

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6535745号
(P6535745)

(45) 発行日 令和1年6月26日 (2019.6.26)

(24) 登録日 令和1年6月7日 (2019.6.7)

(51) Int.Cl.	F I
HO 1 L 41/047 (2006.01)	HO 1 L 41/047
HO 1 L 41/113 (2006.01)	HO 1 L 41/113
HO 1 L 41/333 (2013.01)	HO 1 L 41/333
GO 1 L 9/08 (2006.01)	GO 1 L 9/08

請求項の数 6 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2017-536630 (P2017-536630)	(73) 特許権者	000006633
(86) (22) 出願日	平成28年4月20日 (2016.4.20)		京セラ株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2016/062534		京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町6番地
(87) 国際公開番号	W02017/033493	(74) 代理人	100075557
(87) 国際公開日	平成29年3月2日 (2017.3.2)		弁理士 西教 圭一郎
審査請求日	平成29年9月15日 (2017.9.15)	(72) 発明者	真田 英和
(31) 優先権主張番号	特願2015-166894 (P2015-166894)		京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町6番地
(32) 優先日	平成27年8月26日 (2015.8.26)		京セラ株式会社内
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		
		審査官	加藤 俊哉
		(56) 参考文献	特開2007-336504 (JP, A)
			特開平04-105375 (JP, A)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧電素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

対向する一方主面および他方主面を有する板状の圧電体と、

前記一方主面に設けられた第1表面電極および前記他方主面に設けられた第2表面電極とを備えた圧電素子であって、

前記第1表面電極および前記第2表面電極のうちの少なくとも一方は、中央部よりも厚みが厚くなっている周縁部を有し、該周縁部は、厚みの厚い厚肉領域と、該厚肉領域よりも厚みの薄い薄肉領域とを有している圧電素子。

【請求項 2】

前記薄肉領域が前記中央部よりも厚みが厚いことを特徴とする請求項1に記載の圧電素子。

【請求項 3】

前記厚肉領域から前記薄肉領域にかけて漸次厚みが変化している請求項1または請求項2に記載の圧電素子。

【請求項 4】

前記薄肉領域が複数設けられている請求項1乃至請求項3のいずれかに記載の圧電素子。

【請求項 5】

前記第1表面電極および前記第2表面電極の両方の前記周縁部が、前記薄肉領域を有している請求項1乃至請求項4のいずれかに記載の圧電素子。

10

20

【請求項 6】

前記薄肉領域が、前記圧電体を介して対向するように設けられている請求項 5 に記載の圧電素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えば、圧力センサ素子、圧電駆動素子（圧電アクチュエータ）および圧電回路素子等として用いられる圧電素子に関する。

【背景技術】

【0002】

10

圧力センサとして用いられる圧電素子は、例えば自動車のエンジンやサスペンション等の部分に組み込まれ、エンジンの燃焼制御や車体の姿勢制御に用いられている。このような圧電素子として、例えば板状の圧電体の対向する主面に表面電極を具備したものが知られている（例えば、特許文献 1 を参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開平 11 - 292625 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0004】

上記の圧電素子は、表面電極をスクリーン印刷で形成することができる。ここで、スクリーン印刷で形成された表面電極は、周縁部の厚みが中央部の厚みよりも厚くなることがある。

【0005】

このような圧電素子では、圧電素子の圧力の加わる面に対して垂直方向の力が加わると、表面電極の厚みの厚い周縁部に応力が集中してしまい、表面電極と圧電体との界面にクラックが発生するおそれがあった。

【0006】

本発明は、上記の問題点に鑑みて案出されたものであり、その目的は、表面電極と圧電体との界面にクラックが発生するのを抑制し、長期信頼性の向上した圧電素子を提供することである。

30

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一態様の圧電素子は、対向する一方主面および他方主面を有する板状の圧電体と、前記一方主面に設けられた第 1 表面電極および前記他方主面に設けられた第 2 表面電極とを備えた圧電素子であって、前記第 1 表面電極および前記第 2 表面電極のうちの少なくとも一方は、中央部よりも厚みが厚くなっている周縁部を有し、該周縁部は、厚みの厚い厚肉領域と、該厚肉領域よりも厚みの薄い薄肉領域とを有している。

【発明の効果】

40

【0008】

本発明の一態様の圧電素子によれば、表面電極と圧電体との界面にクラックが発生するのが抑制され、長期信頼性の向上した圧電素子とすることができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図 1】（a）は本実施形態の圧電素子の一例を示す概略斜視図であり、（b）は（a）に示す圧電素子の概略平面図である。

【図 2】（a）は図 1（b）に示す X - X' 線で切断した断面図であり、（b）は図 1（b）に示す Y - Y' 線で切断した断面図である。

【図 3】（a）～（c）は図 1（b）に示す Z - Z' 線で切断した断面のバリエーション

50

を示す図である。

【図4】図1(b)に示すZ-Z'線で切断した断面の他の例を示す図である。

【図5】(a)は本実施形態の圧電素子の他の例を示す平面図であり、(b)は(a)に示すX-X'線で切断した断面図であり、(c)は(a)に示すY-Y'線で切断した断面図である。

【図6】本実施形態の圧電素子のさらに他の例を示すX-X'線断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

本実施形態の圧電素子の一例について図面を参照して説明する。なお、以下の説明においては、主に圧電素子を圧力センサとして用いる例にて説明し、同一の構成については同一の符号を用いるものとする。

10

【0011】

図1(a)は本実施形態の圧電素子の一例を示す概略斜視図であり、図1(b)は、図(a)に示す圧電素子の概略平面図である。また、図2(a)は図1(b)に示すX-X'線で切断した断面図であり、(b)は図1(b)に示すY-Y'線で切断した断面図である。

【0012】

図1(a)、(b)に示す圧電素子10は、対向する一方主面および他方主面を有する板状の圧電体1と、一方主面に設けられた第1表面電極2および他方主面に設けられた第2表面電極3とを備え、第1表面電極2および第2表面電極3のうちの少なくとも一方は、中央部よりも厚みが厚くなっている周縁部4を有し、該周縁部4は、厚みの厚い厚肉領域5と、該厚肉領域5よりも厚みの薄い薄肉領域6とを有している。

20

【0013】

圧電体1は、圧電特性を有するセラミックスで板状に形成されたもので、このようなセラミックスとして、例えばチタン酸ジルコン酸鉛($PbZrO_3 - PbTiO_3$)からなるペロブスカイト型酸化物、ニオブ酸リチウム($LiNbO_3$)、タンタル酸リチウム($LiTaO_3$)などを用いることができる。圧電体1の厚みは、例えば $100\mu m \sim 10mm$ とされ、圧電体1の平面視による形状は、円形、楕円形、多角形状等いかなる形状であっても良い。例えば、円形の場合、直径が $0.5 \sim 20mm$ とされる。

【0014】

第1表面電極2および第2表面電極3は、板状の圧電体1の対向する一对の主面に互いに対向するように設けられている。第1表面電極2および第2表面電極3の形成材料としては、例えば、銀、銀-パラジウム合金を主成分とする導体、あるいは金、銅、白金、クロムなどを含む導体が挙げられる。

30

【0015】

ここで、図2(a)、(b)に示すように、本実施形態の圧電素子10においては、第1表面電極2は、中央部よりも厚みが厚くなっている周縁部4を有している。そして、周縁部4は、厚みの厚い厚肉領域5と、該厚肉領域5よりも厚みの薄い薄肉領域6とを有している。すなわち、第1表面電極2の周縁部4は圧電体1の一方主面からの厚みが一定ではなく、圧電体1の一方主面からの厚みの厚い厚肉領域5と、圧電体1の一方主面からの厚みが厚肉領域5よりも薄い薄肉領域6とを有している。これにより、厚肉領域5と薄肉領域6との間には厚みの差ができる。なお、第1表面電極2における周縁部4の厚みは、薄肉領域6であっても中央部よりも厚くなっている。

40

【0016】

周縁部4は、第1表面電極2における圧電体1の外周に沿った領域のことであり、圧電体1の中央部から外周にかけて見ていったときに、中央部の厚みよりも20%以上厚くなった部分よりも外側の領域が周縁部4となる。つまり、図2(a)、(b)に示すように、中央部の厚みを t としたときに、第1表面電極2の中央部から外周にかけて見ていったときに、 $1.2t$ の厚みとなった部分よりも外側が周縁部4である。

【0017】

50

また、周縁部 4 は、平面視による第 1 表面電極 2 の重心である中心を介して対向する外周同士を結んだ距離に対して、それぞれの外周からの距離が外周同士を結んだ距離の 15% 以下となることが好ましい。例えば、圧電体 1 が平面視で円形の場合、第 1 表面電極 2 の周縁部 4 はそれぞれの外周からの距離が直径の 15% 以下の距離となることが好ましい。これにより、圧電素子 10 を圧力センサとして用いた場合、センサ感度の精度を向上することができる。

【0018】

そして、周縁部 4 は、圧電体 1 の一方主面からの厚みの厚い厚肉領域 5 と、該厚肉領域 5 よりも厚みの薄い薄肉領域 6 とを有している。例えば周縁部 4 において、最も厚い部分の厚みを t_{Max} とし、最も薄い部分の厚みを t_{Min} とし、 t_{Max} と t_{Min} との中間の厚み $((t_{Max} + t_{Min}) / 2)$ を t_{Mid} としたときに、 t_{Mid} よりも厚い領域が厚肉領域 5 であり、 t_{Mid} よりも薄い領域が薄肉領域 6 である。なお、周縁部 4 における最も厚い部分の厚み t_{Max} と最も薄い部分の厚み t_{Min} との差は、最も薄い部分の厚み t_{Min} の 30% 以上であることが好ましい。

【0019】

第 1 表面電極 2 は、中央部の厚みが例えば $0.10 \sim 2.0 \mu m$ で、厚肉領域 5 の厚みが例えば $0.50 \sim 4.0 \mu m$ で、薄肉領域 6 の厚みが例えば $0.15 \sim 3.0 \mu m$ である。また、平面視において第 1 表面電極 2 の薄肉領域 6 の面積比率は、周縁部 4 全体の 5 ~ 20% 程度である。

【0020】

このように、第 1 表面電極 2 が、中央部よりも厚みが厚くなっている周縁部 4 を有し、該周縁部 4 は、圧電体 1 の一方主面对向する面から反対側の面までの厚みの厚い厚肉領域 5 と、該厚肉領域 5 よりも厚みの薄い薄肉領域 6 とを有していることから、厚肉領域 5 と薄肉領域 6 との厚みの差により形成された空間に向かって変形可能となり、圧電素子 10 に圧力が加わった際に、第 1 表面電極 2 から圧電体 1 にかかる応力集中が抑制されるので、表面電極と圧電体 1 との界面にクラックが発生するのが抑制され、長期信頼性の向上した圧電素子 10 とすることができる。なお、圧電素子 10 を圧力センサとして用いる場合には、出力が安定した圧力センサとすることができる。

【0021】

図 1、図 2 においては、第 1 表面電極 2 の周縁部 4 が厚肉領域 5 と薄肉領域 6 とを備えている例を用いて説明したが、第 2 表面電極 3 の周縁部 4 が厚肉領域 5 と薄肉領域 6 とを備えていてもよく、また第 1 表面電極 2 および第 2 表面電極 3 の両方の周縁部 4 が厚肉領域 5 と薄肉領域 6 とを備えていてもよい。

【0022】

図 3 (a) ~ 図 3 (c) は図 1 (b) に示す Z - Z' 線で切断した断面のバリエーションを示す図であり、図 4 は図 1 (b) に示す Z - Z' 線で切断した断面の他の例を示す図である。

【0023】

図 3 (a) ~ 図 3 (c) および図 4 は、厚肉領域 5 から薄肉領域 6 にかけて厚みが変化している例のバリエーションを示している。図 3 (a) に示す圧電素子 10 は、厚肉領域 5 と薄肉領域 6 との間に段差がある形態であり、凹んだ領域が薄肉領域 6 で、その外側の領域が厚肉領域 5 である。図 3 (b) に示す圧電素子 11 は、2 段の段差がある形態であり、厚みの薄い領域が薄肉領域 6 で、その外側の領域が階段状になっている部位も含めて厚肉領域 5 である。図 3 (c) に示す圧電素子 12 は、厚肉領域 5 と薄肉領域 6 との間に傾斜部がある形態であり、厚みの薄い領域が薄肉領域 6 で、その外側の領域が傾斜部も含めて厚肉領域 5 である。

【0024】

図 3 (a)、(b) のように、厚肉領域 5 と薄肉領域 6 との間に段差がある場合は、圧電素子 10 に圧力が加わった際に、厚肉領域 5 と薄肉領域 6 との厚みの差により形成された空間に厚肉領域 5 が広がって変形し、これにより第 1 表面電極 2 から圧電体 1 にかかる

10

20

30

40

50

応力集中が抑制される。それにより、表面電極と圧電体 1 との界面にクラックが発生するのが抑制され、長期信頼性の向上した圧電素子 10 とすることができる。

【0025】

また、図 3 (c) のように、厚肉領域 5 と薄肉領域 6 との間に傾斜部がある場合は、厚肉領域 5 と薄肉領域 6 との間に段差がないので、応力がより均一に分散され、第 1 表面電極 2 から圧電体 1 にかかる応力集中がより抑制される。

【0026】

また、図 4 に示す圧電素子 13 は、厚肉領域 5 から薄肉領域 6 にかけて厚みが増えている例のうち、厚肉領域 5 から薄肉領域 6 にかけて漸次厚みが増えている例を示している。これにより、圧電素子 1 に圧力が加わった際に、厚肉領域 5 と薄肉領域 6 との厚みの差により形成された空間に向かって厚肉領域 5 がなめらかに変形し、厚肉領域 5 と薄肉領域 6 との間で応力がさらに均一に分散される。特に圧電素子 13 を圧力センサとして用いる場合には、圧力センサの出力が安定する。

【0027】

図 5 (a) は本実施形態の圧電素子の他の例を示す平面図であり、図 5 (b) は図 5 (a) に示す X - X' 線で切断した断面図であり、図 5 (c) は図 5 (a) に示す Y - Y' 線で切断した断面図である。

【0028】

図 5 に示す圧電素子 14 においては、薄肉領域 6 が 2 箇所には設けられている。これにより、厚肉領域 5 の変形できる箇所が増えて、よりクラックの発生を抑制できる。なお、薄肉領域 6 は 2 箇所以上設けられてもよい。また、薄肉領域 6 を複数箇所に設ける場合は、薄肉領域 6 が圧電体 1 の重心に対して点対称の位置なるように設けられていることが好ましい。これにより、第 1 表面電極 2 の周縁部において応力が均一に分散され、第 1 表面電極 2 から圧電体 1 にかかる応力集中が抑制されるのでよりクラックの発生を抑制できる。

【0029】

図 6 は、本実施形態の圧電素子のさらに他の例を示す X - X' 線断面図である。図 6 に示す圧電素子 15 においては、第 1 表面電極 2 および第 2 表面電極 3 の両方の周縁部 4 が、薄肉領域 6 を有している。これにより、圧電体 1 の一方主面および他方主面の両方の主面において応力集中が抑制される。さらに、図 6 に示すように、薄肉領域 6 が圧電体 1 を介して対向するように設けられている構成とすることもできる。これにより、圧電素子 1 に圧力が加わった際に、第 1 表面電極 2 および第 2 表面電極 3 において厚肉領域 5 の変形できる箇所を一致させることができるので、厚肉領域 5 の変形をより大きくさせることができる。したがって、長期信頼性の向上した圧電素子 15 とすることができる。

【0030】

次に、本実施形態の圧電素子 10 の製造方法について説明する。

【0031】

まず、圧電セラミックスの仮焼粉末と、アクリル系、ブチラール系等の有機高分子からなるバインダーを混合して原料粉末を作製する。圧電セラミックスとしては圧電特性を有するものであればよく、例えば、チタン酸ジルコン酸鉛 ($\text{PbZrO}_3 - \text{PbTiO}_3$) からなるペロブスカイト型酸化物等を用いることができる。そして、プレス等を用いて成形し、所定の温度で脱バインダー処理を行なった後、900 ~ 1500 の温度で焼成し、平面研削盤等を用いて所定の形状になるよう研削処理を施して、圧電体 1 を作製する。

【0032】

次に、第 1 表面電極 2、第 2 表面電極 3 となる導電性ペーストを作製する。具体的には、銀の金属粉末にガラス粉末と共にバインダーおよび可塑剤を添加混合することによって導電性ペーストを作製する。この導電性ペーストを上記の圧電体 1 上に、スクリーン印刷法を用いて第 1 表面電極 2 および第 2 表面電極 3 のパターンを印刷塗布する。さらに、この導電性ペーストが印刷された圧電体 1 を、所定の温度で脱バインダー処理を行なった後、600 ~ 900 の温度で焼成する。

【0033】

ここで、厚肉領域 5 と薄肉領域 6 の作製方法について述べる。例えばスクリーン印刷法を用いて導電性ペーストを印刷する際、導電性ペーストの粘度を調整して印刷することで周縁部 4 の部分が形成できる。これを利用して、1 回目は周縁部が薄肉領域 6 の厚みになるように印刷し、2 回目は厚肉領域 5 の部分だけを印刷する。あるいは周縁部が厚肉領域 5 の厚みになるように印刷し、その後、厚肉領域 5 の一部を研磨等の方法で削り取って薄肉領域 6 を形成することもできる。また他の方法として、スクリーン印刷時のスキージの形状や押圧強度を制御して厚肉領域 5 と薄肉領域 6 とで異ならせる方法やメッシュの間隔を厚肉領域 5 と薄肉領域 6 とで異ならせる方法がある。さらに、印刷時のパターンを厚肉領域 5 と薄肉領域 6 とで異ならせる方法がある。また、スクリーン印刷に変えて、蒸着等の薄膜法で、厚肉領域 5 と薄肉領域 6 を異ならせる方法では、マスクパターンを複数用意して、複数回製膜する方法がある。

10

【0034】

以上の方法により、本実施形態の圧電素子 10 を作製することができる。

【0035】

なお、圧電素子 10 は、上記の製造方法によって作製されるものに限定されるものではなく、どのような製造方法によって作製されてもよい。

【実施例】

【0036】

本発明の実施例について説明する。

【0037】

本発明の圧電素子を以下のようにして作製した。まず、平均粒径が $0.8 \mu\text{m}$ のチタン酸ジルコン酸鉛 ($\text{PbZrO}_3 - \text{PbTiO}_3$) を主成分とする圧電セラミックスの仮焼粉末、バインダーを混合した原料粉末を作製し、プレスで成形した後、 $600 \sim 1200$ で脱脂を行った後、 $980 \sim 1500$ で焼成した。その後、研磨機で厚みが $300 \sim 900 \mu\text{m}$ になるよう研磨し、 $\phi 5.0 \text{ mm}$ の円板状になるように加工して圧電体を作成した。

20

【0038】

次に、銀とガラスの粉末にバインダーを加えて、表面電極となる導電性ペーストを作製した。

【0039】

次に、圧電体に表面電極となる導電性ペーストをスクリーン印刷法により印刷した。このとき、厚肉領域は導電性ペーストを 2 回印刷して形成した。すなわち、導電性ペーストの 1 回目の印刷で薄肉領域の厚みとなる周縁部を形成した。続いて、周縁部の薄肉領域となる部位を除く厚肉領域となる部位のみに 2 回目の印刷をし、周縁部に薄肉領域と厚肉領域とを形成した。ここで、厚肉領域の厚みは $0.50 \sim 40 \mu\text{m}$ であった。また、薄肉領域の厚みは $0.15 \sim 30 \mu\text{m}$ で、中央部の厚みは $0.1 \sim 20 \mu\text{m}$ であった。

30

【0040】

次に、 $600 \sim 900$ の温度で導電性ペーストを圧電体に焼き付けることにより、圧電体の一方主面に第 1 表面電極を形成して、図 1、図 2 に示すように、第 1 表面電極の周縁部が、厚みの厚い厚肉領域と、それよりも厚みの薄い薄肉領域とを有した構造になっている圧電素子 (試料 1) を作製した。

40

【0041】

さらに、試料 2 として、図 5 に示すように、第 1 表面電極の薄肉領域が 2 箇所設けられた構造になっている圧電素子を作製した。

【0042】

さらに、試料 3 として、図 6 に示すように、薄肉領域が、圧電体を介して対向するように第 1 表面電極および第 2 表面電極のそれぞれの周縁部に設けられた構造になっている圧電素子を作製した。

【0043】

また、比較例として、表面電極の周縁部が全て厚肉領域で、表面電極の周縁部に薄肉領

50

域が形成されていない構造になっている圧電素子（試料４）も作製した。

【００４４】

これらの圧電素子（試料１～試料４）をそれぞれ金属ホルダーに入れて、荷重試験の測定機で１０００Ｎの圧力を加え、圧力センサ出力を測定した。試料１～試料４のいずれの圧電素子も約３００μＣの出力を得た。

【００４５】

さらに、この評価を２００Ｈｚの振動で１．０×１０^９回繰り返して耐久性試験を行った。

【００４６】

それぞれの圧電素子について、ＳＥＭ（Ｓｃanning Electron Microscope、走査型電子顕微鏡）で分析した結果、本発明の実施例である試料１、試料２、試料３の圧電素子は、表面電極と圧電体との界面にクラックは発生していなかった。さらに、これらの試料の出力信号を評価したところ、ともに試験前の値と同等となり、劣化していなかった。

【００４７】

これに対し、比較例である試料４の圧電素子は、表面電極と圧電体との界面にクラックが発生していた。さらに、この試料４の出力信号を評価したところ、試験前より低い出力値となり劣化していた。

【００４８】

以上のことから、実施例の圧電素子のほうが比較例の圧電素子よりも長期信頼性に優れていることがわかる。

【符号の説明】

【００４９】

１・・・圧電体

２・・・第１表面電極

３・・・第２表面電極

４・・・周縁部

５・・・厚肉領域

６・・・薄肉領域

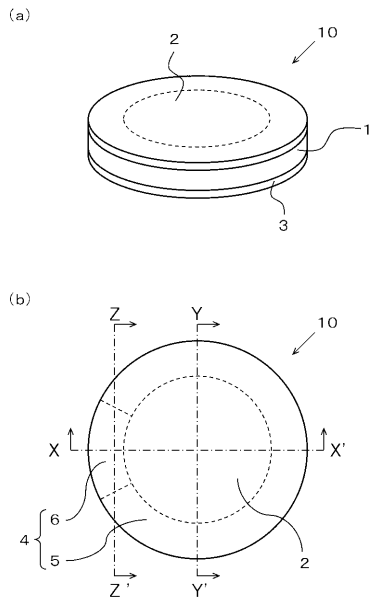
１０、１１、１２、１３、１４、１５・・・圧電素子

10

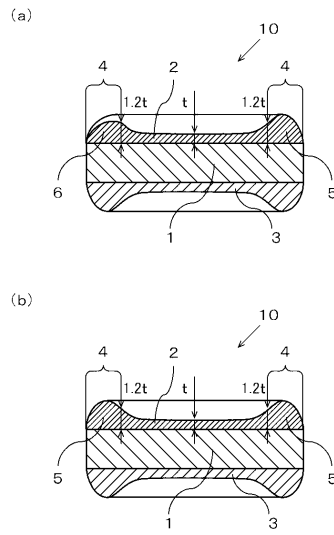
20

30

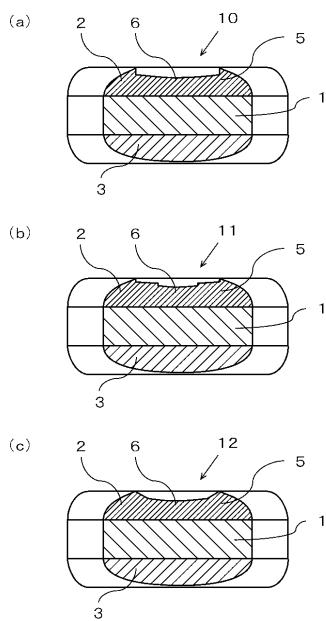
【図 1】



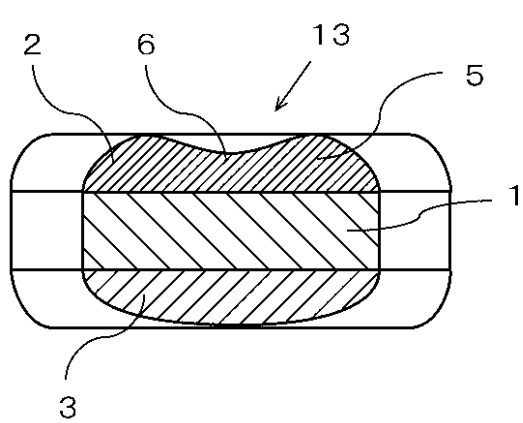
【図 2】



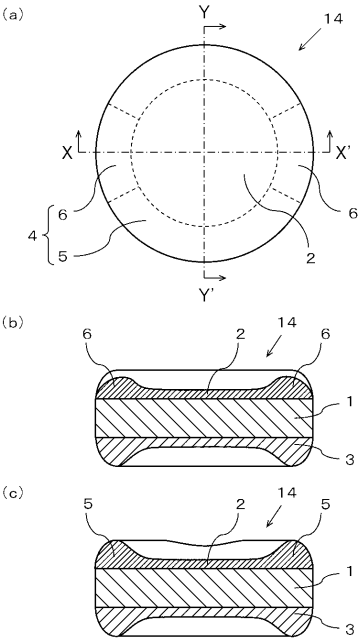
【図 3】



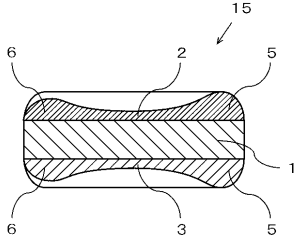
【図 4】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 L	4 1 / 0 4 7
G 0 1 L	9 / 0 8
H 0 1 L	4 1 / 1 1 3
H 0 1 L	4 1 / 3 3 3