

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-76792

(P2005-76792A)

(43) 公開日 平成17年3月24日(2005.3.24)

(51) Int.C1.⁷

F 16C 32/04

H02K 7/09

F 1

F 16C 32/04

H02K 7/09

テーマコード(参考)

3 J 1 O 2

5 H 6 O 7

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号

特願2003-309497(P2003-309497)

(22) 出願日

平成15年9月2日(2003.9.2)

(71) 出願人 598021579

B O C エドワーズ株式会社

東京都港区芝公園2丁目4番1号 秀和芝
パークビルA-3F

(74) 代理人 100096655

弁理士 川井 隆

(74) 代理人 100091225

弁理士 仲野 均

(72) 発明者 川島 敏明

千葉県習志野市屋敷4-3-1 ピーオー
シーエドワーズテクノロジーズ株式会社内

F ターム(参考) 3J102 AA01 BA02 CA27 DA03 DA09

DA30 DB05 GA06

5H607 AA12 BB01 BB14 CC03 CC07

DD03 FF06 GG01 GG17 GG20

HH01

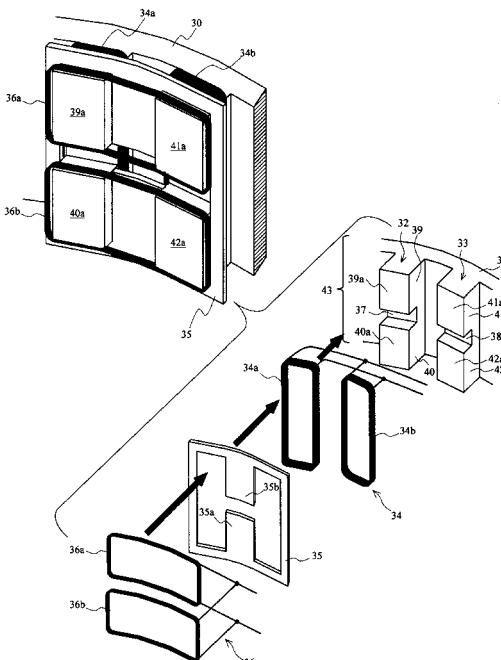
(54) 【発明の名称】磁気軸受装置

(57) 【要約】

【課題】 電磁石と変位センサの磁極を共用した磁気軸受装置において、変位センサの感度を向上させることができる磁気軸受装置を提供すること。

【解決手段】 軸方向の中心部に溝37、38が設けられた矩形状の鉄心片32および鉄心片33によって径方向磁極部43を構成する。鉄心片32は、溝37によって磁極部39と磁極部40に分割され、同様に、鉄心片33は、溝38によって磁極部41と磁極部42に分割されている。径方向電磁コイル34a、34bを鉄心片32、33にそれぞれ巻回す。径方向センサコイル36aを、磁極部39と磁極部41に渡って巻回し、同様に、径方向センサコイル36bを、磁極部40と磁極部42に渡って巻回す。径方向センサコイル36a、36bは、径方向電磁コイル34a、34bとの間にシールド板35を介して径方向磁極部43に配設する。

【選択図】 図5



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

回転軸を磁気的な力を用いて磁気浮上させることにより非接触で支持する磁気軸受装置であって、

前記磁気的な力を発生させる電磁石を構成する、先端部が複数の磁極部に分割された電磁石と、

前記磁極部の全ての領域に配設されたセンサコイルと、
を具備し、

前記磁極部の全ての領域を前記回転軸の変位量を検出する変位センサを構成するセンサ
磁極と共に用することを特徴とする磁気軸受装置。

10

【請求項 2】

前記回転軸を半径方向に支持する磁気軸受装置であって、

前記電磁石は、一対の2分割された前記電磁極によって構成され、

前記センサコイルは、前記2分割された前記電磁極のそれぞれを、前記変位センサの異極性の磁極として作用するように配設されていることを特徴とする請求項1記載の磁気軸受装置。

【請求項 3】

前記回転軸を軸方向に支持する磁気軸受装置であって、

前記電磁極は、円形状に形成され、半径方向に延びる溝によって複数の領域に分割されていることを特徴とする請求項1記載の磁気軸受装置。

20

【請求項 4】

前記センサコイルは、両方の前記電磁極に渡って配設されていることを特徴とする請求項2記載の磁気軸受装置。

【請求項 5】

前記センサコイルは、並列接続されていることを特徴とする請求項1、請求項2、請求項3または請求項4記載の磁気軸受装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、回転軸を磁気浮上させることによって非接触で支持する磁気軸受装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

磁気軸受装置によって回転軸が支持されている装置には、例えば半導体製造装置のクリーンルームに設置される分子ポンプがある。

このような分子ポンプ等の軸受装置に用いられている磁気軸受装置には、回転軸の変位を検出するためのセンサが設けられており、このセンサによって検出された回転軸の位置情報を基づいて制御を行っている。

一般に、上述したような分子ポンプでは、電磁型の変位センサが用いられている。電磁型の変位センサは、磁極に巻回されたコイルのインダクタンスの変化を測定することによって回転軸の変位を検出している。

従来、変位センサを構成するセンサ用の磁極は、回転軸を浮上させるために用いられる電磁石の磁極とは別に設けられていた。

【0003】

このような変位センサと電磁石とをそれぞれ専用の磁極を用いて構成された磁気軸受装置では、次のような不具合が生じる場合があった。

専用の磁極をそれぞれ配置しなければならないため、各磁極を配置するスペースを確保する必要があり小型化が困難であった。

そのため、回転軸の長さの縮小化を図るためにしても制限が課せられてしまうため、回転軸の固有振動数を高くすることが困難となり、回転軸を高速回転させることができなかつた

40

50

さらに、変位センサと電磁石とを同一の位置に配置することができないため、回転軸の位置の検出点と電磁石による磁力の作用点とにずれが生じ、回転軸の安定浮上を阻害するおそれがあった。

【0004】

このような不具合を解消するために、変位センサを電磁石の磁極上に構成した磁気軸受装置が下記の特許文献に開示されている。

【特許文献1】特許第3315428号公報

【0005】

特許文献1には、電磁石の磁極の一部を変位センサの磁極と共に用いた径方向の磁気軸受装置が提案されている。 10

詳しくは、電磁石の矩形状の磁極の両端に平行に設けられた溝に変位センサのコイルを巻きすることによって、電磁石の磁極上に変位センサを構成している。このように、電磁石の磁極の一部を共用することにより専用の磁極を設けることなく変位センサを構成することができる。これにより、回転軸の位置の検出点と電磁石による磁力の作用点を同位置にすることができるため、回転軸の磁気浮上の安定性を確保することができる。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、上記特許文献1で提案されている磁気軸受装置では、電磁石の磁極の両端部の一部分を変位センサのコイルの磁極として用いるようにしているため、十分な磁極面積を確保することができなかった。 20

このような狭い磁極面積の変位センサにおいてセンサ感度を高めるためには、変位センサのコイルの巻き数を増やす必要性があった。ところが、磁気軸受装置の構造によりコイルの巻き数は制限されてしまっていた。

また、変位センサの磁極面積が狭い場合には、磁性体である磁極が磁気飽和状態に達しやすくなるため、センサの感度を向上させることができ困難であった。

【0007】

そこで本発明は、電磁石と変位センサの磁極を共用した磁気軸受装置において、変位センサの感度を向上させることができる磁気軸受装置を提供することを目的とする。 30

【課題を解決するための手段】

【0008】

請求項1記載の発明によれば、回転軸を磁力を用いて磁気浮上させることにより非接触で支持する磁気軸受装置であって、磁力を発生させる電磁石を構成する電磁コイルと、前記電磁コイルと共に前記電磁石を構成し、前記電磁コイルが巻回された、少なくとも2つの磁極部を有する電磁極と、前記磁極部に巻回された、前記回転軸の変位を検出する変位センサを構成する変位センサコイルと、を具備し、前記電磁コイルが巻回された電磁極の磁極端面の面積と、前記変位センサコイルが巻回された磁極部の磁極端面の面積とが等しくすることにより前記目的を達成する。

請求項2記載の発明によれば、請求項1記載の発明において、前記回転軸を軸方向に支持する磁気軸受装置であって、前記回転軸に対して垂直に固着された円板状のアーマチュアを具備し、前記電磁極に、前記アーマチュアと対向する面に設けられた、環状溝と、径方向に延びる複数の放射溝と、を設け、前記磁極部を、隣接する前記放射溝の間に形成し、前記電磁コイルを、前記環状溝に沿って巻回し、前記変位センサコイルの一部を、前記放射溝に配設することにより前記目的を達成する。 40

請求項3記載の発明によれば、請求項1記載の発明において、前記回転軸を半径方向に支持する磁気軸受装置であって、前記電磁極に、円周方向または軸方向に延びる溝を設け、前記磁極部を、前記溝の両側に形成し、前記変位センサコイルの一部を、前記溝に配設することにより前記目的を達成する。

請求項4記載の発明によれば、請求項3記載の発明において、前記電磁石は、異なる電 50

磁極性を有する一対の前記電磁極を備え、前記変位センサコイルを、それぞれ異なる電磁極性を有する前記電磁極に設けられた2つの前記磁極部に渡って巻回することにより前記目的を達成する。

請求項5記載の発明によれば、請求項1記載の発明において、前記回転軸を半径方向に支持する磁気軸受装置であって、軸方向に隣接する前記磁極部の間に配置された非磁性体部材を具備し、前記電磁石に、異なる電磁極性を有する一対の前記電磁極を備え、前記変位センサコイルを、それぞれ異なる電磁極性を有する前記電磁極に設けられた円周方向に隣接する前記磁極部において、それぞれ異なるセンサ磁極性を有するように巻回することにより前記目的を達成する。

請求項6記載の発明によれば、請求項5記載の発明において、前記変位センサコイルを覆うように、前記磁極部の側面に配設された電磁遮蔽部材を具備し、前記電磁コイルを、電磁遮蔽部材を介して前記電磁極に巻回することにより前記目的を達成する。 10

請求項7記載の発明によれば、請求項1から請求項6までのうちの何れか1の請求項に記載の発明において、前記電磁石を、少なくとも2つ設け、前記変位センサを、前記電磁石ごとに設け、同一の前記変位センサを構成する前記変位センサコイルを、並列に接続することにより前記目的を達成する。

請求項8の発明によれば、請求項1から請求項7までのうちの何れか1の請求項において、前記磁極部の前記回転軸側端部、または、前記電磁コイルと前記センサコイルとの間の少なくとも一方に配置された、外縁部が短絡されたシールド部材を具備することにより前記目的を達成する。 20

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、電磁石と変位センサの磁極を共用した磁気軸受装置において、変位センサに用いられる磁極面の面積を十分に確保することにより、変位センサの感度を向上させることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

以下、本発明の磁気軸受装置における好適な実施の形態について、図1から図9を参照して詳細に説明する。

本実施の形態に示す磁気軸受装置は、例えば、クリーンルームの排気処理に用いられている分子ポンプの回転軸の軸受装置として使用されている。このような分子ポンプの回転軸は、5軸制御型または3軸制御型と呼ばれる制御方式が採用されている。 30

【0011】

図1は、本実施の形態に係る磁気軸受装置を用いた分子ポンプ1の構成を示した図である。

ここで5軸制御型磁気軸受装置の構造例として分子ポンプ1の構造について説明する。なお、本実施の形態では、分子ポンプ1の一例としてターボ分子ポンプ部とねじ溝式ポンプ部を備えた、いわゆる複合翼タイプの分子ポンプを例に説明する。

【0012】

分子ポンプ1の外装体を形成するケーシング2は、略円筒状の形状をしており、ケーシング2の底部に設けられた円盤状のベース3と共に分子ポンプ1の筐体を構成している。そして、ケーシング2の内部には、分子ポンプ1に排気機能を発揮させる構造物が収納されている。 40

これら排気機能を発揮する構造物は、大きく分けて回転自在に軸支されたロータ部4とケーシング2に対して固定されたステータ部から構成されている。

また、ポンプの種類から見た場合、吸気口5側がターボ分子ポンプ部により構成され、排気口6側がねじ溝式ポンプ部から構成されている。

【0013】

ロータ部4は、モータによって回転されるシャフト7に配設された回転部材であり、吸気口5側(ターボ分子ポンプ部)に設けられたロータ翼8と、排気口6側(ねじ溝式ポン

10

20

30

40

50

ブ部)に設けられた円筒部材9、およびシャフト7などから構成されている。

シャフト7は、回転軸、つまり、ロータ部4の軸を構成する円柱部材であって、その上端部にはロータ翼8と円筒部材9からなる部材がボルト等により取り付けられている。

【0014】

シャフト7の軸線方向中程には、外周面に永久磁石が固着しており、モータ部10のロータを構成している。この永久磁石がシャフト7の外周に形成する磁極は、外周面の半周に渡ってN極となり、残り半周に渡ってS極となるようになっている。

さらに、シャフト7のモータ部10に対して吸気口5側、および排気口6側には、シャフト7をラジアル方向(径方向)に軸支するための径方向磁気軸受装置11、12、シャフト7の下端には、シャフト7を軸線方向(アキシャル方向)に軸支するための軸方向磁気軸受装置13が設けられている。

【0015】

ケーシング2の内周側には、ステータ部が形成されている。このステータ部は、吸気口5側(ターボ分子ポンプ部)に設けられたステータ翼14と、排気口6側(ねじ溝式ポンプ)に設けられたねじ溝スペーサ18などから構成されている。

ターボ分子ポンプ部では、ステータ翼14が軸線方向に、ロータ翼8と互い違いに複数段形成されている。

各段のステータ翼14は、円筒形状をしたスペーサ15により互いに隔てられている。

【0016】

ねじ溝スペーサ18は、内周面にらせん溝16が形成された円柱部材である。ねじ溝スペーサの内周面は、所定のクリアランス(間隙)を隔てて円筒部材9の外周面に対面するようになっている。ねじ溝スペーサ18に形成されたらせん溝16の方向は、らせん溝16内をロータ部4の回転方向にガスが輸送された場合、排気口6に向かう方向である。

らせん溝16の深さは、排気口6に近づくにつれ浅くなるようになっており、らせん溝16を輸送されるガスは排気口6に近づくにつれて圧縮されるようになっている。

これらステータ部は、ステンレスやアルミニウム合金などの金属を用いて構成されている。

【0017】

ベース3は、円盤形状を有した部材であって、ラジアル方向中央には、ロータの回転軸線と同心に円筒形状を有するステータコラム17が、吸気口5方向に取り付けられている。

ステータコラム17は、モータ部10、径方向磁気軸受装置11、12を支持している。

モータ部10では、所定の極数のステータコイルがステータコイルの内周側に等間隔で配設され、シャフト7に形成された磁極の周囲に回転磁界を発生できるようになっている。

【0018】

径方向磁気軸受装置11、12は、回転軸線の回りの90度ごとに配設された制御磁極部から構成されている。そして、径方向磁気軸受装置11、12は、これらコイルの発生する磁界でシャフト7を吸引することにより、シャフト7をラジアル方向に磁気浮上させている。この径方向磁気軸受装置11、12の詳細については後述する。

ステータコラム17の底部には、軸方向磁気軸受装置13が形成されている。軸方向磁気軸受装置13は、シャフト7から垂直に張り出した円板状のアーマチュア19と、このアーマチュア19の上下に配設されたコイルから構成されている。これらコイルが発生する磁界がアーマチュア19を吸引することにより、シャフト7が軸線方向に磁気浮上する。

【0019】

上述したように、5軸制御型の磁気軸受装置には、軸方向の磁気浮上を制御する軸方向磁気軸受装置13と、径方向の磁気浮上を制御する径方向磁気軸受装置11、12とが設けられている。

そこで、本実施の形態に係る磁気軸受装置を軸方向磁気軸受装置 13 と、径方向磁気軸受装置 11、12 とに分けて説明する。

【0020】

軸方向磁気軸受装置 13 は、図 1 に示すように、シャフト 7 に対して垂直に設けられたアーマチュア 19 を介してシャフト 7 を軸方向に浮上させるための装置である。

軸方向磁気軸受装置 13 は、軸方向電磁石が形成された一対の軸方向磁気軸受部 20 によって構成されている。

アーマチュア 19 には、軸方向磁気軸受部 20 の軸方向電磁石の磁力により、各軸方向磁気軸受部 20 方向に吸引される吸引力が作用する。

そして、軸方向磁気軸受装置 13 は、これらの吸引力を制御することによってアーマチュア 19 を介してシャフト 7 を軸方向に非接触状態で支持している。 10

【0021】

図 2 は、軸方向磁気軸受装置 13 を構成する軸方向磁気軸受部 20 の構成を示した図である。

軸方向磁気軸受部 20 は、軸方向電磁石部 21 と軸方向センサ部 22 とから構成されている。

軸方向電磁石部 21 は、アーマチュア 19 に対して吸引力を作用させるための磁力を発生させる電磁石を構成している。

【0022】

軸方向センサ部 22 は、アーマチュア 19 の変位、つまりシャフト 7 の軸方向の変位を検出する軸方向センサを構成する。 20

軸方向センサ部 22 では、アーマチュア 19 と軸方向磁気軸受部 20 との距離（ギャップ長）を検出することによってアーマチュア 19 の変位を認識している。

軸方向センサ部 22 では、インダクタンス形変位センサを用いてアーマチュア 19 の変位量を測定している。

なお、インダクタンス形変位センサとは、磁極に巻回されたコイルのインダクタンスが磁極のエアギャップと連動して変化する特性を利用し、インダクタンスの変化から変位を検出する変位センサである。

軸方向磁気軸受装置 13 には、一対の軸方向磁気軸受部 20 の軸方向センサ部 22 同士が互いに対面するように配置されている。 30

【0023】

軸方向電磁石部 21 は、第 1 軸方向電磁ヨーク 23 と軸方向電磁コイル 24 とから構成されている。

第 1 軸方向電磁ヨーク 23 は、軸方向電磁石部 21 の電磁石を形成する鉄心つまり電磁極を構成している。

第 1 軸方向電磁ヨーク 23 は、同心的な円孔が形成された円板部 231、円板部 231 の周縁部を底面とする円筒状の外縁部 232、円板部 231 に形成された円孔を底面とする円筒状の内縁部 233 とからなる。

【0024】

円板部 231 を底面とした場合、内縁部 233 は、後述する第 2 軸方向電磁ヨーク 25 の高さ分だけ外縁部 232 よりも高くなっている。 40

第 1 軸方向電磁ヨーク 23 には、円板部 231、外縁部 232 および内縁部 233 によって断面コの字型の溝 234 が形成されている。つまり溝 234 は、開放端部がアーマチュア 19 と対向するように設けられた環状溝である。

内縁部 233 の端面には、放射方向に延びる 4 つの溝 235a ~ d が、90 度間隔に形成されている。

溝 235a ~ d によって内縁部 233 の端部は、4 つの磁極部 236a ~ d に区分されている。

【0025】

軸方向電磁コイル 24 は、内縁部 233 を軸芯として数ターン巻回された巻線である。 50

軸方向電磁コイル 24 は、溝 234 の内部に配置されている。

従って、軸方向電磁コイル 24 の巻き上がりの最大外径寸法は、少なくとも外縁部 232 の内周の径寸よりも小さい。

軸方向電磁コイル 24 が通電状態になると、軸方向電磁コイル 24 の内部に電流が流れ磁束 27 が発生する。

すると、第 1 軸方向電磁ヨーク 23 が電磁石の磁極として機能し、軸方向電磁石部 21 に磁力が発生する。この磁力によってアーマチュア 19 に吸引力が作用するようになっている。

【0026】

軸方向センサ部 22 は、第 2 軸方向電磁ヨーク 25 と軸方向センサコイル 26 とから構成されている。 10

第 2 軸方向電磁ヨーク 25 は、第 1 軸方向電磁ヨーク 23 と同様に軸方向電磁石部 21 の電磁石を形成する鉄心つまり電磁極を構成している。従って、第 2 軸方向電磁ヨーク 25 は、軸方向電磁コイル 24 が通電状態になると第 1 軸方向電磁ヨーク 23 と同様に電磁石の磁極として機能する。

第 2 軸方向電磁ヨーク 25 は、同心的な円孔が形成された円板部 251、円板部 251 の周縁部を底面とする円筒状の外縁部 252、円板部 251 に形成された円孔を底面とする円筒状の内縁部 253 とからなる。

なお、円板部 251 は、軸方向電磁コイル 24 の漏れ磁束が、軸方向センサコイル 26 に及ぼす影響を低減させるための遮蔽機能を担っている。 20

【0027】

第 1 軸方向電磁ヨーク 23 と第 2 軸方向電磁ヨーク 25 とは、内縁部 253 の中空部に、第 1 軸方向電磁ヨーク 23 の内縁部 233 を嵌め込むようして組合せられている。

そのため、第 2 軸方向電磁ヨーク 25 の内縁部 253 の内径は、少なくとも第 1 軸方向電磁ヨーク 23 の内縁部 233 の外径よりも大きい。

内縁部 253 および外縁部 252 の高さは、第 1 軸方向電磁ヨーク 23 と第 2 軸方向電磁ヨーク 25 とを組み合わせた際に、第 1 軸方向電磁ヨーク 23 の内縁部 233 の端面の高さと等しくなっている。 30

【0028】

第 2 軸方向電磁ヨーク 25 には、円板部 251、外縁部 252 および内縁部 253 によって断面コの字型の溝 254 が形成されている。

内縁部 253 の端面には、放射方向に延びる 4 つの溝 255a ~ d が、90 度間隔に設けられている。

溝 255a ~ d によって内縁部 253 の端部は、4 つの磁極部 256a ~ d に分割されている。

なお、第 1 軸方向電磁ヨーク 23 と第 2 軸方向電磁ヨーク 25 とを組み合わせた場合、溝 255a ~ d は、溝 235a ~ d の放射方向の延長線上に配置されている。ここでは、溝 255a の延長上に溝 235a、溝 255b の延長上に溝 235b、溝 255c の延長上に溝 235c、溝 255d の延長上に溝 235d が設けられている。 40

【0029】

軸方向センサコイル 26 は、コイル 261a ~ d から構成されている。

コイル 261a は、磁極部 236a と磁極部 256a の 2 つの磁極部を軸芯として、つまり磁極部 236a と磁極部 256a に渡って数ターン巻回された巻線である。

コイル 261a は、磁極部 236a と磁極部 256a の側面に形成されている溝 235a、235b、255a、255b、磁極部 236a の内側面、磁極部 256a の外側面に配置されるように巻回されている。

コイル 261b ~ d もコイル 261a と同様の構成である。

なお、図中のコイル 261a ~ d に記されている極性は、コイル 261a ~ d が巻回される磁極部の端部に生じる極性の一例を示したものである。

【0030】

軸方向センサコイル 26 のコイル 261a ~ d は、全て並列に接続されている。

軸方向センサコイル 26 は、高周波電流が通電されることによって磁束 28 が発生し、第2軸方向電磁ヨーク 25 を伴って、軸方向変位センサを構成する。

コイル 261a ~ d に高周波電流が流れると各磁極部 236a ~ d および磁極部 256a ~ d が軸方向変位センサの磁極として作用する。つまり各磁極部 236a ~ d および磁極部 256a に磁極が形成される。すると、各磁極部 236a ~ d および磁極部 256a において磁束 28 が発生する。

インダクタンス形の軸方向変位センサは、この磁束 28 の変化量を検出することによってアーマチュア 19 の変位つまりシャフト 7 の軸方向の変位を検出する。

【0031】

本実施の形態では、軸方向センサコイル 26 を溝 235a ~ d および溝 255a ~ d によって4つに区分された部分に配置するようにしている。軸方向センサコイル 26 は、一対のコイルによって磁路を形成することが可能な範囲において、2区分、6区分等、即ち偶数部に区分された磁極部に軸方向センサコイル 26 を配置して変位センサコイルを構成するようにしてもよい。

【0032】

次に、軸方向磁気軸受部 20 の変形例について説明する。

図3は、軸方向磁気軸受部 20 の変形例を示した図である。

なお、上述した図2に示す実施の形態と同一部分（重複する箇所）には、同一の符号を用い詳細な説明を省略する。

第1軸方向電磁ヨーク 23' の外縁部 232' および内縁部 233 に放射方向に延びる4つの溝 237a ~ d を90度間隔に形成する。溝 237a ~ d によって、外縁部 232 および内縁部 233 の先端部は、4つの磁極部 238a ~ d に分割される。

そして、コイル 261a を、磁極部 238a と磁極部 236a の2つの磁極部を軸芯として、つまり磁極部 238a と磁極部 236a に渡ってを巻回す。コイル 261b ~ d もコイル 261a と同様に構成されている。

【0033】

このように、第1軸方向電磁ヨーク 23' の内縁部 233 と外縁部 232' に直接軸方向センサコイル 26 を巻回すことにより、第2軸方向電磁ヨーク 25 を設けることなく軸方向センサコイル 26 を配設することができる。

この場合、軸方向電磁コイル 24 の漏れ磁束の影響を抑制するために、軸方向電磁コイル 24 と軸方向センサコイル 26との間にシールド部材 29 を配置するようとする。

図3に示すように、シールド部材 29 は、円環状のシールド部 291 とシールド部 292 から構成されている。

シールド部 291 は、第1軸方向電磁ヨーク 23' の外縁部 232' に沿うように配置されている。また、シールド部 291 には、溝 237a ~ d に沿うように方形の遮蔽部 291a ~ d がシールド部 291 の内周から中心方向へ延びるように設けられている。

シールド部 292 は、第1軸方向電磁ヨーク 23' の内縁部 233 の内周に沿うように配置されている。

シールド部材 29 としては、例えば、銅などの金属板または金属泊、金属粉等を固化した部材などを用いることが好ましい。

このように、シールド部材 29 を円環状（短絡環状）のシールド部 291 とシールド部 292 を構成することによって、鎖交する磁束（漏れ磁束等）を短絡電流として消費させることができる。

【0034】

従来の軸方向センサは、シャフト 7 の下端付近に配置されていた。

詳しくは、軸方向センサは、シャフト 7 の下端に取り付けられたフェライトなどの磁性体からなるターゲットと、ベース 3 側のターゲットと対向する位置に設けられたのセンサコイルから構成されていた。そして、ターゲットとセンサコイルにおけるインダクタンスの変化を検出することによって、シャフト 7 の軸方向の変位を検出していった。

センサのインダクタンスの変化量とエアギャップの変化量の関係は、非線形であり、エアギャップが小さくなる程、インダクタンスの変化量が急激に増加する特性を有している。

そのため、適正な感度を得るためにには、エアギャップを特定の範囲において、高い精度で調整する必要があった。これを実現させるためには、高精度の部品の使用、調整精度の向上等が要求されるためコストの低減が困難であった。

そこで、本実施形態では、アーマチュア19を挟み込むように、2つのセンサコイルを対向させて配置するようにしている。このように配置したセンサコイルにおいて、従来と同様の差動構成を用いることにより、センサのインダクタンスの変化量とエアギャップの変化量の関係の非線形特性が緩和されて、線形特性に近づく。従って、エアギャップを高精度で調整する必要がなくなるためセンサの位置調整が不要となる。10

【0035】

また、本実施の形態によれば、ロータ軸の変位、具体的にはアーマチュア19の変位の検出を、対象物に近接した位置で行うことができるため、変位センサの検出感度を向上させることができる。

さらに、このように第1軸方向電磁ヨーク23または第2軸方向電磁ヨーク25に軸方向センサコイル26を配置することにより、軸方向電磁石を作用させる磁極を軸方向センサと共に用いることができる。

これにより軸方向センサによる対象物の検出点と、軸方向磁気軸受の電磁石の作用点とを一致させることができると、軸方向磁気軸受装置13の制御精度を向上させることができる。20

【0036】

次に、径方向磁気軸受装置11、12の詳細について説明する。

図4は、本実施の形態に係る径方向磁気軸受装置11、12の断面図を示した図である。なお、径方向磁気軸受装置11および径方向磁気軸受装置12は、同一構造であるため、ここでは、径方向磁気軸受装置11の構造について説明する。

径方向磁気軸受装置11には、4つの制御磁極部31a～dが回転軸線の回りに90度間隔に配設されている。

各制御磁極部31a～dは、シャフト7と同心の円筒状の環状鉄心30の内周壁に設けられた鉄心片32と鉄心片33とが対となつた鉄心対を備えている。環状鉄心30、鉄心片32および鉄心片33は、磁性体の部材によって構成されている。30

磁性体部材としては、例えば、積層珪素鋼板やフェライトなどが用いられている。

【0037】

鉄心片32および鉄心片33は電磁極であり、径方向電磁コイル34が巻回されている。そして、径方向電磁コイル34に通電することによって鉄心片32および鉄心片33は磁化されそれぞれ異なる極性を有する磁極となり、シャフト7を吸引する吸引力を作用させる電磁石の磁極として作用する。

鉄心片32および鉄心片33の先端部には両鉄心片に渡って径方向センサコイル36が巻回されている。そして、径方向センサコイル36に通電することによって鉄心片32および鉄心片33は、シャフト7の変位を検出する径方向変位センサとしても作用する。40

径方向電磁コイル34と径方向センサコイル36との間には、シールド板35が設けられている。

なお、制御磁極部31a～dの詳細については後述する。

【0038】

シャフト7は、制御磁極部31bによってX軸方向の正方向に、制御磁極部31dによってX軸の負方向に吸引し、さらに、制御磁極部31aによってY軸方向の正方向に、制御磁極部31cによってY軸の負方向に吸引されている。

このようにしてシャフト7と制御磁極部31a～dとのギャップ長（隙間距離）が均一となるように電磁石の磁力を制御することによってシャフト7を径方向に非接触状態で支持している。50

なお、シャフト7と制御磁極部31a～dとのギャップ長の変位は、径方向変位センサによって検出する。

【0039】

図5は、制御磁極部31a～dの構成を示した図である。

なお、制御磁極部31a～dは、全て同一構造であるため、ここでは、制御磁極部31aの構造について説明する。

制御磁極部31aは、径方向磁極部43、径方向電磁コイル34、シールド板35、および径方向センサコイル36によって構成されている。

径方向磁極部43には、矩形状の鉄心片32および鉄心片33が、環状鉄心30の内周壁からシャフト7の方向に突出するように、隣接して形成されている。

鉄心片32および鉄心片33は、軸方向に延びた矩形状の磁性体の部材によって形成されている。

【0040】

鉄心片32および鉄心片33には、軸方向の中心部に1本の溝37、38がそれぞれ円周方向に延びる向きに設けられている。

溝37によって鉄心片32は、磁極部39と磁極部40に分割され、同様に、溝38によって鉄心片33は、磁極部41と磁極部42に分割されている。

なお、磁極部39～42の先端部のシャフト7と対向する面を磁極面39a、40a、41a、42aとする。

【0041】

径方向電磁コイル34は、コイル34aおよびコイル34bから構成されている。

コイル34aは、鉄心片32を軸芯として数ターン巻回され、また。コイル34bは、鉄心片33を軸芯として数ターン巻回されている。

なお、コイル34aおよびコイル34bは、並列に接続されている。

このようにして、径方向電磁コイル34は径方向磁極部43に配置されている。

コイル34aおよびコイル34bに通電することによって鉄心片32および鉄心片33は磁化されそれぞれ異なる極性を有する磁極となり、シャフト7を吸引する吸引力を作用させる電磁石の磁極として作用する。

【0042】

シールド板35は、径方向電磁コイル34の漏れ磁束をシールド（遮断）するための電磁遮蔽板である。シールド板35を設けることにより径方向電磁コイル34から発生する磁束が他の部分に及ぼす影響を低減させることができる。

シールド板35は、導体板または導体網などで形成され、磁気軸受装置に設けられた制御回路のグラウンドレベルの電位に接地されている。

シールド板35は、鉄心片32、33を囲むように形成された、縁部に切れ目がない一続きの環状の部材によって構成されている。つまり、外縁部が短絡された部材によって構成されている。

つまりシールド板35は、ショートリング（短絡環）を構成することによって、鎖交する磁束（漏れ磁束等）を短絡電流として消費させることができるようにになっている。

【0043】

シールド板35の内縁は、鉄心片32、33の側面に沿った形状となっている。さらに、シールド板35には、鉄心片32と鉄心片33との隙間に沿うように外縁部から中央方向に延びた方形の遮蔽部35a、35bが設けられている。

このように遮蔽部35a、35bを設けることにより鉄心片32と鉄心片33との間から漏れる磁束を適切に遮蔽することができる。

シールド板35は、例えば銅箔や銅板などによって形成されることが望ましく、強度の高い磁束を遮蔽する場合には、これらの部材を数枚重ねて用いるようにする。

【0044】

径方向センサコイル36は、コイル36aおよびコイル36bから構成されている。

コイル36aは、磁極部39と磁極部41の2つの磁極部を軸芯として、つまり磁極部

10

20

30

40

50

3 9 と磁極部 4 1 に渡って数ターン巻回されている。

コイル 3 6 b は、磁極部 4 0 と磁極部 4 2 の 2 つの磁極部を軸芯として、つまり磁極部 4 0 と磁極部 4 2 に渡って数ターン巻回されている。コイル 3 6 a、3 6 b は、溝 3 7、3 8 に配置されるように巻回されている。

従って、コイル 3 6 a およびコイル 3 6 b の両巻線は、それぞれ共通の溝 3 7、3 8 を用いて各磁極部 3 9 ~ 4 2 の側面に配置されている。

なお、コイル 3 6 a およびコイル 3 6 b は、並列に接続されている。

【 0 0 4 5 】

コイル 3 6 a、3 6 b は、磁極部 3 9 ~ 4 2 の先端部分に配置されている。磁極部 3 9 ~ 4 2 上の径方向センサコイル 3 6 の配置部分と径方向電磁コイル 3 4 の配置部分とは重複しないように配置されている。10

なお、シールド板 3 5 は、径方向センサコイル 3 6 と径方向電磁コイル 3 4 との間に配置されている。

【 0 0 4 6 】

このようにして、径方向センサコイル 3 6 は、シールド板 3 5 を介して径方向電磁コイル 3 4 が配置された径方向磁極部 4 3 に配置されている。

径方向センサコイル 3 6 は、高周波電流が通電されることによって磁束が発生し、磁極部 3 9 ~ 4 2 を伴って、径方向変位センサを構成する。

コイル 3 6 a、3 6 b に高周波電流が流れると各磁極部 3 9 ~ 4 2 が径方向変位センサの磁極として作用する。つまり各磁極部 3 9 ~ 4 2 に磁極が形成される。すると、各磁極部 3 9 ~ 4 2 において磁束が発生する。20

【 0 0 4 7 】

インダクタンス形の径方向変位センサは、この磁束の変化量を検出することによってシャフト 7 の軸方向の変位を検出する。

径方向センサコイル 3 6 に高周波電流が流れることによって、磁極部 3 9 ~ 4 2 の表面上にうず電流が発生し損失が増加してしまう。

このうず電流の発生を抑制するために、磁極部 3 9 ~ 4 2 の磁極面 3 9 a、4 0 a、4 1 a、4 2 a に軸方向に延びる溝（スリット）を、磁極面 3 9 a、4 0 a、4 1 a、4 2 a の軸方向の磁極面に放射方向に延びる溝（スリット）を設けている。30

また、このようなスリット加工を施す代わりに、磁極部 3 9 ~ 4 2 つまり鉄心片 3 2 と鉄心片 3 3 を鉄粉を焼結させて形成された部材を用いるようにしてもよい。

なお、本実施の形態に係る径方向磁気軸受装置 1 1、1 2 の磁極の極性の詳細については、後述する。

【 0 0 4 8 】

本実施の形態によれば、径方向電磁コイル 3 4 と径方向センサコイル 3 6 を溝 3 7、3 8 を用いて鉄心片 3 2、3 3 上に配置することにより、鉄心片 3 2、3 3 を電磁石の磁極と径方向変位センサの磁極と共に用いることができる。つまり、電磁石の磁極を同時に径方向変位センサの磁極として用いることができる。従って、径方向変位センサを専用の磁極を別に設けることなく構成することができる。

【 0 0 4 9 】

本実施の形態では、吸引力をシャフト 7 に作用させるための電磁石の磁極 3 2、3 3 の溝 3 7、3 8 を除く全ての部分を径方向変位センサの磁極と共に用いている。そのため、変位センサに用いられる磁極 3 9 ~ 4 2 の磁極面 3 9 a、4 0 a、4 1 a、4 2 a の面積を十分に確保することができる。40

径方向変位センサに対して、このように広い磁極面を確保することができるため、センサの検出感度を高めることができる。さらに、広い磁極面を確保することにより、磁極 3 9 ~ 4 2 が飽和しにくくなり、径方向変位センサの検出感度の調整範囲を拡大することができる。

【 0 0 5 0 】

また、このように広い磁極面を確保することにより、径方向磁気軸受部に各磁極 3 9 ~ 50

42のばらつき（磁極面積や磁極体積などのばらつき）が存在しても、十分にその誤差を吸収することができる。つまり、これらのばらつきを無視することが可能な程度にまで抑えることができる。

【0051】

さらに、このように広い磁極面を確保することにより、所定のインダクタンスを得るために径方向センサコイル36の巻数を低減させることができる。径方向センサコイル36の巻数を減らすことにより、径方向センサコイル36をシート状のプリント基板、例えばフレキシブル基板に形成することができる。これにより、製造工程の削減を図ることが可能となる。

【0052】

本実施の形態によれば、吸引力をシャフト7に作用させるための電磁石の磁束と径方向変位センサの磁束とが異なる方向に発生するためそれぞれの磁束が干渉しないようにすることができる。

詳しくは、径方向電磁コイル34により発生する磁束は、シャフト7を経由し鉄心片32と鉄心片33の間を流れる。それに対し、径方向センサコイル36は、鉄心片と32と鉄心片33をまたぐように配置されている。径方向センサコイル36には、径方向電磁コイル34により発生する磁束が鎖交しない。そのため、径方向電磁コイル34により発生する磁束がノイズとして径方向センサコイル36に混入する事がない。

つまり、変位センサコイルに入る電磁石の磁束と出る磁束の値がほぼ一致する。従って、電磁石の磁束が径方向変位センサの磁束にほとんど重畠する事がないため、電磁石の磁束の影響を受けることなく径方向変位センサを作用させることができるとなる。

【0053】

また、本実施の形態によれば、径方向センサコイル36を構成するコイル36aおよびコイル36bを並列に接続されている。

ここで、コイル36aとコイル36bの巻き数を共にN、端子電圧をEa、Eb、磁束をda、db、時間をtと仮定すると、 $Ea = Nd_a / dt$ 、 $Eb = Nd_b / dt$ の関係が成り立つ。両コイルは並列接続されているので、 $Ea = Eb$ となる。従って、da = dbとなり、コイル36aとコイル36bの磁束の変化量が等しくなる。このため、コイル36の磁束が他のコイルへ干渉することを抑制することができる。

このように、径方向センサコイル36を構成するコイル36aおよびコイル36bを並列に接続することにより、変位センサの磁束が他に及ぼす影響を低減させることができ、径方向磁気軸受装置11、12の精度を向上させることができる。

【0054】

次に、制御磁極部31a～dの変形例1～3について説明する。

(変形例1)

図6は、制御磁極部31aの変形例1の構成を示した図である。

なお、上述した図5に示す実施の形態と同一部分（重複する箇所）には、同一の符号を用いて詳細な説明を省略する。

制御磁極部31a（変形例1）は、径方向磁極部50、径方向電磁コイル34、シールド板35および径方向センサコイル58によって構成されている。

【0055】

径方向磁極部50は、環状スペーサ57、環状鉄心30を円周方向に2分割した環状鉄心51および環状鉄心52によって構成されている。

環状スペーサ57は、非磁性体の円環状の部材によって形成され、環状鉄心51と環状鉄心52とによって挟持されている。

環状スペーサ57を形成する非磁性体の部材としては、例えば、アルミニウムや強化プラスチックなどが用いられている。

環状鉄心51には、内周壁からシャフト7の方向に突出するように、矩形状の磁極部53および磁極部54が隣接して形成されている。

同様に環状鉄心52には、内周壁からシャフト7の方向に突出するように、矩形状の磁

10

20

30

40

50

極部 5 5 および磁極部 5 6 が隣接して形成されている。

なお、磁極部 5 3 ~ 5 6 の先端部のシャフト 7 と対向する面を磁極面 5 3 a、5 4 a、5 5 a、5 6 a とする。

【0056】

径方向電磁コイル 3 4 は、コイル 3 4 a およびコイル 3 4 b から構成されている。

コイル 3 4 a は、磁極部 5 3 と磁極部 5 5 の 2 つの磁極部を軸芯として、つまり磁極部 5 3 と磁極部 5 5 に渡って数ターン巻回されている。磁極部 5 3 と磁極部 5 5 によってコイル 3 4 a が巻回される電磁極が構成されている。

コイル 3 4 b は、磁極部 5 4 と磁極部 5 6 の 2 つの磁極部を軸芯として、つまり磁極部 5 4 と磁極部 5 6 に渡って数ターン巻回されている。磁極部 5 4 と磁極部 5 6 によってコイル 3 4 b が巻回される電磁極が構成されている。10

なお、コイル 3 4 a およびコイル 3 4 b は、並列に接続されている。

このようにして、径方向電磁コイル 3 4 は径方向磁極部 5 0 に配置されている。

コイル 3 4 a およびコイル 3 4 b に通電することによって磁極部 5 3、5 5 および磁極部 5 4、5 6 は、磁化されそれぞれ異なる極性を有する磁極となり、シャフト 7 を吸引する吸引力を作用させる電磁石の磁極として作用する。10

【0057】

シールド板 3 5 は、導体板または導体網などで形成された電磁遮蔽板であり、図 5 で示した実施の形態で用いたものと同様のシールド板 3 5 によって構成されている。

シールド板 3 5 の内縁は、磁極部 5 3 ~ 5 6 の側面に沿った形状となっている。さらに、シールド板 3 5 には、磁極部 5 3 と磁極部 5 4、磁極部 5 5 と磁極部 5 6 との隙間に沿うように中央方向に伸びた方形の遮蔽部 3 5 a、3 5 b が設けられている。20

このように遮蔽部 3 5 a、3 5 b を設けることにより磁極部 5 3 と磁極部 5 4、磁極部 5 5 と磁極部 5 6 との間から漏れる磁束を適切に遮蔽することができる。

【0058】

径方向センサコイル 5 8 は、コイル 5 8 a、コイル 5 8 b、コイル 5 8 c およびコイル 5 8 d から構成されている。

コイル 5 8 a は、磁極部 5 3 を軸芯として数ターン巻回されている。

同様に、コイル 5 8 b は磁極部 5 5、コイル 5 8 c は磁極部 5 4、コイル 5 8 d は磁極部 5 6 を軸芯として数ターン巻回されている。30

なお、コイル 5 8 a、コイル 5 8 b、コイル 5 8 c およびコイル 5 8 d は、全て並列に接続されている。

コイル 5 8 a、コイル 5 8 b、コイル 5 8 c およびコイル 5 8 d は、磁極部 5 3 ~ 5 6 の先端部分に配置されている。磁極部 5 3 ~ 5 6 上の径方向センサコイル 3 6 の配置部分と径方向電磁コイル 3 4 の配置部分とは重複しないように配置されている。

なお、シールド板 3 5 は、径方向センサコイル 5 8 と径方向電磁コイル 3 4 との間に配置されている。

【0059】

(変形例 2)

図 7 は、制御磁極部 3 1 a の変形例 2 の構成を示した図である。

なお、上述した図 5 に示す実施の形態または変形例 1 と同一部分（重複する箇所）には、同一の符号を用い詳細な説明を省略する。40

制御磁極部 3 1 a (変形例 2) は、径方向磁極部 5 0、径方向センサコイル 5 8、シールド部 6 1、径方向電磁コイル 3 4、およびシールド板 6 2 によって構成されている。

【0060】

径方向磁極部 5 0 は、変形例 1 と同一の構造である。

径方向センサコイル 5 8 は、コイル 5 8 a、コイル 5 8 b、コイル 5 8 c およびコイル 5 8 d から構成されている。コイル 5 8 a は、磁極部 5 3 を軸芯として数ターン巻回されている。

同様に、コイル 5 8 b は磁極部 5 5、コイル 5 8 c は磁極部 5 4、コイル 5 8 d は磁極50

部 5 6 を軸芯として数ターン巻回されている。

このようにして、径方向センサコイル 5 8 は径方向磁極部 5 0 に配置されている。

なお、変形例 2 では、コイル 5 8 a、コイル 5 8 b、コイル 5 8 c およびコイル 5 8 d の配置場所は、磁極部 5 3 ~ 5 6 の先端部に限定されるものではなく、磁極部 5 3 ~ 5 6 の側面の任意の場所に配置するようにしてもよい。例えば、磁極部 5 3 ~ 5 6 の側面の中央部、または側面の全域に渡るように配置するようにしてもよい。

【0061】

シールド部 6 1 は、シールドリング 6 1 a、6 1 b、6 1 c および 6 1 d から構成されている。

シールドリング 6 1 a、6 1 b、6 1 c および 6 1 d は、径方向センサコイル 5 8 から漏れる磁束をシールドするための電磁遮蔽部材であり、帯状のシールド効果の高い金属板（例えば銅板）を加工した部材によって形成されている。なお、帯状のシールドリングの巻きはじめと巻き終わりの端部は、重なり合うようになっているが、電気的には接触していない。

シールドリング 6 1 a は、巻回されたコイル 5 8 a を覆うように磁極部 5 3 の側面に配置されている。

同様に、シールドリング 6 1 b はコイル 5 8 b を覆うように磁極部 5 5 の側面、シールドリング 6 1 c はコイル 5 8 c を覆うように磁極部 5 4 の側面、シールドリング 6 1 d はコイル 5 8 d を覆うように磁極部 5 6 の側面に配置されている。

【0062】

また、シールドリング 6 1 a、6 1 b、6 1 c および 6 1 d は、金属板を加工した部材を用いるようにしているが、金属板の代わりに金属箔（銅箔）を用いるようにしてもよい。

このような金属箔を用いた場合、形状の変形や加工は容易になるが、部材が大変薄いため十分なシールド効果を得るために複数重ねて配置するようとする。

【0063】

径方向電磁コイル 3 4 は、コイル 3 4 a およびコイル 3 4 b から構成されている。

コイル 3 4 a は、磁極部 5 3 と磁極部 5 5 の 2 つの磁極部を軸芯として、つまり磁極部 5 3 と磁極部 5 5 に渡って、シールドリング 6 1 a、6 1 b を介して数ターン巻回されている。磁極部 5 3 と磁極部 5 5 によってコイル 3 4 a が巻回される電磁極が構成されている。

コイル 3 4 b は、磁極部 5 4 と磁極部 5 6 の 2 つの磁極部を軸芯として、つまり磁極部 5 4 と磁極部 5 6 に渡って、シールドリング 6 1 c、6 1 d を介して数ターン巻回されている。磁極部 5 4 と磁極部 5 6 によってコイル 3 4 b が巻回される電磁極が構成されている。

なお、コイル 3 4 a およびコイル 3 4 b は、並列に接続されている。

【0064】

このようにして、径方向電磁コイル 3 4 は、径方向センサコイル 5 8 およびシールド部 6 1 を介して径方向磁極部 5 0 に配置されている。

径方向電磁コイル 3 4 と径方向センサコイル 5 8との間にシールド部 6 1 を介することにより、径方向電磁コイル 3 4 と径方向センサコイル 5 8 の両コイルを磁極部 5 3 ~ 5 6 の先端部に配置することが可能になる。これにより、径方向磁気軸受装置 1 1、1 2 の制御精度を向上させることができる。

また、径方向電磁コイル 3 4 と径方向センサコイル 5 8との間にシールド部 6 1 を介することにより、径方向電磁コイル 3 4 と径方向センサコイル 5 8 の両コイルの配置位置が制限されることがない、つまり、両コイルを任意の位置に配置することができるため、設計の自由度を向上させることができる。

コイル 3 4 a およびコイル 3 4 b に通電することによって磁極部 5 3、5 5 および磁極部 5 4、5 6 は、磁化されそれぞれ異なる極性を有する磁極となり、シャフト 7 を吸引する吸引力を作成させる電磁石の磁極として作用する。

10

20

30

40

50

【0065】

シールド板62は、導体板または導体網などで形成された電磁遮蔽板であり、磁気軸受装置に設けられた制御回路のグラウンドレベルの電位に接地されている。

シールド板62は、磁極部53～56を囲むように形成された、縁部に切れ目がない一続きの環状の部材によって構成されている。外縁部が短絡された部材によって構成されている。つまり、シールド板62の内縁は、磁極部53～56の側面に沿った形状となっている。

即ち、シールド板62によってショートリング（短絡環）を構成することにより、鎖交する磁束（漏れ磁束等）を短絡電流として消費させることができるようにになっている。

【0066】

10 このようにシールド板62を磁極部53～56の先端部に配置することにより、漏れ磁束がシャフト7に及ぼす影響を低減させることができる。

シールド板62は、例えば銅箔や銅板などによって形成されることが望ましく、強度の高い磁束を遮蔽する場合には、これらの部材を数枚重ねて用いるようにする。

【0067】

(変形例3)

図8は、制御磁極部31aの変形例3の構成を示した図である。

なお、上述した図5に示す実施の形態または変形例1、2と同一部分（重複する箇所）には、同一の符号を用い詳細な説明を省略する。

制御磁極部31a（変形例3）は、径方向磁極部70、径方向電磁コイル34、シールド板72径方向およびセンサコイル36によって構成されている。 20

【0068】

径方向磁極部70は、環状スペーサ57、環状鉄心30を円周方向に2分割した環状鉄心51および環状鉄心52、磁性部材71、72によって構成されている。

環状スペーサ57は、非磁性体の円環状の部材によって形成され、環状鉄心51と環状鉄心52とによって挟持されている。

環状鉄心51には、内周壁からシャフト7の方向に突出するように、矩形状の磁極部53および磁極部54が隣接して形成されている。

同様に環状鉄心52には、内周壁からシャフト7の方向に突出するように、矩形状の磁極部55および磁極部56が隣接して形成されている。 30

【0069】

磁性部材71は、磁性体の矩形状の部材によって形成され、磁極部53と磁極部55とによって挟持されている。

同様に、磁性部材72は、磁性体の矩形状の部材によって形成され、磁極部54と磁極部56とによって挟持されている。

磁性部材71、72は、例えば、積層珪素鋼板やフェライトなどで形成されている。

なお、磁極部53～56の先端部のシャフト7と対向する面を磁極面53a、54a、55a、56aとする。

【0070】

径方向電磁コイル34は、コイル34aおよびコイル34bから構成されている。

コイル34aは、磁極部53と磁極部55の2つの磁極部を軸芯として、つまり磁極部53と磁極部55に渡って数ターン巻回されている。磁極部53と磁極部55によってコイル34aが巻回される電磁極が構成されている。

コイル34bは、磁極部54と磁極部56の2つの磁極部を軸芯として、つまり磁極部54と磁極部56に渡って数ターン巻回されている。磁極部54と磁極部56によってコイル34bが巻回される電磁極が構成されている。

なお、コイル34aおよびコイル34bは、並列に接続されている。

このようにして、径方向電磁コイル34は径方向磁極部70に配置されている。

コイル34aおよびコイル34bに通電することによって磁極部53、55および磁極部54、56は、磁化されそれぞれ異なる極性を有する磁極となり、シャフト7を吸引す 50

る吸引力を作用させる電磁石の磁極として作用する。

【0071】

シールド板72は、径方向電磁コイル34の漏れ磁束をシールド(遮断)するための電磁遮蔽板である。シールド板72を設けることにより径方向電磁コイル34から発生する磁束が他の部分に及ぼす影響を低減させることができる。

シールド板35は、導体板または導体網などで形成され、磁気軸受装置に設けられた制御回路のグラウンドレベルの電位に接地されている。

シールド板72は、磁極部53～56を囲むように形成された、縁部に切れ目がない一続きの環状の部材によって構成されている。

つまりシールド板72は、ショートリング(短絡環)を構成することによって、鎖交する磁束(漏れ磁束等)を短絡電流として消費させることができるようにになっている。 10

【0072】

シールド板72の内縁は、磁極部53～56の側面に沿った形状となっている。さらに、シールド板72には、磁極部53と磁極部55との隙間、および磁極部54と磁極部56との隙間に沿うように中央方向に延びた方形の遮蔽部72a、72bが設けられている。

このように遮蔽部72a、72bを設けることにより磁極部53と磁極部55との隙間、および磁極部54と磁極部56との隙間から漏れる磁束を適切に遮蔽することができる。

シールド板72は、例えば銅箔や銅板などによって形成されることが望ましく、強度の高い磁束を遮蔽する場合には、これらの部材を数枚重ねて用いるようにする。 20

【0073】

径方向センサコイル36は、コイル36aおよびコイル36bから構成されている。

コイル36aは、磁極部53と磁極部54の2つの磁極部を軸芯として、つまり磁極部53と磁極部54に渡って数ターン巻回されている。

コイル36bは、磁極部55と磁極部56の2つの磁極部を軸芯として、つまり磁極部55と磁極部56に渡って数ターン巻回されている。

なお、コイル36aおよびコイル36bは、並列に接続されている。

【0074】

コイル36a、36bは、磁極部53～56の先端部分に配置されている。磁極部53～56上の径方向センサコイル36の配置部分と径方向電磁コイル34の配置部分とは重複しないように配置されている。 30

なお、シールド板72は、径方向センサコイル36と径方向電磁コイル34との間に配置されている。

【0075】

このようにして、径方向センサコイル36は、シールド板72を介して径方向電磁コイル34が配置された径方向磁極部70に配置されている。

径方向センサコイル36は、高周波電流が通電されることによって磁束が発生し、磁極部53～56を伴って、径方向変位センサを構成する。

コイル36a、36bに高周波電流が流れると各磁極部53～56が径方向変位センサの磁極として作用する。つまり各磁極部53～56に磁極が形成される。すると、各磁極部53～56において磁束が発生する。 40

インダクタンス形の径方向変位センサは、この磁束の変化量を検出することによってシャフト7の軸方向の変位を検出する。

【0076】

このような径方向磁気軸受部の変形例1、変形例2および変形例3によれば、制御磁極部31aを構成する4つの磁極部を、磁極に溝を設けることなく単純な形状の部材によって構成することができため、製造コストを低減させることができる。

特に、径方向磁気軸受装置では、珪素鋼板などによって磁極を構成することが多い。この珪素鋼板は、とても薄い部材であるため形状の加工時にバリや変形を起こしやすいが、 50

このような単純な形状の磁極部によって磁極を構成することによりこのような不具合の発生を抑制することができる。

【0077】

次に、本実施の形態に係る径方向磁気軸受装置11、12、および変形例1～3に示す径方向磁気軸受装置11、12の制御磁極部31a～dにおける磁極の極性について説明する。

図9は、図4に示すA-A'部において径方向磁気軸受装置11、12を展開した場合の各磁極の極性の状態を示した図である。なお、径方向磁気軸受装置11、12は、対象構造となっているため、ここでは、径方向磁気軸受装置11、12の半分について説明する。

10

【0078】

図9には、各磁極の先端部における磁極性のみを簡易的に示し、電磁石の極性については、上下段とも同一の極性を有しているため吸気口5の方向から見た展開図のみを示す。

また、変位センサの極性については、シャフト7の方向から見た展開図を記載している。なお、図5に示す本実施の形態を変形例1～3と区別するために「代表形態」と示す。

図9では、径方向磁気軸受部の吸気口5側に設けられている磁極を上段、排気口6側に設けられている磁極を下段と表現する。

【0079】

図9(a)は、本実施の形態に係る径方向磁気軸受装置11、12、および変形例3に示した径方向磁気軸受装置11、12における径方向磁気軸受部(以下「代表形態と変形例3」と示す)の各磁極の極性の状態を示した図である。

20

図9(b)は、変形例1および変形例2に示した径方向磁気軸受装置11、12における径方向磁気軸受部(以下「変形例1および変形例2」と示す)の各磁極の極性の状態を示した図である。

また、変位センサは、高周波電流によって駆動されているため、磁極は一定ではなく常に変化、つまり極性が入れ替わっている。そのため、図中では、ある時点における状態を示している。

【0080】

図9(a)、(b)に示すように、本実施の形態に係る径方向磁気軸受装置11、12、および変形例1～3に示した径方向磁気軸受装置11、12の制御磁極部31a～dにおいては、電磁石は共通の磁極性の特性を有し、磁束の発生する向きつまり電磁石の磁路93および磁路94の形成される向きも同一となっている。

30

【0081】

一方、径方向変位センサの磁極特性は、図9(a)と(b)とで異なる特性を有し、磁束の発生する向きつまり磁路の形成される向きもことなっている。

図9(a)に示すように、代表形態と変形例3における径方向変位センサは、各段における磁極性が同一になるようにコイルが巻回されている。そして、上段と下段は、常に異なる磁極性を有し、変位センサの磁束は、上下方向に隣接する磁極間に径方向変位センサの磁路95～98が形成されるように発生するようになっている。

なお、変形例3においては、磁極間に介在している磁性部材71、72を介して磁路95～98が形成されるようになっている。

40

図9(b)に示すように、変形例1と変形例2における変位センサは、上下方向に隣接する磁極の極性が、常に異なるようにコイルが巻回されている。そして、変位センサの磁束は、同一段上の隣接する磁極間に磁路99～102が形成されるように発生するようになっている。

【0082】

上述した変形例1および変形例2においては、径方向センサコイル58をコイル58a、58b、58c、58dによって構成し、これらの4つのコイルを並列に接続するようにしている。しかし、これらの4つのコイルを全て並列に接続するのではなく、コイル58aと58bを直列に接続したものと、コイル58cと58dを直列に接続したものと、

50

を並列に接続するようにしてもよい。

このように4つのコイルを直並列に接続することにより、所定のインダクタンス値を得るために必要な各コイルの巻き数を、全て並列に接続した場合の巻き数の4分の1にすることができる。

【図面の簡単な説明】

【0083】

【図1】本実施の形態に係る磁気軸受装置を用いた分子ポンプの構成を示した図である。

【図2】軸方向磁気軸受装置を構成する軸方向磁気軸受部の構成を示した図である。

【図3】軸方向磁気軸受部の変形例を示した図である。

【図4】本実施の形態に係る径方向磁気軸受装置の断面を示した図である。 10

【図5】制御磁極部の構成を示した図である。

【図6】制御磁極部の変形例の構成を示した図である(変形例1)。

【図7】制御磁極部の変形例の構成を示した図である(変形例2)。

【図8】制御磁極部の変形例の構成を示した図である(変形例3)。

【図9】図4に示すA-A'部において径方向磁気軸受装置を展開した場合の各磁極の極性の状態を示した図である。

【符号の説明】

【0084】

1 分子ポンプ

2 ケーシング

3 ベース

4 ロータ部

5 吸気口

6 排気口

7 シャフト

8 ロータ翼

9 円筒部材

10 モータ部

11 径方向磁気軸受装置

12 径方向磁気軸受装置

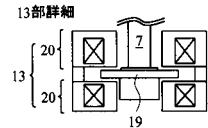
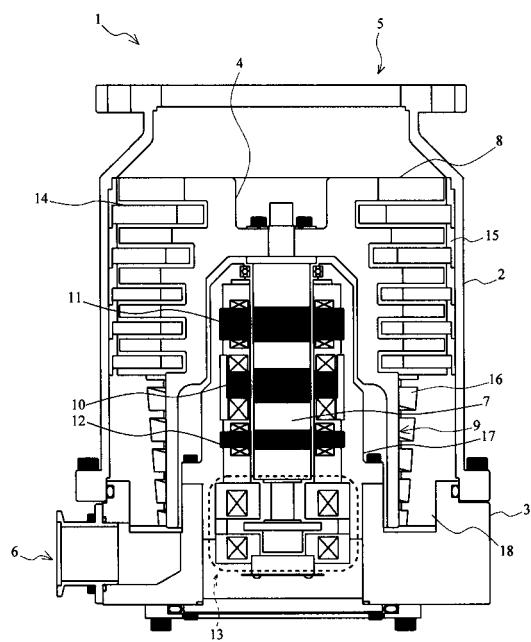
13 軸方向磁気軸受装置

10

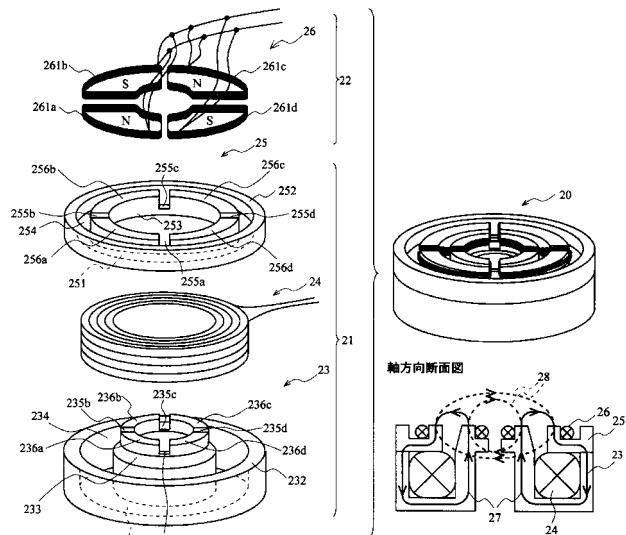
20

30

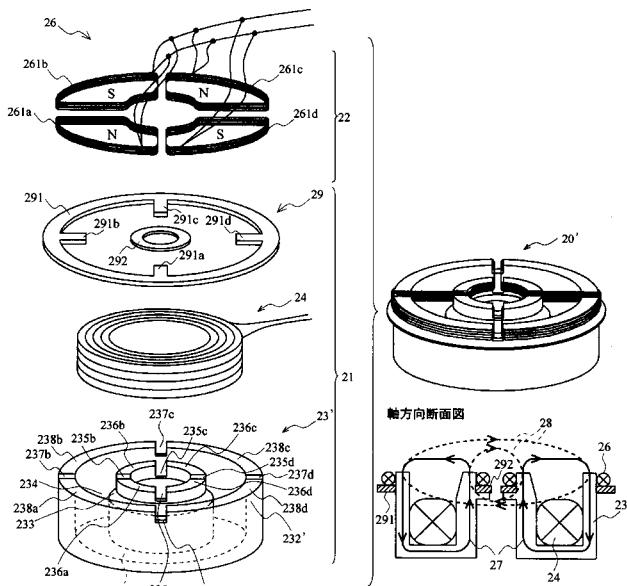
【図1】



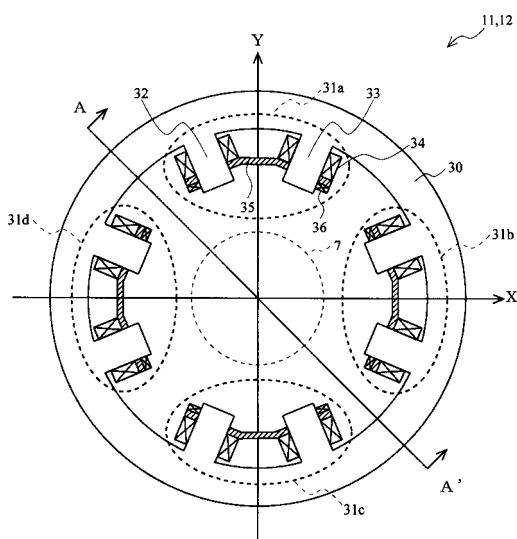
【図2】



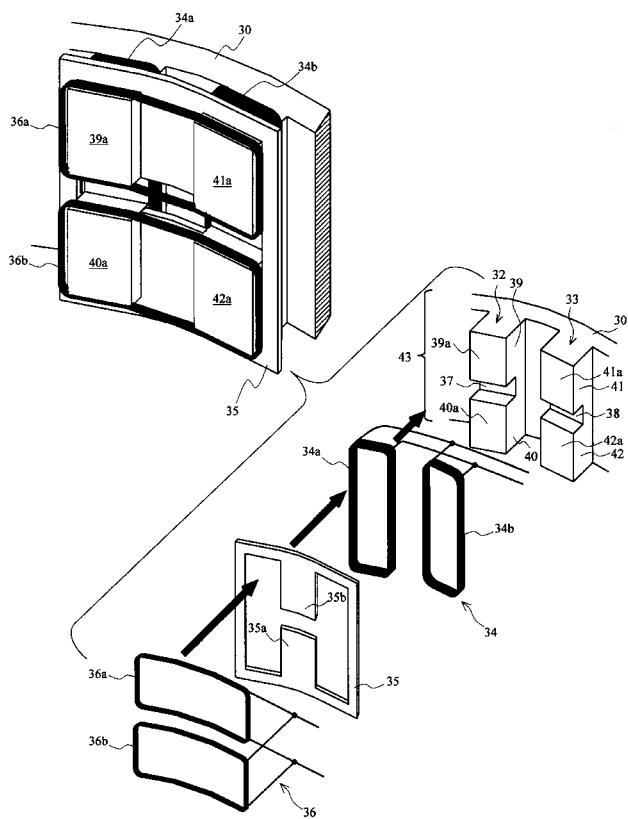
【図3】



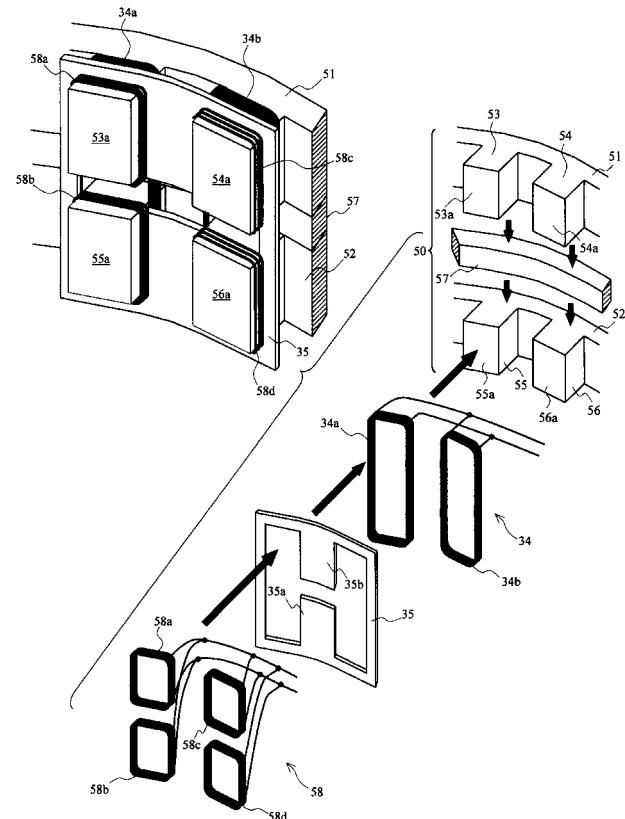
【図4】



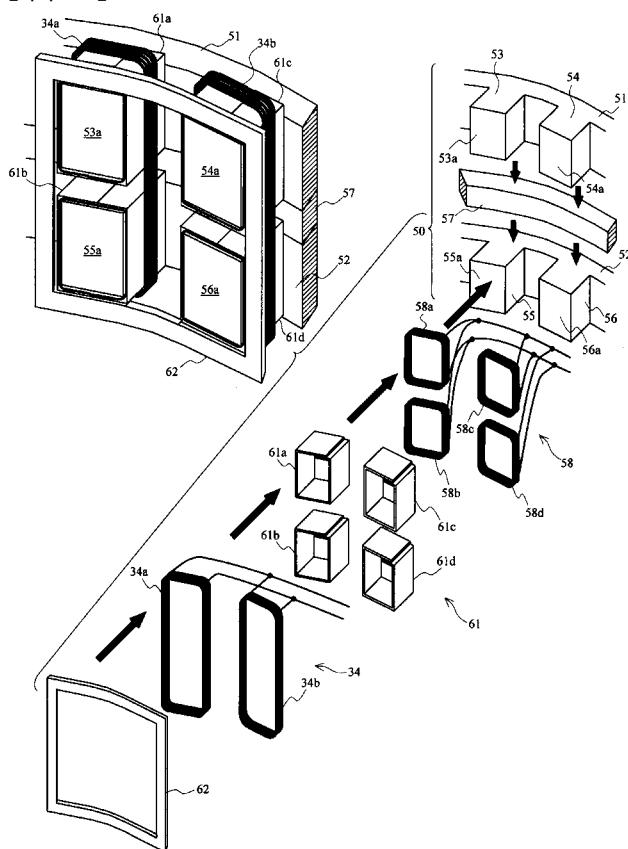
【図5】



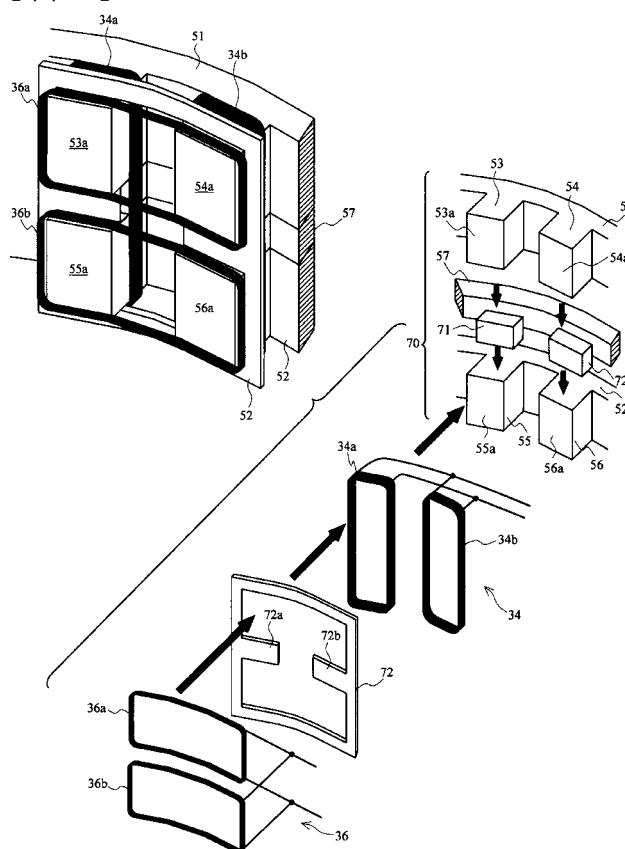
【図6】



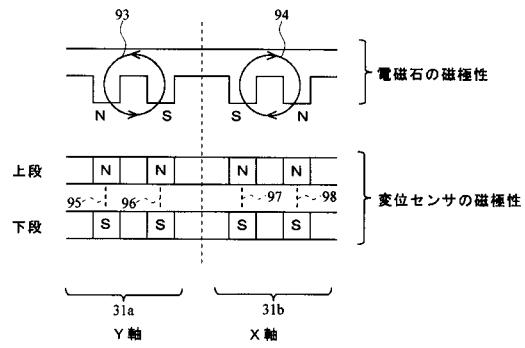
【図7】



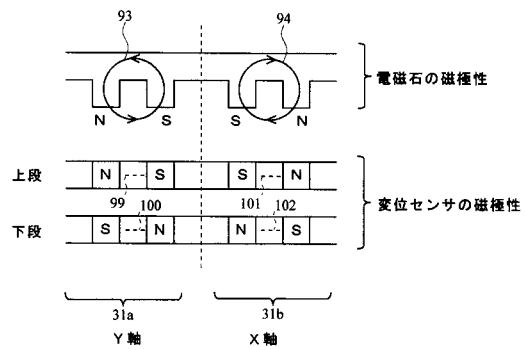
【図8】



【図9】



(a) 代表形態、変形例3



(b) 変形例1、変形例2