



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111261355 B

(45) 授权公告日 2021.09.28

(21) 申请号 202010121476.6

G22C 38/16 (2006.01)

(22) 申请日 2020.02.26

G22C 38/14 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

G22C 38/12 (2006.01)

申请公布号 CN 111261355 A

G22C 38/06 (2006.01)

G22C 38/10 (2006.01)

(43) 申请公布日 2020.06.09

(56) 对比文件

(73) 专利权人 厦门钨业股份有限公司

CN 102103916 A, 2011.06.22

地址 361000 福建省厦门市海沧区柯井社

CN 110571007 A, 2019.12.13

专利权人 福建省长汀金龙稀土有限公司

CN 103258633 A, 2013.08.21

(72) 发明人 骆滢 黄佳莹 廖宗博 蓝琴

CN 104078176 A, 2014.10.01

林玉麟 师大伟 谢菊华 龙严清

CN 109964290 A, 2019.07.02

CN 104051103 A, 2014.09.17

(74) 专利代理机构 上海弼兴律师事务所 31283

CN 108899149 A, 2018.11.27

代理人 薛琦 邹玲

US 2011036459 A1, 2011.02.17

(51) Int. Cl.

审查员 马文静

H01F 1/057 (2006.01)

H01F 41/02 (2006.01)

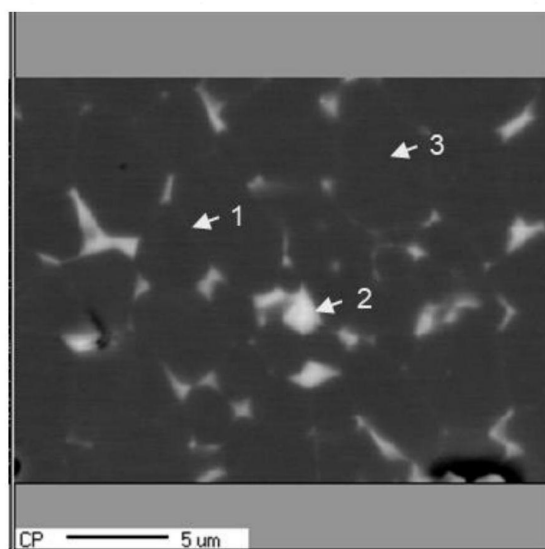
权利要求书8页 说明书13页 附图1页

(54) 发明名称

钕铁硼磁体材料、原料组合物、制备方法、应用

(57) 摘要

本发明公开了一种钕铁硼磁体材料、原料组合物、制备方法、应用,原料组合物包含如下组分:R:28~33wt%;R为稀土元素、且包括熔炼用稀土金属R1和晶界扩散用稀土金属R2,R2的含量为0.2~1wt%;R1包括Nd、且不含RH;R2包括Tb;B:0.9~1.1wt%;Cu:0.15wt%以下、且不为0wt%;M:0.4wt%以下、且不为0wt%;M包括Ti、Ni、V、Nb、Ta、Cr、Mo、W、Mn、Zr、Hf、Zn和Ag中的一种或多种;Fe:60~70.5wt%;Co:<0.5wt%、且不为0wt%;RH为重稀土元素。本发明的磁体材料具有高剩磁、高矫顽力以及高温性能好的优势。



1. 一种钕铁硼磁体材料,其特征在于,R:28~33wt%;所述R包括R1和R2,所述R2的含量为0.2~1wt%;所述R2包括Tb;所述R1包括Nd、且不含RH;

B:0.9~1.1wt%;

Cu:0.15wt%以下、且不为0 wt%;

M:0.4wt%以下、且不为0 wt%;

M包括Ti、Ni、V、Nb、Ta、Cr、Mo、W、Mn、Zr、Hf、Zn和Ag中的一种或多种;

Fe:60~70.6wt%;

wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比;

所述钕铁硼磁体材料中的Co:<0.5wt%、且不为0 wt%;

所述钕铁硼磁体材料包含 $Nd_2Fe_{14}B$ 晶粒和其壳层、邻接所述 $Nd_2Fe_{14}B$ 晶粒的二颗粒晶界和晶界三角区,R1中的Nd分布在所述 $Nd_2Fe_{14}B$ 晶粒、所述二颗粒晶界和所述晶界三角区,R2主要分布在所述壳层、所述二颗粒晶界和所述晶界三角区;所述晶界三角区的面积占比为1.45~2.9%;所述钕铁硼磁体材料的晶界连续性为97.5%以上;

所述二颗粒晶界中还含有化学组成为 $R_{24.09\sim 29.88}M_{0.24\sim 0.48}Cu_{1.7\sim 2.84}(Fe+Co)_{67.35\sim 73.24}$ 物相,其中R包括Nd和Tb,M包括Ti、Ni、V、Nb、Ta、Cr、Mo、W、Mn、Zr、Hf、Zn和Ag中的一种或多种。

2. 如权利要求1所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,

所述晶界三角区面积占比为1.49~2.4%或者2.15~2.9%;

和/或,所述晶界连续性为98%以上;

和/或,所述R的含量范围为29.5~31.5wt%或者29.8~32.8 wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比;

和/或,所述R1还包括Pr、La和Ce中的一种或多种;

和/或,所述R2的含量范围为0.2~0.8 wt%或者0.5~1 wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比;

和/或,所述Tb的含量范围为0.5~1wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比;

和/或,所述R2还包括Pr、Dy、Ho和Gd中的一种或多种;

和/或,所述B的含量范围为0.9~0.99wt%或0.98~1.05 wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比;

和/或,所述Cu的含量范围为0.07~0.15 wt%或者0.08wt%以下、且不为0 wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比;

和/或,所述Cu的添加方式为熔炼和/或晶界扩散时添加;

和/或,所述M的含量为0.1~0.15wt%或者0.1~0.32 wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比;

和/或,所述M还包括Bi、Sn、Zn、Ga、In、Au和Pb中的一种或多种;

和/或,所述Co的含量范围为0.4wt%以下、且不为0,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

3. 如权利要求2所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,所述晶界三角区面积占比为1.84%、2.38%、2.16%、2.47%、1.91%、1.49%、1.98%或2.86%。

4. 如权利要求2所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,所述晶界连续性为99.21%、

98.34%、99.24%、98.02%、97.94%或98.13%。

5. 如权利要求2所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,所述R的含量范围为31.2 wt%、32.2 wt%或30.9 wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

6. 如权利要求2所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,所述R1还包括Pr。

7. 如权利要求2所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,所述R2的含量范围为0.6 wt%、0.9 wt%或0.94 wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

8. 如权利要求2所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,所述Tb的含量范围为0.8wt%、0.6wt%、0.75 wt%、0.9 wt%或0.7wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

9. 如权利要求2所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,所述B的含量范围为1 wt%、1.02 wt%或1.03 wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

10. 如权利要求2所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,所述Cu的含量范围为0.12 wt%、0.13 wt%、0.03 wt%、0.05 wt%、0.09 wt%、0.1 wt%或0.07 wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

11. 如权利要求2所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,当所述Cu在晶界扩散时添加,所述Cu以PrCu合金的形式添加,所述Cu的含量为0.03~0.15 wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比,其中所述Cu占所述PrCu的百分比为0.1~17 wt%。

12. 如权利要求2所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,所述M的含量为0.25 wt%、0.32 wt%、0.22 wt%、0.32 wt%或0.2 wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

13. 如权利要求2所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,所述M包括Ga、Ti和Nb中的一种或多种。

14. 如权利要求2所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,所述Co的含量范围为0.1wt%、0.2 wt%、0.3 wt%或0.15 wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

15. 如权利要求2所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,当所述R1包含Pr时,Pr的添加形式为以PrNd的形式,或者以纯净的Pr和Nd的混合物的形式,或者以PrNd、纯净的Pr和Nd的混合物形式添加;

和/或,当所述R2包括Pr时,所述Pr的含量范围为0.2wt%以下、且不为0wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比;

和/或,当所述R2包括Dy时,所述Dy的含量范围为0.3wt%以下、且不为0wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比;

和/或,当所述R2包括Ho时,所述Ho的含量范围为0.15wt%以下、且不为0wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比;

和/或,当所述R2包括Gd时,所述Gd的含量范围为0.15wt%以下、且不为0wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比;

和/或,当所述M包括Ti时,所述Ti的含量范围为0~0.35 wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比;

和/或,当所述M包括Nb时,所述Nb的含量范围为0.05~0.1wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比;

和/或,当所述M包括Ga时,所述Ga的含量范围为0.02~0.3wt%;

和/或,所述钕铁硼磁体材料中还含有Al;

和/或,所述 $R_{24.09\sim 29.88}M_{0.24\sim 0.48}Cu_{1.7\sim 2.84}(Fe+Co)_{67.35\sim 73.24}$ 物相在所述二颗粒晶界中的面积占比为1~3.2%。

16.如权利要求15所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,当所述R1包含Pr时,Pr的添加形式为以PrNd的形式添加时,Pr:Nd=25:75或20:80。

17.如权利要求15所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,当所述R1以纯净的Pr和Nd的混合物的形式或以PrNd、纯净的Pr和Nd的混合物形式添加时,所述Pr的含量为0.1~2wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

18.如权利要求15所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,当所述R1以纯净的Pr和Nd的混合物的形式或以PrNd、纯净的Pr和Nd的混合物形式添加时,所述Pr的含量为0.2 wt%或者0.5 wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

19.如权利要求15所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,当所述R2包括Pr时,所述Pr的含量范围为0.2 wt%或者0.1 wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

20.如权利要求15所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,当所述R2包括Dy时,所述Dy的含量范围为0.1wt%、0.05 wt%或者0.12 wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

21.如权利要求15所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,当所述R2包括Ho时,所述Ho的含量范围为0.1wt%或者0.02 wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

22.如权利要求15所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,当所述R2包括Gd时,所述Gd的含量范围为0.1wt%或者0.06 wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

23.如权利要求15所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,当所述M包括Ti时,所述Ti的含量范围为0.05~0.3 wt%或者0.1~0.15wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

24.如权利要求15所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,当所述M包括Ti时,所述Ti的含量范围为0.12 wt%、0.05 wt%或0.2 wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

25.如权利要求15所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,当所述M包括Ga时,所述Ga的含量范围为0.02~0.1wt%或者0.08~0.2wt% wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

26.如权利要求15所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,当所述M包括Ga时,所述Ga的含量范围为0.07 wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

27.如权利要求15所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,当M元素包括Ga,且Ga为0.2wt%以上、且不为0.35wt%时,M元素的组成中Ti+Nb为0.07wt%以下、且不为0wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

28.如权利要求15所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,当M元素包括Ga,且Ga为0.2wt%以上、且不为0.35wt%时,M元素的组成中Ti+Nb为0.05 wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

29.如权利要求15所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,所述钕铁硼磁体材料中还含有Al;所述Al的含量范围为0.03wt%以下、且不为0wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

30.如权利要求15所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,所述钕铁硼磁体材料中还含有Al;所述Al的含量范围为0.01 wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

31. 如权利要求29所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,当所述M包括Ga,且Ga为0.01wt%以下时,Al+Ga+Cu为0.15wt%以下、且不为0wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

32. 如权利要求29所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,当所述M包括Ga,且Ga为0.01wt%以下时,Al+Ga+Cu为0.12 wt%;wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

33. 如权利要求29所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,当所述M包括Ga,且Ga为0.01wt%以下时,Al+Ga+Cu为0.11wt%以下、且不为0wt%;wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

34. 如权利要求29所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,当所述M包括Ga,且Ga为0.01wt%以下时,Al+Ga+Cu为0.07wt%;wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

35. 如权利要求15所述的钕铁硼磁体材料,其特征在于,所述 $R_{24.09\sim 29.88}M_{0.24\sim 0.48}Cu_{1.7\sim 2.84}(Fe+Co)_{67.35\sim 73.24}$ 物相在所述二颗粒晶界中的面积占比为3.12%、0.53%、1.03%、1.22%、1.14%、2.09%、1.66%或2.35%。

36. 如权利要求1~35任意一项所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,以重量百分比计,其包含:

R:28~33wt%;所述R为稀土元素、且包括熔炼用稀土金属R1和晶界扩散用稀土金属R2,所述R2的含量为0.2~1wt%;

所述R1包括Nd、且不含RH;

所述R2包括Tb;

B:0.9~1.1wt%;

Cu:0.15wt%以下、且不为0 wt%;

M:0.4wt%以下、且不为0 wt%;

M包括Ti、Ni、V、Nb、Ta、Cr、Mo、W、Mn、Zr、Hf、Zn和Ag中的一种或多种;

Fe:60~70.5 wt%;

Co:<0.5wt%、且不为0 wt%;

所述RH为重稀土元素;

wt%为各元素占所述原料组合物的质量百分比。

37. 如权利要求36所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,所述R的含量范围为29.5~31.5wt%或者29.8~32.8 wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比;

和/或,所述R1包括Pr、La和Ce中的一种或多种;

和/或,所述R2的含量范围为0.2~0.8 wt%或者0.5~1 wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比;

和/或,所述Tb的含量范围为0.5~1wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比;

和/或,所述R2还包括Pr、Dy、Ho和Gd中的一种或多种;

和/或,所述B的含量范围为0.9~0.99wt%或0.98~1.05 wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比;

和/或,所述Cu的含量范围为0.07~0.15 wt%或者0.08wt%以下、且不为0 wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比;

和/或,所述Cu的添加方式为熔炼和/或晶界扩散时添加;

和/或,所述M的含量为0.1~0.15wt%或者0.1~0.32 wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比;

和/或,所述M还包括Bi、Sn、Zn、Ga、In、Au和Pb中的一种或多种;

和/或,所述Co的含量范围为0.4wt%以下、且不为0,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

38.如权利要求37所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,所述R的含量范围为31.2 wt%、32.2 wt%或30.9 wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

39.如权利要求37所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,所述R1包括Pr。

40.如权利要求37所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,所述R2的含量范围为0.6 wt%、0.9 wt%或0.94 wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

41.如权利要求37所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,所述Tb的含量范围为0.8wt%、0.6wt%、0.75 wt%、0.9 wt%或0.7wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

42.如权利要求37所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,所述B的含量范围为1 wt%、1.02 wt%或1.03 wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

43.如权利要求37所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,所述Cu的含量范围为0.12 wt%、0.13 wt%、0.03 wt%、0.05 wt%、0.09 wt%、0.1 wt%或0.07 wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

44.如权利要求37所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,当所述Cu在晶界扩散时添加,所述Cu以PrCu形式添加,所述Cu的含量为0.03~0.15 wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比,其中所述Cu占所述PrCu的百分比为0.1~17 wt%。

45.如权利要求37所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,所述M的含量为0.25 wt%、0.32 wt%、0.22 wt%、0.32 wt%或0.2 wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

46.如权利要求37所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,所述M包括Ga、Ti和Nb中的一种或多种。

47.如权利要求37所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,所述Co的含量范围为0.1wt%、0.2 wt%、0.3 wt%或0.15 wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

48.如权利要求37所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,当所述R1包含Pr时,Pr的添加形式为以PrNd的形式,或者以纯净的Pr和Nd的混合物的形式,或者以PrNd、纯净的Pr和Nd的混合物形式添加;

和/或,当所述R2包括Pr时,所述Pr的含量范围为0.2wt%以下、且不为0wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比;

和/或,当所述R2包括Dy时,所述Dy的含量范围为0.3wt%以下、且不为0wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比;

和/或,当所述R2包括Ho时,所述Ho的含量范围为0.15wt%以下、且不为0wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比;

和/或,当所述R2包括Gd时,所述Gd的含量范围为0.15wt%以下、且不为0wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比;

和/或,当所述M包括Ti时,所述Ti的含量范围为0~0.35 wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比;

和/或,当所述M包括Nb时,所述Nb的含量范围为0.05~0.1wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比;

和/或,当所述M包括Ga时,所述Ga的含量范围为0.02~0.3wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比;

和/或,所述原料组合物中还含有Al。

49.如权利要求48所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,当所述R1包含Pr时,Pr的添加形式为以PrNd的形式添加时,Pr:Nd=25:75或20:80。

50.如权利要求48所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,当所述R1以纯净的Pr和Nd的混合物的形式或以PrNd、纯净的Pr和Nd的混合物形式添加时,所述Pr的含量为0.1~2wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

51.如权利要求48所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,当所述R1以纯净的Pr和Nd的混合物的形式或以PrNd、纯净的Pr和Nd的混合物形式添加时,所述Pr的含量为0.2 wt%或者0.5 wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

52.如权利要求48所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,当所述R2包括Pr时,所述Pr的含量范围为0.2 wt%或者0.1 wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

53.如权利要求48所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,当所述R2包括Dy时,所述Dy的含量范围为0.1wt%、0.05 wt%或者0.12 wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

54.如权利要求48所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,当所述R2包括Ho时,所述Ho的含量范围为0.1wt%或者0.02 wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

55.如权利要求48所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,当所述R2包括Gd时,所述Gd的含量范围为0.1wt%或者0.06 wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

56.如权利要求48所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,当所述M包括Ti时,所述Ti的含量范围为0.05~0.3 wt%或者0.1~0.15wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

57.如权利要求48所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,当所述M包括Ti时,所述Ti的含量范围为0.12 wt%、0.05 wt%或0.2 wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

58.如权利要求48所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,当所述M包括Ga时,所述Ga的含量范围为0.02~0.1wt%或者0.08~0.2wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

59.如权利要求48所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,当所述M包括Ga时,所述Ga的含量范围为0.07 wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

60.如权利要求48所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,当M元素包括Ga,

且Ga为0.2wt%以上、且不为0.35wt%时,M元素的组成中Ti+Nb为0.07wt%以下、且不为0wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

61.如权利要求48所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,当M元素包括Ga,且Ga为0.2wt%以上、且不为0.35wt%时,M元素的组成中Ti+Nb为0.05 wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

62.如权利要求48所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,所述原料组合物中还含有Al;所述Al的含量范围为0.03wt%以下、且不为0wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

63.如权利要求48所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,所述原料组合物中还含有Al;所述Al的含量范围为0.01 wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

64.如权利要求62所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,当所述M包括Ga,且Ga为0.01wt%以下时,Al+Ga+Cu为0.15wt%以下、且不为0wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

65.如权利要求62所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,当所述M包括Ga,且Ga为0.01wt%以下时,Al+Ga+Cu为0.12 wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

66.如权利要求62所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,当所述M包括Ga,且Ga为0.01wt%以下时,Al+Ga+Cu为0.11wt%以下、且不为0wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

67.如权利要求62所述的钕铁硼磁体材料的原料组合物,其特征在于,当所述M包括Ga,且Ga为0.01wt%以下时,Al+Ga+Cu为0.07 wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

68.一种钕铁硼磁体材料的制备方法,其特征在于,其采用如权利要求36~67任意一项所述的原料组合物进行,所述制备方法为扩散制法,所述R1元素在熔炼步骤中添加,所述R2元素在晶界扩散步骤中添加。

69.如权利要求68所述的制备方法,其特征在于,所述制备方法包括如下步骤:将所述钕铁硼磁体材料的原料组合物中除R2以外的元素经熔炼、制粉、成型、烧结得烧结体,再将所述的烧结体与所述R2的混合物经晶界扩散即可。

70.如权利要求69所述的制备方法,其特征在于,所述熔炼的温度为1300~1700℃。

71.如权利要求69所述的制备方法,其特征在于,所述熔炼的温度为1450~1550℃。

72.如权利要求69所述的制备方法,其特征在于,所述熔炼的温度为1500℃。

73.如权利要求69所述的制备方法,其特征在于,所述制粉包括氢破制粉和/或气流磨制粉。

74.如权利要求73所述的制备方法,其特征在于,所述气流磨制在0.1~2MPa的条件下进行气流磨制粉。

75.如权利要求73所述的制备方法,其特征在于,所述气流磨制粉在0.5~0.7MPa的条件下进行气流磨制粉。

76.如权利要求69所述的制备方法,其特征在于,当所述R2还包含Pr时,Pr以PrCu合金的形式添加。

77.如权利要求76所述的制备方法,其特征在于,当所述R2包含Pr且Pr以PrCu合金的形式参与晶界扩散时,所述Cu的添加方式为熔炼和/或晶界扩散时添加。

78. 一种如权利要求69~77任意一项的制备方法制得的钕铁硼磁体材料。
79. 一种如权利要求1~35和78任意一项所述的钕铁硼磁体材料在制备磁钢中的应用。
80. 如权利要求79所述的钕铁硼磁体材料在制备磁钢中的应用；所述磁钢为54SH和/或52UH高性能磁钢。

钕铁硼磁体材料、原料组合物、制备方法、应用

技术领域

[0001] 本发明涉及一种钕铁硼磁体材料、原料组合物、制备方法、应用。

背景技术

[0002] Nd-Fe-B永磁材料以 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 化合物为基体,具有磁性能高、热膨胀系数小、易加工和价格低等优点,自问世以来,以平均每年20-30%的速度增长,成为应用最广泛的永磁材料。按制备方法,Nd-Fe-B永磁体可分为烧结、粘结和热压三种,其中烧结磁体占总产量的80%以上,应用最广泛。

[0003] 随着制备工艺和磁体成分的不断优化,烧结Nd-Fe-B磁体的最大磁能积已接近理论值。随着近年来风力发电、混合动力汽车和变频空调等新兴行业的蓬勃发展对高性能Nd-Fe-B磁体的需求越来越大,同时,这些高温领域的应用也对烧结Nd-Fe-B磁体的性能尤其是矫顽力提出了更高的要求。

[0004] 美国专利申请US5645651A通过图1表明,Nd-Fe-B磁体的居里温度会随着Co含量的提高而提升,另外表1通过样品9和样品2的对比表明,Nd-Fe-B磁体中添加20at%的Co,相比不加Co的方案,在维持剩磁基本不变的情况下,能提高矫顽力。

[0005] 因此Co被广泛应用于钕铁硼稀土永磁、钕钴稀土永磁、电池等高科技领域,但Co又是重要的战略资源,价格较为昂贵。

发明内容

[0006] 本发明旨在克服现有技术的钕铁硼磁体通过添加Co来提高居里温度和矫顽力、而Co又面临价格昂贵的缺陷的技术问题,而提供了一种钕铁硼磁体材料、原料组合物、制备方法、应用。本发明的磁体材料具有高剩磁高矫顽力的优势。

[0007] 本发明提供的钕铁硼磁体材料采用低含量Co以及熔炼金属不添加重稀土金属的方案,同时合理控制总稀土量以及Cu、B和M(Ti、Nb、Zr等)元素的含量范围,使得杂相更多地分布在二颗粒晶界,晶界连续性提高,同时晶界三角区面积减少,从而磁体剩磁B和矫顽力 H_cj 。

[0008] 本发明是通过以下技术方案来解决上述技术问题的:

[0009] 一种钕铁硼磁体材料的原料组合物,以重量百分比计,其包含:

[0010] R:28~33wt%;所述R为稀土元素、且包括熔炼用稀土金属R1和晶界扩散用稀土金属R2,所述R2的含量为0.2~1wt%;

[0011] 所述R1包括Nd、且不含RH;

[0012] 所述R2包括Tb;

[0013] B:0.9~1.1wt%;

[0014] Cu:0.15wt%以下、且不为0wt%;

[0015] M:0.4wt%以下、且不为0wt%;

[0016] M包括Ti、Ni、V、Nb、Ta、Cr、Mo、W、Mn、Zr、Hf、Zn和Ag中的一种或多种;

- [0017] Fe:60~70.5wt%;
- [0018] Co:<0.5wt%、且不为0wt%;
- [0019] 所述RH为重稀土元素;
- [0020] wt%为各元素占所述原料组合物的质量百分比。
- [0021] 本发明中,所述R的含量范围较佳地为29.5~31.5wt%或者29.8~32.8wt%,例如31.2wt%、32.2wt%或30.9wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。
- [0022] 本发明中,所述R1还可包括Pr、La和Ce中的一种或多种;较佳地包括Pr。
- [0023] 其中,当所述R1包含Pr时,Pr的添加形式可为本领域常规,例如以PrNd的形式,或者以纯净的Pr和Nd的混合物的形式,或者以PrNd、纯净的Pr和Nd的混合物形式添加。当以PrNd的形式添加时,Pr:Nd=25:75或20:80;当以纯净的Pr和Nd的混合物的形式添加时,所述Pr的含量较佳地为0.1~2wt%,例如0.2wt%或者0.5wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。当以PrNd、纯净的Pr和Nd的混合物形式添加时,所述Pr的含量较佳地为0.1~2wt%。
- [0024] 本发明中,所述R2的含量范围较佳地为0.2~0.8wt%或者0.5~1wt%,例如0.6wt%、0.9wt%或0.94wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。
- [0025] 本发明中,所述Tb的含量范围较佳地为0.5~1wt%,例如0.8wt%、0.6wt%、0.75wt%、0.9wt%或0.7wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。
- [0026] 本发明中,所述R2还可包括Pr、Dy、Ho和Gd中的一种或多种。这些稀土元素都可以通过晶界扩散原理,形成扩散稀土元素的壳层。
- [0027] 其中,当所述R2包括Pr时,所述Pr的含量范围较佳地为0.2wt%以下、且不为0wt%,例如0.2wt%或者0.1wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。
- [0028] 其中,当所述R2包括Dy时,所述Dy的含量范围较佳地为0.3wt%以下、且不为0wt%,例如0.1wt%、0.05wt%或者0.12wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。
- [0029] 其中,当所述R2包括Ho时,所述Ho的含量范围较佳地为0.15wt%以下、且不为0wt%,例如0.1wt%或者0.02wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。
- [0030] 其中,当所述R2包括Gd时,所述Gd的含量范围较佳地为0.15wt%以下、且不为0wt%,例如0.1wt%或者0.06wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。
- [0031] 本发明中,所述B的含量范围较佳地为0.9~0.99wt%或0.98~1.05wt%,例如1wt%、1.02wt%或1.03wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。
- [0032] 本发明中,所述Cu的含量范围较佳地为0.07~0.15wt%或者0.08wt%以下、且不为0wt%,例如0.12wt%、0.13wt%、0.03wt%、0.05wt%、0.09wt%、0.1wt%或0.07wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。
- [0033] 其中,所述Cu的添加方式可为熔炼和/或晶界扩散时添加。
- [0034] 当所述Cu在晶界扩散时添加,所述Cu以PrCu合金的形式添加,所述Cu的含量较佳地为0.03~0.15wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比;其中所述Cu占所述PrCu的百分比为0.1~17wt%。
- [0035] 本发明中,所述M的含量较佳地为0.1~0.15wt%或者0.1~0.32wt%,例如0.25wt%、0.32wt%、0.22wt%、0.32wt%或0.2wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量

百分比。

[0036] 本发明中,所述M还可包括Bi、Sn、Zn、Ga、In、Au和Pb中的一种或多种。

[0037] 较佳地,所述M包括Ga、Ti和Nb中的一种或多种。

[0038] 其中,当所述M包括Ga时,所述Ga的含量范围可为0.02~0.3wt%,较佳地为0.02~0.1wt%或者0.08~0.2wt%,例如0.07wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

[0039] 其中,当所述M包括Ti时,所述Ti的含量范围可为0~0.35wt%,较佳地为0.05~0.3wt%或者0.1~0.15wt%,例如0.12wt%、0.05wt%或0.2wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

[0040] 其中,当所述M包括Nb时,所述Nb的含量范围较佳地为0.05~0.1wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

[0041] 本发明中,较佳地,所述原料组合中还含有Al;所述Al的含量范围较佳地为0.03wt%以下、且不为0wt%,例如0.01wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

[0042] 当所述M包括Ga,且Ga为0.01wt%以下时,Al+Ga+Cu可为0.15wt%以下、且不为0wt%,例如0.12wt%;较佳地,Al+Ga+Cu为0.11wt%以下、且不为0wt%,例如0.07wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

[0043] 当M元素包括Ga,且Ga为0.2wt%以上、且不为0.35wt%时,较佳地,M元素的组成中Ti+Nb为0.07wt%以下、且不为0wt%,例如0.05wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。其中,Ti+Nb过量的话,可能会降低剩磁。

[0044] 本发明中,较佳地,所述Co的含量范围较佳地为0.4wt%以下、且不为0,例如0.1wt%、0.2wt%、0.3wt%或0.15wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

[0045] 在本发明一优选实施方案中,以重量百分比计,所述原料组合物包含如下组分:R1中:Nd 27.5wt%;R2中:Tb 0.5wt%;B 0.9 wt%,Cu 0.15wt%,Ti 0.35wt%,Co 0.1wt%,余量为Fe及不可避免的杂质,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

[0046] 在本发明一优选实施方案中,以重量百分比计,所述原料组合物包含如下组分:R1中:Nd 32wt%;R2中:Tb 0.8wt%;B 1wt%,Cu 0.12wt%,Ti 0.15wt%,Nb 0.1wt%,Co 0.2wt%,余量为Fe及不可避免的杂质,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

[0047] 在本发明一优选实施方案中,以重量百分比计,所述原料组合物包含如下组分:R1中:Nd 30.4wt%,Pr 0.2wt%;R2中:Dy 0.1wt%,Tb 0.5wt%;B 0.98wt%,Cu 0.07wt%,Ti 0.12wt%,Nb 0.1wt%,Ga 0.1wt%,Co 0.3wt%,余量为Fe及不可避免的杂质,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

[0048] 在本发明一优选实施方案中,以重量百分比计,所述原料组合物包含如下组分:R1中:Nd 30.8wt%,Pr 0.5wt%;R2中:Dy 0.1wt%,Tb 0.6wt%,Pr 0.2wt%;B 1.02wt%,Cu 0.13wt%,Ti 0.15wt%,Ga 0.07wt%,Co 0.15wt%,余量为Fe及不可避免的杂质,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

[0049] 在本发明一优选实施方案中,以重量百分比计,所述原料组合物包含如下组分:R1中:Nd 29.9wt%;R2中:Dy 0.05wt%,Tb 0.75wt%,Ho 0.1wt%,Gd 0.1wt%;B 1.1wt%,Cu 0.03wt%,Ti 0.05wt%,Ga 0.1wt%,Co 0.15wt%,余量为Fe及不可避免的杂质,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

[0050] 在本发明一优选实施方案中,以重量百分比计,所述原料组合物包含如下组分:R1

中: Nd 28.5wt%; R2中: Dy 0.12wt%, Tb 0.7wt%, Pr 0.1wt%, Ho 0.02wt%, Gd 0.06wt%; B 1.03wt%, Cu 0.05wt%, Ti 0.3wt%, Ga 0.02wt%, Co 0.2wt%, 余量为Fe及不可避免的杂质, wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

[0051] 在本发明一优选实施方案中, 以重量百分比计, 所述原料组合物包含如下组分: R1中: Nd 29wt%; R2中: Tb 0.8wt%; B 0.99wt%, Cu 0.09wt%, Ti 0.2wt%, Al 0.03wt%, Co 0.4wt%, 余量为Fe及不可避免的杂质, wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

[0052] 在本发明一优选实施方案中, 以重量百分比计, 所述原料组合物包含如下组分: R1中: Nd 30.5wt%; R2中: Dy 0.1wt%, Tb 0.9wt%; B 1wt%, Cu 0.1wt%, Nb 0.05wt%, Ga 0.3wt%, Al 0.01wt%, Co 0.1wt%, 余量为Fe及不可避免的杂质, wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比。

[0053] 本发明还提供了一种钕铁硼磁体材料, R: 28~33wt%; 所述R包括R1和R2, 所述R2的含量为0.2~1wt%; 所述R1包括Nd、且不含RH;

[0054] B: 0.9~1.1wt%;

[0055] Cu: 0.15wt%以下、且不为0wt%;

[0056] M: 0.4wt%以下、且不为0wt%;

[0057] M包括Ti、Ni、V、Nb、Ta、Cr、Mo、W、Mn、Zr、Hf、Zn和Ag中的一种或多种;

[0058] Fe: 60~70.6wt%;

[0059] wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比;

[0060] 所述钕铁硼磁体材料中的Co: <0.5wt%、且不为0wt%;

[0061] 所述钕铁硼磁体材料包含Nd₂Fe₁₄B晶粒和其壳层、邻接所述Nd₂Fe₁₄B晶粒的二颗粒晶界和晶界三角区, R1中的Nd分布在所述Nd₂Fe₁₄B晶粒、所述二颗粒晶界和所述晶界三角区, R2主要分布在所述壳层、所述二颗粒晶界和所述晶界三角区; 所述晶界三角区的面积占比为1.45~2.9%; 所述钕铁硼磁体材料的晶界连续性为97.5%以上。

[0062] 本发明中, “R2主要分布在所述壳层、所述二颗粒晶界和所述晶界三角区”可理解为, 本领域常规的晶界扩散工艺引起的R2主要分布(一般是指95%以上)在主相晶粒的壳层和晶界, 少部分也会扩散进入到主相晶粒中, 例如在主相晶粒的外缘。

[0063] 本领域技术人员知晓, 因熔炼和烧结工艺中通常会损耗稀土元素, 为保证终产品的质量, 一般会在原料组合物中额外添加0.3wt%的Nd, 且不计入原料组合物的组分含量中, wt%为额外添加的稀土元素占所述钕铁硼原料组合物的质量比。

[0064] 本发明中, 所述晶界三角区一般是指三条或以上的晶界相交叉的地方, 分布有富B相、富稀土相、稀土氧化物、稀土碳化物和空洞。所述晶界三角区面积占比的计算方式是指晶界三角区的面积与总面积(晶粒和晶界的总面积)之比。

[0065] 本发明中, 晶界连续性的计算方式是指晶界中除空洞外的物相占据的长度(例如富B相、富稀土相等)与总晶界长度的比值。晶界连续性超过96%即可称为连续通道。

[0066] 本发明中, 通过“二颗粒晶界的碳和氧质量占比”以及“晶界三角区的碳和氧质量占比”能够推测杂相由三角区迁移至二颗粒晶界, 从而晶界三角区面积减小。C、O在磁体中的一般存在形式为稀土碳化物和稀土氧化物。

[0067] 其中, 所述二颗粒晶界中C和O的质量占比较佳地为0.3~0.4%, 例如0.32%、0.39%、0.34%、0.36%或0.38%。所述晶界三角区中C和O的质量占比较佳地为0.42~

0.50%，例如0.44%、0.45%、0.49%、0.43%、0.47%或0.48%。

[0068] 其中，所述晶界三角区的C和O质量占比指的是：晶界三角区中C和O的质量与晶界中所有元素的总质量的比。所述二颗粒晶界中C和O质量占比指的是：二颗粒晶界中C和O质量与晶界中所有元素的总质量的比。

[0069] 本发明中其中，稀土氧化物、稀土碳化物中的C、O元素为本领域常规方式引入，一般为杂质引入或者气氛引入，具体例如，在气流磨、压制过程中，有润滑剂的引入，在烧结的时候，会通过加热对这些添加剂进行脱去处理，但是不可避免会有少量C、O元素残留；再例如，在制备工艺中不可避免地会因气氛引入少量O元素。在本申请中，经检测最终得到的钕铁硼磁体材料产品中，C、O含量分别只有1000、1200ppm以下，属于本领域常规的可接受的杂质范畴，故未纳入产品元素统计表。

[0070] 本发明磁体材料的二颗粒晶界中，除稀土氧化物和稀土碳化物这两种杂相外，较佳地，还在二颗粒晶界检测到新物相，其化学组成为 $R_{24.09\sim 29.88}M_{0.24\sim 0.48}Cu_{1.7\sim 2.84}(Fe+Co)_{67.35\sim 73.24}$ 物相，其中R包括Nd和Tb，M包括Ti、Ni、V、Nb、Ta、Cr、Mo、W、Mn、Zr、Hf、Zn和Ag中的一种或多种。

[0071] 在本申请的较佳实施方式中，新物相的结构例如， $R_{26.91}(Fe+Co)_{69.93}Cu_{2.68}M_{0.48}$ 、 $R_{24.60}(Fe+Co)_{72.73}Cu_{2.34}M_{0.33}$ 、 $R_{25.35}(Fe+Co)_{72.54}Cu_{1.70}M_{0.41}$ 、 $R_{29.49}(Fe+Co)_{67.35}Cu_{2.81}M_{0.35}$ 、 $R_{24.37}(Fe+Co)_{73.24}Cu_{2.08}M_{0.31}$ 、 $R_{29.88}(Fe+Co)_{67.43}Cu_{2.31}M_{0.38}$ 、 $R_{24.09}(Fe+Co)_{73.18}Cu_{2.49}M_{0.24}$ 、 $R_{26.11}(Fe+Co)_{70.73}Cu_{2.84}M_{0.32}$ 。

[0072] 其中，所述 $R_{24.09\sim 29.88}M_{0.24\sim 0.48}Cu_{1.7\sim 2.84}(Fe+Co)_{67.35\sim 73.24}$ 物相在所述二颗粒晶界中的面积占比较佳地为1~3.2%，例如3.12%、0.53%、1.03%、1.22%、1.14%、2.09%、1.66%和2.35%。新物相在二颗粒晶界的面积占比指的是：二颗粒晶界中新物相的面积占二颗粒晶界总面积的比值。

[0073] 本发明中，所述晶界三角区面积占比较佳地为1.49~2.4%或者2.15~2.9%，例如1.84%、2.38%、2.16%、2.47%、1.91%、1.49%、1.98%或2.86%。

[0074] 本发明中，所述晶界连续性较佳地为98%以上，例如99.21%、98.34%、99.24%、98.02%、97.94%或98.13%。

[0075] 本发明中，所述R的含量范围较佳地为29.5~31.5wt%或者29.8~32.8wt%，例如31.2wt%、32.2wt%或30.9wt%，wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

[0076] 本发明中，所述R1还可包括Pr、La和Ce中的一种或多种；较佳地包括Pr。

[0077] 其中，当所述R1包含Pr时，Pr的添加形式可为本领域常规，例如以PrNd的形式，或者以纯净的Pr和Nd的混合物的形式，或者以PrNd、纯净的Pr和Nd的混合物形式添加。当以PrNd的形式添加时，Pr:Nd=25:75或20:80；当以纯净的Pr和Nd的混合物的形式添加时，所述Pr的含量较佳地为0.1~2wt%，例如0.2wt%或者0.5wt%，wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。当以PrNd、纯净的Pr和Nd的混合物形式添加时，所述Pr的含量较佳地为0.1~2wt%，wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

[0078] 本发明中，所述R2的含量范围较佳地为0.2~0.8wt%或者0.5~1wt%，例如0.6wt%、0.9wt%或0.94wt%，wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

[0079] 本发明中，所述Tb的含量范围较佳地为0.5~1wt%，例如0.8wt%、0.6wt%、0.75wt%、0.9wt%或0.7wt%，wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

[0080] 本发明中,所述R2还可包括Pr、Dy、Ho和Gd中的一种或多种。这些稀土元素都可以通过晶界扩散原理,形成扩散稀土元素的壳层。

[0081] 其中,当所述R2包括Pr时,所述Pr的含量范围较佳地为0.2wt%以下、且不为0wt%,例如0.2wt%或者0.1wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

[0082] 其中,当所述R2包括Dy时,所述Dy的含量范围较佳地为0.3wt%以下、且不为0wt%,例如0.1wt%、0.05wt%或者0.12wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

[0083] 其中,当所述R2包括Ho时,所述Ho的含量范围较佳地为0.15wt%以下、且不为0wt%,例如0.1wt%或者0.02wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

[0084] 其中,当所述R2包括Gd时,所述Gd的含量范围较佳地为0.15wt%以下、且不为0wt%,例如0.1wt%或者0.06wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

[0085] 本发明中,所述B的含量范围较佳地为0.9~0.99wt%或0.98~1.05wt%,例如1wt%、1.02wt%或1.03wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

[0086] 本发明中,所述Cu的含量范围较佳地为0.07~0.15wt%或者0.08wt%以下、且不为0wt%,例如0.12wt%、0.13wt%、0.03wt%、0.05wt%、0.09wt%、0.1wt%或0.07wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

[0087] 其中,所述Cu的添加方式可为熔炼和/或晶界扩散时添加。

[0088] 当所述Cu在晶界扩散时添加,所述Cu以PrCu合金的形式添加,所述Cu的含量较佳地为0.03~0.15wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比;其中所述Cu占所述PrCu的百分比为0.1~17wt%。

[0089] 本发明中,所述M的含量较佳地为0.1~0.15wt%或者0.1~0.32wt%,例如0.25wt%、0.32wt%、0.22wt%、0.32wt%或0.2wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

[0090] 本发明中,所述M还可包括Bi、Sn、Zn、Ga、In、Au和Pb中的一种或多种。

[0091] 较佳地,所述M包括Ga、Ti和Nb中的一种或多种。

[0092] 其中,当所述M包括Ga时,所述Ga的含量范围可为0.02~0.3wt%,较佳地为0.02~0.1wt%或者0.08~0.2wt%,例如0.07wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

[0093] 其中,当所述M包括Ti时,所述Ti的含量范围可为0~0.35wt%,较佳地为0.05~0.3wt%或者0.1~0.15wt%,例如0.12wt%、0.05wt%或0.2wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

[0094] 其中,当所述M包括Nb时,所述Nb的含量范围较佳地为0.05~0.1wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

[0095] 本发明中,较佳地,所述钕铁硼材料中还含有Al;所述Al的含量范围较佳地为0.03wt%以下、且不为0wt%,例如0.01wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

[0096] 当所述M包括Ga,且Ga为0.01wt%以下时,Al+Ga+Cu可为0.15wt%以下、且不为0wt%,例如0.12wt%;较佳地,Al+Ga+Cu为0.11wt%以下、且不为0wt%,例如0.07wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

[0097] 当M元素包括Ga,且Ga为0.2wt%以上、且不为0.35wt%时,较佳地,M元素的组成中Ti+Nb为0.07wt%以下、且不为0wt%,例如0.05wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。其中,Ti+Nb过量的话,可能会降低剩磁。

[0098] 本发明中,较佳地,所述Co的含量范围较佳地为0.4wt%以下、且不为0,例如0.1wt%、0.2wt%、0.3wt%或0.15wt%,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比。

[0099] 在本发明一优选实施方案中,以重量百分比计,所述钕铁硼材料包含如下组分:R1中:Nd 27.5wt%;R2中:Tb 0.5wt%;B 0.9 wt%,Cu 0.15wt%,Ti 0.35wt%,Co 0.1wt%,余量为Fe及不可避免的杂质,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比;

[0100] 所述晶界三角区面积占比为1.84%;所述晶界连续性为97.51%,二颗粒晶界中的新物相为 $R_{26.91}(Fe+Co)_{69.93}Cu_{2.68}M_{0.48}^{\circ}$

[0101] 在本发明一优选实施方案中,以重量百分比计,所述钕铁硼材料包含如下组分:R1中:Nd 32wt%;R2中:Tb 0.8wt%;B 1wt%,Cu 0.12wt%,Ti 0.15wt%,Nb 0.1wt%,Co 0.2wt%,余量为Fe及不可避免的杂质,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比;

[0102] 所述晶界三角区面积占比为2.38%;所述晶界连续性为99.21%,二颗粒晶界中的新物相为 $R_{24.60}(Fe+Co)_{72.73}Cu_{2.34}M_{0.33}^{\circ}$

[0103] 在本发明一优选实施方案中,以重量百分比计,所述钕铁硼材料包含如下组分:R1中:Nd 30.4wt%,Pr 0.2wt%;R2中:Dy 0.1wt%,Tb 0.5wt%;B 0.98wt%,Cu 0.07wt%,Ti 0.12wt%,Nb 0.1wt%,Ga 0.1wt%,Co 0.3wt%,余量为Fe及不可避免的杂质,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比;

[0104] 所述晶界三角区面积占比为2.16%;所述晶界连续性为98.34%,二颗粒晶界中的新物相为 $R_{25.35}(Fe+Co)_{72.54}Cu_{1.70}M_{0.41}^{\circ}$

[0105] 在本发明一优选实施方案中,以重量百分比计,所述钕铁硼材料包含如下组分:R1中:Nd 30.8wt%,Pr 0.5wt%;R2中:Dy 0.1wt%,Tb 0.6wt%,Pr 0.2wt%;B 1.02wt%,Cu 0.13wt%,Ti 0.15wt%,Ga 0.07wt%,Co 0.15wt%,余量为Fe及不可避免的杂质,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比;

[0106] 所述晶界三角区面积占比为2.47%;所述晶界连续性为99.24%,二颗粒晶界中的新物相为 $R_{29.49}(Fe+Co)_{67.35}Cu_{2.81}M_{0.35}^{\circ}$

[0107] 在本发明一优选实施方案中,以重量百分比计,所述钕铁硼材料包含如下组分:R1中:Nd 29.9wt%;R2中:Dy 0.05wt%,Tb 0.75wt%,Ho 0.1wt%,Gd 0.1wt%;B 1.1wt%,Cu 0.03wt%,Ti 0.05wt%,Ga 0.1wt%,Co 0.15wt%,余量为Fe及不可避免的杂质,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比;

[0108] 所述晶界三角区面积占比为1.91%;所述晶界连续性为98.02%,二颗粒晶界中的新物相为 $R_{24.37}(Fe+Co)_{73.24}Cu_{2.08}M_{0.31}^{\circ}$

[0109] 在本发明一优选实施方案中,以重量百分比计,所述钕铁硼材料包含如下组分:R1中:Nd 28.5wt%;R2中:Dy 0.12wt%,Tb 0.7wt%,Pr 0.1wt%,Ho 0.02wt%,Gd 0.06wt%;B 1.03wt%,Cu 0.05wt%,Ti 0.3wt%,Ga 0.02wt%,Co 0.2wt%,余量为Fe及不可避免的杂质,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比;

[0110] 所述晶界三角区面积占比为1.49%;所述晶界连续性为97.94%,二颗粒晶界中的新物相为 $R_{29.88}(Fe+Co)_{67.43}Cu_{2.31}M_{0.38}^{\circ}$

[0111] 在本发明一优选实施方案中,以重量百分比计,所述钕铁硼材料包含如下组分:R1中:Nd 29wt%;R2中:Tb 0.8wt%;B 0.99wt%,Cu 0.09wt%,Ti 0.2wt%,Al 0.03wt%,Co 0.4wt%,余量为Fe及不可避免的杂质,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比;

[0112] 所述晶界三角区面积占比为1.98%;所述晶界连续性为97.88%,二颗粒晶界中的新物相为 $R_{24.09}(Fe+Co)_{73.18}Cu_{2.49}M_{0.24}$ 。

[0113] 在本发明一优选实施方案中,以重量百分比计,所述钕铁硼材料包含如下组分:R1中:Nd 30.5wt%;R2中:Dy 0.1wt%,Tb 0.9wt%;B 1wt%,Cu 0.1wt%,Nb 0.05wt%,Ga 0.3wt%,Al 0.01wt%,Co 0.1wt%,余量为Fe及不可避免的杂质,wt%为元素占所述钕铁硼磁体材料的质量百分比;

[0114] 所述晶界三角区面积占比为2.86%;所述晶界连续性为98.13%,二颗粒晶界中的新物相为 $R_{26.11}(Fe+Co)_{70.73}Cu_{2.84}M_{0.32}$ 。

[0115] 本发明还提供了一种钕铁硼磁体材料的制备方法,其采用如上所述的原料组合物进行,所述制备方法为扩散制法,所述R1元素在熔炼步骤中添加,所述R2元素在晶界扩散步骤中添加。

[0116] 本发明中,所述制备方法较佳地包括如下步骤:将上述钕铁硼磁体材料的原料组合物中除R2以外的元素经熔炼、制粉、成型、烧结得烧结体,接着将所述的烧结体与所述R2的混合物经晶界扩散处理即可。

[0117] 其中,所述熔炼的操作和条件可为本领域常规的熔炼工艺,一般将所述钕铁硼磁体材料中除R2以外的元素采用铸锭工艺和速凝片工艺进行熔炼浇铸,得到合金片。

[0118] 所述熔炼的温度可为1300~1700℃,较佳地为1450~1550℃,例如1500℃。所述熔炼炉的真空度可为 5×10^{-2} Pa。

[0119] 所述熔炼的设备一般为高频真空熔炼炉,例如高频真空感应熔炼炉中熔炼。

[0120] 其中,所述制粉的操作和条件可为本领域常规制粉工艺,一般包括氢破制粉和气流磨制粉两个过程。

[0121] 所述氢破制粉一般包括吸氢、脱氢和冷却处理。所述吸氢的温度一般为20~200℃,例如25℃。所述脱氢的温度一般为400~650℃,可为500~550℃,例如550℃。所述吸氢的压力一般为50~600kPa,例如90kPa。

[0122] 所述气流磨制粉一般在0.1~2MPa,优选0.5~0.7MPa(例如0.6MPa)的条件下进行气流磨制粉。所述气流磨制粉中的气流例如可为氮气。所述气流磨制粉的时间可为2~4h,例如3h。

[0123] 其中,所述成型的操作和条件可为本领域常规的成型工艺。例如磁场成型法。所述的磁场成型法的磁场强度一般在1.5T以上。

[0124] 其中,所述烧结的操作和条件可为本领域常规的烧结工艺。

[0125] 所述烧结可在真空度低于0.5Pa的条件下进行。

[0126] 所述烧结的温度可为1000~1200℃,例如1030~1090℃,再例如1040℃。

[0127] 所述烧结的时间可为0.5~10,例如2~5,再例如2h。

[0128] 其中,所述晶界扩散处理可按本领域常规的工艺进行处理,例如R2涂覆操作。所述R2一般是以氟化物或低熔点合金的形式涂覆,例如Tb的合金或氟化物。当所述R2还包含Dy时,较佳地,Dy以Dy的合金或氟化物的形式涂覆。当所述R2还包含Pr时,较佳地,Pr以PrCu合

金的形式添加。

[0129] 当所述R2包含Pr且Pr以PrCu合金的形式参与晶界扩散时,所述Cu的添加方式可为熔炼和/或晶界扩散时添加。

[0130] 当所述Cu在晶界扩散时添加,所述Cu的含量较佳地为0.03~0.15wt%,wt%为元素占所述原料组合物的质量百分比;其中所述Cu占所述PrCu的百分比为0.1~17wt%。

[0131] 所述晶界扩散的温度可为800~1000℃,例如850℃。

[0132] 所述晶界扩散的时间可为5~20h,例如5~15h,再例如18h。

[0133] 所述晶界扩散之后,按照本领域常规还进行低温回火处理。所述低温回火处理的温度一般为460~560℃,例如550℃。所述低温回火处理的时间可为1~3h。

[0134] 本发明还提供了一种由如上所述的制备方法制得的钕铁硼磁体材料。

[0135] 本发明还提供了一种如上所述的钕铁硼磁体材料在制备磁钢中的应用。

[0136] 其中,所述磁钢较佳地为54SH和/或52UH高性能磁钢。

[0137] 在符合本领域常识的基础上,上述各优选条件,可任意组合,即得本发明各较佳实例。

[0138] 本发明所用试剂和原料均市售可得。

[0139] 本发明的积极进步效果在于:

[0140] (1) 本发明的磁体材料的磁体性能优异,其中 $Br \geq 14.3kGs$, $Hc_j \geq 24.5kOe$; 20-120℃ Br 温度系数 $\geq -0.104\%/^{\circ}C$;晶界连续性为97.5%以上,三角区面积为2.9%以下;

[0141] (2) 本发明的磁体材料能够用于54SH和/或52UH高性能磁钢的制造,由于只需要低含量的Co,降低了生产成本。

附图说明

[0142] 图1为实施例1制得的钕铁硼磁体材料的EPMA显微照片。

具体实施方式

[0143] 下面通过实施例的方式进一步说明本发明,但并不因此将本发明限制在所述的实施例范围之中。下列实施例中未注明具体条件的实验方法,按照常规方法和条件,或按照商品说明书选择。

[0144] 表1钕铁硼磁体材料的原料组合物的配方和含量(wt%)

编号	R (TRE)	R1		R2					B	Cu	M			Al	Co	Fe
		Nd	Pr	Dy	Tb	Pr	Ho	Gd			Ti	Nb	Ga			
实施例 1	28	27.5	/	/	0.5	/	/	/	0.9	0.15	0.35	/	/	/	0.1	70.50
实施例 2	32.8	32	/	/	0.8	/	/	/	1.1	0.12	0.15	0.1	/	/	0.2	65.53
实施例 3	31.2	30.4	0.2	0.1	0.5	/	/	/	0.98	0.07	0.12	0.1	0.1	/	0.3	67.13
实施例 4	32.2	30.8	0.5	0.1	0.6	0.2	/	/	1.02	0.13	0.15	/	0.07	/	0.2	66.23
[0145] 实施例 5	30.9	29.9	/	0.05	0.75	/	0.1	0.1	1.1	0.03	0.05	/	0.1	/	0.2	67.62
实施例 6	29.5	28.5	/	0.12	0.7	0.1	0.02	0.06	1.03	0.05	0.3	/	0.02	/	0.2	68.90
实施例 7	29.8	29	/	/	0.8	/	/	/	0.99	0.09	0.2	/	/	0.03	0.4	68.49
实施例 8	31.5	30.5	/	0.1	0.9	/	/	/	1	0.1	/	0.05	0.3	0.01	0.1	66.94
对比例 1	31.6	31.4	0.7	0.6	0.8	/	/	/	0.98	0.2	0.12	0.1	0.1	/	0.3	66.60
对比例 2	33.5	30.8	0.5	0.1	0.8	0.2	/	/	1.02	0.3	0.3	/	0.07	/	0.2	64.61
对比例 3	32.4	31.4	0.7	0.6	1	0.5	/	/	1.02	0	0.15	/	0.07	/	0.2	66.16
对比例 4	34.2	33	/	/	0.8	/	/	/	1.1	0.12	0.2	0.2	/	/	0.1	64.08
[0146] 对比例 5	33.8	32	/	0.8	/	/	/	/	1.1	0.12	0.2	0.2	/	/	0.1	64.48

[0147] 注：“/”是指不含有该元素。

[0148] 实施例1-8以及对比例1-5中钕铁硼磁体材料的制备方法如下：

[0149] (1) 熔炼和铸造过程：按照表1中的配方，将配制好的除R2(实施例4和6的R2中Pr以PrCu形式添加，实施例4、6中Cu在晶界扩散步骤添加的含量分别为0.05wt%和0.03wt%)以外的原料放入氧化铝的坩埚中，在高频真空熔炼炉中以0.05Pa的真空和1500℃的条件进行真空熔炼。再中频真空感应速凝甩带炉中通入氩气，进行铸造，再急冷合金，得合金片。

[0150] (2) 氢破制粉过程：在室温下将放置急冷合金的氢破用炉抽真空，而后向氢破用炉内通入纯度为99.9%的氢气，维持氢气的压力90kPa，充分吸氢后，边抽真空边升温，充分脱氢，之后进行冷却，取出氢破粉碎后的粉末。其中，吸氢的温度为25℃，脱氢的温度为550℃。

[0151] (3) 气流磨制粉过程：在氮气气氛下，在粉碎室压力为0.6MPa的条件下对氢破粉碎后的粉末进行3h的气流磨粉碎，得到细粉。

[0152] (4) 成型过程：将经气流膜之后的粉末在1.5T以上的磁场强度中成型。

[0153] (5) 烧结过程：将各成型体搬至烧结炉中进行烧结，烧结在低于0.5Pa的真空下，以1040℃烧结2h，得烧结体。

[0154] (6) 晶界扩散过程：将烧结体表面净化后将R2(例如Tb的合金或氟化物、Dy的合金或氟化物和PrCu合金中的一种或多种)涂覆于烧结体的表面，并以850℃的温度扩散18h，之后冷却至室温，再以550℃的温度进行低温回火处理3h。

[0155] 效果实施例1

[0156] 分别取实施例1-8以及对比例1-5中钕铁硼磁体材料，测定其磁性能和成分，FE-EPMA观察其磁体的相组成。

[0157] (1) 钕铁硼磁体材料的各成分使用高频电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-OES)进行测定。下表2所示为成分检测结果。

[0158] 表2钕铁硼材料的组分和含量(wt%)

[0159]

编号/wt%	TRE	R						B	Cu	M			Al	Co	Fe
		Nd	Pr	Dy	Tb	Ho	Gd			Ti	Nb	Ga			
实施例 1	28	27.5	/	/	0.5	/	/	0.9	0.15	0.35	/	/	/	0.1	70.5
实施例 2	32.8	32	/	/	0.8	/	/	1	0.12	0.15	0.1	/	/	0.2	65.2
实施例 3	31.2	30.4	0.2	0.1	0.5	/	/	0.98	0.07	0.12	0.1	0.1	/	0.3	67.1
实施例 4	32.2	30.8	0.7	0.1	0.6	/	/	1.02	0.13	0.15	/	0.07	/	0.2	66.3
实施例 5	30.9	29.9	/	0.05	0.75	0.1	0.1	1.1	0.03	0.05	/	0.1	/	0.2	67.7
实施例 6	29.5	28.5	0.1	0.12	0.7	0.02	0.06	1.03	0.05	0.3	/	0.02	/	0.2	68.9
实施例 7	29.8	29	/	/	0.8	/	/	0.99	0.09	0.2	/	/	0.03	0.4	68.5
实施例 8	31.5	30.5	/	0.1	0.9	/	/	1	0.1	/	0.05	0.3	0.01	0.1	66.9
实施例 9	31.6	29.9	/	/	0.7	/	/	0.99	0.07	0.15	/	/	/	0.3	64.7
对比例 1	33.5	31.4	0.7	0.6	0.8	/	/	0.98	0.2	0.12	0.1	0.1	/	0.2	65.8
对比例 2	32.4	30.8	0.7	0.1	0.8	/	/	1.02	0.3	0.3	/	0.07	/	0.2	64.4
对比例 3	34.2	31.4	1.2	0.6	1	/	/	1.02	0	0.15	/	0.07	/	0.1	64.2
对比例 4	33.8	33	/	/	0.8	/	/	1	0.12	0.2	0.2	/	/	0.1	65.4
对比例 5	32.8	32	/	0.8	/	/	/	1	0.12	0.2	0.2	/	/	0.1	70.5

[0160] 注：“/”是指不含有该元素。

[0161] (3) 磁性能评价：钕铁硼磁体材料使用英国Hirst公司的PFM-14磁性能测量仪进行磁性能检测；下表3所示为磁性能检测结果。

[0162] (4) 高温性能的测试：计算温度系数的公式为： $\frac{Br_{高温} - Br_{常温}}{Br_{常温} (高温 - 常温)} * 100%$ ，计算结果如表3所示。

[0163] (5) 微观结构的测定：三角区面积、晶界连续性等测试结果如表3所示，其中 $R_{24.09 \sim 29.88} M_{0.24 \sim 0.48} Cu_{1.7 \sim 2.84} (Fe+Co)_{67.35 \sim 73.24}$ 根据FE-EPMA测试得到。

[0164] 表3

[0165]

	20°C的 Br(kGs)	20°C的 Hcj(kOe)	120°C的 Br(kGs)	20- 120°CBr温 度系数 α(Br)%/°C	晶界 连续 性 (%)	三角 区面 积占 比 (%)	杂相组成	二颗 粒晶 界中 C和 O的 质量 占比 (%)	晶界 三角 区中 C和 O的 质量 占比 (%)	新物相	新物相在二颗 粒晶界中的面 积占比 (%)
实施 例 1	14.83	24.92	13.29	-0.104	97.51	1.84	稀土氧化物、稀土碳化物	0.40	0.49	$R_{26.91}(Fe+Co)_{69.93}Cu_{2.68}M_{0.48}$	3.12
实施 例 2	14.33	25.41	12.88	-0.101	99.21	2.38	稀土氧化物、稀土碳化物	0.32	0.44	$R_{24.60}(Fe+Co)_{72.73}Cu_{2.34}M_{0.33}$	0.53
实施 例 3	14.51	25.72	13.05	-0.101	98.34	2.16	稀土氧化物、稀土碳化物	0.39	0.45	$R_{25.35}(Fe+Co)_{72.54}Cu_{1.70}M_{0.41}$	1.03

实施例 4	14.44	25.64	13.00	-0.100	99.24	2.47	稀土氧化物、稀土碳化物	0.34	0.49	$R_{29.49}(Fe+Co)_{67.35}Cu_{2.81}M_{0.35}$	1.22
实施例 5	14.59	25.97	13.12	-0.101	98.02	1.91	稀土氧化物、稀土碳化物	0.36	0.43	$R_{24.37}(Fe+Co)_{73.24}Cu_{2.08}M_{0.31}$	1.14
实施例 6	14.75	26.23	13.25	-0.102	97.94	1.49	稀土氧化物、稀土碳化物	0.34	0.47	$R_{29.88}(Fe+Co)_{67.43}Cu_{2.31}M_{0.38}$	2.09
实施例 7	14.66	26.31	13.18	-0.101	97.88	1.98	稀土氧化物、稀土碳化物	0.38	0.48	$R_{24.09}(Fe+Co)_{73.18}Cu_{2.49}M_{0.24}$	1.66
实施例 8	14.49	26.55	13.04	-0.100	98.13	2.86	稀土氧化物、稀土碳化物	0.36	0.45	$R_{26.11}(Fe+Co)_{70.73}Cu_{2.84}M_{0.32}$	2.35
对比例 1	14.08	25.33	12.68	-0.099	96.87	3.84	稀土氧化物、稀土碳化物	0.22	0.58	/	无
对比例 2	14.31	24.52	12.82	-0.104	96.32	3.94	稀土氧化物、稀土碳化物	0.19	0.50	/	无
对比例 3	14	25.23	12.58	-0.101	96.81	4.01	稀土氧化物、稀土碳化物	0.26	0.52	/	无
对比例 4	14.16	25.05	12.71	-0.102	96.84	3.86	稀土氧化物、稀土碳化物	0.26	0.58	/	无
对比例 5	14.2	22.19	12.74	-0.103	96.53	3.73	稀土氧化物、稀土碳化物	0.24	0.59	/	无

[0167] 1) 本发明钕铁硼磁体材料的剩磁温度系数均与对比例相当,甚至更好;矫顽力明显高于对比例(实施例1~8);原因是:根据实施例中“晶界三角区中C和O的质量占比”减去“二颗粒晶界中C和O的质量占比(%)”的差值相对对比例缩小,可得到杂相从晶界三角区迁移到二颗粒晶界的结论,这从机理上解释了晶界连续性的提升、以及磁性能提升的原因。说明在同样低含量Co的条件下,若不按照本申请的配方协同配合,效果较差(对比例1~5)。

[0168] 2) 基于本申请的配方,即使调整Cu和TRE的含量,但是若其他组分含量不在本申请限定的范围内,均不能生成 $R_{24.09\sim 29.88}M_{0.24\sim 0.48}Cu_{1.7\sim 2.84}(Fe+Co)_{67.35\sim 73.24}$ 相,R-T-B系永磁材料的Br和Hc_j不能同时保持在较高值,且晶界连续降低、三角区面积较大(对比例1和对比例3)。

[0169] 3) 基于本申请的配方,即使调整Cu和M的含量,但是若其他组分含量不在本申请限定的范围内,均不能生成 $R_{24.09\sim 29.88}M_{0.24\sim 0.48}Cu_{1.7\sim 2.84}(Fe+Co)_{67.35\sim 73.24}$ 相,R-T-B系永磁材料的Br和Hc_j不能同时保持在较高值,且晶界连续降低、三角区面积较大(对比例2)。

[0170] 4) 基于本申请的配方,即使调整TRE和M的含量,但是若其他组分含量不在本申请限定的范围内,均不能生成 $R_{24.09\sim 29.88}M_{0.24\sim 0.48}Cu_{1.7\sim 2.84}(Fe+Co)_{67.35\sim 73.24}$ 相,R-T-B系永磁材料的Br和Hc_j不能同时保持在较高值,且晶界连续降低、三角区面积较大(对比例4)。

[0171] 5) 基于本申请的配方,即使调整M的含量范围,R2中不含Tb,若其他组分含量不在本申请限定的范围内,均不能生成 $R_{24.09\sim 29.88}M_{0.24\sim 0.48}Cu_{1.7\sim 2.84}(Fe+Co)_{67.35\sim 73.24}$ 相,R-T-B系永磁材料的Br和Hc_j不能同时保持在较高值,且晶界连续性降低、三角区面积较大(对比

例5)。

[0172] 效果实施例2

[0173] 如图1所示,为实施例1制得的钕铁硼磁体显微组织扫描照片,图1中,黑色区域结构为制备扫描电子显微镜观测样品时候,磨削抛光带来的富钕相脱落,使得图中出现黑色的空洞。其中点3为 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 主相(深灰色区域),点2为晶界三角区(银白色区域),点1为二颗粒晶界处中包含的新物相 $\text{R}_{24.09\sim 29.88}\text{M}_{0.24\sim 0.48}\text{Cu}_{1.7\sim 2.84}(\text{Fe}+\text{Co})_{67.35\sim 73.24}$ 。结果表明:晶界三角区的面积小于常规磁体。

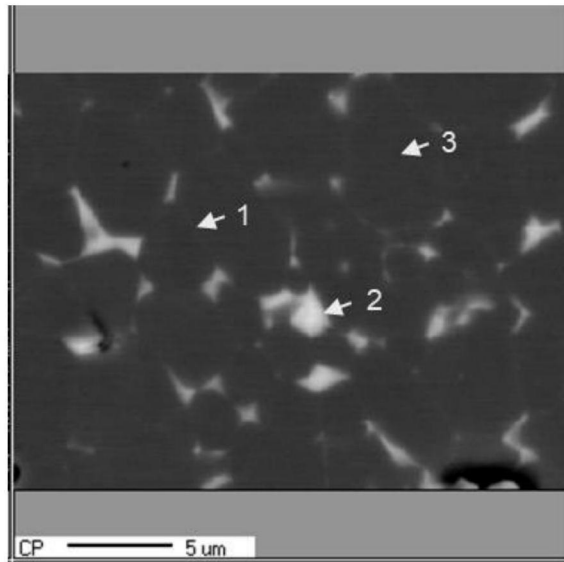


图1