



(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 I806464 B

(45)公告日：中華民國 112 (2023) 年 06 月 21 日

(21)申請案號：111107630

(22)申請日：中華民國 111 (2022) 年 03 月 02 日

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

(30)優先權：2021/07/29 中國大陸 202110866196.2

(71)申請人：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：牟維國 MOU, WEIGUO (CN)；黃佳瑩 HUANG, JIAYING (CN)；江政 JIANG,
ZHENG (CN)

(74)代理人：童沈源

審查人員：陳文傑

申請專利範圍項數：10 項 圖式數：0 共 28 頁

(54)名稱

一種鈰鐵硼磁體材料及其製備方法和應用

(57)摘要

本發明公開了一種鈰鐵硼磁體材料及其製備方法和應用。該鈰鐵硼磁體材料包括以下組分：R：28~33wt.%，所述 R 為稀土元素；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.%為各組分的質量與所述鈰鐵硼磁體材料總質量的百分比；所述鈰鐵硼磁體材料中所述 Nd 和所述 Pr 的含量滿足如下公式：Nd/Pr $\geq$ 58。本發明通過優化配方製得的鈰鐵硼磁體材料在提高矯頑力的同時，剩磁和角形比均維持在較高水準。

The invention discloses a NdFeB magnet material, preparation method and application. The NdFeB magnet material comprises the following components: R, 28~33wt.%, and the R is a rare earth element; the R includes Nd and Pr, the Nd, 27~31.5wt.%; Al, 0.30~1.3wt.%; Cu, 0.35~0.6wt.%; Co, more than or equal to 0.85wt.%; B, 0.98~1.2wt.%; Nb, more than or equal to 0.25wt.%; Fe, 62~69wt.%, wt.% is the percentage of the mass of each component to the total mass of the NdFeB magnet material; the content of the Nd and the Pr included in the NdFeB magnet material satisfies the following condition: Nd/Pr, more than or equal to 58. The invention further optimizes the formula of the NdFeB magnet material, coercive force of the prepared NdFeB magnet material is improved, while residual magnetism and squareness are maintained at higher levels.....



I806464

【發明摘要】

公告本

【中文發明名稱】 一種釹鐵硼磁體材料及其製備方法和應用

【英文發明名稱】 NdFeB MAGNET MATERIAL, PREPARATION METHOD

AND APPLICATION

【中文】本發明公開了一種釹鐵硼磁體材料及其製備方法和應用。該釹鐵硼磁體材料包括以下組分：R：28~33wt.%，所述R為稀土元素；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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；所述釹鐵硼磁體材料中所述Nd和所述Pr的含量滿足如下公式：Nd/Pr $\geq$ 58。本發明通過優化配方製得的釹鐵硼磁體材料在提高矯頑力的同時，剩磁和角形比均維持在較高水準。

【英文】The invention discloses a NdFeB magnet material, preparation method and application. The NdFeB magnet material comprises the following components: R, 28~33wt.%, and the R is a rare earth element; the R includes Nd and Pr, the Nd, 27~31.5wt.%; Al, 0.30~1.3wt.%; Cu, 0.35~0.6wt.%; Co, more than or equal to 0.85wt.%; B, 0.98~1.2wt.%; Nb, more than or equal to 0.25wt.%; Fe, 62~69wt.%, wt.% is the percentage of the mass of each component to the total mass of the NdFeB magnet material; the content of the Nd and the Pr included in the NdFeB magnet material satisfies the following condition: Nd/Pr, more than or equal to 58. The invention further optimizes the formula of the NdFeB magnet material, coercive force of the prepared NdFeB magnet material is improved, while residual magnetism and squareness are maintained at higher levels.

【指定代表圖】 無

【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】 一種釹鐵硼磁體材料及其製備方法和應用

【英文發明名稱】 NdFeB MAGNET MATERIAL, PREPARATION METHOD
AND APPLICATION

【技術領域】

【0001】 本發明係有關一種釹鐵硼磁體材料及其製備方法和應用。

【先前技術】

【0002】 永磁材料作為支撐電子器件的關鍵材料被開發出來。R-T-B 系永磁材料已知為永久磁鐵中性能最高的磁鐵，被用於硬碟驅動器的音圈電機、電動車用電機、工業設備用電機等。

【0003】 關於如何進一步提高 R-T-B 系永磁材料的綜合性能是目前本領域內一直在研究的方向。例如中國專利文獻 CN110993233A 公開了一種 R-T-B 系永磁材料，該永磁材料通過提高 X (Al\Cu\Ga) 的含量，調整稀土含量，使 Fe 和 B 的比例發生變化，從而只需常規含量的 B 也能夠生成 6:13:1 相，進而得到磁性能優異的磁體材料。

【0004】 又例如，中國專利文獻 CN111180159A 也公開了一種釹鐵硼永磁材料，該專利中的具體實施例公開了以下成分和結構的磁體材料：Nd 29wt.%、Tb 0.1wt.%、Dy 0.4wt.%、Cu 0.4wt.%、Al 0.5wt.%、Co 0.9wt.%、B 1wt.%、Nb 0.25wt.%和 Fe 67.45wt.%；在晶間富稀土相還生成了特定質量佔比的物相 $Tb_{0.4}Dy_{2.5}-Al_{0.59}-Nd_{89.6}-Cu_{1.4}-Co_{5.1}$ 。

【0005】 上述配方均是基於高 Cu 高 Al 的磁體材料進行的改進，這主要是由於 Cu 元素的加入可以有效提高釹鐵硼磁體的矯頑力，但是過多的 Cu（例如 0.35wt.% 以上）在晶界的富集會導致磁體燒結後形成微裂紋從而降低磁體的緻密性及強度，現有技術中一般會採用添加 Al 的方式（例如中國專利文獻 CN110993234A），來解決上述缺陷。但是這些磁體材料的矯頑力和剩磁與永磁材料的理論值仍有一定的差距。

【0006】 如何進一步優化磁體材料的配方，得到矯頑力和剩磁綜合性能更高的釹鐵硼磁體材料是亟需解決的技術問題。

【發明內容】

【0007】 本發明主要是為了克服現有技術中存在的含 Al 和 Cu 的釹鐵硼磁體材料的磁性能較低的缺陷，而提供了一種釹鐵硼磁體材料及其製備方法和應用。本發明通過優化配方製得的釹鐵硼磁體材料在提高矯頑力的同時，剩磁和角形比維持在較高水準。

【0008】 本發明主要是通過以下技術方案解決以上技術問題的。

【0009】 本發明提供了一種釹鐵硼磁體材料，其包括以下組分：

【0010】 R：28~33wt.%，所述 R 為稀土元素；

【0011】 所述 R 包括 Nd 和 Pr，所述 Nd：27~31.5wt.%；

【0012】 Al：0.30~1.3wt.%；

【0013】 Cu：0.35~0.6wt.%；

【0014】 Co $\geq$ 0.85wt.%；

【0015】 B：0.98~1.2wt.%；

第2頁，共 17 頁(發明說明書)

【0016】 $\text{Nb} \geq 0.25\text{wt.}\%$ ；

【0017】 Fe ：62~69wt.%，wt.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；

【0018】 所述釹鐵硼磁體材料中所述 Nd 和所述 Pr 的含量滿足如下公式：
 $\text{Nd/Pr} \geq 58$ 。

【0019】 本發明中，所述 R 的含量較佳地為 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.%是指佔所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比。

【0020】 本發明中，所述 Nd 的含量較佳地為 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.%是指佔所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比。

【0021】 本發明中，所述釹鐵硼磁體材料還可包括 RH ，所述 RH 為重稀土元素。

【0022】 其中，所述 RH 的含量可為本領域常規，較佳地為 0.5~2.5wt.%，例如 0.6wt.%、0.9wt.%、1wt.%、1.2wt.%、1.4wt.%、1.5wt.%、1.7wt.%、2wt.%或 2.3wt.%，wt.%是指佔所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比。

【0023】 其中，所述 RH 的種類較佳地為 Dy 和/或 Tb 。

【0024】 當所述 RH 包含 Dy 時，所述 Dy 的含量較佳地為 0.2~2.5wt.%，例如 0.2wt.%、0.9wt.%、1.4wt.%、1.5wt.%、1.7wt.%或 2.3wt.%，wt.%是指佔所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比。

【0025】 當所述 RH 包含 Tb 時，所述 Tb 的含量較佳地為 0.5~2.5wt.%，例如 0.6wt.%、0.8wt.%、1.2wt.%或 2wt.%，wt.%是指佔所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比。

【0026】 本發明中，所述 Nd/Pr 的值較佳地為 60~400，例如 98、135、275、283、289、291、295、297、298、302、305 或 307。本領域技術人員知曉，所述 Nd/Pr 是指所述 Nd 的含量與所述 Pr 的含量的比值。

【0027】 本發明中，所述 Pr 的含量較佳地為 0.1~0.3wt.%，例如 0.2wt.%，wt.%是指佔所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比。

【0028】 本發明中，所述 Al 的含量較佳地為 0.45~1.15wt.%，例如 0.46wt.%、0.61wt.%、0.65wt.%或 0.7wt.%，wt.%是指佔所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比。

【0029】 本發明中，所述 Cu 的含量較佳地為 0.35~0.45wt.%，例如 0.36wt.%、0.37wt.%、0.38wt.%、0.39wt.%、0.4wt.%或 0.42wt.%，wt.%是指佔所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比。

【0030】 本發明中，所述 Co 的含量較佳地為 0.9~2.5wt.%，例如 1wt.%、1.1wt.%、1.2wt.%、1.3wt.%、1.4wt.%或 1.5wt.%，wt.%是指佔所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比。

【0031】 本發明中，所述 Nb 的含量較佳地為 0.25~0.55wt.%，例如 0.26wt.%、0.3wt.%或 0.35wt.%，wt.%是指佔所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比。

【0032】 本發明中，所述 B 的含量較佳地為 0.98~1.05wt.%，例如 0.99wt.%、1wt.%、1.01wt.%、1.02wt.%或 1.04wt.%，wt.%是指佔所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比。

【0033】 本發明中，所述 Fe 的含量較佳地為 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.%是指佔所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比。

【0034】 本發明中，所述釹鐵硼磁體材料較佳地包括 $\text{Nd}_x\text{Pr}_y\text{Co}_z$ 相，以所述 $\text{Nd}_x\text{Pr}_y\text{Co}_z$ 物相中 Nd、Pr 和 Co 的總摩爾量 100%計，x 為 50~57%，y=3~7%，z=39~46%；所述的 $\text{Nd}_x\text{Pr}_y\text{Co}_z$ 相位於晶界相，所述 $\text{Nd}_x\text{Pr}_y\text{Co}_z$ 相的面積與所述晶界相的總面積的比較佳地為 3~7%，更佳地為 4.5~5.5%，例如 4.9%、5%、5.1%、5.2%或 5.3%。所述 $\text{Nd}_x\text{Pr}_y\text{Co}_z$ 物相的面積或所述晶界相的總面積分別是指在檢測的所述釹鐵硼磁體材料的垂直取向面中所佔的面積。

【0035】 其中，所述 x 例如為 51%、52%、53%、54%、55%或 56%。

【0036】 其中，所述 y 例如為 4%、5%或 6%。

【0037】 其中，所述 z 例如為 40%、41%、42%、43%、44%或 45%。

【0038】 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）的摩爾量與 $\text{Nd}_x\text{Pr}_y\text{Co}_z$ 相中所有元素總摩爾量的百分比。

【0039】 本發明中，所述的晶界相可為本領域常規理解的含義，一般是指二顆粒晶界相和晶間三角區形成的區域的統稱。所述二顆粒晶界相一般為兩個主相顆粒之間的晶界相。

【0040】 發明人發現，通過上述特定元素之間的配合在釹鐵硼磁體材料中形成了特定含量的所述 $\text{Nd}_x\text{Pr}_y\text{Co}_z$ 相，該物相的存在降低了晶界相的溶解溫度，能夠更顯著地提高晶界相的流動性、改善晶界相的分佈，從而通過增強晶界相的去磁耦合能力極大地提高了釹鐵硼材料的矯頑力。

【0041】 本發明一較佳實施例中，所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成：
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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼
磁體材料總質量的百分比；所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含
Nd₅₅Pr₄Co₄₁相，所述 Nd₅₅Pr₄Co₄₁相的面積與所述晶界相總面積的比為 5.1%。

【0042】 本發明一較佳實施例中，所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成：
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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體
材料總質量的百分比；所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 Nd₅₆Pr₄Co₄₀相，所
述 Nd₅₆Pr₄Co₄₀相的面積與所述晶界相總面積的比為 5.2%。

【0043】 本發明一較佳實施例中，所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成：
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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁
體材料總質量的百分比；所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 Nd₅₅Pr₅Co₄₀相，
所述 Nd₅₅Pr₅Co₄₀相的面積與所述晶界相總面積的比為 5%。

【0044】 本發明一較佳實施例中，所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成：
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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼
磁體材料總質量的百分比；所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 Nd₅₃Pr₆Co₄₁相，
所述 Nd₅₃Pr₆Co₄₁相的面積與所述晶界相總面積的比為 5.2%。

【0045】 本發明一較佳實施例中，所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成：
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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{53}\text{Pr}_4\text{Co}_{43}$ 相，所述 $\text{Nd}_{53}\text{Pr}_4\text{Co}_{43}$ 相的面積與所述晶界相總面積的比為 5.1%。

【0046】 本發明一較佳實施例中，所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成：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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{56}\text{Pr}_4\text{Co}_{40}$ 相，所述 $\text{Nd}_{56}\text{Pr}_4\text{Co}_{40}$ 相的面積與所述晶界相總面積的比為 4.9%。

【0047】 本發明一較佳實施例中，所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成：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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{56}\text{Pr}_4\text{Co}_{40}$ 相，所述 $\text{Nd}_{56}\text{Pr}_4\text{Co}_{40}$ 相的面積與所述晶界相總面積的比為 5.2%。

【0048】 本發明一較佳實施例中，所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成：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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{54}\text{Pr}_5\text{Co}_{41}$ 相，所述 $\text{Nd}_{54}\text{Pr}_5\text{Co}_{41}$ 相的面積與所述晶界相總面積的比為 5.3%。

【0049】 本發明一較佳實施例中，所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成：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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼

磁體材料總質量的百分比;所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{55}\text{Pr}_4\text{Co}_{41}$ 相, 所述 $\text{Nd}_{55}\text{Pr}_4\text{Co}_{41}$ 相的面積與所述晶界相總面積的比為 4.9%。

【0050】 本發明一較佳實施例中, 所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成: 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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比;所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{54}\text{Pr}_4\text{Co}_{42}$ 相, 所述 $\text{Nd}_{54}\text{Pr}_4\text{Co}_{42}$ 相的面積與所述晶界相總面積的比為 5.2%。

【0051】 本發明一較佳實施例中, 所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成: 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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比;所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{55}\text{Pr}_4\text{Co}_{41}$ 相, 所述 $\text{Nd}_{55}\text{Pr}_4\text{Co}_{41}$ 相的面積與所述晶界相總面積的比為 5.1%。

【0052】 本發明一較佳實施例中, 所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成: 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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比;所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{54}\text{Pr}_5\text{Co}_{41}$ 相, 所述 $\text{Nd}_{54}\text{Pr}_5\text{Co}_{41}$ 相的面積與所述晶界相總面積的比為 5.1%。

【0053】 本發明一較佳實施例中, 所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成: 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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比;所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{51}\text{Pr}_4\text{Co}_{45}$ 相, 所述 $\text{Nd}_{51}\text{Pr}_4\text{Co}_{45}$ 相的面積與所述晶界相總面積的比為 5.2%。

【0054】 本發明一較佳實施例中，所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成：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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{52}\text{Pr}_5\text{Co}_{43}$ 相，所述 $\text{Nd}_{52}\text{Pr}_5\text{Co}_{43}$ 相的面積與所述晶界相總面積的比為 5.2%。

【0055】 本發明一較佳實施例中，所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成：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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{52}\text{Pr}_4\text{Co}_{44}$ 相，所述 $\text{Nd}_{52}\text{Pr}_4\text{Co}_{44}$ 相的面積與所述晶界相總面積的比為 5.3%。

【0056】 本發明還提供了一種釹鐵硼磁體材料的製備方法，其包括以下步驟：按照所述釹鐵硼磁體材料的組分配製各組分的原料，再將各組分的原料的混合物依次經熔煉、鑄造、粉碎、成型、燒結和時效處理後即得；

【0057】 所述時效處理包括三級時效處理，其中，第一級時效處理的溫度為 850~950℃；第二級時效處理的溫度為 600~650℃；第三級時效處理的溫度為 450~550℃。

【0058】 本發明中，所述第一級時效處理的溫度較佳地為 790~910℃，例如 900℃。

【0059】 本發明中，所述第一級時效處理的時間例如可為 2~4h，例如 3h。

【0060】 本發明中，所述第二級時效處理的溫度較佳地為 610~640℃，例如 620℃或 630℃。

【0061】 本發明中，所述第二級時效處理的時間例如可為 1~4h，例如 2h。

【0062】 本發明中，所述第三級時效處理的溫度較佳地為 470~490℃，例如 480℃。

【0063】 本發明中，所述第三級時效處理的時間例如可為 1~4h，例如 3h。

【0064】 本發明中，所述第三級時效處理之後還可進行晶界擴散處理。

【0065】 其中，所述晶界擴散處理的溫度較佳地為 850~1000℃，例如 900℃、910℃或 920℃。

【0066】 其中，所述晶界擴散處理的時間較佳地為 10~30h，例如 20h。

【0067】 其中，所述晶界擴散處理的擴散源為 Dy 金屬粉末或含有 Dy 的合金。

【0068】 其中，所述晶界擴散處理的擴散源較佳地為 Dy 金屬粉末和/或含有 Dy 的合金。

【0069】 所述擴散源的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比較佳地為 0.3~0.5wt.%，例如 0.4wt.%。

【0070】 本發明中，所述熔煉的工藝可為本領域常規。

【0071】 其中，所述熔煉的真空度例如為 5×10^{-2} Pa。

【0072】 其中，所述熔煉的溫度例如在 1550℃以下，例如 1530℃。

【0073】 本發明中，所述鑄造的工藝可為本領域常規。

【0074】 其中，所述鑄造的工藝例如採用速凝鑄片法。

【0075】 其中，所述鑄造的溫度可為 1390~1460℃，例如 1400℃。

【0076】 其中，所述鑄造之後得到的合金鑄片的厚度可為 0.25~0.40mm，例如 0.29mm。

【0077】 本發明中，所述粉碎的工藝可為本領域常規。

【0078】其中，所述粉碎一般依次進行氫破粉碎和氣流磨粉碎。

【0079】所述氫破粉碎的工藝一般可為依次經吸氫、脫氫、冷卻處理。

【0080】所述吸氫可在氫氣壓力 0.085MPa 的條件下進行。

【0081】所述脫氫可在邊抽真空邊升溫的條件下進行。所述脫氫的溫度可為 480~520℃，例如 500℃。

【0082】所述氣流磨粉碎時的氣體氛圍可為氧化氣體含量在 100ppm 以下，所述氧化氣體含量是指氧氣或水分的含量。

【0083】所述氣流磨粉碎後，一般還添加潤滑劑，例如硬脂酸鋅。所述潤滑劑的添加量可為所述微粉碎後得到的粉體質量的 0.05~0.15%，例如 0.12%。

【0084】本發明中，所述成型可採用磁場成型法。

【0085】其中，所述磁場成型例如在 1.8~2.5T 的磁場強度下進行。

【0086】本發明中，所述燒結的工藝可為本領域常規。

【0087】其中，所述燒結的溫度可為 1000~1100℃，例如 1080℃。

【0088】其中，所述燒結的時間可為 4~8h，例如 6h。

【0089】本發明還提供了一種所述釹鐵硼磁體材料的製備方法製得的釹鐵硼磁體材料。

【0090】本發明還提供了一種所述釹鐵硼磁體材料作為電子元器件的應用。

【0091】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。

【0092】本發明所用試劑和原料均市售可得。

【0093】 本發明的積極進步效果在於：本發明通過特定含量的 Al、Cu、Co、Nb 和 B 等元素的配合，製備得到的鈰鐵硼磁體材料的矯頑力有顯著的提升，且剩磁和角形比均維持在較高水準。

【圖式簡單說明】

【0094】 無。

【實施方式】

【0095】 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，按照常規方法和條件，或按照商品說明書選擇。

【0096】 實施例 1

【0097】 鈰鐵硼磁體材料按照下述製備步驟：

【0098】 （1）熔煉：將按照表 1 配製好的鈰鐵硼磁體材料的原料放入真空度為 5×10^{-2} Pa 的高頻真空感應熔煉爐中，在 1530℃ 溫度下熔煉成熔融液。

【0099】 （2）鑄造：採用速凝鑄片法，獲得合金鑄片（厚度為 0.29mm），澆鑄的溫度為 1400℃。

【0100】 （3）粉碎：依次進行氬破粉碎和氣流磨粉碎。

【0101】 氬破粉碎為經吸氬、脫氬、冷卻處理。吸氬在氬氣壓力 0.085MPa 的條件下進行。脫氬在邊抽真空邊升溫的條件下進行，脫氬溫度為 500℃。

【0102】 氣流磨粉碎為在氧化氣體含量 100ppm 以下進行，粉碎得到的粒徑為 $4.2\mu\text{m}$ ，氧化氣體是指氧氣或水分含量。氣流磨粉碎的研磨室壓力為 0.68MPa。粉碎後，添加潤滑劑硬脂酸鋅，添加量為混合後粉末重量的 0.12%。

【0103】 (4) 磁場成型，在 1.8~2.5T 的磁場強度和氮氣氣氛保護下進行。

【0104】 (5) 燒結：在 $5\times 10^{-3}\text{Pa}$ 真空條件下，經燒結、冷卻。在 1080°C 下燒結 6h；冷卻前可通入 Ar 氣體使氣壓達到 0.05MPa。

【0105】 (6) 三級時效：第一級時效的溫度為 900°C 、時間為 3h；第二級時效的溫度為 630°C 、時間為 2h；第三級時效的溫度為 480°C 、時間為 3h。

【0106】 (7) 晶界擴散處理：通過晶界擴散處理向經三級時效處理後得到的磁體材料中擴散 Dy 金屬粉末（添加的 Dy 的含量為 0.4wt.%，wt.%是指佔釹鐵硼磁體材料總質量的百分比，而表 1 中記載的剩餘 Dy 的含量 1.3wt.%在熔煉時添加），晶界擴散處理的溫度為 910°C 、時間為 20h。

【0107】 實施例 1~5 和 10~13、對比例 1~8 按照如下表 1 的配方配製原料，二級時效的溫度如下表 1 所示，其他製備工藝同實施例 1；其中，對於晶界擴散時添加的 Dy 的含量均為 0.4wt.%，表 1 中剩餘的 Dy 是在熔煉時添加。

【0108】 實施例 6~9、14 和 15 按照如下表 1 的配方配製原料，製備工藝在第三級時效處理之後並未進行晶界擴散處理，第二級時效處理的溫度如下表 1 所示，其餘製備工藝同實施例 1。

【0109】 效果實施例 1

【0110】 1、成分測定：對實施例 1~15 和對比例 1~8 中的釹鐵硼磁體材料使用高頻電感耦合等離子體發射光譜儀（ICP-OES）進行測定。測試結果如下表 1 所示。

【0111】 表 1（單位為 wt.%，各元素佔釹鐵硼磁體材料總質量的百分比）

	Nd	Pr	Dy	Tb	Al	Cu	Co	Nb	B	Fe	Nd/Pr	第二級時效溫度	是否晶界擴散
實施例 1	29.7	0.1	1.7		0.61	0.4	1	0.25	0.99	65.25	297	630℃	是
實施例 2	29.8	0.1	1.4		0.46	0.38	1	0.25	1	65.61	298	610℃	是
實施例 3	30.2	0.1	1.7		0.61	0.38	0.9	0.3	0.99	64.82	302	620℃	是
實施例 4	29.3	0.3	2.3		0.61	0.39	1	0.26	1.01	64.83	98	620℃	是
實施例 5	30.7	0.1	1.5		1.15	0.37	1.1	0.25	0.99	63.84	307	640℃	是
實施例 6	28.9	0.1		0.6	0.46	0.36	1	0.26	0.98	67.34	289	610℃	否
實施例 7	28.3	0.1		1.2	0.45	0.35	1	0.26	0.99	67.35	283	610℃	否
實施例 8	27	0.2		2.5	0.45	0.36	1	0.26	0.99	67.24	135	610℃	否
實施例 9	27.5	0.1		2	0.45	0.36	1.3	0.26	0.99	67.04	275	610℃	否
實施例 10	28.3	0.1	0.9		0.7	0.42	1.5	0.25	0.99	66.84	283	620℃	是
實施例 11	30.5	0.1	1.5		0.65	0.45	1.4	0.25	0.98	64.17	305	620℃	是
實施例 12	29.7	0.1	1.7		0.61	0.4	2.5	0.26	1.02	63.71	297	610℃	是
實施例 13	29.7	0.1	1.7		0.61	0.4	1.5	0.25	0.99	64.75	297	610℃	是
實施例 14	29.1	0.1		1.5	0.46	0.37	0.9	0.35	0.99	66.23	291	610℃	否
實施例 15	29.5	0.1	0.2	0.8	0.46	0.37	1.2	0.55	1.04	65.78	295	600℃	否
對比例 1	29.3	0.6	2.3		0.61	0.4	0.82	0.08	1.01	64.88	49	610℃	是
對比例 2	29.3	0.7	2.3		0.61	0.4	0.83	0.09	1.01	64.76	42	610℃	是
對比例 3	29.1	0.8	2.3		0.61	0.4	0.83	0.05	1.01	64.9	36	610℃	是
對比例 4	29.3	0.1	2.3		0.61	0.4	1	0.26	1.01	65.02	293	無	是
對比例 5	23.9	6.00	1.40		0.46	0.38	1.00	0.26	1.00	65.6	4	610℃	是
對比例 6	29.9		1.40		0.46	0.38	1.00	0.26	1.00	65.6	/	610℃	是
對比例 7	29.8	0.10	1.40		0.46	0.38	1.00	0.15	1.00	65.71	298	610℃	是
對比例 8	29.8	0.10	1.40		0.46	0.18	1.00	0.26	1.00	65.8	298	610℃	是

【0112】 註：“/”表示未添加且未檢測到該元素。上述實施例和對比例中的釹鐵硼磁體材料中 Fe 的含量的數值為 100%減去各元素的含量，本領域技術人員知曉，Fe 的含量中包含在製備過程中引入的不可避免的一些雜質。

【0113】 2、磁性能的測試

【0114】 實施例 1~15 和對比例 1~8 中的釹鐵硼磁體材料使用 PFM 脈衝式 BH 退磁曲線測試設備進行測試，測試溫度為 20℃，得到剩磁（Br）、內稟矯頑力（Hcj）、最大磁能積（BHmax）和角形比（Hk/Hcj）的數據，測試結果如下表 2 所示。

【0115】 3、微觀結構的表徵

【0116】 採用 FE-EPMA 檢測：對實施例 1~15 和對比例 1~8 中的釹鐵硼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 面掃描確定釹鐵硼磁體材料的晶界相中 Nd、Pr、Co 元素的分佈，然後通過 FE-EPMA 單點定量分析確定 Nd_xPr_yCo_z相中各元素的摩爾含量佔比，測試條件為加速電壓 15kv，探針束流 50nA。測試結果如下表 2 所示。

【0117】 其中，Nd_xPr_yCo_z相的面積為在檢測釹鐵硼磁體材料的截面（前述的垂直取向面）中 Nd_xPr_yCo_z相的面積與該截面中晶界相的總面積的比。

【0118】 表 2

	物相	物相 佔比%	20℃ 磁性能			
			Br(kGs)	Hcj(kOe)	Bhmax(MGOe)	Hk/Hcj
實施例 1	Nd ₅₅ Pr ₄ Co ₄₁	5.1	13.41	27.3	42.8	0.99
實施例 2	Nd ₅₆ Pr ₄ Co ₄₀	5.2	13.63	25.8	44.2	0.98
實施例 3	Nd ₅₅ Pr ₅ Co ₄₀	5	13.43	26.9	43.4	0.99
實施例 4	Nd ₅₃ Pr ₆ Co ₄₁	5.2	13.1	29.1	40.9	0.99
實施例 5	Nd ₅₃ Pr ₄ Co ₄₃	5.1	12.75	29.8	38.7	0.01
實施例 6	Nd ₅₆ Pr ₄ Co ₄₀	4.9	14.32	23.9	48.8	0.99
實施例 7	Nd ₅₆ Pr ₄ Co ₄₀	5.2	14.21	26.5	48.5	0.98
實施例 8	Nd ₅₄ Pr ₅ Co ₄₁	5.3	13.92	32	46.1	0.99
實施例 9	Nd ₅₅ Pr ₄ Co ₄₁	4.9	14.03	29.9	46.9	0.99
實施例 10	Nd ₅₄ Pr ₄ Co ₄₂	5.2	14.04	24.7	46.9	0.99
實施例 11	Nd ₅₅ Pr ₄ Co ₄₁	5.1	13.3	27.5	42.1	0.98
實施例 12	Nd ₅₄ Pr ₅ Co ₄₁	5.1	13.4	27.5	43.2	0.98
實施例 13	Nd ₅₁ Pr ₄ Co ₄₅	5.2	13.41	27.5	43.2	0.98
實施例 14	Nd ₅₂ Pr ₅ Co ₄₃	5.2	13.88	28.3	45.9	0.99
實施例 15	Nd ₅₂ Pr ₄ Co ₄₄	5.3	14	25.2	47.1	0.99
對比例 1	Nd ₅₃ Pr ₈ Co ₃₉	2.1	13	26.2	40.2	0.98
對比例 2	Nd ₅₂ Pr ₉ Co ₃₉	2	13.05	27.5	40.5	0.97
對比例 3	Nd ₅₁ Pr ₁₂ Co ₃₇	1.9	13.05	27.4	40.5	0.99
對比例 4	/	/	13.05	27.1	40.5	0.97
對比例 5	/	/	13.42	24.9	42.9	0.95
對比例 6	/	/	13.47	24.3	43.2	0.95
對比例 7	Nd ₅₁ Pr ₁₂ Co ₃₇	1.5	13.49	24.1	43.3	0.96
對比例 8	Nd ₅₂ Pr ₁₁ Co ₃₇	1.4	13.47	23.9	43.2	0.98

【0119】 註：表中 Nd_xPr_yCo_z 相下標中的數值省略了%。

【0120】 由上表中的數據可知，本發明通過特定含量的 Co、Al、Cu、Nb、
稀土元素等的配合，結合製備工藝中採用特定的三級時效處理，製得的釹鐵硼
磁體材料的矯頑力相較於現有技術有顯著的提升，同時剩磁和角形比保持在較

高水準。根據進一步地微觀檢測結果可知，這可能是由於本發明優化後的釹鐵硼磁體材料的配方在製備成釹鐵硼磁體材料後在晶界相中形成了特定含量的 $\text{Nd}_x\text{Pr}_y\text{Co}_z$ 相，優化了晶界結構進而提升了矯頑力。

【符號說明】

【0121】 無。

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種釹鐵硼磁體材料，其特徵在於，其包括以下組分：

R：28~33wt.%，所述 R 為稀土元素；

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：0.25~0.55wt.%；

Fe：62~69wt.%，wt.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；

所述釹鐵硼磁體材料中所述 Nd 和所述 Pr 的含量滿足如下公式： $Nd/Pr \geq 58$ 。

【請求項2】 如請求項 1 所述的釹鐵硼磁體材料，其特徵在於，所述 R 的含量為 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.%是指佔所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；

和/或，所述 Nd 的含量為 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.%是指佔所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；

和/或，所述釹鐵硼磁體材料還包括 RH，所述 RH 為重稀土元素；

其中，所述 RH 的含量較佳地為 0.5~2.5wt.%，例如 0.6wt.%、0.9wt.%、1wt.%、1.2wt.%、1.4wt.%、1.5wt.%、1.7wt.%、2wt.%或 2.3wt.%，wt.%是指佔所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；

其中，所述 RH 的種類較佳地為 Dy 和/或 Tb；

當所述 RH 包含 Dy 時，所述 Dy 的含量較佳地為 0.2~2.5wt.%，例如 0.2wt.%、0.9wt.%、1.4wt.%、1.5wt.%、1.7wt.%或 2.3wt.%，wt.%是指佔所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；

當所述 RH 包含 Tb 時，所述 Tb 的含量較佳地為 0.5~2.5wt.%，例如 0.6wt.%、0.8wt.%、1.2wt.%或 2wt.%，wt.%是指佔所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；

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

和/或，所述 Pr 的含量為 0.1~0.3wt.%，例如 0.2wt.%，wt.%是指佔所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比。

【請求項3】 如請求項 1 所述的釹鐵硼磁體材料，其特徵在於，所述 Al 的含量為 0.45~1.15wt.%，例如 0.46wt.%、0.61wt.%、0.65wt.%或 0.7wt.%，wt.%是指佔所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；

和/或，所述 Cu 的含量為 0.35~0.45wt.%，例如 0.36wt.%、0.37wt.%、0.38wt.%、0.39wt.%、0.4wt.%或 0.42wt.%，wt.%是指佔所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；

和/或，所述 Co 的含量為 0.9~2.5wt.%，例如 1wt.%、1.1wt.%、1.2wt.%、1.3wt.%、1.4wt.%或 1.5wt.%，wt.%是指佔所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；

和/或，所述 B 的含量為 0.98~1.05wt.%，例如 0.99wt.%、1wt.%、1.01wt.%、1.02wt.%或 1.04wt.%，wt.%是指佔所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；

和/或，所述 Fe 的含量為 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.%是指佔所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比。

【請求項4】 如請求項 1~3 中任一項所述的釹鐵硼磁體材料，其特徵在於，所述釹鐵硼磁體材料包括 $\text{Nd}_x\text{Pr}_y\text{Co}_z$ 相，以所述 $\text{Nd}_x\text{Pr}_y\text{Co}_z$ 物相中 Nd、Pr 和 Co 的總摩爾量 100%計，其中 x 為 50~57%，y=3~7%，z=39~46%；

所述 x 例如為 51%、52%、53%、54%、55%或 56%；

所述 y 例如為 4%、5%或 6%；

所述 z 例如為 40%、41%、42%、43%、44%或 45%；

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

所述 $\text{Nd}_x\text{Pr}_y\text{Co}_z$ 相的面積與所述晶界相的總面積的比較佳地為 3~7%，更佳地為 4.5~5.5%，例如 4.9%、5%、5.1%、5.2%或 5.3%，所述 $\text{Nd}_x\text{Pr}_y\text{Co}_z$ 物相的面積或所述晶界相的總面積分別是指在檢測的所述釹鐵硼磁體材料的垂直取向面中所佔的面積。

【請求項5】 如請求項 1 所述的釹鐵硼磁體材料，其特徵在於，所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成：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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；所述釹鐵硼磁體材料的晶界

相中包含 $\text{Nd}_{55}\text{Pr}_4\text{Co}_{41}$ 相，所述 $\text{Nd}_{55}\text{Pr}_4\text{Co}_{41}$ 相的面積與所述晶界相總面積的比為 5.1%；

或者，所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成：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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{56}\text{Pr}_4\text{Co}_{40}$ 相，所述 $\text{Nd}_{56}\text{Pr}_4\text{Co}_{40}$ 相的面積與所述晶界相總面積的比為 5.2%；

或者，所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成：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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{55}\text{Pr}_5\text{Co}_{40}$ 相，所述 $\text{Nd}_{55}\text{Pr}_5\text{Co}_{40}$ 相的面積與所述晶界相總面積的比為 5%；

或者，所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成：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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{53}\text{Pr}_6\text{Co}_{41}$ 相，所述 $\text{Nd}_{53}\text{Pr}_6\text{Co}_{41}$ 相的面積與所述晶界相總面積的比為 5.2%；

或者，所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成：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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{53}\text{Pr}_4\text{Co}_{43}$ 相，所述 $\text{Nd}_{53}\text{Pr}_4\text{Co}_{43}$ 相的面積與所述晶界相總面積的比為 5.1%；

或者，所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成：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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{56}\text{Pr}_4\text{Co}_{40}$ 相，所述 $\text{Nd}_{56}\text{Pr}_4\text{Co}_{40}$ 相的面積與所述晶界相總面積的比為 4.9%；

或者，所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成：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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{56}\text{Pr}_4\text{Co}_{40}$ 相，所述 $\text{Nd}_{56}\text{Pr}_4\text{Co}_{40}$ 相的面積與所述晶界相總面積的比為 5.2%；

或者，所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成：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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{54}\text{Pr}_5\text{Co}_{41}$ 相，所述 $\text{Nd}_{54}\text{Pr}_5\text{Co}_{41}$ 相的面積與所述晶界相總面積的比為 5.3%；

或者，所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成：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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{55}\text{Pr}_4\text{Co}_{41}$ 相，所述 $\text{Nd}_{55}\text{Pr}_4\text{Co}_{41}$ 相的面積與所述晶界相總面積的比為 4.9%；

或者，所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成：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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{54}\text{Pr}_4\text{Co}_{42}$ 相，所述 $\text{Nd}_{54}\text{Pr}_4\text{Co}_{42}$ 相的面積與所述晶界相總面積的比為 5.2%；

或者，所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成：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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{55}\text{Pr}_4\text{Co}_{41}$ 相，所述 $\text{Nd}_{55}\text{Pr}_4\text{Co}_{41}$ 相的面積與所述晶界相總面積的比為 5.1%；

或者，所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成：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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{54}\text{Pr}_5\text{Co}_{41}$ 相，所述 $\text{Nd}_{54}\text{Pr}_5\text{Co}_{41}$ 相的面積與所述晶界相總面積的比為 5.1%；

或者，所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成：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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{51}\text{Pr}_4\text{Co}_{45}$ 相，所述 $\text{Nd}_{51}\text{Pr}_4\text{Co}_{45}$ 相的面積與所述晶界相總面積的比為 5.2%；

或者，所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成：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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；所

述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{52}\text{Pr}_5\text{Co}_{43}$ 相，所述 $\text{Nd}_{52}\text{Pr}_5\text{Co}_{43}$ 相的面積與所述晶界相總面積的比為 5.2%；

或者，所述釹鐵硼磁體材料由以下組分組成：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.%為各組分的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比；所述釹鐵硼磁體材料的晶界相中包含 $\text{Nd}_{52}\text{Pr}_4\text{Co}_{44}$ 相，所述 $\text{Nd}_{52}\text{Pr}_4\text{Co}_{44}$ 相的面積與所述晶界相總面積的比為 5.3%。

【請求項6】一種釹鐵硼磁體材料的製備方法，其特徵在於，其包括以下步驟：按照如請求項 1~3 和 5 中任一項所述的釹鐵硼磁體材料的組分配製各組分的原料，再將各組分的原料的混合物依次經熔煉、鑄造、粉碎、成型、燒結和時效處理後即得；

所述時效處理包括三級時效處理，其中，第一級時效處理的溫度為 850~950℃；第二級時效處理的溫度為 600~650℃；第三級時效處理的溫度為 450~550℃。

【請求項7】如請求項 6 所述的釹鐵硼磁體材料的製備方法，其特徵在於，所述第一級時效處理的溫度為 790~910℃，例如 900℃；

和/或，所述第一級時效處理的時間為 2~4h，例如 3h；

和/或，所述第二級時效處理的溫度為 610~640℃，例如 620℃或 630℃；

和/或，所述第二級時效處理的時間為 1~4h，例如 2h；

和/或，所述第三級時效處理的溫度為 470~490℃，例如 480℃；

和/或，所述第三級時效處理的時間為 1~4h，例如 3h；

和/或，所述第三級時效處理之後還進行晶界擴散處理；

其中，所述晶界擴散處理的溫度較佳地為 850~1000℃，例如 900℃、910℃ 或 920℃；

其中，所述晶界擴散處理的時間較佳地為 10~30h，例如 20h；

其中，所述晶界擴散處理的擴散源為較佳地為 Dy 金屬粉末和/或含有 Dy 的合金；所述擴散源的質量與所述釹鐵硼磁體材料總質量的百分比較佳地為 0.3~0.5wt.%，例如 0.4wt.%。

【請求項8】 如請求項 6 或 7 所述的釹鐵硼磁體材料的製備方法，其特徵在於，所述熔煉的真空度為 5×10^{-2} Pa；

和/或，所述熔煉的溫度在 1550℃ 以下，例如 1530℃；

和/或，所述鑄造採用速凝鑄片法；

和/或，所述鑄造的溫度為 1390~1460℃，例如 1400℃；

和/或，所述鑄造之後得到的合金鑄片的厚度為 0.25~0.40mm，例如 0.29mm；

和/或，所述粉碎為依次進行氬破粉碎和氣流磨粉碎；

其中，所述氬破碎粉的工藝較佳地為依次經吸氬、脫氬和冷卻處理；所述吸氬的氬氣壓力例如為 0.085MPa；所述脫氬的溫度例如為 480~520℃，例如 500℃；

其中，所述氣流磨粉碎時的氣體氛圍較佳地為氧化氣體的含量在 100ppm 以下，所述氣體含量是指氧氣和/或水分的含量；

其中，所述氣流磨粉碎後，較佳地還添加潤滑劑，所述潤滑劑例如為硬脂酸鋅；所述潤滑劑的添加量較佳地為所述氣流磨粉碎後得到的粉體質量的 0.05~0.15%，例如 0.12%；

和/或，所述成型為磁場成型，所述磁場成型中磁場強度例如為 1.8~2.5T；

和/或，所述燒結的溫度為 1000~1100℃，例如 1080℃；

和/或，所述燒結的時間為 4~8h，例如 6h。

【請求項9】 一種如請求項 6~8 中任一項所述的釹鐵硼磁體材料的製備方法製得的釹鐵硼磁體材料。

【請求項10】 一種如請求項 1~5 和 9 中任一項所述的釹鐵硼磁體材料作為電子元器件的應用。