

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2006年9月8日 (08.09.2006)

PCT

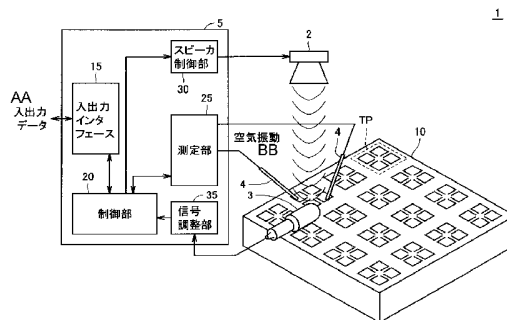
(10) 国際公開番号
WO 2006/093232 A1

- (51) 国際特許分類: *G01N 29/00* (2006.01) *G01P 21/00* (2006.01) [JP/JP]; 〒1078481 東京都港区赤坂五丁目3番6号 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2006/303996 (72) 発明者; および (75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 松本 俊行 (MATSUMOTO, Toshiyuki) [JP/JP]; 〒6600891 兵庫県尼崎市扶桑町1-8 東京エレクトロンA T株式会社内 Hyogo (JP). 池内 直樹 (IKEUCHI, Naoki) [JP/JP]; 〒6600891 兵庫県尼崎市扶桑町1-8 東京エレクトロンA T株式会社内 Hyogo (JP). 八壁 正巳 (YAKABE, Masami) [JP/JP]; 〒6600891 兵庫県尼崎市扶桑町1-8 東京エレクトロンA T株式会社内 Hyogo (JP). 円城 啓一 (ENJOJI, Keichi) [JP/JP]; 〒1078481 東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター東京エレクトロン株式会社内 Tokyo (JP). 林 聖人 (HAYASHI, Masato) [JP/JP]; 〒6600891 兵庫県尼崎市扶桑町1-8 東京エレクトロンA T株式会社内 Hyogo (JP).
- (22) 国際出願日: 2006年3月2日 (02.03.2006)
- (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2005-059061 2005年3月3日 (03.03.2005) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 東京エレクトロン株式会社 (TOKYO ELECTRON LIMITED)

[続葉有]

(54) Title: MINUTE STRUCTURE INSPECTION DEVICE, MINUTE STRUCTURE INSPECTION METHOD, AND MINUTE STRUCTURE INSPECTION PROGRAM

(54) 発明の名称: 微小構造体の検査装置、微小構造体の検査方法および微小構造体の検査プログラム



AA- I/O DATA
 15- I/O INTERFACE
 20- CONTROL UNIT
 30- SPEAKER CONTROL UNIT
 25- MEASUREMENT UNIT
 35- SIGNAL ADJUSTMENT UNIT
 BB- AIR VIBRATION

(57) Abstract: A speaker unit (2) has a plurality of sound sources so that a sound wave is outputted from each of the sound sources. The arrival of the sound wave as a compressional wave outputted from the speaker unit (2), i.e., an air vibration moves a movable portion of a 3-axis acceleration sensor which is a minute structure of a detection chip TP. A change of the resistance value changing according to this motion is measured according to the output voltage given via a probe (4). A control unit (20) judges the characteristic of the 3-axis acceleration sensor according to the measured characteristic value, i.e., the measurement data. Moreover, an interval between a plurality of sound sources is set to a predetermined value according to a distance difference to the 3-axis acceleration sensor and a wavelength of the test sound wave, so that a test sound wave as a synthesized wave is applied to the movable portion so as to maximize a synthesized sound field of the synthesized sound wave.

(57) 要約: スピーカ部(2)において、複数の音源を有し、各音源から音波を出力する。スピーカ部(2)から出力される疎密波である音波の到達すなわち空気振動により検出チップTPの微小構造体である3軸加速度センサの可動部は動く。この動きに基づいて変化する抵抗値の変化についてプローブ(4)を介して与えられる出力電圧に基づいて測定する。制御部(20)は、測定された特性値すなわち測定データに基づいて3軸加速度センサの特性を判定する。また、複

[続葉有]

WO 2006/093232 A1



- (74) 代理人: 深見 久郎, 外(FUKAMI, Hisao et al.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島二丁目2番7号 中之島セントラルタワー2 2階 深見特許事務所 Osaka (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, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

数の音源の間隔は、3軸加速度センサの可動部までの距離差とテスト音波の波長に基づいて音源の間隔を所定の値に設定することにより、合成された音波の合成音場が最大となるように合成波であるテスト音波が可動部に対して印加される。

明 細 書

微小構造体の検査装置、微小構造体の検査方法および微小構造体の検査プログラム

技術分野

[0001] 本発明は、微小構造体たとえばMEMS(Micro Electro Mechanical Systems)を検査する検査装置、検査方法および検査プログラムに関する。

背景技術

[0002] 近年、特に半導体微細加工技術等を用いて、機械・電子・光・化学等の多様な機能を集積化したデバイスであるMEMSが注目されている。これまでに実用化されたMEMS技術としては、たとえば自動車・医療用の各種センサとして、マイクロセンサである加速度センサや圧力センサ、エアフローセンサ等にMEMSデバイスが搭載されてきている。また、インクジェットプリンタヘッドにこのMEMS技術を採用することによりインクを噴出するノズル数の増加と正確なインクの噴出が可能となり画質の向上と印刷スピードの高速化を図ることが可能となっている。さらには、反射型のプロジェクタにおいて用いられているマイクロミラーアレイ等も一般的なMEMSデバイスとして知られている。

[0003] また、今後MEMS技術を利用したさまざまなセンサやアクチュエータが開発されることにより光通信・モバイル機器への応用、計算機の周辺機器への応用、さらにはバイオ分析や携帯用電源への応用へと展開することが期待されている。技術調査レポート第3号(経済産業省産業技術環境局技術調査室 製造産業局産業機械課 発行 平成15年3月28日)(非特許文献1)には、MEMSに関する技術の現状と課題という議題で種々のMEMS技術が紹介されている。

[0004] 一方で、MEMSデバイスの発展に伴い、微細な構造等であるがゆえにそれを適正に検査する方式も重要となってくる。従来においては、パッケージ後にデバイスを回転させることや、あるいは振動等の手段を用いてその特性の評価を実行してきたが、微細加工技術後のウェハ状態等の初期段階において適正な検査を実行して不良を検出することにより歩留りを向上させ製造コストをより低減することが可能となる。

[0005] 特開平5-34371号公報(特許文献1)においては、一例としてウェハ上に形成された加速度センサに対して、空気を吹き付けることにより変化する加速度センサの抵抗値を検出して加速度センサの特性を判別する検査方式が提案されている。

特許文献1:特開平5-34371号公報

非特許文献1:技術調査レポート第3号(経済産業省産業技術環境局技術調査室製造産業局産業機械課 発行 平成15年3月28日)

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0006] 一般に、加速度センサ等の微小な可動部を有する構造体は、微小な動きに対してもその応答特性が変化するデバイスである。したがって、その特性を評価するためには、精度の高い検査をする必要がある。上記公報に示されるような空気の吹き付けによりデバイスに変化を加える場合にも微調整を施して加速度センサの特性を評価しなければならないが、気体の流量を制御するとともに均一にデバイスに気体を吹き付けて精度の高い検査を実行することは極めて困難であり、たとえ実行するとしても複雑かつ高価なテストを設けなければならない。

[0007] さらに、空気の吹き付けの場合には、空気に対して指向性を持たせて、特定の位置に対して空気を吹き付けて精度の高い検査を実行することは困難である。

[0008] 本発明は、上記のような問題を解決するためになされたものであって、簡易な方式で微小な可動部を有する構造体を精度よく検査する検査装置、検査方法および検査プログラムを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明に係る微小構造体の検査装置は、基板上に形成された可動部を有する、少なくとも1つの微小構造体の特性を評価する微小構造体の検査装置であって、テスト時において微小構造体に対して音波を出力する音波発生部を備える。音波発生部は、各々が音波を出力する複数の音源と、複数の音源から出力される音波の合成波を所定のテスト音波に調整するための調整部とを有する。テスト音波に応答した微小構造体の可動部の動きを検出し、検出結果に基づいて微小構造体の特性を評価するための評価部とをさらに備える。

- [0010] 好ましくは、複数の音源のそれぞれから可動部までの距離差が音波の波長の整数倍となるように複数の音源が配置される。
- [0011] 好ましくは、複数の音源のそれぞれから出力される音波が可動部に到達する時刻が等しくなるように設定される。
- [0012] 特に、複数の音源は、等間隔に配置され、複数の音源の駆動時間を所定時間ずつ遅らせて音波を出力する。
- [0013] 好ましくは、微小構造体は、加速度センサおよび角速度センサの少なくとも一方に相当する。
- [0014] 特に、加速度センサおよび角速度センサは、多軸加速度センサおよび多軸角速度センサのそれぞれに相当する。
- [0015] 好ましくは、調整部は、指示に応答して複数の音源の位置を制御するための位置制御部を含み、各音源は移動可能である。
- [0016] 好ましくは、複数の音源は、アレイ状に設けられ、調整部は、前記複数の音源のオン/オフを制御するためのスイッチ部を含む。アレイ状に設けられた前記複数の音源は、指示に応答した前記スイッチ部のスイッチ動作に従って選択される。
- [0017] 好ましくは、各音源は、熱導電性の基板と、基板上の一方の面に形成されたナノ結晶シリコン層からなる断熱層と、交流成分を含む電流が印加されて電氣的に駆動される発熱体とを含み、発熱体と周囲の空気との間の熱交換により音波を発生させる熱音響エンジンで構成される。
- [0018] 好ましくは、複数の音源は、熱導電性の同一基板にそれぞれ半導体プロセスにより一括して形成される。
- [0019] 本発明に係る微小構造体の検査方法は、基板上に形成された可動部を有する、少なくとも1つの微小構造体の特性を評価する微小構造体の検査方法であって、テスト時において複数の音源から出力される音波の合成波を所定のテスト音波に調整して出力するステップと、テスト音波に応答した微小構造体の可動部の動きを検出し、検出結果に基づいて微小構造体の特性を評価するステップとを備える。
- [0020] 本発明に係る微小構造体の検査プログラムは、基板上に形成された可動部を有する、少なくとも1つの微小構造体の特性を評価する微小構造体の検査プログラムであ

って、テスト時において複数の音源から出力される音波の合成波を所定のテスト音波に調整して出力するステップと、テスト音波に応答した微小構造体の可動部の動きを検出し、検出結果に基づいて微小構造体の特性を評価するステップとを備える、微小構造体の検査方法をコンピュータに実行させる。

発明の効果

[0021] 本発明に係る微小構造体の検査する検査装置、検査方法および検査プログラムは、微小構造体にテスト音波を与えて、微小構造体の可動部の動きを検出し、その特性を評価する。微小構造体の可動部は、疎密波である音波を用いた空気振動により動かされてその特性が評価されるため、簡易な方式で微小構造体を検査することができる。

図面の簡単な説明

- [0022] [図1]本発明の実施の形態1に従う微小構造体の検査システム1の概略構成図である。
- [図2]3軸加速度センサのデバイス上面から見た図である。
- [図3]3軸加速度センサの概略図である。
- [図4]各軸方向の加速度を受けた場合の重錐体とビームの変形を説明する概念図である。
- [図5]各軸に対して設けられるホイートストンブリッジの回路構成図である。
- [図6]3軸加速度センサの傾斜角に対する出力応答を説明する図である。
- [図7]重力加速度(入力)とセンサ出力との関係を説明する図である。
- [図8]3軸加速度センサの周波数特性を説明する図である。
- [図9]本発明の実施の形態1に従う微小構造体の検査方法について説明するフローチャート図である。
- [図10]スピーカ部2から出力されたテスト音波に応答する3軸加速度センサの周波数応答を説明する図である。
- [図11]本発明の実施の形態に従う微小構造体の検査システムにおいて、指向性を有するテスト音波を生成する方式について説明する図である。
- [図12] $d/\lambda = 1.5$ の場合における $R(\theta)$ を説明する図である。

[図13]所定の可動部のみにテスト音波を印加する場合を説明する図である。

[図14]複数の音源がX軸方向に沿って配置された場合におけるテスト音波が印加される音場について説明する図である。

[図15]各音源の音波の出力される角度と音圧の関係を説明する図である。

[図16]各音源の音波の出力される角度と音圧の関係を説明する別の図である。

[図17]本発明の実施の形態1に従う別の微小構造体の検査システム1#の概略構成図である。

[図18]P点を中心に半径 r_0 の同心円を描いたときに、各音源から観測点Pまでの距離 r_0 との距離差 L_i を説明する図である。

[図19]カンチレバー型のMEMSスイッチを概略的に説明する概念図である。

[図20]電子ビーム照射器の照射窓にメンブレン構造が用いられている場合を説明する図である。

[図21]トーションミラー90を説明する図である。

[図22]本発明の実施の形態2に従う微小構造体の検査システム1#aの概略構成図である。

[図23]本発明の実施の形態3に従うスピーカ部ARYの概略を説明する図である。

[図24]スピーカ部ARYの一部を説明する図である。

[図25]スピーカユニットSPUの断面構造図である。

[図26]熱絶縁層の生成について説明する図である。

[図27]本発明の実施の形態3に従うスピーカ部ARYの内部回路の構成について説明する図である。

[図28]本発明の実施の形態3に従う複数のスピーカユニットSPUの選択を説明する図である。

[図29]本発明の実施の形態3に従う複数のスピーカユニットSPUの選択を説明する別の図である。

[図30]本発明の実施の形態3の変形例に従う複数のスピーカユニットSPUの選択を説明する別の図である。

[図31]図30のスピーカユニットSPUの選択に基づいてトーションミラー90の所定の

箇所にてテスト音波が印加される場合を説明する図である。

[図32]スピーカ部ARY #を説明する図である。

符号の説明

[0023] 1, 1#, 1#a 検査システム、2, ARY, ARY# スピーカ部、3 マイク、4 プロブ針、5, 5#, 5#a テスタ、6 位置制御部、10, 40 基板、15 入出力インタフェース、20 制御部、25 測定部、30 スピーカ制御部、35 信号調整部、100 音源選択部、SPU スピーカユニット。

発明を実施するための最良の形態

[0024] 以下、この発明の実施の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。なお、図中同一または相当部分には同一符号を付し、その説明は繰り返さない。

[0025] (実施の形態1)

図1は、本発明の実施の形態1に従う微小構造体の検査システム1の概略構成図である。

[0026] 図1を参照して、本発明の実施の形態1に従う検査システム1は、テスタ(検査装置)5と、微小な可動部を有する微小構造体のチップTPが複数形成された基板10とを備える。

[0027] 本例においてはテストする微小構造体の一例として、多軸である3軸加速度センサを挙げて説明する。

[0028] テスタ5は、疎密波である音波を出力するスピーカ部2と、外部とテスタ内部との間で入出力データの授受を実行するための入出力インタフェース15と、テスタ5全体を制御する制御部20と、テスト対象物との接触に用いられるプローブ針4と、プローブ針4を介してテスト対象物の特性評価となる測定値を検出するための測定部25と、制御部20からの指示に応答してスピーカ部2を制御するスピーカ制御部30と、外部の音を検出するマイク3と、マイク3が検出した音波を電圧信号に変換し、さらに増幅して制御部20に出力するための信号調整部35とを備える。なお、マイク3は、テスト対象物近傍に配置することが可能である。なお、後述するがスピーカ部2は、複数のスピーカ(音源)で構成される。

[0029] 本実施の形態に従う検査方法について説明する前にまずテスト対象物である微小

構造体の3軸加速度センサについて説明する。

[0030] 図2は、3軸加速度センサのデバイス上面から見た図である。

図2に示されるように、基板10に形成されるチップTPには、複数のパッドPDがその周辺に配置されている。そして、電気信号をパッドに対して伝達あるいはパッドから伝達するために金属配線が設けられている。そして、中央部には、クローバ型を形成する4つの重錐体ARが配置されている。

[0031] 図3は、3軸加速度センサの概略図である。

図3を参照して、この3軸加速度センサはピエゾ抵抗型であり検出素子であるピエゾ抵抗素子が拡散抵抗として設けられている。このピエゾ抵抗型の加速度センサは、安価なICプロセスを利用することができるとともに、検出素子である抵抗素子を小さく形成しても感度低下がないため、小型化・低コスト化に有利である。

[0032] 具体的な構成としては、中央の重錐体ARは4本のビームBMで支持した構造となっている。ビームBMはX、Yの2軸方向で互いに直交するように形成されており、1軸当りに4つのピエゾ抵抗素子を備えている。Z軸方向検出用の4つのピエゾ抵抗素子は、X軸方向検出用ピエゾ抵抗素子の横に配置されている。重錐体ARの上面形状はクローバ型を形成し、中央部でビームBMと連結されている。このクローバ型構造を採用することにより、重錐体ARを大きくすると同時にビーム長も長くすることができるため小型であっても高感度な加速度センサを実現することが可能である。

[0033] このピエゾ抵抗型の3軸加速度センサの動作原理は、重錐体が加速度(慣性力)を受けると、ビームBMが変形し、その表面に形成されたピエゾ抵抗素子の抵抗値の変化により加速度を検出するメカニズムである。そしてこのセンサ出力は、3軸それぞれ独立に組込まれた後述するホイートストンブリッジの出力から取り出す構成に設定されている。

[0034] 図4は、各軸方向の加速度を受けた場合の重錐体とビームの変形を説明する概念図である。

[0035] 図4に示されるようにピエゾ抵抗素子は、加えられた歪みによってその抵抗値が変化する性質(ピエゾ抵抗効果)を持っており、引張歪みの場合は抵抗値が増加し、圧縮歪みの場合は抵抗値が減少する。本例においては、X軸方向検出用ピエゾ抵抗

素子 $R_{x1} \sim R_{x4}$ 、Y軸方向検出用ピエゾ抵抗素子 $R_{y1} \sim R_{y4}$ およびZ軸方向検出用ピエゾ抵抗素子 $R_{z1} \sim R_{z4}$ が一例として示されている。

[0036] 図5は、各軸に対して設けられるホイートストンブリッジの回路構成図である。

図5(a)は、X(Y)軸におけるホイートストンブリッジの回路構成図である。X軸およびY軸の出力電圧としてはそれぞれ V_{xout} および V_{yout} とする。

[0037] 図5(b)は、Z軸におけるホイートストンブリッジの回路構成図である。Z軸の出力電圧としては V_{zout} とする。

[0038] 上述したように加えられた歪みによって各軸4つのピエゾ抵抗素子の抵抗値は変化し、この変化に基づいて各ピエゾ抵抗素子は例えばX軸Y軸においては、ホイートストンブリッジで形成される回路の出力各軸の加速度成分が独立に分離された出力電圧として検出される。なお、上記の回路が構成されるように図2で示されるような上述した金属配線等が連結され、所定のパッドから各軸に対する出力電圧が検出されるように構成されている。

[0039] また、この3軸加速度センサは、加速度のDC成分も検出することができるため重力加速度を検出する傾斜角センサとしても用いることが可能である。

[0040] 図6は、3軸加速度センサの傾斜角に対する出力応答を説明する図である。

図6に示されるようにセンサをX, Y, Z軸周りに回転させX, Y, Z軸それぞれのブリッジ出力をデジタルボルトメータで測定したものである。センサの電源としては低電圧電源+5Vを使用している。なお、図6に示される各測定点は、各軸出力のゼロ点オフセットを算術的に減じた値がプロットされている。

[0041] 図7は、重力加速度(入力)とセンサ出力との関係を説明する図である。

図7に示される入出力関係は、図6の傾斜角の余弦からX, Y, Z軸にそれぞれ関わっている重力加速度成分を計算し、重力加速度(入力)とセンサ出力との関係を求めてその入出力の線形性を評価したものである。すなわち加速度と出力電圧との関係はほぼ線形である。

[0042] 図8は、3軸加速度センサの周波数特性を説明する図である。

図8に示されるようにX, Y, Z軸それぞれのセンサ出力の周波数特性は、一例として3軸ともに200Hz付近まではフラットな周波数特性を示しておりX軸においては60

2Hz、Y軸においては600Hz、Z軸においては883Hzにおいて共振している。

- [0043] 再び図1を参照して、本発明の実施の形態における微小構造体の検査方法は、微小構造体である3軸加速度センサに対して疎密波である音波を出力することによりその音波に基づく微小構造体の可動部の動きを検出してその特性を評価する方式である。
- [0044] 図9のフローチャート図を用いて、本発明の実施の形態1に従う微小構造体の検査方法について説明する。なお、ここでは、説明を簡易にするために、スピーカ部2の1つのスピーカから単一音源に基づいてテスト音波が出力される場合についてまず説明する。
- [0045] 図9を参照して、まず微小構造体の検査(テスト)を開始(スタート)する(ステップS0)。次に、検出チップTPのパッドPDにプローブ針4を接触させる(ステップS1)。具体的には、図5で説明したホイートストンブリッジ回路の出力電圧を検出するために所定のパッドPDにプローブ針4を接触させる。なお、図1の構成においては、一組のプローブ針4を用いた構成が示されているが、複数組のプローブ針を用いた構成とすることも可能である。複数組のプローブ針を用いることにより並列に出力信号を検出することができる。
- [0046] 次に、スピーカ部2から出力されるテスト音波を設定する(ステップS2a)。具体的には、制御部20は、入出力インタフェース15を介して外部からの入力データの入力を受ける。そして、制御部20は、スピーカ制御部30を制御し、入力データに基づいて、検出チップTPに与えられる所望の周波数および所望の音圧のテスト音波がスピーカ部2から出力されるようにスピーカ制御部30に対して指示する。次に、スピーカ部2から検出チップTPに対してテスト音波を出力する(ステップS2b)。
- [0047] 次に、マイク3を用いてスピーカ部2から検出チップTPに対して与えられるテスト音波を検出する(ステップS3)。マイク3で検出したテスト音波は信号調整部35において、電圧信号に変換・増幅されて制御部20に出力される。
- [0048] 次に、制御部20は、信号調整部35から入力される電圧信号を解析し、判定して、所望のテスト音波が到達しているかどうかを判定する(ステップS4)。
- [0049] ステップS4において、制御部20は、所望のテスト音波であると判定した場合には、

次のステップS5に進み、検出チップの特性値を測定する。具体的には、プローブ針4を介して伝達される電気信号に基づいて測定部25で特性値を測定する(ステップS5)。

- [0050] 具体的には、スピーカ部2から出力される疎密波であるテスト音波の到達すなわち空気振動により検出チップの微小構造体の可動部は動く。この動きに基づいて変化する微小構造体である3軸加速度センサの抵抗値の変化をプローブ針4を介して与えられる出力電圧に基づいて測定する。
- [0051] 一方、ステップS4において、所望のテスト音波でないと判定した場合には、再びステップS2に戻りテスト音波を再設定する。その際、制御部20は、スピーカ制御部30に対してテスト音波の補正をするようにスピーカ制御部30に対して指示する。スピーカ制御部30は、制御部20からの指示に応答して所望のテスト音波となるように周波数および/または音圧を微調整してスピーカ部2から所望のテスト音波を出力するように制御する。なお、本例においては、テスト音波を検出して、所望のテスト音波に補正する方式について説明しているが、予め所望のテスト音波が検出チップの微小構造体に到達する場合には、特にテスト音波の補正手段およびテスト音波を補正する方式を設けない構成とすることも可能である。具体的には、予めステップS2a～S4に至る処理をテスト開始前に実行し、スピーカ制御部30において、所望のテスト音波を出力するための補正された制御値を記憶する。そして、実際の微小構造体のテスト時には、スピーカ制御部30は、この記録された制御値でスピーカ部2への入力を制御することにより、上述したテスト時におけるステップS3およびS4の処理を省略することも可能である。
- [0052] 次に、制御部20は、測定された特性値すなわち測定データが、許容範囲であるかどうかを判定する(ステップS6)。ステップS6において、許容範囲であると判定された場合には合格(ステップS7)であるとし、データの出力および保存を実行する(ステップS8)。そして、ステップS9に進む。たとえば、制御部20において、許容範囲の判定の一例としてスピーカ部2から出力されるテスト音波の音圧に応答して所望の出力電圧が得られるか、より具体的にはスピーカ部2から出力されるテスト音波の音圧の変化に応答して3軸加速度センサの抵抗値が線形に変化していくかどうか、すなわち図

7で説明した線形関係が得られるかどうかを判定することにより、そのチップが適正な特性を有しているかどうかを判定することができる。なお、データの保存については、図示しないが制御部20からの指示に基づいてテスト5内部に設けられたメモリ等の記憶部に記憶されるものとする。

- [0053] ステップS9において、次に検査するチップがない場合には、微小構造体の検査(テスト)を終了する(ステップS10)。
- [0054] 一方、ステップS9において、さらに次の検査すべきチップがある場合には、最初のステップS1に戻り再び上述した検査を実行する。
- [0055] ここで、ステップS6において、制御部20は、測定された特性値すなわち測定データが、許容範囲ではないと判定した場合には不合格(ステップS11)であると、再検査する(ステップS12)。具体的には、再検査により、許容範囲外であると判定されるチップについては除去することができる。あるいは、許容範囲外であると判定されるチップであっても複数のグループに分けることができる。すなわち、厳しいテスト条件にクリアできないチップであっても補修・補正等行なうことにより実際上出荷しても問題もないチップも多数存在することが考えられる。したがって、再検査等によりそのグループ分けを実行することによりチップを選別し、選別結果に基づいて出荷することも可能である。
- [0056] なお、本例においては、一例として3軸加速度センサの動きに応答して、3軸加速度センサに設けられたピエゾ抵抗素子の抵抗値の変化を出力電圧により検出し、判定する構成について説明したが特に抵抗素子に限られず容量素子やリアクタンス素子等のインピーダンス値の変化もしくはインピーダンス値の変化に基づく電圧、電流、周波数、位相差、遅延時間および位置等の変化を検出し、判定する構成とすることも可能である。
- [0057] 図10は、スピーカ部2から出力されたテスト音波に応答する3軸加速度センサの周波数応答を説明する図である。
- [0058] 図10においては、音圧として1Pa(パスカル)のテスト音波を与えて、その周波数を変化させた場合に3軸加速度センサから出力される出力電圧が示されている。縦軸が3軸加速度センサの出力電圧(mV)、横軸がテスト音波の周波数(Hz)を示してい

る。

[0059] ここでは、特にX軸方向に対して得られる出力電圧が示されている。

図10に示されるように2つの領域A, Bが示されている。具体的には、共振周波数領域Aと、非共振周波数領域Bが示されている。

[0060] 図10を参照して、出力電圧が最大であるすなわち共振することにより変化した最大の出力電圧を得られる周波数が共振周波数に相当する。図10においては、この出力に対応する周波数が約600Hzである。すなわち、上述した3軸加速度センサのX軸における周波数特性とほぼ一致する。

[0061] したがって、たとえば、音圧を一定としてテスト音波の周波数を変化することにより得られる出力電圧特性から共振周波数を特定することが可能であり、この特定された共振周波数が所望の共振周波数かどうかを比較して、所望の共振周波数かどうかを判定することが可能となる。本例においては、X軸のみしか図示していないが、同様にY軸およびZ軸においても同様の周波数特性を得ることが可能であるため3軸それぞれにおいて加速度センサの特性を評価することができる。

[0062] たとえば、共振周波数である共振点が600Hz以外の周波数で共振するような場合においては、その軸において適性かつ所望の周波数を得ることができないため不良であると判定することも可能である。すなわち、特に微小構造体であるため外観検査は難しく、内部の構造破壊や微小構造体の可動部に存在するクラック等をこれにより検査することができる。なお、ここでは、最大の出力電圧から共振周波数を特定する場合について説明しているが、共振することにより可動部は最大の変位量となる。したがって、最大の変位量が得られる周波数が共振周波数に相当する。これにより、最大の変位量から共振周波数を特定し、上記と同様に所望の共振周波数かどうかを比較して、不良判定することが可能である。

[0063] また、たとえば領域Bの周波数領域すなわち非共振周波数領域を用いてテスト音波の音圧を変化させて、出力結果から3軸加速度センサの感度、オフセット等の検出検査を実行することも可能である。

[0064] さらに、本例においては、一つのチップTPに対してプローブ針4を介して検査する方式について説明しているが、テスト音波は均一に広がるため複数のチップに対して

並列に同様の検査を実行することも可能である。また、テスト音波の周波数および音圧の制御は比較的容易であるため空気の流量を制御等する構成と比較して、装置の構成を簡易かつ容易な構成とすることができる。

[0065] 以上、説明したように本実施の形態1に従う検査方法および検査装置の構成により、疎密波である音波を制御するという簡易な方式で微小構造体の可動部の動きから微小構造体の特性を高精度に検査することができる。

[0066] 上記の方式においては、説明を簡易にするために単一音源のテスト音波を用いて検査する検査方法について説明したが、本願方式は、複数音源に基づいてその合成波をテスト音波として微小構造体の可動部に対して与える方式に向けられており、検査方法は、単一音源と同様である。以下においては、複数音源の場合のテスト音波の生成について具体的に説明する。

[0067] 図11は、本発明の実施の形態に従う微小構造体の検査システムにおいて、指向性を有するテスト音波を生成する方式について説明する図である。

[0068] 図11に示されるようにここでは、スピーカ部2としてX軸方向に沿って配置された2つのスピーカ2a, 2bが示されている。このスピーカ2aと、スピーカ2bとは音源間隔dの距離を有する。ここで、このスピーカ2a, 2b間の中心位置OからZ軸方向に向かって放射された場合に、P点に対して与えられるテスト音波について考える。なお、中心位置OからP点までの距離r0は十分大きい値であるとする。ここで、 θ は、スピーカ2a, 2bからP点に対してそれぞれ出力される音波の合成波でテスト音波のベクトルとZ軸との間の角度とする。

[0069] 各音源であるスピーカ2a, 2bからP点までの距離は、各々次式の如く示される。

[0070] [数1]

$$r_0 - (d/2)\sin\theta$$

$$r_0 + (d/2)\sin\theta$$

[0071] したがって $d\sin\theta$ だけの距離差がある。

各々の音源であるスピーカ2a, 2bによるP点の速度ポテンシャルは、 $2\pi d\sin\theta / \lambda$ の位相差がある。

[0072] 例えば、 $d=20\text{mm}$ 、音の波長 $\lambda=17\text{mm}$ (周波数20kHz)、音源から測定対象物

までの距離 $r_0 = 500\text{mm}$ とする。なお、一例として音速は、 $340\text{m}/\text{秒}$ とする。

[0073] $d \sin \theta$ は、 r_0 に比べれば十分小さいが、波長 λ に比べれば必ずしも小さい値ではない。

[0074] したがって、2つの音源による合成音場は、 $d \sin \theta$ が $\lambda/2$ の奇数倍になる方向 θ では、2個の音源の影響は互いに打ち消しあって0になる。反対に、 $d \sin \theta$ が λ の整数倍になる方向で合成音場は最大となる。

[0075] すなわち、 $d > \lambda/2$ の場合には、音圧最大の方向の音圧0の方向が交互に現れることになる。具体的には、速度ポテンシャルは次式のように示される。

[0076] [数2]

$$\Phi = (Q/2\pi) \{ \exp(-jkr_0) / r_0 \} \cos[(kd/2) \sin \theta]$$

$$Q: \text{体積速度} \quad k = \omega/c \quad \omega = 2\pi f \quad c = \sqrt{K/\rho}$$

$$K: \text{媒質の体積弾性率} \quad \rho: \text{媒質の密度} \quad c: \text{音速}$$

$\theta = 0$ の場合

$$\Phi_0 = (Q/2\pi) \exp(-jkr_0) / r_0$$

指向性係数 $R(\theta)$ を Φ/Φ_0 とおくと

$$R(\theta) = |\cos \theta| \quad X = (\pi d/\lambda) \sin \theta$$

[0077] なお、図12は、 $d/\lambda = 1.5$ の場合における $R(\theta)$ を説明する図である。この場合、 $d = 25.5\text{mm}$ 、 $\lambda = 17\text{mm}$ とする。

[0078] したがって、 $R(\theta) = 1$ となるところに、測定対象物である微小構造体の可動部を配置するようにすれば、図13に示されるようにある特定の所定の可動部のみに合成波であるテスト音波を印加することが可能である。本例においては、3軸加速度センサに対して、1つの重錘体のみにテスト音波が印加される場合が示されている。

[0079] 図14は、複数の音源がX軸方向に沿って配置された場合における合成波として与えられるテスト音波が印加される音場について説明する図である。

[0080] 図14に示されるようにN個の音源が示されている。また、 $r_0 \gg d$ とする。隣接する音源から測定点までの距離差は、上述したように $d \sin \theta$ である。

[0081] 速度ポテンシャルは、次式のように表される。

[0082] [数3]

$$\Phi = \exp(-jkr_0) \left\{ Q \sin \left[\pi N (d/\lambda) \sin \theta \right] \exp(-j\pi(N-1)(d/\lambda) \sin \theta) \right\} / 4\pi r_0 \sin \left[\pi (d/\lambda) \sin \theta \right]$$

$\theta = 0$ の場合

$$\Phi_0 = \exp(-jkr_0) QN / 4\pi r_0$$

指向性係数 $R(\theta) = \Phi / \Phi_0$ とおくと

$$R(\theta) = \left| \frac{\cos \theta}{\sin(\pi N (d/\lambda) \sin \theta)} \right| \left| \frac{\sin(\pi (d/\lambda) \sin \theta)}{N \sin(\pi (d/\lambda) \sin \theta)} \right|$$

[0083] $\theta = 0$ では、 $R(\theta) = 1$ となり、この方向にだけ、音波が強く放射される。 $\theta = 0$ 以外にも $(d/\lambda) \sin \theta = 1$ を満足する角度があると、 $(\sin \theta = \lambda/d)$ 、その方向にも強く放射される。

[0084] 図15は、各音源の音波の出力される角度と音圧の関係を説明する図である。

本例においては、音源 $N=64$ 、 $d/\lambda = 2$ である。この場合には、 $\theta = 0$ 以外にも $(d/\lambda) \sin \theta = 1$ を満足する角度 ($d/\lambda = \sin \theta$) があると、その方向だけ音波が強く放射される。

[0085] 図16は、各音源の音波の出力される角度と音圧の関係を説明する別の図である。

$d/\lambda = 0.5$ の場合である。この場合には、 $\theta = 0$ の方向のみが強く放射される。

[0086] したがって、上記の関係式より、微小構造体の可動部までの距離差と音波の波長に基づいて音源の間隔を所定の値に設定することにより、微小構造体の可動部に対して合成波として与えられるテスト音波の合成音場が最大となるように調整することができる。すなわち、上記関係式のパラメータを適宜設定することによりテスト音波の合成音場が最大となるように調整することができる。たとえば、微小構造体の可動部までの距離差および音源の間隔が予め規定されている場合には、音波の波長を調整することによりテスト音波の合成音場が所定の位置において最大となるように調整することができる。この場合には、たとえばスピーカ制御部30がスピーカ部2の各音源の音波の波長を調整する具体的には周波数を調整するように指示することにより実

現可能である。なお、上記の関係式等における、速度ポテンシャル、体積速度、指向性係数等については、「機械音響学、著者：安田 仁彦、2004年7月16日発行、コロナ社、p11-16, p106-116」に詳細に記載されている。

- [0087] 本実施の形態の構成の如く複数の音源から出力される音波の合成波をテスト音波として、テスト音波に指向性を持たせて合成音場が最大の音圧で測定対象物たとえば上記で説明した加速度センサの重錘体にテスト音波を印加することができ、簡易な方式で、微小な可動部を有する構造体を効率的かつ精度よく検査することができる。
- [0088] 図17は、本発明の実施の形態1に従う別の微小構造体の検査システム1#の概略構成図である。
- [0089] 図17を参照して、本発明の実施の形態1に従う別の検査システム1#は、テスト5をテスト5#に置換した点が異なる。具体的には、テスト5#は、スピーカ制御部30をスピーカ制御部30#に置換するとともにスピーカ部2に対して位置制御部6をさらに設けた点が異なる。その他の点については同様であるので詳細な説明は繰り返さない。
- [0090] 位置制御部6は、スピーカ制御部30#により制御されスピーカ部2の位置具体的にはスピーカ部2を構成する各音源であるスピーカ位置を任意に調整するものとする。スピーカ制御部30#は、制御部20からの指示に応答して位置制御部6に対してスピーカ部2を構成するスピーカを任意の位置に移動させるための指示信号を出力するものとする。たとえば、位置制御部6として、互いに連結されたスライドあるいは回転関節をもつ多自由度の腕状のメカニズムのマニピュレータを用いてスピーカ部2を構成する各音源すなわちスピーカの位置を調整することも可能である。
- [0091] 本構成により、位置制御部6により各音源すなわちスピーカの位置を自由に調整することが可能であるすなわち最大の音圧を印加する部位を制御することが可能となるため、微小構造体の所望の位置に合成波であるテスト音波を印加することができ、微小な可動部を有する構造体を効率的かつ精度よく検査することができる。なお、ここでは、スピーカ部2について、その位置を調整する位置制御部6を設けているがこれに限られず、たとえばマイク3等についてもスピーカ部2と同様にしてその位置を制御する位置制御部を設けることも当然に可能である。また、上記構成においては、音源

の位置を調整する方式について説明したが、音源を固定して測定対象物の位置を調整して、所望の位置に合成波であるテスト音波を印加することも可能である。あるいはマニピュレータ等の位置を調整して、所望の位置にテスト音波を印加することも可能である。

[0092] (実施の形態2)

上記の実施の形態1においては、音源の間隔を調整することにより、合成音場が最大となるように調整する場合について説明した。本実施の形態2においては、複数の音源において、各音源から出力される音波が可動部に到達する時刻を同一時刻に設定する方式いわゆるビームフォーカシングとも呼ばれる方式について説明する。

[0093] 図18は、P点を中心に半径 r_0 の同心円を描いたときに、各音源から観測点Pまでの距離 r_0 との距離差 L_i を説明する図である。

[0094] その関係式は、次式で表される。

[0095] [数4]

$$L_i = r_0 - \sqrt{r_0^2 + X_i^2 - 2r_0X_i \sin \theta_0}$$

[0096] 図18に示されるようにP点の一点に焦点を結ぶようにするためには、各音源からP点までの音波の到達時間が等しくなるように、音源の駆動時間を $\tau_i = L_i/c$ だけ遅らせて音波をだすように制御することにより実現することができる。あるいは、位相差を kL_i だけ遅らせるように各音源を制御することにより実現することも可能である。なお、 c , k は次式で示される。

[0097] [数5]

$$c = \sqrt{k/\rho}, \quad k = \omega/c, \quad \omega = 2\pi f$$

[0098] 本実施の形態2の如く所定の点に到達する時刻を同一時刻に設定することにより、合成音場が最大の音圧で重錘体に各音波の合成波であるテスト音波を印加することができ、簡易な方式で、微小な可動部を有する構造体を効率的かつ精度よく検査することができる。

[0099] 図19は、カンチレバー型のMEMSスイッチ(以下、単にスイッチとも称する)を概略的に説明する概念図である。

- [0100] 図19(a)は、スイッチが静止している場合を説明する図である。図19(a)を参照して、スイッチは、基板50と、カンチレバー51と、制御電極52と、カンチレバー接合部53と、接合電極54とで構成される。制御信号が入力されていない状態においては、スイッチは動作しない。
- [0101] 図19(b)は、スイッチが動作する場合を説明する図である。制御信号が制御電極52に与えられるとカンチレバー51が制御電極52側に引き付けられる。これにより、カンチレバー接合部53が接合電極54と接触する。これによりスイッチがオン状態となる。一例としてパルス状の制御信号が制御電極52に与えるるとすると、カンチレバー接合部53は、上下に動作して、接合電極54と接合状態／非接合状態を繰り返す。このスイッチは、微小であり、かつ高速に周波数を変更するスイッチとして利用されている。
- [0102] 当該スイッチの可動部となるカンチレバー51の先端部分に対して上記で説明したのと同様の方式に従って合成波であるテスト音波を与えることにより、3軸加速度センサと同様に当該スイッチの特性検査を実行することが可能である。
- [0103] 図20は、電子ビーム照射器の照射窓にメンブレン構造が用いられている場合を説明する図である。図20に示されているように、真空管81から大気中に対して電子ビームEBが出射される照射窓80の一部が示されており、その拡大した断面構造に示されるように薄膜のメンブレン構造が採用されている。なお、図20では、単一材料でメンブレンが形成され、かつ、一つのメンブレン構造のみが図示されているが、複数の材料で多層膜構造として形成される場合もあるし、また、アレイ状に配置された照射窓とされる場合もある。このような薄膜のメンブレン構造の特定の箇所に対して上記と同様の方式に従って合成波であるテスト音波を与えることにより可動部である薄膜のメンブレンが振動して、膜の破損やクラックの有無や膜質の検査等の特性検査を実行することが可能である。
- [0104] 図21は、トーションミラー90を説明する図である。
- 図21に示されるように中央部の回転部と、その外側の回転枠部と、回転枠部の外側の外周部とで構成されており、中央部の回転部およびその外側の回転枠部とは、それぞれ異なる回転軸で回転することが可能である。

[0105] 当該トーションミラー90に関しても、可動部となる回転する特定の箇所に対して上記と同様の方式に従って合成波であるテスト音波を与えることにより回転軸でトーションミラー90の少なくとも一部分を回転させることにより特性検査を実行することが可能である。

[0106] 上記において説明したように3軸加速度センサのみならず、上記の如く可動部を有する他のMEMSに対しても本実施の形態1および2に従うテスト音波を印加することにより簡易な方式で、微小な可動部を有する構造体を効率的かつ精度よく検査することができる。また、3軸加速度センサの加速度センサに限らず、たとえば角速度センサあるいは多軸角速度センサにおいてもある特定の箇所たとえば可動部として機能する特定の箇所に対して本実施の形態1および2に従うテスト音波を印加することにより3軸加速度センサと同様の効果を得ることができる。

[0107] (実施の形態3)

上記の実施の形態2においては、マニピュレータ等の機械的方式に従って複数の音源位置を調整する方式について説明したが、本実施の形態3においては、簡易な方式に従って複数の音源の音源位置を調整可能な方式について説明する。

[0108] 図22は、本発明の実施の形態2に従う微小構造体の検査システム1#aの概略構成図である。

[0109] 図22を参照して、本発明の実施の形態2に従う微小構造体の検査システム1#aは、テスト5をテスト5#aに置換した点が異なる。具体的には、テスト5#aは、スピーカ部2をスピーカ部ARYに置換するとともにスピーカ制御部30をスピーカ制御部30#aに置換した点が異なる。その他の点については同様であるので詳細な説明は繰り返さない。

[0110] スピーカ制御部30#aは、制御部20からの指示に基づいてスピーカ部ARYを制御する。詳細については後述する。

[0111] 図23は、本発明の実施の形態3に従うスピーカ部ARYの概略を説明する図である。

図23を参照して、本発明の実施の形態3に従うスピーカ部ARYは、行列状に配置された複数のスピーカユニットSPUと図示しないがスピーカユニットSPUのオン/オフ

フを制御するためのスイッチ部とを含む。一例として、各スピーカユニットSPUの互いの距離は間隔dに設定されているものとする。

[0112] 図24は、スピーカ部ARYの一部を説明する図である。

図24を参照して、ここでは、2×2のスピーカユニットの上面部の配線構造が示されている。一例としてここでは、スピーカユニットSPU1～SPU4が示されている。

[0113] ここでは、スピーカユニットSPUの一例として、媒体に熱を与え、熱誘起により空気の粗密を形成して、音波を発生させることが可能な熱音響エンジンについて説明する。

[0114] スピーカユニットSPUの構成について説明する。

図25は、スピーカユニットSPUの断面構造図である。

[0115] 図25を参照して、スピーカユニットSPUは、単結晶のシリコン基板の半導体基板40と、半導体基板40の厚さ方向の一表面から半導体基板40の内側に向けて所定深さに形成された熱絶縁層NCSと、熱絶縁層NCS上に形成された金属薄膜(例えば、Al薄膜など)の発熱体LYとを備えている。熱絶縁層LYは、多孔質ナノ結晶シリコン層で形成され、半導体基板40に比べて十分に小さい熱伝導率及び体積熱容量を有している。

[0116] 図示しないが交流電源から発熱体LYに交流電流を通電すると、発熱体LYが発熱すると共に、発熱体LYの温度(又は発熱量)が通電される交流電流の周波数に応じて変化する。一方、発熱体LYの直下には熱絶縁層NCSが形成され、発熱体LYが半導体基板40から熱的に絶縁されているので、発熱体LYとその近傍の空気との間で効率的な熱交換が起こる。そして、発熱体LYの温度変化(又は発熱量の変化)に応じて、空気が膨張と収縮を繰り返し、その結果として、音波が発生する。

[0117] 再び、図24を参照して、ここでは、発熱体LYの熱交換率を高めるために多孔質シリコン層の直上に蛇行して金属薄膜が形成されている場合が示されている。また、各スピーカユニットSPUに対応して発熱体の一端側と他端側に対応してパッドが設けられており、たとえば、スピーカユニットSPU1に対応して発熱体LYの一端側にパッドPD1が設けられ、他端側にパッドPD0が設けられる。なお、他のスピーカユニットSPU2～SPU4についても同様の構成である。パッドPD0は共通に用いられるものとし、

このパッドPDが交流電源と電氣的に結合されることにより発熱体に交流電流が流れる。

[0118] 一方、単結晶のシリコン基板の半導体基板40の一表面側に、多孔質ナノ結晶シリコン層の熱絶縁層NCSを形成するには、陽極酸化処理を行なう。

[0119] 図26は、熱絶縁層NCSの生成について説明する図である。

図26を参照して、陽極酸化処理にあたっては、半導体基板40の陽極酸化処理の対象となる表面の部位の周囲にシール材を用いて外壁41を設け、その外壁の内側に電解液45を注入して、当該処理対象の表面の部位が電解液45に触れるように構成される。

[0120] 次に、電解液45中において、白金電極44を半導体基板40の表面に対向するように配置する。さらに、半導体基板40の裏面側に通電用電極42を取り付けて、通電用電極42と接続されたリード線を電流源200のプラス側に、白金電極44を電流源200のマイナス側にそれぞれ接続する。通電用電極42を陽極、白金電極44を陰極として、電流源200から通電用電極42と白金電極44との間に所定の電流密度の電流を所定の通電時間だけ流す。

[0121] このような陽極酸化処理により、半導体基板40の表面の部位の外壁41の内側に厚さがほぼ一定な熱絶縁層NSCが形成される。また、陽極酸化処理に用いる電解液45としては、例えば、55wt%のフッ化水素水溶液とエタノールとを1:1で混合した混合液(HF/エタノール溶液)を用いる。シール材としては、例えばフッ素樹脂からなるシール材を用いることが可能である。

[0122] 当該方式に従って熱絶縁層NCSであるの多孔質ナノ結晶シリコン層を形成することができる。

[0123] なお、発熱体LYを形成する工程としては、半導体基板40の表面上に金属薄膜をスパッタ法等によって形成し、金属薄膜上にフォトリソグラフィ技術によりパターンニングされたレジスト層を形成する。そして、レジスト層をマスクとして金属薄膜の不要部分をいわゆるドライエッチング工程やWetエッチ工程により除去し、最後にレジスト層を除去することにより、たとえば図24で説明した蛇行形状の発熱体LYを形成することができる。

- [0124] 上記の方式に従って複数の独立した音源を図22で示されるように行列状に簡易に成型することができる。すなわち、半導体プロセスにより複数の音源を同一基板に一括して成型することが可能であり、安価に成型することができる。また、当該プロセスにより、音源間の特性差異や、配置ずれを最小限に抑制することができる。当該複数の音源を用いて合成波を生成する際の合成音場の乱れや誤差を最小限に抑制することができる。
- [0125] なお、スピーカユニットSPUの各音源のサイズは、3mm以下に設定することが可能であり、スピーカ部ARYの音源を一度に多数確保することが可能であり、音源の密度を稼ぐことが容易であるため合成波の合成音場強度も十分に得ることが可能である。
- [0126] 図27は、本発明の実施の形態3に従うスピーカ部ARYの内部回路の構成について説明する図である。ここでは、一例として、4つのスピーカユニットを用いて説明するが、これに限られず、さらに複数のスピーカユニットを設けた場合においても同様である。
- [0127] 図27を参照して、本発明の実施の形態3に従うスピーカ部ARYは、スピーカユニットSPU1～SPU4と、スイッチ部100とを有する。
- [0128] 本発明の実施の形態3に従うスイッチ部100は、スピーカユニットSPU1～SPU4にそれぞれ対応して設けられるスイッチSW1～SW4と交流電源Vs1, VS2とを含む。なお、本例においては、スイッチ部100と、スピーカユニットSPUとが同一基板に形成される場合について示しているが、特に限られず、別基板にそれぞれ成型することも当然に可能である。
- [0129] スピーカユニットSPU1において、パッドPD1は、スイッチSW1を介して交流電源Vs1の一方の電極と電氣的に結合され、パッドPD0は、交流電源Vs1の他方の電極と電氣的に結合される。スピーカユニットSPU2についても同様に、パッドPD2は、スイッチSW2を介して交流電源Vs1の一方の電極と電氣的に結合され、パッドPD0は、交流電源Vs1の他方の電極と電氣的に結合される。スピーカユニットSPU3において、パッドPD3は、スイッチSW3を介して交流電源Vs2の一方の電極と電氣的に結合され、パッドPD4は、交流電源Vs2の他方の電極と電氣的に結合される。スピーカ

ユニットSPU4についても同様に、パッドPD4は、スイッチSW4を介して交流電源Vs2の一方の電極と電氣的に結合され、パッドPD0は、交流電源Vs2の他方の電極と電氣的に結合される。

[0130] スイッチSW1～SW4は、制御信号CT1～CT4の入力のそれぞれに応答して導通し、対応するパッドPDと交流電源とを電氣的に結合させる。したがって、たとえば、制御部20からの指示に応答してスピーカ制御部30#aから制御信号CT1(たとえば「H」レベル)が出力されて、スイッチ部100に制御信号CT1(「H」レベル)が入力された場合、スイッチSW1が導通して交流電源Vs1がパッドPD1と電氣的に結合される。これに伴い、スピーカユニットSPU1が制御信号CT1に基づくスイッチ部100のスイッチSW1のスイッチ動作に従って選択されて上述した音波を出力する。スピーカユニットSPU2～SPU4についてもスピーカユニットSPU1と同様の方式に従って制御信号CT2～CT4の入力に基づいて選択される。なお、ここでは、交流電源Vs1, Vs2とそれぞれ独立に設ける構成について示しているが、特にこれに限られず、1つの交流電源を用いることも可能である。なお、本例においては、スピーカ制御部30#aから制御信号CT1～CT4が出力されてスイッチSW1～SW4が選択されるものとするが、これに限られず、外部から制御信号CT1～CT4を入力する構成とすることも可能であるし、あるいは他の制御回路から与えられる構成とすることも可能である。

[0131] また、交流電源Vs1, Vs2の周波数は、固定とすることも可能であるし、例えばスピーカ制御部30#aからの指示に応答して周波数が調整されるようにすることも可能である。

[0132] 図28は、本発明の実施の形態3に従う複数のスピーカユニットSPUの選択を説明する図である。

[0133] 図28を参照して、ここでは、上記において説明したように全てのスピーカユニットSPUに対応するスイッチSWを導通させて、全てのスピーカユニットSPUから音波が発生される場合が示されている。ここでは、隣接するスピーカユニットSPUの距離は間隔dに設定しているため、複数の音源の各々の距離を間隔dに容易に設定することが可能となる。なお、ここでは、X方向に対してX1～X5のアドレスが割り当てられ、Y方向に対してY1～Y5のアドレスが割り当てられて、当該X方向およびY方向のアドレス

に従うスピーカユニットSPUに対して対応する制御信号CTが入力されて、対応するスイッチSWが導通して音波を出力するものとする。

[0134] 図29は、本発明の実施の形態3に従う複数のスピーカユニットSPUの選択を説明する別の図である。

[0135] 図29を参照して、ここでは、X方向およびY方向のアドレスが(X1, Y1), (X3, Y1), (X5, Y1), (X1, Y3), (X3, Y3), (X5, Y3), (X1, Y5), (X3, Y5), (X5, Y5)に対応するスピーカユニットSPUが選択された場合が示されている。たとえば、制御部20の指示のもとにスピーカ制御部30#から上記アドレスに対応するスピーカユニットSPUに対応するそれぞれの制御信号CTをスピーカ部ARYに出力することにより実現可能である。

[0136] 当該選択により、選択された隣接するスピーカユニットSPUの距離は、間隔2dとなり、複数の音源の各々の距離を間隔2dに容易に設定することができる。ここでは、スピーカ部ARYの一部の構成について複数の音源の各々の距離を間隔d, 2dにする方式について説明したが、より多数のスピーカユニットSPUが配置されるスピーカ部ARYにおいては、同様の方式に従って、間隔3d, 4d・・・等複数の音源の各々の距離を自由に調整することが可能である。

[0137] 当該方式により、例えばマニピュレータ等を用いた機械的方式に従って複数の音源位置を調整することなく、簡易な方式により音源位置の調整が可能である。また、当該方式は、スイッチSWの導通／非導通によりスピーカユニットSPUの音源位置を調整することができるため機械的方式に従って位置調整をする場合と比較して、音源位置の位置ずれを防止することが可能であるとともに、高速な音源位置の調整が可能である。また、音源のサイズが非常に小さいため(3mm以下に可能)、点音源とみなすことが可能であり、音源自身のサイズの影響を無視して理想状態で合成波を生成することが可能である。

[0138] また、熱音響エンジンは、無振動音源であるため、音源自身の振動に基づいて合成音場の収束箇所になずれが生じることがなく、正確に所定の箇所にテスト音波を印加することが可能であり、より精度の高い検査を実行することができる。また、通常、無振動音源以外の音源の場合は、音源自身の振動を抑制するために防振機構等を設

ける必要があるが、無振動音源の場合には、防振機構等も不要であり、テスト音波以外の不必要な振動が微小構造体の可動部に伝達するのを抑制することができ、より精度の高い検査を実行することが可能である。

[0139] なお、スピーカ部ARYを基板上に形成する上で、配線のみならず、必要に応じて、制御部等のデバイスを同一基板に成型することも可能である。同一基板に成型する場合には、接続するための配線長が短くなり配線遅延等を抑制することができることもレイアウト面積を縮小することが可能である。

[0140] さらに、制御部によって、個々のスピーカから出力される音波やタイミングや位相を最適化することによって、適切な検査を実行することができる。

[0141] (実施の形態3の変形例)

図30は、本発明の実施の形態3の変形例に従う複数のスピーカユニットSPUの選択を説明する別の図である。

[0142] 上記の方式においては、複数の音源の各々の間隔距離を容易に調整して、合成波であるテスト音波を生成する方式について説明したが、ここでは、簡易な方式に従って合成波の収束箇所として印加するテスト音波の位置を変更する方式について説明する。

[0143] 図30を参照して、ここでは、たとえば、X方向およびY方向のアドレスが(X1, Y4), (X1, Y5), (X2, Y4), (X2, Y5)に対応する4つのスピーカユニットSPUがそれぞれ選択されて、これらの4つのスピーカユニットの領域に含まれる中心を通る直線の所定の箇所faに対して合成音場が最大となる合成波であるテスト音波が生成されるものとする。この場合、たとえば、(X4, Y1), (X4, Y2), (X5, Y1), (X5, Y2)に対応する4つのスピーカユニットSPUの領域を選択するならば、これらの中心を通る直線の所定の箇所fbに対して同様に合成音場が最大となる合成波であるテスト音波を印加することが可能である。すなわち、選択するスピーカユニットSPUの領域を移動させることにより、容易に合成音場が最大となる位置を移動させることが可能となる。

[0144] 図31は、図30のスピーカユニットSPUの選択に基づいてトーションミラー90の所定の箇所にテスト音波が印加される場合を説明する図である。

- [0145] 図31に示されるように、たとえば、図30で説明した4つのスピーカユニットSPUの選択に基づいてトーションミラー90の回転枠部の回転軸に対して一方側に対応する所定の箇所fa(左側)に対してテスト音波を印加した場合に、別の領域の4つのスピーカユニットSPUを選択して、テスト音波の印加する位置を所定の箇所faからトーションミラー90の回転枠部の回転軸に対して他方側に対応する所定の箇所fb(右側)に移動させた場合が示されている。これにより、トーションミラー90の回転方向を変更することが可能である。
- [0146] このような方式に従ってスピーカユニットSPUの選択位置を変更することにより、簡易に合成波の収束箇所として印加するテスト音波の位置を変更することが可能である。なお、スピーカユニットSPUの選択方式は上記に限らず、任意の選択が可能である。当該選択により、合成波の収束箇所を自由に変更することが可能となり、任意の位置にテスト音波を印加することが可能である。
- [0147] また、上記においては、複数のスピーカユニットが行列状に配置されている場合について主に説明したが、これに限られず、例えば図32のスピーカ部ARY#の如く中心Sの同心円状にスピーカユニットを配置することや、あるいは、直線上にスピーカユニットを配置することも当然に可能である。
- [0148] なお、複数の音源が同時に音波を出力する必要は無く、実施の形態2で説明したように時間差を設けて出力するようにして収束箇所を調整することも可能である。また、スピーカユニットの波長を変更することにより、合成音場が最大となる音波の収束箇所も変更されるので、スピーカユニットの波長を変更することにより収束箇所を調整することも可能である。
- [0149] なお、上記で説明した所望のテスト音波を印加するための音源位置等の調整方法および当該テスト音波を印加することによる上述した微小構造体の検査方法をコンピュータに実行させるプログラムを予めFD、CD-ROMあるいはハードディスク等の記憶媒体に記憶しておくことも可能である。この場合には、テストに記録媒体に格納された当該プログラムを読み取るドライブ装置を設けて、ドライブ装置を介して制御部20がプログラムを受信して、上述した音源位置等の調整方法および検査方法を実行することも可能である。さらに、ネットワーク接続されている場合には、サーバから当該

プログラムをダウンロードして制御部20において音源位置等の調整方法および検査方法を実行することも可能である。

- [0150] 今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

請求の範囲

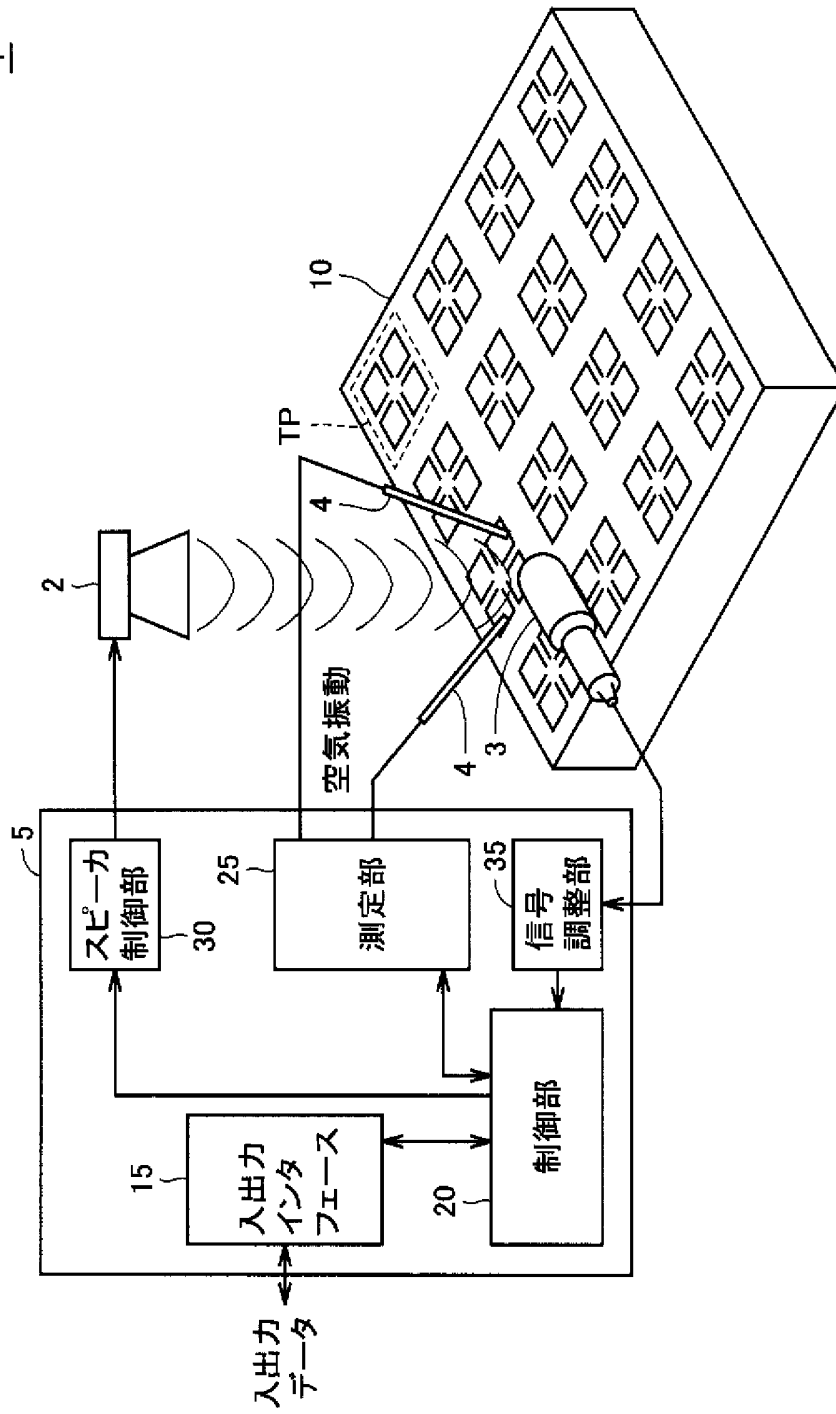
- [1] 基板上に形成された可動部を有する、少なくとも1つの微小構造体の特性を評価する微小構造体の検査装置(5, 5#, 5#a)であって、
テスト時において前記微小構造体に対して音波を出力する音波発生部を備え、
前記音波発生部は、
各々が前記音波を出力する複数の音源(2, ARY)と、
前記複数の音源から出力される音波の合成波を所定のテスト音波に調整するための調整部(30, 30#, 30#a, 6)とを有し、
前記テスト音波に応答した前記微小構造体の可動部の動きを検出し、検出結果に基づいて前記微小構造体の特性を評価するための評価部(25)とをさらに備える、微小構造体の検査装置。
- [2] 前記複数の音源のそれぞれから前記可動部までの距離差が前記音波の波長の整数倍となるように前記複数の音源が配置される、請求項1記載の微小構造体の検査装置。
- [3] 前記複数の音源のそれぞれから出力される前記音波が前記可動部に到達する時刻が等しくなるように設定される、請求項1記載の微小構造体の検査装置。
- [4] 前記複数の音源は、等間隔に配置され、前記複数の音源の駆動時間を所定時間ずつ遅らせて前記音波を出力する、請求項3記載の微小構造体の検査装置。
- [5] 前記微小構造体は、加速度センサおよび角速度センサの少なくとも一方に相当する、請求項1記載の微小構造体の検査装置。
- [6] 前記加速度センサおよび角速度センサは、多軸加速度センサおよび多軸角速度センサのそれぞれにそれぞれ相当する、請求項5記載の微小構造体の検査装置。
- [7] 前記調整部は、指示に応答して前記複数の音源の位置を制御するための位置制御部(6)を含み、
各前記音源は移動可能である、請求項1記載の微小構造体の検査装置。
- [8] 前記複数の音源は、アレイ状に設けられ、
前記調整部は、前記複数の音源のオン/オフを制御するためのスイッチ部(100)を含み、

前記アレイ状に設けられた前記複数の音源は、指示に応答した前記スイッチ部のスイッチ動作に従って選択される、請求項1記載の微小構造体の半導体装置。

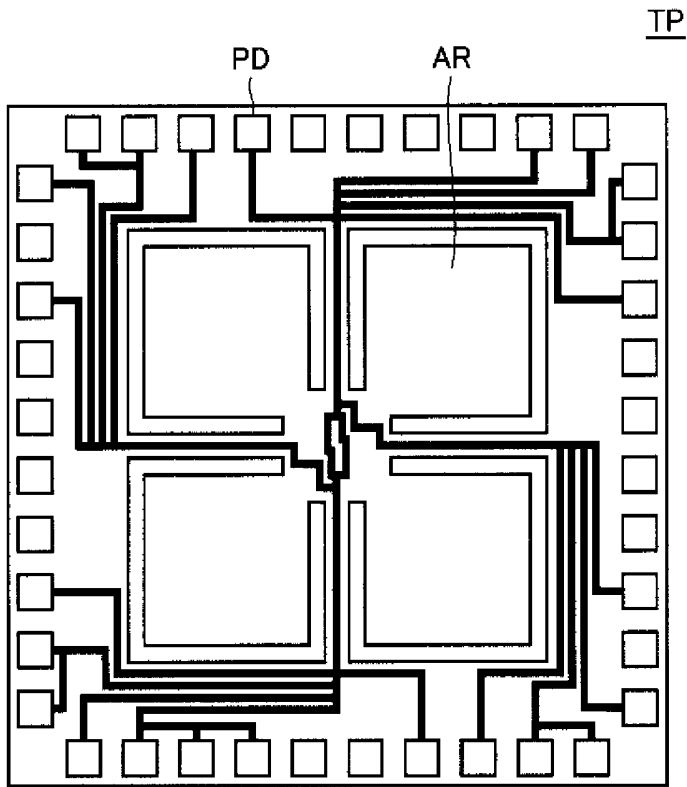
- [9] 各前記音源は、熱導電性の基板(40)と、前記基板上の一方の面に形成されたナノ結晶シリコン層からなる断熱層(NCS)と、交流成分を含む電流が印加されて電氣的に駆動される発熱体(LY)とを含み、前記発熱体と周囲の空気との間の熱交換により音波を発生させる熱音響エンジンで構成される、請求項1記載の微小構造体の検査装置。
- [10] 前記複数の音源は、前記熱導電性の同一基板にそれぞれ半導体プロセスにより一括して形成される、請求項1記載の微小構造体の検査装置。
- [11] 基板上に形成された可動部を有する、少なくとも1つの微小構造体の特性を評価する微小構造体の検査方法であって、
テスト時において複数の音源から出力される音波の合成波を所定のテスト音波に調整して出力するステップと、
前記テスト音波に応答した前記微小構造体の可動部の動きを検出し、検出結果に基づいて前記微小構造体の特性を評価するステップとを備える、微小構造体の検査方法。
- [12] 基板上に形成された可動部を有する、少なくとも1つの微小構造体の特性を評価する微小構造体の検査プログラムであって、
テスト時において複数の音源から出力される音波の合成波を所定のテスト音波に調整して出力するステップと、
前記テスト音波に応答した前記微小構造体の可動部の動きを検出し、検出結果に基づいて前記微小構造体の特性を評価するステップとを備える、微小構造体の検査方法をコンピュータに実行させる、微小構造体の検査プログラム。

[図1]

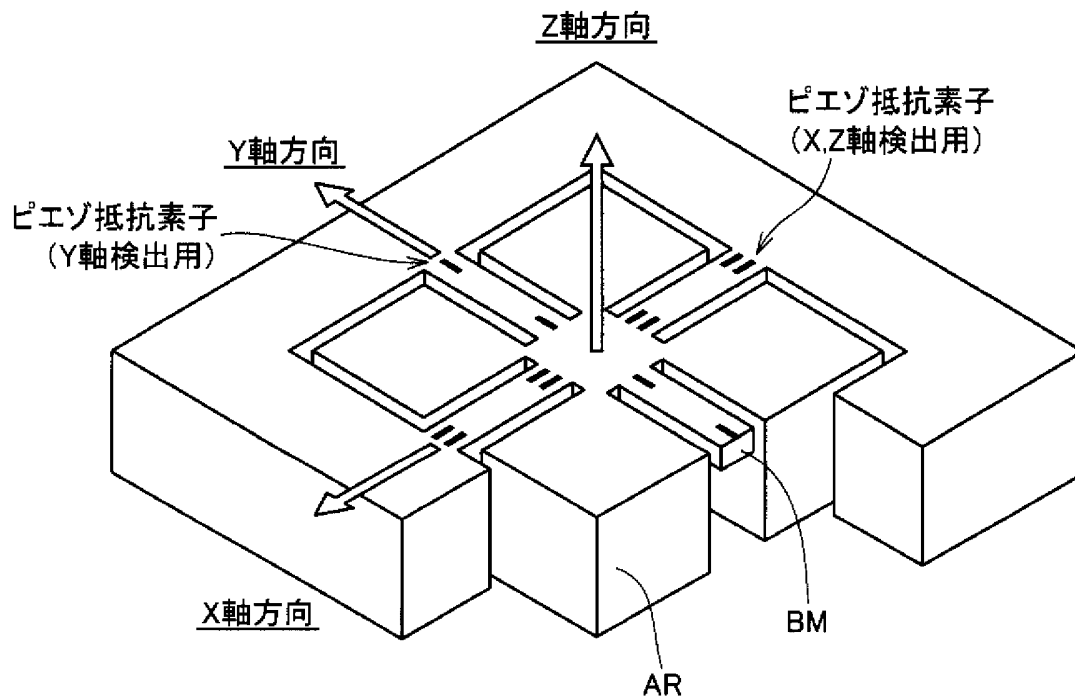
1



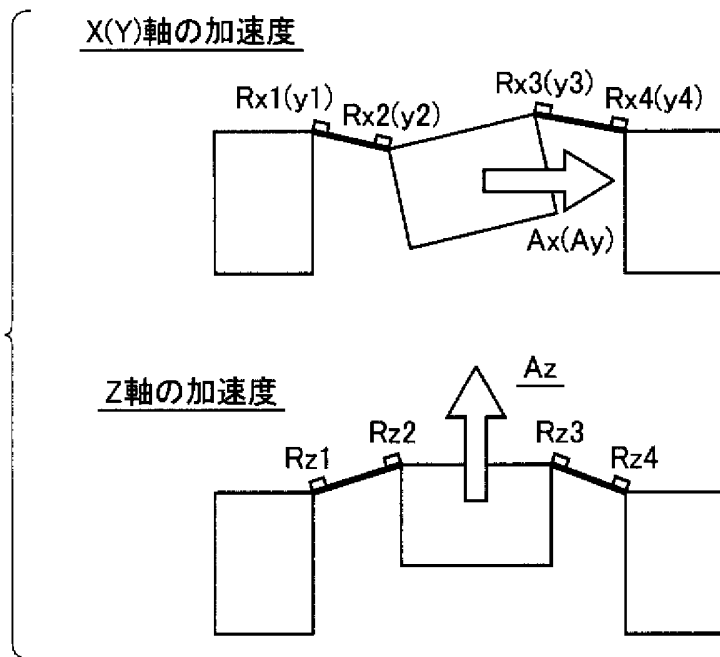
[図2]



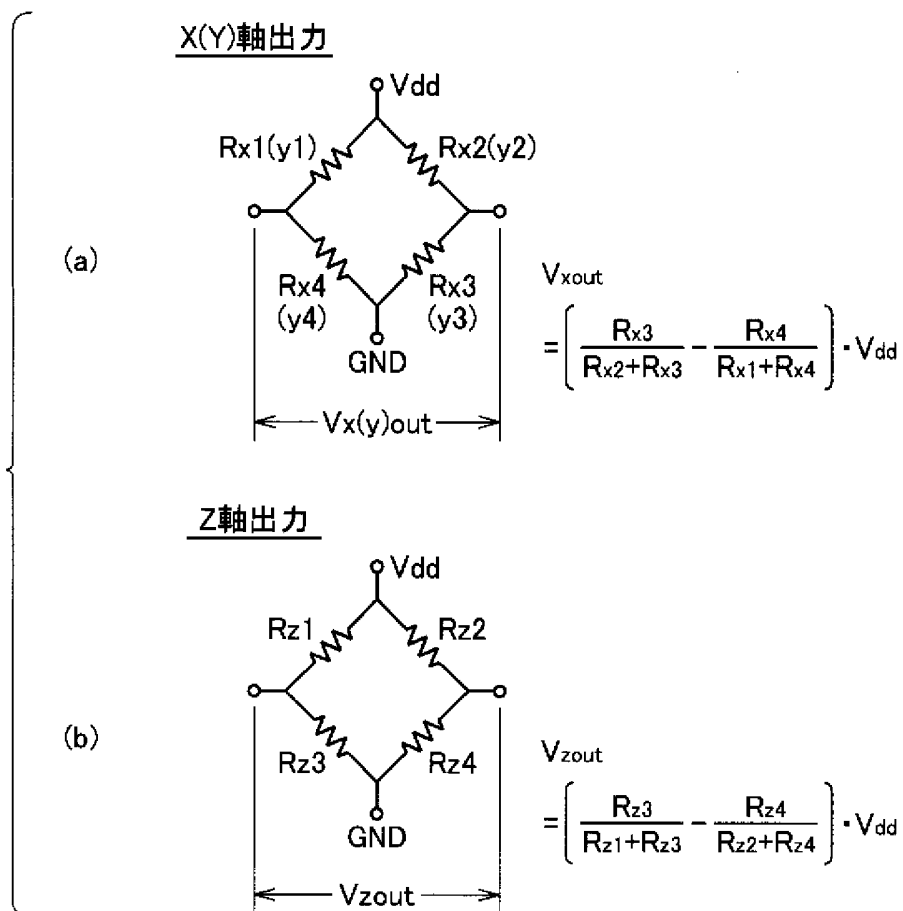
[図3]



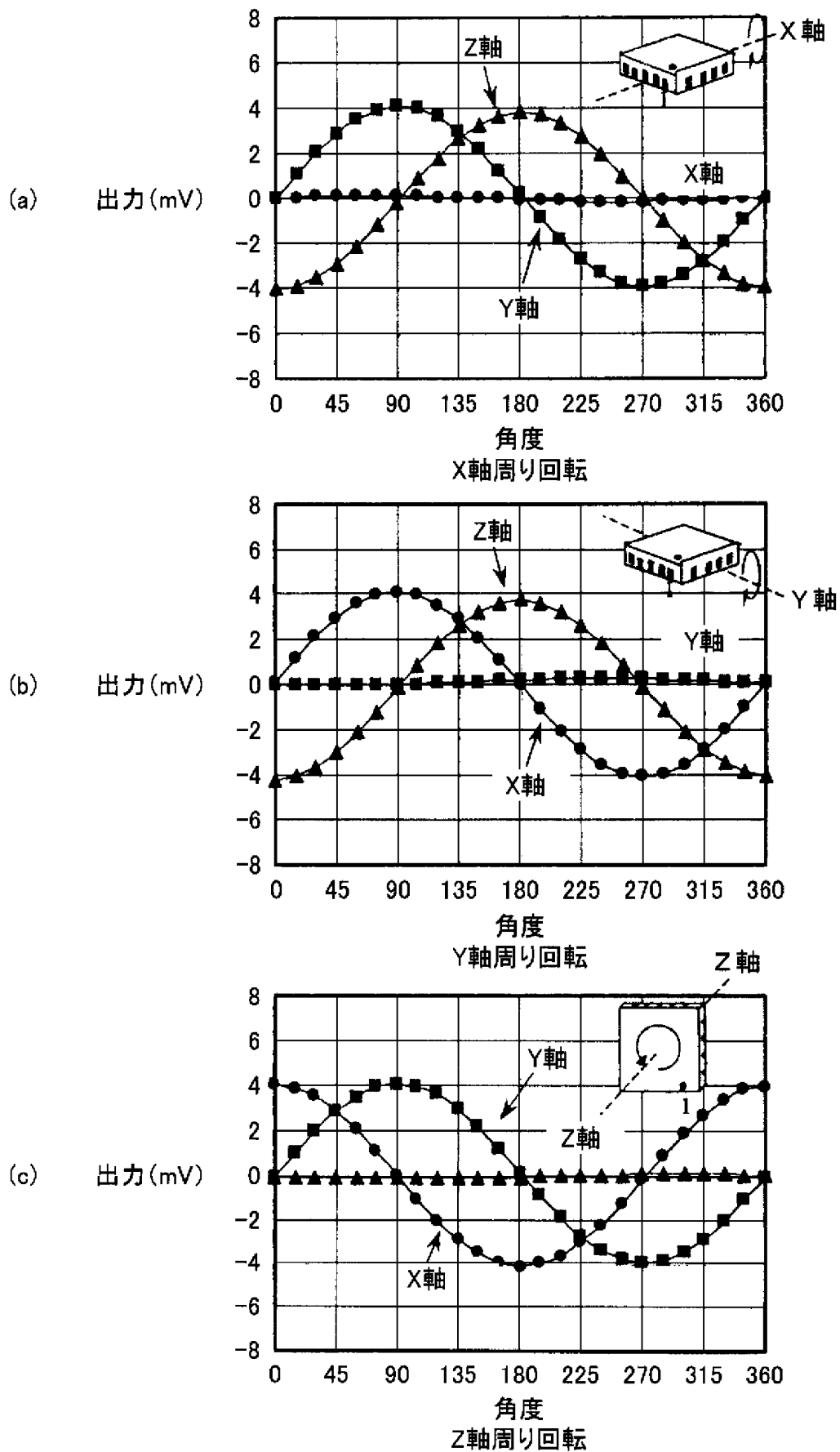
[図4]



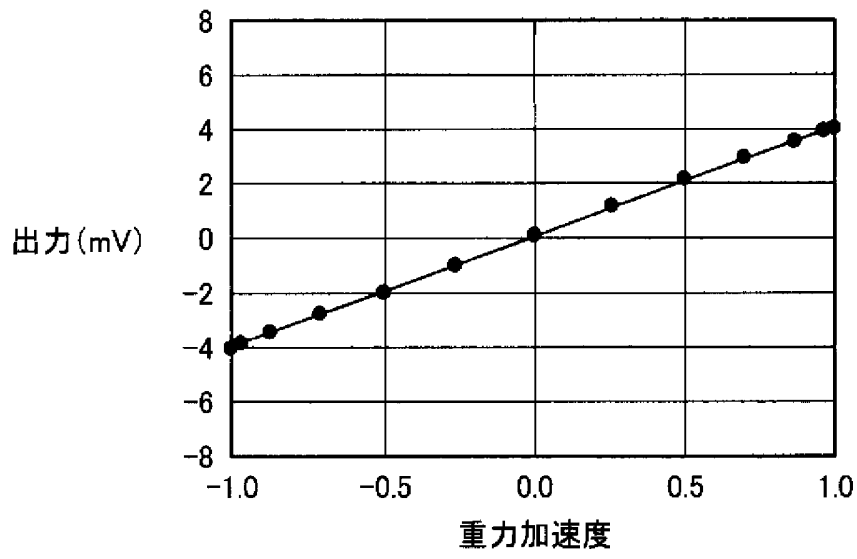
[図5]



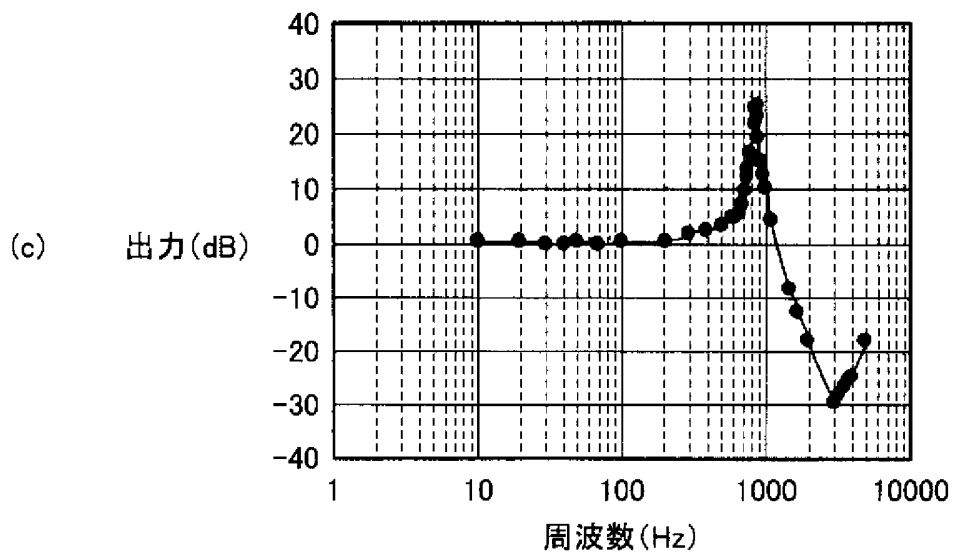
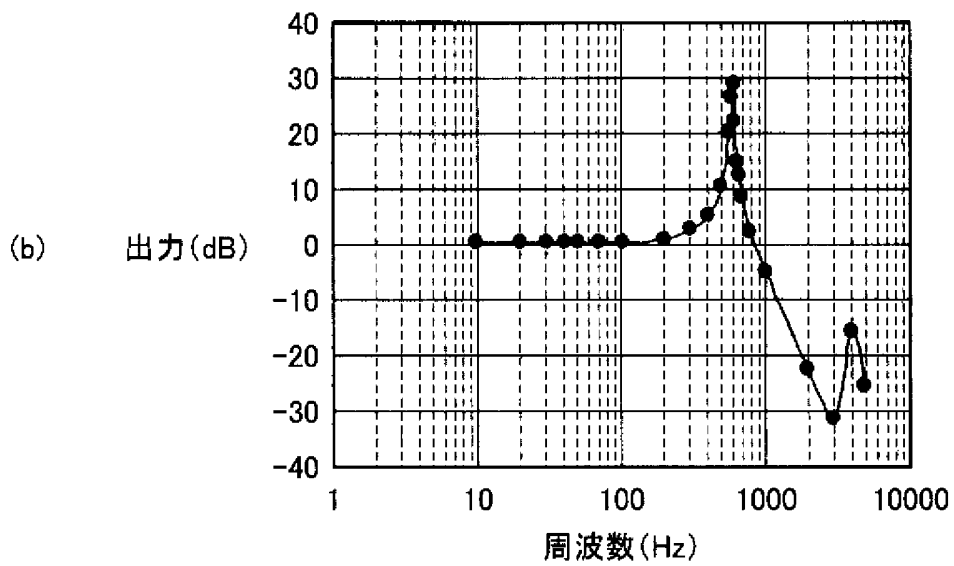
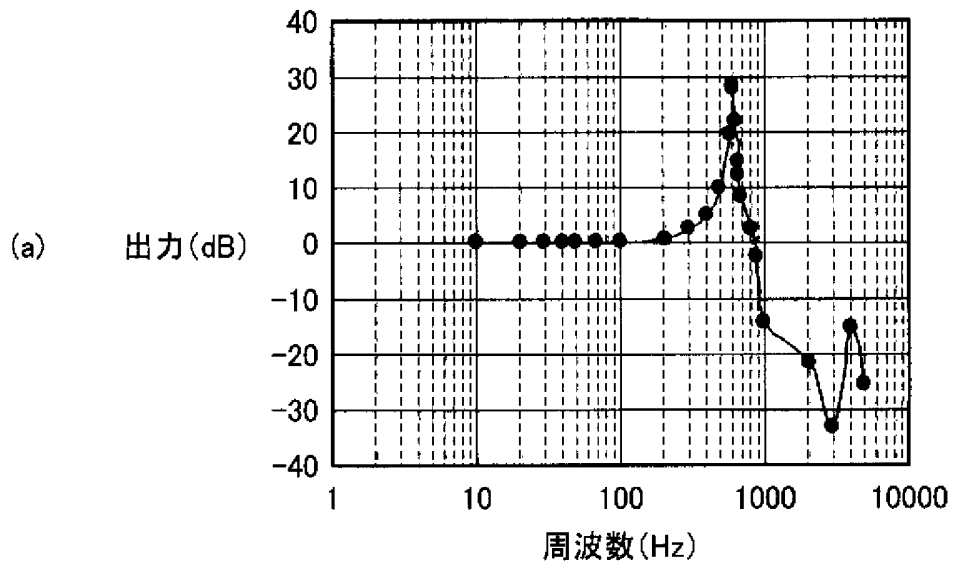
[図6]



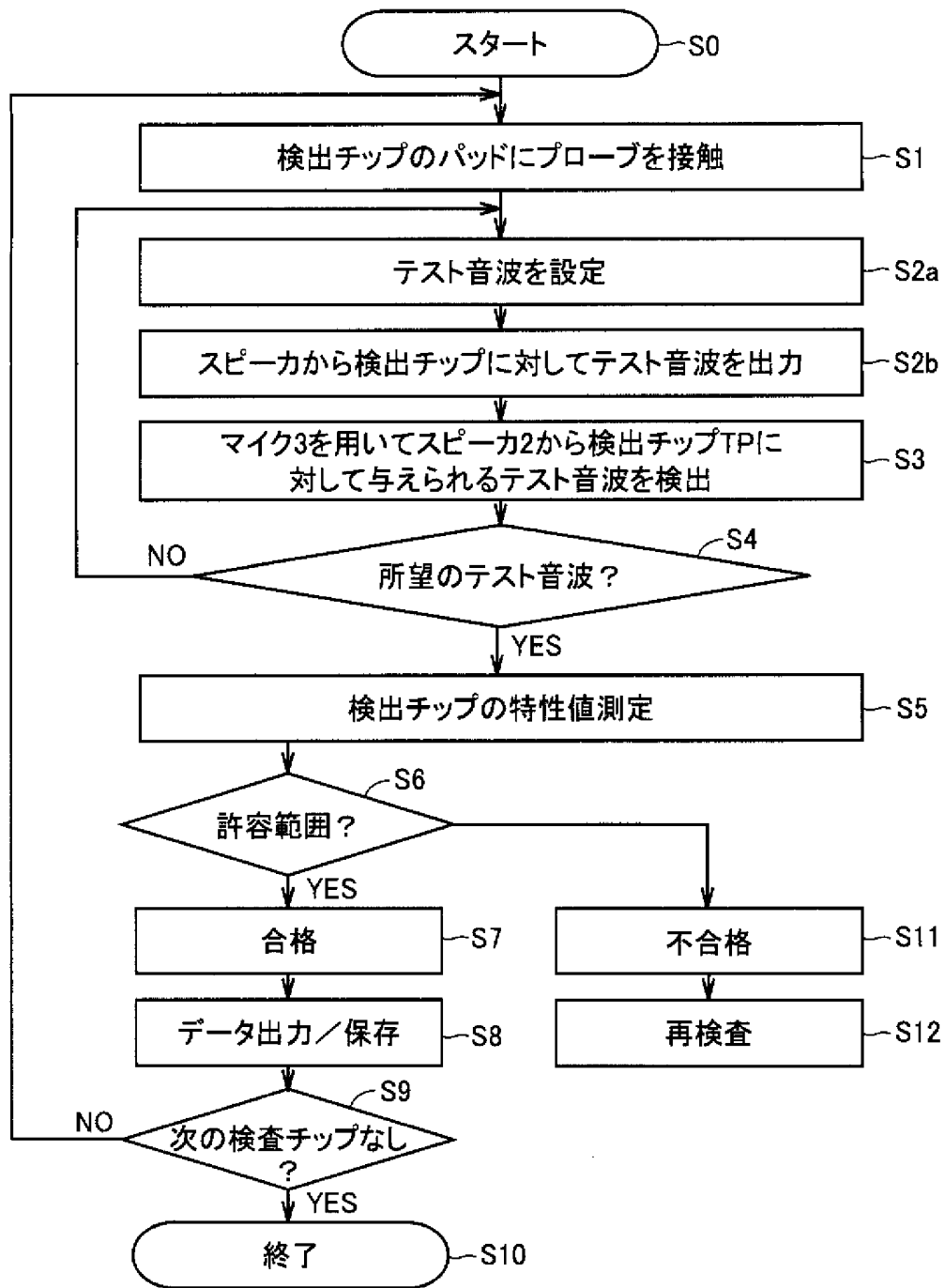
[図7]



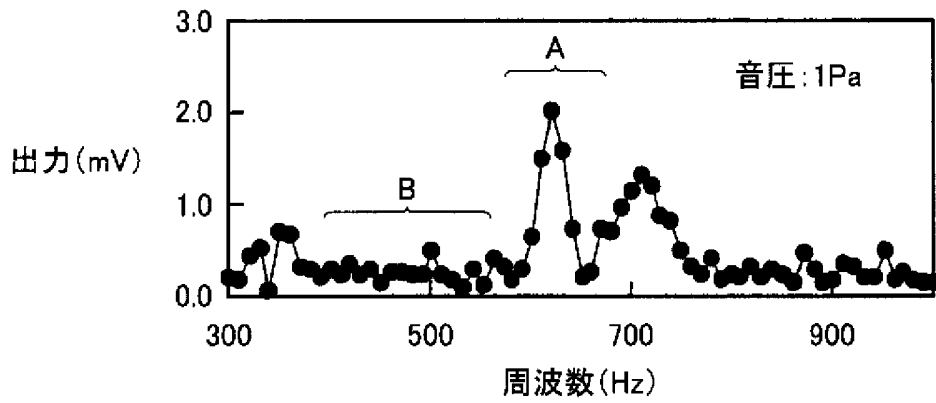
[図8]



[図9]

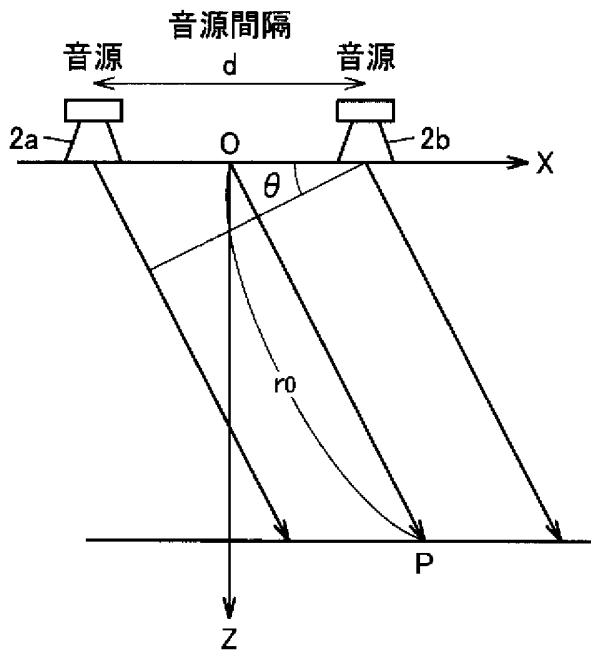


[図10]

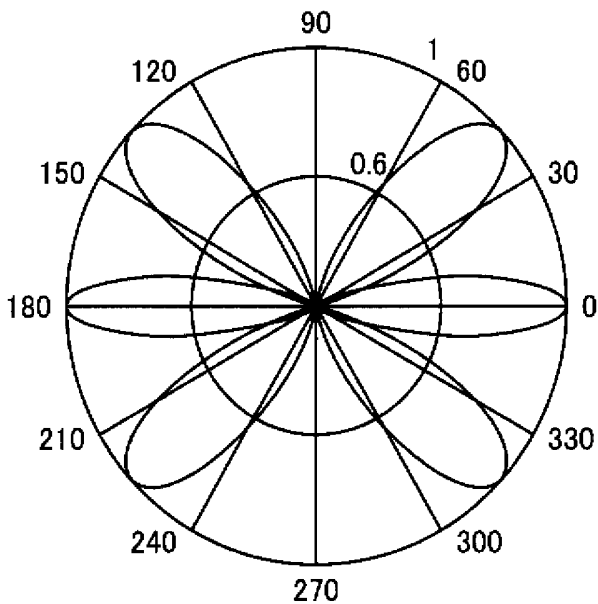


A: 共振周波数領域
 B: 非共振周波数領域

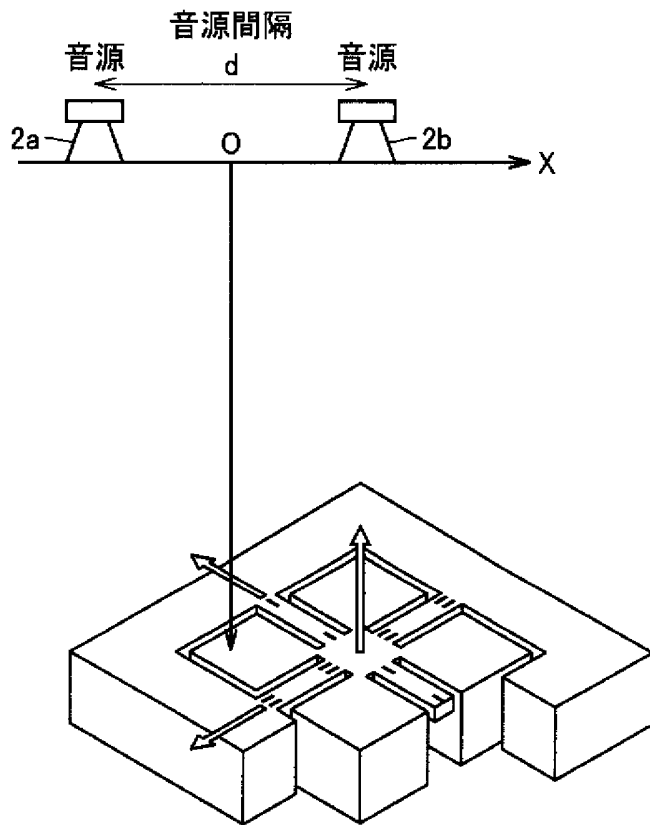
[図11]



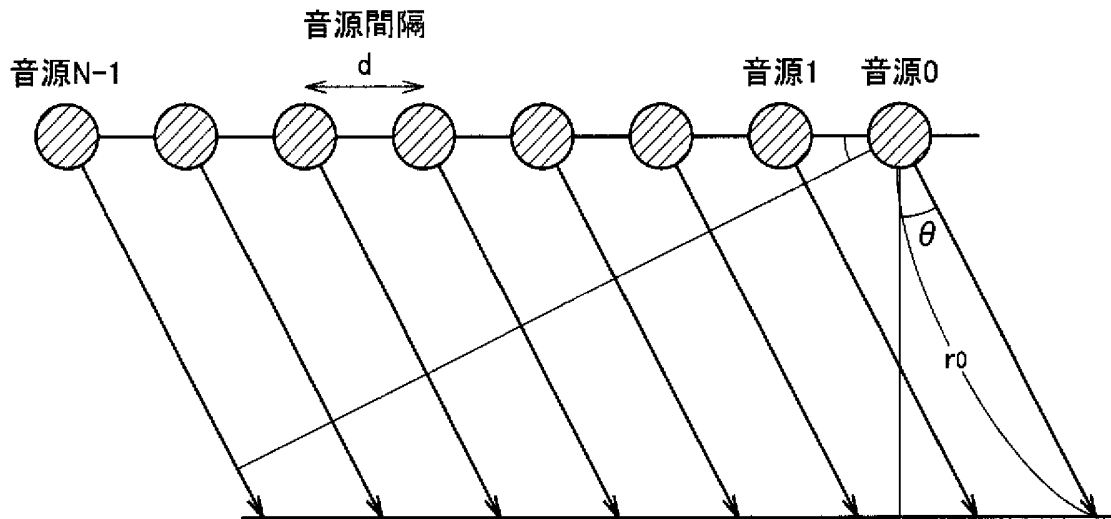
[図12]



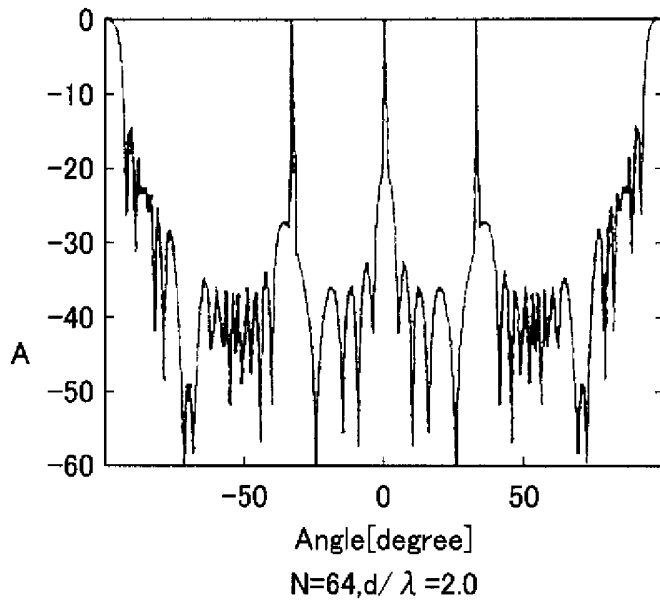
[図13]



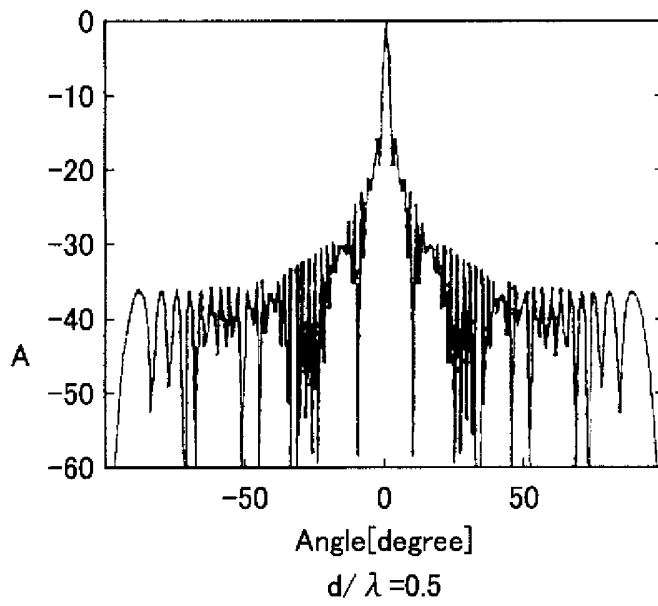
[図14]



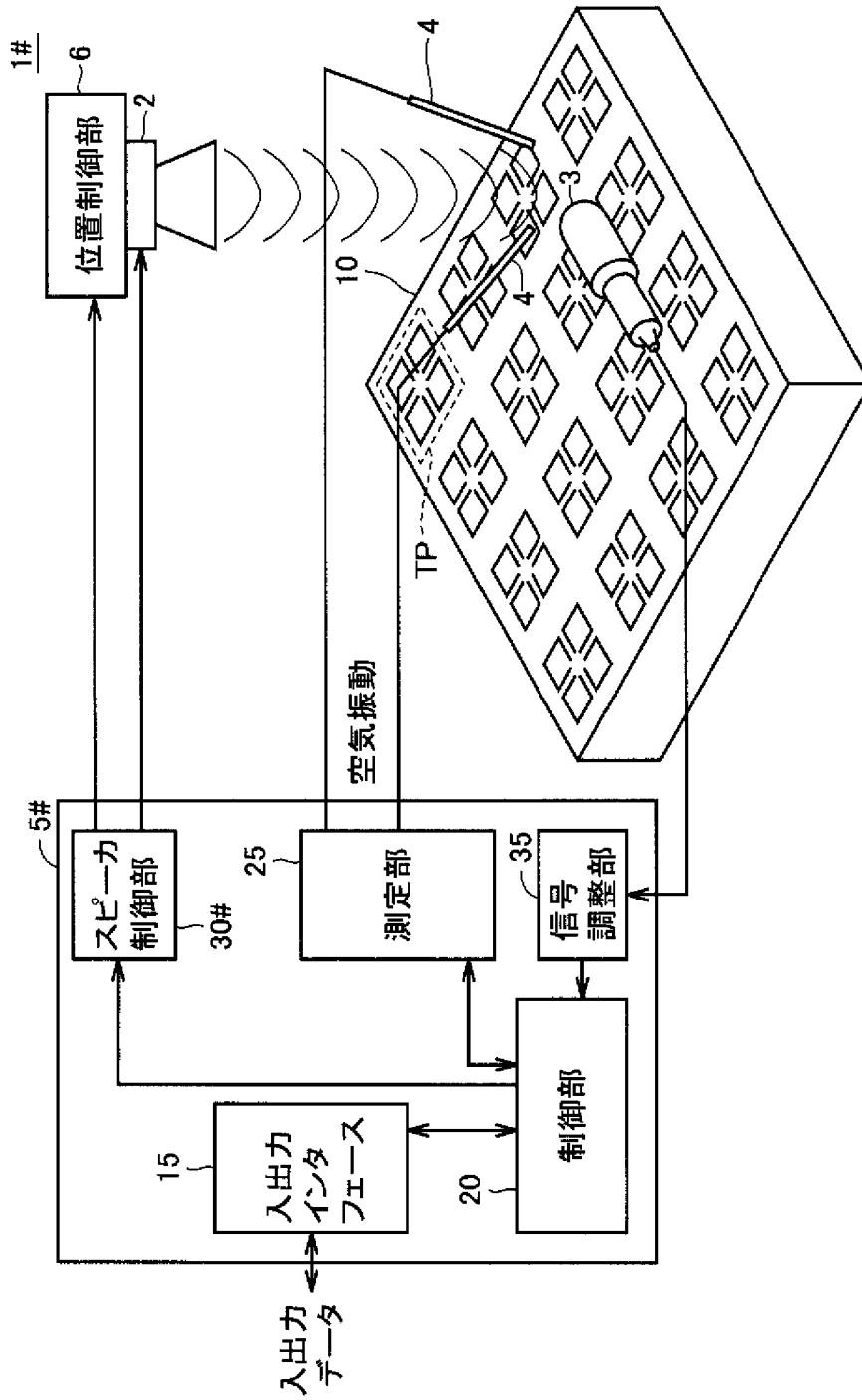
[図15]



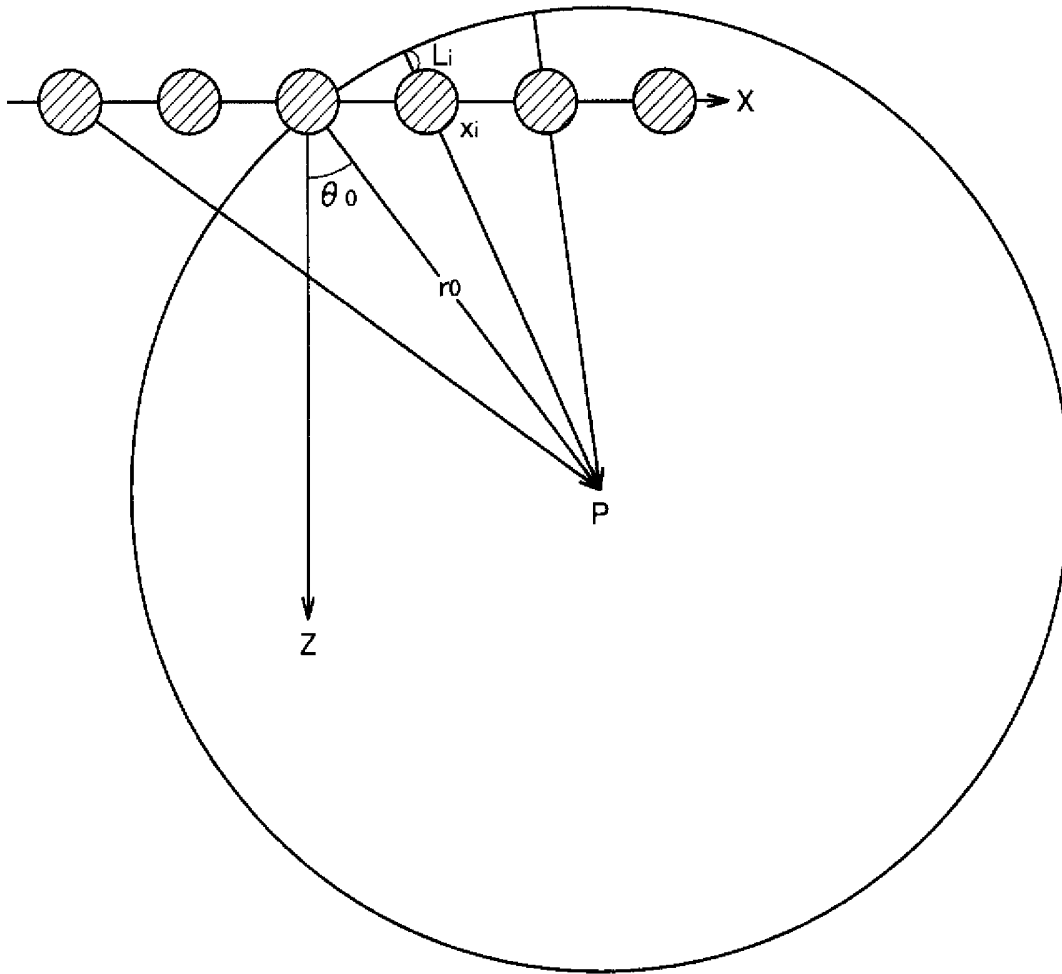
[図16]



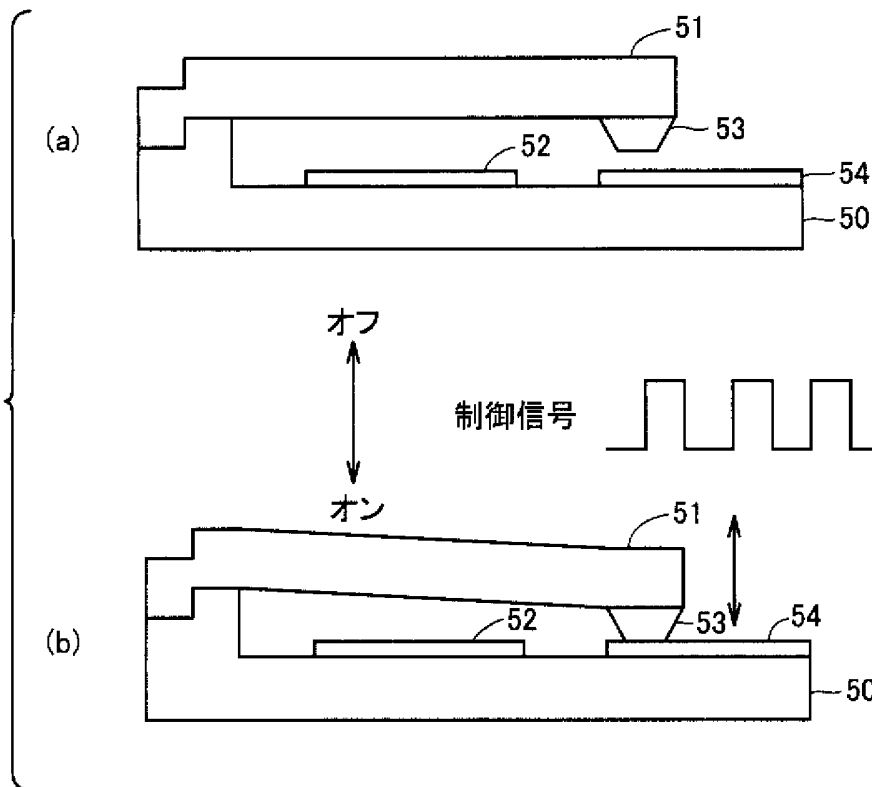
[図17]



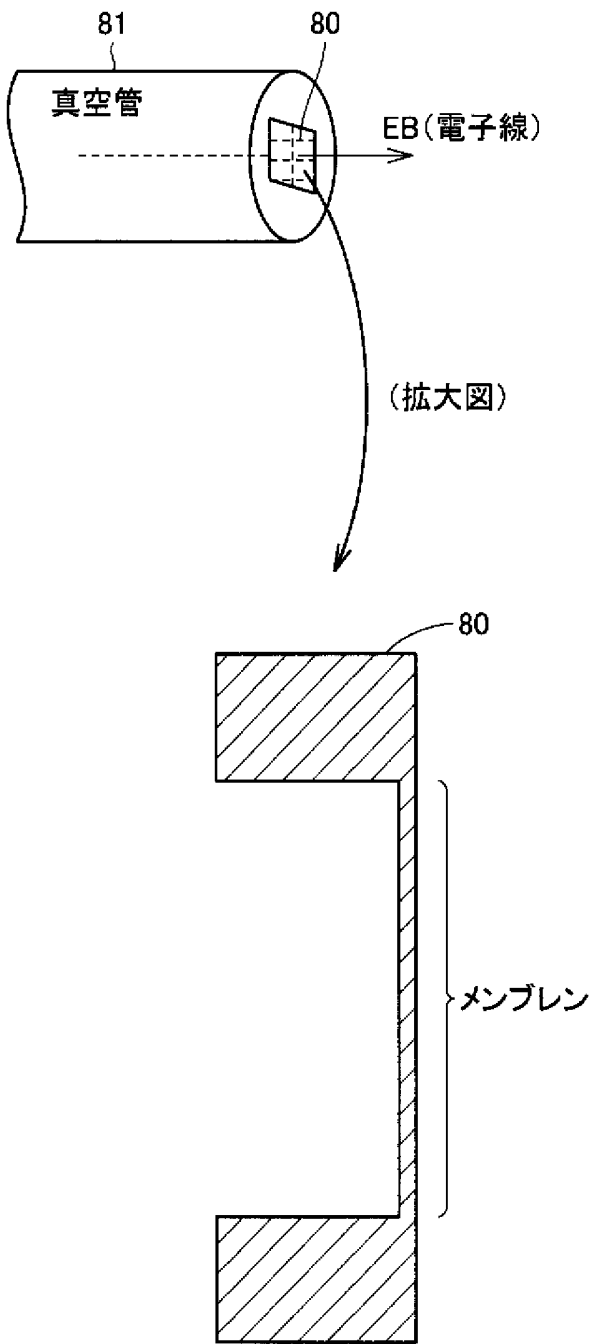
[図18]



[図19]

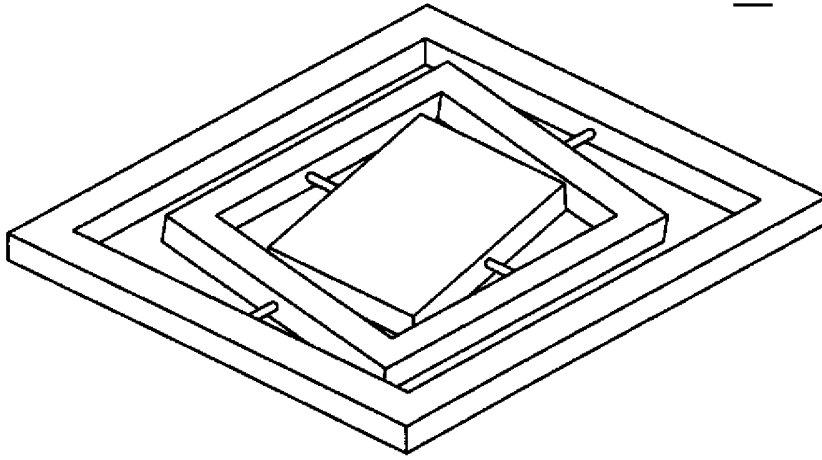


[図20]

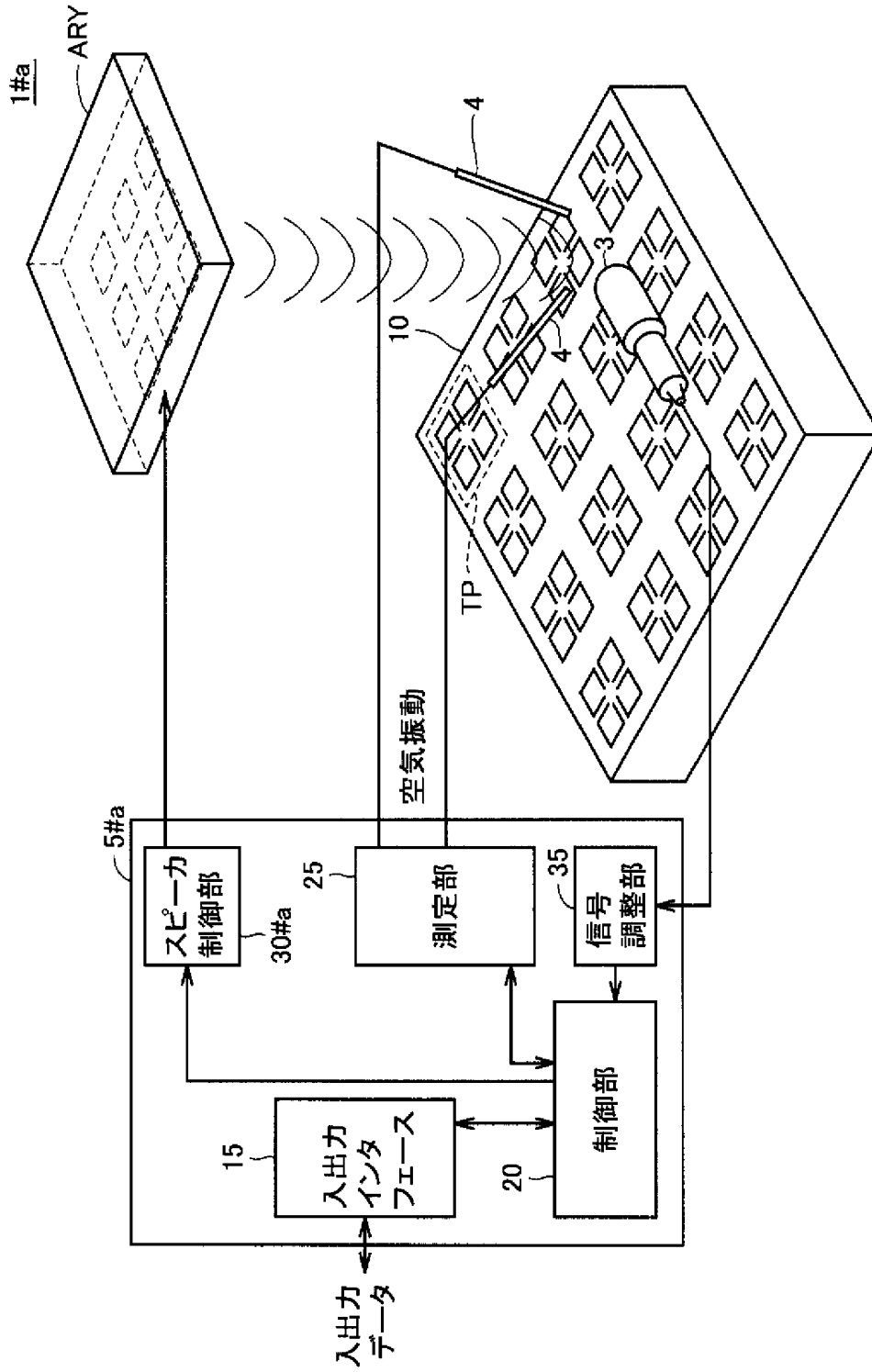


[図21]

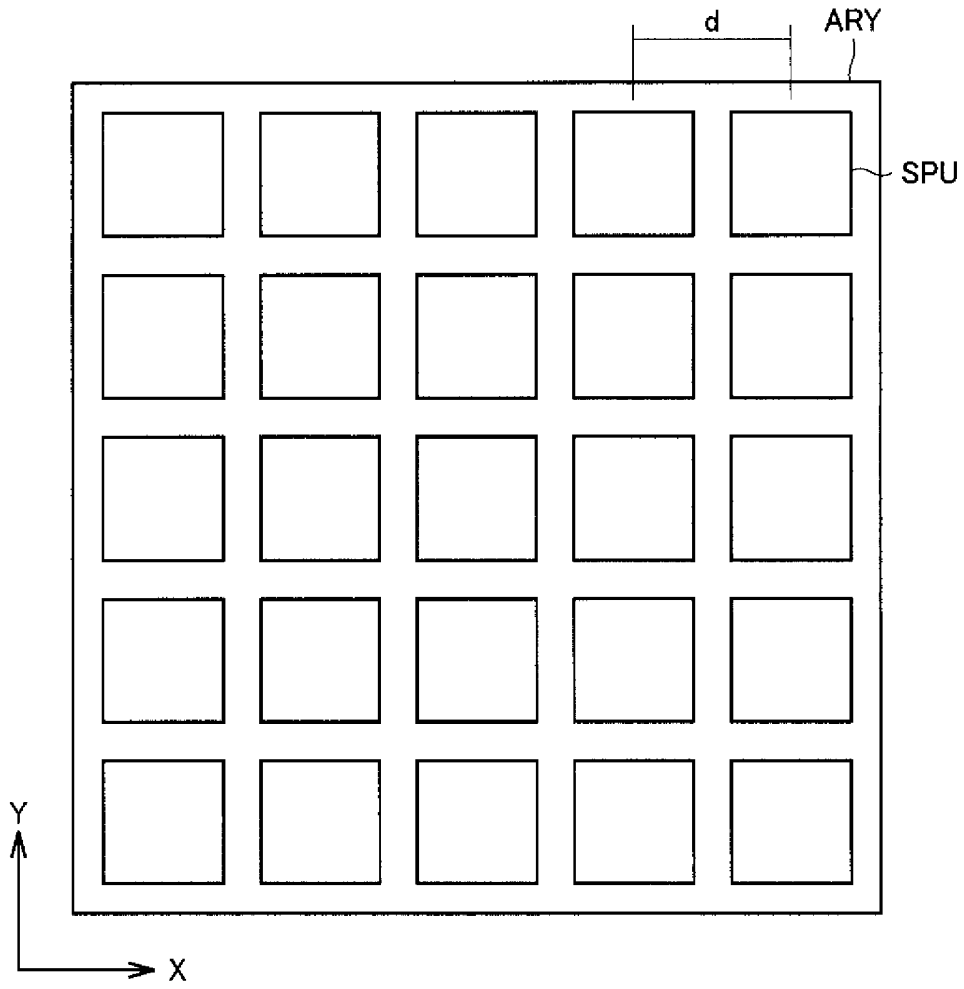
90



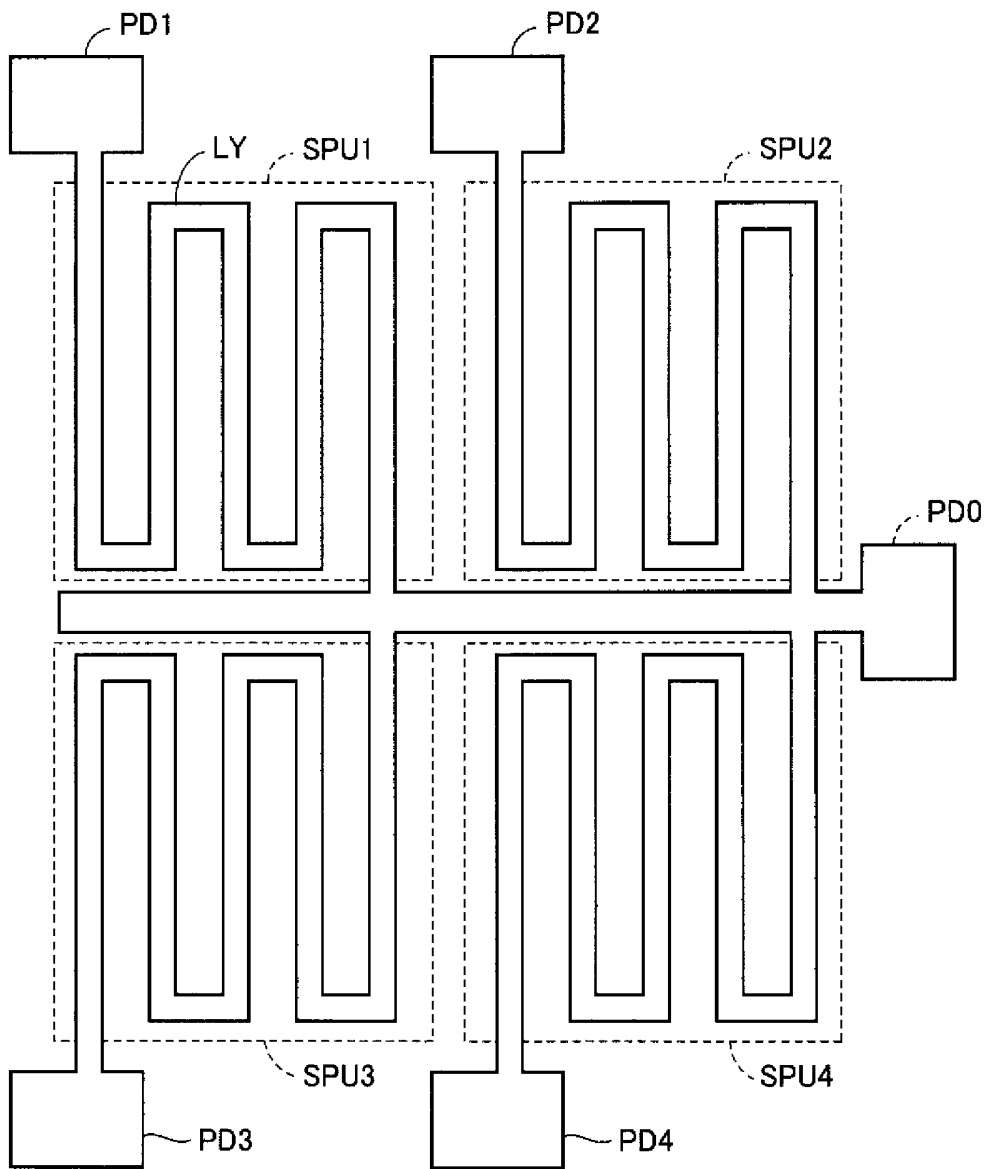
[図22]



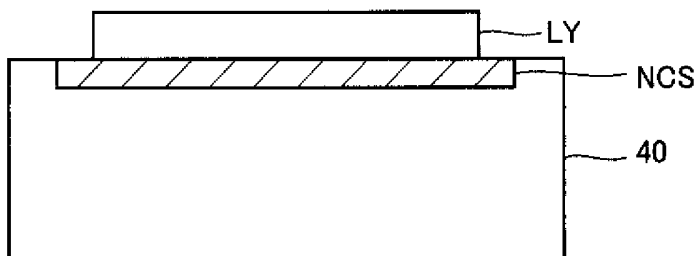
[図23]



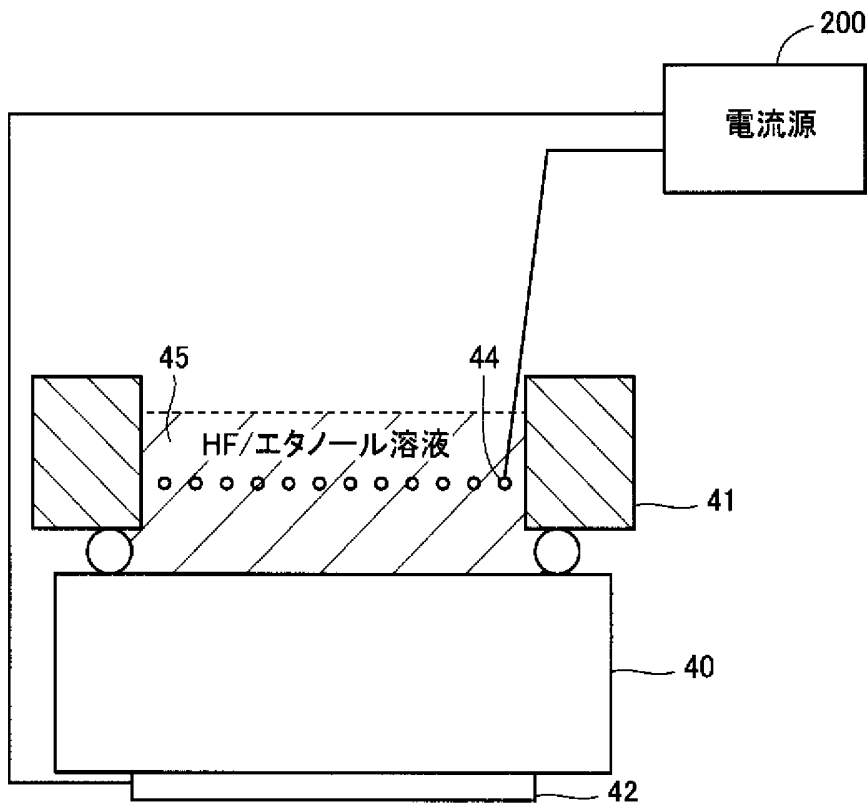
[図24]



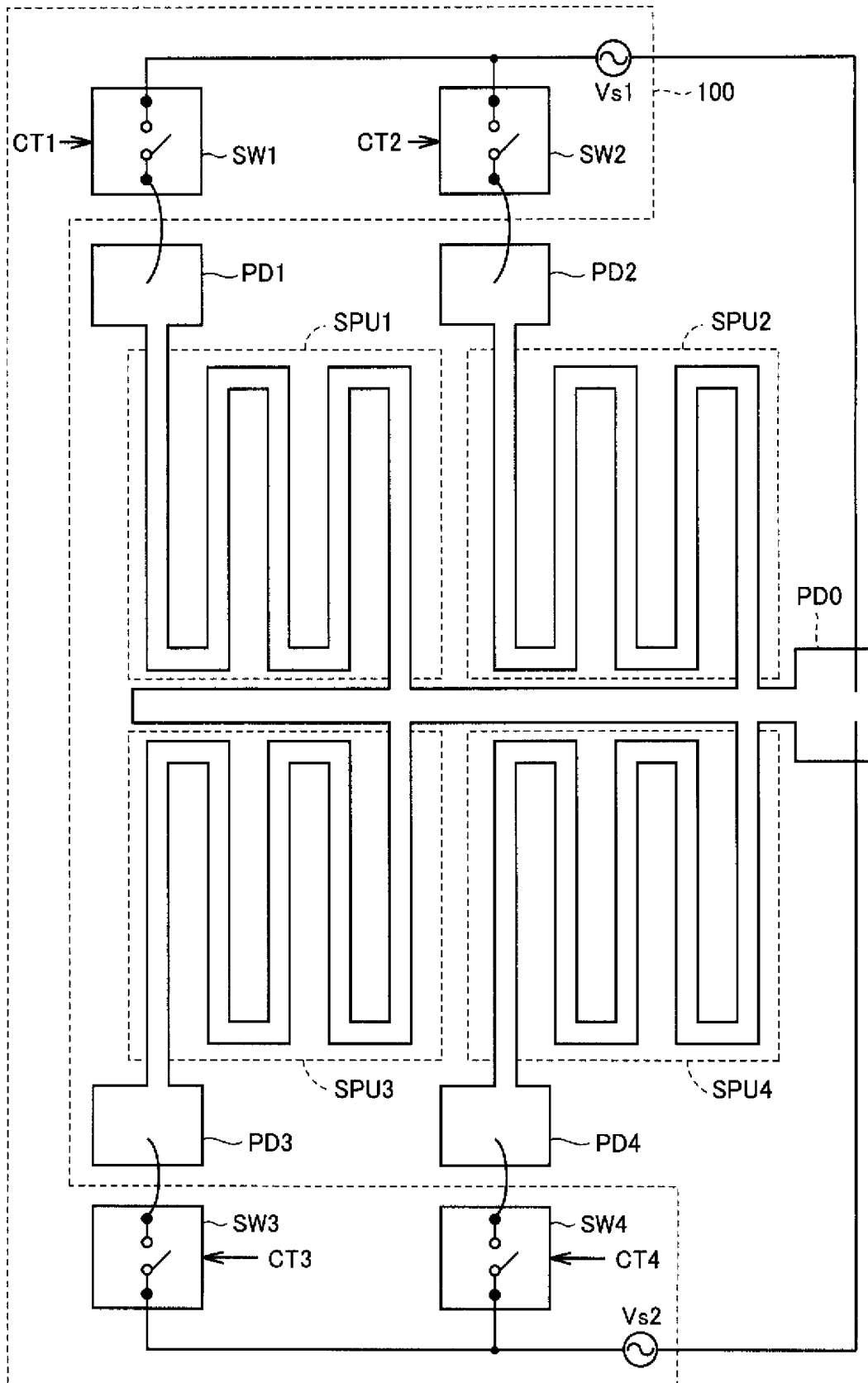
[図25]



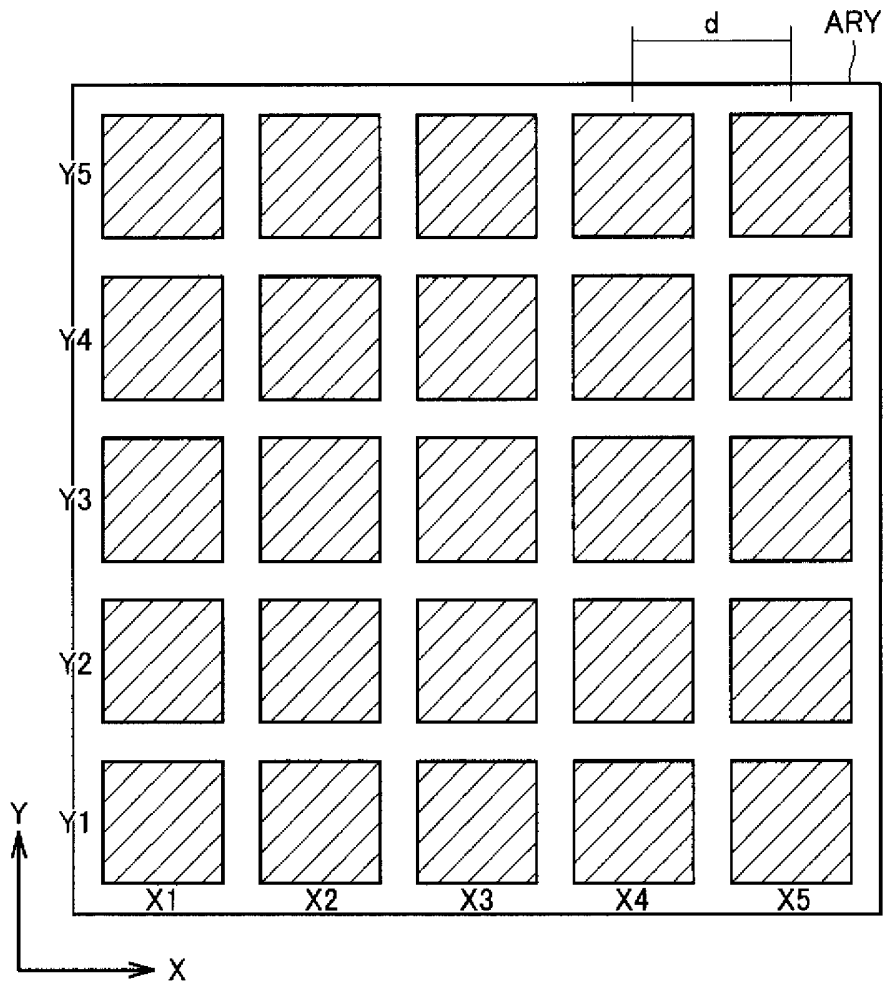
[図26]



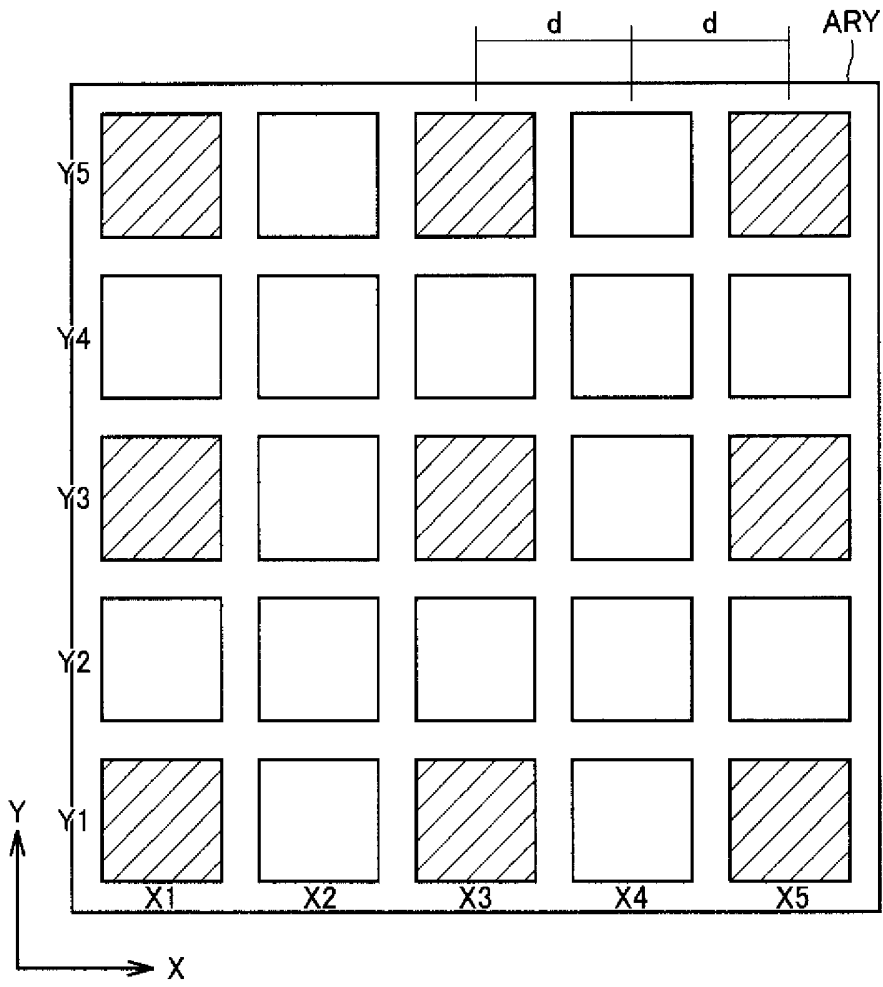
[図27]



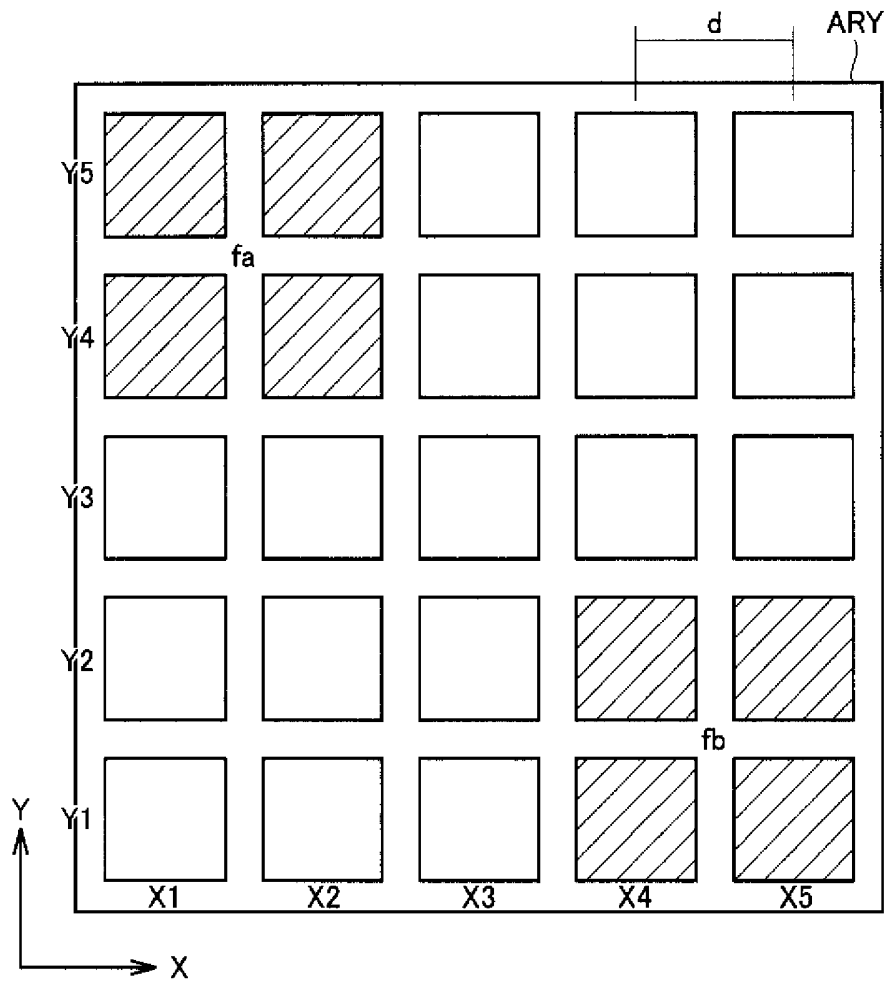
[図28]



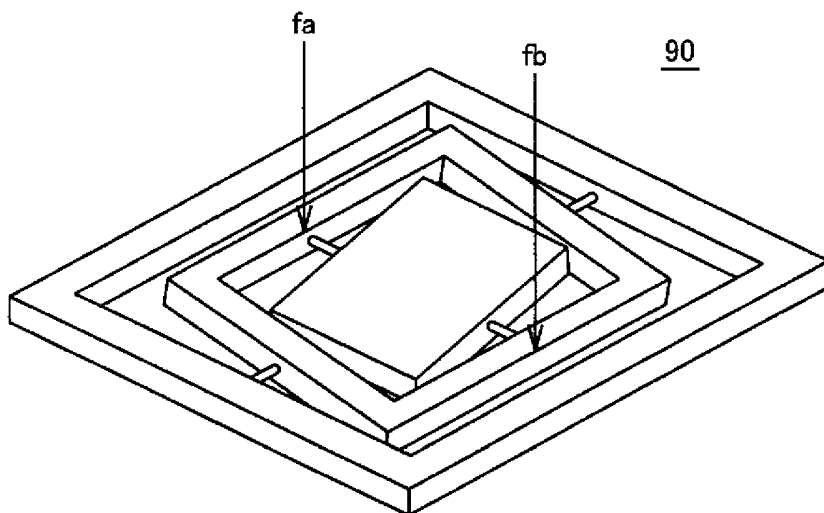
[図29]



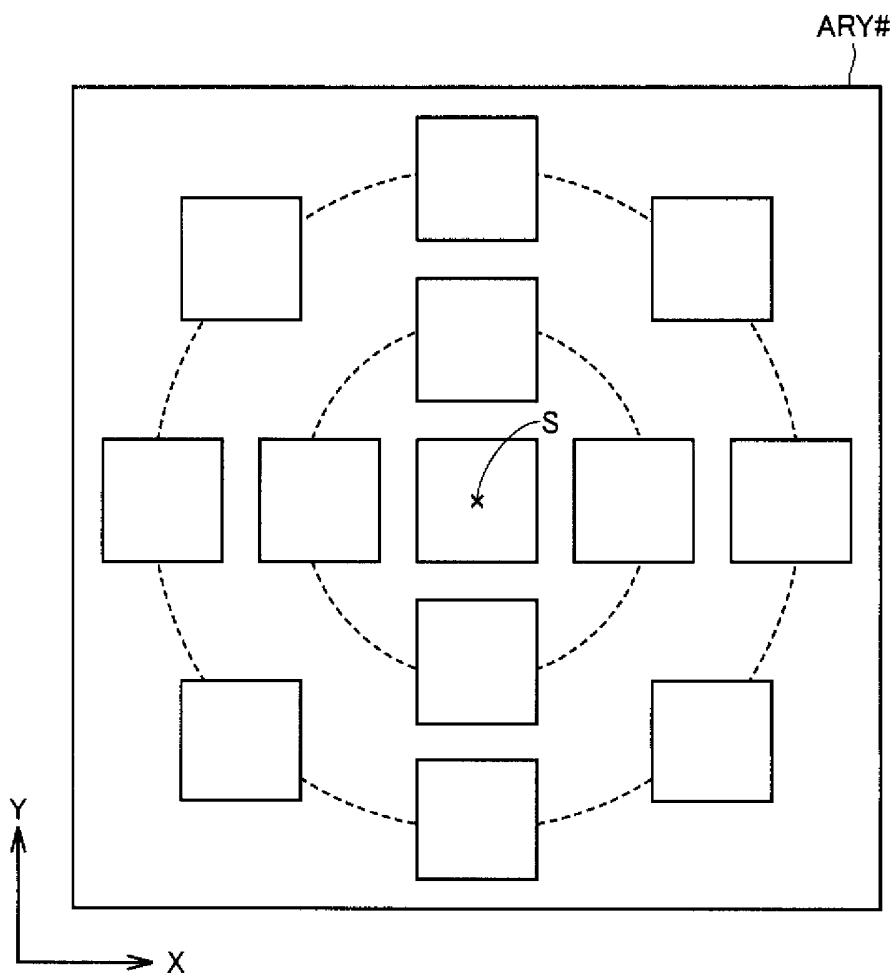
[図30]



[図31]



[図32]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/303996

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N29/00(2006.01), G01P21/00(2006.01)

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)
G01N29/00-29/52, G01P21/00-21/02

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	1996-2006
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2006	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2006

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JSTPlus (JDream2)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2-67956 A (Oki Electric Industry Co., Ltd.), 07 March, 1990 (07.03.90), Full text; all drawings (Family: none)	1-8,10-12 9
Y A	JP 61-207964 A (Hitachi Electronics Engineering Co., Ltd.), 16 September, 1986 (16.09.86), Full text; all drawings (Family: none)	1-8,10-12 9
Y A	JP 9-33500 A (Hitachi, Ltd.), 07 February, 1997 (07.02.97), Full text; all drawings (Family: none)	1-8,10-12 9

 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
29 May, 2006 (29.05.06)Date of mailing of the international search report
06 June, 2006 (06.06.06)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/303996

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 11-2643 A (Denso Corp.), 06 January, 1999 (06.01.99), Full text; all drawings (Family: none)	5, 6
A	Yasushi SANUKI et al., "Netsu Onkyo Engine no Hassei Onpa ni Oyobosu Stack Ichi no Eikyo", The Japan Society of Mechanical Engineers Hokkaido Shibu Dai 42 Kai Koenkai Gaiyoshu, 2002, pages 60 to 61	9, 10
A	T. YAZAKI et al., Measurement of sound generation in thermoacoustic oscillations, Proc. R.Soc.Lond.A, Vol.454, 1998, pages 2113 to 2122	9, 10
A	Osamu TABATA, "Micro Electro Mechanical System (MEMS) to Zairyo Shiken", The Japan Society of Mechanical Engineers 1999 Nendo Nenji taikai Koen Ronbunshu, 1999, pages 496 to 497	1-12
A	JP 51-20892 A (Nissan Motor Co., Ltd.), 12 August, 1974 (12.08.74), Full text; all drawings (Family: none)	1-12

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01N29/00(2006.01), G01P21/00(2006.01)		
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 (IPC)) Int.Cl. G01N29/00-29/52, G01P21/00-21/02		
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 1971-2006年 日本国実用新案登録公報 1996-2006年 日本国登録実用新案公報 1994-2006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) JSTPlus(JDream2)		
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 請求の範囲の番号
Y A	JP 2-67956 A (沖電気工業株式会社) 1990.03.07, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-8, 10-12 9
Y A	JP 61-207964 A (日立電子エンジニアリング株式会社) 1986.09.16, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-8, 10-12 9
Y A	JP 9-33500 A (株式会社日立製作所) 1997.02.07, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-8, 10-12 9
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> 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 29.05.2006		国際調査報告の発送日 06.06.2006
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/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) 田中 洋介 電話番号 03-3581-1101 内線 3292
		2W 3009

C (続き) . 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 請求の範囲の番号
Y	JP 11-2643 A (株式会社デンソー) 1999.01.06, 全文、全図 (ファミリーなし)	5, 6
A	讃岐奏 他, 熱音響エンジンの発生音波に及ぼすスタック位置の影響, 日本機械学会北海道支部第42回講演会概要集, 2002, pp.60-61	9, 10
A	T.Yazaki et al., Measurement of sound generation in thermoacoustic oscillations, Proc. R. Soc. Lond. A, Vol.454, 1998, pp.2113-2122	9, 10
A	田畑修, マイクロエレクトロメカニカルシステム (MEMS) と材料試験, 日本機械学会1999年度年次大会講演論文集, 1999, pp.496-497	1-12
A	JP 51-20892 A (日産自動車株式会社) 1974.08.12, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-12