



複数の磁歪列部を有する磁歪部を備えた磁歪式センサにおいて、前記磁歪部に寸法上の制約がある中でも、感度向上を図ることが可能な構成を得る。トルクセンサ1は、基材21の外周面21s上に形成された磁歪膜2を備える。磁歪膜2は、列状に延びる複数の磁歪列部2aを有する。複数の磁歪列部2aのうち少なくとも一部は、該一部を含む磁歪列部2aをその延伸方向と直交する断面で見ても、基材21の外周面21sに平行な方向において、最も長い部分の長さが、前記一部を含む磁歪列部2aと基材21の外周面21sとの接触部分2fの長さよりも大きく、且つ、前記接触部分2fと、前記磁歪列部2aの隣りの磁歪列部2aと基材21の外周面21sとの接触部分2fとの間隔Dよりも大きい。

明 細 書

発明の名称：

磁歪式センサ、磁性構造体およびその製造方法、ならびに、磁歪式センサを備えたモータ駆動ユニットおよび電動アシスト付き自転車

技術分野

[0001] 本発明は、磁歪式センサ、磁性構造体およびその製造方法、ならびに、磁歪式センサを備えたモータ駆動ユニットおよび電動アシスト付き自転車に関する。

背景技術

[0002] 一般に、トルクや荷重を検知するために、磁歪式センサが用いられている。多くの磁歪式センサでは、トルクまたは荷重が作用する部材（基材）の外周面に、磁歪材料を含む磁歪部が形成されている。このような構成を有する磁歪式センサでは、磁歪部が形成された基材を囲むように、コイルが配置されている。

[0003] 上述の構成により、磁歪式センサにおいて、磁歪部が形成された基材に力が作用した場合に、磁歪部の磁歪材料の透磁率が変化する。よって、磁歪部を囲むように配置されたコイルのインピーダンスが変化する。磁歪式センサは、前記コイルのインピーダンスの変化を検出することにより、トルクや荷重を検知する。

[0004] 特許文献1には、Fe-Niの2元合金からなる磁歪材料を利用したトルクセンサが開示されている。この文献に開示されている構成では、比透磁率と磁歪定数とが好適になるようにFe-Niの組成を決定することにより、センサ感度の向上を図っている。

[0005] 特許文献2には、基材上に磁歪部を形成する方法が開示されている。この方法では、マスキング部材によって基材の所定部分をマスキングした状態で、該基材をめっき液中に浸漬する。その後、めっき液中に電流を流すことによって、基材のうちマスキングされていない部分にめっき膜（磁歪部）が形

成される。特許文献2に開示されている磁歪部は、平行に形成された複数の列状部分（磁歪列部）を有する。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2007-93244号公報

特許文献2：特許第4936969号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 上述の特許文献1に開示されている構成のように、トルクや荷重を精度良く検出するためには、磁歪式センサの感度向上が求められている。

[0008] ところで、上述の特許文献2に開示されている構成のように、磁歪式センサが、平行に形成された複数の磁歪列部を有する構成の場合、磁歪式センサの感度を向上するために、前記磁歪列部の数を増やすことが考えられる。

[0009] しかしながら、基材上の限られた範囲に形成された磁歪部において、前記磁歪列部の数を増やすことは、寸法上の制約により、限界がある。

[0010] 以上より、本発明では、複数の磁歪列部を有する磁歪部を備えた磁歪式センサにおいて、前記磁歪部に寸法上の制約がある中でも、感度向上を図ることが可能な構成を得る。

課題を解決するための手段

[0011] 磁歪式センサの感度を向上するためには、磁歪部で生じる透磁率の変化をコイルによって検出する際に、より検出しやすくする必要がある。そのためには、磁歪列部の数を増やすことにより、透磁率の変化を検出しやすくなることが考えられる。しかしながら、限られた範囲内に形成された磁歪部内に形成可能な磁歪列部の数には限界がある。

[0012] これに対し、発明者らによる鋭意検討の結果、磁歪部の表面積を大きくすることにより、磁歪列部の数を増やすことと同等の効果が得られることが分かった。すなわち、磁歪部の表面積を大きくすることにより、該磁歪部の透

磁率を広範囲で変化させることができる。これにより、コイルによって、磁歪部の透磁率の変化を容易に検出することができる。

[0013] 以上の知見に基づいて、磁歪式センサについて本発明者らは、以下のような構成に想到した。

[0014] 本発明の一実施形態に係る磁歪式センサは、軸線に沿って延びる筒状または柱状の基材と、前記基材の外周面上に形成された磁歪部とを備える。前記磁歪部は、列状に延びる複数の磁歪列部を有する。前記複数の磁歪列部のうち少なくとも一部は、該一部を含む磁歪列部をその延伸方向と直交する断面で見ると、前記基材の外周面に平行な方向において、最も長い部分の長さが、前記一部を含む磁歪列部と前記基材の外周面との接触部分の長さよりも大きく、且つ、前記接触部分と、前記磁歪列部の隣りの磁歪列部と前記基材の外周面との接触部分との間隔よりも大きい。

発明の効果

[0015] 本発明の一実施形態に係る磁歪式センサによれば、磁歪部に寸法上の制約がある中でも、感度向上を図ることができる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]本発明の一実施形態に係るトルクセンサの概略構成を示す部分断面図である。

[図2]図1に示すトルクセンサに含まれる磁性構造体の概略構成を示す外観図である。

[図3]図2に示す磁性構造体における磁歪膜のパターンの一例を示す図である。

[図4]図2に示す磁性構造体における磁歪膜のパターンの一例を示す図である。

[図5]図2に示す磁性構造体における磁歪膜のパターンの一例を示す図である。

[図6]図2に示す磁性構造体における磁歪膜のパターンの一例を示す図である。

[図7]図2に示す磁性構造体における磁歪膜のパターンの一例を示す図である。

。

[図8]図2に示す磁性構造体における磁歪膜のパターンの一例を示す図である。

。

[図9]図2に示す磁性構造体における磁歪膜のパターンの一例を示す図である。

。

[図10]図2に示す磁性構造体における磁歪膜のパターンの一例を示す図である。

[図11]図2に示す磁性構造体における磁歪膜のパターンの一例を示す図である。

[図12]図2に示す磁性構造体における磁歪膜のパターンの一例を示す図である。

[図13]図2に示す磁性構造体における磁歪膜のパターンの一例を示す図である。

[図14]図2に示す磁性構造体の一例の概略構成を示す断面図である。

[図15]磁歪列部を断面矩形状にした場合の概略構成を示す断面図である。

[図16] (a) および (b) は、図14に示す磁性構造体の製造方法を模式的に示す断面図である。

[図17]図2に示す磁性構造体の他の一例を示す断面図である。

[図18]図2に示す磁性構造体の他の一例を示す断面図である。

[図19]図2に示す磁性構造体の他の一例を示す断面図である。

[図20]図1に示すトルクセンサにおいて、コイルのインピーダンス変化を電圧に変換する回路の概略構成を示す図である。

[図21]図1に示すトルクセンサを備えた電動アシスト付き自転車の概略構成を示す図である。

[図22]図21に示す電動アシスト付き自転車におけるモータ駆動ユニットの概略構成を示すブロック図である。

[図23]本発明の一実施例に係るトルクセンサにおいて、磁性構造体の被覆率

(横軸)と該トルクセンサの感度(縦軸)との関係を示すグラフである。

[図24]本発明の一実施例に係るトルクセンサにおいて、磁性構造体の磁歪膜パターンの長さ L /幅 W (横軸)とトルクセンサの感度(縦軸)との関係を示すグラフである。

[図25]本発明の一実施例に係るトルクセンサにおいて、磁性構造体における磁歪膜の端部の高さ H_1 /磁歪膜の最大膜厚 H (横軸)と、トルクセンサの感度(縦軸)との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、図面を参照して本発明の実施形態を詳細に説明する。なお、以下の説明において、各図中の構成部材の寸法は、実際の構成部材の寸法及び各構成部材の寸法比率等を忠実に表したものである。

[0018] 1. 磁歪式センサ

1. 1. 磁歪式センサの構成

図1は、本発明の一実施形態に係る磁歪式センサの概略構成を示す部分断面図である。以下の説明では、磁歪式センサの一例として、図示しない回転軸に取り付けられた基材21に作用するトルクを検知するための磁歪式トルクセンサ(以下、単に「トルクセンサ」と表記する場合もある。)1について説明する。なお、図1では、説明のために、トルクセンサ1の構成を模式的に示す。

[0019] 図1に示すように、トルクセンサ1は、磁歪膜2(磁歪部)を有する磁性構造体20と、コイル3,4を有する検出ユニット30とを備える。磁性構造体20は、軸線Aに沿って延びる円筒状に形成されている。磁性構造体20は、図示しない回転軸の外周面上に配置されている。

[0020] 図2は、磁性構造体20の概略構成を示す図である。磁性構造体20は、軸線Aに沿って延びる(すなわち、軸線方向に延びる)円筒状の基材21と、磁歪膜2とを有する。磁性構造体20の詳細な構成は、後述する。図2に示すように、磁歪膜2は、円筒状の基材21の外周面21s上に設けられている。磁歪膜2は、詳しい構成については後述するが、複数の磁歪列部2a

を有する。

[0021] 図3は、磁性構造体20に形成された磁歪膜2を、軸線A（図1参照）に直交する方向から見た場合の図である。図3に示す磁歪膜2のパターンは、一例である。磁歪膜2は、図3に示すように、長さ $L = (L_1 + L_2)$ （図3に示す例では $L_1 = L_2$ ）および幅 W の磁歪列部2aを複数、有する。複数の磁歪列部2aは、軸線Aに直交する方向から見て、軸線Aに対して交差する方向に延びている。図3において、隣り合う磁歪列部2aの間隔を、間隔（interspace） I として表す。

[0022] 磁歪膜2は、基材21の軸線方向に並ぶ2つの領域2b, 2cを有する。2つの領域2b, 2cに跨って、複数の磁歪列部2aが形成されている。一方の領域における磁歪列部2aと、他方の領域における磁歪列部2aとは、前記軸線方向において、磁歪膜2の中心線を挟んで対称に設けられている。すなわち、磁歪膜2の磁歪列部2aは、軸線Aに直交する方向から見て（図3に示す状態で）、V字状に形成されている。

[0023] 磁歪膜2の磁歪列部2aを上述のような構成にすることで、回転軸を介して基材21にねじりトルクが入力された場合、磁歪膜2における領域2bの磁歪列部2aには、その延伸方向に引張方向または圧縮方向のいずれか一方の力が入力される。磁歪膜2における領域2cの磁歪列部2aには、その延伸方向に引張方向または圧縮方向のうち他方の力が入力される。これにより、磁歪膜2の領域2b, 2cの磁歪列部2aでは、透磁率が変化する。

[0024] 検出ユニット30は、2つの円筒状のコイル3, 4と、ヨーク5とを有する。図1に示すように、コイル3, 4は、磁性構造体20を囲むように配置されている。図1の例では、コイル3, 4は、磁性構造体20に対して前記軸線方向に並んで配置されている。具体的には、図1に示すように、コイル3は、磁歪膜2の一方の領域2bを囲むとともに、コイル4は、磁歪膜2の他方の領域2cを囲むように、磁性構造体20に対して配置されている。ヨーク5は、コイル3, 4を配置するための凹部を有する。コイル3, 4は、筒状のヨーク5の内側に配置されている。

- [0025] コイル3, 4は、図20に示すように交流電源6に接続されることにより、コイル3, 4の周囲に交流磁場を発生する。コイル3, 4、ヨーク5および基材21は、磁気回路を構成する。また、コイル3, 4は、図20に示すようにトルク検出用回路7にも接続されている。
- [0026] 図20は、トルクセンサ1に含まれる電子回路の構成の一例を示す図である。トルクセンサ1に含まれる電子回路として、図20に示す回路構成が広く知られている。図20に示す回路は、交流電源6と、トルク検出用回路7とを有する。交流電源6は、コイル3, 4に交流電圧を印加する。トルク検出用回路7は、コイル3, 4に生じる電圧を検出することにより、基材21に生じているトルクを検出する。トルク検出回路7は、コイル3, 4にそれぞれ生じる電圧の差分 V_{out} を求めた後、図示しない演算回路によって、該差分 V_{out} に基づいて基材21に生じているトルクを求める。なお、トルクセンサ1に含まれる電子回路は、図20に示す構成に限定されない。
- [0027] 既述のとおり、回転軸を介して基材21にねじりトルクが入力された場合、トルクセンサ1における磁歪膜2の領域2b, 2cにおける磁歪列部2aには、その延伸方向に引張り方向または圧縮方向の力が入力される。よって、磁歪膜2の領域2b, 2cでは、磁歪列部2aに生じる透磁率の変化が異なる。このような透磁率の変化の違いは、トルク検出用回路7において、コイル3, 4に生じる電圧の違いとして検出される。したがって、トルク検出用回路7によって、基材21に入力されたねじりトルクを検出することができる。
- [0028] より具体的には、基材21にトルクが作用したとき、磁歪膜2における領域2b, 2cのうち一方の領域の磁歪列部2aに引張応力が生じるため、該磁歪列部2aの透磁率は増大する。他方の領域の磁歪列部2aには圧縮応力が作用するため、該磁歪列部2aの透磁率は減少する。その結果、2つのコイル3, 4のインピーダンスに差が生じる。このインピーダンスの差によって生じるコイル3, 4の電圧差が、基材21に作用したトルクに応じた値として、トルク検出用回路7によって検出される。図20において、トルクが

ゼロのときの V_{out} を V_0 とし、定格トルクが入力されたときの V_{out} を V_t とした場合、 $V_t - V_0$ がトルクセンサ1の出力範囲である。

[0029] なお、図1に示すトルクセンサ1中の各構成部材の配置は一例である。コイル3、4およびヨーク5の数や配置等は、図1に示す構成に限定されず、当業者が適宜変更することができる。

[0030] 1. 2. 磁歪列部の形状

図3に示す磁歪膜2の磁歪列部2aの長さ L ／幅 W は、下記式(2)を満たす。磁歪列部2aは、磁歪膜2の領域2bでは、軸線Aに直交する方向から見て、軸線Aに対して交差する第1の方向に延びている。磁歪列部2aは、磁歪膜2の領域2cでは、軸線Aに直交する方向から見て、前記第1の方向と交差する第2の方向に延びている。すなわち、磁歪列部2aは、基材21の軸線方向において、磁歪膜2の中央部分に、角度 θ で折れ曲がった曲部Zを有する。磁歪列部2aは、下記式(1)で定義される被覆率が30%以上95%以下である。

[0031] 図3に示す例では、磁歪列部2aは、軸線Aに直交する方向から見て、磁歪膜2の領域2bにおいて、磁歪膜2における前記軸線方向の端部Xから、軸線Aと交差して磁歪膜2における前記軸線方向の中央部(磁歪列部2aの曲部(bending portion)Z)に向かって延びている。磁歪膜2の領域2bにおける磁歪列部2aの延伸方向が上述の第1方向に相当する。また、磁歪列部2aは、軸線Aに直交する方向から見て、磁歪膜2の領域2cにおいて、前記第1の方向と角度 θ をなす方向に、すなわち、磁歪膜2における前記軸線方向の中央部(磁歪列部2aの曲部Z)から、軸線Aと交差して磁歪膜2における前記軸線方向のもう一方の端部Yに向かって延びている。磁歪膜2の領域2cにおける磁歪列部2aの延伸方向が上述の第2方向に相当する。

[0032] 上述のように、図3は、磁歪列部2aが曲部Zを有する磁歪膜2の例を示している。ここで、曲部Zは、磁歪列部2aにおける第1の部分2m(領域2bの磁歪列部2a)と第2の部分2n(領域2cの磁歪列部2a)との交点である。すなわち、図3に示す磁歪膜2では、1本の磁歪列部2aは、磁

歪膜 2 における前記軸線方向の一方の端部 X から曲部 Z まで延びる第 1 の部分 2 m と、曲部 Z から磁歪膜 2 における前記軸線方向の他方の端部 Y まで延びる第 2 の部分 2 n とを有する。

[0033] 被覆率 = 基材 2 1 の外周面 2 1 s において磁歪膜 2 と接する領域の面積 / 基材 2 1 の外周面 2 1 s の総面積 (%) . . . (1)

$$30 \leq \text{長さ} L / \text{幅} W \leq 120 \quad \dots (2)$$

[0034] 図 3 に示す磁歪膜 2 において、磁歪列部 2 a の長さ L / 幅 W は、第 1 の部分 2 m における磁歪列部 2 a の長さ / 幅と、第 2 の部分 2 n における磁歪列部 2 a の長さ / 幅との和である。第 1 の部分 2 m における磁歪列部 2 a の長さ / 幅は、(図 3 に示す磁歪列部 2 a の端部 X から曲部 Z までの距離 L_1) / (第 1 の部分 2 m における磁歪列部 2 a の幅) によって求められる。第 2 の部分 2 n における磁歪列部 2 a の長さ / 幅は、(図 3 に示す磁歪列部 2 a の曲部 Z から端部 Y までの距離 L_2) / (第 2 の部分 2 n における磁歪列部 2 a の幅) によって求められる。

[0035] 上記式 (1) で規定される被覆率が上記の範囲 (30% 以上 95% 以下) にあることにより、良好な感度を有するトルクセンサ 1 を実現することができる。すなわち、上記式 (1) において、被覆率が 30% 以上の場合には、トルクセンサ 1 において十分な感度が得られる。前記被覆率が 95% 以下の場合には、磁歪膜 2 の形状にばらつきが生じにくい。よって、前記被覆率が 95% 以下の場合には、隣り合う磁歪列部 2 a 同士で接触する部位が生じないため、トルクセンサ 1 は十分な感度が得られる。前記被覆率は、好ましくは 50% 以上である。前記被覆率は、より好ましくは 60% 以上である。前記被覆率は、93% 以下が好ましい。また、前記被覆率は、90% 以下がより好ましい。前記被覆率は、85% 以下がさらに好ましい。

[0036] また、前記長さ L / 幅 W が上記式 (2) の範囲内にあることにより、良好な感度を有するトルクセンサ 1 を得ることができる。上記式 (2) において、前記長さ L / 幅 W が 30 以上の場合、トルクセンサ 1 は十分な感度が得られる。前記長さ L / 幅 W が 120 以下の場合には、磁歪膜 2 の製造を容易に

行うことができる。前記長さ L ／幅 W は、好ましくは 9.5 未満である。前記長さ L ／幅 W は、より好ましくは 8.5 未満である。前記長さ L ／幅 W は、好ましくは 4.3 以上である。前記長さ L ／幅 W は、より好ましくは 5.3 以上である。前記長さ L ／幅 W は、さらに好ましくは 7.5 以上である。

[0037] また、感度をより高めるという観点から、磁歪列部 $2a$ が曲部 Z を有する場合、磁歪列部 $2a$ の曲部 Z において、前記第 1 の方向と前記第 2 の方向とのなす角度（図 3 における θ 、換言すると、第 1 の部分 $2m$ と第 2 の部分 $2n$ とのなす角度）が 60° 以上 120° 以下であることが好ましい。前記角度は、 80° 以上であることがより好ましい。前記角度は、 100° 以下であることが好ましい。なお、磁歪列部 $2a$ が曲部を有さない場合（例えば図 12 に示す磁歪膜 902 の磁歪列部 $902a$ ）でも同様に、第 1 の部分 $2m$ と第 2 の部分 $2n$ とのなす角度が上述した範囲内であれば、トルクセンサ 1 の感度をより高めることができる。

[0038] また、トルクセンサ 1 の感度をさらに高めるという観点から、磁歪列部 $2a$ において、図 3 に示すように、基材 21 の軸線 A に対して直交する方向から見て、軸線 A と前記第 1 の方向とのなす角度 θ_1 の絶対値が 30° 以上 60° 以下が好ましい（より好ましくは角度 θ_1 が $\pm 45^\circ$ ）。基材 21 と前記第 2 の方向とのなす角度 θ_2 の絶対値は、 30° 以上 60° 以下（より好ましくは角度 θ_2 が $\pm 45^\circ$ ）が好ましい。

[0039] 図 3 に示す磁歪膜 2 は、隣り合う磁歪列部 $2a$ における前記軸線方向の端部同士を連結する連結部 26 をさらに含む。図 3 に示す磁歪膜 2 では、連結部 26 が、磁歪列部 $2a$ における前記軸線方向の両端部にそれぞれ設けられている。複数の磁歪列部 $2a$ を連結する連結部 26 が磁歪膜 2 に設けられていることにより、複数の磁歪列部 $2a$ が基材 21 から剥離しにくくなる。よって、磁歪膜 2 の強度を向上することができる。

[0040] 1. 3. 磁歪膜のパターンの具体例

図 4 ないし図 12 は、図 2 に示す磁性構造体 20 の磁歪膜 2 における磁歪列部 $2a$ の他の例を示す図である。

- [0041] 図4に示す磁歪膜102は、図3に示す磁歪膜2とは、磁歪列部102aにおける第1の部分102mと第2の部分102nとのなす角度 θ が異なる。より具体的には、図4に示す磁歪膜102では、角度 θ が 90° 超（かつ 180° 未満）である。
- [0042] なお、図4において、符号120は、磁性構造体である。符号126は、連結部である。
- [0043] 図5に示す磁歪膜202には、図3に示す磁歪膜2と同様に、隣り合う磁歪列部202aの端部同士を連結する連結部226が、磁歪列部202aにおける前記軸線方向の両方の端部にそれぞれ設けられている。また、磁歪膜202には、隣り合う磁歪列部202aの曲部Z同士を連結する連結部226が設けられている。図5に示す磁歪膜202では、隣り合う磁歪列部202aの曲部Z同士を連結する連結部226が設けられていることにより、複数の磁歪列部202aを含む磁歪膜202の強度がより高められている。
- [0044] なお、図5において、符号220は、磁性構造体である。符号202mは、磁歪列部202aにおける第1の部分である。符号202nは、磁歪列部202aにおける第2の部分である。
- [0045] 図6に示す磁歪膜302を構成するパターン302aでは、図5に示す磁歪膜202と同様に、隣り合う磁歪列部2aにおける前記軸線方向の端部同士を連結する連結部326が、磁歪列部302aにおける前記軸線方向の両端部、および、曲部Z同士をそれぞれ連結している。磁歪膜302には、隣り合う磁歪列部302aを、第1の部分302mにおける前記軸線方向の中央部同士、および、第2の部分302nにおける前記軸線方向の中央部同士をそれぞれ連結する連結部326がさらに設けられている。図6に示す磁歪膜302では、隣り合う磁歪列部302aにおける第1の部分302m同士または第2の部分302n同士を連結する連結部326が設けられていることにより、磁歪膜302の強度がさらに高められている。
- [0046] なお、図6において、符号320は、磁性構造体である。
- [0047] 図7に示すように、隣り合う磁歪列部402a同士を連結する連結部42

6のうち、前記軸線方向の端部同士を連結する連結部426以外の連結部426は、複数の磁歪列部402aのうち一部のみを連結してもよい。

[0048] なお、図7において、符号420は、磁性構造体である。符号402は、磁歪膜である。符号402aは、磁歪列部である。符号402mは、磁歪列部402aにおける第1の部分である。符号402nは、磁歪列部402aにおける第2の部分である。

[0049] また、図8に示すように、磁歪膜502には連結部が設けられていなくてもよい。また、図9に示すように、磁歪膜602は、基材の外周面の一部のみに設けられた複数の磁歪列部602aを有していてもよい。また、図10に示すように、磁歪膜702における隣り合う磁歪列部702aの間隔が均一でなくてもよい。また、図11に示すように、磁歪膜802における複数の磁歪列部802aの幅Wが均一でなくてもよい。なお、図11に示すように、磁歪膜802が、幅Wが異なる複数の磁歪列部802aを有する場合、上記式(2)で規定される長さL/幅Wは、各磁歪列部802aの長さL/幅Wの平均値を表す。

[0050] なお、図8において、符号520は、磁性構造体である。符号502aは、磁歪列部である。符号502mは、磁歪列部502aにおける第1の部分である。符号502nは、磁歪列部502aにおける第2の部分である。

[0051] 図9において、符号626は、連結部である。図10において、符号720は、磁性構造体である。符号726は、連結部である。図11において、符号826は、連結部である。

[0052] 図12に示す磁歪膜902は、図3に示す磁歪膜2の変形例の一つである。図12に示す磁歪膜902では、図2に示す磁歪列部2aの曲部Zの代わりに隙間27を設けることにより、第1の部分902mと第2の部分902nとを分離させている。図12に示す磁歪膜902では、磁歪列部902aが途中で途切れるため、図3ないし図11に示す構成に比べて、反磁界係数が増大する。これにより、トルクセンサの感度は、図3に示す磁歪膜の構成に比べて、若干低くなる。

[0053] なお、図12に示す磁歪列部902aにおいて、上記式(2)の長さ L ／幅 W は、(前記軸線方向において、第1の部分902mにおける一方の端部 X_1 から他方の端部 X_2 までの距離)／(第1の部分902mにおける磁歪列部902aの幅)、または、(前記軸線方向において、第2の部分902nにおける一方の端部 Y_1 から他方の端部 Y_2 までの距離)／(第2の部分2nにおける磁歪列部902aの幅)を表す。

[0054] 図12において、符号920は、磁性構造体である。符号926は、連結部である。

[0055] 図13に示す磁歪膜1002は、前記軸線方向における曲部Zの位置が図3に示す磁歪膜2とは異なる。より具体的には、図3に示す磁歪膜2では、磁歪列部2aを構成する第1の部分2mの長さ L_1 と第2の部分2nの長さ L_2 とが等しい。また、図3に示す磁歪膜2では、前記軸線方向において、磁歪膜2の中心線を挟んで磁歪列部2aが線対称の形状を有する。これに対し、図13に示す磁歪膜1002では、第1の部分1002mの長さ L_1 と第2の部分1002nの長さ L_2 とが異なる(図13では、第1の部分1002mの長さ L_1 が第2の部分1002nの長さ L_2 よりも長い場合を示す)。第1の部分1002mと第2の部分1002nとの長さの比率は、0.5以上で2以下が好ましい。

[0056] 図13において、符号1020は、磁性構造体である。符号1026は、連結部である。

[0057] 1. 4. 磁性構造体の断面

図14は、図1に示す磁性構造体20の断面を模式的に示す。図14に示す断面は、磁歪列部2aにおいて延伸方向と直交する面で磁性構造体20を切断することにより得られる断面である。より具体的には、図14に示す断面は、磁歪列部2aを第1の方向(図2における磁歪膜2の端部Xから曲部Zに向かう方向)と垂直な面で切断した場合の断面(図3のC-C線に沿って紙面と垂直方向に切断した断面)である。図14に示すように、磁性構造体20は、円筒状の基材21と、該基材21の外周面21sに設けられた磁

歪膜 2 とを含む。なお、図 14 における「M」は、図 3 の「W」に相当する。

[0058] 1. 4. 1. 磁歪膜

磁歪膜 2 は、磁性体材料を含む材料によって構成されている。前記磁性体材料は、強磁性体材料が好ましい。具体的には、前記磁生体材料は、例えば、Ni、Fe、Co、およびCrから選ばれる少なくとも 1 種の金属を含むことが好ましい。高い透磁率および高い磁歪効果が得られるという観点から、前記磁性体材料は、Fe と、Ni、Co および Cr から選ばれる少なくとも 1 種とを含むことがより好ましい。また、磁歪膜 2 は、Al、Ti、Ge、Mo、Ag、Cu 等の金属、または、Si、B、S、C、O、N 等の非金属材料をさらに含んでもよい。

[0059] 例えば、磁歪膜 2 が Fe を含む場合、より高い透磁率およびより高い磁歪効果を得る観点から、磁歪膜 2 中の Fe の含有量は、20 質量%以上 40 質量%以下であることが好ましい。Fe の含有量は、23 質量%以上であることがより好ましい。Fe の含有量は、26 質量%以上であることがさらに好ましい。Fe の含有量は、36 質量%以下であることがより好ましい。Fe の含有量は、33 質量%以下であることがさらに好ましい。Fe 以外の金属 (Ni、Co および Cr から選ばれる少なくとも 1 種) の含有量の合計は、60 質量%以上 80 質量%以下であることが好ましい。Fe 以外の金属の含有量の合計は、64 質量%以上であることがより好ましい。Fe 以外の金属の含有量の合計は、67 質量%以上であることがさらに好ましい。Fe 以外の金属の含有量の合計は、77 質量%以下であることがより好ましい。Fe 以外の金属の含有量の合計は、74 質量%以下であることがさらに好ましい。

[0060] なお、磁歪膜 2 が Fe および Ni を含む場合において、Ni の含有量は、60 質量%以上 80 質量%以下であることが好ましい。Ni の含有量は、64 質量%以上であることがより好ましい。Ni の含有量は、67 質量%以上であることがさらに好ましい。Ni の含有量は、77 質量%以下であること

がより好ましい。Niの含有量は、74質量%以下であることがさらに好ましい。

[0061] また、磁歪膜2がSを含む場合、磁歪膜2中のSの含有量は、0.03質量%以上0.12質量%以下であることが好ましい。Sの含有量は、0.04質量%以上0.10質量%以下であることがより好ましい。Sの含有量は、0.05質量%以上0.09質量%以下であることがさらに好ましい。

[0062] 磁歪膜2の最大膜厚H（磁歪膜2が基材21と接する面（基材21の外周面21s）から、基材21の径方向外方に向かって磁歪膜2が最も突出する位置までの距離）は、20 μ m以上200 μ m以下である。最大膜厚Hは、40 μ m以上であることが好ましい。最大膜厚Hは、60 μ m以上であることがより好ましい。最大膜厚Hは、140 μ m以下であることが好ましい。最大膜厚Hは、100 μ m以下であることがより好ましい。

[0063] 磁歪膜2の磁歪列部2aは、その延伸方向に直交する断面で見て、基材21の径方向と直交する方向（基材21の外周面21sに平行な方向）において、基材21の径方向外方側に、磁歪列部2aにおける基材21側の部分の長さよりも長い部分を有する。具体的には、磁歪列部2aは、基材21上に形成された本体部分から、基材21の径方向と直交する方向の一方及び他方にそれぞれ突出する突出部2eを有する。磁歪列部2aが突出部2eを有することにより、磁歪列部2aの表面積が増大する。

[0064] なお、この場合、磁歪列部2aと基材21との接触面と、突出部2eの突出方向とのなす角度 θ_0 は、鋭角（90°未満）が好ましい。この場合、センサの感度をより向上する観点から、角度 θ_0 は、0°を超え45°以下であることがより好ましい。角度 θ_0 は、30°以下であることがさらに好ましい。

[0065] 磁歪膜2の磁歪列部2aは、上述のような突出部2eを有することにより、図14に示す断面において、基材21の外周面21sから、基材21の径方向（磁歪列部2aの厚み方向）に所定距離の位置における幅Mが、磁歪膜2と基材21の外周面21sとの接触部分2fの幅Nよりも長い。

[0066] すなわち、磁歪膜2における複数の磁歪列部2aは、該磁歪列部2aをそ

の延伸方向と直交する断面（図14に示す断面）で見て、基材21の径方向と直交する方向において、最も長い部分の長さ（前記所定距離の位置における長さM、以下、最大幅寸法Mという）が、磁歪膜2と基材21の外周面21sとの接触部分2fの長さNよりも大きい。前記最大幅寸法Mは、隣り合う磁歪列部2aの間隔Dよりも大きい。隣り合う磁歪列部2aの間隔Dは、磁歪列部2aと基材21との接触部分2fと、その隣りの磁歪列部2aと基材21との接触部分2fとの間隔を意味する。

[0067] 磁歪膜2において、上述のような形状を有する磁歪列部2aを形成することにより、トルクセンサ1の感度を高めることができる。すなわち、磁歪膜2は、磁歪列部2aを延伸方向と直交する断面で見て、磁歪列部2aの最大幅寸法Mが、隣り合う磁歪列部2aの間隔Dよりも大きい。このような構成では、磁歪列部2a同士の間隔Dは、比較的狭い。このように隣り合う磁歪列部2aの間隔Dが狭い場合において、磁歪列部2aにおける最大幅寸法Mを、磁歪膜2と基材21の外周面21sとの接触部分2fの長さNよりも大きくすることにより、磁歪列部2aの表面積、すなわち磁歪膜2の表面積を増加させることができる。磁歪膜2の表面積を増加させることにより、磁歪膜2の透磁率を広範囲で変化させることができる。これにより、磁歪膜2に力が加わった際の透磁率の変化を容易に検出することができる。したがって、トルクセンサ1の感度を向上することができる。

[0068] 換言すれば、上述の構成により、上記式(1)で規定される被覆率や上記式(2)で規定される長さL/幅Wの値を変えずに、トルクセンサ1の感度を高めることができる。

[0069] また、磁歪列部2aは、基材21の外周面21sとの接触部分2fと、隣りの磁歪列部2aにおける基材21の外周面21sとの接触部分2fとの間隔Dが、突出部2eが前記隣りの磁歪列部2aに向かって突出する長さ、と、該隣りの磁歪列部2aの突出部2eが前記磁歪列部2aに向かって突出する長さとの和よりも大きい。

[0070] これにより、隣り合う磁歪列部2aにおいて、突出部2e同士が接触する

ことを防止することができる。

[0071] また、磁歪列部 2 a は、図 1 4 に示す断面で見て、最大幅寸法 M が、磁歪列部 2 a の厚み方向における高さ（最大膜厚）H よりも大きい。これにより、磁歪列部 2 a は、厚み方向よりも基材 2 1 の径方向と直交する方向（基材 2 1 の外周面 2 1 s に平行な方向）に長い扁平状に形成される。よって、磁歪列部 2 a の表面積をより大きくすることができる。したがって、磁歪膜 2 に力が加わった際の透磁率の変化をより容易に検出することができる。

[0072] また、図 1 4 に示す断面において、センサの感度をより高める観点から、磁歪列部 2 a の最大膜厚 H と、磁歪列部 2 a の端部 m_e における高さ（磁歪列部 2 a と基材 2 1 との接触面から突出部 2 e の先端までの距離、すなわち、基材 2 1 の外周面 2 1 s から、最大幅寸法 M の位置までの高さ） H_1 との比 H_1/H が 1 未満である。 H_1/H は、好ましくは、0.8 以下である。 H_1/H は、より好ましくは、0.5 以下である。 H_1/H は、さらに好ましくは、0.3 以下である。一方、 H_1/H は、0.015 以上が好ましい。

[0073] 磁歪列部 2 a を、 H_1/H が上述の範囲になるように形成することにより、磁歪列部 2 a の表面積をより大きくすることができる。したがって、磁歪膜 2 に力が加わった際の透磁率の変化をより容易に検出することができる。

[0074] なお、 H_1/H を 0.5 以下にすることにより、すなわち、磁歪列部 2 a の最大膜厚 H の半分の高さを、基材 2 1 の外周面 2 1 s から最大幅寸法 M の位置までの高さ以上にすることにより、磁歪列部 2 a の厚み方向において、基材 2 1 の外周面 2 1 s との接触部分 2 f よりも幅寸法が大きい部分を、広い範囲に設けることができる。よって、磁歪列部 2 a の表面積をさらに大きくすることができる。したがって、磁歪膜 2 に力が加わった際の透磁率の変化をさらに容易に検出することができる。

[0075] 図 1 7、図 1 8 および図 1 9 は、いずれも、磁性構造体の他の一例を、図 2 と同様の断面で示した図（磁歪列部 2 a の延伸方向と直交する面で切断して得られる断面）である。図 1 7、図 1 8 および図 1 9 では、基材 2 1 の外周面 2 1 s と、磁歪列部 2 0 0 2 a, 3 0 0 2 a, 4 0 0 2 a における突出

部2002e, 3002e, 4002eの突出方向とのなす角度 θ_e 、および、比 H_1/H が、図14に示す例とはそれぞれ異なる場合(θ_e がそれぞれ 20° 、 5° 、 3° 、比 H_1/H が0.5、0.2、0.1)を示している。

[0076] なお、図15に示すように、磁歪列部5002aが矩形状の断面を有する場合(磁歪列部5002aが突出部2eを有さない場合)、磁歪列部5002aの表面積は、図14、図17ないし19の断面を有する磁歪列部2002a, 3002a, 4002aと比べて小さい。よって、トルクセンサの感度は、図14、図17ないし19の断面を有する磁歪列部2002a, 3002a, 4002aと比べて劣る。

[0077] 1.4.2. 基材

基材21は、磁歪膜2と異なる成分の材料、例えば、磁歪膜2よりも透磁率が低い材料によって構成されている。基材21は、磁性体材料によって構成されるのが好ましく、Fe、Ni、Co、Cr等の強磁性体材料によって構成されるのがより好ましい。なお、基材21は、Al、Ti、Ge、Mo、Ag、Cu等の金属や、Si、B、S、C、O、N等の非金属材料を含んでいてもよい。

[0078] 1.4.3. レジスト層

磁性構造体20は、磁歪膜2の表面に設けられたレジスト層をさらに含んでいてもよい。この場合、レジスト層の膜厚は $45\mu\text{m}$ 以下が好ましい。

[0079] 1.5. 磁性構造体の製造方法

図16の(a)および(b)は、磁性構造体20の製造方法を説明するための図である。なお、図16は、磁性構造体20の製造過程において、基材21、磁歪膜2、レジスト層91等を、図14と同じ面で切断して示す断面図である。

[0080] 磁性構造体20は、基材21の外周面21sに、所定のパターンのレジスト層91を形成する工程と、レジスト層91が設けられた基材21の外周面21sに、磁歪膜2を形成する工程と、を含む。以下、磁性構造体20の製造方法について具体的に説明する。

[0081] まず、図16(a)に示すように、基材21の外周面21s上に所定のパターンのレジスト層91を形成する。このレジスト層91は、図1、図2、図3ないし12に示す磁歪列部2aを形成するために用いられる。レジスト層91は、例えば、水転写、スクリーン印刷などの公知の方法で形成することができる。レジスト層91の膜厚は、例えば3 μ m以上45 μ m以下である。また、磁歪列部2aに突出部2eが形成されるように、基材21の外周面21sとレジスト層91の端部とのなす角 θ_f は鈍角(90°を超える)であることが好ましい。

[0082] 次に、図16(b)に示すように、レジスト層91が設けられた基材21の表面上に磁歪膜2を形成する。その際、磁歪膜2の高さHが、レジスト層91の高さH₁よりも高くなるように磁歪膜2を形成する。磁歪膜2の成膜は、例えば、スパッタリング法、CVD法、めっき法等の公知の方法を採用することができる。次いで、所定の温度(例えば300°C以上1,000°C以下)にて所定時間(例えば1分間以上48時間以下)熱処理を行うことが好ましい。以上により、図14に示す磁歪膜2を有する磁性構造体20が得られる。

[0083] 本実施形態に係る製造方法によれば、レジスト層91を基材21の表面に形成した後、磁歪膜2を成膜し、熱処理することにより、感度が良好な磁性構造体20を簡便な方法でかつ短い工程にて得ることができる。また、これにより、磁性構造体20の製造コストの低減を図ることができる。

[0084] 2. 電動アシスト付き自転車

本発明の一実施形態に係る電動アシスト付き自転車(例えば、二輪車、三輪車または四輪車)は、上記実施形態に係るトルクセンサ1を備える。本実施形態に係る電動アシスト付き自転車10では、例えば、搭乗者がペダルを踏むことによって生じるトルクをトルクセンサ1が検出する。電動アシスト付き自転車10では、トルクセンサ1によって検出したトルクの値に基づいて、電動モータの駆動が制御される。

[0085] 図21は、本発明の電動アシスト車両の一例である電動アシスト付き自転

車 10 の概略構成を示す図である。図 21 において、左右、前後、上下とはそれぞれ、電動アシスト付き自転車 10 のサドル 34 に搭乗者 71 がそのハンドル 77 に向かって着座した状態を基準とした左右、前後、上下を意味する。

[0086] 図 21 に示すように、電動アシスト付き自転車 10 はフレーム 12 を含む。フレーム 12 は、ヘッドパイプ 14、上部パイプ 16、フロントパイプ 18、シートパイプ 70、一对のリヤパイプ 72 および一对の下部パイプ 74 を含む。上部パイプ 16 は、ヘッドパイプ 14 から後方かつ水平方向に延びる。フロントパイプ 18 は、ヘッドパイプ 14 から後方斜め下方向へ延びる。シートパイプ 70 は、上部パイプ 16 の後端部とフロントパイプ 18 の後端部とを連結する。一对のリヤパイプ 72 は、上部パイプ 16 とシートパイプ 70 との接続部から後方且つ下方向に斜めに延びている。一对の下部パイプ 74 は、フロントパイプ 18 とシートパイプ 70 との接続部から後方に向かって水平方向に延びている。一对のリヤパイプ 72 の後端部と一对の下部パイプ 74 の後端部とは、それぞれ接続されている。

[0087] ヘッドパイプ 14 内には、車両の進行方向変更用のステアリング軸 76 がヘッドパイプ 14 に沿うように設けられている。このステアリング軸 76 は、ヘッドパイプ 14 内で回転可能である。ステアリング軸 76 の上端にはハンドル 77 が取り付けられている。ステアリング軸 76 の下端には左右一对のフロントフォーク 80 が取り付けられている。フロントフォーク 80 の下端には、前輪 82 が取り付けられている。前輪 82 は、フロントフォーク 80 によって支持された前輪 82 の中心軸を中心に回転可能である。シートパイプ 70 の上端部にはサドル 34 が設けられている。シートパイプ 70 には、後方に延びるように荷台 36 が固定されている。

[0088] フロントパイプ 18 とシートパイプ 70 との接続部には、モータ駆動ユニット 38 が配置されている。図 22 に、電動アシスト付き自転車 10 のモータ駆動ユニット 38 の概略構成を示す。モータ駆動ユニット 38 は、上記実施形態に係るトルクセンサ 1 を含む。より具体的には、図 22 に示すように

、モータ駆動ユニット38は、クランク軸40、駆動スプロケット42、クランク角センサ44およびトルクセンサ1、電動モータ48およびコントローラ50を含む。モータ駆動ユニット38は、電動アシスト付き自転車ではない自転車に取り付け可能に構成されていてもよいし、既存の電動アシスト付き自転車のモータ駆動ユニットと交換可能に構成されていてもよい。

[0089] 図21に示すように、クランク軸40には、クランク52を介してペダル54が取り付けられている。また、クランク軸40の外周面には駆動スプロケット42（図22参照）が取り付けられている。駆動スプロケット42は、無端状のチェーン56を介して後輪スプロケット58に連結されている。後輪スプロケット58には、回転軸60を介して後輪62が取り付けられている。後輪62は回転軸60を中心として回転可能である。

[0090] 図示しないが、クランク角センサ44およびトルクセンサ1は、クランク軸40の近傍に配置されている。クランク角センサ44は、ペダル54の操作によって回転するクランク軸40の回転角度であるクランク角 θ を検出する。トルクセンサ1は、クランク軸40に加わるトルクであるクランクトルク τ を検出する。電動モータ48は、駆動スプロケット42に与える補助駆動力を発生する。

[0091] コントローラ50は、CPU64およびメモリ66を含む。CPU64は、必要な演算を行い、電動モータ48および電動アシスト付き自転車10の動作を制御する。記憶手段であるメモリ66は、例えばEEPROMからなり、電動アシスト付き自転車10の動作を制御するためのプログラムやデータおよび演算データ等を格納する。メモリ66は、アシストパターンを格納する。

[0092] シートパイプ70には、電動モータ48に電力を供給するための電池（例えば、ニッケル（Ni）-カドミウム（Cd）電池等の二次電池）からなるバッテリー68が取り付けられている。コントローラ50のCPU64には、クランク角センサ44から出力されるクランク角 θ およびトルクセンサ1から出力されるクランクトルク τ が入力される。これらのデータは、メモリ6

6に格納される。

[0093] CPU64は、クランク角 θ 。およびクランクトルク τ に基づいて、電動モータ48で発生させる補助駆動力を制御する。

[0094] 本実施形態に係る電動アシスト付き自転車10は、トルクを高感度で精度良く検出することができる上記実施形態に係るトルクセンサ1を備えているため、安定した走行が可能である。

[0095] (実施形態の効果)

本実施形態では、トルクセンサ1は、軸線Aに沿って延びる筒状の基材21と、基材21の外周面21s上に形成された磁歪膜2とを備える。磁歪膜2は、列状に延びる複数の磁歪列部2aを有する。複数の磁歪列部2aのうち少なくとも一部は、該一部を含む磁歪列部2aをその延伸方向と直交する断面で見ると、基材21の外周面21sに平行な方向において、最も長い部分の長さMが、前記一部を含む磁歪列部2aと基材21の外周面21sとの接触部分2fの長さNよりも大きく、且つ、前記接触部分2fと、前記磁歪列部2aの隣りの磁歪列部2aと基材21の外周面21sとの接触部分2fとの間隔D（磁歪列部2a同士の間隔D）よりも大きい。

[0096] 上述の構成では、磁歪列部2aは、その延伸方向と直交する断面で見ると、基材21の外周面21sに平行な方向に最も長い部分の長さMが、隣り合う磁歪列部2aとの間隔Dよりも大きい。そのため、磁歪列部2a同士の間隔Dは、比較的狭い。このように隣り合う磁歪列部2aの間隔Dが狭い構成において、前記最も長い部分の長さMを、磁歪列部2aと基材21の外周面21sとの接触部分2fの長さNよりも大きくすることで、磁歪列部2aの表面積を増大させることができる。よって、磁歪膜2に力が加わった際の透磁率の変化を容易に検出することができる。これにより、磁歪膜2に寸法上の制約がある中で、トルクセンサ1の感度向上を図ることができる。

[0097] 複数の磁歪列部2aのうち前記少なくとも一部は、該一部を含む前記磁歪列部2aをその延伸方向と直交する断面で見ると、前記最も長い部分の長さMが、磁歪列部2aの最大膜厚Hよりも大きい。

- [0098] これにより、複数の磁歪列部 2 a のうち少なくとも一部は、該一部を含む磁歪列部 2 a をその延伸方向と直交する断面で見て、磁歪列部 2 a の厚み方向よりも基材 2 1 の外周面 2 1 s に平行な方向に長い扁平状に形成される。よって、磁歪列部 2 a の表面積をより大きくすることができる。したがって、磁歪膜 2 に力が加わった際の透磁率の変化をより容易に検出することができる。これにより、磁歪膜 2 に寸法上の制約がある中で、トルクセンサ 1 の感度をより向上することができる。
- [0099] 複数の磁歪列部 2 a のうち前記少なくとも一部は、該一部を含む磁歪列部 2 a をその延伸方向と直交する断面で見て、磁歪列部 2 a の最大膜厚 H が、基材 2 1 の外周面 2 1 s から基材 2 1 における前記最も長い部分までの前記厚み方向の高さ H_1 よりも大きい。
- [0100] これにより、複数の磁歪列部 2 a のうち少なくとも一部に、該一部を含む磁歪列部 2 a をその延伸方向と直交する断面で見て、基材 2 1 の外周面 2 1 s との接触部分 2 f よりも幅寸法が大きい部分を形成することができる。よって、基材 2 1 の外周面 2 1 s との接触部分 2 f よりも幅寸法が大きい部分がない磁歪列部に比べて、磁歪列部の表面積を大きくすることができる。したがって、磁歪膜 2 に力が加わった際の透磁率の変化を容易に検出することができる。これにより、磁歪膜 2 に寸法上の制約がある中で、トルクセンサ 1 の感度を向上することができる。
- [0101] 複数の磁歪列部 2 a のうち前記少なくとも一部は、該一部を含む磁歪列部 2 a をその延伸方向と直交する断面で見て、磁歪列部 2 a の最大膜厚 M の半分は、基材 2 1 の外周面 2 1 s から基材 2 1 における前記最も長い部分までの前記厚み方向の高さ H_1 以上である。
- [0102] これにより、複数の磁歪列部 2 a のうち少なくとも一部に、該一部を含む磁歪列部 2 a をその延伸方向と直交する断面で見て、基材 2 1 の外周面 2 1 s に平行な方向に最も長い部分を、磁歪列部 2 a の厚み方向により広い範囲に形成することができる。よって、磁歪列部の表面積をより大きくすることができる。したがって、磁歪膜 2 に力が加わった際の透磁率の変化をより容

易に検出することができる。

[0103] 複数の磁歪列部 2 a のうち前記少なくとも一部は、該一部を含む磁歪列部 2 a をその延伸方向と直交する断面で見ても、前記接触部分 2 f と、隣りの磁歪列部 2 a と基材 2 1 の外表面 2 1 s との接触部分 2 f との間隔 D が、基材 2 1 の外周面 2 1 s に平行な方向において、前記最も長い部分が前記接触部分 2 f に対して前記隣りの磁歪列部 2 a に向かって突出する長さ、前記隣りの磁歪列部 2 a において最も長い部分が該隣りの磁歪列部 2 a と基材 2 1 との接触部分 2 f に対して前記磁歪列部 2 a に向かって突出する長さとの和よりも大きい。

[0104] これにより、隣り合う磁歪列部 2 a において、前記最も長い部分同士が接触することを防止できる。

[0105] 磁歪膜 2 は、複数の磁歪列部 2 a を連結する連結部 2 6 を有する。これにより、磁歪列部 2 a が基材 2 1 から剥離しにくくなる。よって、磁歪膜 2 の強度向上を図れる。

[0106] トルクセンサ 1 は、磁歪膜 2 を囲むように配置されたコイル 3, 4 をさらに備える。これにより、磁歪膜 2 で生じた透磁率の変化を、コイル 3, 4 のインピーダンスの変化によって検出することができる。

[0107] コイル 3, 4 は、軸線 A に沿って、複数並んで配置されている。複数のコイル 3, 4 によって、磁歪膜 2 における透磁率の変化をより確実に検出することができる。したがって、トルクセンサ 1 の検出精度を向上することができる。

[0108] (その他の実施形態)

以上、本発明の実施の形態を説明したが、上述した実施の形態は本発明を実施するための例示に過ぎない。よって、上述した実施の形態に限定されることなく、その趣旨を逸脱しない範囲内で上述した実施の形態を適宜変形して実施することが可能である。

[0109] 前記実施形態では、磁歪式センサの一例としてトルクセンサ 1 に、本実施形態の構成を適用した場合について説明した。しかしながら、磁歪膜を有す

るセンサであれば、荷重センサなどの他のセンサに、本実施形態の構成を適用してもよい。同様に、電動アシスト付き自転車に用いるトルクセンサに限らず、他の用途のセンサに、本実施形態の構成を適用してもよい。

[0110] 前記実施形態では、基材 2 1 は円筒状である。しかしながら、基材 2 1 は、筒状または柱状であれば、どのような断面形状を有していてもよい。

[0111] 前記実施形態では、磁歪膜 2 の磁歪列部 2 a は、列状に延びている。しかしながら、島状に形成した複数の島状磁歪部のうち少なくとも一部を接続して列状に形成してもよい。また、複数の磁歪列部 2 a は、互いに接触しなければ、平行でなくてもよい。

[0112] 前記実施形態では、磁歪膜 2 における複数の磁歪列部 2 a が、その延伸方向に亘って、図 1 4 に示す断面と同じ断面を有する。しかしながら、磁歪列部 2 a の断面は、磁歪列部 2 a の延伸方向の一部で異なってもよい。また、複数の磁歪列部 2 a が、すべて同じ断面形状を有していなくてもよい。

[0113] 前記実施形態では、磁歪列部 2 a は、その延伸方向に直交する断面で見ても、基材 2 1 の外周面 2 1 s に平行な方向の一方及び他方にそれぞれ突出する突出部 2 e を有する。しかしながら、磁歪列部 2 a は、基材 2 1 の外周面 2 1 s に平行な方向の一方または他方に突出する突出部を有していてもよい。

[0114] 前記実施形態では、磁歪列部 2 a は、その延伸方向と直交する断面で見ても、基材 2 1 の外周面 2 1 s に平行な方向において最も長い部分の長さ M が、磁歪列部 2 a の最大膜厚 H よりも大きい。しかしながら、磁歪列部 2 a は、前記最も長い部分の長さ M が、最大膜厚 H 以下であってもよい。

[0115] 前記実施形態では、磁歪列部 2 a は、その延伸方向と直交する断面で見ても、磁歪列部 2 a の最大膜厚 H の半分が、基材 2 1 の外周面 2 1 s から基材 2 1 における前記最も長い部分までの前記厚み方向の高さ H_1 以上である。しかしながら、磁歪列部 2 a は、最大膜厚 M の半分が、前記高さ H_1 よりも小さくてもよい。

実施例

[0116] 以下、本発明の実施例について説明するが、本発明は下記実施例に限定さ

れない。

[0117] (実施例1)

図16に示す製造方法において、めっき法により、図3に示す磁歪列部2aおよび図14に示す断面を有する磁歪膜2が形成された磁性構造体20を得た。めっきは、硫酸ニッケル、塩化ニッケル、硫酸鉄(II)、ホウ酸等を用いた公知のNi-Fe合金浴(ワット浴)によって行った。めっき条件は、pH3、浴温55℃、電流密度5~20A/dm²とした。また、基材21を周方向に3回転/分で回転させながらめっきを行うことにより、得られるめっき膜(磁歪膜2)の膜厚の均一性を確保した。また、得られた磁歪膜2は、500℃で1時間、窒素雰囲気下で熱処理された。

[0118] 上述の方法により得られた磁性構造体20は、磁歪列部2aの断面(図14)の最大膜厚Hが85μm、幅Mが460μm、基材21との接触面の長さNが260μm、被覆率が17%、30%、52%、70%、79%(図23)、磁歪列部2aの長さL/幅Wが12、25、32、36、43、54、64、75、84、95、120(図24)であった。磁歪列部2aにおいて、第1の方向と第2の方向とがなす角度θ(図3参照)は、90°であった。図3に示すように基材21の軸線Aと第1の方向とのなす角度θ₁は、45°であった。図3に示すように基材21の軸線Aと第2の方向とのなす角度θ₂は、45°であった。隣り合う磁歪列部2a同士の間隔lは、200μmであった。なお、磁歪膜2を製造するために用いたレジスト層91の厚さは、20μmであった。

[0119] 製造した磁歪膜2は、Fe-Ni合金であった。磁歪膜2中のFe濃度は30質量%、Ni濃度は70質量%であった。基材21の材質は、SCM435(JIS G4053)であった。本実施例で得られた磁性構造体20を用いて、図1の構成を有するトルクセンサ1を製造した。

[0120] なお、トルクセンサ1の感度は、トルクセンサ1を図20に示す回路に接続して、80Nmのトルクを印加することにより、測定した。前記回路において、抵抗R1およびR2は、いずれも15Ωの抵抗値を有する抵抗器であ

る。コイルC 1 およびC 2 は、いずれも、直径0. 2 mmの絶縁皮膜付き銅線を1 2 4回巻くことによって構成されている。

[0121] 図2 3は、本実施例に係るトルクセンサ1における、磁性構造体2 0の被覆率（横軸）とトルクセンサ1の感度（縦軸）との関係を示すグラフである。図2 3によれば、被覆率が3 0%以上9 5%以下の場合、感度が良好であることが理解できる。

[0122] 図2 4は、本実施例に係るトルクセンサ1における、磁性構造体2 0の磁歪膜パターン2 aの長さL／幅W（横軸）とトルクセンサ1の感度（縦軸）との関係（被覆率：7 0%の場合）を示すグラフである。図2 4によれば、長さL／幅Wが3 0未満になると、感度が大きく低下することが理解できる。

[0123] 図2 5は、本実施例に係るトルクセンサ1における、磁性構造体2 0における磁歪膜2の端部の高さ H_1 ／磁歪膜2の最大膜厚H（横軸）と、トルクセンサ1の感度（縦軸）との関係を示すグラフである。ここでは、磁歪膜2の最大膜厚Hを8 5 μm とし、レジスト層2 1の膜厚を3～4 5 μm の間で変えることにより、磁歪膜2の端部の高さ H_1 および角度 θ_0 が異なる（ H_1 ／Hがそれぞれ0. 0 9（角度 θ_0 ：2°）、0. 1 2（角度 θ_0 ：3°）、0. 2 4（角度 θ_0 ：5°）、0. 5 3（角度 θ_0 ：1 5°））複数のトルクセンサ1を製造した。図2 5によれば、 H_1 ／Hが小さいほど、トルクセンサ1の感度が良好であることが理解できる。

[0124] （実施例2）

磁歪膜2を図5～1 1，1 3に記載されたパターンとした以外は、実施例1と同様の方法にて、図5～1 1，1 3に示す磁歪列部および図1 4に示す断面を有する磁性構造体をそれぞれ得た。本実施例に係る磁性構造体を備えたトルクセンサは、実施例1に係るトルクセンサ1と同等の感度を有していた。

[0125] （実施例3）

磁歪膜2を図1 2に記載されたパターンとした以外は、実施例1と同様の

方法にて、図 1 2 に示す磁歪列部および図 1 4 に示す断面を有する磁性構造体をそれぞれ得た。本実施例に係る磁性構造体を備えたトルクセンサは、実施例 1 に係るトルクセンサ 1 よりも若干感度が劣るものの、良好な感度を有していた。

[0126] (実施例 4)

磁歪膜 2 を形成するためのレジスト層 9 1 の厚みを $50 \mu\text{m}$ とし、磁歪膜 2 の厚みを $45 \mu\text{m}$ とした以外は、実施例 1 と同様の方法にて、図 3 に示す磁歪列部 2 a および図 1 5 に示す断面を有する磁性構造体を得た。本実施例に係る磁性構造体を備えたトルクセンサは、実施例 1 に係るトルクセンサ 1 と比較して、感度は $1/3$ 程度であった。

産業上の利用可能性

[0127] 本発明は、例えば電動アシスト付き自転車などに用いられる磁歪式センサに利用可能である。

請求の範囲

- [請求項1] 軸線に沿って延びる筒状または柱状の基材と、
前記基材の外周面上に形成された磁歪部とを備え、
前記磁歪部は、列状に延びる複数の磁歪列部を有し、
前記複数の磁歪列部のうち少なくとも一部は、該一部を含む磁歪列部をその延伸方向と直交する断面で見ても、前記基材の外周面に平行な方向において、最も長い部分の長さが、前記一部を含む磁歪列部と前記基材の外周面との接触部分の長さよりも大きく、且つ、前記接触部分と、前記磁歪列部の隣りの磁歪列部と前記基材の外周面との接触部分との間隔よりも大きい、磁歪式センサ。
- [請求項2] 請求項1に記載の磁歪式センサにおいて、
前記複数の磁歪列部のうち前記少なくとも一部は、該一部を含む前記磁歪列部をその延伸方向と直交する断面で見ても、前記最も長い部分の長さが、前記磁歪列部の厚み方向における高さよりも大きい、磁歪式センサ。
- [請求項3] 請求項1または2に記載の磁歪式センサにおいて、
前記複数の磁歪列部のうち前記少なくとも一部は、該一部を含む前記磁歪列部をその延伸方向と直交する断面で見ても、前記磁歪列部の厚み方向における高さが、前記基材の外周面から前記基材における前記最も長い部分までの前記厚み方向の高さよりも大きい、磁歪式センサ。
- [請求項4] 請求項3に記載の磁歪式センサにおいて、
前記複数の磁歪列部のうち前記少なくとも一部は、該一部を含む前記磁歪列部をその延伸方向と直交する断面で見ても、前記磁歪列部の厚み方向における高さの半分は、前記基材の外周面から前記基材における前記最も長い部分までの前記厚み方向の高さ以上である、磁歪式センサ。
- [請求項5] 請求項1から4のいずれか一つに記載の磁歪式センサにおいて、

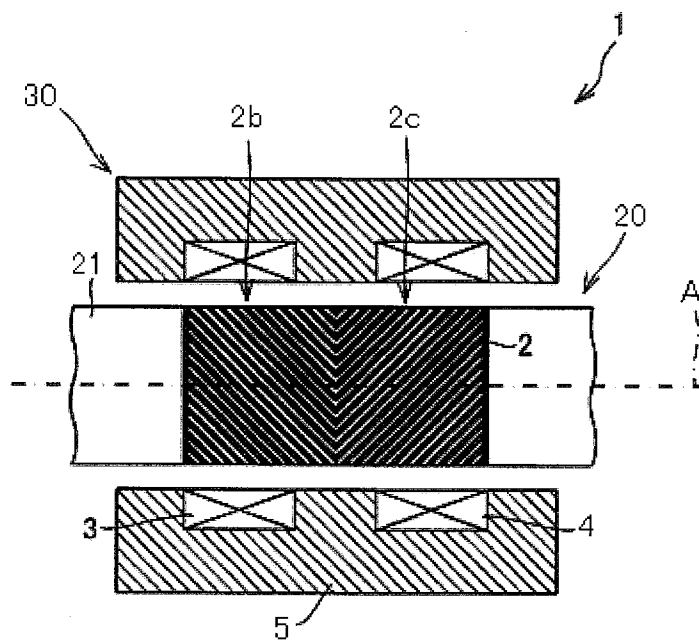
前記複数の磁歪列部のうち前記少なくとも一部は、該一部を含む前記磁歪列部をその延伸方向と直交する断面で見ても、前記接触部分と、隣りの磁歪列部と前記基材の外表面との接触部分との間隔が、前記基材の外周面に平行な方向において、前記最も長い部分が前記接触部分に対して前記隣りの磁歪列部に向かって突出する長さ、前記隣りの磁歪列部において最も長い部分が該隣りの磁歪列部と前記基材との接触部分に対して前記磁歪列部に向かって突出する長さとの和よりも大きい、磁歪式センサ。

- [請求項6] 請求項1から5のいずれか一つに記載の磁歪式センサにおいて、前記磁歪部は、前記複数の磁歪列部を連結する連結部を有する、磁歪式センサ。
- [請求項7] 請求項1から6のいずれか一つに記載の磁歪式センサにおいて、前記磁歪部を囲むように配置されたコイルをさらに備える、磁歪式センサ。
- [請求項8] 請求項7に記載の磁歪式センサにおいて、前記コイルは、前記軸線に沿って、複数並んで配置されている、磁歪式センサ。
- [請求項9] 請求項1から8のいずれか一つに記載の磁歪式センサにおいて、前記磁歪部は、強磁性体材料によって構成されている、磁歪式センサ。
- [請求項10] 軸線に沿って延びる筒状または柱状の基材と、前記基材の外周面上に形成された磁歪部とを備え、前記磁歪部は、列状に延びる複数の磁歪列部を有し、前記複数の磁歪列部のうち少なくとも一部は、該一部を含む磁歪列部をその延伸方向と直交する断面で見ても、前記基材の外周面に平行な方向において、最も長い部分の長さが、前記一部を含む磁歪列部と前記基材の外周面との接触部分の長さよりも大きく、且つ、前記接触部分と、前記磁歪列部の隣りの磁歪列部と前記基材の外周面との接触部

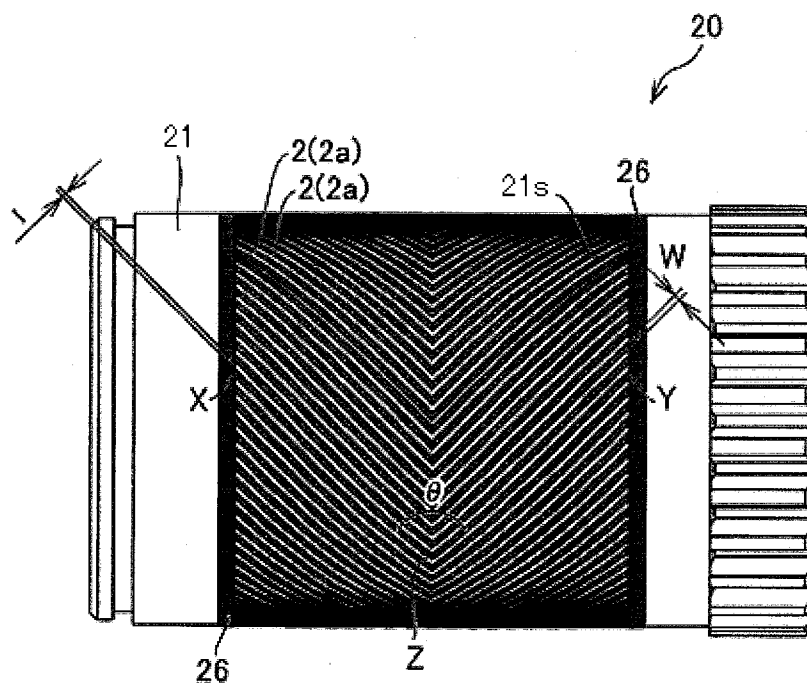
分との間隔よりも大きい、磁性構造体。

- [請求項11] 請求項10に記載の磁性構造体の製造方法であって、
前記基材の外周面上に、所定のパターンを有するレジスト層を形成する工程と、
前記レジスト層が設けられた前記基材の外周面上に、前記磁歪部を形成する工程とを有する、磁性構造体の製造方法。
- [請求項12] 請求項1から9のいずれか一つに記載の磁歪式センサを備えた、モータ駆動ユニット。
- [請求項13] 請求項1から9のいずれか一つに記載の磁歪式センサを備えた、電動アシスト付き自転車。

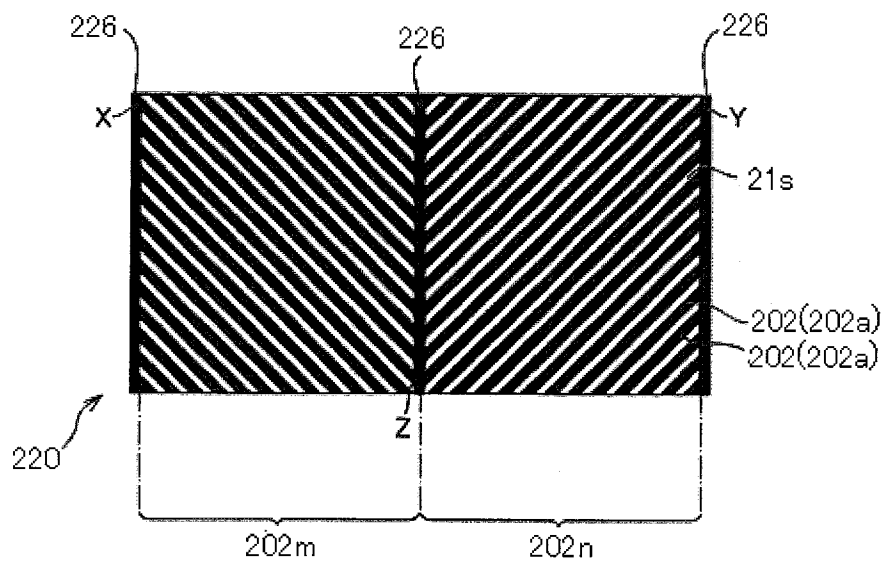
[図1]



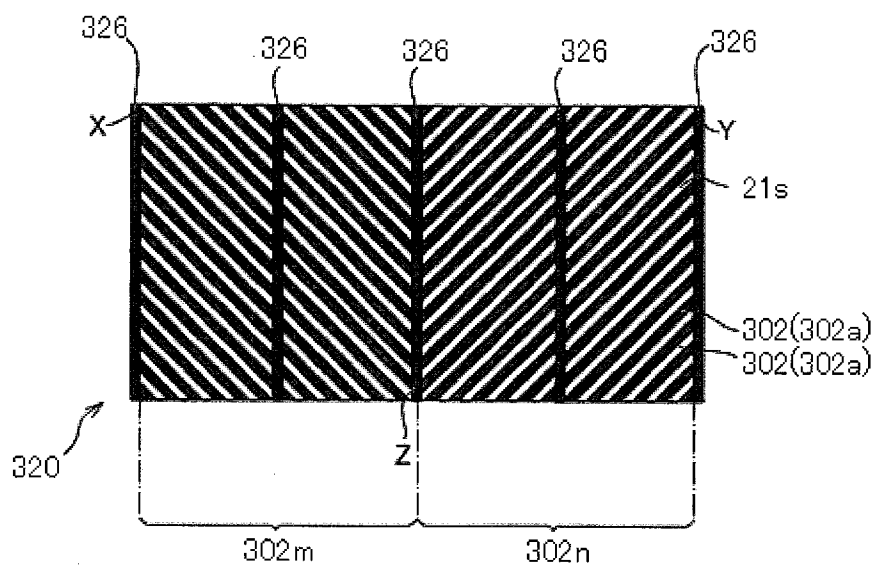
[図2]



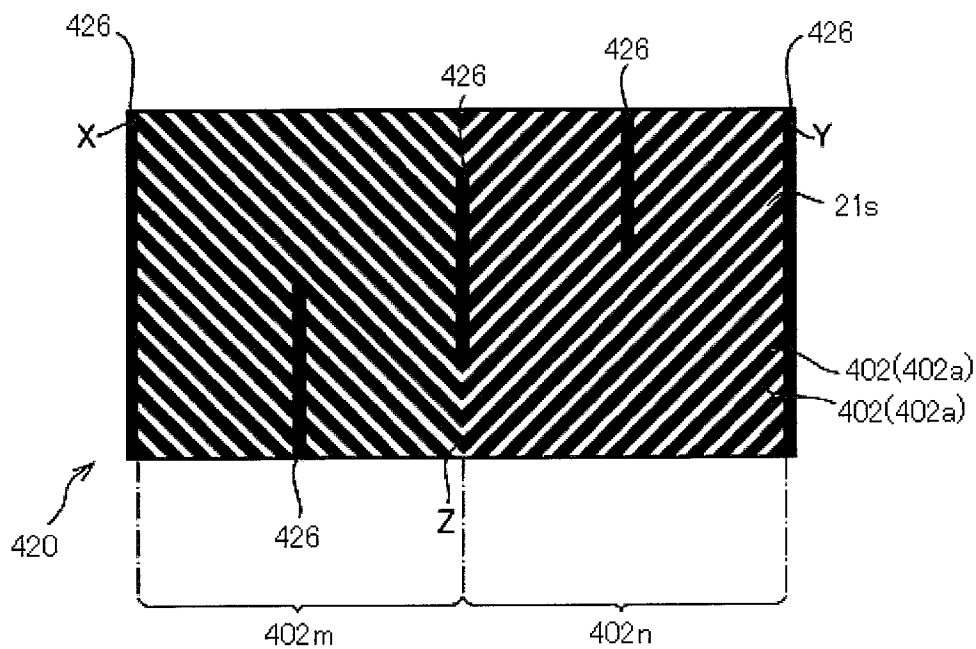
[図5]



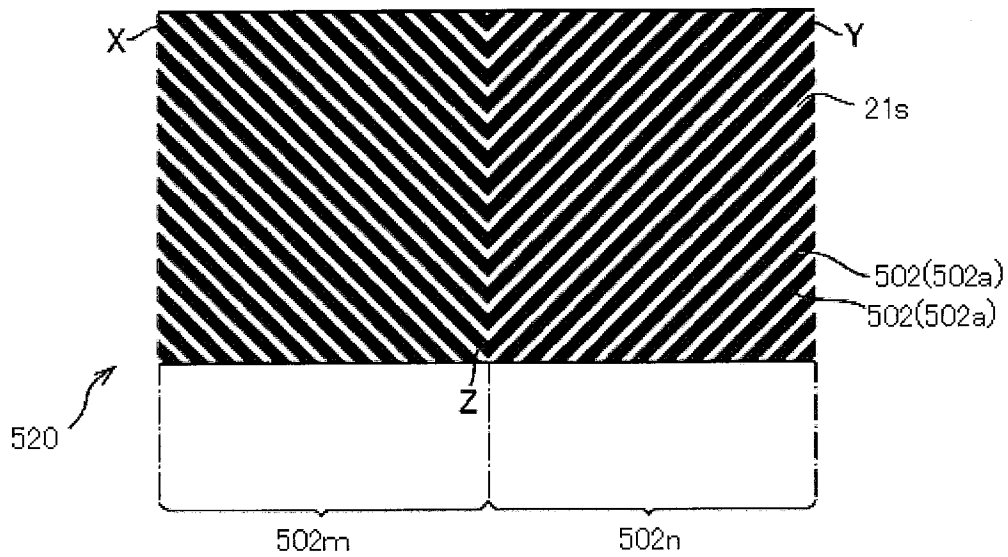
[図6]



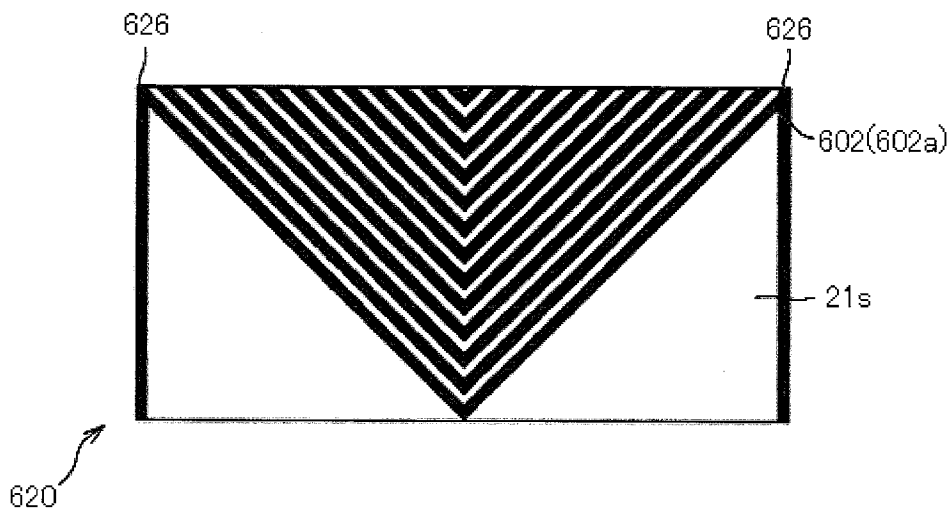
[図7]



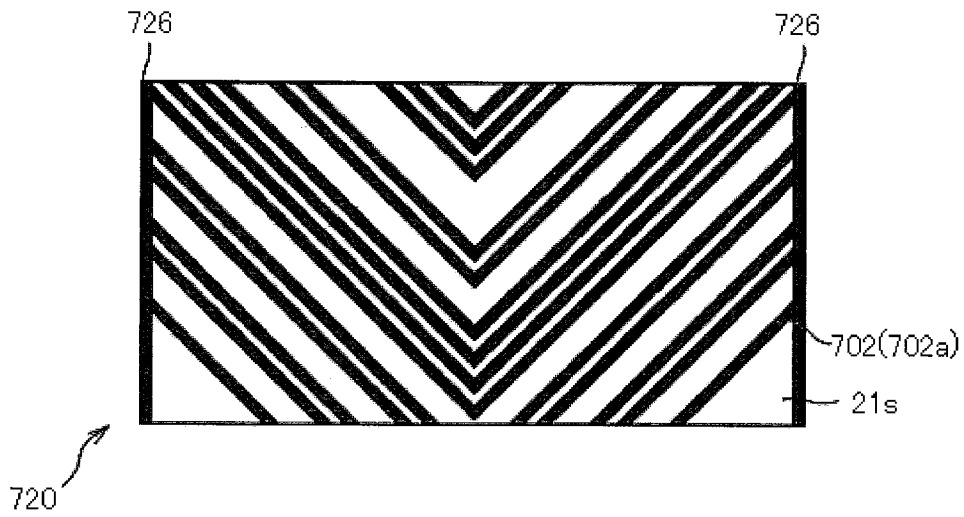
[図8]



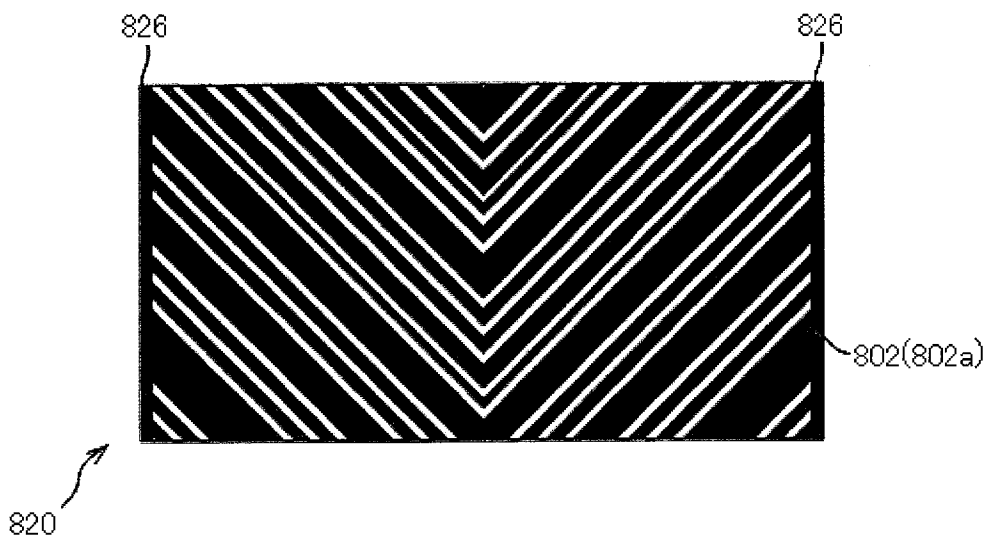
[図9]



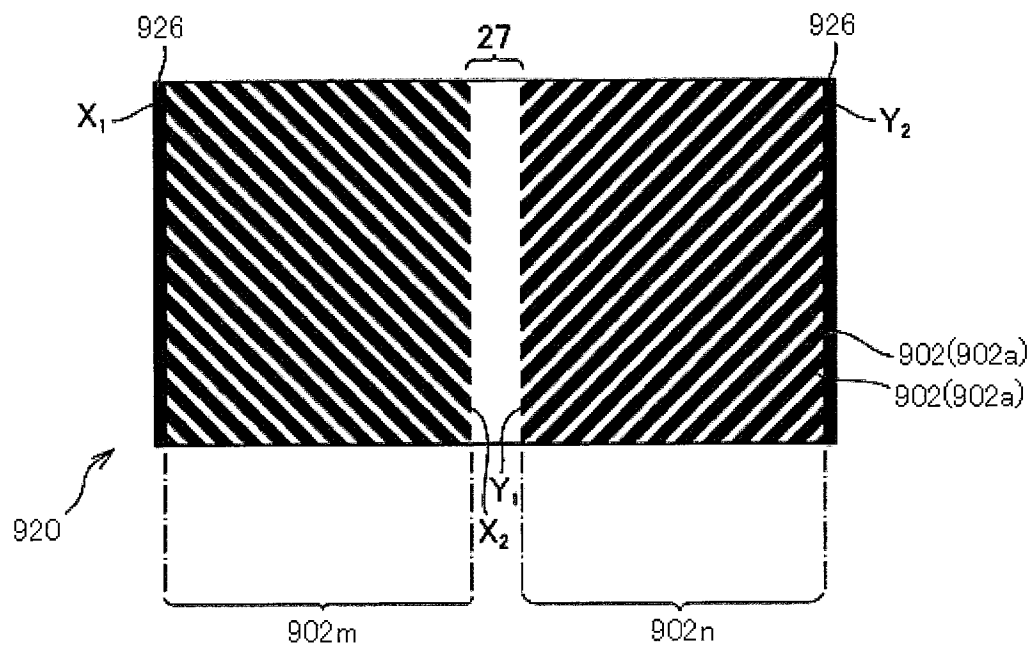
[図10]



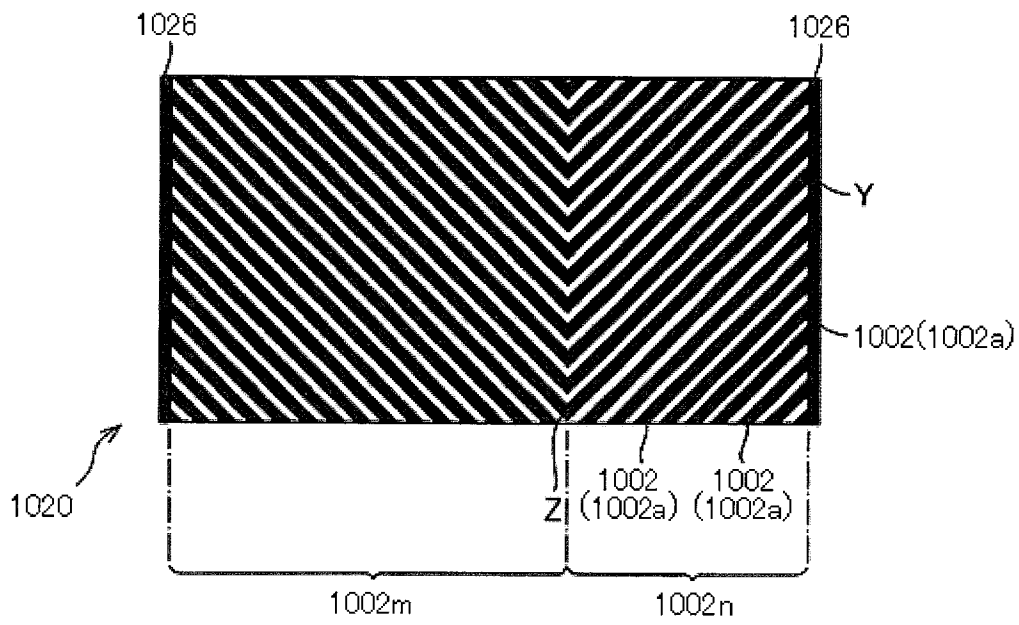
[図11]



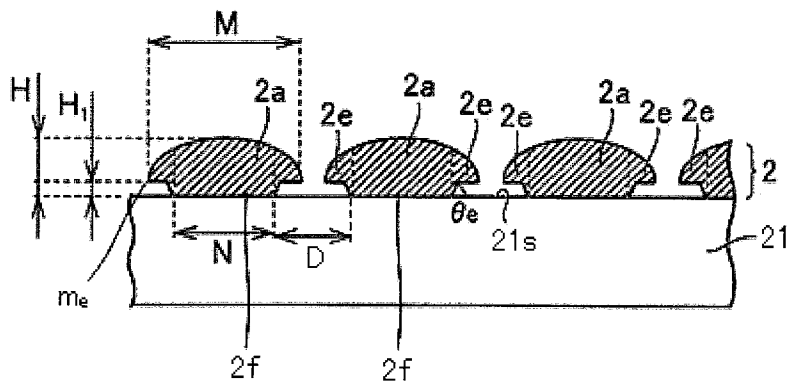
[図12]



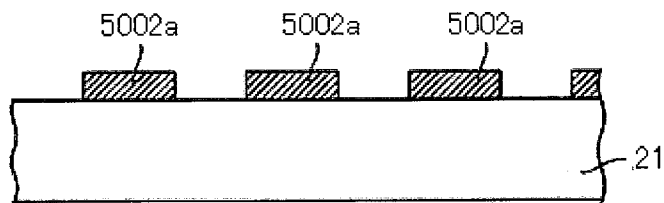
[図13]



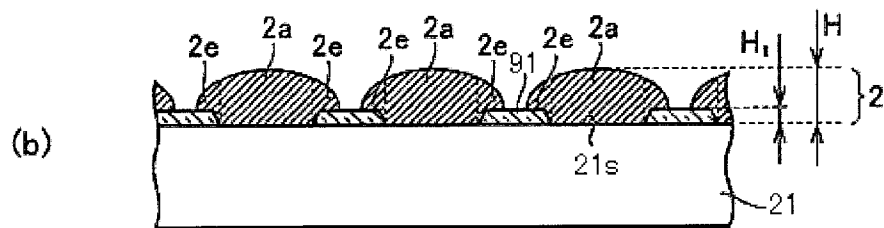
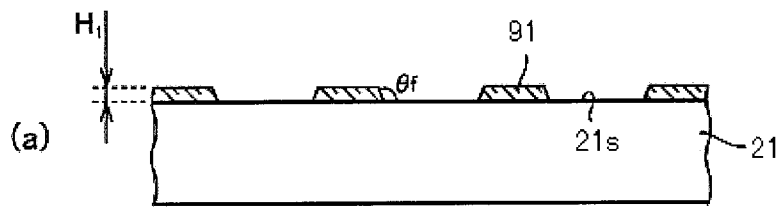
[図14]



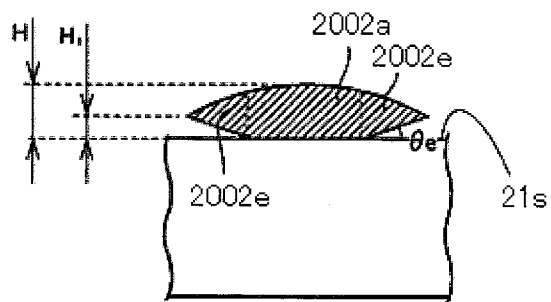
[図15]



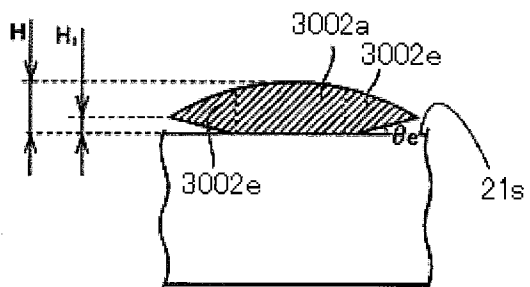
[図16]



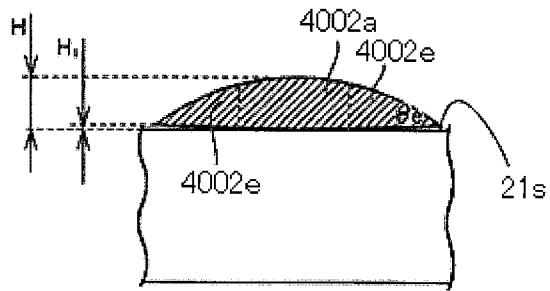
[図17]



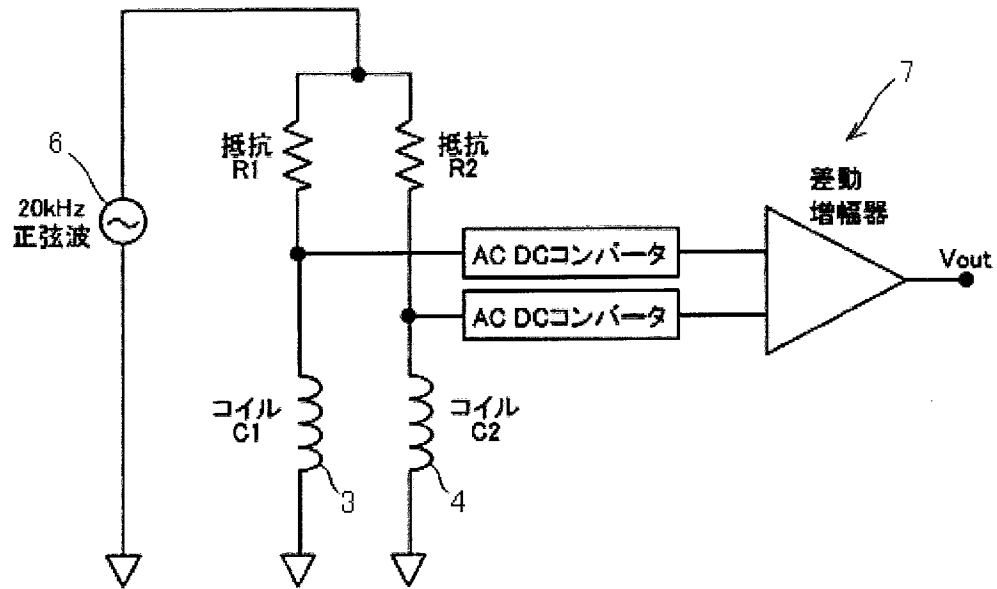
[図18]



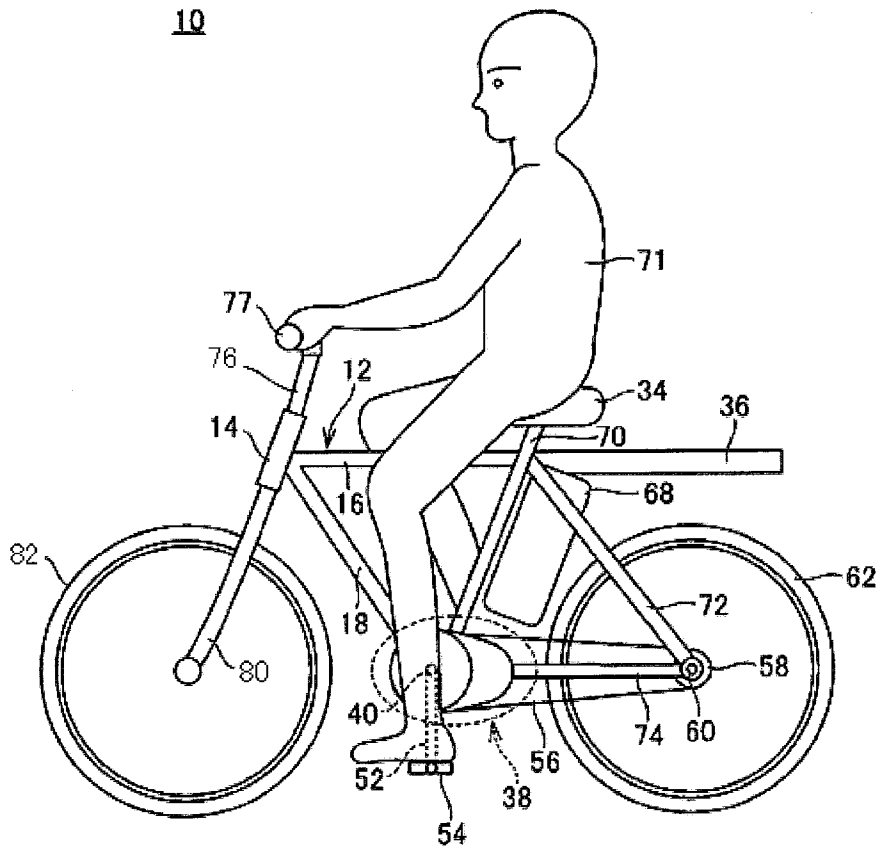
[図19]



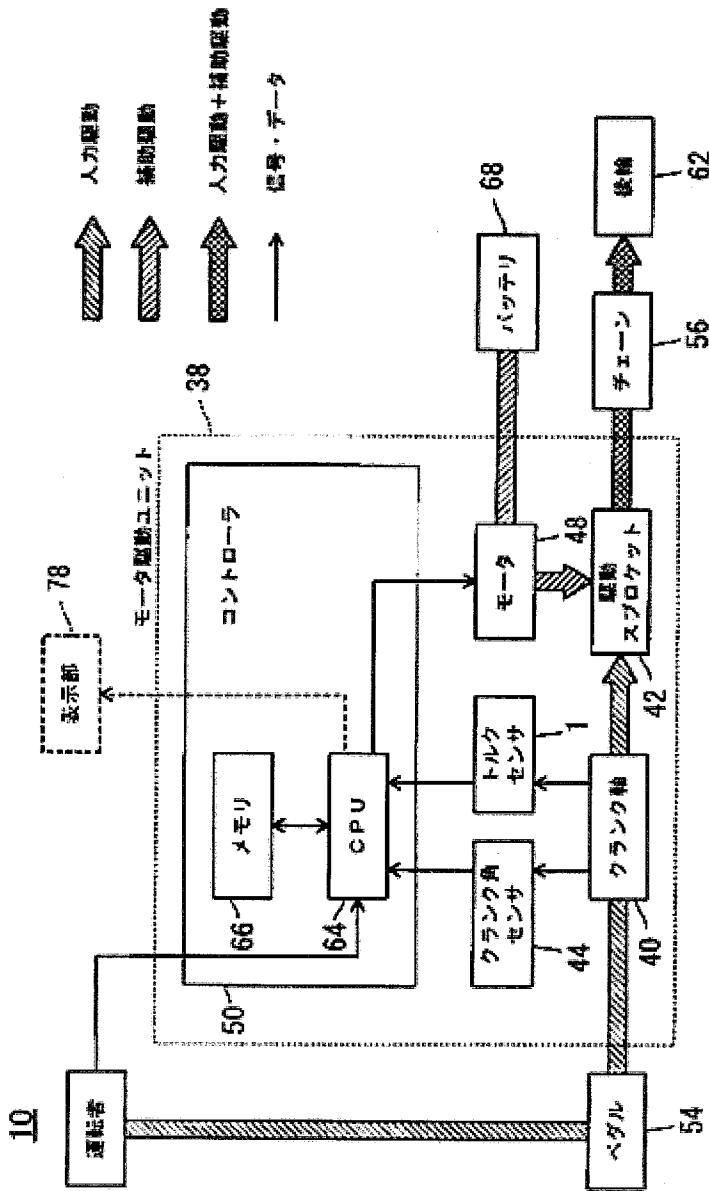
[図20]



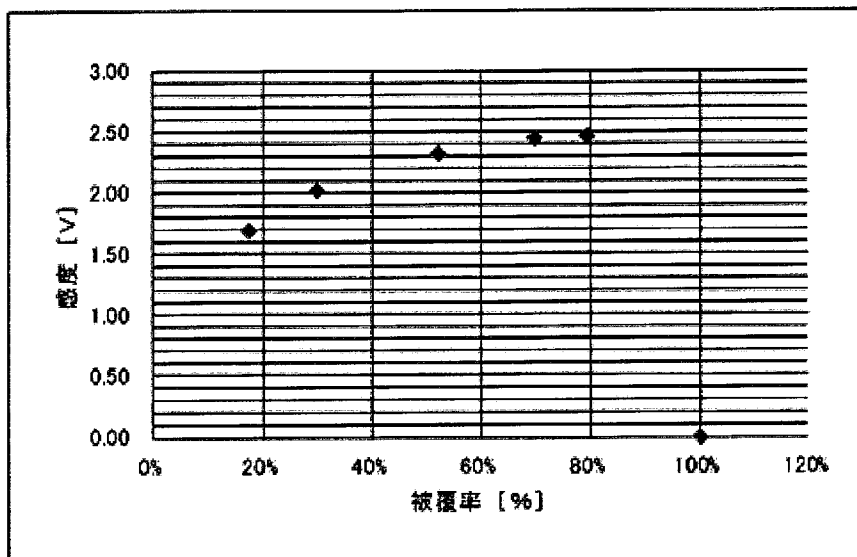
[図21]



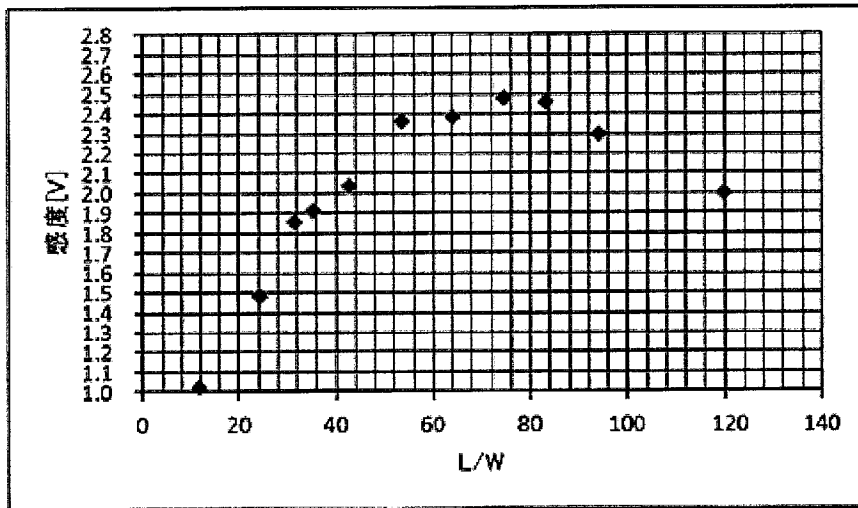
[図22]



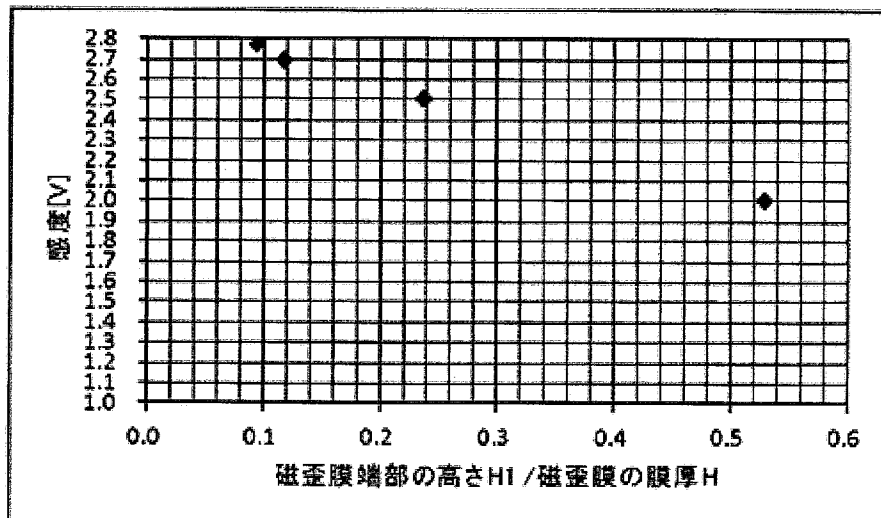
[図23]



[図24]



[図25]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/068719

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01L3/10(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) G01L3/10, G01L1/12, G01L5/00, H01L41/06, H01L41/12, H01L41/20, H01L41/47				
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 1996-2016 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2016 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2016				
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.		
A	JP 4-329325 A (Nissan Motor Co., Ltd.), 18 November 1992 (18.11.1992), paragraphs [0017] to [0022]; fig. 1 to 2 & US 5280729 A column 7, line 21 to column 9, line 23; fig. 1 to 2 & DE 4214368 A1	1-2, 6-10		
A	JP 5-072064 A (Nissan Motor Co., Ltd.), 23 March 1993 (23.03.1993), paragraphs [0033] to [0041], [0051] to [0052]; fig. 1 to 3, 8 & US 5280729 A column 12, line 52 to column 15, line 2; fig. 4 to 6 & DE 4214368 A1	1-2, 6-10		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.				
<table style="width:100%; border: none;"> <tr> <td style="width:50%; border: none; vertical-align: top;"> * 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 </td> <td style="width:50%; border: none; vertical-align: top;"> "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 </td> </tr> </table>			* 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
* 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 25 August 2016 (25.08.16)		Date of mailing of the international search report 06 September 2016 (06.09.16)		
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan		Authorized officer Telephone No.		

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/068719

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 3-054429 A (Eaton Corp.), 08 March 1991 (08.03.1991), page 3, lower right column, line 5 to page 4, lower left column, line 10; fig. 1 to 4 & US 5201964 A column 3, line 4 to column 4, line 4; fig. 1 to 4 & US 5315881 A & EP 404569 A2	1-5, 9-10
A	JP 2004-184189 A (Yamaha Motor Co., Ltd.), 02 July 2004 (02.07.2004), entire text; all drawings (Family: none)	1-5, 7-10
A	JP 3-002638 A (Mitsubishi Electric Corp.), 09 January 1991 (09.01.1991), entire text; all drawings & US 5313845 A column 5, line 61 to column 8, line 14; fig. 1 to 4	6-11
A	JP 2004-264188 A (Moric Co., Ltd.), 24 September 2004 (24.09.2004), paragraph [0002] (Family: none)	12-13

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. G01L3/10(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（I P C）） Int.Cl. G01L3/10, G01L1/12, G01L5/00, H01L41/06, H01L41/12, H01L41/20, H01L41/47		
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 1971-2016年 日本国実用新案登録公報 1996-2016年 日本国登録実用新案公報 1994-2016年		
国際調査で利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
A	JP 4-329325 A（日産自動車株式会社） 1992.11.18, 段落[0017]-[0022], 図1-2 & US 5280729 A, 第7欄第21行-第9欄第23行, 図1-2 & DE 4214368 A1	1-2, 6-10
A	JP 5-072064 A（日産自動車株式会社） 1993.03.23, 段落[0033]-[0041], [0051]-[0052], 図1-3, 8 & US 5280729 A, 第12欄第52行-第15欄第2行, 図4-6 & DE 4214368 A1	1-2, 6-10
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> 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 25.08.2016	国際調査報告の発送日 06.09.2016	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（I S A / J P） 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） 公文代 康祐 電話番号 03-3581-1101 内線 3216	2 F 8352

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
A	JP 3-054429 A (イートン コーポレーション) 1991. 03. 08, 第 3 頁右下欄第 5 行-第 4 頁左下欄第 10 行, 第 1-4 図 & US 5201964 A, 第 3 欄第 4 行-第 4 欄第 4 行, 図 1-4 & US 5315881 A & EP 404569 A2	1-5, 9-10
A	JP 2004-184189 A (ヤマハ発動機株式会社) 2004. 07. 02, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-5, 7-10
A	JP 3-002638 A (三菱電機株式会社) 1991. 01. 09, 全文, 全図 & US 5313845 A, 第 5 欄第 61 行-第 8 欄第 14 行, 図 1-4	6-11
A	JP 2004-264188 A (株式会社モリック) 2004. 09. 24, 段落[0002] (ファミリーなし)	12-13