



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111566250 B

(45) 授权公告日 2021.12.17

(21) 申请号 201880084570.X  
 (22) 申请日 2018.12.17  
 (65) 同一申请的已公布的文献号  
 申请公布号 CN 111566250 A  
 (43) 申请公布日 2020.08.21  
 (30) 优先权数据  
 10-2017-0179926 2017.12.26 KR  
 (85) PCT国际申请进入国家阶段日  
 2020.06.28  
 (86) PCT国际申请的申请数据  
 PCT/KR2018/016038 2018.12.17  
 (87) PCT国际申请的公布数据  
 W02019/132361 KO 2019.07.04  
 (73) 专利权人 POSCO公司  
 地址 韩国庆尚北道  
 (72) 发明人 韩奎锡 金在谦 朴昶洙 徐进旭  
 朴钟泰

(74) 专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司 11002  
 代理人 罗达 安玉

(51) Int.Cl.  
 G22C 38/60 (2006.01)  
 G22C 38/02 (2006.01)  
 G22C 38/04 (2006.01)  
 G22C 38/16 (2006.01)  
 G22C 38/12 (2006.01)  
 G22C 38/34 (2006.01)  
 G21D 8/12 (2006.01)  
 G21D 9/46 (2006.01)

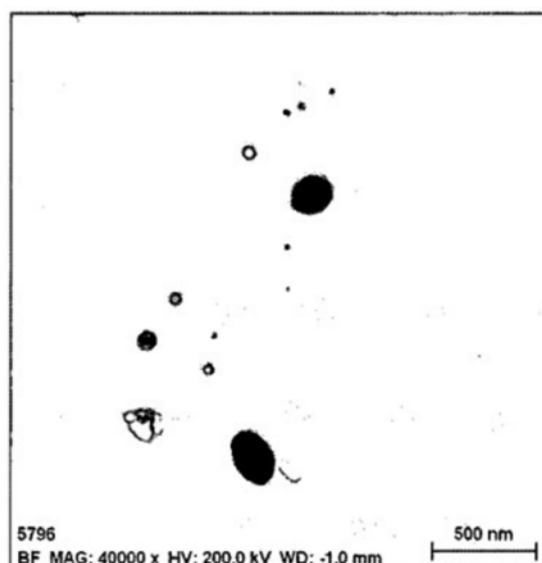
(56) 对比文件  
 JP 2017101311 A, 2017.06.08  
 CN 102762752 A, 2012.10.31  
 CN 101238226 A, 2008.08.06  
 JP H10140297 A, 1998.05.26  
 JP 2001003145 A, 2001.01.09

审查员 王心怡

权利要求书1页 说明书11页 附图4页

(54) 发明名称  
 取向电工钢板及其制造方法

(57) 摘要  
 本发明一个实施例的取向电工钢板按重量%计,包含Si:2.0至4.5%、C:不含0的0.005%以下,Mn:0.001至0.08%、P:0.001至0.1%、Cu:0.001至0.1%、S:0.0005至0.05%、Se:0.0005至0.05%、B:0.0001至0.01%及Mo:0.01至0.2%,剩余部分包含铁及其他不可避免的杂质。包含S及Se的总量为0.005至0.05重量%。



1. 一种取向电工钢板,其中,  
按重量%计,包含Si:2.0至4.5%、C:不含0%的0.005%以下,Mn:0.001至0.08%、P:0.001至0.1%、Cu:0.001至0.1%、S:0.0005至0.05%、Se:0.0005至0.05%、B:0.0001至0.01%及Mo:0.01至0.2%,剩余部分包含铁及其他不可避免的杂质,  
包含S及Se的总量为0.005至0.05重量%的S及Se。
2. 根据权利要求1所述的取向电工钢板,其中,  
包含B:0.0011至0.01重量%。
3. 根据权利要求1所述的取向电工钢板,其中,  
还包含Al:0.0001至0.01重量%及N:0.0005至0.005重量%。
4. 根据权利要求1所述的取向电工钢板,其中,  
还包含Cr:0.001至0.1重量%、Sn:0.005至0.2重量%、及Sb:0.005至0.2重量%中的1种以上。
5. 一种取向电工钢板的制造方法,包括:  
制造板坯的步骤,其中,所述板坯按重量%计,包含Si:2.0至4.5%、C:0.001至0.1重量%、Mn:0.001至0.08%、P:0.001至0.1%、Cu:0.001至0.1%、S:0.0005至0.05%、Se:0.0005至0.05%、B:0.0001至0.01%及Mo:0.01至0.2%,剩余部分包含铁及其他不可避免的杂质,包含S及Se的总量为0.005至0.05重量%的S及Se;  
加热所述板坯的步骤;  
对所述板坯进行热轧而制造热轧板的步骤;  
对所述热轧板进行冷轧而制造冷轧板的步骤;  
对所述冷轧板进行第一次再结晶退火的步骤;及  
对完成第一次再结晶退火的冷轧板进行第二次再结晶退火的步骤。
6. 根据权利要求5所述的取向电工钢板的制造方法,其中,  
在所述制造热轧板的步骤之后,所述热轧板的边缘裂隙最大深度为20mm以下。
7. 根据权利要求5所述的取向电工钢板的制造方法,其中,  
所述完成第一次再结晶退火的冷轧板包含(Fe,Mn,Cu)S及(Fe,Mn,Cu)Se中1种以上的析出物。
8. 根据权利要求5所述的取向电工钢板的制造方法,其中,  
所述第一次再结晶退火的步骤在50°C至70°C的露点温度以及氢气及氮气混合气氛下执行。

## 取向电工钢板及其制造方法

### 技术领域

[0001] 涉及取向电工钢板及取向电工钢板的制造方法。具体而言,涉及一种利用S、Se类析出物在第二次再结晶高温退火时,使高斯(G oss)方位的集结度很高的晶粒稳定地生长的生产率及磁性优秀的取向电工钢板及取向电工钢板的制造方法。更具体而言,涉及一种控制合金成分内Mn、S、Se、Cu、B、Mo成分的生产率及磁性优秀的取向电工钢板及取向电工钢板的制造方法。

### 背景技术

[0002] 取向电工钢板是利用被称为第二次再结晶的异常晶粒生长现象,在全体钢板中形成高斯集合组织({110}<001>集合组织),轧制方向的磁特性卓越,用作变压器等要求优秀单向磁特性的电子设备的铁芯的软磁性材料。

[0003] 一般而言,磁特性可以表现为磁通密度和铁损,高磁通密度可以通过将晶粒的方位准确排列于{110}<001>方位而获得。磁通密度高的电工钢板不仅可以减小电气设备的铁芯材料大小,而且由于磁滞损耗降低,可以同时获得电气设备小型化与高效率化。铁损作为在对钢板施加任意交变磁场时以热能形式消耗的电力损失,根据钢板的磁通密度、板厚度、钢板中杂质量、电阻率以及第二次再结晶晶粒大小等而极大地变化,磁通密度和电阻率越高,而且,板厚度和钢板中杂质量越低,则铁损越下降,电气设备的效率越增加。

[0004] 取向电工钢板的第二次再结晶不同于通常的晶粒生长,当正常的晶粒生长因析出物、夹杂物或者因固溶或在晶界中偏析的元件而抑制了正常生长的晶界的移动时发生。另外,为了使相对于高斯方位的集结度高的晶粒生长,要求炼钢中的成分控制、热轧中的钢坯再加热及热轧工序因子控制、热轧板退火热处理、第一次再结晶退火、第二次再结晶退火等复杂的工序,这些工序也需非常精密、严格地进行管理。将如此抑制晶粒生长的析出物或夹杂物等特别称为晶粒生长抑制剂(inhibitor),对基于高斯方位的第二次再结晶的取向电工钢板制造技术的研究,致力于使用强力的晶粒生长抑制剂来形成相对于高斯方位的集结度高的第二次再结晶,确保优秀的磁特性。

[0005] 初期开发的取向电工钢板,将MnS用作晶粒生长抑制剂,通过2次冷轧法制造。因此,第二次再结晶虽然稳定地形成,但磁通密度处于不太高的水平,铁损也较高。

[0006] 后来,提出了复合地利用AlN、MnS析出物,进行1次强冷轧而制造取向电工钢板的方法。最近提出一种取向电工钢板制造方法,不使用MnS,在1次强冷轧后实施脱碳,然后通过利用氨气的另外的氮化工序,向钢板内部供应氮,借助于发挥强力晶粒生长抑制效果的Al类氮化物而引起第二次再结晶。

[0007] 迄今主要使用将AlN、MnS[Se]等析出物用作晶粒生长抑制剂而引起第二次再结晶的制造方法。这种制造方法虽然具有能够稳定地引起第二次再结晶的优点,但为了发挥强力晶粒生长抑制效果,需使析出物非常细微、均一地分布于钢板。为了如此使细微的析出物均一分布,需在热轧前,将钢坯在高温下长时间加热,使钢中曾存在的粗大析出物固溶后,在很短时间内实施热轧,在不发生析出的状态下结束热轧。为此,需要大单位的钢坯加热设

备,为了最大限度抑制析出而存在的制约是,需很严格地管理热轧和卷取工序,在热轧之后的热轧板退火工序中管理使得固溶的析出物细微地析出。另外,如果高温加热钢坯,则形成熔点低的 $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ,因而发生钢坯冲洗(washing)现象,实际收率低下。

[0008] 另外还提出一种取向电工钢板制造方法,不利用析出物,而是使钢板内杂质含量最小化,使结晶方位导致的晶界的晶界迁移率的差异最大化,从而形成第二次再结晶。在该技术中提出了降低Al含量,将B、V、Nb、Se、S、P、N的含量控制为微量,但出现了只有少量Al形成析出物或夹杂物,才能形成第二次再结晶而确保磁性的问题。

[0009] 除此之外,虽然也尝试将诸如TiN、VN、NbN、BN等的多样析出物用作晶粒生长抑制剂,但由于热不稳定和过高的析出物分解温度,在形成稳定的第二次再结晶方面失败了。

## 发明内容

[0010] 要解决的技术课题

[0011] 旨在提供一种取向电工钢板及取向电工钢板的制造方法。具体而言,旨在提供一种取向电工钢板及取向电工钢板的制造方法,利用S、Se类析出物,在第二次再结晶高温退火时,使高斯方位的集结度很高的晶粒稳定地生长,生产率及磁性优秀。更具体而言,旨在提供一种控制合金成分内的Mn、S、Se、Cu、B、Mo成分,生产率及磁性优秀的取向电工钢板及取向电工钢板的制造方法。

[0012] 解决技术问题的手段

[0013] 本发明一个实施例的取向电工钢板按重量%计,包含Si:2.0至4.5%、C:不含0的0.005%以下、Mn:0.001至0.08%、P:0.001至0.1%、Cu:0.001至0.1%、S:0.0005至0.05%、Se:0.0005至0.05%、B:0.0001至0.01%及Mo:0.01至0.2%,剩余部分包含铁及其他不可避免的杂质。包含S及Se的总量为0.005至0.05重量%。

[0014] 本发明一个实施例的取向电工钢板可以包含B:0.0011至0.01重量%。

[0015] 本发明一个实施例的取向电工钢板可以还包含Al:0.0001至0.01重量%及N:0.0005至0.005重量%。

[0016] 本发明一个实施例的取向电工钢板可以还包含Cr:0.001至0.1重量%、Sn:0.005至0.2重量%、及Sb:0.005至0.2重量%中的1种以上。

[0017] 本发明一个实施例的取向电工钢板的制造方法包括:制造钢坯的步骤,其中,所述钢坯按重量%计,包含Si:2.0至4.5%、C:0.001至0.1重量%、Mn:0.001至0.08%、P:0.001至0.1%、Cu:0.001至0.1%、S:0.0005至0.05%、Se:0.0005至0.05%、B:0.0001至0.01%及Mo:0.01至0.2%,剩余部分包含铁及其他不可避免的杂质,包含S及Se的总量为0.005至0.05重量%;加热所述钢坯的步骤;对所述钢坯进行热轧而制造热轧板的步骤;对所述热轧板进行冷轧而制造冷轧板的步骤;对所述冷轧板进行第一次再结晶退火的步骤;及对完成第一次再结晶退火的冷轧板进行第二次再结晶退火的步骤。

[0018] 在制造热轧板的步骤之后,所述热轧板的边缘裂隙最大深度可以为20mm以下。

[0019] 完成第一次再结晶退火的冷轧板可以包含 $(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Cu})\text{S}$ 及 $(\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Cu})\text{Se}$ 中1种以上的析出物。

[0020] 第一次再结晶退火的步骤可以在50℃至70℃的露点温度以及氢气及氮气混合气氛下执行。

[0021] 发明效果

[0022] 本发明一个实施例的取向电工钢板控制合金成分内的Mn、S、Se、Cu、B、Mo成分，利用析出物控制容易的S、Se类析出物，在第二次再结晶高温退火时，使高斯方位的集结度很高的晶粒稳定地生长，磁性优秀。

#### 附图说明

[0023] 图1是在发明材料5的制造过程中的第二次再结晶之前的TEM析出物照片。

[0024] 图2是析出物的成分分析图表。

[0025] 图3至图7是将析出物按Fe、Mn、Cu、S、Se成分映射的结果。

[0026] 图8是拍摄析出物的栅格衍射图的照片。

#### 具体实施方式

[0027] 第一、第二及第三等术语用于说明多样的部分、成分、区域、层及/或片段，但不限定于此。这些术语只用于将某部分、成分、区域、层或片段区别于其他部分、成分、区域、层或片段。因此，以下叙述的第一部分、成分、区域、层或片段可以在不超出本发明范围的限度内，称为第二部分、成分、区域、层或片段。

[0028] 在此使用的专业术语只用于言及特定实施例，并非意在限定本发明。只要语句未表现出与之明确相反的意义，在此使用的单数形态也包括复数形态。说明书中使用的“包括的”的意义，是对特性、区域、整数、步骤、动作、要素及/或成分进行具体化，并非排除其他特性、区域、整数、步骤、动作、要素及/或成分的存在或附加。

[0029] 当提到某部分在另一部分“上”或“上面”时，可以直接在另一部分上或上面，也可以在其之间存在其他部分。当对照性地提到某部分在另一部分的“紧上面”时，在其之间不存在其他部分。

[0030] 虽然未不同地定义，但在此使用的包括技术术语及科学术语在内的所有术语，具有与本发明所属技术领域的普通技术人员一般理解的意义相同的意义。一般使用的词典定义的术语，追加解释为具有与相关技术文献和现在公开的内容相符的意义，只要未定义，不得过于解释为形式上的意义。

[0031] 另外，只要未特别提及，%指重量%、1ppm为0.0001重量%。

[0032] 在本发明一个实施例中，还包含追加元素的意义，是指按追加元素的追加量，替代包含作为剩余部分的铁(Fe)。

[0033] 下面对本发明的实施例进行详细说明，以便本发明所属技术领域的普通技术人员能够容易地实施。但是，本发明可以以多种不同形态体现，并不限定于此说明的实施例。

[0034] 本发明一个实施例的取向电工钢板按重量%计，包含Si:2.0至4.5%、C:不含0的0.005%以下、Mn:0.001至0.08%、P:0.001至0.1%、Cu:0.001至0.1%、S:0.0005至0.05%、Se:0.0005至0.05%、B:0.0001至0.01%及Mo:0.01至0.2%，剩余部分包含铁及其他不可避免的杂质。

[0035] 下面说明取向电工钢板的成分限定的理由。

[0036] Si:2.0至4.5重量%

[0037] 硅(Si)增加取向电工钢板材料的电阻率而发挥降低铁芯损失(core loss)，即，降

低铁损的作用。Si含量如果过少,则电阻率减小,涡流损耗增加,铁损会变差。另外,在第一次再结晶退火时,发生铁氧体与奥氏体间变相,第一次再结晶集合组织会被严重损毁。另外,第二次再结晶退火时,发生铁氧体与奥氏体间变相,不仅第二次再结晶不稳定,而且高斯集合组织会被严重损毁。Si含量如果过多,则在第一次再结晶退火中的脱碳时,SiO<sub>2</sub>及Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>氧化层形成过于致密,会延迟脱碳行为。另外,钢的脆性增加,韧性减小,轧制过程中板断裂发生率会严重。因此,Si可以包含2.0至4.5重量%。更具体而言,可以包含2.5至4.0重量%。

[0038] C:0.005重量%以下

[0039] 碳(C)作为奥氏体稳定化元素,具有使连铸过程中发生的粗大的柱状晶体组织细微化的效果,而且抑制S的钢坯中心偏析。另外,在冷轧中,促进钢板的加工硬化,在钢板内促进{110}<001>方位的第二次再结晶核生成。但是,当在最终制品中残存时,使由于磁时效效应而形成的碳化物在制品板内析出,是使磁特性恶化的元素,因而应控制在适当含量。在本发明一个实施例中,在制造过程中,第一次再结晶退火时经过脱碳过程,脱碳退火后制造的最最终电工钢板内的C含量可以为0.005重量%以下。更具体而言,可以为0.003重量%以下。

[0040] 在钢坯内,C可以包含0.001至0.1重量%。如果在钢坯内过少含有C,则奥氏体间变相无法充分出现,导致钢坯及热轧细微组织的不均一化。因此,甚至损害冷轧性。如果过多含有C,则在脱碳工序中无法获得充分的脱碳。因此,由于引起的变相现象,第二次再结晶集合组织被严重损毁。另外,会发生热轧板的边缘裂隙。更具体而言,在钢坯内,C可以包含0.01至0.1重量%。

[0041] Mn:0.001至0.08重量%

[0042] 锰(Mn)具有与Si相同地增加电阻率而减小铁损的效果。已知以往在钢中与S反应而形成MnS析出物,发挥抑制晶粒生长的作用。但是,在形成单独的MnS的情况下,析出物析出非常大,无法充分发挥作为晶粒成长抑制剂的作用。由于这种理由,为了确保希望的抑制力,添加大量的MnS析出物形成元素,因而发生将钢坯加热到高温的问题。在本发明一个实施例中,将包含Fe、Mn及Cu的硫化物(Sulfide)或硒化物(Selenide)形成为析出物,因而不需要大量添加Mn含量。反而当大量添加Mn含量时,MnS或MnSe析出物析出得粗大,结晶生长抑制力下降。当过少包含Mn时,促进FeS与FeSe析出物的形成,这种析出物虽然结晶生长抑制力大,但热轧时在界面相变成液态并使边缘裂隙增加,会发生热轧生产率下降的问题。因此,Mn可以包含0.001至0.08重量%。更具体而言,可以包含0.005至0.08重量%。

[0043] P:0.001至0.1重量%

[0044] 磷(P)在晶界偏析,具有抑制晶粒生长的效果,在第一次再结晶时促进{111}<112>方位晶粒的再结晶,形成有利于高斯方位晶粒的第二次再结晶形成的细微组织。当过少包含P时,前述效果会无法适宜发挥。过多包含P时,冷轧时板断裂发生增加,冷轧实际收率会下降。因此,P可以包含0.001至0.1重量%。更具体而言,可以包含0.005至0.05重量%。

[0045] Cu:0.001至0.1重量%

[0046] 铜(Cu)与Mn相同地同S及Se反应而形成CuS或CuSe析出物,抑制结晶生长。与单独存在时相比,容易与Mn一同复合而形成析出物,具有减小析出物大小的效果。因此,作为为了形成(Fe,Mn,Cu)S析出物和(Fe,Mn,Cu)Se析出物所必需的合金元素,使析出物细微化、抑

制晶粒生长的效果很大,相比MnS和FeS,在高温下也比较稳定地存在,因而结晶生长抑制力保持至较高温度,第二次再结晶稳定地形成。Cu的添加量过少时,前述效果会无法充分表现。Cu添加过量时,形成粗大的CuS或CuSe析出物,因而结晶生长抑制效果下降。因此,Cu可以包含0.001至0.1重量%。更具体而言,可以包含0.005至0.09重量%。

[0047] S:0.0005至0.05重量%

[0048] 硫(S)在晶界单独偏析或在钢中与Fe、Mn、Cu等反应而形成FeS、MnS、CuS,从而被认为是具有晶粒生长抑制效果的元素。以往单独使用MnS或与CuS一同使用,或将FeS析出物用作晶粒生长抑制剂,但在本发明一个实施例中,将这种合金元素复合反应而析出的(Fe,Mn,Cu)S复合析出物用作晶粒生长抑制剂。为了形成这种(Fe,Mn,Cu)S复合析出物,重要的是Mn及Cu含量不过多地适当添加,而同时S充分添加。S过少添加时,(Fe,Mn,Cu)S析出物无法充分形成,难以确保希望的结晶生长抑制力。S过多添加时,会发生热轧板的边缘裂隙。因此,S可以包含0.0005至0.05重量%。更具体而言,可以包含0.001至0.03重量%。

[0049] Se:0.0005至0.05重量%

[0050] 硒(Se)与S类似地在晶界偏析或形成诸如MnSe的析出物,抑制晶界的移动。在本发明的一个实施例中,利用这种性质,与Fe、Mn及Cu反应而形成(Fe,Mn,Cu)Se复合析出物,从而是强力抑制第一次再结晶晶粒生长而形成稳定的第二次再结晶的重要的合金元素。在本发明的一个实施例中,不仅是S,还一同与Se复合添加,不仅是形成(Fe,Mn,Cu)S,还一同形成(Fe,Mn,Cu)Se析出物,从而可以确保强力的晶粒生长抑制力。特别是Se原子量比S重,因而(Fe,Mn,Cu)Se析出物远远比(Fe,Mn,Cu)S析出物更稳定,第二次再结晶稳定地形成。Se过少添加时,(Fe,Mn,Cu)Se析出物无法充分形成,难以确定希望的结晶生长抑制力。Se添加过多时,会发生热轧板的边缘裂隙。因此,Se可以包含0.0005至0.05重量%。更具体而言,可以包含0.001至0.03重量%。

[0051] 在本发明一个实施例中,S及Se的总量包含0.005至0.05重量%。S及Se总量过少时,(Fe,Mn,Cu)Se析出物及(Fe,Mn,Cu)S析出物无法适当形成,难以确保晶粒生长抑制力,第二次再结晶无法适当形成。S及Se总量过多时,会发生热轧板的边缘裂隙。更具体而言,S及Se总量可以包含0.01至0.05重量%。

[0052] B:0.0001至0.01重量%

[0053] 硼(B)在钢中与N反应而形成BN析出物,抑制晶粒生长,但在晶界偏析,强化晶界的结合力,从而抑制缺陷或裂隙在晶界传播,是对减小热轧中边缘裂隙的发生有效的元素。为了使如本发明所示在复合添加S和Se的情况下预计的边缘裂隙发生可能性实现最小化,重要的是适当地添加B的含量。B包含过少时,前述效果会无法充分表现。B过量添加时,因形成金属间化合物而会增加高温脆性。因此,B可以包含0.0001至0.01重量%。更具体而言,可以包含0.0005至0.01重量%。更具体而言,B可以包含0.0011至0.01重量%。更具体而言,B可以包含0.0015至0.01重量%。

[0054] Mo:0.01至0.2重量%

[0055] 钼(Mo)作为抑制高温晶界氧化的合金元素,对在钢坯连铸及热轧工序中降低高温裂隙及边缘裂隙有效。而且,在热轧过程中,使{110}<001>方位的高斯集合组织增加,具有提高磁通密度的效果。过少包含Mo时,因S及Se的添加而会发生边缘裂隙,或第二次再结晶会无法适当形成。过多包含Mo时,磁性变差。因此,Mo可以包含0.01至0.2重量%。更具体而

言,可以包含0.02至0.2重量%。

[0056] 本发明一个实施例的取向电工钢板可以还包含Al:0.0001至0.01重量%及N:0.0005至0.005重量%。

[0057] 铝(Al)在钢中与氮结合而形成AlN析出物,因而在本发明的一个实施例中,积极抑制Al含量,避免形成Al类氮化物或氧化物。如果Al包含过多,则促进AlN及Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>形成,导致用于去除这些物质所需的纯化退火时间增加,未去除的AlN析出物和诸如Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的夹杂物残留于最终制品,使顽磁增加,最终存在铁损增加的可能性。不过,完全排除Al含量虽然是最理想的,但考虑到炼钢能力,考虑到不可避免进入的情形,Al含量可以包含0.0001至0.01重量%。

[0058] 氮(N)是与Al及Si反应而形成AlN和Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>析出物的元素。而且,还与B反应而形成BN。在本发明的一个实施例中,不利用AlN作为晶粒生长抑制剂,因而在炼钢阶段不添加Al,所以不任意地特别地任意添加N。为了增加晶界结合力而添加B,与N反应而形成的BN析出物也可以有望获得抑制结晶生长的效果。由于这种理由,N的上限最大限制在0.005重量%,确保BN析出引起的结晶生长抑制及B本身的晶界结合力强化效果。而且,虽然优选最少量添加N,但在炼钢阶段,将N管理在不足0.0005重量%,会导致炼钢工序的脱氮负载极大增加,因而N可以包含0.0005至0.005重量%。

[0059] 本发明一个实施例的取向电工钢板可以还包含Cr:0.001至0.1重量%、Sn:0.005至0.2重量%、及Sb:0.005至0.2重量%中的1种以上。

[0060] 铬(Cr)作为与氧的亲合力高于其他合金元素的合金元素,是在脱碳过程中与氧反应而在钢板表面形成Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的元素。这种氧化层在钢中发挥供碳扩散到表面的通道作用,使得脱碳更容易进行,表面氧化层与作为退火分离剂的MgO反应,在形成底涂层时,具有提高与钢板的贴紧性的效果。如果过少添加这种Cr,则没有添加效果。如果过多添加Cr,则与钢中的碳反应而形成铬碳化物,脱碳性能反而会下降。因此,还添加铬时,可以添加0.001至0.1重量%。

[0061] 锡(Sn)及锑(Sb)与P一同作为典型的晶界偏析元素,具有在热轧过程中促进{110}<001>高斯方位的核生成,增加磁通密度的效果。过多添加这种Sn、Sb时,由于晶界过偏析,发生冷轧板断裂及使脱碳延迟,形成不均一的第一次再结晶细微组织,降低磁性。而且,过少添加Sn、Sb时,对高斯方位再结晶晶粒形成的效果会减弱。因此,Sn及Sb分别还可以添加0.005至0.2重量%。

[0062] 杂质元素

[0063] 除上述元素之外,也会包含Ti、Mn、Ca等不可避免地混入的杂质。他们与氧或氮反应,形成细微的氧化物及氮化物,对磁性产生有害影响,因而将他们的含量分别限制在0.003重量%以下。

[0064] 在本发明一个实施例中,可以控制合金成分内的Mn、S、Se、Cu、B、Mo成分,进一步提高生产率及磁性。具体而言,取向电工钢板在1.7Tesla、50Hz条件,铁损可以为0.95W/kg以下。取向电工钢板在1000A/m的磁场下感应的磁通密度(B<sub>10</sub>)可以为1.9T以上。更具体而言,可以为1.91至1.95T。

[0065] 本发明一个实施例的取向电工钢板的制造方法包括:制造钢坯的步骤;加热钢坯的步骤;对钢坯进行热轧而制造热轧板的步骤;对热轧板进行冷轧而制造冷轧板的步骤;对

冷轧板进行第一次再结晶退火的步骤;及对完成第一次再结晶退火的冷轧板进行第二次再结晶退火的步骤。

[0066] 下面按各个步骤进行详细说明。

[0067] 首先,制造钢坯。

[0068] 在炼钢阶段,将Si、C、Mn、S、Se、Cu、B、Mo控制在适度含量,根据需要,也可以添加有利于高斯集合组织形成的合金元素。在炼钢阶段调整了成分的钢水通过连续铸造而制造成钢坯。

[0069] 对于钢坯的各组成,已在前述的取向电工钢板中详细说明,因而省略重复的说明。前述式1至式3在钢坯的合金成分内也可以同样地满足。

[0070] 然后,加热钢坯。钢坯的加热可以在1050至1300℃温度下执行。

[0071] 然后,对钢坯进行热轧而制造热轧板。借助于热轧,可以制造厚度1.5至4.0mm的热轧板。如前所述,在本发明的一个实施例中,控制Mn、S、Se、Cu、B、Mo的含量,可以减少热轧板的边缘裂隙。具体而言,在热轧板中形成的边缘裂隙的最大深度可以为20mm以下。边缘裂隙的最大深度是指横跨热轧板全体长度形成的边缘裂隙中形成得最深的裂隙。所谓边缘裂隙的深度,是指从钢板的轧制垂直方向(TD方向)端部向钢板中心测量的边缘裂隙的长度。在本发明一个实施例中,随着边缘裂隙的减少,钢板实际收率上升。

[0072] 热轧的热轧板可以根据需要,实施热轧板退火,或不实施热轧板退火而执行冷轧。实施热轧板退火时,为了使热轧组织均一,可以加热到900℃以上温度,在均热后冷却。

[0073] 然后,对热轧板进行冷轧而制造冷轧板。冷轧可以利用可逆式(Reverse)轧机或连轧机(Tandem),以1次冷轧或包括中间退火的2次以上的冷轧法实施,制造最终制品厚度的冷轧板。在冷轧中,实施将钢板温度保持在100℃以上的温轧,这有利于提高磁性。

[0074] 然后,对冷轧的冷轧板进行第一次再结晶退火。在第一次再结晶退火阶段,发生生成高斯晶粒核心的第一次再结晶。在第一次再结晶退火过程中,可以实现钢板的脱碳。为了脱碳,可以在50℃至70℃的露点温度以及氢气及氮气混合气氛下执行。第一次再结晶退火温度可以为750℃以上。如果退火温度低,则脱碳时间会耗时较长。如果退火温度高,则第一次再结晶晶粒生长粗大,结晶生长驱动力下降,无法形成稳定的第二次再结晶。而且,虽然退火时间在发挥本发明效果方面不会成为大问题,但可以处理30秒以上。在本发明的一个实施例中,可以只执行脱碳而不执行渗氮。即,在第一次再结晶退火中,可以只在50℃至70℃的露点温度以及氢气及氮气混合气氛下执行。借助于第一次再结晶退火,第一次再结晶的平均粒径可以为5μm以上。

[0075] 如此进行了第一次再结晶退火的冷轧板包含S、Se类析出物,在第二次再结晶退火时,用作晶粒生长抑制剂。具体而言,S、Se类析出物可以包含(Fe,Mn,Cu)S及(Fe,Mn,Cu)Se中的1种以上的析出物。所谓(Fe,Mn,Cu)S,是指S与Fe、Mn及Cu结合的复合析出物。

[0076] 然后,对完成第一次再结晶退火的冷轧板进行第二次再结晶退火。在此过程中,形成{110}面平行于轧制面、<001>方向平行于轧制方向的高斯{110}<001>集合组织。此时,在完成第一次再结晶退火的冷轧板上涂覆退火分离剂后,可以进行第二次再结晶退火。此时,退火分离剂不特别限制,可以使用包含MgO作为主成分的退火分离剂。

[0077] 第二次再结晶退火按适当的升温率升温,引起{110}<001>高斯方位的第二次再结晶,然后经过作为杂质去除过程的纯化退火后冷却。在此过程中,退火气氛气体如普通情形

所示,在升温过程中,使用氢气与氮气的混合气体进行热处理,在纯化退火中,使用100%氢气并长时间保持而去除杂质。如本发明的一个实施例所示,不将AlN析出物用作主要晶粒生长抑制剂,而将(Fe,Mn,Cu)S及(Fe,Mn,Cu)Se析出物用作晶粒生长抑制剂时,第二次再结晶形成温度不比使用AlN析出物的情形高,因而即使实施只升温到950°C以上温度并均热的高温退火,也可以制造磁性优秀的取向电工钢板。

[0078] 下面记载本发明的优选实施例及比较例。但是,下述实施例只是本发明的一个优选实施例,并非本发明由下述实施例所限定。

[0079] 实施例1

[0080] 准备钢坯,所述钢坯按重量%计,以C:0.055%、Si:3.2%、P:0.03%、Cu:0.05%、Sn:0.04%、B:0.005%、Mo:0.1%、Cr:0.05%、N:0.003%为基本组成,如下表1所示添加Mn、S及Se的含量,剩余部分含有Fe及其他不可避免的杂质。接着,将钢坯加热到1250°C后进行热轧,制造了2.3mm厚度的热轧板。热轧板加热到1085°C温度后,在950°C下均热120秒时间进行热轧板退火。然后,对退火的热轧板进行酸洗后,冷轧为0.30mm厚度,冷轧的钢板在露点60°C、氢气与氮气的混合气体气氛下,以830°C温度保持180秒时间,一同进行脱碳和第一次再结晶退火。在该钢板上涂覆作为退火分离剂的MgO后,进行第二次再结晶退火,第二次再结晶退火在25v%氮气+75v%氢气的混合气体气氛下进行至1200°C,达到1200°C后,在100v%氢气气氛下保持20小时时间后进行炉内冷却。各个成分的取向电工钢板的磁特性如表1所示。

[0081] 利用Single sheet测量法,在1.7Tesla、50Hz条件下测量铁损,测量在800A/m磁场下感应的磁通密度的大小(Tesla)。各铁损值代表各条件的平均值。

[0082] 在图1中显示了在发明材料5的制造过程中的第二次再结晶之前的TEM析出物照片。在图2中显示了图1中析出物的成分分析图表。如图2所示,可知Fe、Mn、Cu的合金元素与S及Se反应。为了更详细的分析,在图3及图7中显示了按Fe、Mn、Cu、S、Se成分映射的结果。如图所示,确认了在所有析出物中同时观察到Fe、Mn、Cu合金元素和S及Se,并非添加的所有合金成分形成单独的硫化物或硒化物,而是以(Fe,Mn,Cu)S析出物或(Fe,Mn,Cu)Se析出物存在。在图8中,通过拍摄该析出物的栅格衍射图的照片,掌握了具有诸如MnS的立方结晶结构。综合这种分析来看,确认了添加的Mn及Cu合金元素并非形成单独的MnS、CuS或MnSe、CuSe,而是形成全部含有Fe、Mn、Cu的(Fe,Mn,Cu)S析出物或(Fe,Mn,Cu)Se析出物。

[0083] 【表1】

区分 (wt%)	Mn	S	Se	S+Se	磁通密度 (B10, Tesla)	铁损 (W17/50 , W/kg)	边缘裂隙
比较材料1	0.0008	0.005	0.005	0.01	1.855	1.31	≤ 20mm
比较材料2	0.005	0.005	0.0003	0.0053	1.849	1.37	≤ 20mm
比较材料3	0.005	0.0003	0.006	0.0063	1.864	1.3	≤ 20mm
比较材料4	0.01	0.002	0.002	0.004	1.809	1.42	≤ 20mm
发明材料1	0.01	0.005	0.005	0.01	1.911	0.99	≤ 20mm
发明材料2	0.02	0.01	0.005	0.015	1.925	0.97	≤ 20mm
发明材料3	0.03	0.01	0.015	0.025	1.933	0.95	≤ 20mm
发明材料4	0.04	0.015	0.015	0.03	1.929	0.96	≤ 20mm
发明材料5	0.05	0.015	0.02	0.035	1.932	0.95	≤ 20mm
发明材料6	0.06	0.02	0.02	0.04	1.935	0.94	≤ 20mm
发明材料7	0.07	0.025	0.02	0.045	1.928	0.96	≤ 20mm
发明材料8	0.08	0.03	0.02	0.05	1.917	0.98	≤ 20mm
比较材料5	0.08	0.055	0.005	0.06	1.853	1.07	> 20mm
比较材料6	0.08	0.005	0.053	0.058	1.828	1.19	> 20mm
比较材料7	0.09	0.025	0.025	0.05	1.785	1.53	≤ 20mm

[0085] 正如在表1中可以确认的,当适量包含S和Se时,磁通密度和铁损均优秀。而且,热轧板的边缘裂隙发生在20mm以下,表现良好。但是,在S及Se的总含量超过0.05重量%的比较材料5和6的情况下,边缘裂隙超过20mm,磁性也呈现变差倾向。可以确认,在Mn含量超过0.08重量%的情况下,相比(Fe, Mn, Cu) S及(Fe, Mn, C) Se析出,由于粗大的MnS和MnSe析出,晶粒生长抑制效果下降,无法发生稳定的第二次再结晶,磁性变差。

[0086] 实施例2

[0087] 准备钢坯,所述钢坯按重量%计,以C:0.050%、Si:3.2%、P:0.02%、Mn:0.05%、Sn:0.04%、B:0.003%、Mo:0.05%、Cr:0.04%、N:0.003%、S:0.020%、Se:0.025%为基本组成,如下表2所示添加Cu的含量,剩余部分含有Fe及其他不可避免的杂质。接着,将钢坯加热到1230℃后进行热轧,制造了2.0mm厚度的热轧板。热轧板加热到1000℃温度后,均热120秒时间进行热轧板退火。然后,对退火的热轧板进行酸洗后,冷轧为0.23mm厚度,冷轧的钢板在露点60℃、氢气和氮气的混合气体气氛下,以820℃温度保持180秒时间,一同进行脱碳和第一次再结晶退火。在该钢板上涂覆作为退火分离剂的MgO后,进行第二次再结晶退火,第二次再结晶退火在50v%氮气+50v%氢气的混合气体气氛下执行至1150℃,达到1150℃

后,在100v%氢气气氛下保持20小时时间后进行炉内冷却。各个成分的取向电工钢板的磁特性如下表2所示。

[0088] 【表2】

区分	Cu (wt%)	磁通密度 (B10, Tesla)	铁损 (W17/50, W/kg)	边缘裂隙
比较材料8	0.0005	1.873	1.07	≤ 20mm
发明材料9	0.005	1.915	0.88	≤ 20mm
发明材料10	0.01	1.932	0.83	≤ 20mm
[0089] 发明材料11	0.02	1.938	0.82	≤ 20mm
发明材料12	0.03	1.936	0.81	≤ 20mm
发明材料13	0.05	1.941	0.8	≤ 20mm
发明材料14	0.07	1.918	0.86	≤ 20mm
发明材料15	0.09	1.912	0.88	≤ 20mm
比较材料9	0.11	1.898	0.96	≤ 20mm

[0090] 正如在表2中可以确认的,可知在Cu含量添加过少的比较材料8的情况下,磁性变差,这种原因最终判断认为是由于Cu添加得少,因而(Fe, Mn, Cu) S及(Fe, Mn, Cu) Se析出物无法细微地析出。相反,在Cu含量过量添加的比较材料9的情况下,可以确认相比(Fe, Mn, Cu) S及(Fe, Mn, Cu) Se析出物, Cu大部分粗大地形成CuS及CuSe析出物,磁性变差。

[0091] 实施例3

[0092] 准备钢坯,所述钢坯按重量%计,以C:0.06%、Si:3.3%、Mn:0.05%、S:0.015%、Se:0.035%、P:0.02%、Cu:0.03%、Sn:0.06%、Cr:0.08%N:0.004%为基本组成,如下表3所示添加B和Mo含量,剩余部分含有Fe及其他不可避免的杂质。接着,将钢坯加热到1280℃后进行热轧,制造了2.0mm厚度的热轧板。此时,测量在热轧板两侧面观察的边缘裂隙中的最大深度后,截断成适合退火的大小。热轧板加热到1100℃温度后均热120秒时间,进行热轧板退火。然后,对退火的热轧板进行酸洗后,冷轧为0.23mm厚度,冷轧的钢板在露点60℃、氢气与氮气的混合气体气氛下,以850℃温度保持180秒时间,一同进行脱碳与第一次再结晶退火。在该钢板上涂覆作为退火分离剂的MgO后进行第二次再结晶退火,第二次再结晶退火在25v%氮气+75v%氢气的混合气体气氛下进行至1200℃,达到1200℃后,在100v%氢气气氛下保持15小时时间后进行炉内冷却。各个成分的取向电工钢板的磁特性如下表3所示。

[0093] 【表3】

区分	B (wt%)	Mo (wt%)	边缘裂隙 (mm)	磁通密度 (B10, Tesla)	铁损 (W17/50, W/kg)
比较材料 10	<0.0001	0.05	29	1.901	0.91
比较材料 11	<0.0001	0.2	23	1.875	0.96
发明材料 16	0.0005	0.02	20	1.912	0.87
发明材料 17	0.0005	0.1	15	1.922	0.85
发明材料 18	0.0011	0.03	16	1.927	0.83
发明材料 19	0.0015	0.1	12	1.928	0.84
发明材料 20	0.0035	0.15	9	1.933	0.81
发明材料	0.007	0.2	5	1.941	0.8
21					
比较材料 12	0.009	0.25	2	1.906	0.9
发明材料 21	0.01	0.15	4	1.939	0.81
比较材料 13	0.01	0.005	25	1.899	0.92
比较材料 14	0.011	0.15	2	1.853	0.98

[0096] 如表3所示,未能适量包含B或Mo的比较材料10至14,热轧板边缘裂隙发生深度最大为28mm,边缘裂隙导致的热轧板边缘切削量增加,生产率下降。特别是B含量过量添加的比较材料14,形成粗大的BN析出物,妨碍高斯方位晶粒的第二次再结晶形成,磁特性变差。在Mo的情况下也一样,过量添加的比较材料12,确认了磁性表现差,这是因为在热轧中,前端集合组织过度发达,导致高斯方位的第二次再结晶不稳定。

[0097] 本发明并非限定于所述实施例,可以以互不相同的多样形态制造,本发明所属技术领域的普通技术人员可以理解,在不变更本发明技术思想或必需特征的情况下,可以以其他具体形态实施。因此,只应理解为以上记述的实施例在所有方面是示例性的,而不是限制性的。

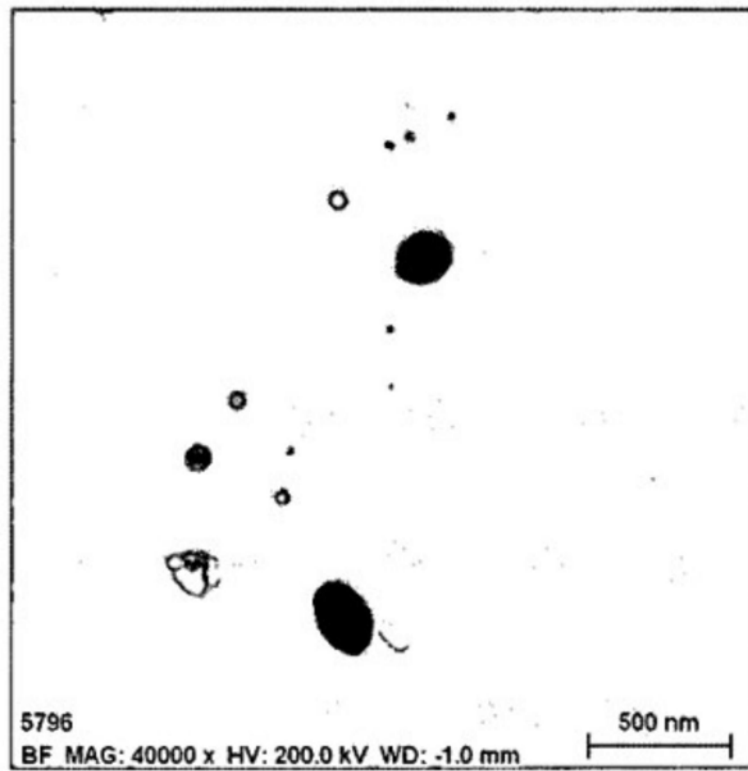


图1

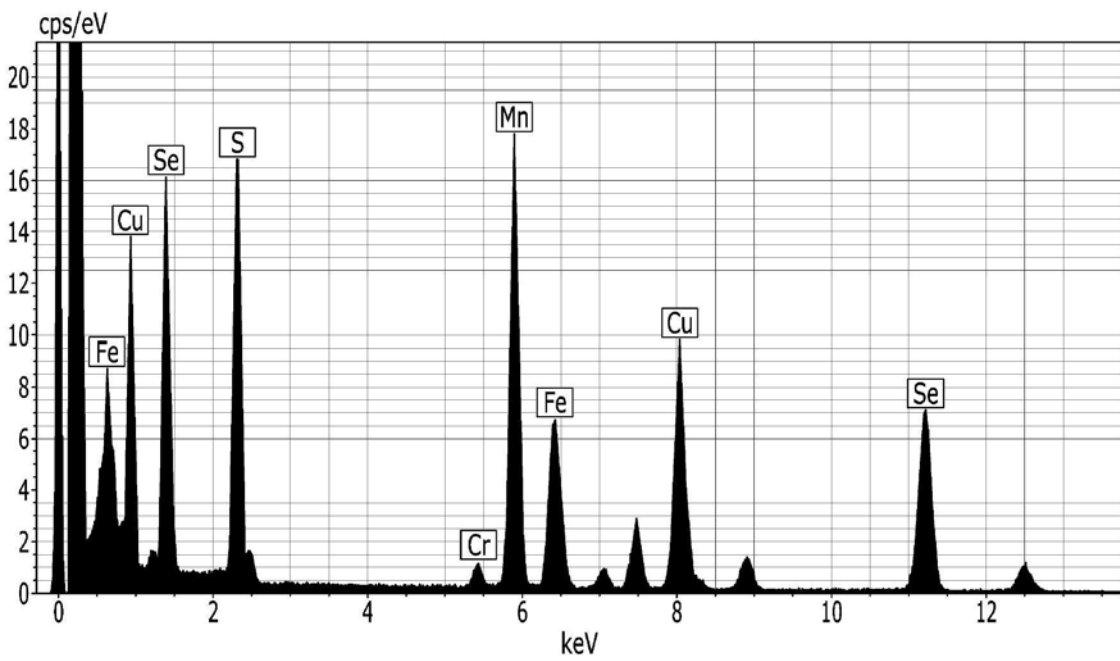


图2

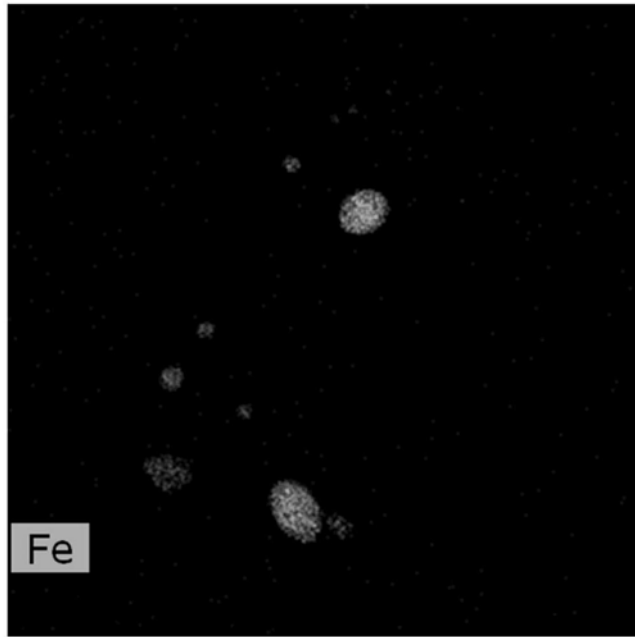


图3

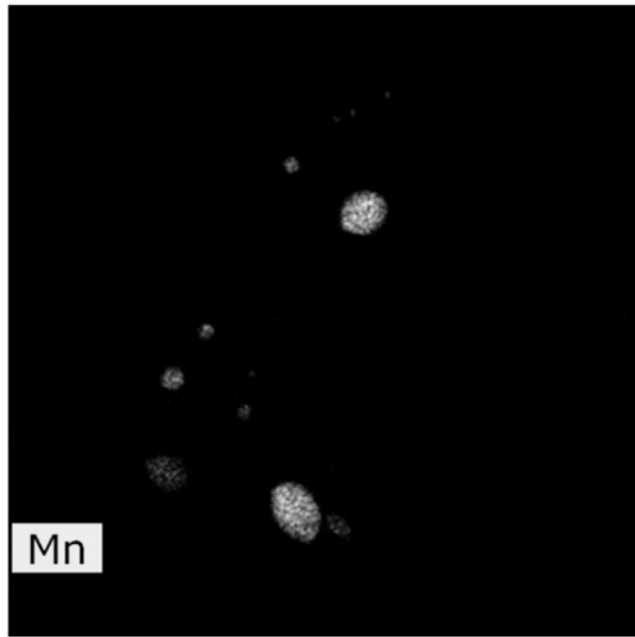


图4

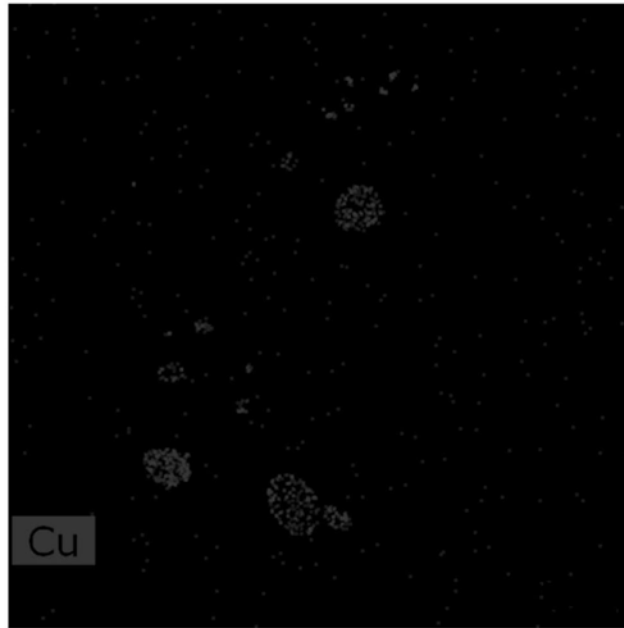


图5

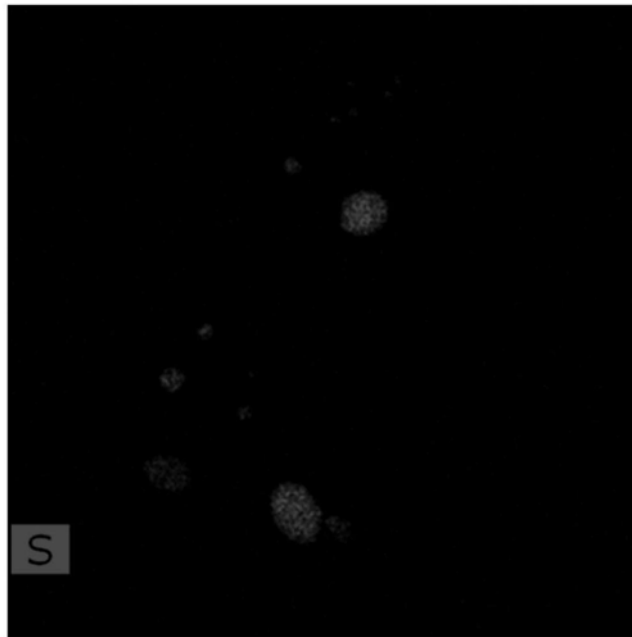


图6

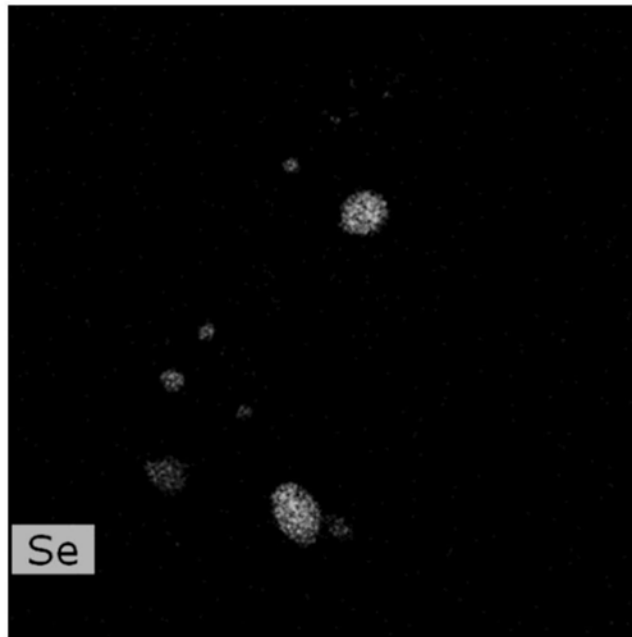


图7

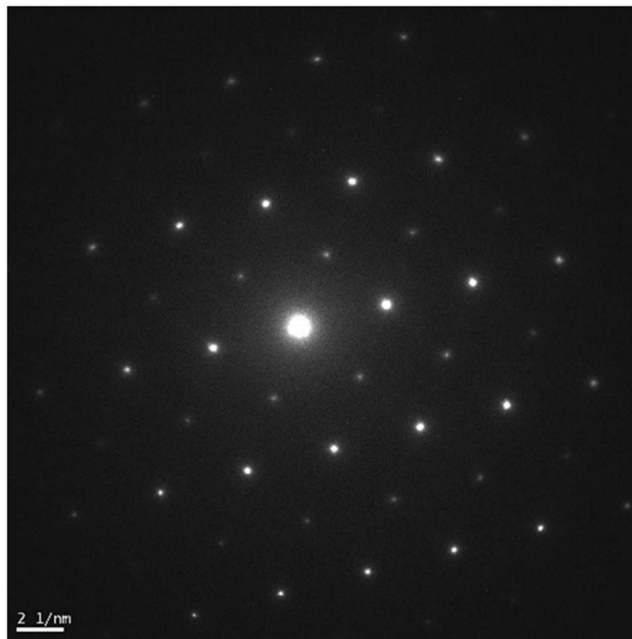


图8