



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102376407 B

(45) 授权公告日 2016. 01. 20

(21) 申请号 201110212757. 3

(22) 申请日 2011. 07. 27

(30) 优先权数据

2010-168570 2010. 07. 27 JP

(73) 专利权人 TDK 株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 早川拓马 国枝良太

(74) 专利代理机构 北京林达刘知识产权代理事

务所(普通合伙) 11277

代理人 刘新宇 李茂家

(51) Int. Cl.

H01F 1/053(2006. 01)

H01F 1/08(2006. 01)

G22C 38/00(2006. 01)

G22C 38/16(2006. 01)

(56) 对比文件

JP 特开 2003-31409 A, 2003. 01. 31, 说明书
第 0008-0028 段, 图 1-6.

JP 特开平 7-283016 A, 1995. 10. 27, 说明书
第 0008-0085 段, 图 1.

CN 87106209 A, 1988. 04. 27, 全文.

JP 特开 2006-210450 A, 2006. 08. 10, 全文.

JP 特开 2003-31409 A, 2003. 01. 31, 说明书
第 0008-0028 段, 图 1-6.

审查员 王光军

权利要求书1页 说明书17页 附图10页

(54) 发明名称

稀土类烧结磁体

(57) 摘要

本发明涉及稀土类烧结磁体。所述稀土类烧结磁体包括主相、晶界相和晶界三叉点,所述主相包括 $R_2T_{14}B$ 相晶粒,其中 R 是包括 Nd 的一种或多种稀土元素, T 是包括 Fe 或者 Fe 和 Co 的一种或多种过渡金属元素,并且 B 是 B 或者 B 和 C;在所述晶界相中, R 的含量大于 $R_2T_{14}B$ 相的含量;所述晶界三叉点被三种以上的主相包围。所述晶界三叉点包括含有 Co、Cu 和 60 原子% - 90 原子%的 R 的 R75 相。满足关系式 $0.05 \leq (Co+Cu)/R < 0.5$ 。在晶界三叉点的横截面积中,富 Co 区域与富 Cu 区域重叠的面积为 60% 以上。

1. 一种稀土类烧结磁体,其包括:

主相,所述主相包括 $R_2T_{14}B$ 相晶粒,其中 R 是包括 Nd 的一种或多种稀土元素,T 是包括 Fe 或者 Fe 和 Co 的一种或多种过渡金属元素,并且 B 是 B 或者 B 和 C;

晶界相,在所述晶界相中,R 的含量大于所述 $R_2T_{14}B$ 相的含量;和

晶界三叉点,所述晶界三叉点被三种以上的主相包围,其中

所述晶界三叉点包括含有 90 原子%以上的 R 的富 R 相,和含有 Co、Cu 和 60 原子% -90 原子%的 R 的 R75 相,

满足 $0.2 \leq (Co+Cu)/R < 0.45$,其中 $(Co+Cu)/R$ 是以原子百分比计的包含在所述 R75 相中的 R、Co 和 Cu 的组成比,以及

在所述稀土类烧结磁体的横截面上,所述晶界三叉点的横截面积中的富 Co 区域与富 Cu 区域重叠的面积为 60%以上,

磁体组成中的 Cu 的含量为 0.15 质量%以上且 0.5 质量%以下。

2. 根据权利要求 1 所述的稀土类烧结磁体,其中在磁体组成中的 R 的含量为 25 质量% -35 质量%。

3. 根据权利要求 1 所述的稀土类烧结磁体,其中在磁体组成中的 Co 的含量为 1.5 质量% -3.0 质量%。

稀土类烧结磁体

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请基于 2010 年 7 月 27 日提交的日本专利申请 2010-168570,并要求其优先权权益,在此将其全部内容引入以作参考。

技术领域

[0003] 本发明涉及具有改进的耐腐蚀性的稀土类烧结磁体。

背景技术

[0004] 具有 R-T-B(R 为稀土元素, T 为包括 Fe 或 Fe 和 Co 的一种或多种过渡金属元素)组成的稀土类永磁体为具有包括主相和晶界相的结构 of 永磁体,所述主相包含组成式为 $R_2T_{14}B$ 的 $R_2T_{14}B$ 相,所述晶界相包含其中 R 的含量大于 $R_2T_{14}B$ 的含量的富 R 相。此类稀土类磁体发挥优异的磁性如高的矫顽力 H_cJ 。在特别需要高性能的电动机等如用于驱动硬盘驱动器(HDD)头、电车和混合动力车的音圈电动机(VCM)中,将 R-T-B 稀土类永磁体用作高性能永磁体。

[0005] 稀土类永磁体在其组成中包含 R,因而具有高的活性。然而, R 容易被氧化从而具有低的耐腐蚀性,因此,进行各种研究以改进耐腐蚀性。典型地,稀土类磁体的表面镀覆镍(Ni)或其它材料以提高耐腐蚀性。

[0006] 为了使得通过镀覆或其它方法涂布的稀土类磁体更可靠,改进稀土类永磁体本身的耐腐蚀性是极其重要的。研究了通过典型地添加元素如 Co 和 Cu 作为改进耐腐蚀性的元素来改进稀土类磁体的耐腐蚀性。

[0007] 通常地,例如,日本特开专利公布 2003-31409 公开了一种稀土类烧结磁体,其中在晶界三叉点中存在的富 R 相周围形成包含原子重量比为 30% -60% 的 Co 和 Cu 的中间相,在所述晶界三叉点中多个晶界会聚。因而,抑制在晶界三叉点的富 R 相中的 R 被氧化,从而改进耐腐蚀性。

[0008] 然而,通过用包含 Co 和 Cu 的中间相简单地覆盖在晶界三叉点中存在的富 R 相的外周并不能充分地抑制腐蚀的进行,这是因为晶界三叉点包括高比例的富 R 相。

[0009] 换言之,在晶界三叉点中通过用中间相覆盖富 R 相的外周来抑制 R 的氧化朝向晶界相的内部进行。然而,当在磁体表面上的三叉点区域中出现针孔等时,晶界三叉点中通过用中间相简单地覆盖富 R 相并不能充分地抑制 R 的氧化,这是因为晶界三叉点包括高比例的富 R 相。结果,不能抑制 R 的氧化朝向晶界相的内部进行。

[0010] 近年来,已经将稀土类烧结磁体日益用于汽车或工业设备等中,因此,为了提供还更稳定地适于此类应用的稀土类烧结磁体,要求稀土类烧结磁体的耐腐蚀性优异。

发明内容

[0011] 根据本发明一个方面的稀土类烧结磁体包括主相、晶界相和晶界三叉点,所述主相包括 $R_2T_{14}B$ 相晶粒,其中 R 是包括 Nd 的一种或多种稀土元素, T 是包括 Fe 或者 Fe 和 Co

的一种或多种过渡金属元素,并且 B 是 B 或者 B 和 C;在所述晶界相中 R 的含量大于 $R_2T_{14}B$ 相的含量;所述晶界三叉点被三种以上的主相包围。所述晶界三叉点包括含有 R 为 90 原子%以上的富 R 相和含有 Co、Cu 和 60 原子% -90 原子%的 R 的 R75 相。满足关系式 $0.05 \leq (Co+Cu)/R < 0.5$, 其中 $(Co+Cu)/R$ 是以原子百分比计的包含在所述 R75 相中的 R、Co 和 Cu 的组成比。在稀土类烧结磁体的横截面上,晶界三叉点横截面积中的富 Co 区域与富 Cu 区域重叠的面积为 60%以上。

[0012] 通过阅读本发明目前的优选实施方案的以下详细描述,当与附图一起考虑时,本发明的上述以及其它特征、优点和技术以及工业意义将被更好地理解。

附图说明

[0013] 图 1 为根据本发明一个实施方案的稀土类烧结磁体在晶界三叉点附近的示意图;

[0014] 图 2 为常规的稀土类烧结磁体在晶界三叉点附近的示意图;

[0015] 图 3 为根据本实施方案的经镀覆的稀土类烧结磁体的横截面示意图;

[0016] 图 4 为用于生产根据本实施方案的稀土类烧结磁体的方法的流程图;

[0017] 图 5 为实施例 1 的稀土类烧结磁体的组成图;

[0018] 图 6 为使用电子探针显微分析仪 (EPMA) 的在实施例 1 的稀土类烧结磁体中 Cu 的观察结果;

[0019] 图 7 为使用 EPMA 的在实施例 1 的稀土类烧结磁体中 Co 的观察结果;

[0020] 图 8 为比较例 1 的稀土类烧结磁体的组成图;

[0021] 图 9 为使用 EPMA 的在比较例 1 的稀土类烧结磁体中 Cu 的观察结果;

[0022] 图 10 为使用 EPMA 的在比较例 1 的稀土类烧结磁体中 Co 的观察结果;

[0023] 图 11 为使用扫描透射电子显微镜 - 能量色散 X- 射线光谱仪 (STEM-EDS) 的在实施例 1 的稀土类烧结磁体中 Nd 的观察结果;

[0024] 图 12 为使用 STEM-EDS 的在实施例 1 的稀土类烧结磁体中 Co 的观察结果;

[0025] 图 13 为使用 STEM-EDS 的在实施例 1 的稀土类烧结磁体中 Cu 的观察结果;

[0026] 图 14 为使用 STEM-EDS 的在比较例 1 的稀土类烧结磁体中 Nd 的观察结果;

[0027] 图 15 为使用 STEM-EDS 的在比较例 1 的稀土类烧结磁体中 Co 的观察结果;

[0028] 图 16 为使用 STEM-EDS 的在比较例 1 的稀土类烧结磁体中 Cu 的观察结果;

[0029] 图 17 为根据本实施方案使用不饱和压力锅试验 (PCT) 机获得的耐腐蚀性的测量结果的图;

[0030] 图 18 为示出根据本实施方案的通量 (flux) 的测量结果的图。

具体实施方式

[0031] 以下将详细描述适于进行本发明的实施方案 (下文中,称作实施方案)。本发明不限于在以下实施方案和实施例中的特征。在实施方案和实施例中的组分包括本领域熟练技术人员能够容易想到的组分、实质上相同的组分和所谓均等范围的组分。此外,在实施方案和实施例中的组分可以适当组合或者可以适当选择使用。

[0032] 稀土类烧结磁体

[0033] 根据本实施方案的稀土类烧结磁体是使用 R-T-B 合金形成的烧结体。根据本实施

方案的稀土类烧结磁体包括：主相（晶粒）、晶界相和晶界三叉点，所述主相包括其晶粒组成由组成式 $R_2T_{14}B$ 表示的 $R_2T_{14}B$ 相（R 是包括 Nd 的一种或多种稀土元素，T 是包括 Fe 或者 Fe 和 Co 的一种或多种过渡金属元素，并且 B 是 B 或者 B 和 C）；在所述晶界相中 R 的含量大于 $R_2T_{14}B$ 相的含量；所述晶界三叉点被三种以上的主相包围。所述晶界三叉点包括含有 R 为 90 原子%以上的富 R 相，和含有 Co、Cu 和 60 原子% -90 原子%的 R 的 R75 相。在晶界三叉点中，以原子百分比计的包含在所述 R75 相中的 R、Co 和 Cu 的组成比 $(Co+Cu)/R$ 满足以下关系式 (1)，在横截面上的晶界三叉点横截面积中，富 Co 区域与富 Cu 区域重叠的面积为 60% 以上。

$$[0034] \quad 0.05 \leq (Co+Cu)/R < 0.5 \quad (1)$$

[0035] R 表示一种或多种稀土元素。稀土元素意指属于长周期型周期表的第 3 族的 Sc、Y 和镧系元素。镧系元素的实例包括 La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb 和 Lu。稀土元素分为轻稀土元素和重稀土元素。重稀土元素包括 Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb 和 Lu。轻稀土元素包括除重稀土元素以外的稀土元素。考虑到生产成本和磁性性能，R 优选包括 Nd。

[0036] T 表示包括 Fe 或者 Fe 和 Co 的一种或多种过渡金属元素。T 可以仅为 Fe，并且部分 Fe 可以用 Co 代替。当部分 Fe 用 Co 代替时，可以改进温度性能而不劣化磁性性能。期望将 Co 含量抑制在 Fe 含量的 20 质量%以下。这是因为当部分 Fe 用 Co 代替以致 Co 含量变得大于 Fe 含量的 20 质量%时，可能劣化磁性性能。此外，稀土类烧结磁体变得昂贵。除了 Fe 和 Co 之外，T 可以进一步包括元素如 Al、Ga、Si、Ti、V、Cr、Mn、Ni、Cu、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta 和 W 的至少一种。

[0037] 根据本实施方案的稀土类烧结磁体的晶界相包括其中 Nd 含量大于 $R_2T_{14}B$ 相含量的富 R 相、其中 Co 含量大于 $R_2T_{14}B$ 相含量的富 Co 相以及其中 Cu 含量大于主相含量的富 Cu 相。除了富 R 相之外，晶界相还可以包括具有高 B 含量的富 B 相。晶粒的晶粒尺寸为约 $1 \mu m - 100 \mu m$ 。

[0038] 在根据本实施方案的稀土类烧结磁体中的 R 含量优选在 25 质量% -35 质量%，并且更优选在 28 质量% -33 质量%的范围内。B 含量在 0.5 质量% -1.5 质量%，并且优选在 0.8 质量% -1.2 质量%的范围内。除了 Co 和 Cu 之外，余量为 T。

[0039] Co 含量优选在 0.6 质量% -3.0 质量%，更优选在 0.7 质量% -2.8 质量%，并且进一步优选在 0.8 质量% -2.5 质量%的范围内。这是因为当 Co 含量落入低于 0.6 质量%时，不能获得根据本实施方案的改进耐腐蚀性的效果。另一方面，当 Co 含量超过 3.0 质量%时，稀土类烧结磁体的磁性性能会劣化从而导致成本增加。因此，通过保持 Co 含量在优选的上述范围内，能够保持磁性性能并能够改进耐腐蚀性。

[0040] Cu 含量优选在 0.05 质量% -0.5 质量%，更优选在 0.06 质量% -0.4 质量%，并且进一步优选在 0.07 质量% -0.3 质量%的范围内。这是因为当 Cu 含量落入低于 0.05 质量%时，不能获得改进稀土类烧结磁体的耐腐蚀性的效果。另一方面，当 Cu 含量超过 0.5 质量%时，稀土类烧结磁体的磁性性能会劣化。因此，通过保持 Cu 含量在优选的上述范围内，能够保持磁性性能并能够改进耐腐蚀性。

[0041] 在根据本实施方案的稀土类烧结磁体中，晶界三叉点形成有主相。所述晶界三叉点包括包含含量大于 $R_2T_{14}B$ 相含量的 R、Co 和 Cu 的相。图 1 为根据本实施方案的稀土类烧

结磁体在晶界三叉点附近的示意图,和图 2 为常规的稀土类烧结磁体在晶界三叉点附近的示意图。如在图 1 和 2 中所示,所述晶界三叉点包括 R45 相、R75 相和富 R 相。所述 R45 相是包含 R 为 35 原子% -55 原子%、优选为 40 原子% -50 原子%和进一步优选约 45 原子%的相。所述 R75 相是包含 R 为 60 原子% -90 原子%、优选为 70 原子% -80 原子%和进一步优选为约 75 原子%的相。所述富 R 相是其中 R 含量大于 R75 相中的含量并且大于 90 原子%的相。如在图 1 中所示,根据本实施方案的稀土类烧结磁体的晶界三叉点包括高比例的 R75 相。相比之下,如在图 2 中所示,常规的稀土类烧结磁体的晶界三叉点包括高比例的富 R 相。

[0042] 在根据本实施方案的稀土类烧结磁体的 R75 相中,包含在所述 R75 相中的 R、Co 和 Cu 的组成比 $(\text{Co}+\text{Cu})/\text{R}$ 以原子百分比计满足以下关系式 (2),优选地,以下关系式 (3),并且更优选地以下关系式 (4)。

$$[0043] \quad 0.05 \leq (\text{Co}+\text{Cu})/\text{R} < 0.50 \quad (2)$$

$$[0044] \quad 0.10 \leq (\text{Co}+\text{Cu})/\text{R} \leq 0.40 \quad (3)$$

$$[0045] \quad 0.20 \leq (\text{Co}+\text{Cu})/\text{R} \leq 0.30 \quad (4)$$

[0046] 这是因为当组成比 $(\text{Co}+\text{Cu})/\text{R}$ 不高于 0.05 时,多余的富 R 相残留在晶界三叉点,因此,不能改进稀土类烧结磁体的耐腐蚀性。另一方面,当组成比 $(\text{Co}+\text{Cu})/\text{R}$ 超过 0.5 时,稀土类烧结磁体的磁性性能劣化。因此,组成比 $(\text{Co}+\text{Cu})/\text{R}$ 满足关系式 (2) 从而使得在晶界三叉点中的 R 含量降低并且 Co 和 Cu 含量增加。因此,可以保持磁性性能并能够改进耐腐蚀性。

[0047] 相比之下,如在图 2 中所示,常规的稀土类烧结磁体的晶界三叉点包括高比例的富 R 相,因此,R 含量大并且 Co 和 Cu 含量小。因此,在晶界三叉点的 R75 相中包含的 R、Co 和 Cu 的组成比 $(\text{Co}+\text{Cu})/\text{R}$ 以原子百分比计不高于 0.05。

[0048] 在烧结体横截面上的晶界三叉点横截面积中富 Co 区域与富 Cu 区域重叠的面积优选为 60% 以上,并且更优选 70% 以上。当富 Co 区域与富 Cu 区域重叠的面积落入小于 60% 时,高比例的富 R 相残留在晶界三叉点的区域,结果,稀土类烧结磁体的耐腐蚀性如上所述劣化。当富 Co 区域与富 Cu 区域重叠的面积为 60% 以上时,存在于晶界相中基本相同区域中的 R、Co 和 Cu 的比例增加从而使得进一步改进耐腐蚀性。

[0049] 典型地,镀覆稀土类烧结磁体的表面。然而,当镀覆常规的稀土类烧结磁体的表面时,由于镀覆液和晶界相之间的反应产生的氢导致进行稀土类烧结磁体表面上的腐蚀反应。此外,通量相应于在稀土类烧结磁体表面上形成的镀层的膜厚度而减少。

[0050] 图 3 为经镀覆的稀土类烧结磁体的横截面示意图。如在图 3 中所示,稀土类烧结磁体 10 的整个表面用 Ni 镀膜 11 覆盖。当稀土类烧结磁体 10 的表面用 Ni 镀膜 11 覆盖时,稀土类烧结磁体 10 的厚度 A 和在两侧处的 Ni 镀膜 11 的厚度 B 的总和为实际产品的厚度 C。在产品中,产品的厚度 C 设为恒定的,并且稀土类烧结磁体 10 用具有预定的膜厚度 X 的 Ni 镀膜 11 覆盖。结果,稀土类烧结磁体 10 的通量相应于当镀覆稀土类烧结磁体 10 的表面时发生的稀土类烧结磁体 10 表面的腐蚀和形成于稀土类烧结磁体 10 表面上的 Ni 镀膜 11 的膜厚度 X 而减少。在稀土类烧结磁体 10 镀覆 Ni 镀膜 11 前后的通量值的差称作通量损失,并且在通过将稀土类烧结磁体 10 镀覆 Ni 镀膜 11 而使通量减少的 Ni 镀膜 11 的厚度称作镀膜厚度损失。

[0051] 在根据本实施方案的稀土类烧结磁体中,所述晶界三叉点包括高比例的 R75 相;包含在 R75 相中的 R、Co 和 Cu 的组成比 $(\text{Co}+\text{Cu})/\text{R}$ 以原子百分比计满足关系式 (2);在烧结体横截面上的晶界三叉点横截面积中,富 Co 区域与富 Cu 区域重叠的面积为 60% 以上。因此,改进耐腐蚀性。因此,即使当将根据本实施方案的稀土类烧结磁体表面镀覆从而被覆盖时,存在于晶界三叉点处的富 R 相的量也降低,并且包含高比例的 Co 和 Cu 的相增加。因此,认为能够抑制由于镀覆液和晶界相之间的反应产生的氢引起的腐蚀反应的进行。因此,可以改进稀土类烧结磁体的耐腐蚀性。这可以降低在稀土类烧结磁体和镀层之间接触部分处的损害,从而使得抑制稀土类烧结磁体消磁 (demagnetization)。此外,即使当镀覆稀土类烧结磁体的表面时,也可以抑制在镀覆开始的早期阶段中产生的通量降低。

[0052] 尽管通量通过在稀土类烧结磁体的表面上形成镀膜而相应于镀膜的膜厚度减少,但当镀覆根据本实施方案的稀土类烧结磁体的表面时,可以抑制在镀覆开始的早期阶段中产生的通量降低。因此,能够抑制在镀覆前后稀土类烧结磁体的通量值的差(通量损失)。

[0053] Ni 镀膜 11 可以用作稀土类烧结磁体 10 的涂层并且可以是以 Ni、Ni-B 或 Ni-P 等形式包含 Ni 而形成的镀膜。Ni 镀膜 11 也可以为由除 Ni 以外的金属形成的金属镀膜。由除 Ni 以外的金属形成的金属镀膜用包含 Cu、Zn、Cr、Sn、Ag、Au 和 Al 中的至少一种作为主要组分的层形成。这些镀膜可以通过例如电镀 (electroplating) 和化学镀 (electroless plating) 形成。镀膜优选通过电镀形成。镀膜可以借助通过电镀形成镀膜而在稀土类烧结磁体 10 上容易地形成。与通过真空蒸发或其它方法形成镀膜相比,电镀使得镀膜以再现性以低成本安全地形成。

[0054] 根据本实施方案的稀土类烧结磁体是通过例如加压成型成形为预定的期望形状获得的。稀土类烧结磁体 10 的形状不特别限定,并且可以根据要使用的模具形状,例如根据平板状、柱状、环状截面或其它形状的稀土类烧结磁体形状而改变。

[0055] 根据本实施方案的稀土类烧结磁体使用包含 R-T-B 合金的稀土类烧结磁体,但是本实施方案不限于此。例如,用于稀土类结合磁体的配混物(组合物)可以通过捏合 R-T-B 稀土合金粉末和树脂粘结剂生产,并且将通过使获得的用于稀土类结合磁体的配混物成形为预定形状生产的稀土类结合磁体用作稀土类烧结磁体。

[0056] 在根据本实施方案的稀土类烧结磁体中,所述晶界三叉点包括包含 Co、Cu 和 R 为 60 原子% -90 原子%的 R75 相,并且包含在 R75 相中的 R、Co 和 Cu 的组成比 $(\text{Co}+\text{Cu})/\text{R}$ 以原子百分比计满足上述关系式。此外,在横截面上的晶界三叉点的横截面积中富 Co 区域与富 Cu 区域重叠的面积为 60% 以上。因此,根据本实施方案的稀土类烧结磁体能够改进耐腐蚀性,并且通过抑制在镀覆开始的早期阶段中产生的通量的减少可以抑制在形成镀膜之后稀土类烧结磁体的通量损失。

[0057] 稀土类烧结磁体的生产方法

[0058] 参考附图以下描述具有如上所述结构的稀土类烧结磁体的合适的生产方法。在本实施方案中,主相合金粉末包括 R12Fe14B(R1 至少包括 Nd 并且为除了 Dy 之外的一种或多种稀土元素)和不可避免的杂质并且不包括 Co 或 Cu。晶界相合金粉末包括 R2(R2 至少包括 Dy 并且为除了 Nd 之外的一种或多种稀土元素)、Fe、Co 和 Cu。以下描述根据本实施方案的稀土类烧结磁体的生产方法,其使用主相合金粉末和晶界相合金粉末。图 4 为根据本发明实施方案的稀土类烧结磁体的生产方法的流程图。如在图 4 中所示,根据本实施方案

的稀土类烧结磁体的生产方法包括以下工序。

[0059] a) 用于制备主相合金和晶界相合金的合金制备工序 (步骤 S11)

[0060] b) 用于粉碎主相合金和晶界相合金的粉碎工序 (步骤 S12)

[0061] c) 用于混合主相合金粉末和晶界相合金粉末的混合工序 (步骤 S13)

[0062] d) 用于成形混合粉末的成形工序 (步骤 S14)

[0063] e) 用于烧结成型体的烧结工序 (步骤 S15)

[0064] f) 用于将烧结体进行时效处理的时效处理工序 (步骤 S16)

[0065] g) 用于冷却烧结体的冷却工序 (步骤 S17)

[0066] h) 用于抛光稀土类烧结磁体的抛光工序 (步骤 S18)

[0067] i) 用于镀覆稀土类烧结磁体表面的镀覆工序 (步骤 S19)

[0068] 合金制备工序:步骤 S11

[0069] 在真空或者惰性气体如 Ar 气的惰性气体气氛中浇铸原料金属从而获得主相合金和晶界相合金 (步骤 S11)。在本实施方案中,调整主相合金以致 R1 含量在 27 质量% -33 质量% 的范围内,B 含量在 0.8 质量% -1.2 质量% 范围内,并且余量为 Fe。调整晶界相合金以致 R2 含量在 25 质量% -50 质量% 范围内,Co 含量在 5 质量% -50 质量% 范围内,和 Cu 含量在 0.3 质量% -10 质量% 范围内。可以将稀土金属或稀土合金、纯铁、硼铁和其合金等用作原料金属。用于浇铸原料金属的方法的实例包括铸锭法 (ingot casting method)、带坯连铸法 (strip casting method)、铰接式铸法 (book mold method) 和离心铸造法 (centrifugal casting method)。当在获得的原料合金中出现凝固偏析 (solidification segregation) 时,如果需要,将合金进行均匀化处理。原料合金的均匀化处理在真空或惰性气体气氛中在温度为 700°C -1500°C 下进行 1 小时以上。由此,将稀土类磁体用合金熔融以致均匀化。

[0070] 粉碎工序:步骤 S12

[0071] 在合金制备工序 (步骤 S11) 下生产主相合金和晶界相合金之后,将主相合金和晶界相合金单独粉碎 (步骤 S12)。可以将主相合金和晶界相合金一起粉碎,但是考虑到抑制组成偏离,更优选分别粉碎。所述粉碎工序 (步骤 S12) 包括用于粉碎以致晶粒尺寸达到约数百微米的粗碎工序 (步骤 S12-1) 和用于细碎以致晶粒尺寸达到约数微米的细碎工序 (步骤 S12-2)。

[0072] 粗碎工序:步骤 S12-1

[0073] 将主相合金和晶界相合金单独粗碎以致晶粒尺寸达到约数百微米 (步骤 S12-1)。由此,获得主相合金和晶界相合金的粗碎粉末。在粗碎中,在主相合金和晶界相合金中吸收氢,接着,释放氢以进行氢解吸附从而粗碎主相合金和晶界相合金。使用捣碎机 (stamp mill)、颚式破碎机 (jaw crusher)、布劳恩研磨机 (Braun mill) 和类似的装置在惰性气体气氛中进行粗碎。

[0074] 为了获得高的磁性性能,在从粉碎工序 (步骤 S12) 至烧结工序 (步骤 S15) 的各个工序中的气氛优选处于低氧浓度。氧含量通过各个生产工序中的气氛的控制、包含在原料中的氧量的控制或其它方法来调节。在各个工序中的氧浓度优选不高于 3000ppm。

[0075] 细碎工序:步骤 S12-2

[0076] 在将主相合金和晶界相合金在粗碎工序 (步骤 S12-1) 中粗碎之后,将主相合金和晶界相合金的粗碎粉末细碎以致晶粒尺寸达到约数微米 (步骤 S12-2)。由此,获得主相合

金和晶界相合金的经粉碎粉末。主要将喷射式磨机 (jet mill) 用于细碎, 并且粉碎主相合金和晶界相合金的粗碎粉末以致平均晶粒尺寸达到约数微米。喷射式粉碎是借助以下的粉碎方法: 在高压下通过窄的喷嘴释放惰性气体 (例如, N_2 气) 从而产生高速气流; 用该高速气流将主相合金和晶界相合金的粗碎粉末加速从而导致在主相合金和晶界相合金的粗碎粉末之间的碰撞或者与目标或者容器壁的碰撞。

[0077] 在将主相合金和晶界相合金的粗碎粉末细碎时添加粉碎助剂如硬脂酸锌和油酸酰胺, 由此, 可以获得在成形期间具有高取向性的细碎粉末。

[0078] 混合工序: 步骤 S13

[0079] 在细碎工序 (步骤 S12-2) 中生产主相合金粉末和晶界相合金粉末之后, 将主相合金粉末和晶界相合金粉末在低氧气氛中混合 (步骤 S13)。由此, 获得混合粉末。所述低氧气氛形成为例如惰性气体气氛如 N_2 气或 Ar 气气氛。主相合金粉末和晶界相合金粉末的共混比以质量比计优选为 80 : 20-97 : 3、更优选 90 : 10-97 : 3。

[0080] 当在粉碎工序 (步骤 S12) 中将主相合金和晶界相合金一起粉碎时的共混比与当将主相合金和晶界相合金分别粉碎时的共混比一样。因此, 主相合金粉末和晶界相合金粉末的共混比以质量比计优选为 80 : 20-97 : 3、更优选 90 : 10-97 : 3。

[0081] 成形工序: 步骤 S14

[0082] 将通过在混合工序 (步骤 S13) 中混合主相合金粉末和晶界相合金粉末而获得的混合粉末成形 (步骤 S14)。将混合粉末填充在装配有电磁体的模具中, 接着在通过施加磁场将结晶轴取向的状态下在磁场中成形。由此, 获得成型体。将获得的成型体沿特定的方向取向, 由此, 获得具有更强的磁各向异性的稀土类烧结磁体 10。该在磁场中的成形优选在约 $0.7t/cm^2$ - $1.5t/cm^2$ (70MPa-150MPa) 的压力下在 1.2tesla 以上的磁场中进行。要施加的磁场不限于静态磁场并且可以是脉冲磁场。静态磁场和脉冲磁场也可以组合使用。

[0083] 所述成型体通过例如加压成型成形为期望的预定形状。通过成形稀土合金粉末获得的成型体的形状不特别限定, 可以根据要使用的模具的形状改变, 例如根据平板状、柱状、环状横截面或其它形状的稀土类烧结磁体的形状改变。

[0084] 当主相合金粉末和晶界相合金粉末的混合粉末成形为期望的预定形状时, 通过施加磁场成形的成型体可以成形为沿特定方向取向。由此, 稀土类烧结磁体沿特定方向取向, 结果, 获得具有更强的磁各向异性的稀土类烧结磁体。

[0085] 烧结工序: 步骤 S15

[0086] 在成形工序 (步骤 S14) 中在磁场中成形混合粉末之后, 将获得的成型体在真空或者在惰性气体气氛中烧结 (步骤 S15)。烧结温度需要根据各种条件如组成、粉碎方法、晶粒尺寸和粒度分布 (granular variation) 来调节, 所述烧结例如在 900°C - 1200°C 范围下进行 1 小时 -10 小时。由此, 获得烧结体。

[0087] 时效处理工序: 步骤 S16

[0088] 将通过在烧结工序 (步骤 S15) 中烧结成型体获得的烧结体进行时效工序 (步骤 S16)。所述时效处理工序 (步骤 S16) 是用于调节稀土类烧结磁体的磁性性能的工序, 所述稀土类烧结磁体是通过将在烧结时获得的烧结体维持在低于烧结时的温度下以调节烧结体的结构的终产品。在时效处理中, 处理条件根据要进行的时效处理的次数适当调整。例如, 2 阶段加热: 在 700°C - 900°C 的温度下 1 小时 -3 小时, 并且进一步在 500°C - 700°C 的温

度下 1 小时 -3 小时,或者 1 阶段加热:在约 600℃ 的温度下 1 小时 -3 小时。

[0089] 冷却工序:步骤 S17

[0090] 在将烧结体在时效处理工序(步骤 S16)中进行时效处理之后,将烧结体在用 Ar 气加压的状态下快速冷却(步骤 S17)。由此,可以获得根据本实施方案的稀土类烧结磁体。冷却速度不特别限定并且优选等于或大于 30℃ / 分钟。

[0091] 抛光工序:步骤 S18

[0092] 使用球磨机对在冷却工序(步骤 S17)中获得的根据本实施方案的稀土类烧结磁体进行滚桶抛光约 2 小时以倒角(chamfered)(步骤 S18)。获得的稀土类烧结磁体可以通过切成期望尺寸或通过将表面平滑化而具有预定的形状。

[0093] 镀覆工序:步骤 S19

[0094] 在将稀土类烧结磁体在抛光工序(步骤 S18)中抛光之后,将根据本实施方案的稀土类烧结磁体的表面使用硝酸蚀刻预定时间。接着,将根据本实施方案的稀土类烧结磁体的表面镀覆 Ni 以在其上形成 Ni 镀膜(步骤 S19)。

[0095] 如上所述,在根据本实施方案的稀土类烧结磁体中,所述晶界三叉点包括含有 Co、Cu 和 60 原子% -90 原子% R 的 R75 相,包含在所述 R75 相中的 R、Co 和 Cu 的组成比 $(Co+Cu)/R$ 以原子百分比计在预定范围内。此外,在横截面上的晶界三叉点横截面积中,富 Co 区域与富 Cu 区域重叠的面积为 60% 以上。由此,可以减少包括在晶界三叉点中的富 R 相。因此,可以改进根据本实施方案的稀土类烧结磁体的耐腐蚀性。认为能够抑制晶界组分被镀覆液腐蚀从而吸收氢,由此可以抑制在镀覆开始的早期阶段中产生的通量的减少。因此,即使当 Ni 镀膜形成于根据本实施方案的稀土类烧结磁体表面上时,也可以抑制获得的稀土类烧结磁体的通量损失。结果,可以降低由于 Ni 镀膜导致的镀膜厚度损失,从而能够生产具有高的磁性性能的稀土类烧结磁体。

[0096] 包含在稀土类烧结磁体中的 C 量根据在生产工序中要使用的粉碎助剂的种类和添加量等调整。包含在稀土类烧结磁体中的 N 量根据原料合金的种类和量以及当原料合金在氮气气氛下粉碎时的粉碎条件等调整。

[0097] 在主相合金和晶界相合金的粉碎中,氢吸收在主相合金和晶界相合金中,接着,将氢释放从而进行粗碎,但是本实施方案不限于此。例如,主相合金粉末和晶界相合金粉末可以通过借助所谓的氢化分解·脱氢再结合(hydrogenation decomposition/desorption recombination)(HDDR)法粉碎主相合金和晶界相合金而获得。所述 HDDR 法是通过以下使得晶体细化的方法:在氢气中加热原料(起始合金)以将原料进行氢化分解(HD)并且接着将其进行脱氢再结合(DR)。

[0098] 根据本实施方案的稀土类烧结磁体的适合的实施方案如上所述,但是根据本实施方案的稀土类烧结磁体不限于此。可以对根据本实施方案的稀土类烧结磁体作出各种变化和改性以及各种组合而不偏离本发明的宗旨。稀土类烧结磁体也类似地适用于永磁体以外的应用。

[0099] 实施例

[0100] 参考实施例和比较例以下描述本发明的细节,但是本发明不限于实施例。

[0101] 1. 稀土类烧结磁体的生产

[0102] 实施例 1

[0103] 生产具有预定组成的主相合金 1 和晶界相合金 1 以生产具有预定磁体组成的 Nd-Fe-B 烧结磁体。表 1 示出主相合金 1 和晶界相合金 1 的组成和 Nd-Fe-B 烧结磁体的磁体组成。

[0104] 具有示于表 1 的组成的主相合金 1 和晶界相合金 1 通过带坯连铸法生产。将主相合金 1 和晶界相合金 1 的混合物在室温下进行氢吸收处理并且接着在 Ar 气氛中在 600℃ 下进行氢解吸处理 1 小时,从而将主相合金 1 和晶界相合金 1 粗碎。将作为粉碎助剂的 0.1 重量%油酸酰胺添加至经粗碎的主相合金 1 和晶界相合金 1 中,并且将混合物通过喷射式磨机细碎,从而生产具有平均晶粒尺寸为约 4.0 μm 的细粉末。将获得的主相合金粉末和晶界相合金粉末在低氧气氛中以 95 : 5 的质量比混合,从而生产混合粉末。将获得的混合粉末在磁场中在 1.5tesla 的施加磁场和 1.2ton/cm²的成型压力下成型从而生产成型体。将获得的成型体在真空中在 1040℃ 下保持 4 小时以进行烧结。接着,在 Ar 气氛中进行时效处理以进行热处理,从而获得烧结体。以两阶段进行时效处理。将烧结体维持在 800℃ 下 1 小时并且接着维持在 550℃ 下 1 小时。从在 Ar 气氛中完成烧结至时效处理第一阶段的降温工序(从 1040℃ 至 800℃)期间的冷却速度为 50℃ / 分钟。从时效处理第一阶段至第二阶段的降温工序(从 800℃ 至 550℃)期间的冷却速度为 50℃ / 分钟。使用球磨机对通过时效处理获得的稀土类烧结磁体进行滚桶抛光 2 小时以倒角。接着,使用硝酸进行蚀刻期望的时间,然后进行 Ni 镀覆。

[0105]

表 1

		组成 (质量%)								质量比
		Nd	Dy	(T,RE)	Co	Al	Cu	B	Fe	
实施例 1	主相合金 1	30.60	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	1.06	余量.	
	晶界相合金 1	0.00	39.60	39.60	30.00	0.18	3.00	0.00	余量.	
	磁体组成	29.05	1.98	31.03	1.50	0.18	0.15	1.01	余量.	
										95
										5

[0106] 实施例 2 和 3 以及比较例 1

[0107] 除了使用其组成与在实施例 1 中使用的主相合金 1 的组成类似的主相合金 2-4、并

且使用其组成从在实施例 1 中使用的晶界相合金 1 的组成改变的晶界相合金 2-4 以获得稀土烧结体以外, 以与实施例 1 类似的方式进行实施例 2 和 3 以及比较例 1。表 2 示出主相合金 2 和晶界相合金 2 的组成和质量比以及获得的 Nd-Fe-B 烧结磁体的磁体组成。表 3 示出主相合金 3 和晶界相合金 3 的组成和质量比以及获得的 Nd-Fe-B 烧结磁体的磁体组成。表 4 示出主相合金 4 和晶界相合金 4 的组成和质量比以及获得的 Nd-Fe-B 烧结磁体的磁体组成。

[0108]

表 2

		组成 (质量%)							质量比
		Nd	Dy	(T,RE)	Co	Al	Cu	B	Fe
实施例 2	主相合金 2	30.60	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	1.06	余量
	晶界相合金 2	0.00	39.60	39.60	50.00	0.18	10.00	0.00	余量
	磁体组成	29.05	1.98	31.03	2.50	0.18	0.50	1.01	余量
									95
									5

[0109]

表 3

		组成 (质量%)							质量比
		Nd	Dy	(T,RE)	Co	Al	Cu	B	Fe
实施例 3	主相合金 3	30.60	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	1.06	余量
	晶界相合金 3	0.00	39.60	39.60	12.00	0.18	1.00	0.00	余量
	磁体组成	29.05	1.98	31.03	0.60	0.18	0.05	1.01	余量
									95
									5

[0110]

表 4

		组成 (质量%)							质量比
		Nd	Dy	(T,RE)	Co	Al	Cu	B	Fe
比较例 1	主相合金 4	30.60	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	1.06	余量
	晶界相合金 4	0.00	39.60	39.60	10.20	0.18	1.20	0.00	余量
	磁体组成	29.05	1.98	31.03	0.51	0.18	0.06	1.01	余量
									95
									5

- [0111] 2. 评价
- [0112] 元素扫描 (Elemental mapping)
- [0113] 电子探针显微分析仪 (EPMA)

[0114] 为了确认在晶界三叉点中富 Cu 和富 Co 区域的位置,使用 EPMA 观察实施例 1-3 的稀土类烧结磁体和比较例 1 的稀土类烧结磁体的结构,从而用 EPMA 进行元素扫描。图 5 是实施例 1 的稀土类烧结磁体的组成图像。图 6 是使用 EPMA 的在实施例 1 的稀土类烧结磁体中的 Cu 的观察结果。图 7 是使用 EPMA 的在实施例 1 的稀土类烧结磁体中的 Co 的观察结果。图 8 是比较例 1 的稀土类烧结磁体的组成图像。图 9 是使用 EPMA 的在比较例 1 的稀土类烧结磁体中的 Cu 的观察结果。图 10 是使用 EPMA 的在比较例 1 的稀土类烧结磁体中的 Co 的观察结果。通过使用 EPMA 观察,以类似的方式对实施例 2 和 3 进行使用 EPMA 的元素扫描。表 5 示出实施例 1-3 和比较例 1 的富 Co 区域与富 Cu 区域重叠的区域的面积比。

[0115] 表 5

	面积比(%)
实施例 1	88
实施例 2	93
实施例 3	67
比较例 1	54

[0117] 图 5 和 8 显示白色部分具有更高的元素浓度。典型地,主相很少具有浓度分布,因此,认为具有高浓度的白色区域对应于晶界相。如在图 6 和 7 中所示,在富 Nd 的晶界三叉点中,在实施例 1 中富 Co 区域几乎与富 Cu 区域重叠,并且如在表 5 中所示,富 Cu 区域与富 Co 区域重叠的区域的面积比为约 88%。如在表 5 中所示,在实施例 2 中富 Cu 区域与富 Co 区域重叠的区域的面积比为约 93%,并且在实施例 3 中富 Cu 区域与富 Co 区域重叠的区域的面积比为约 67%。相比之下,如在图 9 和 10 中所示,在比较例 1 中,在富 Nd 晶界三叉点中,某些富 Co 区域和富 Cu 区域部分地单独存在,并且如在表 5 中所示,富 Cu 区域与富 Co 区域重叠的区域的面积比为约 54%。

[0118] 扫描透射电子显微镜-能量色散 X-射线光谱仪 (STEM-EDS)

[0119] 为了确认在晶界三叉点中富 Nd、富 Cu 和富 Co 区域的位置,使用 STEM-EDS 进行观察。使用 STEM-EDS 观察实施例 1-3 的稀土类烧结磁体和比较例 1 的稀土类烧结磁体的结构,并且通过使用 STEM-EDS 进行元素扫描而获得的结果示于图 11-16 中。图 11 是使用 STEM-EDS 的在实施例 1 的稀土类烧结磁体中的 Nd 的观察结果。图 12 是使用 STEM-EDS 的在实施例 1 的稀土类烧结磁体中的 Co 的观察结果。图 13 是使用 STEM-EDS 的在实施例 1 的稀土类烧结磁体中的 Cu 的观察结果。图 14 是使用 STEM-EDS 的在比较例 1 的稀土类烧结磁体中的 Nd 的观察结果。图 15 是使用 STEM-EDS 的在比较例 1 的稀土类烧结磁体中的 Co 的观察结果。图 16 是使用 STEM-EDS 的在比较例 1 的稀土类烧结磁体中的 Cu 的观察结果。表 6 示出实施例 1-3 和比较例 1 的以原子百分比计的 R、Co 和 Cu 的组成比 (Co+Cu)/R (其中 R 是 Nd)。

[0120] 表 6

	(Co + Cu)/R
实施例 1	0.21 至 0.35
[0121] 实施例 2	0.28 至 0.45
实施例 3	0.07 至 0.09
比较例 1	0.034

[0122] 如在图 11-13 中所示,在使用 STEM-EDS 的元素扫描中,与比较例 1 的稀土类烧结磁体相比,在实施例 1 的稀土类烧结磁体的晶界三叉点中观察到其中更大量的 Nd、Co 和 Cu 偏析的结构。此时,进行在晶界三叉点中的组成的点分析。结果,发现实施例 1 和比较例 1 的稀土类烧结磁体两者都包括以下:包含 Nd 为 90% 以上的相(富 R 相),和包含 Nd 为 35 原子% -55 原子%、Fe 为约 45 原子%以及 Co 和 Cu(两者均为约 2 原子%)的相(R45 相)。在实施例 1 中还发现包含 Nd 为 60 原子% -90 原子%、Fe 为约 2 原子%、Co 为约 9 原子% -19 原子%和 Cu 为约 7 原子%的相(R75 相)。相比之下,在比较例 1 中发现包含 Nd 为 60 原子% -90 原子%、Fe 为约 22 原子%、Al 为约 1.5 原子%、Co 为约 1 原子%和 Cu 为约 1.5 原子%的相(R75 相)。如在表 6 中所示,包含在实施例 1 的稀土类烧结磁体的 R75 相中的 R、Co 和 Cu 的组成比 (Co+Cu)/R 以原子百分比计在 0.21-0.35 的范围内。

[0123] 将使用 EPMA 和 STEM-EDS 的实施例 1 的稀土类烧结磁体的观察结果结合,从而示意性示出实施例 1 的稀土类烧结磁体的晶界三叉点的状态,这可以如图 1 所示。如在图 1 中所示,实施例 1 的稀土类烧结磁体的晶界三叉点包括高比例的 R75 相,所述 R75 相包含 Nd 为 60 原子% -90 原子%。可以说包含在该 R75 相中的 R、Co 和 Cu 的组成比 (Co+Cu)/R 以原子百分比计在 0.05-0.5 的范围内。

[0124] 在实施例 2 和 3 的稀土类烧结磁体的晶界三叉点中也发现 R75 相。包含在实施例 2 的稀土类烧结磁体的晶界三叉点中的 R75 相中的 R、Co 和 Cu 的组成比 (Co+Cu)/R 以原子百分比计在 0.28-0.45 的范围内。包含在实施例 3 的稀土类烧结磁体的晶界三叉点中的 R75 相中的 R、Co 和 Cu 的组成比 (Co+Cu)/R 以原子百分比计在 0.07-0.09 的范围内。实施例 2 和 3 的稀土类烧结磁体的晶界三叉点也包括高比例的 R75 相。可以说包含在各个这些 R75 相中的 R、Co 和 Cu 的组成比 (Co+Cu)/R 以原子百分比计在 0.05-0.5 的范围内。

[0125] 相比之下,将使用 EPMA 和 STEM-EDS 的比较例 1 的稀土类烧结磁体的观察结果结合,从而示意性示出晶界三叉点的状态,这可以如图 2 所示。如在图 2 中所示,尽管比较例 1 的稀土类烧结磁体的晶界三叉点也包括 R75 相,但是包含在比较例 1 的稀土类烧结磁体的 R75 相中的 R、Co 和 Cu 的组成比 (Co+Cu)/R 以原子百分比计为约 0.034。

[0126] 因此,以原子百分比计,包含在比较例 1 的稀土类烧结磁体的晶界三叉点中的 R75 相中的 R、Co 和 Cu 的组成比 (Co+Cu)/R 小于实施例 1-3 的各个稀土类烧结磁体的晶界三叉点中的 R75 相中的 R、Co 和 Cu 的组成比 (Co+Cu)/R。因此,发现包含在比较例 1 的稀土类烧结磁体的晶界三叉点中的 R75 相中的 Co 和 Cu 的量小于实施例 1-3 的各个稀土类烧结磁体的晶界三叉点中的 R75 相中的 Co 和 Cu 的量。

[0127] 耐腐蚀性的评价

[0128] 将仅在其上进行蚀刻而不镀覆 Ni 的稀土类烧结磁体用作样品。使用不饱和压力锅试验 (unsaturated pressure cookertest) (PCT) 机, 在 120℃、2 个大气压和 100% RH 的条件下, 使得该样品被腐蚀, 将稀土类烧结磁体表面的经腐蚀部分去除从而获得稀土类烧结磁体的每单位面积质量减少率。图 17 是使用 PCT 机获得的耐腐蚀性的测量结果的图。如在图 17 中所示, 实施例 1-3 的质量变化小于比较例 1 的质量变化。因此, 发现通过增加在晶界三叉点中的 Co 和 Cu 的含量, 富 R 相比比例减少, 这样有助于改进稀土类烧结磁体的耐腐蚀性。

[0129] 通量损失评价

[0130] 将镀覆 Ni 的稀土类烧结磁体和在其上仅进行蚀刻的稀土类烧结磁体进行脉冲磁化, 并且使用具有线圈的缠绕数目为 250 的磁通量测量设备来测量它们的开路通量 (open fluxes)。以在其上仅进行蚀刻的稀土类烧结磁体的通量值为基准, 测量镀覆 Ni 的稀土类烧结磁体的通量值的减少率。如上所述, 将在 Ni 镀覆前后通量值之差称为通量损失。图 18 是示出通量的测量结果的图。如在图 18 中所示, 当稀土类烧结磁体的两表面镀有膜厚度为约 4 μm 的 Ni 时在两个表面处的镀膜厚度损失为约 1.6%。在此情况下, 当在稀土类烧结磁体的两个表面上镀覆的 Ni 的膜厚度为约 20 μm 时, 比较例 1 的通量损失为约 4.5%。相比之下, 在实施例 1-3 中的通量损失抑制至约 3% -4%。因此, 发现根据本实施方案的稀土类烧结磁体的使用能够抑制通量损失。

[0131] 如上所述, 尽管实施例 1-3 的各个稀土类烧结磁体的组成和基本生产方法与比较例 1 的稀土类烧结磁体的组成和基本生产方法一致, 但它们具有不同的耐腐蚀性和通量损失。与比较例 1 的稀土类烧结磁体相比, 实施例 1-3 的稀土类烧结磁体能够改进耐腐蚀性并且能够抑制在镀覆开始的早期阶段产生的通量的降低。认为: 在横截面上的晶界三叉点横截面积中富 Co 区域与富 Cu 区域重叠的面积是否是预定值或者比预定值大, 这将影响在如下结构中的稀土类烧结磁体的耐腐蚀性和通量降低的抑制。晶界三叉点包括 R75 相, 并且将以原子百分比计的包含在 R75 相中的 R、Co 和 Cu 的组成比 (Co+Cu)/R 设定在预定范围内以致包括 Co 和 Cu, 从而降低在晶界三叉点中的富 R 相的比例。因此, 发现, 作为根据本实施方案的稀土类烧结磁体, 能够生产其耐腐蚀性得到改进并且抑制通量损失的稀土类烧结磁体。

[0132] 根据本发明的稀土类烧结磁体对于例如用于驱动 HDD 头、电车和混合动力车等的 VCM 中使用的永磁体是有用的。

[0133] 尽管为了完整和清楚的公开已经参考特定实施方案描述本发明, 但所附的权利要求书并不由此被限定, 而是应当解释为包括对于本领域熟练技术人员能够想到的落入此处提出的基本教导范围内的所有改性和可选择的构造。

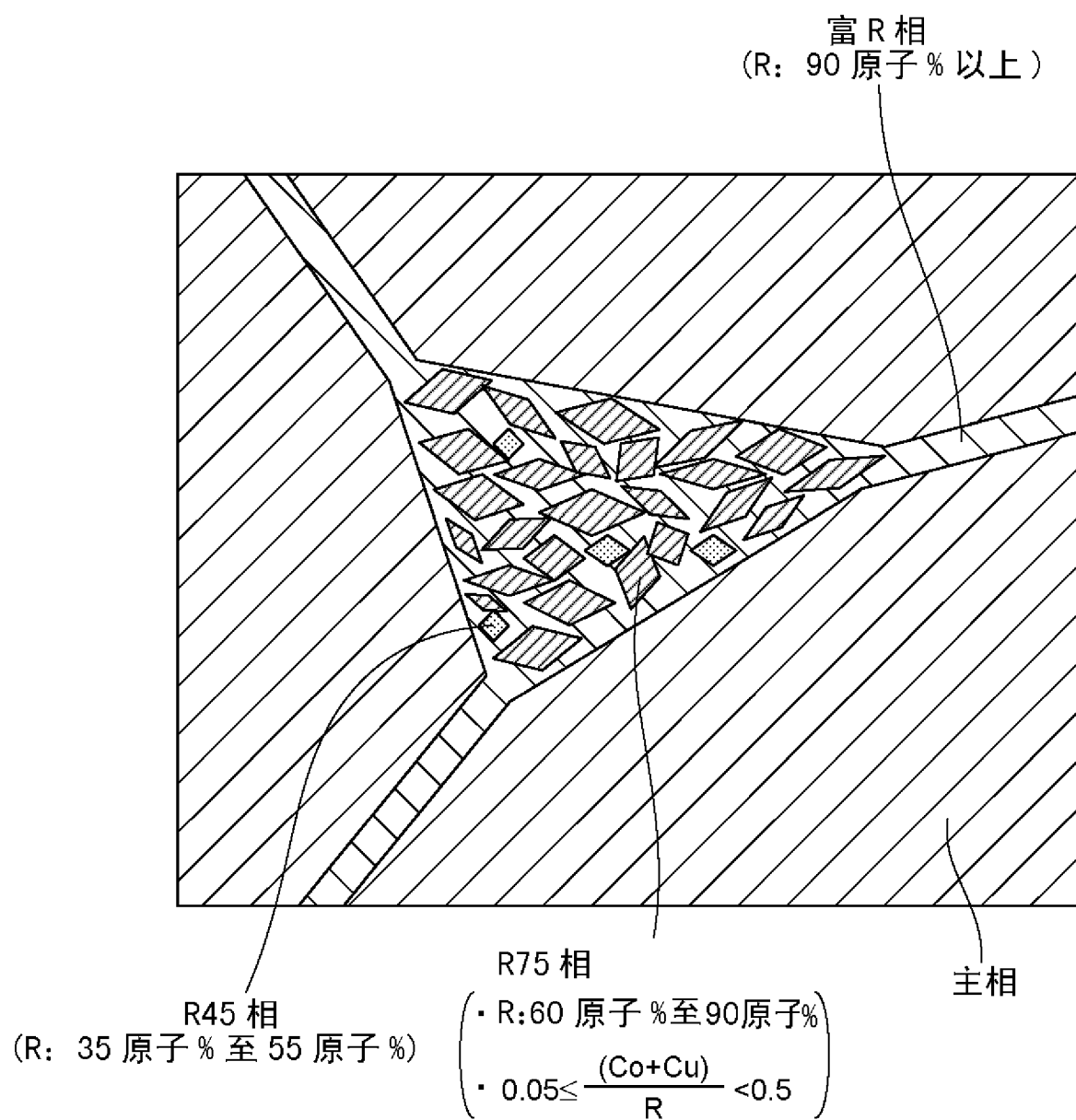


图 1

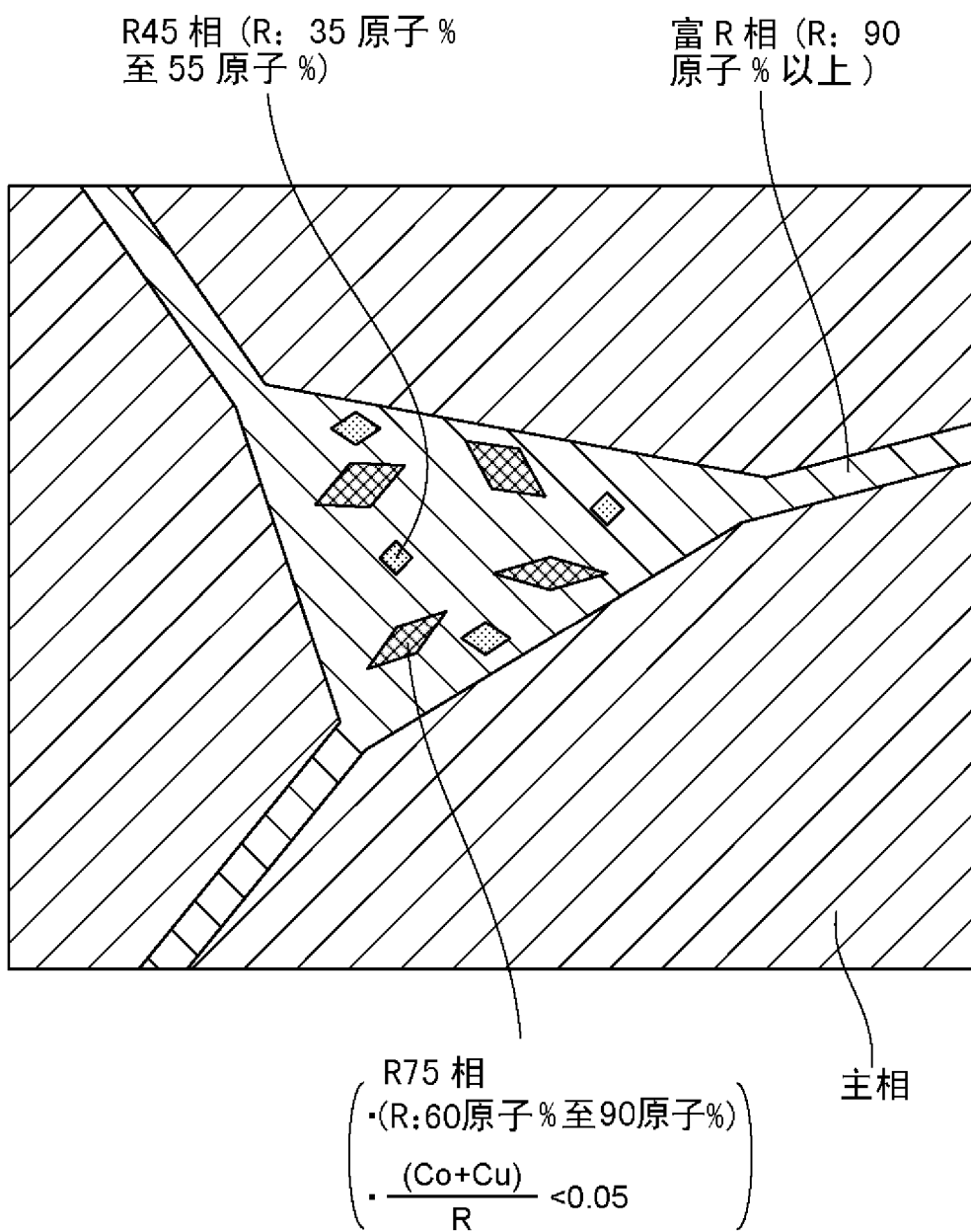


图 2

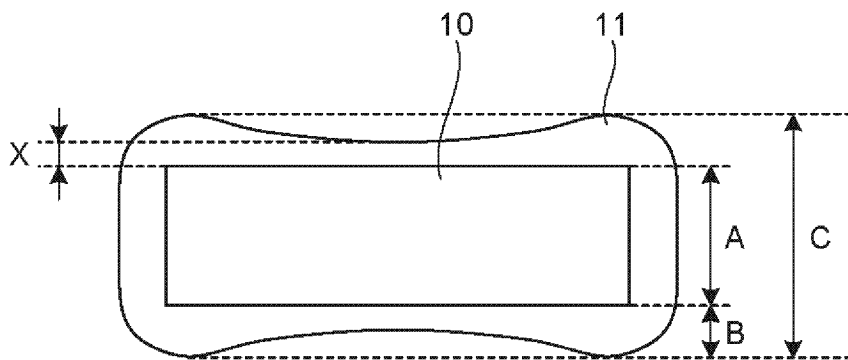


图 3

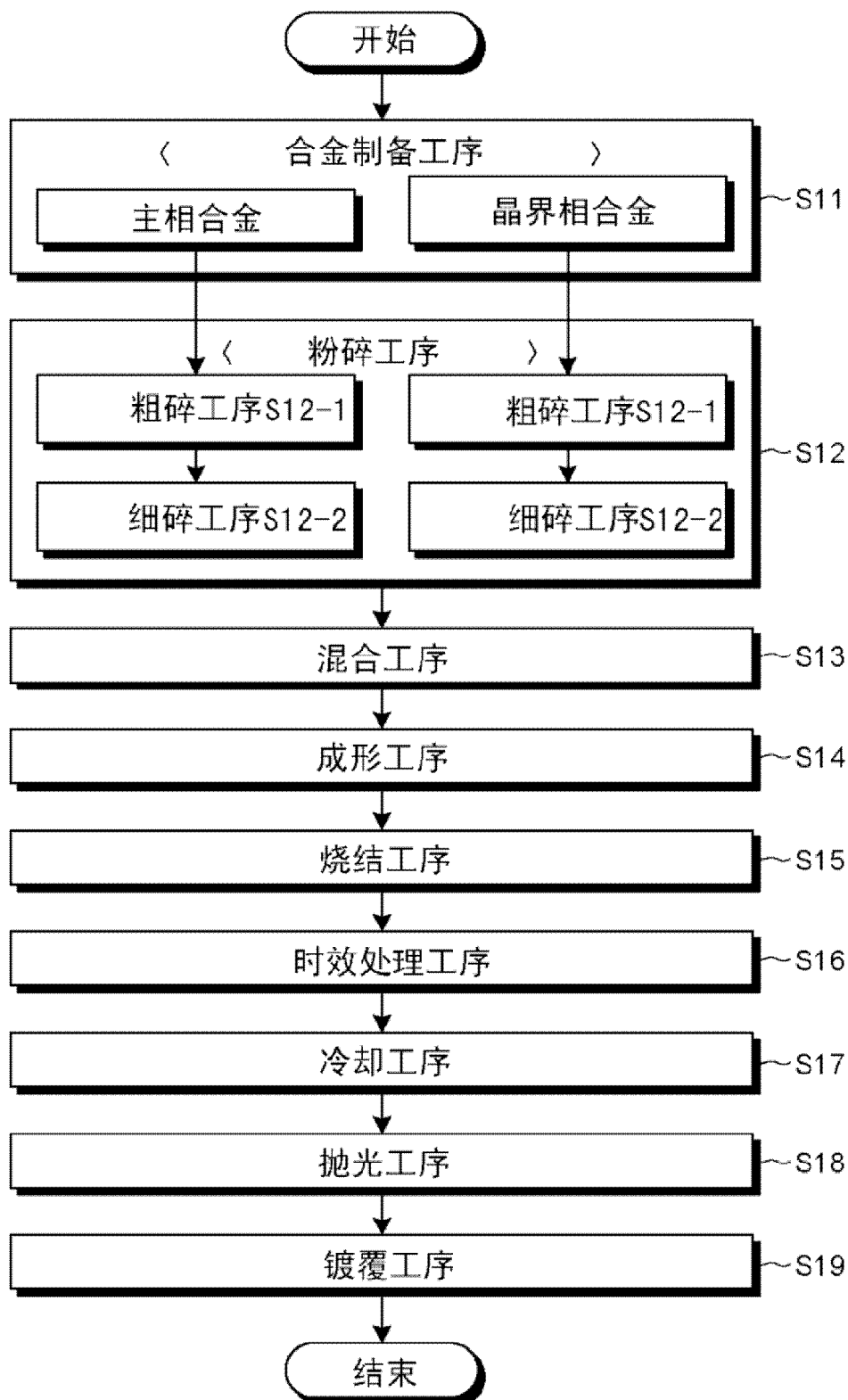


图 4

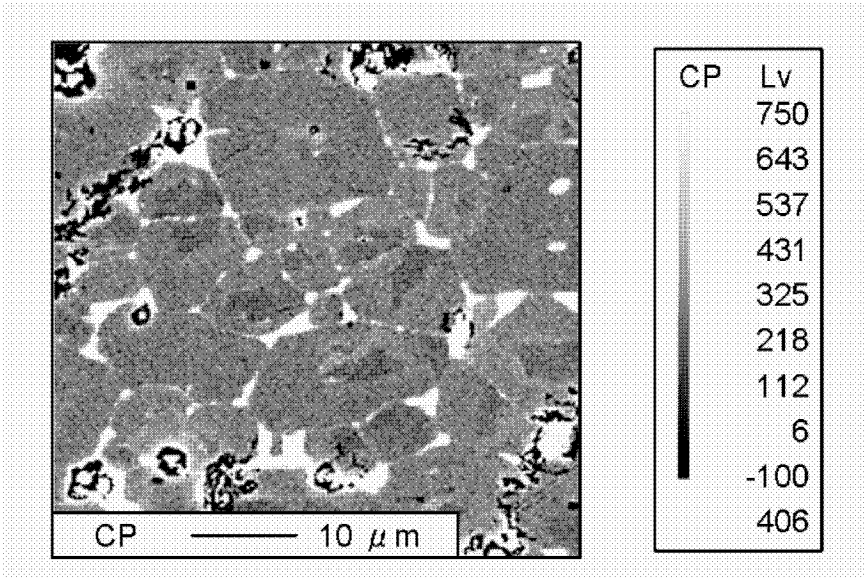


图 5

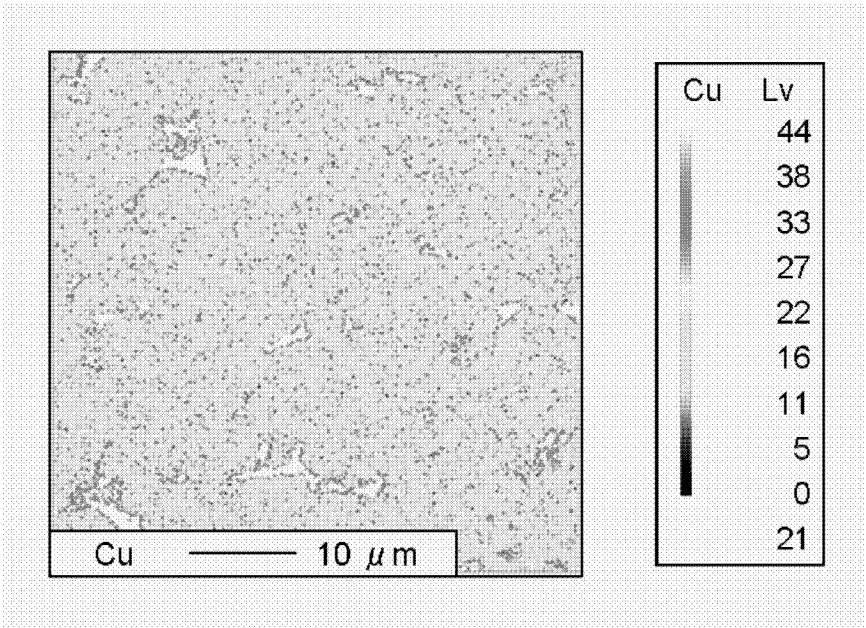


图 6

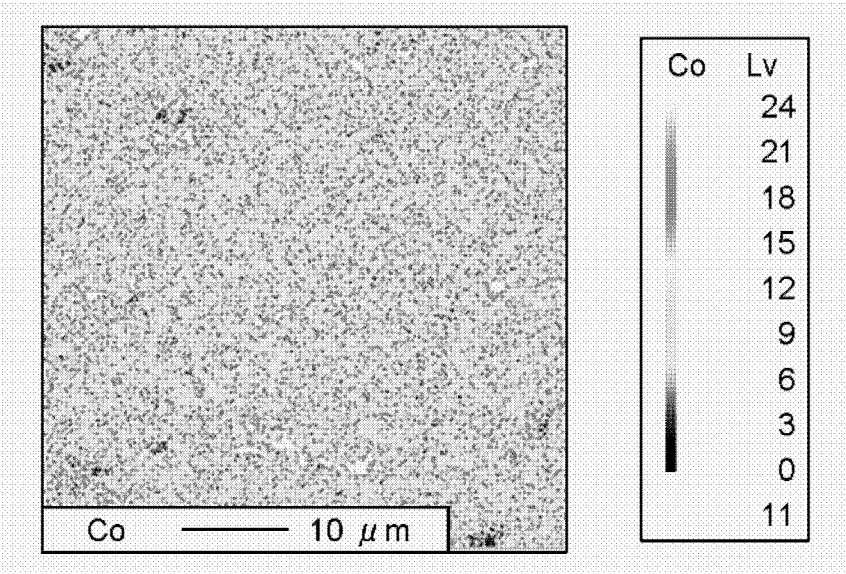


图 7

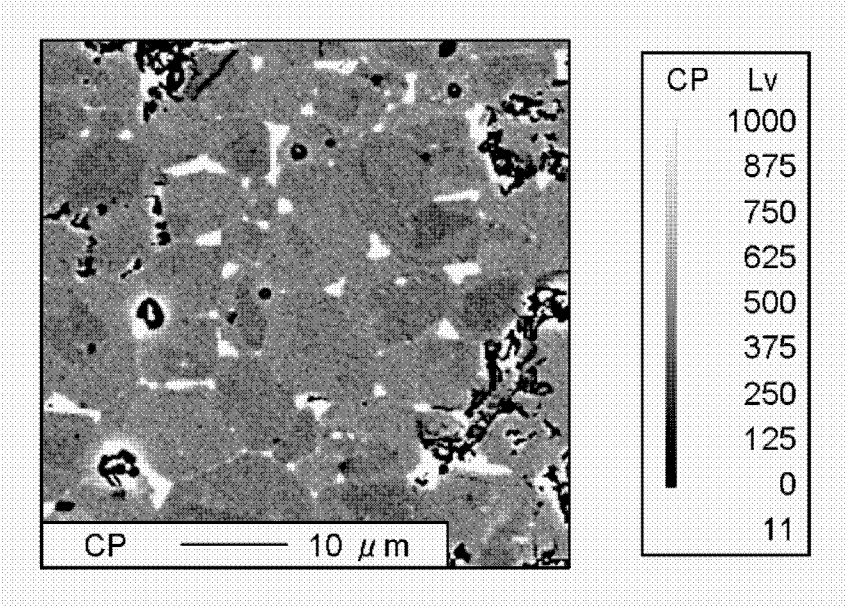


图 8

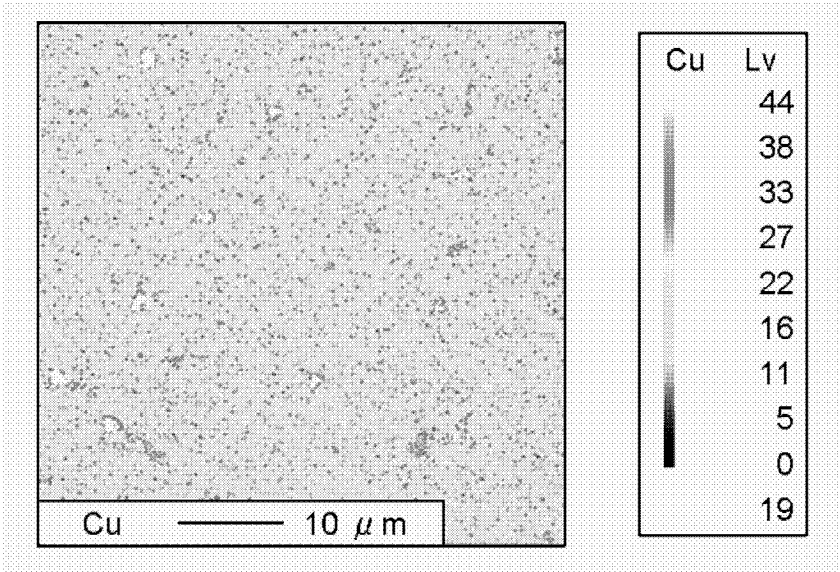


图 9

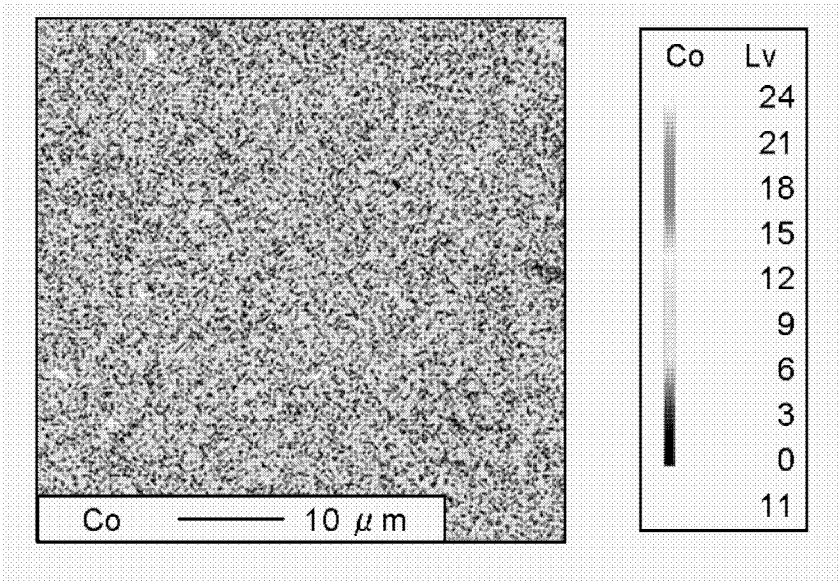


图 10

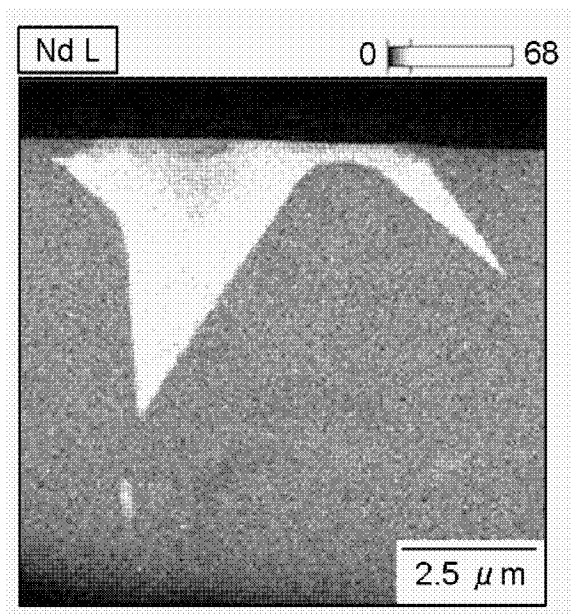


图 11

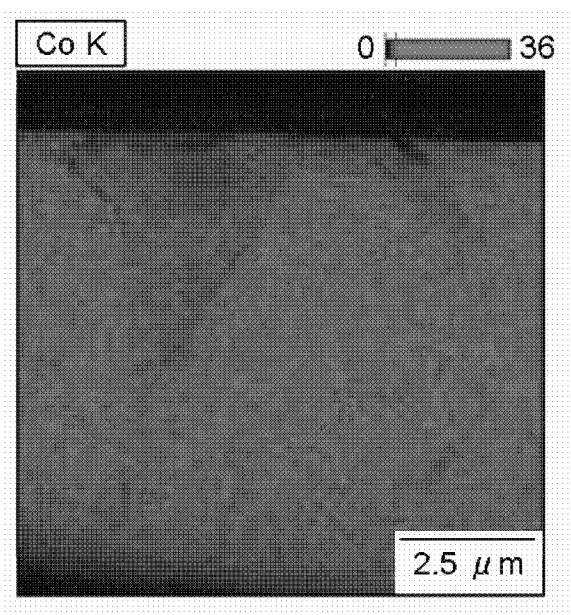


图 12

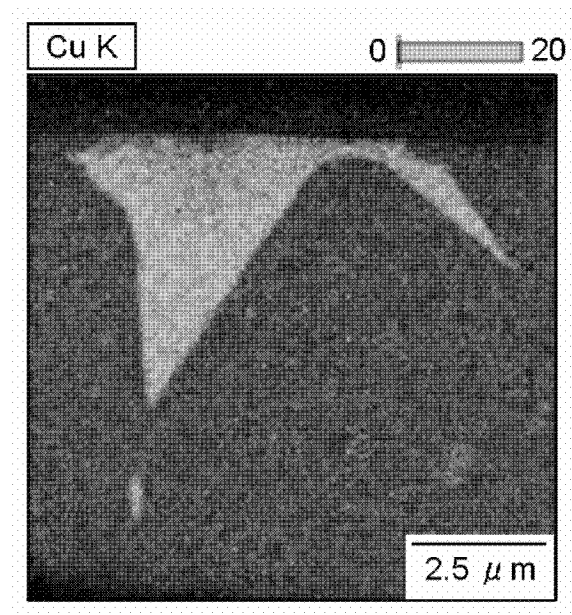


图 13

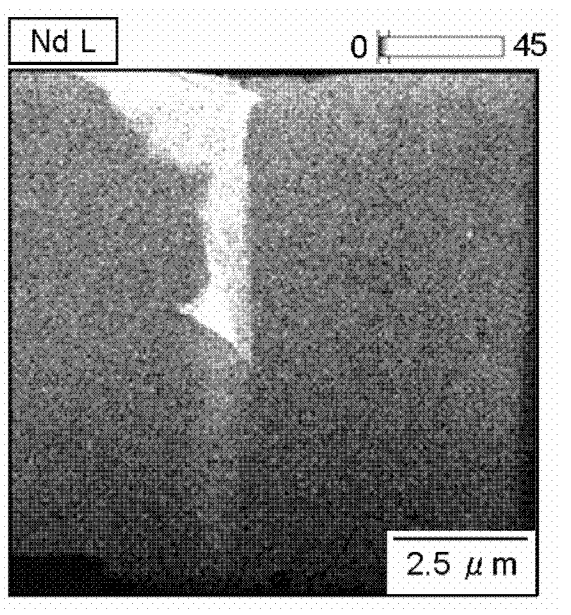


图 14

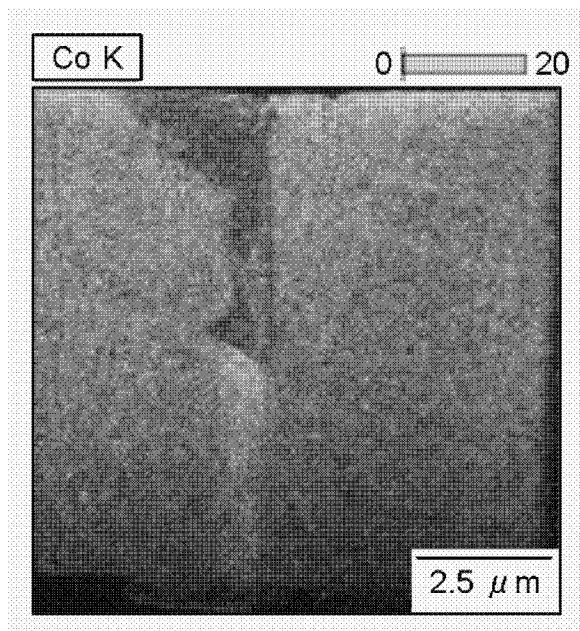


图 15

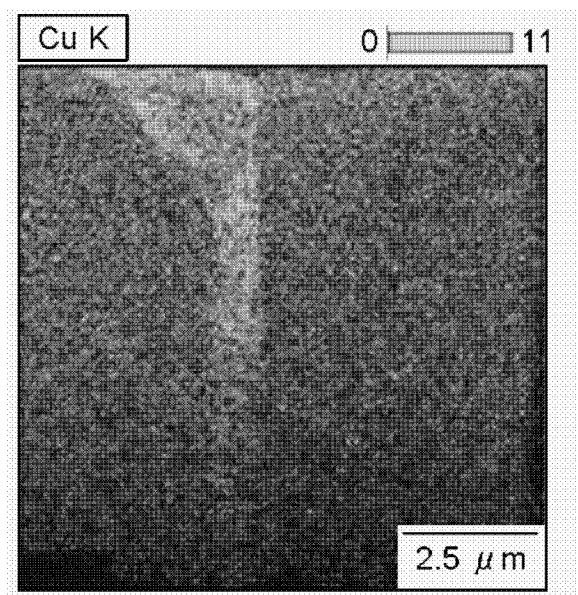


图 16

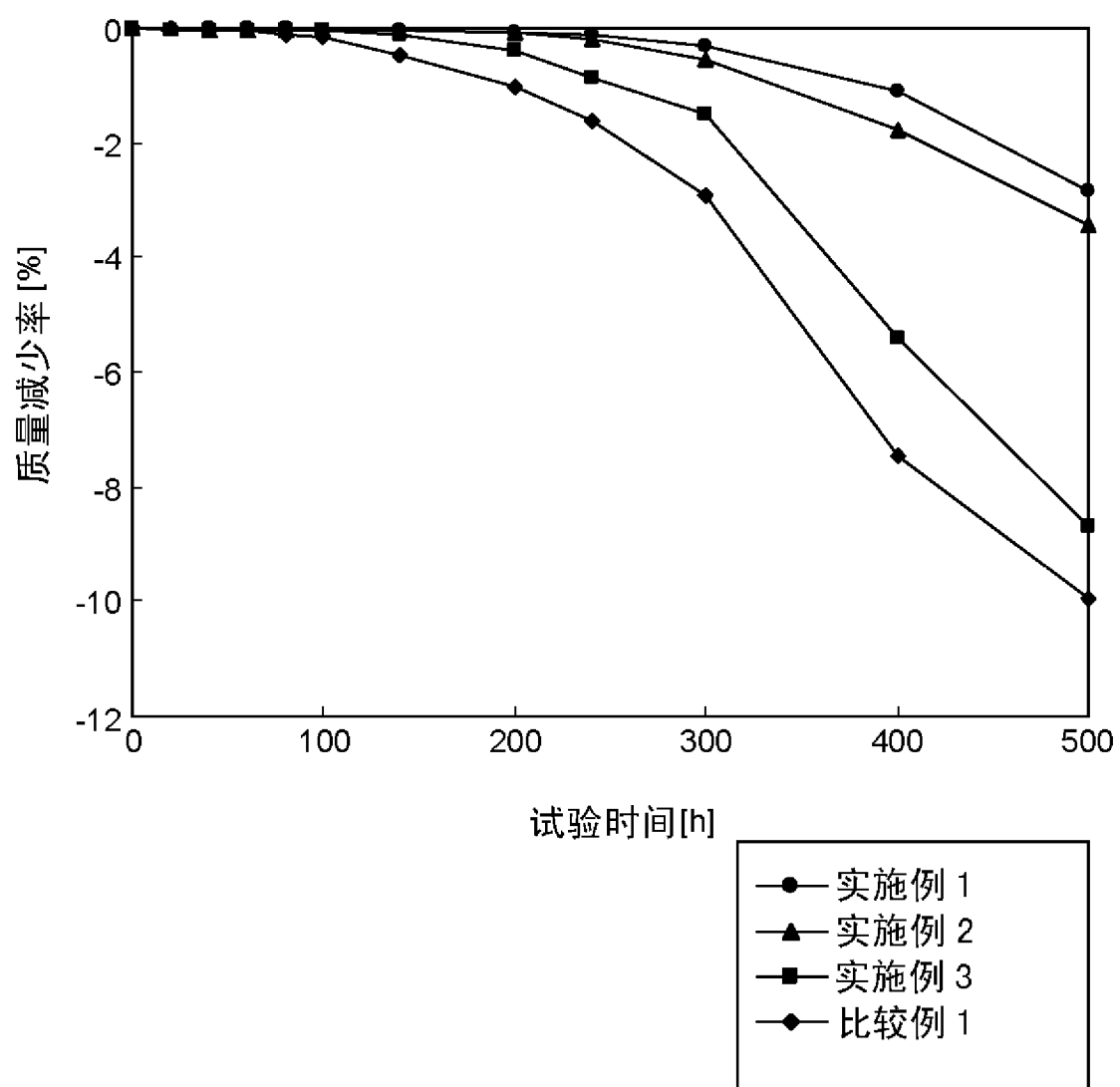


图 17

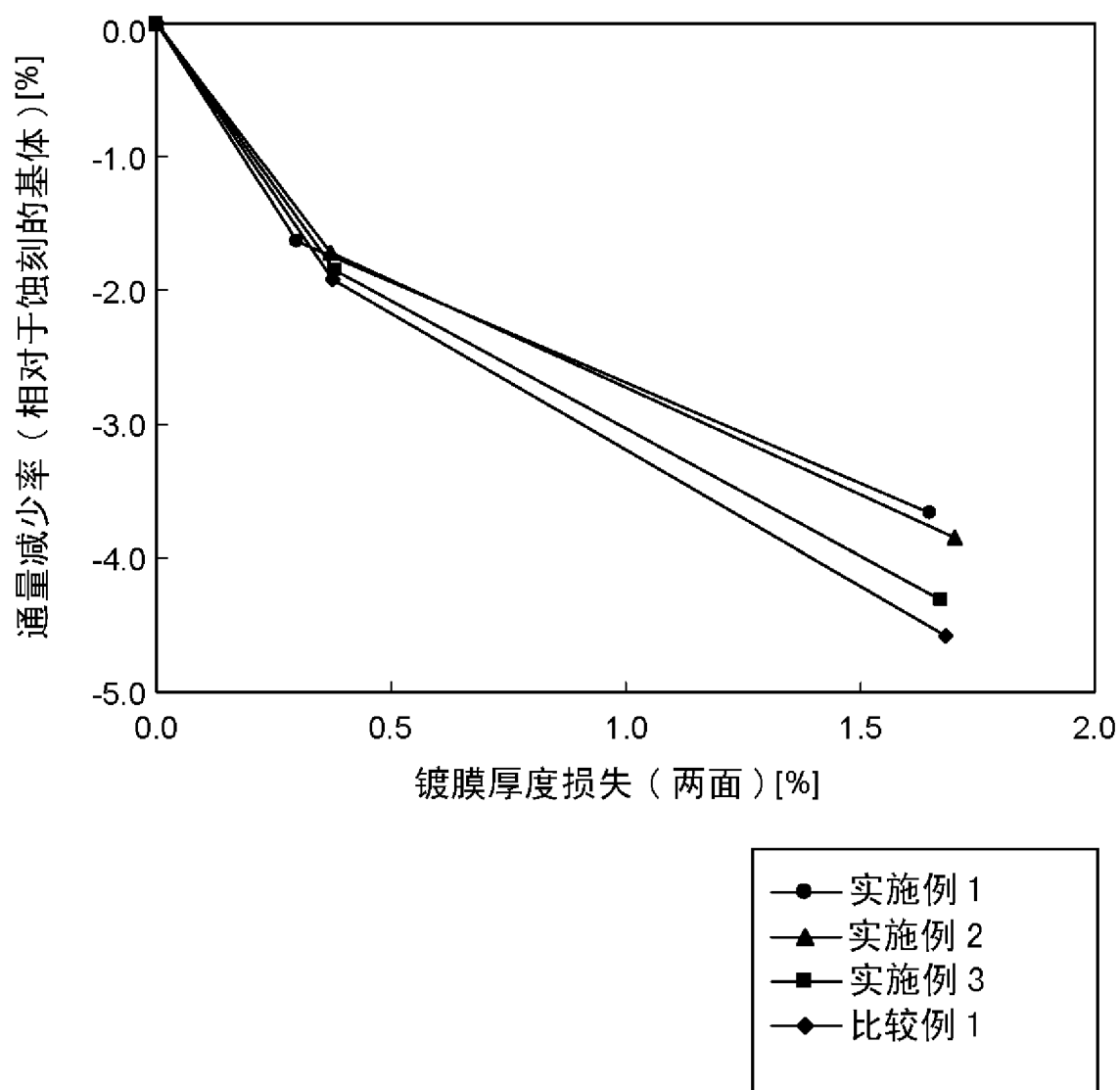


图 18