(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第5442435号
(P5442435)
(45)発行日　平成26年3月12日(2014.3.12)　(24)登録日　平成25年12月27日(2013.12.27)

(51)Int.Cl.　　F I
G01L 5/00 (2006.01)　　G01L 5/00 101Z
G01L 1/14 (2006.01)　　G01L 1/14 Z

請求項の数 8　(全 16 頁)

(21)出願番号　特願2009-514410 (P2009-514410)
(86)(22)出願日　平成19年6月8日 (2007.6.8)
(65)公表番号　特表2009-540296 (P2009-540296A)
(43)公表日　平成21年11月19日 (2009.11.19)
(86)国際出願番号　PCT/US2007/013579
(87)国際公開番号　WO2008/066575
(87)国際公開日　平成20年6月5日 (2008.6.5)
審査請求日　平成22年4月22日 (2010.4.22)
(31)優先権主張番号　60/811,942
(32)優先日　平成18年6月8日 (2006.6.8)
(33)優先権主張国　米国 (US)
(31)優先権主張番号　11/759,626
(32)優先日　平成19年6月7日 (2007.6.7)
(33)優先権主張国　米国 (US)

前置審査

(73)特許権者　591042768
ユニバーシティ・オブ・デイトン
ＵＮＩＶＥＲＳＩＴＹ　ＯＦ　ＤＡＹＴＯＮ
アメリカ合衆国オハイオ州４５４６９，デイトン，カレッジ・パーク・アベニュー　３００
(73)特許権者　000005326
本田技研工業株式会社
東京都港区南青山二丁目１番１号
(74)代理人　100140109
弁理士　小野　新次郎
(74)代理人　100075270
弁理士　小林　泰

最終頁に続く

(54)【発明の名称】ナノチューブアレイに基づく触覚センサ及び聴覚センサ

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
触覚センサであって、
一対の基板に接続される一対の電極と、
前記一対の電極間に配置される、垂直方向に整列された複数のナノチューブであって、第１の端及び第２の端を有しており、前記第１端が前記一対の電極の一方に接続され、前記第２端が前記一対の電極の他方に接続される、垂直方向に整列された複数のナノチューブと、
複数の磁石であって、該複数の磁石の磁界が前記垂直方向に整列された複数のナノチューブの軸に対する垂線となるように、前記一対の電極間に接続される、複数の磁石と、
前記一対の電極に電気的に接続される検出器であって、前記一対の基板の表面部分に外力が加えられたときに、前記磁界の変化を検出する、検出器と、
を備える、触覚センサ。
【請求項２】
前記垂直方向に整列された複数のナノチューブが複数のヘリカルナノチューブである、請求項１に記載の触覚センサ。
【請求項３】
触覚センサであって、
一対の基板に接続される一対の電極と、
前記一対の電極間に配置される、垂直方向に整列された複数のナノチューブであって、

第１の端及び第２の端を有しており、前記第１端が前記一対の電極の一方に接続され、前記第２端が前記一対の電極の他方に接続される、垂直方向に整列された複数のナノチューブと、
前記一対の電極に電気的に接続される電圧源であって、該電圧源が無負荷電圧である、電圧源と、
を備え、
前記一対の基板の表面部分に外力が加えられたときに、前記垂直方向に整列された複数のナノチューブの長さを変化させ、当該垂直方向に整列された複数のナノチューブの長さの変化により、前記垂直方向に整列された複数のナノチューブのインダクタンスを負荷電圧を生成するように変化させる、触覚センサ。

【請求項４】
接触を検出する方法であって、
一対の基板に接続される一対の電極を設けるステップと、
前記一対の電極間に配置される、垂直方向に整列された複数のナノチューブを設けるステップであって、前記垂直方向に整列された複数のナノチューブが第１の端及び第２の端を有しており、前記第１端が前記一対の電極の一方に接続され、前記第２端が前記一対の電極の他方に接続される、ステップと、
複数の磁石の磁界が前記垂直方向に整列された複数のナノチューブの軸に対する垂線となるように、前記一対の電極間に接続される前記複数の磁石を設けるステップと、
検出器を前記一対の電極に電気的に接続するステップであって、前記検出器は、前記一対の基板の表面部分に外力が加えられたときに前記磁界の変化を検出する、ステップと、
を含む、方法。

【請求項５】
前記垂直方向に整列された複数のナノチューブが複数のヘリカルナノチューブである、請求項４に記載の方法。

【請求項６】
接触を検出する方法であって、
一対の基板に接続される一対の電極を設けるステップと、
前記一対の電極間に配置される、垂直方向に整列された複数のナノチューブを設けるステップであって、前記垂直方向に整列された複数のナノチューブが第１の端及び第２の端を有しており、前記第１端が前記一対の電極の一方に接続され、前記第２端が前記一対の電極の他方に接続される、ステップと、
前記電極に電気的に接続される電圧源を設けるステップであって、該電圧源が無負荷電圧である、ステップと、
外力を前記一対の基板の表面部分に加えて、前記垂直方向に整列された複数のナノチューブの長さを変化させるステップであって、前記垂直方向に整列された複数のナノチューブの長さの変化により、前記垂直方向に整列された複数のナノチューブのインダクタンスを負荷電圧を生成するように変化させる、ステップと、
を含む、方法。

【請求項７】
前記垂直方向に整列された複数のナノチューブが、複数のヘリカルナノチューブである、請求項３に記載の触覚センサ。

【請求項８】
前記垂直方向に整列された複数のナノチューブが、複数のヘリカルナノチューブである、請求項６に記載の方法。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、包括的には触覚センサ及び聴覚センサに関し、詳細には、ナノチューブアレイを用いる触角センサ及び聴覚センサに関するものである。

ナノ構造化材料は、従来の材料では達成することができなかった超小型及び超低消費電力のデバイスを実現することへの扉を開いた。ナノ構造化材料は、結晶の大きさが１００ｎｍ未満である材料と定義することができ、典型的には、「ボトムアップ」工程又は「トップダウン」工程いずれかによって合成される。ボトムアップ工程は、「構成要素」として原子、イオン又は分子から開始し、それらの構成要素からナノスケールクラスタ又はバルク材料を組み立てる。ナノ構造化材料を加工するための「トップダウン」方法は、バルク固体で開始し、構造的に分解することによってナノ構造体を得ることを含む。１つのそのような手法は、半導体業界において用いられる工程と同じようにバルク材料をリソグラフィ／エッチングすることを含み、この工程では、ナノスケールの構造を形成するために、パターン形成（電子ビームリソグラフィ等）及びパターン転写工程（反応性イオンエッチング等）によって、デバイスが電子基板から形成される。

【０００２】

カーボンナノチューブ（ＣＮＴ）は、その優れた電気的特性及び機械的特性によって、お数多くの用途のために採用されることが期待されている。さらに、その特有の構造は、センサに適用する場合にも魅力的である。たとえば、半導電性ＣＮＴをセンサとして用いる場合、エレクトロン・チャリティ（electron charity）の制御によるドナー又はアクセプタの選択に基づいて、ガスを特定することができる。対照的に、従来のガスセンサは、ガス吸収による電気抵抗の変化しか検出しない。しかしながら、この新たなタイプのセンサは、ガスを検出するセンサプローブとして１つのＣＮＴしか用いないので、そのようなデバイスを製造する際に、依然として多くの課題が残されている。

【０００３】

たとえば、上記のガスセンサを製造するために、ＣＮＴは、準備された炭素煤から分離されなければならないだけでなく、「操作」工程を介して、動かされ、所望の位置に配置されなければならない。今日、ＣＮＴの操作は、透過型電子顕微鏡（ＴＥＭ）において用いられるハンドメイドのナノピンセットを用いて実行され、この特殊な制限された環境において、「トップダウン」方法を用いて実行される。しかしながら、これらの動作は、均一なデバイスを形成するのに、又は１つのチップ上に複数のセンサを配置するのに適合しない。

【０００４】

一方、従来技術において、垂直方向に整列されるＣＮＴアレイを有する陽極と、陰極とを含むガスセンサが報告されている。このセンサは、２つの電極にＤＣ電圧を印加し、それらの電極間にガスを流すことによって動作する。電圧によって生成されるイオン化されたガスが、ＣＮＴアレイの降伏電圧に影響を及ぼす。降伏電圧の差を観察することによって、ガスのタイプを特定することができる。

【０００５】

垂直方向に整列されるＣＮＴアレイは、現在、「ボトムアップ」法を用いて製造される。詳細には、このＣＮＴアレイは一般的には、触媒による化学気相成長（ＣＶＤ）法、すなわち、炭素源と触媒元素とを含む化合物の熱分解を用いて形成される。これらのＣＮＴアレイに基づいて、適切に整列されたＣＮＴが容易に製造され、単一のチップ上に複数のセンサを配置することができるようになる。

【０００６】

従来技術において、ＣＮＴアレイに基づく他のセンサが開示されている。たとえば、米国特許出願第２００４／０００４４８５号は、互いに向かい合った２つのＣＮＴ間のキャパシタンスの変化を観察することによって、音声を検出する音声センサを開示している。信号を検出するために、バイアス電圧が必要とされる。電極上に形成される開示されているＣＮＴは均一な長さを有するため、このセンサは、特定の周波数を検出するためにのみ有用である。米国特許第６，７３７，９３９号は、基板上にあるＣＮＴアレイを用いる無線周波数（ＲＦ）フィルタデバイスを開示している。このＣＮＴアレイも、長さ及び断面が均一であるＣＮＴを含む。ＲＦフィルタデバイスにバイアス電圧をかけることによって、ＣＮＴ表面上の電子が増加する。結果として、量子効果が引き起こされ、デバイス上の

ＣＮＴの長さが変化し、それによって、検出する周波数が変化する。米国特許第６，４４５，００６号は、電界放出ディスプレイ（ＦＥＤ）のための米国特許第５，８７２，４２２号によって開示されているＣＮＴアレイを、加速度計又は流量計等の微小電気機械システム（ＭＥＭＳ）に基づくデバイスのような、マイクロデバイスにおいて用いられる検出用途に拡張する。開示されている検出原理は、２つのＣＮＴ間で電気的に引き起こされる物理的接触、又はそれらの間のキャパシタンスの変化である。米国特許第６，２８６，２２６号は、ＣＮＴアレイを用いて物理的接触を電子工学的に検出する触覚センサを開示している。しかしながら、最初に、バイアス電圧をかける必要がある。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００７】

それゆえ、依然として、改善された触覚センサ及び聴覚センサが必要とされている。

【課題を解決するための手段】

【０００８】

本発明は、ナノチューブアレイに基づく触覚センサ及び聴覚センサを提供することによって、この要求を満たす。このセンサは、少なくとも１つのセンサプローブを備え、このセンサプローブは、一対の電極と、この一対の電極間に配置される、垂直方向に整列されるナノチューブと、任意選択で、ナノチューブ上にある圧電ポリマーと、任意選択で、電磁界を生成するための電磁界源とを備え、この電磁界源は一対の電極に動作可能に接続され、それによって、センサプローブが接触されると、電磁界の変化が生じるか、又は電気が生成される。

【０００９】

本発明の別の態様は、接触又は音声を検出する方法である。当該方法は、少なくとも１つのセンサプローブを備えるセンサを設けるステップであって、このセンサプローブは、一対の電極と、この一対の電極間に配置され、垂直方向に整列されるナノチューブと、任意選択で、ナノチューブ上にある圧電ポリマーと、任意選択で、電磁界を生成するための電磁界源とを備え、この電磁界源は一対の電極に動作可能に接続され、それによって、センサプローブが接触すると、電磁界の変化が生じるか、又は電気が生成されるステップ、センサプローブを接触させるステップであって、電磁界の変化を引き起こすか、又は電気を生成する、接触させるステップ、及び、電磁界の変化又は電気の生成を検出するステップを含む。

【００１０】

本発明をさらに理解するために、添付の図面とともに以下の説明が参照されるであろう。なお、図面において、同様の参照番号は同様の部品を表す。

【図面の簡単な説明】

【００１１】

【図１Ａ】ヘリカルナノチューブアレイを用いる触角センサの概略的な断面図である。

【図１Ｂ】図１Ｂの触覚センサの概略的な部分平面図である。

【図２Ａ】ヘリカルナノチューブアレイを用いる触角センサの概略的な断面図である。

【図２Ｂ】動作中の図２Ａの触覚センサの概略図である。

【図３Ａ】ナノチューブアレイを用いる触角センサの概略図である。

【図３Ｂ】図３Ａの触覚センサの一部を拡大した断面図である。

【図３Ｃ】図３Ｂの触覚センサの一部を拡大した断面図である。

【図３Ｄ】図３Ａに示される触覚センサの動作を示す図である。

【図４】ナノチューブアレイを用いて触角センサを形成する工程を示す図である。

【図５Ａ】ナノチューブアレイを用いる聴覚センサの概略図である。

【図５Ｂ】図５Ａの聴覚センサの場合に検出される信号を示す図である。

【図５Ｃ】聴覚センサ上の信号処理（周波数分離）の概略図である。

【図５Ｄ】聴覚センサ上の信号処理（音声定位）の概略図である。

【図６Ａ】ナノチューブアレイを用いる聴覚センサの概略図である。

【図６Ｂ】図６Ａの聴覚センサの拡大した断面図である。
【図７】ナノチューブアレイを用いる聴覚センサを形成する工程の概略図である。
【図８Ａ】整列されるＣＮＴアレイに基づく触覚センサの概略図である。
【図８Ｂ】図８Ａの触覚センサの概略図である。
【図９Ａ】図８において番号を付される個々の触覚センサプローブに関する検知データを示すプロット図である。
【図９Ｂ】図８において番号を付される個々の触覚センサプローブに関する検知データを示すプロット図である。
【図１０Ａ】基板上に金属を堆積した後の触覚センサのパターンの写真である。
【図１０Ｂ】図１０Ａのセンサの一部を示す図である。
【図１０Ｃ】図１０Ａのセンサの一部に成長するＣＮＴを示す写真である。
【図１１】形成後の図１０Ａの触覚センサの概略図である。
【図１２】図１１の触覚センサを用いて電圧信号を検出した結果を示すグラフである。
【図１３】ＣＮＴ／ＰＶＤＦセンサ及びＰＶＤＦセンサの信号検出試験結果の比較を示すグラフである。
【発明を実施するための最良の形態】
【００１２】
ナノチューブアレイに基づく触覚センサ及び聴覚センサを対象とする本発明の実施形態の以下の説明は実際には例示にすぎず、本発明、又はこの用途若しくは使用法を限定することは決して意図していない。
【００１３】
説明を容易にするために、以下の例では、ナノチューブアレイは、カーボンナノチューブ（ＣＮＴ）アレイと称される。しかしながら、ナノチューブがカーボンナノチューブのみには限定されないこと、及び他のタイプのナノチューブを用いてもよいことは当業者には理解されよう。すなわち、垂直方向に整列されるアレイを有する構造を用いて、金属又は酸化物又はポリマーナノチューブを形成する任意の材料を、本発明のセンサにおいて用いることができる。適切な材料は、限定はしないが、当該技術分野において既知である半導体、導電性材料及び非導電性材料を含む。適切な材料は、限定はしないが、酸化物、炭化物、窒化物、ホウ化物又は混合セラミックを含む。たとえば、聴覚センサの場合の材料の選択は、検出する所望の周波数に対応する共振に基づくことができる。したがって、この目的を果たすために、シリコンナノチューブが有望であると考えられる。
【００１４】
図１Ａ及び図１Ｂによって示される一実施形態では、ＣＮＴアレイが、触覚センサ１０として用いられる。図１に示される触覚センサ１０は、ＣＮＴアレイ１２として、ヘリカル形ＣＮＴを用いる。アレイ１２内のヘリカルＣＮＴの中心軸は、少なくとも１つの基板上に垂直方向に整列されることは理解されたい。図１Ａ及び図１Ｂに示されるように、ヘリカルＣＮＴアレイ１２は、それぞれ複数の電極１８及び２０を有する２つの基板１４と１６との間に垂直方向に構成される構造内に設けられる。図示されるように、磁界（Ｗ）が２つの基板間のヘリカルＣＮＴアレイの軸に対して垂線になるように、永久磁石２２、２４が設けられる。ヘリカルＣＮＴアレイ１２では、各個別のヘリカルＣＮＴ又は帯状ヘリカルＣＮＴパターンは、マイクロメートル～ナノメートルの範囲の大きさを有し、触覚センサプローブとして機能する。各基板１４、１６上の電極１８、２０は、ヘリカルＣＮＴ、又は帯状ヘリカルＣＮＴパターンの数に対応し、対応する電極及びＣＮＴが合わせて、２つの基板上に検知ユニットを形成する。所望によって、触覚センサ１０に柔軟性、及び損傷への耐性を追加するために、基板１４、１６は、たとえば、エラストマを含む。
【００１５】
理論に縛られることは望ましくないが、以下に説明されるような、移動理論があると考えられる。エラストマ基板１４又は１６のうちの一方の表面部分に外力が加えられると、もたらされる磁界（Ｗ）、及び加えられた外力から、フレミングの右手の法則に従って電気が生成される。アレイ全体における生成される電気（Ｉ）の分布を参照することによっ

て、外力が加えられた位置を特定することができる。

【００１６】

図２Ａ及び図２Ｂに示される別の実施形態では、ヘリカルＣＮＴアレイ１２を含む触覚センサ２６も用いられる。しかしながら、この触覚センサ２６では、永久磁石の代わりに、エラストマ基板１４、１６上に設けられる２つの電極１８、２０の間にバイアス電圧が印加される。エラストマのうちの一方の表面部分に外力Ｆがかけられると、表面部分によって与えられる対応するヘリカルＣＮＴ又は帯状ヘリカルＣＮＴの長さが、$Ｌ_{0}$から$Ｌ_{1}$に変化する。この長さの変化は、ＣＮＴ又は帯状ヘリカルＣＮＴのインダクタンスに影響を与えることは理解されたい。結果として、無負荷電圧$Ｖ_{0}$から負荷電圧$Ｖ_{1}$にバイアス電圧が変化する。電圧が変化した位置を特定することによって、外力が加えられたエラストマの表面上の位置を検出することができる。

【００１７】

さらに別の実施形態では、図３Ａ、図３Ｂ及び図３Ｃが、圧電ポリマー３２によって覆われるストレートなＣＮＴアレイ３０を有する触覚センサ２８を開示し、圧電ポリマーが触覚センサプローブとして用いられる。図示されるように、アレイ３０内のＣＮＴの軸は、基板２９上に垂直方向に整列される。一例として、ＣＮＴアレイ３０は、鉄フタロシアニン（$ＦｅＣ_{32}Ｎ_{8}Ｈ_{16}$）の熱分解を用いる合成法によって製造することができる。一実施形態では、圧電ポリマー３２は、たとえば、ポリフッ化ビニリデン（ＰＶＤＦ）である。掴みやすくするために、且つロボット工学の用途において接触中に摩耗するのを防ぐために、プローブは、微小突起（「マイクロポイント」）の形のエラストマＡに埋め込まれる。さらに、多数のマイクロポイントが、エラストマＢの表面上に形成される。掴みやすい表面を有するロボットハンド３４、３６を提供するために、一実施形態では、エラストマＡは、弾性率に関してエラストマＢよりも軟質である。これらのエラストマの一例として、シリコーンゴムを用いることができ、一例として、シリコーンゴムにグラファイトを加えることによって、所望の弾性率を調整することができる。これらの構造を用いることによって、プローブ上の圧電ポリマー３２の実際の表面積が約１０００倍だけ増加し、それによって、センサの感度が高められ、コーティング材料の消費を最小限に抑えることによってコストが削減される。

【００１８】

理論に縛られることは望ましくないが、以下に説明されるように、このセンサの移動理論があると考えられる。図３Ｄに示されるように、２つの触覚センサ２８ａ、２８ｂが、向かい合って配置される各ロボットハンド３４、３６上に設置され、物体３８を掴む工程が開始される。ロボットハンド３４、３６は、力（Ｆ）によって安定して、空のグラスのような物体３８を保持している。次に、グラスに水が注がれ、物体３８の重量が変化する。結果として、物体３８は、わずかに滑りながら、ロボットハンド３４、３６から地面に向かって落ちる。ロボットハンド３４、３６内で滑り始めた瞬間に、滑っている場所にあるセンサプローブ２８ａ、２８ｂが、高い周波数のパルスを検出し、握力（Ｆ）を制御するための信号を回路（図示せず）に送信する。この回路は、受信した信号に応答し、握力（Ｆ）に増加分（ΔＦ）が加えられた新たな力（Ｆ’）をかけて、その結果、重量が変化した後に、ロボットハンド３４、３６が、滑っているグラスを掴むようにする。

【００１９】

図３Ａ、図３Ｂ及び図３Ｃに示される触覚センサを形成する１つの例示的な工程が図４に示される。ステップ４０では、物理的なマスク２０４（たとえば、ＴＥＭ用のグリッドメッシュ）を用いて、基板２０２がマスクされる。ステップ４２では、電極２０６のための材料（たとえば、Ａｕ）が基板上に堆積される。次に、ステップ４４では、限定はしないが、Ｆｅ、Ｎｉ、Ｍｏ及びＣｏを含む触媒金属２０８が、この上に電極２０６が堆積されている基板２０２の表面上に堆積される。次いで、ステップ４６では、物理的なマスク２０４が除去され、金属の所望のパターンが基板２０２上に構築される。次いで、ステップ４８において、基板２０２は炉に入れられ、高温において炭素源（たとえば、アセチレン）を用いて、基板上にＣＮＴアレイ２１０が成長する。基板２０２が冷えた後に、ステ

ップ５０において、限定はしないが、ＰＶＤＦを含む機能性ポリマーが、マスクを用いて、スピンコーティング又はプラズマ重合でコーティングされ、ＣＮＴアレイ２１０のパターンの表面に被着される。次いで、ステップ５２において、電極２１２のための材料（たとえば、Ａｕ）が、ポリマーコーティングされたＣＮＴパターンの表面上に堆積される。この工程後に、ステップ５４において、マスクは除去され、基板２０２は、液体シリコーンゴムを供された多数の丸いキャビティ２１６を有する型２１４の中に入れられ、触角センサの表面に突起が設けられる。ステップ５６では、エラストマが固化した後に、型が除去され、それによって、基板２０２上にＣＮＴ２１８のマイクロポイントが設けられる。

【００２０】

別の実施形態では、ＣＮＴアレイ６２を用いる聴覚センサ６０が、図５Ａ及び図５Ｂに示されるように設けられる。異なる形状を有する複数の聴覚センサプローブ６４ａ、６４ｂ、６４ｃ等が、穴７０を有する一対の光学的に透過性の基板（たとえば、SiO_2）６６と６８との間に設けられる。用語「異なる形状」は、種々の聴覚センサプローブが、直径、長さ及び弾性率のような物理パラメータにおいて異なり、区別されることを意味する。異なる形状は、聴覚センサプローブのそれぞれが、特定の共振周波数（複数可）への感度を有することに寄与する。具体的には、音波のいくつかの周波数が、光学的に透過性の基板６６、６８間に設けられる種々のナノチューブプローブ間で分割される。これは、周波数選択性が人の蝸牛内の基底膜上の場所によることに類似している。以下のように、検出の理論が導入される。

【００２１】

周波数を検出する方法は、光検出デバイス７４を用いて、各基板６６、６８の穴７０を（たとえば、光源から）通過する光７２の存在を観察することによって提供される。図５に示されるように、基板６６、６８の穴７０の対は、聴覚センサプローブ６４ａ、６４ｂ、６４ｃ、６４ｄ等のそれぞれ１つのプローブと一致する。光が基板のうちの一方、たとえば、基板６６の側から照射されるとき、音波７６の周波数（複数可）が、光検出デバイス７４によって、穴７０を通過する検出された光パターン７８に基づいて決定される。一実施形態では、光検出デバイスはＣＣＤカメラである。しかしながら、上記の目的を果たすのに適している任意の光検出デバイスを用いてもよい。

【００２２】

上記の工程及びセンサ６０において、第１の基板６６の穴７０を通過する光の或る量は、音波７６によってもたらされる共振周波数に起因して関連付けられる聴覚センサプローブが振動することによって、一時的に遮断されることがある。たとえば、音波７６が、例示されるセンサ６０の右下角に設けられるプローブ６４ｄを共振させる場合には、光は基板６８の穴７０ｂを通過しないことになり、図５Ｂに示されるように、右下角にある光パターン７８の対応する正方形又はピクセル８０が、その時点で照明されなくなる。センサ６０内の多数のプローブ６４が、音波７６の特定の周波数の影響下で、各時点において共振することがあり、それによって、基板６８内の多数の穴が遮断され、結果として、その時点において、たとえば、例示される光パターン７８のような光パターンが生成されることは理解されたい。

【００２３】

図５Ｃ及び図５Ｄに示されるように、予め、周波数毎のセンサ６０内のプローブ６４の共振が、或る時間にわたって、検出された光パターンｆ１、ｆ２、ｆ３、ｆ４、ｆ５等の分布としてマッピングされる。これらの光パターン７８は、ライブラリ７９としてコンピュータに登録される。したがって、実際に観察された光パターン８１と、コンピュータライブラリ７９内に格納されている光パターンｆ１、ｆ２等とを比較することによって、周波数を特定することができる。さらに、図５Ｄに示されるように、光パターンの時間順の分布に基づいて、センサ６０を用いて、音声定位が可能である。

【００２４】

図６Ａ及び図６Ｂに示される実施形態では、基板９０上に圧電ポリマー８６及び電極層８８によってコーティングされたＮＴアレイ８４を用いる聴覚センサ８２が提供される。

この実施形態では、外部の音波によってＮＴが共振するときに、電気が生成される。電気が生成される位置を特定することによって、周波数が識別される。

【００２５】

図７は、図６に示される聴覚センサ８２を形成する方法を示す。基板をマスクした後に、ステップ９２において、Ｆｅ、Ｎｉ、Ｍｏ及びＣｏのような触媒金属が基板上に堆積される。次いで、マスクが除去され、基板上に触媒パターンが形成される。次に、ステップ９４では、異なるマスクを用いて、基板上の他の触媒パターンが堆積される。この工程では、最初のマスク工程において既に堆積されている場所が、異なるマスクを用いて選択的に覆われる。次いで、この基板は、上記の炭素源が流れている炉に入れられる。成長するために、ＮＴは種々の触媒に依存し、それゆえ、たとえば、長さ及び直径のような、ＮＴの成長パラメータを制御することができる。したがって、ステップ９４の結果として、同じ基板上に異なるパラメータを有するＮＴが合成される。最後に、ステップ９６において、たとえば、ＰＶＤＦのような圧電ポリマーが、ＮＴアレイパターンの表面上にコーティングされる。このコーティング層は、たとえば、スピンコーティング又はプラズマ重合のような方法を用いて設けることができる。

【実施例】

【００２６】

【実施例１】

【００２７】

図８Ａ及び図８Ｂに概略的に示されるように、垂直方向に整列される真直ぐなＣＮＴアレイを用いて、触覚センサ９８が形成された。このＣＮＴアレイは、触媒としてフェロセンを、炭素源としてキシレンを用いて、８００℃の熱ＣＶＤ工程によって準備された。ＣＮＴアレイは半導体基板（SiO_2）上に形成され、次いで、アルミニウム基板１００上に転写された。アルミニウム基板１００とＣＮＴアレイとの間の接続は、炭素系接着剤を用いて行なわれた。詳細には、６つの個別のＣＮＴセンサ電極１０２が、アルミニウム基板１００によって支持され、５００μｍ長の高密度のＣＮＴアレイを２ｍｍ四方のサイズに個別に切断することによって形成された。次いで、ＣＮＴ電極１０２の外側壁が、圧電ポリマーとしてポリフッ化ビニリデン（ＰＶＤＦ）の薄い層１０４によってコーティングされた。ＰＶＤＦコーティング１０４上に、薄い金層がスパッタコーティングされ、別の電極１０６が構成された。最後に、デバイス全体が、エラストマ（シリコーンゴム）１０８の薄い層で封入され、センサ９８の柔軟性及び耐久性を確保した。各センサプローブの上側表面からワイヤリード１１０が個別に引き出され、一方、６つ全てのセンサプローブへの共通のワイヤリード１１２が底に取り付けられた。このセンサの物理的な大きさは、長さ４０ｍｍ、幅８ｍｍ、厚み４ｍｍであった。

【００２８】

この触覚センサは、指で触れる／押すことによって試験され、検知結果が図９に示される。センサプローブ毎の検知信号が別個に記録された。図９は、全てのプローブの場合に、センサを指で触れる／押すと電圧が現れ、センサから指を離すと電圧が消えることが検出されたことを明らかに示す。図示されるように、４０ｍＶ～５０ｍＶの範囲内の＋及び－の最大値を有する電圧信号が生成された。双極信号が観察されるのは、おそらく、ＰＶＤＦコーティングが、整列されたＣＮＴの表面全体を覆うためである。すなわち、このコーティングによって、荷重の力よってＣＮＴが捩れるときに、ＰＶＤＦコーティングの一方の側が膨張し、他方の側が収縮する。

【実施例２】

【００２９】

１．パターン化されたセンサアレイの準備

パターン化されたセンサアレイをAl_2O_3基板上に準備し、それは、図１０Ａに示されるように、１６個の個別のセンサプローブを有している。センサユニットをアドレス指定するために、センサプローブの真下に金パディング基板を予め配置している。パターン化された各センサプローブ内で、垂直方向に整列されたＣＮＴの成長を支持するために、

初期のAl_2O_3基板上の図１０Ｂに示されるパターン化されたエリア内に、クロム（Ｃｒ）を、フォトリソグラフィパターニングによって最初に選択的に堆積した。次いで、Ｃｒで覆われた正方形のパターン化された領域（図１０Ｂ）内の小さな正方形のエリア３０４上に鉄（Ｆｅ）触媒を選択的に堆積した。次いで、金属でパターン化された基板が炉に入れられ、ＣＮＴアレイを合成した。ＣＮＴアレイの合成は、７５０℃でアセチレンガス及び水素ガスを流しながら減圧された状態で行った。こうして準備された垂直方向に整列されたＣＮＴアレイを図１０Ｃに示す。ＣＮＴアレイは、鉄(Fe)を堆積したエリア上にのみ成長した。電極領域を覆うために、物理的なマスクを用いて、Ｎ，Ｎ－ジメチルホルムアミド（ＤＭＦ）内に分散したポリフッ化ビニリデン（ＰＶＤＦ）を、センサプローブエリア上に堆積した。ＰＶＤＦコーティングは９０℃で加熱することによって乾燥した。最後に、銀粉末及びエチレン酢酸ビニルコポリマーを含む混合溶液を、ＰＶＤＦ上にフレキシブル電極として塗布した。最後に、ＤＣ電圧供給源を用いて、９０℃において５０Ｖμm^{-1}までの電界の下で、センサユニットのためのポーリング処理を行った。

２．電圧信号検出試験

図１１のセンサユニットを用いて、電圧信号検出試験を行った。このセンサユニットは、１つの共通電極３０６を含み、他方の電極は、１～１６の番号を付された端子３０８から選択した。センサユニット上の電極の一方の側は、測定された全ての信号を集約することによって出力信号を高めるために、アルミニウム箔で覆われた。手動で荷重をかけた小さな棒を用いることによって、触覚刺激を与えた。図１２は、電圧検出試験からの結果を示しており、それは、「押す」動作及び「離す」動作にそれぞれ応答する「オン」信号及び「オフ」信号を示す。手動で荷重をかけるため、電圧信号は均一ではないが、信号の範囲は概ね約０．１ｍＶ～－０．２ｍＶにある。

【００３０】

比較のために、ＣＮＴを用いない金属パターン化された基板上でＰＶＤＦコーティングのみを用いるセンサ（ＰＶＤＦセンサ）も準備し、別個に試験した。図１３に示するように、ＣＮＴ／ＰＶＤＦセンサによって生成される電圧信号は、ＰＶＤＦセンサによる信号よりもはるかに大きい。

【００３１】

これまでの説明は、本発明の例示的な実施形態を開示し、説明するにすぎない。このような説明から、且つ添付の図面及び特許請求の範囲から、添付の特許請求の範囲において画定されるような本発明の精神及び範囲から逸脱することなく、本発明において種々の改変、変更及び変形を行なうことができることは、当業者には容易に認識されよう。

【図１Ａ】

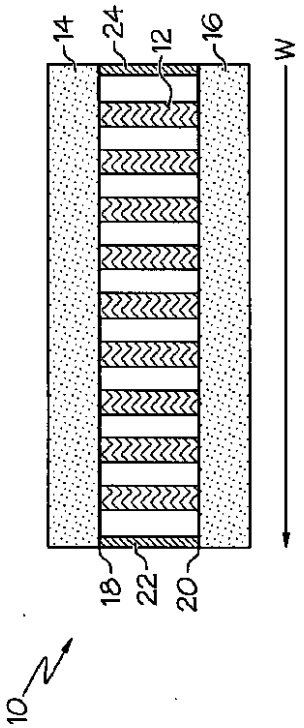


FIG. 1A

【図１Ｂ】

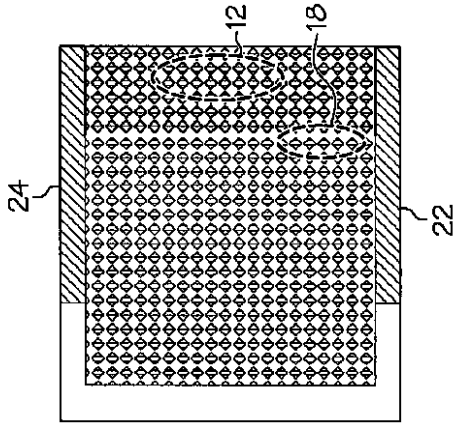


FIG. 1B

【図２Ａ】

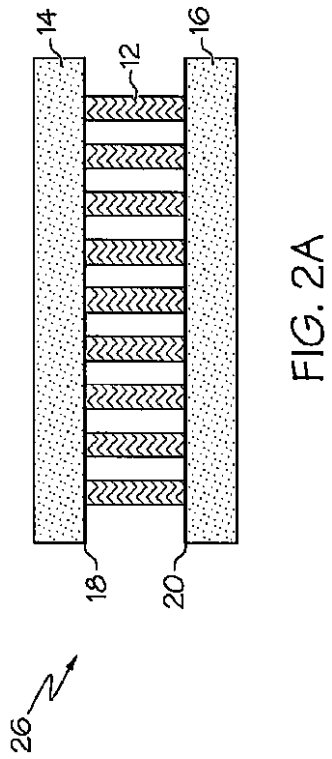


FIG. 2A

【図２Ｂ】

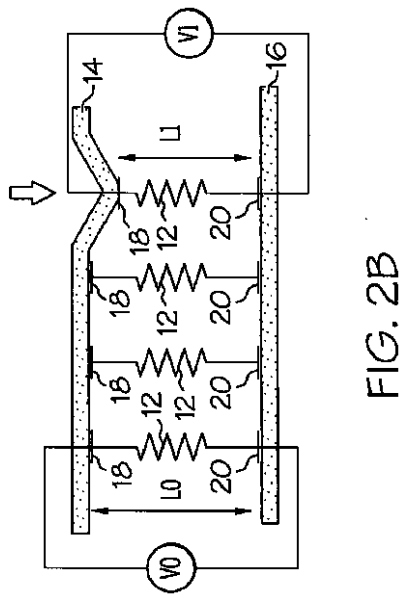


FIG. 2B

【図３Ａ】

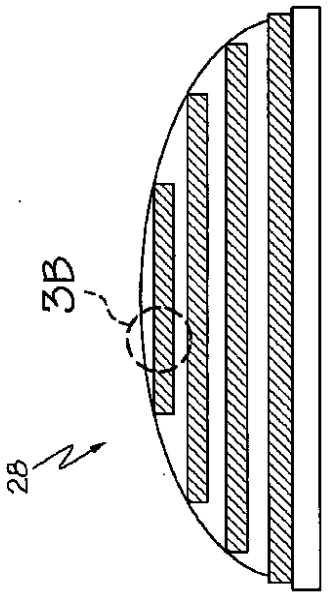


FIG. 3A

【図３Ｂ】

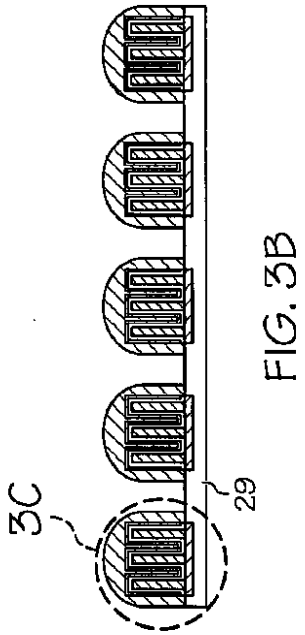


FIG. 3B

【図３Ｃ】

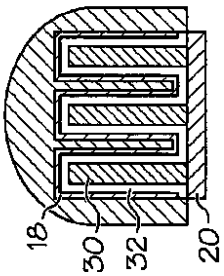


FIG. 3C

【図３Ｄ】

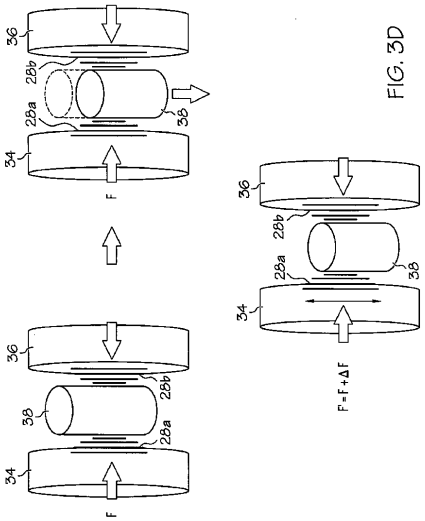


FIG. 3D

【図４】

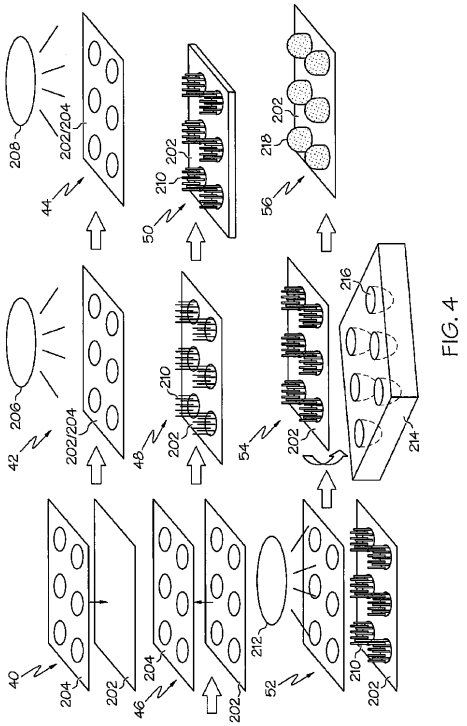


FIG. 4

【図５Ａ】

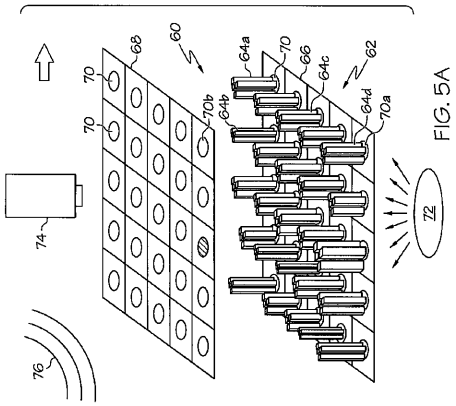


FIG. 5A

【図５Ｂ】

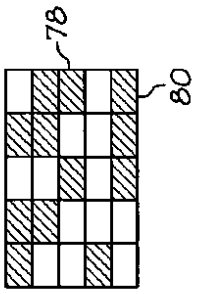


FIG. 5B

【図５Ｃ】

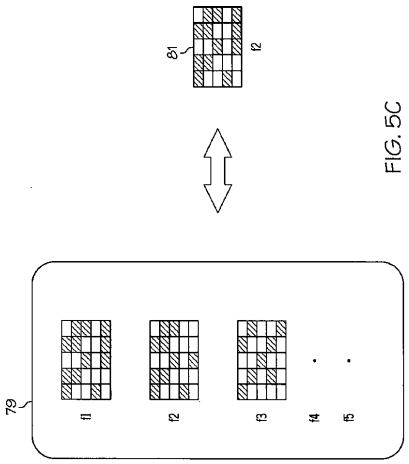


FIG. 5C

【図５Ｄ】

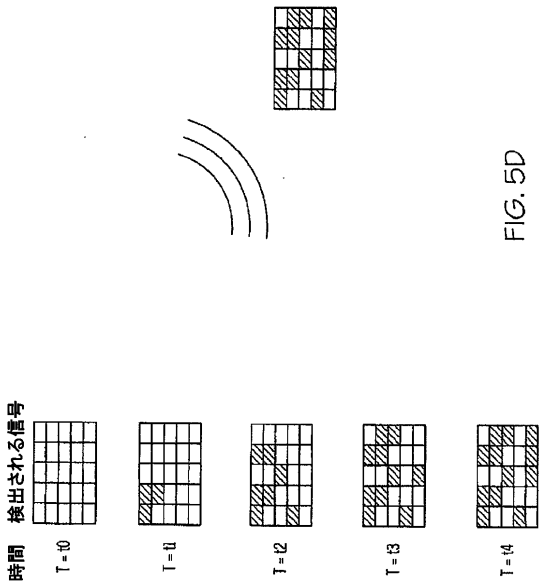


FIG. 5D

【図６Ａ】

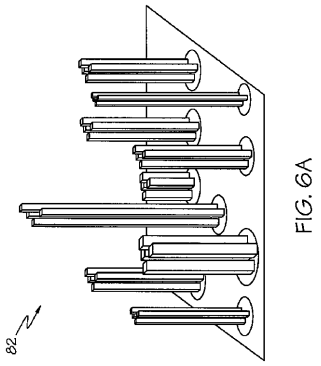


FIG. 6A

【図６Ｂ】

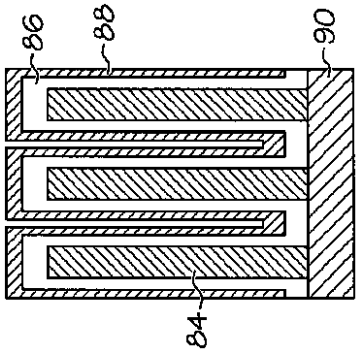


FIG. 6B

【図７】

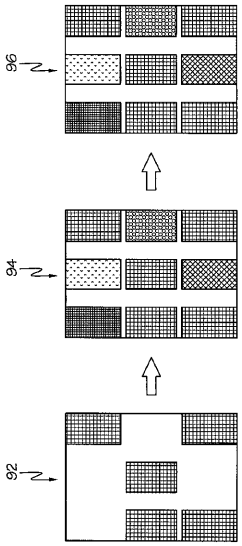


FIG. 7

【図８Ａ】

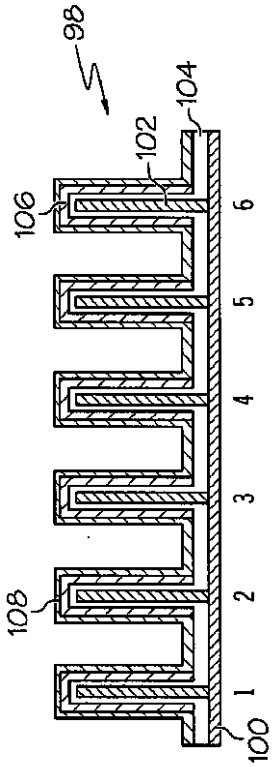


FIG. 8A

【図８Ｂ】

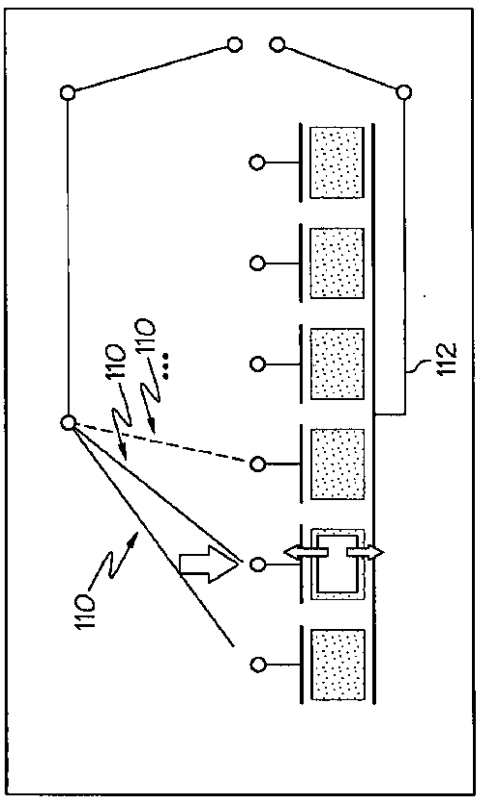


FIG. 8B

【図９Ａ】

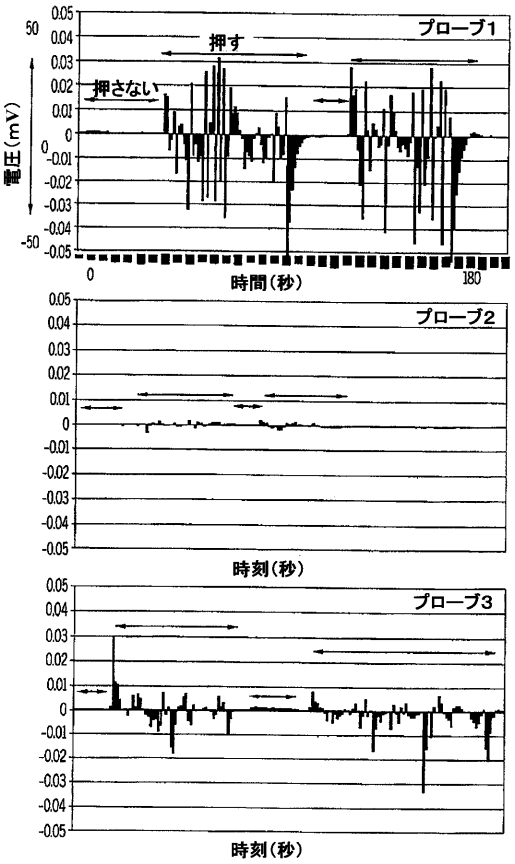


FIG. 9A

【図９Ｂ】

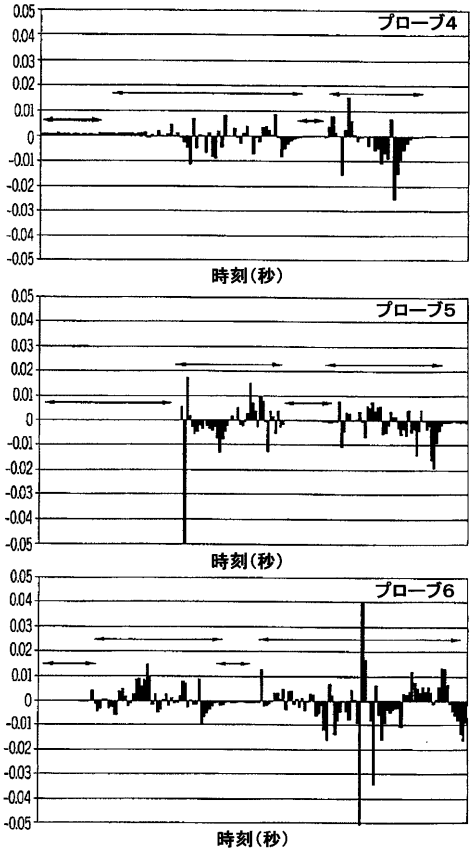


FIG. 9B

【図１０Ａ】

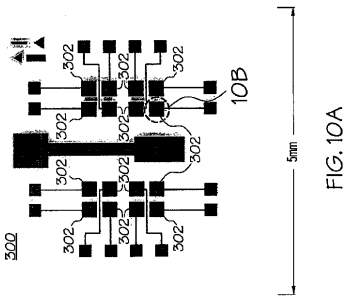


FIG. 10A

【図１０Ｃ】

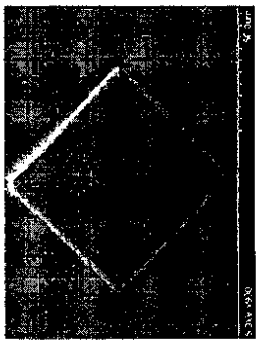


FIG. 10C

【図１０Ｂ】

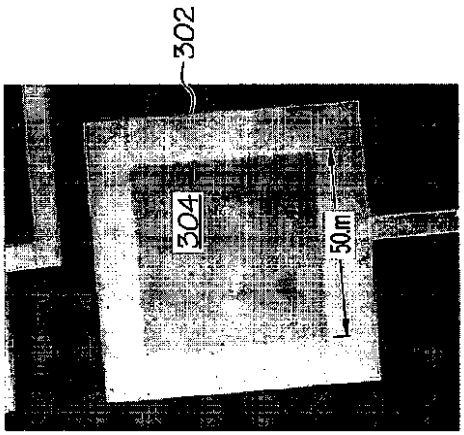
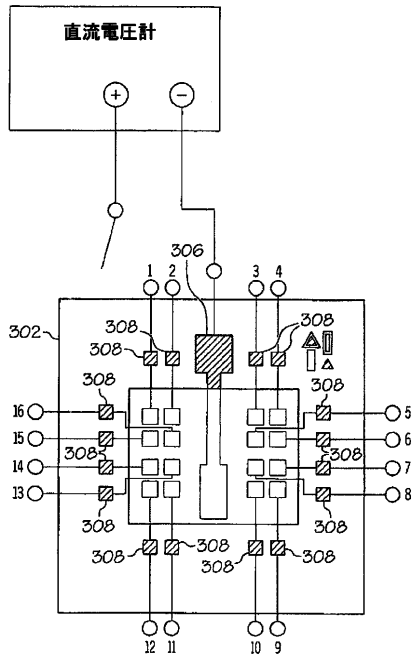
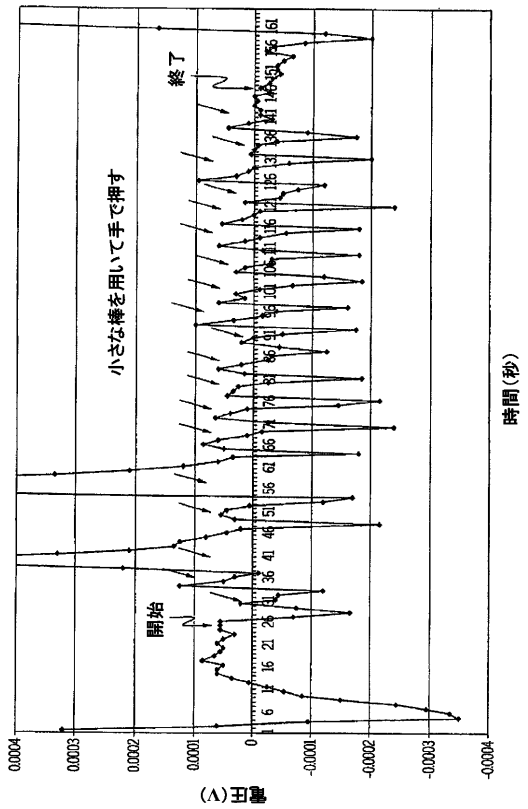


FIG. 10B

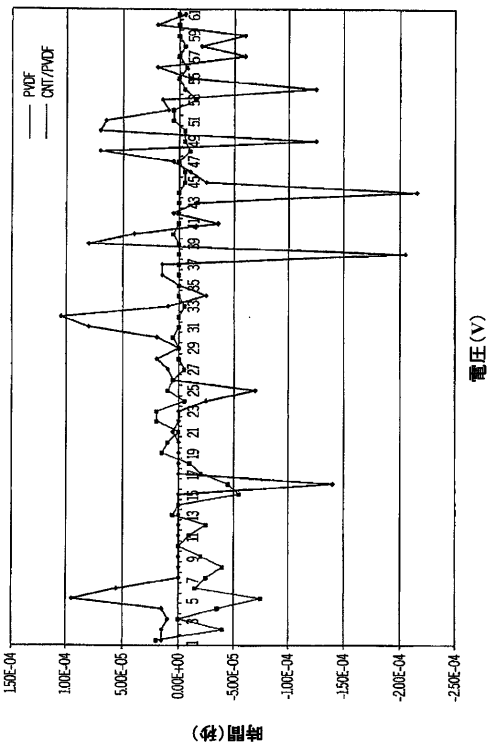
【図１１】


直流電圧計
306
302
308
16
15
14
13
5
6
7
8
1
2
3
4
12
11
10
9

【図１２】


小さな棒を用いて手で押す
終了
開始
電圧(V)
時間(秒)

【図１３】


PVDF
CNT/PVDF
電圧(V)
時間(秒)

フロントページの続き

(74)代理人 100101373
弁理士 竹内 茂雄
(74)代理人 100118902
弁理士 山本 修
(74)代理人 100173565
弁理士 末松 亮太
(72)発明者 ダイ，リミン
アメリカ合衆国オハイオ州４５４３４，ビーヴァークリーク，サザン・ベル・ブールヴァード ６３４
(72)発明者 大橋 俊之
埼玉県和光市中央一丁目４番１号 株式会社本田技術研究所内

審査官 田邉 英治

(56)参考文献 特開２００５－０４９３３２（ＪＰ，Ａ）
特開２００３－２２７８０８（ＪＰ，Ａ）
特開２００５－０７００３８（ＪＰ，Ａ）
特開２００１－１５３７３８（ＪＰ，Ａ）
特開２００６－１１９０２１（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｌ １／００－ ５／２８