

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5470533号
(P5470533)

(45) 発行日 平成26年4月16日(2014.4.16)

(24) 登録日 平成26年2月14日(2014.2.14)

(51) Int.Cl.		F I	
GO 1 L 5/16	(2006.01)	GO 1 L 5/16	
B 2 5 J 19/02	(2006.01)	B 2 5 J 19/02	
B 2 5 J 15/08	(2006.01)	B 2 5 J 15/08	W
GO 1 L 5/00	(2006.01)	GO 1 L 5/00	1 O 1 Z

請求項の数 4 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2010-33924 (P2010-33924)	(73) 特許権者	393031586
(22) 出願日	平成22年2月18日(2010.2.18)		株式会社国際電気通信基礎技術研究所
(65) 公開番号	特開2011-169749 (P2011-169749A)		京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
(43) 公開日	平成23年9月1日(2011.9.1)	(74) 代理人	100104444
審査請求日	平成24年9月27日(2012.9.27)		弁理士 上羽 秀敏
(出願人による申告) 支出負担行為担当官、近畿経済産業局、総務企画部長 若井 英二 平成21年度 地域イノベーション創出研究開発事業(器用な次世代産業用ロボット用の集積多軸触覚センサの研究開発)に関する委託研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願		(74) 代理人	100112715
			弁理士 松山 隆夫
		(74) 代理人	100125704
			弁理士 坂根 剛
		(74) 代理人	100120662
			弁理士 川上 桂子
		(72) 発明者	野間 春生
			京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
			株式会社国際電気通信基礎技術研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 触覚センサおよびそれを備えたロボット

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板と、

前記基板上に設けられ、力を検知するn(nは正の整数)個の検知部と、

前記n個の検知部上に位置するn個の突出部を有し、前記基板および前記n個の検知部を覆うように配置された弾性部材と、

前記弾性部材に接して前記弾性部材上に設けられるとともに、前記基板の面内方向において前記n個の突出部の各々と所望の間隔を隔てて前記n個の突出部の周囲に設けられ、前記弾性部材の硬度よりも大きい硬度を有する周辺部材とを備え、

前記n個の検知部の各々は、1個以上のカンチレバーを含み、

前記所望の間隔は、前記検知部を破損させる破損力よりも小さい剪断力が前記検知部に印加されるように決定されている、触覚センサ。

【請求項2】

前記弾性部材は、シリコンからなる、請求項1に記載の触覚センサ。

【請求項3】

前記n個の突出部の各々は、前記基板の法線方向において前記基板から離れる方向へテーパ形状からなる断面形状を有し、

前記n個の突出部の各々の前記基板と反対側の先端部は、前記法線方向において前記基板から離れる方向へ略放物線状に突出した断面形状を有し、前記周辺部材の表面から突出している、請求項1に記載の触覚センサ。

【請求項 4】

対象物を把持する把持部と、
 前記把持部の前記対象物に接する面に配置された触覚センサとを備え、
 前記触覚センサは、
基板と、
前記基板上に設けられ、力を検知する n (n は正の整数) 個の検知部と、
前記 n 個の検知部上に位置する n 個の突出部を有し、前記基板および前記 n 個の検知部
を覆うように配置された弾性部材と、
前記弾性部材に接して前記弾性部材上に設けられるとともに、前記基板の面内方向にお
いて前記 n 個の突出部の各々と所望の間隔を隔てて前記 n 個の突出部の周囲に設けられ、
前記弾性部材の硬度よりも大きい硬度を有する周辺部材とを含み、
前記 n 個の検知部の各々は、1 個以上のカンチレバーを含み、
前記所望の間隔は、前記検知部を破損させる破損力よりも小さい剪断力が前記検知部に
印加されるように決定されている、 ロボット。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、触覚センサおよびそれを備えたロボットに関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、カンチレバーを有する触覚センサが知られている（特許文献 1）。この触覚センサは、基板と、4 個のカンチレバーと、エラストマーとを備える。4 個のカンチレバーは、基板上に設けられる。エラストマーは、4 個のカンチレバーを覆うように基板上に設けられる。そして、エラストマーは、基板の面内方向において 4 個のカンチレバーが配置された領域をカバーする範囲にだけ配置されている。また、エラストマーは、印加された剪断力の大きさに応じて変形する。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2009 - 294140 号公報

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、従来の触覚センサにおいては、エラストマーが大きく変形すると、カンチレバーが破損するという問題がある。また、エラストマーが繰返し変形することによって、エラストマーと基板との間に隙間が発生し、その発生した隙間から水分および空気等が浸透して密着しなくなると、エラストマーが基板から剥がれるという問題もある。

【0005】

そこで、この発明は、かかる問題を解決するためになされたものであり、その目的は、検知部の破損および弾性部材の剥離を防止可能な触覚センサを提供することである。

40

【0006】

また、この発明の目的は、検知部の破損および弾性部材の剥離を防止可能な触覚センサを備えたロボットを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

この発明によれば、触覚センサは、基板と、 n (n は正の整数) 個の検知部と、弾性部材と、周辺部材とを備える。 n 個の検知部は、基板上に設けられ、力を検知する。弾性部材は、 n 個の検知部上に位置する n 個の突出部を有し、基板および n 個の検知部を覆うように配置される。周辺部材は、弾性部材に接して弾性部材上に設けられるとともに、基板の面内方向において n 個の突出部の各々と所望の間隔を隔てて n 個の突出部の周囲に設け

50

られ、弾性部材の硬度よりも大きい硬度を有する。そして、 n 個の検知部の各々は、1個以上のカンチレバーを含む。また、所望の間隔は、検知部を破損させる破損力よりも小さい剪断力が検知部に印加されるように決定されている。

【0008】

好ましくは、弾性部材は、シリコンからなる。

【0009】

好ましくは、 n 個の突出部の各々は、基板の法線方向において基板から離れる方向へテーパー形状からなる断面形状を有する。 n 個の突出部の各々の基板と反対側の先端部は、法線方向において基板から離れる方向へ略放物線状に突出した断面形状を有し、周辺部材の表面から突出している。

【0010】

また、この発明によれば、ロボットは、把持部と、触覚センサとを備える。把持部は、対象物を把持する。触覚センサは、把持部の対象物に接する面に配置される。そして、触覚センサは、請求項1から請求項3のいずれか1項に記載の触覚センサからなる。

【発明の効果】

【0011】

この発明の実施の形態による触覚センサにおいては、周辺部材は、弾性部材の n 個の突出部と所望の間隔を隔てて n 個の突出部の周囲および弾性部材上に設けられている。そして、弾性部材の n 個の突出部は、周辺部材から突出している。その結果、基板の面内方向における任意の方向から剪断力が検出対象物によって突出部に印加されると、突出部の基板の面内方向への変形は、検知部を破損させる破損力よりも小さい剪断力が検知部に印加されるように周辺部材によって制限される。また、周辺部材は、周辺部材と基板との間に配置された弾性部材を基板の方向へ押す。その結果、弾性部材と基板との間に隙間が形成されることはなく、水分および空気等が弾性部材と基板との間に浸透することが抑制される。

【0012】

従って、検知部の破損および弾性部材の剥離を防止できる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】この発明の実施の形態による触覚センサの斜視図である。

【図2】図1に示す線I-I間における触覚センサの断面図である。

【図3】図2に示す検知部の斜視図である。

【図4】図3に示すセンサ素子の断面図である。

【図5】図3に示すセンサ素子の平面図である。

【図6】エラストマおよび金属プレートの一部の拡大図である。

【図7】図1および図2に示す触覚センサの製造方法を示す第1の工程図である。

【図8】図1および図2に示す触覚センサの製造方法を示す第2の工程図である。

【図9】図1および図2に示す触覚センサの製造方法を示す第3の工程図である。

【図10】図1および図2に示す触覚センサの製造方法を示す第4の工程図である。

【図11】図1および図2に示す触覚センサの製造方法を示す第5の工程図である。

【図12】図1および図2に示す触覚センサの製造方法を示す第6の工程図である。

【図13】図1および図2に示す触覚センサの製造方法を示す第7の工程図である。

【図14】図1および図2に示す触覚センサの製造方法を示す第8の工程図である。

【図15】図1および図2に示す触覚センサの製造方法を示す第9の工程図である。

【図16】図1および図2に示す触覚センサの製造方法を示す第10の工程図である。

【図17】図1および図2に示す触覚センサの製造方法を示す第11の工程図である。

【図18】図1および図2に示す触覚センサの製造方法を示す第12の工程図である。

【図19】図1および図2に示す触覚センサの製造方法を示す第13の工程図である。

【図20】変形率と、剪断力または圧力との関係を示す図である。

【図21】カンチレバーに接続される出力回路の一例を示す回路図である。

10

20

30

40

50

【図 2 2】図 1 に示す触覚センサの動作を説明する概念図である。

【図 2 3】検知部の他の構成を示す構成図である。

【図 2 4】この発明の実施の形態によるロボットが備えるアームの斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

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

【0015】

図 1 は、この発明の実施の形態による触覚センサの斜視図である。また、図 2 は、図 1 に示す線 I I - I I 間における触覚センサの断面図である。

10

【0016】

図 1 および図 2 を参照して、この発明の実施の形態による触覚センサ 1 0 は、基板 1 と、酸化膜 2 と、検知部 3 と、弾性部材 4 と、金属プレート 5 とを備える。

【0017】

触覚センサ 1 0 は、方向 D R 1 において、例えば、1 c m の長さ L 1 を有し、方向 D R 2 において、例えば、2 c m の長さ L 2 を有し、例えば、1 . 5 m m の厚み D 1 を有する。

【0018】

基板 1 は、例えば、単結晶シリコンからなる。酸化膜 2 は、例えば、二酸化シリコン (S i O ₂) からなり、例えば、1 μ m の膜厚を有する。そして、酸化膜 2 は、基板 1 の一主面上に形成される。

20

【0019】

検知部 3 は、検知部 3 1 , 3 2 を含む。検知部 3 1 , 3 2 の各々は、酸化膜 2 上に配置されるとともに、弾性部材 4 によって覆われる。

【0020】

弾性部材 4 は、検知部 3 1 , 3 2 上にそれぞれ位置する突出部 4 1 , 4 2 を有し、基板 1 、酸化膜 2 および検知部 3 1 , 3 2 を覆うように配置される。そして、弾性部材 4 は、例えば、エラストマーである P D M S (ポリジメチルシロキサン : p o l y d i m e t h y l s i l o x a n e) 樹脂 (= シリコーン) からなる。

【0021】

30

なお、図 1 および図 2 においては、2 個の検知部 3 1 , 3 2 のみが図示されているが、触覚センサ 1 0 は、実際には、6 個の検知部を備える。そして、弾性部材 4 は、6 個の検知部上にそれぞれ位置する 6 個の突出部 4 1 ~ 4 6 を有する。

【0022】

突出部 4 1 ~ 4 6 の各々は、基板 1 の法線方向において基板 1 から遠ざかる方向へ突出した形状を有する。より具体的には、突出部 4 1 ~ 4 6 の各々は、基板 1 の法線方向において基板 1 から遠ざかる方向へテーパ形状からなる断面形状を有する。また、突出部 4 1 ~ 4 6 の各々は、基板 1 と反対側の先端部が基板 1 の法線方向において基板 1 から離れる方向へ略放物線状に突出した断面形状を有し、金属プレート 5 の表面から突出している。そして、弾性部材 4 の 6 個の突出部 4 1 ~ 4 6 は、例えば、3 行 × 2 列に配置される。

40

【0023】

金属プレート 5 は、例えば、アルミニウムからなり、弾性部材 4 の突出部 4 1 ~ 4 6 間において基板 1 の法線方向から弾性部材 4 に接して配置される。この場合、金属プレート 5 は、基板 1 の面内方向において突出部 4 1 ~ 4 6 の各々と所望の間隔を隔てて突出部 4 1 ~ 4 6 の周囲に配置される。そして、金属プレート 5 は、酸化膜 2 と金属プレート 5 との間に配置された弾性部材 4 の部分を基板 1 の方向へ押し付ける。

【0024】

図 3 は、図 2 に示す検知部 3 1 の斜視図である。図 3 を参照して、検知部 3 1 は、4 個のセンサ素子 3 1 1 ~ 3 1 4 を含む。センサ素子 3 1 1 は、カンチレバー C L 1 と、電極 E 1 1 , E 1 2 とを含む。センサ素子 3 1 2 は、カンチレバー C L 2 と、電極 E 2 1 , E

50

22とを含む。センサ素子313は、カンチレバーCL3と、電極E31, E32とを含む。センサ素子314は、カンチレバーCL4と、電極E41, E42とを含む。

【0025】

電極E11, E12は、カンチレバーCL1の両端部に接続される。電極E21, E22は、カンチレバーCL2の両端部に接続される。電極E31, E32は、カンチレバーCL3の両端部に接続される。電極E41, E42は、カンチレバーCL4の両端部に接続される。

【0026】

そして、センサ素子311~314は、共通の基板1上に配置され、上述したように共通の弾性部材4(41)によって覆われる。

10

【0027】

以下、基板1の表面に平行で互いに直交する2つの方向にX軸およびY軸を定義し、基板1の表面に垂直な方向にZ軸を定義する。そして、基板1の表面に向かう方向をZ軸の正の方向とする。

【0028】

基板1には、カンチレバーCL1~CL4のピエゾ抵抗の変化量をアナログ電圧の変化量に変換するブリッジ回路と、ブリッジ回路の出力電圧を増幅する増幅器と、増幅器の出力電圧をデジタル信号の出力値に変換するAD変換器(アナログデジタル変換器)とを含む出力回路(図示せず)が形成されている。

【0029】

そして、ブリッジ回路は、カンチレバーCL1, CL2, CL3, CL4にそれぞれ接続された電極E11, E12; E21, E22; E31, E32; E41, E42を介してカンチレバーCL1~CL4のピエゾ抵抗の変化量をアナログ電圧の変化量に変換する。

20

【0030】

センサ素子311のカンチレバーCL1とセンサ素子313のカンチレバーCL3とが互いに対向し、センサ素子312のカンチレバーCL2とセンサ素子314のカンチレバーCL4とが互いに対向する。また、センサ素子311, 313とセンサ素子312, 314とが互いに直交する向きに配置される。

【0031】

なお、図2に示す検知部32、および弾性部材4の4個の突出部43~46によって覆われた4個の検知部の各々も、図3に示す検知部31と同じ構成からなる。

30

【0032】

図4は、図3に示すセンサ素子311の断面図である。図4を参照して、センサ素子311のカンチレバーCL1は、湾曲した断面形状からなり、例えば、20~30 μm の高さH1および300 μm の長さL2を有する。そして、カンチレバーCL1は、ノンドープ層3111と、ドープ層3112と、応力制御層3113と、絶縁層3114とからなる。ノンドープ層3111は、i型の結晶シリコンからなり、例えば、2.5 μm の膜厚を有する。ドープ層3112は、ボロン(B)ドープの結晶シリコンからなる。そして、ドープ層3112は、 10^{20}cm^{-3} のB原子を含む。応力制御層3113は、例えば、クロム(Cr)からなり、例えば、100nmの膜厚を有する。絶縁層3114は、例えば、シリコン窒化膜(Si_3N_4)からなり、例えば、300nmの膜厚を有する。電極E11, E12の各々は、例えば、金(Au)とCrとの積層膜(Au/Cr)からなり、例えば、全体で240nmの膜厚を有する。

40

【0033】

ノンドープ層3111は、一方端が酸化膜2に接して酸化膜2上に配置される。ドープ層3112は、ノンドープ層3111の一部に接してノンドープ層3111中に配置される。そして、ドープ層3112の抵抗がピエゾ抵抗となる。応力制御層3113は、ノンドープ層3111の一部、ドープ層3112の一部および絶縁層3114の一部に接してノンドープ層3111、ドープ層3112および絶縁層3114上に配置される。絶縁層

50

3 1 1 4 は、開口部を有し、ノンドープ層 3 1 1 1 およびドープ層 3 1 1 2 に接してノンドープ層 3 1 1 1 およびドープ層 3 1 1 2 上に配置される。電極 E 1 1 , E 1 2 は、ドープ層 3 1 1 2 および絶縁層 3 1 1 4 に接してドープ層 3 1 1 2 および絶縁層 3 1 1 4 上に配置される。この場合、電極 E 1 1 , E 1 2 の Cr がドープ層 3 1 1 2 および絶縁層 3 1 1 4 に接する。

【 0 0 3 4 】

なお、図 3 に示すセンサ素子 3 1 2 ~ 3 1 4 の各々も、図 4 に示すセンサ素子 3 1 1 と同じ断面構造からなる。そして、電極 E 2 1 , E 2 2 ; E 3 1 , E 3 2 ; E 4 1 , E 4 2 の各々も、例えば、Au / Cr からなる。

【 0 0 3 5 】

図 5 は、図 3 に示すセンサ素子 3 1 1 の平面図である。図 5 を参照して、センサ素子 3 1 1 のカンチレバー CL 1 は、略四角形からなる平面構造を有する。そして、ドープ層 3 1 1 2 は、カンチレバー CL 1 のうち、電極 E 1 1 , E 1 2 の近傍に配置される。また、ノンドープ層 3 1 1 1 および応力制御層 3 1 1 3 には、6 個の穴 3 1 1 5 が開けられている。更に、電極 E 1 1 , E 1 2 は、所定の間隔を隔ててカンチレバー CL 1 の両端部に接続される。

【 0 0 3 6 】

なお、図 3 に示すセンサ素子 3 1 2 ~ 3 1 4 の各々も、図 5 に示すセンサ素子 3 1 1 と同じ平面構造からなる。

【 0 0 3 7 】

図 6 は、弾性部材 4 および金属プレート 5 の一部の拡大図である。図 6 を参照して、弾性部材 4 の突出部 4 1 は、例えば、1 mm の直径を有する。また、突出部 4 1 のうち、放物線状に突出した部分以外の部分は、例えば、1 mm の高さ H 2 (= 酸化膜 2 からの高さ) を有する。この 1 mm の高さ H 2 は、突出部 4 1 が基板 1 の法線方向から基板 1 に近づく方向へ変形したときに検知部 3 1 , 3 2 を破損させる破損力よりも小さい剪断力が検知部 3 1 , 3 2 に印加されるように決定された高さである。

【 0 0 3 8 】

また、金属プレート 5 と突出部 4 1 との間隔 d は、例えば、1 0 0 ~ 2 0 0 μ m に設定される。この 1 0 0 ~ 2 0 0 μ m の間隔 d は、突出部 4 1 が基板 1 の面内方向へ変形したときに検知部 3 1 , 3 2 を破損させる破損力よりも小さい剪断力が検知部 3 1 , 3 2 に印加されるように決定された間隔である。

【 0 0 3 9 】

更に、突出部 4 1 のうち、基板 1 と反対側へ放物線状に湾曲した部分は、基板 1 の法線方向において、例えば、1 0 0 ~ 2 0 0 μ m の長さ L 3 を有する。即ち、突出部 4 1 のうち、金属プレート 5 の表面から突出した部分は、基板 1 の法線方向において、長さ L 3 を有する。

【 0 0 4 0 】

更に、弾性部材 4 のうち、酸化膜 2 と金属プレート 5 との間に配置された部分は、例えば、1 0 0 μ m の厚み t を有する。

【 0 0 4 1 】

なお、図 1 に示す弾性部材 4 の突出部 4 2 ~ 4 6 の各々も、図 6 に示す突出部 4 1 と同じ寸法を有し、金属プレート 5 と突出部 4 1 との間隔 d と同じ間隔を金属プレート 5 との間で有する。

【 0 0 4 2 】

図 7 から図 1 9 は、それぞれ、図 1 および図 2 に示す触覚センサ 1 0 の製造方法を示す第 1 ~ 第 1 3 の工程図である。なお、図 7 から図 1 5 は、触覚センサ 1 0 における検知部 3 1 に含まれる 1 つのセンサ素子 3 1 1 の部分のみが示されるが、他のセンサ素子 3 1 2 ~ 3 1 4 および他の検知部 (検知部 3 2 および突出部 4 3 ~ 4 6 に覆われる検知部) も同時に同様の方法によって形成される。また、図 7 から図 1 5 において、(a) は、断面図を示し、(b) は、平面図を示す。

10

20

30

40

50

【0043】

図7を参照して、触覚センサ10の製造が開始されると、SOI (Silicon On Insulator) 基板100を準備する。

【0044】

SOI基板100は、結晶シリコンからなる基板1と、埋め込み酸化膜101と、結晶シリコン膜102とを含む。結晶シリコン膜102は、例えば、 $2.5\ \mu\text{m}$ の厚みを有する。また、埋め込み酸化膜101は、例えば、 SiO_2 からなる。

【0045】

その後、例えば、プラズマCVD (Chemical Vapour Deposition) 法およびフォトリソグラフィを用いて、開口部を有する SiO_2 膜103が結晶シリコン膜102上に形成される(図8参照)。

10

【0046】

そして、 SiO_2 膜103をマスクとして熱拡散またはイオン注入によってB原子を結晶シリコン膜102の一部に添加する。これによって、ドーブ層3112が形成され、ドーブ層3112は、例えば、 $10^{20}\ \text{cm}^{-3}$ のB原子を含む(図9参照)。

【0047】

引き続いて、 Si_3N_4 膜104を結晶シリコン膜102およびドーブ層3112を覆うように形成する(図10参照)。

【0048】

そして、 Si_3N_4 膜104をフォトリソグラフィを用いてパターンニングし、絶縁層3114を形成する(図11)。

20

【0049】

その後、蒸着およびフォトリソグラフィを用いて応力制御層3113 (Cr)を結晶シリコン膜102および絶縁層3114上に形成する(図12参照)。

【0050】

そして、蒸着およびフォトリソグラフィを用いて電極E11, E12を形成する(図13参照)。その後、基板1上に配置された取出電極(図示せず)に電極E11, E12を接続するための配線(Au/Crからなる)を蒸着およびフォトリソグラフィを用いて形成する。

【0051】

引き続いて、フォトリソグラフィを用いてドーブ層3112、応力制御層3113、絶縁相3114および電極E11, E12以外の結晶シリコン膜120をエッチングするとともに、応力制御層3113の一部および応力制御層3113の下側に配置された結晶シリコン膜102の一部をエッチングする。これによって、穴3115が形成される(図14参照)。

30

【0052】

なお、エッチングとしては、例えば、ウェットエッチング法が用いられる。エッチング液としては、例えば、2,6-ヒドロキシナフトエ酸(HNA)が用いられる。

【0053】

そして、エッチングによって、埋め込み酸化膜101の所定の領域を除去する。エッチング液としては、例えば、フッ化水素(HF)が用いられる。これによって、カンチレバーCL1が形成される(図15参照)。

40

【0054】

ドーブ層3112は、結晶シリコン膜102にBを添加することによって形成されている。また、ドーブ層3112におけるBの濃度は、 0.2 原子% ($=10^{20}\ \text{cm}^{-3}$)に設定されている。これによって、ドーブ層3112の格子定数は、シリコン(Si)の格子定数($\approx 0.357\ \text{nm}$)に比べて約 0.0028 だけ小さくなっている。

【0055】

その結果、ノンドーブ層3111とドーブ層3112との境界面において、格子定数の差に起因して歪みが発生する。従って、ドーブ層3112の抵抗がピエゾ抵抗となる。

50

【 0 0 5 6 】

また、Crからなる応力制御層3113がノンドープ層3111上に形成されているため、埋め込み酸化膜101の所定の領域を除去すると、ノンドープ層3111と応力制御層3113との境界面の歪みが緩和するように、ノンドープ層3111の一方端側が上方に向かって湾曲する。これによって、XY平面において略U字状であり、かつ、XZ平面において湾曲するカンチレバーCL1が形成される(図15参照)。

【 0 0 5 7 】

なお、カンチレバーCL1のXZ平面における曲率半径は、例えば、約400 μ mである。

【 0 0 5 8 】

その後、図15の状態、水洗浄、IPA(イソプロピルアルコール)置換、およびt-ブチルアルコール置換を行なう。そして、フリーズドライ(真空凍結乾燥)を行なう。これによって、複数の検知部31, 32が基板1上に形成される。

【 0 0 5 9 】

引き続き、金型110を基板1上に設置し、基板1、酸化膜2および検知部31, 32と金型110との間の隙間120に弾性部材(PDMS)を流し込み、その流し込んだ弾性部材(PDMS)をオープンによって加熱し、弾性部材(PDMS)を硬化させる(図16参照)。

【 0 0 6 0 】

これによって、弾性部材4が基板1上に形成され、酸化膜2、および検知部31, 32が弾性部材4によって覆われる(図17参照)。

【 0 0 6 1 】

そして、金型130を弾性部材4の突出部41, 42に設置し、アルミニウム等をスパッタリングによって弾性部材4上に形成する(図18参照)。

【 0 0 6 2 】

これによって、金属プレート5が形成され、触覚センサ10が完成する(図19参照)。

【 0 0 6 3 】

図20は、変形率と、剪断力または圧力との関係を示す図である。なお、図20は、1mmの厚みを有するエラストマーの底部に、100 μ mの長さを有するカンチレバーを45度の角度で設置したときのカンチレバーの変形率と、剪断力または圧力との関係を示す。

【 0 0 6 4 】

図20の(a), (b)において、縦軸は、変形率を表し、横軸は、剪断力を表す。また、図20の(c), (d)において、縦軸は、変形率を表し、横軸は、圧力を表す。更に、図20の(a)は、左右方向(即ち、基板1の面内方向)に剪断力を印加したときのカンチレバーの左右方向の変形率と剪断力との関係を示し、図20の(b)は、左右方向(即ち、基板1の面内方向)に剪断力を印加したときのカンチレバーの上下方向(即ち、基板1の法線方向)の変形率と剪断力との関係を示す。

【 0 0 6 5 】

更に、図20の(c)は、上下方向(即ち、基板1の法線方向)に圧力を印加したときのカンチレバーの左右方向(即ち、基板1の面内方向)の変形率と圧力との関係を示し、図20の(d)は、上下方向(即ち、基板1の法線方向)に圧力を印加したときのカンチレバーの上下方向(即ち、基板1の法線方向)の変形率と圧力との関係を示す。

【 0 0 6 6 】

更に、直線k1, k5は、ヤング率が0.04[MPa]であるときの変形率と、剪断力との関係を示し、直線k2, k6は、ヤング率が0.6[MPa]であるときの変形率と、剪断力との関係を示し、直線k3, k7は、ヤング率が10[MPa]であるときの変形率と、剪断力との関係を示し、直線k4, k8は、ヤング率が100[MPa]であるときの変形率と、剪断力との関係を示す。

10

20

30

40

50

【0067】

更に、直線k9, k13は、ヤング率が0.04 [MPa]であるときの变形率と、圧力との関係を示し、直線k10, k14は、ヤング率が0.6 [MPa]であるときの变形率と、圧力との関係を示し、直線k11, k15は、ヤング率が10 [MPa]であるときの变形率と、圧力との関係を示し、直線k12, k16は、ヤング率が100 [MPa]であるときの变形率と、圧力との関係を示す。

【0068】

図20の(a)を参照して、剪断力が左右方向(即ち、基板1の面内方向)からエラストマーに印加された場合、カンチレバーの左右方向(即ち、基板1の面内方向)の变形率は、剪断力の増加に対して直線的に大きくなる(直線k1~k4参照)。より具体的には、カンチレバーの左右方向(即ち、基板1の面内方向)の变形率は、ヤング率が0.04 [MPa]であるとき、約7(%)から約800(%)まで直線的に大きくなり(直線k1参照)、ヤング率が0.6 [MPa]であるとき、約0.5(%)から約50(%)まで直線的に大きくなる(直線k2参照)。また、カンチレバーの左右方向(即ち、基板1の面内方向)の变形率は、ヤング率が10 [MPa]であるとき、約0.03(%)から約3(%)まで直線的に大きくなり(直線k3参照)、ヤング率が100 [MPa]であるとき、約0.003(%)から約0.3(%)まで直線的に大きくなる(直線k4参照)。

10

【0069】

図20の(b)を参照して、剪断力が左右方向(即ち、基板1の面内方向)からエラストマーに印加された場合、カンチレバーの上下方向(基板1の法線方向)の变形率は、剪断力の増加に対して直線的に大きくなる(直線k5~k8参照)。より具体的には、カンチレバーの上下方向(即ち、基板1の面内方向)の变形率は、ヤング率が0.04 [MPa]であるとき、約 5×10^{-13} (%)から約 6×10^{-11} (%)まで直線的に大きくなり(直線k5参照)、ヤング率が0.6 [MPa]であるとき、約 4×10^{-14} (%)から約 4×10^{-12} (%)まで直線的に大きくなる(直線k6参照)。また、カンチレバーの上下方向(即ち、基板1の面内方向)の变形率は、ヤング率が10 [MPa]であるとき、約 2×10^{-15} (%)から約 2×10^{-13} (%)まで直線的に大きくなり(直線k7参照)、ヤング率が100 [MPa]であるとき、約 1.3×10^{-16} (%)から約 1.3×10^{-14} (%)まで直線的に大きくなる(直線k8参照)。

20

30

【0070】

従って、剪断力が左右方向(即ち、基板1の面内方向)からエラストマーに印加された場合、カンチレバーは、左右方向(即ち、基板1の面内方向)に大きく変形し、上下方向(即ち、基板1の法線方向)には、殆ど変形しない。

【0071】

図20の(c)を参照して、圧力が上下方向(即ち、基板1の法線方向)からエラストマーに印加された場合、カンチレバーの左右方向(即ち、基板1の面内方向)の变形率は、圧力の増加に対して直線的に大きくなる(直線k9~k12参照)。より具体的には、より具体的には、カンチレバーの左右方向(即ち、基板1の面内方向)の变形率は、ヤング率が0.04 [MPa]であるとき、約 2.5×10^{-13} (%)から約 3×10^{-11} (%)まで直線的に大きくなり(直線k9参照)、ヤング率が0.6 [MPa]であるとき、約 2×10^{-14} (%)から約 2×10^{-12} (%)まで直線的に大きくなる(直線k10参照)。また、カンチレバーの左右方向(即ち、基板1の面内方向)の变形率は、ヤング率が10 [MPa]であるとき、約 8×10^{-16} (%)から約 8×10^{-14} (%)まで直線的に大きくなり(直線k11参照)、ヤング率が100 [MPa]であるとき、約 1×10^{-16} (%)から約 1×10^{-14} (%)まで直線的に大きくなる(直線k12参照)。

40

【0072】

図20の(d)を参照して、圧力が上下方向(即ち、基板1の法線方向)からエラストマーに印加された場合、カンチレバーの上下方向(即ち、基板1の法線方向)の变形率は

50

、圧力の増加に対して直線的に大きくなる（直線 k 1 3 ~ k 1 6 参照）。より具体的には、より具体的には、カンチレバーの上下方向（即ち、基板 1 の法線方向）の変形率は、ヤング率が 0 . 0 4 [M P a] であるとき、約 2 (%) から約 2 0 0 (%) まで直線的に大きくなり（直線 k 1 3 参照）、ヤング率が 0 . 6 [M P a] であるとき、約 0 . 1 1 (%) から約 1 1 (%) まで直線的に大きくなる（直線 k 1 4 参照）。また、カンチレバーの上下方向（即ち、基板 1 の法線方向）の変形率は、ヤング率が 1 0 [M P a] であるとき、約 0 . 0 0 6 (%) から約 0 . 9 (%) まで直線的に大きくなり（直線 k 1 5 参照）、ヤング率が 1 0 0 [M P a] であるとき、約 0 . 0 0 0 8 (%) から約 0 . 0 8 (%) まで直線的に大きくなる（直線 k 1 6 参照）。

【 0 0 7 3 】

従って、圧力が上下方向（即ち、基板 1 の法線方向）からエラストマーに印加された場合、カンチレバーは、上下方向（即ち、基板 1 の法線方向）に大きく変形し、左右方向（即ち、基板 1 の面内方向）には、殆ど変形しない。

【 0 0 7 4 】

そして、弾性部材 4 を構成する P D M S は、約 1 . 5 [M P a] のヤング率を有する。従って、剪断力が左右方向から P D M S に印加された場合、カンチレバーの左右方向の変形率は、直線 k 2 と直線 k 3 との間の直線に従って、剪断力の増加に対して大きくなり、カンチレバーの上下方向の変形率は、直線 k 6 と直線 k 7 との間の直線に従って、剪断力の増加に対して大きくなる。また、圧力が上下方向から P D M S に印加された場合、カンチレバーの左右方向の変形率は、直線 k 1 0 と直線 k 1 1 との間の直線に従って、圧力の増加に対して大きくなり、カンチレバーの上下方向の変形率は、直線 k 1 4 と直線 k 1 5 との間の直線に従って、圧力の増加に対して大きくなる。

【 0 0 7 5 】

その結果、1 0 0 [k P a] の剪断力が左右方向から P D M S に印加された場合、カンチレバーは、左右方向へ約 1 0 % 変形し、上下方向へ殆ど変形しない。また、1 0 0 [k P a] の剪断力が上下方向から P D M S に印加された場合、カンチレバーは、上下方向へ約 5 % 変形し、左右方向へ殆ど変形しない。

【 0 0 7 6 】

このように、剪断力および圧力がそれぞれ面内方向および法線方向から弾性部材 4 に印加された場合、カンチレバー C L 1 ~ C L 4 の変形率は、左右方向へ約 1 0 % であり、上下方向へ約 5 % である。

【 0 0 7 7 】

従って、触覚センサ 1 0 の検知部 3 1 , 3 2 は、弾性部材 4 の突出部 4 1 ~ 4 6 に印加された力（剪断力）を検知できる。

【 0 0 7 8 】

図 2 1 は、カンチレバー C L 1 に接続される出力回路の一例を示す回路図である。図 2 1 を参照して、出力回路 2 0 0 は、外部抵抗 R 1 ~ R 3 と、直流電源 2 1 0 と、増幅器 2 2 0 と、A D 変換器 2 3 0 とを含む。

【 0 0 7 9 】

外部抵抗 R 1 ~ R 3 は、カンチレバー C L 1 の電極 E 1 1 , E 1 2 に接続される。そして、カンチレバー C L 1、外部抵抗 R 1 ~ R 3 および直流電源 2 1 0 は、ブリッジ回路 B R G を構成する。

【 0 0 8 0 】

ブリッジ回路 B R G の出力電圧は、増幅器 2 2 0 に与えられる。増幅器 2 2 0 は、ブリッジ回路 B R G の出力電圧を増幅し、その増幅した出力電圧を A D 変換器 2 3 0 へ出力する。

【 0 0 8 1 】

A D 変換器 2 3 0 は、増幅器 2 2 0 から受けた出力電圧をアナログ信号からデジタル信号に変換し、その変換したデジタル信号を出力する。

【 0 0 8 2 】

10

20

30

40

50

カンチレバーCL1の変形によって、カンチレバーCL1のピエゾ抵抗が変化する。ブリッジ回路BRGおよび増幅器220は、このピエゾ抵抗の変化量を電圧の変化として検出する。そして、AD変換器230は、増幅器220からの出力電圧をデジタル信号の出力値に変換する。

【0083】

なお、図3に示すカンチレバーCL2～CL4の各々にも、図21に示す出力回路200が接続されている。そして、出力回路200は、上述した方法によって、カンチレバーCL2～CL4の変形をデジタル信号の出力値として検出する。

【0084】

図22は、図1に示す触覚センサ10の動作を説明する概念図である。なお、図22においては、検知部31を例にして触覚センサ10の動作を説明する。

10

【0085】

図22を参照して、剪断力がZ軸の正の方向から弾性部材4の突出部41に印加された場合、突出部41は、Z軸の正の方向に縮む(図22の(a)参照)。その結果、検知部31のカンチレバーCL1～CL4は、曲率半径が大きくなるように変形する。そして、出力回路200は、上述した方法によって、カンチレバーCL1～CL4のピエゾ抵抗の変化量を検出して出力する。この場合、4個のカンチレバーCL1～CL4におけるピエゾ抵抗の変化量は、ほぼ同じになる。従って、4個のカンチレバーCL1～CL4に対応する4個の出力回路200は、ほぼ同じ4個の出力値を出力する。その結果、剪断力がZ軸の正の方向に印加されたことが検知される。また、4個の出力値の大きさから、印加された剪断力の大きさが検知される。

20

【0086】

また、剪断力がX軸の負の方向から弾性部材4の突出部41に印加された場合、突出部41は、金属プレート5(51)に接するまでX軸の負の方向へ変形する(図22の(b)参照)。その結果、カンチレバーCL1は、曲率半径が小さくなるように変形し、カンチレバーCL3は、曲率半径が大きくなるように変形し、カンチレバーCL2, CL4は、殆ど変形しない。そして、出力回路200は、カンチレバーCL1～CL4のピエゾ抵抗の変化量を検出して出力する。この場合、カンチレバーCL1におけるピエゾ抵抗の変化量は、例えば、+ R1になり、カンチレバーCL3におけるピエゾ抵抗の変化量は、例えば、- R2になり、カンチレバーCL2, CL4におけるピエゾ抵抗の変化量は、

30

【0087】

従って、カンチレバーCL1に対応する出力回路200は、+ R1の変化量を示すデジタル信号の出力値を出力し、カンチレバーCL3に対応する出力回路200は、- R2の変化量を示すデジタル信号の出力値を出力し、カンチレバーCL2, CL4に対応する出力回路200は、ほぼ零を示すデジタル信号の出力値を出力する。その結果、剪断力がX軸の負の方向に印加されたことが検知される。また、+ R1の大きさおよび- R2の大きさに基づいて、印加された剪断力の大きさが検知される。

【0088】

更に、剪断力がX軸の正の方向から弾性部材4の突出部41に印加された場合、突出部41は、金属プレート5(52)に接するまでX軸の正の方向へ変形する(図22の(c)参照)。その結果、カンチレバーCL1は、曲率半径が大きくなるように変形し、カンチレバーCL3は、曲率半径が小さくなるように変形し、カンチレバーCL2, CL4は、殆ど変形しない。そして、出力回路200は、カンチレバーCL1～CL4のピエゾ抵抗の変化量を検出して出力する。この場合、カンチレバーCL1におけるピエゾ抵抗の変化量は、例えば、- R3になり、カンチレバーCL3におけるピエゾ抵抗の変化量は、例えば、+ R4になり、カンチレバーCL2, CL4におけるピエゾ抵抗の変化量は、

40

【0089】

従って、カンチレバーCL1に対応する出力回路200は、- R3の変化量を示すデ

50

デジタル信号の出力値を出力し、カンチレバーCL3に対応する出力回路200は、+R4の変化量を示すデジタル信号の出力値を出力し、カンチレバーCL2, CL4に対応する出力回路200は、ほぼ零を示すデジタル信号の出力値を出力する。その結果、剪断力がX軸の正の方向に印加されたことが検知される。また、-R3の大きさおよび+R4の大きさに基づいて、印加された剪断力の大きさが検知される。

【0090】

なお、剪断力がX軸またはZ軸に沿って弾性部材4に印加された場合について触覚センサ10の動作を説明したが、剪断力がY軸に沿って弾性部材4に印加された場合、および剪断力がXY平面において任意の方向から弾性部材4に印加された場合も、剪断力の印加方向および大きさが上述した動作によって検知される。

10

【0091】

また、他の検知部32（および突出部43～46によって覆われた検知部）における剪断力の検知も、上述した動作によって行なわれる。

【0092】

剪断力がZ軸の正の方向から突出部41に印加された場合、弾性部材4の変形量は、基板1の法線方向における各位置において異なる。即ち、弾性部材4のうち、突出部41が最も大きく変形し、検知部31を覆う部分は、突出部41よりも小さく変形し、基板1に最も近い部分は、殆ど変形しない。

【0093】

そして、突出部41～46の高さH2は、上述したように、突出部41～46が基板1の法線方向から基板1に近づく方向へ変形したときに検知部31, 32を破損させる破損力よりも小さい剪断力が検知部31, 32に印加されるように決定された高さである。

20

【0094】

従って、剪断力がZ軸の正の方向から突出部41～46に印加された場合、カンチレバーCL1～CL4が破損することはない。

【0095】

また、剪断力がX軸に沿って突出部41～46に印加された場合、突出部41～46は、金属プレート5(51)または5(52)に接するまでX軸の方向へ変形する。そして、上述したように、突出部41～46と金属プレート5(51)または5(52)との間隔dは、検知部31, 32を破損させる破損力よりも小さい剪断力が検知部31, 32に印加されるように決定された間隔である。その結果、金属プレート5(51)または5(52)は、突出部41～46のX軸方向への変形を制限し、検知部31, 32を破損させる破損力が検知部31, 32に印加されることはない。

30

【0096】

従って、剪断力がX軸に沿って突出部41～46に印加された場合、カンチレバーCL1～CL4が破損することはない。

【0097】

更に、金属プレート5は、突出部41～46と間隔dを隔てて突出部41～46の周囲に設けられているので、剪断力がXY平面の任意の方向から弾性部材4に印加されても、上述した理由によって、カンチレバーCL1～CL4が破損することはない。

40

【0098】

更に、弾性部材4のうち、突出部41～46以外の部分の上には、金属プレート5が配置されているので、突出部41～46の近傍および弾性部材4の周縁において、弾性部材4と基板1との間に隙間が形成されることはなく、水分および空気等が弾性部材4と基板1との間に浸透することが抑制される。

【0099】

従って、弾性部材4の剥離を防止できる。

【0100】

図23は、検知部31の他の構成を示す構成図である。上記においては、検知部31, 32の各々は、4個のセンサ素子311～324を含むと説明したが、この発明の実施の

50

形態においては、これに限らず、検知部 3 1 は、3 個のセンサ素子 3 1 1 ~ 3 1 3 を含んでいてもよい。

【 0 1 0 1 】

この場合、3 個のセンサ素子 3 1 1 ~ 3 1 3 の 3 個のカンチレバー C L 1 ~ C L 3 は、相互に 1 2 0 度の角度を成すように配置される。つまり、3 個のカンチレバー C L 1 ~ C L 3 は、相互に異なる向きを向くように配置される。

【 0 1 0 2 】

なお、検知部 3 1 が 3 個のセンサ素子 3 1 1 ~ 3 1 3 からなる場合、検知部 3 2 および突出部 4 3 ~ 4 6 によって覆われる 4 個の検知部の各々も、図 2 3 に示すように、相互に 1 2 0 度の角度を成すように配置された 3 個のカンチレバー C L 1 ~ C L 3 を含む 3 個の

10

【 0 1 0 3 】

そして、一般的には、検知部 3 1 , 3 2 および突出部 4 3 ~ 4 6 によって覆われる 4 個の検知部の各々は、1 個以上のカンチレバーを含んでいればよい。

【 0 1 0 4 】

各検知部が 1 個以上のカンチレバーを含んでいれば、突出部 4 1 ~ 4 6 に印加された剪断力の向き、または大きさを検知できるからである。

【 0 1 0 5 】

なお、各検知部が 2 個以上のカンチレバーを含む場合、2 個のカンチレバーは、好ましくは、互いに異なる向きに配置される。

20

【 0 1 0 6 】

触覚センサ 1 0 においては、突出部 4 1 ~ 4 6 の各々は、金属プレート 5 から突出している。その結果、突出部 4 1 ~ 4 6 は、検出対象物に接触し易くなる。

【 0 1 0 7 】

従って、検出対象物を高感度に検知できる。

【 0 1 0 8 】

図 2 4 は、この発明の実施の形態によるロボットが備えるアームの斜視図である。図 2 4 を参照して、この発明の実施の形態によるロボットは、アーム 3 0 0 を備える。アーム 3 0 0 は、触覚センサ 1 0 と、把持部 3 1 0 , 3 2 0 とを含む。

【 0 1 0 9 】

30

触覚センサ 1 0 は、把持部 3 1 0 の把持部 3 2 0 側の表面に配置される。そして、触覚センサ 1 0 は、把持部 3 1 0 , 3 2 0 が物体を把持すると、物体と接触し、突出部 4 1 ~ 4 6 に印加された剪断力を上述した方法によって検出する。

【 0 1 1 0 】

そうすると、ロボットの制御部（図示せず）は、触覚センサ 1 0 が検知した剪断力の大きさおよび方向に基づいて、物体を正確に把持しているかを判定する。そして、ロボットの制御部（図示せず）は、把持部 3 1 0 , 3 2 0 が物体を正確に把持していないと判定したとき、物体を正確に把持するように把持部 3 1 0 , 3 2 0 を制御する。

【 0 1 1 1 】

このように、触覚センサ 1 0 は、ロボットのアーム 3 0 0 の把持部 3 1 0 , 3 2 0 に設置され、把持部 3 1 0 , 3 2 0 による物体の把持に用いられる。

40

【 0 1 1 2 】

また、触覚センサ 1 0 は、自動車のタイヤの路面との接触面に配置されてもよい。そして、触覚センサ 1 0 は、自動車の幅方向等、自動車の進行方向と異なる方向から印加される剪断力を上述した方法によって検知する。

【 0 1 1 3 】

そうすると、自動車の制御部（図示せず）は、触覚センサ 1 0 によって検知された剪断力の大きさおよび方向に基づいて、タイヤの滑りを検知する。そして、自動車の制御部（図示せず）は、タイヤの滑りを視覚情報として運転者に与える。

【 0 1 1 4 】

50

このように、触覚センサ 10 は、タイヤの滑りを検知するために設置されてもよい。

【0115】

なお、触覚センサ 10 がタイヤに設置される場合、触覚センサ 10 は、地面との接触によって突出部 41 ~ 46 が破損する可能性があるが、このような破損を防止するために、触覚センサ 10 は、突出部 41 ~ 46 および金属プレート 5 を覆うカバー部材を更に備えていてもよい。

【0116】

上記においては、触覚センサ 10 は、弾性部材 4 の突出部 41 ~ 46 の周囲に金属プレート 5 を備えると説明したが、この発明の実施の形態においては、これに限らず、触覚センサ 10 は、弾性部材 4 よりも硬度が大きい部材を金属プレート 5 に代えて備えていれば

10

【0117】

弾性部材 4 よりも大きい硬度を有する部材が突出部 41 ~ 46 の周囲に配置されていれば、弾性部材 4 よりも大きい硬度を有する部材は、XY 平面内における任意の方向への突出部 41 ~ 46 の移動を制限できるからである。

【0118】

そして、弾性部材 4 よりも大きい硬度を有する部材は、上述したアルミニウム以外に、例えば、エポキシ樹脂 (NTT AT AT6001、硬度: 10MPa)、エンジニアリングプラスチック (三輝工業 MCナイロン901)、ステンレス等の金属板、およびセラミック等からなり、一般的には、弾性部材 4 の硬度の 10 倍以上の硬度を有する材料

20

【0119】

弾性部材 4 よりも大きい硬度を有する部材がエポキシ樹脂、エンジニアリングプラスチックおよびセラミックのいずれかからなる場合、図 18 においては、図 16 に示すような隙間 120 を有する金型を用いて、エポキシ樹脂、エンジニアリングプラスチックおよびセラミックの材料が隙間に流し込まれ、その流し込まれた材料を硬化させることによって、弾性部材 4 よりも大きい硬度を有する部材が金属プレート 5 に代えて形成される。

【0120】

また、上記においては、触覚センサ 10 は、6 個の検知部を備えると説明したが、この発明の実施の形態においては、これに限らず、触覚センサ 10 は、 n (n は正の整数) 個の検知部を備えていればよい。この場合、弾性部材 4 は、 n 個の検知部をそれぞれ覆う n 個の突出部を有する。

30

【0121】

そして、 n 個の検知部および n 個の突出部は、碁盤目状に配置されてもよく、市松模様状に配置されてもよく、一般的には、任意の模様状に配置されてもよい。

【0122】

更に、この発明の実施の形態においては、金属プレート 5 は、「周辺部材」を構成する。

【0123】

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

40

【産業上の利用可能性】

【0124】

この発明は、触覚センサに適用される。

【符号の説明】

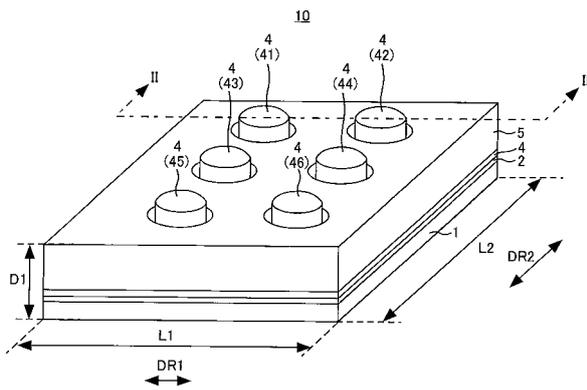
【0125】

1 基板、2 酸化膜、3, 31, 32 検知部、4 弾性部材、5, 51, 52 金属プレート、10 触覚センサ、41 ~ 46 突出部、100 SOI 基板、101 埋

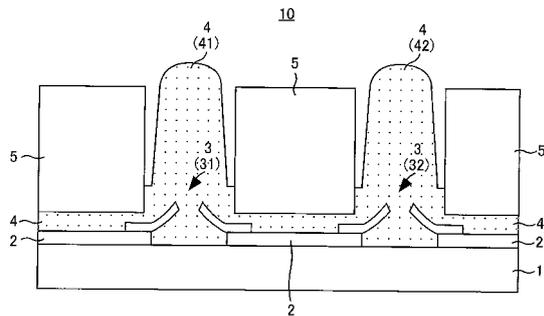
50

め込み酸化膜、102 結晶シリコン膜、3111 ノンドープ層、3112 ドープ層、110, 130 金型、120 隙間、300 アーム、310, 320 把持部、311~314 センサ素子。

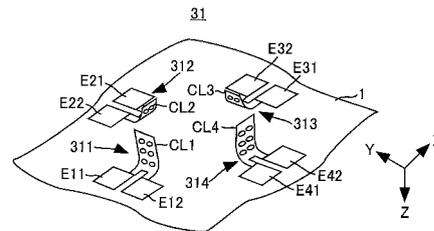
【図1】



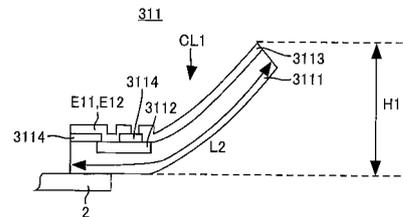
【図2】



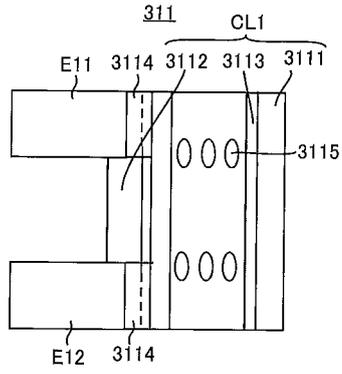
【図3】



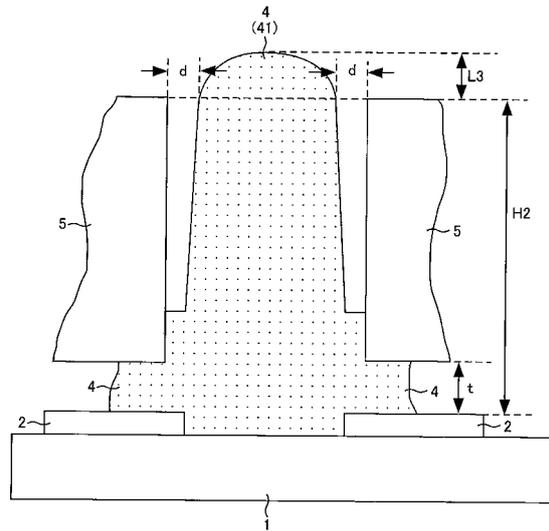
【図4】



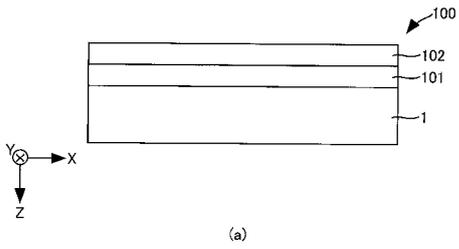
【 図 5 】



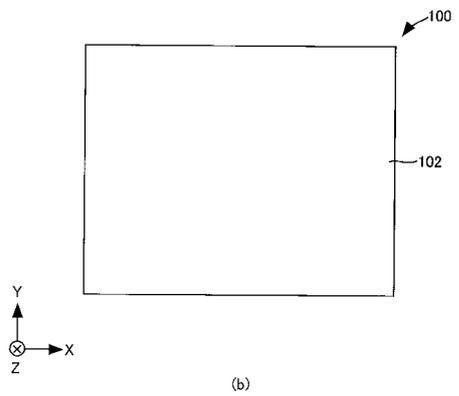
【 図 6 】



【 図 7 】

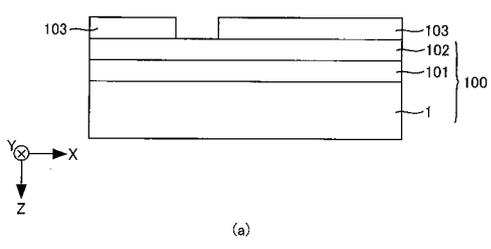


(a)

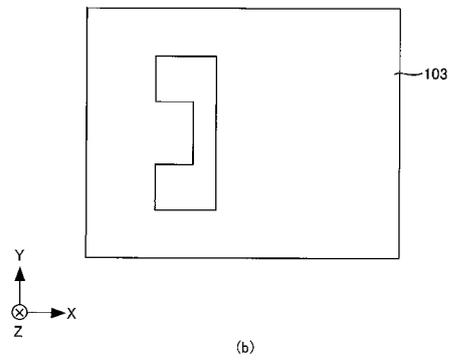


(b)

【 図 8 】

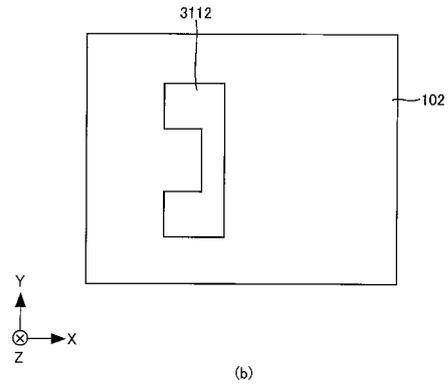
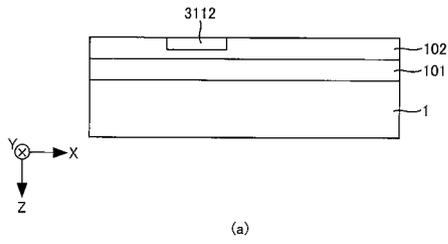


(a)

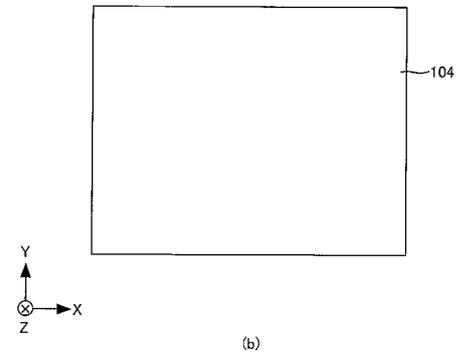
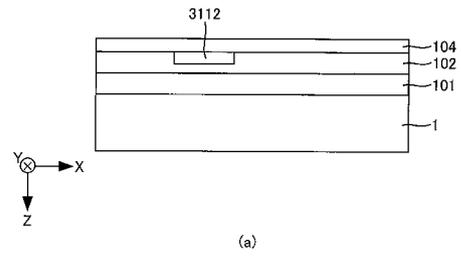


(b)

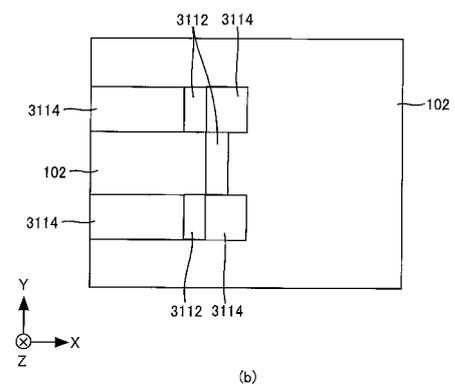
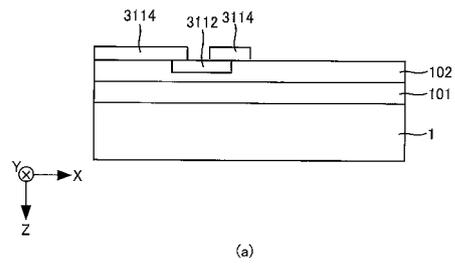
【 9 】



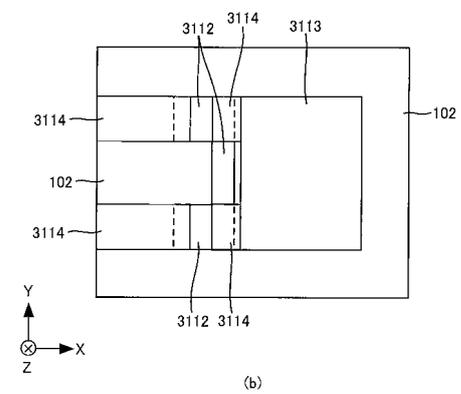
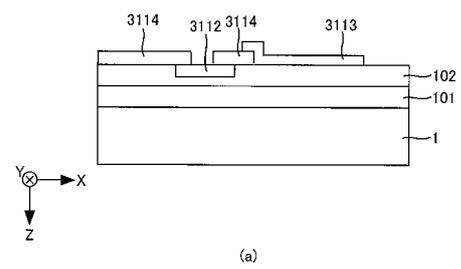
【 10 】



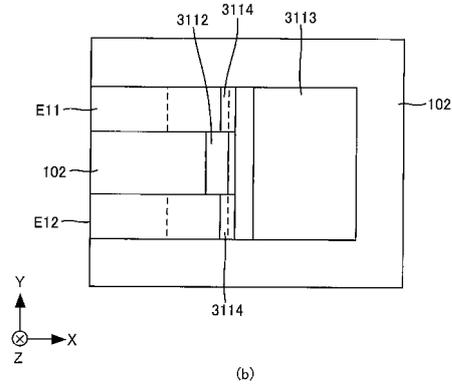
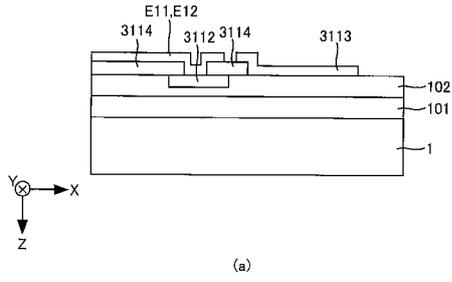
【 11 】



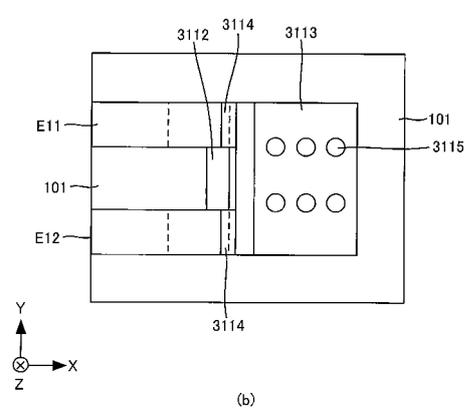
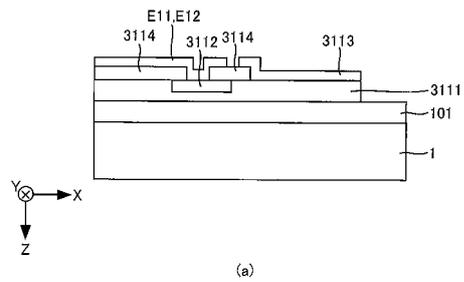
【 12 】



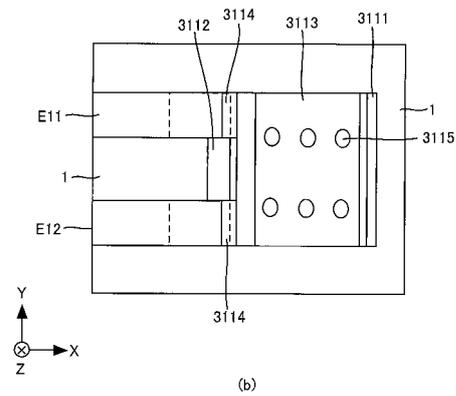
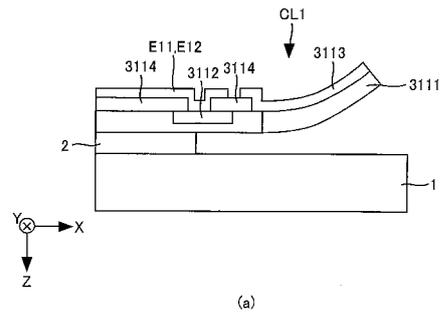
【 図 1 3 】



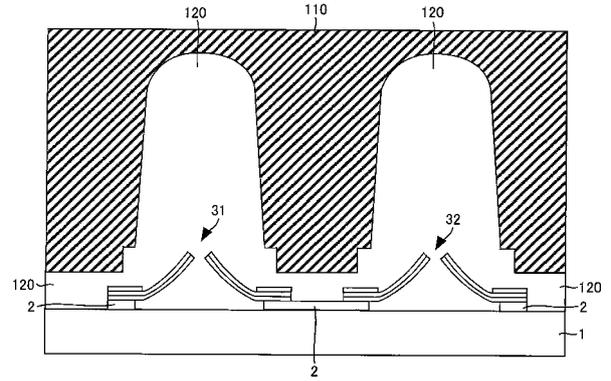
【 図 1 4 】



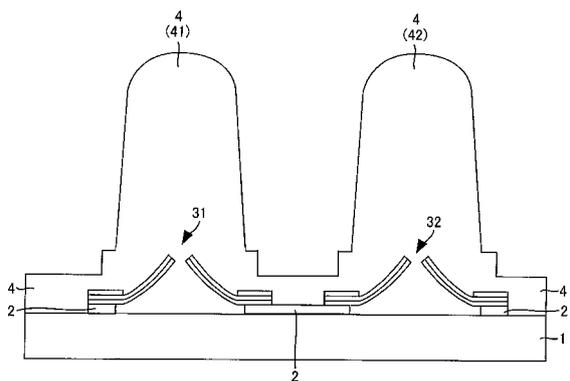
【 図 1 5 】



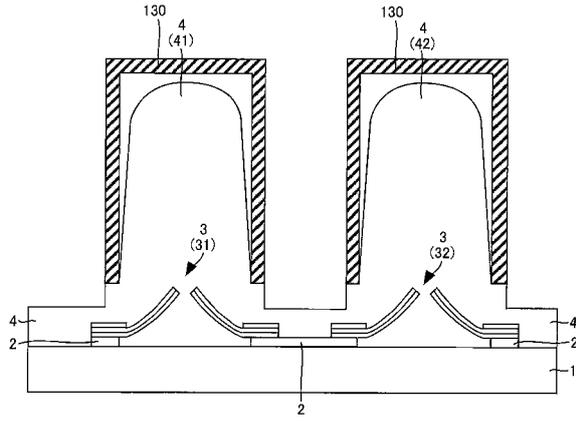
【 図 1 6 】



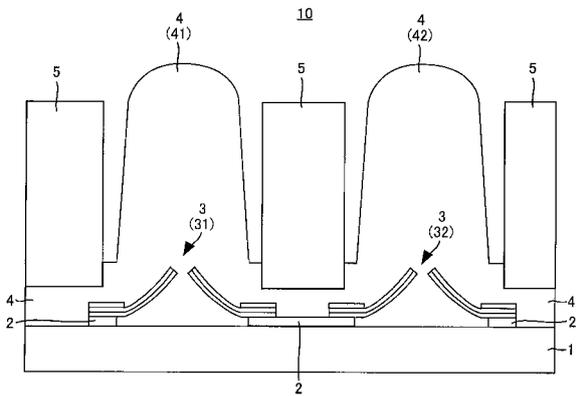
【 図 1 7 】



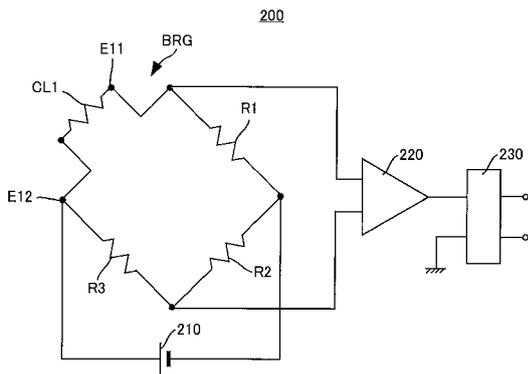
【図18】



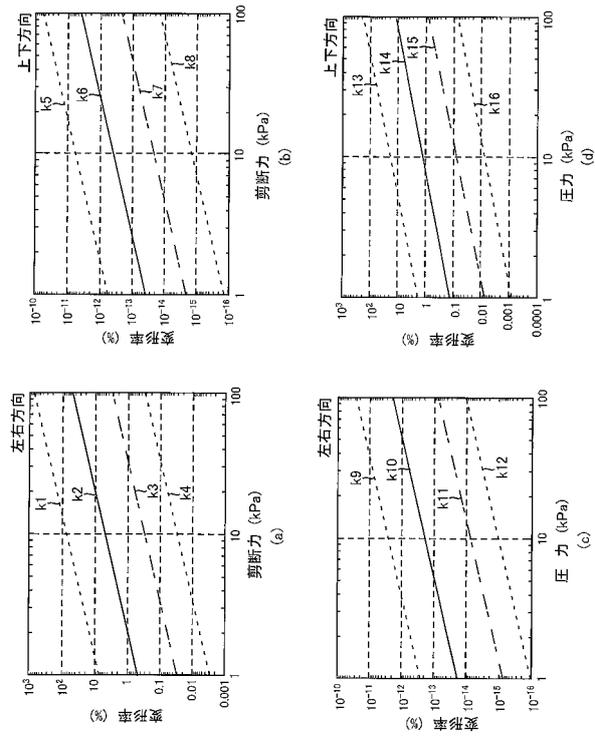
【図19】



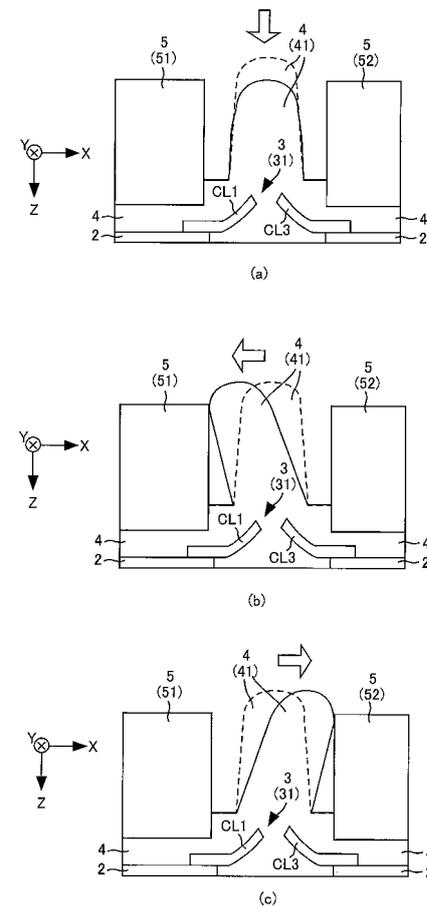
【図21】



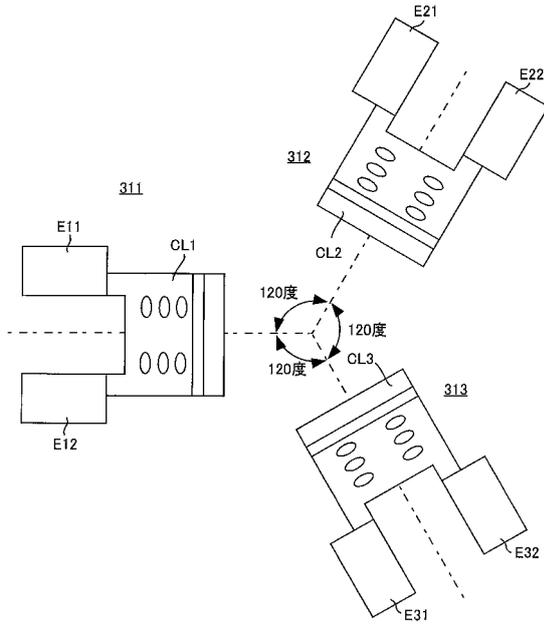
【図20】



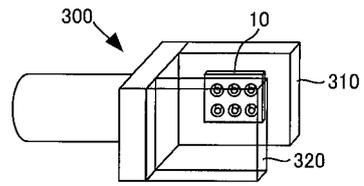
【図22】



【 図 2 3 】



【 図 2 4 】



フロントページの続き

審査官 森 雅之

(56)参考文献 特開2009-294140(JP,A)
特許第4977825(JP,B2)
特開昭60-90696(JP,A)
特許第5248221(JP,B2)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)
G01L 5/00
G01L 5/16
B25J 15/08
B25J 19/02