



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I755151 B

(45)公告日：中華民國 111 (2022) 年 02 月 11 日

(21)申請案號：109139796

(22)申請日：中華民國 109 (2020) 年 11 月 13 日

(51)Int. Cl. : H01F1/057 (2006.01)

H01F41/02 (2006.01)

(30)優先權：2019/11/21 中國大陸

201911150985.5

(71)申請人：大陸商廈門鎢業股份有限公司 (中國大陸) XIAMEN TUNGSTEN CO., LTD. (CN)
中國大陸大陸商福建省長汀金龍稀土有限公司 (中國大陸) FUJIAN CHANGTING GOLDEN
DRAGON RARE-EARTH CO., LTD. (CN)

中國大陸

(72)發明人：付剛 FU,GANG (CN)；黃佳瑩 HUANG,JIAYING (CN)；黃吉祥 HUANG,JIXIANG
(CN)；權其琛 QUAN,QICHEN (CN)

(74)代理人：童沈源

審查人員：陳文傑

申請專利範圍項數：17 項 圖式數：2 共 48 頁

(54)名稱

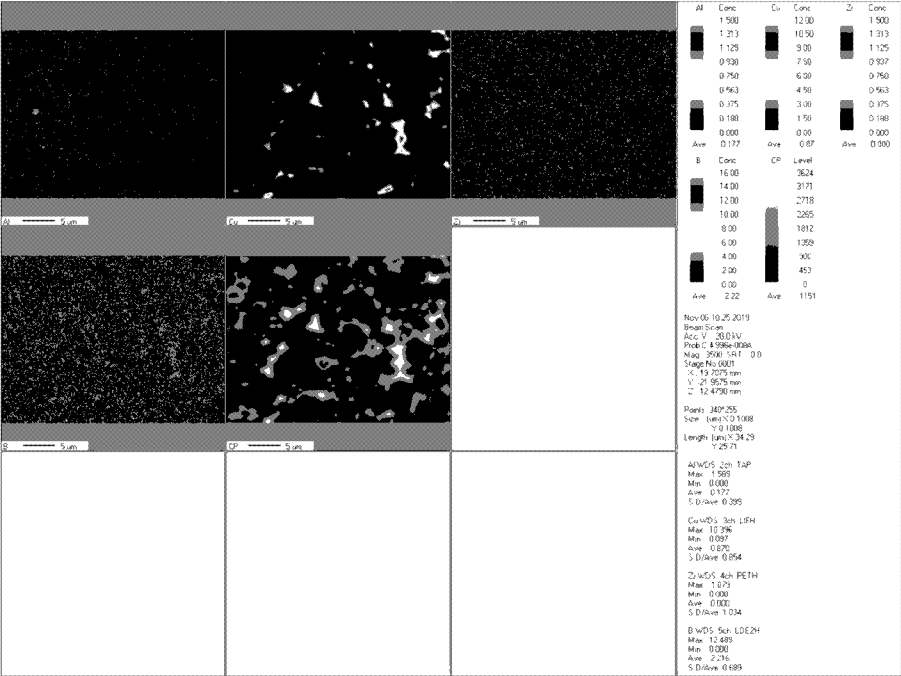
R-T-B 系永磁材料及其製備方法和應用

(57)摘要

本發明公開了一種 R-T-B 系永磁材料及其製備方法和應用。該 R-T-B 系永磁材料，其包括下述組分：R'：29.5-33.0 wt.%，所述 R' 包括 R 和 Pr、Nd；其中：所述 R 為除 Pr、Nd 外的稀土元素，所述 Pr 的含量 ≥ 8.85 wt.%，所述 Nd 和所述 R' 的質量比 < 0.5 ；N： > 0.05 wt.%、且 ≤ 4.1 wt.%，所述 N 為 Ti、Zr 或 Nb；B：0.90-1.2 wt.%；Fe：62.0-68.0 wt.%。本發明採用高 Pr 的含量的配方製得了矯頑力高、溫度係數穩定的燒結永磁體產品，採用本申請的配方能夠最大化的發揮出 Pr 的優勢，有效地降低了生產成本。

The present invention discloses an R-T-B series permanent magnetic material and a preparation method and application thereof. The RTB permanent magnet material includes the following components: R': 29.5-33.0 wt.%, the R' includes R, Pr, and Nd; wherein: R is a rare earth element other than Pr and Nd, The Pr content is ≥ 8.85 wt.%, the mass ratio of the Nd and the R' is < 0.5 ; N: > 0.05 wt.%, and ≤ 4.1 wt.%, and the N is Ti, Zr, or Nb; B: 0.90-1.2 wt.%; Fe: 62.0-68.0 wt.%. The present invention adopts a high Pr content formula to produce a sintered permanent magnet product with high coercivity and stable temperature coefficient, using the formula of the present application can maximize the advantages of Pr and effectively reduce production costs.

指定代表圖：



【圖2】



I755151

【發明摘要】

公告本

【中文發明名稱】 R-T-B系永磁材料及其製備方法和應用

【英文發明名稱】 R-T-B SERIES PERMANENT MAGNETIC MATERIAL AND

PREPARATION METHOD AND APPLICATION THEREOF

【中文】本發明公開了一種R-T-B系永磁材料及其製備方法和應用。該R-T-B系永磁材料，其包括下述組分：R'：29.5-33.0 wt.%，所述R'包括R和Pr、Nd；其中：所述R為除Pr、Nd外的稀土元素，所述Pr的含量 ≥ 8.85 wt.%，所述Nd和所述R'的質量比 < 0.5 ；N： > 0.05 wt.%、且 ≤ 4.1 wt.%，所述N為Ti、Zr或Nb；B：0.90-1.2 wt.%；Fe：62.0-68.0 wt.%。本發明採用高Pr的含量的配方製得了矯頑力高、溫度係數穩定的燒結永磁體產品，採用本申請的配方能夠最大化的發揮出Pr的優勢，有效地降低了生產成本。

【英文】The present invention discloses an R-T-B series permanent magnetic material and a preparation method and application thereof. The RTB permanent magnet material includes the following components: R': 29.5-33.0 wt.%, the R' includes R, Pr, and Nd; wherein: R is a rare earth element other than Pr and Nd, The Pr content is ≥ 8.85 wt.%, the mass ratio of the Nd and the R' is < 0.5 ; N: > 0.05 wt.%, and ≤ 4.1 wt.%, and the N is Ti, Zr, or Nb; B: 0.90-1.2 wt.%; Fe: 62.0-68.0 wt.%. The present invention adopts a high Pr content formula to produce a sintered permanent magnet product with high coercivity and stable temperature coefficient, using the formula of the present application can maximize the advantages of Pr and effectively reduce production costs.

【指定代表圖】 圖2

【代表圖之符號簡單說明】

無

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】 R-T-B系永磁材料及其製備方法和應用

【技術領域】

【0001】 本發明係有關一種R-T-B系永磁材料及其製備方法和應用。

【先前技術】

【0002】 自1979年由蘇聯科學家發現 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 以來，美國和日本的研究者率先對該物相的性能進行研究，目前由PrNd組成的物相(Pr、Nd的質量比為20:80或者25:75)已經應用於商業中進行燒結永磁體的生產，由於其具有高磁能積和高剩磁等優勢，目前已在電機、電聲器件、電腦硬碟驅動器(HDD)、軍工設備、人體核磁共振成像儀(MRI)、微波通訊技術、控制器、儀錶等方面受到了廣泛應用。

【0003】 隨著科學技術的進步，目前對Nd-Fe-B的性能提出了更高的要求，許多研究者通過加入大量的重稀土Dy或Tb來實現釹鐵硼材料性能的提升，但過多的採用重稀土會使得材料成本急劇增加，同時重稀土資源相對較少。

【0004】 因此，如何利用資源豐富的元素製得具有高矯頑力、高剩磁、穩定的溫度係數的釹鐵硼材料為本領域亟需解決的技術問題。

【發明內容】

【0005】 本發明所要解決的技術問題在於克服現有技術中燒結釹鐵硼磁鐵性能提升過度依賴於重稀土元素的缺陷，而提供了一種R-T-B系永磁材料及其製備方法和應用。本發明通過提高Pr的含量製得了矯頑力高、溫度係數穩定的燒

結永磁體產品。本發明所採用的PrNd為伴生稀土，含量較為豐富，採用本申請的配方能夠最大化的發揮出Pr的優勢，有效地降低了生產成本。

【0006】發明人在研發過程中發現，Pr所形成的物相易導致R-T-B系永磁材料的溫度係數惡化，發明人付出創造性勞動後發現，在提高Pr含量的同時添加Ti、Zr或Nb等金屬，能夠有效解決高Pr所帶來的溫度係數惡化的問題。

【0007】本發明提供了一種R-T-B系永磁材料，以質量百分比計，其包括下述組分：

【0008】R'：29.5-33.0 wt.%，所述R'包括R和Pr、Nd；其中：所述R為除Pr、Nd外的稀土元素，所述Pr的含量 ≥ 8.85 wt.%，所述Nd和所述R'的質量比 < 0.5 ；

【0009】N： > 0.05 wt.%、且 ≤ 4.1 wt.%，所述N為Ti、Zr或Nb；

【0010】B：0.90-1.2 wt.%；

【0011】Fe：62.0-68.0 wt.%。

【0012】本發明中，所述R'的含量優選為30-33 wt.%，例如30.63-32.52 wt.%，再例如30.63 wt.%、30.72 wt.%、30.74 wt.%、30.75 wt.%、30.76 wt.%、30.77 wt.%、30.78 wt.%、30.8 wt.%、30.81 wt.%、30.82 wt.%、30.83 wt.%、30.84 wt.%、30.9 wt.%、30.91 wt.%、30.93 wt.%、30.94 wt.%、30.97 wt.%、30.98 wt.%、30.99 wt.%、31 wt.%、31.02 wt.%、31.03 wt.%、31.05 wt.%、31.14 wt.%、31.4 wt.%、31.41 wt.%、31.44 wt.%、31.46 wt.%、31.54 wt.%、31.55 wt.%、31.56 wt.%、31.94 wt.%、32.03 wt.%或32.52 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0013】本發明中，所述Pr的含量優選為 ≥ 17.00 wt.%，更優選為17.00-20.00 wt.%，例如17.08 wt.%、17.11 wt.%、17.12 wt.%、17.13 wt.%、17.14 wt.%、17.16 wt.%、17.18 wt.%、17.19 wt.%、18.13 wt.%、18.14 wt.%、18.15 wt.%、

18.16 wt.%、18.17 wt.%、18.19 wt.%、19.09 wt.%、19.12 wt.%、19.13 wt.%、19.14 wt.%、19.15 wt.%、19.16 wt.%或19.17 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0014】 本發明中，所述Nd的含量優選為11-15 wt.%，例如11.32-14.35 wt.%，再例如11.32 wt.%、11.35 wt.%、11.36 wt.%、11.37 wt.%、11.39 wt.%、11.61 wt.%、11.62 wt.%、11.63 wt.%、11.64 wt.%、11.65 wt.%、11.84 wt.%、11.85 wt.%、11.87 wt.%、12.29 wt.%、12.32 wt.%、12.36 wt.%、12.37 wt.%、12.39 wt.%、12.58 wt.%、12.62 wt.%、12.63 wt.%、12.65 wt.%、12.66 wt.%、12.72 wt.%、12.82 wt.%、12.83 wt.%、12.84 wt.%、12.85 wt.%、13.32 wt.%、13.59 wt.%、13.64 wt.%、13.65 wt.%、13.67 wt.%、13.68 wt.%、13.78 wt.%、13.79 wt.%、13.83 wt.%、13.84 wt.%、13.89 wt.%或14.35 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0015】 本發明中，所述Nd和所述R'的質量比優選為 ≥ 0.3 且 < 0.5 ，例如0.36-0.45，再例如0.36、0.37、0.38、0.39、0.41、0.42、0.44或0.45。

【0016】 本發明中，所述R'中還可包括R，所述R為除Pr、Nd外的稀土元素。

【0017】 其中，所述R的種類優選為Y和/或Ce。

【0018】 其中，所述R的含量優選為0-1 wt.%，例如0.25 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中質量百分比。

【0019】 本發明中，所述R'中還可包括重稀土元素RH。

【0020】 其中，所述RH的種類可為Dy和/或Tb。

【0021】 其中，所述RH的含量可為本領域常規的含量，優選為1.0-2.5wt.%，例如1.12 wt.%、1.18 wt.%、1.53 wt.%、1.58 wt.%、1.9 wt.%、2.02 wt.%或2.43 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中質量百分比。

【0022】 其中，所述RH和所述R的質量比優選為 <0.253 ，例如0.04-0.08，再例如0.04、0.05、0.06或0.08。

【0023】 當所述RH中含有Tb時，所述Tb的含量優選為0.5-2wt.%，例如1.9 wt.%、1.12 wt.%、1.18 wt.%或1.58 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中質量百分比。

【0024】 當所述RH中含有Dy時，所述Dy的含量優選為1.5-2.5 wt.%，例如1.53 wt.%、2.43 wt.%或2.02 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中質量百分比。

【0025】 本發明中，所述N的含量優選為0.1-4.01 wt.%，例如0.13 wt.%、0.24 wt.%、0.26 wt.%、0.28 wt.%、0.29 wt.%、0.3 wt.%、0.31 wt.%、0.32 wt.%、0.34 wt.%、0.35 wt.%、0.39 wt.%、0.4 wt.%、0.42 wt.%、0.44 wt.%、0.48 wt.%、0.5 wt.%、0.6 wt.%、0.99 wt.%、1.01 wt.%、1.49 wt.%、1.51 wt.%、1.99 wt.%、2.01 wt.%、2.98 wt.%、2.99 wt.%或4.01 wt.%，更優選為0.1-0.5 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0026】 當所述N為Zr時，所述Zr的含量優選為0.20-4.01wt.%，例如0.24 wt.%、0.28 wt.%、0.30 wt.%、0.31 wt.%、0.32 wt.%、0.42 wt.%、0.99 wt.%、1.49 wt.%、1.99 wt.%、2.99 wt.%或4.01 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0027】 當所述N為Ti時，所述Ti的含量優選為 ≥ 0.25 wt.%，更優選為0.25-4.01 wt.%，進一步優選為0.25-0.50 wt.%，例如0.28 wt.%、0.29 wt.%、0.31 wt.%、0.32 wt.%、0.34 wt.%、0.35 wt.%、0.39 wt.%、0.4 wt.%、0.42 wt.%、0.44 wt.%、0.48 wt.%、0.5 wt.%、0.6 wt.%、1.01 wt.%、1.51 wt.%、2.01 wt.%、2.98 wt.%或4.01 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0028】 當所述N為Nb時，所述Nb的含量優選為 ≥ 0.1 wt. %，更優選為0.1-0.35 wt. %，例如0.13 wt. %、0.26 wt. %、0.28 wt. %、0.29 wt. %、0.31 wt. %或0.32 wt. %，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0029】 本發明中，所述B的含量優選為0.9-1.0wt. %，例如0.91 wt. %、0.98 wt. %或0.99 wt. %，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0030】 本發明中，所述Fe的含量優選為62.3-68.0 wt. %，例如62.34 wt. %、62.87 wt. %、62.98 wt. %、63.01 wt. %、63.49 wt. %、63.67 wt. %、63.71 wt. %、63.78 wt. %、63.98 wt. %、64.00 wt. %、64.15 wt. %、64.21 wt. %、64.78 wt. %、65.02 wt. %、65.24 wt. %、65.27 wt. %、66.03 wt. %、66.18 wt. %、66.20 wt. %、66.52 wt. %、66.55 wt. %、66.57 wt. %、66.74 wt. %、66.82 wt. %、66.92 wt. %、66.93 wt. %、67.01 wt. %、67.02 wt. %、67.04 wt. %、67.15 wt. %、67.19 wt. %、67.23 wt. %、67.24 wt. %、67.27 wt. %、67.29 wt. %、67.31 wt. %、67.32 wt. %、67.35 wt. %、67.37 wt. %、67.40 wt. %、67.42 wt. %、67.43 wt. %、67.47 wt. %、67.48 wt. %、67.53 wt. %、67.54 wt. %、67.56 wt. %、67.62 wt. %、67.70 wt. %、67.71 wt. %、67.75 wt. %、67.81 wt. %、67.84 wt. %、67.94 wt. %、67.95 wt. %或67.98 wt. %，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0031】 本發明中，所述R-T-B系永磁材料中還可包括Cu、Al、Ga和Co中的一種或多種。

【0032】 其中，所述Cu的含量可為本領域常規的含量，優選為 ≥ 0.30 wt. %，更優選為0.30-0.55 wt. %，例如0.33 wt. %、0.34 wt. %、0.37 wt. %、0.38 wt. %、0.39 wt. %、0.4 wt. %、0.41 wt. %、0.42 wt. %、0.44 wt. %、0.45 wt. %、0.49 wt. %、0.51 wt. %或0.52 wt. %，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中質量百分比。

【0033】 其中，所述Al的含量可為本領域常規的含量，優選為0-0.8wt. %、但不為0，更優選為0.041-0.70 wt. %，例如0.041 wt. %、0.043 wt. %、0.1 wt. %、

0.2 wt.%、0.31 wt.%、0.32 wt.%、0.38 wt.%、0.41 wt.%、0.48 wt.%、0.49 wt.%、0.50 wt.%、0.58 wt.%、0.59 wt.%、0.60 wt.%、0.61 wt.%、0.62 wt.%、0.69 wt.%或0.70 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中質量百分比。

【0034】 其中，所述Ga的含量可為本領域常規的含量，優選為0.0-0.85 wt.%、但不為0，更優選為0.21-0.81 wt.%，例如0.21 wt.%、0.23 wt.%、0.38 wt.%、0.39 wt.%、0.40 wt.%、0.41 wt.%、0.42 wt.%、0.43 wt.%、0.58 wt.%、0.59 wt.%或0.81 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中質量百分比。

【0035】 其中，所述Co的含量可為本領域常規的含量，優選為0.0-3.0 wt.%、但不為0，更優選為0.4-3.0 wt.%，例如0.49 wt.%、0.51 wt.%、0.95 wt.%、1.1 wt.%、2.35 wt.%、2.4 wt.%、2.42 wt.%、2.45 wt.%、2.51 wt.%或2.53 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0036】 本發明中，所述R-T-B系永磁材料中還可包括常規添加元素M，例如Ni、Zn、Ag、In、Sn、Bi、V、Cr、Hf、Ta和W中的一種或多種。

【0037】 其中，所述M的種類優選為Cr。

【0038】 其中，所述M的含量優選為0-0.15 wt.%、但不為0，例如0.05 wt.%或0.12 wt.%。

【0039】 在本發明一優選實施方式中，所述R-T-B系永磁材料包括下述組分：R'：29.5-33.0 wt.%， $\text{Pr} \geq 17.00$ wt.%，N：0.1-4.01 wt.%，Cu：0.30-0.55 wt.%，B：0.9-1.0wt.%，Fe：62.0-68.0 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0040】 當所述的N為Zr時，所述N的含量優選為0.25-0.35 wt.%，所述Cu的含量優選為0.30-0.41 wt.%，例如Zr 0.32 wt.%、Cu 0.33 wt.%，Zr 0.31 wt.%、Cu 0.41 wt.%，或者，Zr 0.28 wt.%、Cu 0.39 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0041】 當所述的N為Ti時，所述N的含量優選為0.30-0.60 wt.%，所述Cu的含量優選為0.34-0.51 wt.%。所述Ti的含量優選為0.31 wt.%、0.32 wt.%、0.34 wt.%、0.4 wt.%、0.42 wt.%、0.44 wt.%、0.5 wt.%或0.6 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。所述Cu的含量優選為0.34 wt.%、0.38 wt.%、0.4 wt.%、0.41 wt.%、0.44 wt.%、0.45 wt.%或0.51 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0042】 當所述的N為Nb時，所述N的含量優選為0.25-0.35 wt.%，所述Cu的含量優選為0.40-0.55 wt.%。所述Nb的含量優選為0.28 wt.%、0.29 wt.%、0.31 wt.%或0.32 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。所述Cu的含量優選為0.37 wt.%、0.38 wt.%、0.41 wt.%、0.42 wt.%、0.49wt.%或0.52 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0043】 在本發明一優選實施方式中，所述R-T-B系永磁材料包括下述組分：R'：29.5-33.0 wt.%，Pr $\geq$ 17.00 wt.%，N：0.2-0.6 wt.%，Al：0-0.8wt.%、但不為0，B：0.9-1.0wt.%，Fe：62.0-68.0 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0044】 當所述的N為Zr時，所述N的含量優選為0.25-0.35 wt.%，所述Al的含量優選為0.40-0.70 wt.%。所述Zr的含量優選為0.28 wt.%、0.31 wt.%或0.32 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。所述Al的含量優選為0.49 wt.%、0.5 wt.%、0.59 wt.%或0.62 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0045】 當所述的N為Ti時，所述N的含量優選為0.25-0.60 wt.%，所述Al的含量優選為0.041-0.7 wt.%。所述Ti的含量優選為0.28 wt.%、0.31 wt.%、0.32 wt.%、0.34 wt.%、0.35 wt.%、0.39 wt.%、0.42 wt.%、0.44 wt.%、0.5 wt.%或0.6 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。所述Al的含量優

選為0.041 wt.%、0.043 wt.%、0.1 wt.%、0.2 wt.%、0.31 wt.%、0.32 wt.%、0.38 wt.%、0.41 wt.%、0.48 wt.%、0.6 wt.%或0.62 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0046】 當所述的N為Nb時，所述N的含量優選為0.25-0.35 wt.%，所述Al的含量優選為0.60-0.80 wt.%。所述Nb的含量優選為0.28 wt.%、0.29 wt.%、0.31 wt.%或0.32 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。所述Al的含量優選為0.58 wt.%、0.59 wt.%、0.61 wt.%、0.62 wt.%、0.69 wt.%或0.7 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0047】 在本發明一優選實施方式中，所述R-T-B系永磁材料包括下述組分：R'：29.5-33.0 wt.%，Pr $\geq$ 17.00 wt.%，N：0.2-0.6 wt.%，Ga：0-0.81wt.%、但不為0，B：0.9-1.0wt.%，Fe：62.0-68.0 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0048】 當所述的N為Zr時，所述N的含量優選為0.25-0.35 wt.%，所述Ga的含量優選為0.20-0.45 wt.%。所述Zr的含量優選為0.28 wt.%、0.31 wt.%或0.32 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。所述Ga的含量優選為0.21 wt.%、0.41 wt.%或0.42 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0049】 當所述的N為Ti時，所述N的含量優選為0.25-0.50 wt.%，所述Ga的含量優選為0.2-0.81 wt.%。所述Ti的含量優選為0.28 wt.%、0.29 wt.%、0.31 wt.%、0.34 wt.%或0.42 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。所述Ga的含量優選為0.23 wt.%、0.39 wt.%、0.41 wt.%、0.58 wt.%或0.81 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0050】 當所述的N為Nb時，所述N的含量優選為0.25-0.35 wt.%，所述Ga的含量優選為0.30-0.60 wt.%。所述Nb的含量優選為0.28 wt.%、0.29 wt.%、0.31

wt.%或0.32 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。所述Ga的含量優選為0.38 wt.%、0.4 wt.%、0.41 wt.%、0.42 wt.%、0.43 wt.%、0.58 wt.%或0.59 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0051】 在本發明一優選實施方式中，所述R-T-B系永磁材料包括下述組分：R'：29.5-33.0 wt.%， $\text{Pr} \geq 17.00$ wt.%，N：0.2-0.6 wt.%，Cu：0.30-0.55 wt.%，Al：0-0.8wt.%、但不為0，B：0.9-1.0wt.%，Fe：62.0-68.0 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0052】 其中，所述N的含量優選為0.28-0.6 wt.%，例如0.28 wt.%、0.29 wt.%、0.31 wt.%、0.32 wt.%、0.34 wt.%、0.42 wt.%、0.44 wt.%、0.5 wt.%或0.6 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0053】 其中，所述Cu的含量優選為0.33-0.52 wt.%，例如0.33 wt.%、0.34 wt.%、0.37 wt.%、0.38 wt.%、0.39 wt.%、0.4 wt.%、0.41 wt.%、0.42 wt.%、0.45 wt.%、0.51 wt.%或0.52 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0054】 其中，所述Al的含量優選為0.043-0.69 wt.%，例如0.043 wt.%、0.1 wt.%、0.2 wt.%、0.32 wt.%、0.41 wt.%、0.48 wt.%、0.49 wt.%、0.58 wt.%、0.59 wt.%、0.61 wt.%、0.62 wt.%或0.69 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0055】 在本發明一優選實施方式中，所述R-T-B系永磁材料包括下述組分：R'：29.5-33.0 wt.%， $\text{Pr} \geq 17.00$ wt.%，N：0.25-0.35 wt.%，Cu：0.30-0.55 wt.%，Al：0.45-0.7 wt.%，Ga：0.2-0.6 wt.%，Co：0.5-3.0 wt.%，B：0.9-1.0wt.%，Fe：62.0-68.0 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0056】 其中，所述N的含量優選為0.28-0.6 wt.%，例如0.28 wt.%、0.29 wt.%、0.31 wt.%或0.32 wt.%，百分比是指所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0057】 其中，所述Cu的含量優選為0.33-0.52 wt.%，例如0.33 wt.%、0.37 wt.%、0.38 wt.%、0.39 wt.%、0.41 wt.%、0.42 wt.%或0.52 wt.%，百分比是指所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0058】 其中，所述Al的含量優選為0.49-0.69 wt.%，例如0.49 wt.%、0.58 wt.%、0.59 wt.%、0.61 wt.%、0.62 wt.%或0.69 wt.%，百分比是指所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0059】 其中，所述Ga的含量優選為0.20-0.69 wt.%，例如0.21 wt.%、0.38 wt.%、0.39 wt.%、0.4 wt.%、0.41 wt.%、0.42 wt.%、0.43 wt.%或0.59 wt.%，百分比是指所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0060】 其中，所述Co的含量優選為0.5-2.6 wt.%，例如0.51 wt.%、1.1 wt.%、2.35 wt.%、2.4 wt.%、2.42 wt.%、2.45 wt.%、2.51 wt.%或2.53 wt.%，百分比是指所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0061】 在本發明一優選實施方式中，所述R-T-B系永磁材料包括下述組分：R'：29.5-33.0 wt.%， $\text{Pr} \geq 17.00$ wt.%，N：0.25-0.35 wt.%，Cr：0-0.15 wt.%，Cu：0.30-0.55 wt.%，Al：0.45-0.7 wt.%，Ga：0.2-0.6 wt.%，Co：0.5-3.0 wt.%，B：0.9-1.0wt.%，Fe：62.0-68.0 wt.%，百分比是指所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0062】 在本發明一優選實施方式中，所述R-T-B系永磁材料包括下述組分：R'：29.5-33.0 wt.%， $\text{Pr} \geq 17.00$ wt.%，RH：1.0-2.5wt.%，N：0.25-0.35 wt.%，Cu：0.30-0.55 wt.%，Al：0.45-0.7 wt.%，Ga：0.2-0.6 wt.%，Co：0.5-3.0 wt.%，

B：0.9-1.0wt.%，Fe：62.0-68.0 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0063】 本發明還提供了一種R-T-B系永磁材料的原料組合物，以質量百分比計，其包括下述組分：

【0064】 R'：29.5-32.0 wt.%，所述R'包括R和Pr、Nd；其中：所述R為除Pr、Nd外的稀土元素，所述Pr的含量 ≥ 8.85 wt.%，所述Nd和所述R'的質量比 < 0.5 ；

【0065】 N： > 0.05 wt.%、且 ≤ 4.0 wt.%，所述N為Ti、Zr或Nb；

【0066】 B：0.90-1.2 wt.%；

【0067】 Fe：62.0-68.0 wt.%。

【0068】 本發明中，所述R'的含量優選為30.0-32.0 wt.%，更優選為30.7-32.0 wt.%，例如30.7 wt.%、30.8 wt.%、31.0 wt.%、31.5 wt.%或32.0 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0069】 本發明中，所述Pr的含量優選為 ≥ 17.15 wt.%，更優選為17.15-19.15 wt.%，例如17.15 wt.%、18.15 wt.%或19.15 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0070】 本發明中，所述Nd的含量優選為11.00-15.00 wt.%，更優選為11.35-14.35 wt.%，例如11.35 wt.%、11.65 wt.%、11.85 wt.%、12.35 wt.%、12.65 wt.%、12.85 wt.%、13.35 wt.%、13.65 wt.%、13.85 wt.%或14.35 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0071】 本發明中，所述Nd和所述R'的質量比優選為 ≥ 0.3 且 < 0.5 ，優選為0.35-0.46，例如0.35、0.36、0.37、0.38、0.39、0.41、0.42、0.43、0.44、0.45或0.46。

【0072】 本發明中，所述R'中還可包括R，所述R為除Pr、Nd外的稀土元素。

【0073】 其中，所述R的種類優選為Y和/或Ce。

【0074】 其中，所述R的含量優選為0-1 wt.%，例如0.3 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0075】 本發明中，所述R'中還可包括重稀土元素RH。

【0076】 其中，所述RH的種類可為Dy和/或Tb。

【0077】 其中，所述RH的含量可為本領域常規的含量，優選為1.0-2.5wt.%，例如1.2 wt.%、1.5 wt.%、2.0 wt.%或2.5 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0078】 其中，所述RH和所述R'的質量比優選為 <0.253 ，例如0.04-0.08，再例如0.04、0.05、0.06或0.08。

【0079】 當所述RH中含有Tb時，所述Tb的含量優選為0.5-2wt.%，例如1.2 wt.%或2.0 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0080】 當所述RH中含有Dy時，所述Dy的含量優選為1.5-2.5 wt.%，例如1.5 wt.%或2.5 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0081】 本發明中，所述N的含量優選為0.15-4 wt.%，例如0.15 wt.%、0.25 wt.%、0.3 wt.%、0.35wt.%、0.4 wt.%、0.45wt.%、0.5wt.%、0.6wt.%、1.0wt.%、1.5wt.%、2.0wt.%、3.0wt.%或4.0wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0082】 當所述N為Zr時，所述Zr的含量優選為0.25-4.0wt.%，例如0.25 wt.%、0.3 wt.%、0.4 wt.%、1.0wt.%、1.5wt.%、2.0wt.%、3.0wt.%或4.0wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0083】 當所述N為Ti時，所述Ti的含量優選為 ≥ 0.3 wt.%，例如0.30 wt.%、0.35wt.%、0.40 wt.%、0.45 wt.%、0.50 wt.%、0.60 wt.%、1.0wt.%、1.5wt.%、2.0wt.%、3.0wt.%或4.0wt.%，更優選為0.30-0.50wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【0084】 當所述N為Nb時，所述Nb的含量優選為0.15-0.30 wt.%，例如0.15 wt.%、0.25wt.%或0.30 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0085】 本發明中，所述B的含量優選為 ≥ 0.985 wt.%，例如0.985 wt.%或0.99 wt.%。

【0086】 本發明中，所述Fe的含量優選為62.81-67.92 wt.%，例如62.81 wt.%、62.92 wt.%、63.31 wt.%、63.70 wt.%、63.77 wt.%、63.81 wt.%、64.02 wt.%、64.11 wt.%、64.22 wt.%、64.72 wt.%、65.02 wt.%、65.22 wt.%、65.52 wt.%、66.02 wt.%、66.18 wt.%、66.22 wt.%、66.52 wt.%、66.62 wt.%、66.72 wt.%、66.77 wt.%、66.92 wt.%、66.97 wt.%、67.02 wt.%、67.17 wt.%、67.22 wt.%、67.24 wt.%、67.27 wt.%、67.32 wt.%、67.37 wt.%、67.38 wt.%、67.42 wt.%、67.52 wt.%、67.53 wt.%、67.57 wt.%、67.62 wt.%、67.67 wt.%、67.72 wt.%、67.80 wt.%、67.82 wt.%、67.85 wt.%、67.87 wt.%或67.92 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0087】 本發明中，所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中還可包括Al、Cu、Ga和Co中的一種或多種。

【0088】 其中，所述Cu的含量可為本領域常規的含量，優選為 ≥ 0.34 wt. %，更優選為0.34-0.5 wt. %，例如0.34 wt. %、0.38 wt. %、0.40 wt. %、0.45 wt. %或0.50 wt. %，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0089】 其中，所述Al的含量可為本領域常規的含量，優選為0.042-0.7 wt. %，例如0.042 wt. %、0.1 wt. %、0.2 wt. %、0.3 wt. %、0.4 wt. %、0.5 wt. %、0.6 wt. %或0.7 wt. %，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0090】 其中，所述Ga的含量可為本領域常規的含量，優選為0.0-0.8 wt. %、但不為0，更優選為0.2-0.8 wt. %，例如0.2 wt. %、0.25 wt. %、0.4 wt. %、0.6 wt. %或0.8 wt. %，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0091】 其中，所述Co的含量可為本領域常規的含量，優選為0.0-3.0 wt. %、但不為0，更優選為0.5-2.5 wt. %，例如0.5 wt. %、1.0 wt. %或2.5 wt. %，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0092】 本發明中，所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中還可包括常規添加元素M，例如Ni、Zn、Ag、In、Sn、Bi、V、Cr、Hf、Ta和W中的一種或多種。

【0093】 其中，所述M的種類優選為Cr。

【0094】 其中，所述M的含量優選為0-0.15 wt. %、但不為0，例如0.05 wt. %或0.12 wt. %，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0095】 在本發明一優選實施方式中，所述R-T-B系永磁材料包括下述組分：R'：29.5-32.0 wt. %， $\text{Pr} \geq 17.15$ wt. %，N：0.3-0.6 wt. %，Cu：0.34-0.55 wt. %，

B：0.9-1.0wt.%，Fe：62.0-68.0 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0096】 當所述的N為Zr時，所述N的含量優選為0.25-0.35 wt.%，所述Cu的含量優選為0.34-0.40 wt.%，例如Zr 0.30 wt.%、Cu 0.34 wt.%，或者，Zr 0.30 wt.%、Cu 0.40 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0097】 當所述的N為Ti時，所述N的含量優選為0.30-0.60 wt.%，所述Cu的含量優選為0.34-0.5 wt.%。所述Ti的含量優選為0.3 wt.%、0.35 wt.%、0.4 wt.%、0.45 wt.%、0.5 wt.%或0.6 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。所述Cu的含量優選為0.34 wt.%、0.38 wt.%、0.4 wt.%、0.45 wt.%或0.5 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0098】 當所述的N為Nb時，所述N的含量優選為0.25-0.35 wt.%，所述Cu的含量優選為0.4-0.5 wt.%。所述Nb的含量優選為0.30 wt.%，所述Cu的含量優選為0.4 wt.%或0.5 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0099】 在本發明一優選實施方式中，所述R-T-B系永磁材料包括下述組分：R'：29.5-32.0 wt.%，Pr $\geq$ 17.15 wt.%，N：0.2-0.6 wt.%，Al：0-0.8wt.%、但不為0，B：0.9-1.0wt.%，Fe：62.0-68.0 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0100】 當所述的N為Zr時，所述N的含量優選為0.25-0.35 wt.%，所述Al的含量優選為0.5-0.6 wt.%。所述Zr的含量優選為0.3 wt.%，所述Al的含量優選為0.5 wt.%或0.6 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0101】 當所述的N為Ti時，所述N的含量優選為0.30-0.60 wt.%，所述Al的含量優選為0.042-0.6 wt.%。所述Ti的含量優選為0.3 wt.%、0.35 wt.%、0.4 wt.%、0.45 wt.%、0.5 wt.%或0.6 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。所述Al的含量優選為0.042 wt.%、0.1 wt.%、0.2 wt.%、0.3 wt.%、0.4 wt.%、0.5 wt.%或0.6 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0102】 當所述的N為Nb時，所述N的含量優選為0.25-0.35 wt.%，所述Al的含量優選為0.60-0.70 wt.%。所述Nb的含量優選為0.30 wt.%，所述Al的含量優選為0.6 wt.%或0.7 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0103】 在本發明一優選實施方式中，所述R-T-B系永磁材料包括下述組分：R'：29.5-32.0 wt.%， $\text{Pr} \geq 17.15$ wt.%，N：0.3-0.4 wt.%，Ga：0.2-0.8wt.%，B：0.9-1.0wt.%，Fe：62.0-68.0 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0104】 當所述的N為Zr時，所述N的含量優選為0.25-0.35 wt.%，所述Ga的含量優選為0.2-0.4 wt.%。所述Zr的含量優選為0.3wt.%，所述Ga的含量優選為0.2 wt.%或0.4 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0105】 當所述的N為Ti時，所述N的含量優選為0.3-0.4 wt.%，所述Ga的含量優選為0.25-0.8 wt.%。所述Ti的含量優選為0.3 wt.%、0.35 wt.%或0.4 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。所述Ga的含量優選為0.25 wt.%、0.4 wt.%、0.6 wt.%或0.8 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0106】 當所述的N為Nb時，所述N的含量優選為0.25-0.35 wt.%，所述Ga的含量優選為0.40-0.60 wt.%。所述Nb的含量優選為0.3 wt.%，所述Ga的含量優選為0.4 wt.%、或0.6 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0107】 在本發明一優選實施方式中，所述R-T-B系永磁材料包括下述組分：R'：29.5-32.0 wt.%， $\text{Pr} \geq 17.15$ wt.%，N：0.2-0.6 wt.%，Cu：0.30-0.5 wt.%，Al：0-0.8wt.%、但不為0，B：0.9-1.0wt.%，Fe：62.0-68.0 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0108】 其中，所述N的含量優選為0.25-0.3 wt.%，例如0.3 wt.%、0.35 wt.%、0.4 wt.%、0.45 wt.%、0.5 wt.%或0.6 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0109】 其中，所述Cu的含量優選為0.34-0.52 wt.%，例如0.34 wt.%、0.38 wt.%、0.4 wt.%、0.45 wt.%或0.5 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0110】 其中，所述Al的含量優選為0.042-0.7 wt.%，例如0.042 wt.%、0.1 wt.%、0.2 wt.%、0.3 wt.%、0.4 wt.%、0.5 wt.%、0.6 wt.%或0.7 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0111】 在本發明一優選實施方式中，所述R-T-B系永磁材料包括下述組分：R'：29.5-32.0 wt.%， $\text{Pr} \geq 17.15$ wt.%，N：0.25-0.35 wt.%，Cu：0.3-0.5 wt.%，Al：0.5-0.7 wt.%，Ga：0.2-0.6 wt.%，Co：0.5-3.0 wt.%，B：0.9-1.0wt.%，Fe：62.0-68.0 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0112】 其中，所述N的含量優選為0.25-0.3 wt.%，例如0.3 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0113】 其中，所述Cu的含量優選為0.34-0.5 wt.%，例如0.34 wt.%、0.4 wt.%或0.5 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0114】 其中，所述Al的含量優選為0.5-0.7 wt.%，例如0.5 wt.%、0.6 wt.%或0.7 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0115】 其中，所述Ga的含量優選為0.2-0.6 wt.%，例如0.2 wt.%、0.4 wt.%或0.6 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0116】 其中，所述Co的含量優選為0.5-2.5 wt.%，例如0.5 wt.%、1.0 wt.%或2.5 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0117】 在本發明一優選實施方式中，所述R-T-B系永磁材料包括下述組分：R'：29.5-32.0 wt.%， $\text{Pr} \geq 17.15$ wt.%，N：0.25-0.35 wt.%，Cu：0.3-0.5 wt.%，Al：0.5-0.7 wt.%，Ga：0.2-0.6 wt.%，Co：0.5-3.0 wt.%，Cr：0-0.15 wt.%，B：0.9-1.0wt.%，Fe：62.0-68.0 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0118】 在本發明一優選實施方式中，所述R-T-B系永磁材料包括下述組分：R'：29.5-32.0 wt.%， $\text{Pr} \geq 17.15$ wt.%，RH：1.0-2.5wt.%，N：0.25-0.35 wt.%，Cu：0.30-0.55 wt.%，Al：0.45-0.7 wt.%，Ga：0.2-0.6 wt.%，Co：0.5-3.0 wt.%，B：0.9-1.0wt.%，Fe：62.0-68.0 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【0119】 本發明還提供了一種R-T-B系永磁材料的製備方法，其包括下述步驟：將所述R-T-B系永磁材料的原料組合物的熔融液經鑄造、氬破、成形、燒結和時效處理，即可。

【0120】 其中，所述R-T-B系永磁材料的原料組合物的熔融液可按本領域常規方法製得，例如：在高頻真空感應熔煉爐中熔煉，即可。所述熔煉爐的真空度可為 5×10^{-2} Pa。所述熔煉的溫度可為 1500°C 以下。

【0121】 其中，所述鑄造的工藝可為本領域常規的鑄造工藝，例如：在Ar氣氣氛中（例如 5.5×10^4 Pa的Ar氣氣氛下），以 $10^2^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ - $10^4^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 的速度冷卻，即可。

【0122】 其中，所述氬破的工藝可為本領域常規的氬破工藝，例如經吸氬、脫氬、冷卻處理，即可。

【0123】 所述吸氬可在氬氣壓力0.15MPa的條件下進行。

【0124】 所述脫氬可在邊抽真空邊升溫的條件下進行。

【0125】 其中，所述氬破後還可按本領域常規手段進行粉碎。所述粉碎的工藝可為本領域常規的粉碎工藝，例如氣流磨粉碎。

【0126】 所述氣流磨粉碎可在氧化氣體含量150ppm以下的氮氣氣氛下進行。所述氧化氣體指的是氧氣或水分含量。

【0127】 所述氣流磨粉碎的粉碎室壓力可為0.38MPa。

【0128】 所述氣流磨粉碎的時間可為3小時。

【0129】 所述粉碎後，可按本領域常規手段在粉體中添加潤滑劑，例如硬脂酸鋅。所述潤滑劑的添加量可為混合後粉末重量的0.10-0.15%，例如0.12%。

【0130】 其中，所述成形的工藝可為本領域常規的成形工藝，例如磁場成形法或熱壓熱變形法。

【0131】 其中，所述燒結的工藝可為本領域常規的燒結工藝，例如，在真空條件下（例如在 5×10^{-3} Pa的真空下），經預熱、燒結、冷卻，即可。

【0132】 所述預熱的溫度可為300-600°C。所述預熱的時間可為1-2h。優選地，所述預熱為在300°C和600°C的溫度下各預熱1h。

【0133】 所述燒結的溫度可為本領域常規的燒結溫度，例如1040-1090°C，再例如1050°C。

【0134】 所述燒結的時間可為本領域常規的燒結時間，例如2h。

【0135】 所述冷卻前可通入Ar氣體使氣壓達到0.1MPa。

【0136】 其中，優選地，所述燒結之後、所述時效處理之前，還進行晶界擴處理。

【0137】 所述晶界擴散處理可按本領域常規的工藝進行處理，例如，在所述R-T-B系永磁材料的表面蒸鍍、塗覆或濺射附著含有Tb的物質和/或含有Dy的物質，經擴散熱處理，即可。

【0138】 所述含有Tb的物質可為Tb金屬、含有Tb的化合物（例如含有Tb的氟化物）或合金。

【0139】 所述含有Dy的物質可為Dy金屬、含有Dy的化合物（例如含有Dy的氟化物）或合金。

【0140】 所述擴散熱處理的溫度可為800-900°C，例如850°C。

【0141】 所述擴散熱處理的時間可為12-48h，例如24h。

【0142】 其中，所述時效處理中，二級時效的處理溫度優選為500-650°C，例如600-650°C，再例如630°C。

【0143】 所述二級時效中，升溫至500-650°C的升溫速率優選3-5°C/min。所述升溫的起點可為室溫。

【0144】 所述二級時效的處理時間可為3h。

第20頁，共 34 頁(發明說明書)

【0145】 本發明還提供了一種採用上述方法製得的R-T-B系永磁材料。

【0146】 本發明還提供了一種R-T-B系永磁材料，其主相結晶顆粒為 $R''_2Fe_{14}B$ ，所述R''中包括Pr和Nd，所述Pr在所述R''中的質量分數 $\geq 60\%$ 。

【0147】 其中，優選地，所述R-T-B系永磁材料的組分如前所述。

【0148】 本發明還提供了一種所述R-T-B系永磁材料作為電子元器件的應用。

【0149】 其中，所述應用的領域可為汽車驅動領域、風電領域、伺服電機和家電領域（例如空調）。

【0150】 本發明中，所述室溫是指 $25^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$ 。

【0151】 在符合本領域常識的基礎上，上述各優選條件，可任意組合，即得本發明各較佳實例。

【0152】 本發明所用試劑和原料均市售可得。

【0153】 本發明的積極進步效果在於：

【0154】 （1）本發明中的稀土永磁體高矯頑力、高剩磁且溫度係數穩定，能夠有效解決高Pr（ $Pr \geq 8.85 \text{ wt.}\%$ ）所帶來的永磁體溫度係數惡化的問題。

【0155】 （2）本發明的稀土永磁體可在無重稀土的條件下，利用 $Pr_2Fe_{14}B$ 的強各向異性，實現高矯頑力，較常規工藝矯頑力提高近2kOe，實現了無重稀土產品性能的顯著提升，特別對於汽車驅動領域，風電領域等無重稀土產品。同時，在含有重稀土的產品中（例如伺服、空調等領域）有效節約重稀土的利用量，降低了生產成本。

【圖式簡單說明】

【0156】 圖1為實施例50中製得的磁體材料由FE-EPMA面掃描形成的Fe、Ga、Pr、Nd和Co分佈圖。

【0157】 圖2為實施例50中製得的磁體材料由FE-EPMA面掃描形成的Al、Cu、Zr和B分佈圖。

【實施方式】

【0158】 下面通過實施例的方式進一步說明本發明，但並不因此將本發明限制在所述的實施例範圍之中。下列實施例中未註明具體條件的實驗方法，按通常規方法和條件，或按照商品說明書選擇。下表中，wt.%是指組分在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比，“/”表示未添加該元素。“Br”為殘留磁通密度（remanence），“H_{cj}”為內稟矯頑力（intrinsic coercivity）。

【0159】 實施例及對比例中R-T-B系磁體材料的配方如表1所示。

【0160】 表1

編號	R 種類	R 用量	Nd wt. %	Pr wt. %	RII 種類	RII wt. %	Cu wt. %	Al wt. %	Ga wt. %	Co wt. %	N 種類	N wt. %	M 種類	M wt. %	B wt. %	Fe wt. %
實施例 1	/	/	13.85	17.15	/	/	/	/	/	/	Zr	0.25	/	/	0.9	餘量
實施例 2	/	/	13.85	17.15	/	/	/	/	/	/	Zr	0.3	/	/	0.9	餘量
實施例 3	/	/	12.85	18.15	/	/	/	/	/	/	Zr	0.3	/	/	0.9	餘量
實施例 4	/	/	11.85	19.15	/	/	/	/	/	/	Zr	0.3	/	/	0.985	餘量
實施例 5	/	/	13.85	17.15	/	/	/			/	Zr	0.4	/	/	0.985	餘量
實施例 6	/	/	11.85	19.15	/	/	/	/	/	/	Zr	1.0	/	/	0.985	餘量
實施例 7	/	/	11.85	19.15	/	/	/	/	/	/	Zr	1.5	/	/	0.985	餘量
實施例 8	/	/	11.85	19.15	/	/	/	/	/	/	Zr	2.0	/	/	0.985	餘量
實施例 9	/	/	12.85	18.15	/	/	/	/	/	/	Zr	3.0	/	/	0.985	餘量
實施例 10	/	/	11.85	19.15	/	/	/	/	/	/	Zr	4.0	/	/	0.985	餘量
實施例 11	/	/	13.65	17.15	/	/	/	/	/	/	Ti	0.3	/	/	0.985	餘量
實施例 12	/	/	12.65	18.15	/	/	/	/	/	/	Ti	0.4	/	/	0.985	餘量
實施例 13	/	/	11.65	19.15	/	/	/	/	/	/	Ti	0.5	/	/	0.985	餘量
實施例 14	/	/	11.65	19.15	/	/	/	/	/	/	Ti	1	/	/	0.985	餘量
實施例 15	/	/	11.65	19.15	/	/	/	/	/	/	Ti	1.5	/	/	0.985	餘量
實施例 16	/	/	11.65	19.15	/	/	/	/	/	/	Ti	2.0	/	/	0.985	餘量
實施例 17	/	/	11.65	19.15	/	/	/	/	/	/	Ti	3.0	/	/	0.985	餘量
實施例 18	/	/	11.65	19.15	/	/	/	/	/	/	Ti	4.0	/	/	0.985	餘量
實施例 19	/	/	14.35	17.15	/	/	/	/	/	/	Nb	0.3	/	/	0.985	餘量
實施例 20	/	/	13.35	18.15	/	/	/	/	/	/	Nb	0.15	/	/	0.985	餘量
實施例 21	/	/	12.35	19.15	/	/	/	/	/	/	Nb	0.25	/	/	0.985	餘量
實施例 22	/	/	13.85	17.15	/	/	0.34	/	/	/	Zr	0.3	/	/	0.985	餘量
實施例 23	/	/	12.65	18.15	/	/	0.4	/	/	/	Ti	0.3	/	/	0.985	餘量
實施例 24	/	/	13.65	17.15	/	/	0.45	/	/	/	Ti	0.4	/	/	0.985	餘量
實施例 25	/	/	11.65	19.15	/	/	0.5	/	/	/	Ti	0.5	/	/	0.985	餘量
實施例 26	/	/	12.35	19.15	/	/	0.5	/	/	/	Nb	0.3	/	/	0.985	餘量
實施例 27	/	/	11.65	19.15	/	/	/	0.042	/	/	Ti	0.3	/	/	0.985	餘量
實施例 28	/	/	11.65	19.15	/	/	/	0.1	/	/	Ti	0.5	/	/	0.985	餘量
實施例 29	/	/	11.65	19.15	/	/	/	0.2	/	/	Ti	0.6	/	/	0.985	餘量
實施例 30	/	/	12.65	18.15	/	/	/	0.3	/	/	Ti	0.35	/	/	0.985	餘量

實施例 31	/	/	13.65	17.15	/	/	/	0.4	/	/	Ti	0.40	/	/	0.985	餘量
實施例 32	/	/	13.85	17.15	/	/	/	0.5	/	/	Zr	0.3	/	/	0.985	餘量
實施例 33	/	/	12.65	18.15	/	/	/	0.6	/	/	Ti	0.3	/	/	0.985	餘量
實施例 34	/	/	12.35	19.15	/	/	/	0.7	/	/	Nb	0.3	/	/	0.985	餘量
實施例 35	/	/	13.85	17.15	/	/	/	/	0.2	/	Zr	0.3	/	/	0.985	餘量
實施例 36	/	/	13.65	17.15	/	/	/	/	0.25	/	Ti	0.3	/	/	0.985	餘量
實施例 37	/	/	12.65	18.15	/	/	/	/	0.4	/	Ti	0.3	/	/	0.985	餘量
實施例 38	/	/	11.65	19.15	/	/	/	/	0.6	/	Ti	0.35	/	/	0.985	餘量
實施例 39	/	/	11.65	19.15	/	/	/	/	0.8	/	Ti	0.40	/	/	0.985	餘量
實施例 40	/	/	12.35	19.15	/	/	/	/	0.6	/	Nb	0.3	/	/	0.985	餘量
實施例 41	/	/	13.85	17.15	/	/	/	/	/	0.5	Zr	0.3	/	/	0.985	餘量
實施例 42	/	/	12.65	18.15	/	/	/	/	/	1	Ti	0.3	/	/	0.985	餘量
實施例 43	/	/	12.35	19.15	/	/	/	/	/	2.5	Nb	0.3	/	/	0.985	餘量
實施例 44	/	/	13.65	17.15	/	/	0.34	0.042	/	/	Ti	0.3	/	/	0.985	餘量
實施例 45	/	/	13.65	17.15	/	/	0.38	0.1	/	/	Ti	0.5	/	/	0.985	餘量
實施例 46	/	/	13.65	17.15	/	/	0.40	0.2	/	/	Ti	0.6	/	/	0.985	餘量
實施例 47	/	/	12.65	18.15	/	/	0.4	0.3	/	/	Ti	0.35	/	/	0.985	餘量
實施例 48	/	/	13.65	17.15	/	/	0.45	0.4	/	/	Ti	0.4	/	/	0.985	餘量
實施例 49	/	/	11.65	19.15	/	/	0.5	0.5	/	/	Ti	0.45	/	/	0.985	餘量
實施例 50	/	/	13.85	17.15	/	/	0.34	0.5	0.2	0.5	Zr	0.3	/	/	0.985	餘量
實施例 51	/	/	12.65	18.15	/	/	0.4	0.6	0.4	1	Ti	0.3	/	/	0.985	餘量
實施例 52	/	/	12.35	19.15	/	/	0.5	0.7	0.6	2.5	Nb	0.3	/	/	0.985	餘量
實施例 53	/	/	12.85	18.15	/	/	0.4	0.6	0.4	2.5	Zr	0.3	Cr	0.05	0.985	餘量
實施例 54	/	/	12.85	18.15	/	/	0.4	0.6	0.4	2.5	Zr	0.3	Cr	0.12	0.985	餘量
實施例 55	/	/	12.35	18.15	Dy	1.5	0.4	0.6	0.4	2.5	Nb	0.3	/	/	0.99	餘量
實施例 56	/	/	11.35	18.15	Dy	2.5	0.4	0.6	0.4	2.5	Nb	0.3	/	/	0.99	餘量
實施例 57	/	/	11.35	18.15	Tb	2	0.4	0.6	0.4	2.5	Nb	0.3	/	/	0.99	餘量
實施例 58	/	/	11.35	18.15	Tb	1.2	0.4	0.6	0.4	2.5	Nb	0.3	/	/	0.99	餘量
實施例 59	Ce	0.3	11.35	18.15	Tb	1.2	0.4	0.6	0.4	2.5	Nb	0.3	/	/	0.99	餘量
對比例 1	/	/	13.85	17.15	/	/	/	/	/	/	Mo	2.16	/	/	0.985	餘量
對比例 2	/	/	13.85	17.15	/	/	/	/	/	/	Zr	0.02	/	/	0.985	餘量

【0161】 實施例1**【0162】 R-T-B系磁體材料製備方法如下：**

【0163】 (1) 熔煉過程：按表1所示配方，將配製好的原料放入氧化鋁製的坩堝中，在高頻真空感應熔煉爐中且在 5×10^{-2} Pa的真空中，以1500°C以下的溫度進行真空熔煉。

【0164】 (2) 鑄造過程：在真空熔煉後的熔煉爐中通入Ar氣體使氣壓達到5.5萬Pa後，進行鑄造，並以10²°C/秒-10⁴°C/秒的冷卻速度獲得急冷合金。

【0165】 (3) 氬破粉碎過程：在室溫下將放置急冷合金的氬破用爐抽真空，然後向氬破用爐內通入純度為99.9%的氬氣，維持氬氣壓力0.15MPa；充分吸氬後，邊抽真空邊升溫，充分脫氬；然後進行冷卻，取出氬破粉碎後的粉末。

【0166】 (4) 微粉碎工序：在氧化氣體含量150ppm以下的氬氣氣氛下以及在粉碎室壓力為0.38MPa的條件下，對氬破粉碎後的粉末進行3小時的氣流磨粉碎，得到細粉。氧化氣體指的是氧或水分。

【0167】 (5) 在氣流磨粉碎後的粉末中添加硬脂酸鋅，硬脂酸鋅的添加量為混合後粉末重量的0.12%，再用V型混料機充分混合。

【0168】 (6) 磁場成形過程：使用直角取向型的磁場成型機，在1.6T的取向磁場中以及在0.35ton/cm²的成型壓力下，將上述添加了硬脂酸鋅的粉末一次成形成邊長為25mm的立方體；一次成形後在0.2T的磁場中退磁。為了使一次成形後的成形體不接觸到空氣，將其進行密封，然後再使用二次成形機（等靜壓成形機），在1.3ton/cm²的壓力下進行二次成形。

【0169】 (7) 燒結過程：將各成形體搬至燒結爐進行燒結，燒結在 5×10^{-3} Pa的真空下以及在300°C和600°C的溫度下各保持1小時；然後，以1050°C的溫度燒結2小時；然後，之後通入Ar氣體使氣壓達到0.1MPa後，冷卻至室溫。

【0170】 (8) 時效處理過程：燒結體在高純度Ar氣中，以3-5°C/min的升溫速率從20°C升溫至630°C，以630°C溫度進行3小時熱處理後，冷卻至室溫後取出。

【0171】 實施例2-實施例59

【0172】 按表1所示配方配製原料，其他工藝條件均同實施例1，製得R-T-B系磁體材料。

【0173】 實施例60

【0174】 取實施例55獲得的燒結體，先進行晶界擴散處理，再進行時效處理。其中，時效處理工藝同實施例1，晶界擴散處理過程如下：

【0175】 將燒結體加工成直徑20mm、片料厚度小於3mm的磁鐵，厚度方向為磁場取向方向，表面潔淨化後，使用Dy氟化物配製成的原料，全面噴霧塗覆在磁鐵上，將塗覆後的磁鐵乾燥，在高純度Ar氣體氣氛中，在磁鐵表面濺射附著Tb元素的金屬，以850°C的溫度擴散熱處理24小時。冷卻至室溫。

【0176】 實施例61

【0177】 取實施例58獲得的燒結體，先進行晶界擴散處理，再進行時效處理。其中，時效處理工藝同實施例1，晶界擴散處理過程如下：

【0178】 將燒結體加工成直徑20mm、片料厚度小於7mm的磁鐵，厚度方向為磁場取向方向，表面潔淨化後，分別使用Tb氟化物配製成的原料，全面噴霧塗覆在磁鐵上，將塗覆後的磁鐵乾燥，在高純度Ar氣體氣氛中，在磁鐵表面濺射附著Tb元素的金屬，以850°C的溫度擴散熱處理24小時。冷卻至室溫。

【0179】 效果實施例

【0180】 測定實施例1-61、對比例1-3製得的R-T-B系磁體材料的磁性能和成分，通過FE-EPMA觀察其磁體的晶相結構。

【0181】（1）磁性能評價：磁體材料使用中國計量院的NIM-10000H型BH大塊稀土永磁無損測量系統進行磁性能檢測。下表2所示為磁性能檢測結果。

【0182】 表2

編號	Br (kGs)	Hcj (kOe)	80℃ Hcj 溫度係數絕 對值	150℃ Hcj 溫度係數絕 對值	180℃ Hcj 溫度係數絕 對值
實施例 1	14.03	17.62	0.685	/	/
實施例 2	14.05	17.65	0.678	/	/
實施例 3	14.01	17.88	0.675	/	/
實施例 4	13.96	18.13	0.669	/	/
實施例 5	13.86	17.72	0.681	/	/
實施例 6	13.78	18.65	0.663	/	/
實施例 7	13.64	18.99	0.660	/	/
實施例 8	13.49	19.33	0.655	/	/
實施例 9	13.23	19.75	0.651	/	/
實施例 10	12.93	20.69	0.642	/	/
實施例 11	14.08	17.67	0.683	/	/
實施例 12	14.03	17.95	0.673	/	/
實施例 13	13.95	18.21	0.667	/	/
實施例 14	13.83	18.82	0.663		
實施例 15	13.65	19.2	0.653		
實施例 16	13.55	19.54	0.648		
實施例 17	13.26	20.22	0.645		
實施例 18	12.98	20.9	0.628		
實施例 19	13.89	17.88	0.672	/	/
實施例 20	13.91	18.03	0.671	/	/
實施例 21	13.89	18.35	0.658	/	/
實施例 22	14.03	18.47	0.656	/	/
實施例 23	14.01	18.78	0.653	/	/
實施例 24	14.03	18.56	0.654		
實施例 25	13.98	19.10	0.646		
實施例 26	13.84	19.58	0.640	/	/
實施例 27	14.05	18.2	0.667	/	/
實施例 28	13.88	19.01	0.649	/	/
實施例 29	13.75	19.57	0.640	/	/

實施例 30	13.75	19.23	0.635	/	/
實施例 31	13.65	19.46	0.632	/	/
實施例 32	13.51	20.13	0.619	/	/
實施例 33	13.44	20.79	0.614	/	/
實施例 34	13.15	21.85	0.608	/	/
實施例 35	14.01	19.01	0.649	/	/
實施例 36	13.99	19.41	0.632	/	/
實施例 37	13.98	20.53	0.618	/	/
實施例 38	13.98	22.29	0.583	/	/
實施例 39	13.85	23.58	0.568	/	/
實施例 40	13.74	22.45	0.581	/	/
實施例 41	14.00	17.65	0.674	/	/
實施例 42	13.98	17.82	0.673	/	/
實施例 43	13.78	18.89	0.651	/	/
實施例 44	13.92	19.2	0.638	/	/
實施例 45	13.89	19.81	0.648	/	/
實施例 46	13.75	20.42	0.621	/	/
實施例 47	13.98	20.01	0.623	/	/
實施例 48	13.59	21.12	0.595	/	/
實施例 49	13.31	22.2	0.582	/	/
實施例 50	13.51	22.29	0.583	/	/
實施例 51	13.1	24.45	/	0.489	/
實施例 52	12.95	27.09	/	0.461	/
實施例 53	13.29	24.73	/	0.493	/
實施例 54	13.05	27.93	/	0.456	/
實施例 55	12.53	28.83	/	0.451	/
實施例 56	12.33	30.5	/	/	0.431
實施例 57	12.45	31.8	/	/	0.425
實施例 58	12.72	29.2	/	0.442	/
實施例 59	12.31	26.9	/	0.512	
實施例 60	12.40	34.85	/	/	0.401
實施例 61	12.21	40.52	/	/	0.372

對比例 1	13.60	19.65	0.638	/	/
對比例 2	14.11	16.46	0.701	/	/
對比例 3	14.2	14.8	0.771	/	/

【0183】（2）成分測定：各成分使用高頻電感耦合等離子體發射光譜儀 (ICP-OES)進行測定。下表3所示為成分檢測結果。

【0184】 表3

編號	Ce wt. %	Nd wt. %	Pr wt. %	RH 種 類	RH wt. %	Cu wt. %	Al wt. %	Ga wt. %	Co wt. %	N 種類	N wt. %	M 種 類	M wt. %	B wt. %	Fe wt. %
實施例 1	/	13.78	17.12	/	/	/	/	/	/	Zr	0.24	/	/	0.913	餘量
實施例 2	/	13.83	17.11	/	/	/	/	/	/	Zr	0.31	/	/	0.912	餘量
實施例 3	/	12.84	18.14	/	/	/	/	/	/	Zr	0.30	/	/	0.9120	餘量
實施例 4	/	11.87	19.13	/	/	/	/	/	/	Zr	0.32	/	/	0.983	餘量
實施例 5	/	13.84	17.19	/	/	/	/	/	/	Zr	0.42	/	/	0.987	餘量
實施例 6	/	11.84	19.148	/	/	/	/	/	/	Zr	0.99	/	/	0.985	餘量
實施例 7	/	11.851	19.148	/	/	/	/	/	/	Zr	1.49	/	/	0.988	餘量
實施例 8	/	11.852	19.147	/	/	/	/	/	/	Zr	1.99	/	/	0.985	餘量
實施例 9	/	12.852	18.151	/	/	/	/	/	/	Zr	2.99	/	/	0.985	餘量
實施例 10	/	11.854	19.152	/	/	/	/	/	/	Zr	4.01	/	/	0.988	餘量
實施例 11	/	13.59	17.13	/	/	/	/	/	/	Ti	0.31	/	/	0.989	餘量
實施例 12	/	12.62	18.13	/	/	/	/	/	/	Ti	0.42	/	/	0.988	餘量
實施例 13	/	11.65	19.13	/	/	/	/	/	/	Ti	0.48	/	/	0.987	餘量
實施例 14	/	11.64	19.14	/	/	/	/	/	/	Ti	1.01	/	/	0.985	餘量
實施例 15	/	11.63	19.13	/	/	/	/	/	/	Ti	1.51	/	/	0.988	餘量
實施例 16	/	11.652	19.151	/	/	/	/	/	/	Ti	2.01	/	/	0.985	餘量
實施例 17	/	11.651	19.149	/	/	/	/	/	/	Ti	2.98	/	/	0.985	餘量
實施例 18	/	11.648	19.148	/	/	/	/	/	/	Ti	4.01	/	/	0.988	餘量
實施例 19	/	14.35	17.19	/	/	/	/	/	/	Nb	0.29	/	/	0.984	餘量
實施例 20	/	13.32	18.14	/	/	/	/	/	/	Nb	0.13	/	/	0.985	餘量
實施例 21	/	12.32	19.12	/	/	/	/	/	/	Nb	0.26	/	/	0.989	餘量
實施例 22	/	13.83	17.19	/	/	0.33	/	/	/	Zr	0.32	/	/	0.985	餘量
實施例 23	/	12.63	18.19	/	/	0.41	/	/	/	Ti	0.31	/	/	0.988	餘量
實施例 24	/	13.65	17.13	/	/	0.44	/	/	/	Ti	0.4	/	/	0.985	餘量
實施例 25	/	11.62	19.12	/	/	0.51	/	/	/	Ti	0.5	/	/	0.985	餘量
實施例 26	/	12.32	19.09	/	/	0.49	/	/	/	Nb	0.29	/	/	0.988	餘量
實施例 27	/	11.61	19.14	/	/	/	0.041	/	/	Ti	0.28	/	/	0.989	餘量
實施例 28	/	11.648	19.148	/	/	/	0.1	/	/	Ti	0.5	/	/	0.985	餘量
實施例 29	/	11.647	19.148	/	/	/	0.2	/	/	Ti	0.6	/	/	0.985	餘量
實施例 30	/	12.66	18.14	/	/	/	0.31	/	/	Ti	0.35	/	/	0.985	餘量

實施例 31	/	13.68	17.16	/	/	/	0.38	/	/	Ti	0.39	/	/	0.988	餘量
實施例 32	/	13.83	17.08	/	/	/	0.5	/	/	Zr	0.31	/	/	0.989	餘量
實施例 33	/	12.58	18.19	/	/	/	0.6	/	/	Ti	0.28	/	/	0.985	餘量
實施例 34	/	12.29	19.15	/	/	/	0.7	/	/	Nb	0.32	/	/	0.989	餘量
實施例 35	/	13.79	17.18	/	/	/	/	0.21	/	Zr	0.31	/	/	0.985	餘量
實施例 36	/	13.64	17.16	/	/	/	/	0.23	/	Ti	0.28	/	/	0.985	餘量
實施例 37	/	12.66	18.17	/	/	/	/	0.41	/	Ti	0.29	/	/	0.988	餘量
實施例 38	/	11.64	19.14	/	/	/	/	0.58	/	Ti	0.34	/	/	0.985	餘量
實施例 39	/	11.64	19.14	/	/	/	/	0.81	/	Ti	0.42	/	/	0.985	餘量
實施例 40	/	12.39	19.17	/	/	/	/	0.58	/	Nb	0.31	/	/	0.985	餘量
實施例 41	/	13.89	17.16	/	/	/	/	/	0.49	Zr	0.28	/	/	0.989	餘量
實施例 42	/	12.66	18.16	/	/	/	/	/	0.95	Ti	0.31	/	/	0.989	餘量
實施例 43	/	12.39	19.16	/	/	/	/	/	2.4	Nb	0.28	/	/	0.988	餘量
實施例 44	/	13.64	17.13	/	/	0.34	0.043	/	0	Ti	0.32	/	/	0.985	餘量
實施例 45	/	13.648	17.147	/	/	0.38	0.1	/	0	Ti	0.5			0.988	餘量
實施例 46	/	13.651	17.148	/	/	0.40	0.2	/	0	Ti	0.6			0.985	餘量
實施例 47	/	12.65	18.15	/	/	0.4	0.32	/	0	Ti	0.34	/	/	0.988	餘量
實施例 48	/	13.67	17.14	/	/	0.45	0.41	/	0	Ti	0.42	/	/	0.989	餘量
實施例 49	/	11.63	19.14	/	/	0.51	0.48	/	0	Ti	0.44	/	/	0.984	餘量
實施例 50	/	13.84	17.14	/	/	0.33	0.49	0.21	0.51	Zr	0.32	/	/	0.985	餘量
實施例 51	/	12.72	18.19	/	/	0.41	0.62	0.39	1.1	Ti	0.31	/	/	0.989	餘量
實施例 52	/	12.39	19.16	/	/	0.52	0.69	0.59	2.4	Nb	0.29	/	/	0.985	餘量
實施例 53	/	12.82	18.15	/	/	0.41	0.62	0.41	2.53	Zr	0.31	Cr	0.05	0.988	餘量
實施例 54	/	12.83	18.16	/	/	0.39	0.59	0.42	2.45	Zr	0.28	Cr	0.12	0.985	餘量
實施例 55	/	12.36	18.14	Dy	1.53	0.37	0.61	0.41	2.4	Nb	0.32	/	/	0.989	餘量
實施例 56	/	11.36	18.15	Dy	2.43	0.42	0.59	0.40	2.35	Nb	0.31	/	/	0.985	餘量
實施例 57	/	11.37	18.13	Tb	1.9	0.41	0.59	0.43	2.4	Nb	0.29	/	/	0.988	餘量
實施例 58	/	11.32	18.19	Tb	1.12	0.41	0.59	0.41	2.53	Nb	0.29	/	/	0.987	餘量
實施例 59	0.25	11.35	18.15	Tb	1.18	0.42	0.62	0.38	2.4	Nb	0.28	/	/	0.99	餘量
實施例 60	/	12.37	18.13	Dy	2.02	0.38	0.62	0.42	2.42	Nb	0.31	/	/	0.988	餘量
實施例 61	/	11.39	18.17	Tb	1.58	0.41	0.58	0.42	2.51	Nb	0.28	/	/	0.988	餘量
對比例 1	/	13.79	17.13	/	/	/	/	/	/	Mo	2.13	/	/	0.989	餘量

對比例 2	/	13.83	17.11	/	/	/	/	/	/	Zr	0.01	/	/	0.989	餘量
對比例 3	/	25.3	6.1	/	/	/	/	/	/	Zr	0.29	/	/	0.987	餘量

【0185】（3）FE-EPMA檢測：將實施例50的磁體材料的垂直取向面進行拋光，採用場發射電子探針顯微分析儀（FE-EPMA）（日本電子株式會社（JEOL），8530F）檢測。首先通過FE-EPMA面掃描確定磁鐵中Pr、Cu、Al、B、Fe和Co等元素的分佈，然後通過FE-EPMA單點定量分析確定關鍵相中Pr、Cu、Al等元素的含量，測試條件為加速電壓15kv，探針束流50nA。

【0186】實施例50的配方所製得的磁鋼通過採用場發射電子探針顯微分析儀（FE-EPMA），主要對Fe、Ga、Pr、Nd、Co、Al、Cu、Zr和B元素進行分析：

【0187】①由圖1可知，Pr元素主要分佈在主相中，同時 $R_2Fe_{14}B$ 主相中Pr含量佔總稀土量的 $\geq 60\%$ ，晶界相中含有部分Pr，並以 α -Pr和/或 Pr_2O_3 的形式存在，此外晶界相中含有 α -Nd和/或 Nd_2O_3 。可見，Pr的加入所形成的 $(PrNd)_2Fe_{14}B$ 在主相中，磁體的剩磁會有略微的降低，此源於 $Pr_2Fe_{14}B$ 的飽和磁化強度略低；磁體的 H_{cj} 有所提升，源於 $Pr_2Fe_{14}B$ 磁晶各向異性場高於 $Nd_2Fe_{14}B$ 。此外，由於稀土具有易氧化的特性，因此，晶界處會有部分的 Pr_2O_3 和 Nd_2O_3 出現，其餘為 α 系列的稀土，所有的晶界的物相均為非磁性相，因此有效的隔絕了主相與主相間的去磁耦合作用，有助提高磁體的 H_{cj} 。

【0188】②由圖1、圖2可知，Al（80%-95%）分佈於主相中，在提高矯頑力的同時有降低剩磁的趨勢，此外，晶界處也有Al分佈。Cu（55%-68%）分佈於主相中，從EPMA的結果分析，在晶界處也有明顯的Cu元素存在，在晶界相中和晶間三角也有Cu元素分佈。晶界處的Cu元素與Al元素共同作用，增加了晶界與主相的潤濕性，使得晶界更加光滑，修復了晶界的缺陷，有效的提高矯頑

力。其中：晶界指兩個晶粒之間的界限，晶間三角區指三個及三個以上的晶粒所形成的空隙。

【0189】 ③由圖1、圖2可知，Zr彌散分佈於主相及晶界相中。 $\text{Pr}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 的熔點相對正常的 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 略低，同時三元共晶點的溫度也會有變化，且其溫度係數惡化。然而，高Pr配伍Zr元素後，Zr元素彌散分佈於各處，提高了磁鋼的耐溫性，利於燒結工藝的緻密化，彌補了Pr所帶來的溫度係數惡化的缺陷，可見，Zr元素與高Pr存在協同作用。同時，高熔點金屬Zr分佈於晶界處，對於磁鋼中磁疇的釘紮作用有較大的益處，在高溫下不容易退磁，有效提升了磁體的高溫性能。

【0190】 根據高Pr體系配伍Ti、Nb等元素後的磁體性能，可得Ti、Nb在高Pr磁體中具有和Zr元素相同/相似的分佈，與高Pr存在協同作用，製得了矯頑力高、溫度係數穩定的燒結永磁體。

【符號說明】

【0191】 無

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種R-T-B系永磁材料，其特徵在於，以質量百分比計，其包括下述組分：

R'：29.5-33.0 wt.%，所述R'包括R和Pr、Nd；其中：所述R為除Pr、Nd外的稀土元素，所述Pr的含量為17.00-19.17 wt.%，所述Nd和所述R'的質量比 <0.5 ；

N：Ti或Zr；

B：0.90-1.2 wt.%；

Fe：62.0-68.0 wt.%；

當所述N為Zr時，所述Zr的含量為1.49-4.01wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比；

當所述N為Ti時，所述Ti的含量為1.51-4.01 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比；

所述R-T-B系永磁材料的主相結晶顆粒為 $R''_2Fe_{14}B$ ，所述R''中包括Pr和Nd，所述Pr在所述R''中的質量分數 $\geq 60\%$ ；

所述R-T-B系永磁材料的主相及晶界相中分佈有Zr和Ti。

【請求項2】 如請求項1所述的R-T-B系永磁材料，其中，所述R'的含量為30-33 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比；

和/或，所述Pr的含量為17.08 wt.%、17.11 wt.%、17.12 wt.%、17.13 wt.%、17.14 wt.%、17.16 wt.%、17.18 wt.%、17.19 wt.%、18.13 wt.%、18.14 wt.%、18.15 wt.%、18.16 wt.%、18.17 wt.%、18.19 wt.%、19.09 wt.%、19.12 wt.%、19.13 wt.%、19.14 wt.%、19.15 wt.%、19.16 wt.%或19.17 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比；

和/或，所述Nd的含量為11-15 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比；

和/或，所述Nd和所述R'的質量比為 ≥ 0.3 且 < 0.5 ；

和/或，所述R的種類為Y和/或Ce；

和/或，所述R的含量為0-1 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中質量百分比；

和/或，所述R'中還包括重稀土元素RH；

和/或，所述B的含量為0.9-1.0wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比；

和/或，所述Fe的含量為62.3-68.0 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比；

和/或，所述R-T-B系永磁材料中還包括Cu；

和/或，所述R-T-B系永磁材料中還包括Al；

和/或，所述R-T-B系永磁材料中還包括Ga；

和/或，所述R-T-B系永磁材料中還包括Co；

和/或，所述R-T-B系永磁材料中還包括添加元素M，所述M為Ni、Zn、Ag、In、Sn、Bi、V、Cr、Hf、Ta和W中的一種或多種。

【請求項3】 如請求項2所述的R-T-B系永磁材料，其中，所述R'的含量為30.63-32.52 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比；

和/或，所述Nd的含量為11.32-14.35 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比；

和/或，所述Nd和所述R'的質量比為0.36-0.45；

和/或，所述R的含量為0.25 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中質量百分比；

和/或，所述RH的種類為Dy和/或Tb；

和/或所述RH的含量為1.0-2.5wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中質量百分比；

和/或，所述RH和所述R的質量比為 <0.253 ；

和/或，所述B的含量為0.91 wt.%、0.98 wt.%或0.99 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比；

和/或，當所述R-T-B系永磁材料中還包括Cu時，所述Cu的含量為 ≥ 0.30 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比；

和/或，當所述R-T-B系永磁材料中還包括Al時，所述Al的含量為0-0.8wt.%、但不為0，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比；

和/或，當所述R-T-B系永磁材料中還包括Ga時，所述Ga的含量為0.0-0.85 wt.%、但不為0，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比；

和/或，當所述R-T-B系永磁材料中還包括Co時，所述Co的含量為0.0-3.0 wt.%、但不為0，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比；

和/或，所述M的種類為Cr；

和/或，所述M的含量為0-0.15 wt.%、但不為0，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【請求項4】 如請求項3所述的R-T-B系永磁材料，其中，所述R'的含量為30.63 wt.%、30.72 wt.%、30.74 wt.%、30.75 wt.%、30.76 wt.%、30.77 wt.%、30.78 wt.%、30.8 wt.%、30.81 wt.%、30.82 wt.%、30.83 wt.%、30.84 wt.%、30.9 wt.%、30.91 wt.%、30.93 wt.%、30.94 wt.%、30.97 wt.%、30.98 wt.%、30.99 wt.%、31 wt.%、31.02 wt.%、31.03 wt.%、31.05 wt.%、31.14 wt.%、31.4 wt.%、31.41 wt.%、31.44 wt.%、31.46 wt.%、31.54 wt.%、31.55 wt.%、31.56 wt.%、31.94 wt.%、32.03 wt.%或32.52 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比；

第3頁，共 10 頁(發明申請專利範圍)

和/或，所述Nd的含量為11.32 wt.%、11.35 wt.%、11.36 wt.%、11.37 wt.%、11.39 wt.%、11.61 wt.%、11.62 wt.%、11.63 wt.%、11.64 wt.%、11.65 wt.%、11.84 wt.%、11.85 wt.%、11.87 wt.%、12.29 wt.%、12.32 wt.%、12.36 wt.%、12.37 wt.%、12.39 wt.%、12.58 wt.%、12.62 wt.%、12.63 wt.%、12.65 wt.%、12.66 wt.%、12.72 wt.%、12.82 wt.%、12.83 wt.%、12.84 wt.%、12.85 wt.%、13.32 wt.%、13.59 wt.%、13.64 wt.%、13.65 wt.%、13.67 wt.%、13.68 wt.%、13.78 wt.%、13.79 wt.%、13.83 wt.%、13.84 wt.%、13.89 wt.%或14.35 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比；

和/或，所述Nd和所述R'的質量比為0.36、0.37、0.38、0.39、0.41、0.42、0.44或0.45；

和/或，所述RH的含量為1.12 wt.%、1.18 wt.%、1.53 wt.%、1.58 wt.%、1.9 wt.%、2.02 wt.%或2.43 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中質量百分比；

和/或，所述RH和所述R的質量比為0.04-0.08；

和/或，當所述R-T-B系永磁材料中還包括Cu時，所述Cu的含量為0.30-0.55 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比；

和/或，當所述R-T-B系永磁材料中還包括Al時，所述Al的含量為0.041-0.70 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比；

和/或，當所述R-T-B系永磁材料中還包括Ga時，所述Ga的含量為0.21-0.81 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比；

和/或，當所述R-T-B系永磁材料中還包括Co時，所述Co的含量為0.4-3.0 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比；

和/或，所述M的含量為0.05 wt.%或0.12 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【請求項5】 如請求項4所述的R-T-B系永磁材料，其中，所述RH和所述R的質量比為0.04、0.05、0.06或0.08；

和/或，當所述RH中含有Tb時，所述Tb的含量為0.5-2wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中質量百分比；

和/或，當所述RH中含有Dy時，所述Dy的含量為1.5-2.5 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中質量百分比。

【請求項6】 一種用於製備如請求項1-5中任一項所述的R-T-B系永磁材料的原料組合物，其特徵在於，以質量百分比計，其包括下述組分：

R'：29.5-32.0 wt.%，所述R'包括R和Pr、Nd；其中：所述R為除Pr、Nd外的稀土元素，所述Pr的含量為17.15-19.15 wt.%，所述Nd和所述R'的質量比 < 0.5 ；

N：Ti或Zr；

B：0.90-1.2 wt.%；

Fe：62.0-68.0 wt.%；

當所述N為Zr時，所述Zr的含量為1.5-4.0wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比；

當所述N為Ti時，所述Ti的含量為1.5-4.01wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料中的質量百分比。

【請求項7】 如請求項6所述的用於製備所述R-T-B系永磁材料的原料組合物，其中，所述R'的含量為30.0-32.0 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比；

和/或，所述Nd的含量為11.00-15.00 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比；

和/或，所述Nd和所述R'的質量比為 ≥ 0.3 且 < 0.5 ；

和/或，所述R的種類為Y和/或Ce；

第5頁，共 10 頁(發明申請專利範圍)

和/或，所述R的含量為0-1 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比；

和/或，所述R'中還包括重稀土元素RH；

和/或，所述B的含量為 ≥ 0.985 wt.%；

和/或，所述Fe的含量為62.81-67.92 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比；

和/或，所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中還包括Cu；

和/或，所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中還包括Al；

和/或，所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中還包括Ga；

和/或，所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中還包括Co；

和/或，所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中還包括添加元素M，所述M為Ni、Zn、Ag、In、Sn、Bi、V、Cr、Hf、Ta和W中的一種或多種。

【請求項8】 如請求項7所述的用於製備所述R-T-B系永磁材料的原料組合物，其中，所述R'的含量為30.7-32.0 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比；

和/或，所述Nd的含量為11.35-14.35 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比；

和/或，所述Nd和所述R'的質量比為0.35-0.46；

和/或，所述R的含量為0.3 wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比；

和/或，所述RH的種類為Dy和/或Tb；

和/或，所述RH的含量為1.0-2.5wt.%，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比；

和/或，所述RH和所述R'的質量比為 < 0.253 ；

第6頁，共 10 頁(發明申請專利範圍)

和/或，所述B的含量為0.985-1.0wt.%；

和/或，當所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中還包括Cu時，所述Cu的含量為 ≥ 0.34 wt. %，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比；

和/或，當所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中還包括Al時，所述Al的含量為0.042-0.7 wt. %，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比；

和/或，當所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中還包括Ga時，所述Ga的含量為0.0-0.8 wt. %、但不為0，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比；

和/或，當所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中還包括Co時，所述Co的含量為0.0-3.0 wt. %、但不為0，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比；

和/或，所述M的種類為Cr；

和/或，所述M的含量為0-0.15 wt. %、但不為0，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【請求項9】 如請求項8所述的用於製備所述R-T-B系永磁材料的原料組合物，其中，所述R'的含量為30.7 wt. %、30.8 wt. %、31.0 wt. %、31.5 wt. %或32.0 wt. %，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比；

和/或，所述Nd的含量為11.35 wt. %、11.65 wt. %、11.85 wt. %、12.35 wt. %、12.65 wt. %、12.85 wt. %、13.35 wt. %、13.65 wt. %、13.85 wt. %或14.35 wt. %，百分比是指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比；

和/或，所述Nd和所述R'的質量比為0.35、0.36、0.37、0.38、0.39、0.41、0.42、0.43、0.44、0.45或0.46；

和/或，所述RH的含量為1.2 wt.%、1.5 wt.%、2.0 wt.%或2.5 wt.%，百分比是指
指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比；

和/或，所述RH和所述R'的質量比為0.04-0.08；

和/或，所述B的含量為0.985 wt.%或0.99 wt.%；

和/或，當所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中還包括Cu時，所述Cu的含量
為0.34-0.5 wt.%，百分比是指指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百
分比；

和/或，當所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中還包括Ga時，所述Ga的含量
為0.2-0.8 wt.%，百分比是指指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分
比；

和/或，當所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中還包括Co時，所述Co的含量
為0.5-2.5 wt.%，百分比是指指在所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分
比；

和/或，所述M的含量為0.05 wt.%或0.12 wt.%，百分比是指指在所述R-T-B系永
磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【請求項10】 如請求項9所述的用於製備所述R-T-B系永磁材料的原料組
合物，其中，當所述RH中含有Tb時，所述Tb的含量為0.5-2wt.%，百分比是指指在
所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比；

和/或，當所述RH中含有Dy時，所述Dy的含量為1.5-2.5 wt.%，百分比是指指在
所述R-T-B系永磁材料的原料組合物中的質量百分比。

【請求項11】 一種R-T-B系永磁材料的製備方法，其特徵在於，其包括下
述步驟：將如請求項6-10中任一項所述R-T-B系永磁材料的原料組合物的熔融液
經鑄造、氬破、成形、燒結和時效處理，即可。

【請求項12】 如請求項11所述的R-T-B系永磁材料的製備方法，其中，所述R-T-B系永磁材料的原料組合物的熔融液按下述方法製得：在高頻真空感應熔煉爐中熔煉，即可；

和/或，所述鑄造的工藝按下述步驟進行：在Ar氣氣氛中，以 10^2°C/秒 - 10^4°C/秒 的速度冷卻，即可；

和/或，所述氫破的工藝包括吸氫、脫氫、冷卻處理；

和/或，所述燒結的工藝按下述步驟進行：在真空條件下，經預熱、燒結、冷卻，即可；

和/或，所述燒結之後、所述時效處理之前，還進行晶界擴處理；

和/或，所述時效處理中，二級時效的處理溫度為 $500\text{--}650\text{°C}$ ；

和/或，所述時效處理中，所述二級時效的處理時間優選為3h。

【請求項13】 如請求項12所述的R-T-B系永磁材料的製備方法，其中，所述熔煉爐的真空度可為 $5\times 10^{-2}\text{Pa}$ ；

和/或，所述熔煉的溫度可為 1500°C 以下；

和/或，當所述氫破的工藝包括吸氫時，所述吸氫在氫氣壓力 0.15MPa 的條件下進行；

和/或，當所述氫破的工藝包括預熱時，所述預熱的溫度可為 $300\text{--}600\text{°C}$ ；

和/或，當所述氫破的工藝包括預熱時，所述預熱的時間可為1-2h；

和/或，所述燒結的溫度為 $1040\text{--}1090\text{°C}$ ；

和/或，所述燒結的時間為2h；

和/或，所述晶界擴散處理按下述步驟進行：在所述R-T-B系永磁材料的表面蒸鍍、塗覆或濺射附著含有Tb的物質和/或含有Dy的物質，經擴散熱處理，即可；

和/或，所述時效處理中，二級時效的處理溫度為 $600\text{--}650\text{°C}$ ；

和/或，所述二級時效中，升溫至 $500\text{--}650\text{°C}$ 的升溫速率優選 $3\text{--}5\text{°C/min}$ 。

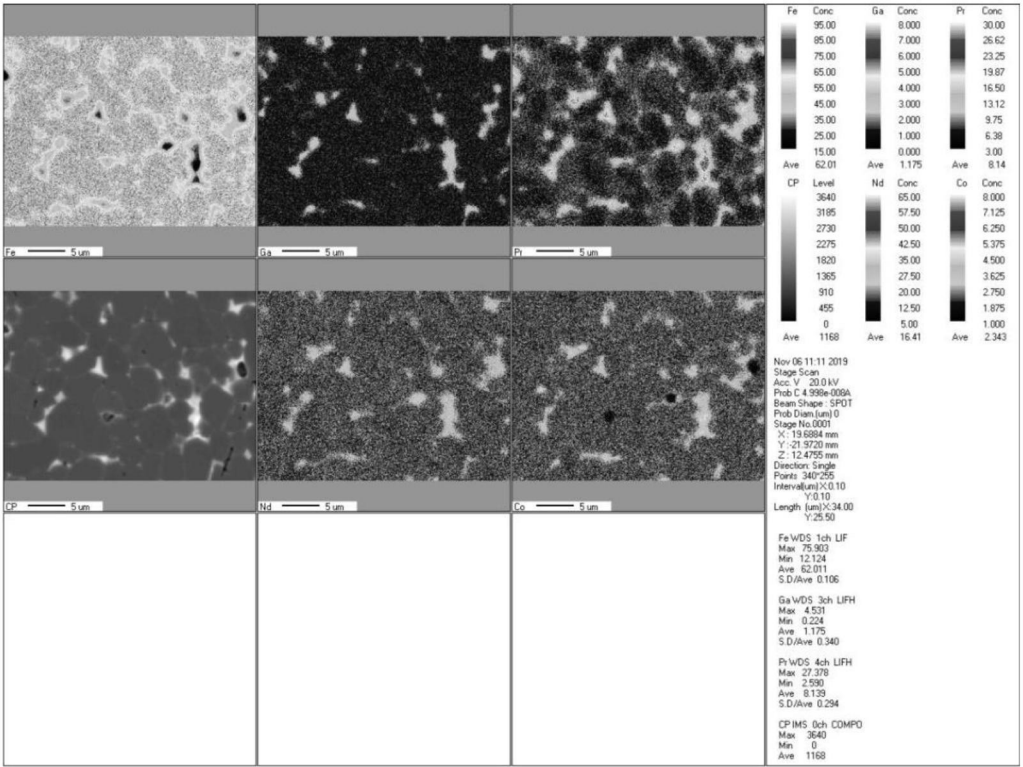
【請求項14】 如請求項13所述的R-T-B系永磁材料的製備方法，其中，當所述氫破的工藝包括預熱時，所述預熱為在300°C和600°C的溫度下各預熱1h；
和/或，所述晶界擴處理中，所述擴散熱處理的溫度為850°C；
和/或，所述晶界擴處理中，所述擴散熱處理的時間為12-48h；
和/或，所述時效處理中，二級時效的處理溫度為630°C。

【請求項15】 如請求項14所述的R-T-B系永磁材料的製備方法，其中，所述晶界擴處理中，所述擴散熱處理的溫度為850°C
和/或，所述晶界擴處理中，所述擴散熱處理的時間為24h。

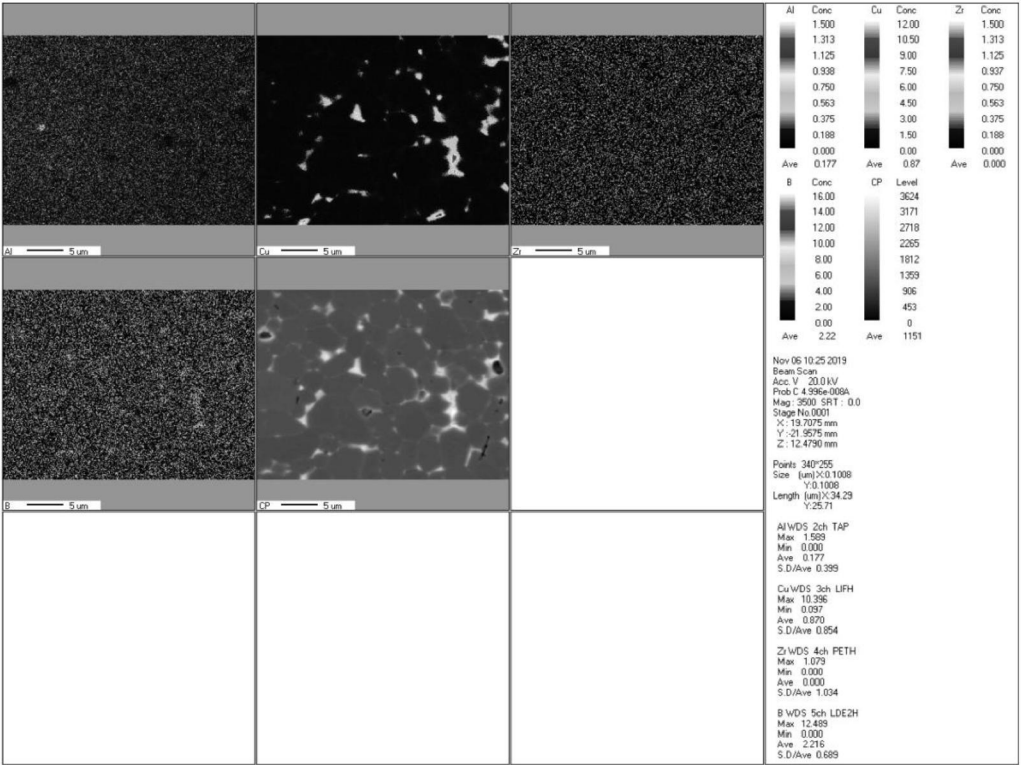
【請求項16】 一種R-T-B系永磁材料，其特徵在於，所述R-T-B系永磁材料係如請求項11-15中任一項所述的R-T-B系永磁材料的製備方法製得的R-T-B系永磁材料。

【請求項17】 一種R-T-B系永磁材料作為電子元器件的應用，其特徵在於，所述R-T-B系永磁材料係如請求項1-5和16中任一項所述R-T-B系永磁材料。

【發明圖式】



【圖1】



【圖2】