(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
2021 年 7 月 8 日 (08.07.2021)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2021/136366 A1

(51) 国际专利分类号:
H01F 41/02 (2006.01) *H01F 1/055* (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2020/141348

(22) 国际申请日: 2020 年 12 月 30 日 (30.12.2020)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201911423881.7 2019年12月31日 (31.12.2019) CN

(71) 申请人: **浙江大学(ZHEJIANG UNIVERSITY)** [CN/CN]; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。 **浙江英洛华磁业有限公司 (ZHEJIANG INNUOVO MAGNETICS CO., LTD.)** [CN/CN]; 中国浙江省东阳市横店电子工业园区工业大道133号, Zhejiang 322118 (CN)。

(72) 发明人: **金佳莹(JIN, Jiaying)**; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。 **严密(YAN, Mi)**; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。 **陶永明(TAO, Yongming)**; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。 **李美勋(LI, Meixun)**; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。 **魏中华(WEI, Zhonghua)**; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。 **赵栋梁(ZHAO, Dongliang)**; 中国浙江省杭州市西湖区余杭塘路866号, Zhejiang 310058 (CN)。

(74) 代理人: **杭州求是专利事务所有限公司 (HANGZHOU QIUSHI PATENT OFFICE CO., LTD.)**; 中国浙江省杭州市西湖区玉古路147号黄鸿年科技综合大楼215室, Zhejiang 310013 (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,

(54) **Title:** METHOD SUITABLE FOR GRAIN BOUNDARY DIFFUSION OF BULK RARE EARTH PERMANENT MAGNET MATERIAL

(54) **发明名称**: 一种适用于大块稀土永磁材料的晶界扩散方法

(57) **Abstract:** Disclosed is a method suitable for the grain boundary diffusion of a bulk rare earth permanent magnet material. In the present invention, a bulk rare earth magnet is subjected to a grain boundary diffusion treatment by means of a spark plasma sintering technique to improve the comprehensive magnetic performance of the magnet. The method comprises the following steps: (1) preparing an initial magnet by means of a sintering, hot pressing or hot deformation process; (2) loading a grain boundary diffusion alloy source on the surface of the magnet; and (3) placing the loaded initial magnet into a spark plasma device, heating and warming same using spark plasma, and subjecting same to grain boundary diffusion to obtain a final magnet. By controlling the parameters, such as the current and pressure, during spark plasma sintering, the diffusion coefficient and diffusion depth of the element are significantly improved. In the bulk rare earth permanent magnet material, which has been subjected to grain boundary diffusion, prepared by the present invention, the replacement amount of the high-abundance rare earth elements, La, Ce and Y, can reach 80 wt%, the magnetic performance is significantly increased, and is not limited by the thickness of the magnet, and the thickness of the magnet can reach 60 mm, which satisfies the industrial production and market requirements.

(57) **摘要**: 本发明公开了一种适用于大块稀土永磁材料的晶界扩散方法。本发明使用放电等离子烧结技术对大块磁体进行晶界扩散处理，改善磁体的综合磁性能。包括以下步骤：(1)通过烧结或热压或热变形工艺制备得到初始磁体；(2)在磁体表面负载晶界扩散合金源；(3)将负载后的初始磁体放入放电等离子装置中，使用放电等离子加热升温进行晶界扩散，得到最终磁体。通过控制放电等离子烧结过程中电流及压力等参数，显著提高元素的扩散系数和扩散深度。本发明制备的晶界扩散的大块稀土永磁材料，高丰度稀土La、Ce、Y取代量可达80wt%，磁性能增幅显著，且不受磁体厚度的限制，磁体厚度可达60mm，满足了工业生产及市场需求。

[见续页]

WO 2021/136366 A1

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))。

一种适用于大块稀土永磁材料的晶界扩散方法

技术领域

本发明涉及永磁领域，具体来说，涉及一种适用于大块稀土永磁材料的晶界扩散方法。

背景技术

钕铁硼具有优异的综合磁性能，广泛应用于能源、信息、交通和国防等领域，是最重要的稀土功能材料和国民经济的关键基础材料之一。然而烧结钕铁硼的温度稳定性差，工作温度通常低于 100℃，电动汽车、风电及航空航天等应用大幅受限。目前，使用廉价的高丰度稀土 La/Ce/Y，取代价格昂贵的 Nd/Pr/Dy/Tb，大幅降低稀土永磁的原材料成本，获得了国内外广泛关注。然而，镧铈钇形成的 2:14:1 相的内禀磁性弱于钕铁硼，富高丰度稀土永磁的磁稀释显著，尤其是矫顽力低，无法满足商用要求。该问题难以解决，长期制约了高丰度稀土永磁的发展和应用。

目前，提高钕铁硼矫顽力的方法主要包括：1）熔炼添加重稀土，但在主相中大量引入均匀分布的 Dy/Tb，不仅消耗稀缺重稀土资源，极大提高原材料成本，而且大幅降低剩磁和磁能积；2）晶粒细化，但磁粉粒径下降后易氧化，晶粒降至 3μm 以下时，矫顽力反而降低；3）晶界扩散，可大幅提高磁体矫顽力，且操作简单，可大幅提高稀土的利用效率。因此，晶界扩散是目前的研究热点。然而由于元素扩散深度的限制，普通晶界扩散工艺仅适用于厚度小于 5mm 的磁体，因此规模化应用受限。

CN107275028A 公开了一种晶界扩散钕铁硼磁体的界面调控方法，在低于扩散温度 20~100℃的温度下进行界面调控处理，使重稀土元素 Dy、Tb 分布于主相晶粒外表层，控制进入晶粒内部的 Dy、Tb 含量，从而在一定程度上缓解了晶界扩散导致的剩磁降低。但是，晶界扩散深度是影响磁性能尤其是矫顽力的重要因素。实现磁体内部均匀的高矫顽力，要求沿晶扩散深度越深越好，尤其是对于厚度大于 10mm 的大块磁体，更需要实现一定的扩散深度才能满足高矫顽力要求；然而，重稀土扩散源的扩散深度越深，晶内扩散现象就越明显，Dy、Tb 进入主

相晶粒内部导致磁体剩磁急剧下降，与高矫顽力相矛盾。

相较于传统钕铁硼，大块富高丰度稀土永磁的晶界扩散技术难度更大。传统富稀土晶界相、新晶界相（$CeFe_2$ 相、La_2O_3 相等）、稀土元素差异分布等均显著影响晶内/晶界扩散过程，合金源体系设计也更复杂，这对富高丰度稀土永磁的晶界扩散技术提出了更高的要求。因此，如何提高富高丰度稀土永磁的晶界扩散深度，实现一种适用于大块稀土永磁材料的晶界扩散方法，制备兼具高矫顽力和高剩磁的富高丰度稀土永磁，是一个国际性难题。

发明内容

为解决上述技术难题，本发明通过烧结或热压或热变形工艺制备得到富高丰度稀土的初始磁体，合金扩散源以 Nd/Pr 为主，将放电等离子烧结技术应用于大块富高丰度稀土永磁的晶界扩散，充分利用 SPS 加压放电等离子加热的特点，通过控制放电等离子烧结过程中电流及压力等参数，显著提高扩散合金源中各元素的扩散系数和扩散深度，大幅改善磁体的磁性能；该方法适用于不同工艺制备得到的大块初始磁体，磁体的厚度可达 60 mm，突破了元素扩散深度和磁体厚度的限制，磁性能增幅更显著，满足了工业生产及市场需求。

为实现上述目的，本发明采用如下技术方案：

一种适用于大块稀土永磁材料的晶界扩散方法，所述的大块稀土永磁材料的厚度为 10~60 mm，所述的晶界扩散方法包括以下步骤：

（1）通过烧结或热压或热变形工艺制备得到初始磁体，所述的初始磁体富高丰度稀土，以质量百分数计，其成分为：$(R_aA_{1-a})_bQ_{bal}M_cB_d$，R 为高丰度稀土 La、Ce、Y 元素中的一种或几种，A 为除 La、Ce、Y 外的其他镧系轻稀土元素中的一种或几种，Q 为 Fe、Co、Ni 元素中的一种或几种，M 为 Al、Cr、Cu、Zn、Ga、Ge、Mn、Mo、Nb、P、Pb、Si、Ta、Ti、V、Zr、O、F、N、C、S、H 元素中的一种或几种，B 为硼元素；a、b、c、d 满足以下关系：$0.3\leq a\leq 0.8$，$26\leq b\leq 36$，$0\leq c\leq 3$，$0.8\leq d\leq 1.3$；进一步优选的，$0.5\leq a\leq 0.8$；

（2）在初始磁体表面负载晶界扩散合金源，所述的扩散合金源富 Nd/Pr，以质量百分数计，其成分为：$(R_uA'_{1-u})_vM'_{1-v}$，R 为高丰度稀土 La、Ce、Y 元素中的一种或几种，A’为 Nd、Pr 元素中的一种或两种，M’为 Fe、Co、Ni、Al、Cr、Cu、Zn、Ga、Ge、Mn、Mo、Si、Ti、O、F、H 元素中的一种或几种；u、

v 满足以下关系：0≤u≤0.2，0.5≤v≤1；

（3）将负载后的初始磁体放入放电等离子装置中，使用放电等离子加热升温进行晶界扩散，升温速度为 20~400℃/min，扩散温度 400~900℃，施加压力 2~50 MPa，保温时间 20~180 min，真空度小于 10^{-3}Pa，得到最终磁体。

优选的，步骤（2）中负载晶界扩散合金源的方式包括：磁控溅射、电镀、化学气相沉积、物理气相沉积、直接物理接触、粘接剂粘结。

优选的，所述大块稀土永磁材料的厚度为 15~30 mm。

步骤(3)中制备的最终磁体，以质量百分数计，其成分为：$(R_xA''_{1-x})_yQ_{bal}M''_zB_w$，R 选自高丰度稀土 La、Ce、Y 元素；A”选自除 La、Ce、Y 外的其他镧系轻稀土元素；Q 选自 Fe、Co、Ni 元素；M”选自 Al、Cr、Cu、Zn、Ga、Ge、Mn、Mo、Nb、P、Pb、Si、Ta、Ti、V、Zr、O、F、N、C、S、H 元素；B 为硼元素；x、y、z、w 满足以下关系：0.2≤x≤0.8，26≤y≤40，0.5≤z≤6，0.75≤w≤1.3。进一步优选的，0.5≤x≤0.8。

本发明与现有技术相比具有的有益效果：

1）本发明适用于烧结或热压或热变形法制备得到的富高丰度稀土永磁，以轻稀土钕镨为主体组成晶界扩散合金源。在富高丰度稀土永磁中，因其更复杂多样化的晶界相成分及分布（不同 La、Ce、Y 及其复合磁体间的差异），富 Nd/Pr 的扩散源及其合金元素会在 SPS 扩散过程中，与原有晶界相间发生相变及元素互扩散，导致扩散系数大幅提高；高丰度稀土元素扩散形成连续的薄层晶界相，富铁的新晶界相降低了薄层连续晶界相中的铁含量，Nd/Pr 扩散在主相晶粒外延层形成富钕镨的硬磁壳层，显著提高磁体的矫顽力和剩磁。本发明构筑了一种“理想磁体”的元素分布：晶粒核心富 La、Ce、Y，晶粒壳层富 Nd、Pr，非铁磁性的连续薄层晶界相隔绝相邻晶粒间的铁磁耦合。这种理想磁体 La、Ce、Y 取代量最高达 80wt%，兼具高矫顽力和高剩磁，充分合理地利用各类稀土元素的交互效应，包括 La、Ce、Y 及其复合磁体的元素偏析/晶界相成相/价态调控等交互作用，包括 Nd、Pr 基扩散源与富高丰度稀土永磁间的元素传质/相变/磁耦合等交互作用，还包括扩散表层到内部不同深度组织结构间的磁耦合/磁隔离效应。

2）本发明基于放电等离子烧结技术进行晶界扩散。SPS 晶界扩散是构建上述“理想磁体”元素分布的有效手段，加热过程中叠加磁体本身的相变，额外施加了电流、等离子及压力的影响，能够提高元素的扩散系数，磁体内部形成高速

扩散通道，加速稀土及合金元素进入磁体深处，内禀磁性更优异的 Nd、Pr 进入晶粒壳层，且趋于以晶界扩散为主，加速相变，从而提高元素的扩散深度，磁性能及其温度稳定性均显著提高，因而成为一种适用于大块稀土永磁材料的晶界扩散方法。

3）本发明利用放电等离子烧结技术升温速度快，加热时间短的特点，大幅抑制扩散过程中的晶粒长大。不同于一般金属材料的 SPS 烧结，通过 SPS 扩散实现均匀细晶组织对于富高丰度稀土永磁具有特殊意义。富高丰度稀土永磁中复杂新晶界相的引入，加剧液相烧结，晶粒异常长大问题尤其突出。本发明通过 SPS 扩散参数与初始磁体成分、晶界相组织结构、主相晶粒成分分布等相匹配，与晶界扩散源成分、元素迁移传质、合金化元素参与复杂相变等相匹配，可避免扩散后磁体表层-内部区域间形成粗晶-细晶过渡区，实现均匀细晶组织。并且在 SPS 真空环境下进行晶界扩散，及时排出合金扩散源（尤其是氟化物、氮化物、氢化物）由于高温放电产生的气体杂质，促进元素扩散迁移，也更适用于易氧化的富高丰度稀土永磁，提高磁体的矫顽力。

4）本发明提出的扩散方法，消耗较少的轻稀土元素，不用昂贵的重稀土元素，制备得到的磁体磁性能达到或超过传统钕铁硼，其成本却降至钕铁硼的三分之一甚至更低，从而充分发挥富高丰度稀土永磁集高磁性能、低价格、不依赖于紧缺稀土元素于一体的优势，促进绿色清洁能源的开发（风力发电）和利用（电动汽车）等。

具体实施方式

下面结合具体实施例对本发明做进一步说明，但本发明并不仅仅局限于以下实施例：

实施例 1：

通过烧结工艺制备得到厚度为 25mm 的初始磁体 $(Pr_{0.12}Nd_{0.48}Ce_{0.4})_{30.8}Fe_{bal}Cu_{0.3}Al_{0.2}Ga_{0.2}Zr_{0.3}B_{1.05}$；晶界扩散合金粉末 $Nd_{80}Al_{20}$ 通过直接接触的方式负载在初始磁体表面后，放入放电等离子装置中，升温速度为 400℃/min，扩散温度 700℃，施加压力 20MPa，保温时间 40min，得到最终磁体，磁性能为 B_r=12.4kG，H_{cj}=15.5kOe，$(BH)_{max}$=36.6MGOe。

实施例 2：

通过烧结工艺制备得到厚度为 20mm 的初始磁体 $(Nd_{0.4}La_{0.2}Ce_{0.4})_{32}Fe_{bal}Nb_{0.3}Ti_{0.2}Ga_{0.5}Co_{0.3}B_{0.9}$；晶界扩散合金粉末 $Nd_{98}H_2$ 通过 PVP 粘接剂粘结的方式负载在初始磁体表面后，放入放电等离子装置中，升温速度为 20℃/min，扩散温度 900℃，施加压力 50MPa，保温时间 100min，得到最终磁体，磁性能为 B_r=12.2kG，H_{cj}=12.5kOe，$(BH)_{max}$=33.4MGOe。

实施例 3：

通过热变形工艺制备得到厚度为 15mm 的初始磁体 $(Nd_{0.5}Y_{0.1}Ce_{0.4})_{30}Fe_{bal}Zr_{0.1}Cu_{0.25}Co_{0.5}Mo_{0.15}Al_{0.3}Ga_{0.1}B_{1.01}$；晶界扩散合金粉末 $Nd_{40}Pr_{30}Ce_{10}Al_5Cu_{15}$ 通过 PVP 粘接剂粘结的方式负载在初始磁体表面后，放入放电等离子装置中，升温速度为 350℃/min，扩散温度 600℃，施加压力 2MPa，保温时间 60min，得到最终磁体，磁性能为 B_r=11.5kG，H_{cj}=16.3kOe，$(BH)_{max}$=28.5MGOe。

实施例 4：

通过烧结工艺制备得到厚度为 60mm 的初始磁体 $(Pr_{0.14}Nd_{0.56}La_{0.1}Ce_{0.2})_{36}Fe_{bal}Ga_{0.35}Al_{0.25}Cu_{0.2}Zr_{0.15}B_{0.93}$；晶界扩散合金源 $Pr_{80}Al_{20}$ 通过磁控溅射的方式负载在初始磁体表面后，放入放电等离子装置中，升温速度为 400℃/min，扩散温度 700℃，施加压力 25MPa，保温时间 180min，得到最终磁体，磁性能为 B_r=12.6kG，H_{cj}=18.2kOe，$(BH)_{max}$=38.2MGOe。

实施例 5：

通过热变形工艺制备得到厚度为 15mm 的初始磁体 $(Nd_{0.2}La_{0.1}Ce_{0.7})_{26}Fe_{bal}Zr_{0.1}Cu_{0.2}Co_{0.5}Al_{0.3}Si_{0.1}B_{1.0}$；晶界扩散合金源 $Pr_{55}Ce_{15}Cu_{30}$ 通过磁控溅射的方式负载在初始磁体表面后，放入放电等离子装置中，升温速度为 100℃/min，扩散温度 600℃，施加压力 5MPa，保温时间 40min，得到最终磁体，磁性能为 B_r=10.3kG，H_{cj}=11.0kOe，$(BH)_{max}$=20.1MGOe。

权 利 要 求 书

1. 一种适用于大块稀土永磁材料的晶界扩散方法，所述的大块稀土永磁材料的厚度为 10~60 mm，其特征在于，所述的晶界扩散方法包括以下步骤：

（1）通过烧结或热压或热变形工艺制备得到初始磁体，所述的初始磁体富高丰度稀土 La/Ce/Y，以质量百分数计，其成分为：$(R_aA_{1-a})_bQ_{bal}M_cB_d$，R 为高丰度稀土 La、Ce、Y 元素中的一种或几种，A 为除 La、Ce、Y 外的其他镧系轻稀土元素中的一种或几种，Q 为 Fe、Co、Ni 元素中的一种或几种，M 为 Al、Cr、Cu、Zn、Ga、Ge、Mn、Mo、Nb、P、Pb、Si、Ta、Ti、V、Zr、O、F、N、C、S、H 元素中的一种或几种，B 为硼元素；a、b、c、d 满足以下关系：$0.3\leq a\leq 0.8$，$26\leq b\leq 36$，$0\leq c\leq 3$，$0.8\leq d\leq 1.3$；

（2）在初始磁体表面负载晶界扩散合金源，所述的扩散合金源富 Nd/Pr，以质量百分数计，其成分为：$(R_uA'_{1-u})_vM'_{1-v}$，R 为高丰度稀土 La、Ce、Y 元素中的一种或几种，A'为 Nd、Pr 元素中的一种或两种，M'为 Fe、Co、Ni、Al、Cr、Cu、Zn、Ga、Ge、Mn、Mo、Si、Ti、O、F、H 元素中的一种或几种；u、v 满足以下关系：$0\leq u\leq 0.2$，$0.5\leq v\leq 1$；

（3）将负载后的初始磁体放入放电等离子装置中，使用放电等离子加热升温进行晶界扩散，升温速度为 20~400℃/min，扩散温度 400~900℃，施加压力 2~50 MPa，保温时间 20~180 min，真空度小于 10^{-3}Pa，得到最终磁体。

2. 根据权利要求 1 所述的晶界扩散方法，其特征在于，所述初始磁体中高丰度稀土 La、Ce、Y 的质量百分比为 50%-80%。

3. 根据权利要求 1 所述的晶界扩散方法，其特征在于，步骤（2）中负载晶界扩散合金源的方式包括：磁控溅射、电镀、化学气相沉积、物理气相沉积、直接物理接触、粘接剂粘结。

4. 根据权利要求 1 所述的晶界扩散方法，其特征在于，所述大块稀土永磁材料的厚度为 15~30 mm。

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2020/141348

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01F 41/02(2006.01)i; H01F 1/055(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

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)

CNABS; CNTXT; VEN; USTXT; EPTXT; WOTXT; CNKI: 稀土, 永磁, 扩散, 放电等离子烧结, rare earth, permanent magnet, diffuse, SPS, spark plasma sintering

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 111063536 A (ZHEJIANG UNIVERSITY et al.) 24 April 2020 (2020-04-24) description, paragraphs 4-25	1-4
PY	CN 111091944 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 01 May 2020 (2020-05-01) description, paragraphs 5-25	1-4
Y	CN 110534331 A (GUANGXI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 03 December 2019 (2019-12-03) description, paragraphs 7-47	1-4
Y	CN 106910613 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 30 June 2017 (2017-06-30) description, paragraphs 8-40	1-4
A	JP 2017188515 A (MINEBEAMITSUMI INC) 12 October 2017 (2017-10-12) entire document	1-4

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ 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	Date of mailing of the international search report
20 March 2021	**30 March 2021**
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/CN2020/141348

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	111063536	A	24 April 2020	None			
CN	111091944	A	01 May 2020	None			
CN	110534331	A	03 December 2019	None			
CN	106910613	A	30 June 2017	CN 106910613	B		05 February 2019
JP	2017188515	A	12 October 2017	JP 6466362	B2		06 February 2019

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2020/141348

A. 主题的分类

H01F 41/02(2006.01)i; H01F 1/055(2006.01)i

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

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

H01F

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

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））

CNABS;CNTXT;VEN;USTXT;EPTXT;WOTXT;CNKI：稀土，永磁，扩散，放电等离子烧结，rare earth，permanent magnet，diffuse，SPS，spark plasma sintering

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 111063536 A (浙江大学等) 2020年 4月 24日 (2020-04-24) 说明书第4-25段	1-4
PY	CN 111091944 A (浙江大学) 2020年 5月 1日 (2020-05-01) 说明书第5-25段	1-4
Y	CN 110534331 A (广西科技大学) 2019年 12月 3日 (2019-12-03) 说明书第7-47段	1-4
Y	CN 106910613 A (浙江大学) 2017年 6月 30日 (2017-06-30) 说明书第8-40段	1-4
A	JP 2017188515 A (MINEBEAMITSUMI INC) 2017年 10月 12日 (2017-10-12) 全文	1-4

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 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

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2021年 3月 20日	2021年 3月 30日
ISA/CN的名称和邮寄地址 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	受权官员 李娇娇 电话号码 86-(20)-28950416

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2020/141348

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	111063536	A	2020年 4月 24日	无			
CN	111091944	A	2020年 5月 1日	无			
CN	110534331	A	2019年 12月 3日	无			
CN	106910613	A	2017年 6月 30日	CN	106910613	B	2019年 2月 5日
JP	2017188515	A	2017年 10月 12日	JP	6466362	B2	2019年 2月 6日