



(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 I665313 B

(45)公告日：中華民國 108 (2019) 年 07 月 11 日

(21)申請案號：107117141

(22)申請日：中華民國 107 (2018) 年 05 月 21 日

(51)Int. Cl. : C22C38/14 (2006.01)

C21D8/12 (2006.01)

(30)優先權：2017/05/31 日本

2017-107588

(71)申請人：日商杰富意鋼鐵股份有限公司 (日本) JFE STEEL CORPORATION (JP)
日本(72)發明人：大久保智幸 OKUBO, TOMOYUKI (JP)；財前善彰 ZAIZEN, YOSHIAKI (JP)；上
坂正憲 UESAKA, MASANORI (JP)；尾田善彦 ODA, YOSHIHIKO (JP)

(74)代理人：葉璟宗；卓俊傑

(56)參考文獻：

TW 201439336A

JP 2016-151063A

審查人員：吳韶淳

申請專利範圍項數：6 項 圖式數：4 共 25 頁

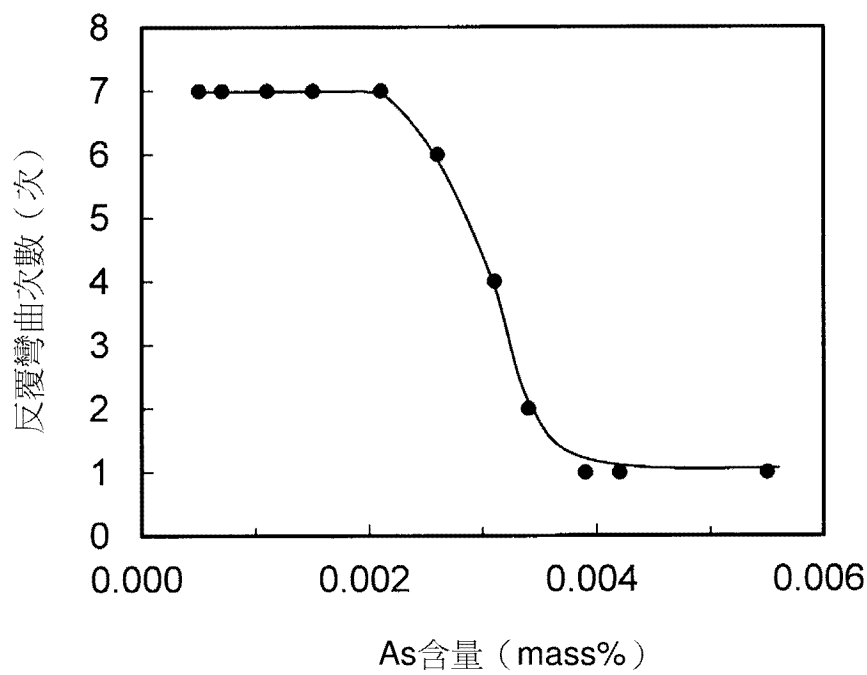
(54)名稱

無方向性電磁鋼板及其製造方法

(57)摘要

對鋼坯進行熱軋製，並進行熱軋板退火，或者不進行熱軋板退火而進行一次或夾雜著中間退火的兩次以上的冷軋製而形成最終板厚後，於實施最終退火而製成無方向性電磁鋼板時，將所述最終退火的環境中的 N_2 含量設為 20 vol% 以下，較佳為將所述熱軋製的粗軋製中的第 1 道次的軋縮率設為 25% 以下，平均應變速度設為 4/sec 以下，藉此不會導致磁特性的劣化或生產性的下降而改善冷軋製性，所述鋼坯以 mass% 計含有 C：0.0050% 以下、Si：3.2%～4.5%、Mn：0.1%～2.0%、P：0.020% 以下、As：0.0030% 以下、Sn+Sb：0.005%～0.10%、進而以合計計於 0.0020%～0.10% 的範圍內含有選自 Mo 及 W 中的一種或兩種。

指定代表圖：



【圖1】



I665313

【發明摘要】

【中文發明名稱】無方向性電磁鋼板及其製造方法

【中文】

對鋼坯進行熱軋製，並進行熱軋板退火，或者不進行熱軋板退火而進行一次或夾雜著中間退火的兩次以上的冷軋製而形成最終板厚後，於實施最終退火而製成無方向性電磁鋼板時，將所述最終退火的環境中的 N_2 含量設為 20 vol% 以下，較佳為將所述熱軋製的粗軋製中的第 1 道次的軋縮率設為 25% 以下，平均應變速度設為 4/sec 以下，藉此不會導致磁特性的劣化或生產性的下降而改善冷軋製性，所述鋼坯以 mass% 計含有 C：0.0050% 以下、Si：3.2%～4.5%、Mn：0.1%～2.0%、P：0.020% 以下、As：0.0030% 以下、Sn+Sb：0.005%～0.10%、進而以合計計於 0.0020%～0.10% 的範圍內含有選自 Mo 及 W 中的一種或兩種。

【指定代表圖】圖 1。

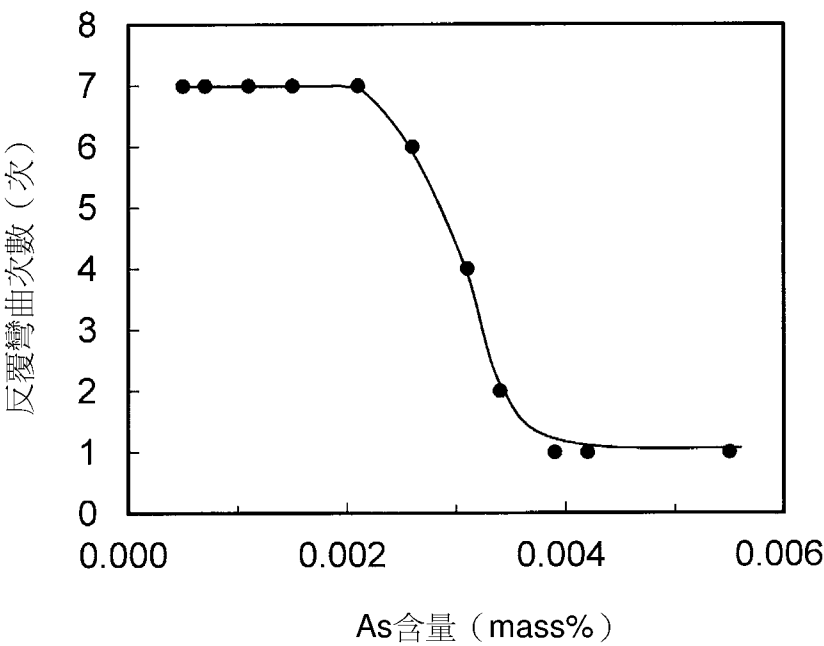
【代表圖之符號簡單說明】

無

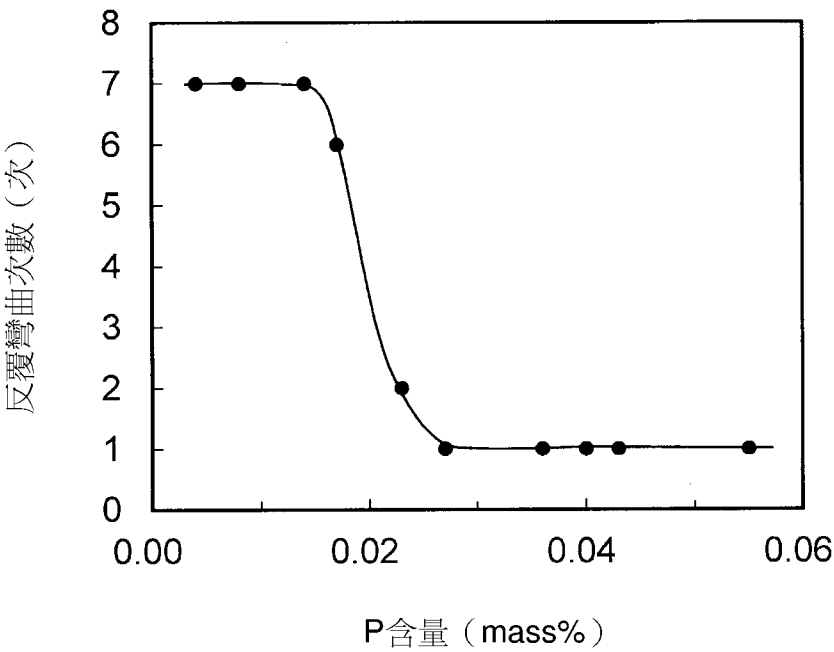
【特徵化學式】

無

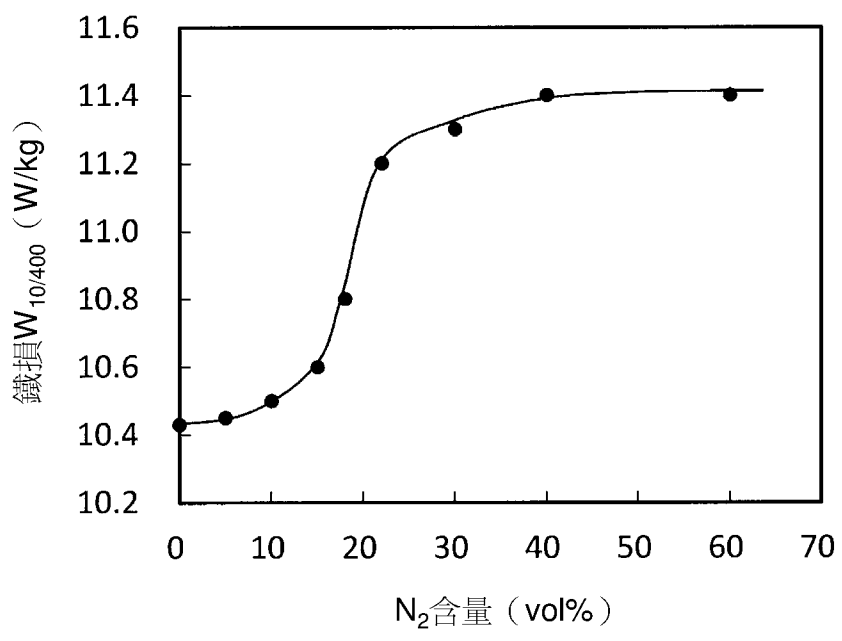
【發明圖式】



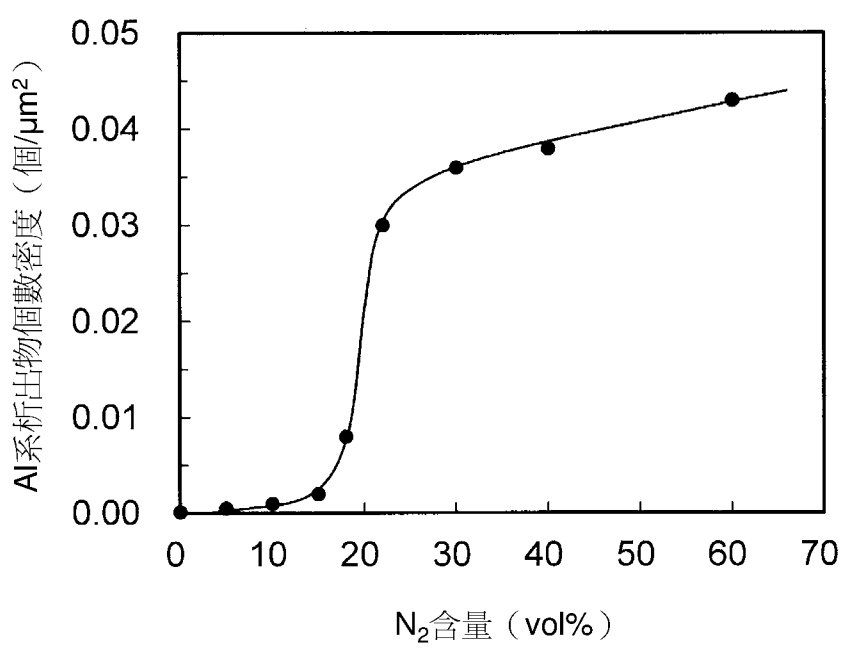
【圖1】



【圖2】



【圖3】



【圖4】

【發明說明書】

【中文發明名稱】 無方向性電磁鋼板及其製造方法

【技術領域】

【0001】 本發明是有關於一種無方向性電磁鋼板及其製造方法，具體而言是有關於一種提高了冷軋製性與磁特性的無方向性電磁鋼板及其製造方法。

【先前技術】

【0002】 無方向性電磁鋼板是主要可用作馬達的鐵芯的軟磁性材料，就提高馬達效率的觀點而言，強烈要求低鐵損化。尤其，近年來，於市場擴大的電動汽車（electric vehicle，EV）或混合動力汽車（hybrid electric vehicle，HEV）的驅動用馬達或高效率空調用馬達中，為了實現馬達的小型化，存在指向高速旋轉的傾向，因此高頻率鐵損特性受到重視。

【0003】 對於高頻率下的鐵損減少而言，有效的是藉由添加大量的 Si 或 Al、Mn 等提高比電阻的元素的高合金化、或者減少鋼板板厚的薄化來減少古典渦流損耗，但若進行高合金化，則存在鋼的韌性下降，且於冷軋製時容易發生板斷裂等操作故障的問題。

【0004】 對於所述問題，專利文獻 1 中提出了如下方法：使無方向性電磁鋼板中添加的 Si、sol.Al、Mn 的平衡合理化，並且將冷軋製前的鋼板加熱為 50℃～200℃ 的溫度，且將冷軋製中的第 1 道次的通板速度限制為 60 m/min～200 m/min 來進行軋製。

[現有技術文獻]

[專利文獻]

【0005】 專利文獻 1：國際公開第 2013/146879 號

【發明內容】

【0006】 [發明所欲解決之課題]

然而，關於所述專利文獻 1 中記載的技術，指出了如下問題：若對鋼板進行冷軋製前進行加熱，則由於溫度不均而發生形狀不良，或者由於加熱所需要的時間而使冷軋製的生產性下降等。

【0007】 本發明是鑒於現有技術所具有的所述問題點而成者，其目的在於提供一種即便在含有大量的 Si 或 Al、Mn 等合金成分的情況下，亦可不會導致磁特性的劣化或生產性的下降而改善冷軋製性的無方向性電磁鋼板，且在於提出所述無方向性電磁鋼板的製造方法。

[解決課題之手段]

【0008】 發明者等人為了解決所述課題，著眼於含有大量的 Si 或 Mn、Al 等的無方向性電磁鋼板的成分組成對冷軋製性造成的影響而重覆進行了努力研究。其結果發現，為了改善高合金的無方向性電磁鋼板的冷軋製性，有效的是使用盡可能減少了 P 及 As 的含量的高純度鋼。

【0009】 但是，若減少 P 或 As，則發生如下新的問題：容易引起冷軋製後的最終退火中的鋼板表面的氧化或氮化，對製品板的磁特性造成不良影響。先前，為了防止鋼板表面的氧化或氮化，

有效的是添加 Sn 或 Sb，但發現僅添加 Sn 或 Sb 無法完全抑制最終退火中的鋼板表面的氧化或氮化（尤其是氮化），而且為了完全抑制所述氮化，必須自最終退火的環境中排除 N₂。

【0010】 另外，亦可知，若減少 P 或 As，則存在連續鑄造或熱軋步驟中的板坯或鋼板的表面裂紋所引起的表面缺陷（起皮）增加的問題。發現對於所述問題而言，有效的是添加微量的 Mo、W 作為鋼成分，以及將熱軋製中的粗軋製的第 1 道次的軋縮率設為 25%以下、平均應變速度設為 4/sec 以下進行軋製，從而開發了本發明。

【0011】 基於所述見解的本發明是一種無方向性電磁鋼板，其具有如下成分組成：含有 C：0.0050 mass%以下、Si：3.2 mass%～4.5 mass%、Mn：0.1 mass%～2.0 mass%、P：0.020 mass%以下、S：0.0050 mass%以下、Al：0.4 mass%～2.0 mass%、N：0.0050 mass%以下、Ti：0.0030 mass%以下、As：0.0030 mass%以下、Sn+Sb：0.005 mass%～0.10 mass%及 O：0.0050 mass%以下，進而以合計計於 0.0020 mass%～0.10 mass%的範圍內含有選自 Mo 及 W 中的一種或兩種，剩餘部分包含 Fe 及不可避免的雜質。

【0012】 本發明的所述無方向性電磁鋼板的特徵在於：除了所述成分組成以外，進而以合計計於 0.0005 mass%～0.020 mass%的範圍內含有選自 Ca、Mg 及 REM 中的一種或兩種以上。

【0013】 另外，本發明的所述無方向性電磁鋼板的特徵在於：自鋼板剖面的表面起至深度 2.0 μm 的範圍內所存在的 50 nm～500

nm 的 Al 系析出物的個數密度為 0.010 個/ μm^2 以下。

【0014】 另外，本發明的所述無方向性電磁鋼板的特徵在於：板厚為 0.30 mm 以下。

【0015】 另外，本發明提出了一種無方向性電磁鋼板的製造方法，其是對具有所述任一項記載的成分組成的鋼坯進行熱軋製，並進行熱軋板退火，或者不進行熱軋板退火而進行一次或夾雜著中間退火的兩次以上的冷軋製而形成最終板厚後，實施最終退火，所述無方向性電磁鋼板的製造方法的特徵在於：將所述最終退火的環境設為選自 N_2 、 H_2 及稀有氣體中的一種或兩種以上的混合氣體，且將所述環境中的 N_2 含量設為 20 vol% 以下。

【0016】 本發明的所述無方向性電磁鋼板的製造方法的特徵在於：將熱軋製的粗軋製中的第 1 道次的軋縮率設為 25% 以下，平均應變速度設為 $4/\text{sec}$ 以下。

【0017】 另外，本發明的所述無方向性電磁鋼板的製造方法的特徵在於：將冷軋後的板厚設為 0.30 mm 以下。

[發明的效果]

【0018】 根據本發明，可不會導致磁特性的劣化或生產性的下降而改善包含大量的合金元素的無方向性電磁鋼板的冷軋製性。因此，根據本發明，可穩定地製造低鐵損的無方向性電磁鋼板，因此大大有助於 EV 或 HEV 的驅動用馬達或高效率空調用馬達的效率提高。

【圖式簡單說明】

【0019】

圖 1 是表示 As 含量對熱軋板的反覆彎曲次數所造成的影響的曲線圖。

圖 2 是表示 P 含量對熱軋板的反覆彎曲次數所造成的影響的曲線圖。

圖 3 是表示最終退火的環境中的 N₂ 含量對鐵損 W_{10/400} 所造成的影響的曲線圖。

圖 4 是表示最終退火的環境中的 N₂ 含量對鋼板表層的 Al 系析出物的個數密度所造成的影響的曲線圖。

【實施方式】

【0020】 首先，對成為開發本發明的契機的實驗進行說明。

(實驗 1)

將具有如下成分組成的鋼以真空熔解爐進行熔解而形成鋼塊，於 1100℃ 下將該鋼塊加熱 20 min 後，進行熱軋製而形成板厚 2.2 mm 的熱軋板，所述成分組成含有 C：0.0020 mass%、Si：3.65 mass%、Mn：0.60 mass%、P：0.005 mass%、S：0.0020 mass%、Al：0.60 mass%、O：0.0025 mass%、N：0.0015 mass%、Ti：0.0010 mass%、Sn：0.025mass%、Mo：0.006 mass%，且於 0.0005 mass%～0.006 mass% 的範圍內加以各種變化而含有 As，剩餘部分包含 Fe 及不可避免的雜質。

於對所述熱軋板實施 1000℃×30 sec 的熱軋板退火後，採取長度：100 mm×寬度：30 mm 的彎曲試驗片，夾在具有半徑：15 mm

的圓弧的夾具上，進行 45 度的反覆彎曲試驗，測定至斷裂為止的彎曲次數。

將結果示於圖 1 中。根據所述圖可知，藉由將 As 的含量減少為 0.0030 mass%以下，可顯著改善彎曲加工性。

【0021】（實驗 2）

將具有如下成分組成的鋼以真空熔解爐進行熔解而形成鋼塊後，於 1100℃下將該鋼塊加熱 20 min 後，進行熱軋製而形成板厚 2.2 mm 的熱軋板，所述成分組成含有 C：0.0020 mass%、Si：3.65 mass%、Mn：0.60 mass%、S：0.0020 mass%、Al：0.60 mass%、O：0.0025 mass%、N：0.0015 mass%、Ti：0.0010 mass%、As：0.0010 mass%、Sn：0.025 mass%、Mo：0.006 mass%，且於 0.004 mass%～0.06 mass%的範圍內加以各種變化而含有 P，剩餘部分包含 Fe 及不可避免的雜質。

於對所述熱軋板實施 1000℃×30 sec 的熱軋板退火後，採取長度：100 mm×寬度：30 mm 的彎曲試驗片，夾在具有半徑：15 mm 的圓弧的夾具上，進行 45 度的反覆彎曲試驗，測定至斷裂為止的彎曲次數。

將結果示於圖 2 中。根據所述圖可知，藉由將 P 的含量減少為 0.020 mass%以下，可顯著改善彎曲加工性。

【0022】（實驗 3）

基於所述實驗結果，為了對減少了 As 及 P 的鋼進行熔製，並確認對磁特性造成的影響，而進行如下實驗。

將具有如下成分組成的鋼以真空熔解爐進行熔解而形成鋼塊後，於 1100℃ 下將該鋼塊加熱 20 min 後，進行熱軋製而形成板厚 2.2 mm 的熱軋板，所述成分組成含有 C：0.0020 mass%、Si：3.65 mass%、Mn：0.60 mass%、P：0.005 mass%、S：0.0020 mass%、Al：0.60 mass%、O：0.0025 mass%、N：0.0015 mass%、Ti：0.0010 mass%、As：0.0010 mass%、Sn：0.025 mass%、Mo：0.007 mass%，剩餘部分包含 Fe 及不可避免的雜質。

繼而，於對所述熱軋板實施 1000℃×30 sec 的熱軋板退火後，進行酸洗，並進行冷軋製而形成最終板厚 0.25 mm 的冷軋板後，於以 vol%計 H₂：N₂=30：70、露點：-50℃ 的環境下對所述冷軋板實施 1000℃×10 sec 的最終退火。

【0023】 繼而，對所述最終退火後的鋼板的鐵損 $W_{10/400}$ （於最大磁通密度 1.0 T、頻率 400 Hz 下進行正弦勵磁時的鐵損值）進行了測定，結果發明者等人無法獲得所需的鐵損。為了對所述原因進行調查，而利用掃描式電子顯微鏡（scanning electron microscope，SEM）對所述最終退火後的鋼板的剖面進行觀察，結果於鋼板表層、具體而言自鋼板表面起沿板厚方向在 2.0 μm 以內的剖面確認到了微細的 Al 系析出物，藉此推測鐵損增加。認為其原因在於：本實驗中減少了作為晶界偏析元素的 As 與 P，因此最終退火的晶界擴散變得活躍，促進了鋼板表層的 Al 的氧化及氮化（尤其是氮化）。

【0024】 先前的見解中，藉由添加 Sn 及 Sb，鋼板表面的氧化或

氮化得到抑制，但如上所述，本實驗中獲得了不同的結果。認為所述原因在於本實驗中使用將 As 與 P 減少為極微量的高純度的鋼素材。因此，為了積極地防止最終退火中的氧化或氮化且避免對所述鐵損造成的不良影響，而於所述實驗中進行變更最終退火中使用的 H_2 與 N_2 的混合環境中的 N_2 的比率的實驗。

將結果示於圖 3 中。根據所述圖可知，藉由將最終退火中使用的環境中的 N_2 濃度減少為 20 vol% 以下，可獲得優異的鐵損。

本發明是基於所述新穎的見解而開發者。

【0025】 其次，對本發明的無方向性電磁鋼板的成分組成進行說明。

C：0.0050 mass% 以下

C 是引起磁時效而使製品板的鐵損增加的有害元素，因此將上限設為 0.0050 mass%。較佳為 0.0025 mass% 以下。

【0026】 Si：3.2 mass%～4.5 mass%

Si 為對於提高鋼的比電阻，減少高頻率鐵損而言有效的元素。為了獲得所述效果，必須添加 3.2 mass% 以上。但是，伴隨著 Si 的增加，鋼的強度增加，且韌性下降，因此冷軋製性下降。因此，本發明中將 Si 的上限設為 4.5 mass%。較佳為 3.4 mass%～4.3 mass% 的範圍，更佳為 3.6 mass%～4.1 mass% 的範圍。

【0027】 Mn：0.1 mass%～2.0 mass%

Mn 與 Si 或 Al 同樣為對於提高鋼的比電阻，減少高頻率鐵損而言有效的元素，但與 Si、Al 相比，其減少效果小。另外，藉由

將 S 以 MnS 的形式固定，亦具有抑制熱脆性的效果。為了獲得所述效果，必須添加 0.1 mass% 以上。但是，若大量地添加，則原料成本上升，因此將上限設為 2.0 mass%。較佳為 0.3 mass%～1.0 mass% 的範圍。

【0028】 P：0.020 mass% 以下

關於 P，為了使鋼脆化，使冷軋製的裂紋（板斷裂）增加，理想的是盡可能減少。因此，本發明中將上限限制為 0.020 mass%。較佳為 0.010 mass% 以下。

【0029】 S：0.0050 mass% 以下

S 是形成微細硫化物，阻礙晶粒成長，從而使鐵損增加的有害元素，因此理想的是盡可能減少。因此，本發明中將上限設為 0.0050 mass%。較佳為 0.0030 mass% 以下。

【0030】 Al：0.4 mass%～2.0 mass%

Al 為對於提高鋼的比電阻，減少高頻率鐵損而言有效的元素。為了獲得所述效果，必須添加 0.4 mass% 以上。但是，若提高 Al 的添加量，則不僅原料成本增加，而且鋼板表面容易氧化或氮化，於鋼板表層內部形成 Al_2O_3 或 AlN 等微細析出物而使鐵損的改善效果相抵。因此，將 Al 的上限設為 2.0 mass%。較佳為 0.6 mass%～1.20 mass% 的範圍。

【0031】 N：0.0050 mass% 以下

N 是形成微細氮化物，阻礙晶粒成長，從而使鐵損增加的有害元素，因此理想的是盡可能減少。因此，本發明中將上限限制

為 0.0050 mass%。較佳為 0.0030 mass%以下。

【0032】 Ti：0.0030 mass%以下

Ti 是形成微細的 TiN 等，阻礙晶粒成長，從而使鐵損增加的有害元素，因此理想的是盡可能減少。因此，本發明中將上限限制為 0.0030 mass%。較佳為 0.0015 mass%以下。

【0033】 As：0.0030 mass%以下

As 是使鋼脆化，於冷軋製中引起邊裂或板斷裂的有害元素，因此理想的是盡可能減少。因此，本發明中將上限設為 0.0030 mass%。較佳為 0.0020 mass%以下。

【0034】 Sb+Sn：0.005 mass%～0.10 mass%

Sb 及 Sn 是於鋼板表面偏析，且抑制氧化·氮化的元素，因此具有改善鐵損的效果。為了獲得所述效果，必須以合計計添加 0.005 mass%以上。但是，即便添加超過 0.10 mass%，所述效果亦只會飽和，因此將上限設為以合計計為 0.10 mass%。較佳為 0.01 mass%～0.05 mass%的範圍。其中，亦有助長起皮的發生的弊端，因此有效的是同時添加後述的 Mo 或 W。

【0035】 Mo、W：以合計計為 0.0020 mass%～0.10 mass%

Mo 及 W 為對於抑制包含大量的 Si 或 Al、Mn 等合金元素的高合金鋼板的表面缺陷（起皮）而言有效的元素。高合金鋼板的表面容易被氧化，因此認為表面裂紋引起的起皮的發生率變高，但藉由添加微量的作為提高高溫強度的元素的 Mo 或 W，可抑制裂紋。若合計的添加量未滿 0.0020 mass%，則無法獲得所述效果，

另一方面，即便添加以合計計超過 0.10 mass%，效果亦飽和且原料成本變高。因此，限制為所述範圍內。較佳為 0.0050 mass%～0.050 mass%的範圍。

【0036】 O：0.0050 mass%以下

O 是於鋼中形成氧化物系夾雜物而使鐵損增加的有害元素，因此理想的是盡可能減少。因此，本發明中將上限設為 0.0050 mass%。較佳為 0.0030 mass%以下。

【0037】 本發明的無方向性電磁鋼板除了所述必須的成分以外，可進而以合計計於 0.0005 mass%～0.020 mass%的範圍內含有選自 Ca、Mg 及 REM 中的一種或兩種以上。

Ca、Mg 及 REM 非常穩定，形成大的硫化物且減少微細析出物，因此具有促進晶粒成長且改善鐵損的效果。為了獲得所述效果，需要至少為 0.0005 mass%，另一方面，即便添加超過 0.020 mass%，所述效果亦飽和。因此，於添加的情況下，較佳為設為以合計計為 0.0005 mass%～0.020 mass%的範圍。

【0038】 其次，對本發明的無方向性電磁鋼板的製造方法進行說明。

關於本發明的無方向性電磁鋼板的製造中使用的鋼素材（板坯），於利用使用了轉爐或電爐、真空脫氣裝置等的通常公知的精煉製程對適合於所述成分組成的鋼進行熔製後，可利用連續鑄造法或造塊-分塊軋製法進行製造。

【0039】 將所述板坯進行再加熱、熱軋製而形成規定板厚的熱軋

板。較佳為將所述板坯的再加熱溫度設為 $1000^{\circ}\text{C} \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 的範圍。原因在於：若未滿 1000°C ，則 MnS 或 AlN 的奧斯特瓦爾德成長變得不充分，另一方面，若超過 1200°C ，則 MnS 或 AlN 固溶，其一部分於後述步驟中微細地析出，因此對鐵損造成不良影響。

【0040】 另外，所述熱軋製通常包含粗軋製與精軋製，但重要的是將其第 1 道次、即粗軋製的第 1 道次的軋縮率設為 25%以下、平均應變速度設為 4/sec 以下進行軋製。原因在於：如無方向性電磁鋼板般包含大量的合金成分的高合金鋼的軋製素材表層容易氧化，因此若脫離所述條件，則於軋製素材表面引起粒界裂紋，起皮的發生率變高。更佳的粗軋製的第 1 道次的軋縮率為 20%以下，平均應變速度為 2/sec 以下。此處，所述應變速度是基於志田茂的技術文獻（「塑性與加工」，7（1966），P424）中記載的式子計算出的值。

另外，較佳為將所述熱軋製的精軋製的最終溫度設為 700°C 以上，將捲繞溫度設為 700°C 以下。原因在於：若最終精軋製溫度未滿 700°C ，則難以進行軋製至規定的板厚，另外，若捲繞溫度超過 700°C ，則除鱗性變差。

【0041】 熱軋製後的鋼板（熱軋板）視需要進行熱軋板退火。原因在於：熱軋板退火對於改善磁特性及防止起筋（ridging）而言有效果。

【0042】 於熱軋製的狀態下、或者於熱軋製後實施熱軋板退火的熱軋板其後進行酸洗，並藉由一次冷軋製或者夾雜著中間退火的

兩次以上的冷軋製而形成最終板厚的冷軋板。此處，所述最終板厚(製品板厚)較佳為設為 0.30 mm 以下，更佳為 0.20 mm 以下。原因在於本發明的無方向性電磁鋼板的特徵為鋼板表面的氧化或氮化得到抑制，且板厚越薄，本發明的效果(鐵損改善效果)越顯著。再者，過度地使板厚變薄會使生產性下降且製造成本上升，或者芯的製造困難，因此較佳為將下限的板厚設為 0.10 mm 左右。

【0043】 繼而，對形成所述最終板厚的冷軋板實施最終退火，視需要覆蓋絕緣被膜而形成製品板。所述最終退火可使用公知的方法，但較佳為於連續退火線中，在均熱溫度 700℃～1100℃、均熱時間 300 sec 以下的條件下進行。均熱溫度與時間可根據作為目標的磁特性或機械特性等適宜調整。

【0044】 此處，於本發明的無方向性電磁鋼板的製造方法中，關於包含大量的 Si 或 Al、Mn 等的鋼板，容易引起表面的氧化或氮化，因此重要的是最終退火時的環境控制。具體而言，就防止鋼板表面的氧化或氮化的觀點而言，最終退火的環境氣體為選自 N₂、H₂ 及稀有氣體中的一種或兩種以上的混合氣體，且所述環境氣體中的 N₂ 的含量必須為 20 vol% 以下。較佳的 N₂ 含量為 10 vol% 以下，例如較佳為於以 vol% 計 H₂：N₂=90：10 的環境等下進行退火。另外，露點較佳為盡可能減少，具體而言設為 -30℃ 以下。

【0045】 此處，為了判定鋼板表面的氮化或氧化的程度，只要沿軋製方向切斷最終製品板，並埋入至模製樹脂中，於進行研磨後，利用 1 mass% 硝酸酒精腐蝕液進行 1 秒蝕刻而使鋼板組織與析出

物可視化後，利用 SEM 測定鋼板表層（自板厚表面起 2.0 μm 以內的區域）析出的 Al 系析出物的個數密度即可。是否為 Al 系的析出物可根據能量分散 X 射線光譜儀（Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy, EDX）的光譜而容易地判斷。再者，觀察對象的 Al 系析出物的尺寸（圓相當直徑）限定於 50 nm $\sim$ 500 nm 的範圍內。排除未滿 50 nm 的析出物的原因在於利用 SEM 的 EDX 難以進行成分分析。另外，排除超過 500 nm 的析出物的原因在於粗大的析出物並非利用最終退火中的氮化或氧化而形成者，而是自最終退火前所包含者。而且，若所述 Al 系析出物為 0.010 個/ μm^2 以下，則可判斷為最終退火的鋼板表面的氮化或氧化的程度低。再者，更佳的 Al 系析出物的個數密度為 0.001 個/ μm^2 以下。

實施例 1

【0046】 將對具有表 1 所示的各種成分組成的鋼進行熔製並連續鑄造而得的厚度 200 mm 的鋼坯進行 1100 $^{\circ}\text{C}$ $\times$ 30 min 的再加熱後，進行將粗軋製的第 1 道次的軋縮率設為 15%、應變速度設為 1/sec 的粗軋製後，進行執行精軋製的熱軋製，而形成板厚 2.0 mm 的熱軋板。再者，將所述精軋製的最終溫度設為 910 $^{\circ}\text{C}$ ，捲繞溫度設為 600 $^{\circ}\text{C}$ 。繼而，於對所述熱軋板實施 980 $^{\circ}\text{C}$ $\times$ 20 sec 的熱軋板退火後，進行酸洗，並進行冷軋製而形成最終板厚 0.25 mm 的冷軋板，於以 vol% 計 H_2 : Ar = 20 : 80、露點：-50 $^{\circ}\text{C}$ 的環境下對該冷軋板實施 1000 $^{\circ}\text{C}$ $\times$ 10 sec 的最終退火後，被覆絕緣被膜，而製成製品板。

繼而，對於所述製品板，測定鋼板表面發生的起皮的發生率

(作為不良部而被去除的長度%)，且採取試驗片，測定鐵損 $W_{10/400}$ (於最大磁通密度 1.0 T、頻率 400 Hz 下進行正弦勵磁時的鐵損) 及鋼板表層(自表面起 2.0 μm 的範圍)的 Al 系析出物的個數密度。

將所述測定的結果示於表 1-1 及表 1-2 中。根據該些結果可知，具有適合於本發明的成分組成的鋼板的起皮的發生率低，另外 Al 系析出物的個數密度亦為 0.010 個/ μm^2 以下，具有優異的鐵損特性。

107-08-02

【0047】 [表 1-1]

鋼板 No.	化學成分 (mass%)											製品特性				備考			
	C	Si	Mn	P	S	Al	O	N	Ti	As	Sn	Sb	Mo	W	其他		起皮發生 率 (%)	Al系析出物 個數密度 (個/μm ²)	鐵損 W ₁₀₄₀₀ (W/kg)
1	0.0014	3.12	0.39	0.009	0.0012	0.71	0.0011	0.0018	0.0007	0.0014	0.026	<0.001	<0.0005	<0.0005	-	0.0	<0.001	11.7	比較例
2	0.0015	3.09	0.32	0.005	0.0011	0.68	0.0015	0.0014	0.0004	0.0008	0.022	<0.001	<0.0005	0.0062	-	0.0	<0.001	11.6	比較例
3	0.0016	3.28	0.63	0.008	0.0018	0.83	0.0019	0.0018	0.0005	0.0012	0.016	<0.001	<0.0005	0.0042	-	0.1	<0.001	10.9	發明明例
4	0.0012	3.63	0.42	0.011	0.0012	0.72	0.0014	0.0013	0.0004	0.0009	0.031	<0.001	<0.0005	<0.0005	-	3.6	0.001	10.4	比較例
5	0.0016	3.68	0.58	0.007	0.0016	0.74	0.0015	0.0012	0.0008	0.0005	0.028	<0.001	0.0018	<0.0005	-	3.5	0.001	10.5	比較例
6	0.0023	3.64	0.60	0.012	0.0011	0.72	0.0013	0.0013	0.0005	0.0008	0.022	<0.001	0.0028	<0.0005	-	0.9	0.002	10.4	發明明例
7	0.0013	3.67	0.59	0.005	0.0011	0.68	0.0023	0.0020	0.0009	0.0007	0.026	<0.001	0.0045	<0.0005	-	0.1	0.001	10.4	發明明例
8	0.0021	3.63	0.57	0.006	0.0013	0.70	0.0013	0.0012	0.0002	0.0008	0.028	<0.001	0.026	<0.0005	-	0.0	0.001	10.5	發明明例
9	0.0011	3.61	0.59	0.010	0.0017	0.74	0.0017	0.0011	0.0003	0.0014	0.027	<0.001	0.074	<0.0005	-	0.0	0.002	10.5	發明明例
10	0.0013	3.64	0.63	0.007	0.0022	0.72	0.0018	0.0022	0.0011	0.0011	0.026	<0.001	<0.0005	0.0014	-	3.5	0.001	10.4	比較例
11	0.0014	3.65	0.63	0.010	0.0012	0.73	0.0015	0.0021	0.0011	0.0012	0.028	<0.001	<0.0005	0.0026	-	0.8	0.001	10.5	發明明例
12	0.0022	3.69	0.65	0.005	0.0011	0.71	0.0014	0.0010	0.0002	0.0009	0.015	<0.001	<0.0005	0.0054	-	0.1	0.002	10.4	發明明例
13	0.0014	3.61	0.61	0.008	0.0024	0.74	0.0010	0.0011	0.0013	0.0010	0.018	<0.001	<0.0005	0.034	-	0.0	0.002	10.5	發明明例
14	0.0020	3.62	0.62	0.005	0.0010	0.65	0.0013	0.0010	0.0012	0.0013	0.024	<0.001	<0.0005	0.082	-	0.0	0.001	10.5	發明明例
15	0.0018	3.66	0.56	0.012	0.0015	0.65	0.0018	0.0011	0.0016	0.0012	0.001	0.002	<0.0005	<0.0005	-	0.0	0.045	11.1	比較例
16	0.0013	3.62	0.59	0.013	0.0011	0.68	0.0015	0.0018	0.0015	0.0008	0.007	<0.001	<0.0005	0.0084	-	0.0	0.008	10.7	發明明例
17	0.0022	3.60	0.56	0.012	0.0012	0.72	0.0015	0.0018	0.0002	0.0013	0.042	<0.001	<0.0005	0.0093	-	0.1	0.002	10.4	發明明例
18	0.0023	3.61	0.64	0.012	0.0009	0.74	0.0018	0.0011	0.0008	0.0007	0.089	<0.001	<0.0005	0.0064	-	0.2	0.001	10.3	發明明例
19	0.0021	3.63	0.58	0.007	0.0012	0.66	0.0024	0.0023	0.0010	0.0012	<0.001	0.008	<0.0005	0.0082	-	0.1	0.007	10.7	發明明例
20	0.0012	3.64	0.65	0.014	0.0021	0.70	0.0013	0.0012	0.0005	0.0005	<0.001	0.031	0.0036	0.0068	-	0.1	0.001	10.4	發明明例
21	0.0011	3.59	0.55	0.008	0.0016	0.71	0.0012	0.0016	0.0003	0.0012	<0.001	0.084	0.0067	0.0162	-	0.2	0.001	10.3	發明明例

107-08-02

【0048】 [表 1-2]

鋼板 No.	化學成分 (mass%)											製品特性				備考			
	C	Si	Mn	P	S	Al	O	N	Ti	As	Sn	Sb	Mo	W	其他		起皮 發生 率 (%)	AI系析 出物個 數密度 (個/μm ²)	鐵損 W ₁₀₄₀₀ (W/kg)
22	0.0011	4.23	0.52	0.006	0.0011	0.79	0.0011	0.0009	0.0006	0.0014	0.024	<0.001	0.0026	0.0121	-	0.0	0.004	10.1	發明例
23	0.0013	4.61	0.43	0.005	0.0009	0.71	0.0016	0.0011	0.0011	0.0008	0.018	<0.001	0.0052	<0.0005	-	由於板斷裂而無法評價			比較例
24	0.0012	3.86	0.91	0.005	0.0020	0.73	0.0019	0.0023	0.0007	0.0012	0.017	0.008	<0.0005	0.0063	-	0.1	0.002	10.2	發明例
25	0.0014	3.65	1.83	0.006	0.0023	0.69	0.0014	0.0017	0.0008	0.0009	0.028	<0.001	<0.0005	0.0046	-	0.2	0.002	9.9	發明例
26	0.0023	3.59	0.64	0.031	0.0012	0.69	0.0011	0.0014	0.0014	0.0009	0.016	<0.001	0.0041	<0.0005	-	由於板斷裂而無法評價			比較例
27	0.0019	3.65	0.60	0.007	0.0034	0.66	0.0010	0.0023	0.0014	0.0011	0.025	<0.001	0.0042	0.0063	-	0.1	0.001	10.6	發明例
28	0.0018	3.64	0.64	0.011	0.0058	0.75	0.0018	0.0013	0.0011	0.0009	0.021	<0.001	<0.0005	0.0083	-	0.2	0.002	11.2	比較例
29	0.0020	3.62	0.61	0.008	0.0018	0.46	0.0013	0.0013	0.0011	0.0007	0.015	<0.001	<0.0005	0.0064	-	0.0	0.001	10.6	發明例
30	0.0012	3.89	0.64	0.009	0.0013	1.14	0.0018	0.0013	0.0009	0.0007	0.021	0.011	<0.0005	0.0065	-	0.1	0.002	10.0	發明例
31	0.0011	3.62	0.58	0.013	0.0019	1.64	0.0024	0.0017	0.0011	0.0008	0.016	<0.001	0.0046	0.0055	-	0.2	0.004	9.6	發明例
32	0.0009	3.60	0.55	0.014	0.0012	0.73	0.0036	0.0023	0.0010	0.0013	0.026	<0.001	0.0036	0.0048	-	0.0	0.001	10.7	發明例
33	0.0023	3.60	0.59	0.006	0.0015	0.75	0.0059	0.0010	0.0013	0.0014	0.017	<0.001	0.0033	0.0042	-	0.1	0.002	11.3	比較例
34	0.0025	3.62	0.57	0.013	0.0008	0.65	0.0018	0.0035	0.0013	0.0005	0.023	<0.001	0.0045	<0.0005	-	0.0	0.002	10.6	發明例
35	0.0017	3.62	0.60	0.005	0.0015	0.71	0.0013	0.0058	0.0012	0.0006	0.021	<0.001	0.0063	<0.0005	-	0.1	0.002	11.2	比較例
36	0.0012	3.63	0.57	0.008	0.0017	0.73	0.0017	0.0023	0.0027	0.0007	0.027	<0.001	<0.0005	0.0078	-	0.1	0.002	10.7	發明例
37	0.0017	3.58	0.61	0.010	0.0011	0.73	0.0018	0.0011	0.0039	0.0011	0.021	<0.001	<0.0005	0.0092	-	0.1	0.001	11.2	比較例
38	0.0012	3.59	0.62	0.012	0.0012	0.65	0.0010	0.0014	0.0005	0.0027	0.026	<0.001	<0.0005	0.0068	-	0.1	0.001	10.5	發明例
39	0.0019	3.64	0.55	0.013	0.0018	0.72	0.0019	0.0010	0.0014	0.0039	0.028	<0.001	<0.0005	0.0056	-	由於板斷裂而無法評價			比較例
40	0.0014	3.59	0.59	0.011	0.0014	0.73	0.0021	0.0012	0.0006	0.0013	0.018	<0.001	<0.0005	0.0072	Ca:0.0034	0.1	0.002	10.2	發明例
41	0.0013	3.56	0.63	0.007	0.0010	0.70	0.0019	0.0015	0.0015	0.0012	0.021	<0.001	<0.0005	0.0079	REM : 0.0053	0.1	0.002	10.3	發明例
42	0.0017	3.56	0.65	0.014	0.0008	0.73	0.0013	0.0020	0.0006	0.0010	0.015	<0.001	<0.0005	0.0071	Mg : 0.0021	0.1	0.001	10.2	發明例

實施例 2

【0049】 將表 1 的 No.12 所示的鋼坯進行 $1120^{\circ}\text{C} \times 20 \text{ min}$ 的再加熱後，進行將粗軋製的第 1 道次的軋縮率設為 18%、應變速度設為 2/sec 的粗軋製後，進行執行精軋製的熱軋製，而形成板厚 1.6 mm 的熱軋板。再者，將所述精軋製的最終溫度設為 870°C ，捲繞溫度設為 500°C 。繼而，於對所述熱軋板實施 $990^{\circ}\text{C} \times 30 \text{ sec}$ 的熱軋板退火後，進行酸洗，並進行冷軋製而形成最終板厚 0.20 mm 的冷軋板，於表 2 所示的各種環境下（露點： -45°C ）對該冷軋板實施 $1030^{\circ}\text{C} \times 15 \text{ sec}$ 的最終退火後，被覆絕緣被膜，而製成製品板。

繼而，對於所述製品板，測定鋼板表面發生的起皮的發生率（作為不良部而被去除的長度%），且採取試驗片，測定鐵損 $W_{10/400}$ （於最大磁通密度 1.0 T、頻率 400 Hz 下進行正弦勵磁時的鐵損）及鋼板表層（自表面起 2.0 μm 的範圍）的 Al 系析出物的個數密度。

將所述測定的結果示於表 2 中。根據所述結果，首先 No.1～No.5 的鋼板具有適合於本發明的成分組成，因此起皮的發生率變低。進而，關於本發明中於較佳的環境下進行了最終退火的 No.2～No.5 的鋼板，可知氧化或氮化得到抑制，結果 Al 系析出物的個數密度為 0.010 個/ μm^2 以下，具有更優異的鐵損特性。

【0050】 [表 2]

No.	環境 (vol%比)	起皮發生率 (%)	Al系析出物個數 密度 (個/ μm^2)	鐵損 $W_{10/400}$ (W/kg)	備考
1	H ₂ : N ₂ =30 : 70	0.0	0.045	10.4	發明例
2	H ₂ =100	0.0	0.001	9.3	發明例
3	Ar=100	0.0	0.002	9.4	發明例
4	He=100	0.0	0.002	9.4	發明例
5	Ar : N ₂ =90 : 10	0.0	0.003	9.5	發明例

實施例 3

【0051】 將表 1 的 No.7 所示的鋼坯進行 1090℃×30 min 的再加熱後，使粗軋製的第 1 道次的軋縮率與應變速度如表 3 般加以各種變化而進行粗軋製後，進行執行精軋製的熱軋製，而形成板厚 1.8 mm 的熱軋板。再者，將所述精軋製的最終溫度設為 820℃，捲繞溫度設為 550℃。繼而，於對所述熱軋板實施 910℃×30 sec 的熱軋板退火後，進行酸洗，並進行冷軋製而形成最終板厚 0.25 mm 的冷軋板，於 H₂ : 100 vol%環境下(露點：-55℃)對該冷軋板實施 1000℃×10 sec 的最終退火後，被覆絕緣被膜，而製成製品板。

繼而，對於所述製品板，測定鋼板表面發生的起皮的發生率（作為不良部而被去除的長度%），且採取試驗片，測定鐵損 $W_{10/400}$ （於最大磁通密度 1.0 T、頻率 400 Hz 下進行正弦勵磁時的鐵損）及鋼板表層(自表面起 2.0 μm 的範圍)的 Al 系析出物的個數密度。

將所述測定的結果一併記於表 3 中。根據所述結果可知，將熱粗軋製的第 1 道次設為低軋縮率·低應變速度的 No.1～No.3 及 No.7～No.10 的鋼板與設為高軋縮率·高應變速度的 No.4～No.6 及 No.11、No.12 的鋼板相比，可大幅減少起皮的發生率。

【0052】 [表 3]

No.	熱粗軋製第1道次		起皮發生率 (%)	Al系析出物個數密度 (個/ μm^2)	鐵損 $W_{10/400}$ (W/kg)	備考
	軋縮率 (%)	應變速度 (1/sec)				
1	12	1.0	0.0	<0.001	10.4	發明例
2	16	1.0	0.1	<0.001	10.3	發明例
3	23	1.0	0.3	<0.001	10.4	發明例
4	27	1.0	1.2	<0.001	10.4	發明例
5	32	1.0	1.4	<0.001	10.3	發明例
6	36	1.0	1.5	<0.001	10.4	發明例
7	18	1.0	0.1	<0.001	10.4	發明例
8	18	1.6	0.1	<0.001	10.3	發明例
9	18	2.5	0.2	<0.001	10.4	發明例
10	18	3.8	0.3	<0.001	10.3	發明例
11	18	4.3	1.4	<0.001	10.4	發明例
12	18	5.6	1.5	<0.001	10.4	發明例

【符號說明】

【0053】

無

【發明申請專利範圍】

【第1項】 一種無方向性電磁鋼板，其具有如下成分組成：含有 C：0.0050 mass%以下、Si：3.2 mass%～4.5 mass%、Mn：0.1 mass%～2.0 mass%、P：0.020 mass%以下、S：0.0050 mass%以下、Al：0.4 mass%～2.0 mass%、N：0.0050 mass%以下、Ti：0.0030 mass%以下、As：0.0030 mass%以下、Sn+Sb：0.005 mass%～0.10 mass%及 O：0.0050 mass%以下，進而以合計計於 0.0020 mass%～0.10 mass%的範圍內含有選自 Mo 及 W 中的一種或兩種，剩餘部分包含 Fe 及不可避免的雜質；且自鋼板剖面的表面起至深度 2.0 μm 的範圍內所存在的 50 nm～500 nm 的 Al 系析出物的個數密度為 0.010 個/ μm^2 以下。

【第2項】 如申請專利範圍第 1 項所述的無方向性電磁鋼板，其中除了所述成分組成以外，進而以合計計於 0.0005 mass%～0.020 mass%的範圍內含有選自 Ca、Mg 及 REM 中的一種或兩種以上。

【第3項】 如申請專利範圍第 1 項或第 2 項所述的無方向性電磁鋼板，其中板厚為 0.30 mm 以下。

【第4項】 一種無方向性電磁鋼板的製造方法，其是對具有如申請專利範圍第 1 項或第 2 項所述的無方向性電磁鋼板的成分組成的鋼坯進行熱軋製，並進行熱軋板退火，或者不進行熱軋板退火而進行一次或夾雜著中間退火的兩次以上的冷軋製而形成最終板厚後，實施最終退火，所述無方向性電磁鋼板的製造方法的特徵在於：

將所述最終退火的環境設為選自 N_2 、 H_2 及稀有氣體中的一種或兩種以上的混合氣體，且將所述環境中的 N_2 含量設為 20 vol% 以下。

【第5項】 如申請專利範圍第 4 項所述的無方向性電磁鋼板的製造方法，其中將熱軋製的粗軋製中的第 1 道次的軋縮率設為 25% 以下，平均應變速度設為 4/sec 以下。

【第6項】 如申請專利範圍第 4 項或第 5 項所述的無方向性電磁鋼板的製造方法，其中將冷軋製後的板厚設為 0.30 mm 以下。