

明 細 書

発明の名称：圧力センサ

技術分野

[0001] この発明は、圧力センサ、特に、３軸方向の圧力分布を検出可能な、多点式の３軸圧力センサに関する。

背景技術

[0002] 高分解能の表面圧力分布を検出できる、多点式の３軸圧力センサは、人間の触覚と同様の情報を取得することができ、例えば、ロボット工学、医療又は福祉機器への応用などで、重要や役割を果たす。このため、３軸圧力センサの開発が進められており、提案されている（例えば、非特許文献１参照）。

[0003] 圧力センサとして、電気容量や電気抵抗を測定するものが知られているが、光学に基づく、測定技術も急速に発展している（例えば、特許文献１参照）。

[0004] 光学に基づく圧力センサは、例えば、変形可能なゴムを用いて、ゴムに負荷を与えたときの光信号の変化を測定することにより圧力を検出する。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献１：特開２０１１－７５５７号公報

非特許文献

[0006] 非特許文献１：Yuan, W., et al. (2017). Sensors, 17(12), 2762.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、従来の光学に基づく圧力センサは、レンズなどの結像光学系を用いることによる厚さの制約や３軸の圧力を検出できないなどの課題がある。このため、薄膜形態や柔軟性を有する３軸の圧力センサは、得られていない。

[0008] この発明は、上述の状況に鑑みてなされたものである。この発明の目的は、薄膜形態や、柔軟性を有する圧力センサ、特に、3軸方向の圧力分布を検出可能な、多点式の3軸圧力センサを提供することにある。

課題を解決するための手段

[0009] この発明の圧力センサの好適実施形態によれば、第1主面と第2主面を有する多孔質ゴム層と、第1主面上に設けられた光照射層と、第2主面上に設けられた光検出層とを備えて構成される。

[0010] 多孔質ゴム層に、第1主面から第2主面に向かう方向に沿って、スポット状の光が照射される。

[0011] 多孔質ゴム層に加えられた圧力に応じて変化する、第1主面に照射されたスポット状の光の、第2主面における強度分布に基づいて、多孔質ゴム層に加えられた圧力を測定する。

[0012] この発明の圧力センサのさらなる好適実施形態によれば、多孔質ゴム層に加えられた第1主面に直交する方向の圧力の大きさに応じて変化する、第1主面に照射されたスポット状の光の、第2主面における強度分布の鮮明度に基づいて、第1主面に直交する方向の圧力を測定する。また、多孔質ゴム層に加えられた第1主面に平行な方向の圧力の大きさに応じて変化する、第1主面に照射されたスポット状の光の第2主面における強度分布の位置情報に基づいて、第1主面に平行な方向の2軸の圧力を測定することができる。

[0013] 光検出層は、2次元配列された受光素子を備え、複数の受光素子で1つのユニットが構成されるのがよい。このユニットの中心付近に1つのスポット状の光が照射される。また、ユニットが、2次元配列されて設けられているのがよい。

[0014] また、多孔質ゴム層、光照射層、及び、光検出層は、可撓性を有する薄膜構造であるのがよい。

[0015] また、光照射層を、導光層と、導光層の両面に反射層とを備え、多孔質ゴム層側の反射層には、開孔が設けられており、導光層には、第1主面に沿った方向に、外部から光が導入され、開孔を経て、スポット状の光が多孔質ゴ

ム層に照射される構成にすることができる。さらに、光照射層は、導光層と、反射層との間に、拡散層を有するのがよい。

[0016] また、光照射層が、有機エレクトロルミネッセンスを用いた面発光型光源で構成され、光照射層の、多孔質ゴム層と接する光の照射面に、遮光層を設け、遮光層に開孔を設け、開孔を経て、スポット状の光が多孔質ゴム層に照射される構成にしてもよい。

[0017] あるいは、光照射層が、基板上に、指向性の高い、マイクロLEDを配置して構成され、マイクロLEDは、第1主面に直交する方向に、スポット状の光を出射する構成にしてもよい。このとき、光検出層は、2次元配列された受光素子を備え、1つのマイクロLEDと、複数の受光素子で1つのユニットが構成されるのが良い。

[0018] また、多孔質ゴム層の厚さ d の、多孔質ゴム層に形成される空孔の平均径 D に対する比(d/D)は、 $2 \sim 20$ であるのがよい。

発明の効果

[0019] この発明の圧力センサによれば、鉛直方向や水平方向に加えられた圧力を再構成することができる。また、この発明の圧力センサは、圧力センサを構成する各層が、可撓性のある薄膜で構成され、圧力センサ自体も可撓性を有し、湾曲させた状態でも測定できる。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]この発明の圧力センサの原理を説明するための模式図である。

[図2]この発明の圧力センサの構成を説明するための模式図である。

[図3]拡散層の有無による、光強度の角度依存性を示す図である。

[図4]拡散膜の製造方法を説明するための模式図である。

[図5]光照射層の製造方法を説明するための模式図である。

[図6]光検出層の模式的な回路図である。

[図7]受光素子の構成要素であるPDを説明するための模式図である。

[図8]多点圧力センサの有効面積全体を示す平面図である。

[図9]1つのユニットを示す平面図である。

[図10]圧力検出の方法を説明するための模式図である。

[図11]1つのユニットでの圧力検出の結果を示す図である。

[図12]複数のユニットでの検出を説明する模式図である。

[図13]この発明の圧力センサを湾曲させたときの測定結果を説明するための模式図である。

[図14]光照射層の他の構成例を説明するための模式図である。

発明を実施するための形態

[0021] 以下、図を参照して、この発明の実施の形態について説明するが、各図は、この発明が理解できる程度に概略的に示したものに過ぎない。また、以下、この発明の好適な構成例につき説明するが、単なる好適例にすぎない。従って、この発明は以下の実施の形態に限定されるものではなく、この発明の構成の範囲を逸脱せずにこの発明の効果を達成できる多くの変更又は変形を行うことができる。

[0022] (発明の原理)

図1を参照して、この発明の圧力センサの原理を説明する。図1は、この発明の圧力センサの原理を説明するための模式図である。図1(A)、(C)及び(E)は、多孔質ゴム層の第1主面及び第2主面に直交し、長手方向に延在する切断端面を示している。図1(B)、(D)及び(F)は、第2主面における光の強度分布を示す模式図である。図1(B)、(D)及び(F)では、横軸に長手方向の位置を取って示し、縦軸に光強度を取って示している。光強度は、それぞれ、ピーク強度で規格化している。

[0023] ここで、図1(A)及び(B)は、多孔質ゴム層に圧力が加えられていない場合を示し、図1(C)及び(D)は、多孔質ゴム層に、第1主面に直交する方向(以下、鉛直方向とも称する。)圧力が加えられている場合を示し、図1(E)及び(F)は、多孔質ゴム層に、鉛直方向の圧力と、第1主面に平行な方向の圧力(以下、水平方向とも称する。)が同時に加えられている場合を示している。なお、ここでは、水平方向を、長手方向に沿った方向としている。

- [0024] 多孔質ゴム層100の第1主面101から、多孔質ゴム層100の第2主面102に向けて、第1主面101に直交する方向に沿ってスポット状の光を入射する。ここで、第1主面101及び第2主面102は、多孔質ゴム層100の面のうち、面積が最も大きい面を指す。多孔質ゴム層100が薄板状の場合、第1主面101及び第2主面102は互いに平行である。
- [0025] 第1主面101上に、開孔290を有する反射層232が配置される。開孔290を経て、スポット状の光が、多孔質ゴム層100に入射される。開孔290を経て第1主面101から入射されたスポット状の光は、第2主面102に送られる。このとき、第2主面102における光のスポットの鮮明度及び位置情報は、多孔質ゴム層100に加えられた圧力によって変化する。ここで、光のスポットの鮮明度は、例えば、第2主面102における光のスポットの強度分布をガウス分布に近似したときの標準偏差 σ で表すことができる。
- [0026] 図1(A)及び(B)に示す、多孔質ゴム層100に圧力が加えられていない状態では、開孔290を経て多孔質ゴム層100に入射された光は、多孔質ゴム層100内での光散乱によって広がる。この結果、第2主面102においては、標準偏差 σ が大きい、ぼやけたスポットが生じる。
- [0027] 一方、図1(C)及び(D)に示すように、多孔質ゴム層100に、第1主面101に鉛直方向の圧力を加えると、多孔質ゴム層100内での光散乱が弱くなり、開孔290を経て多孔質ゴム層100に入射された光は、中心により集中し、鮮明度が高くなる。この結果、第2主面102においては、標準偏差 σ が小さい、より鮮明なスポットが生じる。
- [0028] したがって、第2主面102における光のスポットの鮮明度から、多孔質ゴム層100に加えられた、鉛直方向の圧力を取得できる。
- [0029] また、多孔質ゴム層100の第1主面102に、水平方向の圧力を加えると、第1主面101が、第2主面102に対して、水平方向に変位し、第1主面101に設けられた開孔290の位置も、第2主面102に対して変化する。この結果、図1(E)及び(F)に示すように、開孔290の変位に

伴って、第2主面102における光のスポットの位置も、変化する。

[0030] したがって、第2主面102における光のスポットの強度分布の位置情報、例えば、強度分布のピーク位置の変化から、多孔質ゴム層100に加えられた、水平方向の圧力を取得できる。

[0031] このように、この発明の圧力センサによれば、第2主面102における光のスポットの強度分布の鮮明度及び位置情報から、多孔質ゴム層100に加えられた、3軸方向の圧力を再構成することができる。

[0032] 光のスポットの検出は、例えば、第2主面側に配置された、複数の受光素子で行われる。複数の受光素子は、第1主面に向けて配置され、第1主面から第2主面に向かう方向の光を受光する。

[0033] この発明の圧力センサでは、1つの開孔と、複数の受光素子で1つのユニットが構成される。この開孔を経て、スポット状の光が多孔質ゴム層に照射される。第1主面に平行なXY平面に投影した場合、1つのユニットは、複数の受光素子を包含する領域で構成され、1つの開孔は、この領域の中心付近に配置される。

[0034] 開孔を通過した光は、複数の受光素子で受光される。各受光素子は、受光した光の強度に対応する信号（例えば、電気信号）を出力する。各受光素子が出力した信号は、例えば、増幅器、フィルタ、アナログデジタル変換器などを備える任意好適な電子回路を経て、パーソナルコンピュータなどの電子計算機に送られる。電子計算機は、各受光素子から電子回路を経て送られた信号に基づいて、第2主面において受光された光の強度分布から、光のスポットの鮮明度及び位置情報を取得し、これらに基づいて、多孔質ゴム層に加えられた、3軸方向の圧力を再構成する。

[0035] なお、ここでは、主に、スポット状の光として、開孔を経て照射される光の例を説明するが、これに限定されない。光源として、例えば、指向性の高い点光源を用いる場合は、点光源から出力される光がスポット状になるので、開孔を設けなくてもよい。この場合、1つの点光源と、複数の受光素子で1つのユニットが構成される。

[0036] 開孔を用いてスポット状の光を生成する場合、及び、点光源を用いてスポット状の光を生成する場合のいずれの場合も、開孔又は点光源を離間して配置することで、複数の離散的なスポット状の光を生成することができ、多点式の圧力センサとして利用可能である。

[0037] (実施形態)

図2を参照して、この発明の圧力センサの実施形態を説明する。図2は、この発明の圧力センサの構成を説明するための模式図である。図2は、多孔質ゴム層の第1主面及び第2主面に直交し、長手方向に延在する切断端面を示している。ここで、長手方向は、後述する導光層に導入された光の伝搬方向である。

[0038] この発明の圧力センサは、光検出層300と、多孔質ゴム層100と、光照射層200とを備え、これらが順に積層されて構成される。多孔質ゴム層100の2つの主面のうち、第1主面101上に光照射層200が設けられ、第2主面102上に光検出層300が設けられる。

[0039] (光照射層)

光照射層200は、外部から導入された光を、多孔質ゴム層100に入射させる。光照射層200は、可撓性を有する薄膜構造で構成される。光照射層200は、導光層210と、導光層210の両面に、反射層231及び232を備えて構成される。

[0040] 導光層210には、第1主面101に平行な方向（長手方向、あるいは、光の伝搬方向）に延在する光ファイバ240が取り付けられている。導光層210には、外部からの光として、レーザダイオード（LD: Laser Diode）など、任意好適な光源からの光が、光ファイバ240を経て、第1主面101に沿った方向に、導入される。導光層210に導入された光は、導光層210の両面に設けられた反射層231及び232で反射され、導光層210を伝播する。なお、LDの図示を省略する。

[0041] 導光層210の両面に設けられた反射層231及び232のうち、多孔質ゴム層100側の反射層231には、開孔290が設けられている。導光層

210を伝播する光は、開孔290を経て、多孔質ゴム層100に照射される。

[0042] ここで、開孔290を複数設けて、複数の開孔290から均一に多孔質ゴム層100に光を照射するために、導光層210と反射層231及び232の間に拡散層221及び222を設けるのが良い。

[0043] 図3を参照して、拡散層221及び222の機能を説明する。図3は、拡散層の有無による、光強度の角度依存性を示す図である。図3では、拡散層がある場合を実線で示し、拡散層がない場合を破線で示している。0°及び180°が第1主面に平行な方向に対応し、90°が第1主面に直交する方向を示している。図3に示されるように、拡散層がある場合は、拡散層がない場合に比べて、90°方向、すなわち、第1主面に直交する方向の光強度が大きく、また、90°方向に対して左右対称の度合いが高いため、効率的かつ均一に、多孔質ゴム層に、第1主面に直交する方向の光を照射できることがわかる。

[0044] 導光層210は、例えば、厚さ150 μm のポリジメチルシロキサン（PDMS）で形成される。導光層210に光を導入する光ファイバ240は、例えば、直径125 μm のマルチモード光ファイバである。また、LDが発光する光の波長は、例えば、655nmである。

[0045] 拡散層221及び222は、例えば、厚さ2～3 μm のPDMSにTiO₂粒子が埋め込まれて形成される。

[0046] 反射層231及び232は、例えば、厚さ500nmの銀で形成される。

[0047] （拡散膜の製造方法）

図4を参照して、拡散層を構成する拡散膜の製造方法を説明する。図4は、拡散膜の製造方法を説明するための模式図である。

[0048] まず、平均サイズが300nmのTiO₂ナノ粉末を、エタノールと、1：7の重量比で混合し、さらに、界面活性剤として、Triton X-100（Sigma-Aldrich社製）を5%添加する。これらの材料は、超音波分散器によって混合される。

- [0049] 次に、混合されて得られたペーストを、ガラス基板500上にブレードコーティングして、均一な TiO_2 粒子層510を形成する（図4（A））。
- [0050] 次に、均一な TiO_2 粒子層510を370℃で2時間以上アニールすることにより、界面活性剤を除去して、多孔質の TiO_2 粒子層511を形成する（図4（B））。
- [0051] 次に、10：1の重量比でPDMSと硬化剤とを混合することで生成されたPDMS前駆液体530を、多孔質の TiO_2 粒子層511の表面上にスピニングする。PDMS前駆液体530は、多孔質の TiO_2 粒子層511の表面からある深さまで、多孔質の TiO_2 粒子層511内に浸潤する（図4（C））。
- [0052] 次に、PDMSを120℃で硬化させ、ガラス基板500から剥がす。PDMSをガラス基板500から剥がすと、PDMS前駆液体が浸潤したことにより、PDMSに囲まれた表面付近の TiO_2 粒子520が、PDMSと一緒に剥がれる。この結果、PDMSの表面に TiO_2 粒子520が埋め込まれた拡散膜220が形成される（図4（D））。
- [0053] （光照射層の製造方法）
- 図5を参照して、光照射層の製造方法を説明する。図5は、光照射層の製造方法を説明するための模式図である。
- [0054] 上述の製造方法で生成された拡散膜221（220）の1つを、ガラス基板501上に置く（図5（A））。
- [0055] 次に、拡散膜221上に、導光層210を構成するPDMSをスピニングする。このとき、光ファイバ240が、導光層210の端部に埋設されるように、スピニングが行われる。例えば、この発明の圧力センサの一例として、有効面積が $3 \times 4 \text{ cm}^2$ の長方形形状の、多点圧力センサを形成する場合、光照射層200も長方形形状に形成され、一方の短辺に、3本の光ファイバ240が1 cm間隔で配置される（図5（B））。
- [0056] 次に、スピニングされたPDMSが完全に硬化する前に、上述の製造方法で生成された拡散膜222（220）の他の1つを、PDMS上に

置く。これにより、PDMSの導光層210の両面に、PDMSにTiO₂粒子が埋め込まれた拡散層221及び222が形成される（図5（C））。

[0057] PDMSが完全に硬化して導光層210が形成された後、導光層210の両面に拡散層221及び222が形成された構造体を、ガラス基板501から剥がす（図5（D））。

[0058] これとは別に、厚さ500nmの銀を、厚さ12.5μmのポリイミドフィルム上に熱蒸着する。この銀の膜は、例えば、レーザーカッターで、上記構造体と同様の平面形状で切り取られ、反射膜231及び232として、上記構造体の両面に取り付けられる。上記構造体の両面に取り付けられる反射膜231及び232のうち、多孔質ゴム層側に取り付けられる反射膜231には、開孔290が設けられる。この開孔290もレーザーカッターで形成される（図5（E））。

[0059] 開孔290は、例えば、100μm×100μmの正形状に形成される。多点式の圧力センサを形成する場合、開孔290を複数形成する。このとき、1つの開孔290から入射された光が、1つのスポットを形成し、隣接する開孔から入射された、隣接するスポットとは、離間して形成されることが望まれる。例えば、多孔質ゴム層の厚さを800μmとした場合、1つの開孔290を経て照射された光の第2主面102における光スポットは、4mm未満となる。従って、このとき、隣接する開孔の距離を5mm以上にするのがよい。

[0060] （多孔質ゴムの製造方法）

PDMS前駆液体に、糖粒子を、1：1の体積比で加える。糖粒子として、スーパーマーケット等で購入可能な一般的な食品用のグラニュー糖を用いることができる。

[0061] このPDMS前駆液体に糖粒子を混入させた混合物を、2枚のガラスでしっかりと挟み込み、糖粒子同士が確実に接触するようにする。糖粒子が混入したPDMS前駆液体を120℃で硬化させた後、膜をガラスから外して、所定のサイズに切断する。混合物中の糖粒子を水に溶かした後乾燥させると

、残存したPMD Sによって、厚さ800 μ mの透光性の多孔質ゴムが形成される。多孔質ゴムには、直径が100～300 μ m付近の大きな空孔と、大きな空孔の間に、直径が数十 μ m程度の小さな空孔が存在する。

[0062] ここで、多孔質ゴム層100の厚さdの、多孔質ゴム層100に形成される空孔の平均径Dに対する比(d/D)は、2～20程度であるのがよい。 d/D が小さい、すなわち、多孔質ゴム層100の厚さdに対して、空孔の平均径Dが大きいと、多孔質ゴム層100内の光の散乱に均一性が悪くなる。一方、 d/D が大きい、すなわち、多孔質ゴム層100の厚さdに対して、空孔の平均径Dが小さいと、多孔質ゴム層100内の空孔の数が多くなり、光の散乱が強くなり、第2主面における光スポットの鮮明度が劣化する。

[0063] (光検出層)

図2及び図6を参照して、光検出層を説明する。図6は、光検出層の模式的な回路図である。

[0064] 光検出層300は、可撓性を有する薄膜構造である、任意好適な従来公知のイメージセンサで構成することができる。光検出層300は、例えば、ポリイミド基板310上に、PD322と1トランジスタ1キャパシタ(1T1C)構造324で構成される受光素子320を、2次元配列して構成される。1T1C構造330のトランジスタは、低温ポリシリコン薄膜トランジスタ(LTPS TFT)とすることができる。このとき、LTPS TFTは、二重ゲート構造のn型金属―酸化物―半導体(NMOS) TFTで構成される。ゲートドライバは、p型MOS(PMOS) TFTとNMOS TFTの両方を用いた相補型MOS(CMOS)回路により形成される。

[0065] 図7を参照して、受光素子の構成要素であるPDの一構成例を説明する。図7は、受光素子の構成要素であるPDの一構成例を説明するための模式図である。

[0066] 受光素子320の構成要素であるPD322は、例えば、ポリイミド基板310上に、下部電極910、電子輸送層920、活性層930、正孔輸送

層 940 及び上部電極 950 を、順に積層して構成される。

[0067] 上部電極 950 は、開孔 290 を通して光を入射させる必要があるため、入射する光に対して透明な材質で構成されるのが好適である。透明な材質で構成される上部電極 950 として、ITO (Indium Tin Oxide) 電極、ZnO (Zinc Oxide) 電極などが挙げられる。

[0068] 一方、下部電極 910 に、銀 (Ag) 電極などの、入射光に対して反射率の高い材質で構成される電極を用いると、下部電極 910 で反射された光が再び活性層 930 に入射してしまい、検出分解能を悪くする要因となる。従って、下部電極 910 としては、入射する光に対して透明である事、又は、入射する光を吸収する特性を有する材質で構成されるのが好適である。

[0069] 透明な材質で構成される下部電極の例としては、上部電極 950 と同様に、ITO 電極、ZnO 電極などがあげられる。入射する光を吸収する特性を持つ材質で構成される電極としては、ポリ (3, 4-エチレンジオキシチオフェン) : ポリ (4-スチレンスルホン酸) (PEDOT:PSS) 電極や PEDOT:PSS 電極にカーボンを混合した電極などがあげられる。また、検出分解能を劣化させない目的で、下部電極 910 とポリイミド基板 310 の間に、入射する光に対して吸収する特性を持つ層を設けることも好適である。入射光を吸収する特性を持つ層としては、カーボンを混合した樹脂層などが挙げられる。

[0070] 図 8 及び図 9 を参照して、1 つのユニットの構成を説明する。図 8 は、多点圧力センサの有効面積全体を示す平面図である。また、図 9 は、1 つのユニットを示す平面図である。

[0071] 上述のように、1 つの開孔 290 を経て照射された光の第 2 主面における光スポットが、4 mm 未満であるとき、隣接する開孔の距離を 5 mm 以上にするのがよい。したがって、例えば、平面形状が、5 mm × 5 mm の正方形の領域を 1 つのユニットとし、この中心に、100 μ m × 100 μ m の開孔 290 が設けられる。従って、有効面積が 3 cm × 4 cm の長方形の場合、48 のユニットを有する 6 × 8 アレイの多点式の圧力センサとなる。

[0072] なお、このとき、光ファイバ240の端部と、開孔290との距離も5 mm以上であるのがよい。

[0073] 受光素子320は、例えば、 $235\text{ }\mu\text{m} \times 235\text{ }\mu\text{m}$ の画素サイズを有する。有効面積が $3\text{ cm} \times 4\text{ cm}$ の長方形形状の、多点式の圧力センサを形成する場合、 126×168 の受光素子320が、光検出層300に設けられる。このとき、1つのユニットに含まれる受光素子320は、 $21\text{ Pixel} \times 21\text{ Pixel}$ となる。

[0074] 各受光素子320が出力した信号は、例えば、増幅器、フィルタ、アナログデジタル変換器などを備える任意好適な電子回路を経て、パーソナルコンピュータなどの電子計算機に送られる。電子計算機は、各受光素子から電子回路を経て送られた信号に基づいて、第2主面における、光のスポットの鮮明度及び位置を取得し、これらに基づいて、多孔質ゴム層100に加えられた、3軸方向の圧力を再構成する。

[0075] (実施例1)

図10及び図11を参照して、実施例1として、1つのユニットでの圧力検出を説明する。図10は、圧力検出の方法を説明するための模式図である。図11は、1つのユニットでの圧力検出の結果を示す図である。

[0076] 図11(A)及び(B)は、圧力センサに鉛直方向の圧力を加えて得られた結果であり、図11(C)及び(D)は、圧力センサに鉛直方向及び水平方向の圧力を加えて得られた結果である。

[0077] 図11(A)は、横軸に時間(s)を取って示し、縦軸に、長手方向の光強度分布を1次元ガウス分布に近似して得られた標準偏差(σ)を示している。図11(B)は、横軸に鉛直方向に加えた圧力の大きさを取って示し、縦軸に標準偏差 σ (Pixel)を取って示している。図11(C)は、横軸に時間(s)を取って示し、縦軸に、長手方向の光スポットの変位(Pixel)を示している。図11(D)は、横軸に加えた水平方向の圧力成分の大きさを取って示し、縦軸に光スポットの変位(Pixel)を取って示している。ここで、Pixelとは、光検出層の一面素(1つの光受光素子

が受光するエリア)を示し、光スポットの変位が0.1の場合、1画素の1/10のサイズの変位が生じたことを示している。

[0078] 支持台20にこの発明に係る圧力センサ10を固定し、市販の圧力センサ(以下、参照用センサとも称する。)30を取り付けた3次元駆動ステージ40をモータ等で動かして、圧力センサ10に鉛直方向の圧力を加えた。

[0079] 図11(A)に示すように、圧力センサ10に、圧力の大きさを変えながら、パルス状に圧力を加える。圧力が加わっていない状態から、最大384kPaの圧力まで、異なる大きさの圧力を加えると、標準偏差 σ は、2.3Pixelから1.8Pixelまで変化する。

[0080] 図11(B)に示されるように、加えた鉛直方向の圧力の大きさと、標準偏差 σ との間には、相関があるので、標準偏差 σ から、加えられた鉛直方向の圧力の大きさを得ることができる。

[0081] 次に、圧力センサ10に水平方向(ここでは、長手方向)の圧力を加えた。なお、水平方向の圧力を加える際に、鉛直方向の圧力が加えられていないと、圧力センサと、参照用センサのコンタクトが十分ではなく、正しく測定ができない。そこで、水平方向の圧力を加える際は、同時に鉛直方向の圧力を加える。なお、加える鉛直方向の圧力の大きさは一定とする。

[0082] 圧力センサに、鉛直方向の圧力を一定値とし、水平方向の圧力の大きさを変えながら、パルス状に圧力を加える。図11(C)に示されるように、圧力が加わっていない状態から、最大27kPaの圧力まで、異なる大きさの圧力を水平方向に加えると、光スポットの位置は、0.02Pixelから0.18Pixelまで変化する。

[0083] 図11(D)に示されるように、加えた圧力の大きさと、スポットの位置との間には、相関があり、スポットの位置から、加えられた水平方向の圧力の大きさを得ることができる。-27kPaから+27kPaの圧力まで、異なる大きさの圧力を加えると、スポットの中心位置が、-0.18Pixelから0.18Pixelまで変化する。なお、1Pixelのサイズは、235 μ mであるので、0.1Pixelの位置の変化は、約24 μ mの

変化に相当する。

[0084] なお、図 1 1 (B) に示される、標準偏差 σ 、及び、図 1 1 (D) に示される光スポット変位は、複数の測定結果を重ねて示している。図 1 1 (B) 及び図 1 1 (D) は、図 1 1 (A) 及び図 1 1 (C) に示される、圧力の印加を 1 0 0 0 回繰り返して行って得られた試験結果である。図 1 1 (B) 及び図 1 1 (D) に示されるように、複数の測定結果が、ほとんど変化しないことから、この圧力センサは、圧力印加の繰返しに対して、耐久性が高いことがわかる。

[0085] (実施例 2)

図 1 2 を参照して、複数のユニットでの検出を説明する。図 1 2 は、複数のユニットでの検出を説明する模式図である。

[0086] 図 1 2 (A 1)、(A 2) 及び (A 3) は、1 本の指で、圧力センサに圧力を加えた場合を示し、図 1 2 (B 1)、(B 2) 及び (B 3) は、2 本の指で、圧力センサに圧力を加えた場合を示し、図 1 2 (C 1)、(C 2) 及び (C 3) は、棒を用いて、圧力センサに圧力を加えた場合を示している。

[0087] 図 1 2 (A 1)、(B 1) 及び (C 1) は、圧力を加えた状態を示す図である。図 1 2 (A 2)、(B 2) 及び (C 2) は、主に、鉛直方向の圧力を加えたときの、6×8 の各ユニットで得られた、加えられた圧力を示す図である。また、図 1 2 (A 3)、(B 3) 及び (C 3) は、鉛直方向の圧力と水平方向の圧力を同時に加えたときの、6×8 の各ユニットで得られた、加えられた圧力を示す図である。図 1 2 (A 2)、(B 2)、(C 2)、(A 3)、(B 3) 及び (C 3) では、鉛直方向の圧力の大きさを高さ方向に取って示し、水平方向の圧力の大きさ及び方向を、矢印の長さ及び方向で示している。

[0088] 図 1 2 (A 2) に示すように、圧力センサの中央付近に、1 本の指で圧力を加えた場合は、圧力センサの中央付近に加えられた圧力が検出されている。また、図 1 2 (B 2) に示すように、圧力センサの対角線上の 2 点に、2 本の指で圧力を加えた場合は、圧力センサの対角線上の離間した 2 点付近に

加えられた圧力が検出されている。また、図12(C2)に示すように、圧力センサにY軸に沿って圧力を加えた場合は、Y軸に沿って加えられた圧力が検出されている。

[0089] 図12(A3)、(B3)及び(C3)では、鉛直方向の圧力に加え、水平方向の圧力が加わっていることがわかる。

[0090] (実施例3)

図13を参照して、この発明の圧力センサを湾曲させたときの測定結果を説明する。図13は、この発明の圧力センサを湾曲させたときの測定結果を説明するための模式図である。

[0091] ここでは、半径18mmの円柱の表面形状に合わせて、圧力センサを湾曲させる。図13(A)は、長手方向は棒の延在方向であり、長手方向は湾曲せず、長手方向及び鉛直方向の両者に直交する幅方向が湾曲する例を示している。一方、図13(B)は、幅方向が棒の延在方向であり、幅方向は湾曲せず、長手方向が湾曲する例を示している。なお、水平方向の圧力として、長手方向が棒の延在方向である場合の長手方向(Direction 1)及び幅方向(Direction 2)と、幅方向が棒の延在方向である場合の長手方向(Direction 3)及び幅方向(Direction 4)の、4通りの測定を行った。

[0092] 図13(C)は、横軸に加えた鉛直方向の圧力の大きさを取って示し、縦軸に標準偏差 σ (Pixel)を取って示している。図13(C)は、横軸に時間を取って示し、縦軸に、光スポットの変位(Pixel)を示している。

[0093] 図13(C)では、圧力センサが湾曲していない場合(Flat)、幅方向で湾曲している場合(Perpendicular Bending)、及び、長手方向で湾曲している場合(in-plane Bending)の場合を示している。また、図13(D)では、圧力センサが湾曲していない場合と、Direction 1~4の場合を示している。

[0094] 図13(C)に示すように、加えられた鉛直方向の圧力が小さいとき、F

l a t に比べて、湾曲したときの標準偏差 σ 、すなわち、測定される圧力がやや大きい傾向がみられる。これは、センサが湾曲することにより、曲げ応力により多孔質ゴム層に圧縮応力（鉛直方向の圧力）が生じたためと考えられる。

[0095] 以上、説明したように、この発明の圧力センサによれば、鉛直方向や水平方向に加えられた圧力を再構成することができる。また、この発明の圧力センサは、圧力センサを構成する各層が、可撓性のある薄膜で構成され、全体の厚さも 1.5 mm 程度であるので、圧力センサ自体も可撓性を有し、半径 18 mm まで曲げて測定できる。

[0096] なお、ここでは、多孔質ゴム層 100 の厚さが 800 μ m の例を説明したが、これに限定されない。上述の実施例では、21 Pixel $\times$ 21 Pixel のうち、中心に近い 15 Pixel $\times$ 15 Pixel の信号をガウス関数への近似に用いた。しかし、中心に近い 9 Pixel $\times$ 9 Pixel、あるいは、7 Pixel $\times$ 7 Pixel の信号のみを用いても、信頼性のある結果が得られた。

[0097] 多孔質ゴム層 100 が薄くなると、光のスポットが小さくなる。したがって、多孔質ゴム層 100 を 800 μ m よりも薄くして、第 2 主面 102 における光スポットの大きさを 2 mm $\times$ 2 mm 程度にできる。この場合、1 つのユニットの面積は、3 mm $\times$ 3 mm になり、位置分解能を高くすることができる。

[0098] （光照射層の他の構成例）

なお、ここでは、光照射層として、導光層と、導光層の両面に反射層を備え、導光層に光ファイバを用いて外部からの光としてレーザダイオード（LD）を用いる場合を示したが、これに限定されない。

[0099] 図 14 を参照して、光照射層の他の構成例を説明する。図 14（A）及び（B）は、光照射層の他の構成例を説明するための模式図である。

[0100] 図 14（A）に示すように、光照射層 201 として、可撓性を有する面発光型光源 242 を用いても良い。可撓性を有する面発光型光源 242 として

、有機エレクトロルミネッセンス（EL：Electro Luminescence）が知られている。光照射層201に、面発光型光源242を用いる場合は、面発光型光源242の、多孔質ゴム層100と接する光の照射面に、遮光層250を設け、遮光層に開孔294を設ける構成が好適である。

[0101] 遮光層250は、例えば、ポリエチレンテレフタレート（PET）フィルムに、銀又はアルミニウムを蒸着して形成される。開孔は、フォトリソグラフィなどを用いて、蒸着された金属を部分的にエッチング除去することで形成できずる。

[0102] あるいは、図14（B）に示すように、光照射層202として、ポリイミド基板など、可撓性を有する薄膜260の上に、指向性の高い、マイクロLED（Light Emitting Diode）244を配置して構成してもよい。この場合、マイクロLED244からの光は、上述した開孔を経た光と同様に、第1主面に直交する方向に沿った、スポット状の光となる。このとき、マイクロLED244が直接、多孔質ゴム層100を圧縮することを防ぐために、マイクロLED244と多孔質ゴム層100の間に、透明で可撓性のあるゴム層262を設ける構成が好適である。

符号の説明

- [0103]
- | | |
|-------------|-----------|
| 10 | 圧力センサ |
| 20 | 支持台 |
| 30 | 参照用センサ |
| 40 | 3次元駆動ステージ |
| 100 | 多孔質ゴム層 |
| 101 | 第1主面 |
| 102 | 第2主面 |
| 200、201、202 | 光照射層 |
| 210 | 導光層 |
| 220 | 拡散膜 |

2 2 1、2 2 2	拡散層
2 3 1、2 3 2	反射層
2 4 0	光ファイバ
2 4 2	面発光型光源
2 4 4	マイクロLED
2 5 0	遮光層
2 6 0	薄膜
2 6 2	ゴム層
2 9 0、2 9 4	開孔
3 0 0	光検出層
3 1 0	ポリイミド基板
3 2 0	受光素子
3 2 2	PD
3 2 4	1T1C構造
5 0 0、5 0 1	ガラス基板
5 1 0	均一なTiO ₂ 粒子層
5 1 1	多孔質のTiO ₂ 粒子層
5 2 0	TiO ₂ 粒子
5 3 0	PDMS前駆液体
9 1 0	下部電極
9 2 0	電子輸送層
9 3 0	活性層
9 4 0	正孔輸送層
9 5 0	上部電極

請求の範囲

- [請求項1] 第1主面と第2主面を有する多孔質ゴム層と、
前記第1主面上に設けられた光照射層と、
前記第2主面上に設けられた光検出層と
を備え、
前記多孔質ゴム層に、前記第1主面から前記第2主面に向かう方向
に沿って、スポット状の光が照射され、
前記多孔質ゴム層に加えられた圧力に応じて変化する、前記第1主
面に照射されたスポット状の光の、前記第2主面における強度分布に
基づいて、前記多孔質ゴム層に加えられた圧力を測定する
圧力センサ。
- [請求項2] 前記多孔質ゴム層に加えられた前記第1主面に直交する方向の圧力
の大きさに応じて変化する、前記第1主面に照射されたスポット状の
光の前記第2主面における強度分布の鮮明度に基づいて、前記第1主
面に直交する方向の圧力を測定する
請求項1に記載の圧力センサ。
- [請求項3] 前記多孔質ゴム層に加えられた前記第1主面に平行な方向の圧力
の大きさに応じて変化する、前記第1主面に照射されたスポット状の光
の前記第2主面における強度分布の位置情報に基づいて、前記第1主
面に平行な方向の2軸の圧力を測定する
請求項1又は2に記載の圧力センサ。
- [請求項4] 前記光検出層は、2次元配列された受光素子を備え、
複数の受光素子で1つのユニットが構成され、前記ユニットの中心
付近に1つのスポット状の光が照射される
請求項3に記載の圧力センサ。
- [請求項5] 前記ユニットが、2次元配列されて設けられている
請求項4に記載の圧力センサ。
- [請求項6] 前記多孔質ゴム層、前記光照射層、及び、前記光検出層は、可撓性

を有する薄膜構造である

請求項 1 に記載の圧力センサ。

- [請求項7] 前記光照射層は、導光層と、前記導光層の両面に反射層とを備え、
前記多孔質ゴム層側の反射層には、開孔が設けられており、
前記導光層には、前記第 1 主面に沿った方向に、外部から光が導入され、
前記開孔を経て、前記スポット状の光が前記多孔質ゴム層に照射される

請求項 1 に記載の圧力センサ。

- [請求項8] 前記光照射層は、前記導光層と、前記反射層との間に、拡散層を有する

請求項 7 に記載の圧力センサ。

- [請求項9] 前記光照射層が、有機エレクトロルミネッセンスを用いた面発光型光源で構成され、

前記光照射層の、前記多孔質ゴム層と接する光の照射面に、遮光層を設け、前記遮光層に開孔を設け、

前記開孔を経て、前記スポット状の光が前記多孔質ゴム層に照射される

請求項 1 に記載の圧力センサ。

- [請求項10] 前記光照射層が、基板上に、指向性の高い、マイクロLEDを配置して構成され、

前記マイクロLEDは、第 1 主面に直交する方向に、スポット状の光を出射する

請求項 1 に記載の圧力センサ。

- [請求項11] 前記光検出層は、2次元配列された受光素子を備え、

1つのマイクロLEDと、複数の受光素子で1つのユニットが構成される

請求項 10 に記載の圧力センサ。

[請求項12] 前記多孔質ゴム層の厚さ d の、前記多孔質ゴム層に形成される空孔の平均径 D に対する比 (d/D) は、 $2 \sim 20$ である
請求項1に記載の圧力センサ。