

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2023年2月2日 (02.02.2023)



(10) 国际公布号
WO 2023/005166 A1

(51) 国际专利分类号:
H01F 1/057 (2006.01) *C22C 38/06* (2006.01)
H01F 41/02 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2022/072256

(22) 国际申请日: 2022年1月17日 (17.01.2022)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202110866196.2 2021年7月29日 (29.07.2021) CN

(71) 申请人: 福建省长汀金龙稀土有限公司 (FUJIAN CHANGTING GOLDEN DRAGON RARE-EARTH CO., LTD) [CN/CN]; 中国福建省龙岩市长汀经济开发区工业新区, Fujian 366300 (CN)。

(72) 发明人: 牟维国 (MOU, Weiguo); 中国福建省龙岩市长汀经济开发区工业新区福建省长汀金龙稀土有限公司, Fujian 366300 (CN)。 黄佳莹 (HUANG, Jiaying); 中国福建省厦门市海沧区柯井社厦门钨业股份有限公司, Fujian 361000 (CN)。 江政 (JIANG, Zheng); 中国福建省龙岩市长汀经济开发区工业新区福建省长汀金龙稀土有限公司, Fujian 366300 (CN)。

(74) 代理人: 上海正策律师事务所 (SHANGHAI JOINT-WIN LAW FIRM); 中国上海市浦东新区陆家嘴环路479号上海中心大厦6101室, Shanghai 200122 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:
— 包括国际检索报告 (条约第21条 (3))。

(54) Title: NEODYMIUM-IRON-BORON MAGNETIC MATERIAL, PREPARATION METHOD THEREFOR AND APPLICATION THEREOF

(54) 发明名称: 一种钕铁硼磁体材料及其制备方法和应用

(57) Abstract: Disclosed are a neodymium-iron-boron magnetic material, and a preparation method therefor and an application thereof. The neodymium-iron-boron magnetic material comprises the following components: 28-33 wt% of R, R being a rare earth element, and R comprising Nd and Pr, 27-31.5 wt% of Nd; 0.30-1.3 wt% of Al; 0.35-0.6 wt% of Cu; 0.85 wt% or more of Co; 0.98-1.2 wt% of B; 0.25 wt% or more of Nb; and 62-69 wt% of Fe, wt% representing the percentage of the mass of each component to the total mass of the neodymium-iron-boron magnetic material, and the content of Nd and Pr in the neodymium-iron-boron magnetic material satisfying the following formula: $Nd/Pr \geq 58$. The neodymium-iron-boron magnetic material prepared by the optimized formula in the present invention maintains remanence and squareness at a relatively high level while the coercive force thereof is improved.

(57) 摘要: 本发明公开了一种钕铁硼磁体材料及其制备方法和应用。该钕铁硼磁体材料包括以下组分: R: 28~33wt.%, 所述R为稀土元素; 所述R包括Nd和Pr, 所述Nd: 27~31.5wt.%; Al: 0.30~1.3wt.%; Cu: 0.35~0.6wt.%; $Co \geq 0.85wt.%$; B: 0.98~1.2wt.%; $Nb \geq 0.25wt.%$; Fe: 62~69wt.%, wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比; 所述钕铁硼磁体材料中所述Nd和所述Pr的含量满足如下公式: $Nd/Pr \geq 58$ 。本发明通过优化配方制得的钕铁硼磁体材料在提高矫顽力的同时, 剩磁和方形度均维持在较高水平。



WO 2023/005166 A1

一种钕铁硼磁体材料及其制备方法和应用

技术领域

本发明涉及一种钕铁硼磁体材料及其制备方法和应用。

背景技术

永磁材料作为支撑电子器件的关键材料被开发出来。R-T-B 系永磁材料已知为永久磁铁中性能最高的磁铁，被用于硬盘驱动器的音圈电机、电动车用电机、工业设备用电机等。

关于如何进一步提高 R-T-B 系永磁材料的综合性能是目前本领域内一直在研究的方向。例如中国专利文献 CN110993233A 公开了一种 R-T-B 系永磁材料，该永磁材料通过提高 X (Al\Cu\Ga) 的含量，调整稀土含量，使 Fe 和 B 的比例发生变化，从而只需常规含量的 B 也能够生成 6:13:1 相，进而得到磁性能优异的磁体材料。

又例如，中国专利文献 CN111180159A 也公开了一种钕铁硼永磁材料，该专利中的具体实施例公开了以下成分和结构的磁体材料：Nd 29wt.%、Tb 0.1wt.%、Dy 0.4wt.%、Cu 0.4wt.%、Al 0.5wt.%、Co 0.9wt.%、B 1wt.%、Nb 0.25 wt.%和 Fe 67.45wt.%；在晶间富稀土相还生成了特定质量占比的物相 $Tb_{0.4} Dy_{2.5} Al_{0.59} Nd_{89.6} Cu_{1.4} Co_{5.1}$ 。

上述配方均是基于高 Cu 高 Al 的磁体材料进行的改进，这主要是由于 Cu 元素的加入可以有效提高钕铁硼磁体的矫顽力，但是过多的 Cu（例如 0.35wt.%以上）在晶界的富集会​​导致磁体烧结后形成微裂纹从而降低磁体的致密性及强度，现有技术中一般会采用添加 Al 的方式（例如中国专利文献 CN110993234A），来解决上述缺陷。但是这些磁体材料的矫顽力和剩磁与永磁材料的理论值仍有一定的差距。

如何进一步优化磁体材料的配方，得到矫顽力和剩磁综合性能更高的钕铁硼磁体材料是亟需解决的技术问题。

发明内容

本发明主要是为了克服现有技术中存在的含 Al 和 Cu 的钕铁硼磁体材料的磁性能较低的缺陷，而提供了一种钕铁硼磁体材料及其制备方法和应用。本发明通过优化配方制得的钕铁硼磁体材料在提高矫顽力的同时，剩磁和方形度维持在较高水平。

本发明主要是通过以下技术方案解决以上技术问题的。

本发明提供了一种钕铁硼磁体材料，其包括以下组分：

R: 28~33wt.%, 所述 R 为稀土元素；

所述 R 包括 Nd 和 Pr, 所述 Nd: 27~31.5wt.%;

Al: 0.30~1.3wt.%;

Cu: 0.35~0.6wt.%;

Co \geq 0.85wt.%;

B: 0.98~1.2wt.%;

Nb \geq 0.25wt.%;

Fe: 62~69wt.%, wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比；

所述钕铁硼磁体材料中所述 Nd 和所述 Pr 的含量满足如下公式：Nd/Pr \geq 58。

本发明中，所述 R 的含量较佳地为 29~32.5wt.%, 例如 29.3wt.%、29.6wt.%、29.7wt.%、30.6wt.%、30.7wt.%、31.3wt.%、31.5wt.%、31.9wt.%、32wt.%、32.1wt.%或 32.3wt.%, wt.%是指占所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比。

本发明中，所述 Nd 的含量较佳地为 27~31wt.%, 例如 27.5wt.%、28.3wt.%、28.9wt.%、29.1wt.%、29.3wt.%、29.5wt.%、29.7wt.%、29.8wt.%、30.2wt.%、30.5wt.%或 30.7wt.%, wt.%是指占所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比。

本发明中，所述钕铁硼磁体材料还可包括 RH, 所述 RH 为重稀土元素。

其中，所述 RH 的含量可为本领域常规，较佳地为 0.5~2.5wt.%, 例如

0.6wt.%、0.9wt.%、1wt.%、1.2wt.%、1.4wt.%、1.5wt.%、1.7wt.%、2wt.%或2.3wt.%, wt.%是指占所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比。

其中,所述RH的种类较佳地为Dy和/或Tb。

当所述RH包含Dy时,所述Dy的含量较佳地为0.2~2.5wt.%,例如0.2wt.%、0.9wt.%、1.4wt.%、1.5wt.%、1.7wt.%或2.3wt.%, wt.%是指占所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比。

当所述RH包含Tb时,所述Tb的含量较佳地为0.5~2.5wt.%,例如0.6wt.%、0.8wt.%、1.2wt.%或2wt.%, wt.%是指占所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比。

本发明中,所述Nd/Pr的值较佳地为60~400,例如98、135、275、283、289、291、295、297、298、302、305或307。本领域技术人员知晓,所述Nd/Pr是指所述Nd的含量与所述Pr的含量的比值。

本发明中,所述Pr的含量较佳地为0.1~0.3wt.%,例如0.2wt.%, wt.%是指占所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比。

本发明中,所述Al的含量较佳地为0.45~1.15wt.%,例如0.46wt.%、0.61wt.%、0.65wt.%或0.7wt.%, wt.%是指占所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比。

本发明中,所述Cu的含量较佳地为0.35~0.45wt.%,例如0.36wt.%、0.37wt.%、0.38wt.%、0.39wt.%、0.4wt.%或0.42wt.%, wt.%是指占所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比。

本发明中,所述Co的含量较佳地为0.9~2.5wt.%,例如1wt.%、1.1wt.%、1.2wt.%、1.3wt.%、1.4wt.%或1.5wt.%, wt.%是指占所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比。

本发明中,所述Nb的含量较佳地为0.25~0.55wt.%,例如0.26wt.%、0.3wt.%或0.35wt.%, wt.%是指占所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比。

本发明中,所述B的含量较佳地为0.98~1.05wt.%,例如0.99wt.%、1wt.%、1.01wt.%、1.02wt.%或1.04wt.%, wt.%是指占所述钕铁硼磁体材料总质量

的百分比。

本发明中，所述 Fe 的含量较佳地为 63~68wt.%，例如 63.71wt.%、63.84wt.%、64.17wt.%、64.75wt.%、64.82wt.%、64.83wt.%、65.25wt.%、65.61wt.%、65.78wt.%、66.23wt.%、66.84wt.%、67.04wt.%、67.24wt.%、67.34wt.%或 67.35wt.%，wt.%是指占所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比。

本发明中，所述钕铁硼磁体材料较佳地包括 $\text{Nd}_x\text{Pr}_y\text{Co}_z$ 相，以所述 $\text{Nd}_x\text{Pr}_y\text{Co}_z$ 物相中 Nd、Pr 和 Co 的总摩尔量 100%计，x 为 50~57%，y=3~7%，z=39~46%；所述的 $\text{Nd}_x\text{Pr}_y\text{Co}_z$ 相位于晶界相，所述 $\text{Nd}_x\text{Pr}_y\text{Co}_z$ 相的面积与所述晶界相的总面积的比较佳地为 3~7%，更佳地为 4.5~5.5%，例如 4.9%、5%、5.1%、5.2%或 5.3%。所述 $\text{Nd}_x\text{Pr}_y\text{Co}_z$ 物相的面积或所述晶界相的总面积分别是指在检测的所述钕铁硼磁体材料的垂直取向面中所占的面积。

其中，所述 x 例如为 51%、52%、53%、54%、55%或 56%。

其中，所述 y 例如为 4%、5%或 6%。

其中，所述 z 例如为 40%、41%、42%、43%、44%或 45%。

其中，x（y 或 z）是指所述 $\text{Nd}_x\text{Pr}_y\text{Co}_z$ 相中 Nd（Pr 或 Co）的摩尔量与 $\text{Nd}_x\text{Pr}_y\text{Co}_z$ 相中所有元素总摩尔量的百分比。

本发明中，所述的晶界相可为本领域常规理解的含义，一般是指二颗粒晶界相和晶间三角区形成的区域的统称。所述二颗粒晶界相一般为两个主相颗粒之间的晶界相。

发明人发现，通过上述特定元素之间的配合在钕铁硼磁体材料中形成了特定含量的所述 $\text{Nd}_x\text{Pr}_y\text{Co}_z$ 相，该物相的存在降低了晶界相的溶解温度，能够更显著地提高晶界相的流动性、改善晶界相的分布，从而通过增强晶界相的去磁耦合能力极大地提高了钕铁硼材料的矫顽力。

本发明一较佳实施例中，所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成：Nd 29.7wt.%、Pr 0.1wt.%、Dy 1.7wt.%、Al 0.61wt.%、Cu 0.4wt.%、Co 1wt.%、Nb 0.25wt.%、B 0.99wt.%和 Fe 65.25wt.%，wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料磁体材料总质量的百分比；所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含

Nd₅₅Pr₄Co₄₁相,所述Nd₅₅Pr₄Co₄₁相的面积与所述晶界相总面积的比为5.1%。

本发明一较佳实施例中,所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成: Nd 29.8wt.%、Pr 0.1wt.%、Dy 1.4wt.%、Al 0.46wt.%、Cu 0.38wt.%、Co 1wt.%、Nb 0.25wt.%、B 1wt.%和Fe 65.61wt.%, wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比;所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含Nd₅₆Pr₄Co₄₀相,所述Nd₅₆Pr₄Co₄₀相的面积与所述晶界相总面积的比为5.2%。

本发明一较佳实施例中,所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成: Nd 30.2wt.%、Pr 0.1wt.%、Dy 1.7wt.%、Al 0.61wt.%、Cu 0.38wt.%、Co 0.9wt.%、Nb 0.3wt.%、B 0.99wt.%和Fe 64.82wt.%, wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比;所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含Nd₅₅Pr₅Co₄₀相,所述Nd₅₅Pr₅Co₄₀相的面积与所述晶界相总面积的比为5%。

本发明一较佳实施例中,所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成: Nd 29.3wt.%、Pr 0.3wt.%、Dy 2.3wt.%、Al 0.61wt.%、Cu 0.39wt.%、Co 1wt.%、Nb 0.26wt.%、B 1.01wt.%和Fe 64.83wt.%, wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比;所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含Nd₅₃Pr₆Co₄₁相,所述Nd₅₃Pr₆Co₄₁相的面积与所述晶界相总面积的比为5.2%。

本发明一较佳实施例中,所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成: Nd 30.7wt.%、Pr 0.1wt.%、Dy 1.5wt.%、Al 1.15wt.%、Cu 0.37wt.%、Co 1.1wt.%、Nb 0.25wt.%、B 0.99wt.%和Fe 63.84wt.%, wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比;所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含Nd₅₃Pr₄Co₄₃相,所述Nd₅₃Pr₄Co₄₃相的面积与所述晶界相总面积的比为5.1%。

本发明一较佳实施例中,所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成: Nd 28.9wt.%、Pr 0.1wt.%、Tb 0.6wt.%、Al 0.46wt.%、Cu 0.36wt.%、Co 1wt.%、Nb 0.26wt.%、B 0.98wt.%和Fe 67.34wt.%, wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比;所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含Nd₅₆Pr₄Co₄₀相,所述Nd₅₆Pr₄Co₄₀相的面积与所述晶界相总面积的比为4.9%。

本发明一较佳实施例中,所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成: Nd

28.3wt.%、Pr 0.1wt.%、Tb 1.2wt.%、Al 0.45wt.%、Cu 0.35wt.%、Co 1wt.%、Nb 0.26wt.%、B 0.99wt.%和 Fe 67.35wt.%, wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比;所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{56}\text{Pr}_4\text{Co}_{40}$ 相,所述 $\text{Nd}_{56}\text{Pr}_4\text{Co}_{40}$ 相的面积与所述晶界相总面积的比为 5.2%。

本发明一较佳实施例中,所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成: Nd 27wt.%、Pr 0.2wt.%、Tb 2.5wt.%、Al 0.45wt.%、Cu 0.36wt.%、Co 1wt.%、Nb 0.26wt.%、B 0.99wt.%和 Fe 67.24wt.%, wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比;所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{54}\text{Pr}_5\text{Co}_{41}$ 相,所述 $\text{Nd}_{54}\text{Pr}_5\text{Co}_{41}$ 相的面积与所述晶界相总面积的比为 5.3%。

本发明一较佳实施例中,所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成: Nd 27.5wt.%、Pr 0.1wt.%、Tb 2wt.%、Al 0.45wt.%、Cu 0.36wt.%、Co 1.3wt.%、Nb 0.26wt.%、B 0.99wt.%和 Fe 67.04wt.%, wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比;所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{55}\text{Pr}_4\text{Co}_{41}$ 相,所述 $\text{Nd}_{55}\text{Pr}_4\text{Co}_{41}$ 相的面积与所述晶界相总面积的比为 4.9%。

本发明一较佳实施例中,所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成: Nd 28.3wt.%、Pr 0.1wt.%、Dy 0.9wt.%、Al 0.7wt.%、Cu 0.42wt.%、Co 1.5wt.%、Nb 0.25wt.%、B 0.99wt.%和 Fe 66.84wt.%, wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比;所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{54}\text{Pr}_4\text{Co}_{42}$ 相,所述 $\text{Nd}_{54}\text{Pr}_4\text{Co}_{42}$ 相的面积与所述晶界相总面积的比为 5.2%。

本发明一较佳实施例中,所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成: Nd 30.5wt.%、Pr 0.1wt.%、Dy 1.5wt.%、Al 0.65wt.%、Cu 0.45wt.%、Co 1.4wt.%、Nb 0.25wt.%、B 0.98wt.%和 Fe 64.17wt.%, wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比;所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{55}\text{Pr}_4\text{Co}_{41}$ 相,所述 $\text{Nd}_{55}\text{Pr}_4\text{Co}_{41}$ 相的面积与所述晶界相总面积的比为 5.1%。

本发明一较佳实施例中,所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成: Nd 29.7wt.%、Pr 0.1wt.%、Dy 1.7wt.%、Al 0.61wt.%、Cu 0.4wt.%、Co 2.5wt.%、Nb 0.26wt.%、B 1.02wt.%和 Fe 63.71wt.%, wt.%为各组分的质量与所述钕铁

硼磁体材料总质量的百分比；所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{54}\text{Pr}_5\text{Co}_{41}$ 相，所述 $\text{Nd}_{54}\text{Pr}_5\text{Co}_{41}$ 相的面积与所述晶界相总面积的比为 5.1%。

本发明一较佳实施例中，所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成：Nd 29.7wt.%、Pr 0.1wt.%、Dy 1.7wt.%、Al 0.61wt.%、Cu 0.4wt.%、Co 1.5wt.%、Nb 0.25wt.%、B 0.99wt.%和 Fe 64.75wt.%，wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比；所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{51}\text{Pr}_4\text{Co}_{45}$ 相，所述 $\text{Nd}_{51}\text{Pr}_4\text{Co}_{45}$ 相的面积与所述晶界相总面积的比为 5.2%。

本发明一较佳实施例中，所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成：Nd 29.1wt.%、Pr 0.1wt.%、Tb 1.5wt.%、Al 0.46wt.%、Cu 0.37wt.%、Co 0.9wt.%、Nb 0.35wt.%、B 0.99wt.%和 Fe 66.23wt.%，wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比；所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{52}\text{Pr}_5\text{Co}_{43}$ 相，所述 $\text{Nd}_{52}\text{Pr}_5\text{Co}_{43}$ 相的面积与所述晶界相总面积的比为 5.2%。

本发明一较佳实施例中，所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成：Nd 29.5wt.%、Pr 0.1wt.%、Dy 0.2wt.%、Tb 0.8wt.%、Al 0.46wt.%、Cu 0.37wt.%、Co 1.2wt.%、Nb 0.55wt.%、B 1.04wt.%和 Fe 65.78wt.%，wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比；所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{52}\text{Pr}_4\text{Co}_{44}$ 相，所述 $\text{Nd}_{52}\text{Pr}_4\text{Co}_{44}$ 相的面积与所述晶界相总面积的比为 5.3%。

本发明还提供了一种钕铁硼磁体材料的制备方法，其包括以下步骤：按照所述钕铁硼磁体材料的组分配制各组分的原料，再将各组分的原料的混合物依次经熔炼、铸造、粉碎、成型、烧结和时效处理后即得；

所述时效处理包括三级时效处理，其中，第一级时效处理的温度为 850~950℃；第二级时效处理的温度为 600~650℃；第三级时效处理的温度为 450~550℃。

本发明中，所述第一级时效处理的温度较佳地为 790~910℃，例如 900℃。

本发明中，所述第一级时效处理的时间例如可为 2~4h，例如 3h。

本发明中，所述第二级时效处理的温度较佳地为 610~640℃，例如 620℃

或 630℃。

本发明中，所述第二级时效处理的时间例如可为 1~4h，例如 2h。

本发明中，所述第三级时效处理的温度较佳地为 470~490℃，例如 480℃。

本发明中，所述第三级时效处理的时间例如可为 1~4h，例如 3h。

本发明中，所述第三级时效处理之后还可进行晶界扩散处理。

其中，所述晶界扩散处理的温度较佳地为 850~1000℃，例如 900℃、910℃或 920℃。

其中，所述晶界扩散处理的时间较佳地为 10~30h，例如 20h。

其中，所述晶界扩散处理的扩散源为 Dy 金属粉末或含有 Dy 的合金。

其中，所述晶界扩散处理的扩散源较佳地为 Dy 金属粉末和/或含有 Dy 的合金。

所述扩散源的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比较佳地为 0.3~0.5wt.%，例如 0.4wt.%。

本发明中，所述熔炼的工艺可为本领域常规。

其中，所述熔炼的真空度例如为 5×10^{-2} Pa。

其中，所述熔炼的温度例如在 1550℃ 以下，例如 1530℃。

本发明中，所述铸造的工艺可为本领域常规。

其中，所述铸造的工艺例如采用速凝铸片法。

其中，所述铸造的温度可为 1390~1460℃，例如 1400℃。

其中，所述铸造之后得到的合金铸片的厚度可为 0.25~0.40mm，例如 0.29mm。

本发明中，所述粉碎的工艺可为本领域常规。

其中，所述粉碎一般依次进行氢破粉碎和气流磨粉碎。

所述氢破粉碎的工艺一般可为依次经吸氢、脱氢、冷却处理。

所述吸氢可在氢气压力 0.085MPa 的条件下进行。

所述脱氢可在边抽真空边升温的条件下进行。所述脱氢的温度可为 480~520℃，例如 500℃。

所述气流磨粉碎时的气体氛围可为氧化气体含量在 100ppm 以下，所述氧化气体含量是指氧气或水分的含量。

所述气流磨粉碎后，一般还添加润滑剂，例如硬脂酸锌。所述润滑剂的添加量可为所述微粉碎后得到的粉体质量的 0.05~0.15%，例如 0.12%。

本发明中，所述成型可采用磁场成型法。

其中，所述磁场成型例如在 1.8~2.5T 的磁场强度下进行。

本发明中，所述烧结的工艺可为本领域常规。

其中，所述烧结的温度可为 1000~1100℃，例如 1080℃。

其中，所述烧结的时间可为 4~8h，例如 6h。

本发明还提供了一种所述钕铁硼磁体材料的制备方法制得的钕铁硼磁体材料。

本发明还提供了一种所述钕铁硼磁体材料作为电子元器件的应用。

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。

本发明所用试剂和原料均市售可得。

本发明的积极进步效果在于：本发明通过特定含量的 Al、Cu、Co、Nb 和 B 等元素的配合，制备得到的钕铁硼磁体材料的矫顽力有显著的提升，且剩磁和方形度均维持在较高水平。

具体实施方式

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。

实施例 1

钕铁硼磁体材料按照下述制备步骤：

(1) 熔炼：将按照表 1 配制好的钕铁硼磁体材料的原料放入真空度为 5×10^{-2} Pa 的高频真空感应熔炼炉中，在 1530℃ 温度下熔炼成熔融液。

(2) 铸造：采用速凝铸片法，获得合金铸片（厚度为 0.29mm），浇铸的温度为 1400℃。

(3) 粉碎：依次进行氢破粉碎和气流磨粉碎。

氢破粉碎为经吸氢、脱氢、冷却处理。吸氢在氢气压力 0.085MPa 的条件下进行。脱氢在边抽真空边升温的条件下进行，脱氢温度为 500℃。

气流磨粉碎为在氧化气体含量 100ppm 以下进行，粉碎得到的粒径为 4.2 μ m，氧化气体是指氧气或水分含量。气流磨粉碎的研磨室压力为 0.68MPa。粉碎后，添加润滑剂硬脂酸锌，添加量为混合后粉末重量的 0.12%。

(4) 磁场成型，在 1.8~2.5T 的磁场强度和氮气气氛保护下进行。

(5) 烧结：在 5×10^{-3} Pa 真空条件下，经烧结、冷却。在 1080℃ 下烧结 6h；冷却前可通入 Ar 气体使气压达到 0.05MPa。

(6) 三级时效：第一级时效的温度为 900℃、时间为 3h；第二级时效的温度为 630℃、时间为 2h；第三级时效的温度为 480℃、时间为 3h。

(7) 晶界扩散处理：通过晶界扩散处理向经三级时效处理后得到的磁体材料中扩散 Dy 金属粉末（添加的 Dy 的含量为 0.4wt.%，wt.%是指占钕铁硼磁体材料总质量的百分比，而表 1 中记载的剩余 Dy 的含量 1.3wt.%在熔炼时添加），晶界扩散处理的温度为 910℃、时间为 20h。

实施例 1~5 和 10~13、对比例 1~8 按照如下表 1 的配方配制原料，二级时效的温度如下表 1 所示，其他制备工艺同实施例 1；其中，对于晶界扩散时添加的 Dy 的含量均为 0.4wt.%，表 1 中剩余的 Dy 是在熔炼时添加。

实施例 6~9、14 和 15 按照如下表 1 的配方配制原料，制备工艺在第三级时效处理之后并未进行晶界扩散处理，第二级时效处理的温度如下表 1 所示，其余制备工艺同实施例 1。

效果实施例 1

1、成分测定：对实施例 1~15 和对比例 1~8 中的钕铁硼磁体材料使用高频电感耦合等离子体发射光谱仪（ICP-OES）进行测定。测试结果如下表 1

所示。

表 1（单位为 wt.%，各元素占钕铁硼磁体材料总质量的百分比）

	Nd	Pr	Dy	Tb	Al	Cu	Co	Nb	B	Fe	Nd/Pr	第二级时效温度	是否晶界扩散
实施例 1	29.7	0.1	1.7		0.61	0.4	1	0.25	0.99	65.25	297	630℃	是
实施例 2	29.8	0.1	1.4		0.46	0.38	1	0.25	1	65.61	298	610℃	是
实施例 3	30.2	0.1	1.7		0.61	0.38	0.9	0.3	0.99	64.82	302	620℃	是
实施例 4	29.3	0.3	2.3		0.61	0.39	1	0.26	1.01	64.83	98	620℃	是
实施例 5	30.7	0.1	1.5		1.15	0.37	1.1	0.25	0.99	63.84	307	640℃	是
实施例 6	28.9	0.1		0.6	0.46	0.36	1	0.26	0.98	67.34	289	610℃	否
实施例 7	28.3	0.1		1.2	0.45	0.35	1	0.26	0.99	67.35	283	610℃	否
实施例 8	27	0.2		2.5	0.45	0.36	1	0.26	0.99	67.24	135	610℃	否
实施例 9	27.5	0.1		2	0.45	0.36	1.3	0.26	0.99	67.04	275	610℃	否
实施例 10	28.3	0.1	0.9		0.7	0.42	1.5	0.25	0.99	66.84	283	620℃	是
实施例 11	30.5	0.1	1.5		0.65	0.45	1.4	0.25	0.98	64.17	305	620℃	是
实施例 12	29.7	0.1	1.7		0.61	0.4	2.5	0.26	1.02	63.71	297	610℃	是
实施例 13	29.7	0.1	1.7		0.61	0.4	1.5	0.25	0.99	64.75	297	610℃	是
实施例 14	29.1	0.1		1.5	0.46	0.37	0.9	0.35	0.99	66.23	291	610℃	否
实施例 15	29.5	0.1	0.2	0.8	0.46	0.37	1.2	0.55	1.04	65.78	295	600℃	否
对比例 1	29.3	0.6	2.3		0.61	0.4	0.82	0.08	1.01	64.88	49	610℃	是
对比例 2	29.3	0.7	2.3		0.61	0.4	0.83	0.09	1.01	64.76	42	610℃	是
对比例 3	29.1	0.8	2.3		0.61	0.4	0.83	0.05	1.01	64.9	36	610℃	是
对比例 4	29.3	0.1	2.3		0.61	0.4	1	0.26	1.01	65.02	293	无	是
对比例 5	23.9	6.00	1.40		0.46	0.38	1.00	0.26	1.00	65.6	4	610℃	是
对比例 6	29.9		1.40		0.46	0.38	1.00	0.26	1.00	65.6	/	610℃	是
对比例 7	29.8	0.10	1.40		0.46	0.38	1.00	0.15	1.00	65.71	298	610℃	是
对比例 8	29.8	0.10	1.40		0.46	0.18	1.00	0.26	1.00	65.8	298	610℃	是

注：“/”表示未添加且未检测到该元素。上述实施例和对比例中的钕铁硼磁体材料中 Fe 的含量的数值为 100%减去各元素的含量，本领域技术人员知晓，Fe 的含量中包含在制备过程中引入的不可避免的一些杂质。

2、磁性能的测试

实施例 1~15 和对比例 1~8 中的钕铁硼磁体材料使用 PFM 脉冲式 BH 退磁曲线测试设备进行测试，测试温度为 20℃，得到剩磁（Br）、内禀矫顽力（Hcj）、最大磁能积（BHmax）和方形度（Hk/Hcj）的数据，测试结果如

下表 2 所示。

3、微观结构的表征

采用 FE-EPMA 检测：对实施例 1~15 和对比例 1~8 中的钕铁硼磁体材料的垂直取向面进行抛光，采用场发射电子探针显微分析仪 (FE-EPMA) (日本电子株式会社 (JEOL)，8530F) 检测。首先通过 FE-EPMA 面扫描确定钕铁硼磁体材料的晶界相中 Nd、Pr、Co 元素的分布，然后通过 FE-EPMA 单点定量分析确定 $Nd_xPr_yCo_z$ 相中各元素的摩尔含量占比，测试条件为加速电压 15kv，探针束流 50nA。测试结果如下表 2 所示。

其中， $Nd_xPr_yCo_z$ 相的面积为在检测钕铁硼磁体材料的截面 (前述的垂直取向面) 中 $Nd_xPr_yCo_z$ 相的面积与该截面中晶界相的总面积的比。

表 2

	物相	物相占比%	20℃磁性能			
			Br(kGs)	Hcj(kOe)	Bhmax(MGOe)	Hk/Hcj
实施例 1	$Nd_{55}Pr_4Co_{41}$	5.1	13.41	27.3	42.8	0.99
实施例 2	$Nd_{56}Pr_4Co_{40}$	5.2	13.63	25.8	44.2	0.98
实施例 3	$Nd_{55}Pr_5Co_{40}$	5	13.43	26.9	43.4	0.99
实施例 4	$Nd_{53}Pr_6Co_{41}$	5.2	13.1	29.1	40.9	0.99
实施例 5	$Nd_{53}Pr_4Co_{43}$	5.1	12.75	29.8	38.7	0.01
实施例 6	$Nd_{56}Pr_4Co_{40}$	4.9	14.32	23.9	48.8	0.99
实施例 7	$Nd_{56}Pr_4Co_{40}$	5.2	14.21	26.5	48.5	0.98
实施例 8	$Nd_{54}Pr_5Co_{41}$	5.3	13.92	32	46.1	0.99
实施例 9	$Nd_{55}Pr_4Co_{41}$	4.9	14.03	29.9	46.9	0.99
实施例 10	$Nd_{54}Pr_4Co_{42}$	5.2	14.04	24.7	46.9	0.99
实施例 11	$Nd_{55}Pr_4Co_{41}$	5.1	13.3	27.5	42.1	0.98
实施例 12	$Nd_{54}Pr_5Co_{41}$	5.1	13.4	27.5	43.2	0.98
实施例 13	$Nd_{51}Pr_4Co_{45}$	5.2	13.41	27.5	43.2	0.98

实施例 14	$\text{Nd}_{52}\text{Pr}_5\text{Co}_{43}$	5.2	13.88	28.3	45.9	0.99
实施例 15	$\text{Nd}_{52}\text{Pr}_4\text{Co}_{44}$	5.3	14	25.2	47.1	0.99
对比例 1	$\text{Nd}_{53}\text{Pr}_8\text{Co}_{39}$	2.1	13	26.2	40.2	0.98
对比例 2	$\text{Nd}_{52}\text{Pr}_9\text{Co}_{39}$	2	13.05	27.5	40.5	0.97
对比例 3	$\text{Nd}_{51}\text{Pr}_{12}\text{Co}_{37}$	1.9	13.05	27.4	40.5	0.99
对比例 4	/	/	13.05	27.1	40.5	0.97
对比例 5	/	/	13.42	24.9	42.9	0.95
对比例 6	/	/	13.47	24.3	43.2	0.95
对比例 7	$\text{Nd}_{51}\text{Pr}_{12}\text{Co}_{37}$	1.5	13.49	24.1	43.3	0.96
对比例 8	$\text{Nd}_{52}\text{Pr}_{11}\text{Co}_{37}$	1.4	13.47	23.9	43.2	0.98

注：表中 $\text{Nd}_x\text{Pr}_y\text{Co}_z$ 相下标中的数值省略了%。

由上表中的数据可知，本发明通过特定含量的 Co、Al、Cu、Nb、稀土元素等的配合，结合制备工艺中采用特定的三级时效处理，制得的钕铁硼磁体材料的矫顽力相较于现有技术有显著的提升，同时剩磁和方形度保持在较高水平。根据进一步地微观检测结果可知，这可能是由于本发明优化后的钕铁硼磁体材料的配方在制备成钕铁硼磁体材料后在晶界相中形成了特定含量的 $\text{Nd}_x\text{Pr}_y\text{Co}_z$ 相，优化了晶界结构进而提升了矫顽力。

权 利 要 求 书

1. 一种钕铁硼磁体材料，其特征在于，其包括以下组分：

R: 28~33wt.%, 所述 R 为稀土元素；

所述 R 包括 Nd 和 Pr, 所述 Nd: 27~31.5wt.%;

Al: 0.30~1.3wt.%;

Cu: 0.35~0.6wt.%;

Co \geq 0.85wt.%;

B: 0.98~1.2wt.%;

Nb \geq 0.25wt.%;

Fe: 62~69wt.%, wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比；

所述钕铁硼磁体材料中所述 Nd 和所述 Pr 的含量满足如下公式：Nd/Pr \geq 58。

2. 如权利要求 1 所述的钕铁硼磁体材料，其特征在于，所述 R 的含量为 29~32.5wt.%, 例如 29.3wt.%、29.6wt.%、29.7wt.%、30.6wt.%、30.7wt.%、31.3wt.%、31.5wt.%、31.9wt.%、32wt.%、32.1wt.%或 32.3wt.%, wt.%是指占所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比；

和/或, 所述 Nd 的含量为 27~31wt.%, 例如 27.5wt.%、28.3wt.%、28.9wt.%、29.1wt.%、29.3wt.%、29.5wt.%、29.7wt.%、29.8wt.%、30.2wt.%、30.5wt.%或 30.7wt.%, wt.%是指占所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比；

和/或, 所述钕铁硼磁体材料还包括 RH, 所述 RH 为重稀土元素；

其中, 所述 RH 的含量较佳地为 0.5~2.5wt.%, 例如 0.6wt.%、0.9wt.%、1wt.%、1.2wt.%、1.4wt.%、1.5wt.%、1.7wt.%、2wt.%或 2.3wt.%, wt.%是指占所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比；

其中, 所述 RH 的种类较佳地为 Dy 和/或 Tb；

当所述 RH 包含 Dy 时, 所述 Dy 的含量较佳地为 0.2~2.5wt.%, 例如 0.2wt.%、0.9wt.%、1.4wt.%、1.5wt.%、1.7wt.%或 2.3wt.%, wt.%是指占所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比；

当所述 RH 包含 Tb 时, 所述 Tb 的含量较佳地为 0.5~2.5wt.%, 例如 0.6wt.%、0.8wt.%、1.2wt.%或 2wt.%, wt.%是指占所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比;

和/或, 所述 Nd/Pr 的值为 60~400, 例如 98、135、275、283、289、291、295、297、298、302、305 或 307;

和/或, 所述 Pr 的含量为 0.1~0.3wt.%, 例如 0.2wt.%, wt.%是指占所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比。

3. 如权利要求 1 所述的钕铁硼磁体材料, 其特征在于, 所述 Al 的含量为 0.45~1.15wt.%, 例如 0.46wt.%、0.61wt.%、0.65wt.%或 0.7wt.%, wt.%是指占所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比;

和/或, 所述 Cu 的含量为 0.35~0.45wt.%, 例如 0.36wt.%、0.37wt.%、0.38wt.%、0.39wt.%、0.4wt.%或 0.42wt.%, wt.%是指占所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比;

和/或, 所述 Co 的含量为 0.9~2.5wt.%, 例如 1wt.%、1.1wt.%、1.2wt.%、1.3wt.%、1.4wt.%或 1.5wt.%, wt.%是指占所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比;

和/或, 所述 Nb 的含量为 0.25~0.55wt.%, 例如 0.26wt.%、0.3wt.%或 0.35wt.%, wt.%是指占所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比;

和/或, 所述 B 的含量为 0.98~1.05wt.%, 例如 0.99wt.%、1wt.%、1.01wt.%、1.02wt.%或 1.04wt.%, wt.%是指占所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比;

和/或, 所述 Fe 的含量为 63~68wt.%, 例如 63.71wt.%、63.84wt.%、64.17wt.%、64.75wt.%、64.82wt.%、64.83wt.%、65.25wt.%、65.61wt.%、65.78wt.%、66.23wt.%、66.84wt.%、67.04wt.%、67.24wt.%、67.34wt.%或 67.35wt.%, wt.%是指占所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比。

4. 如权利要求 1~3 中任一项所述的钕铁硼磁体材料, 其特征在于, 所述钕铁硼磁体材料包括 $\text{Nd}_x\text{Pr}_y\text{Co}_z$ 相, 以所述 $\text{Nd}_x\text{Pr}_y\text{Co}_z$ 物相中 Nd、Pr 和 Co 的总摩尔量 100%计, 其中 x 为 50~57%, y=3~7%, z=39~46%;

所述 x 例如为 51%、52%、53%、54%、55%或 56%;

所述 y 例如为 4%、5%或 6%;

所述 z 例如为 40%、41%、42%、43%、44%或 45%;

所述的 $\text{Nd}_x\text{Pr}_y\text{Co}_z$ 相位于晶界相;

所述 $\text{Nd}_x\text{Pr}_y\text{Co}_z$ 相的面积与所述晶界相的总面积的比较佳地为 3~7%，更佳地为 4.5~5.5%，例如 4.9%、5%、5.1%、5.2%或 5.3%，所述 $\text{Nd}_x\text{Pr}_y\text{Co}_z$ 物相的面积或所述晶界相的总面积分别是指在检测的所述钕铁硼磁体材料的垂直取向面中所占的面积。

5. 如权利要求 1 所述的钕铁硼磁体材料，其特征在于，所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成：Nd 29.7wt.%、Pr 0.1wt.%、Dy 1.7wt.%、Al 0.61wt.%、Cu 0.4wt.%、Co 1wt.%、Nb 0.25wt.%、B 0.99wt.%和 Fe 65.25wt.%，wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比；所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{55}\text{Pr}_4\text{Co}_{41}$ 相，所述 $\text{Nd}_{55}\text{Pr}_4\text{Co}_{41}$ 相的面积与所述晶界相总面积的比为 5.1%;

或者，所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成：Nd 29.8wt.%、Pr 0.1wt.%、Dy 1.4wt.%、Al 0.46wt.%、Cu 0.38wt.%、Co 1wt.%、Nb 0.25wt.%、B 1wt.%和 Fe 65.61wt.%，wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比；所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{56}\text{Pr}_4\text{Co}_{40}$ 相，所述 $\text{Nd}_{56}\text{Pr}_4\text{Co}_{40}$ 相的面积与所述晶界相总面积的比为 5.2%;

或者，所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成：Nd 30.2wt.%、Pr 0.1wt.%、Dy 1.7wt.%、Al 0.61wt.%、Cu 0.38wt.%、Co 0.9wt.%、Nb 0.3wt.%、B 0.99wt.%和 Fe 64.82wt.%，wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比；所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{55}\text{Pr}_5\text{Co}_{40}$ 相，所述 $\text{Nd}_{55}\text{Pr}_5\text{Co}_{40}$ 相的面积与所述晶界相总面积的比为 5%;

或者，所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成：Nd 29.3wt.%、Pr 0.3wt.%、Dy 2.3wt.%、Al 0.61wt.%、Cu 0.39wt.%、Co 1wt.%、Nb 0.26wt.%、B 1.01wt.%和 Fe 64.83wt.%，wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分

比；所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{53}\text{Pr}_6\text{Co}_{41}$ 相，所述 $\text{Nd}_{53}\text{Pr}_6\text{Co}_{41}$ 相的面积与所述晶界相总面积的比为 5.2%；

或者，所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成：Nd 30.7wt.%、Pr 0.1wt.%、Dy 1.5wt.%、Al 1.15wt.%、Cu 0.37wt.%、Co 1.1wt.%、Nb 0.25wt.%、B 0.99wt.% 和 Fe 63.84wt.%，wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比；所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{53}\text{Pr}_4\text{Co}_{43}$ 相，所述 $\text{Nd}_{53}\text{Pr}_4\text{Co}_{43}$ 相的面积与所述晶界相总面积的比为 5.1%；

或者，所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成：Nd 28.9wt.%、Pr 0.1wt.%、Dy wt.%、Tb 0.6wt.%、Al 0.46wt.%、Cu 0.36wt.%、Co 1wt.%、Nb 0.26wt.%、B 0.98wt.%和 Fe 67.34wt.%，wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比；所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{56}\text{Pr}_4\text{Co}_{40}$ 相，所述 $\text{Nd}_{56}\text{Pr}_4\text{Co}_{40}$ 相的面积与所述晶界相总面积的比为 4.9%；

或者，所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成：Nd 28.3wt.%、Pr 0.1wt.%、Tb 1.2wt.%、Al 0.45wt.%、Cu 0.35wt.%、Co 1wt.%、Nb 0.26wt.%、B 0.99wt.% 和 Fe 67.35wt.%，wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比；所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{56}\text{Pr}_4\text{Co}_{40}$ 相，所述 $\text{Nd}_{56}\text{Pr}_4\text{Co}_{40}$ 相的面积与所述晶界相总面积的比为 5.2%；

或者，所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成：Nd 27wt.%、Pr 0.2wt.%、Tb 2.5wt.%、Al 0.45wt.%、Cu 0.36wt.%、Co 1wt.%、Nb 0.26wt.%、B 0.99wt.% 和 Fe 67.24wt.%，wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比；所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{54}\text{Pr}_5\text{Co}_{41}$ 相，所述 $\text{Nd}_{54}\text{Pr}_5\text{Co}_{41}$ 相的面积与所述晶界相总面积的比为 5.3%；

或者，所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成：Nd 27.5wt.%、Pr 0.1wt.%、Tb 2wt.%、Al 0.45wt.%、Cu 0.36wt.%、Co 1.3wt.%、Nb 0.26wt.%、B 0.99wt.% 和 Fe 67.04wt.%，wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比；所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{55}\text{Pr}_4\text{Co}_{41}$ 相，所述 $\text{Nd}_{55}\text{Pr}_4\text{Co}_{41}$ 相的面积与所述晶界相总面积的比为 4.9%；

或者,所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成: Nd 28.3wt.%、Pr 0.1wt.%、Dy 0.9wt.%、Al 0.7wt.%、Cu 0.42wt.%、Co 1.5wt.%、Nb 0.25wt.%、B 0.99wt.%和 Fe 66.84wt.%, wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比;所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{54}\text{Pr}_4\text{Co}_{42}$ 相,所述 $\text{Nd}_{54}\text{Pr}_4\text{Co}_{42}$ 相的面积与所述晶界相总面积的比为 5.2%;

或者,所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成: Nd 30.5wt.%、Pr 0.1wt.%、Dy 1.5wt.%、Al 0.65wt.%、Cu 0.45wt.%、Co 1.4wt.%、Nb 0.25wt.%、B 0.98wt.%和 Fe 64.17wt.%, wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比;所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{55}\text{Pr}_4\text{Co}_{41}$ 相,所述 $\text{Nd}_{55}\text{Pr}_4\text{Co}_{41}$ 相的面积与所述晶界相总面积的比为 5.1%;

或者,所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成: Nd 29.7wt.%、Pr 0.1wt.%、Dy 1.7wt.%、Al 0.61wt.%、Cu 0.4wt.%、Co 2.5wt.%、Nb 0.26wt.%、B 1.02wt.%和 Fe 63.71wt.%, wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比;所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{54}\text{Pr}_5\text{Co}_{41}$ 相,所述 $\text{Nd}_{54}\text{Pr}_5\text{Co}_{41}$ 相的面积与所述晶界相总面积的比为 5.1%;

或者,所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成: Nd 29.7wt.%、Pr 0.1wt.%、Dy 1.7wt.%、Al 0.61wt.%、Cu 0.4wt.%、Co 1.5wt.%、Nb 0.25wt.%、B 0.99wt.%和 Fe 64.75wt.%, wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比;所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{51}\text{Pr}_4\text{Co}_{45}$ 相,所述 $\text{Nd}_{51}\text{Pr}_4\text{Co}_{45}$ 相的面积与所述晶界相总面积的比为 5.2%;

或者,所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成: Nd 29.1wt.%、Pr 0.1wt.%、Tb 1.5wt.%、Al 0.46wt.%、Cu 0.37wt.%、Co 0.9wt.%、Nb 0.35wt.%、B 0.99wt.%和 Fe 66.23wt.%, wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比;所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{52}\text{Pr}_5\text{Co}_{43}$ 相,所述 $\text{Nd}_{52}\text{Pr}_5\text{Co}_{43}$ 相的面积与所述晶界相总面积的比为 5.2%;

或者,所述钕铁硼磁体材料由以下组分组成: Nd 29.5wt.%、Pr 0.1wt.%、Dy 0.2wt.%、Tb 0.8wt.%、Al 0.46wt.%、Cu 0.37wt.%、Co 1.2wt.%、Nb 0.55wt.%、

B 1.04wt.%和 Fe 65.78wt.%, wt.%为各组分的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比; 所述钕铁硼磁体材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{52}\text{Pr}_4\text{Co}_{44}$ 相, 所述 $\text{Nd}_{52}\text{Pr}_4\text{Co}_{44}$ 相的面积与所述晶界相总面积的比为 5.3%。

6. 一种钕铁硼磁体材料的制备方法, 其特征在于, 其包括以下步骤: 按照如权利要求 1~3 和 5 中任一项所述的钕铁硼磁体材料的组分配制各组分的原料, 再将各组分的原料的混合物依次经熔炼、铸造、粉碎、成型、烧结和时效处理后即得;

所述时效处理包括三级时效处理, 其中, 第一级时效处理的温度为 850~950°C; 第二级时效处理的温度为 600~650°C; 第三级时效处理的温度为 450~550°C。

7. 如权利要求 6 所述的钕铁硼磁体材料的制备方法, 其特征在于, 所述第一级时效处理的温度为 790~910°C, 例如 900°C;

和/或, 所述第一级时效处理的时间为 2~4h, 例如 3h;

和/或, 所述第二级时效处理的温度为 610~640°C, 例如 620°C 或 630°C;

和/或, 所述第二级时效处理的时间为 1~4h, 例如 2h;

和/或, 所述第三级时效处理的温度为 470~490°C, 例如 480°C;

和/或, 所述第三级时效处理的时间为 1~4h, 例如 3h;

和/或, 所述第三级时效处理之后还进行晶界扩散处理;

其中, 所述晶界扩散处理的温度较佳地为 850~1000°C, 例如 900°C、910°C 或 920°C;

其中, 所述晶界扩散处理的时间较佳地为 10~30h, 例如 20h;

其中, 所述晶界扩散处理的扩散源为较佳地为 Dy 金属粉末和/或含有 Dy 的合金; 所述扩散源的质量与所述钕铁硼磁体材料总质量的百分比较佳地为 0.3~0.5wt.%, 例如 0.4wt.%。

8. 如权利要求 6 或 7 所述的钕铁硼磁体材料的制备方法, 其特征在于, 所述熔炼的真空度为 5×10^{-2} Pa;

和/或, 所述熔炼的温度在 1550°C 以下, 例如 1530°C;

和/或，所述铸造采用速凝铸片法；

和/或，所述铸造的温度为 1390~1460℃，例如 1400℃；

和/或，所述铸造之后得到的合金铸片的厚度为 0.25~0.40mm，例如 0.29mm；

和/或，所述粉碎为依次进行氢破粉碎和气流磨粉碎；

其中，所述氢破碎粉的工艺较佳地为依次经吸氢、脱氢和冷却处理；所述吸氢的氢气压力例如为 0.085MPa；所述脱氢的温度例如为 480~520℃，例如 500℃；

其中，所述气流磨粉碎时的气体氛围较佳地为氧化气体的含量在 100ppm 以下，所述气体含量是指氧气和/或水分的含量；

其中，所述气流磨粉碎后，较佳地还添加润滑剂，所述润滑剂例如为硬脂酸锌；所述润滑剂的添加量较佳地为所述气流磨粉碎后得到的粉体质量的 0.05~0.15%，例如 0.12%；

和/或，所述成型为磁场成型，所述磁场成型中磁场强度例如为 1.8~2.5T；

和/或，所述烧结的温度为 1000~1100℃，例如 1080℃；

和/或，所述烧结的时间为 4~8h，例如 6h。

9. 一种如权利要求 6~8 中任一项所述的钕铁硼磁体材料的制备方法制得的钕铁硼磁体材料。

10. 一种如权利要求 1~5 和 9 中任一项所述的钕铁硼磁体材料作为电子元器件的应用。

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2022/072256

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
H01F 1/057(2006.01)i; H01F 41/02(2006.01)i; C22C 38/06(2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01F; C22C		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) CNPAT, WPI, IEEE, CNKI: Pr, Nd, Al, Co, 钕铁硼, 晶界相, 晶相, Cu, Nb, phase, NdPrCo		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 113674943 A (FUJIAN CHANGTING GOLDEN DRAGON RARE-EARTH CO., LTD.; XIAMEN TUNGSTEN CO., LTD.) 19 November 2021 (2021-11-19) claims	1-10
X	CN 110993234 A (XIAMEN TUNGSTEN CO., LTD.; FUJIAN CHANGTING GOLDEN DRAGON RARE-EARTH CO., LTD.) 10 April 2020 (2020-04-10) claims, and description, paragraphs [0075]-[0094]	1-3, 6-10
A	CN 110880392 A (XIAMEN TUNGSTEN CO., LTD.; FUJIAN CHANGTING GOLDEN DRAGON RARE-EARTH CO., LTD.) 13 March 2020 (2020-03-13) entire document	1-10
A	CN 107610865 A (BAOTOU RESEARCH INSTITUTE OF RARE EARTHS; RUIKE NATIONAL ENGINEERING RESEARCH CENTRE RARE EARTH METALLURGY AND FUNCTIONAL MATERIALS) 19 January 2018 (2018-01-19) entire document	1-10
A	US 2017140856 A1 (SHIN-ETSU CHEMICAL CO., LTD.) 18 May 2017 (2017-05-18) entire document	1-10
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 11 April 2022		Date of mailing of the international search report 26 April 2022
Name and mailing address of the ISA/CN China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10)62019451		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2022/072256

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	113674943	A	19 November 2021	None			
CN	110993234	A	10 April 2020	WO	2021128802	A1	01 July 2021
				TW	202125543	A	01 July 2021
CN	110880392	A	13 March 2020	None			
CN	107610865	A	19 January 2018	None			
US	2017140856	A1	18 May 2017	KR	20170058295	A	26 May 2017
				CN	106710766	A	24 May 2017
				TW	201734227	A	01 October 2017
				EP	3179487	A1	14 June 2017

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2022/072256

<p>A. 主题的分类</p> <p>H01F 1/057(2006.01)i; H01F 41/02(2006.01)i; C22C 38/06(2006.01)i</p> <p>按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类</p>																				
<p>B. 检索领域</p> <p>检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)</p> <p>H01F; C22C</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))</p> <p>CNPAT, WPI, IEEE, CNKI:Pr, Nd, Al, Co, 钕铁硼, 晶界相, 晶相, Cu, Nb, phase, NdPrCo</p>																				
<p>C. 相关文件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 113674943 A (福建省长汀金龙稀土有限公司 厦门钨业股份有限公司) 2021年11月19日 (2021 - 11 - 19) 权利要求书</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>CN 110993234 A (厦门钨业股份有限公司 福建省长汀金龙稀土有限公司) 2020年4月10日 (2020 - 04 - 10) 权利要求书、说明书第[0075]-[0094]段</td> <td>1-3, 6-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 110880392 A (厦门钨业股份有限公司 福建省长汀金龙稀土有限公司) 2020年3月13日 (2020 - 03 - 13) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 107610865 A (包头稀土研究院 瑞科稀土冶金及功能材料国家工程研究中心有限公司) 2018年1月19日 (2018 - 01 - 19) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2017140856 A1 (SHIN-ETSU CHEMICAL CO., LTD.) 2017年5月18日 (2017 - 05 - 18) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table> <p><input type="checkbox"/> 其余文件在C栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 见同族专利附件。</p> <p>* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件</p>			类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 113674943 A (福建省长汀金龙稀土有限公司 厦门钨业股份有限公司) 2021年11月19日 (2021 - 11 - 19) 权利要求书	1-10	X	CN 110993234 A (厦门钨业股份有限公司 福建省长汀金龙稀土有限公司) 2020年4月10日 (2020 - 04 - 10) 权利要求书、说明书第[0075]-[0094]段	1-3, 6-10	A	CN 110880392 A (厦门钨业股份有限公司 福建省长汀金龙稀土有限公司) 2020年3月13日 (2020 - 03 - 13) 全文	1-10	A	CN 107610865 A (包头稀土研究院 瑞科稀土冶金及功能材料国家工程研究中心有限公司) 2018年1月19日 (2018 - 01 - 19) 全文	1-10	A	US 2017140856 A1 (SHIN-ETSU CHEMICAL CO., LTD.) 2017年5月18日 (2017 - 05 - 18) 全文	1-10
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																		
PX	CN 113674943 A (福建省长汀金龙稀土有限公司 厦门钨业股份有限公司) 2021年11月19日 (2021 - 11 - 19) 权利要求书	1-10																		
X	CN 110993234 A (厦门钨业股份有限公司 福建省长汀金龙稀土有限公司) 2020年4月10日 (2020 - 04 - 10) 权利要求书、说明书第[0075]-[0094]段	1-3, 6-10																		
A	CN 110880392 A (厦门钨业股份有限公司 福建省长汀金龙稀土有限公司) 2020年3月13日 (2020 - 03 - 13) 全文	1-10																		
A	CN 107610865 A (包头稀土研究院 瑞科稀土冶金及功能材料国家工程研究中心有限公司) 2018年1月19日 (2018 - 01 - 19) 全文	1-10																		
A	US 2017140856 A1 (SHIN-ETSU CHEMICAL CO., LTD.) 2017年5月18日 (2017 - 05 - 18) 全文	1-10																		
国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期																			
2022年4月11日	2022年4月26日																			
ISA/CN的名称和邮寄地址	授权官员																			
中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	武建刚 电话号码 86-(10)-53961218																			

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2022/072256

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	113674943	A	2021年11月19日	无			
CN	110993234	A	2020年4月10日	WO	2021128802	A1	2021年7月1日
				TW	202125543	A	2021年7月1日
CN	110880392	A	2020年3月13日	无			
CN	107610865	A	2018年1月19日	无			
US	2017140856	A1	2017年5月18日	KR	20170058295	A	2017年5月26日
				CN	106710766	A	2017年5月24日
				TW	201734227	A	2017年10月1日
				EP	3179487	A1	2017年6月14日