

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-58159

(P2012-58159A)

(43) 公開日 平成24年3月22日(2012.3.22)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 L 1/18 (2006.01)	GO 1 L 1/18 Z	2 F 0 5 1
GO 1 L 5/00 (2006.01)	GO 1 L 5/00 1 O 1 Z	
GO 1 L 5/16 (2006.01)	GO 1 L 5/16	

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 45 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2010-203621 (P2010-203621)</p> <p>(22) 出願日 平成22年9月10日 (2010.9.10)</p> <p>特許法第30条第1項適用申請有り 日本機械学会東北支部第45期総会・講演会、社団法人日本機械学会東北支部主催、平成22年3月12日開催</p>	<p>(71) 出願人 504229284 国立大学法人弘前大学 青森県弘前市文京町1番地</p> <p>(74) 代理人 100108372 弁理士 谷田 拓男</p> <p>(72) 発明者 笹川 和彦 青森県弘前市文京町1番地 国立大学法人弘前大学内</p> <p>Fターム(参考) 2F051 AB09 BA00 BA07 DA03</p>
---	--

(54) 【発明の名称】 センサ装置および分布測定装置

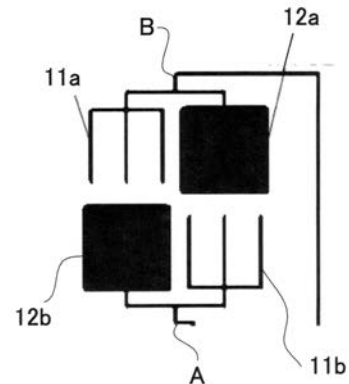
(57) 【要約】

【課題】せん断応力及び接触圧力の直接同時測定に際し、生体へ適用可能で且つ接触圧力による影響を排除したせん断応力の測定ができるセンサ装置70を提供する。

【解決手段】圧力変換素子50はポリピロール薄膜を用い、電極材は銅張ポリイミドフィルムを用いた。せん断応力測定部30は片面側電極10における櫛型電極11aと対面側電極20における櫛形電極21aとの櫛部分を揃わせて対面させ、両電極の間に圧力変換素子50を挟み込む。接触圧力測定部40は片面側電極10における方形電極12aと対面側電極20における櫛形電極21cとを対面させ、両電極の間に圧力変換素子50を挟み込む。4ゲージ法ブリッジ回路60の抵抗変化量の関係に基づき、せん断応力測定部30等における抵抗変化量 R_a から接触圧力の影響による抵抗変化量 R_b を差し引きした出力を得ることにより、接触圧力による影響を排除したせん断応力の測定を行う。

【選択図】 図1

10



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

接触圧力及びせん断応力を測定するセンサ装置であって、該センサ装置は、ブリッジ回路の対向する 2 辺に各々配置された接触圧力を測定する接触圧力測定部と、別の対向する 2 辺に各々配置されたせん断応力を測定するせん断応力測定部とを備えた 4 ゲージ法ブリッジ回路を構成し、接触圧力およびせん断応力が無印加状態における 4 辺の電気抵抗は等しいものであり、

前記センサ装置に接触圧力及びせん断応力が印加され、前記接触圧力測定部では接触圧力による電気抵抗変化のみが生じ、前記せん断応力測定部では接触圧力による電気抵抗変化及びせん断応力による電気抵抗変化が生じた場合、前記 4 ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧には接触圧力による影響が排除されているという測定原理に基づき、該 4 ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧とせん断応力との関係を求めておき、該関係により該 4 ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧から該せん断応力測定部におけるせん断応力を求めることを特徴とするセンサ装置。

10

【請求項 2】

接触圧力及びせん断応力を測定するセンサ装置であって、該センサ装置は、

接触圧力を測定する方形電極とせん断応力を測定する櫛型電極とが一端で接続された形状の電極と該電極に点対称な形状の電極とを対向させた片面側電極と、

2 つの櫛型電極が 1 端で接続された形状の電極と該電極に点対称な形状の電極とを対向させた対面側電極と、

20

櫛型電極の櫛部分を揃わせて対面させた前記片面側電極と前記対面側電極との間に挟み込まれた導電性で薄膜状の圧力変換素子とを備え、

接触圧力を測定する接触圧力測定部は対面させた前記片面側電極の方形電極と前記圧力変換素子と前記対面側電極の櫛型電極とにより構成し、せん断応力を測定するせん断応力測定部は櫛部分を揃わせて対面させた前記片面側電極の櫛型電極と前記圧力変換素子と前記対面側電極の櫛型電極とにより構成し、

ブリッジ回路の対向する 2 辺に前記接触圧力測定部が各々配置され、別の対向する 2 辺に前記せん断応力測定部が各々配置されて 4 ゲージ法ブリッジ回路を構成し、接触圧力およびせん断応力が無印加状態における 4 辺の電気抵抗は等しいものであり、

前記センサ装置に接触圧力及びせん断応力が印加された場合、前記 4 ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧には接触圧力による影響が排除されているという測定原理に基づき、該 4 ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧とせん断応力との関係を求めておき、該関係により該 4 ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧から該せん断応力測定部におけるせん断応力を求めることを特徴とするセンサ装置。

30

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 記載のセンサ装置において、前記センサ装置に接触圧力及びせん断応力が印加された場合、前記 4 ゲージ法ブリッジ回路への入力電圧を切った状態で測定された前記接触圧力測定部における電気抵抗と印加された接触圧力との関係を求めておき、該関係により該接触圧力測定部における電気抵抗から接触圧力を求めることを特徴とするセンサ装置。

40

【請求項 4】

請求項 1 又は 2 記載のセンサ装置において、前記センサ装置に接触圧力及びせん断応力が印加された場合、前記 4 ゲージ法ブリッジ回路への入力電圧を印加した状態で測定された前記接触圧力測定部における電圧により電気抵抗を得るという測定原理に基づき、該電気抵抗と印加された接触圧力との関係を求めておき、該関係により該接触圧力測定部における電気抵抗から接触圧力を求めることを特徴とするセンサ装置。

【請求項 5】

接触圧力及びせん断応力を測定するセンサ装置であって、該センサ装置は、ブリッジ回路の隣接する 2 辺に各々配置された接触圧力を測定する接触圧力測定部及びせん断応力を測定するせん断応力測定部と、他の隣接する 2 辺に各々配置された固定抵抗とを備えた 2 ゲ

50

ージ法ブリッジ回路を構成し、接触圧力およびせん断応力が無印加状態における4辺の電気抵抗は等しいものであり、

前記センサ装置に接触圧力及びせん断応力が印加され、前記接触圧力測定部では接触圧力による電気抵抗変化のみが生じ、前記せん断応力測定部では接触圧力による電気抵抗変化及びせん断応力による電気抵抗変化が生じた場合、前記2ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧には接触圧力による影響が排除されているという測定原理に基づき、該2ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧とせん断応力との関係を求めておき、該関係により該2ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧から該せん断応力測定部におけるせん断応力を求めることを特徴とするセンサ装置。

【請求項6】

接触圧力及びせん断応力を測定するセンサ装置であって、該センサ装置は、

接触圧力を測定する方形電極と2次元平面の一次元方向を向いたせん断応力を測定する線状電極とが接続された形状の片面側電極と、

前記片面側電極の方形電極に対応する線状電極と前記片面側電極の線状電極に対応する線状電極とを有する対面側電極と、

前記片面側電極の線状電極と該線状電極に対応する前記対面側電極の線状電極とを揃わせて対面させた状態で、該片面側電極と該対面側電極との間に挟み込まれた導電性で薄膜状の圧力変換素子とを備え、

接触圧力を測定する接触圧力測定部は対面させた前記片面側電極の方形電極と前記圧力変換素子と該方形電極に対応する前記対面側電極の線状電極とにより構成し、せん断応力を測定するせん断応力測定部は線部分を揃わせて対面させた前記片面側電極の線状電極と前記圧力変換素子と該線状電極に対応する前記対面側電極の線状電極とにより構成し、

ブリッジ回路の隣接する2辺に前記接触圧力測定部及び前記せん断応力測定部が各々配置され、別の隣接する2辺に固定抵抗が各々配置されて2ゲージ法ブリッジ回路を構成し、接触圧力およびせん断応力が無印加状態における4辺の電気抵抗は等しいものであり、

前記センサ装置に接触圧力及びせん断応力が印加された場合、前記2ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧には接触圧力による影響が排除されているという測定原理に基づき、該2ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧とせん断応力との関係を求めておき、該関係により該2ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧から該せん断応力測定部におけるせん断応力を求めることを特徴とするセンサ装置。

【請求項7】

前記片面側電極の線状電極の向きが2次元平面の一次元方向を向いた請求項6記載のセンサ装置と、前記片面側電極の線状電極の向きが2次元平面の別の一次元方向を向いた請求項6記載のセンサ装置とを、各2ゲージ法ブリッジ回路の電源を共通にして重ね合わせたことを特徴とするセンサ装置。

【請求項8】

請求項5乃至7のいずれかに記載のセンサ装置において、前記センサ装置に接触圧力及びせん断応力が印加された場合、前記接触圧力測定部に隣接する辺に配置された固定抵抗の電圧は該接触圧力測定部の抵抗の変化の影響を受けるという測定原理に基づき、該固定抵抗の電圧と印加された接触圧力との関係を求めておき、該関係により該固定抵抗の電圧から接触圧力を求めることを特徴とするセンサ装置。

【請求項9】

請求項1乃至8のいずれかに記載のセンサ装置において、該センサ装置を構成する各電極は銅薄膜を貼り付けられたポリイミドフィルムをエッチング処理することにより作製することを特徴とするセンサ装置。

【請求項10】

請求項7記載のセンサ装置を複数個接続して所定の配置を行ったことを特徴とする接触圧力及びせん断応力の分布測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

20

30

40

50

【0001】

本発明は、接触圧力およびせん断応力を測定するセンサ装置と、該センサ装置を用いて接触圧力およびせん断応力の分布を測定する分布測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

生体内の詳細なせん断応力および接触圧力を直接測定することは、外科的な臨床治療において医師が病態の検査・診断・治療を行うに際し貴重な情報をもたらす。そのため、近年、生体内の接触圧力測定は感圧紙、感圧導電インク、導電性フィルム、感圧導電ゴム等を利用したセンサによる測定が行われてきている（非特許文献1参照）。しかし、固体接触に伴うせん断応力の測定に関しては、当該測定に用いるセンサに関してわずかな研究例が見られるのみである（非特許文献2参照）。

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

センサ感圧素子のせん断変形によるせん断応力測定を行う場合、接触圧力による影響が避けられず、正確なせん断応力の測定の障害となるという問題があった。加えて、従来のせん断応力測定センサは、固体のせん断歪量からせん断応力へ変換する機構であるため、厚みおよび剛性があり、生体内のせん断応力および接触圧力を直接測定することへの適用は困難であるという問題があった。

【0004】

そこで、本発明の目的は、上記問題を解決するためになされたものであり、せん断応力および接触圧力を直接同時測定するに際し、接触圧力による影響を排除したせん断応力の測定ができるセンサ装置等を提供することにある。

20

【0005】

本発明の第2の目的は、生体内のせん断応力および接触圧力を直接同時測定することへ適用可能なセンサ装置等を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

この発明のセンサ装置は、接触圧力及びせん断応力を測定するセンサ装置であって、該センサ装置は、ブリッジ回路の対向する2辺に各々配置された接触圧力を測定する接触圧力測定部と、別の対向する2辺に各々配置されたせん断応力を測定するせん断応力測定部とを備えた4ゲージ法ブリッジ回路を構成し、接触圧力およびせん断応力が無印加状態における4辺の電気抵抗は等しいものであり、前記センサ装置に接触圧力及びせん断応力が印加され、前記接触圧力測定部では接触圧力による電気抵抗変化のみが生じ、前記せん断応力測定部では接触圧力による電気抵抗変化及びせん断応力による電気抵抗変化が生じた場合、前記4ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧には接触圧力による影響が排除されているという測定原理に基づき、該4ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧とせん断応力との関係を求めておき、該関係により該4ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧から該せん断応力測定部におけるせん断応力を求めることを特徴とする。

30

【0007】

この発明のセンサ装置は、接触圧力及びせん断応力を測定するセンサ装置であって、該センサ装置は、接触圧力を測定する方形電極とせん断応力を測定する櫛型電極とが一端で接続された形状の電極と該電極に点対称な形状の電極とを対向させた片面側電極と、2つの櫛型電極が1端で接続された形状の電極と該電極に点対称な形状の電極とを対向させた対面側電極と、櫛型電極の櫛部分を揃わせて対面させた前記片面側電極と前記対面側電極との間に挟み込まれた導電性で薄膜状の圧力変換素子とを備え、接触圧力を測定する接触圧力測定部は対面させた前記片面側電極の方形電極と前記圧力変換素子と前記対面側電極の櫛型電極とにより構成し、せん断応力を測定するせん断応力測定部は櫛部分を揃わせて対面させた前記片面側電極の櫛型電極と前記圧力変換素子と前記対面側電極の櫛型電極とにより構成し、ブリッジ回路の対向する2辺に前記接触圧力測定部が各々配置され、別の

40

50

対向する2辺に前記せん断応力測定部が各々配置されて4ゲージ法ブリッジ回路を構成し、接触圧力およびせん断応力が無印加状態における4辺の電気抵抗は等しいものであり、前記センサ装置に接触圧力及びせん断応力が印加された場合、前記4ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧には接触圧力による影響が排除されているという測定原理に基づき、該4ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧とせん断応力との関係を求めておき、該関係により該4ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧から該せん断応力測定部におけるせん断応力を求めることを特徴とする。

【0008】

ここで、この発明のセンサ装置において、前記センサ装置に接触圧力及びせん断応力が印加された場合、前記4ゲージ法ブリッジ回路への入力電圧を切った状態で測定された前記接触圧力測定部における電気抵抗と印加された接触圧力との関係を求めておき、該関係により該接触圧力測定部における電気抵抗から接触圧力を求めることができる。

10

【0009】

ここで、この発明のセンサ装置において、前記センサ装置に接触圧力及びせん断応力が印加された場合、前記4ゲージ法ブリッジ回路への入力電圧を印加した状態で測定された前記接触圧力測定部における電圧により電気抵抗を得るという測定原理に基づき、該電気抵抗と印加された接触圧力との関係を求めておき、該関係により該接触圧力測定部における電気抵抗から接触圧力を求めることができる。

【0010】

この発明のセンサ装置は、接触圧力及びせん断応力を測定するセンサ装置であって、該センサ装置は、ブリッジ回路の隣接する2辺に各々配置された接触圧力を測定する接触圧力測定部及びせん断応力を測定するせん断応力測定部と、他の隣接する2辺に各々配置された固定抵抗とを備えた2ゲージ法ブリッジ回路を構成し、接触圧力およびせん断応力が無印加状態における4辺の電気抵抗は等しいものであり、前記センサ装置に接触圧力及びせん断応力が印加され、前記接触圧力測定部では接触圧力による電気抵抗変化のみが生じ、前記せん断応力測定部では接触圧力による電気抵抗変化及びせん断応力による電気抵抗変化が生じた場合、前記2ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧には接触圧力による影響が排除されているという測定原理に基づき、該2ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧とせん断応力との関係を求めておき、該関係により該2ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧から該せん断応力測定部におけるせん断応力を求めることを特徴とする。

20

30

【0011】

この発明のセンサ装置は、接触圧力及びせん断応力を測定するセンサ装置であって、該センサ装置は、接触圧力を測定する方形電極と2次元平面の一次元方向を向いたせん断応力を測定する線状電極とが接続された形状の片面側電極と、前記片面側電極の方形電極に対応する線状電極と前記片面側電極の線状電極に対応する線状電極とを有する対面側電極と、前記片面側電極の線状電極と該線状電極に対応する前記対面側電極の線状電極とを揃わせて対面させた状態で、該片面側電極と該対面側電極との間に挟み込まれた導電性で薄膜状の圧力変換素子とを備え、接触圧力を測定する接触圧力測定部は対面させた前記片面側電極の方形電極と前記圧力変換素子と該方形電極に対応する前記対面側電極の線状電極とにより構成し、せん断応力を測定するせん断応力測定部は線部分を揃わせて対面させた前記片面側電極の線状電極と前記圧力変換素子と該線状電極に対応する前記対面側電極の線状電極とにより構成し、ブリッジ回路の隣接する2辺に前記接触圧力測定部及び前記せん断応力測定部が各々配置され、別の隣接する2辺に固定抵抗が各々配置されて2ゲージ法ブリッジ回路を構成し、接触圧力およびせん断応力が無印加状態における4辺の電気抵抗は等しいものであり、前記センサ装置に接触圧力及びせん断応力が印加された場合、前記2ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧には接触圧力による影響が排除されているという測定原理に基づき、該2ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧とせん断応力との関係を求めておき、該関係により該2ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧から該せん断応力測定部におけるせん断応力を求めることを特徴とする。

40

【0012】

50

この発明のセンサ装置は、前記片面側電極の線状電極の向きが2次元平面の一次元方向を向いた請求項6記載のセンサ装置と、前記片面側電極の線状電極の向きが2次元平面の別の一次元方向を向いた請求項6記載のセンサ装置とを、各2ゲージ法ブリッジ回路の電源を共通にして重ね合わせたことを特徴とする。

【0013】

ここで、この発明のセンサ装置において、前記センサ装置に接触圧力及びせん断応力が印加された場合、前記接触圧力測定部に隣接する辺に配置された固定抵抗の電圧は該接触圧力測定部の抵抗の変化の影響を受けるという測定原理に基づき、該固定抵抗の電圧と印加された接触圧力との関係を求めておき、該関係により該固定抵抗の電圧から接触圧力を求めることができる。

10

【0014】

ここで、この発明のセンサ装置において、該センサ装置を構成する各電極は銅薄膜を貼り付けられたポリイミドフィルムをエッチング処理することにより作製することができる。

【0015】

この発明の分布測定装置は、本発明のセンサ装置を複数個接続して所定の配置を行ったことを特徴とする接触圧力及びせん断応力の分布測定装置である。

【発明の効果】

【0016】

本発明のセンサ装置では、接触圧力およびせん断応力の変換素子（圧力変換素子）として、電解重合により作製した厚さ約20 μ mのポリピロール薄膜を用い、電極材として銅張ポリイミドフィルム（銅厚35 μ m）を用いた。センサ装置の電極は銅薄膜の貼り付けられたポリイミドフィルムの銅薄膜をウェットエッチング処理による加工を行って銅箔電極の形状を作製した。このため、従来のせん断応力センサにはない薄さとしなやかさを有している。この電極で薄膜状の上記変換素子を挟み込むことによりセンサ装置とした。この結果、本発明のセンサ装置によれば、センサ装置全体が薄く且つしなやかであり、生体内のせん断応力および接触圧力を直接測定することへの適用が可能という効果がある。

20

【0017】

本発明のセンサ装置によれば、4ゲージ法ブリッジ回路の抵抗変化量の関係に基づき、せん断応力測定部における抵抗変化量 R_a から接触圧力の影響による抵抗変化量 R_b を差し引きした出力を得ることによって、接触圧力による影響を排除したせん断応力の測定を可能としたという効果がある。センサ装置は、4ゲージ法ブリッジ回路の対向する2つの抵抗の位置に各々配置された接触圧力測定部と、別の対向する2つの抵抗の位置に各々配置されたせん断応力測定部とを備えており、接触圧力およびせん断応力が無印加状態における2つの接触圧力測定部の電気抵抗と2つのせん断応力測定部の電気抵抗とは等しいものになるように設計する。ここで、センサ装置に接触圧力およびせん断応力が印加され、接触圧力測定部では接触圧力による電気抵抗変化 R_p のみが生じ、せん断応力測定部では接触圧力による電気抵抗変化 R_p およびせん断応力による電気抵抗変化 R が生じた場合、4ゲージ法ブリッジ回路（に対応させたセンサ装置）の出力電圧 e には接触圧力による影響が排除されているという測定原理に基づき、4ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧 e と規定のせん断応力との関係（キャリブレーションカーブ）を求めておき、該関係により4ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧 e を測定することにより、せん断応力を得ることができるという効果がある。

30

40

【0018】

入力電圧 E の作用下で、初期抵抗 R からせん断応力により R 、接触圧力により R_p の抵抗変化を生じた場合、接触圧力による抵抗変化 R_p は後述する式14のようになる。式14の右辺はすべて既知、または測定可能であるため、ブリッジ回路の出力電圧 e 、接触圧力測定部での電圧 e_p が得られれば接触圧力による抵抗変化 R_p を得ることができる。つまり、本発明のセンサ装置によれば、接触圧力とせん断応力とのより同時な測

50

定ができるという効果がある。

【0019】

本発明の別のセンサ装置によれば、4ゲージ法ブリッジ回路の隣接する2辺に接触圧力測定部（抵抗値 R_p ）およびせん断応力測定部（抵抗値 R ）が各々配置され、別の隣接する2辺に固定抵抗（抵抗値 R_2 および R_3 ）が各々配置された構成の2ゲージ法ブリッジ回路に対応させることができる。2ゲージ法ブリッジ回路においても4ゲージ法ブリッジ回路と同様に、接触圧力による電気抵抗変化 R_p を差し引いたせん断応力による電気抵抗変化 R のみの出力を実現することができる。当該センサ装置に接触圧力およびせん断応力が印加された場合、2ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧 e には接触圧力による影響が排除されているという測定原理に基づき、2ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧 e とせん断応力との関係（キャリブレーションカーブ）を求めておき、この関係により2ゲージ法ブリッジ回路の出力電圧 e からせん断応力測定部におけるせん断応力を求めることができるという効果がある。接触圧力は、固定抵抗の電圧 V を測定することにより得ることができる。接触圧力と電圧 V との関係を予め測定しておくことにより、電圧 V を測定すれば当該関係より接触圧力を得ることができるという効果がある。

10

【0020】

本発明のさらに別のセンサ装置によれば、入力電圧 E が共通となるようにして2ゲージ法ブリッジ回路を x 、 y 方向の各せん断応力測定用に2つ用いる。1つのセンサ装置内には2つの2ゲージ法ブリッジ回路の各抵抗を含む。独立した2つの2ゲージ法ブリッジ回路が存在する1つのセンサ装置を用いることにより、2ゲージ法ブリッジ回路で2次元（ x 、 y ）方向のせん断応力を測定することができるという効果がある。

20

【0021】

本発明の分布測定装置によれば、上記2次元（ x 、 y ）方向のせん断応力を測定するセンサ装置を複数個接続して四辺形状に配置（所定の配置）することにより、接触圧力およびせん断応力の分布を測定することができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】本発明の実施例1のセンサ装置における片面側電極10の電極パターンを示す図である。

【図2】本発明の実施例1のセンサ装置における対面側電極20の電極パターンを示す図である。

30

【図3（A）】本発明の実施例1のセンサ装置におけるせん断応力測定部30を示す図である。

【図3（B）】せん断応力測定部30に対して生じたせん断変形を示す図である。

【図4（A）】本発明の実施例1のセンサ装置における接触圧力測定部40を示す図である。

【図4（B）】接触圧力測定部40に対して生じた変形を示す図である。

【図5】標準的な4ゲージ法ブリッジ回路60を示す図である。

【図6】センサ装置70の各電気抵抗の状態を示す図である。

【図7】本発明の実施例1における接触圧力の測定を説明するための回路図である。

40

【図8】実験を行うために作製した較正装置90を示す図である。

【図9】試作したセンサ装置70に接触圧力を作用させた際の接触圧力と電気抵抗値との関係を示すグラフである。

【図10】センサ装置70に30、50、90kPaの接触圧力を作用させ40kPaまでのせん断応力を作用させた時のせん断応力と出力電圧との関係を示すグラフである。

【図11】接触圧力とせん断応力とを連続的に作用させたときの測定結果を示すグラフである。

【図12】実施例2の方法による接触圧力測定の例を示すグラフである。

【図13】本発明の実施例3のセンサ装置における片面側電極100の電極パターンおよび対面側電極200の電極パターンを示す図である。

50

【図14】片面側電極100の線状電極110と対面側電極200の一方の線状電極210とを線を揃わせて対面させた状態を示す図である。

【図15】せん断応力測定部300の垂直方向断面図および接触圧力測定部400の垂直方向断面図である。

【図16】標準的な2ゲージ法ブリッジ回路65を示す図である。

【図17】基板上に配置した固定抵抗 R_2 、 R_3 とセンサ部分75とによる2ゲージ法ブリッジ回路65の回路図である。

【図18】本発明の実施例4のセンサ装置における片面側電極150および対面側電極250の電極パターンを示す図である。

【図19】片面側電極150の線状電極110y等と対面側電極250の一つの線状電極263等とを線を揃わせて対面させた状態を俯瞰的に示す図である。

10

【図20】x方向のせん断応力測定用の2ゲージ法ブリッジ回路65xを示す図である。

【図21】y方向のせん断応力測定用の2ゲージ法ブリッジ回路65yを示す図である。

【図22】基板上に配置した固定抵抗 R_{2x} 、 R_{3x} とセンサ部75xとによる2ゲージ法ブリッジ回路65xの回路図である。

【図23】基板上に配置した固定抵抗 R_{2y} 、 R_{3y} とセンサ部分75yとによる2ゲージ法ブリッジ回路65yの回路図である。

【図24】2ゲージ法ブリッジ回路65xと2ゲージ法ブリッジ回路65yとを入力電圧(電源)Eを共通にして重ね合わせた2ゲージ法ブリッジ回路65xyを示す図である。

【図25】実施例4のセンサ装置75xyを複数個接続して所定の配置を行った接触圧力およびせん断応力の分布測定装置300における片面側電極170および対面側電極270の電極パターンを示す図である。

20

【図26】図8に示される較正装置90を用いてセンサ装置75xyに加えられる接触圧力およびせん断応力の方向を示す図である。

【図27】センサ装置75xyにアクチュエータ91による接触圧力を作用させた際の接触圧力と電圧との関係(キャリブレーションカーブ)を示すグラフである。

【図28】センサ装置75xyにアクチュエータ92または93によるx方向のせん断応力を作用させた際のせん断応力と出力電圧eとの関係(キャリブレーションカーブ)を示すグラフである。

【図29】センサ装置75xyにアクチュエータ92または93によるy方向のせん断応力を作用させた際のせん断応力と出力電圧eとの関係(キャリブレーションカーブ)を示すグラフである。

30

【図30】センサ装置75xyにアクチュエータ92または93による正負のx方向のせん断応力を作用させた際のせん断応力と出力電圧eとの関係(キャリブレーションカーブ)を示すグラフである。

【図31】実験8を説明するための図等である。

【図32】センサ装置75xyにアクチュエータ91による接触圧力を負荷させた状態でアクチュエータ92または93によるx、y方向のせん断応力を順次作用させたときの測定結果を示すグラフである。

【図33】分布測定装置300の実験のために作製した実験装置400を示す図である。

40

【図34】実験装置400を用いてせん断応力を分布測定装置300に印加しx方向のせん断応力を測定した結果を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0023】

まず、本発明の概要について説明する。本発明のセンサ装置では、接触圧力およびせん断応力の変換素子(圧力変換素子)として、電解重合により作製した厚さ約 $20\mu\text{m}$ のポリピロール薄膜を用いた。ポリピロール薄膜は導電性の高分子材料であり、作用圧力に応じて厚さ方向の電気抵抗が変化する特性を有している。より詳しくは、作用圧力が加わるのに応じて導電率が上がるという性質を有している。本発明のセンサ装置では、電極材として銅張ポリイミドフィルム(銅厚 $35\mu\text{m}$)を用いた。より詳しくは、センサ装置の電極

50

は銅薄膜の貼り付けられたポリイミドフィルムの銅薄膜をウェットエッチング処理による加工を行うことにより、銅箔電極の形状となるように作製した。このため、従来のせん断応力センサにはない薄さとしなやかさを有している。この電極で薄膜状の上記変換素子を挟み込むことによりセンサ装置とした。この結果、センサ装置全体が薄く且つしなやかであり、生体内のせん断応力および接触圧力を直接測定することへの適用が可能となった。

【 0 0 2 4 】

本発明のセンサ装置の測定原理によれば、ホイートストンブリッジ回路の抵抗変化量の関係により、せん断応力の測定部における抵抗変化量から接触圧力の影響による抵抗変化量を差し引きした出力を得ることによって、接触圧力による影響を排除したせん断応力の測定を可能とした。以下では、まず本発明のセンサ装置と測定原理とについて詳述し、続いて実験とその結果とについて述べる。以下、各実施例について図面を参照して詳細に説明する。

【 実施例 1 】

【 0 0 2 5 】

図 1 は、本発明の実施例 1 のセンサ装置における片面側電極 1 0 の電極パターンを示す。図 1 に示されるように、片面側電極 1 0 はせん断応力を測定する櫛型電極 1 1 a と接触圧力を測定する方形電極 1 2 a とが一端 B で接続された形状の第 1 電極と、第 1 電極に点対称な形状（櫛型電極 1 1 b と方形電極 1 2 b とが一端 A で接続された形状）の第 2 電極とを対向させた配置となっている。測定領域のサイズは $11 \times 11 \text{ mm}^2$ とし、方形電極 1 2 a、1 2 b のサイズは各々 $4.5 \times 4.5 \text{ mm}^2$ とし、櫛型電極 1 1 a、1 1 b のサイズは各々 $4 \times 4 \text{ mm}^2$ とした。しかし、これらのサイズは一例であって、本発明のセンサ装置のサイズはこれらのサイズに限定されるものではない。

【 0 0 2 6 】

図 2 は、本発明の実施例 1 のセンサ装置における対面側電極 2 0 の電極パターンを示す。図 2 に示されるように、対面側電極 2 0 は 2 つの櫛型電極 2 1 a および 2 1 b が 1 端 D で接続された形状の第 3 電極と、第 3 電極に点対称な形状（2 つの櫛型電極 2 c および 2 1 d が 1 端 C で接続された形状）の第 4 電極とを対向させた配置となっている。櫛型電極 2 1 a 等のサイズは上記 1 1 a 等と同様である。

【 0 0 2 7 】

本発明のセンサ装置は、櫛型電極 1 1 a と 2 1 a との櫛部分（同様に、櫛型電極 1 1 b と 2 1 d との櫛部分）を揃わせて対面させた片面側電極 1 0 と対面側電極 2 0 との間に、導電性で薄膜状の上記圧力変換素子を挟み込むことにより構成されている。図 3 (A) は、本発明の実施例 1 におけるセンサ装置におけるせん断応力測定部 3 0 を示す。図 3 (A) で図 1 および図 2 と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。図 3 (A) で、符号 1 1 a - 1、1 1 a - 2、1 1 a - 3 は、図 1 に示した片面側電極 1 0 における櫛型電極 1 1 a の各櫛を示し、符号 2 1 a - 1、2 1 a - 2、2 1 a - 3 は、図 2 に示した対面側電極 2 0 における櫛型電極 2 1 a の各櫛を示し、符号 5 0 は圧力変換素子を示す。図 3 (A) に示されるように、せん断応力測定部 3 0 は片面側電極 1 0 における櫛型電極 1 1 a と対面側電極 2 0 における櫛形電極 2 1 a との櫛部分を揃わせて対面させ、両電極の間に圧力変換素子 5 0 を挟み込むことにより構成されている。図 3 (A) では片面側電極 1 0 の第 1 電極と対面側電極 2 0 の第 3 電極とにより構成されるせん断応力測定部 3 0 について示したが、片面側電極 1 0 の第 2 電極と対面側電極 2 0 の第 4 電極とにより構成されるせん断応力測定部 3 0 ' についても同様に示すことができるため、説明は省略する。図 3 (A) に示される櫛形電極 1 1 a 等は銅薄膜の貼り付けられたポリイミドフィルム（圧力変換素子 5 0）の銅薄膜（銅厚 $35 \mu\text{m}$ ）をウェットエッチング処理による加工を行って銅箔電極の形状を作製した。

【 0 0 2 8 】

図 3 (A) に示されるように、せん断応力測定部 3 0 に対してせん断応力が働くと、図 3 (B) に示されるようにせん断変形が生じる。図 3 (B) は図 3 (A) に示されるせ

10

20

30

40

50

せん断応力測定部 30 の垂直方向断面図であり、図 3 (A) と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。図 3 (B) に示されるように、せん断応力測定部 30 では、せん断応力 による圧力変換素子 50 のせん断変形により、片面側電極 10 における楕形電極 11 a - 1 と対面側電極 20 における楕形電極 21 a - 1 との間の距離が増加し、この結果、せん断応力測定部 30 の電気抵抗が増加する。

【0029】

図 4 (A) は、本発明の実施例 1 のセンサ装置における接触圧力測定部 40 を示す。図 4 (A) で図 1、図 2 および図 3 (A) と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。図 4 (A) で、符号 12 a は図 1 に示した片面側電極 10 における方形電極 12 a を示し、符号 21 c - 1、21 c - 2、21 c - 3 は、図 2 に示した対面側電極 20 における楕形電極 21 c の各楕を示す。図 4 (A) に示されるように、接触圧力測定部 40 は片面側電極 10 における方形電極 12 a と対面側電極 20 における楕形電極 21 c とを対面させ、両電極の間に圧力変換素子 50 を挟み込むことにより構成されている。図 4 (A) では片面側電極 10 の第 1 電極と対面側電極 20 の第 4 電極とにより構成される接触圧力測定部 40 について示したが、片面側電極 10 の第 2 電極と対面側電極 20 の第 3 電極とにより構成される接触圧力測定部 40' についても同様に示すことができるため、説明は省略する。

【0030】

図 4 (A) に示されるように接触圧力測定部 40 に対して接触圧力 P が働くと、図 4 (B) に示されるように、点線で示される楕形電極 21 c - 1 が実線で示される楕形電極 21 c - 1 へと押されて圧力変換素子 50 の変形が生じる。図 4 (B) は図 4 (A) に示される接触圧力測定部 40 の垂直方向断面図であり、図 4 (A) と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。接触圧力測定部 40 では、片面側電極 10 における方形電極 12 a と対面側電極 20 における楕形電極 21 c - 1 との間の圧力変換素子 50 における圧力 P により変化した抵抗値を測定し、その抵抗値に対応した圧力を導出することで接触圧力測定とする。この時、せん断応力により圧力変換素子 50 (感圧素子) はせん断変形を生じるが、電極間距離は変化しないため、せん断応力の影響による抵抗変化は生じない。これにより、せん断応力の影響を受けない接触圧力測定を可能とする。図 4 (A) に示される方形電極 12 a 等も楕形電極 11 a 等と同様に、銅薄膜の貼り付けられたポリイミドフィルム (圧力変換素子 50) の銅薄膜 (銅厚 35 μm) をウェットエッチング処理による加工を行って銅箔電極の形状を作製した。図 1 に示される片面側電極 10 の電極パターンおよび図 2 に示される対面側電極 20 の電極パターンも同様である。

【0031】

次に、本発明のセンサ装置における測定原理について説明する。図 5 は、標準的な 4 ゲージ法ブリッジ回路 60 を示す。図 5 に示される点 A、B、C および D は図 1 および図 2 に示される点 A、B、C および D と同じである。図 5 に示されるように、4 辺の各ゲージの抵抗値は R_1 ないし R_4 であり、入力電圧 E は点 C と点 D との間に印加され、出力電圧 e は点 A と点 B との間から取るものとする。ここで、4 ゲージ法ブリッジ回路 60 の 4 辺に接続した各ゲージがひずみを受けて各抵抗値が微小変化 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 したとすると、出力電圧 e も e 変化する。最初に 4 ゲージ法ブリッジ回路 60 が平衡していたとすると、ひずみによる出力電圧は $e = e$ とおけるから、以下の式 1 のようになる。

【0032】

【数 1】

$$e = \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} \left[\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right] E \quad (1)$$

10

20

30

40

50

【 0 0 3 3 】

ここで、各ゲージの初期抵抗値がすべて等しい ($R_1 = R_2 = R_3 = R_4$) とすると、式 1 の最初の係数は $1/4$ となるため、式 2 のようになる。

【 0 0 3 4 】

【 数 2 】

$$e = \frac{1}{4} \left[\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right] E \quad (2)$$

10

【 0 0 3 5 】

次に、センサ装置の各電気抵抗について考察する。図 6 は、センサ装置 70 の各電気抵抗の状態を示す。図 6 で図 1、図 2 および図 5 と同じ符号を付した個所は同じ要素または点を示すため、説明は省略する。図 6 に示されるセンサ装置 70 は、図 1 に示した片面側電極 10 と図 2 に示した対面側電極 20 との間に、図 3 (A)、(B) および図 4 (A)、(B) に示したように圧力変換素子 50 を挟み込みんだ状態を示す。図 6 で、符号 R_a はせん断応力測定部 30 の電気抵抗とせん断応力測定部 30' の電気抵抗とを示し、符号 R_b は接触圧力測定部 40 の電気抵抗と接触圧力測定部 40' の電気抵抗とを示す。

【 0 0 3 6 】

20

図 6 に示されるセンサ装置 70 で、入力電圧 E は対面側電極 20 の第 3 電極側の 1 端 D と第 4 電極側の 1 端 C との間に印加し、出力電圧 e は片面側電極 10 の第 1 電極側の 1 端 B と第 2 電極側の 1 端 A との間から得ることとする。あるいは、入力電圧は片面側電極 10 の第 1 電極側の 1 端 B と第 2 電極側の 1 端 A との間に印加し、出力電圧は対面側電極 20 の第 3 電極側の 1 端 D と第 4 電極側の 1 端 C との間から得ることにしてもよい。以上により、4 ゲージ法ブリッジ回路 60 の対向する 2 つの抵抗 R_2 および R_4 の位置に接触圧力測定部 40 と 40' とが各々配置され、別の対向する 2 つの抵抗 R_1 および R_3 の位置にせん断応力測定部 30 と 30' とが各々配置され、接触圧力およびせん断応力が無印加状態における 2 つの接触圧力測定部 40 および 40' の電気抵抗 R_b と 2 つのせん断応力測定部 30 および 30' の電気抵抗 R_a とがすべて等しい 4 ゲージ法ブリッジ回路 ($R_a = R_b$) を構成することができる。言い換えれば、センサ装置 70 の各電気抵抗について、接触圧力とせん断応力とは接触圧力およびせん断応力が無印加状態での 4 つの電気抵抗は等しいため、センサ装置 70 の各電気抵抗へ図 5 に示される 4 ゲージ法ブリッジ回路 60 の構成を取り入れることができる。

30

【 0 0 3 7 】

以上説明した標準的な 4 ゲージ法ブリッジ回路 60 とセンサ装置 70 との間の各電気抵抗の対応に基づき、式 2 に対応する式 3 を以下に示す。式 3 は式 2 で抵抗 $R_1 = R_3 = R_a$ とし、 $R_2 = R_4 = R_b$ としたものである。式 3 で、センサ電極の接触面積がそれぞれ等しいことから接触圧力およびせん断応力が無印加状態での R_a と R_b とは等しくなるため、分母を $R_a = R_b$ とすると式 4 になる。楕形電極 (せん断応力測定部 30 等) での抵抗 R_a はせん断応力による抵抗変化 R と接触圧力による抵抗変化 R_p とを生じ、方形電極 (接触圧力測定部 40 等) での電気抵抗 R_b は接触圧力による抵抗変化 R_p のみを生じる。従って、式 4 は式 5 となり、最終的に式 6 が得られる。式 6 に示されるように、接触圧力による電気抵抗変化 R_p を差し引いたせん断応力による電気抵抗変化 R のみの出力を実現することができる。

40

【 0 0 3 8 】

【数3】

$$e = \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta R_a}{R_a} - \frac{\Delta R_b}{R_b} \right] E \quad (3)$$

$$= \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta R_a - \Delta R_b}{R_a} \right] E \quad (4)$$

$$= \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta R_\tau + \Delta R_p - \Delta R_p}{R_a} \right] E \quad (5)$$

$$= \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta R_\tau}{R_a} \right] E \quad (6)$$

10

20

【0039】

以上説明した本発明の測定原理によれば、4ゲージ法ブリッジ回路60の抵抗変化量の関係(式2)に基づき、せん断応力測定部30等における抵抗変化量 R_a から接触圧力の影響による抵抗変化量 R_b を差し引きした出力(式4から式6)を得ることができるため、接触圧力による影響を排除したせん断応力の測定を可能とした。従って、予め4ゲージ法ブリッジ回路60の出力電圧 e と規定のせん断応力との関係(キャリブレーションカーブ)を得ておくことにより、4ゲージ法ブリッジ回路60の出力電圧 e を測定すれば当該関係からせん断応力を得ることができる。纏めると、センサ装置70は、4ゲージ法ブリッジ回路60の対向する2つの抵抗 R_2 および R_4 の位置に各々配置された接触圧力測定部40および40'と、別の対向する2つの抵抗 R_1 および R_3 の位置に各々配置されたせん断応力測定部30および30'とを備えており、接触圧力およびせん断応力が無印加状態における2つの接触圧力測定部40および40'の電気抵抗 R_2 、 R_4 と2つのせん断応力測定部30および30'の電気抵抗 R_1 、 R_3 とは等しい($R_1 = R_2 = R_3 = R_4$)ものになるように設計する。ここで、センサ装置70に接触圧力およびせん断応力が印加され、接触圧力測定部40等では接触圧力による電気抵抗変化 R_p のみが生じ、せん断応力測定部30等では接触圧力による電気抵抗変化 R_p およびせん断応力による電気抵抗変化 R が生じた場合、式6を根拠として4ゲージ法ブリッジ回路60(対応させたセンサ装置70)の出力電圧 e からせん断応力を求めることができる。

30

【0040】

次に、接触圧力の測定について説明する。図7は、本発明の実施例1における接触圧力の測定を説明するための回路図を示す。図7で図6と同じ符号を付した箇所は同じ要素または点を示すため、説明は省略する。なお、電圧計82は実施例2で用いる。図7に示されるように、せん断応力の測定では点AB間の出力電圧 e を電圧計81で測定するが、接触圧力の測定の場合、一旦入力電圧 E の電源を切り点BC間の抵抗(または点AD間の抵抗)、即ち1個の方形電極間(接触圧力測定部40等)の抵抗($R + R_p$)を別の電気回路で測定する。方形電極12a等とその対面側電極21c等間において、電極間距離は圧力変換素子50のせん断変形に影響されず接触圧力の大きさによる膜厚方向の変化のみとなるため、接触圧力のみによる電気抵抗変化を測定することができる。この抵抗変化と規定の接触圧力との関係(キャリブレーションカーブ)を予め得ておくことにより、方形

40

50

電極間（接触圧力測定部 40 等）の抵抗を測定すれば当該関係から接触応力を得ることができる。以上により、接触圧力とせん断応力との（ほぼ）同時な測定を可能とした。

【0041】

4 ゲージ法ブリッジ回路の実験（実験 1～3）。

せん断応力に対する本発明のセンサ装置 70 の構造の有効性と、接触圧力およびせん断応力を同時に測定できるセンサ装置 70 の有効性を検討するために、作製したセンサ装置 70 に対して接触圧力およびせん断応力の負荷実験を行った。図 8 は、実験を行うために作製した較正装置 90 を示す。図 8 に示されるように、較正装置 90 は接触圧力用のアクチュエータ 91（1 台）と、せん断応力用のアクチュエータ 92 および 93（2 台）とにより、X - Y ステージ 94 に接触圧力およびせん断応力を作用させる構造となっている。アクチュエータ 91、92 および 93 の先端には圧縮型ロードセル 95 をそれぞれ設置している。

10

【0042】

センサ装置 70 の特性を調べる実験としてまず、（実験 1）センサ装置 70 に接触圧力を 5 kPa 刻みで 40 kPa まで作用させ、接触圧力の変化に伴う方形電極間（接触圧力測定部 40 等）の電気抵抗値変化を測定した。次に、（実験 2）センサに入力電圧 $E = 0.5$ V を印加し、3 種類の接触圧力を作用させた状態で横方向から 40 kPa までのせん断応力を作用させた時の出力電圧 e を測定した。さらに、（実験 3）40 kPa の接触圧力を負荷し、その後 40 kPa のせん断応力を連続的に負荷した時の接触圧力とせん断応力との測定を行った。

20

【0043】

結果および考察。

実験 1.

図 9 は、試作したセンサ装置 70 に接触圧力を作用させた際の接触圧力と電気抵抗値との関係を示すグラフである。図 9 で横軸は印加した接触圧力（kPa）、縦軸は電気抵抗値（M）である。図 9 に示されるように、接触圧力が大きくなるにつれ、方形電極間（接触圧力測定部 40 等）の電気抵抗値が低下している。負荷（黒菱形で示す 0 から 40 kPa）および除荷（白四角で示す 40 から 0 kPa）のどちらの場合も同じ変化を生じることがわかった。これは、圧力変換素子（ポリピロール薄膜）50 が有する作用圧力が加わるのに応じて導電率が上がるという性質を示している。以上より、予め図 9 に示されるような方形電極間（接触圧力測定部 40 等）の電気抵抗値の変化と規定の接触圧力との関係（キャリブレーションカーブ）を予め得ておくことにより、方形電極間（接触圧力測定部 40 等）の抵抗を測定すれば図 9 に示される関係から接触応力を得ることができる。

30

【0044】

実験 2 .

図 10 は、センサ装置 70 に 30、50、90 kPa の接触圧力を作用させ 40 kPa までのせん断応力を作用させた時のせん断応力と出力電圧との関係を示すグラフである。図 10 で横軸は印加したせん断応力（kPa）、縦軸は出力電圧 e （mV）である。図 10 に示されるように、接触圧力を 30（白菱形）、50（バツ印）、90（白三角）kPa と変化させても、せん断応力に対する出力電圧 e の関係は変化しなかった。せん断応力が作用し感圧素子である圧力変換素子 50 が面方向に変形することにより、電極間の距離が増加する。このため、式 6 の電気抵抗変化 R が大きくなり、図 10 に示されるように出力電圧 e が増大する。以上より、式 6 の正しさが検証された。この結果、図 10 に示される 4 ゲージ法ブリッジ回路 60 の出力電圧 e と規定のせん断応力との関係（キャリブレーションカーブ）から、4 ゲージ法ブリッジ回路 60 の出力電圧 e を測定することにより、せん断応力を得ることができる。

40

【0045】

実験 3 .

図 11 は、接触圧力とせん断応力とを連続的に作用させたときの測定結果を示すグラフである。図 11 で横軸は経過時間（秒）、縦軸は接触圧力 / せん断応力（kPa）である

50

。図 11 に示されるように、0 - 100 秒で接触圧力(黒菱形)の印加が測定でき、150 - 300 秒でせん断応力(白四角)の負荷・除荷が測定できていることがわかる。これらは同時に得られた値であり、接触圧力とせん断応力とを同時に測定することができた。

【0046】

以上より、本発明の実施例 1 によれば、本発明のセンサ装置 70 では、接触圧力およびせん断応力の変換素子(圧力変換素子)として、電解重合により作製した厚さ約 20 μm のポリピロール薄膜を用い、電極材として銅張ポリイミドフィルム(銅厚 35 μm)を用いた。センサ装置 70 の電極は銅薄膜の貼り付けられたポリイミドフィルムの銅薄膜をウェットエッチング処理による加工を行って銅箔電極の形状を作製した。このため、従来のせん断応力センサにはない薄さとしなやかさを有している。この電極で薄膜状の上記変換素子を挟み込むことによりセンサ装置とした。この結果、センサ装置全体が薄く且つしなやかであり、生体内のせん断応力および接触圧力を直接測定することへの適用が可能となった。

【0047】

せん断応力測定部 30 は片面側電極 10 における櫛型電極 11a と対面側電極 20 における櫛形電極 21a との櫛部分を揃わせて対面させ、両電極の間に上記圧力変換素子 50 を挟み込むことにより構成されている。接触圧力測定部 40 は片面側電極 10 における方形電極 12a と対面側電極 20 における櫛形電極 21c とを対面させ、両電極の間に圧力変換素子 50 を挟み込むことにより構成されている。接触圧力測定部 40 では、片面側電極 10 における方形電極 12a と対面側電極 20 における櫛形電極 21c - 1 との間の圧力変換素子 50 における圧力 P により変化した抵抗値を測定し、その抵抗値に対応した圧力を導出することで接触圧力測定とする。この時、せん断応力により圧力変換素子 50 (感圧素子)はせん断変形を生じるが、電極間距離は変化しないためせん断応力の影響による抵抗変化は生じない。これにより、せん断応力の影響を受けない接触圧力測定を可能とする。

【0048】

本発明の測定原理によれば、4 ゲージ法ブリッジ回路 60 の抵抗変化量の関係(式 2)に基づき、せん断応力測定部 30 等における抵抗変化量 R_a から接触圧力の影響による抵抗変化量 R_b を差し引きした出力(式 4 から式 6)を得ることによって、接触圧力による影響を排除したせん断応力の測定を可能とした。センサ装置 70 は、4 ゲージ法ブリッジ回路 60 の対向する 2 つの抵抗 R_2 および R_4 の位置に各々配置された接触圧力測定部 40 および 40' と、別の対向する 2 つの抵抗 R_1 および R_3 の位置に各々配置されたせん断応力測定部 30 および 30' とを備えており、接触圧力およびせん断応力が無印加状態における 2 つの接触圧力測定部 40 および 40' の電気抵抗 R_2 、 R_4 と 2 つのせん断応力測定部 30 および 30' の電気抵抗 R_1 、 R_3 とは等しい($R_1 = R_2 = R_3 = R_4$)ものになるように設計する。ここで、センサ装置 70 に接触圧力およびせん断応力が印加され、接触圧力測定部 40 等では接触圧力による電気抵抗変化 R_p のみが生じ、せん断応力測定部 30 等では接触圧力による電気抵抗変化 R_p およびせん断応力による電気抵抗変化 R が生じた場合、4 ゲージ法ブリッジ回路 60 (対応させたセンサ装置 70) の出力電圧 E に基づき、式 6 によりせん断応力測定部 30 等におけるせん断応力による電気抵抗変化 R を取得することができる。この電気抵抗変化 R によりせん断応力を求めることができる。以上により、せん断応力および接触圧力を直接測定するに際し、接触圧力による影響を排除したせん断応力の測定ができるセンサ装置を提供することができた。この結果、図 10 に示される 4 ゲージ法ブリッジ回路 60 の出力電圧 e と規定のせん断応力との関係(キャリブレーションカーブ)から、4 ゲージ法ブリッジ回路 60 の出力電圧 e を測定することにより、せん断応力を得ることができる。

【0049】

接触圧力の測定の場合、一旦入力電圧 E の電源を切り点 BC 間の抵抗(または点 AD 間の抵抗)、即ち 1 個の方形電極間(接触圧力測定部 40 等)の抵抗($R + R_p$)を別の電気回路で測定する。方形電極 12a 等とその対面側電極 21c 等間において、電極間距

離は圧力変換素子 50 のせん断変形に影響されず接触圧力の大きさによる膜厚方向の変化のみとなるため、接触圧力のみによる電気抵抗変化を測定することができ、この抵抗変化と接触圧力との関係から接触圧力を求める。以上により、接触圧力とせん断応力との（ほぼ）同時な測定を可能とした。以上より、予め図 9 に示されるような方形電極間（接触圧力測定部 40 等）の電気抵抗値の変化と規定の接触圧力との関係（キャリブレーションカーブ）を予め得ておくことにより、方形電極間（接触圧力測定部 40 等）の抵抗を測定すれば図 9 に示される関係から接触応力を得ることができる。

【実施例 2】

【0050】

実施例 2 では、実施例 1 よりさらに接触圧力とせん断応力との同時測定ができる接触圧力の測定方法について説明する。せん断応力の測定に関しては実施例 1 と同様であるため、説明は省略する。発明者は接触圧力の測定に関して鋭意検討を重ねた結果、図 7 に示されるブリッジ回路 70 の出力電圧 e 、接触圧力測定部 40 等での電圧 e_p および入力電圧 E が判れば、実施例 1 のように一旦入力電圧 E の電源を切ることなく、接触圧力による抵抗変化を測定できるという知見を得ることができた。

10

【0051】

入力電圧 E の作用下で、初期抵抗 R からせん断応力により R 、接触圧力により R_p の抵抗変化を生じた場合、出力電圧 e は上述した式 6 で表され、接触圧力測定部 40 等での電圧 e_p は以下ようになる。図 7 に示される接触圧力測定部 40 等の電圧 e_p は、接触圧力測定部 40 等に流れる電流を i 、接触圧力測定部 40 等の抵抗を R_p とすると、

20

【0052】

【数 4】

$$e_p = i \times R_p \quad (7)$$

【0053】

このときの電流 i は式 8 となる。

30

【0054】

【数 5】

$$i = \frac{E}{(R_\tau + R_p)} \quad (8)$$

【0055】

ここで、 R はせん断応力測定部 30 等での抵抗である。従って式 7 は式 9 となる。

40

【0056】

【数 6】

$$e_p = i \times R_p = E \cdot \frac{R_p}{(R_\tau + R_p)} \quad (9)$$

【0057】

抵抗 R 、 R_p は、接触圧力およびせん断応力が作用すると、各々式 10、11 のようになる。

50

【 0 0 5 8 】

【 数 7 】

$$R_{\tau} = (R + \Delta R_{\tau} + \Delta R_p) \quad (10)$$

$$R_p = (R + \Delta R_p) \quad (11)$$

【 0 0 5 9 】

10

ここで、 R はせん断応力および接触圧力の作用していない状態での抵抗値、 R はせん断応力による抵抗変化量、 R_p は接触圧力による抵抗変化量である。式 9 へ式 10 および 11 を代入すると、式 12 が得られる。

【 0 0 6 0 】

【 数 8 】

$$e_p = \frac{(R + \Delta R_p)}{(R + \Delta R_{\tau} + \Delta R_p) + (R + \Delta R_p)} E \quad (12)$$

20

【 0 0 6 1 】

ここで、式 6 の R を、式 13 のように変形し、

【 0 0 6 2 】

【 数 9 】

$$\Delta R_{\tau} = \frac{2e \cdot R}{E} \quad (13)$$

30

【 0 0 6 3 】

式 13 を式 12 に代入すると、式 14 の関係が得られる。

【 0 0 6 4 】

【 数 10 】

$$\Delta R_p = -R \left\{ 1 - \frac{2e \cdot e_p}{E(2e_p - E)} \right\} \quad (14)$$

40

【 0 0 6 5 】

式 14 の右辺はすべて既知、または測定可能であるため、ブリッジ回路の出力電圧 e 、接触圧力測定部 40 等での電圧 e_p が得られれば接触圧力による抵抗変化 R_p を得ることができる。図 12 は、上述した実施例 2 の方法による接触圧力測定の例を示すグラフである。図 12 で、横軸は接触圧力 (kPa)、縦軸は抵抗値 () である。図 12 に示されるように、3 種類のせん断応力 (原図では青菱形が 10 kPa、赤四角が 30 kPa、緑三角が 40 kPa) の作用下で接触圧力を作用させた時の抵抗変化 R_p を求めたところ、せん断応力の大小によらず接触圧力による抵抗変化 R_p が得られ、この方法による接触圧力測定の有効性を示すことができた。従って、予め図 12 に示されるような方形電

50

極間（接触圧力測定部 40 等）の電気抵抗値の変化と規定の接触圧力との関係（キャリブレーションカーブ）を予め得ておくことにより、方形電極間（接触圧力測定部 40 等）の抵抗を測定すれば図 9 に示される関係から接触圧力を得ることができる。

【0066】

以上より、本発明の実施例 2 によれば、入力電圧 E の作用下で、初期抵抗 R からせん断応力により R 、接触圧力により R_p の抵抗変化を生じた場合、出力電圧 e は上述した式 6 で表され、接触圧力測定部 40 等での電圧 e_p は式 12 で表される。結果的に、接触圧力による抵抗変化 R_p は式 14 のようになる。式 14 の右辺はすべて既知、または測定可能であるため、ブリッジ回路の出力電圧 e 、接触圧力測定部 40 等での電圧 e_p が得られれば接触圧力による抵抗変化 R_p を得ることができる。つまり、実施例 1 のように一旦入力電圧 E の電源を切ることなく、接触圧力による抵抗変化を測定できることがわかった。実施例 2 の計測方法の方が一旦入力電圧 E の電源を切ることがないため、接触圧力とせん断応力とのより同時な測定ができる。

【実施例 3】

【0067】

図 13 (A) は、本発明の実施例 3 のセンサ装置における片面側電極 100 の電極パターンを示す。図 13 (A) に示されるように、片面側電極 100 は 2 次元 (x, y) 平面の一次元 (y) 方向を向いたせん断応力を測定する線状電極 110 と、接触圧力を測定する方形電極 120 とが点 D' で接続された形状となっている。図 13 (B) は、本発明の実施例 3 のセンサ装置における対面側電極 200 の電極パターンを示す。対面側電極 200 は線状電極 110 に対応する線状電極 210 と方形電極 120 に対応する線状電極 220 とを有している。図 13 (B) に示されるように、線状電極 210 は点線楕円 K で示される部分が y 方向を向いた形状であり、端子 B' を有している。線状電極 220 は点線楕円 L で示される部分が x 方向を向いた形状であり、端子 A' を有している。図 13 (A) に示されるように方形電極 120 のサイズは $9.0 \times 9.0 \text{ mm}^2$ とし、線状電極 110 のサイズは 10 mm とした。図 13 (B) の 4 つの鉤マークで示されるように測定領域のサイズは $22 \times 22 \text{ mm}^2$ とした。しかし、これらのサイズは一例であって、本発明のセンサ装置のサイズはこれらのサイズに限定されるものではない。

【0068】

実施例 3 のセンサ装置も実施例 1 と同様に、片面側電極 100 の線状電極 110 と対面側電極 200 の（線状電極 110 に対応する）線状電極 210 とを線を揃わせて対面させた状態で、片面側電極 100 と対面側電極 200 との間に、導電性で薄膜状の圧力変換素子 50 を挟み込むことにより構成されている。線を揃わせた対面は、より詳しくは点線楕円 J で示される部分と点線楕円 K で示される部分とを揃わせるように行う。図 13 (A) に示される片面側電極 100 と図 13 (B) に示される対面側電極 200 とは点線 N について鏡像の関係となるように表されている。図 13 (A) および (B) 中の + マーク ($M1, M2, M3, M6$) および鉤棒状マーク ($M4, M5$) は片面側電極 100 と対面側電極 200 とを圧力変換素子 50 を挟んで重ね合わせる際の位置合わせマーカであり、電極ではない。

【0069】

図 14 は、片面側電極 100 の線状電極 110 と対面側電極 200 の（線状電極 110 に対応する）線状電極 210 とを線を揃わせて対面させた状態を示す。図 14 で図 13 (A) および (B) と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。図 14 では理解の便宜のために、対面側電極 200 は点線で示す。図 14 に示されるように、片面側電極 100 の線状電極 110 と対面側電極 200 の線状電極 210 とは、点線円 J で示される部分と点線円 K で示される部分とが揃うように対面させ（重ねわせ）ている。せん断応力を測定するせん断応力測定部 300 は線部分（点線円 J で示される部分と点線円 K で示される部分）を揃わせて対面させた片面側電極 100 の線状電極 110 と、圧力変換素子 50 と、対面側電極 200 の（線状電極 110 に対応する）線状電極 210 とにより構成されている。接触圧力を測定する接触圧力測定部 400 は対面させた片面側電極

10

20

30

40

50

100の方形電極120と、圧力変換素子50と、対面側電極200の(方形電極120に対応する)線状電極220(点線円Lで示される部分)により構成されている。

【0070】

図15(A)は、図3(B)と同様に、せん断応力測定部300の垂直方向断面図を示す。図15(A)で図13(A)および(B)と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。図15(A)に示されるように、せん断応力測定部300に対してx方向のせん断応力が働くと、x方向のせん断変形が生じる。ここでy方向は図15(A)上で紙面奥方向である。せん断応力測定部300では、せん断応力による圧力変換素子50のせん断変形により、片面側電極100における線状電極110と対面側電極200における線状電極210との間の距離が増加し、この結果、せん断応力測定部300の電気抵抗が増加する。図15(A)に示される線状電極110、210等は、実施例1と同様に、銅薄膜の貼り付けられたポリイミドフィルム(圧力変換素子50)の銅薄膜(銅厚35μm)をウェットエッチング処理による加工を行って銅箔電極の形状を作製した。

10

【0071】

図15(B)は、図4(B)と同様に、接触圧力測定部400の垂直方向断面図を示す。図15(B)で図13(A)および(B)と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。図15(B)に示されるように接触圧力測定部400に対して接触圧力Pが働くと、点線で示される線状電極220が実線で示される線状電極220へと押されて圧力変換素子50が圧縮され、圧力変換素子50の電気抵抗値が減少する。図15(B)に示される方形電極120等も線状電極110等と同様に、銅薄膜の貼り付けられたポリイミドフィルム(圧力変換素子50)の銅薄膜(銅厚35μm)をウェットエッチング処理による加工を行って銅箔電極の形状を作製した。図13(A)に示される片面側電極100の電極パターンおよび図13(B)に示される対面側電極200の電極パターンも同様である。

20

【0072】

次に、実施例3のセンサ装置における測定原理について説明する。図16は、標準的な2ゲージ法ブリッジ回路65を示す。図16に示される点A'、B'およびD'は図13(A)および(B)に示される点A'、B'およびD'と同じである。2ゲージ法ブリッジ回路65は実施例1の4ゲージ法ブリッジ回路60(図5参照)における抵抗値R₁をせん断応力測定部300の抵抗値Rとし、抵抗値R₄を接触圧力測定部400の抵抗値R_pとし、抵抗値R₂およびR₃を固定抵抗とした回路に相当する。即ち、2ゲージ法ブリッジ回路65は、4ゲージ法ブリッジ回路60の隣接する2辺に接触圧力測定部300(抵抗値R_p)およびせん断応力測定部400(抵抗値R)が各々配置され、別の隣接する2辺に固定抵抗(抵抗値R₂およびR₃)が各々配置された構成となっている。2ゲージ法ブリッジ回路65の接触圧力およびせん断応力が無印加状態における4辺の電気抵抗が等しくなる(R₁ = R₂ = R₃ = R₄ = R)ように平衡をとる。図16に示されるように、入力電圧Eは点C'と点D'との間に印加され、出力電圧eは点A'と点B'との間から取るものとする。ここで、2ゲージ法ブリッジ回路65の2辺(接触圧力測定部400およびせん断応力測定部300)に接続した各ゲージがひずみを受けて各抵抗値が微小変化R₁、R₄したとすると、実施例1で説明した式2においてR₂およびR₃を0とした式15が成り立つ。

30

40

【0073】

【数11】

$$e = \frac{1}{4} \left[\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right] E \quad (15)$$

50

【 0 0 7 4 】

図 1 7 は、基板上に配置した固定抵抗 R_2 、 R_3 とセンサ部分 7 5 とによる 2 ゲージ法ブリッジ回路 6 5 の回路図を示す。図 1 7 で図 1 6 と同じ符号を付した個所は同じ要素または点を示すため、説明は省略する。図 1 7 の点線内に示されるセンサ部分（センサ装置）7 5 は、図 1 3（A）に示した片面側電極 1 0 0 と図 1 3（B）に示した対面側電極 2 0 0 との間に、図 1 5（A）および（B）に示されるように圧力変換素子 5 0 を挟み込んだ状態となっている。図 1 7 に示される 2 ゲージ法ブリッジ回路 6 5 で、センサ装置 7 5 に含まれるのは抵抗 R_1 （ $= R$ ）および R_4 （ $= R_p$ ）だけであり、固定抵抗 R_2 および R_3 は基板上に配置し、センサ装置 7 5 の抵抗 R_1 および R_4 と各々接続してある。入力電圧 E は点 C' と D' との間に印加し、出力電圧 e は点 A' と B' との間から得ることとする。あるいは、入力電圧は点 A' と B' との間に印加し、出力電圧は点 C' と D' との間から得ることにしてもよい。以上により、実施例 1 と同様に考えて 2 ゲージ法ブリッジ回路 6 5 を構成することができる。

10

【 0 0 7 5 】

センサ装置 7 5 では、実施例 1 と同様に、線状電極（せん断応力測定部 3 0 0）での抵抗 R_1 はせん断応力による抵抗変化 R と接触圧力による抵抗変化 R_p とを生じ、方形電極（接触圧力測定部 4 0 0）での電気抵抗 R_4 は接触圧力による抵抗変化 R_p のみを生じる。上述したように $R_1 = R_4 = R$ であるため、式 1 5 は式 1 6 となる。式 1 6 に示されるように、接触圧力による電気抵抗変化 R_p を差し引いたせん断応力による電気抵抗変化 R のみの出力を実現することができる。つまり、センサ装置 7 5 に接触圧力およびせん断応力が印加された場合、2 ゲージ法ブリッジ回路 6 5 の出力電圧 e には接触圧力による影響が排除されているという測定原理に基づき、2 ゲージ法ブリッジ回路 6 5 の出力電圧 e とせん断応力との関係を求めておき、この関係により 2 ゲージ法ブリッジ回路 6 5 の出力電圧 e からせん断応力測定部 3 0 0 におけるせん断応力を求めることができる。

20

【 0 0 7 6 】

【 数 1 2 】

$$e = \frac{1}{4} \left[\frac{\Delta R_\tau}{R} \right] E \quad (16)$$

30

【 0 0 7 7 】

接触圧力は、図 1 7 の固定抵抗 R_3 の電圧 V を測定することにより得ることができる。固定抵抗 R_3 （抵抗値 $= R$ ）の電位（ $A'C'$ 間の電圧） V は、 R_4 つまり接触圧力測定部 4 0 0 の抵抗 R_p （ $= R + R_p$ ）の影響を受けて、式 1 7 のように変化する。

【 0 0 7 8 】

【 数 1 3 】

$$V = \frac{R}{R + R_p} E = \frac{R}{2R + \Delta R_p} E \quad (17)$$

40

【 0 0 7 9 】

接触圧力が増大すると、圧力変換素子 5 0 の性質より導電率が増大するため、 R_p は逆に減少し、 R_p は負の値をとる。この結果、式 1 7 で示される電圧 V は増大する。そこで、接触圧力と電圧 V との関係を予め測定しておくことにより、電圧 V を測定すれば当該関係より接触圧力を得ることができる。

50

【 0 0 8 0 】

以上より、本発明の実施例 3 によれば、片面側電極 1 0 0 は 2 次元 (x y) 平面の一次元 (y) 方向を向いたせん断応力を測定する線状電極 1 1 0 と、接触圧力を測定する方形電極 1 2 0 とが点 D ' で接続された形状となっている。対面側電極 2 0 0 は 2 つの線状電極 2 1 0 および 2 2 0 を有している。図 1 3 (B) に示されるように、線状電極 2 1 0 は点線楕円 K で示される部分が y 方向を向いた形状であり、端子 B ' を有している。線状電極 2 2 0 は点線楕円 L で示される部分が x 方向を向いた形状であり、端子 A ' を有している。実施例 3 のセンサ装置も実施例 1 と同様に、片面側電極 1 0 0 の線状電極 1 1 0 と対面側電極 2 0 0 の (線状電極 1 1 0 に対応する) 線状電極 2 1 0 とを線を揃わせて対面させた状態で、片面側電極 1 0 0 と対面側電極 2 0 0 との間に、導電性で薄膜状の圧力変換素子 5 0 を挟み込むことにより構成されている。せん断応力を測定するせん断応力測定部 3 0 0 は線部分 (点線円 J で示される部分と点線円 K で示される部分) を揃わせて対面させた片面側電極 1 0 0 の線状電極 1 1 0 と、圧力変換素子 5 0 と、対面側電極 2 0 0 の (線状電極 1 1 0 に対応する) 線状電極 2 1 0 とにより構成されている。接触圧力を測定する接触圧力測定部 4 0 0 は対面させた片面側電極 1 0 0 の方形電極 1 2 0 と、圧力変換素子 5 0 と、対面側電極 2 0 0 の (方形電極 1 2 0 に対応する) 線状電極 2 2 0 (点線円 L で示される部分) により構成されている。せん断応力測定部 3 0 0 に対して x 方向のせん断応力 が働くと、x 方向のせん断変形が生じる。せん断応力測定部 3 0 0 では、せん断応力 による圧力変換素子 5 0 のせん断変形により、片面側電極 1 0 0 における線状電極 1 1 0 と対面側電極 2 0 0 における線状電極 2 1 0 との間の距離が増加し、この結果、せん断応力測定部 3 0 0 の電気抵抗が増加する。接触圧力測定部 4 0 0 に対して接触圧力 P が働くと、圧力変換素子 5 0 が圧縮され、圧力変換素子 5 0 の電気抵抗値が減少する。2 ゲージ法ブリッジ回路 6 5 は、4 ゲージ法ブリッジ回路 6 0 の隣接する 2 辺に接触圧力測定部 3 0 0 (抵抗値 R_p) およびせん断応力測定部 4 0 0 (抵抗値 R) が各々配置され、別の隣接する 2 辺に固定抵抗 (抵抗値 R_2 および R_3) が各々配置された構成となっている。2 ゲージ法ブリッジ回路 6 5 の接触圧力およびせん断応力が無印加状態における 4 辺の電気抵抗が等しくなる ($R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$) ように平衡をとる。2 ゲージ法ブリッジ回路 6 5 の 2 辺 (接触圧力測定部 3 0 0 およびせん断応力測定部 4 0 0) に接続した各ゲージがひずみを受けて各抵抗値が微小変化 R_1 、 R_4 したとすると、実施例 1 で説明した式 2 において R_2 および R_3 を 0 とした式 1 5 が成り立つ。センサ装置 7 5 では、実施例 1 と同様に、線状電極 (せん断応力測定部 3 0 0) での抵抗 R_1 はせん断応力による抵抗変化 R と接触圧力による抵抗変化 R_p とを生じ、方形電極 (接触圧力測定部 4 0 0) での電気抵抗 R_4 は接触圧力による抵抗変化 R_p のみを生じる。上述したように $R_1 = R_4 = R$ であるため、式 1 5 は式 1 6 となる。式 1 6 に示されるように、接触圧力による電気抵抗変化 R_p を差し引いたせん断応力による電気抵抗変化 R のみの出力を実現することができる。つまり、センサ装置 7 5 に接触圧力およびせん断応力が印加された場合、2 ゲージ法ブリッジ回路 6 5 の出力電圧 e には接触圧力による影響が排除されているという測定原理に基づき、2 ゲージ法ブリッジ回路 6 5 の出力電圧 e とせん断応力との関係を求めておき、この関係により 2 ゲージ法ブリッジ回路 6 5 の出力電圧 e からせん断応力測定部 3 0 0 におけるせん断応力を求めることができる。接触圧力は、図 1 7 の固定抵抗 R_3 の電圧 V を測定することにより得ることができる。固定抵抗 R_3 (抵抗値 = R) の電位 (A ' C ' 間の電圧) V は、 R_4 つまり接触圧力測定部 4 0 0 の抵抗 R_p (= $R + R_p$) の影響を受けて、式 1 7 のように変化する。接触圧力が増大すると、圧力変換素子 5 0 の性質より導電率が増大するため、 R_p は逆に減少し、 R_p は負の値をとる。この結果、式 1 7 で示される電圧 V は増大する。そこで、接触圧力と電圧 V との関係を予め測定しておくことにより、電圧 V を測定すれば当該関係より接触圧力を得ることができる。

【 実施例 4 】

【 0 0 8 1 】

図 1 8 (A) は、本発明の実施例 4 のセンサ装置における片面側電極 1 5 0 および対面

10

20

30

40

50

側電極 250 の電極パターンを示す。図 18 (A) に示されるように、俯瞰すると、片面側電極 150 は 2 次元 (x y) 平面の一次元 (y) 方向を向いたせん断応力を測定する線状電極 110 x と接触圧力を測定する方形電極 120 x とが点 D x で接続され、さらに、2 次元 (x y) 平面の別の一次元 (x) 方向を向いたせん断応力を測定する線状電極 110 y と接触圧力を測定する方形電極 120 y とが点 D y で接続された形状となっている。実際の回路は線状電極 110 x および方形電極 120 x と線状電極 110 y および方形電極 120 y とが重なって構成されているが、詳細については後述する。図 18 (B) は、本発明の実施例 4 のセンサ装置における対面側電極 250 の電極パターンを示す。対面側電極 250 は、線状電極 110 x に対応する線状電極 262 と、線状電極 110 y に対応する線状電極 263 と、方形電極 120 x に対応する線状電極 261 と、方形電極 120 y に対応する線状電極 260 とを有している。図 18 (B) に示されるように、線状電極 260 および 261 は各々点線楕円 L1 および L2 で示される部分が y 方向を向いた形状であり各々、端子 A y および A x を有している。線状電極 262 は点線楕円 K x で示される部分が y 方向を向いた形状であり端子 B x を有しており、線状電極 263 は点線楕円 K y で示される部分が x 方向を向いた形状であり端子 B y を有している。図 18 (A) に示されるように方形電極 120 のサイズは $12.0 \times 12.0 \text{ mm}^2$ とし、線状電極 110 x (および 110 y) のサイズは 11 mm とした。図 18 (B) の 4 つの鉤マークに示されるように測定領域のサイズは $22 \times 22 \text{ mm}^2$ とした。しかし、これらのサイズは一例であって、本発明のセンサ装置のサイズはこれらのサイズに限定されるものではない。

10

20

【0082】

実施例 4 のセンサ装置も実施例 3 等と同様に、片面側電極 150 の線状電極 110 x と対面側電極 250 の (線状電極 110 x に対応する) 線状電極 262 とを線を揃わせて対面させ、片面側電極 150 の線状電極 110 y と対面側電極 250 の (線状電極 110 y に対応する) 線状電極 263 とを線を揃わせて対面させた状態で、片面側電極 150 と対面側電極 250 との間に、導電性で薄膜状の圧力変換素子 50 を挟み込むことにより構成されている。線を揃わせた対面は、より詳しくは点線楕円 J x で示される部分と点線楕円 K x で示される部分とを揃わせ、点線楕円 J y で示される部分と点線楕円 K y で示される部分とを揃わせるように行う。図 18 (A) に示される片面側電極 150 と図 18 (B) に示される対面側電極 250 とは点線 N について鏡像の関係となるように表されている。図 18 (A) および (B) 中の + マーク (M11、M12、M13、M14、M15、M16) は片面側電極 150 と対面側電極 250 とを圧力変換素子 50 を挟んで重ね合わせる際の位置合わせマーカーであり、電極ではない。

30

【0083】

図 19 は、上述したように片面側電極 150 の線状電極 110 y 等と対面側電極 250 の一つの線状電極 263 等とを線を揃わせて対面させた状態を俯瞰的に示す。図 19 で図 18 (A) および (B) と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。図 19 では理解の便宜のために、対面側電極 250 は点線で示す。図 19 に示されるように、片面側電極 150 の線状電極 110 x と対面側電極 250 の線状電極 262 とは、点線円 J x で示される部分と点線円 K x で示される部分とが揃うように対面させ (重ね合わせ) ている。さらに、片面側電極 150 の線状電極 110 y と対面側電極 250 の線状電極 263 とは、点線円 J y で示される部分と点線円 K y で示される部分とが揃うように対面させ (重ね合わせ) ている。x 方向のせん断応力を測定するせん断応力測定部 350 x は線部分 (点線円 J x で示される部分と点線円 K x で示される部分) を揃わせて対面させた片面側電極 150 の線状電極 110 x と、圧力変換素子 50 と、対面側電極 250 の (線状電極 110 x に対応する) 線状電極 262 とにより構成されている。y 方向のせん断応力を測定するせん断応力測定部 350 y は線部分 (点線円 J y で示される部分と点線円 K y で示される部分) を揃わせて対面させた片面側電極 150 の線状電極 110 y と、圧力変換素子 50 と、対面側電極 250 の (線状電極 110 y に対応する) 線状電極 263 とにより構成されている。接触圧力を測定する接触圧力測定部 450 x は、対面させた片面側電極 150 の方形電極 120 x と、圧力変換素子 50 と、対面側電極 250 の方形電極

40

50

120xに対応する線状電極261(点線楕円L2で示される部分)とにより構成されている。接触圧力を測定する接触圧力測定部450yは、対面させた片面側電極150の方形電極120yと、圧力変換素子50と、対面側電極250の(方形電極120yに対応する)線状電極260(点線円L1で示される部分)とにより構成されている。

【0084】

せん断応力測定部350xの垂直方向断面図は図15(A)と同様であり、せん断応力測定部350xに対してx方向のせん断応力が働くと、x方向のせん断変形が生じる。せん断応力測定部350yの垂直方向断面図も図15(A)と同様に考えることができ、せん断応力測定部350yに対してy方向のせん断応力が働くと、y方向のせん断変形が生じる。他は実施例3と同様であるため、説明は省略する。

10

【0085】

接触圧力測定部450x、450yの垂直方向断面図は図15(B)と同様であり、接触圧力測定部450x、450yに対して接触圧力Pが働くと、圧力変換素子50が圧縮され、圧力変換素子50の電気抵抗値が減少する。他は実施例3と同様であるため、説明は省略する。

【0086】

実施例4のセンサ装置における測定原理は実施例3と同様であり、図16に示される標準的な2ゲージ法ブリッジ回路65をx、y方向の各せん断応力測定用に2つ用いる。図20は、x方向のせん断応力測定用の2ゲージ法ブリッジ回路65xを示す。図20に示されるように、2ゲージ法ブリッジ回路65xでは図16の点A'、B'およびD'は図18(A)および(B)に示される点Ax、Bx、Dxとなり、図16の抵抗値 R_1 ($=R$)、 R_4 ($=R_p$)、 R_2 および R_3 は各々 R_{1x} ($=R_x$)、 R_{4x} ($=R_{px}$)、 R_{2x} および R_{3x} となる。実施例3と同様に、2ゲージ法ブリッジ回路65xの接触圧力およびせん断応力が無印加状態における4辺の電気抵抗が等しくなる($R_{1x} = R_{2x} = R_{3x} = R_{4x} = R$)ように平衡をとる。2ゲージ法ブリッジ回路65xでは、入力電圧Eは点Cxと点Dxとの間に印加され、出力電圧exは点Axと点Bxとの間から取る。

20

【0087】

図21は、y方向のせん断応力測定用の2ゲージ法ブリッジ回路65yを示す。図21に示されるように、2ゲージ法ブリッジ回路65yでは図16の点A'、B'およびD'は図18(A)および(B)に示される点Ay、By、Dyとなり、図16の抵抗値 R_1 ($=R$)、 R_4 ($=R_p$)、 R_2 および R_3 は各々 R_{1y} ($=R_y$)、 R_{4y} ($=R_{py}$)、 R_{2y} および R_{3y} となる。実施例3と同様に、2ゲージ法ブリッジ回路65yの接触圧力およびせん断応力が無印加状態における4辺の電気抵抗が等しくなる($R_{1y} = R_{2y} = R_{3y} = R_{4y} = R$)ように平衡をとる。2ゲージ法ブリッジ回路65yでは、入力電圧Eは点Cyと点Dyとの間に印加され、出力電圧eyは点Ayと点Byとの間から取る。即ち、2ゲージ法ブリッジ回路65xと2ゲージ法ブリッジ回路65yとにおいて、入力電圧Eは共通となるようにとる。各2ゲージ法ブリッジ回路65xおよび2ゲージ法ブリッジ回路65yの2辺(接触圧力測定部350x、350yおよびせん断応力測定部450x、450y)に接続した各ゲージがひずみを受けて各抵抗値が微小変化 R_{1x} 、 R_{4x} 、 R_{1y} 、 R_{4y} したとすると、実施例3で説明した式15が、各2ゲージ法ブリッジ回路65xおよび2ゲージ法ブリッジ回路65yにおいて成り立つ。

30

40

【0088】

図22は、基板上に配置した固定抵抗 R_{2x} 、 R_{3x} とセンサ部75xとによる2ゲージ法ブリッジ回路65xの回路図を示す。図22で図18(A)、(B)および図20と同じ符号を付した個所は同じ要素または点を示すため、説明は省略する。図22に示される2ゲージ法ブリッジ回路65xは、基本的には図17に示される2ゲージ法ブリッジ回路65と同じである。図17に示される2ゲージ法ブリッジ回路65では線状電極210と方形電極120とが点D'で図示されるように接続されていたが、図22に示される2ゲージ法ブリッジ回路65xでは線状電極262と方形電極120xとが点Dxで図示さ

50

れるように（鉤状に）接続されている。これは、線状電極と方形電極との接続方法のバリエーションの違いであって、 x 方向のせん断応力を測定可能であれば他の接続方法を用いてもよい。図22に示されるセンサ装置75xにおいても、実施例3と同様に式16が成り立つ。但し、式16の出力電圧 e は e_x となり、 R は R_x となる。つまり、接触圧力 P による電気抵抗変化 R_{p_x} を差し引いたせん断応力による電気抵抗変化 R_x のみの出力を実現することができる。実施例3と同様に、センサ装置75xに接触圧力およびせん断応力が印加された場合、2ゲージ法ブリッジ回路65xの出力電圧 e_x には接触圧力による影響が排除されているという測定原理に基づき、2ゲージ法ブリッジ回路65xの出力電圧 e_x とせん断応力との関係を求めておき、この関係により2ゲージ法ブリッジ回路65xの出力電圧 e_x からせん断応力測定部350xにおけるせん断応力を求めることができる。

10

【0089】

接触圧力も実施例3と同様に、図22の固定抵抗 R_{3_x} の電圧 V_x を測定することにより得ることができる。固定抵抗 R_{3_x} （抵抗値 $=R$ ）の電位（ $A_x C_x$ 間の電圧） V_x は、 R_{4_x} つまり接触圧力測定部450xの抵抗 R_{p_x} （ $=R + R_{p_x}$ ）の影響を受けて、上述した式17のように変化する。但し、式17で V は V_x となり、 R_p は R_{p_x} となる。実施例3と同様に、接触圧力が増大すると、圧力変換素子50の性質より導電率が增大するため、 R_{p_x} は逆に減少し、 R_{p_x} は負の値をとる。この結果、電圧 V_x は増大する。そこで、接触圧力と電圧 V_x との関係を予め測定しておくことにより、電圧 V_x を測定すれば当該関係より接触圧力を得ることができる。

20

【0090】

図23は、基板上に配置した固定抵抗 R_{2_y} 、 R_{3_y} とセンサ部75yとによる2ゲージ法ブリッジ回路65yの回路図を示す。図23で図18（A）、（B）および図21と同じ符号を付した個所は同じ要素または点を示すため、説明は省略する。図23に示される2ゲージ法ブリッジ回路65yは、 y 方向のせん断応力を測定するという点が異なるだけで基本的には図22に示される2ゲージ法ブリッジ回路65xと同じである。図23に示されるセンサ装置75yにおいても、実施例3と同様に式16が成り立つ。但し、式16の出力電圧 e は e_y となり、 R は R_y となる。つまり、接触圧力 P による電気抵抗変化 R_{p_y} を差し引いたせん断応力による電気抵抗変化 R_y のみの出力を実現することができる。実施例3と同様に、センサ装置75yに接触圧力およびせん断応力が印加された場合、2ゲージ法ブリッジ回路65yの出力電圧 e_y には接触圧力による影響が排除されているという測定原理に基づき、2ゲージ法ブリッジ回路65yの出力電圧 e_y とせん断応力との関係を求めておき、この関係により2ゲージ法ブリッジ回路65yの出力電圧 e_y からせん断応力測定部350yにおけるせん断応力を求めることができる。

30

【0091】

接触圧力も実施例3と同様に、図23の固定抵抗 R_{3_y} の電圧 V_y を測定することにより得ることができる。固定抵抗 R_{3_y} （抵抗値 $=R$ ）の電位（ $A_y C_y$ 間の電圧） V_y は、 R_{4_y} つまり接触圧力測定部450yの抵抗 R_{p_y} （ $=R + R_{p_y}$ ）の影響を受けて、上述した式17のように変化する。但し、式17で V は V_y となり、 R_p は R_{p_y} となる。実施例3と同様に、接触圧力が増大すると、圧力変換素子50の性質より導電率が增大するため、 R_{p_y} は逆に減少し、 R_{p_y} は負の値をとる。この結果、電圧 V_y は増大する。そこで、接触圧力と電圧 V_y との関係を予め測定しておくことにより、電圧 V_y を測定すれば当該関係より接触圧力を得ることができる。

40

【0092】

図24は、2ゲージ法ブリッジ回路65xと2ゲージ法ブリッジ回路65yとを入力電圧（電源） E を共通にして重ね合わせた2ゲージ法ブリッジ回路65xyを示す。図24で図22および図23と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。図24に示されるように、センサ装置75xyは、片面側電極150等の線状電極110xの向きが2次元（ xy ）平面の一次元方向（ y 方向）を向いたセンサ装置75xと、片面側電極150等の線状電極110yの向きが2次元平面の別の一次元方向（ x 方向）を

50

向いたセンサ装置 75 y とを、各 2 ゲージ法ブリッジ回路 65 x および 65 y の電源 E を共通にして重ね合わせたものと考えることができる。1つのセンサ装置 75 x y 内には2つのセンサ装置 75 x および 75 y の各抵抗 (R_{1x} 、 R_{4x})、(R_{1y} 、 R_{4y}) を含む。2ゲージ法ブリッジ回路で2次元 (xy) 方向のせん断応力を測定する時は、独立した2つのセンサ装置 75 x および 75 y が存在する1つのセンサ装置 75 x y を用いることになる。但し、 R_{4x} (R_{px}) と R_{4y} (R_{py}) とが全く等しいとみなすことができるならば、 R_{4x} と R_{3x} との直列回路または R_{4y} と R_{3y} との直列回路のどちらかを2つの2ゲージ法ブリッジ回路 65 x、65 y に共通して用い、残りの方を省略することができる。

【0093】

以上より、本発明の実施例 4 によれば、センサ装置は実施例 3 等と同様に、片面側電極 150 の線状電極 110 x と対面側電極 250 の一つの線状電極 262 とを線を揃わせて対面させ、片面側電極 150 の線状電極 110 y と対面側電極 250 の線状電極 110 y に対応する線状電極 263 とを線を揃わせて対面させた状態で、片面側電極 150 と対面側電極 250 との間に、導電性で薄膜状の圧力変換素子 50 を挟み込むことにより構成されている。x 方向のせん断応力を測定するせん断応力測定部 350 x は線部分 (点線円 J x で示される部分と点線円 K x で示される部分) を揃わせて対面させた片面側電極 150 の線状電極 110 x と、圧力変換素子 50 と、対面側電極 250 の (線状電極 110 x に対応する) 線状電極 262 とにより構成されている。y 方向のせん断応力を測定するせん断応力測定部 350 y は線部分 (点線円 J y で示される部分と点線円 K y で示される部分) を揃わせて対面させた片面側電極 150 の線状電極 110 y と、圧力変換素子 50 と、対面側電極 250 の (線状電極 110 y に対応する) 線状電極 263 とにより構成されている。接触圧力を測定する接触圧力測定部 450 x は、対面させた片面側電極 150 の方形電極 120 x と、圧力変換素子 50 と、対面側電極 250 の (方形電極 120 x に対応する) 線状電極 261 (点線円 L 2 で示される部分) とにより構成されている。接触圧力を測定する接触圧力測定部 450 y は、対面させた片面側電極 150 の方形電極 120 y と、圧力変換素子 50 と、対面側電極 250 の (方形電極 120 y に対応する) 線状電極 260 (点線円 L 1 で示される部分) とにより構成されている。せん断応力測定部 350 x に対して x 方向のせん断応力が働くと、x 方向のせん断変形が生じる。せん断応力測定部 350 y に対して y 方向のせん断応力が働くと、y 方向のせん断変形が生じる。接触圧力測定部 450 x、450 y に対して接触圧力 P が働くと、圧力変換素子 50 が圧縮され、圧力変換素子 50 の電気抵抗値が減少する。

【0094】

実施例 4 のセンサ装置における測定原理は実施例 3 と同様であり、2ゲージ法ブリッジ回路 65 を x、y 方向の各せん断応力測定用に2つ用いる。2ゲージ法ブリッジ回路 65 x の接触圧力およびせん断応力が無印加状態における4辺の電気抵抗が等しくなる ($R_{1x} = R_{2x} = R_{3x} = R_{4x} = R$) ように平衡をとる。2ゲージ法ブリッジ回路 65 x では、入力電圧 E は点 C x と点 D x との間に印加され、出力電圧 e_x は点 A x と点 B x との間から取る。2ゲージ法ブリッジ回路 65 y の接触圧力およびせん断応力が無印加状態における4辺の電気抵抗が等しくなる ($R_{1y} = R_{2y} = R_{3y} = R_{4y} = R$) ように平衡をとる。2ゲージ法ブリッジ回路 65 y では、入力電圧 E は点 C y と点 D y との間に印加され、出力電圧 e_y は点 A y と点 B y との間から取る。即ち、2ゲージ法ブリッジ回路 65 x と2ゲージ法ブリッジ回路 65 y とにおいて、入力電圧 E は共通となるようにとる。各2ゲージ法ブリッジ回路 65 x および 65 y においても実施例 3 で説明した式 15 が成り立つ。センサ装置 75 x および 75 y においても、実施例 3 と同様に式 16 が成り立つ。接触圧力も実施例 3 と同様に、固定抵抗 R_{3x} 、 R_{3y} の電圧 V_x 、 V_y を測定することにより得ることができる。固定抵抗 R_{3x} 、 R_{3y} (抵抗値 = R) の電位 V_x 、 V_y は、式 17 のように変化する。センサ装置 75 x y は、片面側電極 150 等の線状電極 110 x の向きが2次元 (xy) 平面の一次元方向 (y 方向) を向いたセンサ装置 75 x と、片面側電極 150 等の線状電極 110 y の向きが2次元平面の別の一次元方向 (x 方向)

10

20

30

40

50

を向いたセンサ装置 75 y とを、各 2 ゲージ法ブリッジ回路 65 x および 65 y の電源 E を共通にして重ね合わせたものと考えることができる。1つのセンサ装置 75 x y 内には 2つのセンサ装置 75 x および 75 y の各抵抗 (R_{1x} 、 R_{4x})、(R_{1y} 、 R_{4y}) を含む。2ゲージ法ブリッジ回路で 2次元 (xy) 方向のせん断応力を測定する時は、独立した 2つのセンサ装置 75 x および 75 y が存在する 1つのセンサ装置 75 x y を用いることになる。但し、 R_{4x} (R_{px}) と R_{4y} (R_{py}) とが全く等しいとみなすことができるならば、 R_{4x} と R_{3x} との直列回路または R_{4y} と R_{3y} との直列回路のどちらかを 2つの 2ゲージ法ブリッジ回路 65 x、65 y に共通して用い、残りの方を省略することができる。

【実施例 5】

10

【0095】

図 25 (A) は、実施例 4 のセンサ装置 75 x y を複数個接続して所定の配置を行った接触圧力およびせん断応力の分布測定装置 300 における片面側電極 170 の電極パターンを示す。図 25 (A) に示されるように、4つのセンサ装置 75 x y 1ないし 75 x y 4 が四辺形状に配置 (所定の配置) されて接続されている。所定の配置として他の形状の配置を用いることができることは勿論であり、センサ装置 75 x y の個数も 4個に限定されるものではない。センサ装置 75 x y 1 は x 方向のせん断応力を測定する線状電極 110 x 1 と、y 方向のせん断応力を測定する線状電極 110 y 1 と、接触圧力を測定する方形電極 450 x 1 および 450 y 1 とを有している。図面の都合上、他の電極の符号は省略するが、他のセンサ装置 75 x y 2 等も同様に x 方向のせん断応力を測定する線状電極と y 方向のせん断応力を測定する線状電極と接触圧力を測定する方形電極とを有している。

20

【0096】

図 25 (B) は、分布測定装置 300 における対面側電極 270 の電極パターンを示す。図 25 (A) に示される片面側電極 170 と図 25 (B) に示される対面側電極 270 とは点線 N について鏡像の関係となるように表されている。図 25 (B) に示されるように、対面側電極 270 は x 方向のせん断応力を測定する線状電極 110 x 1 等に対応する y 方向の線状電極と、y 方向のせん断応力を測定する線状電極 110 y 1 等に対応する x 方向の線状電極とを有している。さらに対面側電極 270 は接触圧力を測定する方形電極 450 x 1 等および 450 y 1 等に対応する y 方向の線状電極を有している。線状電極部 R のみ x 方向の線状電極となっている理由は、接触圧力測定用の対面側電極は xy 方向が測定に無関係であるため、x 方向にすることで対面側電極の取り回し形状の複雑化を防ぐことを目的としたからである。接触圧力測定用の対面側電極は xy 方向が測定に無関係であるという点は、図 14 の線状電極 270 が x 方向であり、図 19 の線状電極 260 および 261 が y 方向であることにも示されている。

30

【0097】

以上より、本発明の実施例 5 によれば、実施例 4 のセンサ装置 75 x y を複数個接続して四辺形状に配置 (所定の配置) することにより、接触圧力およびせん断応力の分布測定装置 300 を構成することができる。

【0098】

40

2ゲージ法ブリッジ回路の実験 (実験 4 ~ 10) .

せん断応力に対する本発明のセンサ装置 75 x y の構造の有効性と、接触圧力およびせん断応力を同時に測定できるセンサ装置 75 x y の有効性を検討するために、作製したセンサ装置 75 x y に対して接触圧力およびせん断応力の負荷実験を行った。本実験においても 4ゲージ法ブリッジ回路の実験と同じ較正装置 90 を用いた。図 26 は、図 8 に示される較正装置 90 を用いてセンサ装置 75 x y に加えられる接触圧力およびせん断応力の方向を示す。図 26 で図 8 と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。

【0099】

結果および考察 .

50

実験 4 .

図 2 7 は、センサ装置 7 5 x y にアクチュエータ 9 1 による接触圧力を作用させた際の接触圧力と電圧との関係（キャリブレーションカーブ）を示すグラフである。図 2 7 で、横軸は接触圧力（k P a）、縦軸は上述した図 2 2 および図 2 3 における電圧 V_x 、 V_y （V）である。図 2 7 に示されるように、x 方向のせん断応力は 0 k P a（青菱形で示す。）、5 k P a（赤四角で示す。）、1 0 k P a（緑三角で示す。）と大きさを変化させたにもかかわらず、接触圧力の変化に応じて電圧 V_x 等が上昇している。

【 0 1 0 0 】

実験 5 .

図 2 8 は、センサ装置 7 5 x y にアクチュエータ 9 2 または 9 3 による x 方向のせん断応力を作用させた際のせん断応力と出力電圧 e との関係（キャリブレーションカーブ）を示すグラフである。図 2 8 で、横軸は x 方向のせん断応力（k P a）、縦軸は出力電圧 e（V）である。図 2 8 に示されるように、接触圧力は 5 k P a（青菱形で示す。）、1 0 k P a（赤四角で示す。）、1 5 k P a（緑三角で示す。）と大きさを変化させたにもかかわらず、x 方向のせん断応力に対する出力電圧 e の関係は変化しなかった。これにより、接触圧力の影響を排除した x 方向のせん断応力の測定が可能であることがわかる。

10

【 0 1 0 1 】

実験 6 .

図 2 9 は、センサ装置 7 5 x y にアクチュエータ 9 2 または 9 3 による y 方向のせん断応力を作用させた際のせん断応力と出力電圧 e との関係（キャリブレーションカーブ）を示すグラフである。図 2 9 で、横軸は y 方向のせん断応力（k P a）、縦軸は出力電圧 e（V）である。図 2 9 に示されるように、接触圧力は 5 k P a（青菱形で示す。）、1 0 k P a（赤四角で示す。）、1 5 k P a（緑三角で示す。）と大きさを変化させたにもかかわらず、y 方向のせん断応力に対する出力電圧 e の関係は変化しなかった。これにより、接触圧力の影響を排除した y 方向のせん断応力の測定が可能であることがわかる。

20

【 0 1 0 2 】

実験 7 .

図 3 0 は、センサ装置 7 5 x y にアクチュエータ 9 2 または 9 3 による正負の x 方向のせん断応力を作用させた際のせん断応力と出力電圧 e との関係（キャリブレーションカーブ）を示すグラフである。図 3 0 で、横軸は正負の x 方向のせん断応力（k P a）、縦軸は出力電圧 e（V）であり、正方向のせん断応力は青菱形、負方向のせん断応力は赤四角で示す。図 3 0 に示されるように、正負のいずれの方向においてもほぼ同様の性質を示すことがわかる。

30

【 0 1 0 3 】

実験 8 .

実験 7 の結果から次のことが明らかである。すなわち、上下で揃わせる楕円線状電極を初期の状態、ちょうど揃ったところを基準としそこからわずかに平行にずらすことにより、図 3 1（A）に示されるように、楕円線状電極 3 0 0 と 3 1 0 との間隔が広がる方向 x_i に加え、狭まる方向 x_j もできるため、楕円線状電極 3 0 0 および 3 1 0 の垂直方向に沿ったせん断方向の正負を図 3 1（B）に示されるように検知することが可能である。

40

【 0 1 0 4 】

実験 9 .

図 3 2 は、センサ装置 7 5 x y にアクチュエータ 9 1 による接触圧力を負荷した状態でアクチュエータ 9 2 または 9 3 による x、y 方向のせん断応力を順次作用させたときの測定結果を示すグラフである。図 3 2 で、横軸は時間（秒）、縦軸は接触圧力（k P a）および x、y 方向のせん断応力（k P a）である。図 3 2 に示されるように、接触圧力（青菱形で示す。）、x 方向せん断応力（赤四角で示す。）および y 方向せん断応力（緑三角で示す。）は、各々独立して測定できていることがわかる。

【 0 1 0 5 】

実験 1 0 .

50

図33(A)および(B)は、分布測定装置300の実験のために作製した実験装置400を示す。図33(A)に示されるように、分布測定装置300を軸430を介して2枚の亚克力板410と420とで挟み、下部の亚克力板420に力Fを加えて回旋させることにより、一様でないせん断応力を分布測定装置300に負荷させることができる。図33(B)は分布測定装置300を軸430を介して2枚の亚克力板410と420とで挟み込んだ状態の断面図であり、図33(A)と同じ符号を付した個所は同じ要素を示すため、説明は省略する。

【0106】

図34(A)は、分布測定装置300の4つの電極であり、電極1ないし4は各々図25(A)に示されるセンサ装置75×y1ないし75×y4に対応している。図34(B)は、実験装置400を用いてせん断応力を分布測定装置300に印加しx方向のせん断応力を測定した結果を示すグラフである。図34(B)で、横軸は実験装置400の回旋に要した力F(N)、縦軸は測定されたx方向のせん断応力(kPa)である。図34(B)に示されるように、回旋の外側となる電極4(紫×で示す。)で大きなせん断応力が測定され、回旋の内側となる電極1(青菱形で示す。)で小さなせん断応力が測定された。電極2(赤四角で示す。)および電極3(緑三角で示す。)は、電極1と4との間の大きさのせん断応力が測定された。以上により、分布測定装置300に印加されたせん断応力の分布が測定できたことがわかる。

【産業上の利用可能性】

【0107】

本発明の活用例として、生体内のせん断応力および接触圧力を直接測定することへ適用することができる。

【符号の説明】

【0108】

10、100、150、170 片面側電極、 11a、11a-1、11a-2、11a-3、11b、21a、21a-1、21a-2、21a-3、21b、21c、21c-1、21c-2、21c-3、21d 楕形電極、 12a、12b、120、120x、120y 方形電極、 20、200、250、270 対面側電極、 30、30'、300、350x、350y せん断応力測定部、 40、40'、400、450x、450x1、450y、450y1 接触圧力測定部、 50 圧力変換素子、 60 4ゲージ法ブリッジ回路、 65、65x、65y、65xy 2ゲージ法ブリッジ回路、 70、75、75x、75y、75xy、75xy1、75xy2、75xy3、75xy4 センサ装置、 81、82 電圧計、 90 較正装置、 91 接触圧力用のアクチュエータ、 92、93 xy方向のせん断応力用のアクチュエータ、 94 X-Yステージ、 95 圧縮型ロードセル、 110、110x、110x1、110y、110y1、210、220、260、261、262、263、300、310 線状電極、 400 実験装置、 410、420 亚克力板、 430 軸。

【先行技術文献】

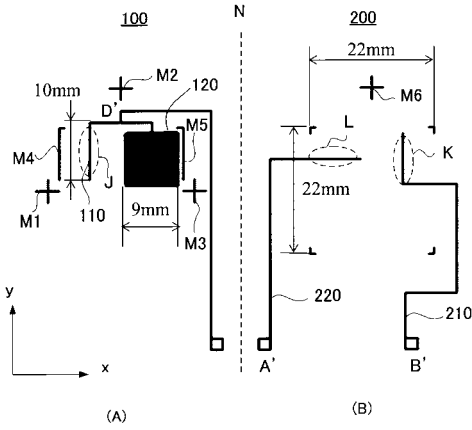
【非特許文献】

【0109】

【非特許文献1】Narita, J., Sasagawa, K., Miyata, H. and Toh, S., Development of Measurement System of Contact Pressure Distribution in Human Small Joint, Journal of Biomechanics, Vol. 39, Supplement 1, (2006), pp.S81.

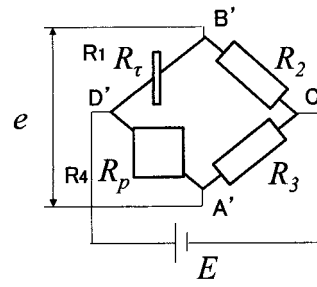
【非特許文献2】Lin, W., and Beebe, D. J., A Silicon-based Shear Force Sensor: Development and Characterization, Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 84, Issue 1-2, (2000), pp. 33-44.

【 図 1 3 】

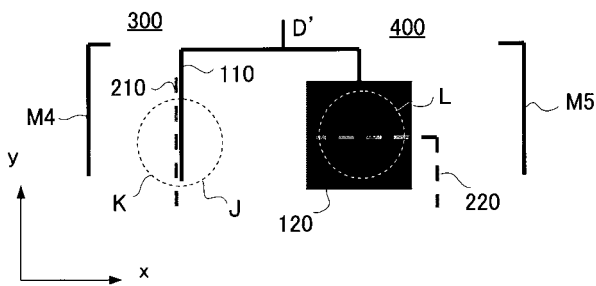


【 図 1 6 】

65

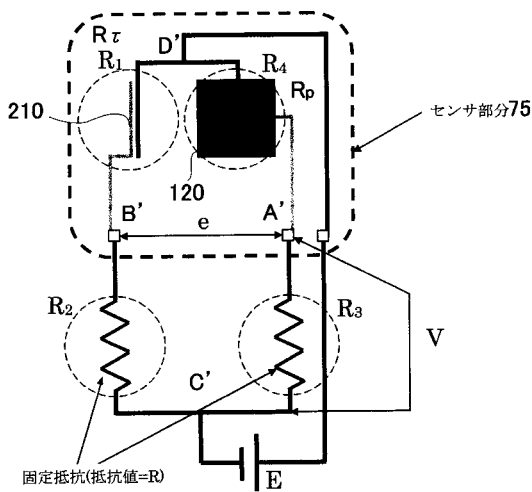


【 図 1 4 】

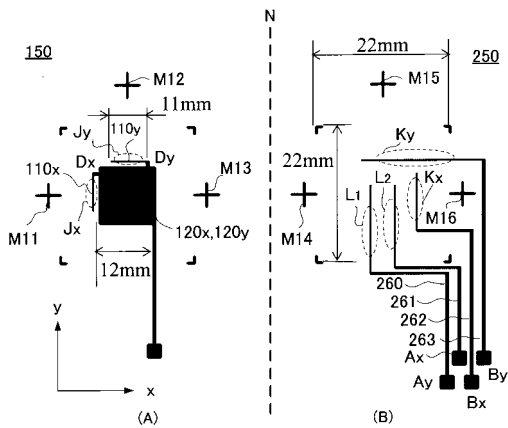


【 図 1 7 】

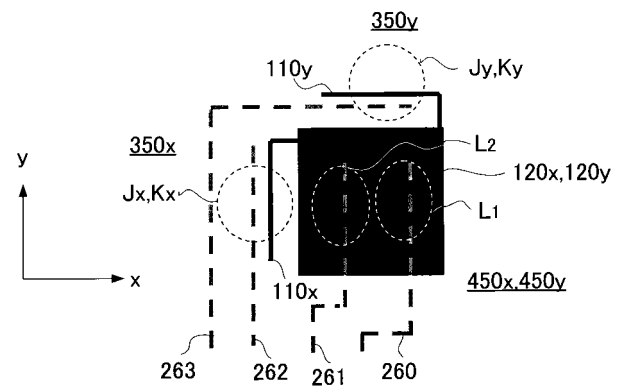
65



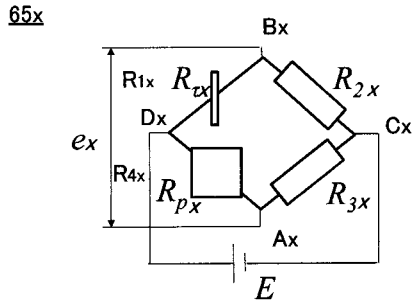
【 図 1 8 】



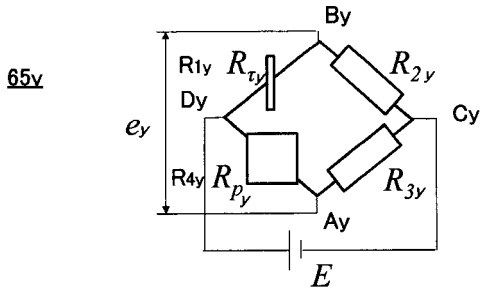
【 図 1 9 】



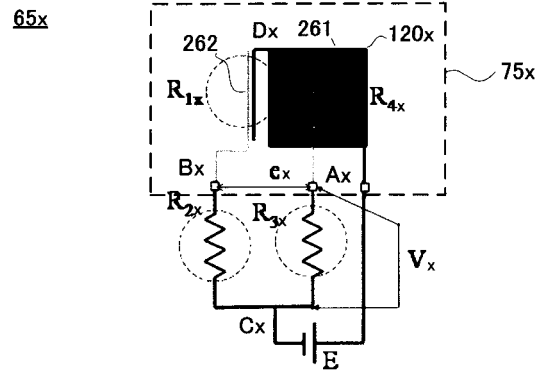
【 図 2 0 】



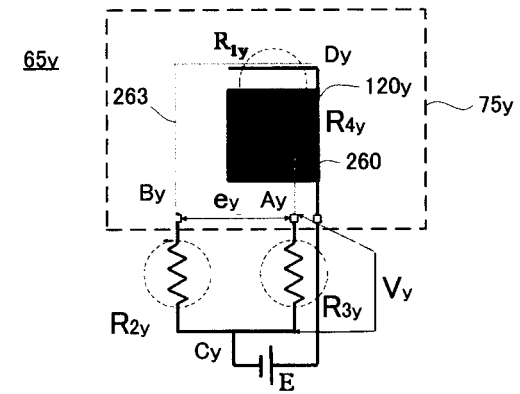
【 図 2 1 】



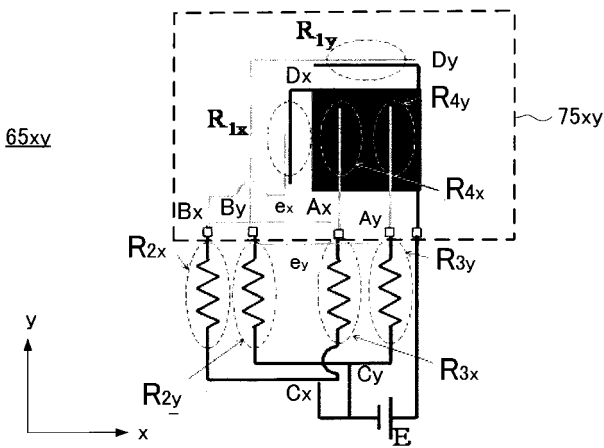
【 図 2 2 】



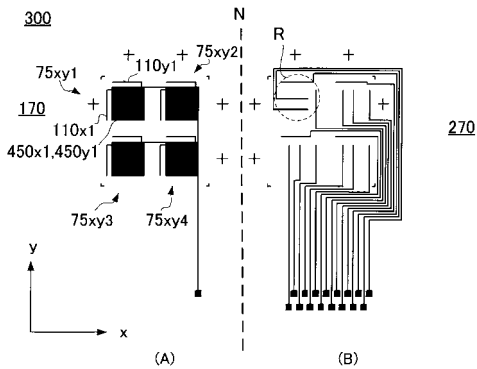
【 図 2 3 】



【 図 2 4 】

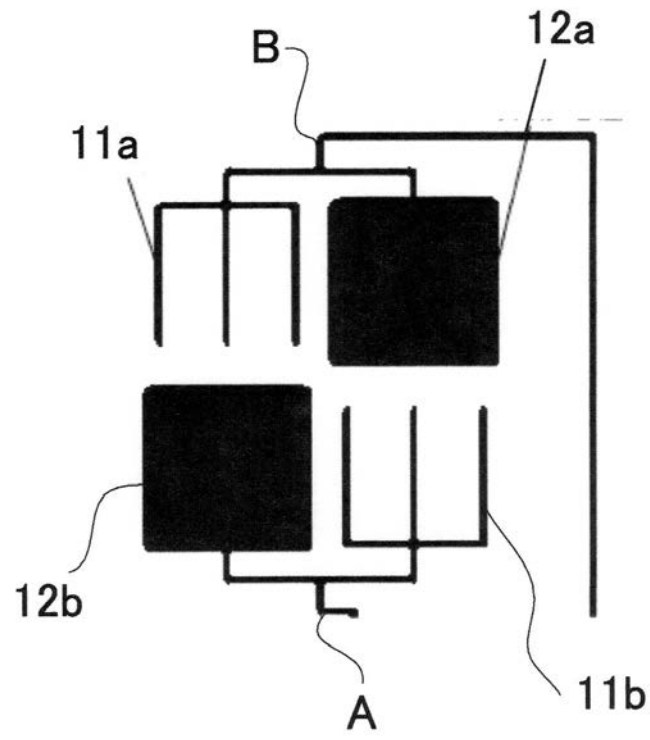


【 図 2 5 】



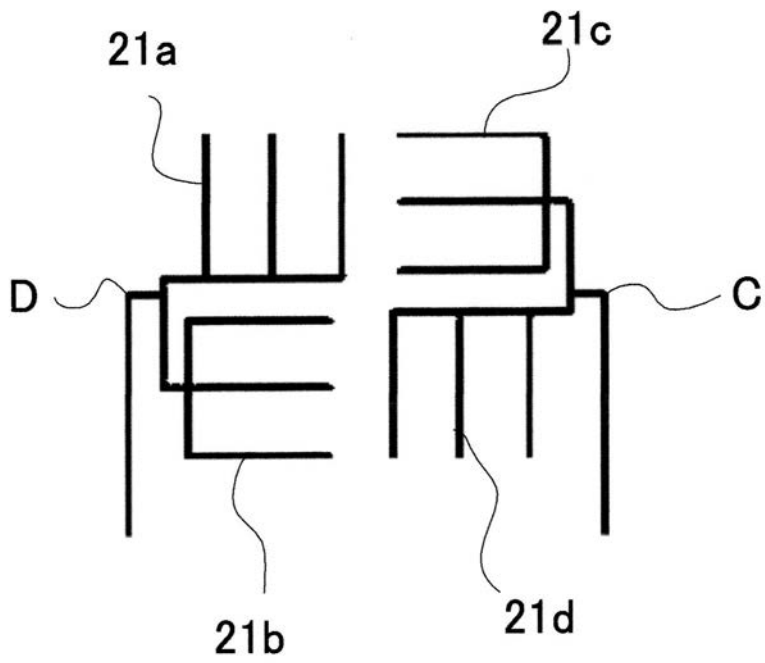
【図1】

10



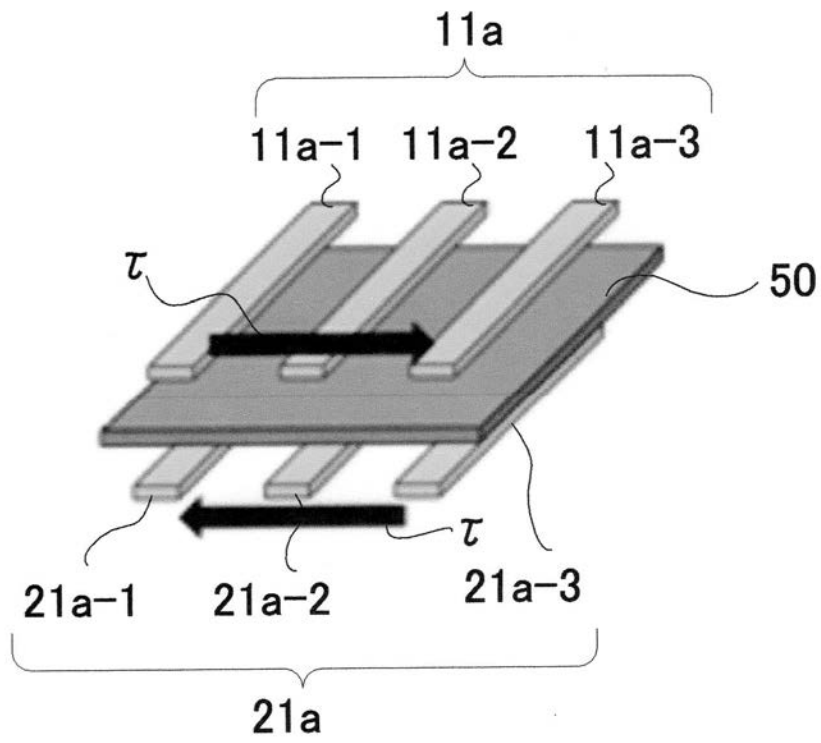
【図2】

20



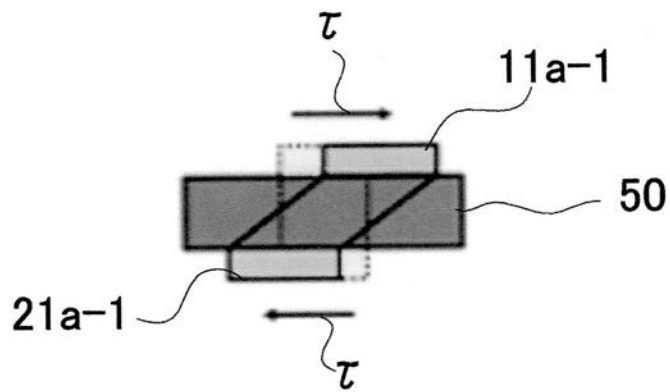
【 図 3 (A) 】

30



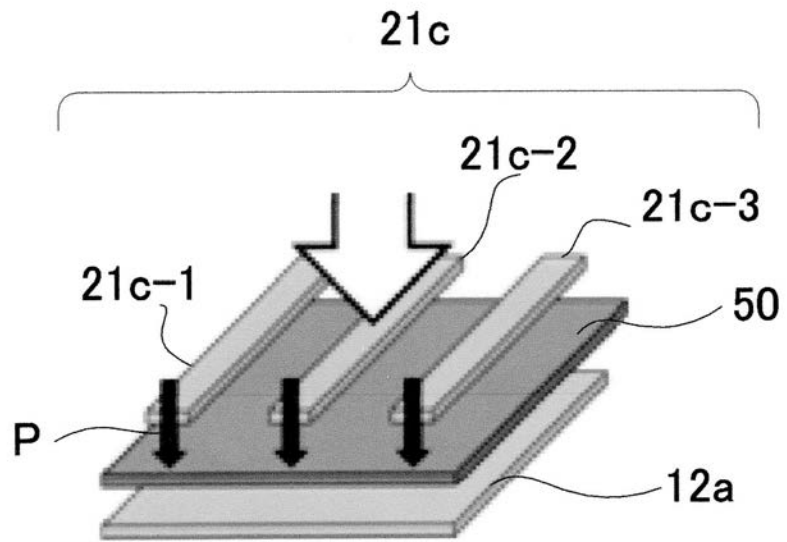
【 図 3 (B) 】

30



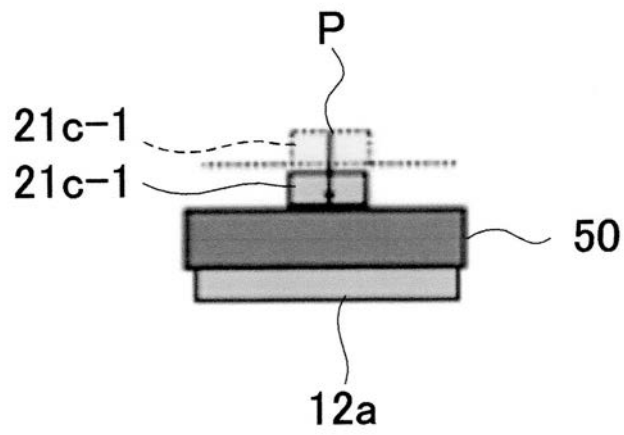
【 図 4 (A) 】

40



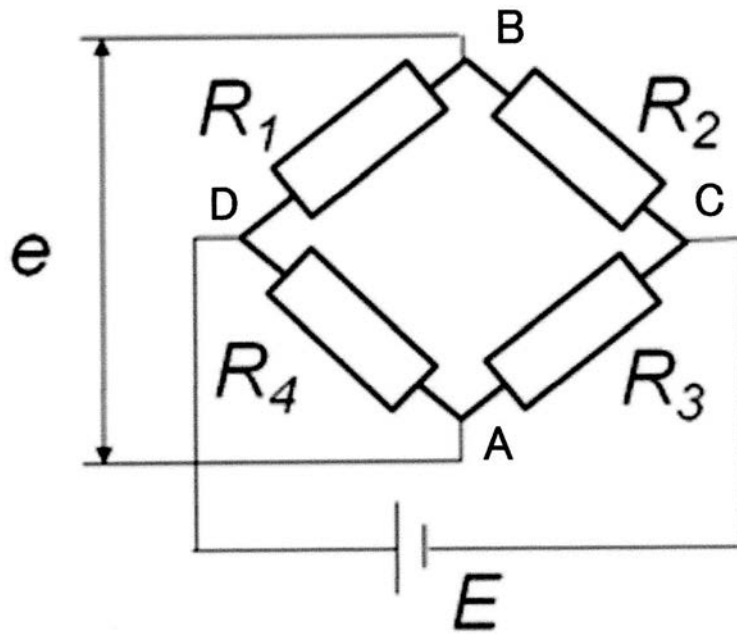
【 図 4 (B) 】

40



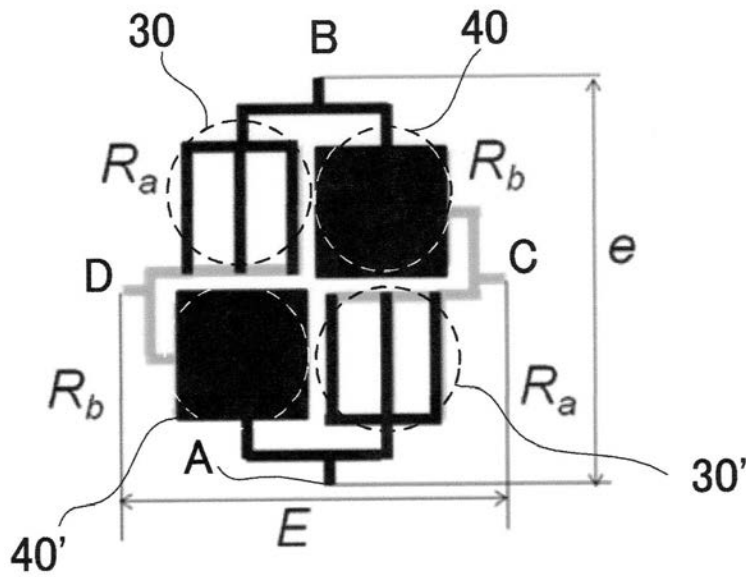
【 図 5 】

60

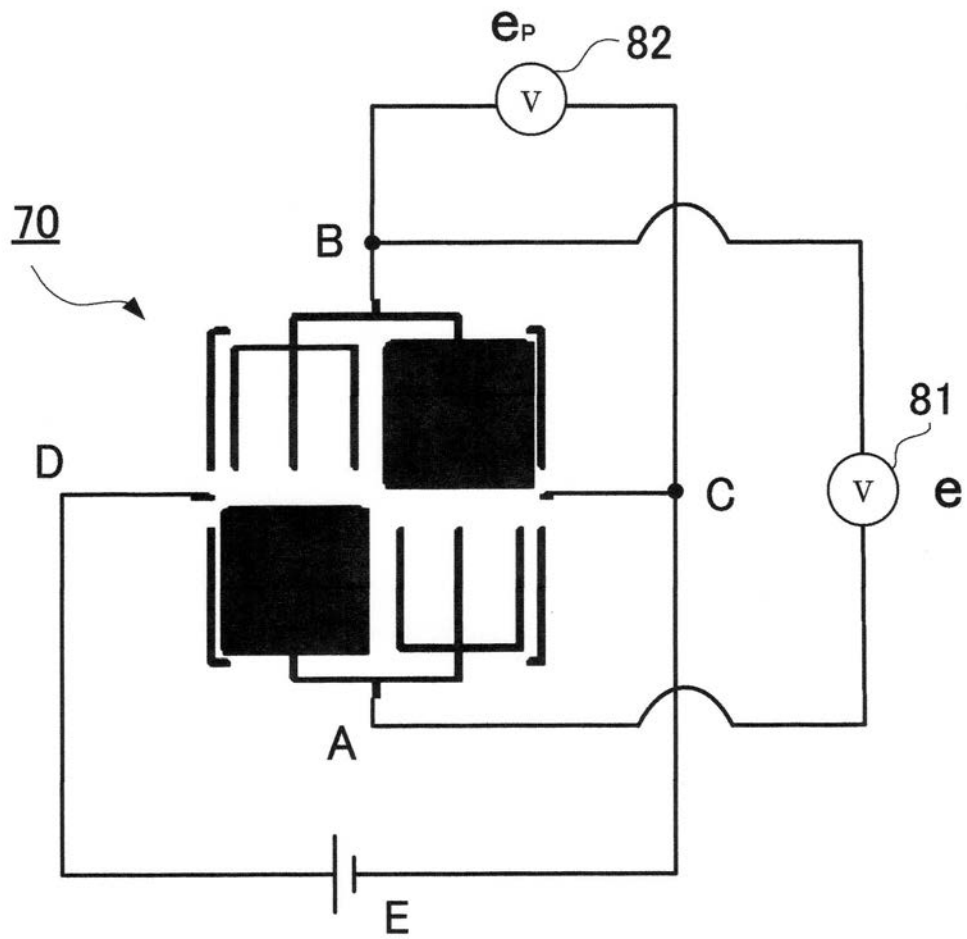


【 図 6 】

70

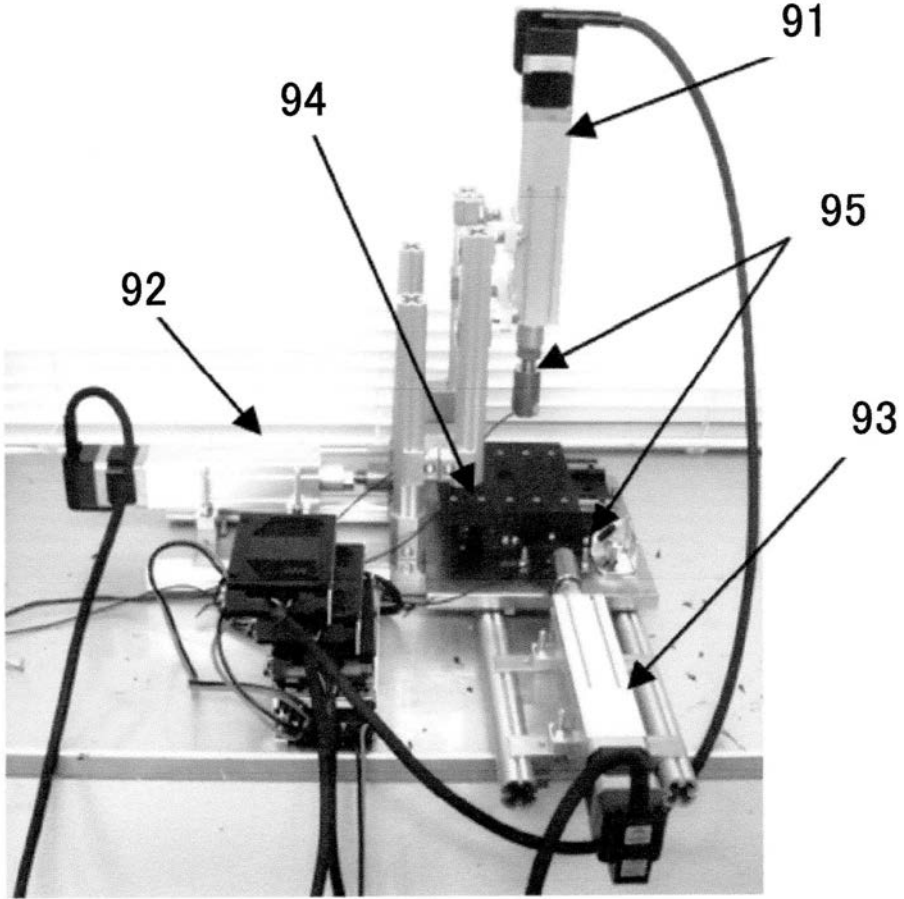


【 図 7 】

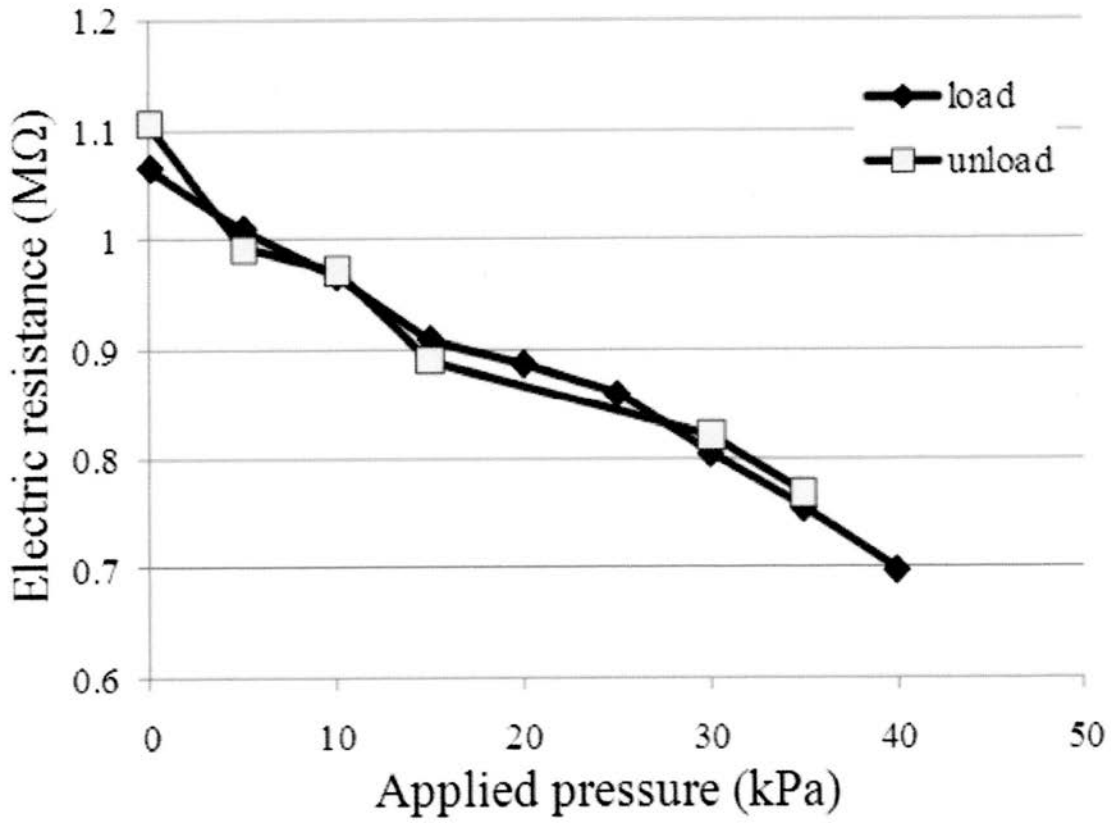


【 図 8 】

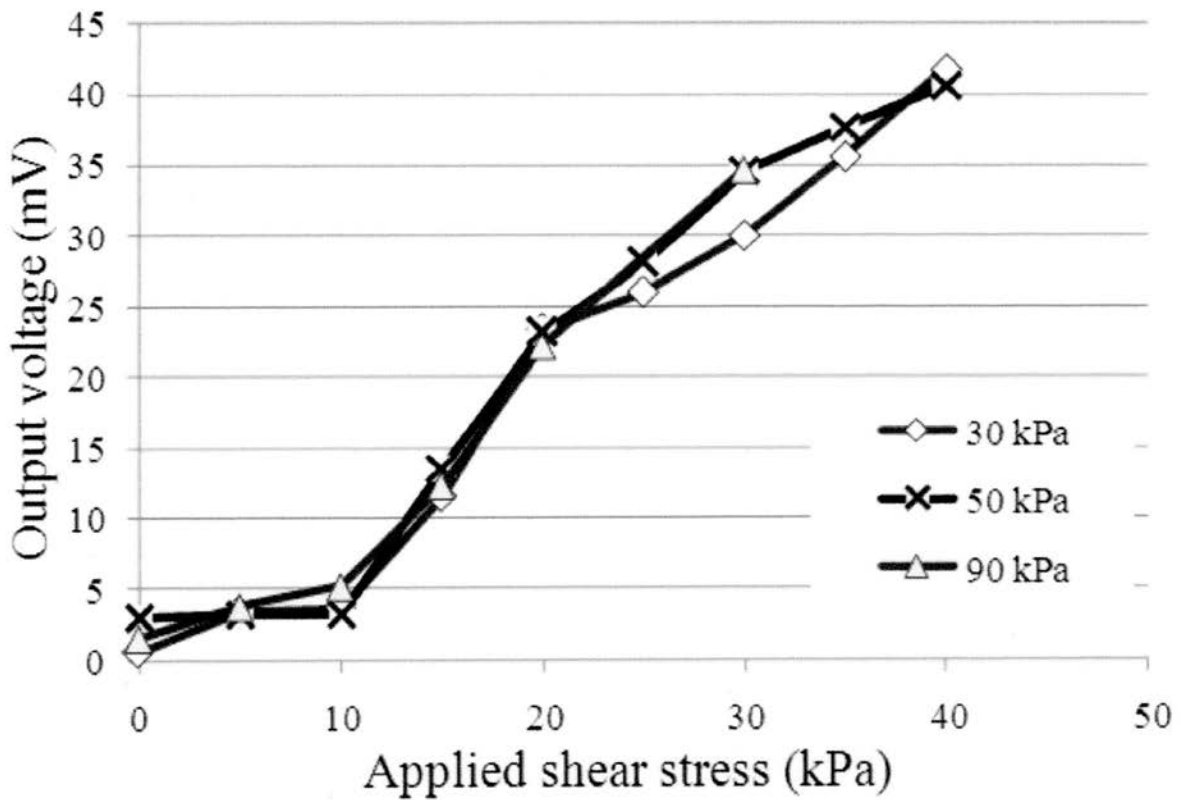
90



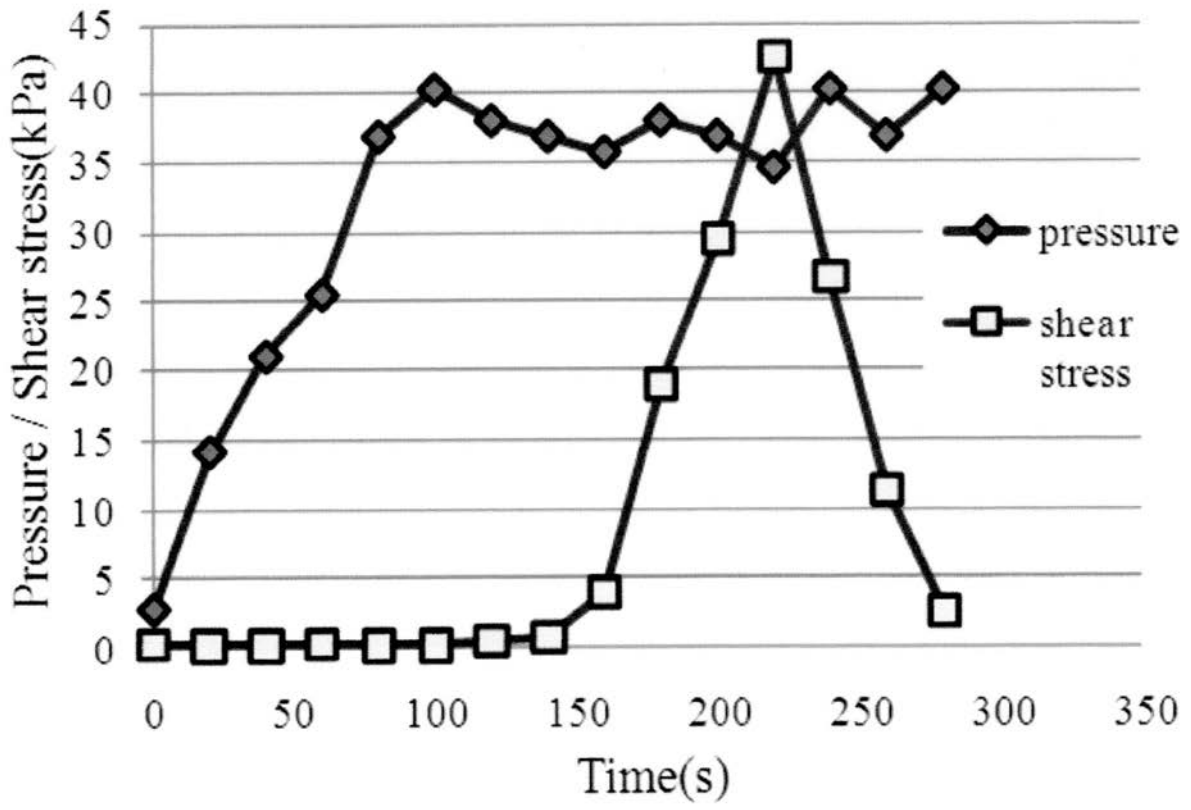
【 図 9 】



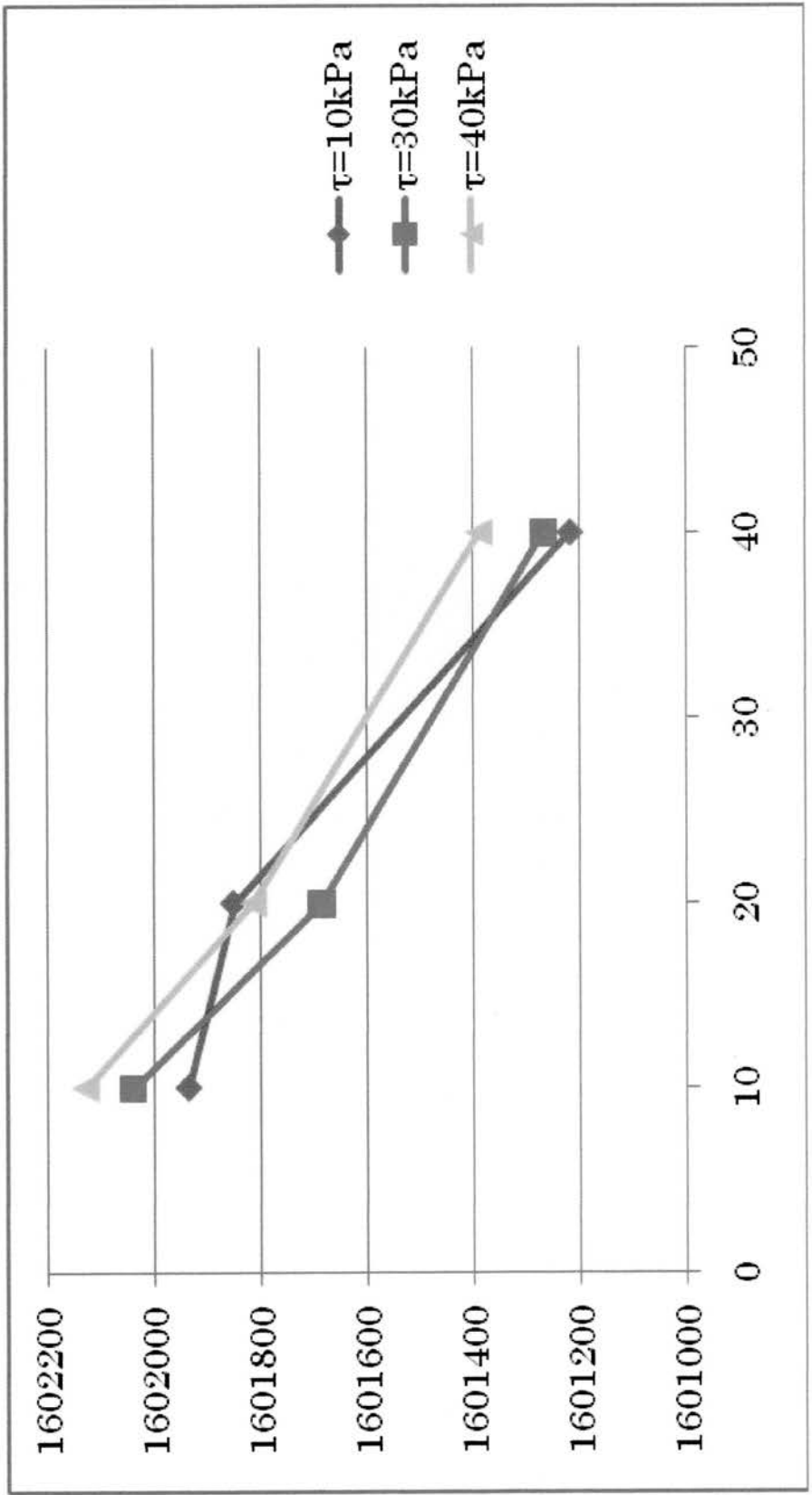
【 図 10 】



【 図 1 1 】



【图 1 2】

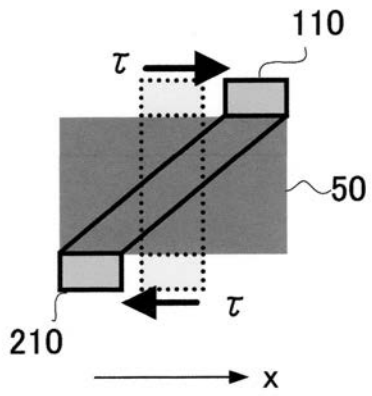


接触压力(kPa)

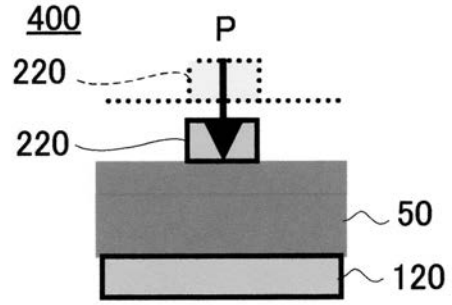
抵抗值(Ω)

【図 15】

300

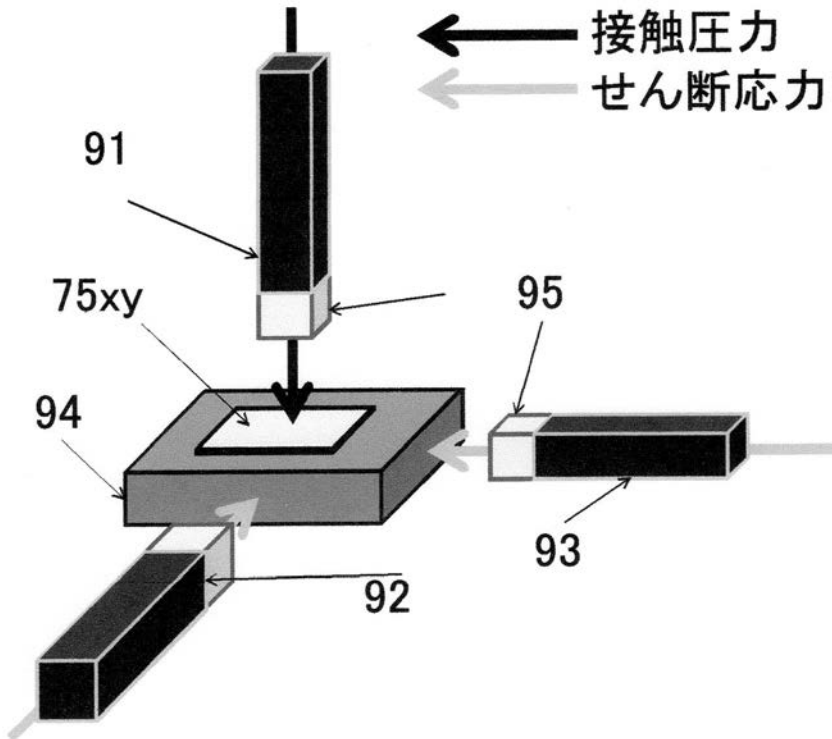


(A)

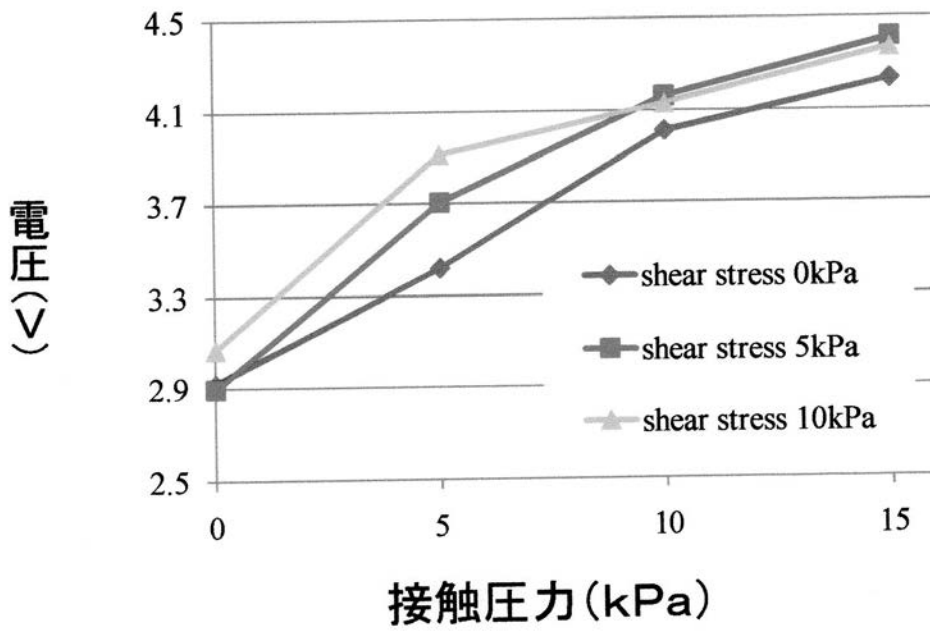


(B)

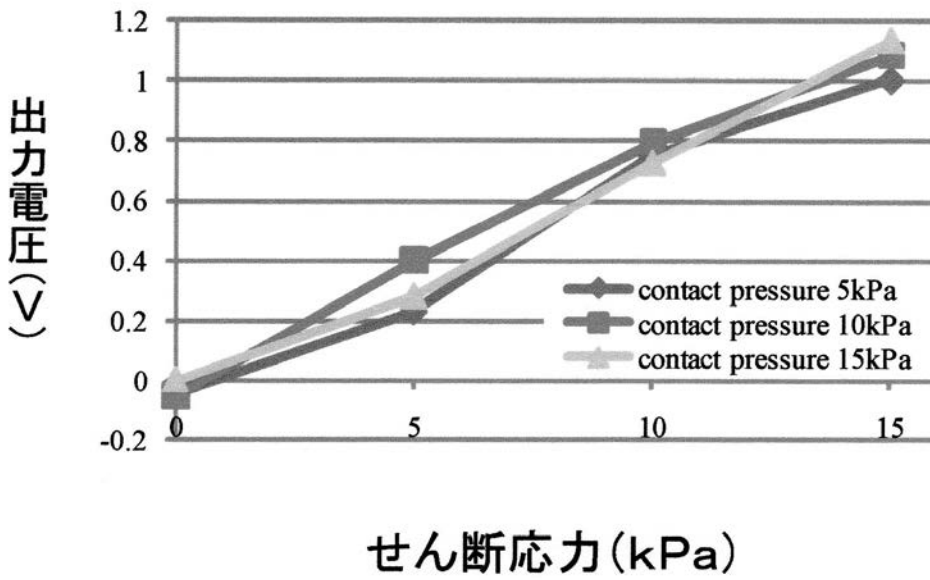
【図 26】



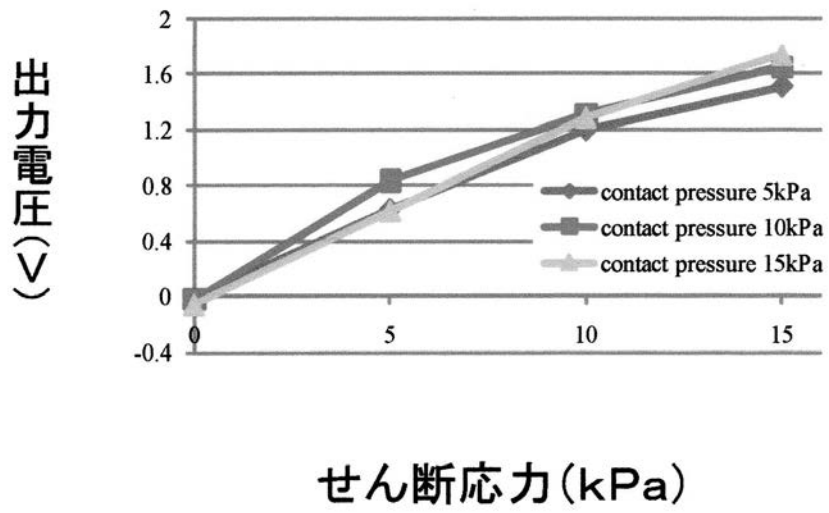
【 図 2 7 】



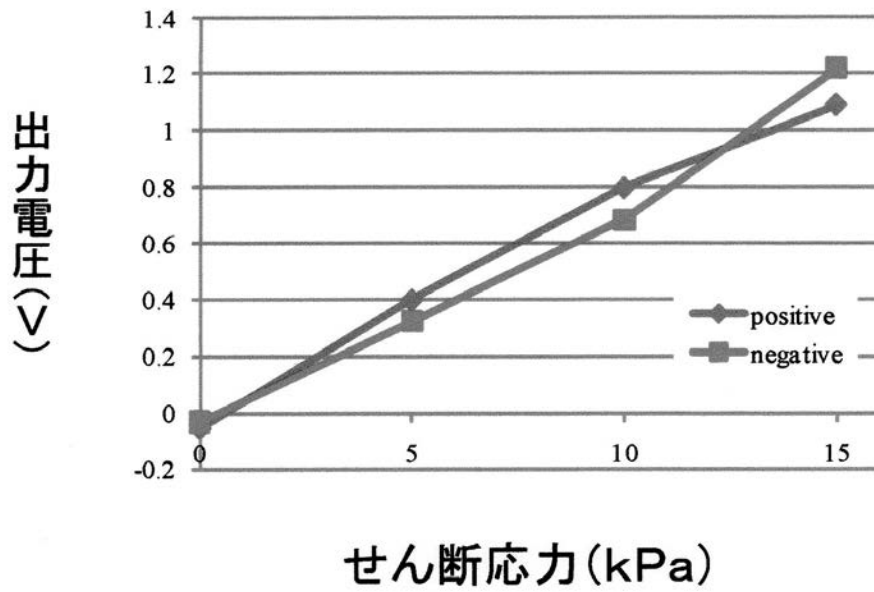
【 図 2 8 】



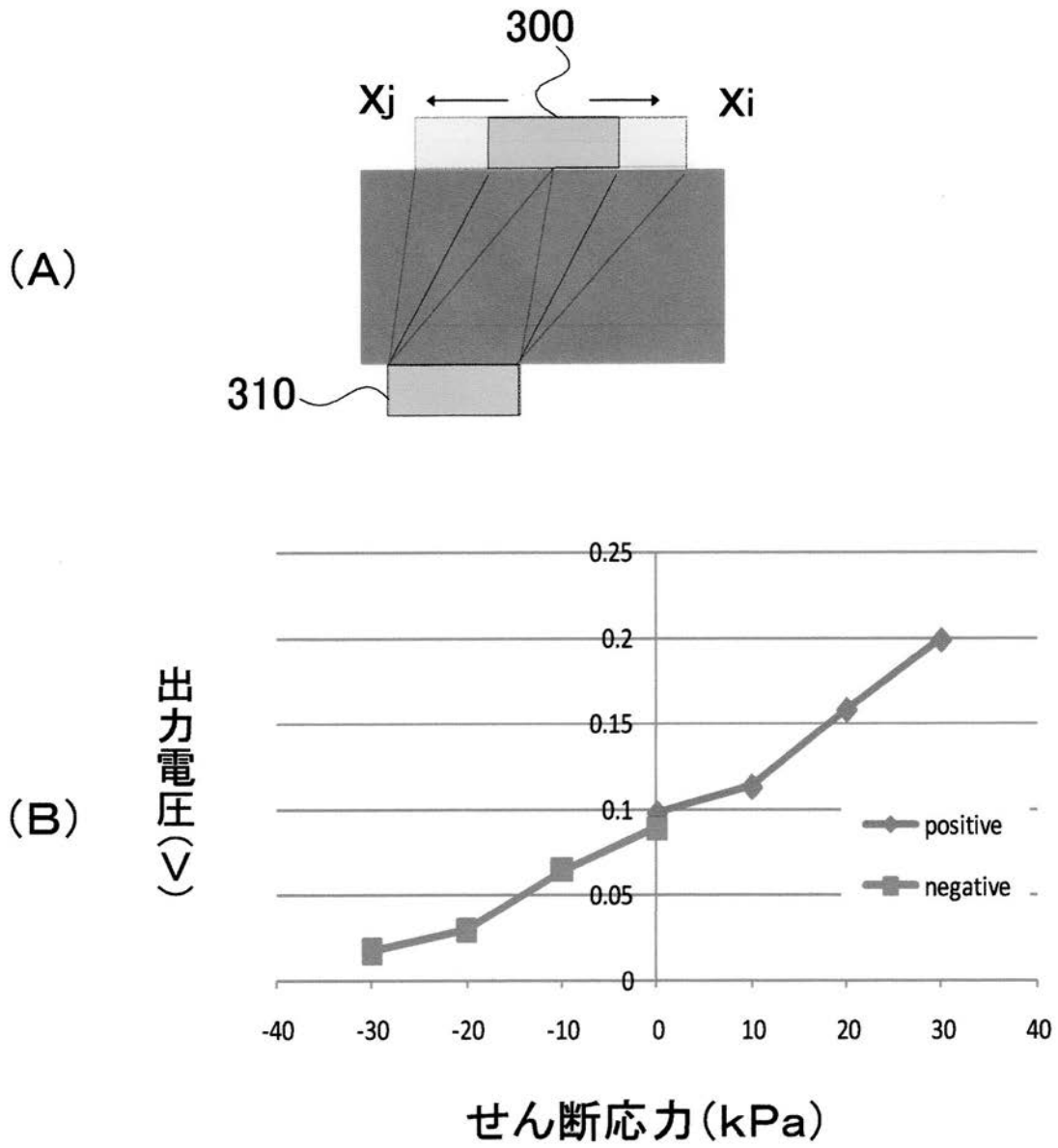
【図 29】



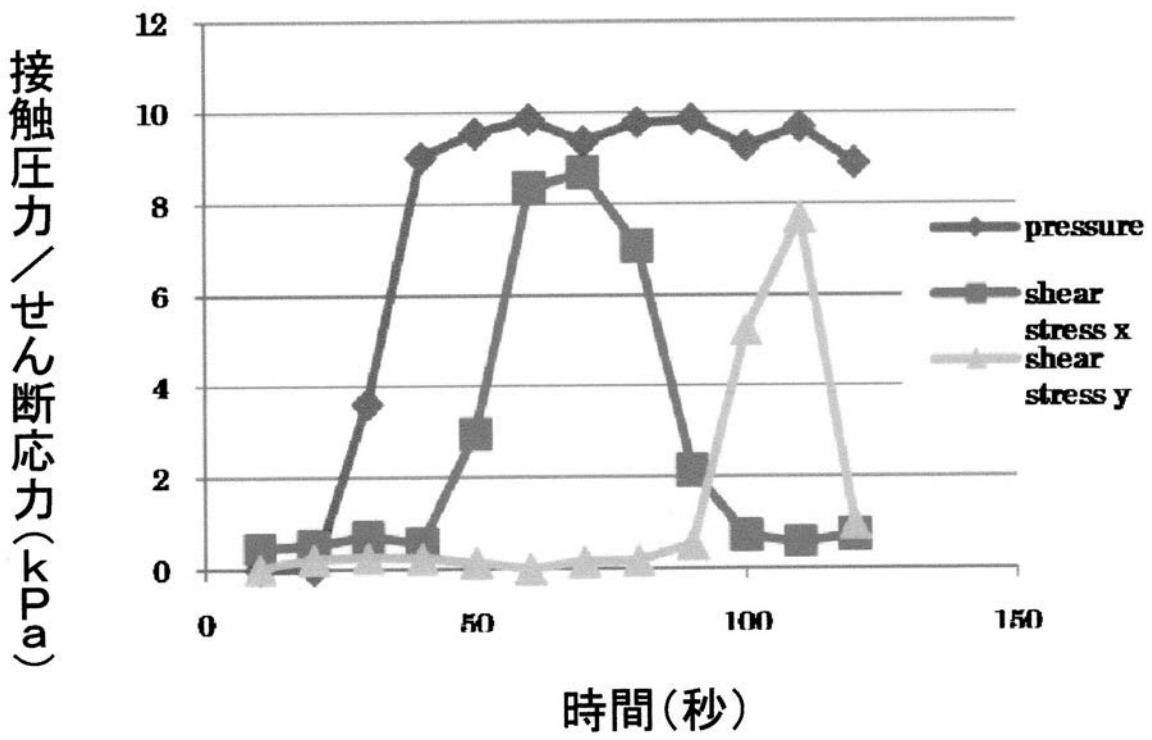
【図 30】



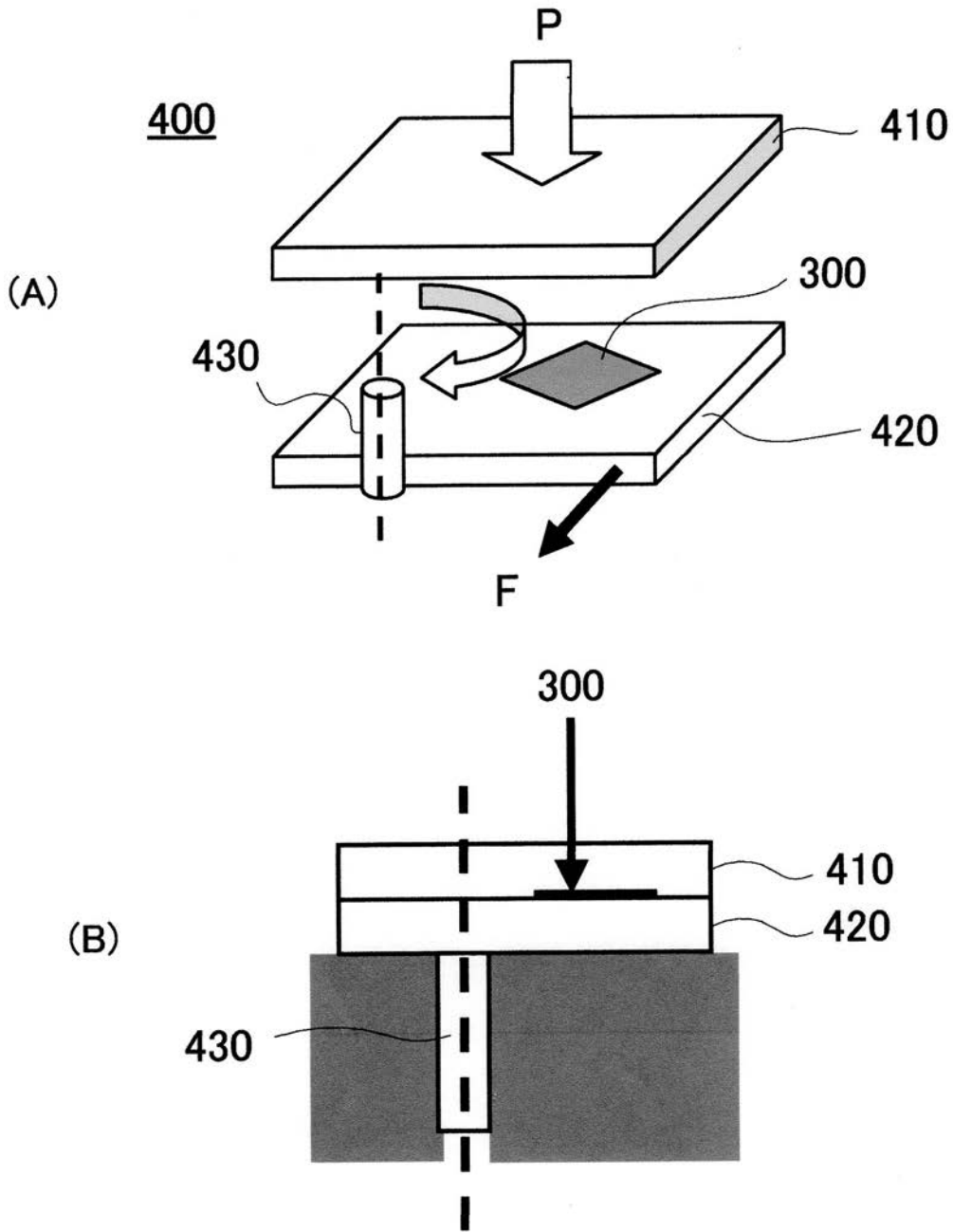
【図 3 1】



【図 3 2】

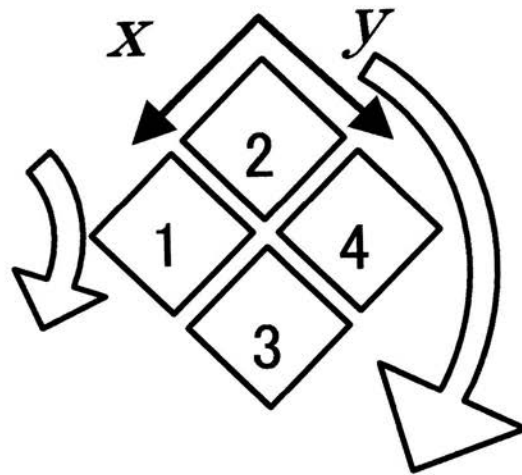


【 図 3 3 】



【図34】

(A)



(B)

