

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2011年6月3日(03.06.2011)

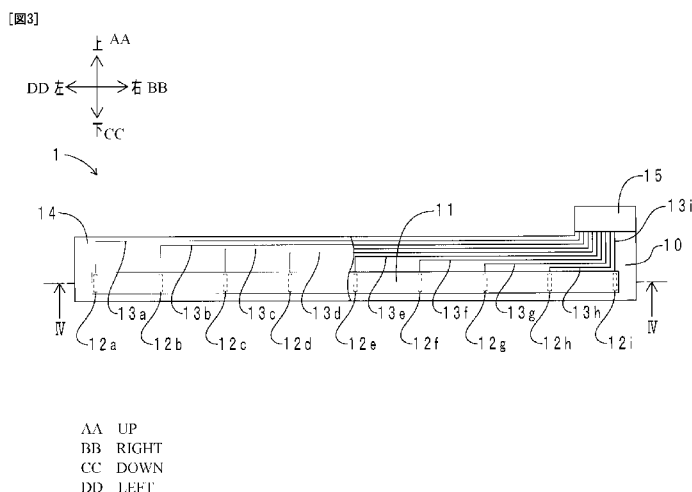
(10) 国際公開番号
WO 2011/065100 A1

- (51) 国際特許分類:
G01L 1/20 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2010/066075
- (22) 国際出願日: 2010年9月16日(16.09.2010)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2009-266097 2009年11月24日(24.11.2009) JP
特願 2010-152907 2010年7月5日(05.07.2010) JP
特願 2010-168868 2010年7月28日(28.07.2010) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 東海ゴム工業株式会社 (TOKAI RUBBER INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒4858550 愛知県小牧市東三丁目1番地 Aichi (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 齋藤 雄紀 (SAITOU, Yuuki) [JP/JP]; 〒4858550 愛知県小牧市東三丁目1番地 東海ゴム工業株式会社内 Aichi (JP). 村山 勝(MURAYAMA, Masaru) [JP/JP]; 〒4858550 愛知県小牧市東三丁目1番地 東海ゴム工業株式会社内 Aichi (JP). 早川 知範 (HAYAKAWA, Tomonori) [JP/JP]; 〒4858550 愛知県小牧市東三丁目1番地 東海ゴム工業株式会社内 Aichi (JP). 長谷川 浩一(HASEGAWA, Koichi) [JP/JP]; 〒4858550 愛知県小牧市東三丁目1番地 東海ゴム工業株式会社内 Aichi (JP). 柴田 哲好(SHIBATA, Tetsuyoshi) [JP/JP]; 〒4858550 愛知県小牧市東三丁目1番地 東海ゴム工業株式会社内 Aichi (JP).
- (74) 代理人: 東口 倫昭(HIGASHIGUCHI, Michiaki); 〒4510051 愛知県名古屋市西区則武新町4-4-19 S G名古屋駅ビル402号室 東口特許事務所 Aichi (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: BEND SENSOR AND METHOD OF MEASURING DEFORMED SHAPE

(54) 発明の名称: 曲げセンサおよび変形状測定方法



(57) Abstract: Disclosed is a bend sensor which has little dependence on the speed of input of strain and is unlikely to exhibit response delay. Also disclosed is a method of measuring a deformed shape using this bend sensor. The bend sensor (1) is provided with: a substrate (10); a sensor main body (11) disposed on the surface of the substrate (10) and comprising a matrix resin and conductive fillers filling the matrix resin, wherein the filling rate of the conductive fillers in the matrix resin is 30 vol.% or more, wherein the conductive fillers are in contact with one another, thereby forming three-dimensional conductive paths, and wherein the electrical resistance of the sensor main body (11) increases with the amount of deformation; an elastically deformable cover film (14) disposed to cover the sensor main body (11); and a plurality of electrodes (12a to 12i) connected to the sensor main body (11) and capable of providing electrical resistance. A crack is formed in the sensor main body (11) beforehand in the direction in which the conductive paths are cut off when the sensor main body (11) is subjected to bending deformation.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2011/065100 A1



(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF,

BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

歪みの入力速度に対する依存性が小さく、応答遅れが生じにくい曲げセンサを提供する。また、当該曲げセンサを用いた変形状測定方法を提供する。曲げセンサ(1)を、基材(10)と、基材(10)表面に配置され、マトリックス樹脂と、マトリックス樹脂中に30vol%以上の充填率で充填されている導電性フィラーと、を有し、導電性フィラー同士の接触により三次元的な導電パスが形成され、変形量が増加するに従って電気抵抗が増加するセンサ本体(11)と、センサ本体(11)を被覆するように配置され、弾性変形可能なカバーフィルム(14)と、センサ本体(11)に接続され、電気抵抗を出力可能な複数の電極(12a~12i)と、を備えるように構成する。センサ本体(11)には、曲げ変形した時に導電パスを切断する方向に、予めクラックを形成しておく。

明 細 書

発明の名称： 曲げセンサおよび変形形状測定方法

技術分野

[0001] 本発明は、測定対象物の曲げ変形を検出可能な曲げセンサ、およびそれを用いた変形形状測定方法に関する。

背景技術

[0002] 例えば、部材の変形や部材に作用する荷重の大きさを検出する手段として、エラストマーや樹脂を使用した柔軟なセンサが提案されている。当該センサは、エラストマーまたは樹脂中に、導電性フィラーが配合されたセンサ本体を備えている。例えば、特許文献 1、2 に開示されているセンサ本体は、エラストマーまたは樹脂中に、球状の導電性フィラーが高充填率で配合されてなる。このため、センサ本体には、荷重が印加されていない状態（以下、適宜「無荷重状態」と称す）で、導電性フィラー同士の接触により、三次元的な導電パスが形成されている。したがって、センサ本体は、無荷重状態において高い導電性を有する。

[0003] 図 17 に、センサ本体における、導電性フィラーの一部近傍を拡大した模式図を示す。図 17 中、(a) は曲げ変形前の無荷重状態を、(b) は曲げ変形直後の状態を、(c) は曲げ変形直後よりもさらに後の状態を、各々示す。図 17 (a) に示すように、センサ本体 900 は、マトリックス樹脂 901 と導電性フィラー 902 とを有している。センサ本体 900 には、導電性フィラー 902 同士の接触により、導電パス P1 が形成されている。センサ本体 900 に荷重が加わると、センサ本体 900 が曲げ変形を開始する。曲げ変形の開始に伴い、図 17 (b) に示すように、マトリックス樹脂 901 が、図中、左右方向に伸張される。これにより、導電性フィラー 902 同士が反発し合い、導電性フィラー 902 の接触状態が変化する。センサ本体 900 がさらに曲がると、図 17 (c) に示すように、マトリックス樹脂 901 はより大きく伸張される。すると、導電性フィラー 902 同士の接触が

断絶されて、導電パスP1が切断される。その結果、電気抵抗が増加する。加わっていた荷重が除去されると、センサ本体900は、マトリックス樹脂901の弾性復元力により、元の状態（図17（a）の状態）に復元する。このように、特許文献1、2のセンサによると、センサ本体の電気抵抗の増加に基づいて、変形を検出することができる。

先行技術文献

特許文献

- [0004] 特許文献1：特開2008-70327号公報
- 特許文献2：特開2009-198483号公報
- 特許文献3：特表2003-510216号公報
- 特許文献4：米国特許第5,583,476号明細書
- 特許文献5：米国特許第5,086,785号明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0005] 上述したように、特許文献1、2に開示されているセンサ本体によると、母材（エラストマーまたは樹脂）の弾性変形により導電パスが崩壊して、電気抵抗が増加する。つまり、特許文献1、2のセンサは、母材の弾性領域における電気抵抗の増加を利用して、変形を検出する。しかしながら、歪みが入力されてから母材が弾性変形するまでには、時間を要する。このため、母材の弾性領域において、曲げ変形を検出しようとする、母材の弾性変形に要する時間だけ、応答が遅れてしまう。したがって、検出精度が低下してしまう。とりわけ、曲げ変形が高速の場合には、応答遅れが一層大きくなり、さらに検出精度が低下するおそれがある。また、母材の弾性変形の手速度は、歪みの入力速度や雰囲気温度に影響される。このため、歪みの入力速度や雰囲気温度も、検出精度が低下する一因となる。
- [0006] 本発明は、このような実情に鑑みてなされたものであり、歪みの入力速度に対する依存性が小さく、応答遅れが生じにくい曲げセンサを提供すること

を課題とする。また、当該曲げセンサを用いて、測定対象物の曲げ変形時の形状を精度良く測定することができる変形形状測定方法を提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0007] (1) 本発明の曲げセンサは、基材と、該基材表面に配置され、マトリックス樹脂と、該マトリックス樹脂中に30vol%以上の充填率で充填されている導電性フィラーと、を有し、該導電性フィラー同士の間により三次元的な導電パスが形成され、変形量が増加するに従って電気抵抗が増加するセンサ本体と、該センサ本体を被覆するように配置され、弾性変形可能なカバーフィルムと、該センサ本体に接続され、電気抵抗を出力可能な複数の電極と、を備える曲げセンサであって、前記センサ本体には、曲げ変形した時に前記導電パスを切断する方向に、予めクラックが形成されていることを特徴とする。

[0008] 本発明の曲げセンサを構成するセンサ本体において、導電性フィラーは、マトリックス樹脂中に30vol%以上の充填率で充填されている。ここで、導電性フィラーの充填率は、センサ本体の体積を100vol%とした場合の値である。導電性フィラーの充填率が高いため、センサ本体には、導電性フィラー同士の間により、三次元的な導電パスが形成されている。つまり、センサ本体は、無荷重状態で高い導電性を有すると共に、変形量が増加するに従って電気抵抗が増加する。

[0009] 加えて、センサ本体には、予めクラックが形成されている。クラックは、曲げ変形した時に導電パスを切断する方向に、形成されている。図1に、センサ本体におけるクラックの一部近傍を拡大した模式図を示す。ただし、図1は、本発明の曲げセンサを説明するための模式図である。図1は、例えば、クラックの形状、クラックの延在方向、導電性フィラーの形状、導電パスの形状、導電パスの延在方向等、本発明を何等限定するものではない。図1中、(a)は曲げ変形前の無荷重状態を、(b)は曲げ変形後の状態を、各々示す。

- [0010] 図1(a)に示すように、センサ本体800は、マトリックス樹脂801と導電性フィラー802とクラック803とを有している。センサ本体800には、導電性フィラー802同士の接触により、導電パスPが形成されている。クラック803は、図中、左右方向（伸張方向）と交差する方向に形成されている。センサ本体800に荷重が加わると、センサ本体800が曲げ変形を開始する。センサ本体800が曲げ変形により左右方向に伸張されると、図1(b)に示すように、クラック803が開口する。これにより、導電性フィラー802同士の接触が断絶されて、導電パスPが切断される。その結果、電気抵抗が増加する。加わっていた荷重が除去されると、センサ本体800は元の状態（図1(a)の状態）に復元する。これにより、クラック803も元の状態に戻る。
- [0011] このように、本発明の曲げセンサのセンサ本体では、曲げ変形により歪みが入力されると、マトリックス樹脂の弾性変形を待たずに、導電パスが切断される（ただし、本発明の曲げセンサは、マトリックス樹脂の弾性変形により導電パスが切断される場合を除外するものではない。）。したがって、応答遅れが生じにくい。
- [0012] また、主にクラックの開口により導電パスが切断されるため、マトリックス樹脂の弾性変形のみ依存して導電パスが切断される場合（前出図17参照）と比較して、小さな歪みについても精度良く検出することができる。
- [0013] また、前述したように、マトリックス樹脂の弾性変形の手速は、雰囲気温度に影響される。この点、本発明の曲げセンサの導電パスは、主にクラックの開口により切断される。このため、マトリックス樹脂の弾性変形のみ依存して導電パスが切断される場合（前出図17参照）と比較して、雰囲気温度に対する応答速度の依存性が小さい。並びに、後述する実施例から明らかのように、歪み入力速度に対する応答速度の依存性も小さい。
- [0014] また、センサ本体は、カバーフィルムにより被覆されている。これにより、センサ本体の劣化が抑制される。ここで、カバーフィルムは弾性変形可能である。よって、曲げ変形後に除荷されると、カバーフィルムの弾性復元力

に助けられて、センサ本体が元の形状に復元しやすくなる。また、開いたクラックも元の状態に戻りやすくなる。

[0015] また、センサ本体は、基材の表面に配置されている。基材の厚さを調整することにより、曲げセンサの感度を調整することができる。例えば、曲げ変形時の曲率中心が基材の裏側にある場合、基材の厚さを大きくすると、曲げ変形時におけるセンサ本体の歪み量が大きくなる。すなわち、基材とセンサ本体との合計厚さを t 、曲げ変形時の曲率中心から基材裏面までの曲率半径を R とすると、歪み量 ε は $\varepsilon = t / R$ となる。このため、基材の厚さを大きくすると、曲げ変形時におけるセンサ本体の歪み量が大きくなる。これにより、曲げセンサの感度を向上させることができる。

[0016] なお、上記特許文献 3～5 には、クラックの開閉により電気抵抗が増加する導電インクが開示されている。しかしながら、いずれの導電インクにおいても、クラックは、曲げ変形時に発生している。言い換えると、導電インクを使用する前には、クラックは形成されていない。この点において、開示された導電インクは、本発明のセンサ本体とは異なる。すなわち、曲げ変形時に新たなクラックが形成されると、曲げセンサの感度が変化してしまう。このため、本発明においては、センサ本体の製造時に予めクラックを形成しておき、曲げ変形時における新たなクラックの形成を抑制している。

[0017] (2) 好ましくは、上記(1)の構成において、前記導電性フィラーの平均粒子径は、 $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である構成とする方がよい。

[0018] 導電性フィラーの粒子径が小さいと、マトリックス樹脂に対する補強効果が大きくなる。このため、クラックを形成しにくい。また、センサ本体の破断歪み(センサ本体にクラックが発生する際の歪み)が大きくなるため、電気抵抗の増加が、クラックの開口よりも、センサ本体の弾性変形に依存しやすくなる。また、センサ本体を製造する際に、マトリックス樹脂と導電性フィラーとを含むセンサ材料を塗料化しにくい。このような観点から、導電性フィラーの平均粒子径を、 $0.05\mu\text{m}$ 以上とすることが望ましい。こうすることで、導電性フィラーの界面に沿って、クラックを形成しやすくなる。

また、導電性フィラーの界面でクラックが開口しやすくなり、センサ本体の破断歪みを小さくすることができる。導電性フィラーの平均粒子径を、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以上、さらには $1\ \mu\text{m}$ 以上とするとより好適である。

[0019] 一方、導電性フィラーの平均粒子径が $100\ \mu\text{m}$ を超えると、無荷重状態における導電パスの数が少なくなると共に、曲げ変形に対して導電性フィラーの接触状態が変化しにくくなり、電気抵抗の変化が緩慢となる。また、センサ本体の厚さを薄くしにくくなる。導電性フィラーの平均粒子径を、 $30\ \mu\text{m}$ 以下、さらには $10\ \mu\text{m}$ 以下とするとより好適である。なお、平均粒子径としては、導電性フィラーの累積粒度曲線において積算重量が50%となる粒子径(D50)を採用する。

[0020] (3) 好ましくは、上記(1)の構成において、前記導電性フィラーは、球状カーボンである構成とする方がよい。

[0021] 導電性フィラーの形状を球状とすることにより、導電性フィラーを、マトリックス樹脂中に、最密充填に近い状態で配合することができる。これにより、三次元的な導電パスが形成されやすくなり、所望の導電性が発現しやすくなる。また、センサ本体の弾性変形に対して、導電性フィラーの接触状態が変化しやすい。このため、電気抵抗の変化が大きい。また、球状カーボンとしては、表面の官能基が少ないものが望ましい。表面の官能基が少ないと、マトリックス樹脂との界面で破壊が生じやすく、センサ本体にクラックを形成しやすい。

[0022] (4) 好ましくは、上記(1)の構成において、前記センサ本体において、複数の前記電極の配置方向に連なる長さ $2\ \text{mm}$ 以下の単位区間を複数区画した場合に、前記クラックは、該単位区間内に、少なくとも一つ形成されている構成とする方がよい。

[0023] 曲げセンサの感度は、センサ本体に形成されたクラックの密度(複数の電極の配置方向における単位長さあたりのクラック本数)により変化する。単位区間の長さを $2\ \text{mm}$ 以下としたのは、 $2\ \text{mm}$ を超えると、クラックの密度が小さくなり、曲げセンサの感度が低下するからである。言い換えると、所

望の感度を実現しにくくなるからである。より好ましくは、単位区間の長さを1mm以下とする方がよい。こうすると、さらに曲げセンサの感度が向上する。

- [0024] (5) 好ましくは、上記(1)の構成において、前記センサ本体には、予め歪みが入力されている構成とする方がよい。
- [0025] センサ本体を曲げると、曲げ変形の初期段階においては弾性領域が、その後の段階においては破断歪み以上の領域が、出現する。前出特許文献1、2のセンサは、弾性領域だけを利用して、変形を検出している。
- [0026] 図2に、センサ本体の歪み量と電気抵抗との関係を表す模式グラフを示す。ただし、図2は、本構成を何等限定するものではない。図2に示すように、センサ本体を曲げるのに従って、歪み量は大きくなる。歪み量が大きくなると、電気抵抗も大きくなる。
- [0027] ここで、図中、矢印Y1で示すように、曲げ変形の初期段階においては、歪み量に対して電気抵抗が、略二次曲線的に上昇する。このため、図中、点X1で示すように、曲げ変形当初の、歪み量に対する電気抵抗の応答性が、低くなる。なお、矢印Y1で示す領域は、センサ本体の弾性領域と推定される。
- [0028] また、図中、矢印Y2で示すように、曲げ変形の初期段階後の段階においては、歪み量に対して電気抵抗が、略線形的に上昇する。また、図中、点X2で示すように、点X1と比較して、歪み量に対する電気抵抗の応答性が、高くなる。なお、矢印Y2で示す領域は、センサ本体の弾性領域を超えた、破断歪み以上の領域であると推定される。
- [0029] よって、曲げ変形の検出領域としてセンサ本体の弾性領域だけを利用する場合と比較して、センサ本体の破断歪み以上の領域を利用する場合（破断歪み以上の領域だけを利用する場合、および弾性領域と破断歪み以上の領域とを併用する場合を含む）の方が、同じ歪み量が入力された場合の電気抵抗の変化が大きくなる。このため、曲げセンサの感度が向上する。また、歪み量に対して電気抵抗が略線形的に上昇するため、電気抵抗から歪み量を算出し

やすくなる。

[0030] この点、本構成によると、センサ本体に予め歪みが入力されている。このため、センサ本体の曲げ変形時の総歪み量は、予め入力されている歪み量と、曲げ変形に伴う歪み量と、の和になる。つまり、センサ本体の総歪み量は、曲げ変形に伴う歪み量のみの場合と比較して、大きくなる。これにより、検出領域として、センサ本体の破断歪み以上の領域を用いやすくなる。すなわち、検出領域を、歪み量と電気抵抗との関係が線形な領域へ、ずらしやすくなる（歪みオフセット）。したがって、本構成によると、曲げセンサの感度が向上する。また、電気抵抗から、歪み量、ひいては曲げ変形時のセンサ本体の形状等を、算出しやすくなる。

[0031] (6) 好ましくは、上記(1)の構成において、複数の前記電極は、導電塗料を前記基材に印刷して形成されている構成とする方がよい。

[0032] 例えば、フレキシブルプリント配線板(FPC)等の表面にセンサ本体等を配置して、本発明の曲げセンサを構成することができる。FPC上の導電パターンは、金属箔のエッチングにより形成されている。金属箔のエッチングによると、電極や配線を、細線かつ狭ピッチで形成することができる。したがって、FPCを用いると、本発明の曲げセンサを小型化することができる。

[0033] しかしながら、電極を、金属箔のエッチングにより形成すると、電極の端部が角張りやすい。このため、センサ本体を湾曲させて硬化した後、元の状態に戻すことによりクラックを形成する場合、予め形成されている電極の端部に応力が集中しやすい。これにより、クラックが電極周辺に集中して形成されるおそれがある。つまり、センサ本体におけるクラックの分布に、ばらつきが生じるおそれがある。図18に、エッチングにより電極を形成した場合における、クラック形成時のセンサ本体の一部断面模式図を示す。

[0034] 図18に示すように、センサ本体810は、基材811の表面に配置されている。センサ本体810と基材811との間には、所定の間隔で電極812a~812cが介装されている。電極812a~812cは、金属箔をエ

ッチングして形成されている。電極 812a~812c の、センサ本体 810 の延在方向の端部には、角部 813 が存在する。角部 813 には、応力が集中しやすい。このため、クラック 814 は、電極 812a~812c の周辺に集中して形成されている。

[0035] このように、クラックの分布にばらつきがあると、電極で区切られた測定区間ごとのセンサ応答に差が生じてしまう。また、金属箔からなる電極は、樹脂をバインダーとするセンサ本体との密着性が充分ではない。このことも、電極周辺にクラックが集中する要因となる。

[0036] 本構成によると、導電塗料を基材に印刷して、電極を形成する。導電塗料の印刷により形成された電極の端部は、角張りにくい。このため、センサ本体にクラックを形成する際に、電極の端部に応力が集中しにくい。また、導電塗料は、樹脂やエラストマーをバインダーとする。このため、導電塗料から形成された電極は、センサ本体との密着性が良好である。したがって、本構成によると、クラックを、センサ本体の全体に亘り略均一に形成することができる。これにより、測定区間によらず、安定したセンサ応答を得ることができる。図 19 に、印刷により電極を形成した場合における、クラック形成時のセンサ本体の一部断面模式図を示す。

[0037] 図 19 に示すように、センサ本体 810 は、基材 811 の表面に配置されている。センサ本体 810 と基材 811 との間には、所定の間隔で電極 812a~812c が介装されている。電極 812a~812c は、導電塗料を印刷して形成されている。電極 812a~812c の、センサ本体 810 の延在方向の端部には、曲面状の面取部 815 が存在する。面取部 815 には、応力が集中しにくい。このため、クラック 814 は、センサ本体 11 の全体に亘り、略均一に形成されている。

[0038] (6-1) 好ましくは、上記(6)の構成において、導電塗料は、樹脂またはエラストマーからなるバインダーと導電材とを有する構成とするとよい。導電材としては、例えば、銀、金、銅、ニッケル等の金属粉末、導電性を有するカーボン粉末、粒子表面が金属で被覆された被覆粒子等を使用すれば

よい。

[0039] (7) 好ましくは、上記(6)の構成において、前記電極の表面形状における、前記センサ本体の延在方向の端線は、曲線部を有する構成とする方がよい。

[0040] 本構成によると、センサ本体を湾曲させて硬化した後、元の状態に戻すことによりクラックを形成する場合に、基材とセンサ本体との間に介装された電極の端部に、応力が集中しにくい。したがって、センサ本体に、より均一にクラックを形成することができる。

[0041] (8) 好ましくは、上記(1)の構成において、複数の前記電極と各々接続されている配線を備え、該配線は、金属箔をエッチングして形成されている構成とする方がよい。

[0042] 後出(15)の構成にて説明するように、本発明の曲げセンサにより、測定対象物の変形形状を測定する場合には、電極の数を多くして、測定区間をより細かく設定することが望ましい。この場合、各々電極に接続される配線の数も多くなる。本構成によると、細線かつ狭ピッチで、配線パターンを形成することができる。したがって、曲げセンサを小型化するのに好適である。

[0043] (9) 好ましくは、上記(1)の構成において、さらに、前記基材裏面に配置される歪み調整板と、該歪み調整板と該基材とを接着する接着層と、を備え、該基材、該歪み調整板、および該接着層は、いずれも、貯蔵弾性率が遷移するガラスーゴム転移領域が、曲げセンサを使用する温度範囲の下限温度 -10°C よりも低温側、または上限温度 $+10^{\circ}\text{C}$ よりも高温側にある材料からなる構成とするよい。

[0044] 前出(1)の構成にて説明したように、基材の厚さを大きくすると、曲げ変形時におけるセンサ本体の歪み量が大きくなる($\varepsilon = t/R$)。本構成によると、歪み調整板を基材の裏面に配置することにより、基材の厚さを大きくしたのと同じ効果が得られる。すなわち、基材に歪み調整板を積層すると、曲げ変形による歪みが拡大される。これにより、曲げセンサの感度を向上

することができる。また、歪み調整板の厚さを調整することにより、センサ応答を最適化することができる。

[0045] 歪み調整板は、接着層を介して基材に貼り付けられている。例えば、歪み調整板と比較して、接着層が軟らか過ぎる場合には、歪み調整板を介して伝達された曲げ変形が接着層で緩和されてしまう。これにより、曲げ変形が、正確かつ速やかに、センサ本体に伝達されにくくなる。その結果、曲げ変形の検出精度の低下や、応答遅れが生じてしまう。

[0046] 本構成によると、基材、歪み調整板、および接着層の全てについて、貯蔵弾性率が遷移するガラスーゴム転移領域が、曲げセンサを使用する温度範囲の下限温度 -10°C よりも低温側、または上限温度 $+10^{\circ}\text{C}$ よりも高温側にある材料で構成する。以下、ガラスーゴム転移領域について説明する。図20に、温度に対する貯蔵弾性率の変化の一例を示す。

[0047] 図20に示すように、樹脂等の高分子材料の貯蔵弾性率は、ある温度範囲で急激に変化する。貯蔵弾性率が大きい領域(A)はガラス状態、貯蔵弾性率が小さい領域(B)はゴム状態、と称される。すなわち、高分子材料は、温度の上昇と共に、ガラス状態からゴム状態へ変化する。温度を上昇させた場合に、貯蔵弾性率のグラフが、領域(A)の貯蔵弾性率の外挿線aと分離し始める温度を T_1 とする。さらに温度を上昇させて、貯蔵弾性率のグラフが、領域(B)の貯蔵弾性率の外挿線bと一致し始める温度を T_2 とする。そして、 T_1 から T_2 までの温度範囲(図中、ハッチングで示す)を、ガラスーゴム転移領域と定義する。

[0048] 本明細書においては、貯蔵弾性率として、JIS K7244-1(1998)、JIS K7244-4(1999)に準じた、以下の測定方法で測定した値を採用する。すなわち、まず、幅5mm、長さ20mm、厚さ1mmの短冊状の試験片を作製した。次に、動的粘弾性測定装置((株)UBM製「Rheogel-E4000F」)を用いて、 $-70\sim 120^{\circ}\text{C}$ における貯蔵弾性率を測定した。測定は、引張りモード、昇温速度 $3^{\circ}\text{C}/\text{分}$ 、周波数1Hzで行った。

- [0049] 例えば、曲げセンサを使用する温度範囲を、 $20\sim 25^{\circ}\text{C}$ と設定する。この場合、基材、歪み調整板、および接着層は、ガラス→ゴム転移領域が下限温度 -10°C 、つまり 10°C よりも低温側、または上限温度 $+10^{\circ}\text{C}$ 、つまり 35°C よりも高温側にある材料のいずれかで構成される。なお、曲げセンサを使用する温度が、例えば 20°C のように、範囲を持たない場合には、その温度を基準にして $\pm 10^{\circ}\text{C}$ の範囲を設定すればよい。本構成によると、曲げセンサを使用する温度範囲において、基材、歪み調整板、および接着層の硬さの状態が統一される。また、曲げセンサを使用する温度範囲において、ガラス状態→ゴム状態、またはゴム状態→ガラス状態というように、状態が変化しない。例えば、高速で曲げ変形した場合には、使用温度が低温側にシフトした場合と同じ挙動になる。しかし、本構成によると、使用温度の下限、上限から、さらに $\pm 10^{\circ}\text{C}$ だけ余裕を持って温度範囲を設定している。したがって、高速で曲げ変形した場合であっても、使用温度の範囲内に、ガラス→ゴム転移領域が含まれることはない。
- [0050] このように、本構成によると、荷重入力側に配置される基材等の部材において、曲げ変形が緩和されるおそれは小さい。つまり、曲げ変形が、正確にセンサ本体に伝達される。したがって、本構成によると、曲げ変形の検出精度の低下を抑制することができる。
- [0051] 特に、ガラス→ゴム転移領域が、曲げセンサを使用する温度範囲の上限温度 $+10^{\circ}\text{C}$ よりも高温側にある材料を採用すると、基材、歪み調整板、および接着層の全てをガラス状態の硬い材料で構成することができる。これにより、曲げ変形が、速やかにセンサ本体に伝達される。よって、応答遅れが生じにくい。
- [0052] (10) 好ましくは、上記(1)の構成において、二つの前記電極が並ぶ方向を並置方向、該並置方向に直交する方向を直交方向として、前記センサ本体は、二つの該電極間に、該並置方向に延在し該直交方向に並ぶ複数の検出部を有する構成とするとよい。
- [0053] 本構成のセンサ本体は、複数の検出部を備えている。複数の検出部は、各

々、並置方向に延在している。複数の検出部は、互いに直交方向に並んでいる。このため、本発明の曲げセンサによると、二つの電極間に単一の検出部を有する曲げセンサと比較して、検出部の総面積が等しい場合、電気抵抗のばらつきを小さくすることができる。

[0054] (11) 好ましくは、上記(10)の構成において、複数の前記検出部は、隣り合う二つの前記電極間において、互いに電氣的に並列に接続される構成とするとよい。

[0055] 並列接続の場合、検出部(1、2、・・・、n)の電気抵抗を、 R_1 、 R_2 、・・・、 R_n 、合成電気抵抗を R とすると、 $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$ となる。このため、仮に、任意の検出部の電気抵抗がばらついても、センサ本体全体としては、ばらつきを緩和することができる。したがって、合成電気抵抗 R のばらつきを小さくすることができる。また、本構成によると、複数の検出部が並列接続されているため、検出部の配置数を増やしても、合成電気抵抗 R が増加しにくい。

[0056] (12) 好ましくは、上記(10)の構成において、複数の前記検出部は、隣り合う二つの前記電極間において、互いに電氣的に直列に接続される構成とするとよい。

[0057] 直列接続の場合、検出部(1、2、・・・、n)の電気抵抗を、 R_1 、 R_2 、・・・、 R_n 、合成電気抵抗を R とすると、 $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ となる。このため、仮に、任意の検出部の電気抵抗がばらついても、センサ本体全体としては、ばらつきを緩和することができる。したがって、合成電気抵抗 R のばらつきを小さくすることができる。また、本構成によると、複数の検出部が、一筆書きのように、直列に連なっている。このため、検出部の配置数を増やしても、センサ本体と電極との接続部分の構成を変える必要がない。

[0058] (13) 好ましくは、上記(10)の構成において、前記クラックは、前記センサ本体の前駆体をクラック形成用金型の型面に沿って変形させることにより形成される構成とするとよい。ここで、「センサ本体の前駆体」とは

、完成してセンサ本体になるものをいう。例えば、センサ本体を印刷法により形成する場合は、塗膜をいう。

[0059] 電気抵抗のばらつきは、クラックの密度に依存する。すなわち、クラックの密度が大きいほど、センサ本体の変形の軌跡が安定する。このため、電気抵抗のばらつきが小さくなる。また、曲げセンサの感度も、クラックの密度に依存する。すなわち、クラックの密度が大きいほど、曲げセンサの感度が向上する。

[0060] 本構成によると、クラックは、クラック形成用金型の型面に沿ってセンサ本体を変形させることにより、形成される。図27に、クラック形成前の検出部の断面図を示す。図28に、クラック形成後の検出部の断面図を示す。ただし、図27、図28は、本構成の曲げセンサを説明するための模式図である。図27、図28は、例えば、検出部、基材の形状、クラック形成用金型の形状、型面の形状等、本構成を何等限定するものではない。

[0061] 図27に示すように、検出部21は、基材22の上面に積層されている。検出部21、基材22は、共に左右方向に延在する平板状を呈している。図28に示すように、クラック形成用金型23の型面（外周面）230は、上方に膨らむ曲面状を呈している。基材22の下面220を型面230に押し当てることにより、検出部21にクラックが形成される。

[0062] ここで、隣り合うクラック間の距離をL、検出部の厚さをd、検出部の直交方向幅をb、検出部の圧縮破壊応力を $\sigma E b$ とすると、クラックを形成するのに必要な面圧（型面230に下面220を押し当てる際の面圧）Pは、以下の式（1）で表される。

[数1]

$$P = \frac{4 d b \sigma E b}{3 L^2} \dots \dots \text{式 (1)}$$

[0063] 面圧Pが圧縮破壊応力 $\sigma E b$ を超えると、クラックが形成される前に、圧縮破壊が生じてしまう。このため、面圧 $P \leq$ 圧縮破壊応力 $\sigma E b$ となる。クラックの密度を大きくするためには、隣り合うクラック間の距離Lを、でき

るだけ小さくする必要がある。距離 L を最小にするためには、圧縮破壊応力 $\sigma E b$ を超えない範囲で、できるだけ大きな面圧 P で型面 230 に基材 22 を押し当てる必要がある。式 (I) に P の最大値 $P_{max} = \sigma E b$ を代入すると、距離 L の最小値 L_{min} は、以下の式 (II) で表される。

[数2]

$$L_{min} = \sqrt{\frac{4db}{3}} \quad \dots \dots \text{式 (II)}$$

[0064] 式 (II) から、距離 L の最小値 L_{min} は、検出部 21 の厚さ d と、検出部の直交方向幅 b とにより決まることが判る。

[0065] このように、クラックの密度を大きくするには、(A) 検出部 21 の厚さを小さくする、(B) 検出部 21 の直交方向幅を小さくする、という手段がある。また、(C) クラック形成用金型 23 の型面 230 の曲率半径を小さくする、(D) 基材 22 の厚さを小さくする、という手段がある。

[0066] この点、本構成の曲げセンサによると、センサ本体が複数の検出部を備えている。複数の検出部は、各々、並置方向に延在している。複数の検出部は、互いに直交方向に並んでいる。このため、本構成によると、単一の検出部を有する曲げセンサと比較して、検出部の総面積が等しい場合、検出部の直交方向幅を小さくすることができる (上記 (B) の手段に対応)。したがって、クラックの密度を大きくすることができる。すなわち、電気抵抗のばらつきを小さくすることができる。また、曲げセンサの感度を向上させることができる。

[0067] (14) 好ましくは、上記 (10) の構成において、前記検出部は、5 個以上配置されている構成とするとよい。

[0068] 後述する実施例からも明らかなように、検出部を 5 個以上配置すると、単一の検出部を有する曲げセンサと比較して、電気抵抗の変動係数 (= 標準偏差 / 平均値) を、 $1/2$ 以下にまで下げることができる。また、検出部を 10 個以上配置すると、単一の検出部を有する曲げセンサと比較して、電気抵抗の変動係数を、 $1/3$ 以下にまで下げることができる。さらに、検出部を

20個以上配置すると、単一の検出部を有する曲げセンサと比較して、電気抵抗の変動係数を、 $1/4$ 以下にまで下げることができる。

[0069] (15) 本発明の変形形状測定方法は、上記(1)ないし(14)のいずれかの構成の曲げセンサの曲げ変形を、前記電極で区切られた測定区間ごとに検出する検出工程と、検出された該測定区間の変形データから、該測定区間の変形形状を算出する部分形状算出工程と、算出された該測定区間の変形形状を繋ぎ合わせて、該曲げセンサ全体の変形形状を算出する全体形状算出工程と、を有する。

[0070] 本発明の変形形状測定方法では、曲げセンサを複数の測定区間に区画して、各測定区間における変形形状を繋ぎ合わせて、曲げセンサ全体の変形形状、つまり測定対象物の変形形状を測定する。本発明の変形形状測定方法によると、上記本発明の曲げセンサを用いて、測定対象物の変形形状を、容易かつ動的に、測定することができる。また、電極の配置数を増加させると、測定区間をより細かく設定することができる。これにより、曲げセンサ、つまり測定対象物をより細かく分割して、各々の部分形状を算出することができる。その結果、曲げセンサ、つまり測定対象物の変形形状を、精度良く算出することができる。

図面の簡単な説明

[0071] [図1] (a) は、曲げ変形前の無荷重状態の、センサ本体におけるクラックの一部近傍を拡大した模式図である。(b) は、曲げ変形後の状態の、センサ本体におけるクラックの一部近傍を拡大した模式図である。

[図2] センサ本体の歪み量と電気抵抗との関係を表す模式グラフである。

[図3] 第一実施形態の曲げセンサの正面図である。

[図4] 図3のIV-IV断面図である。

[図5] 図4の円V内の拡大図である。

[図6] 第一実施形態の曲げセンサの製造方法における曲げ硬化工程の前半の模式図である。

[図7] 同曲げ硬化工程の後半の模式図である。

[図8]衝突物の衝突前における、第一実施形態の曲げセンサの下方から見た断面図である。

[図9]衝突物の衝突後における、同曲げセンサの下方から見た断面図である。

[図10]図9に示した衝突後状態におけるセンサ本体の変形形状（実際の形状）に対する、第一実施形態の変形形状測定方法により算出されたセンサ本体の変形形状（推定形状）を示す模式図である。

[図11]取付状態における、第二実施形態の曲げセンサの下方から見た断面図である。

[図12]衝突実験装置の模式図である。

[図13]実施例のセンサの応答の経時変化を示すグラフである。

[図14]ストライカー速度を変化させた時の、実施例のセンサの応答の経時変化を示すグラフである。

[図15]各々の試験片から測定された、総歪み量に対する電気抵抗の変化を示すグラフである。

[図16]予歪み量に対する寄与率を示すグラフである。

[図17]（a）は、曲げ変形前の無荷重状態の、センサ本体における導電性フィラーの一部近傍を拡大した模式図である。（b）は、曲げ変形直後の状態の、センサ本体における導電性フィラーの一部近傍を拡大した模式図である。（c）は、曲げ変形直後よりもさらに後の状態の、センサ本体における導電性フィラーの一部近傍を拡大した模式図である。

[図18]エッチングにより電極を形成した場合における、クラック形成時のセンサ本体の一部断面模式図である。

[図19]印刷により電極を形成した場合における、クラック形成時のセンサ本体の一部断面模式図である。

[図20]温度に対する貯蔵弾性率の変化の一例を示すグラフである。

[図21]第三実施形態の曲げセンサにおける左端付近の拡大図である。

[図22]第四実施形態の曲げセンサにおける左右方向の断面図である。

[図23]電極の表面形状例を示す正面図である。

[図24] 曲げ変形に対する歪み量の測定結果を示すグラフである。

[図25] 実施例で使用した接着剤のガラスーゴム転移領域を示すグラフである。

[図26] 接着層が異なる曲げセンサにおける、センサ応答の経時変化を示すグラフである。

[図27] クラック形成前の検出部の断面図である。

[図28] クラック形成後の検出部の断面図である。

[図29] 第五実施形態の曲げセンサの正面図である。

[図30] 図29のXXX-XXX断面図である。

[図31] 第六実施形態の曲げセンサの正面図である。

[図32] 検出部を並列接続した場合の条数と電気抵抗比との関係を示すグラフである。

[図33] 検出部を直列接続した場合の条数と電気抵抗比との関係を示すグラフである。

[図34] 検出部を並列接続した場合と直列接続した場合との条数と変動係数との関係を示すグラフである。

符号の説明

- [0072] 1 : 曲げセンサ 10 : 基材 11 : センサ本体 12a~12i : 電極
 13a~13i : 配線 14 : カバーフィルム 15 : コネクタ 16 : 歪み調整板
 17 : 接着層
 100 : 前面 110 : 塗膜 120a、120b : 曲線部
 20 : 金型 200 : 内周面 21 : 検出部 22 : 基材 23 : クラック形成用金型
 220 : 下面 230 : 型面
 3 : 曲げセンサ 30~34 : センサ本体
 5 : 衝突実験装置 50 : ストライカー 51 : 弾性体 52 : 絶縁シート
 6 : 曲げセンサ 60 : 基材 61 : センサ本体 63a、63b : 電極

64 : カバーフィルム

7 : 曲げセンサ 70 : 基材 71 : センサ本体 72 a、72 b : 電極

73 a、73 b : 配線 74 : コネクタ 75 : カバーフィルム

710 ~ 714 : 検出部

800 : センサ本体 801 : マトリックス樹脂 802 : 導電性フィラー

803 : クラック

810 : センサ本体 811 : 基材 812 a ~ 812 c : 電極 813 :
角部

814 : クラック 815 : 面取部

90 : バンパカバー 90 a : 後面 91 : 測定対象物 910 : 外周曲面

C1 : クラック L1 ~ L8 : 測定区間 O : 衝突物 P : 導電パス U1
: 単位区間

a ~ i : 端点

発明を実施するための形態

[0073] 以下、本発明の曲げセンサおよび変形状測定方法の実施形態について説明する。

[0074] <第一実施形態>

[曲げセンサの構成]

まず、本実施形態の曲げセンサの構成について説明する。図3に、曲げセンサの正面図を示す。図4に、図3のIV-IV断面図を示す。図5に、図4の円V内の拡大図を示す。説明の便宜上、図3では、カバーフィルムの右半分を除去して示す。図3、図4に示すように、曲げセンサ1は、基材10と、センサ本体11と、電極12 a ~ 12 i と、配線13 a ~ 13 i と、カバーフィルム14と、を備えている。

[0075] 基材10は、ポリイミド製であって、左右方向に延びる帯状を呈している。基材10の膜厚は約300 μ mである。基材10の右端には、コネクタ15が配置されている。

[0076] センサ本体11は、左右方向に延びる帯状を呈している。センサ本体11

の膜厚は約100 μ mである。センサ本体11は、基材10の表面（後面）に固定されている。センサ本体11には、予め歪みが入力されている。

[0077] センサ本体11は、エポキシ樹脂（マトリックス樹脂）にカーボンビーズ（導電性フィラー）が配合されてなる。カーボンビーズの充填率は、センサ本体11の体積を100vol%とした場合の約45vol%である。図5に模式的に示すように、センサ本体11には、予め多数のクラックC1が形成されている。クラックC1は、電極12a~12iの配置方向（左右方向）と交差する方向、すなわち、センサ本体11の厚さ方向（前後方向）に延びるように配置されている。クラックC1は、センサ本体11の左右方向に連なる長さ2mmの単位区間U1内に、約2個ずつ形成されている。

[0078] 電極12a~12iは、センサ本体11を左右方向に八分割するように、配置されている。電極12a~12iは、いずれも、上下方向に延びる短冊状を呈している。電極12a~12iは、いずれも、センサ本体11と基材10との間に、介装されている。また、隣り合う一対の電極（例えば、電極12aと電極12b）により、測定区間L1~L8が区画されている。電極12a~12iとコネクタ15とは、各々、配線13a~13iにより、結線されている。

[0079] カバーフィルム14は、アクリルゴム製であって、左右方向に延びる帯状を呈している。カバーフィルム14は、基材10、センサ本体11、および配線13a~13iを、後方から被覆している。

[0080] [曲げセンサの製造方法]

次に、本実施形態の曲げセンサ1の製造方法について説明する。本実施形態の曲げセンサ1の製造方法は、塗料準備工程と、印刷工程と、曲げ硬化工程と、除荷工程と、カバーフィルム印刷工程と、を有している。

[0081] 塗料準備工程においては、センサ塗料、電極塗料、配線塗料、コネクタ塗料、およびカバーフィルム塗料を、各々準備する。すなわち、センサ塗料を、エポキシ樹脂の硬化前樹脂（日本ペルノックス（株）製「ペルノックス（登録商標）ME-562」；液状）100質量部と、硬化剤（同社製「ペル

キュア（登録商標）HV-562」；液状）150質量部と、カーボンビーズ（日本カーボン（株）製「ニカビーズ（登録商標）ICB0520」、平均粒子径約5 μ m）300質量部と、を羽根攪拌により混合して調製する。電極塗料、配線塗料、およびコネクタ塗料には、藤倉化成（株）製「ドータイト（登録商標）FA-312」を使用する。ここで、電極塗料は、本発明における導電塗料に含まれる。カバーフィルム塗料を、次のようにして調製する。まず、アクリルゴムポリマー（日本ゼオン（株）製「ニポール（登録商標）AR51」）100質量部と、加硫助剤のステアリン酸（花王（株）製「ルナック（登録商標）S30」）1質量部と、加硫促進剤のジメチルジチオカルバミン酸亜鉛（大内新興化学（株）製「ノクセラ（登録商標）PZ」）2.5質量部、およびジメチルジチオカルバミン酸第二鉄（同社製「ノクセラ-TTFE」）0.5質量部と、をロール練り機にて混合し、エラストマー組成物を調製する。次に、調製したエラストマー組成物を、印刷用溶剤のエチレングリコールモノブチルエーテルアセテート312質量部に溶解させる。

[0082] 印刷工程においては、カバーフィルム塗料以外の塗料を、スクリーン印刷機を用いて、基材10の表面に印刷する。まず、基材10の表面に、電極塗料、配線塗料、およびコネクタ塗料を、順に印刷する。次に、塗料印刷後の基材10を、約140 $^{\circ}$ Cの乾燥炉内に約30分間静置して、塗膜を硬化させる。このようにして、電極12a~12i、配線13a~13i、およびコネクタ15を形成する。続いて、電極12a~12i等が形成された基材10の表面に、センサ塗料を印刷する。

[0083] 曲げ硬化工程においては、センサ塗料の塗膜が内側になるように基材10を湾曲させて、その状態で加熱して、塗膜を硬化させる。図6に、曲げ硬化工程の前半の模式図を示す。図7に、同工程の後半の模式図を示す。

[0084] まず、図6、図7に示すように、センサ塗料の塗膜110が形成された基材10を、C字形の金型20の内周面200に貼り付ける。この時、金型20の内周面200に、基材10の前面100を当接させる。次に、金型2

0を乾燥炉内に入れ、約140℃で1時間保持して、塗膜110を一次硬化させる。続いて、約170℃で2時間保持して、塗膜110を二次硬化させる。

[0085] 除荷工程においては、基材10を、硬化した塗膜110と共に金型20から剥離して、基材10および硬化した塗膜110を、湾曲した状態から、元の平面状態（前出図6参照）に戻す。本工程により、硬化した塗膜110（センサ本体11）に、歪みが入力されると共に、クラックC1が形成される。このようにして、センサ本体11を作製する。

[0086] カバーフィルム印刷工程においては、スクリーン印刷機を用いて、塗料準備工程にて調製したカバーフィルム塗料を印刷する。まず、基材10、センサ本体11、および配線13a～13iの表面を覆うように、カバーフィルム塗料を印刷する。次に、塗料印刷後の基材10を約150℃の乾燥炉内に約30分間静置して、塗膜を硬化させる。このようにして、カバーフィルム14を形成する。以上の工程により、曲げセンサ1を作製する。

[0087] [曲げセンサの動き]

次に、本実施形態の曲げセンサ1の動きについて説明する。図8に、衝突物の衝突前における、曲げセンサの下方から見た断面図（前出図3のIⅤ-IⅤ断面に相当）を示す。図9に、衝突物の衝突後における、曲げセンサの下方から見た断面図を示す。

[0088] 図8、図9に示すように、曲げセンサ1は、自動車のバンパカバー90の後面90aに設置されている。基材10は、後面90aに貼着されている。衝突物Oが、バンパカバー90に前方から衝突すると、バンパカバー90は、後方に陥没するように変形する。バンパカバー90の変形は、曲げセンサ1に伝達される。すなわち、バンパカバー90の変形は、基材10を介して、センサ本体11、カバーフィルム14に伝達される。これにより、センサ本体11は、基材10およびカバーフィルム14と共に、前方に開口するC字状に湾曲する。

[0089] 図8に示す衝突前状態においては、センサ本体11には、カーボンビーズ

同士の接触により、多数の導電パスが形成されている。したがって、電極 12 a ~ 12 i 間に区画されている測定区間 L 1 ~ L 8 (前出図 4 参照) において検出されるセンサ本体 11 の電気抵抗は、いずれも比較的小さい。これに対して、図 9 に示す衝突後状態においては、衝突の初期段階で、センサ本体 11 が曲がることにより、センサ本体 11 内のクラック C 1 が開口する。このため、導電パスが切断される。加えて、導電性フィラー同士の接触状態が変化することにより、導電パスが切断される。これにより、曲げ変形した測定区間 L 3 ~ L 6 において検出される電気抵抗は、衝突前状態に対して、大きくなる。したがって、出力された電気抵抗値から、センサ本体 11、つまりバンパカバー 90 の曲げ変形を検出することができる。

[0090] [変形形状測定方法]

次に、本実施形態の曲げセンサ 1 を用いた変形形状測定方法について説明する。本実施形態の変形形状測定方法は、検出工程と、部分形状算出工程と、全体形状算出工程と、を有している。

[0091] 検出工程においては、上述したように、曲げセンサ 1 により、測定対象物であるバンパカバー 90 の曲げ変形を、電極 12 a ~ 12 i で区切られた測定区間 L 1 ~ L 8 ごとに検出する。

[0092] 部分形状算出工程においては、検出された測定区間 L 1 ~ L 8 の変形データから、測定区間 L 1 ~ L 8 各々の変形形状を算出する。すなわち、予め求めておいたセンサ本体 11 の歪み量 ε ($\varepsilon = t / R$; t は基材 10 とセンサ本体 11 との合計厚さ (既知)、 R は曲げ変形時の曲率中心から基材 10 裏面までの曲率半径) と電気抵抗との関係を用いて、測定区間 L 1 ~ L 8 ごとに、変形データ (電気抵抗値) から歪み量 ε を算出する。そして、得られた歪み量 ε から、測定区間 L 1 ~ L 8 各々の曲率、曲率半径を算出する。すなわち、測定区間 L 1 ~ L 8 各々の変形形状を算出する。

[0093] 全体形状算出工程においては、算出された測定区間 L 1 ~ L 8 各々の変形形状を繋ぎ合わせて、センサ本体 11 の変形形状を算出する。図 10 に、図 9 に示した衝突後状態におけるセンサ本体の変形形状 (実際の形状) に対す

る、本実施形態の変形状測定方法により算出されたセンサ本体の変形状（推定形状）を表す模式図を示す。図10に示すように、本工程においては、隣り合う測定区間L1～L8の端点a～iが、互いに接線を共有するように、測定区間L1～L8の変形状を繋ぎ合わせる。このようにして、センサ本体11全体の変形状を算出する。つまり、バンパカバー90（詳しくは、バンパカバー90のうち曲げセンサ1が配置されている部分）の衝突後の変形状を算出する。

[0094] [作用効果]

次に、本実施形態の曲げセンサ1および変形状測定方法の作用効果について説明する。本実施形態の曲げセンサ1によると、センサ本体11が曲がることにより、クラックC1が開口する。これにより、導電パスが切断されて、センサ本体11の電気抵抗が、速やかに増加する。したがって、応答遅れが小さい。

[0095] また、主にクラックC1の開口により導電パスが切断されるため、マトリックス樹脂の弾性変形のみ依存して導電パスが切断される場合（前出図17参照）と比較して、小さな歪みについても精度良く検出することができる。

[0096] また、前述したように、マトリックス樹脂の弾性変形の手速は、雰囲気温度に影響される。この点、本実施形態の曲げセンサ1の導電パスは、主にクラックC1の開口により切断される。このため、マトリックス樹脂の弾性変形のみ依存して導電パスが切断される場合（前出図17参照）と比較して、雰囲気温度に対する応答速度の依存性が小さい。並びに、後述する実施例から明らかなように、歪み入力速度に対する応答速度の依存性も小さい。

[0097] また、センサ本体11において、クラックC1は、左右方向に連なる長さ2mmの単位区間U1内に、約2個ずつ形成されている。このため、曲げセンサ1の感度が高い。また、曲げ変形の初期段階において、クラックC1の開口による電気抵抗の増加が大きくなる。

[0098] また、センサ本体11は、カバーフィルム14により被覆されている。こ

れにより、センサ本体 11 の劣化が抑制される。また、曲げ変形後に除荷された際には、カバーフィルム 14 の弾性復元力に助けられて、センサ本体 11 が元の形状に復元しやすい。

[0099] また、センサ本体 11 において、エポキシ樹脂（マトリックス樹脂）に充填されているカーボンビーズ（導電性フィラー）の平均粒子径は、比較的大きい。このため、導電性フィラーの界面に沿って、クラック C1 が形成されやすい。加えて、曲げ変形によりクラック C1 が開口しやすいため、センサ本体 11 の破断歪みを小さくすることができる。

[0100] また、導電性フィラーは球状を呈している。このため、マトリックス樹脂中に、導電性フィラーを、最密充填に近い状態で配合することができる。これにより、三次元的な導電パスが形成されやすくなり、センサ本体 11 の無荷重状態における導電性を、大きくすることができる。また、センサ本体 11 の曲げ変形に対して、導電性フィラーの接触状態が変化しやすい。このため、電気抵抗の変化が大きい。また、カーボンビーズは、官能基が少ない。このため、マトリックス樹脂との界面で破壊が生じやすく、センサ本体 11 にクラック C1 を形成しやすい。

[0101] また、センサ本体 11 を製造する際、検出する曲げ変形とは反対の方向に湾曲した状態で、センサ塗料の塗膜を硬化させている。これにより、バンパカバー 90 に取り付けられた段階で、センサ本体 11 には、予め歪みが入力されている。したがって、センサ本体 11 の曲げ変形時の総歪み量は、予め入力されている歪み量と、曲げ変形に伴う歪み量と、の和になる。センサ本体 11 の総歪み量が大きいと、検出領域を、センサ本体 11 の破断歪み以上の領域、すなわち歪み量と電気抵抗との関係が略線形な領域へ、ずらすことができる（前出図 2 参照）。したがって、本実施形態の曲げセンサ 1 によると感度が向上する。また、電気抵抗から歪み量を算出しやすくなる。

[0102] また、本実施形態の変形形状測定方法によると、曲げセンサ 1 を用いて、バンパカバー 90 の変形形状を、容易に測定することができる。上述したように、曲げセンサ 1 は、応答遅れが生じにくい。よって、バンパカバー 90

の実際の変形形状と、算出された変形形状との間に、タイムラグが発生しにくくなる。また、曲げセンサ 1 の検出領域として、歪み量と電気抵抗との関係が略線形な領域を使用することにより、バンパカバー 90 の変形形状を、精度良く測定することができる。

[0103] <第二実施形態>

本実施形態の曲げセンサおよび変形測定方法と、第一実施形態の曲げセンサおよび変形測定方法と、の相違点は、センサ本体の数、および測定対象物に対する曲げセンサの取り付け方である。したがって、ここでは相違点についてのみ説明する。

[0104] 図 11 に、取付状態における、曲げセンサの下方から見た断面図を示す。図 11 中、前出図 8 と対応する部材については、同じ符号で示す。また、図 11 では、説明の便宜上、電極および配線を省略して示す。

[0105] 図 11 に示すように、測定対象物 91 は粘土製であって、半円柱状を呈している。曲げセンサ 3 は、測定対象物 91 の外周曲面 910 に取り付けられている。曲げセンサ 3 の長手方向と外周曲面 910 の周方向とは略一致している。曲げセンサ 3 は、基材 10 と、五つのセンサ本体 30~34 と、カバーフィルム 14 と、を備えている。曲げセンサ 3 は、基材 10 が外周曲面 910 と当接するように、取り付けられている。基材 10 は、外周曲面 910 に貼着されている。五つのセンサ本体 30~34 は、曲げセンサ 3 の長手方向に、直列に配置されている。センサ本体 30~34 の構成は、いずれも第一実施形態のセンサ本体の構成と、同じである。センサ本体 30~34 の各々は、センサ塗料の硬化時の湾曲状態（前出図 7 参照）を元の平面状態（前出図 6 参照）に戻した状態から、さらに反対側に湾曲させた状態で、配置されている。すなわち、センサ本体 30~34 には、予め歪みが入力されている。また、曲げセンサ 3 の取付状態において、センサ本体 30~34 に形成されたクラックは、開口している。このため、導電パスの多くは、切断された状態である。

[0106] 例えば、測定対象物 91 が左右方向に伸張され、かつ前後方向に圧縮され

るように変形すると、図 1 1 中破線で示すように、センサ本体 3 0 ~ 3 4 は、外周曲面 9 1 0 と共に、曲率半径が大きくなる方向に曲げ変形する。つまり、平面状態に近くなるように曲げ変形する。すると、クラックが閉口すると共に、導電性フィラー同士の接触状態が変化することにより、導電パスが復元される。これにより、センサ本体 3 0 ~ 3 4 の各々において検出される電気抵抗は、曲げ変形前の取付状態に対して、小さくなる。したがって、出力された電気抵抗値から、測定対象物 9 1 の曲げ変形を検出することができる。

[0107] また、予め求めておいたセンサ本体 3 0 ~ 3 4 の歪み量と電気抵抗との関係を用いて、センサ本体 3 0 ~ 3 4 における測定区間ごとに、変形データ（電気抵抗値）から、歪み量を算出する。得られた歪み量から、各々の測定区間の曲率、曲率半径を算出する。そして、各々の測定区間の変形形状を算出する。算出された測定区間の変形形状を繋ぎ合わせて、測定対象物 9 1 におけるセンサ本体 3 0 ~ 3 4 ごとの変形形状を算出する。これらの変形形状を繋ぎ合わせて、曲げセンサ 3 全体、つまり測定対象物 9 1 の変形形状を算出する。

[0108] 本実施形態の曲げセンサ 3 は、第一実施形態の曲げセンサと同様の作用効果を有する。また、本実施形態の曲げセンサ 3 は、直列に配置された 5 つのセンサ本体 3 0 ~ 3 4 を有している。このため、長尺状の測定対象物 9 1 の曲げ変形を検出するのに好適である。

[0109] <第三実施形態>

本実施形態の曲げセンサおよび変形測定方法と、第一実施形態の曲げセンサおよび変形測定方法と、の相違点は、電極形状、配線の構成および形成方法である。したがって、ここでは相違点についてのみ説明する。

[0110] 図 2 1 に、本実施形態の曲げセンサにおける左端付近の拡大図を示す。説明の便宜上、図 2 1 では、カバーフィルムを省略して示す。なお、図 2 1 は、前出図 3 と対応している。よって、図 3 と対応する部材については、同じ符号で示す。

- [0111] 図21に示すように、電極12a、12bの表面形状は、楕円状を呈している。電極12a、12bの左右方向（センサ本体11の延在方向）の端線は、曲線部120a、120bを有する。電極12a、12bは、センサ本体11と基材10との間に、介装されている。電極12a、12bは、樹脂に銀粉末を配合した電極塗料を、基材10にスクリーン印刷して形成されている。当該電極塗料は、本発明における導電塗料に含まれる。
- [0112] 配線13a、13bは、各々、電極12a、12bとコネクタ（図略）とを、接続している。配線13a、13bは、基材10の表面（後面）に予め貼着されていた銅箔を、所定のパターンにエッチングして、形成されている。なお、図示していないが、本実施形態の曲げセンサにおける他の電極12c～12iについても、電極12a、12bと同様に形成されている。また、配線13c～13iについても、配線13a、13bと同様に形成されている。
- [0113] 本実施形態の曲げセンサおよび変形測定方法は、構成が共通する部分については、第一実施形態の曲げセンサおよび変形測定方法と同様の作用効果を有する。また、本実施形態の曲げセンサ1によると、配線13a～13iは、銅箔をエッチングして形成されている。したがって、配線13a～13iを、細線かつ狭ピッチで、形成することができる。これにより、電極12a～12iの数が多くても、曲げセンサ1を小型化することができる。
- [0114] 一方、電極12a～12iは、電極塗料を印刷して形成されている。このため、電極12a～12iの端部は、角張りにくい。つまり、電極12a～12iの左右方向の端面には、面取部が存在する（前出図19参照）。面取部には、応力が集中しにくい。また、電極塗料は、樹脂をバインダーとする。このため、電極12a～12iとセンサ本体11との密着性は良好である。さらに、電極12a～12iは、楕円状を呈している。つまり、電極12a、12bの左右方向の端線は、曲線部120a、120bを有する。このため、応力が集中しにくい。よって、クラックが電極12a～12i周辺に集中して形成されるおそれは小さい。つまり、センサ本体11の全体に亘り

、クラックを略均一に形成することができる。したがって、本実施形態の曲げセンサ 1 によると、測定区間によらず、安定したセンサ応答を得ることができる。

[0115] <第四実施形態>

本実施形態の曲げセンサおよび変形測定方法と、第一実施形態の曲げセンサおよび変形測定方法と、の相違点は、基材の前面に接着層を介して歪み調整板を配置した点である。したがって、ここでは相違点についてのみ説明する。

[0116] 図 22 に、本実施形態の曲げセンサにおける左右方向の断面図を示す。図 22 は、前出図 3 の I V - I V 断面図に相当する。図 22 中、図 4 と対応する部材については、同じ符号で示す。

[0117] 図 22 に示すように、曲げセンサ 1 は、基材 10 と、センサ本体 11 と、電極 12 a ~ 12 i と、配線と、カバーフィルム 14 と、歪み調整板 16 と、接着層 17 と、を備えている。基材 10、センサ本体 11、電極 12 a ~ 12 i、配線、およびカバーフィルム 14 については、第一実施形態と同じである。曲げセンサ 1 の使用温度は、約 20°C に設定されている。基材 10 は、ポリイミド製である。当該ポリイミド（基材 10）のガラスーゴム転移領域は、300 ~ 350°C である。つまり、30°C（曲げセンサ 1 の使用温度 + 10°C）よりも高温側にある。

[0118] 歪み調整板 16 は、ガラス布基材エポキシ樹脂（FR-4）製であって、当該ガラス布基材エポキシ樹脂（歪み調整板 16）のガラスーゴム転移領域は、100 ~ 150°C である。つまり、30°C よりも高温側にある。歪み調整板 16 は、左右方向に延びる平板状を呈している。歪み調整板 16 の厚さは約 0.5 mm である。また、歪み調整板 16 の幅（上下方向長さ）は、基材 10 の幅と略同じである。歪み調整板 16 は、基材 10 の前方に配置されている。歪み調整板 16 と基材 10 とは、接着層 17 を介して接着されている。

[0119] 接着層 17 は、エポキシ系の非弾性接着剤からなる。当該非弾性接着剤（

接着層 17) のガラス-ゴム転移領域は、40~70℃である。つまり、30℃よりも高温側にある。接着層 17 の厚さは、約100μmである。

[0120] 本実施形態の曲げセンサおよび変形測定方法は、構成が共通する部分については、第一実施形態の曲げセンサおよび変形測定方法と同様の作用効果を有する。また、本実施形態の曲げセンサ 1 によると、基材 10、歪み調整板 16、および接着層 17 は、全て、ガラス-ゴム転移領域が曲げセンサ 1 の使用温度+10℃よりも高温側にある材料から構成されている。このため、曲げセンサ 1 を使用する温度範囲において、基材 10、歪み調整板 16、および接着層 17 は、いずれもガラス状態になっている。また、曲げセンサ 1 を使用する温度範囲において、ガラス状態からゴム状態への状態変化もない。よって基材 10 等において、曲げ変形が緩和されるおそれは小さい。つまり、曲げ変形が、正確にセンサ本体 11 に伝達される。その結果、曲げ変形の検出精度が低下しにくい。また、基材 10 等が、全てガラス状態の硬い材料で構成されている。このため、曲げ変形が、速やかにセンサ本体 11 に伝達される。よって、応答遅れが生じにくい。

[0121] <第五実施形態>

本実施形態の曲げセンサと、第一実施形態の曲げセンサと、の相違点は、電極の数を二つにした点、当該電極間に複数の検出部を配置した点、およびクラックの形成方法である。したがって、ここでは相違点についてのみ説明する。

[0122] まず、本実施形態の曲げセンサの構成について説明する。図 29 に、本実施形態の曲げセンサの正面図を示す。図 30 に、図 29 の X X X - X X X 断面図を示す。説明の便宜上、図 29 では、カバーフィルムを除去して示す。図 29、図 30 に示すように、曲げセンサ 7 は、基材 70 と、センサ本体 71 と、電極 72 a、72 b と、配線 73 a、73 b と、コネクタ 74 と、カバーフィルム 75 と、を備えている。

[0123] 基材 70 は、ポリイミド製であって、左右方向に延びる帯状を呈している。左右方向は、本発明の並置方向に相当する。基材 70 の膜厚は約 300 μ

mである。基材70の左下端には、コネクタ74が配置されている。基材70は、上記第一実施形態と同様に、バンパカバー（図略）の後面に貼着されている。

[0124] センサ本体71は、五つの検出部710～714を備えている。検出部710～714は、各々、左右方向に延びる帯状を呈している。検出部710～714は、上下方向に並置されている。上下方向は、本発明の直交方向に相当する。検出部710～714の厚さは、各々、約100 μ mである。検出部710～714は、基材70の表面（後面）に固定されている。

[0125] センサ本体71は、エポキシ樹脂（マトリックス樹脂）にカーボンビーズ（導電性フィラー）が配合されてなる。カーボンビーズの充填率は、センサ本体71の体積を100vol%とした場合の約45vol%である。センサ本体71には、予め多数のクラックC1が形成されている（前出図5参照）。クラックC1は、並置方向と交差する方向、すなわち、センサ本体71の厚さ方向（前後方向）に延びるように配置されている。クラックC1は、センサ本体71の左右方向に連なる長さ2mmの単位区間U1内に、約2個ずつ形成されている。

[0126] 電極72a、72bは、各々、上下方向に延びる短冊状を呈している。電極72a、72bは、各々、基材70とセンサ本体71との間に介装されている。電極72aは、センサ本体71の左端に接続されている。電極72bは、センサ本体71の右端に接続されている。言い換えると、五つの検出部710～714は、左右一対の電極72a、72b間に架設されている。配線73aは、電極72aとコネクタ74とを接続している。配線73bは、電極72bとコネクタ74とを接続している。コネクタ74には、演算装置（図略）が接続されている。

[0127] カバーフィルム75は、アクリルゴム製であって、左右方向に延びる帯状を呈している。カバーフィルム75は、基材70、センサ本体71、電極72a、72b、配線73a、73bを、後方から被覆している。カバーフィルム75の厚さは約20 μ mである。

- [0128] 次に、本実施形態の曲げセンサ7の製造方法について説明する。本実施形態の曲げセンサ7の製造方法は、塗料準備工程と、印刷工程と、硬化工程と、クラック形成工程と、カバーフィルム印刷工程と、を有している。
- [0129] 塗料準備工程においては、センサ塗料、電極塗料、配線塗料、コネクタ塗料、およびカバーフィルム塗料を、各々準備する。各々の塗料については、上記第一実施形態と同じである。よって、ここでは説明を割愛する。
- [0130] 印刷工程においては、カバーフィルム塗料以外の塗料を、スクリーン印刷機を用いて、基材70の表面に印刷する。まず、基材70の表面に、電極塗料、配線塗料、およびコネクタ塗料を、順に印刷する。次に、塗料印刷後の基材70を、約140°Cの乾燥炉内に約30分間静置して、塗膜を硬化させる。このようにして、電極72a、72b、配線73a、73b、およびコネクタ74を形成する。続いて、電極72a、72b等が形成された基材70の表面に、センサ塗料を印刷する。
- [0131] 硬化工程においては、センサ塗料が印刷された基材70を加熱することにより、塗膜を硬化させる。具体的には、センサ塗料の塗膜が形成された基材70を乾燥炉内に入れ、約140°Cで1時間保持して、塗膜を一次硬化させる。続いて、約170°Cで2時間保持して、塗膜を二次硬化させる。
- [0132] クラック形成工程においては、塗膜にクラックを形成する。塗膜は、本発明の「センサ本体の前駆体」に含まれる。具体的には、前出図28に示すように、クラック形成用金型の型面は、曲面状を呈している。一方、基材70は平板状を呈している。基材70を型面に押し当てることにより、塗膜にクラックC1を形成する。このようにして、センサ本体71を作製する。
- [0133] カバーフィルム印刷工程においては、スクリーン印刷機を用いて、塗料準備工程にて調製したカバーフィルム塗料を印刷する。まず、基材70、センサ本体71、電極72a、72b、配線73a、73bの表面を覆うように、カバーフィルム塗料を印刷する。次に、塗料印刷後の基材70を約150°Cの乾燥炉内に約30分間静置して、塗膜を硬化させる。このようにして、カバーフィルム75を形成する。以上の工程により、曲げセンサ7を作製す

る。

[0134] 次に、本実施形態の曲げセンサ7の動きについて説明する。前出図8、図9に示すように、例えば、衝突物Oが、前方からバンパカバー90に衝突すると、バンパカバー90は、後方に陥没するように変形する。バンパカバー90の変形が曲げセンサ7に伝達されることにより、センサ本体71は、基材70およびカバーフィルム75と共に、後方に突出するように湾曲する。センサ本体71が曲がることにより、センサ本体71内のクラックC1が開口する。このため、導電パスが切断される。加えて、導電性フィラー同士の接触状態が変化することにより、導電パスが切断される。これにより、検出される電気抵抗は、衝突前状態に対して、大きくなる。したがって、出力された電気抵抗から、センサ本体71、つまりバンパカバー90の曲げ変形を検出することができる。

[0135] 本実施形態の曲げセンサ7は、構成が共通する部分については、第一実施形態の曲げセンサと同様の作用効果を有する。また、本実施形態の曲げセンサ7によると、センサ本体71は、五つの検出部710~714を備えている。検出部710~714は、各々、左右方向に延在している。検出部710~714は、互いに上下方向に並んでいる。したがって、左右方向に延在する単一の検出部を有する曲げセンサと比較して、検出部の総面積が等しい場合、電気抵抗のばらつきを小さくすることができる。

[0136] また、本実施形態の曲げセンサ7によると、検出部710~714は、電極72aと電極72bとの間において、互いに電氣的に並列に接続されている。並列接続の場合、検出部710~714の電気抵抗を、 R_a 、 R_b 、 R_c 、 R_d 、 R_e 、合成電気抵抗を R とすると、 $1/R = 1/R_a + 1/R_b + 1/R_c + 1/R_d + 1/R_e$ となる。このため、仮に、任意の検出部710~714の電気抵抗がばらついても、センサ本体71全体としては、ばらつきを緩和することができる。したがって、合成電気抵抗 R のばらつきを小さくすることができる。また、本実施形態の曲げセンサ7によると、検出部710~714が並列接続されているため、検出部710~714の配置

数を増やしても、合成電気抵抗Rが増加しにくい。

[0137] また、本実施形態の曲げセンサ7によると、センサ本体71が五つの検出部710～714を備えている。五つの検出部710～714は、各々、左右方向に延在している。五つの検出部710～714は、互いに上下方向に並んでいる。このため、左右方向に延在する単一の検出部を有する曲げセンサと比較して、検出部の総面積が等しい場合、検出部710～714の上下方向幅を小さくすることができる。したがって、クラックC1の密度を大きくすることができる。すなわち、電気抵抗のばらつきを小さくすることができる。また、曲げセンサ7の感度を向上させることができる。

[0138] <第六実施形態>

本実施形態の曲げセンサと第五実施形態の曲げセンサとの相違点は、二つの電極間において、センサ本体がジグザグ状に延在している点である。ここでは、相違点についてのみ説明する。

[0139] 図31に、本実施形態の曲げセンサの正面図を示す。説明の便宜上、カバーフィルムを除去して示す。なお、図29と対応する部位については同じ符号で示す。図31に示すように、電極72aは、基材70の左上隅に配置されている。電極72bは、基材70の右下隅に配置されている。センサ本体71は、電極72aと電極72bとを、ジグザグに連結している。センサ本体71は、五つの検出部710～714を備えている。検出部710～714は、各々、左右方向に延びる帯状を呈している。検出部710～714は、上下方向に並置されている。検出部710の右端と検出部711の右端、検出部711の左端と検出部712の左端、検出部712の右端と検出部713の右端、検出部713の左端と検出部714の左端は、各々接続されている。すなわち、検出部710～714は、直列接続されている。

[0140] 本実施形態の曲げセンサ7は、構成が共通する部分については、第五実施形態の曲げセンサと同様の作用効果を有する。本実施形態の曲げセンサ7によると、検出部710～714は、電極72aと電極72bとの間において、互いに電氣的に直列に接続されている。直列接続の場合、検出部710～

714の電気抵抗を、 R_a 、 R_b 、 R_c 、 R_d 、 R_e 、合成電気抵抗を R とすると、 $R=R_a+R_b+R_c+R_d+R_e$ となる。このため、仮に、任意の検出部710～714の電気抵抗がばらついても、センサ本体71全体としては、ばらつきを緩和することができる。したがって、合成電気抵抗 R のばらつきを小さくすることができる。

[0141] また、本実施形態の曲げセンサ7によると、五つの検出部710～714が、一筆書きのように、直列に連なっている。このため、検出部710～714の配置数を増やしても、センサ本体71と電極72a、72bとの接続部分の構成を変える必要がない。

[0142] <その他>

以上、本発明の曲げセンサおよび変形測定方法の実施形態について説明した。しかしながら、本発明の曲げセンサおよび変形測定方法の実施形態は上記形態に限定されるものではない。当業者が行いうる種々の変形的形態、改良的形態で実施することも可能である。

[0143] 例えば、センサ本体にクラックを形成するために、上記第一～第四実施形態では、曲げセンサを製造する過程において、センサ塗料の塗膜を、検出する曲げ変形とは反対の方向に湾曲させながら硬化させた。この場合、湾曲させる程度は、形成されるクラックの密度や大きさ、入力される歪み量等を考慮して、適宜調整すればよい。また、除荷工程の後に、さらに曲げ工程を追加してもよい。すなわち、曲げ工程において、硬化後に平面状態に戻したセンサ本体に対して、さらに曲げ戻しを繰り返し行う。あるいは、当該センサ本体を、曲げ硬化工程の曲げ方向とは反対方向に湾曲させる。こうすることにより、クラックを増加させて、マトリックス樹脂中に分散させることができる。

[0144] また、センサ本体にクラックを形成する方法は、上記実施形態に限定されるものではない。例えば、予め基材の表面に凹凸を形成しておき、当該凹凸表面に、センサ塗料を印刷して硬化させてもよい。こうすると、塗膜の硬化時に凹凸の角部分に応力が集中することにより、クラックが形成されやすく

なる。硬化後、さらにセンサ本体を曲げ加工することが望ましい。こうすることにより、クラックを増加させて、マトリックス樹脂中に分散させることができる。また、形成する凹凸の分布等を工夫することにより、クラックの分布等を調整することができる。

[0145] また、上記第一～第四実施形態では、クラックを形成すると共に、センサ本体に歪みを入力した。しかし、予歪みは必ずしも入力されていなくてもよい。

[0146] カバーフィルムとしては、アクリルゴム等の合成ゴムや天然ゴムを用いることができる。基材としては、ポリイミドの他、絶縁性の高いポリエチレン、ポリエチレンテレフタレート（PET）等の樹脂フィルムを用いることができる。また、基材の厚さを調整することにより、曲げセンサの感度を調整することができる。例えば、基材の厚さを大きくすると、曲げ変形時におけるセンサ本体の歪み量が大きくなる。これにより、曲げセンサの感度を向上させることができる。

[0147] 電極の数や配置形態は、上記実施形態に限定されるものではない。電極の数を増加させることにより、測定区間をより細かく区画することができる。こうすることにより、測定対象物の形状を、より細かく分割して測定することができる。その結果、測定対象物全体の変形形状を、より正確に算出することができる。

[0148] また、電極の形状も、上記実施形態に限定されるものではない。クラック形成時に電極の端部への応力集中を抑制するという観点から、センサ本体の延在方向の端線が曲線部を有する形状に、電極を形成することが望ましい。図23に、電極の表面形状例を示す。図23中、左右方向がセンサ本体の延在方向に相当する。図23に示すように、好適な電極の表面形状として、（a）真円状、（b）楕円状、（c）長円状（一对の対向する半円を直線で連結した形状）等が挙げられる。また、電極を印刷により形成する場合には、スクリーン印刷の他、インクジェット印刷、フレキソ印刷、グラビア印刷、スクリーン印刷、パッド印刷、リソグラフィ等を用いることができる。

[0149] また、上記第二実施形態の曲げセンサによると、一枚の基材の表面に、複数のセンサ本体を配置すると共に、センサ本体の全てを一枚のカバーコートで被覆した。しかし、センサ本体ごとに、基材およびカバーフィルムを独立させてもよい。すなわち、上記第一実施形態の曲げセンサを複数連結させて、測定対象物に取り付けてもよい。測定対象物には、カバーフィルム側、基材側のいずれを接触させてもよい。また、曲げセンサを直線状に配置しても、湾曲させて配置してもよい。

[0150] センサ本体を構成するマトリックス樹脂、導電性フィラーについても、上記実施形態に限定されるものではない。マトリックス樹脂としては、熱硬化樹脂または熱可塑性樹脂を用いればよい。マトリックス樹脂は、後述する導電性フィラーとの相溶性等を考慮して、選択されることが望ましい。熱硬化樹脂としては、例えば、エポキシ樹脂、アルキド樹脂、フェノール樹脂、ユリア樹脂、メラミン樹脂、不飽和ポリエステル樹脂、ポリウレタン、ポリイミド等が挙げられる。また、熱可塑性樹脂としては、例えば、ポリエチレン（PE）、ポリプロピレン（PP）、ポリ塩化ビニル（PVC）、ポリスチレン（PS）、ポリビニルアセテート（PVAc）、ポリテトラフルオロエチレン（PTFE）、アクリロニトリルブタジエンスチレン（ABS）樹脂、アクリル樹脂、ポリアミド（PA）、ポリアセタール（POM）、ポリカーボネート（PC）、ポリフェニレンオキシド（PPO）、ポリエチレンテレフタレート（PET）、ポリブチレンテレフタレート（PBT）等が挙げられる。

[0151] 導電性フィラーは、導電性を有する粒子であれば、特に限定されるものではない。例えば、炭素材料、金属等の微粒子が挙げられる。これらのうち、一種を単独で、あるいは二種以上を併せて用いることができる。導電性フィラーのアスペクト比（短辺に対する長辺の比）は、1以上2以下の範囲が望ましい。アスペクト比が2より大きくなると、導電性フィラー同士の接触により、一次元的な導電パスが形成され易くなる。このため、変形時に所望の電気抵抗の変化が得にくくなる。例えば、マトリックス樹脂中における導電

性フィラーの充填状態を、より最密充填状態に近づけるという観点から、導電性フィラーとして、球状（真球あるいは極めて真球に近い形状）の粒子を採用するとよい。

[0152] センサ本体には、マトリックス樹脂、導電性フィラーに加え、各種添加剤が配合されていてもよい。添加剤としては、例えば、老化防止剤、可塑剤、軟化剤、着色剤等が挙げられる。センサ本体は、例えば、マトリックス樹脂、導電性フィラー等を含むセンサ塗料を、基材表面に塗布した後、乾燥、硬化させて製造することができる。また、加熱溶融した熱可塑性樹脂に導電性フィラーを加えて混合した後、基材の表面に成形して製造してもよい。センサ塗料の塗布方法は、既に公知の種々の方法を採用することができる。例えば、インクジェット印刷、フレキソ印刷、グラビア印刷、スクリーン印刷、パッド印刷、リソグラフィー等の印刷法その他、ディップ法、スプレー法、バーコート法等が挙げられる。

[0153] 上記第四実施形態の曲げセンサによると、基材の前面に、接着層を介して歪み調整板を配置した。歪み調整板の材質は、基材の材質、曲げセンサの使用温度とガラス-ゴム転移領域との関係を考慮して、適宜決定すればよい。また、歪み調整板の厚さを大きくすると、曲げ変形による歪みを拡大することができる。よって、想定される曲げ変形に応じて、歪み調整板の厚さを調整し、センサ応答を最適化すればよい。また、接着層を構成する接着剤についても、基材および歪み調整板の材質、曲げセンサの使用温度とガラス-ゴム転移領域との関係を考慮して、適宜決定すればよい。

[0154] 上記第五、第六実施形態においては、センサ本体の条数（検出部710～714の配値数）を五つとした。しかしながら、条数は特に限定しない。10個、20個などであってもよい。条数が多いほど、合成電気抵抗のばらつきを小さくすることができる。また、条数が多いほど、クラックの密度を大きくすることができる。この点においても、合成電気抵抗のばらつきを小さくすることができる。また、曲げセンサの感度を向上させることができる。

[0155] また、上記第五、第六実施形態においては、クラックの密度を大きくする

ために、検出部の上下方向幅を小さくした。しかしながら、検出部、つまりセンサ本体の前後方向厚さを小さくすることにより、クラックの密度を大きくしてもよい。また、図28に示すように、クラック形成用金型23の型面230の曲率半径を小さくすることにより、クラックの密度を大きくしてもよい。こうすると、多数のクラックを形成することができる。このため、クラックの密度を大きくすることができる。また、基材の前後方向厚さを小さくすることにより、クラックの密度を大きくしてもよい。

実施例

[0156] 次に、実施例を挙げて本発明をより具体的に説明する。

[0157] <曲げセンサの応答性>

[実験方法]

電極の配置形態以外は、上記第一実施形態と同様の曲げセンサを作製した。当該曲げセンサ（以下適宜、「実施例のセンサ」と称す）について衝突実験を行い、応答性を評価した。図12に、衝突実験装置の模式図を示す。図12に示すように、衝突実験装置5は、ストライカー50と、弾性体51と、絶縁シート52と、を備えている。弾性体51は、ウレタンフォーム製であって、直方体を呈している。絶縁シート52は、ポリエチレン製であって、弾性体51の上面に配置されている。曲げセンサ6は、基材60と、センサ本体61と、一对の電極63a、63bと、カバーフィルム64と、を備えている。基材60、センサ本体61、およびカバーフィルム64の構成は、上記第一実施形態と同じである。電極63aはセンサ本体61の左端に、電極63bはセンサ本体61の右端に、各々配置されている。電極63a、63bは、センサ本体61と基材60との間に、介装されている。曲げセンサ6は、基材60が上側になるように、絶縁シート52の上面に配置されている。曲げセンサ6に対して、半円筒状のストライカー50を上方から衝突させて、衝突実験を行った。

[0158] [実験結果]

図13に、実施例のセンサの応答の経時変化を示す（ストライカー速度：

8. 0 m/s)。図13の縦軸は、次式(1)により算出される抵抗増加率である。

$$\text{抵抗増加率}(-) = \Delta R / R_0 = (R - R_0) / R_0 \cdots (1)$$

[R₀: 衝突前の初期電気抵抗値、R: 衝突後の電気抵抗値]

なお、図13には、比較のため、従来の曲げセンサ(以下、「比較例のセンサ」と称す)の結果についても併せて示す。比較例のセンサは、エポキシ樹脂にカーボンビーズが充填されてなるセンサ本体を備えている。センサ本体には、クラックは形成されていない。

[0159] 図13に示すように、実施例のセンサによると、衝突直後に電気抵抗が急上昇して、衝突から約6m秒後には、応答が完了していることがわかる。これに対して、比較例のセンサによると、電気抵抗の上昇が緩慢で、衝突から約6m秒後には、まだ応答は完了していない。また、実施例のセンサと比較して、抵抗増加率も小さい。

[0160] また、図14に、ストライカー速度を変化させた時の、実施例のセンサの応答の経時変化を示す。ストライカー速度は、8.0 m/s、4.0 m/s、2.0 m/sの三種類とした。図14においては、速度=8.0 m/sのデータを太線で、速度=4.0 m/sのデータを中太線で、速度=2.0 m/sのデータを細線で、それぞれ示す。各速度ごとに、4回ずつ測定を行った。図14中、静的応答とは、ストライカー50で、曲げセンサ6を上方からゆっくり押圧し変形を保持した時に得られる、電気抵抗の最大値を意味する。

[0161] 図14に示すように、実施例のセンサによると、ストライカー速度、すなわち歪みの入力速度によらず、ストライカーの形状に対応した一定の電気抵抗値を示した。以上より、本発明の曲げセンサによると、歪みの入力速度に対する依存性が小さいことが確認された。

[0162] <センサ応答の線形性>

[実験方法]

上記実施例のセンサについて、予めセンサ本体に入力する歪み量(以下、

「予歪み量」と称す)を変化させて、曲げ実験を行った。予歪み量は、曲げ硬化工程で使用する金型内周面の曲率を変化させて調整した。ここで、予歪み量 ε_{pre} は、次式(2)により算出される。

$$\varepsilon_{pre} (\%) = L_s / L_c \times 100 \dots (2)$$

[L_s : 曲げ硬化時の、センサ本体の最表面の長手方向長さ、 L_c : 基材の厚さ方向中心面の長手方向長さ(定数)]

曲げ実験は、センサ本体の予歪み量が異なる複数の試験片(センサ本体+基材)を、曲げ部材に貼着して、予歪み入力時に湾曲した方向とは反対方向に湾曲させて行った。試験片の予歪み量は、0%、0.5%、0.7%、0.9%の四種類とした。また、基材の厚さは0.5mmとした。曲げ変形時に入力される歪み量 ε_{bend} は、次式(3)により算出される。

$$\varepsilon_{bend} (\%) = (L - L_0) / L_0 \times 100 = t / r \dots (3)$$

[L : 曲げ変形時の、センサ本体の最表面の長手方向長さ、 L_0 : 初期状態(曲げ変形前)の、センサ本体の最表面の長手方向長さ、 t : 試験片厚さ、 r : 試験片の曲率半径]

[0163] [実験結果]

図15に、各々の試験片から測定された、総歪み量に対する電気抵抗の変化を示す。総歪み量は、予歪み量に曲げ実験時の歪み量を加えた値($\varepsilon_{pre} + \varepsilon_{bend}$)である。図15に示すように、予歪み量が大きくなるに従って、総歪み量が大きくなる。これに伴い、電気抵抗も大きくなっている。以上より、センサ塗料の塗膜を湾曲させた状態で、加熱硬化させることより、センサ本体に所定の歪みが入力されることが確認された。

[0164] また、各々の試験片について、曲げ変形時の曲率($1/r$)に対する、抵抗増加率($\Delta R/R_0$; R_0 は曲げ変形前の初期電気抵抗値、 R は曲げ変形時の電気抵抗値)をプロットした。そして、曲率と抵抗増加率との関係を、一次式で近似して、寄与率(相関係数の2乗)を求めた。図16に、予歪み量に対する寄与率を示す。

[0165] 図16に示すように、予歪み量が0.5%、0.7%、0.9%の場合、

寄与率は極めて1に近い値になった。具体的には、予歪み量が0%の場合の寄与率は0.8523であったのに対して、予歪み量が0.5%の場合の寄与率は0.9975、予歪み量が0.7%の場合の寄与率は0.998、予歪み量が0.9%の場合の寄与率は0.99845であった。すなわち、予歪み量が0.5%、0.7%、0.9%の場合、曲率と電気抵抗との関係は、略線形であるといえる。このように、センサ本体に予め所定の歪みを入力しておくことにより、曲げセンサの検出領域を、曲げ変形とセンサ応答との関係が線形な領域にシフトさせることができる。

[0166] <歪み調整板による歪み拡大効果>

カバーフィルムが無い以外は、上記第四実施形態と同じ構成の曲げセンサを作製し、歪み調整板の厚さを変えて、曲げ変形に対する歪み量を測定した。曲げセンサにおけるセンサ本体の厚さは約80 μ m、基材の厚さは約120 μ m、接着層の厚さは約100 μ mである。歪み調整板の厚さは、200 μ m、900 μ mの二種類とした。図24に、曲げ変形に対する歪み量の測定結果を示す。図24には、比較のため、歪み調整板および接着層が無い曲げセンサ（基材+センサ本体）の測定結果についても併せて示す。なお、本測定においては、曲げセンサの1/2厚さの部分を曲げの中立面とした。したがって、図24の縦軸の歪み量は、次式(4)により算出される。

$$\text{歪み量} = (L - L_0) / L_0 = \{ (r + t/2) \theta - r \theta \} / r \theta = t / 2r \dots (4)$$

[L: 曲げ変形時の、曲げセンサ最表面の長手方向長さ、L₀: 初期状態（曲げ変形前）の、曲げセンサ最表面の長手方向長さ、t: 曲げセンサの厚さ、r: 曲率中心から曲げの中心軸までの曲率半径]

図24に示すように、歪み調整板を配置した曲げセンサについては、歪み調整板が無い曲げセンサに対して、歪み量が大きくなった。また、歪み調整板が厚いほど、歪み量がより大きくなった。このように、歪み調整板を配置すると、曲げ変形による歪みを拡大することができる。また、歪み調整板を厚くすることにより、歪み量をより大きくすることができる。

[0167] <接着層の種類によるセンサ応答への影響>

接着層を変更して、上記第四実施形態と同じ構成の曲げセンサを作製し、応答性を評価した。応答性の評価は、約20°Cで行った。接着層には、ガラス-ゴム転移領域が異なる二種類の接着剤を用いた。図25に、使用した接着剤のガラス-ゴム転移領域を示す。

[0168] 図25に示すように、接着剤Aのガラス-ゴム転移領域は、40~70°Cであり、30°C（使用温度+10°C）よりも高温側にある。一方、接着剤Bのガラス-ゴム転移領域は、-60~40°Cであり、使用温度の20°C±10°Cの範囲を含んでいる。ちなみに、基材および歪み調整板のガラス-ゴム転移領域は、30°Cよりも高温側にある。

[0169] これら二種類の接着剤を各々用いた二つの曲げセンサについて、上記同様の衝突実験を行い、応答性を評価した（前出図12参照）。以下、二つの曲げセンサを、使用した接着剤の種類により、曲げセンサA、曲げセンサB、と称す。曲げセンサA、Bについては、いずれも歪み調整板が上側になるように、絶縁シートの上面に配置した。ストライカー速度は、8.0m/sとした。図26に、センサ応答の経時変化を示す。図26の縦軸は、前出式（1）により算出される抵抗増加率である。

[0170] 図26に示すように、曲げセンサAについては、ストライカーの衝突により曲げ変形し始めると、速やかに電気抵抗が増加した。そして、曲げ変形が完了すると電気抵抗の増加も停止して、その後は、曲げ変形完了時の電気抵抗の値が保持されていた。一方、曲げセンサBについては、曲げ変形開始と共に、ゆるやかに電気抵抗が増加した。そして、曲げ変形が完了しても電気抵抗の増加が続き、曲げ変形が完了してから約4ミリ秒後に、想定された電気抵抗値に達した。曲げセンサBは、ガラス-ゴム転移領域が使用温度範囲と重なる接着剤Bを用いた。このため、歪み調整板を介して伝達された曲げ変形が、接着層で緩和されたと考えられる。したがって、曲げセンサBにおいては、曲げ変形が速やかにセンサ本体に伝達されずに、応答遅れが生じた。

[0171] <電気抵抗測定シミュレーション>

[サンプル]

実施例 1～3 のサンプルは、第五実施形態の曲げセンサ（図 29 参照）と同様に、検出部が並列接続された曲げセンサである。実施例 4～6 のサンプルは、第六実施形態の曲げセンサ（図 31 参照）と同様に、検出部が直列接続された曲げセンサである。参考例 1 のサンプルは、先の衝突実験で使用した曲げセンサと同様に、単一の検出部を有する曲げセンサである（図 12 参照）。実施例 1～6、参考例 1 のサンプルの検出部の総面積は一定である。また、以下に特に断らない限り、各サンプルの構成部材の配置、形状、材質は一定である。以下、図 12、図 29～図 31 を援用しながら、各サンプルの構成を説明する。

[0172] (1) 実施例 1

実施例 1 のサンプルの構成は、第五実施形態の曲げセンサの構成と同様である。また、検出部 710～714 の短手方向幅は、各々、1 mm である。検出部 710～714 の長手方向全長は、各々、50 mm である。

[0173] (2) 実施例 2

実施例 2 は、実施例 1 に対して、検出部 710～714 が、五条ではなく、十条配置されている点において異なっている。また、検出部 710～714 の短手方向幅が、各々、1 mm ではなく、0.5 mm である点において異なっている。これら以外の点については、同様である。

[0174] (3) 実施例 3

実施例 3 は、実施例 1 に対して、検出部 710～714 が、五条ではなく、二十条配置されている点において異なっている。また、検出部 710～714 の短手方向幅が、各々、1 mm ではなく、0.25 mm である点において異なっている。これら以外の点については、同様である。

[0175] (4) 実施例 4

実施例 4 のサンプルの構成は、第六実施形態の曲げセンサの構成と同様である。また、検出部 710～714 の短手方向幅は、各々、1 mm である。

検出部 710~714 の長手方向全長は、各々、50mm である。

[0176] (5) 実施例 5

実施例 5 は、実施例 4 に対して、検出部 710~714 が、五条ではなく、十条配置されている点において異なっている。また、検出部 710~714 の短手方向幅が、各々、1mm ではなく、0.5mm である点において異なっている。これら以外の点については、同様である。

[0177] (6) 実施例 6

実施例 6 は、実施例 4 に対して、検出部 710~714 が、五条ではなく、二十条配置されている点において異なっている。また、検出部 710~714 の短手方向幅が、各々、1mm ではなく、0.25mm である点において異なっている。これら以外の点については、同様である。

[0178] (7) 参考例 1

参考例 1 のサンプルの構成は、図 12 に示す曲げセンサ 6 の構成と同様である。すなわち、参考例 1 には、単一の検出部（センサ本体）61 が配置されている。検出部 61 の短手方向幅は、5mm である。

[0179] [シミュレーション方法]

各サンプルに対して、電気抵抗測定シミュレーションをモンテカルロ法により行った。単一の検出部 710~714、61 の電気抵抗のばらつき（平均値を 100% とした場合の±方向のばらつき）が±33.3% の範囲に一様分布すると仮定し、当該ばらつきを含んだ各サンプルの合成抵抗値の平均値、標準偏差、最大値、最小値を 2000 回の試行により求めた。

[0180] [シミュレーション結果]

表 1 にシミュレーション結果を示す。

[表1]

検出部の接続方式	参考例 1	実施例 1	実施例 2	実施例 3	実施例 4	実施例 5	実施例 6
	並列接続				直列接続		
平均値 (%)	99.9	97.1	96.5	96.3	2501	10001	40082
最大値 (%)	133.3	126.4	119.5	109.8	3222	11839	45074
最小値 (%)	66.7	74.1	79.5	83.6	1828	8097	33802
レンジ (%)	66.6	52.3	40.0	26.3	1394	3743	11272
ばらつき (%)	±33.3	±27	±20.7	±13.6	±28	±19	±14
標準偏差	19.5	8.8	6.3	4.4	210	593	1695
変動係数	19.5	9.0	6.5	4.5	8.4	5.9	4.2

[0181] 表 1 中、レンジは、最大値－最小値を示す。変動係数は、標準偏差／平均値である。また、図 3 2 に、検出部を並列接続した場合の条数と電気抵抗比との関係をグラフで示す。また、図 3 3 に、検出部を直列接続した場合の条数と電気抵抗比との関係をグラフで示す。また、図 3 4 に、検出部を並列接続した場合と直列接続した場合との条数と変動係数との関係をグラフで示す。なお、表 1、図 3 2、図 3 3 の平均値、最大値、最小値は、各々、単一の検出部の電気抵抗の平均値を 100%とした場合の、電気抵抗比（相対値）である。

[0182] 表 1、図 3 2 に示すように、並列接続の場合、条数が多くなるのに従って、レンジ、ばらつきが小さくなる。また、平均値は略一定である。表 1、図 3 3 に示すように、直列接続の場合、条数が多くなるのに従って、電気抵抗比が大きくなる。このため、レンジも大きくなる。しかしながら、ばらつきは小さくなる。表 1、図 3 4 に示すように、並列接続の場合、条数が多くなるのに従って、変動係数は小さくなる。同様に、直列接続の場合、条数が多くなるのに従って、変動係数は小さくなる。すなわち、並列接続の場合、直列接続の場合、共に、条数が多くなるのに従って、相対的なばらつきは小さくなる。

産業上の利用可能性

[0183] 本発明の曲げセンサおよび変形形状測定方法は、車両の衝突検知の他、各種衝突試験において、衝突時の変形形状の推移を推定する手段として有用である。

請求の範囲

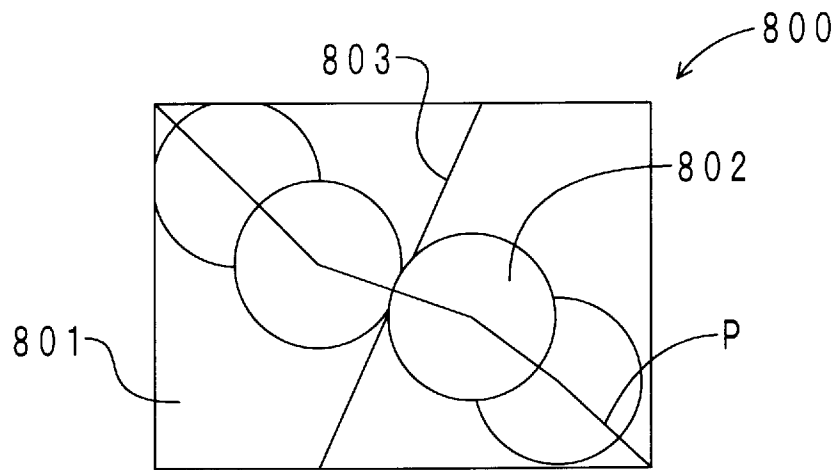
- [請求項1] 基材と、
該基材表面に配置され、マトリックス樹脂と、該マトリックス樹脂中に30vol%以上の充填率で充填されている導電性フィラーと、を有し、該導電性フィラー同士の接触により三次元的な導電パスが形成され、変形量が増加するに従って電気抵抗が増加するセンサ本体と、
該センサ本体を被覆するように配置され、弾性変形可能なカバーフィルムと、
該センサ本体に接続され、電気抵抗を出力可能な複数の電極と、を備える曲げセンサであって、
前記センサ本体には、曲げ変形した時に前記導電パスを切断する方向に、予めクラックが形成されていることを特徴とする曲げセンサ。
- [請求項2] 前記導電性フィラーの平均粒子径は、 $0.05\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下である請求項1に記載の曲げセンサ。
- [請求項3] 前記導電性フィラーは、球状カーボンである請求項1に記載の曲げセンサ。
- [請求項4] 前記センサ本体において、複数の前記電極の配置方向に連なる長さ2mm以下の単位区間を複数区画した場合に、
前記クラックは、該単位区間内に、少なくとも一つ形成されている請求項1に記載の曲げセンサ。
- [請求項5] 前記センサ本体には、予め歪みが入力されている請求項1に記載の曲げセンサ。
- [請求項6] 複数の前記電極は、導電塗料を前記基材に印刷して形成されている請求項1に記載の曲げセンサ。
- [請求項7] 前記電極の表面形状における、前記センサ本体の延在方向の端線は、曲線部を有する請求項6に記載の曲げセンサ。
- [請求項8] 複数の前記電極と各々接続されている配線を備え、

該配線は、金属箔をエッチングして形成されている請求項 1 に記載の曲げセンサ。

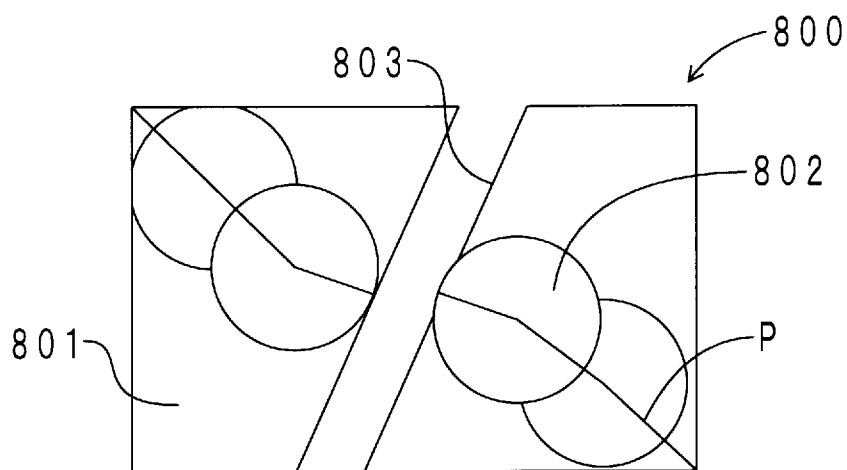
- [請求項9] さらに、前記基材裏面に配置される歪み調整板と、
該歪み調整板と該基材とを接着する接着層と、を備え、
該基材、該歪み調整板、および該接着層は、いずれも、貯蔵弾性率が遷移するガラスーゴム転移領域が、曲げセンサを使用する温度範囲の下限温度−10℃よりも低温側、または上限温度+10℃よりも高温側にある材料からなる請求項 1 に記載の曲げセンサ。
- [請求項10] 二つの前記電極が並ぶ方向を並置方向、該並置方向に直交する方向を直交方向として、前記センサ本体は、二つの該電極間に、該並置方向に延在し該直交方向に並ぶ複数の検出部を有する請求項 1 に記載の曲げセンサ。
- [請求項11] 複数の前記検出部は、隣り合う二つの前記電極間において、互いに電氣的に並列に接続される請求項 10 に記載の曲げセンサ。
- [請求項12] 複数の前記検出部は、隣り合う二つの前記電極間において、互いに電氣的に直列に接続される請求項 10 に記載の曲げセンサ。
- [請求項13] 前記クラックは、前記センサ本体の前駆体をクラック形成用金型の型面に沿って変形させることにより形成される請求項 10 に記載の曲げセンサ。
- [請求項14] 前記検出部は、5 個以上配置されている請求項 10 に記載の曲げセンサ。
- [請求項15] 請求項 1 ないし請求項 14 のいずれかに記載の曲げセンサの曲げ変形を、前記電極で区切られた測定区間ごとに検出する検出工程と、
検出された該測定区間の変形データから、該測定区間の変形形状を算出する部分形状算出工程と、
算出された該測定区間の変形形状を繋ぎ合わせて、該曲げセンサ全体の変形形状を算出する全体形状算出工程と、
を有する変形形状測定方法。

[図1]

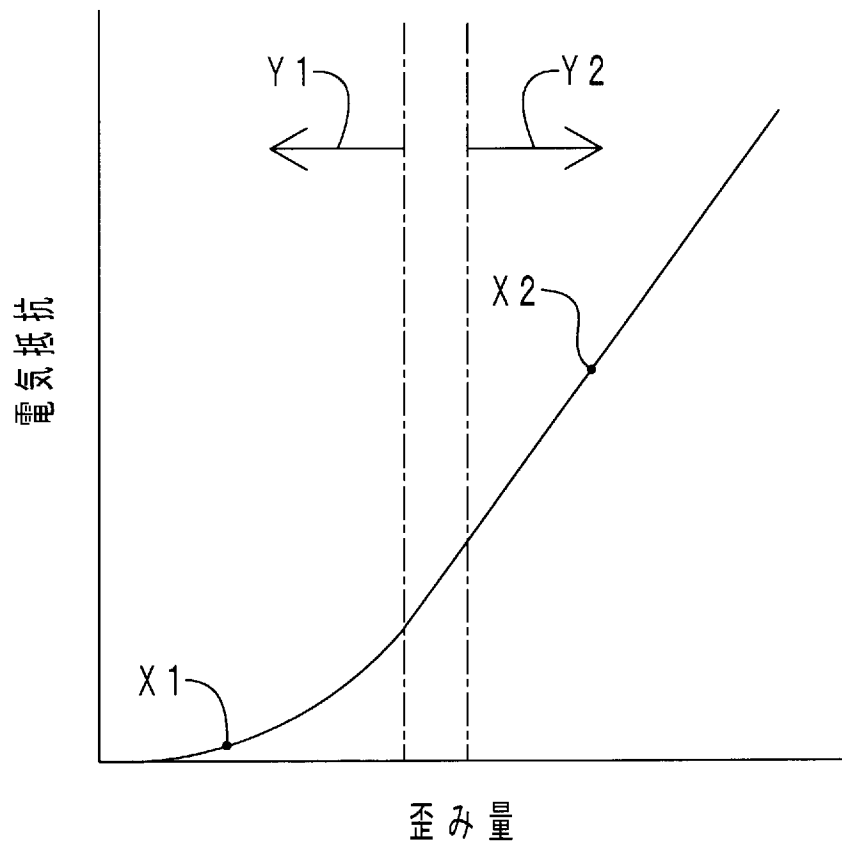
(a)



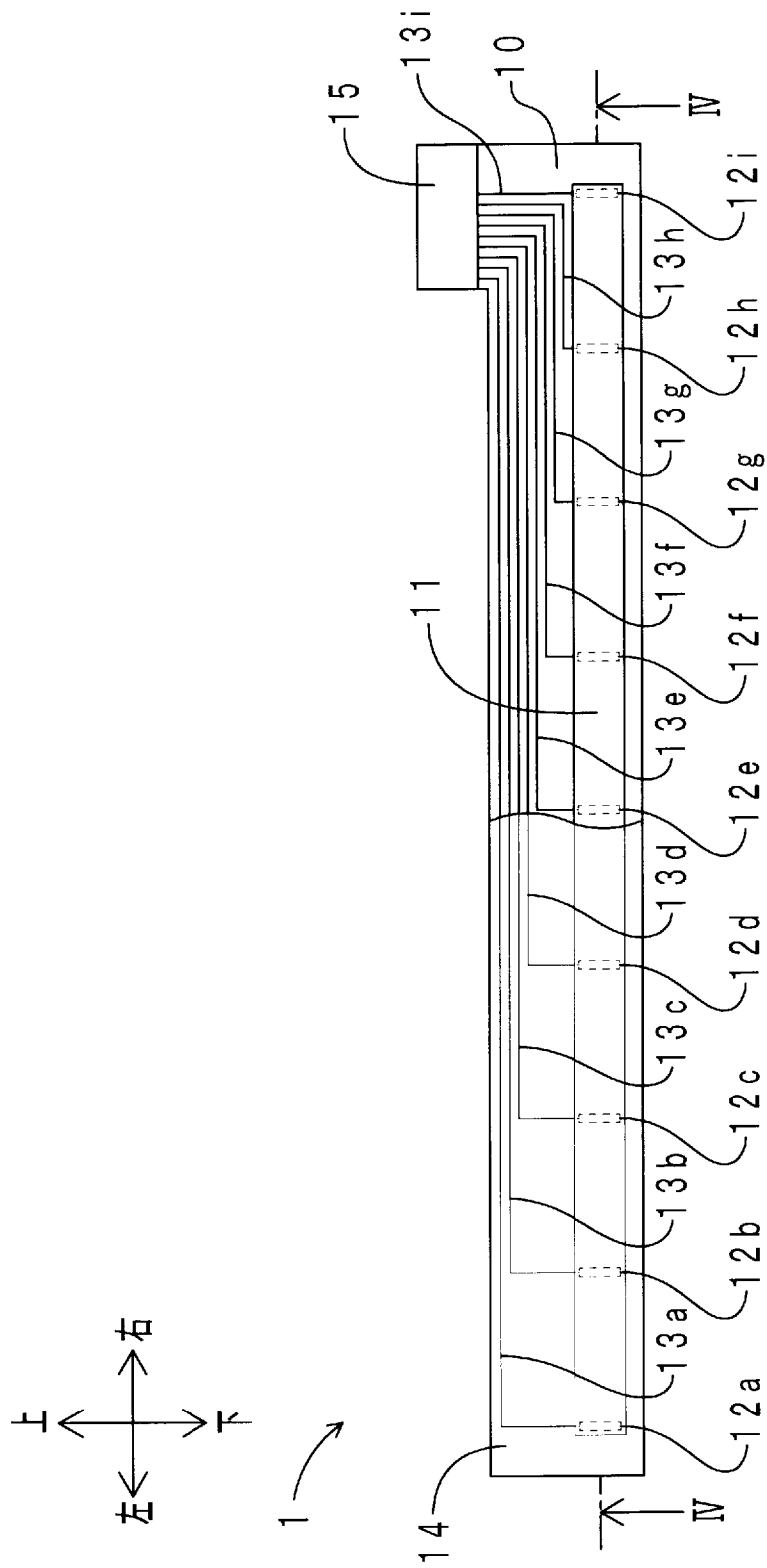
(b)



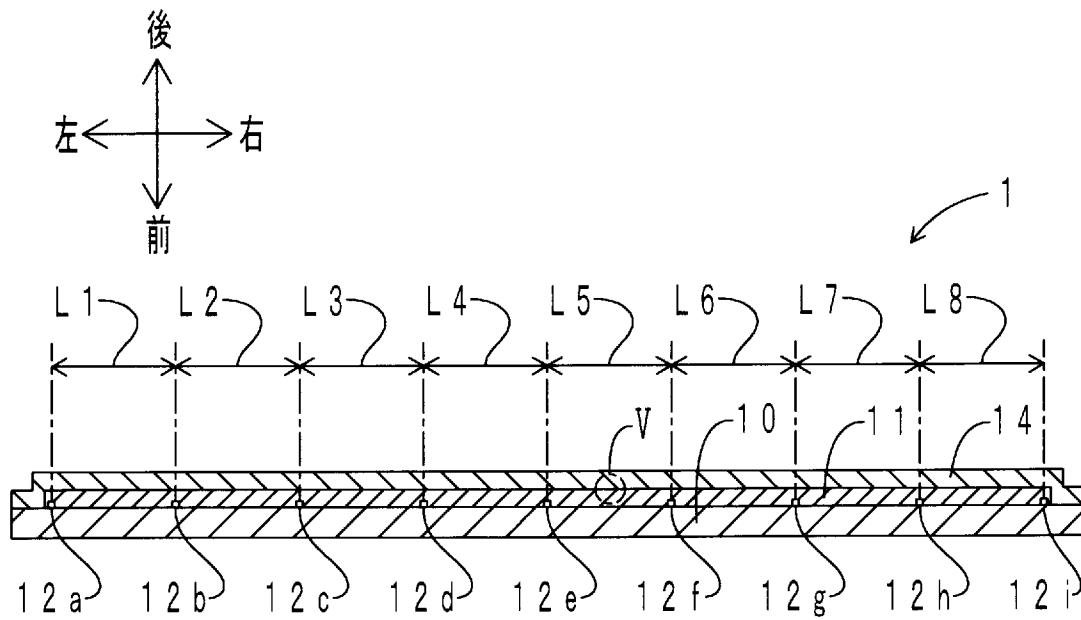
[図2]



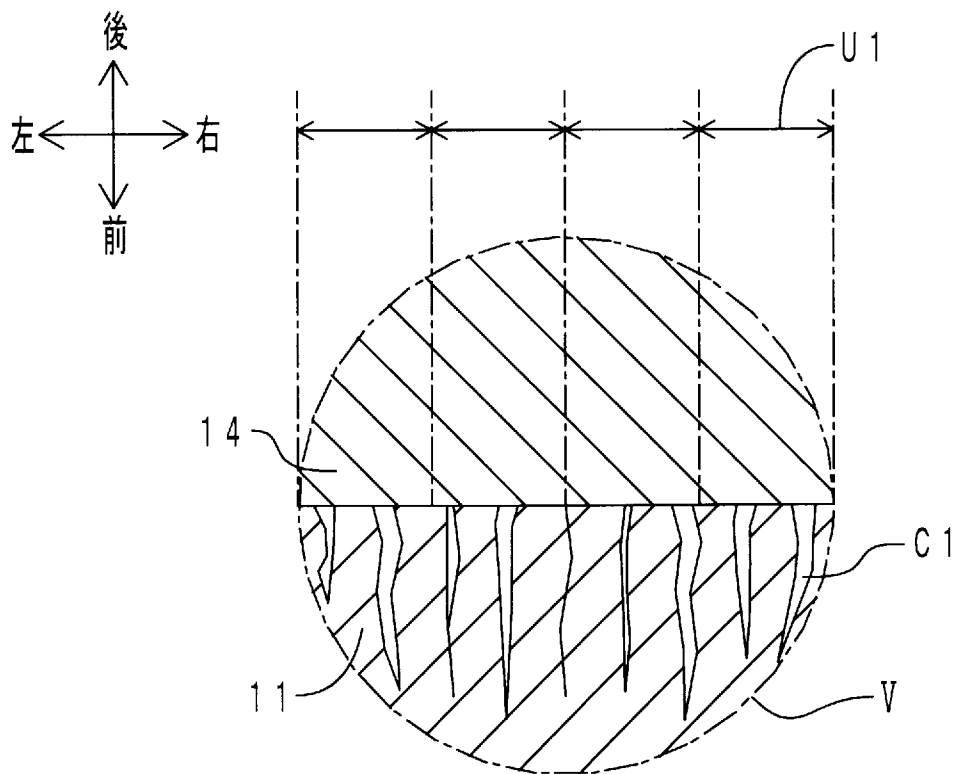
[図3]



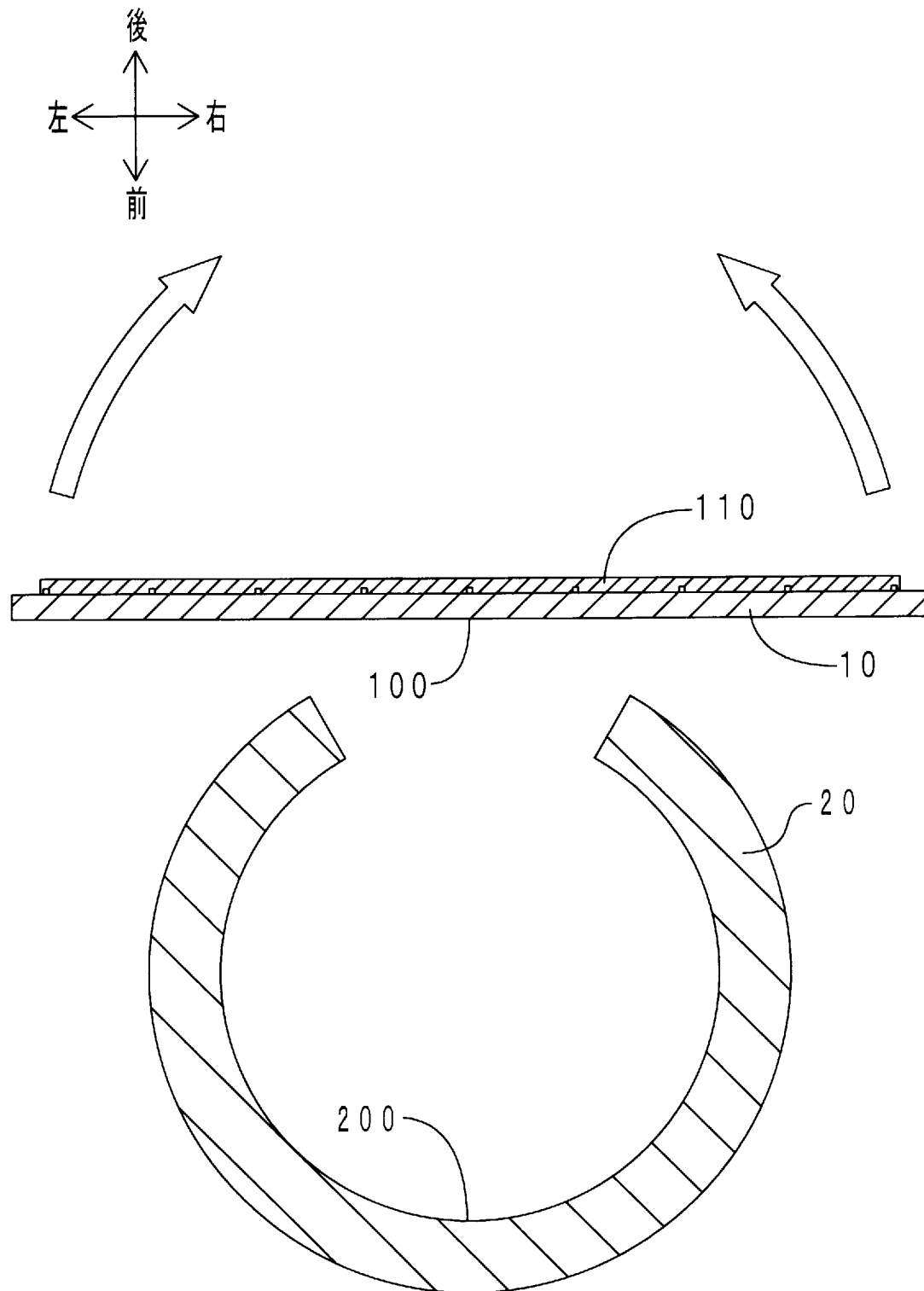
[図4]



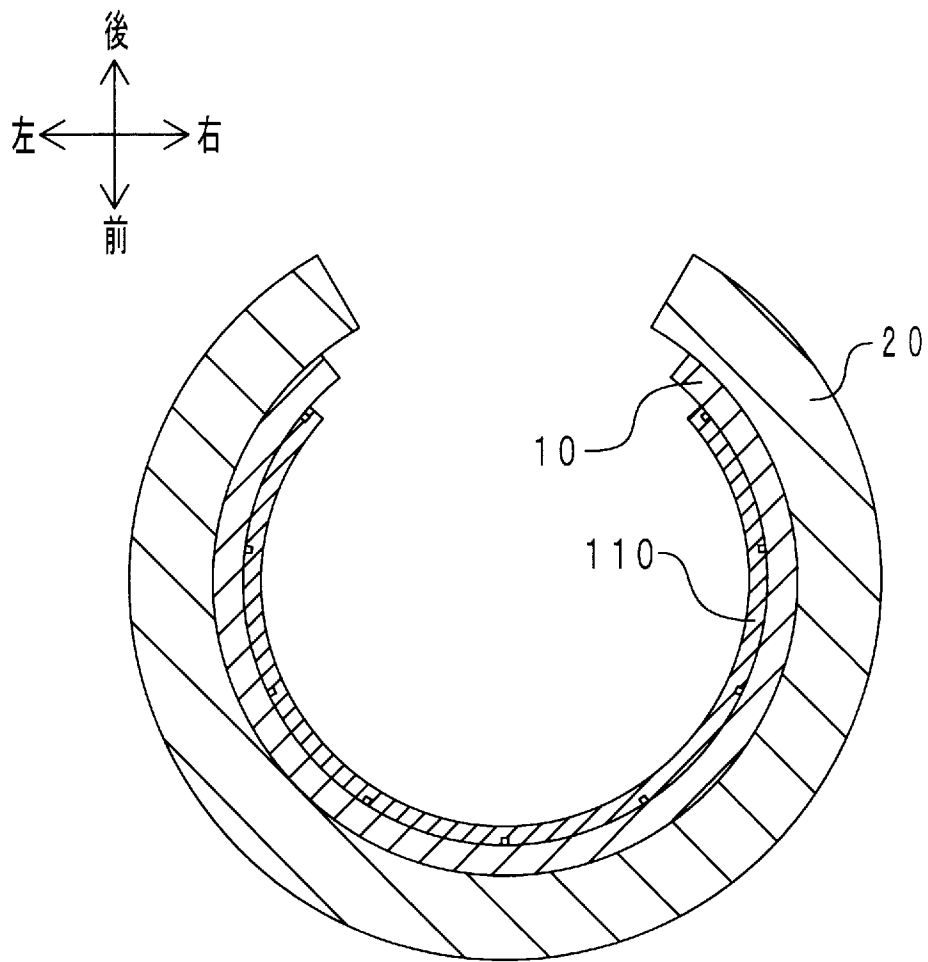
[図5]



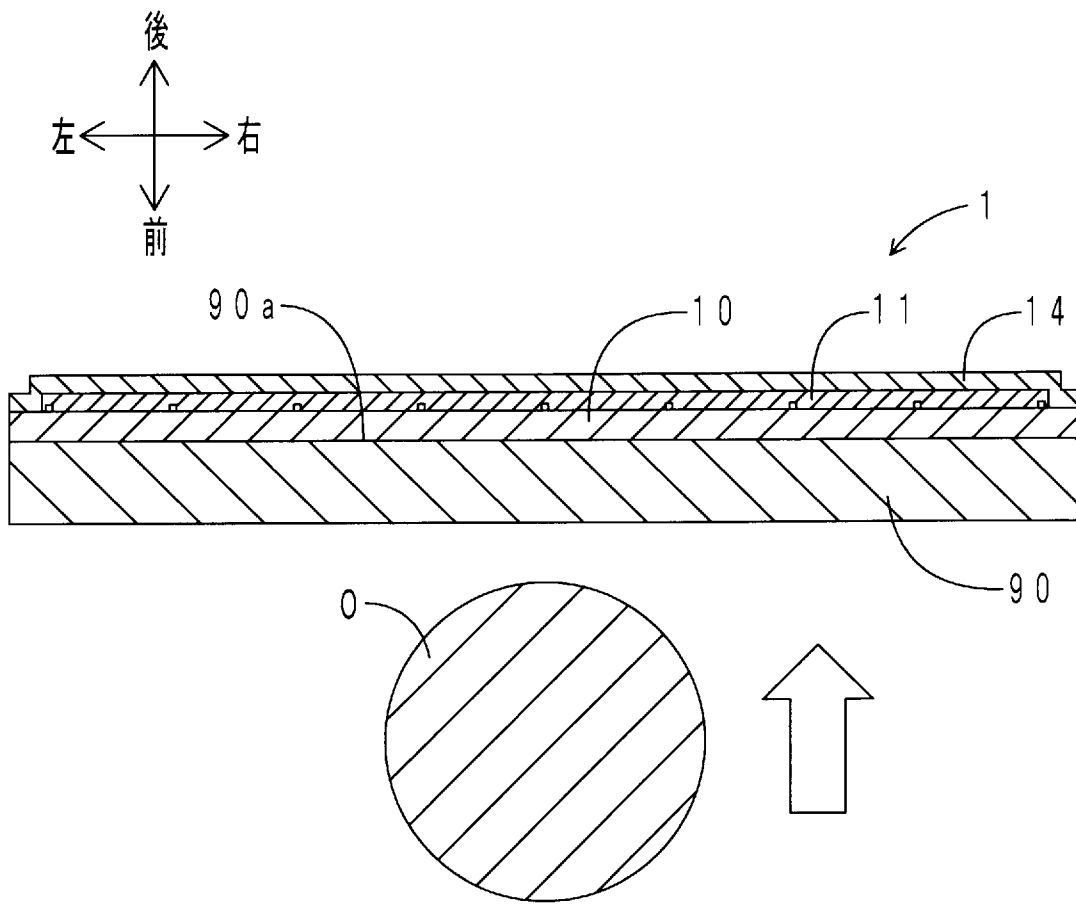
[図6]



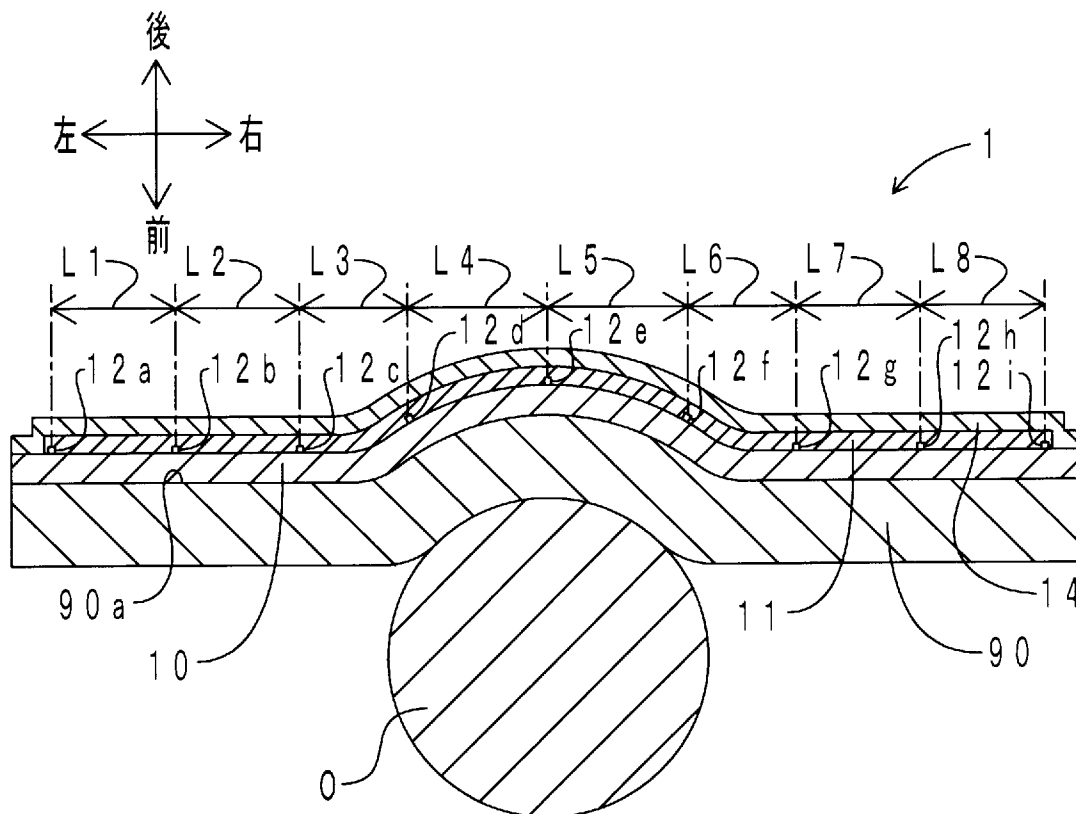
[図7]



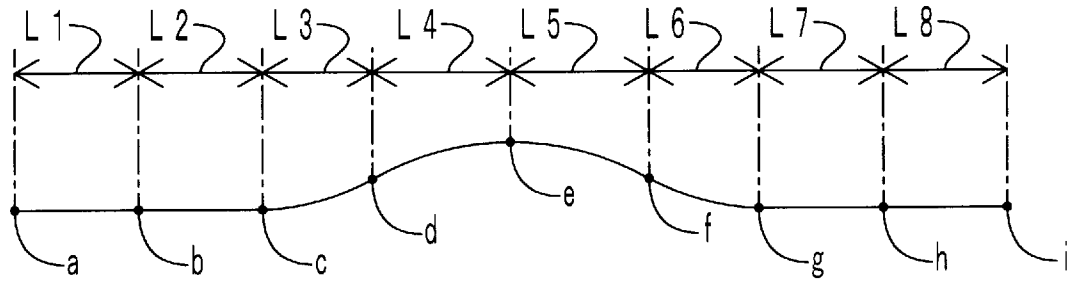
[図8]



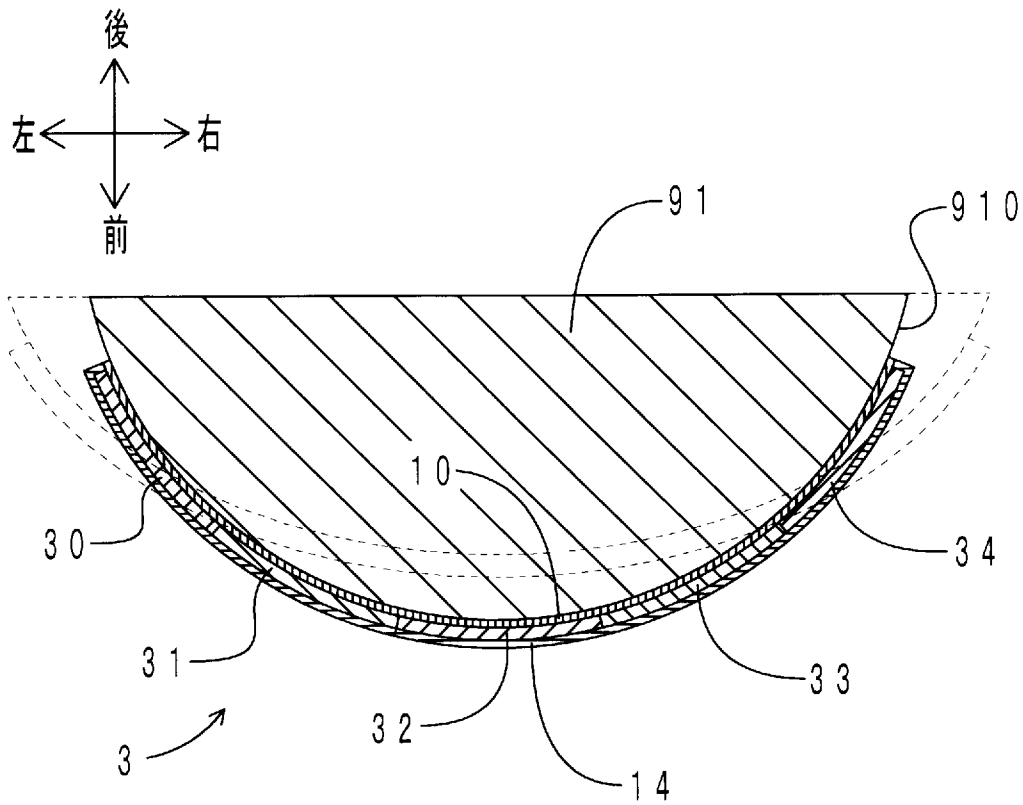
[図9]



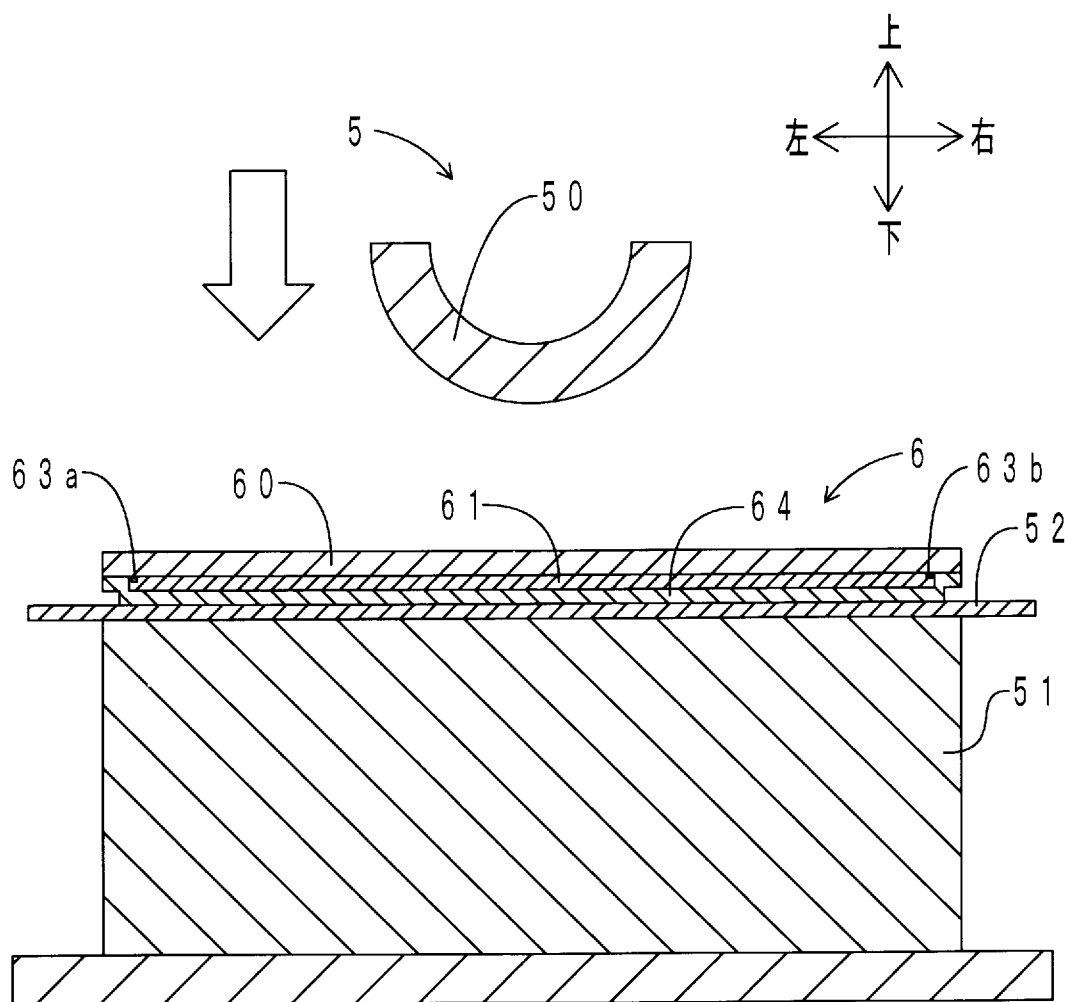
[図10]



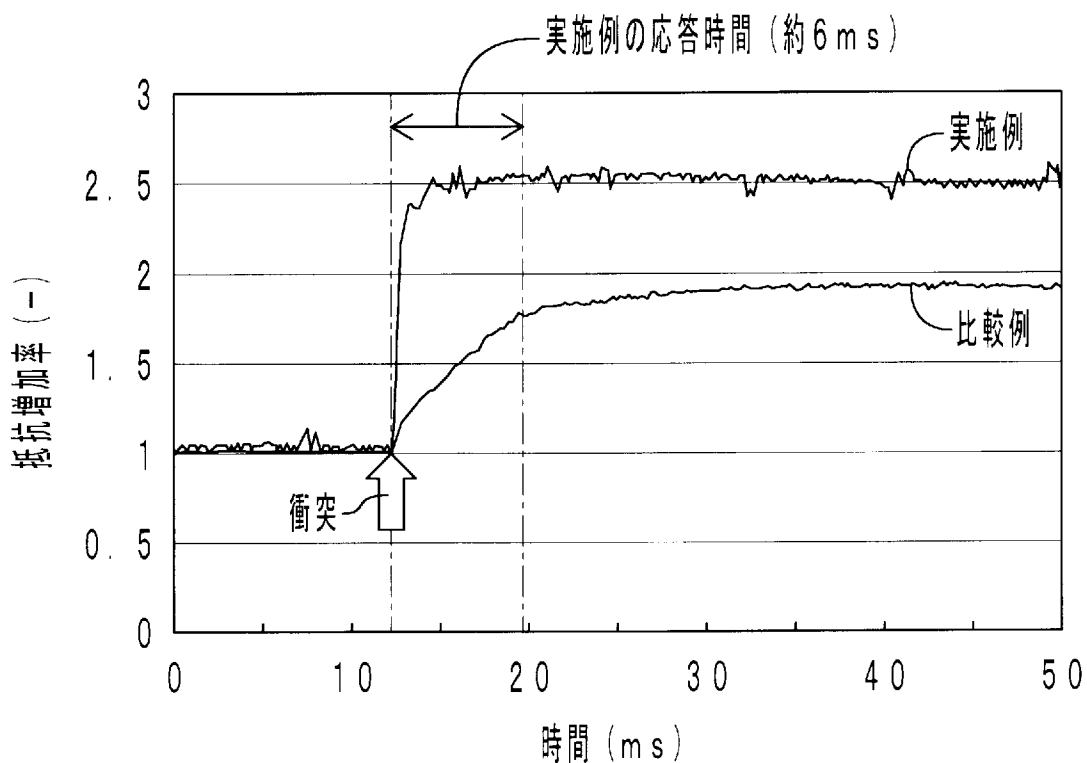
[図11]



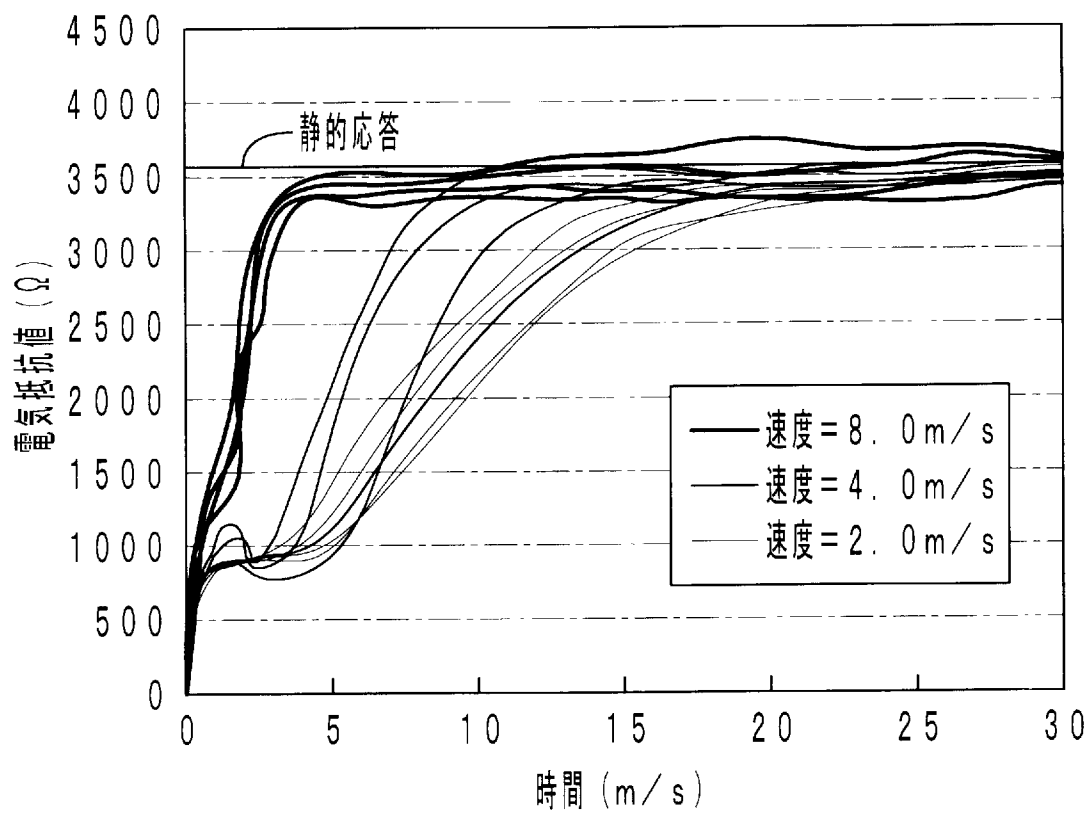
[図12]



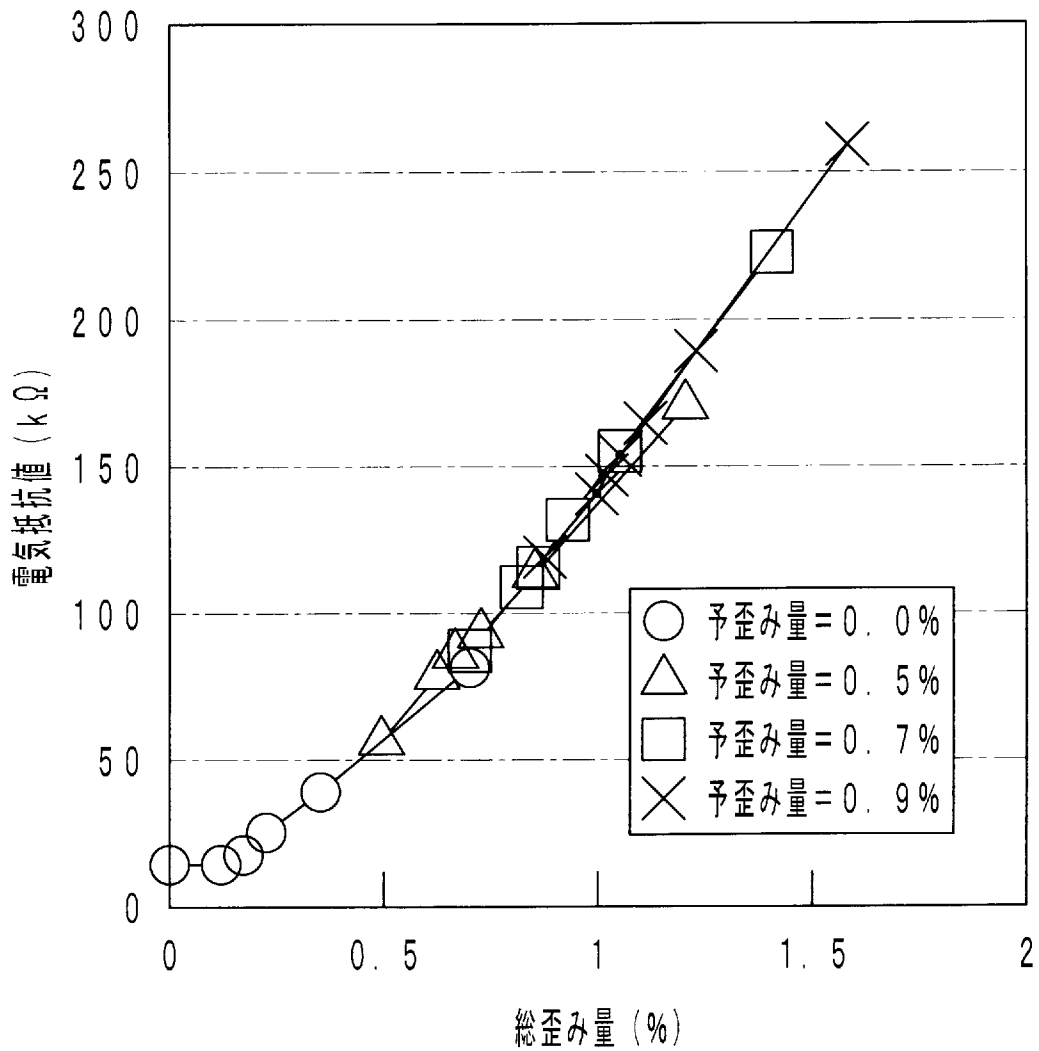
[図13]



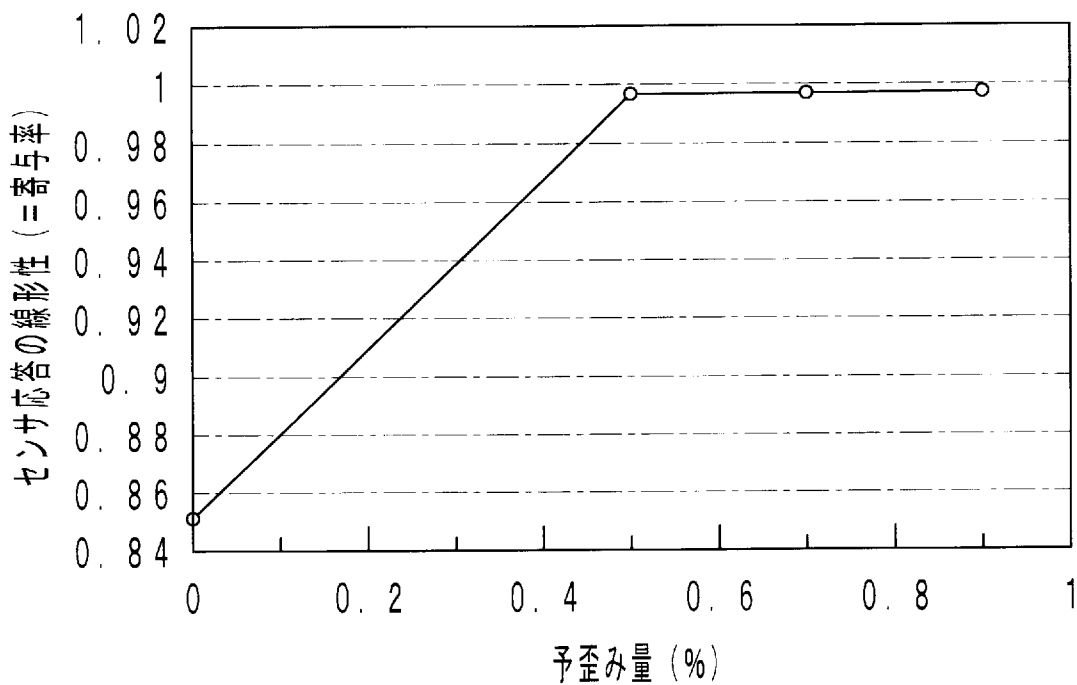
[图14]



[図15]

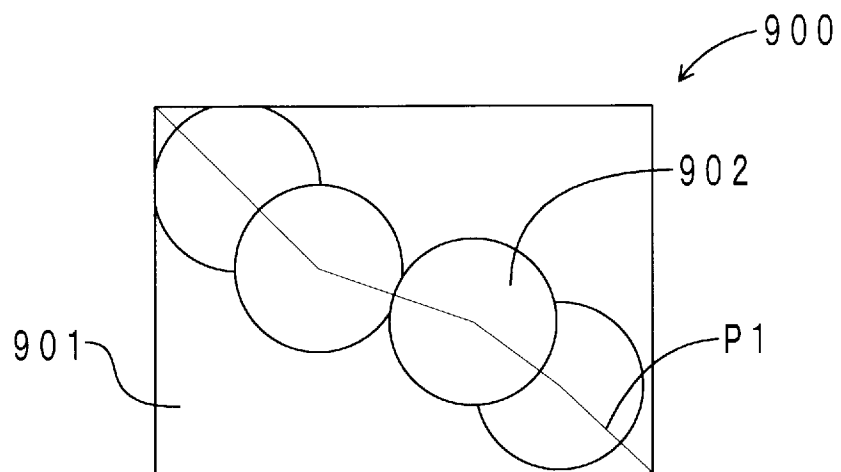


[図16]

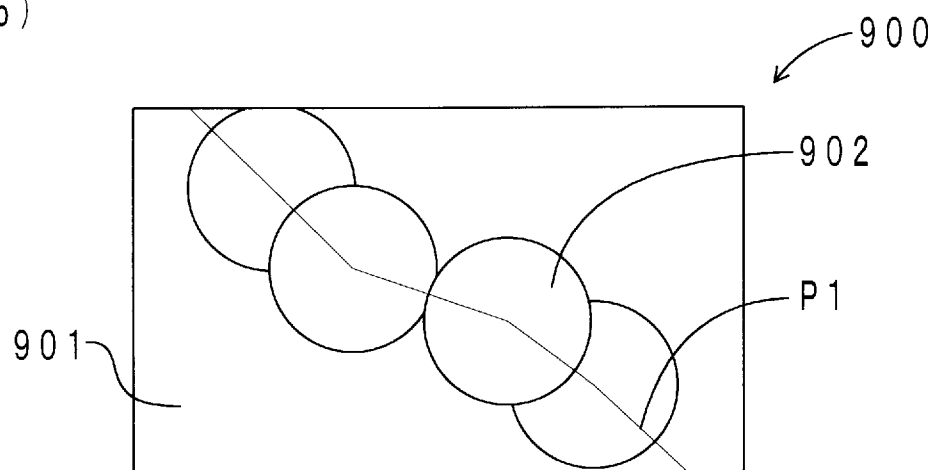


[図17]

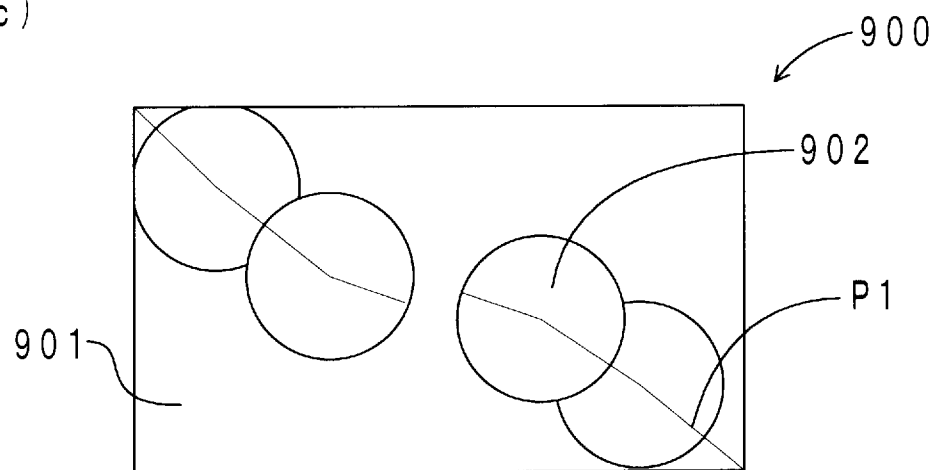
(a)



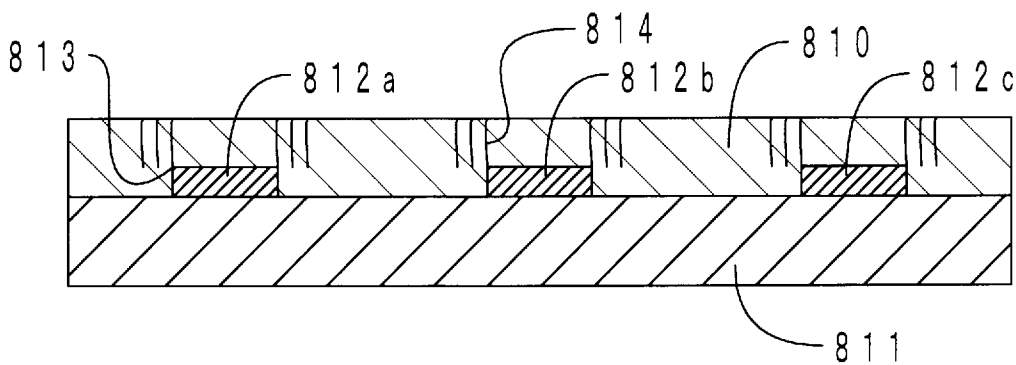
(b)



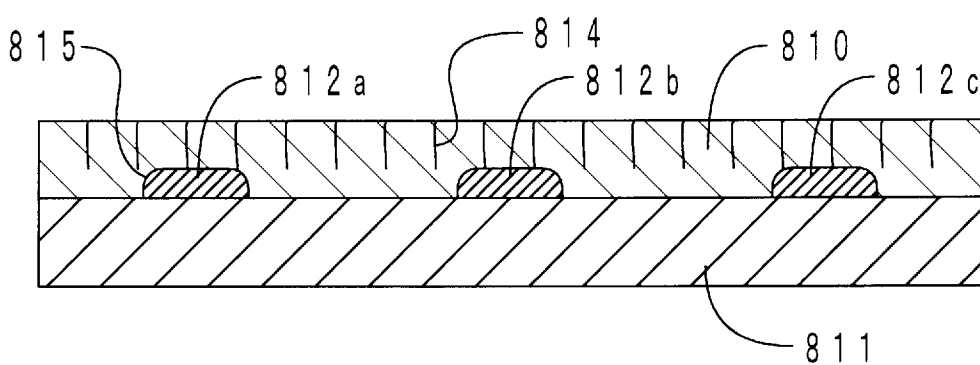
(c)



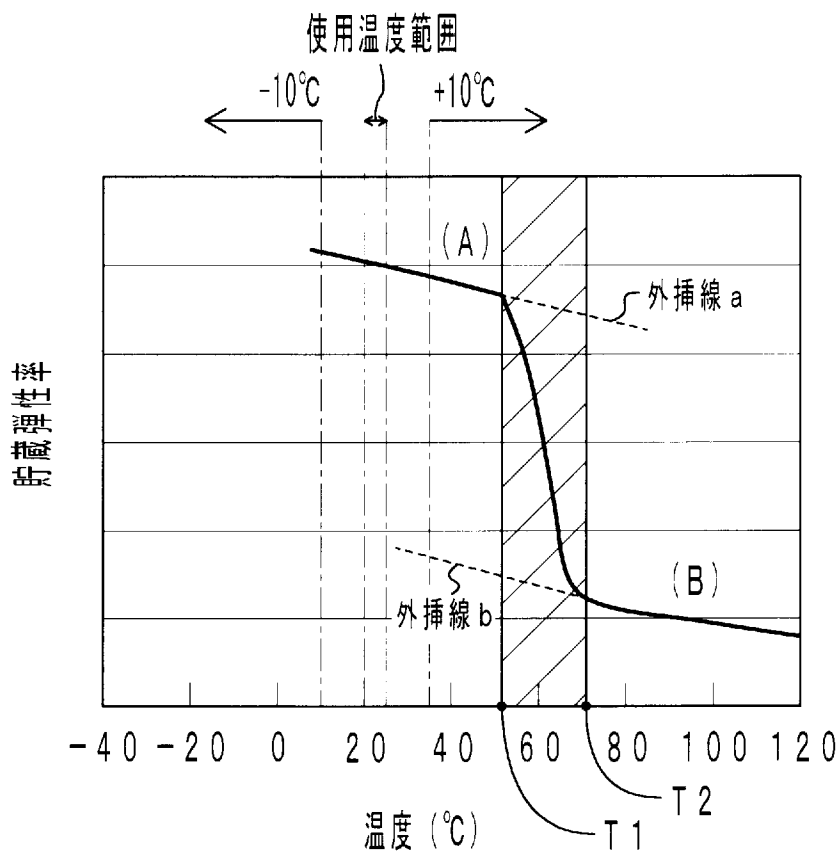
[図18]



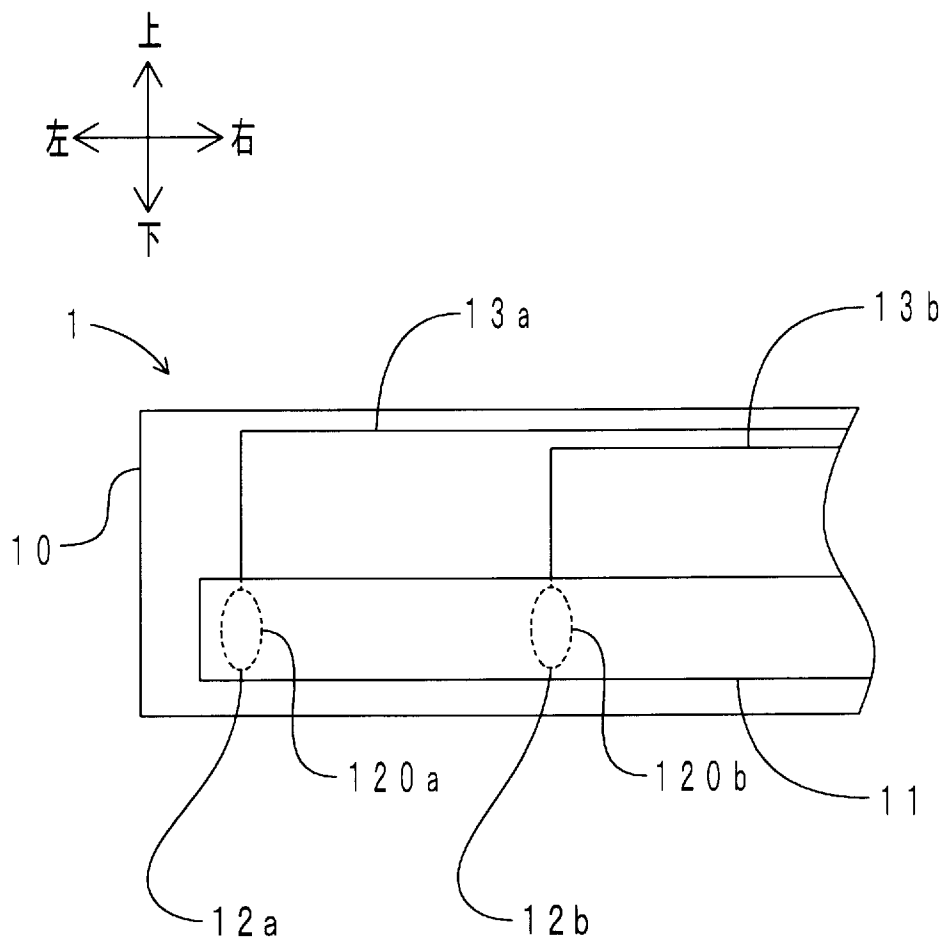
[図19]



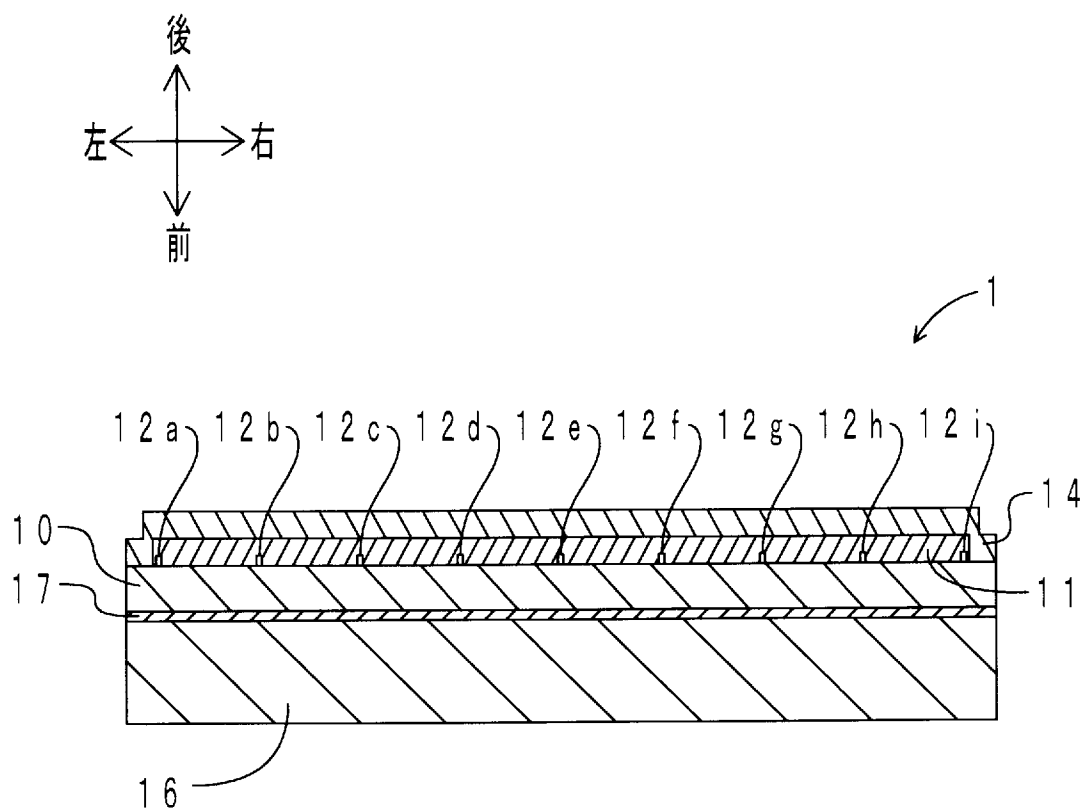
[図20]



[図21]

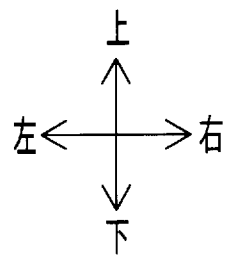
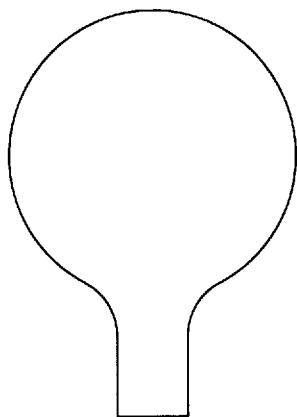


[図22]

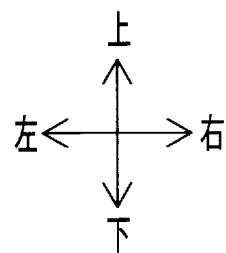
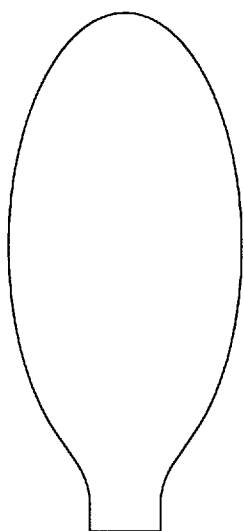


[図23]

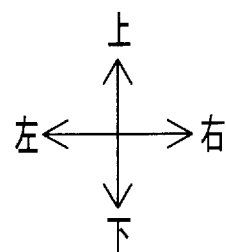
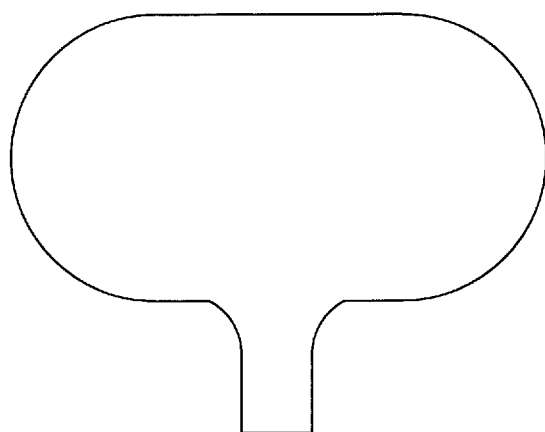
(a)



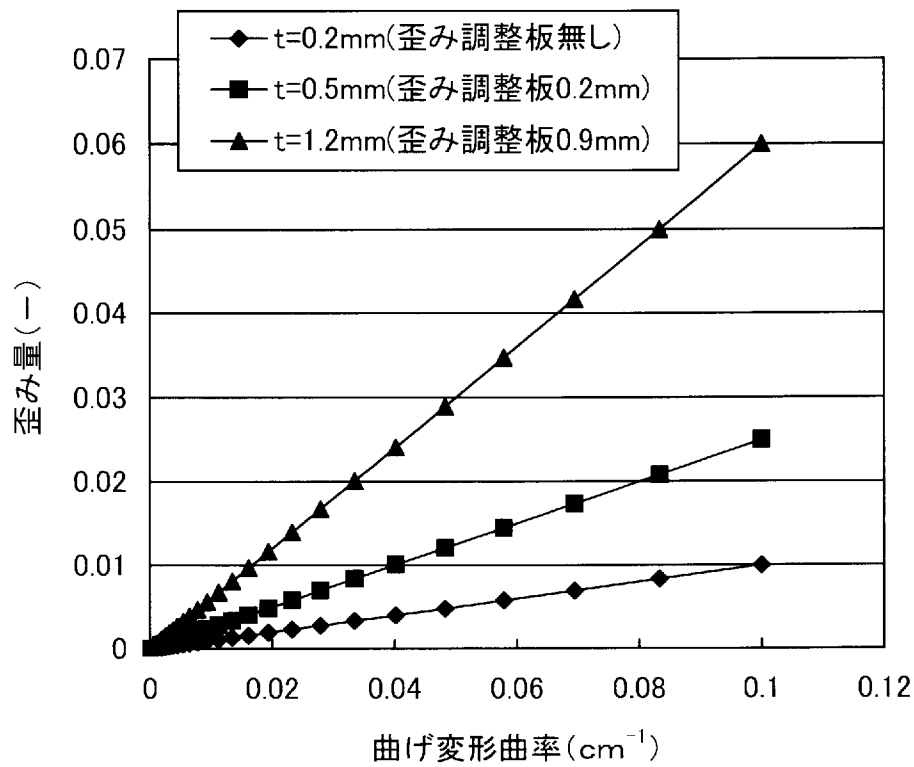
(b)



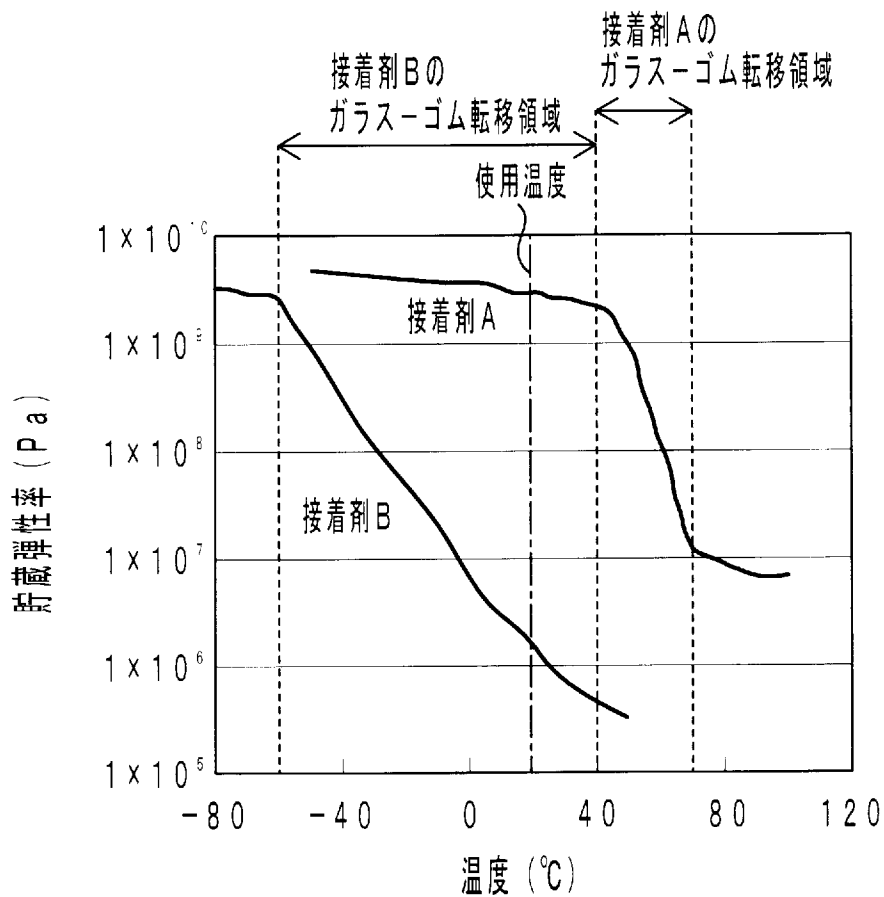
(c)



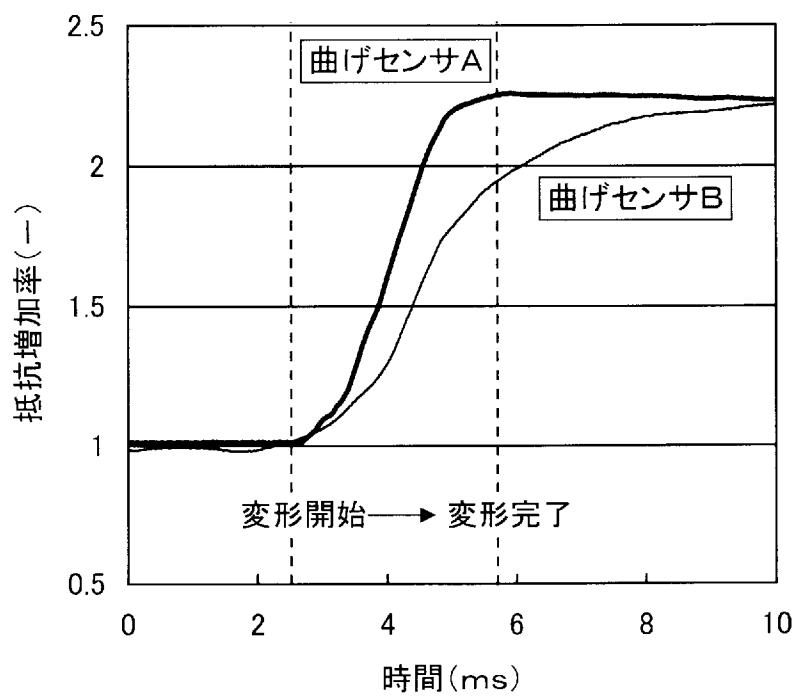
[図24]



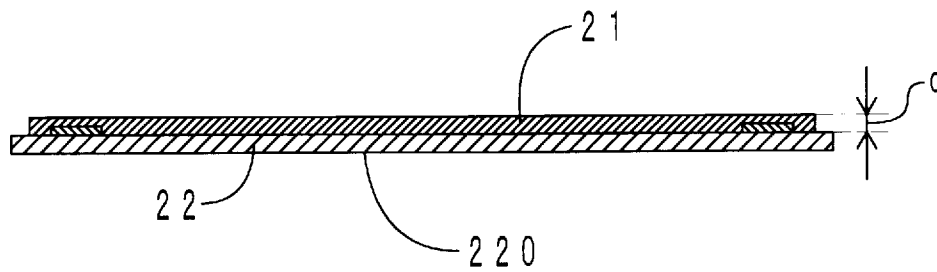
[図25]



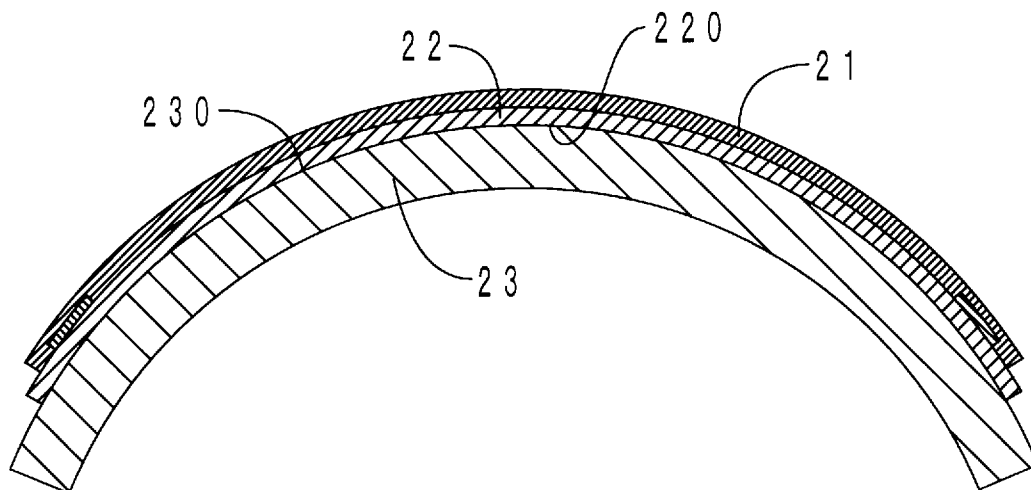
[図26]



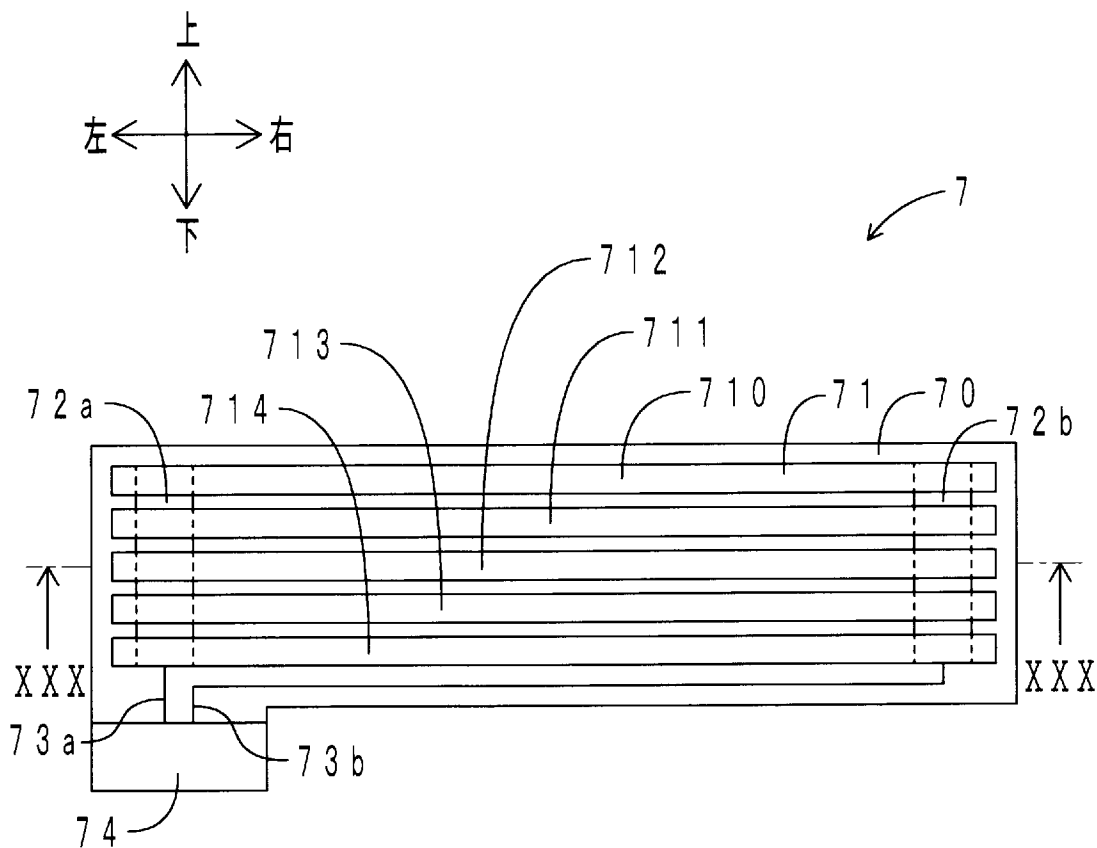
[図27]



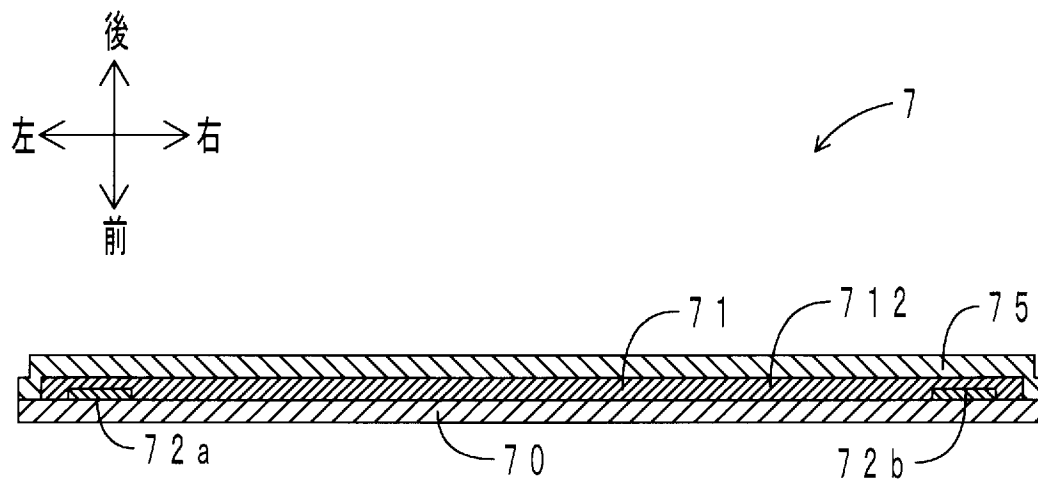
[図28]



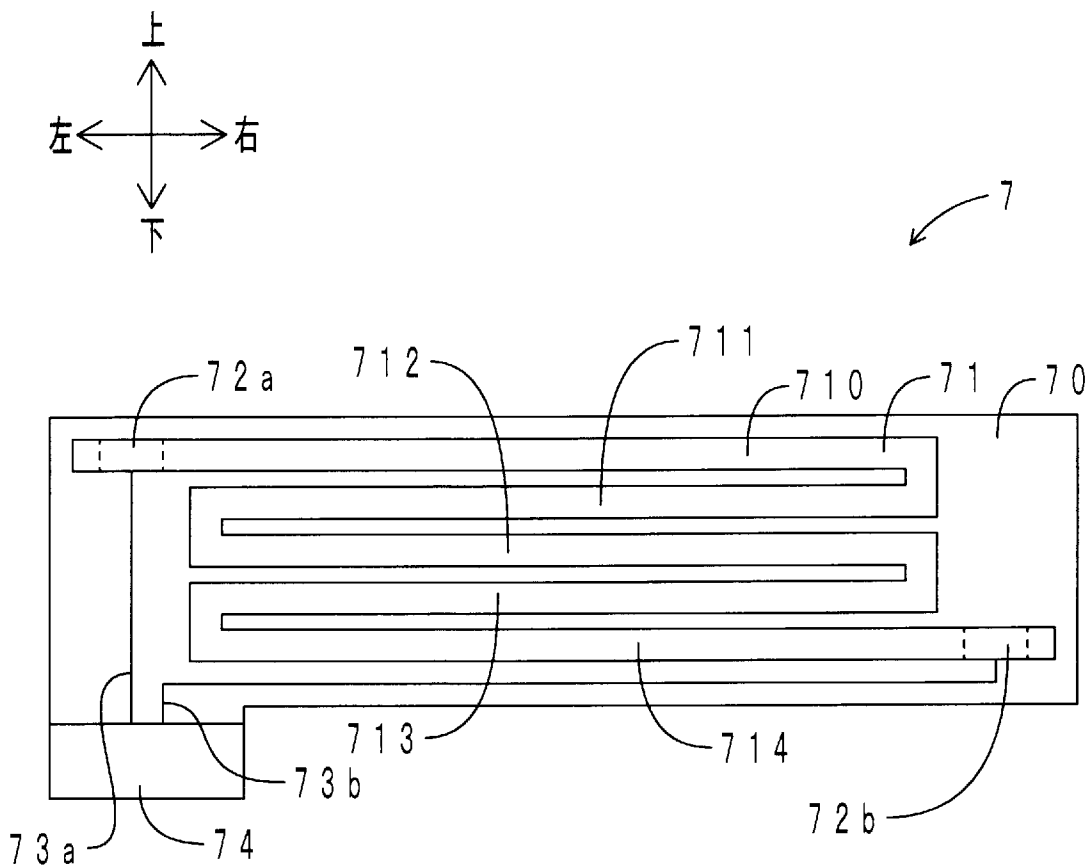
[図29]



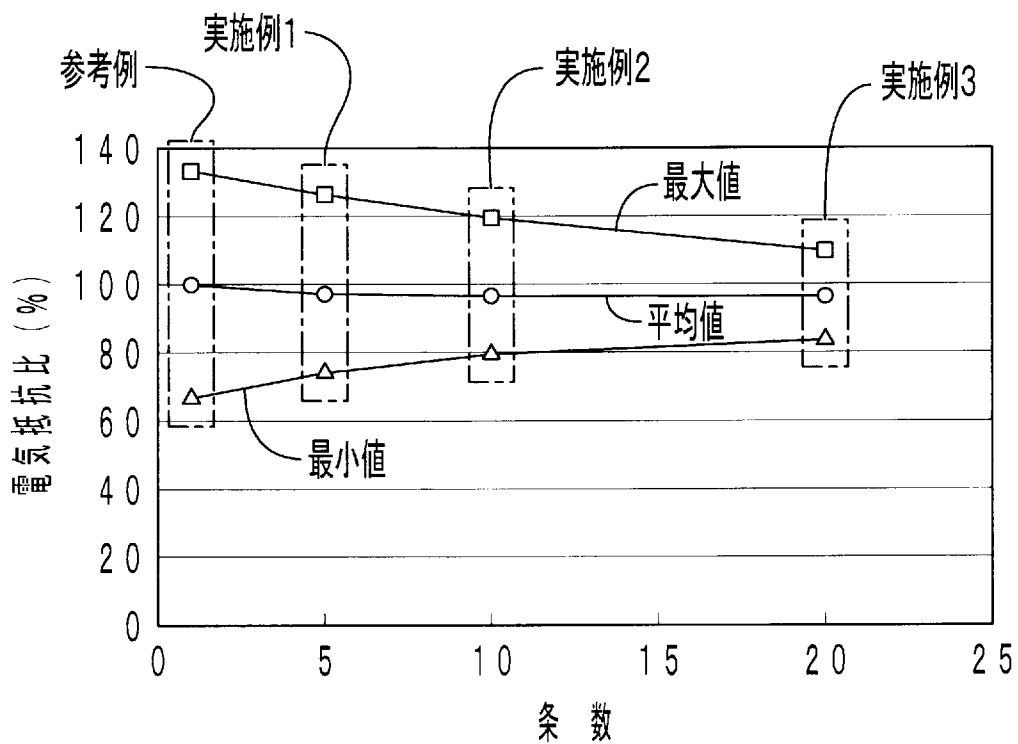
[図30]



[图31]



[图32]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/066075

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01L1/20(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01L1/20, G01B7/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2009-198483 A (Tokai Rubber Industries, Ltd.), 03 September 2009 (03.09.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-8, 10-12, 14, 15 9, 13
Y A	JP 6-050830 A (Hiroaki YANAGIDA), 25 February 1994 (25.02.1994), entire text; all drawings (Family: none)	1-8, 10-12, 14, 15 13
Y A	JP 2008-069313 A (Tokai Rubber Industries, Ltd.), 27 March 2008 (27.03.2008), paragraph [0064] & US 2008/0067477 A1 & EP 1901311 A1	5, 15 1-3, 9

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
01 December, 2010 (01.12.10)Date of mailing of the international search report
14 December, 2010 (14.12.10)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2010/066075

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2003-344185 A (Fujikura Ltd.), 03 December 2003 (03.12.2003), paragraphs [0003], [0004]; fig. 3 (Family: none)	6-8, 15
Y	JP 10-239194 A (Matsushita Electric Works, Ltd.), 11 September 1998 (11.09.1998), entire text; all drawings (Family: none)	10-12, 14, 15
Y	JP 2008-197060 A (Tokai Rubber Industries, Ltd.), 28 August 2008 (28.08.2008), entire text; fig. 1 to 6 (Family: none)	15
A	JP 4-022829 A (Poly-Tech Design, Inc.), 27 January 1992 (27.01.1992), entire text; all drawings (Family: none)	1, 13
A	JP 2009-128245 A (NEC Corp.), 11 June 2009 (11.06.2009), paragraphs [0017] to [0029], [0061] (Family: none)	9

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01L1/20(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01L1/20, G01B7/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2010年
日本国実用新案登録公報	1996-2010年
日本国登録実用新案公報	1994-2010年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	JP 2009-198483 A (東海ゴム工業株式会社) 2009.09.03, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-8, 10-12, 14, 15 9, 13
Y A	JP 6-050830 A (柳田 博明) 1994.02.25, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-8, 10-12, 14, 15 13

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

01.12.2010

国際調査報告の発送日

14.12.2010

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

田邊 英治

電話番号 03-3581-1101 内線 3216

2F

4741

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	JP 2008-069313 A (東海ゴム工業株式会社) 2008.03.27, 段落【0064】 & US 2008/0067477 A1 & EP 1901311 A1	5, 15 1-3, 9
Y	JP 2003-344185 A (株式会社フジクラ) 2003.12.03, 段落【0003】, 【0004】, 図3 (ファミリーなし)	6-8, 15
Y	JP 10-239194 A (松下電工株式会社) 1998.09.11, 全文, 全図 (ファミリーなし)	10-12, 14, 15
Y	JP 2008-197060 A (東海ゴム工業株式会社) 2008.08.28, 全文, 図1-図6 (ファミリーなし)	15
A	JP 4-022829 A (株式会社ポリテック・デザイン) 1992.01.27, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1, 13
A	JP 2009-128245 A (日本電気株式会社) 2009.06.11, 段落【0017】-【0029】, 【0061】 (ファミリーなし)	9