



(21)申請案號：109127542

(22)申請日：中華民國 108 (2019) 年 05 月 20 日

(51)Int. Cl. : C22C38/00 (2006.01)

C22C38/12 (2006.01)

C21D8/12 (2006.01)

H01F1/16 (2006.01)

(30)優先權：2018/05/21 日本

2018-097390

(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：上坂正憲 UESAKA, MASANORI (JP)；財前善彰 ZAIZEN, YOSHIAKI (JP)；大久保智幸 OKUBO, TOMOYUKI (JP)；中島宏章 NAKAJIMA, HIROAKI (JP)；尾田善彦 ODA, YOSHIHIKO (JP)

(74)代理人：鮑亞嵐；卓孟儀

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：5 項 圖式數：4 共 28 頁

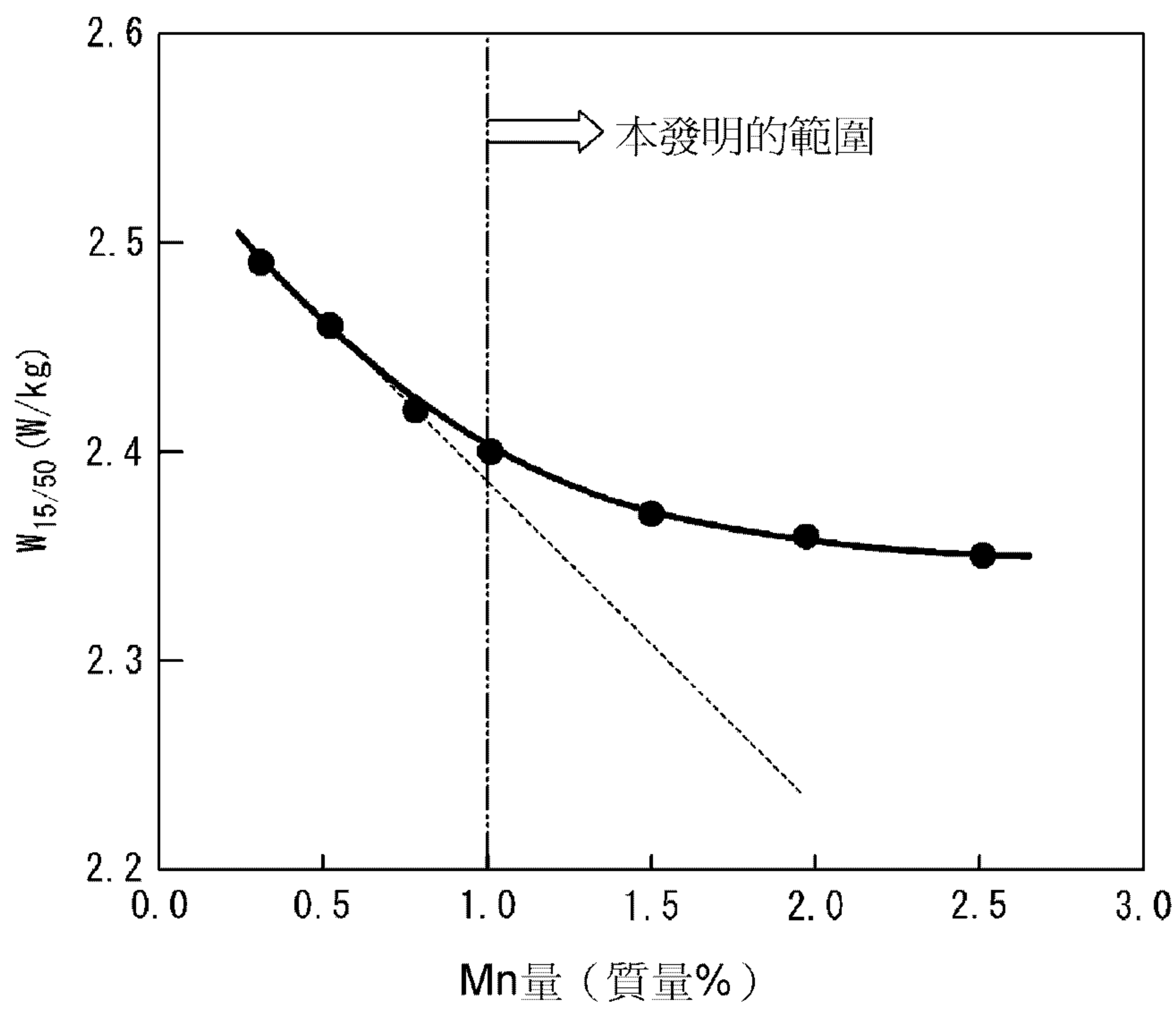
(54)名稱

無方向性電磁鋼板

(57)摘要

本發明提供一種實質上未添加 Al 且 Si 及 Mn 的添加量多的鐵損低的無方向性電磁鋼板。所述無方向性電磁鋼板具有如下成分組成，即、含有 C：0.0050%以下、Si：2.0%以上且 6.0%以下、Mn：1.0%以上且 3.0%以下、P：0.20%以下、S：0.0050%以下、N：0.0050%以下及 Al：0.0050%以下，進而含有選自 B：0.0001%以上且 0.0050%以下、Nb：0.0001%以上且 0.0050%以下及 V：0.0005%以上且 0.0500%以下中的一種或兩種以上，且剩餘部分為 Fe 及不可避免的雜質，平均直徑 50 nm 以上且 500 nm 以下的 Si-Mn 氮化物的個數密度設為 1 個/ μm^3 以下。

指定代表圖：



【圖1】

【發明摘要】

【中文發明名稱】無方向性電磁鋼板

【中文】

本發明提供一種實質上未添加 Al 且 Si 及 Mn 的添加量多的鐵損低的無方向性電磁鋼板。所述無方向性電磁鋼板具有如下成分組成，即、含有 C：0.0050%以下、Si：2.0%以上且 6.0%以下、Mn：1.0%以上且 3.0%以下、P：0.20%以下、S：0.0050%以下、N：0.0050%以下及 Al：0.0050%以下，進而含有選自 B：0.0001%以上且 0.0050%以下、Nb：0.0001%以上且 0.0050%以下及 V：0.0005%以上且 0.0500%以下中的一種或兩種以上，且剩餘部分為 Fe 及不可避免的雜質，平均直徑 50 nm 以上且 500 nm 以下的 Si-Mn 氮化物的個數密度設為 1 個/ μm^3 以下。

【指定代表圖】圖 1。

【代表圖之符號簡單說明】

無

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】 無方向性電磁鋼板

【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。

【先前技術】

【0002】 無方向性電磁鋼板例如為作為馬達等的鐵芯材料而廣泛使用的軟磁性材料的一種。近年來，電子機器的高效率化於世界性電力節約、進而地球環境保全的動向中受到強烈要求。因此，關於無方向性電磁鋼板，於作為旋轉機或中小型變壓器等的鐵芯材料而廣泛使用的無方向性電磁鋼板中，對於磁特性的提高的請求亦進一步變得強烈。尤其，於旋轉機的高效率化發展的電動汽車用、或者壓縮機用馬達中，所述傾向顯著。為了應對所述要求，先前藉由 Si 或 Al 等合金元素的添加、板厚的減少、表面狀態的控制、析出物的控制所引起的晶粒成長性提高等而實現低鐵損化。

【0003】 例如，於專利文獻 1 中揭示了藉由添加 1.0%以上的 Si、0.7%以上的 Al，並控制冷軋後的鋼板表面的粗糙度、最終退火的環境的氫-水蒸氣的分壓比，鋼板表層的 Al 氧化物層減少，且鐵損減少。

【0004】 且說，最近，就實現馬達的再循環的觀點而言，有如下動作：欲將使用完畢的馬達磁芯（core）溶解，並作為鑄件在馬達框等中再利用。專利文獻 1 中揭示的電磁鋼板由於添加了 Al，因

此存在如下問題：若對所述電磁鋼板進行再利用，則澆注時的熔鋼黏度增大，且產生縮孔。因此，於將馬達磁芯作為鑄件生鐵進行再循環的情況下，理想的是實質上未添加 Al。

【0005】 作為實質上未添加 Al 的鐵損優異的無方向性電磁鋼板的製作方法，有專利文獻 2 中揭示的技術。該技術為如下技術：藉由添加 Si：0.01%～1%、Mn：1.5%以下並適當地調整預備脫酸中的溶存氧量， $\text{SiO}_2\text{-MnO-Al}_2\text{O}_3$ 系夾雜物非延展性化，最終退火中的晶粒成長性提高。所述技術中應用的 Si 及 Mn 的添加量較少，理想的是 Si 及/或 Mn 的添加量增加所引起的進一步的鐵損減少。

[現有技術文獻]

[專利文獻]

【0006】 專利文獻 1：日本專利第 3490048 號公報

專利文獻 2：日本專利第 4218136 號公報

【發明內容】

【0007】 [發明所欲解決之課題]

本發明是鑒於所述實情而成者，其目的在於提出一種實質上未添加 Al 且 Si 及 Mn 的添加量多的鐵損低的無方向性電磁鋼板、以及容易製造該無方向性電磁鋼板的方法。

[解決課題之手段]

【0008】 發明者等人為了解決所述課題而反覆進行了努力研究。結果發現關於在未添加 Al 的鋼中添加了大量的 Si 及 Mn 的鋼，藉由降低熱軋後的捲繞溫度並抑制 Si-Mn 氮化物的析出，最

終退火時的晶粒成長性提高，可減少鐵損，從而開發出了本發明。

【0009】 首先，對作為開發本發明的契機的實驗進行說明。

<實驗 1>

發明者等人為了開發出鐵損優異的無方向性電磁鋼板，而再次著眼於 Mn 量增加所帶來的鐵損減少效果，並調查 Mn 對鐵損造成的影響。再者，與以下的組成成分相關的「%」表達只要無特別說明則是指「質量%」。

將含有 C：0.002%、Si：2.0%、P：0.01%、S：0.002%、Al：0.001%、N：0.0015%、B：0.0005%及 V：0.0010%的鋼組成作為基底，並將使 Mn 在 0.5%～3.0%的範圍內變化而添加至它們中而得的各種鋼塊作為供試材料。對該些的供試材料進行熱軋而製成板厚為 2.0 mm 的熱軋板。此時，熱軋後的冷卻是將 800℃～650℃間的平均冷卻速度設為 35℃/s 而進行。繼而，於在 650℃的溫度下實施捲繞處理後，實施 1000℃×10 s 的熱軋板退火。再者，將熱軋板退火後的 800℃～650℃間的平均冷卻速度設為 35℃/s。其後，進行冷軋而製成板厚為 0.25 mm 的冷軋板，最後於 20 vol%H₂-80 vol%N₂環境下實施 1000℃×10 s 的最終退火。利用 25 cm 愛普斯坦裝置測定如此獲得的鋼板的鐵損 W_{15/50}。

【0010】 圖 1 表示鋼板中的 Mn 量與鐵損 W_{15/50}的關係。如圖 1 所示，若 Mn 量未滿 1.0%，則可獲得隨著 Mn 量的增加而鐵損下降這一與先前見解相同的結果。然而，若 Mn 量為 1.0%以上，則再次可知不會追隨所述未滿 1.0%的鐵損的下降程度（圖中的點劃

線)，伴隨著 Mn 量的增加的鐵損的下降變小且幾乎不下降。為了調查所述原因，而利用光學顯微鏡觀察最終退火後的鋼板的剖面微觀組織，結果可知在 Mn 量為 1.0%以上的鋼板中結晶粒徑小。另外，使用提取複製品法並利用穿透式電子顯微鏡（Transmission Electron Microscope，TEM）進行鋼板的析出物觀察，結果於 Mn 量為 1.0%以上的鋼板中確認到許多微細的 Si-Mn 氮化物。

再者，所謂本發明中的 Si-Mn 氮化物設為如下析出物：以利用能量分散型 X 射線分析（Energy dispersive X-ray spectrometry，EDS）而獲得的原子數比計，Si 及 Mn 的比率的合計為 10%以上以及 N 的比率為 5%以上。此處，於 Mn 量為 1.0%以上的鋼板中，關於按照所述確定的所述微細的 Si-Mn 氮化物，確定了對磁壁移動造成大的影響的平均直徑為 50 nm～500 nm 的個數。

【0011】 此處，關於所述析出物觀察的結果，圖 2 中示出 Mn 量與平均直徑為 50 nm～500 nm 的 Si-Mn 氮化物的個數密度的關係。可知若 Mn 量為 1.0%以上，則 Si-Mn 氮化物的個數密度超過 1 個/ μm^3 。據此，認為鐵損增加的原因在於：由於伴隨著 Si-Mn 氮化物的個數密度的增加的晶粒成長性的下降，磁滯損耗增加。

【0012】 <實驗 2>

於 Mn 量為 1.0%以上的高 Mn 鋼中，調查熱軋板的捲繞溫度對鐵損造成的影響。即，將含有 C：0.002%、Si：2.0%、Mn：2.0%、P：0.02%、S：0.002%、Al：0.001%、N：0.0015%及 Nb：0.0005%的鋼塊作為供試材料。對所述供試材料進行熱軋而製成板厚為 2.0

mm 的熱軋板。此時，熱軋後的冷卻是將 $800^{\circ}\text{C} \sim 650^{\circ}\text{C}$ 間的平均冷卻速度設為 $35^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 。繼而，於在 $500^{\circ}\text{C} \sim 700^{\circ}\text{C}$ 的溫度下實施捲繞處理後，實施 $1000^{\circ}\text{C} \times 10 \text{ s}$ 的熱軋板退火。再者，將熱軋板退火後的 $800^{\circ}\text{C} \sim 650^{\circ}\text{C}$ 間的平均冷卻速度設為 $35^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 。其後，進行冷軋而製成板厚為 0.25 mm 的冷軋板，最後於 20 vol% H_2 -80 vol% N_2 環境下實施 $1000^{\circ}\text{C} \times 10 \text{ s}$ 的最終退火。利用 25 cm 愛普斯坦裝置測定如此獲得的鋼板的鐵損 $W_{15/50}$ 。

【0013】 將熱軋板的捲繞溫度與鐵損 $W_{15/50}$ 的關係示於圖 3 中。如圖 3 所示，可知若將捲繞溫度設為 650°C 以下，則鐵損減少。為了調查所述原因，而進行最終退火後的鋼板的剖面微觀組織的光學顯微鏡觀察，結果可知若將捲繞處理溫度設為 650°C 以下，則最終退火後的鋼板的結晶粒徑變大，結果鐵損減少。

【0014】 其次，使用提取複製品法並利用 TEM 進行最終退火板的析出物的觀察。圖 4 示出了熱軋板的捲繞溫度與平均直徑為 50 nm $\sim$ 500 nm 的 Si-Mn 氮化物的個數密度的關係。如該圖中所示，可知若將捲繞溫度設為 650°C 以下，則 Si-Mn 氮化物減少為 1 個/ μm^3 以下。

【0015】 如上所述，可知若將捲繞溫度設為 650°C 以下，則即便於 Mn 量為 1.0%以上的情況下，捲繞處理中的 Si-Mn 氮化物的析出亦得到抑制，可提高最終退火中的晶粒成長性。此處，關於若將捲繞溫度設為 650°C 以下則 Si-Mn 氮化物的析出得到抑制的原因，雖不明確，但認為原因在於：藉由使捲繞溫度下降，不會充

分引起 Si 及 Mn 的擴散，從而 Si-Mn 氮化物的析出得到抑制。

【0016】 根據該些結果可知：關於實質上未添加 Al 且大量添加了 Si 及 Mn 的鋼，藉由將熱軋後的捲繞溫度設為適當的條件，Si-Mn 氮化物的析出得到抑制，鐵損減少。

【0017】 本發明是基於所述新穎的見解而開發者。即，本發明的主旨構成如下所述。

1.一種無方向性電磁鋼板，其具有如下成分組成：以質量%計含有

C：0.0050%以下、

Si：2.0%以上且 6.0%以下、

Mn：1.0%以上且 3.0%以下、

P：0.20%以下、

S：0.0050%以下、

N：0.0050%以下及

Al：0.0050%以下，

進而含有選自

B：0.0001%以上且 0.0050%以下、

Nb：0.0001%以上且 0.0050%以下及

V：0.0005%以上且 0.0500%以下

中的一種以上，且剩餘部分為 Fe 及不可避免的雜質，平均直徑 50 nm 以上且 500 nm 以下的 Si-Mn 氮化物的個數密度為 1 個/ μm^3 以下。

【0018】 2.如所述 1 所述的無方向性電磁鋼板，其中所述成分組成進而以質量%計含有選自

Sn：0.01%以上且 0.50%以下及

Sb：0.01%以上且 0.50%以下

中的一種或兩種。

【0019】 3.如所述 1 或 2 所述的無方向性電磁鋼板，其中所述成分組成進而以質量%計含有選自

Ca：0.0001%以上且 0.0300%以下、

Mg：0.0001%以上且 0.0300%以下及

REM：0.0001%以上且 0.0300%以下

中的一種以上。

【0020】 4.如所述 1、2 或 3 所述的無方向性電磁鋼板，其中所述成分組成進而以質量%計含有選自

Ni：0.01%以上且 5.00%以下及

Co：0.01%以上且 5.00%以下

中的一種或兩種。

【0021】 5.一種無方向性電磁鋼板的製造方法，其包括：

熱軋步驟，對具有如所述 1～4 中任一項所述的成分組成的鋼坯進行熱軋而製成熱軋板；捲繞步驟，將所述熱軋板捲繞在線圈上；冷軋步驟，進行一次冷軋、或者夾雜著中間退火的兩次冷軋而製成冷軋板；以及最終退火步驟，對所述冷軋板進行最終退火；並且

於對所述熱軋後的熱軋板實施 800°C 以下且 650°C 以上之間的平均冷卻速度為 30°C/s 以上的冷卻後，於 650°C 以下進行所述捲繞。

【0022】 6.一種無方向性電磁鋼板的製造方法，其包括：

熱軋步驟，對具有如所述 1~4 中任一項所述的成分組成的鋼坯進行熱軋而製成熱軋板；捲繞步驟，將所述熱軋板捲繞在線圈上；冷軋步驟，於實施熱軋板退火後，進行一次冷軋、或者夾雜著中間退火的兩次冷軋而製成冷軋板；以及最終退火步驟，對所述冷軋板進行最終退火；並且

於對所述熱軋後的熱軋板實施 800°C 以下且 650°C 以上之間的平均冷卻速度為 30°C/s 以上的冷卻後，於 650°C 以下進行所述捲繞，

於所述熱軋板退火後實施 800°C 以下且 650°C 以上之間的平均冷卻速度為 30°C/s 以上的冷卻。

[發明的效果]

【0023】 根據本發明，可提供一種實質上未添加 Al 且藉由使 Si 及 Mn 的添加量增多而實現低鐵損的無方向性電磁鋼板。

【圖式簡單說明】

【0024】

圖 1 為表示 Mn 量與鐵損 $W_{15/50}$ 的關係的圖表。

圖 2 為表示 Mn 量與平均直徑為 50 nm 以上且 500 nm 以下的 Si-Mn 氮化物的個數密度的關係的圖表。

圖 3 為表示熱軋板的捲繞溫度與鐵損 $W_{15/50}$ 的關係的圖表。

圖 4 為表示熱軋板的捲繞溫度與平均直徑為 50 nm 以上且 500 nm 以下的 Si-Mn 氮化物的個數密度的關係的圖表。

【實施方式】

【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%以下

為了引起製品板中的磁時效而將 C 限制為 0.0050%以下。較佳為 0.0040%以下。另一方面，為了將 C 抑制為未滿 0.0005%而需要很大的製造成本，因此就成本方面而言，較佳為將 C 量設為 0.0005%以上。

【0026】 Si：2.0%以上且 6.0%以下

Si 是提高鋼的固有電阻且對於減少鐵損而言有效的元素，因此以 2.0%以上積極地添加。但是，若過剩量地添加，則明顯脆化而難以進行冷軋，因此將上限設為 6.0%。較佳為 2.5%以上且 4.0%以下的範圍。

【0027】 Mn：1.0%以上且 3.0%以下

Mn 是提高鋼的固有電阻且對於減少鐵損而言有效的元素，因此以 1.0%以上而積極地添加。但是，若超過 3.0%，則冷軋性下降，或者導致磁通密度的下降，因此將上限設為 3.0%。較佳為 1.0%以上且 2.0%以下的範圍。更佳為 1.2%以上，進而佳為 1.4%以上。

【0028】 P：0.20%以下

P 的固溶強化能力優異，因此為對於硬度調整及鑄模加工性的改善有效的元素。若 P 含量超過 0.20%，則脆化變得明顯，因此將上限設為 0.20%。較佳為 0.050%以下。另一方面，為了將 P 抑制為未滿 0.0005%而需要很大的製造成本，因此就成本方面而言，較佳為將 P 量設為 0.0005%以上。

【0029】 S：0.0050%以下

S 是生成硫化物而使鐵損增加的有害元素，因此將上限設為 0.0050%。較佳為 0.0040%以下。另一方面，為了將 S 抑制為未滿 0.0001%而需要很大的製造成本，因此就成本方面而言，較佳為將 S 量設為 0.0001%以上。

【0030】 N：0.0050%以下

N 是如所述般生成 Si-Mn 氮化物而使鐵損增加的有害元素，因此將上限設為 0.0050%。較佳為 0.0030%以下，進而佳為 0.0015%以下。另一方面，為了將 N 抑制為未滿 0.0001%而需要很大的製造成本，因此就成本方面而言，較佳為將 N 量設為 0.0001%以上。

【0031】 Al：0.0050%以下

就再循環的觀點而言，Al 理想的是實質未添加，另外若微量存在，則形成微細的 AlN 而阻礙晶粒成長，損害磁特性，因此將上限設為 0.0050%。較佳為 0.0030%以下。再者，所述的 Al 實質未添加是指包含 Al 量為零的情況，且在允許不可避免的混入量的範圍內存在 Al。

【0032】 Sn、Sb：0.01%以上且 0.50%以下

Sn 及 Sb 改善集合組織因此是對於磁通密度提高有效的元素。若兩種元素均不添加 0.01% 以上，則無效果，但即便添加超過 0.50%，所述效果亦飽和。因此，Sn 及 Sb 分別設為 0.01% 以上且 0.50% 以下的範圍。較佳為 0.03% 以上且 0.50% 以下的範圍。

【0033】 Ca、Mg、REM：0.0001% 以上且 0.0300% 以下

Ca、Mg 及 REM 均固定 S 並抑制硫化物的微細析出，因此是對於鐵損減少有效的元素。若任一種元素均不添加 0.0001% 以上，則無效果，但即便超過 0.0300% 而添加，所述效果亦飽和。因此，Ca、Mg 及 REM 分別設為 0.0001% 以上且 0.0300% 以下的範圍。較佳為 0.0020% 以上且 0.0300% 以下的範圍。

【0034】 Ni、Co：0.01% 以上且 5.00% 以下

Ni 及 Co 是提高鋼的固有電阻且對於減少鐵損而言有效的元素。若兩種元素均不添加 0.01% 以上，則無效果，但若超過 5.00% 而添加，則合金成本上升。因此，Ni 及 Co 分別設為 0.01% 以上且 5.00% 以下的範圍。較佳為 0.05% 以上且 5.00% 以下的範圍。

【0035】 選自 B、Nb：0.0001% 以上且 0.0050% 以下及 V：0.0005% 以上且 0.0500% 以下中的一種以上

B、Nb 及 V 均固定 N 並抑制 Si-Mn 氮化物的微細析出，因此是對於鐵損減少有效的元素。因此，B 及 Nb 分別以至少 0.0001% 以上添加，V 以 0.0005% 以上添加。另一方面，若 B 及 Nb 超過 0.0050%，V 超過 0.0500%，則於最終退火的加熱時不會固溶而妨礙晶粒成長。因此，將 B 及 Nb 分別設為 0.0001% 以上且 0.0050%

以下的範圍，而且將 V 設為 0.0005%以上且 0.0500%以下的範圍。
較佳為 B 及 Nb 分別為 0.0010%以上且 0.0040%以下的範圍，而且
V 為 0.0010%以上且 0.0200%以下的範圍。

【0036】 關於本發明的無方向性電磁鋼板，所述成分以外的剩餘部分是 Fe 及不可避免的雜質。但是，若為不阻礙本發明的效果的範圍內，則並非拒絕含有其他成分者。

【0037】 於本發明中，重要的是如上所述將作為對磁壁移動造成大的影響的大小的、鋼板內的平均直徑為 50 nm 以上且 500 nm 以下的 Si-Mn 氮化物的個數密度抑制為 1 個/ μm^3 以下。若個數密度超過 1 個/ μm^3 ，則最終退火板的鐵損不充分減少。較佳為 0.8 個/ μm^3 以下，更佳為 0.7 個/ μm^3 以下。當然亦可為 0 個/ μm^3 。

【0038】 此處，Si-Mn 氮化物如上所述是使用提取複製品法並利用 TEM 進行觀察。此時，在 Si-Mn 氮化物的直徑及數量不偏斜的程度的視野下進行測量。具體而言，較佳為在 10000 倍以上的視野下進行 1000 μm^2 的範圍的觀察。於所述觀察中，將對磁壁移動造成大的影響的直徑為 50 nm 以上且 500 nm 以下的 Si-Mn 氮化物作為對象，關於形狀並非各向同性者，將各氮化物的長徑與短徑的和除以 2 所得的值作為所述 Si-Mn 氮化物的直徑。Si-Mn 氮化物的個數密度以如下方式進行計算，即：在複製品製作過程中的電解步驟中對試樣表面進行通電的總電荷被消耗用於電解成 Fe 的二價離子，於電解時作為殘渣而殘留的析出物全部被捕捉到複製品上。本發明者等人在通常的複製品製作中，於試樣表面積中利

用 3 C/cm^2 的電量進行電解，因此於複製品上觀察到自試樣表面起處於約 $1.1\text{ }\mu\text{m}$ 的厚度內的析出物。

【0039】 其次，對本發明的無方向性電磁鋼板的製造方法進行敘述。

本發明的無方向性電磁鋼板若使用具有所述成分組成者作為所述製造中使用的鋼原材料，且熱軋後的冷卻條件及捲繞溫度為規定的範圍內，則可使用公知的無方向性電磁鋼板的製造方法而加以製造。例如，可採用如下方法：於轉爐或電爐等精煉製程中對調整為所述規定的成分組成的鋼進行鑄塊，利用脫氣設備等進行二次精煉，並連續進行鑄造而製成鋼坯，然後進行熱軋，視需要進行熱軋板退火後進行酸洗並進行冷軋、最終退火，進而進行消除應力退火。

【0040】 實施所述熱軋的熱軋板的板厚較佳為設為 $1.0\text{ mm}\sim 5.0\text{ mm}$ 。原因在於：若熱軋板的板厚未滿 1.0 mm ，則利用熱軋的軋製故障增加，另一方面，若超過 5.0 mm ，則接下來的步驟的冷軋壓下率變得過高，集合組織發生劣化。

【0041】 此處，熱軋後的冷卻重要的是將 800°C 以下且 650°C 以上之間的平均冷卻速度設為 30°C/s 以上。原因在於：於平均冷卻速度未滿 30°C/s 的情況下，於熱軋後的冷卻過程中析出大量的 Si-Mn 氮化物，且鐵損增加。另一方面，就抑制冷卻應變所帶來的變形的觀點而言，較佳為將 800°C 以下且 650°C 以上之間的平均冷卻速度設為 $300\text{ }^\circ\text{C/s}$ 以下。

【0042】 為了提高熱軋後的平均冷卻速度，例如有在熱軋後的輸出軋道上對鋼板噴霧水溫為 30°C 以下的冷卻水等的方法。進而為了提高冷卻速度，較佳為將冷卻水的噴霧方向不同的噴嘴在熱軋板的寬度方向上交替配置以使在鋼板上不製作水膜。

【0043】 實施了所述冷卻的熱軋板捲繞在線圈上，製成所述線圈的捲繞溫度需要設為 650°C 以下。所述捲繞溫度更佳為設為 600°C 以下，進而佳為 550°C 以下。原因在於：隨著捲繞溫度的下降，Si-Mn 氮化物的析出下降，尤其若為 550°C 以下，則幾乎確認不到析出。另一方面，若未滿 300°C ，則氮化物的析出量不會發生變化，設備能力變得過剩，因此較佳為將捲繞溫度設為 300°C 以上。

【0044】 再者，亦可視需要對熱軋板實施熱軋板退火。但是，不實施熱軋板退火者本發明的效果較顯著地顯現。原因在於：藉由熱軋板退火 Si-Mn 氮化物在熱軋板退火後的冷卻過程中容易析出。再者，於實施熱軋板退火的情況下，較佳為將均熱溫度設為 $900^{\circ}\text{C} \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 的範圍。即，若均熱溫度未滿 900°C ，則無法充分獲得熱軋板退火的效果，因此磁特性不會提高，另一方面，若超過 1200°C ，則除了於成本上不利以外，會產生水垢（scale）所引起的表面瑕疵。於熱軋板退火後，為了抑制 Si-Mn 氮化物的析出，如上所述實施使 800°C 以下且 650°C 以上之間的冷卻速度為 $30^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 以上的冷卻。

【0045】 其次，熱軋板或熱軋退火板的冷軋較佳為設為一次或夾雜著中間退火的兩次以上。尤其關於最終的冷軋，於設為在板溫

為 200℃ 左右的溫度下進行軋製的溫軋的情況下，提高磁通密度的效果大，因此若在設備方面或生產制約方面、或者於成本上無問題，則較佳為設為溫軋。

再者，所述冷軋板的板厚（最終板厚）較佳為設為 0.1 mm～0.5 mm 的範圍。原因在於：若未滿 0.1 mm，則生產性下降，另一方面，若超過 0.5 mm，則鐵損的減少效果小。

【0046】 對為所述最終板厚的冷軋板實施的最終退火較佳為於連續退火爐中在 700℃～1200℃ 的溫度下進行 1 秒～300 秒均熱。原因在於：若均熱溫度未滿 700℃，則除了再結晶不充分進行而無法獲得良好的磁特性以外，無法充分獲得連續退火中的板形狀的矯正效果；另一方面，若超過 1200℃，則結晶粒粗大化，韌性下降。另外，原因在於：若均熱時間未滿 1 秒，則結晶粒徑的控制變得困難，若超過 300 秒，則生產性下降。

【0047】 關於所述最終退火後的鋼板，其後為了提高層間電阻並減少鐵損而較佳為於鋼板表面被覆絕緣被膜。尤其是於欲確保良好的鑄模性的情況下，理想的是應用含有樹脂的半有機的絕緣被膜。

【0048】 關於被覆絕緣被膜的無方向性電磁鋼板，使用者可進而在實施消除應力退火後使用，亦可不實施消除應力退火而直接使用。另外，使用者亦可於實施鑄模加工後實施消除應力退火。再者，所述消除應力退火通常在 750℃×2 小時左右的條件下進行。

[實施例 1]

【0049】 於轉爐-真空脫氣處理的精煉製程中，對具有表 1 所示的成分組成的 No.1～No.73 的鋼進行鑄塊，利用連續鑄造法製成鋼坯後，於 1140℃ 下對鋼坯進行 1 小時加熱並進行熱軋直至板厚為 2.0 mm，於表 2 所示的條件下進行熱軋後的冷卻及捲繞處理。繼而，對所述熱軋板實施 1000℃×30 秒的熱軋板退火後，對所述鋼板進行酸洗，進行冷軋直至板厚為 0.25 mm。再者，將熱軋板退火後的 800℃～650℃ 的平均冷卻速度設為 32℃/s。其後，於 20 vol%H₂-80 vol%N₂ 環境下實施 1000℃×10 s 的最終退火，於鋼板上塗佈絕緣被膜而製成無方向性電磁鋼板。最後，使用 30 mm×280 mm 的愛普斯坦試驗片並利用 25 cm 愛普斯坦裝置評價鐵損 W_{15/50}，進而使用提取複製品法並利用 TEM 測定最終退火板的 Si-Mn 氮化物的個數密度。將其結果示於表 2 中。再者，Si-Mn 氮化物的個數密度是根據在以 10000 倍觀察 1000 μm² 的範圍的視野時所存在的 Si-Mn 氮化物的個數而計算出。

【0050】 根據表 2 可知，藉由將鋼原材料的成分組成與捲繞處理條件控制在本發明的範圍內，可容易獲得鐵損優異的無方向性電磁鋼板。

【 0051 】 [表 1]

表 1

(質 量 %)

條件 No	C	Si	Mn	P	S	N	Al	Sn	Sb	Ca	Mg	REM	Ni	Co	B	Nb	V
1	0.0016	2.51	1.51	0.011	0.0024	0.0011	0.0010	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0001	tr.	tr.
2	0.0015	1.50	1.50	0.010	0.0020	0.0011	0.0010	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0002	tr.	tr.
3	0.0015	2.01	1.50	0.010	0.0020	0.0011	0.0010	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0002	tr.	tr.
4	0.0019	3.00	1.50	0.010	0.0020	0.0014	0.0010	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0002	tr.	tr.
5	0.0017	4.03	1.53	0.010	0.0023	0.0014	0.0007	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0001	tr.	tr.
6	0.0020	5.04	1.51	0.008	0.0023	0.0015	0.0008	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0001	tr.	tr.
7	0.0018	6.50	1.06	0.008	0.0020	0.0014	0.0007	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0001	tr.	tr.
8	0.0020	2.54	0.89	0.008	0.0030	0.0025	0.0008	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0001	tr.	tr.
9	0.0020	2.55	1.06	0.008	0.0030	0.0015	0.0008	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0001	tr.	tr.
10	0.0019	2.51	1.96	0.012	0.0022	0.0014	0.0001	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0001	tr.	tr.
11	0.0018	2.51	2.93	0.011	0.0022	0.0015	0.0009	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0002	tr.	tr.
12	0.0017	2.52	3.25	0.011	0.0021	0.0018	0.0009	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0002	tr.	tr.
13	0.0015	2.50	1.05	0.011	0.0018	0.0017	0.0007	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0002	tr.	tr.
14	0.0017	2.50	1.05	0.011	0.0017	0.0015	0.0007	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0002	tr.	tr.
15	0.0016	2.50	1.05	0.011	0.0016	0.0016	0.0007	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0001	tr.	tr.
16	0.0020	2.46	1.54	0.011	0.0025	0.0010	0.0007	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0001	tr.	tr.
17	0.0015	2.53	1.50	0.012	0.0022	0.0014	0.0006	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0001	tr.	tr.
18	0.0021	2.54	1.47	0.012	0.0028	0.0012	0.0008	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0001	tr.	tr.
19	0.0008	2.46	1.51	0.011	0.0028	0.0013	0.0006	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0002	tr.	0.0005
20	0.0044	2.47	1.55	0.012	0.0022	0.0014	0.0009	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0002	tr.	0.0005

21	0.0060	2.48	1.56	0.012	0.0023	0.0015	0.0009	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0002	tr.	0.0005
22	0.0021	2.53	1.51	0.080	0.0024	0.0012	0.0008	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0002	tr.	0.0005
23	0.0019	2.52	1.50	0.162	0.0025	0.0011	0.0008	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0002	tr.	0.0005
24	0.0017	2.52	1.52	0.225	0.0021	0.0013	0.0007	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0002	tr.	0.0005
25	0.0020	2.52	1.48	0.009	0.0008	0.0006	0.0009	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0002	tr.	0.0005
26	0.0025	2.53	1.52	0.011	0.0045	0.0011	0.0009	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0002	tr.	0.0005
27	0.0021	2.54	1.50	0.011	0.0060	0.0013	0.0009	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0002	tr.	0.0005
28	0.0024	2.54	1.50	0.008	0.0030	0.0006	0.0008	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0002	tr.	0.0005
29	0.0015	2.51	1.53	0.012	0.0029	0.0047	0.0009	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0001	tr.	0.0005
30	0.0020	2.49	1.52	0.012	0.0022	0.0062	0.0009	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0001	tr.	0.0005
31	0.0016	2.50	1.53	0.012	0.0026	0.0011	0.0045	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0001	tr.	0.0005
32	0.0017	2.53	1.49	0.012	0.0020	0.0011	0.0072	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0001	tr.	0.0005
33	0.0015	2.50	1.46	0.008	0.0020	0.0011	0.0007	0.01	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0001	tr.	0.0005
34	0.0020	2.50	1.46	0.008	0.0021	0.0011	0.0007	0.03	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0001	tr.	0.0005
35	0.0016	2.46	1.49	0.011	0.0030	0.0014	0.0007	0.47	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0001	tr.	0.0005
36	0.0022	2.50	1.53	0.008	0.0028	0.0010	0.0010	0.61	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0001	tr.	0.0005
37	0.0021	2.49	1.50	0.011	0.0023	0.0015	0.0007	tr.	0.005	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0001	tr.	0.0005
38	0.0022	2.51	1.53	0.011	0.0026	0.0012	0.0007	tr.	0.04	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0001	tr.	0.0006
39	0.0022	2.51	1.53	0.011	0.0026	0.0012	0.0007	tr.	0.60	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0001	tr.	0.0006
40	0.0017	2.47	1.51	0.009	0.0027	0.0014	0.0009	0.03	0.03	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0001	tr.	0.0006
41	0.0021	2.46	1.50	0.011	0.0023	0.0014	0.0008	tr.	tr.	0.0010	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0005
42	0.0022	2.46	1.51	0.011	0.0030	0.0013	0.0008	tr.	tr.	0.0031	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0006
43	0.0024	2.47	1.50	0.012	0.0021	0.0011	0.0010	tr.	tr.	0.0121	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0006
44	0.0024	2.47	1.50	0.012	0.0021	0.0011	0.0010	tr.	tr.	0.0400	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0006
45	0.0016	2.49	1.54	0.012	0.0022	0.0014	0.0008	tr.	tr.	tr.	0.0029	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0006
46	0.0016	2.49	1.54	0.012	0.0022	0.0014	0.0008	tr.	tr.	tr.	0.0350	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0006
47	0.0016	2.51	1.45	0.008	0.0025	0.0011	0.0007	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0035	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0006
48	0.0016	2.51	1.45	0.008	0.0025	0.0011	0.0007	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0360	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0006
49	0.0020	2.47	1.46	0.010	0.0027	0.0011	0.0007	tr.	tr.	0.0033	0.0028	0.0033	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0006

50	0.0019	2.46	1.46	0.011	0.0020	0.0010	0.0007	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.01	tr.	tr.	tr.	0.0006
51	0.0022	2.46	1.45	0.011	0.0029	0.0010	0.0007	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.05	tr.	tr.	tr.	0.0005
52	0.0016	2.51	1.54	0.009	0.0022	0.0015	0.0007	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	2.05	tr.	tr.	tr.	0.0005
53	0.0019	2.46	1.46	0.100	0.2200	0.0010	0.0007	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	6.00	tr.	tr.	tr.	0.0006
54	0.0019	2.47	1.49	0.008	0.0022	0.0012	0.0008	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.01	tr.	tr.	0.0005
55	0.0017	2.47	1.51	0.008	0.0029	0.0012	0.0008	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.05	tr.	tr.	0.0005
56	0.0020	2.47	1.51	0.011	0.0029	0.0130	0.0008	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	6.00	tr.	tr.	0.0005
57	0.0022	2.47	1.53	0.012	0.0022	0.0010	0.0007	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.05	0.05	tr.	tr.	0.0005
59	0.0019	2.50	1.50	0.008	0.0018	0.0014	0.0009	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0003	tr.	0.0005
60	0.0018	2.50	1.50	0.009	0.0017	0.0014	0.0007	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0011	tr.	0.0005
61	0.0015	2.51	1.52	0.010	0.0015	0.0013	0.0001	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0037	tr.	0.0005
62	0.0020	2.51	1.52	0.010	0.0020	0.0012	0.0008	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0060	tr.	0.0005
63	0.0022	2.51	1.50	0.010	0.0021	0.0011	0.0008	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0003	tr.
64	0.0019	2.50	1.50	0.011	0.0021	0.0012	0.0008	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0013	tr.
65	0.0022	2.51	1.50	0.010	0.0021	0.0011	0.0008	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0033	tr.
66	0.0022	2.51	1.50	0.010	0.0021	0.0011	0.0008	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0060	tr.
67	0.0018	2.50	1.50	0.011	0.0008	0.0011	0.0009	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0006
68	0.0018	2.50	1.50	0.011	0.0019	0.0014	0.0007	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0015
69	0.0018	2.51	1.50	0.012	0.0015	0.0014	0.0008	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0140
70	0.0018	2.50	1.50	0.001	0.0016	0.0014	0.0008	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0340
71	0.0018	2.50	1.50	0.001	0.0016	0.0014	0.0008	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0600
72	0.0019	2.50	1.50	0.010	0.0018	0.0011	0.0009	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0011	0.0003	0.0210
73	0.0020	2.51	1.50	0.010	0.0021	0.0010	0.0009	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.0015	tr.	0.0220

【 0052】 [表 2]

表 2

條件 No	熱軋時的冷卻速度 (℃/s)	線圈捲繞 溫度(℃)	Si-Mn 氮化物 個數密度 (個/μm ³)	W _{15/50} (W/kg)	B ₅₀ (T)	備考
1	50	550	0.63	2.15	1.701	發明例
2	50	550	0.10	3.05	1.730	比較例
3	50	550	0.30	2.25	1.710	發明例
4	50	550	0.61	2.09	1.682	發明例
5	50	550	0.61	1.99	1.662	發明例
6	50	550	0.63	1.88	1.663	發明例
7	50	550	-	-	-	比較例（冷軋時裂紋）
8	50	550	0.63	2.41	1.715	比較例
9	50	550	0.60	2.18	1.712	發明例
10	50	550	0.60	2.12	1.690	發明例
11	50	550	0.62	2.07	1.671	發明例
12	50	550	0.62	2.35	1.652	比較例
13	20	600	1.21	2.32	1.690	比較例
14	35	600	0.66	2.20	1.700	發明例
15	50	600	0.62	2.18	1.705	發明例
16	50	600	0.68	2.19	1.703	發明例
17	50	650	0.84	2.26	1.701	發明例
18	50	700	1.25	2.30	1.697	比較例
19	50	550	0.62	2.14	1.700	發明例
20	50	550	0.63	2.19	1.701	發明例
21	50	550	0.64	2.30	1.696	比較例
22	50	550	0.63	2.15	1.702	發明例
23	50	550	0.64	2.16	1.701	發明例
24	50	550	-	-	-	比較例（冷軋時裂紋）
25	50	550	0.61	2.13	1.702	發明例
26	50	550	0.63	2.21	1.702	發明例
27	50	550	0.62	2.45	1.680	比較例
28	50	550	0.50	2.08	1.701	發明例
29	50	550	0.95	2.22	1.702	發明例
30	50	550	1.12	2.41	1.685	比較例
31	50	550	0.64	2.16	1.701	發明例
32	50	550	0.59	2.72	1.672	比較例
33	50	550	0.62	2.16	1.705	發明例
34	50	550	0.62	2.15	1.715	發明例
35	50	550	0.61	2.16	1.723	發明例
36	50	550	0.61	2.58	1.718	比較例
37	50	550	0.63	2.15	1.706	發明例
38	50	550	0.64	2.14	1.723	發明例
39	50	550	0.62	2.41	1.710	比較例
40	50	550	0.61	2.16	1.723	發明例
41	50	550	0.60	2.10	1.700	發明例

42	50	550	0.60	2.09	1.703	發明例
43	50	550	0.63	1.99	1.702	發明例
44	50	550	0.61	2.55	1.697	比較例
45	50	550	0.62	2.08	1.701	發明例
46	50	550	0.61	2.51	1.701	比較例
47	50	550	0.62	2.08	1.701	發明例
48	50	550	0.60	2.77	1.691	比較例
49	50	550	0.61	2.04	1.702	發明例
50	50	550	0.62	2.12	1.701	發明例
51	50	550	0.62	2.12	1.705	發明例
52	50	550	0.64	2.01	1.715	發明例
53	50	550	0.63	3.10	1.681	比較例
54	50	550	0.63	2.12	1.701	發明例
55	50	550	0.64	2.10	1.710	發明例
56	50	550	0.62	3.22	1.655	比較例
57	50	550	0.61	2.05	1.722	發明例
59	50	550	0.52	2.09	1.700	發明例
60	50	550	0.45	2.04	1.701	發明例
61	50	550	0.38	2.03	1.702	發明例
62	50	550	0.21	2.44	1.681	比較例
63	50	550	0.59	2.11	1.702	發明例
64	50	550	0.53	2.10	1.702	發明例
65	50	550	0.39	2.06	1.701	發明例
66	50	550	0.22	2.51	1.682	比較例
67	50	550	0.57	2.12	1.703	發明例
68	50	550	0.42	2.09	1.704	發明例
69	50	550	0.34	2.04	1.703	發明例
70	50	550	0.29	2.03	1.701	發明例
71	50	550	0.25	2.65	1.682	比較例
72	50	550	0.19	1.96	1.710	發明例
73	50	550	0.21	1.98	1.708	發明例

實施例 2

【0053】 在轉爐-真空脫氣處理的精煉製程中，不對表 1 中製造的 No.1～No.73 的鋼坯進行熱軋板退火，除此以外實施與實施例 1 相同的處理而製成無方向性電磁鋼板。最後，使用 30 mm×280 mm 的愛普斯坦試驗片並利用 25 cm 愛普斯坦裝置評價鐵損 $W_{15/50}$ ，進而使用與實施例 1 相同的提取複製品法並利用 TEM 測定最終退火板的 Si-Mn 氮化物的個數密度。將其結果示於表 3 中。

【0054】 根據表 3 可知，藉由將鋼原材料的成分組成與捲繞處理條件控制在本發明的範圍內，可容易獲得鐵損優異的無方向性電磁鋼板。

【0055】 [表 3]

表 3				
條件 No	Si-Mn 氮化物 個數密度 (個/ μm^3)	$W_{15/50}$ (W/kg)	B_{50} (T)	備考
1	0.60	2.16	1.682	發明例
2	0.12	3.15	1.701	比較例
3	0.29	2.29	1.681	發明例
4	0.64	2.18	1.661	發明例
5	0.63	2.07	1.631	發明例
6	0.63	1.95	1.633	發明例
7	-	-	-	比較例 (冷軋時裂紋)
8	0.62	2.41	1.685	比較例
9	0.62	2.29	1.693	發明例
10	0.63	2.21	1.660	發明例
11	0.64	2.17	1.652	發明例
12	0.65	2.44	1.632	比較例
13	1.25	2.41	1.671	比較例
14	0.68	2.28	1.675	發明例
15	0.65	2.25	1.674	發明例
16	0.68	2.22	1.678	發明例
17	0.93	2.29	1.675	發明例
18	1.42	2.41	1.672	比較例
19	0.64	2.21	1.681	發明例
20	0.63	2.26	1.680	發明例
21	0.65	2.40	1.672	比較例
22	0.61	2.25	1.682	發明例
23	0.63	2.26	1.681	發明例
24	-	-	-	比較例 (冷軋時裂紋)
25	0.62	2.21	1.683	發明例
26	0.60	2.28	1.681	發明例
27	0.63	2.55	1.662	比較例
28	0.51	2.12	1.682	發明例
29	0.96	2.29	1.681	發明例
30	1.16	2.51	1.662	比較例
31	0.62	2.26	1.682	發明例
32	0.60	2.81	1.652	比較例
33	0.60	2.21	1.687	發明例
34	0.60	2.22	1.687	發明例

35	0.61	2.21	1.702	發明例
36	0.63	2.69	1.705	比較例
37	0.62	2.25	1.701	發明例
38	0.62	2.24	1.701	發明例
39	0.64	2.51	1.692	比較例
40	0.60	2.26	1.703	發明例
41	0.63	2.20	1.680	發明例
42	0.63	2.20	1.682	發明例
43	0.64	2.08	1.681	發明例
44	0.64	2.66	1.679	比較例
45	0.64	2.15	1.682	發明例
46	0.64	2.61	1.683	比較例
47	0.63	2.15	1.682	發明例
48	0.62	2.81	1.671	比較例
49	0.60	2.11	1.680	發明例
50	0.64	2.19	1.681	發明例
51	0.64	2.18	1.683	發明例
52	0.62	2.11	1.695	發明例
53	0.63	3.10	1.661	比較例
54	0.63	2.19	1.681	發明例
55	0.63	2.18	1.700	發明例
56	0.63	3.33	1.645	比較例
57	0.61	2.09	1.697	發明例
59	0.58	2.17	1.688	發明例
60	0.52	2.11	1.684	發明例
61	0.47	2.12	1.685	發明例
62	0.35	2.49	1.661	比較例
63	0.57	2.20	1.680	發明例
64	0.52	2.19	1.686	發明例
65	0.43	2.11	1.679	發明例
66	0.33	2.61	1.663	比較例
67	0.58	2.21	1.649	發明例
68	0.58	2.17	1.685	發明例
69	0.44	2.12	1.688	發明例
70	0.31	2.11	1.682	發明例
71	0.29	2.71	1.663	比較例
72	0.21	2.05	1.687	發明例
73	0.23	2.07	1.694	發明例

【符號說明】

【0056】

無

【發明申請專利範圍】

【請求項 1】一種無方向性電磁鋼板，其具有如下成分組成：以質量%計含有

C：0.0050%以下、

Si：2.0%以上且 6.0%以下、

Mn：1.0%以上且 3.0%以下、

P：0.20%以下、

S：0.0050%以下、

N：0.0050%以下及

Al：0.0050%以下，

進而含有選自

B：0.0001%以上且 0.0050%以下、

Nb：0.0001%以上且 0.0050%以下及

V：0.0005%以上且 0.0500%以下

中的一種以上，且剩餘部分為 Fe 及不可避免的雜質，平均直徑 50 nm 以上且 500 nm 以下的 Si-Mn 氮化物的個數密度為 1 個/ μm^3 以下。

【請求項 2】如請求項 1 所述的無方向性電磁鋼板，其中所述成分組成進而以質量%計含有選自

Sn：0.01%以上且 0.50%以下及

Sb：0.01%以上且 0.50%以下

中的一種或兩種。

【請求項 3】如請求項 1 或請求項 2 所述的無方向性電磁鋼板，其中所述成分組成進而以質量%計含有選自

Ca：0.0001%以上且 0.0300%以下、

Mg：0.0001%以上且 0.0300%以下及

REM：0.0001%以上且 0.0300%以下

中的一種以上。

【請求項 4】如請求項 1 或請求項 2 所述的無方向性電磁鋼板，其中所述成分組成進而以質量%計含有選自

Ni：0.01%以上且 5.00%以下及

Co：0.01%以上且 5.00%以下

中的一種或兩種。

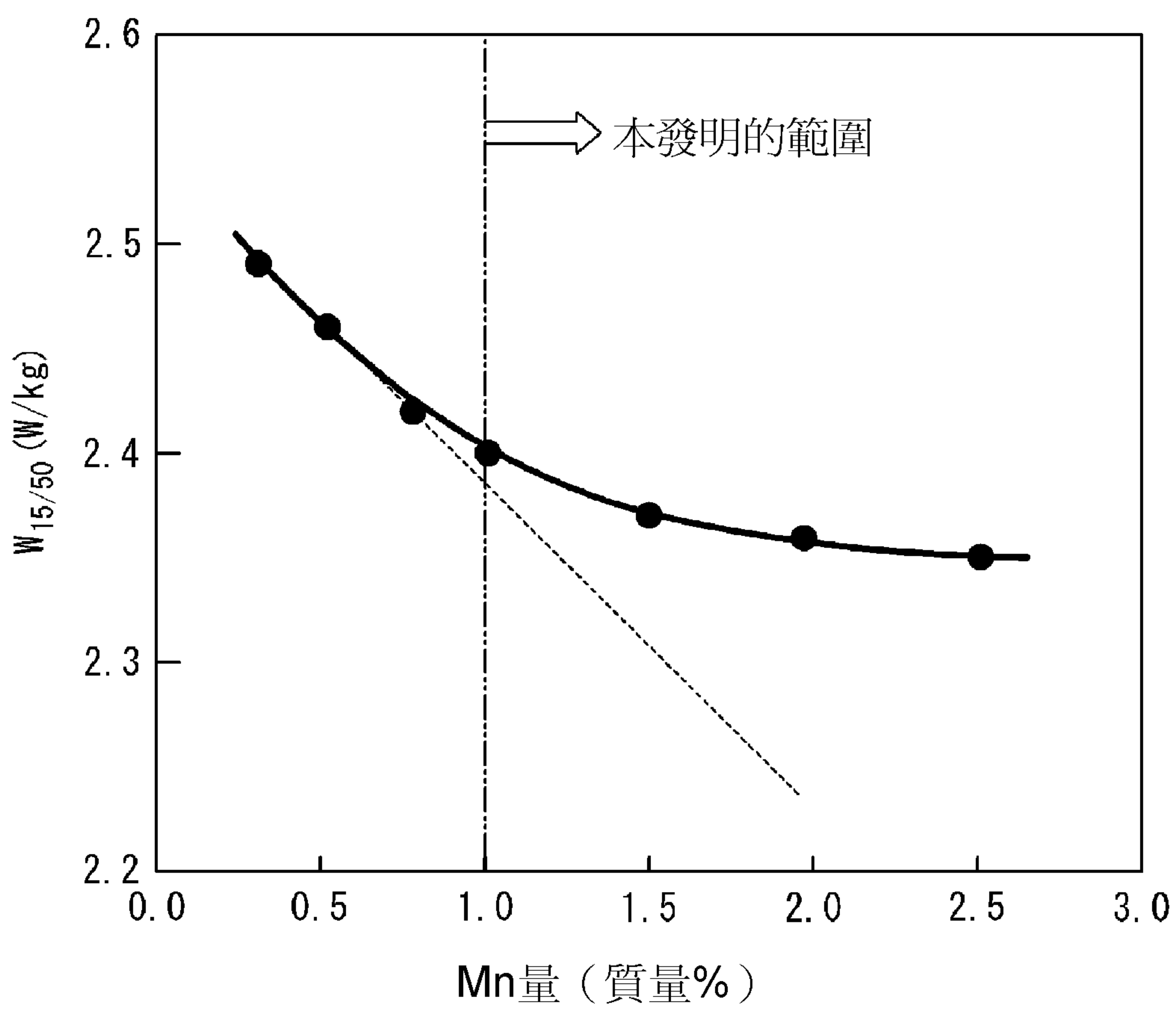
【請求項 5】如請求項 3 所述的無方向性電磁鋼板，其中所述成分組成進而以質量%計含有選自

Ni：0.01%以上且 5.00%以下及

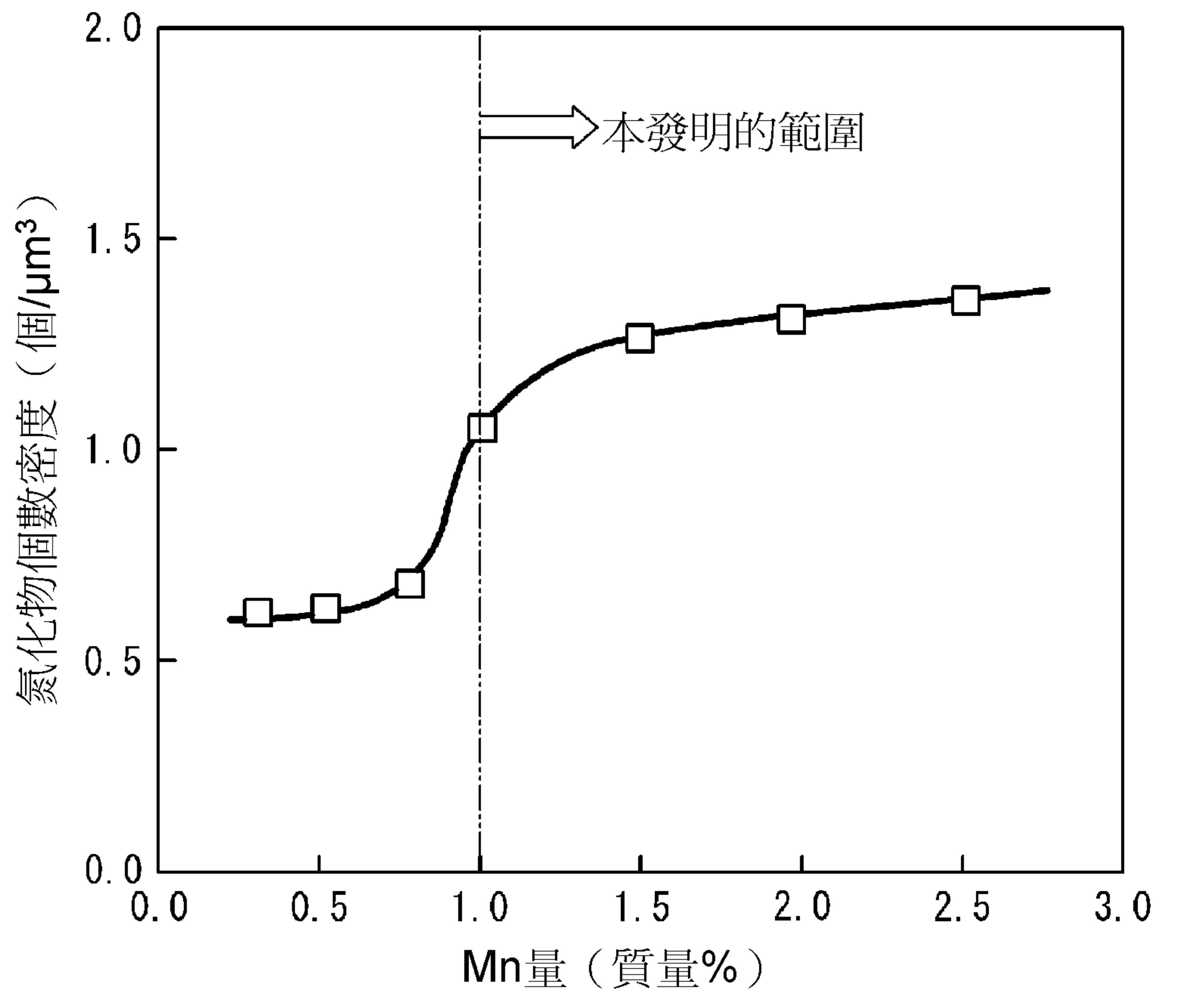
Co：0.01%以上且 5.00%以下

中的一種或兩種。

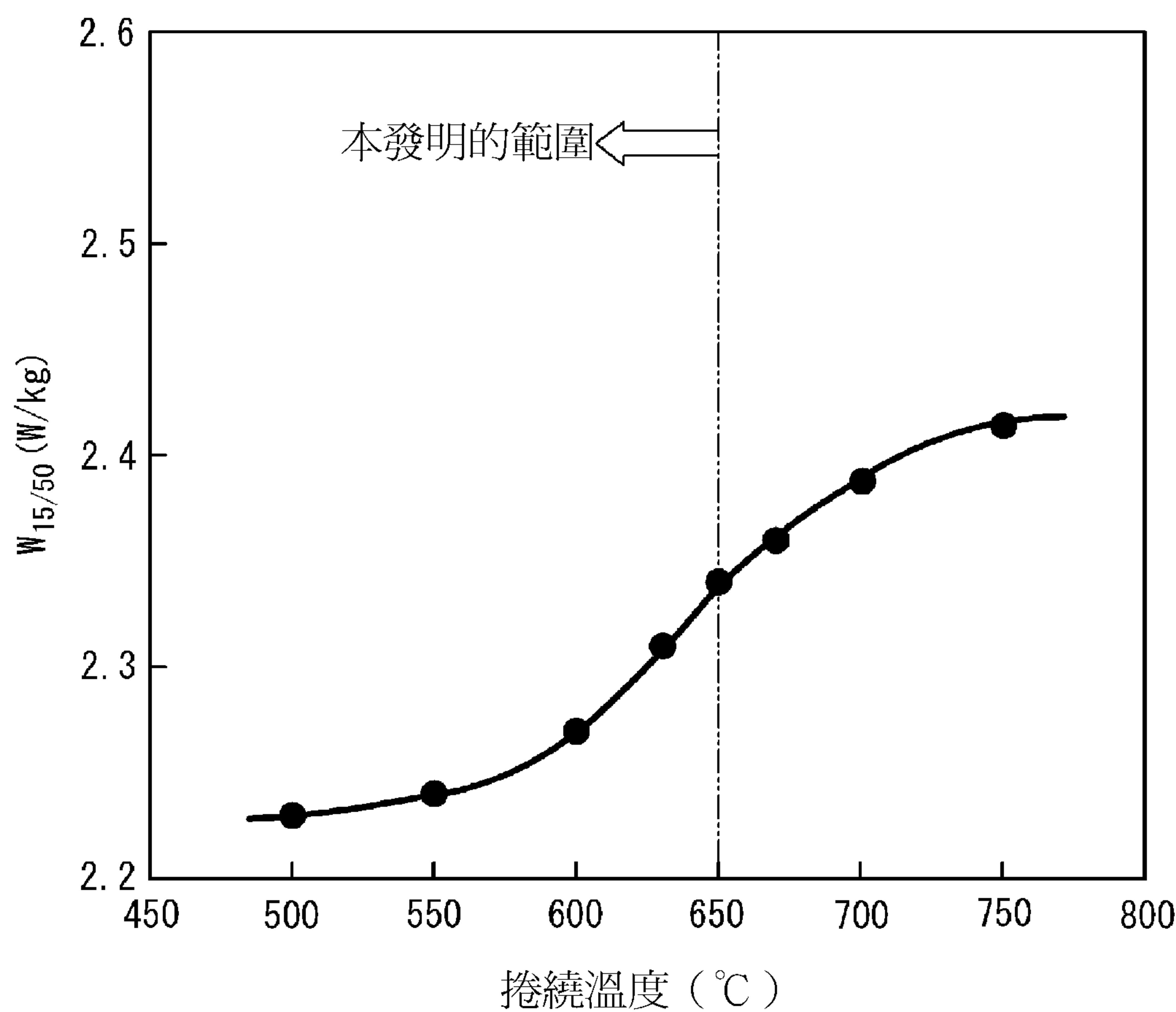
【發明圖式】



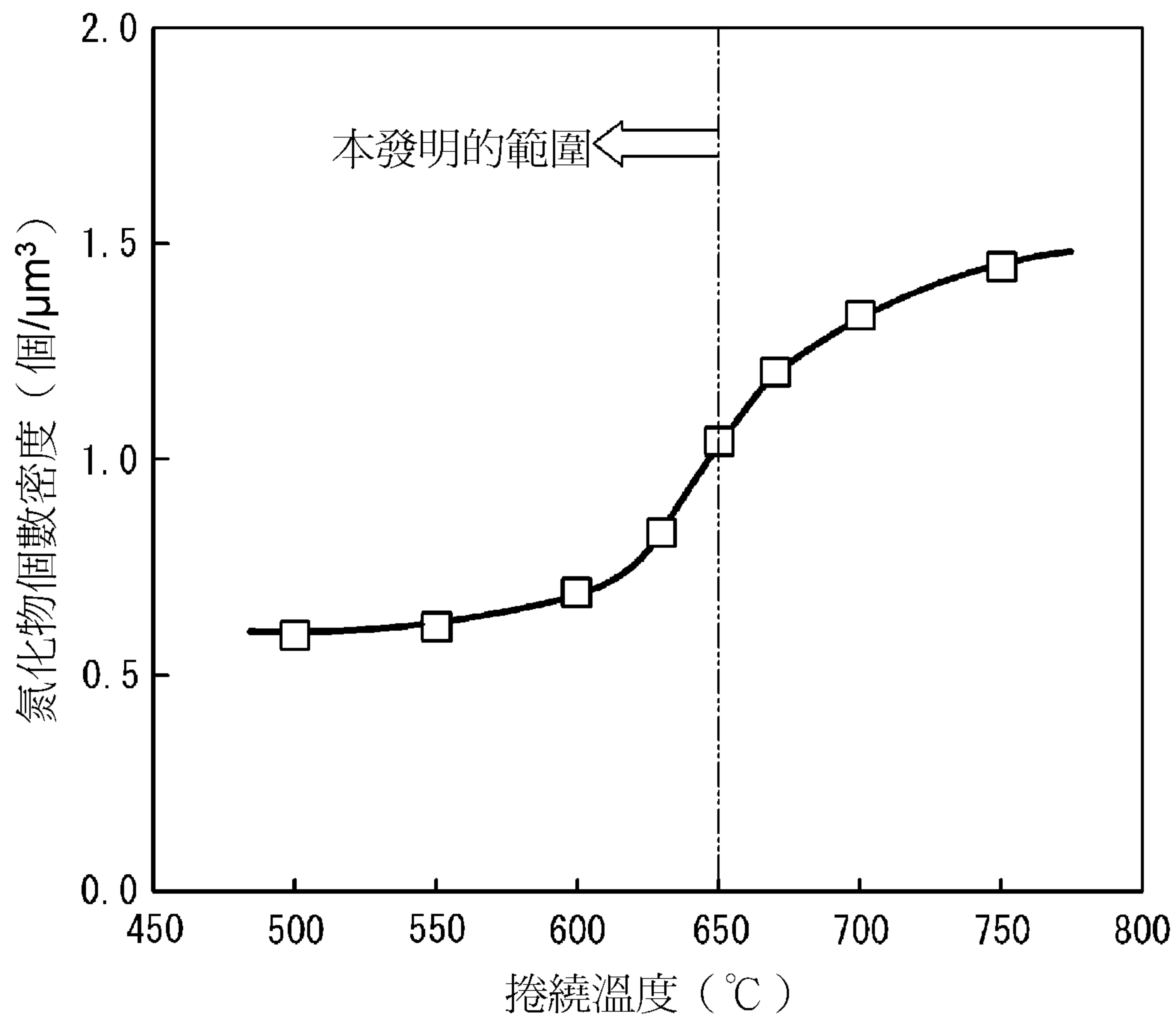
【圖1】



【圖2】



【圖3】



【圖4】