(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)公開番号
特開2024-93967
(P2024-93967A)
(43)公開日　令和6年7月9日(2024.7.9)

(51)国際特許分類		FI			テーマコード（参考）
Ｈ０１Ｆ	*1/057(2006.01)*	Ｈ０１Ｆ	1/057	１７０	４Ｋ０１８
Ｃ２２Ｃ	*38/00 (2006.01)*	Ｃ２２Ｃ	38/00	３０３Ｄ	５Ｅ０４０
Ｂ２２Ｆ	*3/00 (2021.01)*	Ｂ２２Ｆ	3/00	Ｆ	
Ｂ２２Ｆ	*3/24 (2006.01)*	Ｂ２２Ｆ	3/24	Ｂ	
		Ｂ２２Ｆ	3/24	Ｋ	

審査請求　未請求　請求項の数　７　ＯＬ　（全15頁）

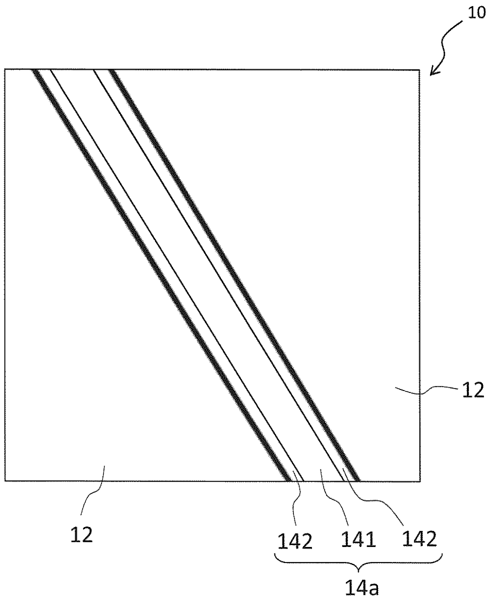
(21)出願番号　特願2022-210643(P2022-210643)
(22)出願日　令和4年12月27日(2022.12.27)

(71)出願人　000005083
株式会社プロテリアル
東京都江東区豊洲五丁目６番３６号
(74)代理人　100145403
弁理士　山尾　憲人
(74)代理人　100206140
弁理士　大釜　典子
(72)発明者　國吉 太
東京都江東区豊洲五丁目６番３６号 日立金属株式会社内

Ｆターム（参考）　4K018　AA27 BA18 BB04 BC12 CA04 CA34 CA44 DA31 FA08 FA11 KA45
5E040　AA04 AA19 BD01 CA01 NN01 NN06

(54)【発明の名称】　Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石

(57)【要約】
【課題】高いＢ$_{ｒ}$と高いＨ$_{ｃＪ}$を有するＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石を提供する。
【解決手段】Ｒ：２６．８～３１．５質量%（Ｒは希土類元素であり、ＮｄおよびＰｒからなる群から選択される１種または２種を含む）、Ｍ：０．０５～２．００質量%（ＭはＧａ、Ｃｕ、Ｚｎ、ＡｌおよびＳｉからなる群から選択される少なくとも１種であり、Ｃｕを必ず含む）、Ｂ：０．８４～０．９４質量%、およびＴ：６１．５質量%以上（Ｔは、ＦｅとＣｏであり、質量比でＴの９０%以上がＦｅである）を含み、内部組織が、結晶粒と、隣接する２つの前記結晶粒の間に、第１相と、少なくとも、前記２つの結晶粒のいずれか一方と前記第１相との間に、前記第１相よりもＣｕ濃度の高い第２相と、を含み、前記第２相は、２～２０質量%の範囲でＦを含み、かつ前記第１相のＦ濃度よりも高い、Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石。
【選択図】図２



【特許請求の範囲】
【請求項１】
Ｒ　：２６．８～３１．５質量％（Ｒは希土類元素であり、ＮｄおよびＰｒからなる群から選択される１種または２種を含む）、
Ｍ　：０．０５～２．００質量％（ＭはＧａ、Ｃｕ、Ｚｎ、ＡｌおよびＳｉからなる群から選択される少なくとも１種であり、Ｃｕを必ず含む）、
Ｂ　：０．８４～０．９４質量％、および
Ｔ　：６１．５質量％以上（Ｔは、ＦｅとＣｏであり、質量比でＴの９０％以上がＦｅである）を含み、
内部組織が、
結晶粒と、
隣接する２つの前記結晶粒の間に、第１相と、
前記２つの結晶粒の一方または両方と前記第１相との間に、前記第１相よりもＣｕ濃度の高い第２相と、を含み、
前記第２相は、２～２０質量％の範囲でＦを含み、かつ前記第１相のＦ濃度よりも高い、Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石。
【請求項２】
前記２つの結晶粒の両方の各々と前記第１相との間に前記第２相を含む、請求項１に記載のＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石。
【請求項３】
前記第１相は、
Ｒ　：１５～６５質量％、
Ｍ　：２～２０質量％、
Ｆ　：３質量％以下（０質量％を含む）、および
Ｔ　：２０～８０質量％を含み、
前記第２相は、
Ｒ　：１５～６５質量％、
Ｍ　：２～２０質量％、
Ｆ　：２～２０質量％、および
Ｔ　：２０～８０質量％を含む、請求項１に記載のＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石。
【請求項４】
表面から深さ２００μｍまでの範囲で、前記ＮｄおよびＰｒからなる群から選択される１種または２種の濃度と、Ｃｕ濃度とが漸減する、請求項１に記載のＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石。
【請求項５】
Ｍは、Ｇａをさらに必ず含む、請求項１に記載のＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石。
【請求項６】
さらに、
Ｔｂ：０質量％超０．１０質量％以下、および
Ｄｙ：０質量％超０．２０質量％以下、からなる群から選択される少なくとも１種を含む、請求項１に記載のＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石。
【請求項７】
以下の式（１）を満たす、請求項１～６のいずれか１項に記載のＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石。
２６．０質量％≦（［Ｎｄ］＋［Ｐｒ］＋［Ｃｅ］＋［Ｌａ］＋［Ｄｙ］＋［Ｔｂ］）－１２（［Ｏ］＋［Ｃ］）≦２７．７質量％　　（１）
ここで、［Ｎｄ］、［Ｐｒ］、［Ｃｅ］、［Ｌａ］、［Ｄｙ］、［Ｔｂ］、［Ｏ］および［Ｃ］は、それぞれ、質量％で示すＮｄ、Ｐｒ、Ｃｅ、Ｌａ、Ｄｙ、Ｔｂ、ＯおよびＣの含有量である。
【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本開示は、Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石に関する。

【背景技術】

【０００２】

Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石（Ｒは希土類元素うちの少なくとも１種であり、ＴはＦｅまたはＦｅとＣｏであり、Ｂは硼素である）は、永久磁石の中で最も高性能な磁石として知られている。このため、Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石は、電気自動車（ＥＶ、ＨＶ、ＰＨＶ）等の自動車分野、風力発電等の再生可能エネルギー分野、家電分野、産業分野等のさまざまなモータに使用されている。Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石は、これらモータの小型・軽量化、高効率・省エネルギー化（エネルギー効率の改善）に欠かせない材料である。また、Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石は、電気自動車用の駆動モータに使用されており、内燃機関エンジン自動車から電気自動車へ代替されることで、二酸化炭素等の温室効果ガスの削減（燃料・排ガスの削減）による地球温暖化防止にも寄与している。このように、Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石は、クリーンエネルギー社会の実現に大きく貢献している。

【０００３】

Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石は、主として$Ｒ_{２}Ｔ_{１４}Ｂ$型化合物からなる結晶粒と、この結晶粒の粒界部分に位置する粒界相とから構成されている（例えば特許文献１）。特許文献１は、$Ｒ_{２}Ｔ_{１４}Ｂ$主相結晶粒と、隣接する二つの$Ｒ_{２}Ｔ_{１４}Ｂ$主相結晶粒間の二粒子粒界相とを含み、該二粒子粒界相の厚みは５ｎｍ以上５００ｎｍ以下であり、かつ強磁性体とは異なる磁性を有する相からなることを特徴とする希土類焼結磁石を開示している。

結晶粒を構成する$Ｒ_{２}Ｔ_{１４}Ｂ$型化合物は高い飽和磁化と異方性磁界を持つ強磁性材料であり、Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石の特性を左右する。

【０００４】

Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石は、高温で保磁力$Ｈ_{ｃＪ}$（以下、単に「$Ｈ_{ｃＪ}$」という）が低下するため不可逆熱減磁が起こるという問題がある。そのため、特に電気自動車用モータに使用されるＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石では、高温下でも高い$Ｈ_{ｃＪ}$を有する、すなわち室温においてより高い$Ｈ_{ｃＪ}$を有することが要求されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００５】

【特許文献１】特開２０１４－２０９５４６号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

$Ｒ_{２}Ｔ_{１４}Ｂ$型化合物中の軽希土類元素ＲＬ（主にＮｄ、Ｐｒ）を重希土類元素ＲＨ（主にＴｂ、Ｄｙ）で置換すると、$Ｈ_{ｃＪ}$が向上することが知られている。しかし、$Ｈ_{ｃＪ}$が向上する一方、$Ｒ_{２}Ｔ_{１４}Ｂ$型化合物相の飽和磁化が低下するために残留磁束密度$Ｂ_{ｒ}$（以下、単に「$Ｂ_{ｒ}$」という）が低下してしまうという問題がある。また、特にＴｂは、もともと資源量が少ないうえ産出地が限定されている等の理由から、供給が不安定であり、価格変動するなどの問題を有している。そのため、Ｔｂをできるだけ使用せず（使用量をできるだけ少なくして）、$Ｂ_{ｒ}$の低下を抑制しつつ、高い$Ｈ_{ｃＪ}$を得ることが求められている。

【０００７】

特許文献１に開示された希土類焼結磁石は、Ｔｂなどの重希土類元素ＲＨの使用量を低減しつつ、高温での$Ｈ_{ｃＪ}$の低下を抑制できるとされているが、近年特に電気自動車用モータなどにおいては、$Ｂ_{ｒ}$と$Ｈ_{ｃＪ}$のさらなる向上が求められている。

【０００８】

そこで、本発明の一実施形態は、Ｔｂなどの重希土類元素ＲＨの使用量を低減しつつ、$Ｂ_{ｒ}$および$Ｈ_{ｃＪ}$をさらに向上することのできるＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石を提供することを

目的とする。

【課題を解決するための手段】

【０００９】

本発明の態様１は、

Ｒ　：２６．８～３１．５質量％（Ｒは希土類元素であり、ＮｄおよびＰｒからなる群から選択される１種または２種を含む）、

Ｍ　：０．０５～２．００質量％（ＭはＧａ、Ｃｕ、Ｚｎ、ＡｌおよびＳｉからなる群から選択される少なくとも１種であり、Ｃｕを必ず含む）

Ｂ　：０．８４～０．９４質量％、および

Ｔ　：６１．５質量％以上（Ｔは、ＦｅとＣｏであり、質量比でＴの９０％以上がＦｅである）を含み、

内部組織が、

結晶粒と、

隣接する２つの前記結晶粒の間に、第１相と、

前記２つの結晶粒の一方または両方と前記第１相との間に、前記第１相よりもＣｕ濃度の高い第２相と、を含み、

前記第２相は、２～２０質量％の範囲でＦを含み、かつ前記第１相のＦ濃度よりも高い、Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石である。

【００１０】

本発明の態様２は、

さらに、前記２つの結晶粒の両方の各々と前記第１相との間に前記第２相を含む、態様１に記載のＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石である。

【００１１】

本発明の態様３は、

前記第１相は、

Ｒ　：１５～６５質量％、

Ｍ　：２～２０質量％、

Ｆ　：３質量％以下（０質量％を含む）、および

Ｔ　：２０～８０質量％を含み、

前記第２相は、

Ｒ　：１５～６５質量％、

Ｍ　：２～２０質量％、

Ｆ　：２～２０質量％、および

Ｔ　：２０～８０質量％を含む、態様１または２に記載のＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石である。

【００１２】

本発明の態様４は、

表面から深さ２００μｍまでの範囲で、前記ＮｄおよびＰｒからなる群から選択される１種または２種の濃度と、Ｃｕ濃度とが漸減する、態様１～３のいずれか１つに記載のＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石である。

【００１３】

本発明の態様５は、

Ｍは、Ｇａをさらに必ず含む、態様１～４のいずれか１つに記載のＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石である。

【００１４】

本発明の態様６は、

さらに、

Ｔｂ：０質量％超０．１０質量％以下、および

Ｄｙ：０質量％超０．２０質量％以下、からなる群から選択される少なくとも１種を含む、態様１～５のいずれか１つに記載のＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石である。

【００１５】
本発明の態様７は、
以下の式（１）を満たす、態様１～６のいずれか１つに記載のＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石である。
２６．０質量％≦（［Ｎｄ］＋［Ｐｒ］＋［Ｃｅ］＋［Ｌａ］＋［Ｄｙ］＋［Ｔｂ］）－１２（［Ｏ］＋［Ｃ］）≦２７．７質量％　（１）
ここで、［Ｎｄ］、［Ｐｒ］、［Ｃｅ］、［Ｌａ］、［Ｄｙ］、［Ｔｂ］、［Ｏ］および［Ｃ］は、それぞれ、質量％で示すＮｄ、Ｐｒ、Ｃｅ、Ｌａ、Ｄｙ、Ｔｂ、ＯおよびＣの含有量である。
【発明の効果】
【００１６】
本開示の実施形態によれば、Ｔｂなどの重希土類元素ＲＨの使用量を低減しつつ、B_rとH_{cJ}をさらに向上したＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石を提供することができる。
【図面の簡単な説明】
【００１７】
【図１Ａ】図１Ａは、Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石の一部を拡大して模式的に示す断面図である。
【図１Ｂ】図１Ｂは、図１Ａの破線矩形領域内を更に拡大して模式的に示す断面図である。
【図２】図２は、二粒子粒界を模式的に示す断面図である。
【図３Ａ】図３Ａは、実施例で作製したＲ－Ｔ－Ｂ系焼結体の断面観察のＴＥＭ写真である。
【図３Ｂ】図３Ｂは、図３Ａの一部（四角で囲った部分）の拡大ＴＥＭ写真である。
【発明を実施するための形態】
【００１８】
本発明者は、Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石において、重希土類の使用量を減らしつつ、磁気的特性（特に、B_rとH_{cJ}）を向上するために鋭意検討した。そして、特定の成分組成を満たすＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石であって、結晶粒の間の粒界相が、第１相と、結晶粒と第１相との間に配置され、第１相よりもＣｕ濃度の高い第２相と、を含み、第２相が２～２０質量％の範囲でＦを含み、かつ第１相のＦ濃度よりも高い、という構成を有することにより、優れた磁気的特性を有するＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石が得られることを見出し、本願の実施形態に係る発明を完成するに至った。
【００１９】
以下、実施形態に係るＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石（以下単に「焼結磁石」と称することがある）について詳細に説明する。
【００２０】
＜Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石＞
Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石は、
Ｒ　：２６．８～３１．５質量％（Ｒは希土類元素であり、ＮｄおよびＰｒからなる群から選択される１種または２種を含む）、
Ｍ　：０．０５～２．００質量％（ＭはＧａ、Ｃｕ、Ｚｎ、ＡｌおよびＳｉからなる群から選択される少なくとも１種であり、Ｃｕを必ず含む）、
Ｂ　：０．８４～０．９４質量％、および
Ｔ　：６１．５質量％以上（Ｔは、ＦｅとＣｏであり、質量比でＴの９０％以上がＦｅである）を含む。
【００２１】
図１Ａ、図１Ｂに示すように、焼結磁石１０の内部組織は、主として$R_2T_{14}B$化合物からなる結晶粒１２と、結晶粒１２の間に位置する粒界相１４と、を含む。
粒界相１４は、隣接する２つの結晶粒１２の間に存在する二粒子粒界相１４ａと２つ以上の二粒子粒界相１４ａが交わる粒界三重点１４ｂとを含む。

【００２２】
図２に示すように、実施形態に係る焼結磁石１０では、二粒子粒界相１４ａが、第１相１４１と、２つの結晶粒１２の一方または両方と第１相１４１との間に第２相１４２とを含んでいる。すなわち、互いにＣu含有量が異なる第１相および第２相を有する。なお、第２相１４２は、２つの結晶粒１２の一方と第１相１４１との間だけに形成されてもよいが、好ましくは２つの結晶粒１２の両方の各々と、第１相１４１との間に形成される。
第２相１４２のＣｕ濃度は、第１相１４１のＣｕ濃度よりも高い。また、第２相１４２のＦ濃度は２～２０質量％の範囲にあり、かつ第１相１４１のＦ濃度よりも高い。
【００２３】
本発明者らは、焼結磁石１０の二粒子粒界相１４ａが、上述のような第１相１４１と第２相１４２とを含む内部組織を備えていることにより、高い磁気特性を達成できていることを確認した。このような二粒子粒界相１４ａを備えることにより、高い磁気特性を実現できる理由は定かではないが、第２相１４２のＦ濃度が高いことにより、主相（結晶粒１２）、第２相１４２、第１相１４１の格子整合性がよくなったためと考えられる。
第２相１４２に含まれるＦは、焼結磁石１０の原料に微量に含まれるＦ元素に由来するものであり得る。焼結磁石１０の原料選定に際しては、例えば、Ｆ元素を含むリサイクル原料を選択することができる。また、焼結磁石１０の原料中のＦ含有量が低すぎる場合は、Ｆ元素を積極的に添加してもよい。
【００２４】
焼結磁石１０が重希土類元素ＲＨを含む場合は、従来よりも少ない含有量であることが望ましい。特に、重希土類元素ＲＨの含有量は、
Ｔｂ：０質量％超０．１０質量％以下、および
Ｄｙ：０質量％超０．２０質量％以下、からなる群から選択される少なくとも１種、に制限されていることが好ましい。
実施形態に係る焼結磁石１０は、上述するような内部組織を有することにより、重希土類元素ＲＨであるＴｂおよびＤｙの含有量をそれぞれ０．１０質量％以下および０．２０質量％以下に抑制しても、優れた磁気特性を達成することができる。
【００２５】
焼結磁石１０は、以下の式（１）を満たすことが好ましい。
２６．０質量％≦（［Ｎｄ］＋［Ｐｒ］＋［Ｃｅ］＋［Ｌａ］＋［Ｄｙ］＋［Ｔｂ］）－１２（［Ο］＋［Ｃ］）≦２７．７質量％　　（１）
ここで、［Ｎｄ］、［Ｐｒ］、［Ｃｅ］、［Ｌａ］、［Ｄｙ］、［Ｔｂ］、［Ο］および［Ｃ］は、それぞれ、質量％で示すＮｄ、Ｐｒ、Ｃｅ、Ｌａ、Ｄｙ、Ｔｂ、ΟおよびＣの含有量である。
なお、焼結磁石が、Ｎｄ、Ｐｒ、Ｃｅ、Ｌａ、Ｄｙ、Ｔｂ、ΟおよびＣのいずれか１種以上を含まない場合は、当該含まない元素の含有量は「０質量％」であるとして、式（１）に代入する。
【００２６】
上記式（１）を満足するように、焼結磁石１０中のＲ、ΟおよびＣの含有量が調整されることによって、より高い$Ｂ_{ｒ}$及び$Ｈ_{ｃＪ}$を得ることができる。なお、Ｃの含有量は、粉砕や成形時に添加される潤滑剤の添加量により調整され得る。
【００２７】
式（１）に規定されているように、中辺の値は、２６．０質量％以上２７．７質量％以下であることが好ましく、２６．０質量％以上２７．５質量％以下であることがより好ましい。よりＴｂなどの重希土類元素ＲＨの使用量を低減しつつ、高い$Ｂ_{ｒ}$及び$Ｈ_{ｃＪ}$を得ることができる。
【００２８】
二粒子粒界相１４ａに含まれる各相の成分組成について、
第１相１４１は、
Ｒ　：１５～６５質量％、

Ｍ　：２～２０質量％、
Ｆ　：３質量％以下（０質量％を含む）、および
Ｔ　：２０～８０質量％を含んでいることが好ましく、
また、二粒子粒界相１４ａの第２相１４２は、
Ｒ　：１５～６５質量％、
Ｍ　：２～２０質量％、
Ｆ　：２～２０質量％、および
Ｔ　：２０～８０質量％を含んでいることが好ましい。
【００２９】
このような成分組成を有する第１相１４１および第２相１４２は、いずれも、典型的には$Ｒ_{６}Ｔ_{１３}$Ｍの結晶構造を有し、$Ｒ_{６}Ｔ_{１２．５}Ｍ_{１．５}$なども含み得る。そして、Ｍとして少なくともＣｕを含んでおり、第２相１４２におけるＣｕ濃度が、第１相１４１のＣｕ濃度より高くされている。第１相１４１および第２相１４２がこのような結晶構造を含むことにより、主相粒子（結晶粒１２）間の磁気的相互作用が低減すると考えられる。
第１相１４１および第２相１４２中の元素濃度は、ＳＥＭ－ＥＤＸまたはＴＥＭ－ＥＤＸ分析によって測定することができる。
【００３０】
第１相１４１の厚さは、好ましくは１０ｎｍ～５００ｎｍであり、より好ましくは２０ｎｍ～３００ｎｍである。このような範囲をとることにより、主相粒子（結晶粒１２）間の磁気的相互作用低減の効果を得つつ、主相比率の低下による磁気特性の低下を抑制することが出来る。
第２相１４２の厚さは、好ましくは０．５ｎｍ～１０ｎｍであり、より好ましくは１ｎｍ～５ｎｍである。このような範囲とることにより、格子整合性改善の役割を満足しつつ、主相比率の低下による磁気特性の低下を抑制することが出来る。
【００３１】
焼結磁石１０の各成分組成について詳述する。
【００３２】
（Ｒ：２６．８～３１．５質量％）
Ｒは希土類元素であり、ＮｄおよびＰｒからなる群から選択される１種または２種を含む。Ｒの含有量は、２６．８～３１．５質量％である。Ｒの含有量が２６．８質量％未満であると焼結時の緻密化が困難となる可能性があり、３１．５質量％を超えると主相比率が低下して$Ｂ_{ｒ}$が低下する可能性がある。Ｒの含有量は、好ましくは２６．８～３０．０質量％である。Ｒの含有量がこのような範囲であれば、より高い$Ｂ_{ｒ}$を得ることができる。
【００３３】
（Ｍ：０．０５～２．００質量％）
ＭはＧａ、Ｃｕ、Ｚｎ、ＡｌおよびＳｉからなる群から選択される少なくとも１種であり、Ｃｕを必ず含む。Ｍの含有量（Ｇａ、Ｃｕ、Ｚｎ、ＡｌおよびＳｉの含有量の合計）は、０．０５～２．００質量％である。Ｍがこの範囲であると、温度係数が改善されて、高温において高い$Ｈ_{ｃＪ}$を達成し得る。
焼結磁石１０は、ＭとしてＣｕを必ず含むが、さらにＧａを必ず含むことが好ましく、さらに$Ｈ_{ｃＪ}$を向上し得る。
【００３４】
Ｃｕは、結晶粒１２と二粒子粒界相１４ａの両方に含まれている。特に、二粒子粒界相１４ａの第２相１４２におけるＣｕ濃度が高く、後述するように、２～２０質量％の範囲で含むことができる。つまり、Ｃｕは、焼結磁石１０の第２相１４２で濃化している。第１相１４１もＣｕを含んでいてもよいが、第２相１４２よりもＣｕ濃度が低い。
Ｃｕは、原料由来であってもよく、さらには、焼結工程後に行われる拡散工程で焼結体表面から拡散されたＣｕに由来してもよい。
【００３５】

（Ｂ：０．８４～０．９４質量％）
Ｂの含有量は、０．８４～０．９４質量％である。焼結磁石１０がＢを本開示の範囲内で含有することにより、温度係数が改善し、高温下においても高いH_{cJ}を達成し得る。
【００３６】
（Ｔ：６１．５質量％以上）
Ｔは、ＦｅとＣｏであり、質量比でＴの９０％以上がＦｅである。Ｃｏを含有することにより耐食性を向上させることができるが、Ｃｏの置換量がＴの１０質量％を超えると、高いB_rが得られない可能性がある。Ｔの含有量は、６１．５質量％以上である。Ｔの含有量が６１．５質量％未満であると、大幅にB_rが低下する可能性ある。好ましくは、Ｔが残部である。
【００３７】
焼結磁石１０は、ジジム合金（Ｎｄ－Ｐｒ）、電解鉄、フェロボロンなどに通常含有される不可避的不純物としてＣｒ、Ｍｎ、Ｌａ、Ｃｅ、Ｓｍ、Ｃａ、Ｍｇなどを含有することができる。さらに、製造工程中に含有される不可避的不純物として、Ｏ（酸素）、Ｎ（窒素）およびＣ（炭素）などを例示できる。
また、実施形態に係る焼結磁石１０は、１種以上の他の元素を含んでもよい。例えば、このような元素として、Ａｇ、Ｚｎ、Ｉｎ、Ｓｎ、Ｔｉ、Ｇｅ、Ｙ、Ｈ、Ｆ、Ｐ、Ｓ、Ｖ、Ｎｉ、Ｍｏ、Ｈｆ、Ｔａ、Ｗ、Ｎｂ、Ｚｒなどを少量（各々０．１質量％程度）含有してもよい。このような元素は、合計で例えば１．０質量％程度含まれてもよい。この程度であれば、高温において高いH_{cJ}を有するＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石を得ることが十分に可能である。
【００３８】
なお、これらの少量含まれる各元素のうち、Ｆは、焼結磁石１０の二粒子粒界相１４ａの第１相１４１に必ず含まれる必須元素であるものの、結晶粒１２には殆ど含まれないため、焼結磁石１０の成分組成としては少量含まれる元素として扱われる。但し、上述したように、第２相１４２にＦが所定量含まれていることは、二粒子粒界相１４ａをＳＥＭ－ＥＤＸまたはＴＥＭ－ＥＤＸ分析することによって確認可能である。
第２相１４２と、必要に応じて第１相１４１とが、所定量でＦを含有するように、原料にＦを意図的に加えてもよい
【００３９】
実施形態における焼結磁石１０は、表面から深さ２００μｍまでの範囲で、ＮｄおよびＰｒからなる群から選択される１種または２種の濃度が漸減していてもよい。これに加えて、表面から深さ２００μｍまでの範囲で、Ｃｕ濃度も漸減していてもよい。このような濃度分布を有する焼結磁石１０は、焼結磁石１０の製造時に、ＮｄおよびＰｒからなる群から選択される１種または２種と、Ｃｕとを含む拡散源を用いて、磁石表面から磁石内部に向かって拡散する工程を行うことで得られる。
なお、焼結磁石１０の製造時に拡散工程を行うことで、得られる焼結磁石１０の磁気特性を向上し得るものの、上述するような内部組織を有する焼結磁石１０は、拡散工程を省略しても、十分に優れた磁気特性を有する焼結磁石１０が得られる。
【００４０】
表面から深さ２００μｍまでの範囲におけるＮｄ、ＰｒおよびＣｕの濃度は、焼結磁石１０の断面において、磁石表面から磁石中央付近に向かって、深さ２００μｍまでの範囲を、エネルギー分散型Ｘ線分光方法（ＥＤＸ）により線分析（ライン分析）することにより確認することができる。なお、表面に垂直な方向で且つその表面の端部から２００μｍ以上離れた断面で測定するのが好ましい。また、ライン分析する際は、測定断面の外周から２００μｍ以内の範囲を測定することにならないように、測定断面の端部から２００μｍ以上離れた領域内で、表面（測定断面の外周）と直交する方向に測定を行う。
【００４１】
＜Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石の製造方法＞
以下、本開示のＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石の製造方法の実施形態を説明する。

【００４２】
本実施形態における製造方法は、Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結体を準備する工程と、Ｒ－Ｍ合金を準備する工程と、第一の熱処理を実施する工程と、第二の熱処理を実施する工程と、を含み得る。第一の熱処理を実施する工程は、Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結体表面の少なくとも一部にＲ－Ｍ合金の少なくとも一部を接触させ、真空又は不活性ガス雰囲気中、７００℃以上９５０℃以下の温度で第一の熱処理を実施することにより、ＲおよびＭを磁石内部に拡散させる工程である。第二の熱処理を実施する工程は、第一の熱処理が実施されたＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石に対して、真空又は不活性ガス雰囲気中、４５０℃以上７５０℃以下の温度で、かつ前記第一の熱処理温度よりも低い温度で第二の熱処理を実施する工程である。以下、これらの各工程をより詳細に説明する。
【００４３】
（Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結体を準備する工程）
まず、Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結体の組成を説明する。
【００４４】
この工程で準備するＲ－Ｔ－Ｂ系焼結体は、例えば以下の組成を有する。
Ｒ：２６．６質量％以上３１．３質量％以下（Ｒは希土類元素であり、ＮｄおよびＰｒからなる群から選択される１種または２種を含む）、
Ｍ　：０．０５質量％以上２．００質量％以下（ＭはＧａ、Ｃｕ、Ｚｎ、ＡｌおよびＳｉからなる群から選択される少なくとも１種であり、Ｃｕを必ず含む）、
Ｂ：０．８４質量％以上０．９４質量％以下、
Ｔ　：６１．５質量％以上（Ｔは、ＦｅとＣｏであり、質量比でＴの９０％以上がＦｅである）を含む。
残部はＴおよび不可避的不純物であってもよい。
【００４５】
次にＲ－Ｔ－Ｂ系焼結体の準備方法について説明する。
【００４６】
まず、Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石用合金を準備した後、この合金を例えば水素粉砕法などによって粗く粉砕する。
【００４７】
Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石用合金の製造方法を例示する。上述した組成となるように事前に調整した金属または合金を溶解し、鋳型に入れて凝固させるインゴット鋳造法により合金インゴットを得ることができる。また、上述した組成となるように事前に調整した金属または合金の溶湯を単ロール、双ロール、回転ディスク、または回転円筒鋳型等に接触させて急冷し、急冷凝固合金を作製するストリップキャスト法によって合金を作製してもよい。また、遠心鋳造法など、他の急冷法によってフレーク状の合金を製造してもよい。
【００４８】
本開示の実施形態においては、インゴット法と急冷法のどちらの方法により製造された合金も使用すること可能であるが、ストリップキャスト法などの急冷法により製造された合金を用いることが好ましい。急冷法によって作製した合金の厚さは、通常０．０３ｍｍ～１ｍｍの範囲にあり、フレーク形状である。合金溶湯は冷却ロールの接触した面（ロール接触面）から凝固し始め、ロール接触面から厚さ方向に結晶が柱状に成長してゆく。急冷合金は、従来のインゴット鋳造法（金型鋳造法）によって作製された合金（インゴット合金）と比較して、短時間で冷却されているため、組織が微細化され、結晶粒径が小さい。また粒界の面積が広い。Ｒリッチ相は粒界内に大きく広がるため、急冷法はＲリッチ相の分散性に優れる。このため水素粉砕法により粒界で破断し易い。急冷合金を水素粉砕することで、水素粉砕粉（粗粉砕粉）のサイズを例えば１．０ｍｍ以下とすることができる。このようにして得た粗粉砕粉を、例えばジェットミルで粉砕する。
【００４９】
本実施形態では、最終的に得られるＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石が前出の式（１）を満足するように、含有酸素量を制御することが好ましい。含有酸素量の制御は、粉砕の条件を調整

することで達成できる。なお、Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石の含有酸素量は、０．０５質量％≦［Ｏ］≦０．３０質量％であることが好ましい。ジェットミル粉砕は、窒素等の不活性雰囲気で粉砕する。粉砕は、例えば加湿雰囲気のジェットミルで粉砕してもよい。好ましくは、粉末粒子を小さくする（平均粒径が２．０μｍ以上１０．０μｍ以下、さらに好ましくは、平均粒径が２．０μｍ以上８．０μｍ以下、さらに好ましくは、平均粒径が２．０μｍ以上４．５μｍ以下、さらに好ましくは平均粒径が２．０μｍ以上３．５μｍ以下）。粉末粒子を小さくすることにより、高いH_{cJ}を得ることができる。

【００５０】

Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結体の作製に用いる微粉末は、前記の各条件を満たしていれば、一種類の原料合金（単一原料合金）から作製してもよいし、二種類以上の原料合金を用いてそれらを混合する方法（ブレンド法）によって作製してもよい。

【００５１】

好ましい実施形態では、磁場中プレスによって上記の微粉末から粉末成形体を作製した後、この粉末成形体を焼結する。磁場中プレスでは酸化抑制の観点から不活性ガス雰囲気中によるプレスまたは湿式プレスによって粉末成形体を形成する方が好ましい。特に湿式プレスは粉末成形体を構成する粒子の表面が油剤などの分散剤によって被覆され、大気中の酸素や水蒸気との接触が抑制される。このため、プレス工程の前後あるいはプレス工程中に粒子が大気によって酸化されることを防止または抑制することができる。このため、酸素含有量を所定範囲内に制御しやすい。磁場中湿式プレスを行う場合、微粉末に分散媒を混ぜたスラリーを用意し、湿式プレス装置の金型におけるキャビティに供給して磁場中でプレス成形する。

【００５２】

次に、成形体を焼結してＲ－Ｔ－Ｂ系焼結体を得る。成形体の焼結は、好ましくは、温度９５０℃～１１５０℃の範囲で行なう。焼結による酸化を防止するために、雰囲気の残留ガスは、ヘリウム、アルゴンなどの不活性ガスにより置換され得る。得られた、焼結体に対しては、熱処理を行ってもよい。熱処理温度、熱処理時間などの熱処理条件は、公知の条件を採用することができる。

【００５３】

なお、Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結体は成形などを行わず、例えば特開２００６－１９５２１などに記載されているＰＬＰ（Ｐｒｅｓｓ－Ｌｅｓｓ　Ｐｒｏｃｅｓｓ）法など、公知の方法を用いてＲ－Ｔ－Ｂ系焼結体を準備してもよい。

【００５４】

（Ｒ－Ｍ合金を準備する工程）

本実施形態では、ＲとＭを含む合金をＲ－Ｔ－Ｂ系焼結体の表面から内部に拡散させる。このため、これらの拡散の対象とする元素を含有するＲ－Ｍ合金を準備する。

【００５５】

まず、Ｒ－Ｍ合金の組成について説明する。Ｒ－Ｍ合金におけるＲは希土類元素であり、ＮｄおよびＰｒからなる群から選択される１種または２種を含む。好ましくは、ＲがＲ－Ｍ合金全体の６５質量％以上１００質量％以下であり、ＭはＧａ、Ｃｕ、Ｚｎ、ＡｌおよびＳｉからなる群から選択される少なくとも１種であり、Ｃｕを必ず含む。好ましくは、Ｒ－Ｍ合金全体の０質量％以上３５質量％以下である。また、好ましくは、ＲはＰｒを必ず含有し、ＲにおけるＰｒの含有量はＲ－Ｍ合金全体の６５質量％以上８６質量％以下が好ましい。好ましくは、Ｒ－Ｍ合金のＰｒの含有量は、Ｒ全体の５０質量％以上であり、更に好ましくは、Ｒ－Ｍ合金のＰｒの含有量は、Ｒ全体の６５質量％以上である。Ｐｒを含有することにより粒界相中の拡散が進みやすくなるため、粒界拡散を促進させることが可能となり、より高いH_{cJ}を得ることができる。

【００５６】

Ｒ－Ｍ合金の形状およびサイズは、特に限定されず、任意である。Ｒ－Ｍ合金は、フィルム、箔、粉末、ブロック、粒子などの形状をとり得る。

【００５７】

次にＲ－Ｍ合金の作製方法を説明する。
【００５８】
Ｒ－Ｍ合金は、一般的なＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石の製造方法において採用されている原料合金の作製方法、例えば、金型鋳造法やストリップキャスト法や単ロール超急冷法（メルトスピニング法）やアトマイズ法などを用いて準備することができる。また、Ｒ－Ｍ合金は、前記によって得られた合金をピンミルなどの公知の粉砕手段によって粉砕されたものであってもよい。
【００５９】
（拡散工程）
前述の方法によって準備したＲ－Ｔ－Ｂ系焼結体の表面の少なくとも一部に、Ｒ－Ｍ合金の少なくとも一部を接触させ、真空又は不活性ガス雰囲気中、７００℃以上９５０℃以下の温度で第一の熱処理を実施することにより、ＲやＭを磁石内部に拡散させる拡散工程を行う。これにより、Ｒ－Ｍ合金からＲやＭを含む液相が生成し、その液相を形成する元素がＲ－Ｔ－Ｂ系焼結体中の粒界を経由して焼結体表面から内部に拡散導入される。
【００６０】
第一の熱処理温度が７００℃未満であると、例えばＲおよびＭを含む液相量が少なすぎて高い$Ｈ_{ｃＪ}$を得ることが出来ない。一方、９５０℃を超えると$Ｈ_{ｃＪ}$が低下する可能性がある。好ましくは、８５０℃以上９５０℃以下である。より高い$Ｈ_{ｃＪ}$を得ることができる。また、好ましくは、第一の熱処理（７００℃以上９５０℃以下）が実施されたＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石を前記第一の熱処理を実施した温度から５℃／分以上の冷却速度で３００℃まで冷却した方が好ましい。より高い$Ｈ_{ｃＪ}$を得ることができる。さらに好ましくは、３００℃までの冷却速度は１５℃／分以上である。
【００６１】
第一の熱処理は、Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結体表面に、任意形状のＲ－Ｍ合金を配置し、公知の熱処理装置を用いて行うことができる。例えば、Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結体表面をＲ－Ｍ合金の粉末層で覆い、第一の熱処理を行うことができる。例えば、Ｒ－Ｍ合金を分散媒中に分散させたスラリーをＲ－Ｔ－Ｂ系焼結体表面に塗布した後、分散媒を蒸発させＲ-Ｍ合金とＲ－Ｔ－Ｂ系焼結体とを接触させてもよい。なお、分散媒として、アルコール（エタノール等）、アルデヒドおよびケトンを例示できる。また、例えば、公知のスパッタ装置などにより、Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結体表面にＲ－Ｍ合金を成膜させ、第一の熱処理を行うことができる。また、重希土類元素ＲＨは、Ｒ－Ｍ合金からだけでなく、Ｒ－Ｍ合金と共に重希土類元素ＲＨのフッ化物、酸化物、酸フッ化物等をＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石表面に配置することにより重希土類元素ＲＨを導入してもよい。重希土類元素ＲＨのフッ化物、酸化物、酸フッ化物としては、例えば、$ＴｂＦ_３$、$ＤｙＦ_３$、$Ｔｂ_２Ｏ_３$、$Ｄｙ_２Ｏ_３$、ＴｂＯＦ、ＤｙＯＦが挙げられる。
【００６２】
またＲ－Ｍ合金は、Ｒ－Ｍ合金の少なくとも一部がＲ－Ｔ－Ｂ系焼結体の少なくとも一部に接触していれば、その配置位置は特に問わない。
【００６３】
（第二の熱処理を実施する工程）
第一の熱処理が実施されたＲ－Ｔ－Ｂ系焼結体に対して、真空又は不活性ガス雰囲気中、４００℃以上７５０℃以下で、かつ、前記第一の熱処理を実施する工程で実施した温度よりも低い温度で熱処理を行う。本開示においてこの熱処理を第二の熱処理という。第二の熱処理を行うことにより、高い$Ｈ_{ｃＪ}$を得ることができる。第二の熱処理が第一の熱処理よりも高い温度であったり、第二の熱処理の温度が４００℃未満および７５０℃を超えたりする場合は、高い$Ｈ_{ｃＪ}$を得られない可能性がある。
【実施例】
【００６４】
Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結体が表１のＮｏ．Ａ～Ｄに示す組成となるように各元素の原料を秤量し、ストリップキャスティング法により合金を作製した。得られた各合金を水素粉砕法に

より粗粉砕し粗粉砕粉を得た。次に、得られた粗粉砕粉に、潤滑剤としてステアリン酸亜鉛を粗粉砕粉１００質量％に対して０．０４質量％添加、混合した後、気流式粉砕機（ジェットミル装置）を用いて、窒素気流中で乾式粉砕し、平均粒径$Ｄ_{５０}$が３μｍの微粉砕粉（合金粉末）を得た。

【００６５】

前記微粉砕粉に、潤滑剤としてステアリン酸亜鉛を微粉砕粉１００質量％に対して０．０５質量％添加、混合した後磁界中で成形し成形体を得た。なお、成形装置には、磁界印加方向と加圧方向とが直交するいわゆる直角磁界成形装置（横磁界成形装置）を用いた。得られた成形体を、真空中、１０６０℃以上１０９０℃以下（サンプル毎に焼結による緻密化が十分起こる温度を選定）で４時間焼結し、Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結体を得た。得られたＲ－Ｔ－Ｂ系焼結体の密度は７．５Ｍｇ／$ｍ^{３}$以上であった。得られたＲ－Ｔ－Ｂ系焼結体の成分の結果を表１に示す。なお、表１における各成分は、高周波誘導結合プラズマ発光分光分析法（ＩＣＰ－ＯＥＳ）を使用して測定した。また、Ｏ（酸素）含有量は、ガス融解－赤外線吸収法によるガス分析装置を使用して測定した。以下、Ｒ－Ｍ合金及びＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石の成分の結果も同様である。

【００６６】

【表１】

No.	R－T－B系焼結体の組成（質量%）								
	Nd	Pr	B	Co	Al	Cu	Ga	Zr	Fe
A	23.0	5.5	0.85	0.11	0.02	0.04	0.52	0.11	bal.
B	22.9	5.4	0.88	0.11	0.04	0.04	0.53	0.11	bal.
C	22.9	5.4	0.87	0.11	0.03	0.04	0.01	0.11	bal.
D	22.9	5.4	0.95	0.11	0.04	0.04	0.52	0.11	bal.

【００６７】

Ｒ－Ｍ合金がおよそ表２のＮｏ．ａ、ｂに示す組成となるように各元素の原料を秤量しそれらの原料を溶解して、単ロール超急冷法（メルトスピニング法）によりリボンまたはフレーク状の合金を得た。得られた合金を、乳鉢を用いてアルゴン雰囲気中で粉砕した後、目開き４２５μｍの篩を通過させ、Ｒ－Ｍ合金を準備した。得られたＲ－Ｍ合金の組成を表２に示す。

【００６８】

【表２】

No.	R-M合金の組成（質量%）		
	Pr	Cu	Ga
a	90	10	0
b	90	3	7

【００６９】

表１のＮｏ．Ａ～ＤのＲ－Ｔ－Ｂ系焼結体を切断、研削加工し、７．４ｍｍ×７．４ｍｍ×７．４ｍｍの立方体とした。次に、Ｎｏ．Ａ～ＤのＲ－Ｔ－Ｂ系焼結体の全面にＲ－Ｔ－Ｂ系焼結体１００質量％に対してＲ－Ｍ合金（Ｎｏ．ａまたはｂ）を３質量％散布した。拡散工程は、５０Ｐａに制御した減圧アルゴン中で、９００℃で４時間第一の熱処理を行った後室温まで冷却を行った。これにより、第一の熱処理が実施されたＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石を得た。更に、第一の熱処理が実施されたＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石に対して、５０

Ｐａに制御した減圧アルゴン中で、５００℃で１時間第二の熱処理を行った後室温まで冷却を行いＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石（Ｎｏ．１～４）を作製した。

【００７０】

得られたＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石におけるＲ量（本実験例ではＮｄ＋Ｐｒ）、酸素量（Ｏ）、炭素量（Ｃ）および（（［Ｎｄ］＋［Ｐｒ］＋［Ｃｅ］＋［Ｄｙ］＋［Ｔｂ］）－１２（［Ｏ］＋［Ｃ］）の値を表３に示す。なお、Ｎｏ．１～３はいずれも本開示の式１を満足していることを確認した。また、得られたＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石に機械加工を施し、サンプルを７ｍｍ×７ｍｍ×７ｍｍに加工し、ＢＨトレーサにより測定した。測定結果を表４に示す。また、Ｎｏ．１～４の磁石サンプルの各々について、いずれかの表面と平行で、かつ磁石の中央部付近を通る面で切断し、その断面において、磁石表面から磁石中央部付近までをＥＤＸにより線分析（ライン分析）をおこなった。全てのサンプルで、ＰｒおよびＣｕ濃度がそれぞれ磁石表面から深さ２００μｍまでの範囲に向かって漸減している（徐々に濃度が低くなっている）ことを確認した。

【００７１】

また、Ｎo.１～４のＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石の上記断面を、それぞれＦＥ－ＴＥＭ／ＷＤＸ・ＥＤＸ（電界放出型走査型電子顕微鏡／波長分散型Ｘ線分析・エネルギー分散型Ｘ線分析）により分析した。このとき、表面から拡散された元素の影響を排除するために、表面から３０００μｍ以上離れた位置で分析を行った。図３Ａおよび図３Ｂは、Ｎｏ．１のＲ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石の断面ＴＥＭ写真である。

【００７２】

まず、倍率１００万倍で断面をＴＥＭで観察し、隣接する２つの結晶粒１２の間の二粒子粒界相１４ａのＴＥＭ像を取得した（図３Ａ）。なお、複数の二粒子粒界が確認できる場合は、いずれか１つの二粒子粒界を選択する。そして、隣接する２つの結晶粒１２のいずれか一方の結晶粒１２と、その結晶粒１２と接する二粒子粒界相１４ａとの界面近傍を、さらに倍率８００万倍で断面をＴＥＭ観察した（図３Ｂ）。図３ＢのＴＥＭ写真から分かるように、二粒子粒界１４ａは、結晶粒１２よりも白っぽく写っている第１相１４１と、結晶粒１２と第１相１４１との間に、黒く写っている帯状の第２相１４２とを含んでいた。

【００７３】

Ｎｏ．２および３も同様にＴＥＭ観察して、二粒子粒界相１４ａが、第１相１４１と第２相１４２とを含んでいることを確認した。Ｎｏ．４に関しては、二粒子粒界相１４ａは第１相１４１のみから構成されており、第２相１４２を確認することができなかった。

【００７４】

Ｎｏ．１～３について、ＴＥＭ像で特定した第１相１４１および第２相１４２の各々についてＥＤＸで点分析して、各相に含まれる元素量を特定した。Ｎｏ．４については、第１相１４１について、ＥＤＸで点分析した。点分析の結果を表４に示す。Ｎｏ．１～３のいずれも、第２相１４２のＣｕ濃度が、第１相１４１のＣｕ濃度よりも高いことが確認された。表４に示す様に、本開示の条件を満たすＮｏ．１～３は、比較例（Ｎｏ．４）と比べて大きなB_rの低下はなく、高いH_{cJ}が得られた。

【００７５】

【表３】

No.	素材	拡散源	R－T－B系焼結磁石の組成（質量%）											式1
			Nd	Pr	B	Co	Al	Cu	Ga	Zr	Fe	O	C	
1	A	a	22.3	7.6	0.84	0.10	0.05	0.33	0.49	0.11	68.2	0.10	0.12	27.3
2	B	a	22.1	6.8	0.87	0.10	0.04	0.22	0.41	0.11	69.4	0.10	0.12	26.3
3	C	b	22.1	7.3	0.86	0.10	0.04	0.11	0.20	0.11	69.2	0.10	0.12	26.8
4	D	a	22.1	6.5	0.95	0.10	0.04	0.21	0.41	0.11	69.6	0.11	0.12	25.9

【００７６】

【表４】

No.	分析位置	点分析結果（質量%）								Br	HcJ
		Fe	Nd	Pr	Co	Cu	Ga	O	F	T	kA/m
1	第1相	40.9	23.6	26.6	0.7	0.5	4.3	2.0	1.4	1.41	1779
	第2相	27.5	24.2	29.6	0.9	2.5	1.9	2.4	11.0		
2	第1相	46.2	21.7	24.6	0.5	0.6	4.0	1.6	0.8	1.43	1742
	第2相	32.4	21.3	27.0	1.4	3.6	3.7	3.0	7.6		
3	第1相	42.3	23.0	26.5	0.5	0.6	4.0	2.0	1.1	1.45	1625
	第2相	37.8	23.3	28.5	0.3	2.2	2.1	2.9	2.9		
4	-	32.5	24.0	29.6	0.6	1.9	1.8	3.4	6.2	1.47	1317

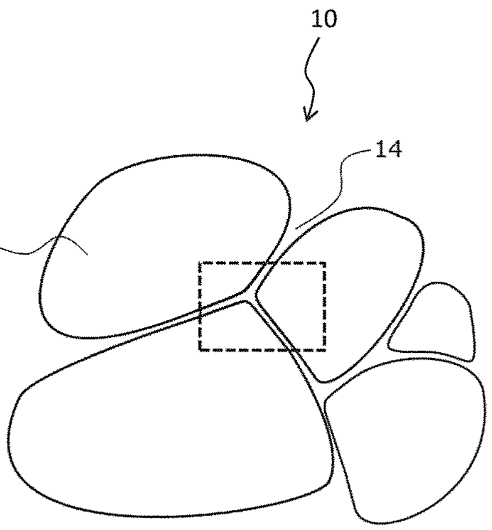
【符号の説明】

【００７７】

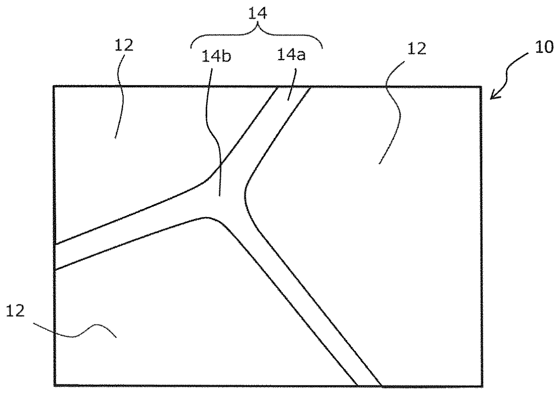
１０・・・Ｒ－Ｔ－Ｂ系焼結磁石
１２・・・結晶粒
１４・・・粒界相
１４ａ・・・二粒子粒界相
１４１・・・第１相
１４２・・・第２相
１４ｂ・・・粒界三重点

【図面】

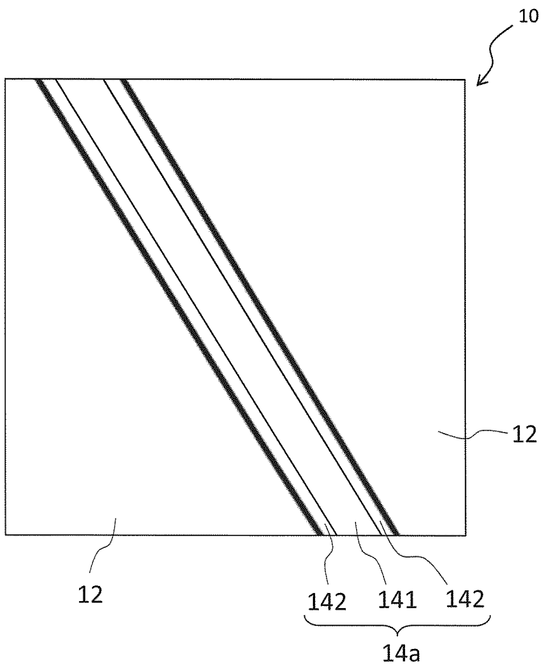
【図１Ａ】



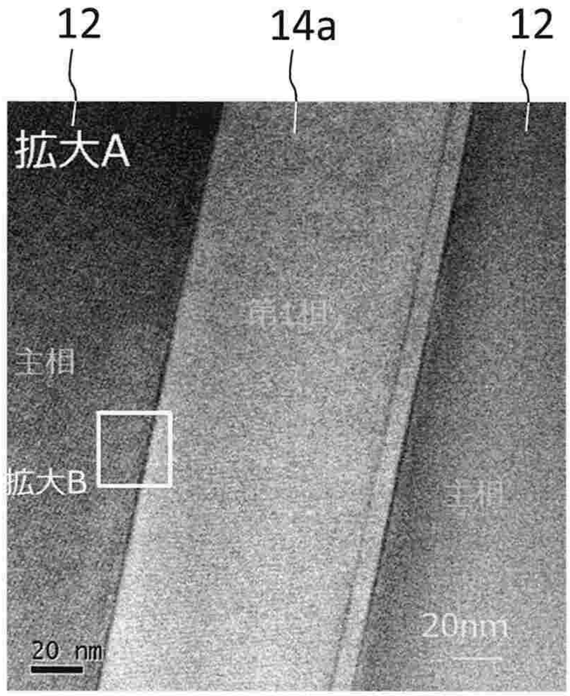
【図１Ｂ】



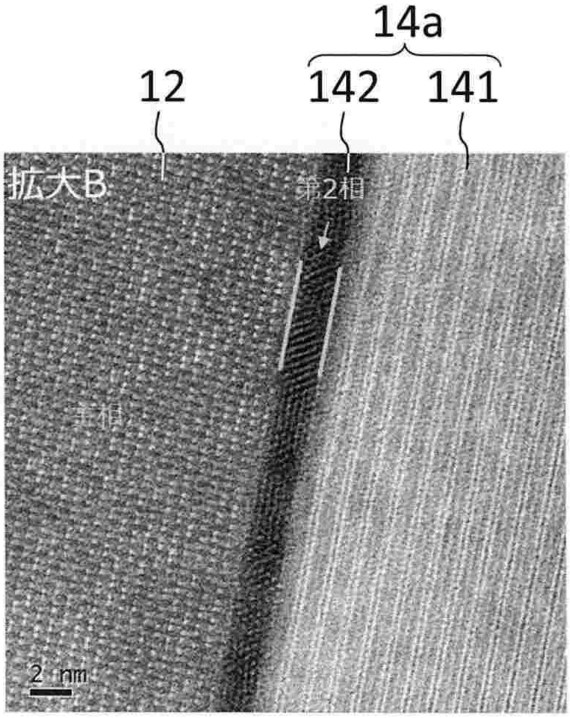
【図２】


10
12
12
142
141
142
14a

【図３Ａ】


12
14a
12
拡大A
第1相
主相
拡大B
主相
20 nm
20nm

【図３Ｂ】


14a
12
142
141
拡大B
第2相
主相
2 nm