

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6388709号  
(P6388709)

(45) 発行日 平成30年9月12日 (2018.9.12)

(24) 登録日 平成30年8月24日 (2018.8.24)

(51) Int. Cl.

F I

B 2 2 F 3/105 (2006.01)  
 B 2 2 F 3/16 (2006.01)  
 C 2 2 C 33/02 (2006.01)  
 H 0 1 F 1/08 (2006.01)

B 2 2 F 3/105  
 B 2 2 F 3/16  
 C 2 2 C 33/02 K  
 H 0 1 F 1/08 1 6 O

請求項の数 5 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2017-507768 (P2017-507768)  
 (86) (22) 出願日 平成27年8月12日 (2015.8.12)  
 (65) 公表番号 特表2017-532761 (P2017-532761A)  
 (43) 公表日 平成29年11月2日 (2017.11.2)  
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2015/068599  
 (87) 国際公開番号 W02016/023961  
 (87) 国際公開日 平成28年2月18日 (2016.2.18)  
 審査請求日 平成29年3月29日 (2017.3.29)  
 (31) 優先権主張番号 62/036,449  
 (32) 優先日 平成26年8月12日 (2014.8.12)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

早期審査対象出願

前置審査

(73) 特許権者 505056845  
 アーバーバー・シュバイツ・アーゲー  
 スイス国、シーエイチー 5 4 0 0 バーデ  
 ン、ブラウン・ボベリ・シュトラーセ 6  
 (74) 代理人 110001195  
 特許業務法人深見特許事務所  
 (72) 発明者 シモン、ラインハルト  
 スイス、5 4 0 5 バーデン、ゾンマーハ  
 ルデンシュトラーセ、8  
 (72) 発明者 ヤチモビッチ、ヤチム  
 スイス、5 4 3 0 ベッティンゲン、シュ  
 タッフエルシュトラーセ、5 2

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 異なる磁気特性の領域を有する磁石およびそのような磁石の形成方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 の磁気特性を有する第 1 の領域 ( 2 3 ) と、前記第 1 の特性とは異なる第 2 の磁気特性を有する第 2 の領域 ( 2 4 ) とを含む磁石本体を有する一片の磁石を製造する方法であって、前記第 1 の領域 ( 2 3 ) は、前記第 2 の領域 ( 2 4 ) の値とは異なる保磁力および残留磁気値の少なくとも 1 つを有し、前記第 1 の領域 ( 2 3 ) は前記第 2 の領域 ( 2 4 ) とは異なる微細構造を有し、前記方法は、

a) 各構築されるべき磁石の第 1 の所定の領域に複数の第 1 の粉末部分 ( 8 ) を堆積させ、磁性粒子が形成されるように前記複数の第 1 の粉末部分 ( 8 ) を互いに溶解することにより、前記第 1 の領域 ( 2 3 ) に属する第 1 の層 ( 2 ) を形成する工程と、

b) 各構築されるべき前記磁石の第 2 の所定の領域に複数の第 2 の粉末部分を堆積させ、磁性粒子が形成されるように前記複数の第 2 の粉末部分を互いに溶解することにより、前記第 2 の領域 ( 2 4 ) に属する第 2 の層 ( 2 ) を形成する工程と、

c) 各構築されるべき前記磁石の第 3 の所定の領域に複数の第 1 の粉末部分を堆積させ、磁性粒子が形成されるように前記複数の第 1 の粉末部分を互いに溶解することにより、前記磁石の構築方向において前記第 1 の層の上に前記第 1 の領域に属する第 3 の層を形成する工程と、

d) 各構築されるべき前記磁石の第 4 の所定の領域に複数の第 2 の粉末部分を堆積させ、磁性粒子が形成されるように前記複数の第 2 の粉末部分を互いに溶解することにより、前記磁石の前記構築方向において前記第 2 の層の上に前記第 2 の領域に属する第 4 の層を

10

20

形成する工程とを備える、磁石本体を有する一片の磁石を製造する方法。

【請求項 2】

前記溶融は、前記第 1 の粉末部分および前記第 2 の粉末部分に機械的負荷を加え、前記第 1 の粉末部分および前記第 2 の粉末部分に高電流を流すことによって達成される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記第 1 の粉末部分および前記第 2 の粉末部分または前記溶融された第 1 の粉末部分および前記第 2 の粉末部分を磁界に晒す工程をさらに含む、請求項 1 ~ 2 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 4】

絶縁層 ( 28 , 29 , 30 , 37 ) を、構築されるべき前記磁石の所定のさらなる領域において、

- a ) 前記第 1 の層と前記第 3 の層との間、または
- b ) 前記第 2 の層と前記第 4 の層との間、または
- c ) 前記第 1 層と前記第 3 の層との間、および前記第 2 の層と前記第 4 の層との間、または
- d ) 前記第 1 の層と前記第 2 の層との間、または
- e ) 前記第 3 の層と前記第 4 の層との間、または
- f ) a ) ~ e ) のいずれかの組み合わせ、において配置する工程をさらに含む、請求項 1 ~ 2 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 5】

前記磁石本体は、選択的レーザー融解、電子ビーム融解、放電プラズマ焼結、レーザークラディング、プラズマ粉末クラディングまたは熱間溶射によって製造される、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、主として磁石およびそのような磁石を形成する方法に関する。以下、「磁石」という用語は、磁界を生成することができる物体として理解される。

【背景技術】

【0002】

エネルギー応用のための磁性材料は、通常、硬質磁石 (しばしば永久磁石と呼ばれる) と軟質磁石の 2 つの主要なグループに分けられる。

【0003】

硬質磁石は、典型的には  $H_c > 10 \sim 100 \text{ kA/m}$  の保磁力値を有するが、軟質磁石の場合、典型的に保磁力は  $H_c < 1 \text{ kA/m}$  である。これらのグループの間に、半硬質磁性材料は、保磁力 (  $H_e$  ) が軟磁性材料と硬磁性材料との間にあるすべての合金を含む。

【0004】

永久磁石 (以下「PM」と略記する) は、一般に、電気機械 (モータ、発電機) に使用される。今日最も進んだ永久磁石は希土類 (RE) 金属に基づく。「希土類」という用語は、一般に「RE」と略される。RE は元素周期律表のランタニド系列の元素の一つである。ランタニド系列は、化学元素ランタン (La)、セリウム (Ce)、プラセオジウム (Pr)、ネオジウム (Nd)、プロメチウム (Pm)、サマリウム (Sm)、ユーロピウム (Eu)、ガドリニウム (Gd)、テルビウム (Tb)、ジスプロシウム (Dy)、ホルミウム (Ho)、エルビウム (Er)、ツリウム (Tm)、イッテルビウム (Yb)、ルテチウム (Lu) を含む。

【0005】

RE 系磁石は、高性能、高エネルギー効率、および全体的な寸法コンパクト性を備えた機械設計を可能にするため、特に重要である。典型的な希土類系永久磁石材料は、Nd - Fe - B、(Nd - Dy) - Fe - B および Sm - Co に基づく金属間合金である。特定の

10

20

30

40

50

特性を最適化するために、様々な追加の化学元素が磁石本体に存在することができ、また、ベース元素の比は、1つのタイプの磁石内で変化することができる。

#### 【0006】

焼結された高密度の希土類系永久磁石材料は、最高の磁気性能、すなわち最も高い保磁力  $H_c$  および最も高い残留磁気  $B_r$  を示す。希土類系永久磁石材料の欠点は、使用される希土類元素が、高価であり、その占有率が磁石本体を製造するための総コストのうち、不可欠な部分を形成するという点にある。この欠点は、重希土類元素（以下、HRE元素と称する）を含む磁石本体において特に顕著である。HRE元素は、テルビウム（Tb）、ジスプロシウム（Dy）、ホルミウム（Ho）、エルビウム（Er）、ツリウム（Tm）、イッテルビウム（Yb）およびルテチウム（Lu）である。

10

#### 【0007】

総コストの高さは、希土類金属の高い原料コストだけでなく、非常に複雑な処理経路にも依存する。RE金属と酸素との高い反応性のため、磁気特性への有害な影響を避けるために、保護雰囲気下ですべての処理工程を実施しなければならない。最大の磁気性能を達成するために、プレス工程の前および最中に高い磁界を印加することによって、粒子を配向させることができる。このように製造された磁石は、通常、非配向グレードと比較して性能が高い。RE系永久磁石のためのすべての公知の粉末冶金処理経路は、成形が単純な一軸ダイプレス、アイソスタティックプレス、または一軸ダイプレス工程における熱変形に基づくので、既に非常に単純な形状の製造に限定される。高価な追加の機械加工工程（硬質材料の研削）を使用しなければならないため、平坦面の代わりにわずかに湾曲した表面のような非常に単純な幾何学的特徴は、磁石の著しい高価格をもたらす。単純な形状へのこの制限は、より複雑な形状の磁石から利益を得るであろう、よりエネルギー効率の高い先進的な機械の設計にとって大きな制限および欠点である。

20

#### 【0008】

電気機械用途のためのPM材料のさらに別の重要な特性は、最高動作温度である。RE系PM材料は、高温での減磁を受ける。Nd-Fe-B系では、Ndを重希土類元素（典型的には4～6原子%のDy）で部分置換することにより、動作温度を通常100（通常のNd-Fe-Bの場合）から約150～200（DyドーピングNd-Fe-Bの場合）に拡張し得る。増加した電力密度を有する高度な機械設計では、この拡張された動作温度が一般に望ましい。しかしながら、改善された温度安定性は、高コストを伴う。非常に高価な重金属REのコストのために、このようなDyドーピングまたは他の重REドーピング磁石のコストは、従来のRE系PMに比べて著しく高い。

30

#### 【0009】

RE系PM材料のさらなる問題は、腐食に対する本質的に高い感受性である。長期適用を可能にするために、改善された腐食挙動または保護コーティングのための合金元素が適用されなければならない。

#### 【0010】

この欠点を克服する1つの方法は、高価なHRE元素を電気特性が実際上必要とされかつ不可欠である磁石本体の領域に選択的に配置し、磁石本体の残りの部分を本質的にHREなしに保つことである。

40

#### 【0011】

RE要素の選択的な供給によって磁石の全体的なコストを低下させる1つのアプローチは、磁石本体の粒界に沿ってジスプロシウム（Dy）を拡散させることにある。まず、ネオジム-鉄ホウ素合金（NdFeB）からなる磁石本体を、当該技術分野で公知の一般的な方法によって焼結する。第1のステップで磁石本体を形成した後、第2のステップで、磁石本体は、重RE特性が望ましくないその外側表面上においては保護層で覆われ、重RE特性が望まれる領域は周囲において、つまり、磁石本体の外側表面上においては保護層で覆われない。第3のステップでは、重RE材料が、たとえばジスプロシウムを含む蒸気を介して、保護層によって覆われていない磁石本体の表面上に堆積される。次いで、重REを磁石本体の内部の粒界に沿って拡散させるために、より高い温度で磁石をアニール

50

する。拡散  $D_y$  は、 $NdFeB$  結晶粒の  $Nd$  を置換し、放出された  $Nd$  原子は、新たに形成された  $(Nd, Dy)FeB$  結晶粒の周りに連続層を形成する。このような層はさらに、結晶粒を隣接する結晶粒から磁氣的に分離する。この手順により、磁性体の内部では、第 2 の領域、すなわち磁石本体の外側表面 / 周辺に近接する領域と比較して異なる磁気特性を有する第 1 の領域が得られる。このプロセスは最終的に、第 1 の工程のみによって製造された磁石本体と比較して、残留磁気を変化させることなく、50% を超える保磁力の向上をもたらす。

#### 【0012】

その方法の第 1 の問題は、第 2 の領域が磁石本体の表面にしか存在し得ないことにある。この方法の第 2 の問題点は、薄い全体的な厚みを有する第 2 の領域しか実現できないことである。その結果、磁石の第 2 の領域の設計自由度は非常に限定される。

10

#### 【0013】

別のアプローチは、付加製造方法 (additive manufacturing) を使用することにある。付加製造は新興技術であり、複雑な形状の部品を CAD 設計データから直接積層構築プロセスで製造することができる。これにより、設計から最終部品まで非常に短時間で、特に複雑な形状の場合に魅力的な製造方法になる。金属の場合、レーザービーム (SLM: 選択的レーザー融解) または電子ビーム (EBM: 電子ビーム融解) のいずれかを使用することによって、粉体床で構成要素の構築を達成することができる。この方法は最近大いに注目されている。しかし、現時点では、この方法で、入手可能であり公知である製造可能な材料はほんのわずかな数に限られている (合計で約 20 種類を下回る)。

20

#### 【0014】

今日の SLM および EBM 法の金属に対する実質的な制限は、化学的合金組成および材料微細構造を局所的に (微細構造レベルの小さな体積元素において) 変化および制御することができないことにある。したがって、3D コンポーネントの構築プロセス中に、3D 設計された多成分微細構造を構築することは不可能である。

#### 【0015】

永久磁石を製造するための別の手法が国際公開第 2013/185967 号公報に開示されている。この手法による方法は、粉末の選択的焼結のために集束エネルギービーム (レーザービームまたは電子ビーム) を使用する。このプロセスの主な目的は、原料の粉末粒子の元の微細構造および形態 (形状) の両方を保存することである。これは、焼結プロセスにおいて、粉末粒子間の焼結ネックの形成にのみつながる温度 - 時間の組合わせを選択することによって達成され、それにより粒子内の微細構造変化 (たとえば、結晶粒成長、再結晶化) を回避し、および粒子の形態の変化を回避する。これは、この方法が当然焼結の初期段階に限定されており、焼結ネックのみが形成されることを意味する。この初期の焼結段階では、体積収縮および細孔充填による粉末の実質的な緻密化は起こらない。したがって、記載された方法は、最終的な微細構造において常に多量の残留空孔をもたらす。典型的な値は、30 ~ 40 体積% の空孔率を上回る。

30

#### 【0016】

この方法の主な欠点は、粒子の結晶微細構造および形態の望ましくない変化が、高い残留空孔率、たとえば 30 体積% の磁気空孔率の損失によってのみ達成され得ることである。国際公開第 2013/185967 号公報の一実施形態では、磁性粒子の球状形態および微細構造が保存されたままであるように、ガラスまたはポリマーのようなさらなる非金属材料が 10 重量% (重量パーセント) 未満の割合で添加される。この方法は、ポリマー接合磁石と類似し、匹敵する微細構造および特性をもたらす。さらに、この方法は、高い空孔率のために、非常に低い機械的強度および靱性を有する材料を生成するという欠点を有する。加えて、粒子が 3 次元網状組織中の焼結ネックによって接続されるので、焼結ネックにおける高い導電率のために渦電流を効率的に低減させることができない。したがって、空孔率は渦電流損失を有意に改善しない。従来の焼結された高密度磁石と比較して、国際公開第 2013/185967 号公報によって得られた磁石のエネルギー密度 (BH)  $m a x$  および磁石の機械的性能は低い。したがって、国際公開第 2013/185967

40

50

号公報の磁石は、従来の焼結された高密度の磁石と比較して、同じ性能のためにより多くの体積を必要とする。これは、高エネルギー密度を伴うコンパクトな設計が好ましいすべての種類の用途（特に電気機械）に関して実質的な欠点である。

#### 【0017】

ポリマー結合 RE 磁石は、ポリマーマトリックス中の磁性粒子（RE 永久磁石に基づく）からなる。ポリマー結合 RE 磁石では、たとえば射出成形または他のポリマー成形方法を適用することができるので、非常に単純な磁石形状の制限を部分的に克服することができる。しかしながら、これらの磁石は、大量のポリマー（典型的には 30 体積%をはるかに上回る）を含有するので、磁気性能が実質的に低い（エネルギー密度が低く、分極率が低く、保磁力が低い）という欠点を有する。さらに、機械的特性（強度、クリープ）および最大動作温度は、焼結 RE 永久磁石に比べて実質的に低い。

10

#### 【0018】

軟磁性材料は、変圧器、モータ、および発電機の電氣的用途に重要な役割を果たす。多結晶質（たとえば Fe、Fe-Si、Ni-Fe、Co-Fe 系）材料、アモルファス（たとえば Fe-B-Si、Fe-Ni-B-Si、Fe-Si-B-P-Nb）材料、およびナノ結晶質（たとえば、Fe-Cu-Nb-Si-B）材料のような、異なる合金組成におけるさまざまな材料グレードが利用可能である。適度なコストのため、結晶性の Fe-Si 系電気シート（典型的には 3% Si を有する）は、無配向性および結晶粒配向性の両方のグレードで広く使用されている。渦電流損を低減するために、磁性コアが、通常は、多くの薄いシート（典型的には、シートの厚み 0.3 ~ 0.5 mm）の積層スタックから構築される。シートは、精密な熱冷間圧延ミル技術と熱処理工程との組合わせによって製造される。シートは所望の寸法にスタンピングされ、シート間にセラミックまたはポリマー層を適用することによって絶縁される。積層されたスタックは、機械的にクランプされるか、または接着剤によって有用な方法で接着されなければならない。薄いシートから積層コアを製造する全工程は、手間、時間、コストがかかる。さらに、電気シートのスタンピングプロセスまたは変形は磁気特性を低下させる。したがって、発生した内部応力の解放によって初期特性を部分的に回復させるために、追加のアニール処理を実施しなければならない。一般的には、シートの厚みを典型的には 0.1 mm の最小限に減じることによって、コア損失を低減させることができることが知られている。しかし、これは、積層磁性コアの製造における追加のコストおよび複雑さという欠点を有する。急速に凝固したアモルファスおよびナノ結晶質 SM 材料は、最も低いコア損失を与え、最高のエネルギー効率を提供する。これらの材料の主な欠点は、材料および製造コストが高いことである。アモルファス状態またはナノ結晶状態を達成するために、熔融材料は、非常に高い冷却速度（典型的には 104 ~ 106 K/s）で液体状態から急速に凝固される。これは、回転する銅製のホイールに非常に薄いリボン（典型的には 20 ~ 50 μm）をキャストすることによってのみ達成できる。欠点として、この非常に薄いリボンに基づいて磁性コアを製造することは手間と費用がかかる。アモルファスおよびナノ結晶性の軟磁性材料の別の欠点は、典型的には腐食に対する高い感受性にある。リボンを腐食から保護し、渦電流損を低減するために、個々のリボンのセラミックまたはポリマーコーティングを塗布しなければならない。

20

30

40

#### 【0019】

要約すると、今日の軟磁性コア技術の根本的な欠点は、層状シート材料の発想の結果である、手間および費用がかかる製造プロセスである。さらに、比較的単純で基本的なコア形状だけを製造することができ、高度で、よりエネルギー効率の高い電気装置の設計の自由度が大幅に制限される。

#### 【発明の概要】

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0020】

発明の概要開示

本発明の目的は、第 1 の領域および第 2 の領域の設計の自由度を増すことができ、従来

50

の磁石よりも磁石本体のより複雑な形状を実現する磁石を提供することにある。

【0021】

この目的は、第1の磁気特性を有する第1の領域を含む磁石本体を有する以下の基本的な実施形態による磁石によって達成される。第1の特性とは異なる第2の磁気特性を有する第2の領域。磁石本体内の第1の領域および第2の領域の位置は自由に予め定めることが可能である。

【0022】

新しい方法により磁石が製造されるので、磁石本体の設計の自由度が大幅に増加する。公知の磁石製造方法と比較して、第2の領域を、たとえばモータのような電気装置にひとたび組み込まれれば実際に必要とされるちょうどその場所に割り当てることが可能になる。第1の領域に比べて第2の領域の大きさおよび形状によっては、磁石本体の希土類元素のRE含有量を大幅に低減することができ、磁石本体全体のコストを大幅に低減することが可能となる。さらに、公知の磁石本体よりも空間的にさらに拡張された第2の領域を、本質的に余分な労力を要することなく実現することができる。第2の利点は、本出願による磁石本体の全体的な磁気性能（効率）が、例として説明されるような同じ外形寸法を有する従来の磁石本体よりもはるかに高くなり得ることである。過渡状態の間、磁界パルスは磁化方向に対して磁石の磁束を負の値に減少させる傾向がある。細長い形状を有する磁石本体の遠位端、すなわち端部領域に流れる渦電流は、端部の間の中央領域をそのパルスから保護する。このような保護のマイナス面は、磁石本体の遠位端が、電気装置の使用中有る程度の時間の後に減磁され、全体的な磁気性能にそれ以上寄与できないという点で、犠牲になることである。従来の電気装置では、それは、必然的に、磁石装置を、電気装置の満足できる長期間の使用を保証するために実際に必要とされるよりも大きく設計しなければならないという結果につながった。これとは完全に異なり、新しい磁石は、遠位端の領域に第2の領域を割り当て、中央領域に第1の領域を割り当てることができる。第2の領域がこの例において第1の領域より高い保磁力を有する場合、遠位領域は、電気装置の長い寿命の後でも、必要とされる最小の磁気性能を保証するために、そのように大幅に犠牲にされる必要はない。その結果、磁石本体の全体寸法を上記従来の磁石本体に比べて小さくすることができ、上記従来の磁石本体の同じ外形寸法が電気装置において利用可能である場合に、全体的な磁気性能を向上させることが可能となる。このように、本発明の磁石本体は、本質的に電気装置の小型化に寄与することができる。

【0023】

より一般的な表現では、第2の領域の値とは異なる保磁力および残留磁気の少なくとも1つを有する第1の領域は、ハイエンド用途においても最小のRE含有量しか必要とされないように設計することができる。

【0024】

磁気性能を調整するために、第1の領域が第2の領域とは異なる微細構造を有することが有利であることが証明されている。より正確には、第1の領域における磁性粒子の平均サイズが第2の領域における磁性粒子の平均サイズよりも大きい磁石が望ましいことが証明されている。第1の領域の磁性粒子の平均サイズが第2の領域の磁性粒子の平均サイズよりも少なくとも20%大きい場合、達成可能な磁化値に関して注目すべき良好な結果が達成されている。第1の領域に対する第2の領域の磁性粒子の平均サイズの差は強力な手段なので、第1の領域における磁性粒子の平均サイズが第2の領域における磁性粒子の平均サイズよりも少なくとも50%大きい場合、非常に満足な磁石を実現することができる。

【0025】

第1の領域および第2の領域の磁性粒子の大きさに加えて、磁性粒子の全体的な平均形状も役割を果たすことが証明された。より一般的に言えば、第1の領域の磁性粒子の平均形状が第2の領域の磁性粒子の平均形状とは異なる場合、全体的な磁気性能の点で有利である。第2の領域の磁性粒子の平均形状が、第1の領域の磁性粒子の平均形状に対して少なくとも30%、より長く伸びていれば、達成可能な磁化値に関して顕著な満足のいく結

果が達成されている。第2の領域における磁性粒子の細長い平均形状は、磁性粒子の円柱形状と呼ぶこともできる。「細長い」という用語の別の記載は、第2の領域の平均磁性粒子は、その重力中心に対する最長寸法対最短寸法の比が少なくとも2:1であるという点にある。

#### 【0026】

新しい製造方法はさらに、第1の領域の化学組成が第2の領域の化学組成と異なるように磁石本体を調整することを可能にする。このようにして、第1の領域の磁性粒子は第2の領域の磁性粒子と化学組成が異なることが可能となる。必要に応じて、第2の領域は、磁石本体の周囲に位置し、第2の領域によって囲まれた第1の領域よりも良好な保磁力特性を有する第2の領域を与えるジスプロシウムのような化学元素を含むことができる。実施形態に応じて、第2の領域は、磁石本体の縁部領域または角部領域とすることができる。さらに、これらの組合わせを実現することもできる。「角部領域」という用語は、いくつかのシェル表面が互いに出会う境界または隆起に沿って延びる磁石本体の領域として理解される。これとは異なり、「縁部領域」という用語は、磁石本体のシェル表面上にわたって、たとえば互いに対向して配置された2つの側面にわたって延在する領域として理解される。

10

#### 【0027】

新しい製造方法はさらに、本質的に自由なグレード付けを提供する。磁石本体の周縁部に希土類元素を導入する公知の拡散技術と比較して、はるかにより自由に第2の領域の厚みを設計することが可能になる。磁石の必要な磁気特性に応じて、磁石本体の縁部領域および角部領域の少なくとも1つの表面に垂直に延びる第2の領域の第2の領域深さは、少なくとも1mmであり、実施形態では少なくとも3mm、さらに他の実施形態では少なくとも8mmである。

20

#### 【0028】

多くの場合のように、磁石本体は、その側面のすべてにおいてのみ、特定の、すなわちグレード付けされた磁気特性を有し、その底面およびその上面では有さないことが望ましい。磁石本体が、本体厚みが延びる方向、すなわち構築方向から見た場合、本体長さおよび本体幅を有する矩形断面を有する実質的に角柱の全体形状である場合、良好な結果が達成される。第2の領域は、実質的に管状であり、本体の厚みが矩形の断面を延在する方向から見てリング状の断面を有する。「リング状」という用語は、円形の断面のみを包含するように狭く解釈されるべきではなく、多角形の断面もまた広くカバーするように解釈されるべきである。リング状断面の外側輪郭は、矩形断面の外側輪郭に一致する。最小のリング厚みは、磁石本体の本体の厚みに対して20%より大きくは逸脱しない。「最小リング厚み」という用語は、リング状の第2の領域のその最も薄い場所における最小方向として理解される。実施例は、直方体のような幾何学的形状に限定されず、磁石本体のより複雑な形状に当てはまる。

30

#### 【0029】

変圧器用途などから公知の状況と同様に、磁気特性だけでなく絶縁特性も調整することが望ましい場合がある。これは、第1領域および第2領域の少なくとも一方が、それぞれ、第1の領域および/または第2の領域の少なくとも2つの隣接する内部層内に絶縁層を含むことにおいて、なすことができる。「層」という用語は、それが比較的大きな表面と比較的小さな厚みとを有するように、使用される。絶縁層の化学的および物理的特性に応じて、それは、それが磁束線の案内を補助することにおいて磁路の調整のために使用することができる。このような絶縁層の利点は、渦電流の形成を抑制、または少なくとも磁石の動作状態において妨害することができることにある。磁石の動作状態における渦電流の形成の抑制または少なくとも妨害/制限は、特に、軟磁石用途に有利である。

40

#### 【0030】

平面の延在は、絶縁層の厚みと並んで、磁石の意図される用途に依存する。

意図された特性に応じて、絶縁層は、絶縁性の合成材料、金属酸化物、金属炭化物、金属窒化物、セラミック、ガラスまたはそれら混合物も含む。2つの異なる絶縁層を有する

50

磁石を構築することも可能である。これらの層が互いの上に直接施されるかどうか、または2つの同一もしくは同様の絶縁層間に位置する磁性粒子のいくつかの層があるかどうかは、磁石についての要件に左右される。

#### 【0031】

第1の領域もしくは第2の領域または第1の領域および第2の領域が、所与の体積当たり少なくとも85体積%の磁性粒子の充填度、つまり所与の体積当たり理論密度の少なくとも85%を有する場合には、従来の焼結磁石本体においてよりもはるかに高い保磁力値が利用可能である。さらに換言すれば、所与の体積内のポイドは、所与の体積の最大15%を消費し得る。所与の体積あたりの磁性粒子の充填度が少なくとも95体積%である場合、優れた保磁力および磁気特性が達成可能である。このような充填値は、レーザー焼結磁石本体に対する充填値のはるか上である。

10

#### 【0032】

上記のすべての利点は、磁石本体が、選択的レーザー融解(SLM)によって、電子ビーム融解(EBM)によって、放電プラズマ焼結(SPS)によって、レーザークラディングによって、プラズマ粉末クラディングによって、または熱間溶射によって製造されるという点において、達成可能である。これらの製造方法の各々は、磁石本体が生成されると、製造所方法の検出を可能にする、磁石本体の特定の特性を残す。

#### 【0033】

上記製造方法は、さらに、ほとんど任意の形状の磁石を形成することができる。今までは、磁性体の全体的な形状は、比較的旧式的で、基本的な幾何学的形状に限定されていた。ここでは、自由形態の形状を有するように磁石を設計することが可能である。そのような自由形態形状の例は、この出願の時点で出願人に知られている電気装置の大部分から公知の箱状の磁石本体とは異なる円弧形状、マッシュルーム状の断面などを有する磁石である。

20

#### 【0034】

換言すれば、上記製造方法は、輪郭、形状およびサイズの設計の完全な柔軟性を可能にする。SPSのようないくつかの方法はより多くの制限を有するかもしれないが、モータに必要であるように、1つの軸方向を伴う幾何学的形状のような複雑な形状が完全に実現可能である。

#### 【0035】

上記の製造方法はさらに、従来の製造方法、特に経済的な方法では全く実現できなかった、挟まれた層列を実現することを可能にする。磁石本体の例示的な実施形態においては、第1の領域は第1のブロックとして形成され、第2の領域は第2のブロックとして形成され、第2のブロックは第1のブロックに取付けられる。「ブロック」という用語は直方体形状のみを包含するよう狭く理解してはならない。これらのブロックの各々は、複数の層を含む。さらに、ブロックの順序は、鉛直(つまり3D構築方法の製造順序において)またはそれを横断するように延在する水平に限定されない。加えて、水平方向および鉛直方向に延在する層配列を有するさらにハイブリッドの実施の形態を、ここでは実現することができる。

30

#### 【0036】

永久磁石の場合では、さらなる特性が以下に説明されるように達成可能である。

40

第1の領域が第1のグループの要素に基づいて硬質磁石を含む場合、有利な磁石が達成可能であり、第1のグループは組成a)~g)の1つ含み、上記組成は、

- a) アルミニウム、ニッケルおよびコバルト(AlNiCo)を含有し、
- b) サマリウムおよびコバルト(SmCo)を含有し、
- c) サマリウムおよび鉄(SmFe)を含有し、
- d) サマリウム、鉄および窒素(SmFeN)を含有し、
- e) 鉄および窒素(FeN)を含有し、
- f) マンガン、アルミニウムおよび炭素(MnAlC)を含有し、
- g) マンガン、錫およびコバルト(MnSnCo)を含有し、

50



- h) マンガンおよびビスマス (MnBi) を含有し、
- g) 硬質フェライトを含有し、
- h) RE、鉄およびホウ素 (REFeB) を含有し、
- i) REおよび鉄および炭素 (REFeC) を含有している。

## 【0037】

第1のグループの要素が、組成a)、e)またはg)である場合に、特に安価な磁石が達成可能である。

## 【0038】

ストロンチウムフェライトなどの硬質フェライト $[SrFe_{12}O_{19} (SrO \cdot 6Fe_2O_3)]$ はしばしば小型電気モータ、マイクロ波装置、記録媒体、光磁気媒体、通信、電子産業で使用される。バリウムフェライトは、 $BaFe_{12}O_{19} (BaO \cdot 6Fe_2O_3)$ 永久磁石の用途のための一般的な材料。バリウムフェライトは、一般的に水分に対して安定しており耐食性がある頑健なセラミックスである。それらは、たとえばスピーカー磁石において、およびたとえば磁気ストライプカード上において磁気記録のための媒体として使用される。コバルトフェライト、 $CoFe_2O_4 (CoO \cdot Fe_2O_3)$ が、磁気記録のためのいくつかの媒体で使用される。

## 【0039】

所望の場合には、第2の領域は第2のグループの要素に基づいて硬質磁石を含有してもよく、前記第2のグループは、第1の領域において存在しない第1のグループのすべての要素を含む。例示的な実施形態では、第1の要素はAlNiCoを含み、第2の要素はNdFeBを含む。

## 【0040】

磁石の全費用に関して有利な実施の形態では、第1の領域は、RE、鉄およびホウ素 (REFeB) の第1の要素を伴う組成を含み、REの第1の要素は、ランタニド系列の1つまたはいくつかの希土類元素である。第1の要素は、ランタニド系列のすべての元素を含んでいない。第2の領域は、RE、鉄およびホウ素 (REFeB) の第2の要素を伴う組成を含み、REの第2の要素は、第1の要素において存在しないランタニド系列の少なくとも1つの希土類元素を含む。

## 【0041】

必要な場合、第2の領域が、たとえば、完全に第1の領域を包含する場合には、第2の領域は、耐食性を向上させるためのCo、Ti、Zrのような付加的な化学元素を含むことができる。

## 【0042】

重希土類元素 (HRE) がランタニド系列の残りの元素よりもさらに高い保磁力値および残留磁気値を与えるので、REの第2の要素が少なくとも1つの重希土類元素 (HRE) を含めば有利である。

## 【0043】

さらに、REの第1の要素がセリウム (Ce)、ネオジム (Nd)、またはセリウムおよびNdの両方を含む場合、安価な磁石が達成可能である。

## 【0044】

代替物として、磁石の第1の領域はRE、鉄およびホウ素 (REFeB) を含む組成により形成された第1のグループの要素に基づいて硬質磁石を含み、第2の領域は、第1の領域と同じ第1のグループの要素に基づいて硬質磁石を含む。本実施形態では、第2領域内のREの重量百分率は、第1の領域内のREの重量百分率よりも少なくとも20%高い。

## 【0045】

商業的な磁性粒子の平均磁性粒子粒径が現在 $10\mu m$ よりも大きいのに対し、第2の領域の平均磁性粒子粒径は、 $4\mu m$ を下回れば、良好な磁石が達成可能である。

## 【0046】

磁石が軟磁性タイプまたは永久磁性タイプであるという事実に関係なく、その特性はさ

らに以下のようにグレード付けることができる。

【 0 0 4 7 】

軟磁石に関して、第 1 の領域の平均磁性粒子粒径が 2 0 n m で未満であるか、また 5 0 μ m 以上である場合、有利である。

【 0 0 4 8 】

軟磁石用途だけでなく永久磁石用途でも、第 1 の領域および第 2 の領域の少なくとも 1 つが磁石体の周縁において終端層を備える場合、望ましくあり得る。磁性本体に対する幾何学的最外層は、絶縁することができ、腐食防止を与えることができ、または導電性になり得て、誘導された渦電流を介して第 2 および / または第 1 の領域の減磁に対して磁気遮蔽を与え、さらに、同時に腐食防止層であり得る。要件に応じて、終端層は、導電性であり得る。

10

【 0 0 4 9 】

上記のように、第 1 領域および第 2 領域の少なくとも一方は、それぞれ、第 1 領域および第 2 領域の少なくとも 2 つの隣接する内部層の間に位置する絶縁層を含む実施形態がある。このような実施形態は、特に軟磁石用途において、磁石の動作状態において渦電流形成を抑制するかまたは少なくとも妨げる / 制限するために使用することができる。

【 0 0 5 0 】

磁石の周囲に沿って追加の高導電性の層を追加すると、損失を低減するよう寄与することができる。そのような実施形態のさらなる利点は、この層が、これらの縁部に沿った機械加工のさらなる工程が磁石本体の最終形状に到達するために不要になるように、磁石の輪郭 / 周囲に沿って形成されることにあってもよい。

20

【 0 0 5 1 】

代替実施形態では、終端層または付加的な終端層は、絶縁性である。このような終端層は、保護皮膜が形成されていることにおいて磁石本体の腐食保護を確保するために、プラスチックまたはセラミック材料で形成することができる。さらに別の代替物では、磁性本体は、磁石本体への減磁場の負の影響を低減するための導電層、およびさらに磁石本体の腐食防止を確実にするために頂部にプラスチックまたはセラミックの囲いを形成して形成されたさらなる端子層の両方を備えてもよい。

【 0 0 5 2 】

磁石は軟磁石であるかまたは永久磁石であるか、S M であるか P M であるかどうか、に関係なく、磁石本体が多結晶微細構造、アモルファス微細構造およびナノ結晶質微細構造の 1 つである構造を有する場合、有益である。

30

【 0 0 5 3 】

多結晶微細構造は鉄 ( F e ) および組成 i ) ~ v ) の少なくとも 1 つを含む鉄合金の少なくとも 1 つを含み、組成

i ) は鉄およびシリコン ( F e - S i ) を含有し、

i i ) はニッケルおよび鉄 ( N i - F e ) を含有し、

i i i ) はコバルトおよび鉄 ( 共同 F e ) を含有し、

i v ) は鉄およびアルミニウム ( F e - A l ) を含有し、

v ) は鉄、アルミニウムおよびシリコン ( F e - A l - S i ) を含有している。

40

【 0 0 5 4 】

アモルファス微細構造は次いで組成 v i ) ~ x ) の少なくとも 1 つを含む鉄合金を含み、組成

v i ) は鉄、ホウ素およびシリコン ( F e - B - S i ) を含有し、

v i i ) は鉄、ニッケル、ホウ素およびシリコン ( F e - N i - B - S i ) を含有し、

v i i i ) は鉄、シリコン、ホウ素、リンおよびニオブウム ( F e - S i - B - P - N b ) を含有し、

i x ) は、第 3 のグループが元素コバルト、鉄およびニッケルを含有している場合、および第 4 のグループが元素ホウ素、シリコンおよび炭素を含有している場合には、第 3 のグループおよび第 4 のグループの元素の任意の 1 つの第 1 の元素組合せを含有し、

50

×) 第5のグループが元素コバルトおよび鉄を含有している場合、および第6のグループが元素ジルコニウム、ハフニウムおよびニオブウムを含有している場合には、第5のグループおよび第6のグループの元素の任意の1つの第2の元素組合せを含有している。

【0055】

最後に、ナノ結晶質微細構造は、鉄、銅、ニオブウムおよびホウ素を含む鉄合金を含む。

【0056】

軟磁石の場合には追加の特性は、以下に説明するように、達成可能である。

製造プロセスは、多結晶微細構造、アモルファス微細構造およびナノ結晶質微細構造の少なくとも1つである構造を有する磁石本体を有する、より高度な軟磁石を構築することを可能にする。

【0057】

約10nmと約100μm超との間の磁性粒子の粒径の範囲内での多くの組成の保磁力の急激な変化のため、第1の領域における平均磁性粒子粒径が20nm未満または50μm超のいずれかであり、第2の領域は、100nm~1μmの平均磁性粒子粒径を有する場合、高透磁率(つまり低保磁力)について有利であると分かった。それは少なくとも化学元素Fe-Cu-Nb-Si-B、Fe-Nb-Si-B、Fe-Co-Zr、50重量%のNi-Fe、80重量%のNi-Fe、および6.5重量%でのSi-Feを伴う組成に関して該当する。

【0058】

次に、軟磁性または半硬質磁性の両方だけでなく、永久磁気特性が要求される用途もある。そのような磁石の例示的な実施の形態では、第1の領域は、1kA/m未満の保磁力または1kA/mを超えるが10kA/m未満の保磁力のいずれかを有し、第2の領域は、10kA/m超の保磁力を有する。

【0059】

これまで、このようなハイブリッド磁石を製造するための唯一の方法は、軟質および硬質/永久磁石が互いから別々に製造され、その後、さらなるステップで、所望の磁石本体に組み付けなければならなかったものであった。それとは対照的に、所望の磁石本体を本質的に一気に製造する経済的な方法のために、この記載において後で開示される新たな製造方法が提供される。

【0060】

電気装置は、上記磁石のいずれかに取付けられている場合、後者の効果および利点は、電気装置に同様に適用される。例示的な実施形態では、電気装置は、電動機、発電機、電力変圧器、計器用変圧器、磁気アクチュエータ、直線運動装置、磁氣的にバイアスされたインダクタ素子等であってもよい。

【0061】

計器用変成器の場合には、磁石の損失を低減させる能力は、たとえば、これらの装置の増加された線形範囲を可能にする。

【0062】

次に、上記磁石を製造するための多くの方法が開示される。

第1の磁気特性を有する第1の領域と、第1の特性とは異なる第2の磁気特性を有する第2の領域とを含む磁石本体を有する磁石の製造方法の最も基本的な実施形態において、方法は以下の工程を含む。

【0063】

a) 各構築されるべき磁石の第1の所定の領域に複数の第1の粉末部分を堆積させ、磁性粒子が形成されるように複数の第1の粉末部分を互いに熔融することにより、第1の領域に属する第1の層を形成する工程と、

b) 各構築されるべき磁石の第2の所定の領域に複数の第2の粉末部分を堆積させ、磁性粒子が形成されるように複数の第2の粉末部分を互いに熔融することにより、第2の領域に属する第2の層を形成する工程と、

c) 各構築されるべき磁石の第3の所定の領域に複数の第1の粉末部分を堆積させ、磁性粒子が形成されるように複数の第1の粉末部分を互いに溶解することにより、磁石の構築方向において第1の層の上に第1の領域に属する第3の層を形成する工程と、

d) 各構築されるべき磁石の第4の所定の領域に複数の第2の粉末部分を堆積させ、磁性粒子が形成されるように複数の第2の粉末部分を互いに溶解することにより、磁石の構築方向において第2の層の上に第2の領域に属する第4の層を形成する工程。

【0064】

「溶解」という用語は、従来のレーザー焼結プロセスから公知のようなネック焼結のみを包含するものではない。

【0065】

磁石本体の形成の実行に対して専用の実際に三次元の構築装置、および磁石本体の所望の特性に依って、第1の層、第2の層、第3の層および第4の層厚みの厚みは、20～200μmの範囲にある。

【0066】

必要な場合、第1の層および第2の層は、磁石の構築方向に対して横並びに配置される。代替的に、第1の層および第2の層は、磁石の構築方向に関して互いの上にある。

【0067】

第1の粉末部分の堆積および第2の粉末部分の堆積は、粉体床によって経済的に行うことができる。形成方法は、放電プラズマ焼結(SPS)である場合には、「粉体床」という用語は、これが鋳型で構築される方法に関係なく、すべての種類の材料堆積を含むものとして理解される。

【0068】

第1の粉末部分の堆積および第2の粉末部分の堆積は、専用の三次元構築装置の第1の堆積ヘッドを介して行われる場合、磁石の経済的に実現可能な製造が実現可能である。「3Dプリンタ」という用語は時には三次元構築装置を指定するために使用される。

【0069】

溶解は、レーザービーム、電子ビーム、イオンビーム、プラズマビームの一つによって第1の粉末部分および第2の粉末部分の粉末粒子を局所融解することにより達成された場合には、良好な成形結果が達成可能である。再び、「溶解」という用語は、従来のレーザー焼結プロセスから公知のようなネック焼結のみを包含するものではない。

【0070】

粉体床は、複数の第1の粉末部分および第2の粉末部分を溶解する前に予熱されている場合は、いくつかの用途において有利であることが判明した。予熱は、SPSおよびクラディング(たとえばレーザークラディング)を含むこれらのすべての方法に関して特に有益になり得、なぜならば、予熱は、粒径および相形成の制御、局所的な溶解に対する低減されたエネルギー要件、および熱力学的応力の低減に対して有用であるからである。

【0071】

SPSの場合、溶解は第1の粉末部分および第2の粉末部分に機械的負荷をかけ、第1の粉末部分および第2の粉末部分を介して高電流を通すことによって達成される。例示的な実施形態では、以下の特徴を有している鋳型を用いてもよい。第一に、磁石本体の外周を規定する外型。第二に、リング状の断面を有するサブキャビティが形成されるように、構築の方向に見て鋳型キャビティの径方向外側部分から鋳型キャビティの径方向内側部分を画定する分割壁。リング状の断面は、円形タイプのものである必要はない。多くの多角形が考えられる。第三に、NdFeBを含む第1の粉末部分が分割壁内のキャビティの内側部分に充填される。第四に、(Nd、Dy)FeBを含む第2の粉末部分がリング状の断面を有するサブキャビティに充填される。第五に、隔壁を除去する。次に、高電流が第1の粉末部分および第2の粉末部分を通して流され、粉末部分は各々固体に溶解するだけでなく、互いに単一の磁石本体に溶解する。

【0072】

あるいは、鋳型の構造を支持する底部が構築の方向に移動可能であることなどにおいて

10

20

30

40

50

、磁石本体を層によってダイ層に構築することが考えられる。

【 0 0 7 3 】

必要な場合、製造方法は、さらに、第 1 の粉末部分および第 2 の粉末部分または熔融された第 1 の粉末部分および第 2 の粉末部分を磁界に晒す工程を含んでもよい。その外部磁界は、磁性粒子の核生成 / 配向プロセスに影響するよう、成形 (consolidation) の前および / または間および / または後に存在することができる。

【 0 0 7 4 】

さらにより高度な磁気特性を有する磁石を付与するために、製造方法は、

a) 第 1 の層と第 3 の層との間に、または

b) 第 2 の層と第 4 の層との間に、または

c) 第 1 層と第 3 の層との間に、および第 2 の層と第 4 の層との間に、または

d) 第 1 の層と第 2 の層との間に、または

e) 第 3 の層と第 4 の層との間に、または

f) a) ~ e) のいずれかの組み合わせ、において構築されるべき磁石の所定のさらなる領域に絶縁層を配置するステップを含むことができる。

【 0 0 7 5 】

「絶縁層」という用語は、層の厚みに対する比較的大きな表面の比のため、用いられる。磁石本体の層状形成は絶縁特性の特別調整および磁石における磁路を可能にする。これらの手段は、特に、軟磁用途で、磁石の動作状態において渦電流形成を抑制するかまたは少なくとも妨げる / 制限するために取ることができる。

【 0 0 7 6 】

構築方向の方向に延びた絶縁層の場合には、それらは、近隣の第 1 ~ 第 4 の層と窪み、磁石本体の十分な機械的特性が依然として達成可能なように、配置されてもよい。

【 0 0 7 7 】

絶縁層を配置する工程が専用の三次元構築装置の第 2 の堆積ヘッドを介して行われる場合、絶縁層を確立するための材料を配置する効率的かつ迅速な方法が達成可能である。第 2 の堆積ヘッドによって堆積される絶縁層の形成のための材料は、たとえば、固体 (たとえば粉末)、液体、または蒸着またはイオンめっきによってであり得る。

【 0 0 7 8 】

製造方法の好ましい実施形態では、第 1 領域および第 2 領域の少なくとも一方は、所定の体積当たり少なくとも 95 体積 % の磁性粒子磁性粒子の充填度を有する。こうすることで、特定の強力な磁気特性を有する磁石が達成可能である。

【 0 0 7 9 】

必要であれば、製造方法は、第 1 領域および第 2 領域の少なくとも一方の周囲に少なくとも一つの終端層を配置する追加のステップを有してもよい。

【 0 0 8 0 】

意図される目的、およびひとたび電子装置に構築された磁石の動作状態における磁場干渉のような他の条件に応じて、終端層は、導電性または絶縁性である。さらに、まず導電層を施し、導電層の上にたとえば腐食防止のための絶縁層を施すことが可能である。

【 0 0 8 1 】

記載は添付された図面を参照し、それらは以下の図において概略的に図示している。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 8 2 】

【図 1】この発明に従う磁石の基本的な第 1 の実施の形態を製造する方法の一般的な図である。

【図 2】磁性粒子の形成を示す、図 1 の磁石を製造する方法の微視的な図である。

【図 3】この発明に従う磁石の第 2 の実施の形態を製造する方法の微視的な図である。この方法では、残りの磁性粒子とは化学的に異なる磁性粒子が、たとえばドーパおよび合金化により形成される。

【図 4】この発明に従う磁石の第 3 の実施の形態を製造する方法の微視的な図である。こ

10

20

30

40

50

の方法では、さまざまな材料の局所的な堆積が近隣の層間において薄い絶縁層を形成することに対して実行される。

【図 5】この発明に従う磁石の第 4 の実施の形態の形態および微細構造の図であり、より大きく柱状の磁性粒子を含む層の切取ったものを示す。

【図 6】磁性本体における第 1 の領域および第 2 の領域の第 1 のセットアップの概略的構成を示す。

【図 7】磁性本体における第 1 の領域および第 2 の領域の第 2 のセットアップの概略的構成を示す。

【図 8】磁性本体における第 1 の領域および第 2 の領域の第 3 のセットアップの概略的構成を示す。

10

【図 9】磁性本体における第 1 の領域および第 2 の領域の第 4 のセットアップの概略的構成を示す。

【図 9 a】磁性本体における第 1 の領域および第 2 の領域の第 4 のセットアップの変形例の概略的構成を示す。

【図 10】1 つの層において磁性本体の磁性粒子領域間に置いて絶縁層を有する第 5 のセットアップの概略的構成を示す。

【図 11】図 10 の A - A 線に沿った、層を通る、拡大された切取部を示す。

【図 12】この発明に従う磁石の第 6 の実施の形態を製造する方法の概略的な図である。

【図 13】電気装置の第 1 の実施の形態を形成する円形の磁性コア要素の正面図である。

【図 14】電気装置の第 2 の実施の形態を形成する電気モータを通る概略的な断面である

20

。【図 15】永久磁石本体 / 硬質磁石本体を示す、図 14 における領域 B の拡大表示である。

【発明を実施するための形態】

【0083】

図面では、同一の要素および同一の機能の要素は同一の参照符号を与えられる。

この発明を働かせる態様

図 1 において、自由形態に形状化された磁石本体 10 を有する磁石 1 は、複数個の層 2 を互いの上に層状に適用することにより製造され、最上部層は、構築方向 Z においてエネルギービームによって局所的に、近隣の、下にある隣接層に、少なくともある程度まで接合される。粉末状の物質 3 は製造プロセス中に磁石体 10 を支持するために用いられる。粉末状の物質は製造プロセス中に磁石 1 に接合されない。

30

【0084】

製造プロセスは、複数個の冷却および加熱要素 5 を伴うベース 4 を有する鋳型構造を必要とし、冷却および加熱要素 5 は互いから独立して制御されることができ、それによって、第 1 の表面温度 6 は、必要とされる温度勾配によって X - Y 方向における点で即座に選択することができる。レーザービーム 7 は、鉄およびホウ素と同様に希土類元素も含む、第 1 の粉末組成物 8 の層 13 を第 1 の磁性粒子 9 に変化させる。溶融物プールの凝固の間の微細構造の改善された制御のために、合金特定温度勾配および冷却速度が適用され、構築プロセス全体の全体にわたって一定に保持される。温度勾配は、構築方向 Z において主に適用される。溶融物プール 16 の凝固において、冷却速度は構築プロセス全体中において一定レベルに保持される。冷却速度は、好ましくは典型的には 104 ~ 105 K / s より上の値に保持される。これは、構築チャンバにおいて支持構造体層 18 および粉体床 13 の頂部粉末層の両方の温度を制御することによって達成される。支持構造体層 18 は、冷却 / 加熱要素 5 の熱電素子または好適な液体媒体によって、室温より下に冷却されるか、または室温より上に加熱される。頂部粉末層 13 は、光学的放射放熱器 19 または任意の他の適切な方法によって室温より上に加熱される。レーザービームパラメータの変動および制御との組合せにおいて（たとえばビームエネルギー、焦点のサイズ、ドウェル時間、X - Y 方向における速度）。

40

【0085】

50

このセクション例においては、エネルギー源としての合焦させられたレーザーの使用が提案されているが、電子ビームを、代替物として用いることもできる。レーザービームの場合では、プロセスは、（たとえばアルゴンなどのような）保護的な不活性ガス雰囲気下で行われる。電子ビームの場合では、プロセスは真空中で行われる。

【0086】

REは約30wt%のネオジムである。図1は、図2とともに、方向Zにおいて測定され第1の堆積ヘッド（図1および2においては示されないが、後で図3および図4を参照して示され説明される第2の堆積ヘッドに類似する）によって施される第1の粉体床13の粉末組成物8の層厚みは、同じ層の磁性粒子9、つまり構築方向Zにおいて同じ高レベルを有する磁性粒子の数によって形成された第1の層2の層厚み15に対応する（層厚み15については図4を参照）ことを明らかにする。

10

【0087】

第1の粉体床13の第1の粉末組成物8は、図1においては、層厚み15のような同じ直径を有する、球状のより大きな粉末粒子と、はるかにより小さなサイズを有する、より小さな粉末粒子との混合物を有するよう示されるが、この出願の図1およびすべての後の図における第1の粉末組成物8のこの表示は、単純化されたものであること知っていなければならない。その単純化は、磁性粒子9の溶融プロセスおよび溶融物プール16における層2の形成を段階的に概略的に示すために行われる。実際には、第1の粉末組成物8は複数個の必ずしも球状でない約20～150μmの粉末粒径を有する粉末粒子を含み、粉体床13は密度が高められた磁性粒子9の層よりも低いパッケージング密度を有する。換言すれば、磁性粒子9の最小厚みは粉末組成物8の粒子サイズと関連する。

20

【0088】

レーザービーム7は、少なくともX-Y方向において可動である印刷ヘッド12から出力され、第1の堆積ヘッドによって与えられる複数個の第1の粉末部分を互いにX-YおよびZ方向において溶融して、第1の磁性粒子9が溶融物プール16において形成されるようにする。図2から明らかなように、第1の磁性粒子9は、磁化方向を有するように指定され、それは、好ましくは第1の磁性粒子9の各々において双頭の矢印17によって表示された磁気配向に対応する。

【0089】

図1に戻って、鋳型構造は、ベース4と製造された磁石本体10との間において与えられる支持構造体層18をさらに有する。

30

【0090】

さらに、光学的放射放熱器19などのような加熱要素は、レーザー7によって複数個の第1の粉末部分をともに溶融する前に粉体床13を予熱するために設けられる。

【0091】

図2は、ベース4に向かって溶融物プール16から延在する、ハッチングされた矢印として表示された熱の流れ20をさらに明らかにする。溶融物プール16は、一定に制御される冷却速度を有する。

【0092】

第1の粉末部分に起因する第1の磁気特性を有する第1の領域に属する第1の層2および第1の領域のそれとは異なる磁気特性を有する第2の粉末部分に起因する第2の磁気特性を有する第2の領域に属する第2の層が存在する（図1および図2においては示されない）ので、磁石本体10は、2つの異なる磁気特性がその単一の輪郭内に与えられる。

40

【0093】

所与の体積に対する磁性粒子の充填度は、95体積%、つまり最大理論密度の95%である。この例示的な方法によって処理された材料は、粉末粒子の全体の溶融および溶融物プールの再凝固のため、そのような稠密な微細構造を示す。測定された密度は、理論密度の95%を十分上回り、ほとんどは98%より上である。処理された材料の微細構造は、Z方向において粒子配向を伴う非常に顕著なテクスチャを示す。Z方向における粒子配向の最小の寸法は粉末層厚みの寸法と関連する。Z方向において、非常に長い、配向された

50

粒子を達成するために、レーザービーム移動はレーザーパターンが下層のパターンと正確に一致するような態様において制御される。

【0094】

この開示の、記載された例示的な方法は現状技術に比較して、いくつかの利点を有する。それは、公知の方法によっては達成することができない複雑な幾何学的形状を伴う磁石の製造をはるかに低い製造コストで可能にする。それは、その結果最大性能および最適のエネルギー効率に関して電気装置（たとえばモータ、発電機、変圧器、など）の改善された設計を可能にする。装置の設計は、関与する磁性的、電氣的、熱的および機械的な現象のマルチ物理シミュレーションのための数値的ソフトウェアを用いることによって最適化することができる。そのような数値的な設計研究の結果は最適形状化磁石である。あるC A Dソフトウェアモデルが最適な磁石形状のために形成される。磁石は、この開示の例示的な方法によってそのC A Dソフトウェアモデルから直接製造される。これは、最終的な磁石構成要素の費用効果的および高速の処理という利点を有する。R E系永久磁石材料の場合、多数の粉末冶金処理ステップを回避することができるので、その費用効果は先行技術解決策と一層よく比較される。この開示の例示的な方法によって処理された材料は実質的により高い化学的純度を有し、なぜならば、酸素取込の危険性は、アルゴンでの1つ（たとえば1つのみ）の処理ステップの実行によって大幅に低減されるからである。軟磁石材料の場合では、シート製造および磁石コアへの後の組立の、手間および費用がかかる手順を回避することができ、それは実質的に低減された製造時間および費用に至る。さらに重要な利点は処理された磁石の微細構造および特性に関して達成される。非常に制御された粒子配向の結果として、磁石材料の非常に好ましい異方性のテクスチャが達成される。結晶の磁化容易軸は、構築プロセスの原則Z方向またはX - Y方向のいずれかと関連する。したがって、得られた異方性のテクスチャは、磁石の改善された性能に至る。

【0095】

さらなる利点は析出硬化可能な合金系のために達成される。全体の構築堆積に対する制御された冷却速度のため、過飽和の混晶の非常に均質な状態が達成される。外来の原子は高濃度であり、ホスト格子において均質的に分散される。これは、構築プロセスの後で適切な析出熱処理ステップを行うことに対する最適の前提条件である。これによって、非常に調整され改善された磁気特性が達成される。

【0096】

図3において示される磁石本体21の実施の形態は、図2において示される磁石本体10の第1の実施の形態と異なり、それは、第1の領域23に属する第1の磁性粒子9を有するだけでなく、構築方向Zに関してその同じ層2にある第1の粒子9とは異なる磁気特性を有する第2の磁性粒子22を有する。第2の粒子は磁石本体21の第2の領域24に属する。粉体床13を形成する第1の粉末組成物8の第1の粉末部分は、凝固された前の層2上または支持構造体層上に再び第1の堆積ヘッドにより配置される。第1の粉末組成物8はR E F e Bを含み、R Eは第1の磁性粒子9の形成のための約30wt%でのネオジムであり、それらは化学的に第2の粒子22の形成のためのものと同じである。

【0097】

磁気特性の差は、ジスプロシウム、つまりレーザービーム7によって溶解されると第2の領域24に変えられるべき、粉体床13上の指定される領域のみにおけるドーパントによって形成される好適な量の粉末状の物質25を堆積させることによって達成される。ドーパント25を形成する粉末状の物質の堆積は、少なくともX - Y方向において可動である第2の堆積ヘッド26により実行され、ドーブプロセスによって、融解するプール16において進行する。そのようにして、6wt%のDyを有する磁性粒子が達成可能である。

【0098】

第2の堆積ヘッド26はX - Y方向において可動であり、二次的な構築作業を可能にする。第2の堆積ヘッド26の動作はレーザー動作および新たな粉末層の適用（たとえば粉体床13の形成のための一次的な構築作業）と調整される。ソフトウェアはたとえば、一次



的および二次的な構築作業の両方を制御する。第2の堆積ヘッド26は、要件によって、および別の実施の形態において、既に凝固された固体層2または粉末層13のいずれかに材料を局所的に配置する。いずれにせよ、堆積された材料はX-Y構築表面における任意の所望の領域に配置することができる。印刷ヘッド材料堆積（たとえば二次的な構築作業）の分解能は、少なくとも一次的な構築作業の粉末粒子サイズの範囲にある。例示的な実施の形態では、第2の堆積ヘッド材料堆積の局所的な分解能は、一次的な構築作業の粉末粒子サイズよりも著しく高い。二次的な構築作業における堆積された材料の厚みは、要件に従って変更することができる。磁性材料に関して、たとえば0.1~5 μmの範囲における比較的薄い層のみを堆積することができる。第2の堆積ヘッドは任意の公知の堆積技術を用いることができる。それはたとえば材料を小滴状に堆積させるために流体媒体を用いるよう見出された。流体媒体は、たとえば液体媒体、無機前駆物質、ゾル、インクなどにおける固形微粒子のコロイド分散でありえる。分散を用いる場合には、粒子サイズは、典型的には1 μm以下の範囲にある。

#### 【0099】

例示的な実施の形態では、分散媒の非常に迅速な除去を確実にするために、支持構造体層（一次的な構築作業の頂部層）の温度は、上昇された温度に保持される。これは、たとえば表面温度6を制御している光学的放射放熱器19によって達成される。

#### 【0100】

堆積ヘッドは少なくとも1種類の材料を堆積させることができる。しかしながら、最終的に構築された物体の所望の特性を達成することに関して有益に思われる場合には、堆積ヘッドは二次的な構築ステップ中において異なる材料を堆積させることができる。これは、一次的な構築ステップの微細構造内に異なる材料を局所的に導入することができるという利点を有する。この開示の方法は複数成分材料の微細構造の3D設計および構築において非常に高い自由度を開く。これによって、物体のCADモデルから直接微細構造のレベルで所望の物体の機能特性を局所的に調整することが可能である。さらに例示的な実施の形態では、合金元素を導入することができ、それらはそれはレーザー融解および再凝固中において一次的な構築作業の粒子と新たな相に反応し、または合金元素は粒界で拡散し偏析することができる。レーザーエネルギーおよび焦点サイズは、固体基板表面領域に堆積された緻密層を構築するため、または粉末基板での材料の堆積からの結果として生じる新たな合金相を形成するために、調整される。一般に、冶金学のすべての概念は、微細構造のレベルで局所的に適用することができる。特に、（溶融物プールが合焦されたレーザービームによって形成されるとき）溶融物形成、（レーザーが別のスポットに移動されるとき）制御された急冷凝固、および構築プロセスの後の熱処理の可能性が、この開示の例示的な方法を完全に利用するために考慮されなければならない。これによって、機能特性、たとえば導電率、熱伝導率、硬度、強度、耐食性、屈折率、磁気飽和極性化、保磁力、キュリー温度などを、所望の物体のCADモデルから直接微細構造のレベルで局所的に調整することができる。

#### 【0101】

磁性材料の例に関して、二次的な構築作業は、磁石の体積においてさまざまな場所で、合金元素またはドーパ元素を、それらが必要な場合には導入するために用いられる。例示的な実施の形態では、重希土類金属（たとえばDy）が、高い減磁場が存在する位置のみに導入される。これは、必要とされるDyの総量を最小にする利点を有する。この態様によって製造された磁石は、磁石の最終的な適用において同じ性能および温度安定性を達成するために消費される著しくより低い量のDyのため、実質的により安価である。他の合金元素は、最終的な適用のために必要とされる場合に、局所的にさまざまな領域において機械的強度、靱性および耐食性を改善するために導入することができる。

#### 【0102】

図4に示される磁石本体27のさらなる実施の形態は、図2に示される第1の実施の形態10とは異なり、構築方向Zにおいて見たとき、後の層間および最後に製造された磁性粒子の頂部層の上に与えられる第1の絶縁層28、第2の絶縁層29および第3の絶縁層

10

20

30

40

50

30がある。

【0103】

絶縁層28、29、30を構築するために必要とされる材料は、さらなる堆積ヘッド31により第1の磁性粒子9の上に堆積され、堆積ヘッド31は、セラミックの前駆物質を形成するために、凝固した第1の粒子9の上に液状のポリシラザンポリマーの一部を供給する。液状のポリシラザンポリマーの架橋後、それは分解され、ポリシラザンは公知の手段でセラミックス層に変化させられる。要件によっては、第1の絶縁層28、第2の絶縁層29および第3の絶縁層30の層厚み32は、 $0.1\mu\text{m}$ から約 $1\mu\text{m}$ までの範囲にある。

【0104】

図3の実施例に限定されない、より一般的な用語で言えば、磁性材料について、絶縁材料、好ましくはセラミック（たとえば酸化物、窒化物、炭化物、など）の薄い層（典型的には $0.1\sim 5\mu\text{m}$ ）を導入することは非常に有利であり得る。これによって、渦電流損を効果的に回避することができ、電気装置の効率は著しく改善される。体積領域では、高密度の誘導された渦電流が存在するであろうと考えられ、分離層の密度は、同じ局所的な体積ゾーンにおいてより多くの層を導入することによって増大される。これによって、必要とされる体積ゾーンにおいてのみ、渦電流は非常に効果的に抑制される。結果として、最小限の非磁性材料が導入され、それは磁石の全体積において能動的な磁性材料の体積を最大限にする。これは、軟質および硬質磁性材料の両方にとって重要な利点である。軟磁性材料の場合では、この開示は機能的にグレード付けされた層アーキテクチャを伴う磁性コアの直接製造を可能にする。それは現状技術に比較して、はるかに高速でそれほど手間がかからず、かつより安価な技術である。最終的に、この開示は装置のより高い効率、改善された磁気性能、低減された製造費用などを可能にする。

【0105】

次に、図5に示されるこの発明に従う磁石の形態および微細構造の第4の実施の形態に戻ろう。図5に示される軟質磁石は、約 $100\mu\text{m}$ の厚みを有する、構築方向Zにおいて形成された単一の層2の拡大を示す。製造方法のこの実施の形態では、第1の粉末組成物は、第1の磁性粒子9および第2の磁性粒子22の両方の形成のために用いられた。

【0106】

図5の左側では、第1の磁性粒子9は第1の領域23においては大半はより大きく柱状であり、第2の領域24においてはXZ方向において大半はかなり正方形の断面を伴う立方体であることがわかる。製造方法のこの実施の形態では、磁性粒子の異なる粒径および配向は、異なる領域23および24に適用された異なる印刷パラメータによって引起された。柱状の第1の磁性粒子9はより低い保磁力およびしたがってより高い透磁率に寄与し、第2の領域24におけるより小さな粒子はより低い透磁率を有している。

【0107】

この方法の変形例においては、第2の磁性粒子22を印刷パラメータの変動によって製造する必要はなく、第1の磁性粒子9の形成のために用いられたものよりも第2の粉末組成物に基いた専用の粉体床によって製造される。

【0108】

図6に示される磁性本体10における第1の領域23および第2の領域24の第1のセットアップの概略的構成図は、磁石本体10が立方形の全体形状であり、縁部領域33を形成する2つの対向した側面を有することを明らかにする。第2の領域24はその縁部領域33に沿って配置される。構築方向Zにおいて見られたとき、第2の領域24はウェッジ形状断面を有する。第1の領域23は2つの第2の領域24間に位置する。粒子の磁気配向は、再び双頭の矢印17によって示される。

【0109】

図7に示される磁性本体10における第1の領域および第2の領域の第2のセットアップの概略的構成図は、磁石本体10が立方形の全体形状であり、各々限界が2つの角部または縁部34によってYZ方向に定められる2つの対向面を有することを明らかにする。

10

20

30

40

50

図 6 に示される実施の形態と比較して、この実施の形態の第 2 の領域 2 4 は、これらの角部または縁部 3 4 に沿ってのみ延在し、全端部領域 3 3 上には延在しない。

【 0 1 1 0 】

図 8 に示される磁性本体 1 0 における第 1 の領域および第 2 の領域の第 3 のセットアップの概略的構成図は、磁石本体 1 0 が立方形の全体形状であることを明らかにする。この実施の形態では、磁石本体 1 0 はサンドイッチ構造を有し、構築方向 Z において見られたときに、第 1 の領域 2 3 を形成するブロックが、第 2 の領域 2 4 を形成する 2 つの近隣のブロック間において配置される。それらのブロックの各々は複数個の層 2 を含む。

【 0 1 1 1 】

図 9 に示される磁性本体 1 0 における第 1 の領域および第 2 の領域の第 4 のセットアップの概略的構成図は、磁石本体 1 0 が立方形の全体形状であることを明らかにする。この実施の形態では、磁石本体 1 0 はより複雑な設計を有し、磁石本体 1 0 よりも小さな外側寸法を有する直平行六面体形状の第 1 の領域 2 3 が、完全に第 2 の領域 2 4 内にある。換言すれば、磁石本体 1 0 の全周囲が第 2 の領域 2 4 によって形成されている一方、第 1 の領域 2 3 は磁石本体 1 0 の完全に内部に位置する。

【 0 1 1 2 】

図 9 に従う磁石本体の変形例は、図 9 a に関して示され説明される。第 1 の領域 2 3 は、それが磁石本体の底部表面 3 5 および頂部表面 3 6 に当たるように、構築方向 Z に延在される。

【 0 1 1 3 】

再び、磁石本体 1 0 は、本体厚み 5 5 が延在する構築方向 Z から見られたときに本体長 5 3 および本体幅 5 4 を伴う矩形断面 ( X - Y 面における ) を有する、実質的に角柱の全体形状のものである。第 2 の領域 2 4 は、本体厚み 5 5 が延在する方向から見られたとき、リング形状の断面を有して、実質的に管状であり、リング形状の断面の外側輪郭は、矩形断面の外側輪郭と一致する ( 両方とも X - Y 方向に延在している ) 。最も小さなリング厚み 5 6 は、磁石本体 1 0 の本体厚み 5 5 に対して 2 0 % を超えない。

【 0 1 1 4 】

次に、横方向において近隣の磁性粒子領域間においていくつかの絶縁層を有する磁石本体 1 0 の第 5 のセットアップの概略的構成図が、図 1 0 および図 1 1 とともに説明される。図 1 0 に示される磁石本体 1 0 の切片は、単一の層 2 の一部を示す。磁石本体 1 0 は構築方向 Z の方向および X 方向または Y 方向に延在する複数個の内部絶縁層 3 7 を有する。

【 0 1 1 5 】

磁性本体 1 0 が、第 1 の磁性粒子 9 だけでなく、異なる第 2 の磁性粒子も同様に有することは可能であるが、鉛直の絶縁層 3 7 の局面は、簡潔性のため、第 1 の磁性粒子のみを有する実施の形態によって説明される。

【 0 1 1 6 】

図 1 0 の A - A 線に沿って層を通る、図 1 1 に示された拡大図は、鉛直方向に延在する絶縁層 3 7 が、各々第 1 の磁性粒子 9 を有する 2 つの近隣の第 2 の領域 2 4 間において与えられることを示す。第 1 の磁性粒子の形成のための第 1 の粉末組成物は R E F e B を含み、R E は約 3 0 w t % のネオジムである。粒子サイズに関しては、図 2 を参照されたい。

【 0 1 1 7 】

絶縁層 3 7 の第 3 の粒子 3 8 は、第 1 の粒子 9 とまさに同じ第 1 の粉末組成物から形成されるが、それらは、図 3 に開示されるものに類似するレーザービーム 7 での熔融プロセスの前に粉体床に堆積される鉄 (たとえば 1 0 w t % の鉄) で重くドーブされる。この処理の結果、第 3 の粒子 3 8 の電気的特性および磁気特性は破壊されたか、または第 1 の磁性粒子 9 に比較して、少なくとも大きく低下させられ、X - Z 方向および Y - Z 方向において所望の絶縁効果が達成されるようにされる。

【 0 1 1 8 】

しかしながら、絶縁層 3 7 の領域における磁石本体の機械的剛性は、過度には影響され

10

20

30

40

50

ず、なぜならば、横方向 X および Y において第 3 の粒子 3 8 の第 1 の粒子 9 に対する金属結合が依然としてあるからである。

【 0 1 1 9 】

磁化方向および磁束摂動の方向は構築方向 Z に延在している。

次に、この発明に従う磁石の第 6 の実施の形態を製造する方法の概略的な図示が、図 1 2 に関して説明される。図 1 および図 2 に説明された実施の形態とは対照的に、この方法は、X - Y および Z 方向を有する一般的なデカルト座標系ではなく、方向 W において軸（図示せず）のまわりを段階的に回転する湾曲したシェル表面を有するドラム状またはより任意の構築構造に基づく構築構造を用いる。それにもかかわらず、構築方向 Z は、微細構造のテクスチャを有する粒子配向 1 7 と並んで下から上に、つまり径方向に内側の領域から径方向に外側の領域に延在する。

10

【 0 1 2 0 】

層 2 は、今、（径方向外側層 2 と同一の磁性粒子 9 を有する、より早く形成された層 2 によって形成されるだろう）基板 4 0 の上に形成される。レーザークラディング、レーザー金属堆積またはブロー粉末技術とも呼ばれる、この製造方法においては、粉体床は、レーザービーム 7 によって引起される溶融物プール 1 6 における実際の溶融に十分に先立って凝固された（たとえば、積層コアによって実施の形態において形成された）下側層 2 または基板 4 0 上に堆積されず、第 1 の粉末組成物 8 を溶融物プール 1 6 に搬送するキャリアガスによって段階的に堆積される。第 1 の粉末組成物 8 およびレーザービーム 7 のためのエネルギー源の堆積は組み合わせられた印刷ヘッド 4 1 によって行われる。組み合わせられた印刷ヘッドは、印刷ヘッド 1 2 と、じょうごを形成するなどのように印刷ヘッド 1 2 の周りに導かれる環状の中空ノズル 4 2 とを有する。凝固された磁性粒子は、Z 方向において延在する微細構造化されたテクスチャを有する。たとえば予め規定された量の第 1 の粉末組成物 8 を、図 2 の文脈において言及されたものとして含む、アルゴンの好適なガス流 4 3 が、レーザービーム 7 と同軸でノズル 4 2 を通って融解プール 1 6 または次に形成されるべき融解プールの場所に向けられる。

20

【 0 1 2 1 】

この製造方法のオプションとして、電気コイル 4 4 を、第 1 の粉末組成物 8 を外部磁界に曝露するためにノズル 4 2 の端部に配置して、堆積の間の粒子および結晶配向が達成可能なようにしてもよい。この手段はこの実施の形態に限定されず、より複雑な表面および堆積構造に適用可能である。

30

【 0 1 2 2 】

次に、電気装置 4 5 の第 1 の実施の形態が図 1 3 を参照して示され説明される。図 1 3 は、軟質の磁気特性を有する第 1 の領域 2 3 および硬質の磁気特性を有する第 2 の領域 2 4 の両方を有する、リング形状化された磁性コア要素 4 6 を示す。新たな製造技術は磁石本体 1 0 を層状に製造することを可能にして、軟磁性第 1 の部分および硬磁性本体の両方が実質的に同じ製造プロセスにおいて製造されるようにする。たとえば、そのような磁石本体 1 0 は欧州特許出願公開第 2 1 0 4 1 1 5 号において開示されたような交流のためのリアクタ構成において使用されてもよい。

40

【 0 1 2 3 】

電気装置 4 5 の第 2 の実施の形態が図 1 4 および図 1 5 を参照して示され説明される。図 1 4 は、電気モータの回転子 4 7 を通る断面を示す。回転子 4 7 は、軟磁性特性を有する、回転する軸の方向に延在する複数個のスロット 4 9 を伴うキャリアセクション 4 8 を含む。そのような回転子設計はいわゆる S y n r e l または S y n R e l タイプから公知である。スロット 4 9 は一致する断面を有する永久磁石 5 0 を受けるために設計される。領域「B」における以外は、永久磁石 5 0 は、部品および幾何学的形状がよりよく認識することができることを確実にするために、図 1 4 に示されていない。図 1 4 は、幾何学的形状の部分に沿った材料組成に対する要求およびアプローチをすべてカバーする完全な例としてではないものとする。磁石の複数層、磁石の異なる配向および形状を伴う変動も考慮され得る。

50

## 【 0 1 2 4 】

図 1 4 はさらに、全体的な軟磁性キャリアセクション 4 8 は、電気モータの動作状態において低い保磁力領域を形成するための多結晶の第 1 の領域 2 3 を有することを開示する。損失および導電率はこの第 1 の領域 2 3 においては重要ではない。部品のコアにおけるこの領域における鉄およびケイ素 ( F e - S i )、または F e - C o、または F e - N i、または同様の軟磁性組成を含む磁性粒子の粒径、粒径は約 2 0 [ n m ] 未満または 5 0 [ μ m ] 超である。図 4 における実施の形態の文脈において説明されたような絶縁層 ( 2 8、2 9、3 0 ) での積層は、必要ではない。

## 【 0 1 2 5 】

キャリアセクション 4 8 は、さらに回転子 4 7 の回転軸 5 2 に関して周辺領域またはリム領域 5 1 を有する。前記リム領域 5 1 は、大きな機械的応力および大きな磁束変動の対象である。リム領域は、相対的に低い保磁力ではあるが高い透磁率の領域に対応するが、ナノ結晶質またはアモルファスである積層された多結晶構造または微細構造を特徴とする損失管理を必要としている。積層された多結晶構造は、絶縁層 2 8、2 9、3 0 の製造が開示される図 4 の文脈において説明されるように、形成される。このリム領域 5 1 における磁性粒子の粒径は、約 2 0 [ n m ] 未満 ( ナノ結晶質またはアモルファス ) または 5 0 [ μ m ] 超 ( 積層を伴う ) である。したがって、リム領域 5 1 は、この開示の文脈においてさらなる第 1 の領域 2 3 として認められる。リム領域 5 1 に前述の粒子構造を有することは、さらに有利であり、なぜならば、それは、回転子 4 7 の磁石本体の周囲におけるその比較的小さなゾーンにおいて非常に所望される、高い機械的剛性に寄与するからである。

## 【 0 1 2 6 】

キャリアセクション 4 8 は、近隣のスロット 4 9 間およびスロット 4 9 の周囲端部と回転子 4 7 のシェル表面との間において、いわゆるブリッジを形成する中間領域をさらに有する。

## 【 0 1 2 7 】

ブリッジは、永久磁石 5 0 および磁極構造を拘束し、それを回転子 4 7 に固定するために必要である。したがって、機械的な考慮に関して、ブリッジは可能な限り厚くあるよう所望される。マイナス面は、より厚いブリッジ磁束は電気機械の空隙を横切らず、したがって機械の全体費用を増し、なぜならば、増大された永久磁石がその不利益の補償のために必要とされるからである。ここで、軟磁性側における要求は、機械の回転子 4 7 上に配置されている硬質磁石 5 0 があるかどうか依存しないことに言及する必要がある。硬質磁石 5 0 が用いられる場合、ブリッジは硬質磁石が存在しない用途においてよりも厚くなければならないであろう。これは増大された遠心力のためである。しかしながら、全体的な要求および要望は軟磁性に対しては残ることになる。

## 【 0 1 2 8 】

ここで図 1 4 の実施の形態に戻って、この中間領域の一部は、スロット 4 9 によって形成された V 形状のベースに位置し、その中間領域は回転軸 5 2 に最も近く、高い保磁力および低い透磁率の必要性がある。したがって、この領域における磁性粒子の粒径は約 1 0 0 n m ~ 約 1 μ m の範囲にあるよう選択される。したがって、その中間領域は、この開示の文脈において第 2 の領域 2 4 として完全に認められる。その結果、前述の磁石製造方法は、より大きな S y n r e l タイプ機械が、より大きな磁極数を必要とし、したがって、増大された遠心力を持続させるために必要とされる増大されたブリッジ幅および結果として生じる磁気異方性の低減に起因する公知の構造的な限界を超えるため、実現可能でないというこの問題を克服する。逆に、この方法は今や、そのようにより大きな S y n r e l 機械の構築を可能し、なぜならば、それは十分に強力なブリッジを構築する機会を形成するからである。非等方性の低減がないこと、または増大さえされた非等方性のため、より高い電気モータの突極性比率が達成可能である。

## 【 0 1 2 9 】

図 1 4 のセクション「 B 」における硬質磁石または永久磁石 5 0 の拡大が、図 1 5 に与

えられる。永久磁石 50 の細長い断面は、図 8 に関して論じられた磁石本体の実施の形態に類似して製造される。しかしながら、この硬質磁石実施の形態では、高い保磁力要件を満たすための領域は反対に位置し、つまり中心に対して磁石本体 50 の遠位端部 24、つまり比較的低い保磁力要件を有する近位の第 1 の領域 23 に位置する。

【 0 1 3 0 】

参照符号のリスト

【 符号の説明 】

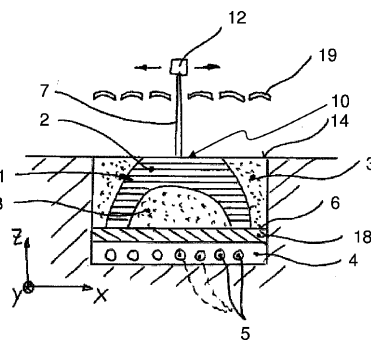
【 0 1 3 1 】

|                   |                      |    |
|-------------------|----------------------|----|
| 1                 | 磁石                   |    |
| 2                 | 層                    | 10 |
| 3                 | 粉末状の物質               |    |
| 4                 | ベース                  |    |
| 5                 | 冷却 / 加熱要素            |    |
| 6                 | 第 1 の表面温度            |    |
| 7                 | レーザービーム              |    |
| 8                 | 第 1 の粉末組成物           |    |
| 9                 | 第 1 の磁性粒子            |    |
| 10、21、27、39、47、50 | 磁石本体                 |    |
| 12                | 印刷ヘッド                |    |
| 13                | 粉体床 / 粉末組成物の層        | 20 |
| 15                | 層厚み                  |    |
| 16                | 溶融物プール               |    |
| 17                | 粒子配向                 |    |
| 18                | 支持構造体層               |    |
| 19                | 光学的放射放熱器             |    |
| 20                | 熱流束                  |    |
| 22                | 第 2 の磁性粒子            |    |
| 23                | 第 1 の領域 ( 低い保磁力 )    |    |
| 24                | 第 2 の領域 ( 高い保磁力 )    |    |
| 25                | 粉末状の物質 / インク / ドーパント | 30 |
| 26                | 第 2 の堆積ヘッド           |    |
| 28                | 第 1 の絶縁層             |    |
| 29                | 第 2 の絶縁層             |    |
| 30                | 第 3 の絶縁層             |    |
| 31                | さらなる堆積ヘッド            |    |
| 32                | 絶縁層の層厚み              |    |
| 33                | 縁部領域                 |    |
| 34                | 角部領域                 |    |
| 35                | 底部表面                 |    |
| 36                | 頂部表面                 | 40 |
| 37                | 絶縁層                  |    |
| 38                | 第 3 の粒子              |    |
| 40                | 基板                   |    |
| 41                | 組み合わされた印刷ヘッド         |    |
| 42                | ノズル                  |    |
| 43                | ガス流                  |    |
| 44                | 電気コイル                |    |
| 45                | 電気装置                 |    |
| 46                | 磁性コア要素               |    |
| 47                | 電気モータの回転子            | 50 |

- 4 8 キャリヤセクション
- 4 9 スロット
- 5 0 永久磁石本体
- 5 1 リム領域
- 5 2 回転軸
- 5 3 本体長さ
- 5 4 本体幅
- 5 5 本体厚み
- 5 6 最も小さなリング厚み

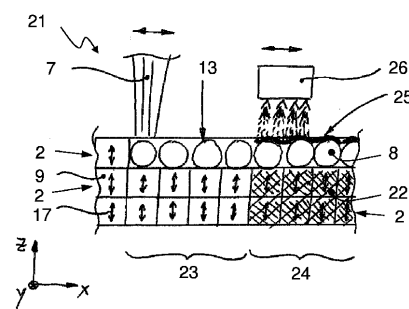
【図 1】

Fig. 1



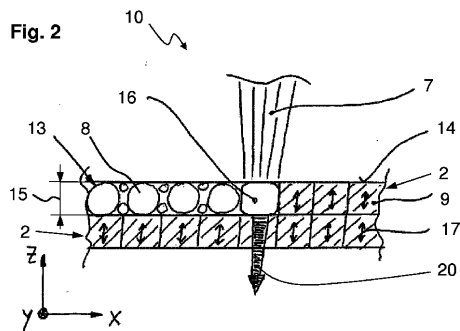
【図 3】

Fig. 3



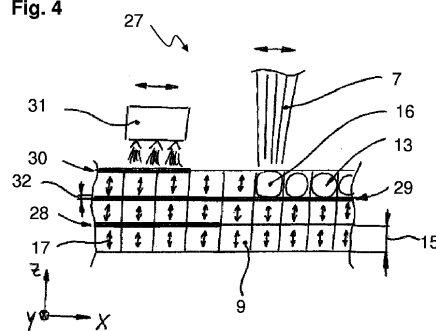
【図 2】

Fig. 2

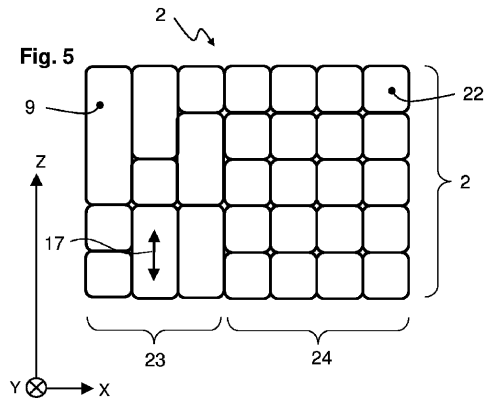


【図 4】

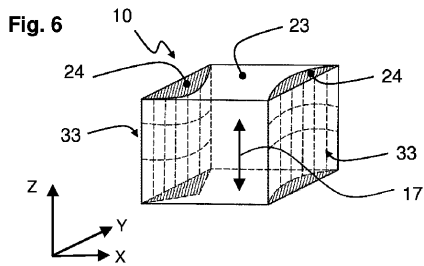
Fig. 4



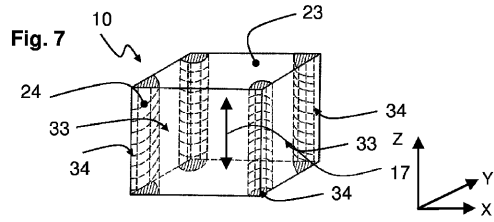
【図 5】



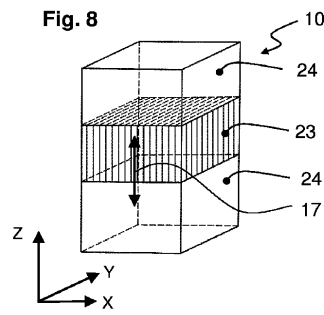
【図 6】



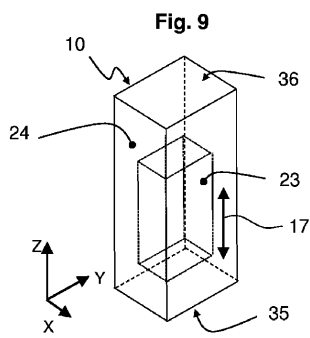
【図 7】



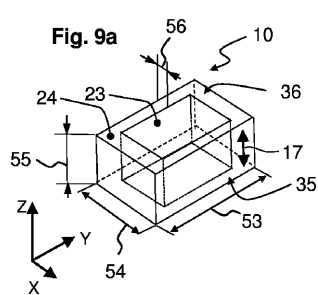
【図 8】



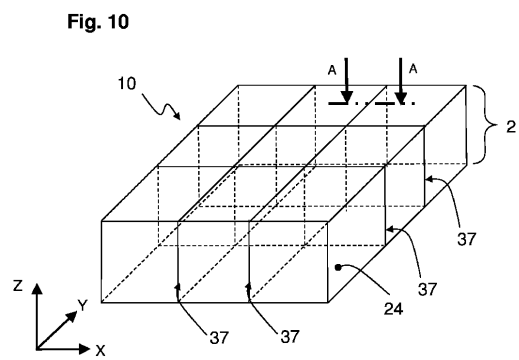
【図 9】



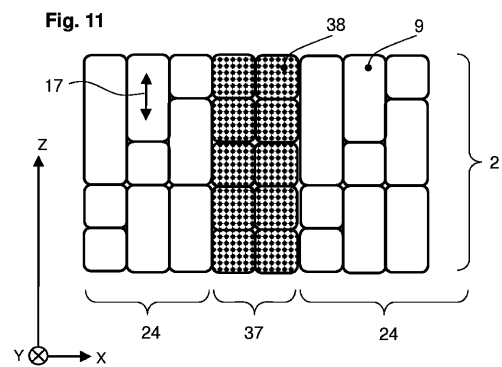
【図 9 a】



【図 10】



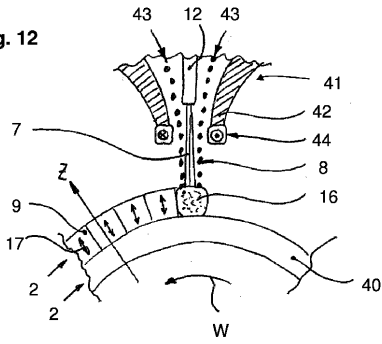
【図 11】





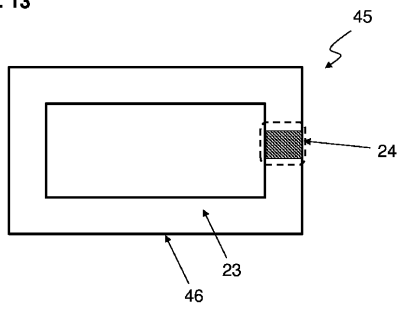
【図 1 2】

Fig. 12



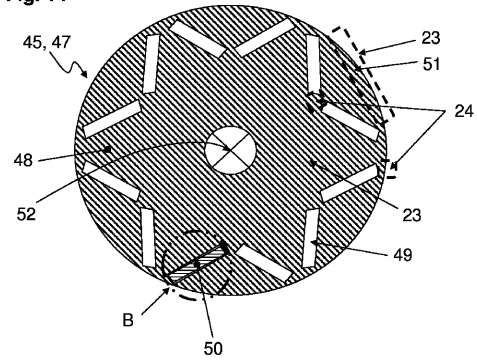
【図 1 3】

Fig. 13



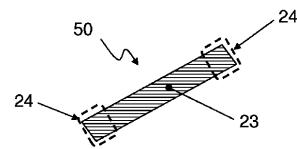
【図 1 4】

Fig. 14



【図 1 5】

Fig. 15



---

フロントページの続き

- (72)発明者 トレメリング, ダレン  
アメリカ合衆国、27502 ノース・カロライナ州、ローリー、エイペックス、ウォータークロ  
ース・コート、1702
- (72)発明者 グロイター, フェリクス  
スイス、5406 バーデン・リュートィホフ、イム・ベットリアッハー、8
- (72)発明者 ヨハンソン, エリク  
スウェーデン、722 45 ベステルオース、ラベンデルベーゲン、69
- (72)発明者 トムス, トマジ  
スロベニア、1000 リュブリャナ、ヤモバ、39、ヨージェフ・ステファン・インスティテュ  
ート

審査官 酒井 英夫

- (56)参考文献 特開2013-110225(JP, A)  
特表2017-510054(JP, A)  
特開2012-019030(JP, A)  
特開昭62-095719(JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
B22F 1/00-9/30,  
H01F 1/00-1/44