

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7176021号
(P7176021)

(45)発行日 令和4年11月21日(2022.11.21)

(24)登録日 令和4年11月11日(2022.11.11)

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 F 1/26 (2006.01)

H 0 1 F 1/26

H 0 1 F 27/255 (2006.01)

H 0 1 F 27/255

B 2 2 F 1/00 (2022.01)

B 2 2 F 1/00 Y

B 2 2 F 3/00 (2021.01)

B 2 2 F 3/00 B

C 2 2 C 38/00 (2006.01)

C 2 2 C 38/00 3 0 3 S

請求項の数 9 (全47頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2021-15701(P2021-15701)
 (22)出願日 令和3年2月3日(2021.2.3)
 (62)分割の表示 特願2018-49900(P2018-49900)の
 分割
 原出願日 平成30年3月16日(2018.3.16)
 (65)公開番号 特開2021-100119(P2021-100119
 A)
 (43)公開日 令和3年7月1日(2021.7.1)
 審査請求日 令和3年2月3日(2021.2.3)

(73)特許権者 000003078
 株式会社東芝
 東京都港区芝浦一丁目1番1号
 (74)代理人 100119035
 弁理士 池上 徹真
 (74)代理人 100141036
 弁理士 須藤 章
 (74)代理人 100178984
 弁理士 高下 雅弘
 (72)発明者 木内 宏彰
 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会
 社東芝内
 (72)発明者 末綱 倫浩
 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会
 社東芝内
 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 圧粉材料及び回転電機

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

扁平面と、Fe、Co及びNiからなる群から選ばれる少なくとも1つの第1の元素を含む磁性金属相と、を有し、平均厚さは10nm以上100μm以下であり、厚さに対する前記扁平面内の平均長さの比の平均値は5以上10000以下である複数の扁平磁性金属粒子と、

前記扁平磁性金属粒子間に存在し、酸素(O)、炭素(C)、窒素(N)及びフッ素(F)からなる群から選ばれる少なくとも1つの第2の元素を含む介在相と、
 を備える圧粉材料であり、

前記圧粉材料において、前記扁平面が、前記圧粉材料が有する平面に対して平行に配向し、前記平面内において、方向による保磁力差の割合が1%以上であり、

前記介在相が、180℃で3000時間加熱後の重量減少率が5%以下の樹脂を含む、圧粉材料。

【請求項2】

扁平面と、Fe、Co及びNiからなる群から選ばれる少なくとも1つの第1の元素を含む磁性金属相と、を有し、平均厚さは10nm以上100μm以下であり、厚さに対する前記扁平面内の平均長さの比の平均値は5以上10000以下である複数の扁平磁性金属粒子と、

前記扁平磁性金属粒子間に存在し、酸素(O)、炭素(C)、窒素(N)及びフッ素(F)からなる群から選ばれる少なくとも1つの第2の元素を含む介在相と、

10

20

を備える圧粉材料であり、

前記圧粉材料において、前記扁平面が、前記圧粉材料が有する平面に対して平行に配向し、前記平面内において、方向による保磁力差の割合が1%以上であり、

前記圧粉材料は、樹脂を含み、

前記圧粉材料が、180℃で3000時間加熱後の重量減少率が5%以下となる、
圧粉材料。

【請求項3】

扁平面と、Fe、Co及びNiからなる群から選ばれる少なくとも1つの第1の元素を含む磁性金属相と、を有し、平均厚さは10nm以上100μm以下であり、厚さに対する前記扁平面内の平均長さの比の平均値は5以上10000以下である複数の扁平磁性金属粒子と、

10

前記扁平磁性金属粒子間に存在し、酸素(O)、炭素(C)、窒素(N)及びフッ素(F)からなる群から選ばれる少なくとも1つの第2の元素を含む介在相と、

を備える圧粉材料であり、

前記圧粉材料において、前記扁平面が、前記圧粉材料が有する平面に対して平行に配向し、前記平面内において、方向による保磁力差の割合が1%以上であり、

前記介在相が、180℃以上のガラス転移温度を有する樹脂を含む、
圧粉材料。

【請求項4】

扁平面と、Fe、Co及びNiからなる群から選ばれる少なくとも1つの第1の元素を含む磁性金属相と、を有し、平均厚さは10nm以上100μm以下であり、厚さに対する前記扁平面内の平均長さの比の平均値は5以上10000以下である複数の扁平磁性金属粒子と、

20

前記扁平磁性金属粒子間に存在し、酸素(O)、炭素(C)、窒素(N)及びフッ素(F)からなる群から選ばれる少なくとも1つの第2の元素を含む介在相と、

を備える圧粉材料であり、

前記圧粉材料において、前記扁平面が、前記圧粉材料が有する平面に対して平行に配向し、前記平面内において、方向による保磁力差の割合が1%以上であり、

前記介在相が、熱分解温度までガラス転移点を有しない樹脂を含む、
圧粉材料。

30

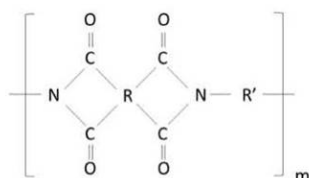
【請求項5】

前記樹脂が、ポリイミド樹脂である請求項1乃至請求項4いずれか一項記載の圧粉材料。

【請求項6】

前記ポリイミド樹脂は、下記化学式(1)で表される繰り返し単位を含む請求項5記載の圧粉材料。

【化1】



40

(1)

〔化学式(1)中、R=ビフェニル、トリフェニル、テトラフェニルのいずれかの構造。
R'は構造内に少なくとも1つ以上の芳香環を有する構造。〕

【請求項7】

前記扁平面内の最小長さに対する最大長さの比が1以上で2より小さい請求項1乃至請求項6いずれか一項記載の圧粉材料。

【請求項8】

前記扁平面内の最小長さに対する最大長さの比が2以上である請求項1乃至請求項6い

50

いずれか一項記載の圧粉材料。

【請求項 9】

請求項 1 乃至請求項 8 いずれか一項記載の圧粉材料を備える回転電機。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施の形態は、複数の扁平磁性金属粒子、圧粉材料及び回転電機に関する。

【背景技術】

【0002】

現在、軟磁性材料は、回転電機（例えば、モータ、発電機など）、変圧器、インダクタ、トランス、磁性インク、アンテナ装置等の様々なシステム、デバイスの部品に適用されており非常に重要な材料である。これらの部品においては、軟磁性材料の有する透磁率実部（比透磁率実部） μ' を利用するため、実際に使用する場合は、利用周波数帯域に合わせて μ' を制御することが好ましい。また、高効率のシステムを実現するためには、出来るだけ低損失の材料にすることが好ましい。つまり、透磁率虚部（比透磁率虚部） μ'' （損失に相当）を出来るだけ小さくすることが好ましい。損失に関しては、損失係数 $\tan \delta$ （ $= \mu'' / \mu' \times 100$ （%））が一つの目安となり、 μ' に対して μ'' が小さければ小さい程損失係数 $\tan \delta$ が小さくなり好ましい。そのためには、実際の動作条件においての鉄損を小さくすることが好ましく、すなわち、渦電流損失、ヒステリシス損失、強磁性共鳴損失、残留損失（その他の損失）を出来る限り小さくすることが好ましい。渦電流損失を小さくするためには電気抵抗を大きくしたり、金属部のサイズを小さくしたり、磁区構造を細分化したりする事が有効である。ヒステリシス損失を小さくするためには、保磁力を小さくしたり、飽和磁化を大きくしたりする事が有効である。強磁性共鳴損失を小さくするためには、材料の異方性磁界を大きくする事によって強磁性共鳴周波数を高周波化する事が有効である。また、近年ではハイパワーの電力を扱う需要が高まっているため、特に、高電流、高電圧等、材料に印加される実効的な磁界が大きい動作条件下で損失が小さい事が求められる。そのためには磁気飽和を起こさないように軟磁性材料の飽和磁化は出来るだけ大きい方が好ましい。更には、近年では、高周波化によって機器の小型化が可能のため、システム、デバイス機器の利用周波数帯域の高周波数帯化が進んでおり、高周波で高い透磁率と低い損失を備え、特性に優れた磁性材料の開発が急務となっている。

【0003】

また、近年、省エネ問題、環境問題に対する意識の高まりから、システムの効率を出来るだけ高める事が求められている。特に、モータシステムは、世の中の電力消費の多くを担っているため、モータの高効率化は非常に重要である。この中でモータを構成するコア等は軟磁性材料で構成され、軟磁性材料の透磁率や飽和磁化を出来るだけ大きくする事や、損失を出来るだけ小さくする事が求められている。また、モータの一部に使われている磁性楔（磁性くさび）においては損失を出来るだけ小さくする事が求められている。尚、トランスを用いたシステムにおいても同様の事が要求される。モータやトランスなどにおいては、高効率化とともに小型化への要求も大きい。小型化を実現するためには、軟磁性材料の透磁率、飽和磁化を出来るだけ大きくする事が重要である。また、磁気飽和を防ぐためにも飽和磁化を出来るだけ大きくする事が重要である。更にはシステムの動作周波数を高周波化したい需要も大きく、高周波帯域で低損失の材料の開発が求められている。

【0004】

また、高い透磁率と低い損失を有する軟磁性材料は、インダクタンス素子やアンテナ装置などにも用いられるが、その中でも特に、近年、パワー半導体に用いるパワーインダクタンス素子への応用に関して注目されている。近年、省エネルギー、環境保護の重要性が盛んに唱えられており、CO₂排出量削減や化石燃料への依存度の低減が求められてきた。この結果、ガソリン自動車に代わる電気自動車やハイブリッド自動車の開発が精力的に進められている。また、太陽光発電や風力発電といった自然エネルギーの利用技術が省エネ社会のキー・テクノロジーといわれており、先進各国は自然エネルギーの利用技術の開

10

20

30

40

50

発を積極的に進めている。更に、環境にやさしい省電力システムとして、太陽光発電、風力発電等で発電した電力をスマートグリッドで制御し、家庭内やオフィス、工場に高効率で需給するHEMS (Home Energy Management System)、BEMS (Building and Energy Management System) 構築の重要性が盛んに提唱されている。このような省エネルギー化の流れの中で、重要な役割を担うのがパワー半導体である。パワー半導体は、高い電力やエネルギーを高効率で制御する半導体であり、IGBT (insulated gate bipolar transistor)、MOSFET、パワー・バイポーラ・トランジスタ、パワー・ダイオードなどのパワー個別半導体に加え、リニア・レギュレータ、スイッチング・レギュレータなどの電源回路、更にはこれらを制御するためのパワー・マネジメント用ロジックLSIなどが含まれる。パワー半導体は、家電、コンピュータ、自動車、鉄道などあらゆる機器に幅広く使われており、これら応用機器の普及拡大、更にこれらの機器へのパワー半導体の搭載比率拡大が期待出来るため、今後のパワー半導体は大きな市場成長が予想されている。例えば、多くの家電に搭載されているインバータには、ほとんどといって良いほどパワー半導体が使われており、これによって大幅な省エネが可能になる。パワー半導体は、現在、Siが主流であるが、更なる高効率化や機器の小型化のためには、SiC、GaNの利用が有効であると考えられている。SiCやGaNはSiよりも、バンドギャップや絶縁破壊電界が大きく、耐圧を高く出来るため素子を薄く出来る。そのため、半導体のオン抵抗を下げることが出来、低損失化・高効率化に有効である。また、SiCやGaNはキャリア移動度が高いため、スイッチング周波数を高周波化することが可能となり、素子の小型化に有効となる。更には、特にSiCではSiよりも熱伝導率が高いため放熱能力が高く高温動作が可能となり、冷却機構を簡素化が出来小型化に有効となる。以上の観点から、SiC、GaNパワー半導体の開発が精力的に行われている。しかし、その実現のためには、パワー半導体とともに使用されるパワーインダクタ素子の開発、すなわち、高透磁率軟磁性材料（高い透磁率と低い損失）の開発が不可欠である。この時、磁性材料に求められる特性としては、駆動周波数帯域での高い透磁率、低い磁気損失は勿論のこと、大電流に対応出来る高い飽和磁化が好ましい。飽和磁化が高い場合、高い磁場を印加しても磁気飽和を起こしにくく、実効的なインダクタンス値の低下が抑制出来る。これによって、デバイスの直流重畳特性が向上し、システムの効率が向上する。

【0005】

また、高周波で高い透磁率と低い損失を有する磁性材料は、アンテナ装置等の高周波通信機器のデバイスへの応用も期待される。アンテナの小型化、省電力化の方法として、高透磁率（高い透磁率と低い損失）の絶縁基板をアンテナ基板として、アンテナから通信機器内の電子部品や基板へ到達する電波を巻き込んで電子部品や基板へ電波を到達させずに送受信を行う方法がある。これによって、アンテナの小型化と省電力化が可能となるが、同時に、アンテナの共振周波数を広帯域化することも可能となり好ましい。

【0006】

尚、上記各々のシステム、デバイス、に組み込んだ際に求められるその他の特性としては、高い熱的安定性、高強度、高靱性、等も挙げられる。また、複雑な形状に適用するためには、板やリボンの形状よりも圧粉体の方が好ましい。しかしながら一般に圧粉体になると、飽和磁化、透磁率、損失、強度、靱性などの点で特性が劣化する事が知られており、特性の向上が好ましい。

【0007】

次に既存の軟磁性材料について、その種類と問題点について説明する。

【0008】

10kHz以下のシステム用の既存の軟磁性材料としては、珪素鋼板 (FeSi) が挙げられる。珪素鋼板は歴史が古く、大電力を扱う回転電機、トランスのコア材料のほとんどに採用されている材料である。無方向珪素鋼板から方向性珪素鋼板へと高特性化が図られ、発見当初に比べると進化はしているが、近年では特性改善は頭打ちになってきている。特性としては、高飽和磁化、高透磁率、低損失を同時に満たす事が特に重要である。世の

中では、珪素鋼板を超える材料の研究がアモルファス系、ナノクリスタル系の組成を中心に盛んに行われてはいるが、すべての面で珪素鋼板を超える材料組成はいまだ見付かっていない。また複雑な形状に適用可能な圧粉体の研究も行われているが、圧粉体においては板やリボンと比べて、特性が悪いという欠点を有している。

【0009】

10kHz～100kHzのシステム用の既存の軟磁性材料としては、センダスト（Fe-Si-Al）、ナノクリスタル系ファインメット（Fe-Si-B-Cu-Nb）、Fe基若しくはCo基アモルファス・ガラスのリボン・圧粉体、若しくはMnZn系フェライト材料が挙げられる。しかしながら、いずれも高透磁率、低損失、高飽和磁化、高い熱的安定性、高強度、高靱性、を完全に満たしてはならず不十分である。

10

【0010】

100kHz以上（MHz帯域以上）の既存の軟磁性材料としては、NiZn系フェライト、六方晶フェライト等が挙げられるが、高周波での磁気特性が不十分である。

【0011】

以上の事から、高飽和磁化、高透磁率、低損失、高い熱的安定性、優れた機械特性を有する磁性材料の開発が好ましい。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0012】

【文献】特開2013-65844号公報

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

本発明が解決しようとする課題は、優れた磁気特性を有する複数の扁平磁性金属粒子、及びこれを用いた圧粉材料、回転電機を提供する事にある。

【課題を解決するための手段】

【0014】

実施の形態の複数の扁平磁性金属粒子は、扁平面と、Fe、Co及びNiからなる群から選ばれる少なくとも1つの第1の元素を含む磁性金属相と、を有し、平均厚さは10nm以上100μm以下であり、厚さに対する扁平面内の平均長さの比の平均値が5以上10000以下であり、扁平面内において方向による保磁力差を有する複数の扁平磁性金属粒子である。

30

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】第1の実施の形態の扁平磁性金属粒子において、扁平面内の最大長さ、最小長さの求め方を説明するための概念図である。

【図2】第1の実施の形態の扁平磁性金属粒子において、扁平面内の最大長さ、最小長さの求め方を説明するための概念図である。

【図3】第1の実施の形態の扁平磁性金属粒子において、扁平面内の最大長さ、最小長さの求め方を説明するための概念図である。

40

【図4】第1の実施の形態の扁平磁性金属粒子において、扁平面内の360度の角度に対して、22.5度おきに方向を変えて保磁力を測定した際の方向を示す図である。

【図5】第1の実施の形態の扁平磁性金属粒子の模式図である。

【図6】第1の実施の形態の扁平磁性金属粒子の一例を示す模式図である。

【図7】第1の実施の形態の扁平磁性金属粒子の走査型電子顕微鏡写真である。

【図8】第1の実施の形態の扁平磁性金属粒子の顕微鏡写真から、扁平面内の最小長さに対する最大長さの比を具体的に求めた例を示したものである。

【図9】第1の実施の形態の扁平磁性金属粒子の模式図である。

【図10】第1の実施の形態の扁平磁性金属粒子の模式図である。

【図11】第1の実施の形態において、扁平磁性金属粒子の磁化容易軸の望ましい方向を

50

表した模式図である。

【図 1 2】第 1 の実施の形態において、扁平磁性金属粒子の磁化容易軸の望ましい方向を表した模式図である。

【図 1 3】第 1 の実施の形態において、付着金属を含んだ扁平磁性金属粒子の模式図である。

【図 1 4】第 1 の実施の形態の扁平磁性金属粒子の走査型電子顕微鏡写真である。

【図 1 5】第 1 の実施の形態の扁平磁性金属粒子の走査型電子顕微鏡写真である。

【図 1 6】第 1 の実施の形態の、磁性金属小粒子を有する扁平磁性金属粒子の模式図である。

【図 1 7】第 2 の実施の形態の扁平磁性金属粒子の模式図である。

10

【図 1 8】第 3 の実施の形態の圧粉材料の模式図である。

【図 1 9】第 3 の実施の形態において、扁平磁性金属粒子の扁平面に平行な面と、圧粉材料が有する平面とのなす角度を表した図である。

【図 2 0】第 3 の実施の形態の圧粉材料の平面内において、平面内の 3 6 0 度の角度に対して、2 2 . 5 度おきに方向を変えて保磁力を測定した際の方角を示す図である。

【図 2 1】第 3 の実施の形態の圧粉材料の扁平面内において、保磁力が最小となる方向の磁化曲線と、保磁力が最大となる方向の磁化曲線の例を示した図である。

【図 2 2】第 3 の実施の形態の圧粉材料の平面内において、方向による保磁力差の例を示す図である。

【図 2 3】第 3 の実施形態の圧粉材料において、扁平磁性金属粒子の最大長さ方向と任意の基準線のなす角を説明するための模式図である。

20

【図 2 4】第 3 の実施の形態において、近似的な第 1 方向の求め方を表した模式図である。

【図 2 5】第 3 の実施の形態において、近似的な第 1 方向の配列方向の例（配列割合の例）を表した模式図である。

【図 2 6】第 3 の実施の形態において、近似的な第 1 方向の配列方向の走査型電子顕微鏡写真の例である。

【図 2 7】第 3 の実施の形態において、近似的な第 1 方向と磁化容易軸の望ましい方向を表した模式図である。

【図 2 8】第 3 の実施の形態において、介在相の配置を表した模式図である。

【図 2 9】第 3 の実施の形態において、介在相を含んだ扁平磁性金属粒子の走査型電子顕微鏡写真である。

30

【図 3 0】第 4 の実施の形態のモータシステムの概念図例である。

【図 3 1】第 4 の実施の形態のモータの模式図である。

【図 3 2】第 4 の実施の形態のモータコアの模式図である。

【図 3 3】第 4 の実施の形態のモータコアの模式図である。

【図 3 4】第 4 の実施の形態の変圧器・トランスの模式図である。

【図 3 5】第 4 の実施の形態のインダクタの模式図である。

【図 3 6】第 4 の実施の形態のインダクタの模式図である。

【図 3 7】第 4 の実施の形態の発電機の模式図である。

【図 3 8】磁束の方向と圧粉材料の配置方向の関係を示す概念図である。

40

【発明を実施するための形態】

【0 0 1 6】

以下、図面を用いて実施の形態を説明する。尚、図面中、同一又は類似の箇所には、同一又は類似の符号を付している。

【0 0 1 7】

（第 1 の実施の形態）

本実施形態の複数の扁平磁性金属粒子は、扁平面と、Fe、Co 及び Ni からなる群から選ばれる少なくとも 1 つの第 1 の元素を含む磁性金属相と、を有し、平均厚さは 1 0 n m 以上 1 0 0 μ m 以下であり、厚さに対する扁平面内の平均長さの比の平均値が 5 以上 1 0 0 0 0 以下であり、扁平面内において方向による保磁力差を有する複数の扁平磁性金属

50

粒子である。

【0018】

扁平磁性金属粒子は、扁平状 (flaky、flattened) の形状 (flaky shape、flattened shape) をした、扁平粒子 (flaky particle、flattened particle) である。

【0019】

厚さとは、1つの扁平磁性金属粒子における平均的な厚さのことをいう。厚さを求める方法としては、1つの扁平磁性金属粒子における平均的な厚さを求める事が出来る方法であれば、その方法は問わない。例えば、扁平磁性金属粒子の扁平面に垂直な断面を透過電子顕微鏡 (TEM: Transmission Electron Microscopy) 又は走査電子顕微鏡 (SEM: Scanning Electron Microscopy) 又は光学顕微鏡などで観察し、観察した扁平磁性金属粒子の断面において、扁平面内の方向に任意の10箇所以上を選び、選んだ各箇所における厚さを測定し、その平均値を採用する方法を用いても良い。また、観察した扁平磁性金属粒子の断面において、扁平面内の方向で、端部から別の端部に向かって等間隔に10箇所以上を選び (この時、端部および別の端部は特殊な場所であるため選ばない方が好ましい)、選んだ各箇所における厚さを測定し、その平均値を採用する方法を用いても良い (図1に、この場合の厚さの求め方を具体的に示す)。いずれにおいても、できるだけ多くの箇所を測定することが平均的な情報を取得できるため、好ましい。なお、断面の輪郭線が凹凸の激しい、もしくは表面の荒れた輪郭線を有し、そのままの状態では平均的な厚さを求める事が難しい場合、輪郭線を平均的な直線もしくは曲線で、状況に応じて適宜、平滑化した上で、上記の方法を行うことが好ましい。

【0020】

また、平均厚さとは、複数の扁平磁性金属粒子における厚さの平均値のことを言い、上述の単なる「厚さ」とは区別される。平均厚さを求める際は、20個以上の扁平磁性金属粒子に対して平均した値を採用する事が好ましい。また、できるだけ多くの扁平磁性金属粒子を対象として求めることが平均的な情報を取得できるため、好ましい。また、20個以上の扁平磁性金属粒子を観察する事が出来ない場合は、出来る限り多くの扁平磁性金属粒子を観察し、それらに対して平均した値を採用する事が好ましい。扁平磁性金属粒子の平均厚さは、10nm以上100μm以下が好ましい。より好ましくは10nm以上1μm以下、更に好ましくは10nm以上100nm以下である。また、扁平磁性金属粒子は、厚さ10nm以上100μm以下、より好ましくは10nm以上1μm以下、更に好ましくは10nm以上100nm以下のものを含むことが好ましい。これによって扁平面に平行な方向に磁界が印加された際に、渦電流損失を十分に小さく出来て好ましい。また、厚さが小さい方が、磁気モーメントが扁平面に平行な方向に閉じ込められ、回転磁化で磁化が進行しやすくなり好ましい。回転磁化で磁化が進行する場合は、磁化が可逆的に進行しやすいため、保磁力が小さくなり、これによってヒステリシス損失が低減出来好ましい。

【0021】

扁平磁性金属粒子の平均長さは、扁平面内の最大長さa、最小長さbを用いて、 $(a + b) / 2$ で定義される。最大長さa及び最小長さbに関しては、次のようにして求める事ができる。例えば、扁平面に外接する長方形の中で最も面積の小さな長方形を考える。そして、その長方形の長辺の長さを最大長さa、短辺の長さを最小長さbとする。図2は、いくつかの扁平磁性金属粒子を例として、前記方法で求めた最大長さaと最小長さbを示した模式図である。最大長さa及び最小長さbは、平均厚さ同様、扁平磁性金属粒子をTEM又はSEM又は光学顕微鏡などで観察することにより求める事ができる。また、計算機上で顕微鏡写真の画像解析を行い、最大長さa及び最小長さbを求めることも可能である。いずれにおいても、20個以上の扁平磁性金属粒子を対象として求めることが好ましい。また、できるだけ多くの扁平磁性金属粒子を対象として求めることが平均的な情報を取得できるため、好ましい。また、20個以上の扁平磁性金属粒子を観察する事が出来ない場合は、出来る限り多くの扁平磁性金属粒子を観察し、それらに対して平均した値を採用

する事が好ましい。また、この際出来るだけ平均的な値として求める事が好ましいため、扁平磁性金属粒子を均一に分散した状態で（最大長さ、最小長さが異なる複数の扁平磁性金属粒子が出来るだけランダムに分散した状態で）、観察もしくは画像解析を行うことが好ましい。たとえば、複数の扁平磁性金属粒子を十分にかき混ぜた状態で、テープの上に貼り付けたり、または、複数の扁平磁性金属粒子を上から落下させて下に落としてテープの上に貼り付けたり、する事によって観察もしくは画像解析を行う事が好ましい。

【0022】

ただし、扁平磁性金属粒子によっては、上記の方法で最大長さ a 、最小長さ b を求めた場合、本質を捉えていない求め方になる場合もある。例えば、図3の様な場合においては、扁平磁性金属粒子が細長く湾曲した状態になっているが、この場合は、本質的には、扁平磁性金属粒子の最大長さ、最小長さは図3に示した a 、 b の長さである。このように、最大長さ a 、 b の求め方としては完全に一義的に決められる訳ではなく、基本的には「扁平面に外接する長方形の中で最も面積の小さな長方形を考えて、その長方形の長辺の長さを最大長さ a 、短辺の長さを最小長さ b とする」方法で問題ないが、粒子の形状に応じて、この方法では本質を捉えない場合は、臨機応変に、本質を捉える最大長さ a 、最小長さ b として求める。厚さ t は、扁平面に垂直方向の長さで定義される。厚さに対する扁平面内の平均長さの比 A は、最大長さ a 、最小長さ b 、厚さ t を用いて、 $A = ((a + b) / 2) / t$ で定義される。

扁平磁性金属粒子の厚さに対する扁平面内の平均長さの比の平均値は、5以上10000以下が好ましい。これによって透磁率が大きくなるためである。また、強磁性共鳴周波数を高く出来るため、強磁性共鳴損失を小さく出来るためである。

厚さに対する扁平面内の平均長さの比は、平均値を採用する。好ましくは、20個以上の扁平磁性金属粒子に対して平均した値を採用する事が好ましい。また、できるだけ多くの扁平磁性金属粒子を対象として求めることが平均的な情報を取得できるため、好ましい。また、20個以上の扁平磁性金属粒子を観察する事が出来ない場合は、出来る限り多くの扁平磁性金属粒子を観察し、それらに対して平均した値を採用する事が好ましい。なお、たとえば、粒子 P_a 、粒子 P_b 、粒子 P_c があり、それぞれの厚さ T_a 、 T_b 、 T_c 、扁平面内の平均長さ L_a 、 L_b 、 L_c という場合に、平均厚さは $(T_a + T_b + T_c) / 3$ で計算され、厚さに対する扁平面内の平均長さの比の平均値は $(L_a / T_a + L_b / T_b + L_c / T_c) / 3$ で計算される。

【0023】

尚、「保磁力差を有する」というのは、扁平面内の360度方向に磁界を印加して保磁力を測定した際に、保磁力が最大になる方向と、保磁力が最小になる方向とが存在する、事を表している。例えば、扁平面内の360度の角度に対して、22.5度おきに方向を変えて保磁力を測定した際に、保磁力差が表れる、すなわち保磁力がより大きくなる角度と、保磁力がより小さくなる角度があらわれる場合、「保磁力差を有する」ものとする。図4に、例として、扁平磁性金属粒子の扁平面内の360度の角度に対して、22.5度おきに方向を変えて保磁力を測定した際の方向を図示する。扁平面内において保磁力差を有する事によって、保磁力差がほとんどない等方性の場合に比べて、最小となる保磁力値が小さくなり好ましい。扁平面内で磁気異方性を有する材料においては、扁平面内の方向によって保磁力に差を有し、磁氣的に等方性の材料に比べて、最小となる保磁力値が小さくなる。これによってヒステリシス損失は低減し、透磁率は向上し、好ましい。

【0024】

尚、保磁力は、振動試料型磁力計（VSM: Vibrating Sample Magnetometer）等を用いて評価できる。保磁力が低い場合は、低磁界ユニットを用いる事によって、0.10e以下の保磁力も測定する事ができる。測定磁界の方向に対して、扁平面内の方向を変えて測定を行う。

【0025】

扁平面内において、方向による保磁力差の割合は大きければ大きいほど好ましく、1%以上であることが好ましい。より好ましくは、保磁力差の割合が10%以上、更に好まし

10

20

30

40

50

くは保磁力差の割合が50%以上、更に好ましくは保磁力差の割合が100%以上である。ここでいう保磁力差の割合とは、扁平面内において、最大となる保磁力 $H_c(\max)$ と最小となる保磁力 $H_c(\min)$ を用いて、 $(H_c(\max) - H_c(\min)) / H_c(\min) \times 100(\%)$ で定義される。

【0026】

扁平面内の最小長さ b に対する最大長さ a の比 a/b は平均して2以上であることが好ましく、更に好ましくは3以上、更に好ましくは5以上、更に好ましくは10以上である。扁平面内の最小長さ b に対する最大長さ a の比 a/b が2以上であるものを含むことが好ましく、更に好ましくは3以上、更に好ましくは5以上、更に好ましくは10以上のものを含むことが好ましい。これによって、磁気的な異方性を付与し易くなり望ましい。磁気的な異方性が付与されると、扁平面内において保磁力差が生まれ、磁気的に等方性の材料に比べ、最小となる保磁力値が小さくなる。これによって、ヒステリシス損失は低減し、透磁率は向上し、好ましい。更に望ましくは、前記扁平磁性金属粒子において、後述する複数の凹部と複数の凸部の一方又は両方の第1方向が最大長さ方向に配列されていることが望ましい。この磁性金属粒子の模式図を図5(a)および(b)に示す。また、扁平磁性金属粒子を圧粉化する場合、扁平磁性金属粒子の a/b が大きいと、個々の扁平磁性金属粒子の扁平面が重なり合う面積（もしくは面積割合）が大きくなり、圧粉体としての強度は高くなり、好ましい。また、最小長さに対する最大長さの比が大きいほうが、磁気モーメントが扁平面に平行な方向に閉じ込められ、回転磁化で磁化が進行しやすくなり好ましい。回転磁化で磁化が進行する場合は、磁化が可逆的に進行しやすいと、保磁力が小さくなり、これによってヒステリシス損失が低減出来好ましい。一方、高強度化の観点からは、扁平面内の最小長さ b に対する最大長さ a の比 a/b は平均して1以上で2より小さい事が好ましく、更に好ましくは、1以上で1.5より小さい事がより好ましい。これによって、粒子の流動性や充填性が向上され望ましい。また、 a/b が大きい場合に比べて、扁平面内に垂直な方向に対しての強度が高くなり、扁平磁性金属粒子の高強度化の観点から好ましい。更に、粒子を圧粉化する際に屈曲して圧粉化されることが少なくなり、粒子への応力が低減されやすい。つまり、歪みが低減され保磁力、ヒステリシス損失が低減されるとともに、応力が低減されるため熱的な安定性や強度や靱性などの機械的特性が向上しやすくなる。この磁性金属粒子の模式図を図5(c)に示す。

【0027】

また、扁平面の輪郭形状の少なくとも一部に角を有するものは好ましく用いられる。例えば、正方形や長方形の様な輪郭形状、言い換えれば、角の角度が略90度であることは望ましい。これらによって、角部で、原子配列の対称性が低下し、電子軌道が拘束されるため、扁平面内に磁気的な異方性を付与し易くなり望ましい。この磁性金属粒子の例を、図6(a)～(d)に示す。特に、図6(b)は扁平面の輪郭形状が五角形の場合、図6(c)は扁平面の輪郭形状が四角形の場合、図6(d)は扁平面の輪郭形状が三角形の場合である。

【0028】

一方、低損失化や高強度化の観点からは、扁平面の輪郭形状は丸みを帯びた曲線によって形成されるほうが望ましい。極端な例としては、円や楕円の様な丸まった輪郭形状をするものの方が望ましい。これらによって、粒子の耐摩耗性が向上され望ましい。また、輪郭形状周辺において応力が集中しにくく、扁平磁性金属粒子の磁気的な歪みが低減され、保磁力が下がり、ヒステリシス損失が低減され望ましい。応力集中が低減されるため熱的な安定性や強度や靱性などの機械的特性も向上しやすくなり望ましい。この磁性金属粒子の模式図を図5(e)および(f)に示す。図6(e)は扁平面の輪郭形状が円の場合、図6(f)は扁平面の輪郭形状が楕円の場合である。

【0029】

図7は、本実施形態の扁平磁性金属粒子の顕微鏡写真の一例である。図7において、扁平磁性粒子は、扁平面内の最小長さに対する最大長さの比が大きく、角張った輪郭形状を有している。

図8は、本実施形態の扁平磁性金属粒子の顕微鏡写真から、扁平面内の最小長さに対する最大長さの比を具体的に求めた例を示したものである。ここでは、最小長さに対する最大長さの比が2以上の場合を例として示してある。右図は、観察した20個以上(57個)の扁平磁性金属粒子に対して、最大長さ、最小長さを求めるために外接する長方形を描画した図である。この図から、扁平面内の最小長さに対する最大長さの比を求めると2.7であった。なお、最小長さに対する最大長さの比が1以上2より小さい場合も、上記と同様の手法で、最小長さに対する最大長さの比を具体的に求めることができる。

【0030】

前記磁性金属相の結晶粒径は、10nm以下である事が好ましい。より好ましくは5nm以下であり、更に好ましくは2nm以下である。なお、結晶粒径は、XRD測定から簡易的に求めることができる。即ち、XRDで磁性金属相に起因するピークのうち最強ピークに関して、回折角度と半値幅からScherrerの式によって求めることができる。Scherrerの式は、 $D = 0.9\lambda / (\beta \cos \theta)$ で表され、ここでDは結晶粒径、 λ は測定X線波長、 β は半値幅、 θ は回折ブラッグ角である。また、結晶粒径は、TEM(Transmission electron microscope、透過型電子顕微鏡)によって多数の磁性金属相を観察しその粒径を平均化する事によっても求めることができる。結晶粒径が小さい場合はXRD測定で求める方が好ましく、結晶粒径が大きい場合はTEM観察で求める方が好ましいが、状況に応じて測定方法を選択するか、若しくは、両方の方法を併用して総合的に判断する事が好ましい。XRD測定若しくはTEM観察によって求められる磁性金属相の結晶粒径は、10nm以下である事が好ましく、より好ましくは5nm以下、更に好ましくは2nm以下である。これによって、たとえば、磁場中で熱処理を施す事によって、磁気的な異方性を付与し易くなり、扁平面内における保磁力差が大きくなり好ましい。また、結晶粒径が小さいという事はアモルファスに近付く事を意味しているため、高結晶性のものに比べて、電気抵抗が高くなり、これによって渦電流損失が低減しやすくなり好ましい。また、高結晶性のものに比べて耐食性、耐酸化性、の点で優れるため好ましい。

【0031】

前記磁性金属相は、B、Si、Al、C、Ti、Zr、Hf、Nb、Ta、Mo、Cr、Cu、W、P、N、Ga、Yからなる群から選ばれる少なくとも1つの添加元素を含む事が好ましい。これによって、非晶質化が進行し、磁気的な異方性を付与し易くなり、扁平面内における保磁力差が大きくなり好ましい。Fe、Co、Niからなる群から選ばれる少なくとも1つの第1の元素の原子半径との差が大きい添加元素が好ましい。また、Fe、Co、Niからなる群から選ばれる少なくとも1つの第1の元素と添加元素との混合エンタルピーが負に大きくなるような添加元素が好ましい。また、第1の元素と添加元素を含めて、合計3種類以上の元素からなる多元系であることが好ましい。また、B、Siなどの半金属の添加元素は、結晶化速度が遅く非晶質化しやすいため、系に混合すると有利である。以上の様な観点から、B、Si、P、Ti、Zr、Hf、Nb、Y、Cu等が好ましく、中でも前記添加元素がB、Si、Zr、Yのいずれか1つを含む事がより好ましい。また、前記添加元素の合計量が、前記第1の元素と前記添加元素の合計量に対していずれも0.001at%以上80at%以下含まれることが好ましい。より好ましくは、5at%以上80at%以下、更に好ましくは、10at%以上40at%以下である。尚、前記添加元素の合計量は多ければ多いほど、非晶質化が進行し、磁気的な異方性を付与し易くなるため好ましいが(すなわち、低損失、高透磁率の観点からは好ましいが)、一方で磁性金属相の割合が少なくなるため、飽和磁化が小さくなる、という点では好ましくない。ただし、用途によっては(例えばモータの磁性くさびなど)、飽和磁化が比較的小さい場合でも十分に使用する事ができ、むしろ低損失、高透磁率に特化した方が好ましい場合もある。尚、モータの磁性くさびとは、コイルを入れるスロット部の蓋の様なもので、通常は非磁性のくさびが使用されるが、磁性のくさびを採用する事によって、磁束密度の疎密が緩和され、高調波損失が低減され、モータ効率が向上する。この時、磁性くさびの飽和磁化は大きい方が好ましいが、比較的小さな飽和磁化(例えば0.5~1T程

10

20

30

40

50

度)であっても、十分な効果を発揮する。よって、用途に応じて、組成及び添加元素量を選定する事が重要である。

【0032】

扁平磁性金属粒子においては、前記第1の元素がFeとCoを含み、Coの量はFeとCoの合計量に対して10at%以上60at%以下である事が好ましく、10原子%以上40原子%以下である事が更に好ましい。これによって磁気異方性が適度に大きく付与されやすく、上記の磁気特性が向上するため好ましい。また、Fe-Co系は高飽和磁化を実現し易いため好ましい。更にFeとCoの組成範囲が上記の範囲に入る事によって、より高い飽和磁化が実現出来好ましい。

【0033】

扁平磁性金属粒子は、Mg、Al、Si、Ca、Zr、Ti、Hf、Zn、Mn、Ba、Sr、Cr、Mo、Ag、Ga、Sc、V、Y、Nb、Pb、Cu、In、Sn、希土類元素からなる群から選ばれる少なくとも1つの非磁性金属を含む事が好ましい。これによって、前記扁平磁性金属粒子の熱的安定性や耐酸化性を高める事が出来る。中でも、Al、Siは、扁平磁性金属粒子の主成分であるFe、Co、Niと固溶し易く、熱的安定性や耐酸化性の向上に寄与するために特に好ましい。

【0034】

扁平磁性金属粒子はFeとCoを含み体心立方構造(bcc)の結晶構造を有する部分を有することが好ましい。これによって磁気異方性が適度に大きく付与されやすく、上記の磁気特性が向上するため好ましい。また、面心立方構造(fcc)の結晶構造を部分的に有する「bccとfccの混相の結晶構造」であっても、磁気異方性が適度に大きく付与されやすく、上述の磁気特性が向上するため好ましい。

【0035】

扁平面は、結晶的に配向している事が好ましい。配向方向としては、(110)面配向、(111)面配向、が好ましいが、より好ましくは(110)面配向である。扁平磁性金属粒子の結晶構造が体心立方構造(bcc)の場合は(110)面配向が好ましく、扁平磁性金属粒子の結晶構造が面心立方構造(fcc)の場合は(111)面配向が好ましい。これによって磁気異方性が適度に大きく付与されやすく、上記の磁気特性が向上するため好ましい。

【0036】

また、更に好ましい配向方向としては、(110)[111]方向、(111)[110]方向が好ましいが、より好ましくは(110)[111]方向である。扁平磁性金属粒子の結晶構造が体心立方構造(bcc)の場合は(110)[111]方向への配向が好ましく、扁平磁性金属粒子の結晶構造が面心立方構造(fcc)の場合は(111)[110]方向への配向が好ましい。これによって磁気異方性が適度に大きく付与されやすく、上記の磁気特性が向上するため好ましい。尚本明細書において、「(110)[111]方向」とは、すべり面が(110)面又はそれに結晶学的に等価な面すなわち{110}面であり、すべり方向が[111]方向又はそれに結晶学的に等価な方向すなわち<111>方向をいう。(111)[110]方向に関しても同様である。すなわち、すべり面が(111)面又はそれに結晶学的に等価な面すなわち{111}面であり、すべり方向が[110]方向又はそれに結晶学的に等価な方向すなわち<110>方向をいう。

【0037】

扁平磁性金属粒子の格子歪みは、0.01%以上10%以下が好ましく、より好ましくは0.01%以上5%以下、更に好ましくは0.01%以上1%以下、更に好ましくは0.01%以上0.5%以下にすることが好ましい。これによって、磁気異方性が適度に大きく付与されやすく、上記の磁気特性が向上するため好ましい。

【0038】

尚、格子歪みは、X線回折法(XRD:X-Ray Diffraction)で得られる線幅を詳細に解析する事によって算出出来る。即ち、Halder-Wagnerプロット、Hall-Williamsonプロットを行う事によって、線幅の広がり

10

20

30

40

50

与分を、結晶粒径と格子歪みに分離する事が出来る。これによって格子歪みを算出する事が出来る。Halder-Wagnerプロットの方が信頼性の観点から好ましい。Halder-Wagnerプロットに関しては、例えば、N. C. Halder、C. N. J. Wagner、Acta Cryst. 20 (1966) 312-313.等を参照されたい。ここで、Halder-Wagnerプロットは、以下の式で表される。

【数1】

(β : 積分幅、K : 定数、 λ : 波長、D : 結晶粒径、 $\sqrt{\varepsilon^2}$: 格子歪み (二乗平均平方根))

$$\frac{\beta^2}{\tan^2 \theta} = \frac{K\lambda}{D} \frac{\beta}{\tan \theta \sin \theta} + 16\varepsilon^2, \quad \varepsilon = \varepsilon_{\max} = \frac{\sqrt{2}\pi}{2} \sqrt{\varepsilon^2} \quad 10$$

【0039】

つまり、縦軸に $\beta^2 / \tan^2 \theta$ 、横軸に $\beta / \tan \theta \sin \theta$ を取ってプロットし、その近似直線の傾きから結晶粒径Dを算出、また縦軸切片から格子歪み ε を算出する。上記式のHalder-Wagnerプロットによる格子歪み(格子歪み(二乗平均平方根))が0.01%以上10%以下、より好ましくは0.01%以上5%以下、更に好ましくは0.01%以上1%以下、更に好ましくは0.01%以上0.5%以下であると、磁気異方性が適度に大きく付与されやすく、上記の磁気特性が向上するため好ましい。

20

【0040】

上記の格子歪み解析はXRDでのピークが複数検出出来る場合には有効な手法であるが、一方でXRDでのピーク強度が弱く検出出来るピークが少ない場合(例えば1つしか検出されない場合)は解析が困難である。このような場合は、次の手順で格子歪みを算出する事が好ましい。まず、高周波誘導結合プラズマ(ICP: Inductively Coupled Plasma)発光分析、エネルギー分散型X線分光法(EDX: Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)などで組成を求め、磁性金属元素Fe、Co、Ni、3つの組成比を算出する(2つの磁性金属元素しかない場合は、2つの組成比。1つの磁性金属元素しかない場合は、1つの組成比(=100%))。次に、Fe-Co-Niの組成から理想的な格子面間隔 d_0 を算出する(文献値などを参照。場合によっては、その組成の合金を作製し、格子面間隔を測定によって算出する)。その後、測定した試料のピークの格子面間隔 d と理想的な格子面間隔 d_0 との差を求める事によって歪み量を求めることが出来る。つまりこの場合は、歪み量としては、 $(d - d_0) / d_0 \times 100$ (%)、として算出される。以上、格子歪みの解析は、ピーク強度の状態に応じて上記の2つの手法を使い分け、また場合によっては両方を併用しながら評価するのが好ましい。

30

【0041】

扁平面内における格子面間隔は、方向によって差を有し、最大格子面間隔 $d_{\max}$ と最小格子面間隔 $d_{\min}$ の差の割合(= $(d_{\max} - d_{\min}) / d_{\min} \times 100$ (%))が、0.01%以上10%以下が好ましく、より好ましくは0.01%以上5%以下、更に好ましくは0.01%以上1%以下、更に好ましくは0.01%以上0.5%以下にすることが好ましい。これによって、磁気異方性が適度に大きく付与されやすく、上記の磁気特性が向上するため好ましい。尚、格子面間隔はXRD測定によって簡単に求める事が出来る。このXRD測定を面内で向きを変えながら測定を行う事によって、方向による格子定数の差を求める事が出来る。

40

【0042】

扁平磁性金属粒子の結晶子は、扁平面内で一方向に数珠繋ぎになっているか、若しくは、結晶子が棒状であり且つ扁平面内で一方向に配向しているかどうかである事が好ましい。これによって磁気異方性が適度に大きく付与されやすく、上記の磁気特性が向上するため好ましい。

50

【0043】

扁平磁性金属粒子の扁平面は、第1方向に配列し、幅 $0.1\mu\text{m}$ 以上、長さ $1\mu\text{m}$ 以上でアスペクト比が2以上の複数の凹部と複数の凸部の一方又は両方を有する事が好ましい。これによって、前記第1方向に磁気異方性が誘起され易くなり、扁平面内において、方向による保磁力差が大きくなり好ましい。この観点においては、更に好ましくは、幅 $1\mu\text{m}$ 以上、長さ $10\mu\text{m}$ 以上が好ましい。アスペクト比は5以上が好ましく、更に好ましくは10以上が好ましい。また、このような凹部又は凸部を備える事によって、扁平磁性金属粒子を圧粉化して圧粉材料を合成する際の扁平磁性金属粒子同士の密着性が向上し（凹部又は凸部が粒子同士をくっつけるアンカーリングの効果をもたらす）、これによって、強度、硬度などの機械的特性や熱的安定性が向上するため好ましい。

10

【0044】

図9及び図10は、本実施形態の扁平磁性金属粒子の模式図である。図9は、本実施形態の扁平磁性金属粒子の斜視模式図である。なお、図9の上の図においては凹部のみ、図9の中央の図においては凸部のみが設けられているが、図9の下図の様に、一つの扁平磁性金属粒子が凹部と凸部の両方を有していても良い。図10は、本実施形態の扁平磁性金属粒子を上方から見た場合の模式図である。凹部又は凸部の幅と長さ及び凹部又は凸部間の距離を示す。尚、凹部又は凸部のアスペクト比とは、長軸の長さ／短軸の長さであり、図10では、（凹部又は凸部の長さ）／（凹部又は凸部の幅）、である。つまり、幅よりも長さのほう大きい（長い）場合、アスペクト比は長さ／幅で定義され、長さよりも幅のほう大きい（長い）場合、アスペクト比は幅／長さで定義される。アスペクト比が大きいほうが、磁気的に一軸異方性（異方性）を有しやすくなり、より好ましい。図9においては、凹部2a、凸部2b、扁平面6、扁平磁性金属粒子10が示されている。

20

【0045】

また、「第1方向に配列」とは、凹部又は凸部の長さ及び幅のうち長いほうが第1方向に平行に配列していることをいう。なお、凹部又は凸部の長さ及び幅のうち長いほうが、第1方向に平行な方向から ± 30 度以内に配列されていれば、「第1方向に配列している」ものとする。これらによって、扁平磁性金属粒子が、形状磁気異方性の効果によって、第1方向に磁気的に一軸異方性を有しやすくなり好ましい。なお、扁平磁性金属粒子は扁平面内において一方向に磁気異方性を有する事が好ましいが、これについて詳しく説明する。まず、扁平磁性金属粒子の磁区構造が多磁区構造の場合は、磁化過程は磁壁移動で進行するが、この場合扁平面内の容易軸方向の方が困難軸方向よりも保磁力が小さくなり、損失（ヒステリシス損失）が小さくなる。また容易軸方向の方が困難軸方向よりも透磁率が大きくなる。尚、等方的な扁平磁性金属粒子の場合と比べると、磁気異方性を有する扁平磁性金属粒子の場合の方が、特に容易軸方向において保磁力が小さくなり、これによって損失が小さくなり好ましい。また透磁率も大きくなり好ましい。つまり、扁平面内方向で磁気異方性を有する事によって、等方的な材料と比べて磁気特性が向上する。特に、扁平面内の容易軸方向の方が困難軸方向よりも磁気特性が優れ、好ましい。次に、扁平磁性金属粒子の磁区構造が単磁区構造の場合は、磁化過程は回転磁化で進行するが、この場合は、扁平面内の困難軸方向の方が容易軸方向よりも保磁力が小さくなり、損失が小さくなる。完全に回転磁化で磁化が進行する場合は保磁力がゼロになり、ヒステリシス損失がゼロとなり好ましい。尚、磁化が磁壁移動で進行するか（磁壁移動型）それとも回転磁化で進行するか（回転磁化型）は、磁区構造が多磁区構造になるかそれとも単磁区構造になるか、によって決定される。この時、多磁区構造になるか単磁区構造にあるかは、扁平磁性金属粒子のサイズ（厚さやアスペクト比）、組成、粒子同士の相互作用の状況、等によって決定される。例えば、扁平磁性金属粒子の厚さ t は小さい程単磁区構造になりやすく、厚さが 10nm 以上 $1\mu\text{m}$ 以下の時、特に 10nm 以上 100nm 以下の時に単磁区構造になりやすい。組成としては、結晶磁気異方性が大きい組成においては厚さが大きくても単磁区構造を維持し易く、結晶磁気異方性が小さい組成においては厚さが小さくても単磁区構造を維持し難い傾向にある。つまり、単磁区構造になるか多磁区構造になるかの境目の厚さは組成によっても変わる。また扁平磁性金属粒子同士が磁気的に結合して磁区構

30

40

50

造が安定化した方が単磁区構造になりやすい。尚、磁化挙動が磁壁移動型か、それとも、回転磁化型かの判断は、次の様に簡単に判別する事が出来る。まず、材料面内（扁平磁性金属粒子の扁平面と平行な面）において、磁界を加える向きを変えて磁化測定を行い、磁化曲線の違いが最も大きくなる2つの方向（この時2つの方向は互いに90度傾いた方向）を探し出す。次に、その2つの方向の曲線を比較する事によって磁壁移動型か回転磁化型かを判別する事が出来る。

【0046】

以上の様に、扁平磁性金属粒子は扁平面内において一方向に磁気異方性を有する事が好ましいが、より好ましくは、扁平磁性金属粒子が、第1方向に配列し、幅0.1 μm 以上で長さ1 μm 以上でアスペクト比が2以上の複数の凹部と複数の凸部の一方又は両方を有する事によって、前記第1方向に磁気異方性が誘起され易くなり、より好ましい。この観点においては、更に、幅1 μm 以上、長さ10 μm 以上が好ましい。アスペクト比は5以上が好ましく、更には10以上が好ましい。また、このような凹部又は凸部を備える事によって、扁平磁性金属粒子を圧粉化して圧粉材料を合成する際の扁平磁性金属粒子同士の密着性が向上し（凹部又は凸部が粒子同士をくっつけるアンカーリングの効果をもたらす）、これによって、強度、硬度などの機械的特性や熱的安定性が向上するため好ましい。

【0047】

また、前記扁平磁性金属粒子において、磁化容易軸方向に、最も多くの複数の凹部と複数の凸部の一方又は両方の第1方向が配列されていることが好ましい。つまり、扁平磁性金属粒子の扁平面内において、多数の配列方向（＝第1方向）が存在した場合、多数の配列方向（＝第1方向）の中で最も数が多い配列方向（＝第1方向）が、扁平磁性金属粒子の容易軸方向に一致する事が好ましい。凹部又は凸部が配列している長さ方向すなわち第1方向は、形状磁気異方性の効果によって、磁化容易軸になりやすいため、この方向を磁化容易軸として揃える方が、磁気異方性が付与され易くなり、好ましい。参考のために、図11及び図12に、扁平磁性金属粒子の磁化容易軸の望ましい方向を表した模式図を示す。

【0048】

複数の凹部と複数の凸部の一方又は両方は、1つの扁平磁性金属粒子の中に平均して5個以上含まれる事が望ましい。ここで、凹部が5個以上含まれていても良いし、凸部が5個以上含まれていてもよいし、凹部の個数と凸部の個数の和が5個以上であっても良い。なお、更に好ましくは10個以上含まれることが望ましい。また、各々の凹部又は凸部間の幅方向の平均距離が0.1 μm 以上100 μm 以下である事が望ましい。更には、Fe、Co及びNiからなる群から選ばれる少なくとも1つの前記第1の元素を含み、平均大きさが1 nm以上1 μm 以下である複数の付着金属が、凹部又は凸部に沿って配列している事が望ましい。なお付着金属の平均大きさの求め方は、TEM又はSEM又は光学顕微鏡などによる観察に基づいて、凹部又は凸部に沿って配列している複数の付着金属の大きさを平均する事によって算出する。これらの条件を満たすと、一方向に磁気異方性が誘起され易く好ましい。また、扁平磁性金属粒子を圧粉化して圧粉材料を合成する際の扁平磁性金属粒子同士の密着性が向上し（凹部又は凸部が粒子同士をくっつけるアンカーリングの効果をもたらす）、これによって、強度、硬度などの機械的特性や熱的安定性が向上するため好ましい。参考のために、図13に、付着金属を含んだ扁平磁性金属粒子の模式図を示す。図13においては付着金属8が示されている。また、図14及び図15に、第1の実施の形態の扁平磁性金属粒子の走査型電子顕微鏡写真の例を示す。

【0049】

扁平磁性金属粒子は、扁平面上に平均して5個以上の複数の磁性金属小粒子をさらに備える事が望ましい。図16は、磁性金属小粒子を有する扁平磁性金属粒子の模式図である。磁性金属小粒子は、Fe、Co及びNiからなる群から選ばれる少なくとも1つの第1の元素を含み、平均粒径は10 nm以上1 μm 以下である。より好ましくは、磁性金属小粒子は、扁平磁性金属粒子と同等の組成を有する。磁性金属小粒子が扁平面の表面に設けられる、又は扁平磁性金属粒子に磁性金属小粒子が一体化されることによって、扁平磁性

10

20

30

40

50

金属粒子の表面が擬似的にやや荒らされた状態になり、これによって、扁平磁性金属粒子を後述する介在相とともに圧粉化する際の密着性が大きく向上する。これによって、熱的な安定性や強度や靱性などの機械的特性が向上しやすくなる。この様な効果を最大限に発揮するためには、磁性金属小粒子の平均粒径を10 nm以上1 μm以下にして、平均して5個以上の磁性金属小粒子を扁平磁性金属粒子の表面、すなわち扁平面に一体化させる事が望ましい。尚、磁性金属小粒子が扁平面内の一方向に配列させると、扁平面内で磁気的な異方性が付与されやすく、高透磁率と低損失を実現しやすいため、より好ましい。磁性金属小粒子の平均粒径は、TEM又はSEM又は光学顕微鏡などで観察することにより求める。

【0050】

扁平磁性金属粒子の粒度分布ばらつきは、変動係数（CV値）で定義出来る。すなわち、 $CV値(\%) = [粒度分布の標準偏差(\mu m) / 平均粒径(\mu m)] \times 100$ である。CV値が小さいほど、粒度分布ばらつきが小さくシャープな粒度分布になるといえる。上記定義のCV値が0.1%以上60%以下であると、低保磁力、低ヒステリシス損失、高透磁率、高熱的安定性、を実現出来好ましい。また、ばらつきが少ないため、高い歩留りも実現しやすい。より好ましいCV値の範囲は0.1%以上40%以下である。

【0051】

扁平磁性金属粒子の平均厚さは10 nm以上100 μm以下が好ましく、更に好ましくは、1 μm以上100 μm以下である。また、厚さに対する扁平面内の平均長さの比の平均値は5以上10000以下が好ましく、更に好ましくは10以上1000以下である。また、厚さに対する扁平面内の平均長さの比が5以上10000以下のものを含むことが好ましく、更に好ましくは10以上1000以下のものを含むことが好ましい。厚さが薄く、アスペクト比が大きいと、渦電流損失を低減し易いという観点からは好ましいが、一方で、保磁力がやや大きくなる傾向にある。そのため、保磁力を低減するという観点からは、適度な厚さ、適度な厚さに対する扁平面内の平均長さの比を有する事が好ましい。上述の範囲の厚さ、厚さに対する扁平面内の平均長さの比においては、渦電流損失と保磁力の点でバランスの良い材料となる。

【0052】

扁平磁性金属粒子の扁平面内において、方向による保磁力差を付与する1つの有効な方法は、磁場中で熱処理を施す方法である。扁平面内の一方向に磁場を印加しながら熱処理する事が望ましい。磁場中熱処理を行う前に、扁平面内の容易軸方向を探しておく（保磁力が最も小さい方向を探しておく）、その方向に磁場を印加しながら熱処理を行う事が望ましい。印加する磁場は大きければ大きい程好ましいが、1 kOe以上印加する事が好ましく、更に好ましくは10 kOe以上印加する事がより好ましい。これによって扁平磁性金属粒子の扁平面内に磁気異方性を発現させる事ができ、また、方向による保磁力差を付与する事ができ、優れた磁気特性を実現出来るため、好ましい。熱処理は50℃以上800℃以下の温度で行う事が好ましい。尚、熱処理の雰囲気は、低酸素濃度の真空雰囲気下、不活性雰囲気下、還元性雰囲気下が望ましく、更に望ましくは、H₂（水素）、CO（一酸化炭素）、CH₄（メタン）等の還元雰囲気下が好ましい。この理由としては、扁平磁性金属粒子が酸化していても還元雰囲気中で熱処理を施す事によって、酸化してしまった金属を還元して、金属に戻す事が可能となるためである。これによって、酸化し飽和磁化が減少した扁平磁性金属粒子を還元して、飽和磁化を回復させる事も出来る。尚、熱処理によって、扁平磁性金属粒子の結晶化が著しく進行してしまうと特性が劣化（保磁力が増加、透磁率が低下）してしまうため、過剰な結晶化を抑制するように条件を選定することが好ましい。

【0053】

また、扁平磁性金属粒子を合成する際に、ロール急冷法等によってリボンを合成し、このリボンを粉砕する事によって扁平磁性金属粒子を得る場合は、リボン合成時に、複数の凹部と複数の凸部の一方又は両方が第1方向に配列されやすく（ロールの回転方向に凹部、凸部が付きやすい）、これによって、扁平面内において、方向による保磁力差を有し易

10

20

30

40

50

くなり好ましい。すなわち、扁平面内の複数の凹部と複数の凸部の一方又は両方が第1方向に配列した方向が磁化容易軸方向になりやすくなり、扁平面内において、方向による保磁力差が効果的に付与され好ましい。

【0054】

本実施形態によれば、低い磁気損失等の優れた磁気特性を有する扁平磁性金属粒子の提供が可能になる。

【0055】

(第2の実施形態)

本実施形態の扁平磁性金属粒子は、扁平磁性金属粒子の表面の少なくとも一部が、厚さ0.1nm以上1μm以下で、酸素(O)、炭素(C)、窒素(N)及びフッ素(F)からなる群から選ばれる少なくとも1つの第2の元素を含む被覆層で覆われている点で、第1の実施形態と異なっている。

【0056】

なお、第1の実施の形態と重複する内容の記載は省略する。

【0057】

図17は、本実施形態の扁平磁性金属粒子の模式図である。被覆層9が示されている。

【0058】

被覆層は、Mg、Al、Si、Ca、Zr、Ti、Hf、Zn、Mn、Ba、Sr、Cr、Mo、Ag、Ga、Sc、V、Y、Nb、Pb、Cu、In、Sn、希土類元素からなる群から選ばれる少なくとも1つの非磁性金属を含み、且つ、酸素(O)、炭素(C)、窒素(N)及びフッ素(F)からなる群から選ばれる少なくとも1つの第2の元素を含む事がより好ましい。非磁性金属としては、Al、Siが熱的安定性の観点から特に好ましい。扁平磁性金属粒子がMg、Al、Si、Ca、Zr、Ti、Hf、Zn、Mn、Ba、Sr、Cr、Mo、Ag、Ga、Sc、V、Y、Nb、Pb、Cu、In、Sn、希土類元素からなる群から選ばれる少なくとも1つの非磁性金属を含む場合は、被覆層は、扁平磁性金属粒子の構成成分の1つである非磁性金属と同じ非磁性金属を少なくとも1つ含むことがより好ましい。酸素(O)、炭素(C)、窒素(N)及びフッ素(F)の中では、酸素(O)を含む事が好ましく、酸化物、複合酸化物である事が好ましい。以上は、被覆層形成の容易性、耐酸化性、熱的安定性の観点からである。以上によって、扁平磁性金属粒子と被覆層の密着性を向上出来、後述する圧粉材料の熱的安定性及び耐酸化性を向上させることが可能となる。被覆層は、扁平磁性金属粒子の熱的安定性や耐酸化性を向上させるのみならず、扁平磁性金属粒子の電気抵抗を向上させることが出来る。電気抵抗を高くすることによって、渦電流損失を抑制し、透磁率の周波数特性を向上することが可能になる。このため、被覆層14は電気的に高抵抗であることが好ましく、例えば1mΩ・cm以上の抵抗値を有することが好ましい。

【0059】

また、被覆層の存在は、磁気的な観点からも好ましい。扁平磁性金属粒子は、扁平面のサイズに対して厚さのサイズが小さいため、疑似的な薄膜と見なす事が出来る。この時、扁平磁性金属粒子の表面に被覆層を形成させて一体化させたものは、疑似的な積層薄膜構造と見なす事が出来、磁区構造がエネルギー的に安定化する。これによって、保磁力を低減させる事(これによってヒステリシス損失が低減)が可能になり、好ましい。この時、透磁率も大きくなり好ましい。このような観点においては、被覆層は非磁性である事がより好ましい(磁区構造が安定化しやすくなる)。

【0060】

被覆層の厚みは、熱的安定性・耐酸化性・電気抵抗の観点からは、厚ければ厚い程好ましい。しかしながら、被覆層の厚さが厚くなりすぎると、飽和磁化が小さくなるため透磁率も小さくなり好ましくない。また、磁気的な観点からも、厚さが厚くなりすぎると、「磁区構造が安定化して低保磁力化・低損失化・高透磁率化する効果」は低減する。以上を考慮して、好ましい被覆層の厚さは、0.1nm以上1μm以下、より好ましくは0.1nm以上100nm以下である。

【0061】

以上、本実施形態によれば、高い透磁率、低い損失、優れた機械特性、高い熱的安定性等の優れた特性を有する扁平磁性金属粒子の提供が可能となる。

【0062】

(第3の実施の形態)

本実施の形態の圧粉材料は、扁平面と、Fe、Co及びNiからなる群から選ばれる少なくとも1つの第1の元素を含む磁性金属相と、を有し、平均厚さは10nm以上100μm以下であり、厚さに対する扁平面内の平均長さの比の平均値は5以上10000以下である複数の扁平磁性金属粒子と、前記扁平磁性金属粒子間に存在し、酸素(O)、炭素(C)、窒素(N)及びフッ素(F)からなる群から選ばれる少なくとも1つの第2の元素を含む介在相と、を備える圧粉材料であり、前記圧粉材料において、前記扁平磁性金属粒子の扁平面が、前記圧粉材料が有する平面に対して平行に配向し、前記圧粉材料の前記平面内において方向による保磁力差を有する圧粉材料である。

【0063】

図18は、本実施の形態の圧粉材料の模式図である。介在相20、圧粉材料100、圧粉材料の平面102が示されている。なお、図18右に示した図は、図18左に示した図から、介在相を見やすくするためにハッチングを取り除いた模式図である。

【0064】

扁平磁性金属粒子の扁平面に平行な面と、圧粉材料が有する平面とのなす角度が0度に近ければ近い程配向していると定義する。図19に、扁平磁性金属粒子の扁平面に平行な面と、圧粉材料が有する平面とのなす角度を表したものを示す。10個以上の多数の扁平磁性金属粒子に関して前述の角度を求めその平均値が、好ましくは0度以上45度以下、より好ましくは0度以上30度以下、更に好ましくは0度以上10度以下である事が望ましい。すなわち、圧粉材料においては、前記複数の扁平磁性金属粒子の前記扁平面は互いに平行に、又は互いに平行に近くなるように層状に配向されている事が好ましい。これによって、圧粉材料の渦電流損失を低減する事ができ好ましい。また、反磁界を小さく出来るため、圧粉材料の透磁率を大きくでき好ましい。また、強磁性共鳴周波数を高くできるため、強磁性共鳴損失を小さくでき好ましい。更には、この様な積層構造においては、磁区構造が安定化し、低い磁気損失を実現できるため好ましい。

【0065】

圧粉材料が有する前記平面内（扁平磁性金属粒子の扁平面に平行な平面内）において、方向による保磁力を測定する場合は、例えば、前記平面内の360度の角度に対して、22.5度おきに方向を変えて保磁力を測定する。図20に、例として、圧粉材料の平面内において、平面内の360度の角度に対して、22.5度おきに方向を変えて保磁力を測定した際の方向を図示する。

【0066】

圧粉材料の前記平面内において保磁力差を有する事によって、保磁力差がほとんどない等方性の場合に比べて、最小となる保磁力値が小さくなり好ましい。平面内で磁気異方性を有する材料においては、平面内の方向によって保磁力に差を有し、磁氣的に等方性の材料に比べて、最小となる保磁力値が小さくなる。これによってヒステリシス損失は低減、透磁率は向上し、好ましい。

【0067】

圧粉材料が有する前記平面内（扁平磁性金属粒子の扁平面に平行な平面内）において、方向による保磁力差の割合は大きければ大きいほど好ましく、1%以上であることが好ましい。より好ましくは、保磁力差の割合が10%以上、更に好ましくは保磁力差の割合が50%以上、更に好ましくは保磁力差の割合が100%以上である。ここでいう保磁力差の割合とは、扁平面内において、最大となる保磁力 $H_c(\max)$ と最小となる保磁力 $H_c(\min)$ を用いて、 $(H_c(\max) - H_c(\min)) / H_c(\min) \times 100$ (%)で定義される。

【0068】

尚、保磁力は、振動試料型磁力計（VSM: Vibrating Sample Magnetometer）等を用いて、簡単に評価できる。保磁力が低い場合は、低磁界ユニットを用いる事によって、0.1 Oe以下の保磁力も測定する事ができる。測定磁界の方向に対して、圧粉材料の前記平面内（扁平磁性金属粒子の扁平面に平行な平面内）において方向を変えて測定を行う。

【0069】

図21に、例として、圧粉材料の平面内において、保磁力が最小となる方向の磁化曲線と、保磁力が最大となる方向の磁化曲線の例を示す。磁化曲線が原点からずれているが、これは測定上の問題にすぎない。保磁力を算出する際は、横軸と交わる2つの点（磁化がゼロになる磁界H1、H2）の磁界の差分を2で割った値を採用する事が出来る（つまり保磁力 = $|H2 - H1| / 2$ で算出できる）。尚、この試料は、Fe-Co-B-Si（Fe:Co:B:Si = 52:23:19:6（at%）、Fe:Co = 70:30（at%）、添加元素B+Siの合計量は、Fe+Co+B+Siの合計量に対して、25at%）の組成のもので、図21から、最小保磁力は約0.1 Oe、最大保磁力は約0.2 Oeである事が分かる。すなわち、保磁力差の割合は $(0.2 - 0.1) / 0.1 \times 100 = 100$ （%）である。

【0070】

図22は、本実施形態の圧粉材料において、扁平磁性金属粒子の扁平面が、前記圧粉材料が有する平面に対して平行に配向し、前記圧粉材料の前記平面内において、方向による保磁力差を有する場合の保磁力差の例である。22.5度の方向では保磁力0.46 Oe（最小値）であり、90度の方向では保磁力0.55 Oe（最大値）である。そのため、保磁力差は、 $(0.55 - 0.46) / 0.46 \times 100 = 19.6$ %である。このように、保磁力差は1%以上であることが好ましく、より好ましくは、保磁力差の割合が10%以上、更に好ましくは保磁力差の割合が50%以上、更に好ましくは保磁力差の割合が100%以上である。

【0071】

磁気異方性を付与する観点からは、磁性金属粒子が最大長さ方向を揃えて配列されている事が好ましい。最大長さ方向が揃っているかどうかは、圧粉材料に含まれる磁性金属粒子をTEM又はSEM又は光学顕微鏡などで観察し、図23のように最大長さ方向と任意に決めた基準線のなす角を求めて、そのばらつき度合いにより判断する。好ましくは、20個以上の扁平磁性金属粒子に対して平均的なばらつき度合いを判断することが好ましいが、20個以上の扁平磁性金属粒子を観察する事が出来ない場合は、出来る限り多くの扁平磁性金属粒子観察し、それらに対して平均的なばらつき度合いを判断することが好ましい。本明細書においては、ばらつき度合いが $\pm 30^\circ$ の範囲に入っている時、最大長さ方向が揃っているという。ばらつき度合いは $\pm 20^\circ$ の範囲内がより好ましく、 $\pm 10^\circ$ の範囲内が更に好ましい。これによって、圧粉材料の磁気的な異方性を付与し易くなり望ましい。この構造の模式図を図23（a）に示す。更に好ましくは、扁平面にある複数の凹部と複数の凸部の一方又は両方の第1方向が最大長さ方向に配列されていることが望ましい。これによって、磁気的な異方性を大きく付与でき望ましい。図23（b）は、最大長さ方向が揃っていない例を示す模式図である。

【0072】

圧粉材料においては、近似的な第1方向が第2方向に配列される「配列割合」が30%以上であることが好ましい。より望ましくは50%以上、更に望ましくは75%以上である。これによって、磁気異方性が適度に大きくなり、前述の通り磁気特性が向上し好ましい。図24及び図25は、本実施の形態において、近似的な第1方向の求め方、及び、近似的な第1方向の配列方向の例（配列割合の例）を表した模式図である。図24に、近似的な第1方向の求め方を示す。まず事前に評価する全ての扁平磁性金属粒子について、各扁平磁性金属粒子が有する凹部又は凸部の配列方向が最多数を占める方向をそれぞれ第1方向として定め、各扁平磁性金属粒子の第1方向が、圧粉材料全体として最も多く配列している方向を第2方向と定義する。図24では、太い黒矢印線の方が第2方向となる場

合を、例として示してある。次に、第2方向に対して、360度の角度を、45度おきの角度で分割した方向を決める。次に、各扁平磁性金属粒子の第1方向がどの角度の方向に最も近くに配列しているかを分類し、その方向を「近似的な第1方向」として定義する。すなわち、0度の方向、45度の方向、90度の方向、135度の方向の4つのいずれかに分類する。図24には、第2方向、第1方向、近似的な第1方向の例を示してある。図25に、近似的な第1方向の配列方向の例（配列割合の例）を表した模式図を示す。近似的な第1方向が、第2方向に対して、同じ方向で配列している割合（これを、「配列割合」と定義する）が25%の時、50%、75%、100%の時の例を示してある。この「配列割合」を評価する際には、隣り合った扁平磁性金属粒子を順番に4つ選び、その4つを評価する。これを少なくとも3回以上の複数回（多い方が良い、例えば5回以上が望ましい、更に望ましくは10回以上が望ましい）行う事によって、その平均値を配列割合として採用する。なお、凹部又は凸部の方向が判別できない扁平磁性金属粒子は評価から除き、そのすぐ隣の扁平磁性金属粒子の評価を行う。例えば、単ロール急冷装置で合成したりボンを粉碎した扁平磁性金属粒子においては、片側の扁平面の上に凹部又は凸部が付き、もう片側の扁平面は凹部又は凸部が付かない事が多い。このような扁平磁性金属粒子をSEMで観察した場合、凹部又は凸部が付いていない扁平面が観察の画面上で見えている場合も確率としては半分ほど起こりうる（この場合も、実は裏側の扁平面は凹部又は凸部が付いているはずであるが、上記評価においては除く）。

【0073】

図26に、近似的な第1方向の配列方向の走査型電子顕微鏡写真の例を示す。まず、第2方向を決めるために、凹部又は凸部の配列方向（第1方向）が最多数を占める方向を見定め、その方向を第2方向として設定する。図26では、走査型電子顕微鏡写真の観察結果から、左の模式図で太い黒矢印線で示してある方向が第2方向となる事が分かる。次に、その方向から45度ずつ傾けた方向を決める（0度の方向、45度の方向、90度の方向、135度の方向の4方向）。次に、各扁平磁性金属粒子中の第1方向（各扁平磁性金属粒子において、最多数を占める凹部又は凸部の方向）を、定めた角度の方向に一番近い方向に分類し、「近似的な第1方向」として求める。例えば図26では（1）～（6）、（12）、（13）の扁平磁性金属粒子の近似的な第1方向は0度の方向であり、（7）～（11）の扁平磁性金属粒子の近似的な第1方向は90度の方向であり、（14）の扁平磁性金属粒子の近似的な第1方向は135度の方向である。図26には、走査型電子顕微鏡写真上に、（1）～（14）の近似的な第1方向の向きを白色の矢印として記してある。次に、隣り合った扁平磁性金属粒子を順番に4つ選び、その4つを評価する。例えば、（1）～（4）の4つは、全て第2方向と同じ0度の方向であるため、同じ方向に配列している割合は100%である。次の（5）～（8）の4つは、（5）、（6）の2つが第2方向と同じ0度の方向であるため、同じ方向に配列している割合は50%である。次の（9）～（12）の4つは、（12）のみが第2方向と同じ0度の方向であるため、同じ方向に配列している割合は25%である（（9）～（11）の3つは互いに同じ方向に配列しているが、第2方向とは異なる方向であるため、同じ方向としてはカウントしない）。よって、（1）～（4）、（5）～（8）、（9）～（12）、の3セットに関する同じ方向に配列している割合（＝配列割合）は、100%、50%、25%であり、平均値としては約58%となる。

【0074】

また、圧粉材料の磁化容易軸方向に、最も多くの近似的な第1方向が配列されていることが好ましい。すなわち、圧粉材料の磁化容易軸は第2方向と平行であることが好ましい。図27に、近似的な第1方向と磁化容易軸の望ましい方向を表した模式図を示す。凹部又は凸部が配列している長さ方向は、形状磁気異方性の効果によって、磁化容易軸になりやすいため、この方向を磁化容易軸として揃える方が、磁気異方性が付与され易くなり、好ましい。

【0075】

図28に、介在相の配置を表した模式図を示す。第1方向に沿って前記介在相の一部が

付着していることが好ましい。言い換えると、扁平磁性金属粒子の扁平面上にある凹部又は凸部の方向に沿って、介在相の一部が付着している事が好ましい。これによって、一方向に磁気異方性が誘起され易くなり、好ましい。また、このような介在相の付着は、扁平磁性金属粒子同士の密着性を向上させ、これによって、強度、硬度などの機械的特性や熱的安定性が向上するため好ましい。また、介在相は粒子状のものを含む事が好ましい。これによって、適度に扁平磁性金属粒子同士の密着性を適度な状態に保持し、歪みを軽減し（扁平磁性金属粒子間に粒子状の介在相がある事によって、扁平磁性金属粒子に印加される応力が緩和され）、保磁力を低減しやすくさせ（ヒステリシス損失は低減、透磁率は増加）、好ましい。図29に、介在相を含んだ扁平磁性金属粒子の走査型電子顕微鏡写真の例を示す。扁平磁性金属粒子の扁平面上にある凹部又は凸部の方向に沿って、介在相が付着している事が分かる。

10

【0076】

介在相は、圧粉材料全体に対して0.01wt%以上80wt%以下、より好ましくは0.1wt%以上60wt%以下、更に好ましくは0.1wt%以上40wt%以下の量を含むことが好ましい。介在相の割合が大きすぎると、磁性を担う扁平磁性金属粒子の割合が小さくなるため、これによって圧粉材料の飽和磁化や透磁率が小さくなり好ましくない。逆に、介在相の割合が小さすぎると、扁平磁性金属粒子と介在相との接合が弱くなり、熱的な安定性や強度・靱性等の機械的特性の観点から好ましくない。飽和磁化、透磁率などの磁気特性と、熱的な安定性、機械特性の観点から最適な介在相の割合は、圧粉材料全体に対して0.01wt%以上80wt%以下、より好ましくは0.1wt%以上60wt%以下、更に好ましくは0.1wt%以上40wt%以下である。

20

【0077】

また、介在相と扁平磁性金属粒子との格子ミスマッチ割合が0.1%以上50%以下である事が好ましい。これによって磁気異方性が適度に大きく付与されやすく、上記の磁気特性が向上するため好ましい。格子ミスマッチを上記の範囲に設定するためには、介在相の組成と扁平磁性金属粒子10の組成の組み合わせを選ぶことによって実現出来る。例えば、fcc構造のNiは格子定数が3.52Åで、NaCl型構造のMgOは格子定数が4.21Åであり、両者の格子ミスマッチが $(4.21 - 3.52) / 3.52 \times 100 = 20\%$ になる。つまり、扁平磁性金属粒子の主組成をfcc構造のNiに、介在相20をMgOにする事によって、格子ミスマッチを20%に設定出来る。この様に、扁平磁性金属粒子の主組成と介在相の主組成の組み合わせを選ぶ事によって、格子ミスマッチを上記の範囲に設定する事が可能となる。

30

【0078】

介在相は、酸素(O)、炭素(C)、窒素(N)及びフッ素(F)からなる群から選ばれる少なくとも1つの第2の元素を含む。これにより、抵抗を高くすることが出来るためである。介在相の電気抵抗率は、扁平磁性金属粒子の電気抵抗率よりも高い方が好ましい。これによって扁平磁性金属粒子の渦電流損失を低減出来るためである。介在相は、扁平磁性金属粒子を取り囲んで存在するため、扁平磁性金属粒子の耐酸化性、熱的安定性を向上させる事が出来好ましい。この中で酸素を含むものは、高い耐酸化性、高い熱的安定性の観点からより好ましい。介在相は、扁平磁性金属粒子同士を機械的に接着する役割も担っているため、高い強度の観点からも好ましい。

40

【0079】

また、介在相は、「共晶系を有する酸化物」か、「樹脂を含有する」か、「Fe、Co、Niから選ばれる少なくとも1つの磁性金属を含有する」か、これら3つのうち少なくとも1つを有していても良い。これらの点について、以下に説明する。

【0080】

まず、1つ目の「介在相が共晶系を有する酸化物の場合」について説明する。この場合、介在相は、B(ホウ素)、Si(シリコン)、Cr(クロム)、Mo(モリブデン)、Nb(ニオブ)、Li(リチウム)、Ba(バリウム)、Zn(亜鉛)、La(ランタン)、P(リン)、Al(アルミニウム)、Ge(ゲルマニウム)、W(タングステン)、

50

Na (ナトリウム)、Ti (チタン)、As (ヒ素)、V (バナジウム)、Ca (カルシウム)、Bi (ビスマス)、Pb (鉛)、Te (テルル)、Sn (スズ) からなる群から選ばれる少なくとも2つの第3の元素を含む共晶系を有する酸化物を含む。特に、B、Bi、Si、Zn、Pbのうちの少なくとも2つの元素を含む共晶系を含むことが好ましい。これによって、扁平磁性金属粒子と介在相との密着性が強固になり（接合強度が高まり）、熱的な安定性や強度や靱性などの機械的特性が向上しやすくなる。

【0081】

また上記の共晶系を有する酸化物は、軟化点が200℃以上600℃以下である事が好ましく、更に好ましくは、400℃以上500℃以下である。更に好ましくは、B、Bi、Si、Zn、Pbのうちの少なくとも2つの元素を含む共晶系を有する酸化物であり、且つ軟化点が400℃以上500℃以下である事が好ましい。これによって、扁平磁性金属粒子と上記の共晶系を有する酸化物との接合が強固になり、熱的な安定性や強度や靱性などの機械的特性が向上しやすくなる。扁平磁性金属粒子を上記の共晶系を有する酸化物とともに一体化させる際は、上記の共晶系を有する酸化物の軟化点付近の温度、好ましくは軟化点よりやや高い温度で熱処理しながら一体化させる事によって、扁平磁性金属粒子と上記の共晶系を有する酸化物との密着性を向上させ、機械的特性を向上させる事が出来る。一般に、熱処理の温度がある程度高い程、扁平磁性金属粒子と上記の共晶系を有する酸化物との密着性は向上し、機械的特性は向上する。ただし熱処理の温度が高くなりすぎると、熱膨張係数が大きくなるため扁平磁性金属粒子と上記の共晶系を有する酸化物との密着性が逆に低下してしまう事もある（扁平磁性金属粒子の熱膨張係数と上記の共晶系を有する酸化物の熱膨張係数の差が大きくなると、密着性が更に低下してしまう事もある）。また、扁平磁性金属粒子の結晶性が非晶質又は非晶質的な場合は、熱処理の温度が高いと結晶化が進行し保磁力が増加してしまい好ましくない。このため、機械的特性と保磁力特性を両立させるために、上記の共晶系を有する酸化物の軟化点を200℃以上600℃以下、更に好ましくは400℃以上500℃以下にして、上記の共晶系を有する酸化物の軟化点付近の温度、好ましくは軟化点よりやや高い温度で熱処理しながら一体化させる事が好ましい。また、一体化した材料を実際にデバイスやシステムの中で使用する際の温度は軟化点より低い温度で使用する事が好ましい。

【0082】

また、上記の共晶系を有する酸化物は、ガラス転移点を有する事が望ましい。更には、上記の共晶系を有する酸化物は、熱膨張係数が $0.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 以上 $40 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 以下である事が望ましい。これによって、扁平磁性金属粒子10と上記の共晶系を有する酸化物との接合が強固になり、熱的な安定性や強度や靱性などの機械的特性が向上しやすくなる。

【0083】

尚、粒径が10nm以上10μm以下の粒子状（好ましくは球状）の共晶粒子を少なくとも1つ以上含む事がより好ましい。この共晶粒子は、粒子状以外の上記の共晶系を有する酸化物と同じ材料を含む。圧粉材料中には空隙も部分的に存在している事があり、上記の共晶系を有する酸化物の一部が粒子状、好ましくは球状となって存在している事を容易に観察する事が出来る。空隙がない場合も、粒子状若しくは球状の界面は容易に判別する事が出来る。共晶粒子の粒径は、より好ましくは10nm以上1μm、更に好ましくは10nm以上100nm以下である。これによって、熱処理時に、扁平磁性金属粒子同士の密着性を保持しながらも、応力を適度に緩和させる事によって、扁平磁性金属粒子に印加される歪みを低減し、保磁力を低減させる事が出来る。これによって、ヒステリシス損失も低減し、透磁率は向上する。尚、共晶粒子の粒径は、TEM又はSEM観察により測定することが出来る。前述の図29の走査型電子顕微鏡写真では、介在相からなる球状の共晶粒子が複数存在している事が分かる。

【0084】

また、介在相は、その軟化点が、上記の共晶系を有する酸化物の軟化点よりも高く、より好ましくは軟化点が600℃より高く、O（酸素）、C（炭素）、N（窒素）及びF（

フッ素) からなる群から選ばれる少なくとも1つの元素を含む中間介在粒子を更に含む事が好ましい。中間介在粒子が扁平磁性金属粒子間に存在する事によって、圧粉材料が高温に曝された時、扁平磁性金属粒子同士が熱的に融合し特性が劣化する事を抑制する事が出来る。すなわち、主に熱的な安定性のために中間介在粒子が存在する事が望ましい。尚、中間介在粒子の軟化点が上記の共晶系を有する酸化物の軟化点よりも高く、更に好ましくは軟化点が600℃以上である事によって、熱的な安定性をより高める事が出来る。

【0085】

中間介在粒子は、Mg、Al、Si、Ca、Zr、Ti、Hf、Zn、Mn、Ba、Sr、Cr、Mo、Ag、Ga、Sc、V、Y、Nb、Pb、Cu、In、Sn、希土類元素からなる群から選ばれる少なくとも1つの非磁性金属を含み、且つ、O(酸素)、C(炭素)、N(窒素)及びF(フッ素)からなる群から選ばれる少なくとも1つの元素を含む事が好ましい。より好ましくは、高い耐酸化性、高い熱的安定性の観点から、酸素を含有する酸化物若しくは複合酸化物である事がより好ましい。特に、酸化アルミニウム(Al_2O_3)、二酸化珪素(SiO_2)、酸化チタン(TiO_2)、酸化ジルコニウム(Zr_2O_3)などの酸化物、やAl-Si-O等の複合酸化物などが高い耐酸化性、高い熱的安定性の観点から好ましい。

【0086】

中間介在粒子を含む圧粉材料を製造する方法としては、例えば、扁平磁性金属粒子及び中間介在粒子(酸化アルミニウム(Al_2O_3)粒子、二酸化珪素(SiO_2)粒子、酸化チタン(TiO_2)粒子、酸化ジルコニウム(Zr_2O_3)粒子など)を、ボールミル等によって混合し、分散させた状態を作り、その後、プレス成型などで一体化させる方法などが挙げられる。分散させる方法は、適度に分散させる事が出来る方法であれば、その方法は特に拘らない。

【0087】

次に、2つ目の「介在相が樹脂を含有する場合」について説明する。この場合、樹脂は、特に限定されないが、ポリエステル系樹脂、ポリエチレン系樹脂、ポリスチレン系樹脂、ポリ塩化ビニル系樹脂、ポリビニルブチラル樹脂、ポリビニルアルコール樹脂、ポリブタジエン系樹脂、テフロン(登録商標)系樹脂、ポリウレタン樹脂、セルロース系樹脂、ABS樹脂、ニトリル-ブタジエン系ゴム、スチレン-ブタジエン系ゴム、シリコーン樹脂、その他の合成ゴム、天然ゴム、エポキシ樹脂、フェノール樹脂、アリル樹脂、ポリベンゾイミダゾール樹脂、アミド系樹脂、ポリイミド系樹脂、ポリアミドイミド樹脂、或いはそれらの共重合体が用いられる。特に、高い熱的安定性を実現するためには、耐熱性の高いシリコーン樹脂、ポリイミド樹脂、を含む事が好ましい。これによって、扁平磁性金属粒子と介在相との接合が強固になり、熱的な安定性や強度や靱性などの機械的特性が向上しやすくなる。

【0088】

樹脂は、大気雰囲気中180℃で3000時間加熱した後の重量減少率が5%以下であることが好ましく、更に好ましくは3%以下、更に好ましくは1%以下、更に好ましくは0.1%以下であることが好ましい。また、大気雰囲気中220℃で200時間加熱した後の重量減少率に関して、5%以下であることが好ましく、更に好ましくは3%以下、更に好ましくは1%以下、更に好ましくは0.1%以下であることが好ましい。また、大気雰囲気中250℃で200時間加熱した後の重量減少率に関して、5%以下であることが好ましく、更に好ましくは3%以下、更に好ましくは1%以下、更に好ましくは0.1%以下であることが好ましい。なお、これら重量減少率の評価は、未使用の状態の材料を用いて行う。未使用の状態とは、成形して使える状態にしたもので、その状態から熱(たとえば40度以上の温度の熱)、化学薬品、太陽光(紫外線)等に曝されていない状態のことである。重量減少率は、加熱前後の質量から次式で計算するものとする：重量減少率(%) = [加熱前の質量(g) - 加熱後の質量(g)] / 加熱前の質量(g) × 100。また、好ましくは、大気雰囲気中180℃で20000時間加熱後の強度が、加熱前の強度の半分以上であることが好ましい。更に好ましくは、大気雰囲気中220℃で20000時間

加熱後の強度が、加熱前の強度の半分以上であることが好ましい。また日本工業規格（JIS）で規定されるH種を満たすことが好ましい。特に、最高温度180℃に耐える耐熱性を満たす事が好ましい。更に好ましくは、国鉄規格（JRE）で規定されるH種を満たすことが好ましい。特に、周囲温度（標準：25℃、最高：40℃）に対して180℃の温度上昇に耐える耐熱性を満たす事が好ましい。これに好ましい樹脂は、ポリサルフォン、ポリエーテルサルフォン、ポリフェニレンサルファイド、ポリエーテルエーテルケトン、芳香族ポリイミド、芳香族ポリアミド、芳香族ポリアミドイミド、ポリベンズオキサゾール、フッ素樹脂、シリコン樹脂、液晶ポリマーなどがある。これらの樹脂は、分子間凝集力が大きいと、耐熱性が高くなり、好ましい。中でも、芳香族ポリイミド、ポリベンズオキサゾールは、分子内に占める剛直ユニットの割合が高いため、より耐熱性が高く好ましい。また、熱可塑性樹脂であることが好ましい。以上の加熱重量減少率の規定、強度の規定、樹脂種類の規定は、それぞれ、樹脂の耐熱性を高めるために効果的である。また、これらによって、複数の扁平磁性金属粒子と介在相（ここでは樹脂）から成る圧粉材料を形成した時に、圧粉材料としての耐熱性が高まり（熱的な安定性が高まり）、高温（たとえば上記の200℃や250℃）に曝した後、もしくは高温（たとえば上記の200℃や250℃）での強度・靱性などの機械的特性が向上しやすくなり、好ましい。また、加熱後も扁平磁性粒子の周りを多くの介在相が取り囲んで存在するため、耐酸化性に優れ、扁平磁性金属粒子の酸化による磁気特性の劣化も起こり難く、好ましい。

【0089】

また、圧粉材料は、180℃で3000時間加熱後の重量減少率が5%以下である事が好ましく、更に好ましくは3%以下、更に好ましくは1%以下、更に好ましくは0.1%以下であることが好ましい。また、圧粉材料は、220℃で3000時間加熱後の重量減少率が5%以下である事が好ましく、更に好ましくは3%以下、更に好ましくは1%以下、更に好ましくは0.1%以下であることが好ましい。また、大気雰囲気中250℃で200時間加熱した後の圧粉材料の重量減少率に関して、5%以下であることが好ましく、更に好ましくは3%以下、更に好ましくは1%以下、更に好ましくは0.1%以下であることが好ましい。なお、重量減少率の評価は、上記の樹脂の場合と同様である。また、好ましくは、大気雰囲気中180℃で20000時間加熱後の圧粉材料の強度が、加熱前の強度の半分以上であることが好ましい。更に好ましくは、大気雰囲気中220℃で20000時間加熱後の圧粉材料の強度が、加熱前の強度の半分以上であることが好ましい。また日本工業規格（JIS）で規定されるH種を満たすことが好ましい。特に、最高温度180℃に耐える耐熱性を満たす事が好ましい。更に好ましくは、国鉄規格（JRE）で規定されるH種を満たすことが好ましい。特に、周囲温度（標準：25℃、最高：40℃）に対して180℃の温度上昇に耐える耐熱性を満たす事が好ましい。以上の加熱重量減少率の規定、強度の規定、前述の樹脂種類の規定は、それぞれ、圧粉材料の耐熱性を高めるために効果的であり、高信頼性の材料を実現できる。また、圧粉材料としての耐熱性が高まり（熱的な安定性が高まり）、高温（たとえば上記の200℃や250℃）に曝した後、もしくは高温（たとえば上記の200℃や250℃）での強度・靱性などの機械的特性が向上しやすくなり、好ましい。また、加熱後も扁平磁性粒子の周りを多くの介在相が取り囲んで存在するため、耐酸化性に優れ、扁平磁性金属粒子の酸化による磁気特性の劣化も起こり難く、好ましい。

【0090】

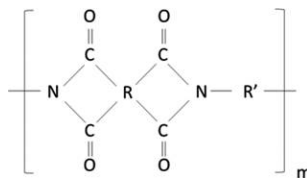
さらに、熱分解温度までガラス転移点を有しない結晶性の樹脂を含むことが好ましい。また、ガラス転移温度が180℃以上の樹脂を含むことが好ましく、更に好ましくはガラス転移温度が220℃以上の樹脂を含むことが好ましい。更に好ましくは、ガラス転移温度が250℃以上の樹脂を含むことが好ましい。尚、一般に扁平磁性金属粒子は、熱処理する温度が高くなるほど結晶粒径が大きくなる。そのため、扁平磁性金属粒子の結晶粒径を小さくする必要がある場合は、用いる樹脂のガラス転移温度は高すぎないほうが好ましく、具体的には600℃以下である事が好ましい。また、熱分解温度までガラス転移点を有しない結晶性の樹脂にガラス転移温度が180℃以上の樹脂を含むことが好ましく、更

に好ましくはガラス転移温度が220℃以上の樹脂を含むことが好ましい。具体的には180℃以上のガラス転移温度を有するポリイミドを含むことが好ましく、更に好ましくは220℃以上のガラス転移温度を有するポリイミドを含むことが好ましく、更に好ましくは熱可塑性ポリイミドを含むことが好ましい。これによって、磁性金属粒子への融着が起こり易くなり、特に圧粉成形に好適に用いる事ができる。熱可塑性ポリイミドとしては、熱可塑性芳香族ポリイミド、熱可塑性芳香族ポリアミドイミド、熱可塑性芳香族ポリエーテルイミド、熱可塑性芳香族ポリエステルイミド、熱可塑性芳香族ポリイミドシロキサンなどの高分子鎖中にイミド結合を有するものが好ましい。中でも、ガラス転移温度が250℃以上の場合、より耐熱性が高くなり好ましい。

【0091】

芳香族ポリイミド、ポリベンズオキサゾールは、芳香族環と複素環が直接結合して平面構造をとり、それらが π - π スタッキングにより固定化されている事で高耐熱性を発現している。これによって、ガラス転移温度を高くでき、熱的安定性を向上できる。また、分子構造内に適度にエーテル結合などの屈曲ユニットを導入することで所望のガラス転移点に容易に調整できるので好ましい。中でも、イミドポリマーを構成する酸無水物由来ユニットのベンゼン環構造がビフェニル、トリフェニル、テトラフェニルのいずれかの構造であると強度の観点から好ましい。耐熱性に影響を及ぼすイミド基間の対称構造を損なわず、配向性も長距離に及ぶことから材料強度も向上する。これに好ましい芳香族ポリイミドの構造は、下記化学式(1)で示される。言い換えると、本実施形態のポリイミド樹脂は、下記化学式(1)で表される繰り返し単位を含む。

【化1】



(1)

化学式(1)中、Rはビフェニル、トリフェニル、テトラフェニルのいずれかの構造、R'は構造内に少なくとも1つ以上の芳香環を有する構造を示す。

【0092】

圧粉材料から、その構成成分である介在相（ここでは樹脂）の特性（重量減少率、樹脂種類、ガラス転移温度、分子構造など）を求める際には、圧粉材料から樹脂の部分のみを切り出して、種々の特性評価を行う。目視で樹脂かどうか判断がつかない場合は、EDXによる元素分析などを用いて樹脂と磁性金属粒子とを区別する。

【0093】

圧粉材料全体に占める樹脂の含有量は、多ければ多いほど、扁平磁性金属粒子をぬらしている（覆っている）ポリマーと、隣接する扁平磁性金属粒子をぬらしている（覆っている）ポリマーの間を、無理なくポリマーがつなが事ができ、強度などの機械的特性が向上する。また電気抵抗率も高くなり圧粉材料の渦電流損失を低減でき好ましい。一方で、樹脂の含有量が多ければ多いほど、扁平磁性金属粒子の割合が減るため、圧粉材料の飽和磁化が下がり、透磁率も下がり、好ましくない。強度などの機械的特性、電気抵抗率・渦電流損失、飽和磁化、透磁率の特性を総合的に考慮してバランスの良い材料を実現するためには、圧粉材料全体に占める樹脂の含有量を93wt%以下、更に好ましくは86wt%以下、更に好ましくは2wt%以上67wt%以下、更に好ましくは2wt%以上43wt%以下にする事が好ましい。また、扁平磁性金属粒子の含有量は、7wt%以上である事が好ましく、更に好ましくは、14wt%以上である事が好ましく、更に好ましくは、33wt%以上98wt%以下、更に好ましくは、57wt%以上98wt%以下である事が好ましい。また、扁平磁性金属粒子は、粒子径が小さくなると、表面積が大きくなり、必要な樹脂の量が飛躍的に増加するため、適度に大きい粒子径を有することが好ましい

。これによって、圧粉材料を高飽和磁化にでき、透磁率を大きくでき、システムの小型化・高出力化に有利である。

【0094】

次に、3つ目の「介在相がFe、Co、Niから選ばれる少なくとも1つの磁性金属を含有し、磁性を有する場合」について説明する。この場合、介在相が磁性を有する事によって、扁平磁性金属粒子同士が磁氣的に結合し易くなり透磁率が向上するため好ましい。また、磁区構造が安定化するため、透磁率の周波数特性も向上し、好ましい。尚、ここで言う磁性とは、強磁性、フェリ磁性、弱磁性、反強磁性、等の事を示す。特に、強磁性、フェリ磁性の場合が、磁氣的な結合力が高まり好ましい。介在相が磁性を有する点については、VSM (Vibrating Sample Magnetometer: 振動試料型磁気計) 等を用いて評価することが出来る。介在相がFe、Co、Niから選ばれる少なくとも1つの磁性金属を含有し磁性を有する点については、EDX等を用いて簡単に調べる事が出来る。

10

【0095】

以上、介在相の3つの形態を説明したが、これら3つのうち少なくとも1つを満たす事が好ましいが、2つ以上、更には3つ全てを満たしても構わない。「介在相が共晶系を有する酸化物の場合」(1つ目の場合)は、介在相が樹脂の場合(2つ目の場合)と比較すると、強度などの機械的特性ではやや劣るものの、一方で、歪みが解放され易く、特に、低保磁力化が進行しやすい、という観点では非常に優れており、好ましい(これによって、低いヒステリシス損失、高い透磁率、が実現し易く、好ましい)。また、樹脂に比べると耐熱性が高い場合が多く、熱的安定性にも優れているため好ましい。逆に、「介在相が樹脂を含有する場合」(2つ目の場合)は、扁平磁性金属粒子と樹脂との密着性が高いため、応力が加わり易く(歪みが入り易く)、これによって保磁力が増加しやすい傾向がある、という欠点があるものの、特に、強度などの機械的特性の点では非常に優れているため好ましい。「介在相がFe、Co、Niから選ばれる少なくとも1つの磁性金属を含有し、磁性を有する場合」(3つ目の場合)は、扁平磁性金属粒子同士が磁氣的に結合し易くなるため、特に、高透磁率、低保磁力(それゆえに低ヒステリシス損失)の点で非常に優れているため好ましい。以上の長所、短所を踏まえて、使い分けたり、また、いくつかを組み合わせる事によって、バランスの良いものを作ったりする事が出来る。

20

【0096】

圧粉材料に含まれる扁平磁性金属粒子に関しては、第1、2の実施の形態で記述した要件を満たす事が望ましい。ここでは内容が重複するため、記述を省略する。

30

【0097】

圧粉材料においては、前記複数の扁平磁性金属粒子の前記扁平面は互いに平行になるように層状に配向されている事が好ましい。これによって、圧粉材料の渦電流損失を低減する事ができ好ましい。また、反磁界を小さく出来るため、圧粉材料の透磁率を大きくでき好ましい。また、強磁性共鳴周波数を高くできるため、強磁性共鳴損失を小さくでき好ましい。更には、この様な積層構造においては、磁区構造が安定化し、低い磁気損失を実現できるため好ましい。ここで、扁平磁性金属粒子の扁平面に平行な面と、圧粉材料が有する平面とのなす角度が0度に近ければ近い程配向していると定義する。具体的には、10個以上の多数の扁平磁性金属粒子10に関して前述の角度を求めその平均値が、好ましくは0度以上45度以下、より好ましくは0度以上30度以下、更に好ましくは0度以上10度以下である事が望ましい。

40

【0098】

圧粉材料は、前記扁平磁性金属粒子を含有する磁性層と、O、C、Nのいずれかを含有する中間層とからなる積層型の構造を有していても良い。磁性層においては、前記扁平磁性金属粒子が配向している(互いの扁平面を平行にする様に配向)事が好ましい。また、中間層の透磁率を磁性層の透磁率よりも小さくする事が好ましい。これらの処置によって、疑似的な薄膜積層構造を実現でき、層方向の透磁率が高くなるため好ましい。また、このような構造においては、強磁性共鳴周波数を高くできるため、強磁性共鳴損失を小さ

50

くでき好ましい。更には、この様な積層構造においては、磁区構造が安定化し、低磁気損失を実現できるため好ましい。尚、これらの効果を更に高めるためには、中間層の透磁率を介在相（磁性層の中の介在相）の透磁率よりも小さくする事がより好ましい。これによって、疑似的な薄膜積層構造において、層方向の透磁率を更に高くできるため好ましい。また、強磁性共鳴周波数を更に高くできるため、強磁性共鳴損失を小さくでき好ましい。

【0099】

以上、本実施形態によれば、低い磁気損失等の優れた磁気特性を有する圧粉材料の提供が可能になる。

【0100】

（第4の実施の形態）

本実施の形態のシステム及びデバイス装置は、第3の実施の形態の圧粉材料を有するものである。したがって、第1乃至第3の実施の形態と重複する内容については記載を省略する。このシステム、デバイス装置に含まれる圧粉材料の部品は、例えば、各種モータや発電機などの回転電機（例えば、モータ、発電機など）、変圧器、インダクタ、トランス、チョークコイル、フィルタ等のコアや、回転電機用の磁性楔（磁性くさび）等である。図30に、回転電機システムの一例としてモータシステムの概念図を示す。モータシステムとは、モータの回転数や電力（出力パワー）を制御する制御系を含めたシステムの事である。モータの回転数を制御する方式としては、ブリッジサーボ回路による制御、比例電流制御、電圧比較制御、周波数同期制御、PLL（Phase Locked Loop：位相同期ループ）制御、等による制御方法がある。一例として、PLLによる制御法について図30に示してある。PLLによるモータの回転数を制御するモータシステムは、モータと、モータの回転の機械的変位量を電気信号に変換してモータの回転数を検出するロータリーエンコーダと、ある命令により与えられたモータの回転数とロータリーエンコーダにより検出されたモータの回転数を比較しそれらの回転数差を出力する位相比較器と、当該回転数差を小さくするようにモータを制御するコントローラと、を備える。一方、モータの電力を制御する方法としては、PWM（Pulse Width Modulation：パルス幅変調）制御、PAM（Pulse Amplitude Modulation：パルス電圧振幅波形）制御、ベクトル制御、パルス制御、バイポーラ駆動、ペDESTAL制御、抵抗制御、等による制御方法がある。またその他の制御方法として、マイクロステップ駆動制御、多相駆動制御、インバータ制御、スイッチング制御、等の制御方法がある。一例として、インバータによる制御法について図30に示してある。インバータによるモータの電力を制御するモータシステムは、交流電源と、交流電源の出力を直流電流に変換する整流器と、当該直流電流を任意の周波数による交流に変換するインバータ回路と、当該交流により制御されるモータと、を備える。

【0101】

図31に回転電機の一例としてモータ200の概念図を示す。モータにおいては、第1のステータ（固定子）と第2のロータ（回転子）が配置されている。図では、ロータがステータの内側に配置されているインナーロータ型を示しているが、ロータがステータの外側に配置されるアウターロータ型でも構わない。

【0102】

図32、図33にモータコア（モータのコア）300の概念図を示す。モータコアとしては、ステータ及びロータのコアが該当する。この点を、以下に説明する。図32は第1のステータの断面概念図例である。第1のステータは、コアと、巻き線と、を有する。巻き線は、コア内側に設けられた、コアが有する突起の一部に巻き付けられている。このコア内に第3の実施形態の圧粉材料を配置することが出来る。図33は第1のロータの断面概念図例である。第1のロータは、コアと、巻き線と、を有する。巻き線は、コア外側に設けられた、コアが有する突起の一部に巻き付けられている。このコア内に第3の実施形態の圧粉材料を配置することが出来る。

【0103】

尚、図32、図33はあくまでモータの一例を示したものであり、圧粉材料の適用先と

10

20

30

40

50

してはこれに限定されるものではない。磁束を導きやすくするためのコアとして、あらゆる種類のモータに適用する事が出来る。

【0104】

また、図34に変圧器・トランス400、図35及び図36にインダクタ500の概念図をそれぞれ記す。これらもあくまで一例として示したものである。変圧器・トランス、インダクタにおいてもモータコアと同様に、磁束を導きやすくするために、又は高い透磁率を利用するために、あらゆる種類の変圧器・トランス、インダクタに圧粉材料を適用する事が出来る。

【0105】

図37に回転電機の一例として発電機500の概念図例を示す。発電機500は、第1乃至第3の実施形態の圧粉材料をコアとして用いた第2のステータ（固定子）530と、第1乃至第3の実施形態の圧粉材料をコアとして用いた第2のロータ（回転子）540の、いずれか一方又はその両方を備えている。図では、第2のロータ（回転子）540は第2のステータ530の内側に配置されているが、外側に配置されていても構わない。第2のロータ540は、発電機500の一端に設けられたタービン510と、シャフト520を介して接続されている。タービン510は、例えば図示しない外部から供給される流体により回転する。尚、流体により回転するタービンに代えて、自動車の回生エネルギー等の動的な回転を伝達することによって、シャフトを回転することも可能である。第2のステータ530及び第2のロータ540には、各種公知の構成を採用することが出来る。

【0106】

シャフトは、第2のロータに対してタービンとは反対側に配置された、図示しない整流子と接触している。第2のロータの回転により発生した起電力は、発電機の電力として、図示しない相分離母線及び図示しない主変圧器を介して、系統電圧に昇圧されて送電される。尚、第2のロータには、タービンからの静電気や発電に伴う軸電流による帯電が発生する。このため、発電機は、第2のロータの帯電を放電させるためのブラシを備えている。

【0107】

また、本実施形態の回転電機は、鉄道車両に好ましく用いることができる。例えば、鉄道車両を駆動するモータ200や、鉄道車両を駆動するための電気を発生する発電機500に好ましく用いることができる。

【0108】

また、図38には、磁束の方向と圧粉材料の配置方向の関係について好ましい例を記す。尚、まず、磁壁移動型、回転磁化型のいずれにおいても、磁束の方向に対して、圧粉材料に含まれる扁平磁性金属粒子の扁平面を出来るだけ互いに平行に、かつ層状に揃える方向に配置する事が好ましい。これは磁束を貫く扁平磁性金属粒子の断面積を出来るだけ小さくする事によって渦電流損失を低減出来るからである。その上で、尚且つ、磁壁移動型においては、扁平磁性金属粒子の扁平面内における磁化容易軸（矢印方向）を磁束の方向と平行に配置する事が好ましい。これによって、保磁力がより低減する方向で使用する事が出来るためヒステリシス損失を低減出来好ましい。また透磁率も高く出来て好ましい。逆に、回転磁化型においては、扁平磁性金属粒子の扁平面内における磁化容易軸（矢印方向）を磁束の方向と垂直に配置する事が好ましい。これによって、保磁力がより低減する方向で使用する事が出来るためヒステリシス損失を低減出来好ましい。つまり、圧粉材料の磁化特性を把握し、磁壁移動型か回転磁化型か（判別方法は前述の通り）を見極めた上で、図38のように配置する事が好ましい。磁束の向きが複雑な場合は完全に図38の様に配置する事は難しいかもしれないが、出来る限り図38のように配置する事が好ましい。以上の配置方法は、本実施の形態の全てのシステム及びデバイス装置（例えば、各種モータや発電機などの回転電機（例えば、モータ、発電機など）、変圧器、インダクタ、トランス、チョークコイル、フィルタ等のコアや、回転電機用の磁性楔（くさび）等）において適用される事が望ましい。

【0109】

このシステム及びデバイス装置に適用するために、圧粉材料は、種々の加工を施すこと

10

20

30

40

50

を許容する。例えば焼結体の場合は、研磨や切削等の機械加工が施され、粉末の場合はエポキシ樹脂、ポリブタジエンのような樹脂との混合が施される。必要に応じて更に表面処理が施される。また、必要に応じて巻線処理がなされる。

【0110】

本実施の形態のシステム及びデバイス装置によれば、優れた特性（高効率、低損失）を有するモータシステム、モータ、変圧器、トランス、インダクタ及び発電機が実現可能となる。

【0111】

（実施例）

以下に、実施例1～22を、比較例1～5と対比しながらより詳細に説明する。以下に示す実施例及び比較例によって得られる扁平磁性金属粒子について、扁平磁性金属粒子の厚さ、厚さに対する扁平面内の平均長さの比、扁平磁性金属粒子の扁平面内の保磁力差の割合（％）、圧粉材料の平面内の保磁力差の割合（％）、をまとめたものを表1に示す。尚、厚さ、厚さに対する扁平面内の平均長さの比、扁平面内の最小長さに対する最大長さの比に関しては、TEM観察・SEM観察に基づいて多数の粒子の平均値で算出する。

【0112】

（実施例1）

まず、単ロール急冷装置を用いて、Fe-Co-B-Si（Fe：Co：B：Si＝52：23：19：6（at％）、Fe：Co＝70：30（at％）、添加元素B＋Siの合計量は、Fe＋Co＋B＋Siの合計量に対して、25at％）のリボンを作製する。次に得られたリボンをH₂雰囲気中300℃で熱処理を行う。次に、このリボンを、ミキサー装置を用いて粉碎し、H₂雰囲気中で400℃で磁場中熱処理を行い、扁平磁性金属粒子を得る。得られた扁平磁性金属粒子の厚さは10μm、厚さに対する扁平面内の平均長さの比Aが20であり、扁平面は最小長さに対する最大長さの比a／bが1.6で角張った輪郭形状を有している。また、磁性金属相の結晶粒径は約2nmである。得られた扁平磁性金属粒子は、無機酸化物介在相（B₂O₃－Bi₂O₃－ZnO）とともに混合、磁場中成型を行い（扁平粒子を配向化させる）、磁場中熱処理を施す事によって圧粉材料を得る。磁場中熱処理では、磁化容易軸方向に磁場を印加して熱処理を行う。

【0113】

（実施例2）

実施例1において、リボン片を回収し、ZrO₂ボールとZrO₂容器を用いたビーズミルによってAr雰囲気下において約1000rpmの粉碎・圧延化を行い扁平粉末化する。粉碎・圧延化、熱処理、の作業を繰り返す事によって、所定のサイズ、構造になるように処理を行う。それ以外は実施例1とほぼ同じである。得られた扁平磁性金属粒子の厚さは10nm、厚さに対する扁平面内の平均長さの比が200であり、扁平面は最小長さに対する最大長さの比a／bが1.6で角張った輪郭形状を有している。また、磁性金属相の結晶粒径は約2nmである。

【0114】

（実施例3）

扁平磁性金属粒子の厚さが1μm、厚さに対する扁平面内の平均長さの比が100である事以外は実施例2とほぼ同じである。

【0115】

（実施例4）

扁平磁性金属粒子の厚さが100μm、厚さに対する扁平面内の平均長さの比が5である事以外は実施例2とほぼ同じである。

【0116】

（実施例5）

扁平磁性金属粒子の厚さが10nm、厚さに対する扁平面内の平均長さの比が1000である事以外は実施例2とほぼ同じである。

【0117】

(実施例 6)

扁平磁性金属粒子の厚さが 10 nm、厚さに対する扁平面内の平均長さの比が 1000 である事以外は実施例 2 とほぼ同じである。

【0118】

(実施例 7)

磁場中熱処理条件を制御する事によって、扁平磁性金属粒子の扁平面内の保磁力差の割合を 12%、圧粉材料の平面内の保磁力差の割合を 10% とする事以外は実施例 1 とほぼ同じである。

【0119】

(実施例 8)

磁場中熱処理条件を制御する事によって、扁平磁性金属粒子の扁平面内の保磁力差の割合を 52%、圧粉材料の平面内の保磁力差の割合を 50% とする事以外は実施例 1 とほぼ同じである。

【0120】

(実施例 9)

リボン合成時において、ロール表面は、研磨紙で、ロール回転方向に磨いて、表面粗さを調整する。これによって得られる扁平磁性金属粒子の扁平面には、第 1 方向に配列し、幅 0.1 μm 以上で長さ 1 μm 以上でアスペクト比が 2 以上の複数の凹部と複数の凸部の一方又その両方を有する。それ以外は実施例 1 とほぼ同じである。

【0121】

(実施例 10)

リボン合成時において、急冷条件を制御する事によって、得られる扁平磁性金属粒子の格子歪みを 0.5% 付与させる事以外は実施例 1 とほぼ同じである。

【0122】

(実施例 11)

リボン合成時において、急冷条件を制御する事によって、得られる扁平磁性金属粒子を (110) 配向させる事以外は実施例 1 とほぼ同じである。

【0123】

(実施例 12)

リボン合成時における急冷条件及び粉碎条件を制御する事によって、得られる扁平磁性金属粒子の扁平面上に、平均粒径が 10 nm 以上 1 μm 以下の磁性金属小粒子が平均して 5 個以上付着している事以外は実施例 1 とほぼ同じである。

【0124】

(実施例 13)

組成を、Fe-Co-B-Zr (Fe:Co:B:Zr=63:27:4:6 (at%))、Fe:Co=70:30 (at%)、添加元素 B+Zr の合計量は、Fe+Co+B+Zr の合計量に対して、10 at% とする事以外は実施例 1 とほぼ同じである。

【0125】

(実施例 14)

組成を、Fe-Co-B-Y (Fe:Co:B:Y=63:27:4:6 (at%))、Fe:Co=70:30 (at%)、添加元素 B+Y の合計量は、Fe+Co+B+Y の合計量に対して、10 at% とする事以外は実施例 1 とほぼ同じである。

【0126】

(実施例 15)

組成を、Fe-Co-Si (Fe:Co:Si=66.5:28.5:5.0 (at%))、Fe:Co=70:30 (at%)、添加元素 Si 量は、Fe+Co+Si の合計量に対して、5.0 at% とする事以外は実施例 1 とほぼ同じである。

【0127】

(実施例 16)

扁平面内の最小長さに対する最大長さの比 a/b が 2 であり、最大長さ方向が一方に

10

20

30

40

50

揃っている事以外は実施例 1 とほぼ同じである。

【0128】

(実施例 17)

扁平面内の最小長さに対する最大長さの比 a/b が 5 であり、最大長さ方向が一方向に揃っている事以外は実施例 17 とほぼ同じである。

【0129】

(実施例 18)

扁平磁性金属粒子の扁平面に、幅 $0.1 \mu\text{m}$ 以上、長さ $1 \mu\text{m}$ 以上でアスペクト比が 2 以上の複数の凹部と複数の凸部の一方又その両方を有し、複数の凹部乃至凸部の最大長さ方向の配列割合が 30% 以上である事以外は実施例 16 とほぼ同じである。

10

【0130】

(実施例 19)

最大長さ方向が揃っていない事以外は実施例 16 とほぼ同じである。

【0131】

(実施例 20)

扁平面の輪郭形状が丸みを帯びている事以外は実施例 16 とほぼ同じである。

【0132】

(実施例 21)

扁平磁性金属粒子の表面にゾルゲル法によって、非磁性の SiO_2 層を厚さ約 10 nm で被覆させる事以外は実施例 1 とほぼ同じである。

20

【0133】

(比較例 1)

市販の Fe-Si-Cr-Ni 扁平粒子を用いる。扁平磁性金属粒子の厚さは約 400 nm 、アスペクト比は約 100 である。扁平磁性金属粒子を介在相とともに混合し、成型を行う事によって圧粉材料を得る（磁場中成型、磁場中熱処理は行わない）。

【0134】

(比較例 2)

扁平磁性金属粒子の厚さが 8 nm 、厚さに対する扁平面内の平均長さの比が 1000 である事以外は実施例 1 とほぼ同じである。

【0135】

30

(比較例 3)

扁平磁性金属粒子の厚さが $120 \mu\text{m}$ 、厚さに対する扁平面内の平均長さの比が 5 である事以外は実施例 1 とほぼ同じである。

【0136】

(比較例 4)

扁平磁性金属粒子の厚さが $100 \mu\text{m}$ 、厚さに対する扁平面内の平均長さの比が 4 である事以外は実施例 1 とほぼ同じである。

【0137】

(比較例 5)

扁平磁性金属粒子の厚さが 10 nm 、厚さに対する扁平面内の平均長さの比が 1200 である事以外は実施例 1 とほぼ同じである。

40

【0138】

次に、実施例 1～21 及び比較例 1～5 の評価用材料に関して、以下の方法で、飽和磁化、透磁率実部 (μ')、透磁率損失 ($\tan \delta$)、100 時間後の透磁率実部 (μ') の経時変化、鉄損、強度比を評価する。評価結果を表 2 に示す。

【0139】

(1) 飽和磁化：VSM を用いて室温での飽和磁化を測定する。

【0140】

(2) 透磁率実部 μ' 、透磁率損失 ($\tan \delta = \mu'' / \mu' \times 100 (\%)$)：インピーダンスアナライザーを用いて、リング状の試料の透磁率を測定する。 100 Hz の周波数で

50

の透磁率実部 μ' 、透磁率虚部 μ'' を測定する。また、透磁率損失又は損失係数 $\tan \delta$ は、 $\mu'' / \mu' \times 100$ (%) で算出する。

【0141】

(3) 100時間後の透磁率実部 μ' の経時変化：評価用試料を温度 60℃、大気中で 100時間加熱した後、再度、透磁率実部 μ' を測定し、経時変化 (100時間放置後の透磁率実部 μ' / 放置前の透磁率実部 μ') を求める。

【0142】

(4) 鉄損：B-Hアナライザーを用いて 100Hz、1Tの動作条件での鉄損を測定する。尚、100Hz、1Tの条件で直接測定出来ない場合は、鉄損の周波数依存性、磁束密度依存性を測定し、そのデータから 100Hz、1Tの鉄損を推定する (そしてこの推定値を採用する)。

【0143】

(5) 強度比：評価用試料の抗折強度を測定し、比較例 1 の試料の抗折強度との比 (= 評価用試料の抗折強度 / 比較例 1 の試料の抗折強度) で示した。

【0144】

10

20

30

40

50

【表 1】

	t	A	a/b	輪郭 形状	扁平磁性金属粒子の扁平面 内の保磁力差の割合 (%)	圧粉材料の平面内の 保磁力差の割合 (%)	備考
実施例 1	10 μ m	20	1.6	角	105	100	—
実施例 2	10nm	200	1.6	角	80	70	—
実施例 3	1 μ m	100	1.6	角	90	80	—
実施例 4	100 μ m	5	1.6	角	100	90	—
実施例 5	10nm	1000	1.6	角	80	70	—
実施例 6	10nm	10000	1.6	角	80	70	—
実施例 7	10 μ m	20	1.6	角	12	10	—
実施例 8	10 μ m	20	1.6	角	52	50	—
実施例 9	10 μ m	20	1.6	角	110	105	複数の凹凸部が 一方向に配列
実施例 10	10 μ m	20	1.6	角	115	107	格子歪み
実施例 11	10 μ m	20	1.6	角	110	105	(110)配向
実施例 12	10 μ m	20	1.6	角	102	100	磁性金属小粒子付着
実施例 13	10 μ m	20	1.6	角	50	48	Fe-Co-B-Zr
実施例 14	10 μ m	20	1.6	角	55	52	Fe-Co-B-Y
実施例 15	10 μ m	20	1.6	角	17	15	Fe-Co-Si
実施例 16	10 μ m	20	2	角	140	120	最大長さ方向が 一方向に配列
実施例 17	10 μ m	20	5	角	340	200	最大長さ方向が 一方向に配列
実施例 18	10 μ m	20	2	角	150	130	最大長さ方向と、 複数の凹凸部が 一方向に配列
実施例 19	10 μ m	20	2	角	140	32	最大長さ方向が 無秩序に配列
実施例 20	10 μ m	20	2	丸	135	115	最大長さ方向が 一方向に配列
実施例 21	10 μ m	20	1.6	角	105	102	被覆層あり
比較例 1	400nm	100	1.6	角	≈ 0	≈ 0	—
比較例 2	8nm	1000	1.6	角	50	40	—
比較例 3	120 μ m	5	1.6	角	80	70	—
比較例 4	100 μ m	4	1.6	角	70	60	—
比較例 5	10nm	12000	1.6	角	50	40	—

【 0 1 4 5 】

10

20

30

40

50

【表 2】

	飽和磁化 (T)	μ' (100Hz)	$\tan \delta$ (%) (100Hz)	鉄損 (kW/m ³) 100Hz、1T	μ' の経時変化 割合 (%)	強度比
実施例 1	1.0	90	≒0	15	92	1.2
実施例 2	1.0	85	≒0	18	92	1.2
実施例 3	1.0	88	≒0	16	93	1.2
実施例 4	1.0	78	≒0	20	93	1.2
実施例 5	1.0	82	≒0	18	92	1.2
実施例 6	1.0	80	≒0	15	92	1.2
実施例 7	1.0	50	≒0	40	93	1.2
実施例 8	1.0	60	≒0	22	93	1.3
実施例 9	1.0	93	≒0	13	94	1.4
実施例 10	1.0	93	≒0	13	94	1.4
実施例 11	1.0	97	≒0	13	94	1.4
実施例 12	1.0	93	≒0	13	94	1.4
実施例 13	1.3	30	≒0	60	92	1.3
実施例 14	1.3	33	≒0	50	92	1.3
実施例 15	1.8	25	≒0	180	92	1.3
実施例 16	1.0	95	≒0	13	93	1.3
実施例 17	1.0	102	≒0	12	93	1.3
実施例 18	1.0	98	≒0	12	95	1.4
実施例 19	1.0	68	≒0	14	93	1.3
実施例 20	1.0	97	≒0	12	94	1.4
実施例 21	1.0	92	≒0	13	94	1.4
比較例 1	1.0	20	≒0	500	88	—
比較例 2	1.0	87	≒0	20	90	1.1
比較例 3	1.0	88	≒0	21	90	1.1
比較例 4	1.0	86	≒0	20	90	1.1
比較例 5	1.0	88	≒0	21	90	1.1

【0146】

表 1 から明らかなように、実施例 1～21 に係る扁平磁性金属粒子は、厚さが 10 nm 以上 100 μ m 以下、厚さに対する扁平面内の平均長さの比が 5 以上 10000 以下である。また、扁平磁性金属粒子の扁平面内の方向によって保磁力差を有しており、また圧粉材料の平面内の方向によって保磁力差を有している。実施例 7、8 は、実施例 1 と比較して、保磁力差の割合が少ない。実施例 9 は、扁平面上に、第 1 方向に配列し、幅 0.1 μ m 以上、長さ 1 μ m 以上、アスペクト比が 2 以上の複数の凹部又は凸部の両方を有する。実施例 10 は、格子歪みが 0.5 % 付与されている。実施例 11 は、扁平磁性金属粒子が (110) 配向している。実施例 12 は、扁平磁性金属粒子の扁平面上に、平均粒径が 1

0 nm以上1 μ m以下の磁性金属小粒子が平均して5個以上付着している。実施例13はFe-Co-B-Zr組成、実施例14はFe-Co-B-Y組成、実施例15はFe-Co-Si組成である。実施例16～18は、実施例1と比較して、扁平面内の最小長さに対する最大長さの比が5より大きく、最大長さ方向が一方向に揃っている。実施例18は、扁平面状に、最大長さ方向に配列した複数の凹部又は凸部の両方を有する。これらによって、圧粉材料の平面内の保磁力差を大きく付与できる事が分かる。一方、実施例19は、扁平磁性金属粒子が扁平面内の方向によって大きな保磁力差を有しているものの、最大長さ方向が揃っていないために、圧粉材料の平面内の保磁力差は小さくなっている事が分かる。また実施例20は、扁平磁性粒子が丸みを帯びた輪郭形状を有するため、圧粉材料の平面内の保磁力差は小さくなっている事が分かる。実施例21は、実施例1の扁平磁性金属粒子の表面に被覆層が形成されたものである。

10

【0147】

表2から明らかなように、実施例1～21の扁平磁性金属粒子を用いた圧粉材料は、比較例1の圧粉材料と比べて、透磁率、鉄損、透磁率の経時変化割合、強度比、において優れている事が分かる。つまり、磁気的特性、熱的安定性、機械特性において優れている事が分かる。また、実施例9～12、18は、実施例1よりも、透磁率、鉄損、透磁率の経時変化割合、強度比、においてやや優れている事が分かる。つまり、磁気的特性、熱的安定性、機械特性においてやや優れている事が分かる。実施例7、8は、実施例1と比較して、保磁力差の割合が少ない事によって、特に、透磁率、鉄損がやや劣る事が分かる。また、実施例13～15では、組成を変える事によって、特に飽和磁化を変える事ができる。用途によっては（例えばモータの磁性くさびなど）、飽和磁化が比較的小さい場合でも十分に使用する事ができ、むしろ低損失、高透磁率に特化した方が好ましい場合もある。そのため、その場合は実施例1～12、16～21の様に飽和磁化1 T級のものを使用する事ができる。一方でモータコアの様に高い飽和磁化が要求される場合は実施例13～15、特に実施例15の様に高い飽和磁化のものを使用する事が出来る。用途に応じて、組成及び添加元素量を選定する事が重要である。実施例16～18は、実施例1と比較して、圧粉材料の平面内に大きな保磁力差を付与する事ができるが、透磁率、鉄損、耐久性の点で劣る事が分かる。尚、比較例2～5は、扁平磁性金属粒子の扁平面内の方向によって保磁力差を有しており、また、圧粉材料の平面内の方向によって保磁力差を有しているが、扁平磁性金属粒子の厚さ及びアスペクト比が規定の範囲外である。この場合は、特に、透磁率の経時変化割合、強度比、においてやや劣る事が分かる。以上まとめると、実施例1～22の圧粉材料は、高い飽和磁化、高い透磁率、低い鉄損、小さな「透磁率の経時変化割合」、高強度、といった優れた磁気特性及び機械特性を有している事が分かる。かつ、圧粉材料であるため、複雑な形状への適用が可能である。

20

30

【0148】

(実施例22)

無機酸化物介在相($B_2O_3-Bi_2O_3-ZnO$)の代わりに、樹脂介在相(ガラス転移温度が180℃のポリイミド系樹脂)を用いる事以外は実施例1とほぼ同じである。尚、本樹脂介在相の180℃・3000時間加熱後の重量減少率が5%であった。尚、本圧粉材料の重量減少率は5%以下であった。

40

【0149】

(実施例23)

無機酸化物介在相($B_2O_3-Bi_2O_3-ZnO$)の代わりに、樹脂介在相(熱分解開始温度までガラス転移を示さない結晶性のポリイミド系樹脂)を用いる事以外は実施例1とほぼ同じである。尚、本樹脂介在相は180℃・3000時間加熱後の重量減少率が0.1%以下であった。尚、本圧粉材料の重量減少率は0.1%以下であった。

【0150】

(実施例24)

無機酸化物介在相($B_2O_3-Bi_2O_3-ZnO$)の代わりに、樹脂介在相(ビフェニル骨格を含む酸無水物と芳香族ジアミンから成り、ガラス転移温度が280℃のポリイミ

50

ド系樹脂)を用いる事以外は実施例1とほぼ同じである。尚、本樹脂介在相は $220^{\circ}\text{C} \cdot 3000$ 時間加熱後の重量減少率が2%であった。尚、本圧粉材料の重量減少率は5%以下であった。

【0151】

(実施例25)

無機酸化物介在相($\text{B}_2\text{O}_3-\text{Bi}_2\text{O}_3-\text{ZnO}$)の代わりに、樹脂介在相(ビフェニル骨格を含む酸無水物と芳香族ジアミンから成り、熱分解開始温度までガラス転移を示さない結晶性のポリイミド系樹脂)を用いる事以外は実施例1とほぼ同じである。尚、本樹脂介在相は $220^{\circ}\text{C} \cdot 3000$ 時間加熱後の重量減少率が0.1%以下であった。尚、本圧粉材料の重量減少率は0.1%以下であった。

10

【0152】

(比較例6)

無機酸化物介在相($\text{B}_2\text{O}_3-\text{Bi}_2\text{O}_3-\text{ZnO}$)の代わりに、樹脂介在相(ガラス転移温度が 170°C のポリイミド系樹脂)を用いる事以外は実施例1とほぼ同じである。尚、本樹脂介在相は $180^{\circ}\text{C} \cdot 3000$ 時間加熱後の重量減少率が10%であった。尚、本圧粉材料の重量減少率は5%以上であった。

【0153】

(比較例7)

無機酸化物介在相($\text{B}_2\text{O}_3-\text{Bi}_2\text{O}_3-\text{ZnO}$)の代わりに、樹脂介在相(エポキシ樹脂)を用いる事以外は実施例1とほぼ同じである。尚、本樹脂介在相は $180^{\circ}\text{C} \cdot 3000$ 時間加熱後の重量減少率が90%であった。尚、本圧粉材料の重量減少率は5%以上であった。

20

【0154】

次に、実施例22~25及び比較例6、7の評価用材料に関して、以下の方法で、 180°C または 220°C で3000時間加熱したときの透磁率実部(μ')の経時変化、強度保持率、重量減少率を評価する。評価結果を表3に示す。尚、加熱前の実施例22~25及び比較例6、7の評価用材料は、飽和磁化が1T、100Hzの周波数での透磁率実部(μ')が90、透磁率損失($\tan \delta$)がほぼ0のものを用いた。

【0155】

(1) 飽和磁化: VSMを用いて室温での飽和磁化を測定する。

30

【0156】

(2) 透磁率実部 μ' 、透磁率損失($\tan \delta = \mu'' / \mu' \times 100 (\%)$): インピーダンスアナライザーを用いて、リング状の試料の透磁率を測定する。100Hzの周波数での透磁率実部 μ' 、透磁率虚部 μ'' を測定する。また、透磁率損失又は損失係数 $\tan \delta$ は、 $\mu'' / \mu' \times 100 (\%)$ で算出する

【0157】

(3)。鉄損: B-Hアナライザーを用いて100Hz、1Tの動作条件での鉄損を測定する。尚、100Hz、1Tの条件で直接測定出来ない場合は、鉄損の周波数依存性、磁束密度依存性を測定し、そのデータから100Hz、1Tの鉄損を推定する(そしてこの推定値を採用する)。

40

【0158】

(4) 強度: JIS Z2248の測定方法に沿って評価用材料の抗折強度を測定する。尚、評価用材料が小さく、JIS Z2248で規定される試験片形状を満たさない場合は、曲げ強度が分かっている同サイズのテストピースから引いた検量線を用いて、評価用材料の抗折強度を推定する(そしてこの推定値を採用する)。

【0159】

(5) 3000時間後の重量減少率: 電子天秤を用いて評価用材料の重量を測定する。温度 180°C または 220°C で、大気中で3000時間加熱した後、再度、評価用材料の重量を測定する。これにより、重量減少率($= (\text{加熱前の重量} - \text{加熱後の重量}) / \text{加熱前の重量} \times 100 (\%)$)を求める。

50

【 0 1 6 0 】

(6) 3 0 0 0 時間後の透磁率実部 μ' の経時変化：評価用材料を温度 1 8 0 °C または 2 2 0 °C で、大気中で 3 0 0 0 時間加熱した後、再度、透磁率実部 μ' を測定し、経時変化割合 (3 0 0 0 時間放置後の透磁率実部 μ' / 放置前の透磁率実部 μ') を求める。

【 0 1 6 1 】

(7) 3 0 0 0 時間後の強度保持率：評価用材料の抗折強度を測定する。温度 1 8 0 °C または 2 2 0 °C で、大気中で 3 0 0 0 時間加熱した後、再度、評価用試料の抗折強度を測定する。これにより、強度保持率 (= 加熱後の抗折強度 / 加熱前の抗折強度 $\times$ 1 0 0 (%)) を求める。

【 0 1 6 2 】

【表 3】

	強度	μ' の経時変化 割合 (%)	強度保持率 (%)
実施例 22	130MPa	91	87
実施例 23	130MPa	98	93
実施例 24	150MPa	92	90
実施例 25	150MPa	98	93
比較例 6	120MPa	87	78
比較例 7	100MPa	76	12

【 0 1 6 3 】

表 3 から明らかなように、実施例 2 2 ~ 2 5 の圧粉材料は、比較例 6 ~ 7 の圧粉材料と比べて、3 0 0 0 時間後の透磁率実部の経時変化割合、強度保持率において優れている事が分かる。つまり、熱的安定性において優れている事が分かる。また、実施例 2 4 、 2 5 は、実施例 2 2 、 2 3 よりも、強度においてやや優れている事が分かる。つまり、機械特性、耐久性においてやや優れている事が分かる。

【 0 1 6 4 】

本発明のいくつかの実施形態及び実施例を説明したが、これらの実施形態及び実施例は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことが出来る。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

【符号の説明】

【 0 1 6 5 】

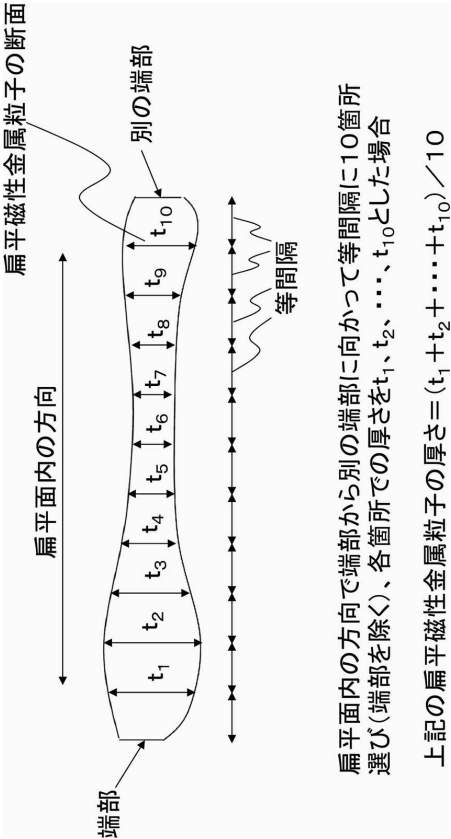
- 2 a 凹部
- 2 b 凸部
- 4 磁性金属小粒子
- 6 扁平面
- 8 付着金属
- 9 被覆層
- 1 0 扁平磁性金属粒子
- 2 0 介在相
- 1 0 0 圧粉材料
- 1 0 2 平面
- 2 0 0 モータ

300 モータコア

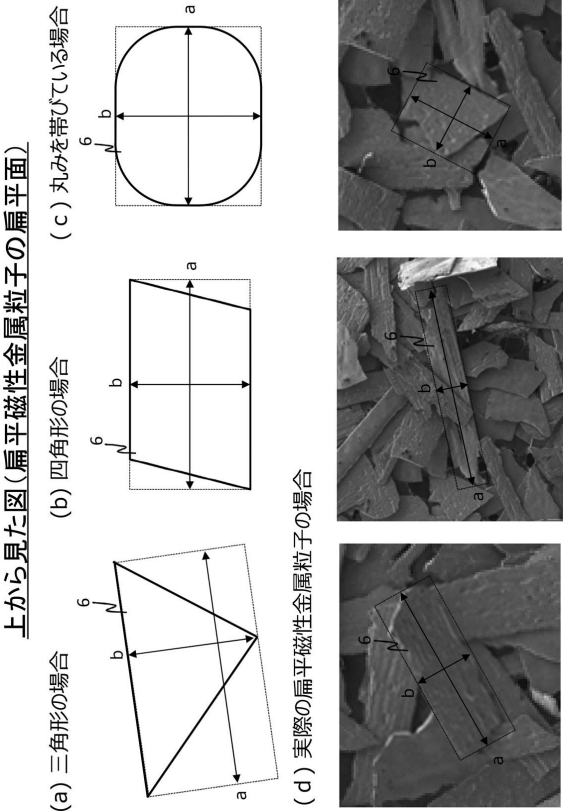
400 変圧器・トランス

500 インダクタ

【図面】
【図1】

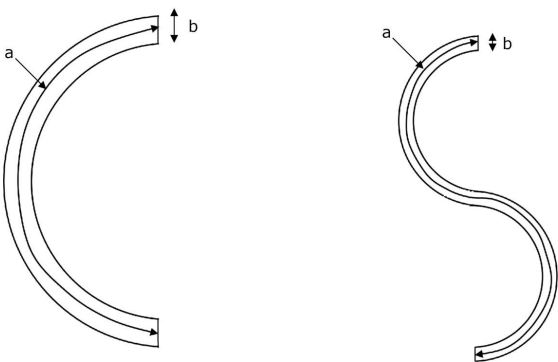


【図2】



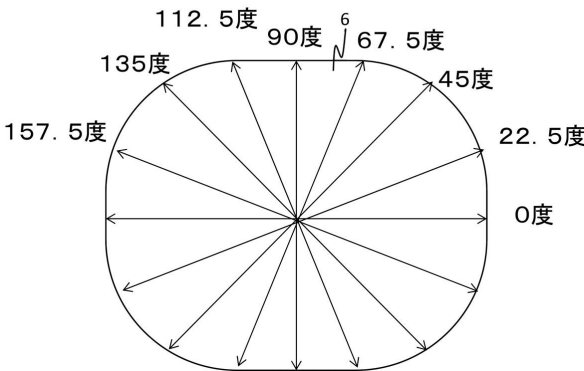
【図3】

上から見た図(扁平磁性金属粒子の扁平面)



【図4】

上から見た図(扁平磁性金属粒子の扁平面)



10

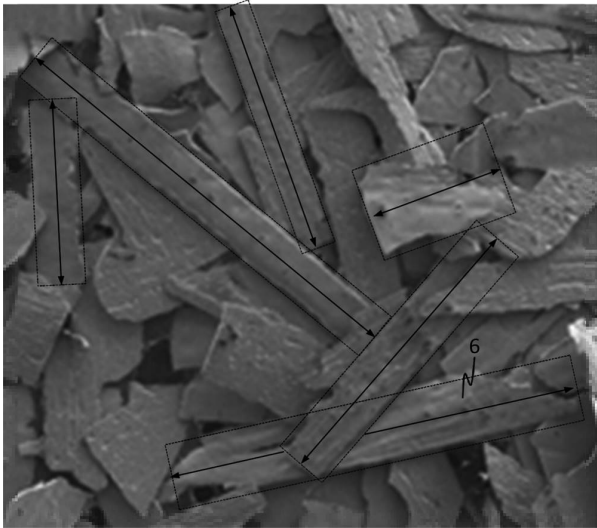
20

30

40

50

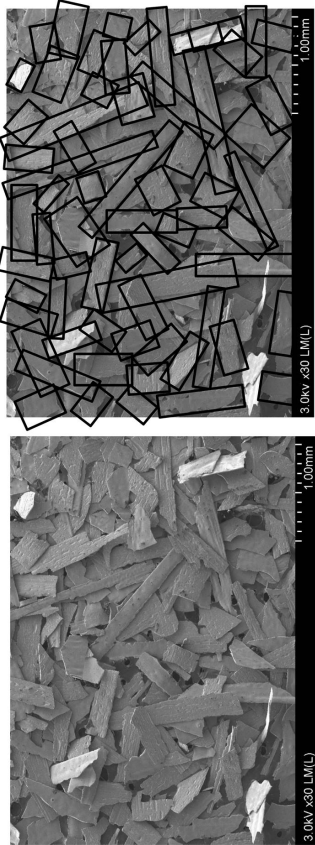
【図 7】



【図 8】

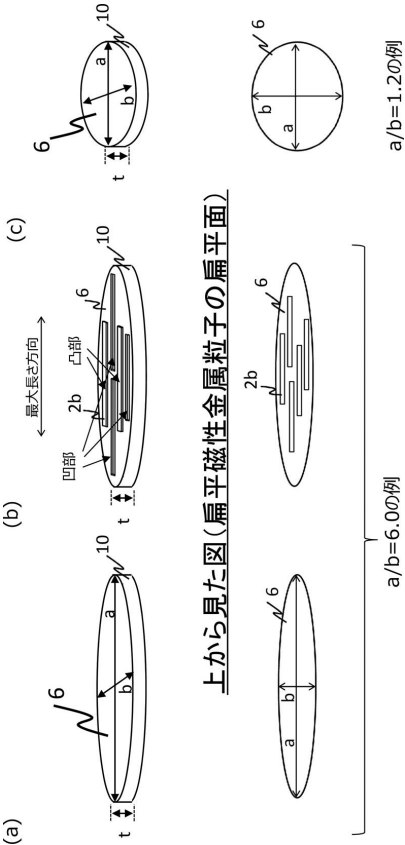
観察した20個以上(57個)の扁平磁性金属粒子に対して、最大長さ、最小長さを求めるために外接する長方形を描画した図

観察した扁平磁性金属粒子



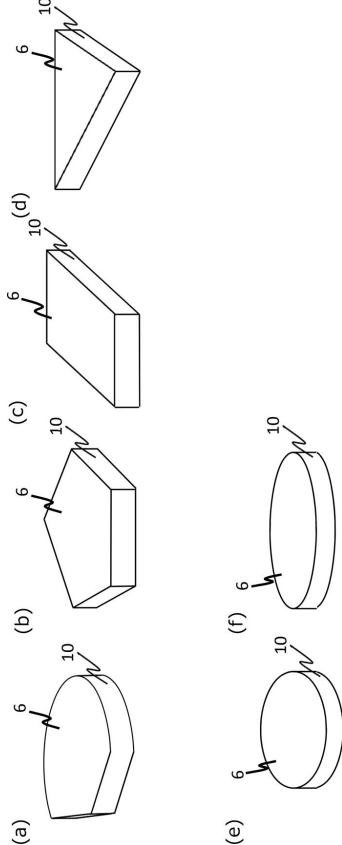
上記を計算すると、平均長さ=2.7になった

【図 5】

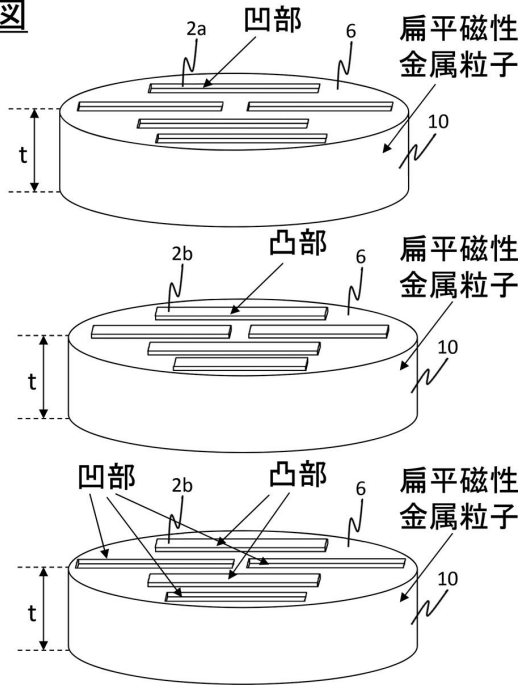


上から見た図(扁平磁性金属粒子の扁平面)

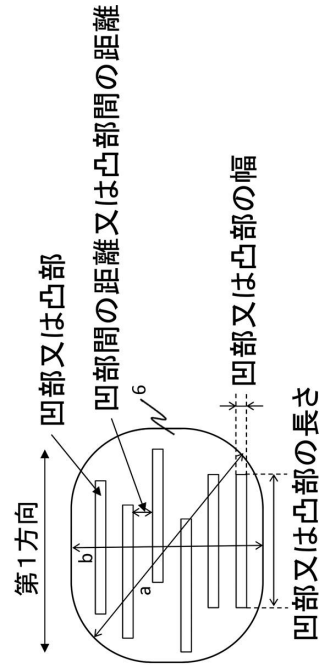
【図 6】



【図 9】
斜視図

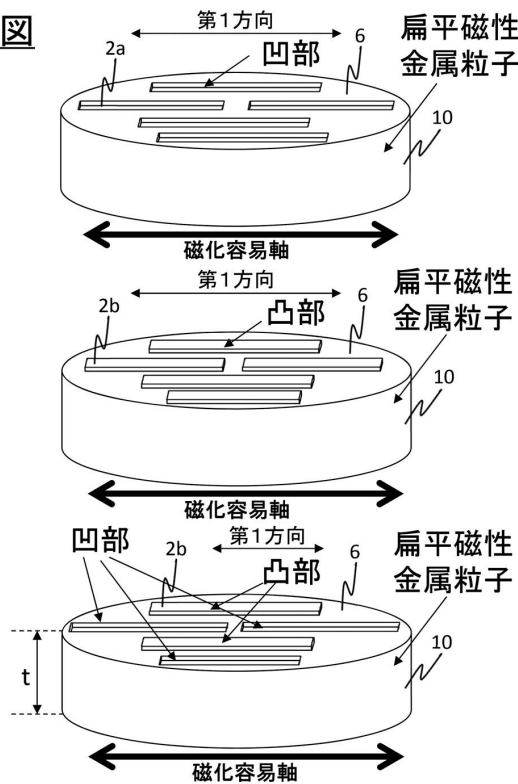


【図 10】



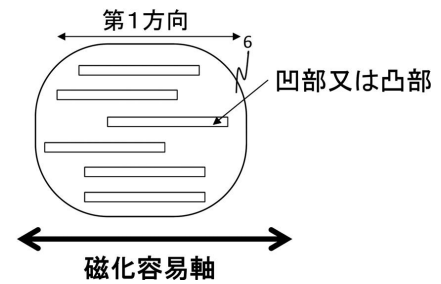
上から見た図(扁平磁性金属粒子の扁平面)

【図 11】
斜視図



【図 12】

上から見た図(扁平磁性金属粒子の扁平面)



10

20

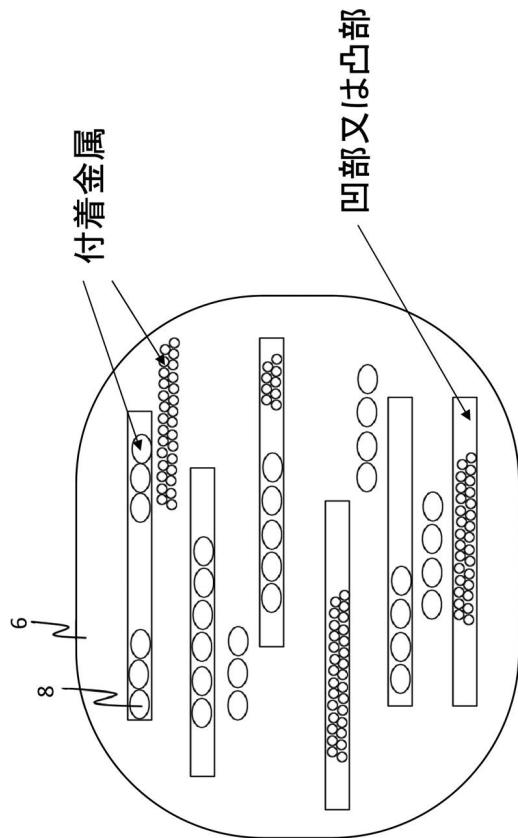
30

40

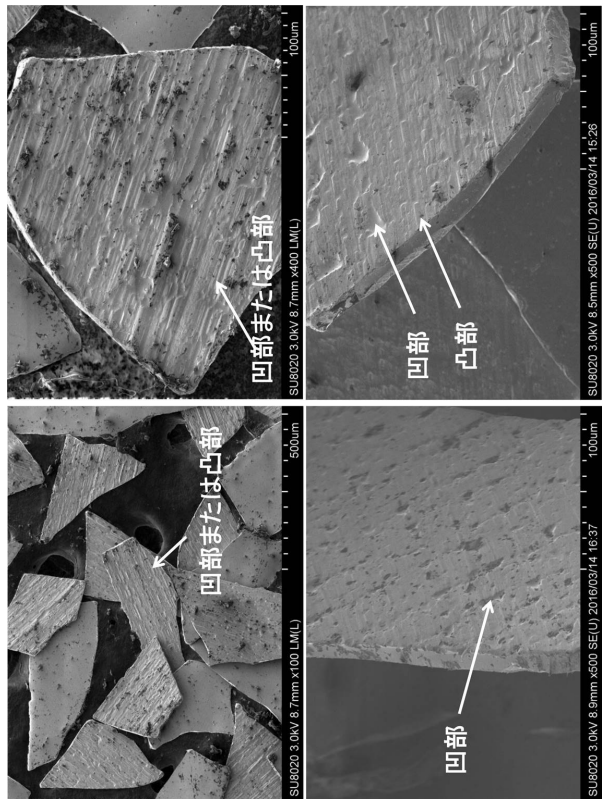
50

【図 1 3】

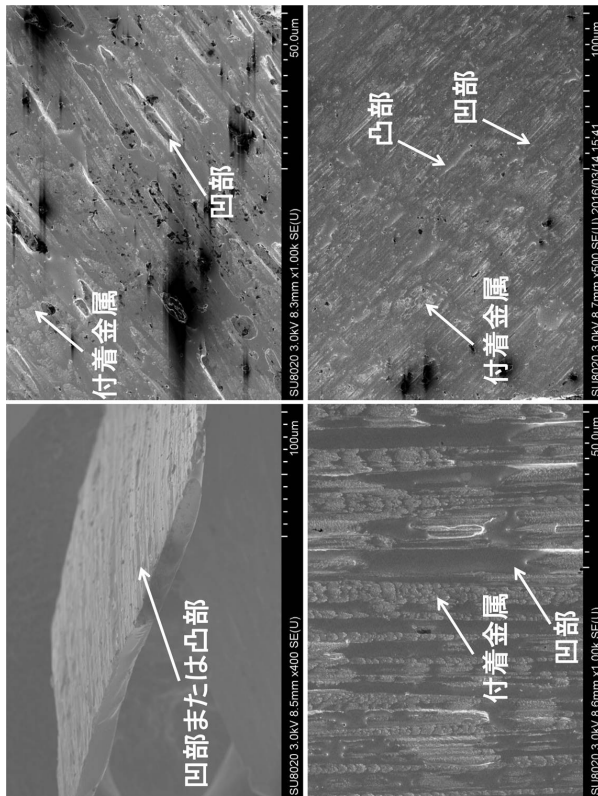
上から見た図(扁平磁性金属粒子の扁平面)



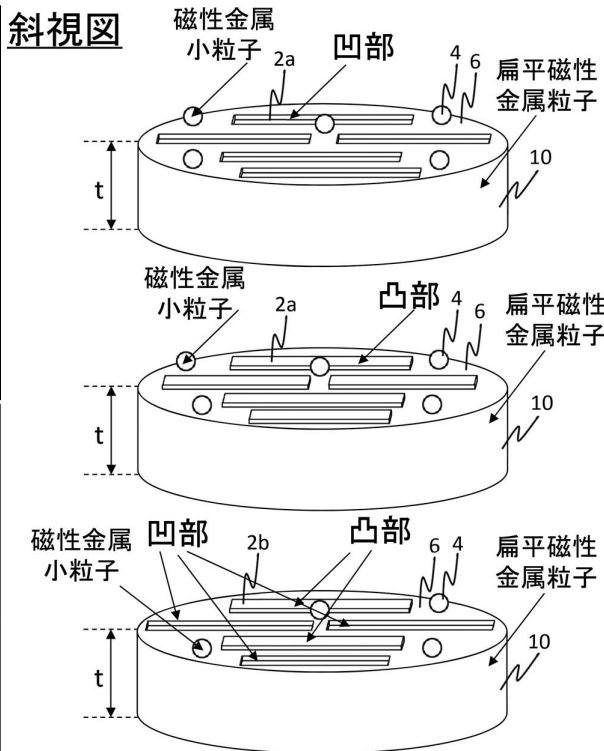
【図 1 4】



【図 1 5】



【図 1 6】



10

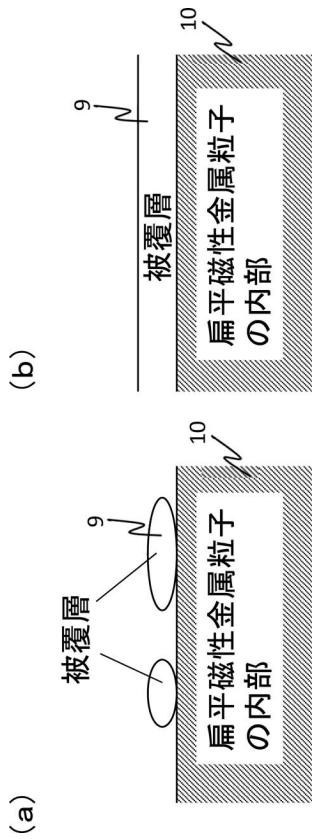
20

30

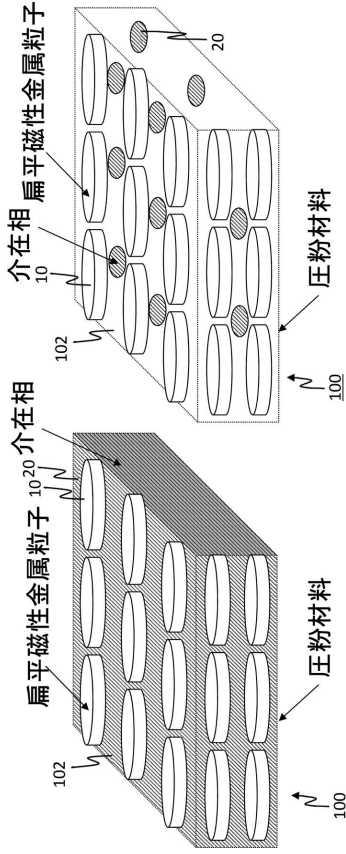
40

50

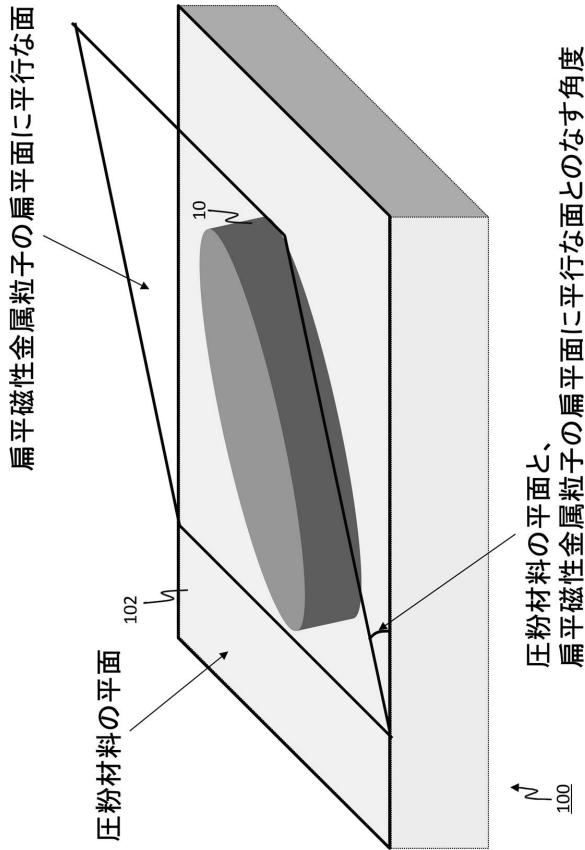
【図 1 7】



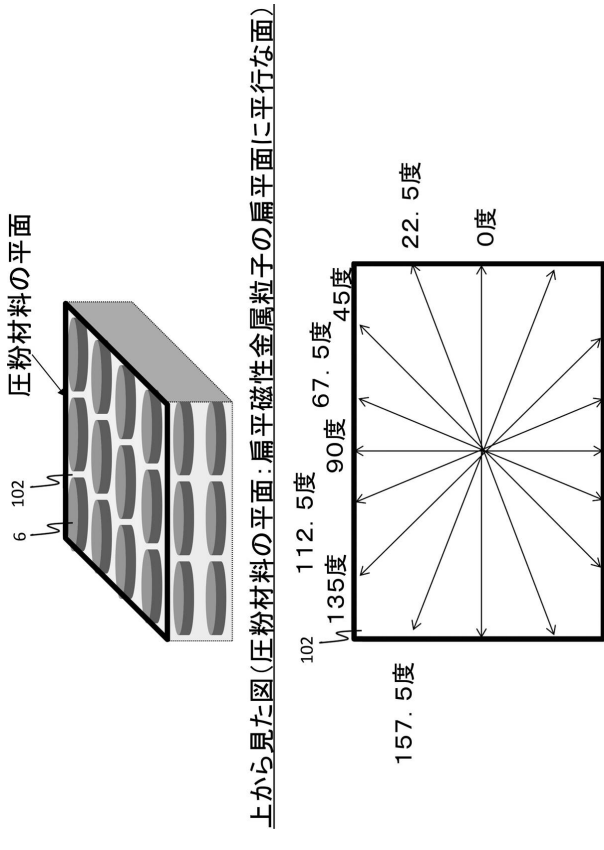
【図 1 8】



【図 1 9】



【図 2 0】



10

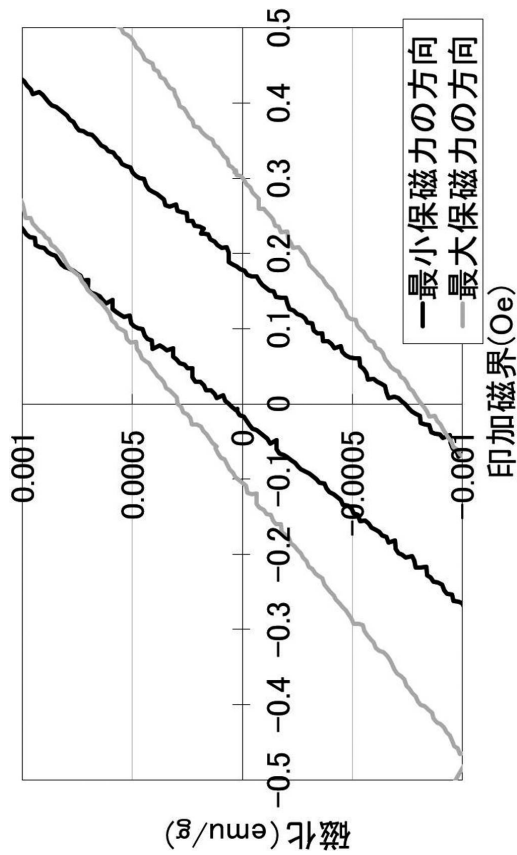
20

30

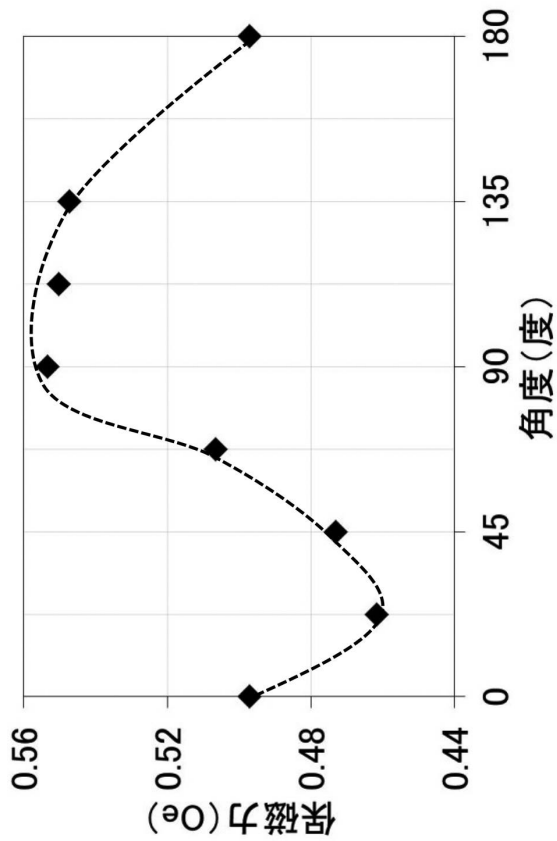
40

50

【図 2 1】

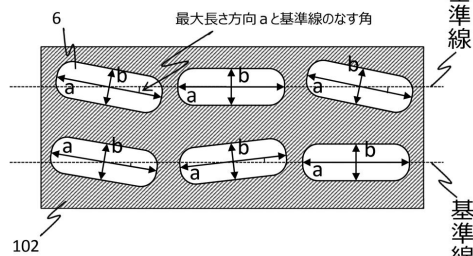


【図 2 2】

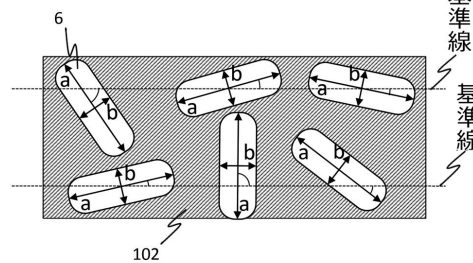


【図 2 3】

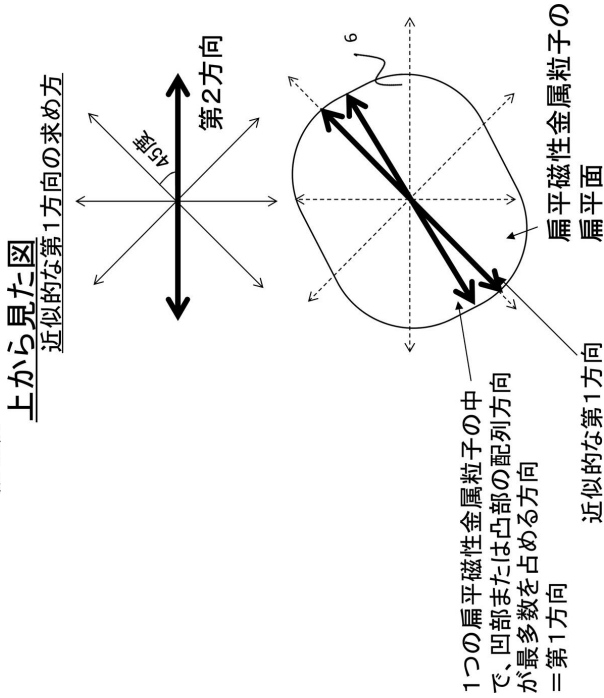
(a) 最大長さ方向aが揃っている例



(b) 最大長さ方向aが揃っていない例



【図 2 4】



10

20

30

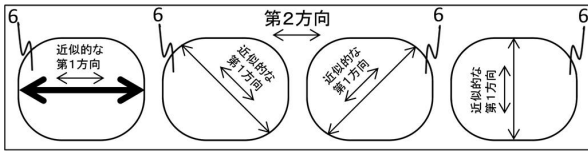
40

50

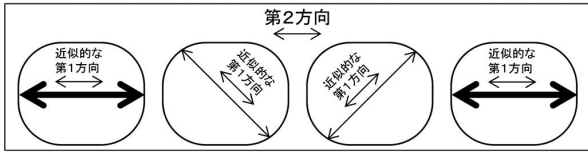
【図 2 5】

近似的な第1方向の配列の例

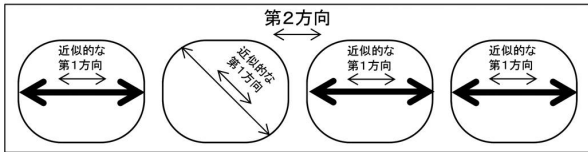
同じ方向で配列している割合が25%の時(配列割合=25%)



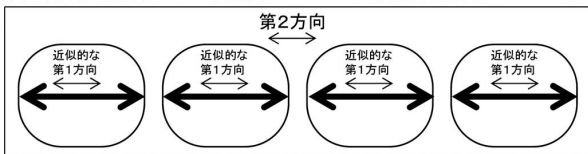
同じ方向で配列している割合が50%の時(配列割合=50%)



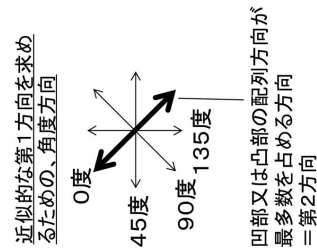
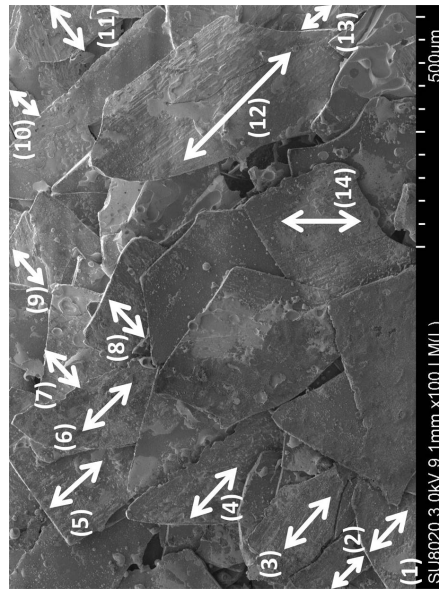
同じ方向で配列している割合が75%の時(配列割合=75%)



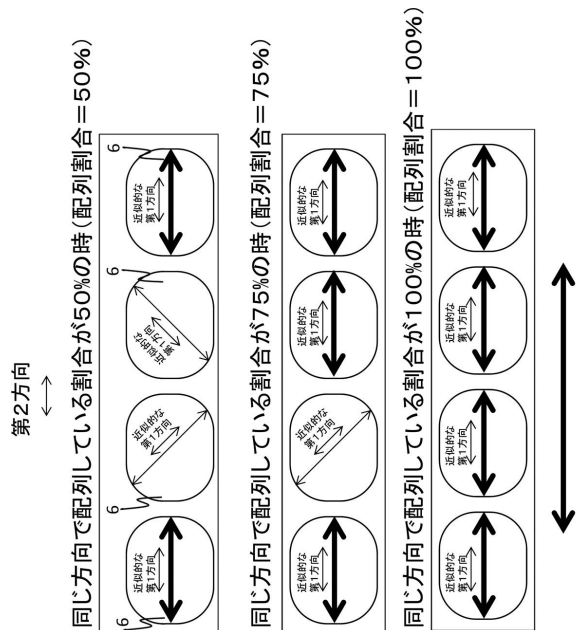
同じ方向で配列している割合が100%の時(配列割合=100%)



【図 2 6】

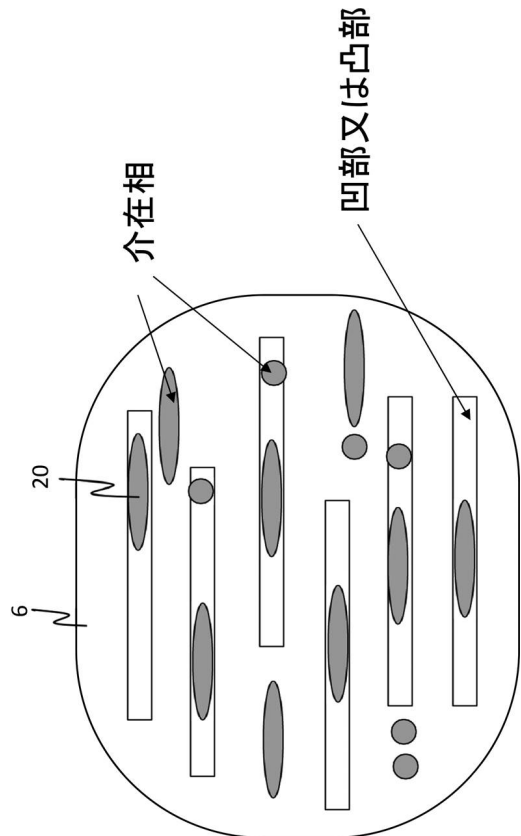


【図 2 7】



【図 2 8】

上から見た図(扁平磁性金属粒子の扁平面)



10

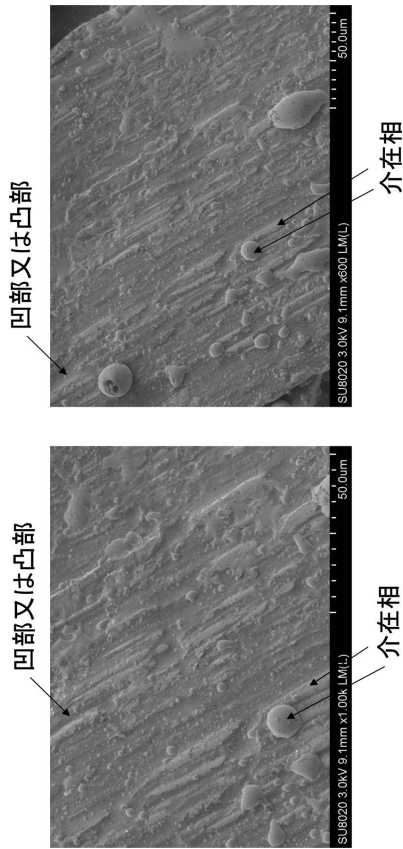
20

30

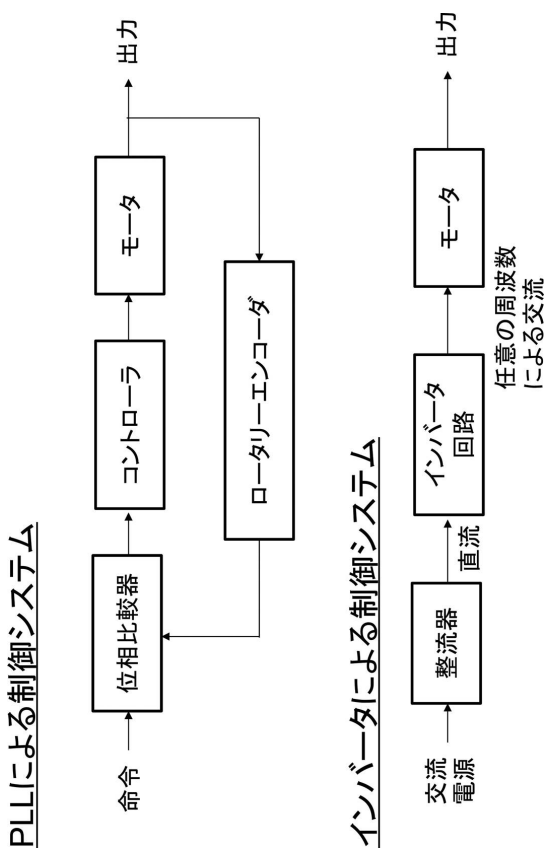
40

50

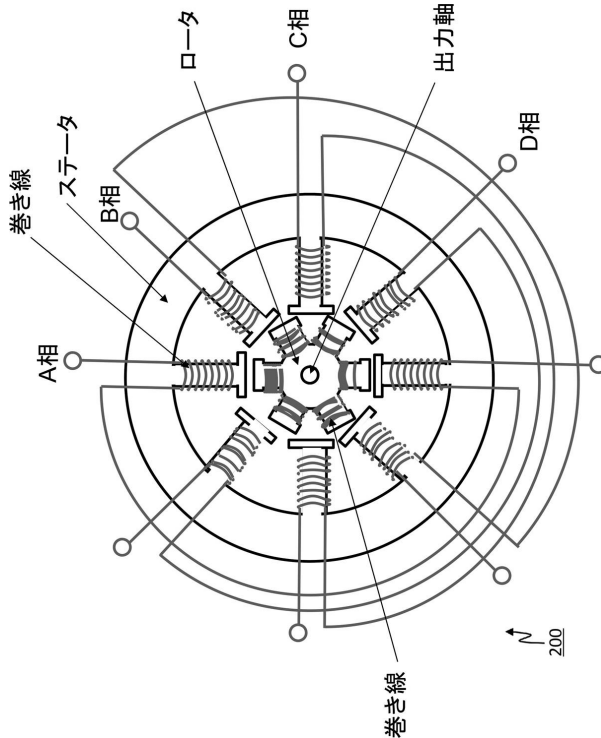
【図 29】



【図 30】

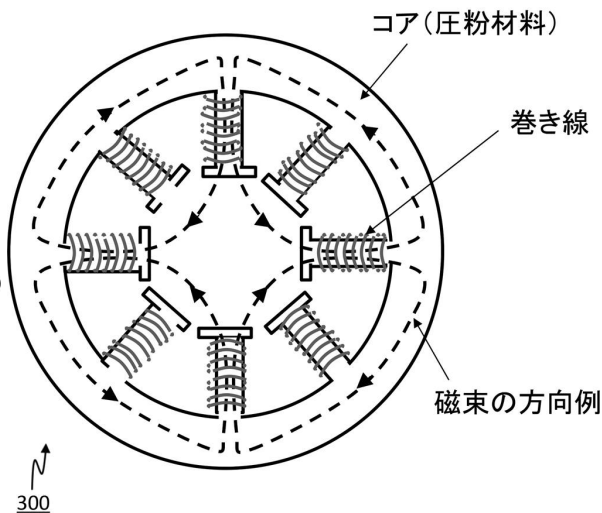


【図 31】



【図 32】

ステータの断面概念図例



10

20

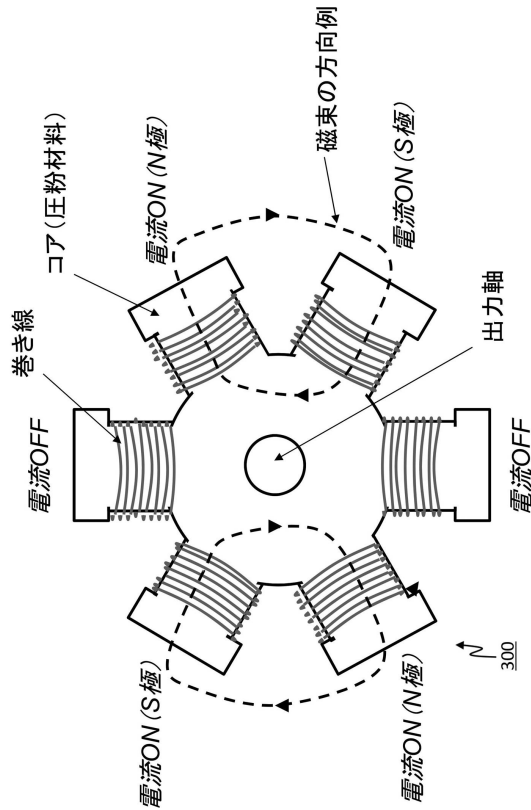
30

40

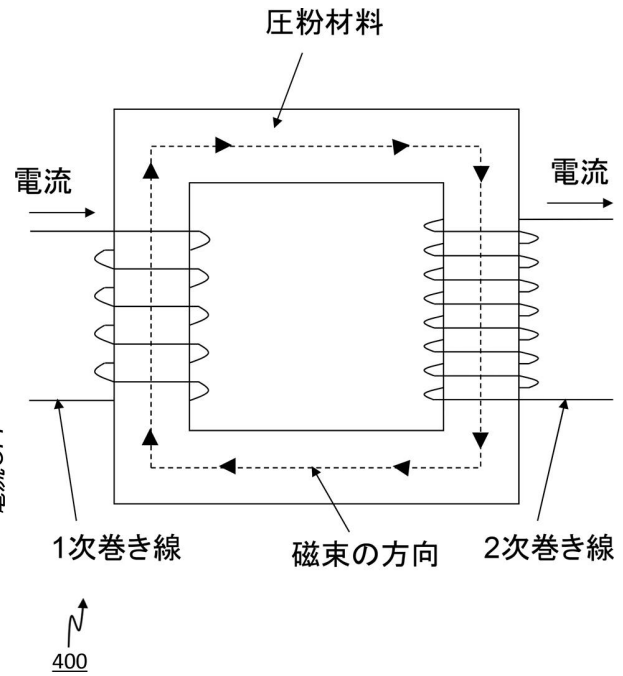
50

【図 3 3】

ロータの断面概念図例

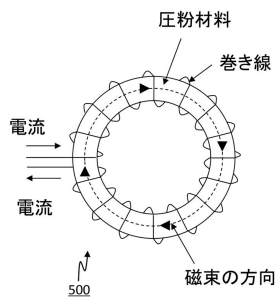


【図 3 4】



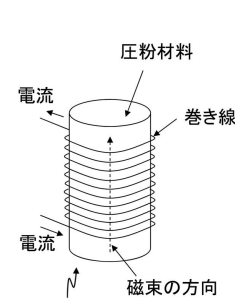
【図 3 5】

リング状インダクタ概念図例

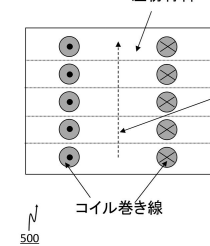


【図 3 6】

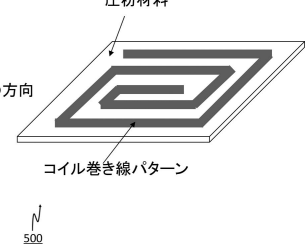
棒状インダクタ概念図例 チップインダクタ断面概念図例



チップインダクタ断面概念図例



平面インダクタ概念図例



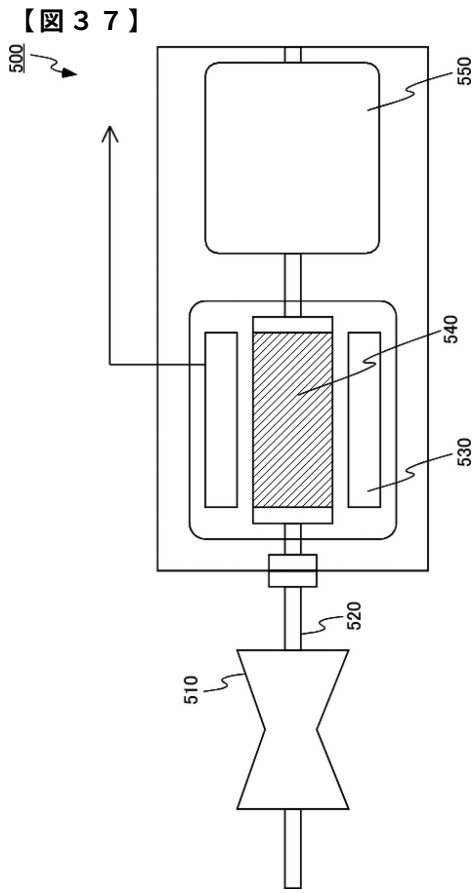
10

20

30

40

50

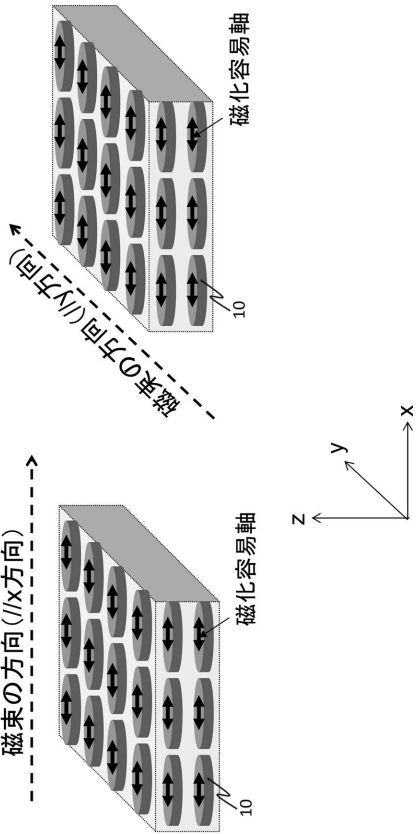


【図 3 8】

扁平磁性金属粒子の扁平面がxy面に平行に配置されている場合

磁壁移動の場合

回転磁化の場合



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類 F I
C 2 2 C 45/02 (2006.01) C 2 2 C 45/02 A

(72)発明者 河本 崇博
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

(72)発明者 堀田 康之
東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内

審査官 井上 健一

(56)参考文献 特開2017-135358 (JP, A)
特開2017-059816 (JP, A)
特開2003-309016 (JP, A)
特開2006-052268 (JP, A)
特開平06-224525 (JP, A)
特開昭63-090342 (JP, A)
特開2008-279459 (JP, A)
国際公開第2017/090402 (WO, A1)
特開昭55-027608 (JP, A)
特開2008-174814 (JP, A)
特開2004-111756 (JP, A)
特開2002-015906 (JP, A)
特開2020-017741 (JP, A)
特開平01-139702 (JP, A)
特開平06-232587 (JP, A)
特開平03-278407 (JP, A)
特開平06-267723 (JP, A)
米国特許出願公開第2017/0076845 (US, A1)
米国特許出願公開第2017/0209924 (US, A1)
米国特許第04923533 (US, A)
米国特許第05238507 (US, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H 0 1 F 1 / 2 0
H 0 1 F 1 / 2 4
H 0 1 F 1 / 2 6
H 0 1 F 2 7 / 2 5 5
B 2 2 F 3 / 0 0
B 2 2 F 1 / 0 0
C 2 2 C 3 8 / 0 0
C 2 2 C 4 5 / 0 2