

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016年9月29日(29.09.2016)



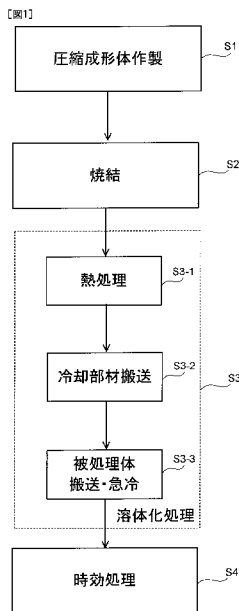
(10) 国際公開番号
WO 2016/151622 A1

- (51) 国際特許分類:
H01F 41/02 (2006.01) H01F 1/08 (2006.01)
H01F 1/055 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/001640
- (22) 国際出願日: 2015年3月23日(23.03.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 株式会社 東芝 (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 眞田 直幸 (SANADA, Naoyuki); 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社 東芝 知的財産室内 Tokyo (JP). 桜田 新哉 (SAKURADA, Shinya); 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社 東芝 知的財産室内 Tokyo (JP). 堀内 陽介 (HORIUCHI, Yosuke); 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社 東芝 知的財産室内 Tokyo (JP). 萩原 将也 (HAGIWARA, Masaya); 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社 東芝 知的財産室内 Tokyo (JP). 遠藤 将起 (ENDO, Masaki); 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社 東芝 知的財産室内 Tokyo (JP). 寺田 貴洋 (TERADA, Takahiro); 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社 東芝 知的財産室内 Tokyo (JP). 近岡 秀男 (CHIKAOKA, Hideo); 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社 東芝 知的財産室内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人サクラ国際特許事務所 (SAKURA PATENT OFFICE, P.C.); 〒1010048 東京都千代田区神田司町二丁目8番1号 P M O 神田司町 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR,

[続葉有]

(54) Title: PERMANENT MAGNET, MOTOR, AND GENERATOR

(54) 発明の名称: 永久磁石、モータ、および発電機



- S1 Production of compression-molded body
- S2 Sintering
- S3 Solutionizing treatment
- S3-1 Heat treatment
- S3-2 Conveyance of cooling member
- S3-3 Conveyance/rapid cooling of object to be treated
- S4 Aging treatment

(57) Abstract: Provided is a high-performance permanent magnet. A solutionizing treatment is performed, said treatment containing: a step for heat-treating at a temperature T_{ST} ; a step for placing a cooling member, which has a first layer and a second layer that is disposed on the first layer, between a heating body and an object to be treated, such that the first layer is positioned on the side of the object to be treated; and a step for conveying, to outside a heating chamber, the cooling member and the object to be treated, and cooling the object to be treated until the temperature of said object reaches a temperature that is lower than the temperature $T_{ST}-200^{\circ}\text{C}$. In the step for cooling the object to be treated, the cooling speed at which the temperature of said object reaches the temperature $T_{ST}-200^{\circ}\text{C}$ is at least $5^{\circ}\text{C}/\text{s}$.

(57) 要約: 高性能な永久磁石を提供する。温度 T_{ST} で熱処理を行う工程と、第1の層と、第1の層上に設けられた第2の層と、を有する冷却部材を被処理体側に第1の層が位置するように冷却部材を加熱体と被処理体との間に配置する工程と、冷却部材とともに被処理体を加熱室の外部に搬出し、被処理体の温度が温度 $T_{ST}-200^{\circ}\text{C}$ よりも低い温度になるまで被処理体を冷却する工程と、を備える溶体化処理を行う。被処理体を冷却する工程において、被処理体の温度が温度 $T_{ST}-200^{\circ}\text{C}$ になるまでの冷却速度は $5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上である。

WO 2016/151622 A1



LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

ロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨー

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：永久磁石、モータ、および発電機

技術分野

[0001] 実施形態の発明は、永久磁石、モータ、および発電機に関する。

背景技術

[0002] 高性能希土類磁石の例としてSm-Co系磁石、Nd-Fe-B系磁石などが知られている。これらの磁石では、FeやCoが飽和磁化の増大に寄与している。また、これらの磁石にはNdやSm等の希土類元素が含まれており、結晶場中における希土類元素の4f電子の挙動に由来して大きな磁気異方性をもたらす。これにより、大きな保磁力が得られ、高性能磁石が実現されている。

[0003] このような高性能磁石は、主としてモータ、スピーカ、計測器等の電気機器に使用されている。近年、各種電気機器の小型軽量化、低消費電力化の要求が高まり、これに対応するために永久磁石の最大磁気エネルギー積（BHmax）を向上させた、より高性能の永久磁石が求められている。また、近年、可変磁束型モータが提案され、モータの高効率化に寄与している。

[0004] Sm-Co系磁石は、キュリー温度が高いため、高温で良好なモータ特性を実現することが可能であるが、さらなる高保磁力化と高磁化、さらに角型比の改善が望まれている。Sm-Co系磁石の高磁化にはFeの高濃度化が有効であると考えられるが、従来の製法ではFeを高濃度化することにより保磁力が低下する傾向にあった。このようなことから、高性能なモータ用の磁石を実現するためには高いFe濃度組成において磁化を改善しながらも高い保磁力の発現を可能とする技術が必要となる。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：国際公開第2014/156031号

特許文献2：国際公開第2014/156047号

発明の概要

- [0006] 本発明で解決しようとするべき課題は、永久磁石においてその金属組織を制御することにより、高性能な永久磁石を提供することである。
- [0007] 実施形態の永久磁石の製造方法は、合金粉末を磁場中で加圧成形して圧縮成形体を作製する工程と、圧縮成形体を焼結して焼結体を形成する工程と、焼結体に対して溶体化処理を行う工程と、溶体化処理後の焼結体に対して時効処理を行う工程と、を少なくとも行うことにより永久磁石を製造する。溶体化処理は、加熱体を有する加熱室の内部において、 1100°C 以上 1200°C 以下の温度 T_{ST} で焼結体を有する被処理体の熱処理を行う工程と、熱処理の後に、第1の熱放射率を有する第1の層と、第1の層上に設けられ第1の熱放射率よりも低い第2の熱放射率を有する第2の層と、を有する冷却部材を加熱室の内部に搬入し、被処理体側に第1の層が位置するように冷却部材を加熱体と被処理体との間に配置する工程と、冷却部材とともに被処理体を加熱室の外部に搬出し、被処理体の温度が温度 $T_{ST} - 200^{\circ}\text{C}$ よりも低い温度になるまで被処理体を冷却する工程と、を備える。被処理体を冷却する工程において、被処理体の温度が温度 $T_{ST} - 200^{\circ}\text{C}$ になるまでの冷却速度は $5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上である。

図面の簡単な説明

- [0008] [図1]永久磁石の製造方法例を示すフローチャートである。
- [図2]永久磁石の製造装置の構成例を示す模式図である。
- [図3]冷却部材の構造例を示す模式図である。
- [図4]冷却部材の他の構造例を示す模式図である。
- [図5]冷却部材の他の構造例を示す模式図である。
- [図6]溶体化処理工程の例を説明するための模式図である。
- [図7]永久磁石モータを示す図である。
- [図8]可変磁束モータを示す図である。
- [図9]発電機を示す図である。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、実施形態について、図面を参照して説明する。なお、図面は模式的なものであり、例えば厚さと平面寸法との関係、各層の厚さの比率等は現実のものとは異なる場合がある。また、実施形態において、実質的に同一の構成要素には同一の符号を付し説明を省略する。

[0010] (第1の実施形態)

本実施形態の永久磁石およびその製造方法例について以下に説明する。

[0011] 図1は、本実施形態の永久磁石の製造方法例を示すフローチャートである。図1に示すように、本実施形態の永久磁石の製造方法例は、圧縮成形体作製工程(S1)と、焼結工程(S2)と、溶体化処理(Solution Heat Treatment)工程(S3)と、時効処理工程(S4)とを具備する。

[0012] 上記製造方法例により製造可能な永久磁石の例について説明する。永久磁石は、例えば組成式： $R_pFe_qM_rCu_tCo_{100-p-q-r-t}$ (式中、Rは希土類元素から選ばれる少なくとも1つの元素、MはZr、Ti、およびHfからなる群より選ばれる少なくとも1つの元素、pは $10.5 \leq p \leq 12.5$ 原子%を満足する数、qは $27 \leq q \leq 40$ 原子%を満足する数、rは $0.8 \leq r \leq 4.5$ 原子%を満足する数、tは $4.5 \leq t \leq 10.7$ 原子%を満足する数である)で表される組成を備える焼結体を具備する。

[0013] 上記組成式におけるRは、磁石材料に大きな磁気異方性をもたらすことができる元素である。R元素としては、例えばイットリウム(Y)を含む希土類元素から選ばれる1つまたは複数の元素などを用いることができ、例えばサマリウム(Sm)、セリウム(Ce)、ネオジム(Nd)、プラセオジム(Pr)等を用いることができ、特に、Smを用いることが好ましい。例えば、R元素としてSmを含む複数の元素を用いる場合、Sm濃度をR元素として適用可能な元素全体の50原子%以上とすることにより、磁石材料の性能、例えば保磁力を高めることができる。なお、R元素として適用可能な元素の70原子%以上、さらには90%以上をSmとするとさらに好ましい。

[0014] R元素として適用可能な元素の濃度を、例えば10.5原子%以上12.

5原子%以下とすることにより保磁力を大きくすることができる。R元素として適用可能な元素の濃度が10.5原子%未満の場合、多量の α -Feが析出して保磁力が小さくなり、R元素として適用可能な元素の濃度が12.5原子%を超える場合、飽和磁化が低下する。R元素として適用可能な元素の濃度は、10.9原子%以上12.1原子%以下、さらには11.0原子%以上12.0原子%以下であることがより好ましい。

[0015] 上記組成式におけるMは、高いFe濃度の組成で大きな保磁力を発現させることができる元素である。M元素としては、例えばチタン(Ti)、ジルコニウム(Zr)、およびハフニウム(Hf)からなる群より選ばれる1つまたは複数の元素が用いられる。M元素の含有量rが4.5原子%を超えると、M元素を過剰に含有する異相が生成しやすくなり、保磁力、磁化ともに低下しやすくなる。また、M元素の含有量rが0.88原子%未満であるとFe濃度を高める効果が小さくなりやすい。つまり、M元素の含有量rは、0.88原子%以上4.5原子%以下であることが好ましい。元素Mの含有量rは、1.14原子%以上3.58原子%以下であることがより好ましく、さらに1.49原子%よりも大きく2.24原子%以下、さらには1.55原子%以上2.23原子%以下であることが好ましい。

[0016] Feは、主として磁石材料の磁化を担う元素である。Feを多量に配合することにより磁石材料の飽和磁化を高めることができるが、過剰に配合すると α -Feの析出や相分離により所望の結晶相が得られにくくなり、保磁力を低下させるおそれがある。よって、Feの含有量qは、27原子%以上40原子%以下であることが好ましい。Feの含有量qは、28原子%以上36原子%以下であることがより好ましく、さらに30原子%以上33原子%以下であることが好ましい。

[0017] M元素は、少なくともZrを含むことが好ましい。特に、M元素の50原子%以上をZrとすることによって、永久磁石の保磁力を高めることができる。一方、M元素の中でHfはとりわけ高価であるため、Hfを使用する場合においても、その使用量は少ないことが好ましい。例えば、Hfの含有量

は、M元素の20原子%未満であることが好ましい。

[0018] Cuは、磁石材料において高い保磁力を発現させることができる元素である。Cuの含有量は、例えば4.5原子%以上13.5原子%以下であることが好ましい。これよりも多量に配合すると磁化の低下が著しく、またこれよりも少量であると高い保磁力と良好な角型比を得ることが困難となる。Cuの含有量tは、4.9原子%以上9.0原子%以下であることがより好ましく、さらに5.3原子%以上5.8原子%以下であることが好ましい。

[0019] Coは、磁石材料の磁化を担うとともに高い保磁力を発現させることができる元素である。また、Coを多く配合すると高いキュリー温度が得られ、磁石特性の熱安定性を高めることができる。Coの配合量が少ないとこれらの効果が小さくなる。しかしながら、Coを過剰に添加すると、相対的にFeの割合が減り、磁化の低下を招くおそれがある。また、Coの20原子%以下をNi、V、Cr、Mn、Al、Si、Ga、Nb、Ta、Wからなる群より選ばれる1つまたは複数の元素で置換することにより磁石特性、例えば保磁力を高めることができる。

[0020] 上記組成を有する永久磁石は、六方晶系の $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ 型結晶相(2-17型結晶相)を有する主相と、主相を構成する結晶粒の間に設けられた粒界相と、を含む2次元の金属組織を具備する。さらに、主相は、2-17型結晶相を有するセル相と、六方晶系の CaCu_5 型結晶相(1-5型結晶相)を有するCuリッチ相と、を含む。Cuリッチ相は、セル相を囲むように形成されることが好ましい。上記構造をセル構造ともいう。また、Cuリッチ相にはセル相を分断するセル壁相も含まれる。 $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ 型結晶相のc軸は磁化容易軸と平行に存在していることが好ましい。なお、平行とは、平行方向から±10度以内の状態(略平行)を含んでいてもよい。また、金属組織は、六方晶系の TbCu_7 型結晶相(1-7型結晶相)を含んでいてもよい。 TbCu_7 型結晶相は、 $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ 型結晶相および CaCu_5 型結晶相の相分離組織の前駆体となる結晶相である。

[0021] Cuリッチ相のCu濃度は、 $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ 型結晶相のCu濃度よりも高い。

例えば、Cuリッチ相のCu濃度は、 $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ 型結晶相のCu濃度の1.2倍以上であることが好ましい。Cuリッチ相は、例えば $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ 型結晶相におけるc軸を含む断面において、線状または板状に存在する。Cuリッチ相の構造としては、特に限定されないが、例えば六方晶系の CaCu_5 型結晶相（1-5型結晶相）等が挙げられる。また、永久磁石は、相の異なる複数のCuリッチ相を有していてもよい。

[0022] Cuリッチ相の磁壁エネルギーは、 $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ 型結晶相の磁壁エネルギーよりも高く、この磁壁エネルギーの差が磁壁移動の障壁となる。つまり、Cuリッチ相がピンングサイトとして機能することにより、複数のセル相間での磁壁移動を抑制することができる。特に、セル構造を形成することにより、磁壁移動の抑制効果が高まる。これを磁壁ピンング効果ともいう。よって、セル相を囲むようにCuリッチ相が形成されることがより好ましい。

[0023] 27原子%以上のFeを含むSm-Co系磁石において、Cuリッチ相のCu濃度は、10原子%以上60原子%以下であることが好ましい。Cuリッチ相のCu濃度を高めることにより保磁力や角型比を高くすることができる。Fe濃度が高い領域においてはCuリッチ相のCu濃度にばらつきが発生しやすくなり、例えば磁壁ピンング効果が大きいCuリッチ相と磁壁ピンング効果が小さいCuリッチ相とが生じ、保磁力および角型比が低下する。

[0024] ピンングサイトを外れた磁壁が移動すると、移動した分だけ磁化が反転してしまうため、磁化が低下する。外磁場を印加した際に、ある一定の磁場で一斉に磁壁がピンングサイトを外れれば、磁場の印加により磁化が低下しにくくなり、良好な角型比が得られる。換言すると、磁場を印加した際に保磁力よりも低い磁場でピンングサイトを外れ、磁壁が移動してしまうと、移動した分だけ磁化が減少し、角型比の悪化につながると考えられる。

[0025] 以上のように、本実施形態の永久磁石の製造方法により製造される永久磁石は、 $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ 型結晶相と CaCu_5 型結晶相との少なくとも2相を有する相分離組織を有する。永久磁石の全体にわたって上記相分離組織を形成することにより、高保磁力等の磁石特性を実現することができる。

[0026] 次に、図1に示す永久磁石の製造方法例の詳細について説明する。圧縮成形工程(S1)では、まず永久磁石の合成に必要な所定の元素を含む合金粉末を調製する。例えば、本実施形態の永久磁石の製造方法により得られる永久磁石が上記組成式で表される組成を有するように合金粉末を調製する。次に、電磁石の中に設置した金型内に合金粉末を充填し、磁場を印加しながら加圧成形することにより結晶軸を配向させた圧縮成形体を製造する。

[0027] 例えば、アーク溶解法や高周波溶解法による溶湯を鑄造して得られた合金インゴットを粉砕することにより合金粉末を調製することができる。合金粉末は、組成が異なる複数の粉末を混ぜ合わせて所望の組成としてもよい。また、メカニカルアロイング法、メカニカルグラインディング法、ガスアトマイズ法、還元拡散法などを用いて合金粉末を調製してもよい。ストリップキャスト法を用いた合金薄帯の作製では、フレーク状の合金薄帯を作製し、その後合金薄帯を粉砕することにより合金粉末を調製する。例えば、周速0.1m/秒以上20m/秒以下で回転する冷却ロールに合金溶湯を傾注することにより、厚さ1mm以下に連続的に凝固させた薄帯を作製することができる。周速が0.1m/秒未満の場合、薄帯において組成のばらつきが生じやすい。また、周速が20m/秒を超える場合、結晶粒が微細化しすぎてしまう等、磁気特性が低下する場合がある。冷却ロールの周速は0.3m/秒以上15m/秒以下、さらに好ましくは0.5m/秒以上12m/秒以下である。

[0028] さらに、上記合金粉末または粉砕前の合金の材料に対して熱処理を施すことにより該材料を均質化することが可能である。例えば、ジェットミル、ボールミルなどを用いて材料を粉砕することができる。なお、不活性ガス雰囲気もしくは有機溶媒中で材料を粉砕することにより粉末の酸化を防止することができる。

[0029] 粉砕後の粉末において、平均粒径が2 μ m以上5 μ m以下であり、かつ粒径が2 μ m以上10 μ m以下の粉末の割合が粉末全体の80%以上であると配向度が高くなり、また、保磁力が大きくなる。これを実現するためにはジ

ェットミルによる粉砕が好ましい。

[0030] 例えば、ボールミルで粉砕する場合、粉末の平均粒径が $2\ \mu\text{m}$ 以上 $5\ \mu\text{m}$ 以下であったとしても、粒径がサブミクロンレベルの微粉末が多量に含まれる。この微粉末が凝集するとプレス時の磁場配向中に磁化容易軸方向に TbCu_7 型結晶相における結晶の c 軸が揃いにくくなり、配向度が悪くなりやすい。また、このような微粉末は、焼結体中の酸化物の量を増大させ、保磁力を低下させるおそれがある。特に、 Fe 濃度が27原子%以上の場合、粉砕後の粉末において、 $10\ \mu\text{m}$ 以上の粒径の粉末の割合が粉末全体の10%以下であることが望ましい。 Fe 濃度が27原子%以上の場合、原材料となるインゴット中における異相の量が増大する。この異相では、粉末の量が増大するだけでなく、粒径も大きくなる傾向にあり、粒径が $20\ \mu\text{m}$ 以上になることがある。

[0031] このようなインゴットを粉砕した際に例えば $15\ \mu\text{m}$ 以上の粒径の粉末がそのまま異相の粉末となることがある。このような異相粗粉末を含んだ粉砕粉を磁場中でプレスし、焼結体とすると、異相が残存し、保磁力の低下、磁化の低下、角型性の低下等を引き起こす。角型性が低下すると着磁が難しくなる。特に、ロータなどへのアセンブリ後の着磁が困難となる。このように、 $10\ \mu\text{m}$ 以上の粒径の粉末を全体の10%以下とすることにより27原子%以上の Fe を含む高い Fe 濃度組成において角型比の低下を抑制しつつ保磁力を大きくすることができる。

[0032] 焼結工程(S2)は、例えば真空雰囲気中での仮焼結工程と Ar ガス等の不活性ガス雰囲気中での本焼結工程とを備える。本焼結工程では、上記圧縮成形体に対し、 1170°C 以上 1215°C 以下の温度で、0.5時間以上15時間以下保持することにより熱処理を行う。

[0033] 例えば、保持温度が 1170°C 未満の場合、生成される焼結体の密度が低くなりやすい。また、 Fe 濃度が高くなるほど融点が低下しやすく、保持温度が 1215°C よりも高い場合、粉末中の Sm 等のR元素が過剰に蒸発する等で磁気特性が低下する場合がある。より好ましい保持温度は 1180°C 以

上1205℃以下、さらには1190℃以上1195℃以下である。

[0034] 保持時間が0.5時間未満の場合、密度が不均一になりやすいため磁化が低下しやすく、さらに、焼結体の結晶粒径が小さくなり、かつ粒界相比率が高くなることにより、磁化が低下しやすい。また、熱処理時間が15時間を越えると粉末中のR元素の蒸発が過剰となり、磁気特性が低下するおそれがある。より好ましい保持時間は1時間以上10時間以下であり、さらに好ましくは1時間以上4時間以下である。

[0035] 仮焼結工程では、上記圧縮成形体に対し、例えば本焼結工程の保持温度よりも50℃以上低い温度以上本焼結工程の保持温度以下の温度で30分以上60分以下保持することにより熱処理を行う。このように、本焼結工程の保持温度近くになるまで真空を維持し、その後不活性雰囲気中に切り替え、保持することにより焼結体密度を向上させることができる。本焼結工程の保持温度よりも50℃を超えて低い温度になると、焼結体を十分に高密度化することができないおそれがある。

[0036] 仮焼結工程では、 9×10^{-2} Pa以下の真空度を有する真空雰囲気にすることが好ましい。真空度が 9×10^{-2} Paを超えるとSm等のR元素の酸化物が過剰に形成され、磁気特性が低下するおそれがある。仮焼結工程での真空度は、 5×10^{-2} Pa以下、さらには 1×10^{-2} Pa以下であることがより好ましい。

[0037] 溶体化処理工程(S3)は、相分離組織の前駆体となるTbCu₇型結晶相を形成する処理である。また、時効処理工程(S4)とは、金属組織を制御して磁石の保磁力を高める処理であり、磁石の金属組織をTh₂Zn₁₇型結晶相とCaCu₅型結晶相とを少なくとも含む相分離組織を形成する処理である。

[0038] 溶体化処理工程(S3)を行うことにより焼結体全体に均質なTbCu₇型結晶相を形成することが好ましい。TbCu₇型結晶相を母相として、時効処理工程(S4)を行うことにより、金属組織がTh₂Zn₁₇型結晶相とCaCu₅型結晶相とを含む複数の相に分離し、セル構造が形成されるためである。

。しかしながら、Fe濃度を27原子%以上に高めた場合、溶体化処理工程(S3)において均質なTbCu₇型結晶相が得られにくくなる。前述のとおり、セル構造が十分に形成されないと保磁力等の磁石特性が低下しやすくなる。

[0039] 27原子%以上のFe濃度を有するSm-Co系永久磁石となる焼結体において、溶体化処理により均質なTbCu₇型結晶相を得るためには、溶体化処理において、熱処理後に高い冷却速度で当該焼結体を冷却する、いわゆる急冷を行うことが重要である。

[0040] 加熱された焼結体の冷却速度は、例えば冷却機構の冷却能力および焼結体の総重量によって変化する。例えば、実験室レベル、すなわち数十g程度の重量の焼結体であれば、従来の冷却機構を具備する熱処理炉を用いて高い冷却速度を実現することができる場合がある。しかしながら、例えば量産設備で製造可能な数百g～数kgの重量を有する複数の焼結体に対して急冷を行う場合、焼結体の総熱容量が高いため冷却能力が不足し、従来の熱処理炉では十分な冷却速度を得ることができない。よって、高保磁力等の高い磁気特性を有する磁石を量産するためには、溶体化処理において、大量の焼結体を十分な冷却速度で冷却することが求められる。

[0041] そこで、本願発明の永久磁石の製造方法では、多層構造の冷却部材を用いて溶体化処理時の冷却を行う。これにより、大量の焼結体に対して溶体化処理を行う場合であっても、十分な冷却速度で冷却を行うことができる。

[0042] 多層構造の冷却部材を用いる場合の溶体化処理の例についてさらに説明する。まず、本実施形態の永久磁石の製造方法に適用可能な永久磁石の製造装置の構成例について図2を参照して説明する。図2に示す永久磁石の製造装置10は、側壁等にカーボンヒータ等の加熱体11を有する加熱室1と、加熱室1に隣接する冷却室2と、加熱室1の内部と外部との間で被処理体51と冷却部材52とを搬送する搬送機構3と、搬送機構3の搬送動作を制御する制御機構4と、を少なくとも具備する。なお、必ずしも冷却室2を設けなくてもよい。また、焼結工程(S2)や時効処理工程(S4)においても溶

体化処理（S3）に用いられる製造装置を用いてもよい。

- [0043] 被処理体51は、磁場中で加圧成形された1以上の合金粉末の焼結体を有する。被処理体51は、例えば複数の焼結体と複数の焼結体を収容する耐熱トレイとを有する。被処理体51の厚さは、例えば4mm以上である。
- [0044] 冷却部材52は、第1の層52aと、第1の層52a上に積層された第2の層52bと、を有する。さらに、冷却部材52の構造例について図3を参照して説明する。
- [0045] 第1の層52aは、被処理体51から放射された熱を吸収する機能を有する。第1の層52aは、第1の熱放射率を有する。第1の熱放射率は例えば0.5以上であることが好ましい。第1の層52aとしては、例えば炭素、金属炭化物、金属酸化物、または耐火レンガ等を用いることができる。また、急冷のために必要な熱容量を得るためには、第1の層52aの厚さを例えば30mm以上にすることが好ましい。
- [0046] 第2の層52bは、加熱体11から放射された熱を反射する機能を有する。第2の層52bは、第1の層52aよりも低い第2の熱放射率を有する。第2の熱放射率は例えば0.5未満であることが好ましい。第2の層52bとしては、例えばステンレス鋼、銅、モリブデン、タングステン、チタン等を用いることができる。図3において、第2の層52bは、第1の層52aと離間しているが、これに限定されず、第2の層52bが第1の層52aに接していてもよい。
- [0047] 図3に示す冷却部材52は橋型形状を有する。これに限定されず、冷却部材52は、例えば加熱体11と被処理体51との間に冷却部材52を配置したときに、被処理体51と第1の層52aとの間における熱放射の形態係数が0.5以上となる形状を有していればよい。例えば、被処理体51と第1の層52aとの間隔を短くする、被処理体51側に位置する第1の層52aの面の面積を増大させる、または被処理体51側に位置する第1の層52aの面の形状を、上に凸の曲面形状にする等により熱放射の形態係数を小さくすることができる。

- [0048] 図4は、冷却部材52の他の構造例を示す図である。図4に示す冷却部材52は、第1の層52aおよび第2の層52bが被処理体51の上面および側面を囲むことができるカップ型構造を有する。
- [0049] 図5は、冷却部材52の他の構造例を示す図である。図5に示す冷却部材52は、被処理体の上面、下面、および一对の側面を囲むことができる筒型構造を有する。
- [0050] 図4および図5に示す冷却部材52を用いることにより、被処理体51と冷却部材52との重畳面積を大きくすることができるため、冷却部材52による冷却能力をさらに高めることができる。以上が冷却部材52の例の説明である。
- [0051] 搬送機構3は、被処理体51を搬送する搬送機構3aと、冷却部材52を搬送する搬送機構3bとを有する。なお、一つの搬送機構により被処理体51および冷却部材52を搬送してもよい。
- [0052] 制御機構4は、例えば、搬送機構3により加熱室1の内部に被処理体51を搬入する動作と、搬送機構3により加熱室1の内部に冷却部材52を搬入する動作と、搬送機構3により加熱室1の内部にある被処理体51を冷却部材52とともに加熱室1の外部に搬出する動作と、の実行を制御する。制御機構4には、例えばプロセッサ等を用いたハードウェアを用いる。なお、各動作を動作プログラムとしてメモリ等のコンピュータ読み取りが可能な記録媒体に保存しておき、ハードウェアにより記録媒体に記憶された動作プログラムを適宜読み出すことで各動作を実行してもよい。
- [0053] 次に、図3に示す製造装置10を使用した永久磁石の溶体化処理工程(S3)の例について説明する。
- [0054] 溶体化処理工程(S3)は、図1に示すように、熱処理工程(S3-1)と、冷却部材搬送工程(S3-2)と、被処理体搬送・急冷工程(S3-3)と、を備える。さらに、各工程について図6を参照して説明する。図6は、溶体化処理工程(S3)を説明するための模式図である。
- [0055] 熱処理工程(S3-1)では、加熱室1の内部において、被処理体51に

対し、焼結工程（S2）における本焼結工程時の熱処理温度よりも低い温度 T_{ST} で熱処理を行う。溶体化処理（S3）のみに図3に示す製造装置10を用いる場合、搬送機構3bにより被処理体51を加熱室1の内部に搬入する。熱処理工程（S3-1）では、例えば温度1100℃以上1200℃以下の温度で、0.5時間以上40時間以下保持することにより熱処理を行う。

[0056] 熱処理工程（S3-1）における保持温度が1100℃未満の場合および1200℃を超える場合、溶体化処理後の試料中に存在する $TbCu_7$ 型結晶相の割合が小さく、保磁力等の磁気特性が低下するおそれがある。保持温度は、好ましくは1110℃以上1190℃以下、さらには1120℃以上1180℃以下である。

[0057] 溶体化処理時における保持時間が0.5時間未満の場合、構成相が不均一になりやすく、保磁力が低下しやすくなる。また、金属組織の結晶粒径が小さくなりやすく、粒界相比率が高くなり磁化が低下しやすい。さらに、溶体化処理時における保持温度が40時間を超える場合、焼結体中のR元素が蒸発する等で磁気特性が低下するおそれがある。保持時間は、好ましくは1時間以上12時間以下であり、さらに好ましくは10時間以上18時間以下である。なお、真空中やアルゴンガス等の不活性雰囲気中で溶体化処理を行うことにより粉末の酸化を抑制することができる。

[0058] このとき、冷却部材52は、加熱室1から離れた位置、例えば冷却室2に配置されていることが好ましい。また、冷却部材52は、熱処理工程（S3-1）の温度 T_{ST} よりも低い温度、例えば25℃等の室温であることが好ましい。なお、冷却部材52を冷却するために、熱交換器や冷却水配管等の冷却機構を用いて冷却部材52を予め冷却してもよい。

[0059] 冷却部材搬送工程（S3-2）では、図6（a）に示すように、搬送機構3aにより、冷却部材52を加熱室1の内部に搬入し、図6（b）に示すように、被処理体51側に第1の層52aが位置するように冷却部材52を加熱体11と被処理体51との間に配置する。換言すると、被処理体51の少なくとも一部に冷却部材52を重畳させる。なお、熱処理工程（S3-1）

の後であって、冷却部材搬送工程（S3-2）の前に加熱体11による加熱を停止する。

[0060] 被処理体搬送・急冷工程（S3-3）では、図6（c）に示すように、搬送機構3aおよび搬送機構3bにより、被処理体51を冷却部材52とともに加熱室1の外部（ここでは冷却室2）に搬出しつつ、被処理体51の温度が $T_{ST}-200^{\circ}\text{C}$ よりも低い温度（例えば 25°C 等の室温）になるまで被処理体51を冷却する。被処理体51の温度が $T_{ST}-200^{\circ}\text{C}$ になるまでの冷却速度は、 $5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上である。なお、上記冷却速度は、 $7^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上、 $10^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上、さらには $12^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上であることがより好ましい。また、冷却速度の上限値は特に限定されないが、例えば $20^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以下であってもよい。加熱室1の外部に搬出された冷却部材52は、例えば 25°C 等の室温に再び冷却される。

[0061] なお、ここでの冷却速度は、被処理体51の初期温度と最終温度との差を、温度変化にかかった時間で除することにより算出される。すなわち、温度 T_{ST} から $T_{ST}-200^{\circ}\text{C}$ まで $5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ の冷却速度で冷却するということは、温度 T_{ST} から冷却を開始し、 $T_{ST}-200^{\circ}\text{C}$ まで20秒以内に到達することに相当する。また、被処理体51の温度は、例えば被処理体51に耐熱性接着剤等で接着させた熱電対等により測定される。

[0062] 以上のように、本実施形態の永久磁石の製造方法では、冷却部材52の第1の層52aにより被処理体51から放出された熱を吸収しつつ、第2の層52bにより加熱体11から放射された熱を反射させる。冷却部材52を用いない従来の構成の場合、加熱室1の内部から外部に搬出する際に被処理体51が徐冷されてしまい冷却速度が低くなる。これに対し、冷却部材52を用いることにより、例えば 200g 以上 2000g 以下の総重量を有する圧縮成形体の焼結体において被処理体51の温度が $T_{ST}-200^{\circ}\text{C}$ になるまでの冷却速度を $5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上にすることができる。以上が溶体化処理の説明である。

[0063] なお、焼結工程（S2）と溶体化処理（S3）との間に高質化処理を行っ

てもよい。高質化処理は、金属組織、特にマクロ組織を制御する処理である。

[0064] 高質化処理では、焼結時の熱処理温度よりも10℃以上低い温度で、かつ溶体化処理時の熱処理温度よりも10℃以上高い温度で、2時間以上12時間以下保持することにより熱処理を行う。焼結時の熱処理温度よりも10℃以上低い温度で熱処理を行わない場合、焼結中に生成した液相由来の異相を十分に除去できない。この異相の配向性は低いことが多く、当該異相が存在すると結晶粒の結晶方位が磁化容易軸に対してずれやすくなり、角型比が低下するだけでなく磁化も低下しやすい。また、溶体化処理では、温度が低く、元素拡散速度の観点から焼結中に生じた異相を十分に除去することは困難である。また、粒成長速度も遅く、十分な結晶粒径を得ることができない可能性があり、角型比の改善が望めない。これに対し、溶体化処理時の保持温度よりも10℃以上高くして高質化処理を行うことにより、上記異相を十分に除去し、主相を構成する結晶粒を大きくすることができる。

[0065] 高質化処理時の保持温度は、例えば1130℃以上1190℃以下であることが好ましい。1130℃未満の場合および1190℃を超える場合、角型比が低下する場合がある。また、熱処理時間が2時間未満の場合、拡散が不十分であり、異相が十分に除去されず、角型比改善の効果が小さい。また、12時間を超える場合、Sm等のR元素が蒸発して良好な磁気特性が得られないおそれがある。なお、高質化処理における熱処理時間は4時間以上10時間以下であることがより好ましく、さらに6時間以上8時間以下であることが好ましい。また、酸化防止のために真空中やアルゴンガス等の不活性雰囲気中で高質化処理を行うことが好ましい。

[0066] このとき、高質化処理におけるチャンバ内の圧力を正圧にすることにより、異相の生成を抑制する効果が高まる。チャンバ内の圧力は、例えば0.15MPa以上1.5MPa以下、さらには0.2MPa以上10MPa以下、さらには1.0MPa以上5.0MPa以下であることが好ましい。

[0067] なお、高質化処理後に溶体化処理を行う際の冷却は、溶体化処理後の急冷

よりも緩やかであること、すなわち徐冷であることが好ましい。徐冷を行うことにより、金属組織のばらつきを低減することができ、角型比をより改善することができる。

[0068] 時効処理工程（S4）では、700℃以上900℃以下の温度まで昇温させた後、その到達温度で0.5時間以上80時間以下保持（第1の保持）する。次に、0.2℃/分以上2.0℃/分以下の冷却速度で400℃以上650℃以下の温度まで徐冷を行った後、その到達温度で0.5時間以上8時間以下保持（第2の保持）することにより、熱処理を行う。その後、室温まで冷却する。以上により焼結体磁石を得ることができる。

[0069] 第1の保持において、保持温度が900℃よりも高い場合、セル相が粗大になり、角型比が低下しやすい。また、保持温度が700℃未満の場合、セル構造が十分に得られず、保磁力の発現が困難となる。第1の保持における保持温度は、例えば780℃以上840℃以下であることがより好ましい。また、第1の保持において、保持時間が0.5時間未満の場合、セル構造が不十分となり、保磁力の発現が困難となる。また、保持時間が80時間よりも長い場合、セル壁相が過剰に厚くなり、角型比が劣化する可能性がある。第1の保持における保持時間は、例えば25時間以上40時間以下であることがより好ましい。

[0070] 徐冷時の冷却速度が0.2℃/分未満の場合、セル壁相が過剰に厚くなり、磁化が減少しやすい。また、2.0℃/分を超える場合、セル相とセル壁相とのCu濃度の差が十分に得られず、保磁力が低下し易い。徐冷時の冷却速度は、例えば0.4℃/分以上1.5℃/分以下、さらには0.5℃/分以上1.3℃/分以下であることがより好ましい。また、350℃未満まで徐冷する場合、上述したような低温異相が生成され易い。また、650℃を超える温度まで徐冷する場合、Cuリッチ相でのCu濃度が十分に高くなり、十分な保磁力が得られないことがある。また、第2の保持における保持時間が8時間を超える場合、低温異相が生成し、十分な磁気特性が得られない可能性がある。

- [0071] なお、時効処理において、徐冷時に所定の温度で一定時間保持し、さらにそこから徐冷を行ってもよい。また、上記時効処理を本時効処理として、本時効処理の前に第1の保持における保持温度よりも低い温度で、かつ第1の保持における保持時間よりも短い時間で保持することにより予備時効処理を行ってもよい。上記徐冷時の保持や予備時効処理により、より角型比を高めることができる。
- [0072] 上記製造方法により得られる永久磁石において、金属組織の90体積%以上が $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ 型結晶相および CaCu_5 型結晶相であることが好ましい。なお、 TbCu_7 型結晶相が存在する場合には、金属組織の90体積%以上が $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ 型結晶相、 CaCu_5 型結晶相、および TbCu_7 型結晶相であってもよい。
- [0073] 溶体化処理(S3)における冷却速度が低いと、均質な TbCu_7 型結晶相を得ることができず、粗い $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ 型結晶相からなる結晶粒が形成される場合がある。均質な TbCu_7 型結晶相からなる結晶粒の径が300nmを超えると、主相内部で磁区構造を形成することができ、永久磁石の保磁力の低下を招く。永久磁石の高い保磁力を維持するためには、磁石中に存在する全結晶粒のうち、300nm以上の径を有する $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ 型結晶相からなる結晶粒で構成される領域が5体積%未満であることが好ましい。
- [0074] 上記永久磁石の製造方法により製造される永久磁石では、保持力等の磁石特性が高い。例えば、永久磁石において、1000kA/m以上、1200kA/m以上、さらには1500kA/m以上の保磁力(iH_c)を発現させることができる。
- [0075] 永久磁石の組成は、例えばICP(高周波誘導結合プラズマ: Inductively Coupled Plasma)発光分光分析法、SEM-EDX(走査電子顕微鏡-エネルギー分散型X線分光法: SEM-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy)、TEM-EDX(Transmission Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray Spe

ctroscopy: TEM-EDX) 等により測定される。各相の体積比率は、電子顕微鏡や光学顕微鏡による観察とX線回折等とを併用して総合的に判断されるが、永久磁石の断面を撮影した電子顕微鏡写真の面積分析法により求めることができる。永久磁石の断面は、試料の最大面積を有する表面の実質的に中央部の断面を用いるものとする。

[0076] また、 $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ 型結晶相、 CaCu_5 型結晶相等のCuリッチ相、 TbCu_7 型結晶相等の金属組織は、例えば以下のように認定される。まず、走査透過型電子顕微鏡 (Scanning Transmission Electron Microscope: STEM) によるサンプルの観察を行う。このとき、SEMによりサンプルを観察することにより、粒界相の場所を特定し、収束イオンビーム (Focused Ion Beam: FIB) を用いて粒界相が視野に入るようにサンプルを加工することにより観察効率を高めることができる。上記サンプルは、時効処理後のサンプルである。この際、サンプルは未着磁品であることが好ましい。

[0077] 次に、セル相、Cuリッチ相等の各元素の濃度を例えばSTEMを利用したエネルギー分散型X線分光法 (STEM-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy: STEM-EDX) を用いて測定する。

[0078] STEM-EDXにより各元素の濃度を測定する際、サンプルの表面の1mm以上内部から測定用の試料を切り出す。また、磁化容易軸 (c軸) に平行な面に対し、100k倍の観察倍率で観察する

[0079] なお、各相の元素の濃度測定には、三次元アトムプローブ (3-Dimension Atom Probe: 3DAP) を用いてもよい。3DAPを用いた分析法とは、電圧を印加することにより観察試料を電界蒸発させ、電界蒸発されたイオンを二次元検出器により検出することにより原子配列を特定する分析法である。二次元検出器に到達するまでの飛行時間からイオン種が同定され、個々に検出されたイオンを深さ方向に連続的に検出し、検出された順番にイオンを並べる (再構築する) ことにより、三次元の原子分布

が得られる。TEM-EDXの濃度測定と比べて、各結晶相内の各元素濃度をより正確に測定することができる。

[0080] 3DAPによる各相内の元素濃度の測定は、以下に示す手順にしたがって実施する。まず、試料をダイシングにより薄片化し、そこからFIBにてピックアップ・アトムプローブ（AP）用針状試料を作製する。

[0081] 3DAPによる測定は、焼結体の内部に対して行う。焼結体内部の測定とは、以下の通りである。まず、最大の面積を有する面における最長の辺の中央部において、辺に垂直（曲線の場合は中央部の接線と垂直）に切断した断面の表面部と内部とで組成を測定する。測定箇所は、上記断面において各辺の1/2の位置を始点として、辺に対し垂直に内側に向けて端部まで引いた第1の基準線と、各角部の中央を始点として角部の内角の角度の1/2の位置で内側に向けて端部まで引いた第2の基準線とを設け、これら第1の基準線および第2の基準線の始点から基準線の長さの1%の位置を表面部、40%の位置を内部と定義する。なお、角部が面取り等で曲率を有する場合、隣り合う辺を延長した交点を辺の端部（角部の中央）とする。この場合、測定箇所は交点からではなく、基準線と接した部分からの位置とする。

[0082] 測定箇所を以上のようにすることによって、例えば断面が四角形の場合、基準線は第1の基準線および第2の基準線でそれぞれ4本の合計8本となり、測定箇所は表面部および内部でそれぞれ8箇所となる。本実施形態において、表面部および内部でそれぞれ8箇所全てが上記した組成範囲内であることが好ましいが、少なくとも表面部および内部でそれぞれ4箇所以上が上記した組成範囲内となればよい。この場合、1本の基準線での表面部および内部の関係を規定するものではない。このように規定される焼結体内部の観察面を研磨して平滑にした後に観察を行う。例えば、濃度測定におけるTEM-EDXの観察箇所は、各相内の任意の20点とし、これら各点での測定値から最大値と最小値を除いた測定値の平均値を求め、この平均値を各元素の濃度とする。3DAPの測定もこれに準ずる。

[0083] 上述した3DAPを用いたCuリッチ相内の濃度の測定結果において、C

uリッチ相におけるCuの濃度プロファイルは、よりシャープであることが好ましい。具体的には、Cuの濃度プロファイルの半値幅（FWHM：Full Width at Half Maximum）が5nm以下であることが好ましく、このような場合により高い保磁力を得ることができる。これはCuリッチ相内のCuの分布がシャープな場合、セル相とCuリッチ相との間の磁壁エネルギー差が急激に生じ、磁壁がよりピンングされやすくなるためである。

[0084] Cuリッチ相におけるCuの濃度プロファイルの半値幅（FWHM）は、以下のようにして求められる。上述した方法に基づいて3DAPのCuプロファイルからCu濃度が最も高い値（PCu）を求め、この値の半分の値（PCu/2）となるところのピークの幅、すなわち半値幅（FWHM）を求める。このような測定を10個のピークに対して行い、それらの値の平均値をCuプロファイルの半値幅（FWHM）と定義する。Cuプロファイルの半値幅（FWHM）が3nm以下である場合に、さらに保磁力を高める効果が向上し、2nm以下の場合により一層優れた保磁力の向上効果を得ることができる。

[0085] また、 $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ 型結晶相、 CaCu_5 型結晶相等のCuリッチ相、 TbCu_7 型結晶相等の径は次のように求めることができる。STEM-EDXのマッピング像において、任意の相を選択し、選択した相に対し、両端が別の相に接する最も長い直線Aを引く。次に、この直線Aの midpoint において、直線Aに垂直であり、かつ両端が別の相に接する直線Bを引く。この直線Aと直線Bの長さの平均を相の径Dとする。上記手順で1個以上の任意の相のDを求める。一つのサンプルに対して5視野で上記Dを算出し、各Dの平均を相の径（D）と定義する。

[0086] さらに、主相を構成する $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ 型結晶相からなる結晶粒の粒径は、SEMを利用した電子後方散乱回折像法（SEM-Electron Backscattering Pattern：SEM-EBSP）により測定することができる。以下に、結晶粒の平均粒径を求める手順を示す。まず、

前処理として、試料をエポキシ樹脂にて包埋して機械研磨およびバフ仕上げした後、水洗およびエアブローによる散水を行う。散水後の試料をドライエッチング装置で表面処理する。次に、EBSDシステム-Digiview (TSL社製) が付属する走査型電子顕微鏡S-4300SE (日立ハイテクノロジー社製) で試料表面を観察する。観察条件は、加速電圧30kV、測定面積 $500\mu\text{m} \times 500\mu\text{m}$ とする。観察結果から、測定面積内に存在する結晶粒の平均粒径は、下記の条件により求める。なお、SEM-EBSPによる測定は、3DAPによる測定と同様に焼結体の内部に対して行うことができる。

[0087] ステップサイズ $2\mu\text{m}$ にて、測定面積範囲内の全ピクセルの方位を測定し、隣接するピクセル間の方位差が5度以上である境界を粒界相とみなす。ただし、同一結晶粒内に内包される測定点が5点未満の結晶粒、および測定面積範囲の端部に到達している結晶粒は、結晶粒とみなさないこととする。粒面積は粒界相に囲まれた同一結晶粒内の面積であり、平均粒面積は測定面積範囲内に存在する結晶粒の面積の平均値である。粒径は同一結晶粒内における面積と同面積を有する真円の直径とし、平均粒径は測定面積範囲内に存在する結晶粒の粒径の平均値である。なお、 $10\mu\text{m}$ 以下の粒径を有する結晶粒は、異相である可能性があるため、 $10\mu\text{m}$ 以下の粒径を有する結晶粒を無視して平均粒径を求める。

[0088] 300nm 以上の径を有する結晶粒で構成される領域の同定は、例えばTEM (Transmission Electron Microscope: TEM) を用いて行うことができる。TEM観察は $100\text{k} \sim 200\text{k}$ の倍率で行うことが好ましい。TEM観察により得られたTEM像から均一な $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ 型結晶相からなり、 300nm 以上の粒径を有する結晶粒を探し出す。さらに、TEM-EDX等により元素の組成を同定し、および回折像から同定される結晶系を合わせることにより、 $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ 型結晶相を同定することができる。

[0089] 角型比は、以下のように定義される。まず、直流B-Hトレーサーにより

室温における直流磁化特性を測定する。次に、測定結果から得られたB-H曲線より磁石の基本特性である残留磁化 M_r と保磁力 H_c および最大エネルギー積 $(BH)_{max}$ を求める。このとき、 M_r を用いて理論最大値 $(BH)_{max}$ が下記式(1)により求められる。

$$(BH)_{max}(\text{理論値}) = M_r^2 / 4 \mu_0 \dots (1)$$

角型比は、測定で得られる $(BH)_{max}$ と $(BH)_{max}$ (理論値)の比により評価され、下記式(2)により求められる。

$$(BH)_{max}(\text{実測値}) / (BH)_{max}(\text{理論値}) \times 100 \dots (2)$$

[0090] 上記永久磁石は、例えばボンド磁石としても用いられる。例えば、特開2008-29148号公報または特開2008-43172号公報に開示されているような可変磁束ドライブシステムにおける可変磁石に上記永久磁石を用いることにより、システムの高効率化、小型化、低コスト化が可能となる。上記永久磁石を可変磁石として用いるためには時効処理条件を変更し、例えば保磁力を100kA/M以上350kA/M以下に収める必要がある。

[0091] (第2の実施形態)

第1の実施形態の永久磁石は、各種モータや発電機に使用することができる。また、可変磁束モータや可変磁束発電機の固定磁石や可変磁石として使用することも可能である。第1の実施形態の永久磁石を用いることによって、各種のモータや発電機が構成される。第1の実施形態の永久磁石を可変磁束モータに適用する場合、可変磁束モータの構成やドライブシステムには、例えば特開2008-29148号公報や特開2008-43172号公報に開示されている技術を適用することができる。

[0092] 次に、上記永久磁石を具備するモータと発電機について、図面を参照して説明する。図7は本実施形態における永久磁石モータを示す図である。図7に示す永久磁石モータ21では、ステータ(固定子)22内にロータ(回転子)23が配置されている。ロータ23の鉄心24中には、第1の実施形態

の永久磁石である永久磁石 25 が配置されている。第 1 の実施形態の永久磁石を用いることにより、各永久磁石の特性等に基づいて、永久磁石モータ 21 の高効率化、小型化、低コスト化等を図ることができる。

[0093] 図 8 は本実施形態による可変磁束モータを示す図である。図 8 に示す可変磁束モータ 31 において、ステータ（固定子）32 内にはロータ（回転子）33 が配置されている。ロータ 33 の鉄心 34 中には、第 1 の実施形態の永久磁石が固定磁石 35 および可変磁石 36 として配置されている。可変磁石 36 の磁束密度（磁束量）は可変することが可能とされている。可変磁石 36 はその磁化方向が Q 軸方向と直交するため、Q 軸電流の影響を受けず、D 軸電流により磁化することができる。ロータ 33 には磁化巻線（図示せず）が設けられている。この磁化巻線に磁化回路から電流を流すことによって、その磁界が直接に可変磁石 36 に作用する構造となっている。

[0094] 第 1 の実施形態の永久磁石によれば、固定磁石 35 に好適な保磁力を得ることができる。第 1 の実施形態の永久磁石を可変磁石 36 に適用する場合には、前述した製造方法の各種条件（時効処理条件等）を変更することによって、例えば保磁力を 100 k A/m 以上 500 k A/m 以下の範囲に制御すればよい。なお、図 8 に示す可変磁束モータ 31 においては、固定磁石 35 および可変磁石 36 のいずれにも第 1 の実施形態の永久磁石を用いることができるが、いずれか一方の磁石に第 1 の実施形態の永久磁石を用いてもよい。可変磁束モータ 31 は、大きなトルクを小さい装置サイズで出力可能であるため、モータの高出力・小型化が求められるハイブリッド車や電気自動車等のモータに好適である。

[0095] 図 9 は本実施形態による発電機を示している。図 9 に示す発電機 41 は、上記永久磁石を用いたステータ（固定子）42 を備えている。ステータ（固定子）42 の内側に配置されたロータ（回転子）43 は、発電機 41 の一端に設けられたタービン 44 とシャフト 45 を介して接続されている。タービン 44 は、例えば外部から供給される流体により回転する。なお、流体により回転するタービン 44 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45を回転させることも可能である。ステータ42とロータ43には、各種公知の構成を採用することができる。

[0096] シャフト45はロータ43に対してタービン44とは反対側に配置された整流子（図示せず）と接触しており、ロータ43の回転により発生した起電力が発電機41の出力として相分離母線および主変圧器（図示せず）を介して、系統電圧に昇圧されて送電される。発電機41は、通常発電機および可変磁束発電機のいずれであってもよい。なお、ロータ43にはタービン44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41はロータ43の帯電を放電させるためのブラシ46を備えている。

[0097] 以上のように、上記永久磁石を発電機に適用することにより、高効率化、小型化、低コスト化等の効果が得られる。

[0098] なお、本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態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し得るものであり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。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共に、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。

実施例

[0099] 本実施例では、永久磁石の具体例について説明する。なお、実施例および比較例における磁石の組成は、 $\text{Sm}_{12}\text{Fe}_{30}\text{Zr}_2\text{Cu}_5\text{Co}_{51}$ とする。

[0100] （実施例1ないし実施例4）

永久磁石に用いられる各原料を所定の比率で秤量して混合した後、Arガス雰囲気中でアーク溶解して合金インゴットを作製した。合金インゴットに対して粗粉碎とジェットミルによる粉碎とを実施し、磁石の原料粉末としての合金粉末を調製した。得られた合金粉末を磁界中でプレス成形して圧縮成形体を作製した。

[0101] 次に、表1に示すように総重量200gの合金粉末の圧縮成形体を量産焼結炉チャンバ内に配置し、仮焼結工程として、チャンバ内を 9.0×10^{-2}

Pa以下の真空状態にした後に1165℃まで昇温させ到達温度で40分間保持し、その後に本焼結工程としてArガスを導入し、Ar雰囲気中で1205℃まで昇温させ、到達温度で6時間保持して焼結を行った。

[0102] 次に、溶体化処理を行った。溶体化処理では、1145℃で4時間保持して熱処理を行い、その後炭素を用いた第1の層とステンレス鋼を用いた第2の層とを有する実施形態の冷却部材を被処理体に重畳するようにチャンバ内に配置しつつ、冷却部材とともに被処理体をチャンバの外部に搬出し、被処理体が室温になるまで冷却を行った。このとき、1145℃(T_{ST})から945℃(T_{ST}-200℃)までの冷却速度は、表1に示すように実施例1では5℃/sであり、実施例2では7℃/sであり、実施例3では10℃/sであり、実施例4では12℃/sであった。

[0103] 次に、チャンバ内において溶体化処理後の焼結体を、750℃まで昇温し、到達温度で2時間保持した後に845℃まで昇温し、到達温度で25時間保持した。その後、1.0℃/分の冷却速度で400℃まで徐冷を行い、到達温度で1時間保持した。その後、室温まで炉冷することにより、磁石を得た。

[0104] また、誘導結合発光プラズマ(Inductively Coupled Plasma: ICP)法により磁石の組成分析を実施した。なお、ICP法による組成分析を以下の手順により行った。まず、記述の測定箇所から採取した試料を乳鉢で粉碎し、粉碎した試料を一定量はかり取り、石英製ビーカに入れた。さらに、ビーカに混酸(硝酸と塩酸を含む酸)を入れ、ホットプレート上で140℃程度に加熱し、ビーカ中の試料を完全に溶解させた。さらに放冷した後、PFA製メスフラスコに移して定容し、試料溶液とした。

[0105] さらに、ICP発光分光分析装置を用いて検量線法により上記試料溶液の含有成分の定量を行った。ICP発光分光分析装置としては、エスアイアイ・ナノテクノロジー製、SPS4000を用いた。また、B-Hトレーサにより永久磁石の磁気特性を評価し、その結果から保磁力を算出した。なお、

各実施例および比較例において測定装置として、日立ハイテック製HD2300を使用した。

[0106] (実施例5)

圧縮成形体の総重量を表1に示すように2000g(2kg)として実施例1と同様の方法により磁石を得た。溶体化処理における1145℃(T_{ST})から945℃($T_{ST}-200^{\circ}\text{C}$)までの冷却速度は5℃/sであった。また、他の実施例と同様に保磁力を算出した。

[0107] (比較例1、3)

焼成炉を従来の冷却機構を搭載した実験炉を用いて実施例1と同様の方法により磁石を得た。溶体化処理における1145℃(T_{ST})から945℃($T_{ST}-200^{\circ}\text{C}$)までの冷却速度は4℃/sと3℃/sであった。また、他の実施例と同様に保磁力を算出した。

[0108] (比較例2)

実施形態の冷却部材を用いずに実施例1と同様の方法により磁石を得た。溶体化処理における1145℃(T_{ST})から945℃($T_{ST}-200^{\circ}\text{C}$)までの冷却速度は1℃/sであった。また、他の実施例と同様に保磁力を算出した。

[0109] (参考例1)

表1に示すように圧縮成形体の総重量を100gとし、焼成炉として従来の冷却機構を搭載した実験炉を用いて実施例1と同様の方法により磁石を得た。溶体化処理における1145℃(T_{ST})から945℃($T_{ST}-200^{\circ}\text{C}$)までの冷却速度は20℃/sであった。また、他の実施例と同様に保磁力を算出した。

[0110] 参考例1の保磁力を1としたときの各実施例および各比較例の保磁力の相対比を表1に示す。表1から明らかなように、本実施形態の冷却部材を用いた永久磁石の製造方法では、200g以上の大量の焼結体に対して溶体化処理を行う場合であっても、 T_{ST} から $T_{ST}-200^{\circ}\text{C}$ になるまでの冷却速度を5℃/s以上にすることができることがわかる。また、溶体化処理における

冷却速度を高くすることにより製造される永久磁石の保磁力の低下を抑制することができる。

[0111] [表1]

	圧縮成形体の 総重量 (g)	冷却速度 (°C/s)	保磁力の相対比
実施例1	200	5	0.85
実施例2	200	7	0.90
実施例3	200	10	0.95
実施例4	200	12	0.99
実施例5	2000	5	0.99
比較例1	200	4	0.79
比較例2	200	1	0.45
比較例3	200	3	0.72
参考例1	100	20	1.0

請求の範囲

[請求項1]

合金粉末を磁場中で加圧成形して圧縮成形体を作製する工程と、前記圧縮成形体を焼結して焼結体を形成する工程と、前記焼結体に対して溶体化処理を行う工程と、前記溶体化処理後の焼結体に対して時効処理を行う工程と、を少なくとも行うことにより永久磁石を製造する永久磁石の製造方法であって、

前記溶体化処理は、

加熱体を有する加熱室の内部において、 1100°C 以上 1200°C 以下の温度 T_{ST} で前記焼結体を有する被処理体の熱処理を行う工程と、

前記熱処理の後に、第1の熱放射率を有する第1の層と、前記第1の層上に設けられ、前記第1の熱放射率よりも低い第2の熱放射率を有する第2の層と、を有する冷却部材を前記加熱室の内部に搬入し、前記被処理体側に前記第1の層が位置するように前記冷却部材を前記加熱体と前記被処理体との間に配置する工程と、

前記冷却部材とともに前記被処理体を前記加熱室の外部に搬出し、前記被処理体の温度が温度 $T_{ST}-200^{\circ}\text{C}$ よりも低い温度になるまで前記被処理体を冷却する工程と、を備え、

前記被処理体を冷却する工程において、前記被処理体の温度が温度 $T_{ST}-200^{\circ}\text{C}$ になるまでの冷却速度は $5^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上である、永久磁石の製造方法。

[請求項2]

前記永久磁石は、

組成式： $R_p\text{Fe}_q\text{M}_r\text{Cu}_s\text{Co}_{100-p-q-r-t}$

(式中、Rは希土類元素から選ばれる少なくとも1つの元素、MはZr、Ti、およびHfからなる群より選ばれる少なくとも1つの元素、pは $10.5 \leq p \leq 12.5$ 原子%を満足する数、qは $27 \leq q \leq 40$ 原子%を満足する数、rは $0.88 \leq r \leq 4.5$ 原子%を満足する数、tは $4.5 \leq t \leq 10.7$ 原子%を満足する数である)

で表される組成を備える、請求項1に記載の永久磁石の製造方法。

[請求項3]

前記組成式における元素Rの50原子%以上がSmであり、

前記組成式における元素Mの50原子%以上がZrである、請求項2に記載の永久磁石。

[請求項4]

$\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ 型結晶相を有する主相と、前記主相を構成する結晶粒の間に設けられた粒界相を含む金属組織と、をさらに具備し、

前記主相は、 $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ 型結晶相を有するセル相と、 CaCu_5 型結晶相を有するCuリッチ相と、を有する、請求項2に記載の永久磁石の製造方法。

[請求項5]

前記金属組織の90体積%以上が前記 $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ 型結晶相および前記 CaCu_5 型結晶相であり、

前記永久磁石に存在する結晶粒のうち、300nm以上の径を有する $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ 型結晶相からなる結晶粒で構成される領域が5体積%未満である、請求項4に記載の永久磁石の製造方法。

[請求項6]

前記第1の層は、炭素、金属炭化物、金属酸化物、または耐火レンガを有し、

前記第2の層は、銅、モリブデン、タングステン、チタン、またはステンレス鋼を有する、請求項1に記載の永久磁石の製造方法。

[請求項7]

前記圧縮成形体の総重量が200g以上2000g以下である、請求項1に記載の永久磁石の製造方法。

[請求項8]

加熱体を有する加熱室と、

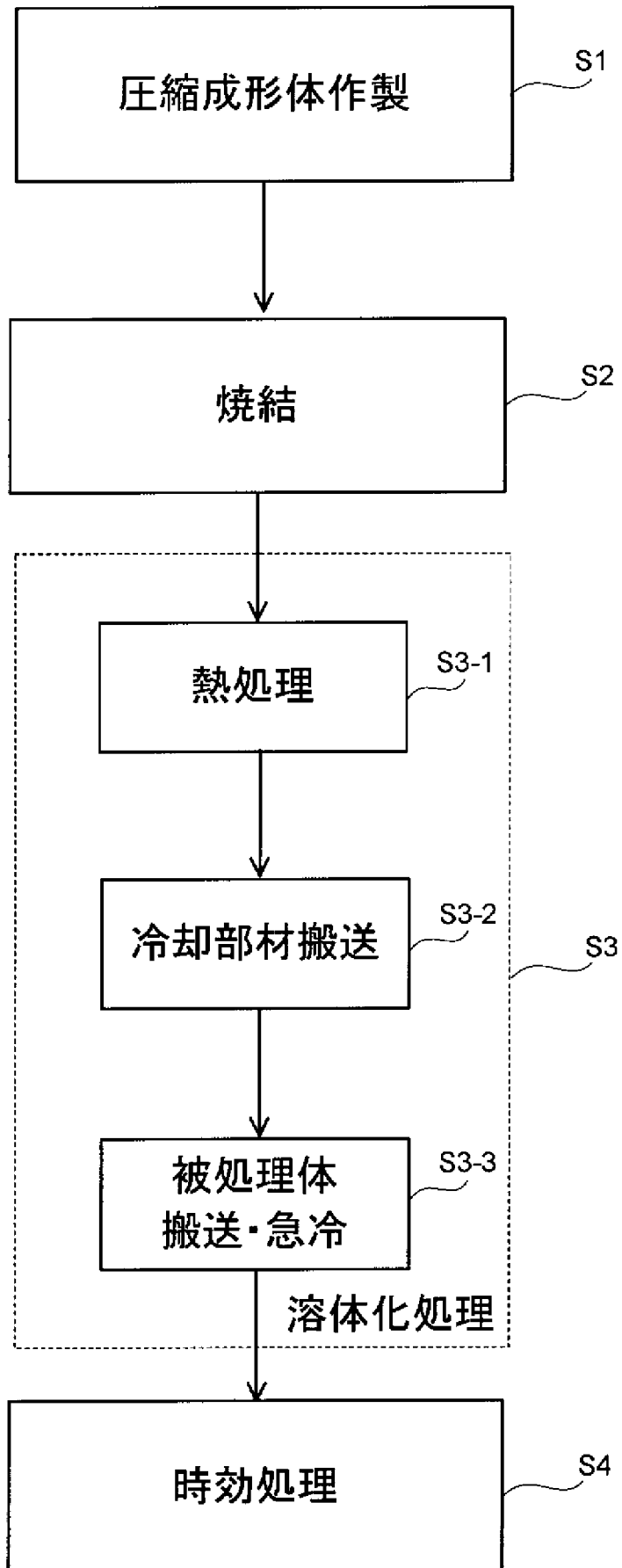
第1の熱放射率を有する第1の層と、前記第1の層上に設けられ、前記第1の熱放射率よりも低い第2の熱放射率を有する第2の層とを有する冷却部材と、

前記加熱室の内部と外部との間において、磁場中で加圧成形された合金粉末の焼結体を有する被処理体と前記冷却部材とを搬送する搬送機構と、

前記搬送機構により前記被処理体を前記加熱室の内部に搬入する動

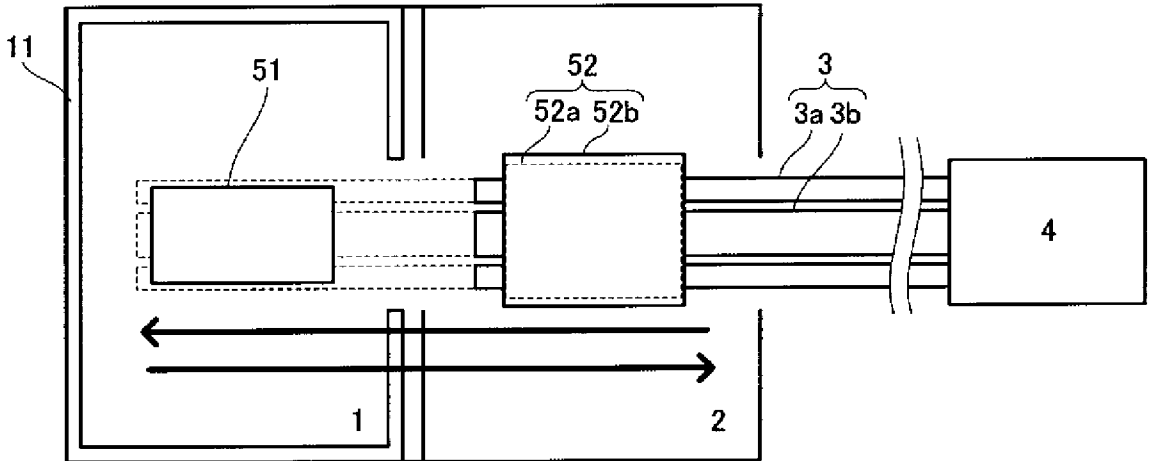
作と、前記搬送機構により前記加熱室の内部に前記冷却部材を搬入し、前記被処理体側に前記第1の層が位置するように前記冷却部材を前記加熱体と前記被処理体との間に配置する動作と、前記搬送機構により前記加熱室の内部にある前記被処理体を前記冷却部材とともに前記加熱室の外部に搬出する動作と、の実行を制御する制御機構と、を具備する、永久磁石の製造装置。

[図1]

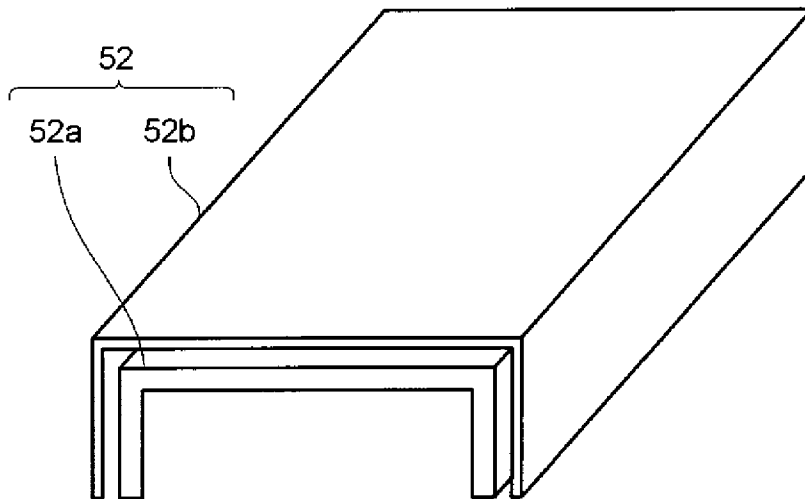


[図2]

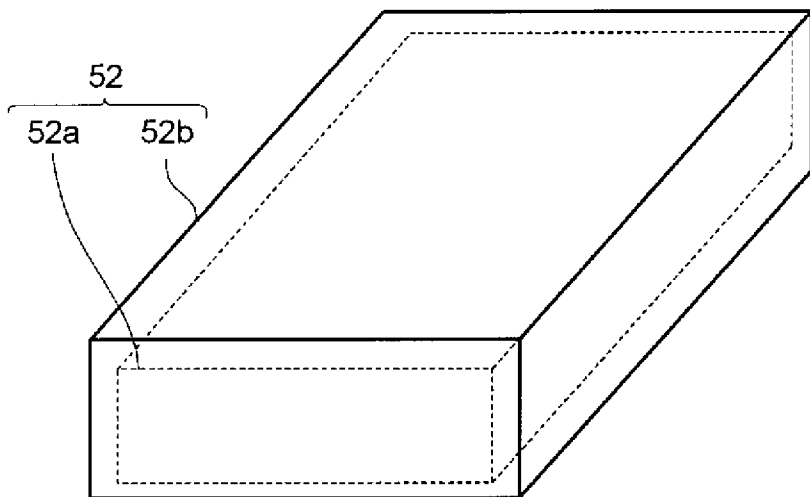
10



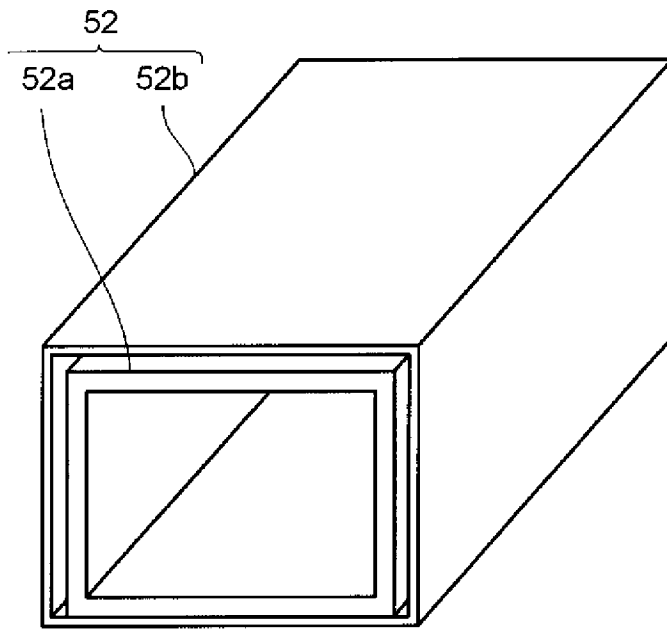
[図3]



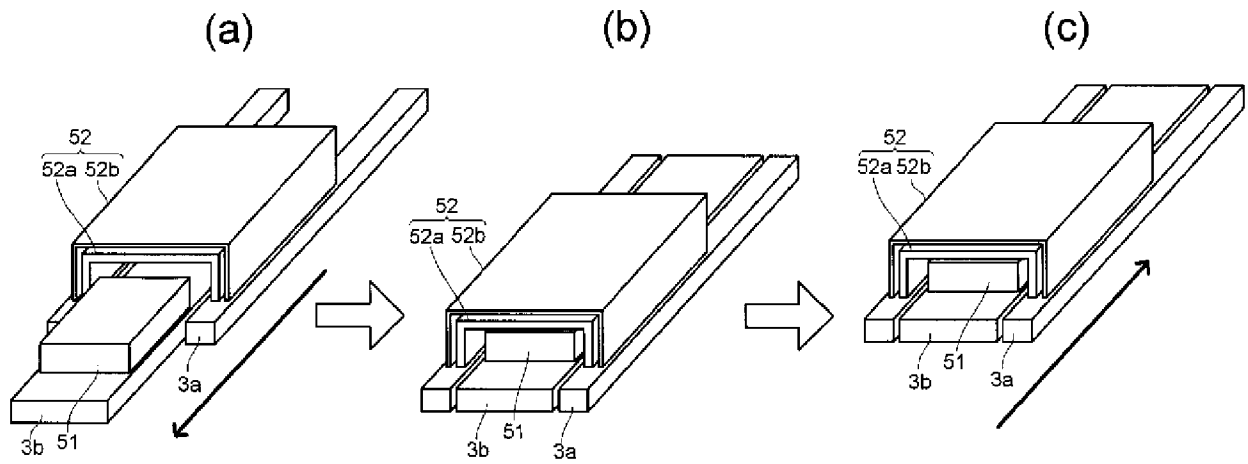
[図4]



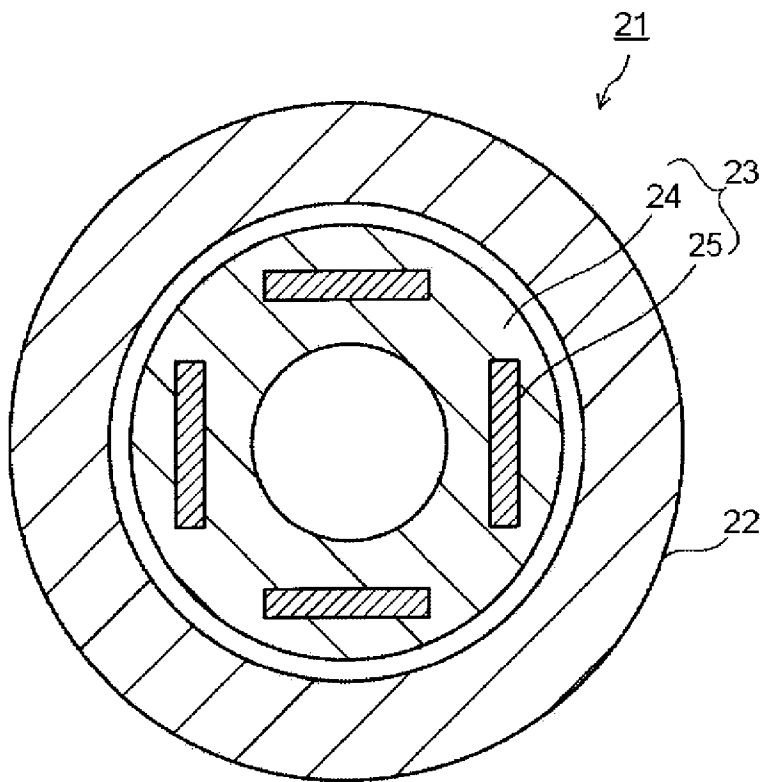
[図5]



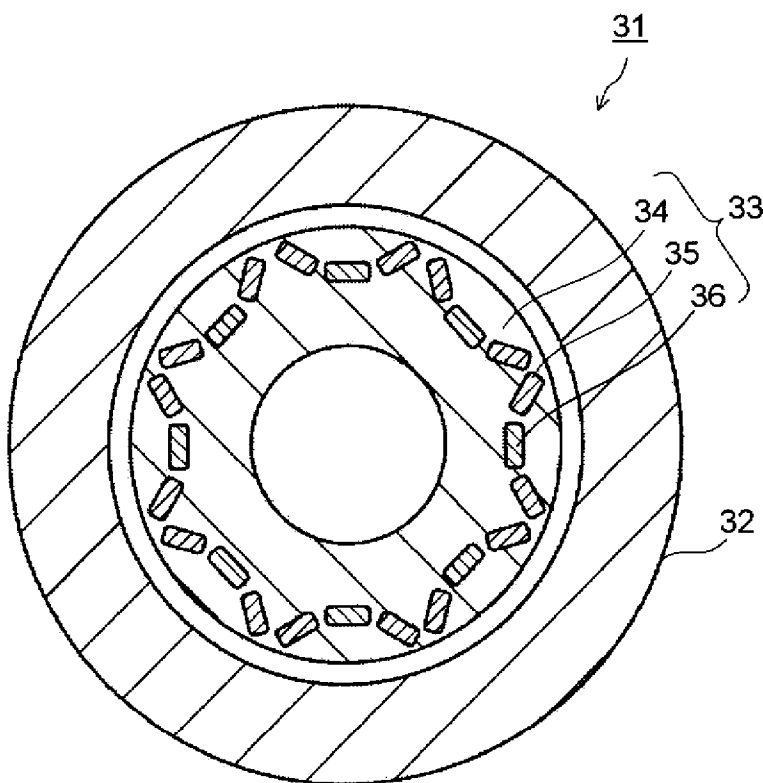
[図6]



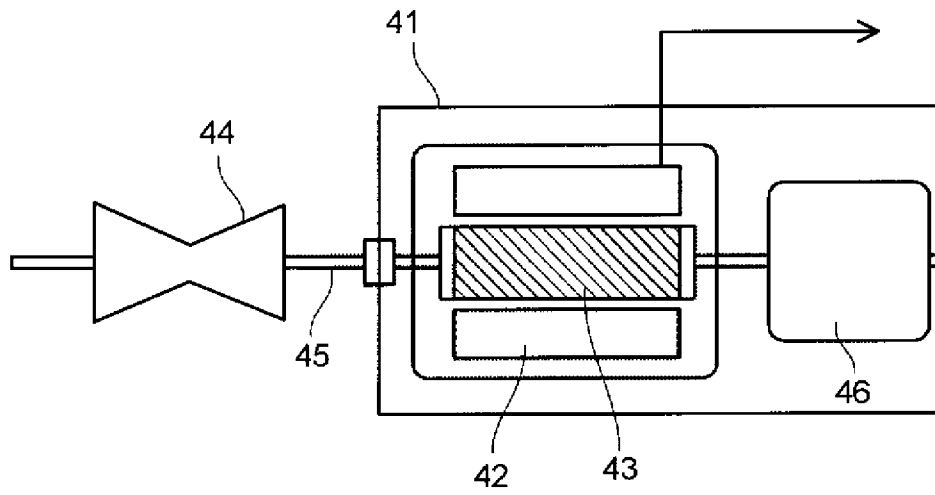
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/001640

<p>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>H01F41/02(2006.01)i, H01F1/055(2006.01)i, H01F1/08(2006.01)i</i></p> <p>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>														
<p>B. FIELDS SEARCHED</p> <p>Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) <i>H01F41/02, H01F1/055, H01F1/08</i></p> <p>Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched</p> <table style="width:100%; border:none;"> <tr> <td style="width:33%;"><i>Jitsuyo Shinan Koho</i></td> <td style="width:33%;"><i>1922-1996</i></td> <td style="width:33%;"><i>Jitsuyo Shinan Toroku Koho</i></td> <td style="width:33%;"><i>1996-2015</i></td> </tr> <tr> <td><i>Kokai Jitsuyo Shinan Koho</i></td> <td><i>1971-2015</i></td> <td><i>Toroku Jitsuyo Shinan Koho</i></td> <td><i>1994-2015</i></td> </tr> </table> <p>Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)</p>			<i>Jitsuyo Shinan Koho</i>	<i>1922-1996</i>	<i>Jitsuyo Shinan Toroku Koho</i>	<i>1996-2015</i>	<i>Kokai Jitsuyo Shinan Koho</i>	<i>1971-2015</i>	<i>Toroku Jitsuyo Shinan Koho</i>	<i>1994-2015</i>				
<i>Jitsuyo Shinan Koho</i>	<i>1922-1996</i>	<i>Jitsuyo Shinan Toroku Koho</i>	<i>1996-2015</i>											
<i>Kokai Jitsuyo Shinan Koho</i>	<i>1971-2015</i>	<i>Toroku Jitsuyo Shinan Koho</i>	<i>1994-2015</i>											
<p>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width:10%;">Category*</th> <th style="width:70%;">Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th style="width:20%;">Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td align="center">A</td> <td><i>JP 2011-114236 A (Toshiba Corp.), 09 June 2011 (09.06.2011), claims; paragraphs [0024], [0034] (Family: none)</i></td> <td align="center">1-8</td> </tr> <tr> <td align="center">A</td> <td><i>JP 10-92617 A (Tokin Corp.), 10 April 1998 (10.04.1998), claims; paragraphs [0017], [0021] to [0023] (Family: none)</i></td> <td align="center">1-8</td> </tr> <tr> <td align="center">A</td> <td><i>JP 62-137117 A (Nippon Steel Corp.), 20 June 1987 (20.06.1987), claims; page 2, upper left column, line 14 to lower right column, line 13; examples; all drawings (Family: none)</i></td> <td align="center">1-8</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	A	<i>JP 2011-114236 A (Toshiba Corp.), 09 June 2011 (09.06.2011), claims; paragraphs [0024], [0034] (Family: none)</i>	1-8	A	<i>JP 10-92617 A (Tokin Corp.), 10 April 1998 (10.04.1998), claims; paragraphs [0017], [0021] to [0023] (Family: none)</i>	1-8	A	<i>JP 62-137117 A (Nippon Steel Corp.), 20 June 1987 (20.06.1987), claims; page 2, upper left column, line 14 to lower right column, line 13; examples; all drawings (Family: none)</i>	1-8
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.												
A	<i>JP 2011-114236 A (Toshiba Corp.), 09 June 2011 (09.06.2011), claims; paragraphs [0024], [0034] (Family: none)</i>	1-8												
A	<i>JP 10-92617 A (Tokin Corp.), 10 April 1998 (10.04.1998), claims; paragraphs [0017], [0021] to [0023] (Family: none)</i>	1-8												
A	<i>JP 62-137117 A (Nippon Steel Corp.), 20 June 1987 (20.06.1987), claims; page 2, upper left column, line 14 to lower right column, line 13; examples; all drawings (Family: none)</i>	1-8												
<p><input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.</p>														
<p>* Special categories of cited documents:</p> <table style="width:100%; border:none;"> <tr> <td style="width:50%; vertical-align: top;"> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </td> <td style="width:50%; vertical-align: top;"> <p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&” document member of the same patent family</p> </td> </tr> </table>			<p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>										
<p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>													
<p>Date of the actual completion of the international search 28 May 2015 (28.05.15)</p>		<p>Date of mailing of the international search report 09 June 2015 (09.06.15)</p>												
<p>Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan</p>		<p>Authorized officer</p> <p>Telephone No.</p>												

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/001640

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 7-109512 A (Mitsubishi Materials Corp.), 25 April 1995 (25.04.1995), claims; paragraphs [0007] to [0011]; examples; fig. 1, 2 (Family: none)	1-8
A	JP 2009-236367 A (Koyo Thermo Systems Co., Ltd.), 15 October 2009 (15.10.2009), paragraphs [0025] to [0028]; fig. 1, 2 (Family: none)	1-8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. H01F41/02(2006.01)i, H01F1/055(2006.01)i, H01F1/08(2006.01)i		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. H01F41/02, H01F1/055, H01F1/08		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2015年 日本国実用新案登録公報 1996-2015年 日本国登録実用新案公報 1994-2015年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2011-114236 A (株式会社東芝) 2011.06.09, 【特許請求の範囲】、段落【0024】、【0034】 (ファミリーなし)	1-8
A	JP 10-92617 A (株式会社トーキン) 1998.04.10, 【特許請求の範囲】、段落【0017】、【0021】～【0023】 (ファミリーなし)	1-8
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 28.05.2015	国際調査報告の発送日 09.06.2015	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/J P） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官（権限のある職員） 塩▲崎▼ 義晃 電話番号 03-3581-1101 内線 3551	5D 4443

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 62-137117 A (新日本製鐵株式会社) 1987.06.20, 特許請求の範囲, 第2頁左上欄第14行~右下欄第13行, (実施例), 全図 (ファミリーなし)	1-8
A	JP 7-109512 A (三菱マテリアル株式会社) 1995.04.25, 【特許請求の範囲】, 段落【0007】-【0011】, 【実施例】, 【図1】, 【図2】 (ファミリーなし)	1-8
A	JP 2009-236367 A (光洋サーモシステム株式会社) 2009.10.15, 段落【0025】-【0028】, 【図1】, 【図2】 (ファミリーなし)	1-8