

(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
2013年8月22日(22.08.2013)



(10) 国際公開番号
WO 2013/122075 A1

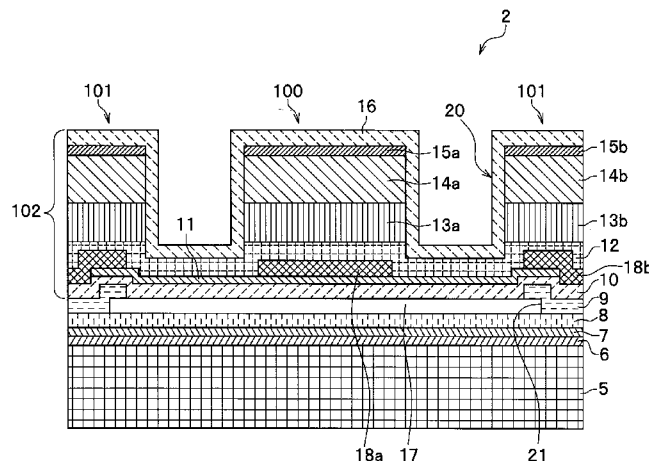
- (51) 国際特許分類:
A61B 8/00 (2006.01) *H04R 19/00* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/053335
- (22) 国際出願日: 2013年2月13日(13.02.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2012-029259 2012年2月14日(14.02.2012) JP
- (71) 出願人: 日立アロカメディカル株式会社(HITA-CHI ALOKA MEDICAL, LTD.) [JP/JP]; 〒1818622 東京都三鷹市牟礼6丁目2番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 吉村 保廣(YOSHIMURA Yasuhiro); 〒3191292 茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株式会社日立製作所 日立研究所内 Ibaraki (JP). 永田 達也(NAGATA Tatsuya); 〒1818622 東京都三鷹市牟礼6丁目2番1号 日立アロカメディカル株式会社内 Tokyo (JP). 佐光 暁史(SAKO Akifumi); 〒1818622 東京都三鷹市牟礼6丁目2番1号 日立アロカメディカル株式会社内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: 磯野 道造(ISONO Michizo); 〒1020093 東京都千代田区平河町2丁目7番4号 砂防会館別館内 磯野国際特許商標事務所気付 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, KE, KG, KM, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: ULTRASOUND PROBE AND ULTRASOUND EQUIPMENT USING SAME

(54) 発明の名称: 超音波探触子及びそれを用いた超音波診断装置



(57) Abstract: Provided are: an ultrasound probe with excellent characteristic stability; and ultrasound equipment that uses the ultrasound probe. The ultrasound probe (1) has an ultrasonic transmitting and receiving element (2) provided with a substrate (5), an insulating film formed on the substrate (5), a cavity (17) formed between the substrate (5) and the insulating film, and a pair of electrodes (7, 11) disposed parallel to the substrate so as to sandwich the cavity (17). The ultrasound probe (1) is characterized in that the ultrasonic transmitting and receiving element (2) has a beam part (100) with a multilayer structure formed by laminating films comprising materials with different stresses, said beam part (100) being disposed on the electrode (11) distant from the substrate (5) among the pair of electrodes (7, 11), and the beam part (100) is formed by laminating a film that applies a tensile stress and a film that applies a compression stress.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2013/122075 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

特性安定性に優れた超音波探触子及びそれを用いた超音波診断装置を提供する。基板(5)と、基板(5)上に形成される絶縁膜と、基板(5)と前記絶縁膜との間に形成される空洞(17)と、基板(5)に対して平行に空洞(17)を挟んで設けられる一対の電極(7, 11)と、を備える超音波送受信素子(2)を有する超音波探触子(1)において、超音波送受信素子(2)は、一対の電極(7, 11)のうちの基板(5)から離れた電極(11)の上に、応力の異なる材料からなる膜が積層されてなる多層構造の梁部(100)が設けられ、梁部(100)は、引張応力を与える膜と圧縮応力を与える膜とが積層されてなることを特徴とする、超音波探触子(1)。

明 細 書

発明の名称：超音波探触子及びそれを用いた超音波診断装置

技術分野

[0001] 本発明は、超音波探触子及びそれを用いた超音波診断装置に関する。

背景技術

[0002] ヒトや動物等の被検体を超音波で検査するため、超音波探触子が好ましく用いられる。このような超音波探触子に関する技術として、例えば特許文献 1 に記載の技術がある。具体的には、半導体製造技術、MEMS (Micro Electro Mechanical System) 技術を適用し、薄膜の積層により、超音波送受信デバイスを作製するもので、シリコン基板上に設けられた下部電極と下部電極より上に設けられた上部電極と、上部電極より上に設けられた第 1 と第 2 の絶縁膜で構成されており、第 1 と第 2 の絶縁膜が、それぞれ引張応力と圧縮応力の組み合わせであり、上部電極と下部電極の間にあるギャップの反り量を調整することが記載されている。

[0003] また、特許文献 2 には、内部または表面に第 1 の電極を有する基板と、その内部または表面に第 2 の電極を有するダイヤフラムとを、空洞を介して配置している超音波トランスデューサーで、少なくとも 1 つの梁を具備していることが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献 1：特開 2007-259165 号公報

特許文献 2：国際公開第 2007/046180 号パンフレット

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] cMUT (Capacitive Micromachined Ultrasonic Transducer) 素子は、特許文献 1 に記載されているように、半導体製造技術や MEMS 技術を応用した技術である。具体的には、cMUT 素子は膜が積層されて製造されるた

め、各膜の応力と剛性とのバランスによって、駆動電極層であるメンブレン（複数積層された膜からなる）が意図せず過度に反ることがある。そのため、駆動電極と固定電極とのギャップ間隔が製造ロット間で変化することがある。

[0006] 各膜の応力は、シリコンウエハ面内で製造工程特有の分布を有しており、さらには、膜を形成する装置のバッチ毎や製造ロット毎にもばらつきがある。そのため、応力ばらつきに対応して、メンブレンの反り量もばらつき、ギャップ（幅）の間隔もばらつくことがある。

[0007] このような観点で、特許文献1に記載の技術においては、各膜の応力がばらついた場合は反りの変化が顕著にでて、ギャップ間隔のばらつきも大きいものとなる。即ち、製造ロット間でのばらつきが大きくなる。

[0008] c M U T素子の駆動時、はじめにギャップを挟む電極間に直流電圧が印加され、ギャップの間隔を縮める。そして、更に交流電圧が印加され、ギャップの間隔を縮めたり広げたりして超音波を発生させる。そのため、ギャップの間隔が装置毎に変動すると、直流電圧と交流電圧との両方の印加電圧も装置毎に変化させなければならなくなる。

[0009] また、直流電圧と交流電圧との大きさは、ギャップの間隔によって最適な設定がある。そのため、素子によってギャップがばらついた場合は、設定した印加電圧が、ギャップに応じた最適な印加電圧よりずれることになる。このようにして印加電圧がずれると、送信音圧がばらつき、発生する超音波の音響性能もばらつくため、c M U T素子を用いた超音波探触子としての特性安定性に課題が生じることがある。

[0010] また、超音波受信時には、直流電圧印加によりギャップが狭められた状態で、メンブレンの振動によるギャップ間隔の変化を静電容量変化として電流に変換する。そのため、直流電圧印加による素子への電荷の蓄積は、受信感度に影響を及ぼすことがある。従って、ギャップ間隔がばらついた場合には、受信信号がばらつき、超音波画像の精細度も低下することがある。即ち、超音波探触子としての特性安定性に課題が生じることがある。

[0011] また、特許文献2に記載の技術においては、装置製造時にフォトリソグラフィ工程でのマスク位置合わせばらつきにより梁の形成位置がずれた場合、絶縁膜のバランスが崩れることがある。その結果、製造ロット間の反り変形もばらつくことがあり、超音波画像の精細度が低下する可能性がある。即ち、超音波探触子としての特性安定性に課題が生じることがある。

[0012] 本発明は前記課題に鑑みて為されたものである。即ち、その目的は、特性安定性に優れた超音波探触子及びそれを用いた超音波診断装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0013] 本発明者ら前記課題を解決するべく鋭意検討した結果、梁を設け、当該梁の内部を異なる応力を与える膜を積層して構成することで前記課題を解決できることを見出し、本発明を完成させた。

発明の効果

[0014] 本発明によれば、特性安定性に優れた超音波探触子及びそれを用いた超音波診断装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]本実施形態の超音波探触子の概略構成を示す図である。

[図2] c M U T 素子近傍の断面図である。

[図3] c M U T 素子におけるメンブレンを示す図である。

[図4]メンブレンの応力中立面と梁部の梁中立面とを説明する図である。

[図5]別の c M U T 素子におけるメンブレンを示す図である。

[図6]間隔変動量を説明するための図であり、(a)が反っていないとき、(b)が反り変形量に変化したときである。

[図7]メンブレン間隔の変動量を示した図である。

[図8]本実施形態の超音波診断装置の構成を示すブロック図(図8(a))と、その模式図(図8(b))である。

発明を実施するための形態

[0016] 以下、図面を参照しながら、本発明を実施するための形態（本実施形態）を説明する。はじめに、図１及び図２を参照しながら、本実施形態の超音波探触子の全体構成を説明する。その後、図３及び図４を参照しながら、本実施形態の超音波探触子に適用されるｃＭＵＴ素子の構成について説明する。

[0017] <本実施形態の超音波探触子の全体構成>

図１に示すように、本実施形態の超音波探触子１は、ｃＭＵＴ素子２と、バッキング３と、フレキシ基板４と、コネクタ９１と、配線９２と、回路基板９７と、接続端子９８とを備える。超音波探触子１は、例えば医療機関における人体検査（心臓、血管等の循環器検査、腹部検査等）に用いられる。

[0018] 超音波探触子１は、バッキング３の先端にｃＭＵＴ素子２を備えている。ｃＭＵＴ素子２は、後記する音響レンズ９４を介して被検体９５に超音波を照射するとともに、被検体９５から反射された超音波を受信するものである。この点についての詳細は後記する。ｃＭＵＴ素子２は、コネクタ９１に接続される配線９２を有するフレキシ基板４に対して、ワイヤボンディングで接続されている。コネクタ９１は、回路基板９７（具体的な回路は図示していない）と接続している。そして、回路基板９７上の接続端子９８は、超音波診断装置２０１（図７参照）と接続する。

[0019] 超音波診断装置２０１（詳細は後記する）は、ｃＭＵＴ素子２に電気信号を与えて駆動させるとともに、被検体９５からの受波による信号を画像化させるものである。ｃＭＵＴ素子２の表面には、ｃＭＵＴ素子２から発生した超音波を被検体方向にフォーカスするためのシリコン樹脂の音響レンズ９４を備えている。ｃＭＵＴ素子２は、音響レンズ９４を経て、人体等の被検体９５に超音波を送受信する。

[0020] 次に、図２を参照しながら、超音波探触子１のｃＭＵＴ素子２近傍の構成を詳細に説明する。図２に示すように、バッキング３の上には、樹脂４５を介してｃＭＵＴ素子２が接着固定されている。また、超音波送受信信号を基板（図示せず）に伝達するフレキシ基板４も、樹脂４６を介してバッキング３に固定されている。

[0021] c M U T 素子 2 とフレキ基板 4 とは、ワイヤボンディング法により、ワイヤ 4 2 で接続されている。ワイヤ 4 2 及びその接続部周辺は、封止樹脂 4 7 により封止されている。これにより、ワイヤ 4 2 の固定と、駆動電圧の印加によるエレクトロマイグレーションの防止とをすることができる。そして、これらの構造体の上に、音響レンズ 9 4 が樹脂 4 1 で接着固定されている。また、これらの構造体は、ケース 4 3 に収納されている。ケース 4 3 と音響レンズ 2 との間隙は、樹脂 4 4 で充填されている。

[0022] < c M U T 素子 2 の構成 >

超音波探触子 1 に適用される c M U T 素子 2 の表面（音響レンズ 9 4 に対応する面）を拡大した様子が図 3 である。なお、c M U T 素子 2 は通常複数のセルにより構成されている。そのため、図 3 には、当該複数のセルのうちの一つのセルを拡大して示している。

[0023] c M U T 素子 2 は、シリコン基板 5 と、下電極 7 と、上電極 1 1 と、絶縁膜 6, 8, 9, 1 0, 1 2, 1 3 a, 1 3 b, 1 4 a, 1 4 b, 1 5 a, 1 5 b, 1 6, 1 8 a, 1 8 b と、を備える。また、絶縁膜 8 と絶縁膜 1 0 との間には、空洞 1 7 が形成されている。

[0024] シリコン基板 5 表面には絶縁膜及び電極が積層されている。具体的には、シリコン基板 5 上には、絶縁膜 6、下電極 7、絶縁膜 8、絶縁膜 9、絶縁膜 1 0、上電極 1 1、絶縁膜 1 8 a, 1 8 b 及び絶縁膜 1 2 が、この順で積層されている。また、空洞 1 7 は、絶縁膜 8 と絶縁膜 1 0 との間に設けられている。そして、絶縁膜 1 2 表面には、梁部 1 0 0 と 2 つのリム部 1 0 1 とが設けられている。

[0025] メンブレン 1 0 2 は、シリコン基板上に設けられる絶縁膜、電極及び空洞 1 7 の集合体である。交流電圧印加時にメンブレン 1 0 2 が振動することで、超音波が発生する。メンブレン 1 0 2 は梁部 1 0 0 及びリム部 1 0 1 を含む。

[0026] 梁部 1 0 0 は、上電極 1 1 の中央付近、絶縁膜 1 8 a の上表面に設けられている。梁部 1 0 0 は、絶縁膜 1 2, 1 3 a, 1 4 a, 1 5 a がシリコン基

板 5 側からこの順で積層されている。即ち、図 3 に示すように、c M U T 素子（超音波送受信素子）2 の外表面には絶縁膜 1 6（引張応力を与える膜）が形成され、梁部 1 0 0 は、シリコン基板（基板）5 に近い方から、絶縁膜 1 2（引張応力を与える膜）、絶縁膜 1 3 a（圧縮応力を与える膜）、絶縁膜 1 4 a（引張応力を与える膜）、及び絶縁膜 1 5 a（圧縮応力を与える膜）がこの順で積層されてなる。そして、梁部 1 0 0 の上面及び側面は、絶縁膜 1 6 によって被覆されている。梁部 1 0 0 に含まれる層数（積層される膜の数）は、梁部 1 0 0 とリム部 1 0 1 との間（即ち、梁部 1 0 0 とリム部 1 0 1 との間に形成される凹部における底部）におけるメンブレン 1 0 2 の層数よりも多くなっている。

[0027] リム部 1 0 1 は、上電極 1 1 の両端に一部重複して、絶縁膜 1 8 b の上表面に設けられている。即ち、図 3 に示すように、梁部 1 0 0 に離間してリム部 1 0 1 が設けられ、リム部 1 0 1 は、絶縁膜 1 2, 1 3 b, 1 4 b, 1 5 b（応力の異なる材料からなる膜）が積層されてなる多層構造であり、リム部 1 0 1 が、空洞端 2 1（空洞 1 7 の端部）よりも空洞 1 7 側に張り出している。リム部 1 0 1 が設けられることにより、c M U T 素子 2 の強度を向上させることができる。また、リム部 1 0 1 は剛性が高いため、メンブレン 1 0 2 をより良好に振動させることができる。

[0028] 図 3 に示すリム部 1 0 1, 1 0 1 の下側には、上電極 1 1 の両端（紙面左右方向端部）が形成されるように、リム部 1 0 1, 1 0 1 が設けられている。リム部 1 0 1 は、絶縁膜 1 2, 1 3 b, 1 4 b, 1 5 b を構成要素として、これらがシリコン基板 5 側からこの順で積層されている。そして、リム部 1 0 1 の上面及び梁部 1 0 0 に対向する面は、絶縁膜 1 6 によって被覆されている。リム部 1 0 1 に含まれる層数は、梁部 1 0 0 と同様に、梁部 1 0 0 とリム部 1 0 1 との間（即ち、梁部 1 0 0 とリム部 1 0 1 との間に形成される凹部における底部）におけるメンブレン 1 0 2 の層数よりも多くなっている。

[0029] リム部 1 0 1 の端部であるリム端 2 0 は、空洞 1 7 の端部である空洞端 2

1よりも張り出している。これにより、メンブレン102の空洞端21近傍の変形し易い部分の剛性を高めることができる。このため、各膜の応力変動によるメンブレン102の反りや空洞17のギャップ変動を小さくすることができる。

[0030] リム部101と絶縁膜8との間は、各絶縁膜が複雑に積層されて構成されている。このような積層構造を有することで、リーク電流による絶縁破壊を防止することができる。

[0031] 下電極7及び上電極11は、いずれも平行平板電極である。そして、これらの電極に対して図示しない電源を接続して、直流電圧若しくは交流電圧を印加することにより、メンブレン102が反ることになる。即ち、上電極11が、下電極7側に引っ張られて近づくことになる。なお、メンブレン102は、下電極7及び上電極11への直流電圧の印加により反りが生じる部位である。また、交流電圧印加時には、メンブレン102は振動が生じる部位である。

[0032] ここで、cMUT素子2に備えられる絶縁膜について説明する。cMUT素子2に備えられる絶縁膜は、二酸化ケイ素（二酸化シリコン； SiO_2 ）及び窒化ケイ素（窒化シリコン； Si_3N_4 ）により構成される。即ち、絶縁膜6, 8, 9, 10, 13a, 13b, 15a, 15b, 18a, 18b（第1の絶縁膜）は、二酸化ケイ素により構成される。また、絶縁膜12, 14a, 14b, 16（第2の絶縁膜）は、窒化ケイ素により構成される。このように、cMUT素子2に適用される絶縁膜は、2種の異なる絶縁材料により構成されている。これらの絶縁膜は、例えば化学気相成長法やスパッタ法により形成することができる。

[0033] 二酸化ケイ素からなる膜（第1の絶縁膜）は、圧縮応力を与える膜（圧縮応力の膜）である。一方、窒化ケイ素からなる膜（第2の絶縁膜）は、引張応力を与える膜（引張応力の膜）である。換言すれば、引張応力を与える膜は窒化ケイ素であり、圧縮応力を与える膜は二酸化ケイ素である。即ち、梁部100においては、表面が窒化ケイ素からなる膜で覆われ、その内側には

、表面側から、圧縮応力の二酸化ケイ素からなる膜（絶縁膜 15 a）、引張応力の窒化ケイ素からなる膜（絶縁膜 14 a）、圧縮応力の二酸化ケイ素からなる膜（絶縁膜 13 a）、並びに引張応力の窒化ケイ素からなる膜（絶縁膜 12）がこの順で積層されていることになる。リム部 101 においても、略同様に積層されている。

[0034] 即ち、超音波探触子 1 は、シリコン基板（基板）5 と、シリコン基板 5 上に形成される絶縁膜 6, 8, 9, 10, 12, 18 a, 18 b と、シリコン基板 5 と絶縁膜 6, 8, 9, 10, 12, 18 a, 18 b との間に形成される空洞 17 と、シリコン基板 5 に対して平行に空洞 17 を挟んで設けられる上電極 11 及び下電極 7（一对の電極）と、を備える cMUT（超音波送受信素子）2 を有するものである（図 1 及び図 3 参照）。そして、超音波探触子 1 においては、超音波送受信素子 2 は、図 3 に示すように、上電極 11 及び下電極 7 のうちのシリコン基板 5 から離れた上電極 11（電極）の上に、応力の異なる材料からなる膜 12, 13 a, 14 a, 15 a が積層されてなる多層構造の梁部 100 が設けられ、梁部 100 は、絶縁膜 12, 14 a（引張応力を与える膜）と絶縁膜 13 a, 15 a（圧縮応力を与える膜）とが積層されてなる。

[0035] もし、圧縮応力の膜と引張応力の膜とが積層されずに 1 種の層のみからなる場合、反りばらつきが生じ易い。特に、ロット間で製造ばらつきが生じ、製造ロット間で応力が異なるものになった場合、梁部が設けられていると応力の作用が複雑になる。そのため、メムブレン駆動のばらつきを抑えることは難しい。しかしながら、積層される層の数（層数）が 2 層の場合、例えばバイメタルのように応力ばらつきが反り量に反映されることがあるものの、前記のばらつきを抑えることができる。これにより、良好な特性安定性を得ることができる。さらに、前記層数が 3 層以上である場合、このようなばらつきをより確実に抑えることができる。

[0036] 従って、超音波探触子 1 において、図 3 に示すように、梁部 100 に含まれる絶縁膜 12, 13 a, 14 a, 15 a（膜）の層数は、梁部 100 以外

の部位を構成する絶縁膜 12, 16 の層数よりも多くなっている。具体的には、超音波探触子 1 においては、梁部 100 は 4 層からなり、梁部 100 以外の部位を構成する絶縁膜は 2 層である。このように、梁部 100 の層数は、梁部 100 以外の部位を構成する絶縁膜の層数よりも多くなっている。また、超音波探触子 1 において、引張応力を与える膜（絶縁膜 12, 14 a）、並びに、圧縮応力を与える膜（絶縁膜 13 a, 15 a）は、絶縁膜である。

[0037] 梁部 100 においては、圧縮応力を与える膜と引張応力を与える膜とが積層されている。そのため、もし各絶縁膜の応力がばらつきにより変動した場合でも、梁部 100 がこのような積層構造を有することで、引張応力の膜と圧縮応力の膜とがバランスする。その結果、製造ロット間でのメンブレン 102 の反りの変動が小さく、空洞 17 のギャップ間隔のばらつきを小さくすることができる。

[0038] また、メンブレン 102 を構成する各絶縁膜の応力の総和が圧縮応力となる場合は、座屈が発生する。これにより、メンブレン 102 が正常に振動しなくなるか、場合によっては座屈による割れが発生することがある。そのため、各絶縁膜の応力の総和は引張応力になることが好ましい。即ち、シリコン基板（基板）5 上に形成される絶縁膜（膜）6, 8, 9, 10, 12, 18 a, 18 b の応力の総和が引張応力である。また、各絶縁膜の応力の平均値も同様に引張応力になることが好ましい。従って、cMUT 素子 2 においては、各絶縁膜の応力の総和は引張応力になるように、層数を決定している。

[0039] なお、梁部 100 及びリム部 101 を覆う絶縁膜 16 は、前記のように引張応力を与える膜であるが、cMUT 素子 2 の表面を保護（例えば異物の混入、防湿等）する機能も有する。

[0040] 次に、図 4 を参照しながら、メンブレン 102 の厚さと梁部 100 の高さとの関係について説明する。cMUT 素子 2 においては、図 4 に示すように、メンブレン 102 の応力中立面 103 が、梁部 100 の梁中立面 104 よ

りも低い位置になっている。即ち、応力中立面 103 と梁中立面 104 とを比較した際に、応力中立面 103 が上電極 11 により近くなるようになっている。従って、応力中立面 103 及び梁中立面 104 がこのような関係を満たすように、メンブレン 102 及び梁部 100 の高さが設定される。

[0041] 即ち、超音波探触子 1 において、図 4 に示すように、シリコン基板（基板）5 上に形成されている絶縁膜 6, 8, 9, 10, 12, 18a, 18b のシリコン基板 5 に垂直な方向の応力中立面 103 が、梁部 100 のシリコン基板 5 に垂直な方向の梁中立面 104 よりも、シリコン基板 5 に近い位置に存在する。

[0042] なお、前記の「中立面」に関して、本実施例では以下のように定義する。即ち、各膜の応力によりメンブレン 102 に曲げ変形（反り）が発生した場合、凹側は縮み、凸側は伸びている状態であるが、この境界の縮みや伸びがない、即ち歪がゼロとなる面を「中立面」と呼称するものである。

[0043] メンブレン 102 が駆動（反り及び振動）するときの支点は、空洞 17 の上面端部 105 である。また、メンブレン 102 が駆動するときの振動中心は、空洞 17 の上面 106 近傍である。従って、応力中立面 103 が上面 106 から離れるに従ってメンブレン 102 に発生する曲げモーメントが大きくなる。その結果、メンブレン 102 の反りが大きくなるとともに、各絶縁膜の応力ばらつきの影響度も大きくなる。

[0044] このことを考慮すると、応力中立面 103 は、上面 106 にできるだけ近くなるように設定することが好ましい。即ち、cMUT 素子 2 においては、上面 106 と応力中立面 103 との距離と、上面 106 と梁中立面 104 との距離とを比較した場合、前者の距離の方が短くなるように設定される。

[0045] <cMUT 素子 2 についての変形例>

図 5 は、図 3 に示す cMUT 素子 2 の変更例である。なお、図 5 に示す cMUT 素子 2a において、図 3 に示す cMUT 素子 2 と同じ部材については同じ符号を付すものとし、その詳細な説明は省略する。

[0046] cMUT 素子 2a は、梁部 100 において、絶縁膜 15a と絶縁膜 16 と

の間に高剛性膜 22 a が設けられている。また、リム部 101 において、絶縁膜 15 b と絶縁膜 16 との間に高剛性膜 22 b が設けられている。このような高剛性膜 22 a, 22 b が設けられることにより、メンブレン 102 の剛性を高めることができる。その結果、各絶縁膜の応力ばらつきに対して、反り変動やギャップ間隔の変動を小さく抑えることができる。

[0047] 高剛性膜 22 a, 22 b を構成する具体的材料は特に制限されないが、タングステン (W)、炭化タングステン (WC)、ほう化タングステン (W_2B_5)、窒化チタン (TiN)、炭化チタン (TiC)、モリブデン (Mo)、ほう化モリブデン (Mo_2B_5)、炭化モリブデン (Mo_2C)、ほう化チタン (TiB_2) 及び炭化ケイ素 (SiC) が好適である。また、これらの中でも、タングステンが特に好適である。これらは 1 種を単独で用いてもよく、2 種以上を併用してもよい。

[0048] 即ち、図 5 に示すように、cMUT 素子 (超音波送受信素子) 2 の外表面には絶縁膜 16 (引張応力を与える膜) が形成され、高剛性膜 22 a (梁部 100 の最上膜) として、絶縁膜 16 (外表面の引張応力を与える膜) に接して、タングステン、炭化タングステン、ほう化タングステン、窒化チタン、炭化チタン、モリブデン、ほう化モリブデン、炭化モリブデン、ほう化チタン及び炭化ケイ素からなる群より選ばれる 1 種以上の膜が形成されている。

[0049] これらの材料についてのヤング率を下記表 1 にまとめた。また、表 1 には、二酸化ケイ素 (第 1 の絶縁膜) 及び窒化ケイ素 (第 2 の絶縁膜) のヤング率も併せて示している。

[0050]

[表1]

[表1]

材料	ヤング率(GPa)
タングステン	400~410
炭化タングステン	450~650
ほう化タングステン	770
窒化チタン	590
炭化チタン	470
モリブデン	330
ほう化モリブデン	670
炭化モリブデン	540
ほう化チタン	300
炭化ケイ素	450
二酸化ケイ素	70
窒化ケイ素	140

[0051] 表1に示すように、高剛性膜22a, 22bに適用可能な材料は、二酸化ケイ素及び窒化ケイ素のそれぞれのヤング率よりも大きなヤング率を有する材料である。即ち、高剛性膜22a, 22bに適用可能な材料が有するヤング率としては、300GPa以上であることが好ましい。そして、このような高剛性膜22a, 22bを備えることで、ギャップ間隔の変動を抑制する効果をよりいっそう引き出すことができる。

[0052] <メンブレン102の間隔変動量の評価>

図3に示すcMUT素子2、図5に示すcMUT素子2a、並びに比較例のcMUT素子（図示せず）のそれぞれについて、メンブレンの間隔変動量について検討した。なお、比較例のcMUT素子においては、梁部が設けられるとともに、梁部の最上層膜より下の絶縁膜が二酸化シリコン膜と窒化シリコン膜の2層構造のものである。即ち、図3に示すcMUT素子2において、絶縁膜12, 13a, 13bが省かれた梁部100及びリム部101を備えるcMUT素子である。

[0053] 間隔変動量について、図6を参照しながら説明する。なお、図6において、図示の簡略化のために空洞17近傍の部材のみを示し、cMUT素子2を構成する部材の一部を省略して記載している。

[0054] メンブレンは、通常は、メンブレンを構成する各絶縁膜や上電極膜の応力バランスにより、初期の反り変形量が決まる。各絶縁膜や上電極の応力が製

造ロット間や、ウエハ面内のばらつきにより変動した場合は、応力バランスが変化するため、初期の反り変形量も図6 (b) の (i) (ii) (iii) のように変わることになる。

[0055] 初期の反りの場合の、空洞17の高さ方向の幅は L_0 とすると、製造ロットばらつきや、ウエハ面内のばらつきにより、空洞17の高さ方向の幅が図6 (b) に示すようにばらつくことがある。例えば、(i) では標準的な幅 L_1 となったにも関わらず、(ii) ではメンブレン102があまり反らず、幅が L_2 ($L_1 < L_2$) と長くなっている。また、(iii) では、メンブレン102が極端に反ってしまい、幅が L_3 ($L_1 > L_3$) と短くなっている。これらの反りのばらつき（空洞17の高さ方向の幅のばらつき）は、例えば製造ロット間のばらつきに起因するものである。

[0056] そして、このような幅のばらつき（即ち、標準的な幅 L_1 に対する差分）が過度に大きい場合、前記のような課題が生じることになる。そこで、このような幅のばらつきは、製造ロット間でできるだけ小さいことが好ましい。幅のばらつきを小さくすることで、同じ電圧（直流電圧及び交流電圧）を印加したときのメンブレンの挙動を全ての製造ロット間で同様にすることができる。

[0057] 以上の点を踏まえ、cMUT素子2、cMUT素子2a、並びに従来のcMUT素子のそれぞれについて、メンブレンの間隔変動量（即ち、製造ロット間での幅の変動量）を評価した。評価は、有限要素法によるシミュレーションにより行った。その結果を図7に示す。

[0058] 図7に示すグラフにおいては、所定の直流電圧を印加した際のcMUT素子における幅のばらつきを所定回数評価し、それらのうちの最大幅と最小幅との差を規格化して示している。図7に示すように、比較例のcMUT素子の間隔変動量を1とした場合、本実施形態のcMUT素子2の間隔変動量は0.5であった。また、本実施形態のcMUT素子2aの間隔変動量は0.3であった。

[0059] このように、本実施形態のcMUT素子2、2aを用いることで、間隔変

動量を小さくすることができる。即ち、本実施形態のcMUT素子2、2aによれば、メンブレンの駆動のばらつきを小さくすることができる。換言すれば、製造ロット間での幅のばらつきを小さくすることができる。これにより、音響特性のばらつきを小さくすることができ、特性安定性に優れた超音波探触子を提供することができる。

[0060] <本実施形態の超音波探触子を用いた超音波診断装置>

次に、本実施形態の超音波探触子を備える超音波診断装置（本実施形態の超音波診断装置）について、図8を参照しながら説明する。即ち、図8は、前記の超音波探触子1を備える超音波診断装置201を示す図である。

[0061] 超音波診断装置201は、被検体内に超音波を送信し受信して得られたエコー信号を用いて診断部位の2次元超音波画像、3次元超音波画像あるいは各種ドプラ画像を構成して表示するものである。具体的には、超音波診断装置201は、図8(a)に示すように、超音波探触子1と、超音波探触子1が電氣的に接続されている超音波送受信部204と、超音波画像形成部205と、表示部206と、制御部207と、コントロールパネル208とを備えて構成される。

[0062] 超音波探触子1は、被検体95に超音波を送信して反射したエコーを受信するものである。超音波探触子に搭載されるcMUT素子としては、図3に示すcMUT素子2や図5に示すcMUT素子2aが適用される。超音波探触子1の具体的な構成は図1等を参照しながら前記したため、その説明を省略する。

[0063] 超音波送受信部204は、被検体95に送信する超音波信号を発生するためのパルス状の電気信号を発生するものである。超音波送受信部204は、発生させた電気信号を超音波探触子1に送信する送信パルス発生部と、超音波探触子1で受信したエコー信号を電気信号に変換する変換部とを備える。超音波送受信部204は、例えば市販されている任意の超音波送受信機等により構成される。

[0064] 超音波画像形成部205は、受信信号から2次元超音波画像、3次元超音

波画像あるいは各種ドプラ画像を形成するものである。超音波画像形成部 205 は、具体的には例えば CPU (Central Processing Unit) 等により構成される。

[0065] 表示部 206 は、超音波画像形成部 205 で形成された超音波画像を表示するものである。また、表示部 206 には、後記するコントロールパネル 208 によって入力された情報や、その他診断に必要な情報等も併せて表示される。表示部 206 は、具体的には例えば LCD (Liquid Crystal Display) やモニタ装置等により構成される。

[0066] 制御部 207 は、後記するコントロールパネル 208 で入力される制御情報に基づいて各手段を制御するものである。制御部 207 は、具体的には例えば CPU 等により構成される。

[0067] コントロールパネル 208 は、作業者が被検体 95 に対して所望の診断を行えるように、任意の情報が作業者によって入力されるものである。そして、この入力された情報に基づいて、制御部 207 が各手段を制御する。コントロールパネル 208 は、具体的には例えば押しボタン、タッチパネル等により構成される。

[0068] そして、超音波診断装置 201 を被検体 95 に具体的に適用した様子が、図 8 (b) である。

[0069] 超音波探触子 1 を用いた前記超音波診断装置 201 は、cMUT 素子 2, 2a を構成する絶縁膜の応力ばらつきがあっても、各素子において、メンブレン 102 の反りのばらつきが小さい。そのため、空洞 17 の幅 (ギャップ間隔) のばらつきが小さくなり、cMUT 素子 2, 2a を駆動 (初期位置にメンブレンを移動) するための直流電圧のばらつきが小さい。

[0070] この直流電圧の大きさは、送信音圧及び受信感度の特性を決定する因子である。そのため、直流電圧のばらつきが小さくなると、送信受信の感度ばらつきや信号のばらつきが小さくなる。従って、超音波診断装置 201 で表示する前記超音波画像の表示むらや粒子状に荒れたような部分がなく、高精細な画像を提供することができる。

[0071] <変更例>

以上、具体的な実施形態を挙げて本実施形態を説明したが、本実施形態は前記の内容に何ら制限されるものではない。例えば、各絶縁膜を構成する材料としては、前記の実施形態においては二酸化ケイ素及び窒化ケイ素を用いているが、引張応力を与える材料と圧縮応力を与える材料とを適宜組み合わせ用いればよい。

[0072] また、梁部100内部に含まれる絶縁膜の層数は図示の層数（絶縁膜12，13a，14a，15aの4層）に限定されず、単数層又は複数層等の任意の層数に設定すればよい。さらに、リム部101内部に含まれる絶縁膜の層数も図示の層数（絶縁膜12，13b，14b，15bの4層）に限定されず、単数層又は複数層等の任意の層数に設定すればよい。これらの層数は、梁部100及びリム部101内部で、異なる層数にしてもよい。さらに図示の例では、梁部100に含まれる層数は、梁部100とリム部101との間におけるメンブレン102の層数よりも多くなっているが、このような層数の関係に限定されるものではない。また、梁部100及びリム部101の高さは異なってもよい。

[0073] また、メンブレン102を構成する電極や絶縁膜の厚さも特に限定されず、適宜設定すればよい。ただし、図4を参照しながら説明した関係を満たすように、電極や絶縁膜の厚さ（即ちメンブレン102および梁部100の高さ）を設定することが好ましい。

[0074] また、図示の例では、引張応力を与える層と圧縮応力を与える層とが交互に積層されているが、積層の形態としてはこの図示の例に限定されるものではない。

符号の説明

- [0075] 1 超音波探触子
2 cMUT素子（超音波送受信素子）
3 バッキング
4 フレキ基板

- 6 絶縁膜
- 7 下電極（電極）
- 8 絶縁膜
- 9 絶縁膜
- 10 絶縁膜
- 11 上電極（電極）
- 12 絶縁膜（第2の絶縁膜）
- 13 a、13 b 絶縁膜（第1の絶縁膜）
- 14 a、14 b 絶縁膜（第2の絶縁膜）
- 15 a、15 b 絶縁膜（第1の絶縁膜）
- 16 絶縁膜
- 17 空洞
- 18 a、18 b 絶縁膜
- 20 リム端
- 21 空洞端
- 41 樹脂
- 42 ワイヤ
- 43 ケース
- 44 樹脂
- 45 樹脂
- 46 樹脂
- 47 封止樹脂
- 91 コネクタ
- 92 配線
- 94 音響レンズ
- 95 被検体
- 97 回路基板
- 98 接続端子

- 1 0 0 梁部
- 1 0 1 リム部
- 1 0 2 メンブレン
- 1 0 3 応力中立面
- 1 0 4 梁中立面
- 1 0 5 上面端部
- 1 0 6 上面
- 2 0 1 超音波診断装置
- 2 0 4 超音波送受信部
- 2 0 5 超音波画像形成部
- 2 0 6 表示部
- 2 0 7 制御部
- 2 0 8 コントロールパネル

請求の範囲

- [請求項1] 基板と、前記基板上に形成される絶縁膜と、前記基板と前記絶縁膜との間に形成される空洞と、前記基板に対して平行に前記空洞を挟んで設けられる一対の電極と、を備える超音波送受信素子を有する超音波探触子において、
- 前記超音波送受信素子は、
- 前記一対の電極のうちの前記基板から離れた電極の上に、応力の異なる材料からなる膜が積層されてなる多層構造の梁部が設けられ、
- 前記梁部は、引張応力を与える膜と圧縮応力を与える膜とが積層されてなる
- ことを特徴とする、超音波探触子。
- [請求項2] 請求の範囲第1項に記載の超音波探触子において、
- 前記梁部に含まれる膜の層数は、前記梁部以外の部位を構成する絶縁膜の層数よりも多くなっている
- ことを特徴とする、超音波探触子。
- [請求項3] 請求の範囲第1項又は第2項に記載の超音波探触子において、
- 前記引張応力を与える膜、並びに、前記圧縮応力を与える膜は、絶縁膜である
- ことを特徴とする、超音波探触子。
- [請求項4] 請求の範囲第1項又は第2項に記載の超音波探触子において、
- 前記基板上に形成されている絶縁膜の前記基板に垂直な方向の応力中立面が、前記梁部の前記基板に垂直な方向の梁中立面よりも、前記基板に近い位置に存在する
- ことを特徴とする、超音波探触子。
- [請求項5] 請求の範囲第1項又は第2項に記載の超音波探触子において、
- 前記超音波送受信素子の外表面には引張応力を与える膜が形成され、
- 前記梁部は、前記基板に近い方から、引張応力を与える膜、圧縮応

力を与える膜、引張応力を与える膜、及び圧縮応力を与える膜がこの
順で積層されてなる

ことを特徴とする、超音波探触子。

[請求項6] 請求の範囲第1項又は第2項に記載の超音波探触子において、
前記引張応力を与える膜は窒化ケイ素であり、
前記圧縮応力を与える膜は二酸化ケイ素である
ことを特徴とする、超音波探触子。

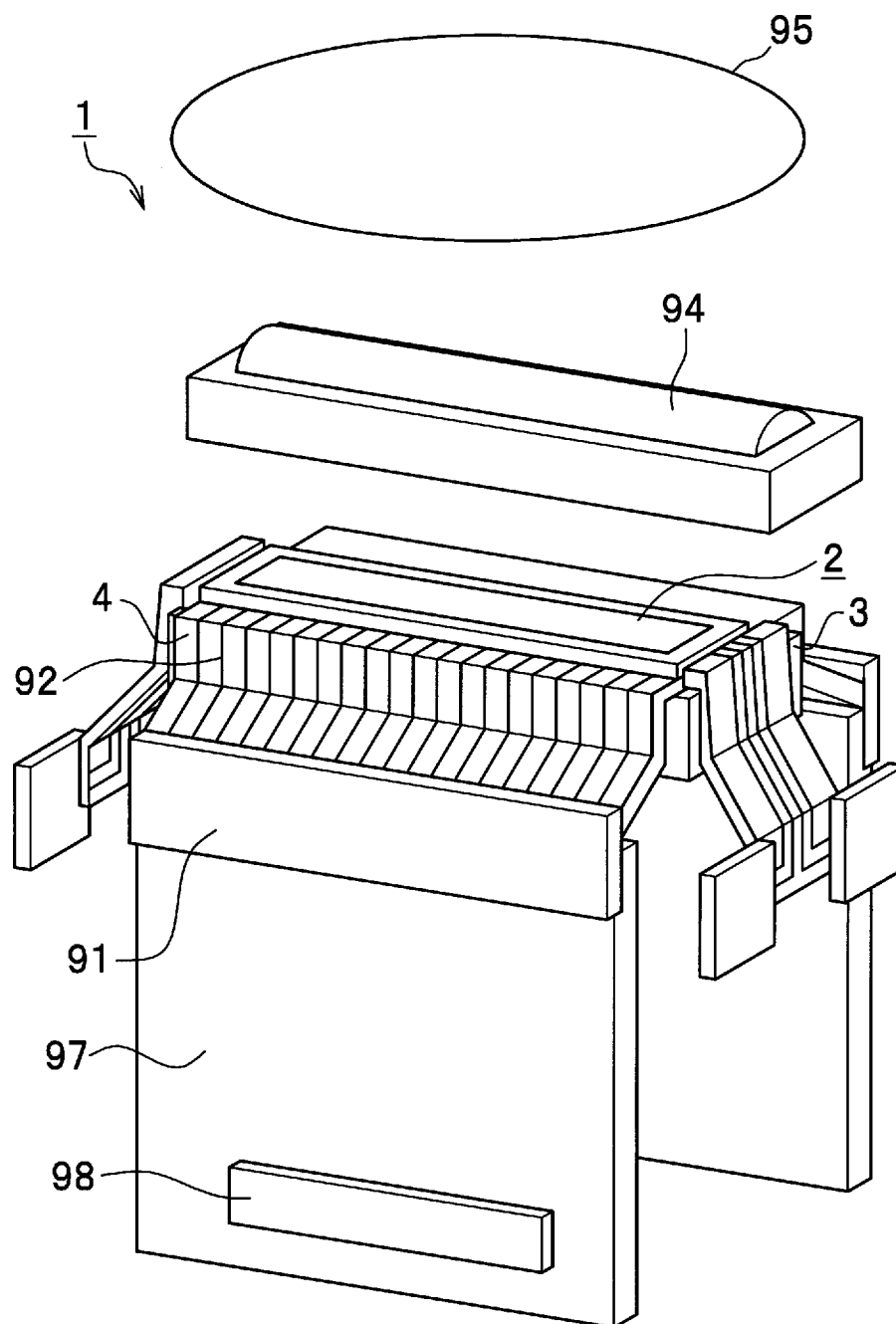
[請求項7] 請求の範囲第1項又は第2項に記載の超音波探触子において、
前記超音波送受信素子の外表面には引張応力を与える膜が形成され
、
前記梁部の最上膜として、前記外表面の引張応力を与える膜に接し
て、タングステン、炭化タングステン、ほう化タングステン、窒化チ
タン、炭化チタン、モリブデン、ほう化モリブデン、炭化モリブデン
、ほう化チタン及び炭化ケイ素からなる群より選ばれる1種以上の膜
が形成されている
ことを特徴とする、超音波探触子。

[請求項8] 請求の範囲第1項又は第2項に記載の超音波探触子において、
前記基板上に形成される膜の応力の総和が引張応力である
ことを特徴とする、超音波探触子。

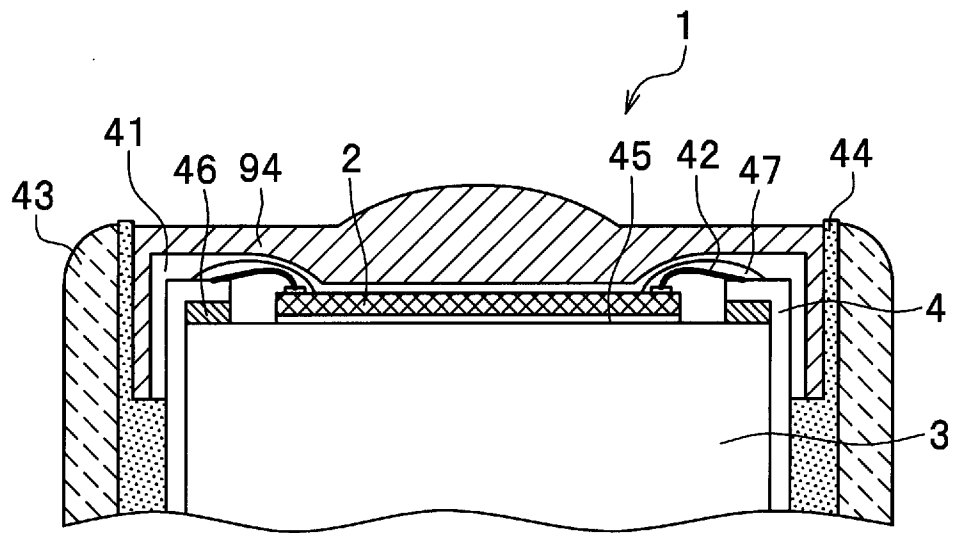
[請求項9] 請求の範囲第1項又は第2項に記載の超音波探触子において、
前記梁部に離間してリム部が設けられ、
前記リム部は、応力の異なる材料からなる膜が積層されてなる多層
構造であり、
前記リム部が、前記空洞の端部よりも前記空洞側に張り出している
ことを特徴とする超音波探触子。

[請求項10] 請求の範囲第1項又は第2項に記載の超音波探触子を備える
ことを特徴とする、超音波診断装置。

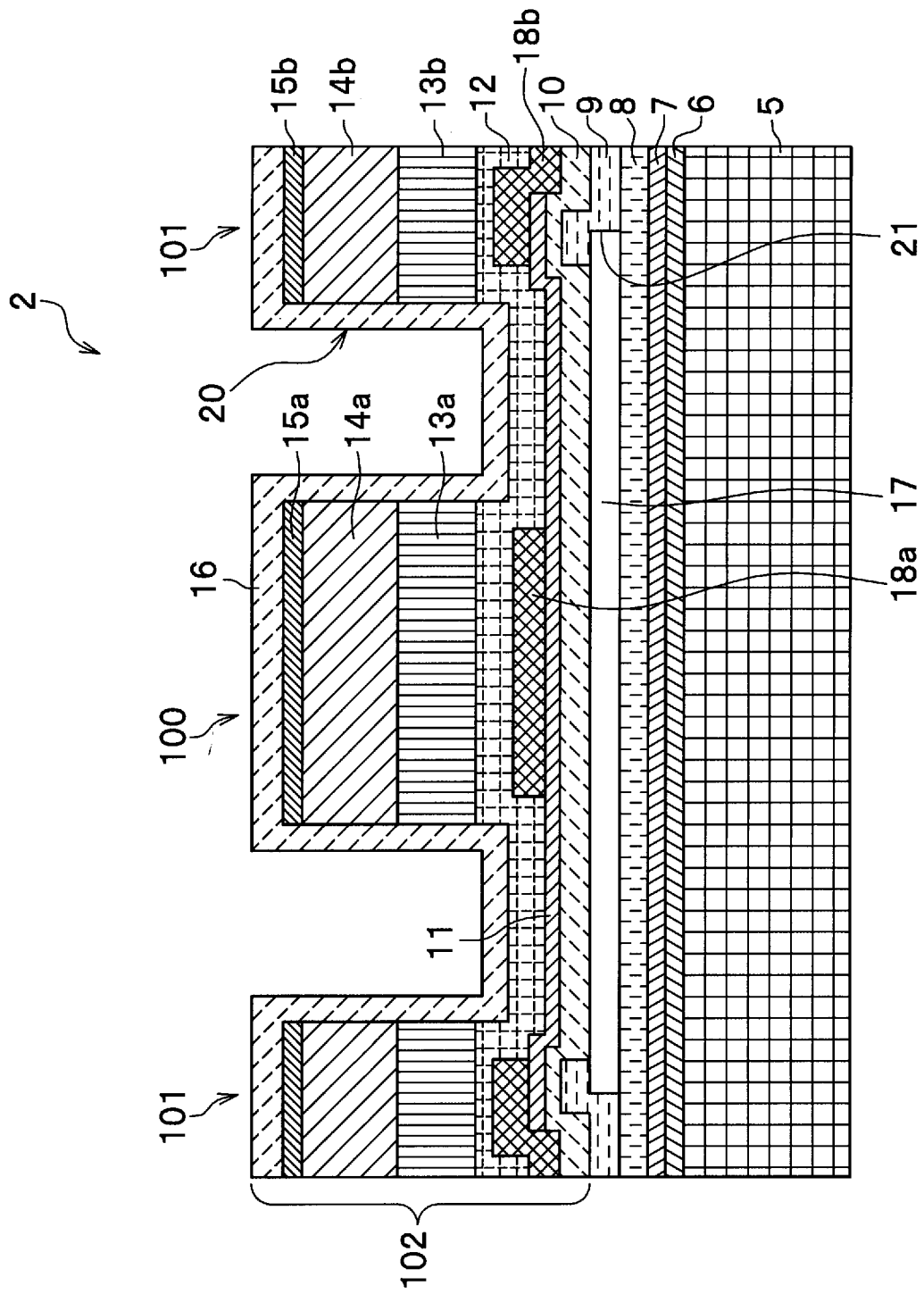
[図1]



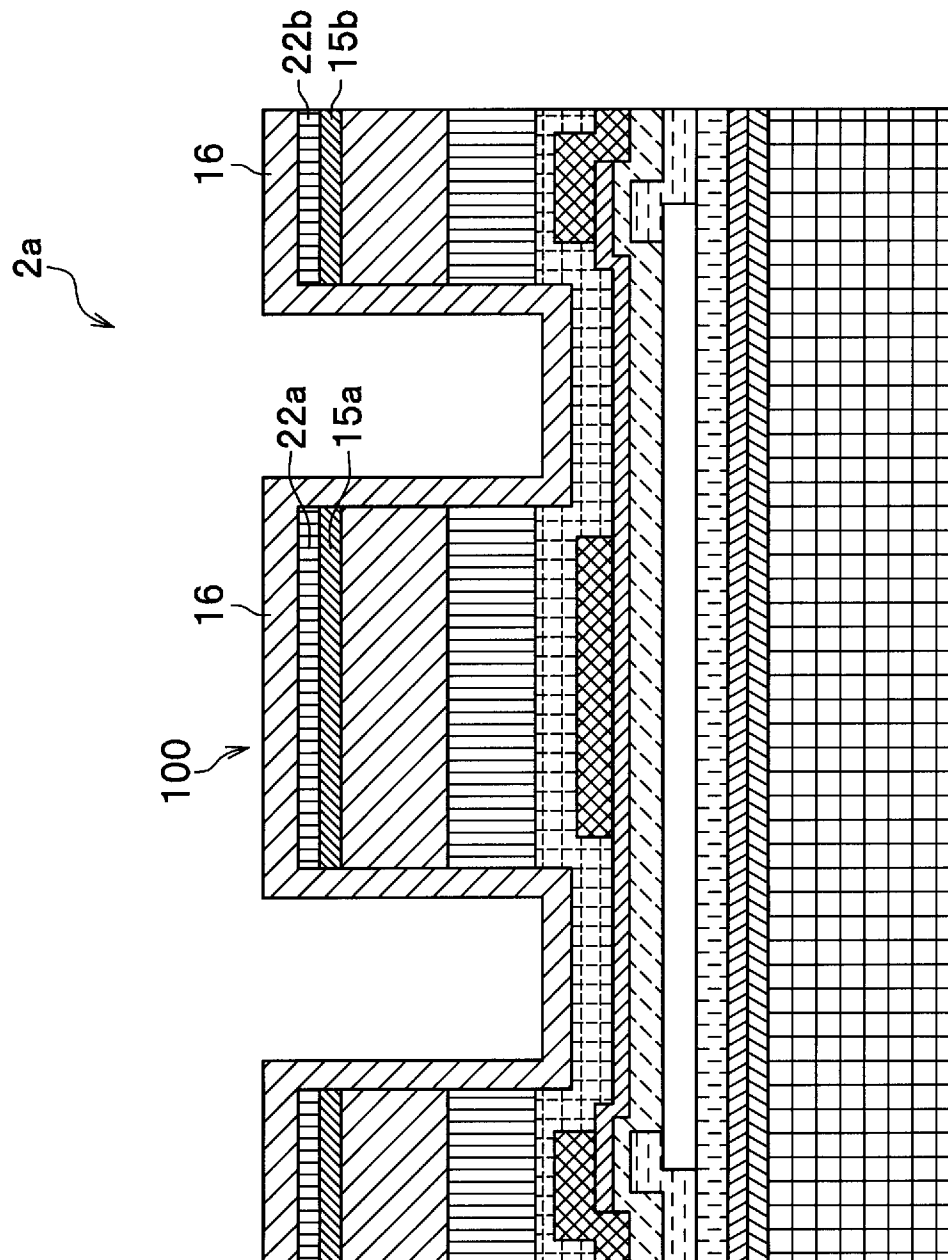
[図2]



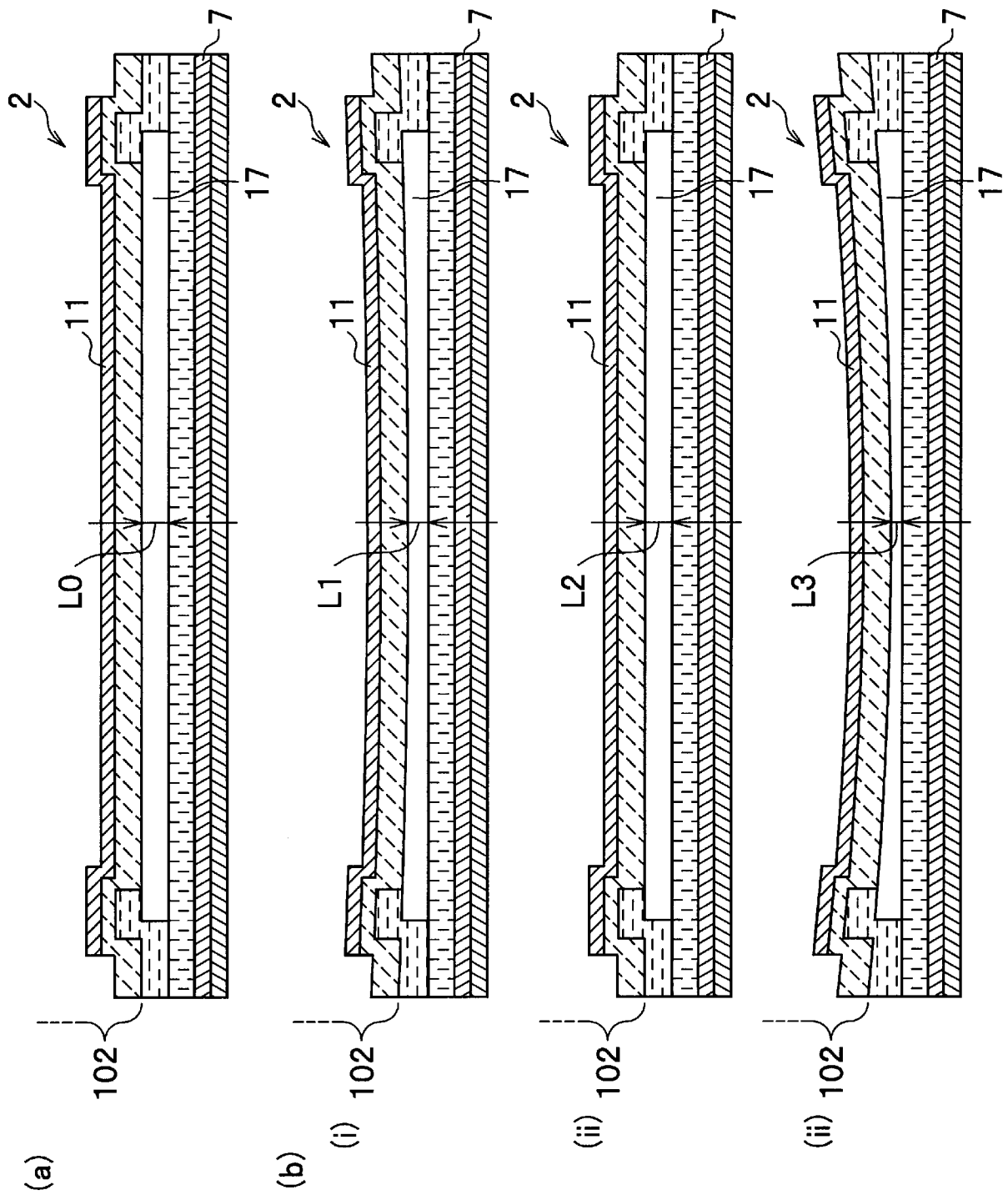
[図3]



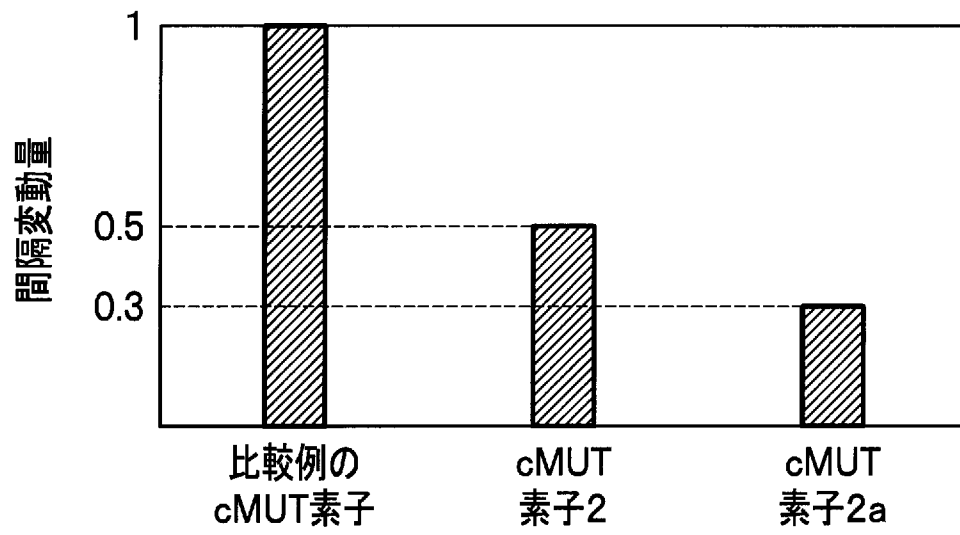
[図5]



[図6]

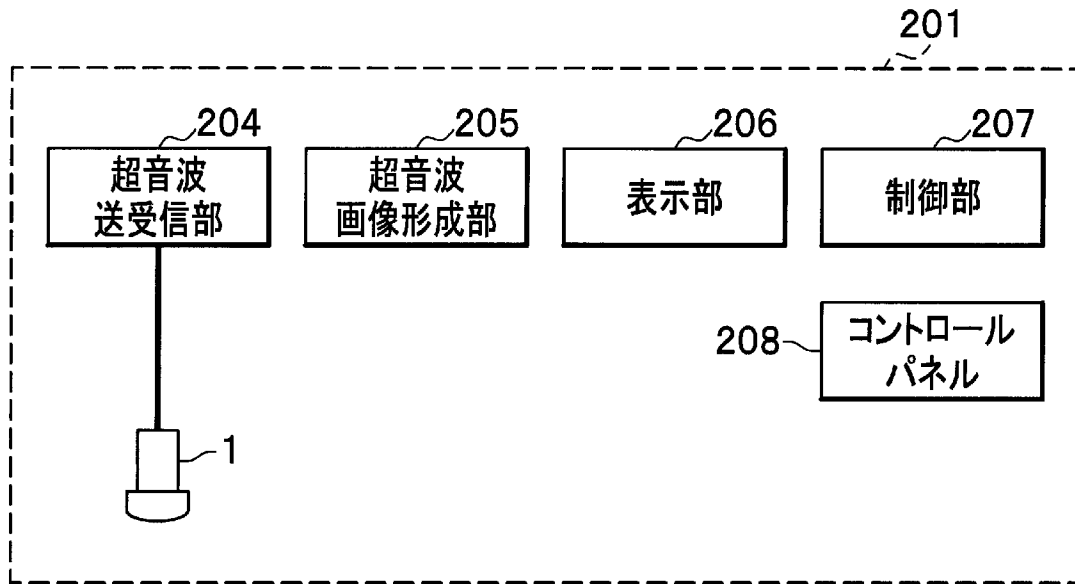


[図7]

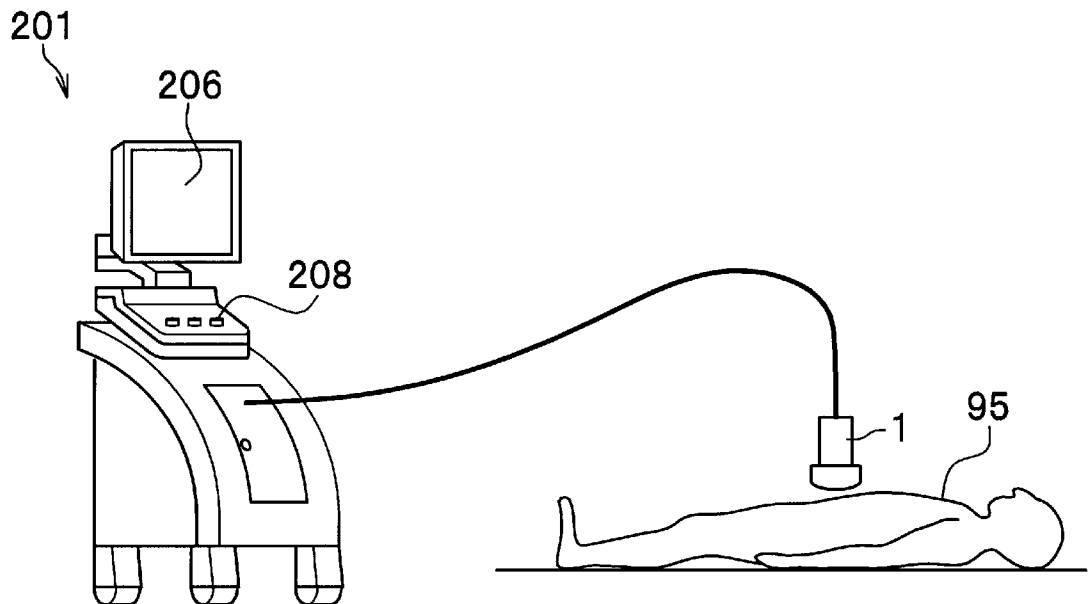


[図8]

(a)



(b)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/053335

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

A61B8/00 (2006.01) i, H04R19/00 (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)

A61B8/00, H04R19/00

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	JP 2007-259165 A (Hitachi, Ltd.), 04 October 2007 (04.10.2007), entire text; all drawings & US 2007/0222338 A1 & EP 1837087 A2	1, 3, 6, 10 2, 4, 8, 9
Y	WO 2007/046180 A1 (Hitachi, Ltd.), 26 April 2007 (26.04.2007), entire text; all drawings & JP 2008-118168 A & JP 2012-23735 A & JP 4909279 B & US 2009/0301200 A1 & EP 1950997 A1 & CN 101238754 A	2, 4, 8, 9
A	JP 2008-283618 A (Hitachi, Ltd.), 20 November 2008 (20.11.2008), entire text; all drawings & US 2008/0284287 A1 & EP 2002900 A2	1-10



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

"T" 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

01 March, 2013 (01.03.13)

Date of mailing of the international search report

12 March, 2013 (12.03.13)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/053335

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2011-259186 A (Canon Inc.), 22 December 2011 (22.12.2011), entire text; all drawings (Family: none)	1-10
A	JP 2005-252056 A (Sony Corp.), 15 September 2005 (15.09.2005), paragraph [0054] (Family: none)	1-10

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. A61B8/00(2006.01)i, H04R19/00(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. A61B8/00, H04R19/00		
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 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2013年 日本国実用新案登録公報 1996-2013年 日本国登録実用新案公報 1994-2013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	JP 2007-259165 A（株式会社日立製作所）2007.10.04, 全文, 全図 &	1, 3, 6, 10
Y	US 2007/0222338 A1 & EP 1837087 A2	2, 4, 8, 9
Y	WO 2007/046180 A1（株式会社日立製作所）2007.04.26, 全文, 全図 & JP 2008-118168 A & JP 2012-23735 A & JP 4909279 B & US 2009/0301200 A1 & EP 1950997 A1 & CN 101238754 A	2, 4, 8, 9
A	JP 2008-283618 A（株式会社日立製作所）2008.11.20, 全文, 全図 & US 2008/0284287 A1 & EP 2002900 A2	1-10
A	JP 2011-259186 A（キヤノン株式会社）2011.12.22, 全文, 全図（フ ァミリーなし）	1-10
☒ 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 01.03.2013	国際調査報告の発送日 12.03.2013	
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100-8915 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） 宮川 哲伸 電話番号 03-3581-1101 内線 3292	2Q 9208

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	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
A	JP 2005-252056 A (ソニー株式会社) 2005.09.15, 段落[0054] (ファミリーなし)	1-10