。レンズは従来、シリコーン・ゴムから製造されている。

【0018】本発明の好適実施形態によれば、各々のトランスデューサ素子は三つの音響整合層を含んでいる。

図2に示すように、各々のトランスデューサ素子は、圧電材料層2の金属化された前面に接合されている単結晶シリコン製の第一の音響整合層26と、第一の音響整合層26に接合されている金属（例えば、銅、アンチモン又は類似の金属）包接物を含浸させたグラファイト製の第二の音響整合層18と、第二の音響整合層18に接合されているRexolite製の第三の音響整合層20とを含んでいる。シリコンは、単純で、容易に入手可能であり、広く普及した材料であるという利点を有しており、加工が容易で広範に研究されている。シリコンは殆どの半導体電子回路の基礎材料であるので、径が何インチものウェーハを容易に入手することができる。

【0019】最も単純な実施形態では、半導体加工用に得られるシリコン・ウェーハが、トランスデューサの構築時に適当な厚みに研摩されて、他の整合層材料と共に音響積層体に含められる。正確な厚みは設計の細部によって決まるが、材料においてノミナルで四分の一波長である。

【0020】チェビシェフ帯域形状を有するトランスデューサ整合層構造を形成するためには、第三の整合層について理想的な音響インピーダンスは約18.6Mraylであるので、音響インピーダンスが19.6Mraylである標準的なシリコン・ウェーハは最適に近いが全く最適という訳ではない。しかしながら、形状を変えると、音響インピーダンスの値が修正される。ケイ素の形状を、例えばトランスデューサ・アレイ素子に適当な形状である細いビームに変更すると、所望のインピーダンスへのよりよい整合が得られる。

【0021】もう一つの好適実施形態では、シリコンの音響インピーダンスを特定の帯域形状設計に必要とされる音響インピーダンスにさらに正確に整合させるようにシリコーン・ウェーハの配向を選択することができる。シリコンは立方晶系物質であるので、ミラー指数(100)、(110)及び(111)によって表わされる三つの標準的な配向又は「切削面」を利用することができる。これらの指数は、結晶軸に対するウェーハ平面の配向に関係付けられる。三つの切削面のそれぞれの音響インピーダンスは下記のとおりである。

【0022】

切削面	$Z_{long}$	$Z_{shear}$	$Z_{beam}$
(100)	19.6	13.6	18.1
(110)	19.6	10.9	18.3

(9111) 19.6

【0023】上の表では、 $Z_{long}$  及び  $Z_{shear}$  はそれぞれバルク材料での縦波及び剪断波についての音響インピーダンスを示す。音響インピーダンスは、二つの材料の間の境界での音波の透過及び反射を記述するのに有用な概念であって、密度及び剛性のような材料特性、並びに音波の種類及び材料の形状に依存する。加えて、殆どの超音波トランステューサ・アレイでは、整合層は連続ではなく独立したビームとして切断されており、従って厚み方向に走行する音波に、ビームの両面によるさらなる制約が加わる。これにより、 $Z_{beam}$  が、超音波アレイに広く用いられている細長い棒での厚みモード振動についての音響インピーダンスを表わす。

【0024】上の表に示すように、僅かに異なる音響インピーダンスを達成することが可能であり、従って音響的設計を最適化することが可能である。最終的な最も複雑な好適実施形態では、代替的な切断面を採用すれば音響インピーダンスに一層の柔軟性を与えることが可能になる。標準的な結晶物理学の教科書（例えば、B. A. Auld著、Acoustic Fields and Waves in Solids、第3.D節、J. W. Wiley、ニューヨーク、1973年）に示されているように、シリコンの弾性定数は結晶配向の関数であって、容易に計算される。具体的には、コンピュータ・プログラムを利用して、Bond行列を用いてオイラー角の任意集合についてシリコン結晶の弾性行列を算出することができる。

【0025】三層整合層型シェビシェフ設計を計算機モデルを用いて合成した。モデルの主な自由パラメータは整合層の厚みとした。次いで、これらの層を作製してパレット構造に用いた。次いで、パレットを試験した。この実験の詳細及び結果について以下に述べる。

【0026】選択した圧電材料は、音響インピーダンスが  $32.35 \text{ M Rayl}$  で音速が  $4,147 \text{ m/s}$  のセラミックスであった。計算機シミュレーションの目的のために、圧電層の厚みを  $218 \mu\text{m}$  に固定した。三つの整合層のインピーダンスは、単結晶シリコン ( $100$ )、 $SbGr$  及び  $Rexolite$  にそれぞれ対応して  $19.6 \text{ M Rayl}$ 、 $7.4 \text{ M Rayl}$  及び  $2.44 \text{ M Rayl}$  に固定した。 $Rexolite$  及び  $SbGr$ （すなわちアンチモンで含浸したグラファイト）は、公知の二層整合層広帯域プローブ設計に用いられているので選択された。しかしながら、本発明は、これらの材料の利用に限定されているのではない。類似の特性を有する他の材料を第二の整合層及び第三の整合層に用いてよい。単結晶シリコンは、そのインピーダンスがシェビシェフ帯域形状の最適値  $18.6 \text{ M Rayl}$  に近いため第一の整合層として選択された。

【0027】一次元モデル（唯一の振動モードを想定した）及び有限要素法モデル（FEM）の両方を利用して、前述の各材料を用いて三層整合層設計の音響応答を

13.5 18.1 10

シミュレートした。一次元モデルを用いて整合層の厚みを最適化した。一次元最適化では、三つの整合層のそれぞれの音響インピーダンス及び速度（音速）は、以下の値に固定されていた。 $Z_{si} = 19.60 \text{ M Rayl}$ 、 $v_{si} = 8,270 \text{ m/s}$ ； $Z_{SbGr} = 7.40 \text{ M Rayl}$ 、 $v_{SbGr} = 2,800 \text{ m/s}$ ； $Z_{rexolite} = 2.44 \text{ M Rayl}$ 、 $v_{rexolite} = 2,324 \text{ m/s}$ 。音響整合層の厚みのみを変化させた。次いで、アスペクト比並びに  $Z_{si}$  及び  $v_{si}$  の有限寸法効果を考慮しつつ、FEMに音響出力エネルギーを供給した。次いで、FEM（有限要素法モデル）からのパラメータを再最適化のために一次元モデルにフィードバックした。トランステューサの設計は、概シェビシェフ形状を有する比帯域幅  $103\%$  のトランステューサであって、四つのピークを有し、二つの中央ピークが集合して单一のピークを形成しているトランステューサについて行なわれた。最適化した設計での伝達関数の予測形状を図3に示す。最適化した設計での整合層の算出厚みは、シリコンが  $313.5 \mu\text{m}$ 、 $SbGr$  が  $104.9 \mu\text{m}$ 、及び  $Rexolite$  が  $85.83 \mu\text{m}$  であった。

【0028】次いで、整合層及び圧電層を前述の厚みで備えたパレットを試験用に構築した。P型 (100) シリコン・ウェーハを研磨して、所望の厚みすなわち  $313.5 \mu\text{m}$  とした。 $25 \mu\text{m}$  幅のダイス鋸刃を用いると、トランステューサ素子の作用面積が僅かに減少した。

【0029】試験結果から判明したところによれば、比帯域幅は  $95\% \sim 97\%$  であり、この値は、 $SbGr$  及び  $Rexolite$  を用いた標準的な二層整合層設計で得られる  $75\%$  よりもかなり良好であり、時間応答は標準的な二層整合層設計に匹敵していた。感度は、標準的な二層整合層設計よりも約  $2 \text{ dB}$  小さく、この理由はおそらく、セラミックス面積が減少していたこと、及び整合層構造に付加的な損失が存在していたことによると見られる。標準的な平板反射器を用いて双方向伝達関数を測定した。試験データは図3に示す伝達関数の予測形状に極く近く適合しており、幅広の中央の隆起、及び帯域の両端に二つのピークを有していた。この試験では既存の整合層材料を用いたに過ぎないので、さらに最適化した設計を用いて改善を達成することができる。設計理論は  $100\%$  範囲の比帯域幅が達成可能であることを示している。具体的には、各々のトランステューサ素子でシリコン単結晶構造の配向を変化させることにより、整合層構造を最適化することができる。

【0030】殆どの超音波トランステューサは現状では、上述の圧電素子のようなセラミックスを用いているが、圧電単結晶成長、具体的には  $PZNT$ （亜鉛ニオブ酸チタン酸鉛）及び  $PMNT$ （マグネシウムニオブ酸チタン酸鉛）の進歩は、これらの材料が今後数年以内に利

用可能になり得ることを示唆している。圧電カップリングを高めたこの材料を用いると、これらの素子の帯域幅がさらに拡大する。圧電体の音響インピーダンスが変化すると、層の厚みについての設計の変更が生じ、従つて、シリコン整合層切断面の配向の変更が生じることが理解されよう。

【0031】本発明の超音波トランステューサ・プローブは、プローブ以外では従来のものである超音波イメージング・システムに組み入れることができ、ハーモニック撮像モードを具備するシステムで特に有用である。本発明を組み入れておりハーモニック撮像モードを具備するBモード・イメージング・システムの基本的な信号処理鎖を図4に示す。超音波プローブ28が、多数のトランステューサ素子を含むトランステューサ・アレイ30を含んでおり、各々の素子が、間に接地電極を挟んだ圧電層とシリコン音響整合層とを含んでいる。トランステューサ・アレイの各素子は、ビームフォーマ32の送信器部に組み入れられているそれぞれのパルサによって起動される。パルサは、送信焦点位置に集束されており基本中心周波数を有する超音波をトランステューサ・アレイに送信させるように制御される。帰投した超音波エネルギーは、トランステューサ素子によって電気的なRF(無線周波数)信号へ変換される。これらの電気信号は、ビームフォーマ32の受信器部のそれぞれの受信チャネルにおいて受信される。ビームフォーマ32の受信部は、周知の態様で走査線に沿った連続したレンジで受信信号を動的に集束して、受信ベクタを形成する。各々の走査線毎のビームフォーマの出力データ(I/Q又はRF)は、Bモード信号プロセッサ鎖34を通過する。Bモード信号プロセッサ鎖34は、例えば、ハーモニック周波数を中心とするハーモニック信号成分の帯域を通過させる帯域通過フィルタ、包絡線検波、及び対数圧縮等を含んでいてよい。代替的には、例えば送信時のGolay符号化励起及び受信時の復号のような他のハーモニック撮像手法を用いてもよい。次いで、得られた画像データは表示プロセッサ36によって処理されて、表示モニタ38に表示される。システム制御はホスト・コンピュータ又はシステム制御器40に集中化されており、シス\*

\*テム制御器40は操作者の入力した命令を操作者インターフェイス42を介して受け取って、次いで様々なサブシステムを制御する。

【0032】本発明の幾つかの好ましい特徴のみを図示すると共に記載したが、当業者には多くの改変及び変形が想到されよう。例えば、シリコンと同様の音響インピーダンス値及び音速値を有する材料をシリコンの代わりに用いてもよい。加えて、本書に開示した超広帯域幅トランステューサ・プローブは、ハーモニック・イメージング・システムでの利用に限定されている訳ではない。従つて、特許請求の範囲は本発明の要旨の範囲内に含まれるようなすべての改変及び変形を網羅しているものと理解されたい。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】従来のトランステューサ・パレットの等角投影図である。

【図2】本発明の好適実施形態によるトランステューサ・パレットの一部の概略的な立面図である。

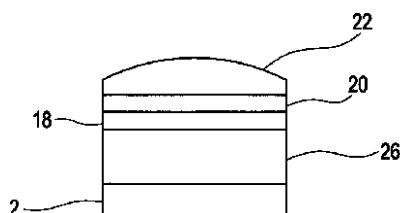
【図3】比帯域幅が103%であり、概チエビシェフ帯域形状を有する計算機シミュレートしたトランステューサの伝達関数のグラフである。

【図4】シリコン整合層を有する超広帯域幅のトランステューサを組み入れることのできる実時間デジタル超音波イメージング・システムのブロック図である。

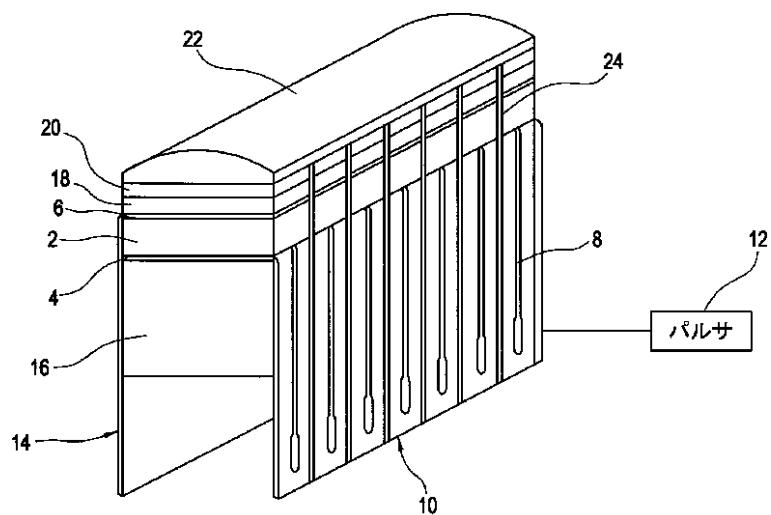
#### 【符号の説明】

- |          |                |
|----------|----------------|
| 2        | 圧電材料層          |
| 4        | 信号電極           |
| 6        | 接地電極           |
| 8        | 導電性トレース        |
| 10       | 信号用可撓性プリント回路基板 |
| 14       | 接地用可撓性プリント回路基板 |
| 16       | バッキング層         |
| 18、20、26 | 音響インピーダンス整合層   |
| 22       | 音響レンズ          |
| 24       | 切り溝            |
| 28       | 超音波プローブ        |
| 30       | トランステューサ・アレイ   |

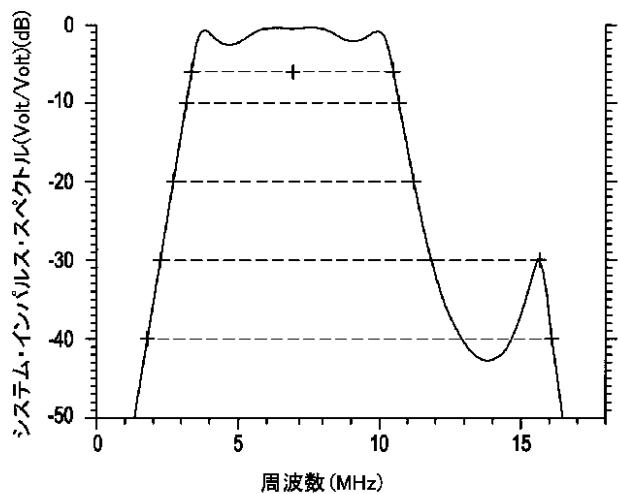
【図2】



【図1】



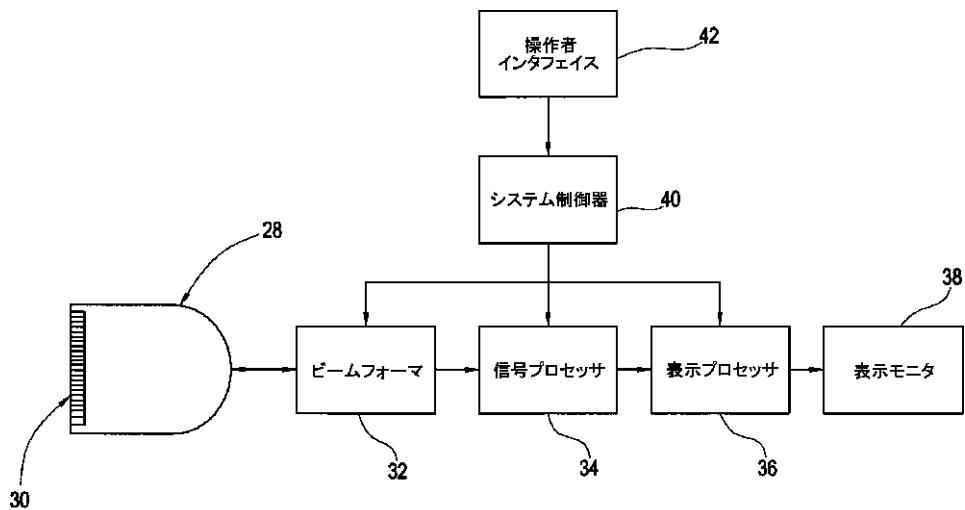
【図3】



中心 6.80MHz

10.31 - 3.30 = 7.01 MHz = 103% @ -6dB  
 10.51 - 3.14 = 7.37 MHz = 108% @ -10db  
 11.02 - 2.75 = 8.27 MHz = 122% @ -20dB  
 15.50 - 2.31 = 13.19 MHz = 194% @ -30dB  
 15.92 - 1.80 = 14.11 MHz = 207% @ -40dB

【図4】



フロントページの続き

(51) Int.CI.<sup>7</sup>  
H 01 L 41/187  
41/22

識別記号

F I  
H 01 L 41/22  
41/08

テマコト<sup>®</sup> (参考)  
Z  
D

(72)発明者 ニム・ハク・ティー  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州、ロサンゼルス、パーデュ・ナンバー324、2491番  
(72)発明者 セオドア・ラウア・ライネ  
アメリカ合衆国、ウィスコンシン州、ホワイトフィッシュ・ベイ、イースト・グレンデール・アベニュー、2310番

(72)発明者 シュワン・ミン・ルー  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州、サン・ノゼ、レッドモンド・アベニュー、1514番  
F ターム(参考) 5D019 AA09 BB02 BB18 GG02 GG03  
5D107 AA05 BB07 BB09 CC01 CC12  
CD02

专利名称(译)	超声波换能器，增强成像系统的分辨率		
公开(公告)号	<a href="#">JP2003125494A</a>	公开(公告)日	2003-04-25
申请号	JP2002196611	申请日	2002-07-05
[标]申请(专利权)人(译)	通用电气公司		
申请(专利权)人(译)	通用电气公司		
[标]发明人	ロウエルスコットスミス ニム・ハクティー セオドア・ラウア・ライネ シュワン・ミンルー		
发明人	ロウエル・スコット・スミス ニム・ハク・ティー セオドア・ラウア・ライネ シュワン・ミン・ルー		
IPC分类号	H04R17/00 A61B8/00 B06B1/06 G01N29/24 G01N29/28 G01S7/52 G01S7/521 G03B42/06 G10K11/02 H01L41/08 H01L41/09 H01L41/187 H01L41/22		
CPC分类号	G01N29/245 A61B8/4281 A61B8/485 B06B1/0622 G01N29/28 G01N2291/0421 G01N2291/0422 G01N2291/106 G01S7/52023 G01S7/52079 G03B42/06 G10K11/02 Y10T29/42		
FI分类号	H04R17/00.330.J H04R17/00.332.A B06B1/06.A H01L41/08.J H01L41/18.101.D H01L41/22.Z H01L41/08.D H01L41/313		
F-TERM分类号	5D019/AA09 5D019/BB02 5D019/BB18 5D019/GG02 5D019/GG03 5D107/AA05 5D107/BB07 5D107/BB09 5D107/CC01 5D107/CC12 5D107/CD02		
优先权	09/898811 2001-07-05 US		
其他公开文献	JP2003125494A5 JP3950755B2		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a>		

## 摘要(译)

解决的问题：为简单的超宽带探头提供匹配层材料，该探头具有最佳的声阻抗，并且易于超声成像处理。为了提高分辨率，在超声波换能器中采用最靠近压电层(2)设置的硅声匹配层(26)。在换能器的构造过程中，抛光到适当厚度的硅晶片与其他匹配层材料(18、20)一起包含在声波堆栈中。确切的厚度取决于设计细节，但名义上为硅的四分之一波长。

