



(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 I883806 B

(45)公告日：中華民國 114 (2025) 年 05 月 11 日

(21)申請案號：113103868

(22)申請日：中華民國 113 (2024) 年 02 月 01 日

(51)Int. Cl. : C22C38/16 (2006.01)

C21D8/12 (2006.01)

C21D9/46 (2006.01)

H01F1/147 (2006.01)

H01F1/16 (2006.01)

(30)優先權：2023/02/01 日本

2023-014242

(71)申請人：日商日本製鐵股份有限公司(日本) NIPPON STEEL CORPORATION (JP)

日本

(72)發明人：屋鋪裕義 YASHIKI, HIROYOSHI (JP)；名取義顯 NATORI, YOSHIAKI (JP)；片岡隆史 KATAOKA, TAKASHI (JP)；竹田和年 TAKEDA, KAZUTOSHI (JP)；田中一郎 TANAKA, ICHIRO (JP)；堀弘樹 HORI, HIROKI (JP)

(74)代理人：劉法正；尹重君

(56)參考文獻：

CN 103173678A

CN 113981307A

審查人員：李南漳

申請專利範圍項數：4 項 圖式數：0 共 26 頁

(54)名稱

無方向性電磁鋼板及其製造方法

(57)摘要

一種無方向性電磁鋼板，其母材之化學組成為：以質量%計，C：0.0040%以下、Si：大於 3.50% 且 4.50%以下、Mn：小於 0.60%、Al：0.30~0.90%、P：0.030%以下、S：0.0018%以下、N：0.0040%以下、Ti：小於 0.0040%、Nb：小於 0.0050%、Zr：小於 0.0050%、V：小於 0.0050%、Cu：小於 0.200%、Ni：小於 0.500%、Sn 及 Sb 之 1 種或 2 種的合計：0.005~0.060%、及剩餘部分：Fe 及不純物，且滿足 $4.2 \leq \text{Si} + \text{Al} + 0.5 \times \text{Mn} \leq 4.9$ ；母材之平均結晶粒徑大於 40 $\mu\text{m}$  且 140 $\mu\text{m}$  以下；{111}方位之聚集度為 4.0 以下；且母材之板厚為 0.10~0.30mm。



I883806

## 【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】

一種無方向性電磁鋼板，其母材之化學組成為：以質量%計，C：0.0040%以下、Si：大於3.50%且4.50%以下、Mn：小於0.60%、Al：0.30~0.90%、P：0.030%以下、S：0.0018%以下、N：0.0040%以下、Ti：小於0.0040%、Nb：小於0.0050%、Zr：小於0.0050%、V：小於0.0050%、Cu：小於0.200%、Ni：小於0.500%、Sn及Sb之1種或2種的合計：0.005~0.060%、及剩餘部分：Fe及不純物，且滿足 $4.2 \leq \text{Si} + \text{Al} + 0.5 \times \text{Mn} \leq 4.9$ ；母材之平均結晶粒徑大於 $40\mu\text{m}$ 且 $140\mu\text{m}$ 以下；{111}方位之聚集度為4.0以下；且母材之板厚為0.10~0.30mm。

【指定代表圖】(無)

【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】

無方向性電磁鋼板及其製造方法

### 【技術領域】

【0001】 本發明涉及無方向性電磁鋼板及其製造方法。

### 【先前技術】

【0002】 近年來，地球環境問題備受矚目，對於節省能源之對策的要求益發提高。其中亦強烈要求電器之高效率化。因此，關於作為馬達或發電機等的鐵心材料而被廣泛使用的無方向性電磁鋼板，針對提升磁特性的訴求亦進一步增強。以電動汽車及動力混合車用的驅動馬達、以及空調的壓縮機用馬達而言，該傾向十分顯著。此外，驅動馬達或壓縮機用馬達方面，亦強烈要求高輸出化以有效達成機器之小型化。

【0003】 為了達成馬達之高效率化，減低成為損失主體之鐵損及銅損係為重要。減低用作馬達之鐵心的電磁鋼板之鐵損可有效減低鐵損，而提高電磁鋼板之磁通密度可有效減低銅損。另一方面，為了達成馬達之高輸出化，高轉矩化及高速旋轉化係為重要。提高電磁鋼板之磁通密度可有效達成高轉矩化，而提高電磁鋼板之強度可有效高速旋轉化。因此，為了進行馬達之高效率化與高輸出化，而要求一種低鐵損、高磁通密度及高強度之電磁鋼板。

【0004】 如上述之各種馬達的馬達鐵芯係由固定子即定子、及旋轉子即轉子所構成。供構成馬達鐵芯之定子及轉子所要求的特性互異。對於定子係要求優異磁特性(低鐵損及高磁通密度)，相對於此，對於轉子係要求低鐵損與優異機械特性(高強度)。

【0005】 就定子與轉子所要求的特性不同，故可藉由分別製造定子用無方向性電磁鋼板與轉子用無方向性電磁鋼板來實現所期望之特性。然而，準備2種

無方向性電磁鋼板不僅會使鐵心之製造步驟變得繁雜，亦會導致產率降低。於是，為了實現轉子所要求之低鐵損與高強度，並實現定子所要求之低鐵損與高磁通密度，迄今已持續研討磁特性優異且強度亦優異之無方向性電磁鋼板。

【0006】 例如，在專利文獻1~4中，實行了為了實現優異磁特性與高強度之嘗試。

【0007】 先前技術文獻

專利文獻

專利文獻1：國際公開第2019/017426號

專利文獻2：國際公開第2020/091039號

專利文獻3：國際公開第2020/091043號

專利文獻4：日本專利特開2010-90474號公報

## 【發明內容】

【0008】 發明欲解決之課題

然而，如專利文獻1~4所揭示，為了實現兼顧低鐵損與高強度之無方向性電磁鋼板，必須大量含有合金元素，以致發生韌性降低而在冷軋延時容易產生斷裂的問題。

【0009】 本發明係為了解決此種問題而完成者，其目的在於穩定提供一種具有優異磁特性及高強度之無方向性電磁鋼板。

【0010】 用以解決課題之手段

本發明主旨在於下述無方向性電磁鋼板及其製造方法。

【0011】 (1)一種無方向性電磁鋼板，其母材之化學組成為：

以質量%計，

C：0.0040%以下、

Si：大於3.50%且4.50%以下、

Mn：小於0.60%、

Al：0.30~0.90%、

P：0.030%以下、

S：0.0018%以下、

N：0.0040%以下、

Ti：小於0.0040%、

Nb：小於0.0050%、

Zr：小於0.0050%、

V：小於0.0050%、

Cu：小於0.200%、

Ni：小於0.500%、

Sn及Sb之1種或2種的合計：0.005~0.060%、及

剩餘部分：Fe及不純物，

且滿足下述(i)式；

前述母材之平均結晶粒徑大於40 $\mu\text{m}$ 且140 $\mu\text{m}$ 以下；

從前述母材表面起算板厚1/4之位置中{111}方位之聚集度為4.0以下；

前述母材之板厚為0.10~0.30mm；

$4.2 \leq \text{Si} + \text{Al} + 0.5 \times \text{Mn} \leq 4.9 \dots (i)$ ；

其中，上述式中之元素符號為各元素之含量(質量%)。

**【0012】** (2)如上述(1)之無方向性電磁鋼板，其拉伸強度為580MPa以上。

**【0013】** (3)如上述(1)或(2)之無方向性電磁鋼板，其於前述母材表面具有絕緣被膜。

**【0014】** (4)一種無方向性電磁鋼板之製造方法，係製造如上述(1)至(3)中任一者之無方向性電磁鋼板的方法；

該製造方法係對於鋼塊依序施行：

熱軋延步驟；

均熱溫度為800~920°C且均熱時間為1秒~10分鐘之熱軋板退火步驟；

施行噴珠後進行酸洗之去鏽步驟；

軋縮至板厚0.10~0.30mm之冷軋延步驟；及

以500~850°C之溫度範圍中升溫速度為400°C/秒以上的方式加熱至850°C以上之溫度後，均熱溫度為900~1050°C且均熱時間為1秒~10分鐘之精退火步驟；

前述鋼塊具有下述化學組成：

以質量%計，

C：0.0040%以下、

Si：大於3.50%且4.50%以下、

Mn：小於0.60%、

Al：0.30~0.90%、

P：0.030%以下、

S：0.0018%以下、

N：0.0040%以下、

Ti：小於0.0040%、

Nb：小於0.0050%、

Zr：小於0.0050%、

V：小於0.0050%、

Cu：小於0.200%、

Ni：小於0.500%、

Sn及Sb之1種或2種的合計：0.005~0.060%、及

剩餘部分：Fe及不純物，

且滿足下述(i)式；

$$4.2 \leq \text{Si} + \text{Al} + 0.5 \times \text{Mn} \leq 4.9 \dots (i);$$

其中，上述式中之元素符號為各元素之含量(質量%)。

#### 【0015】發明效果

根據本發明，可穩定地獲得一種具有優異磁特性及高強度之無方向性電磁鋼板。

#### 【實施方式】

【0016】本發明人等為了解決上述課題進行積極研討，結果終至獲得以下知識見解。

【0017】為了在確保冷軋延時之韌性的同時獲得低鐵損、高磁通密度且高強度之無方向性電磁鋼板，必須將作為主要合金元素之Si、Mn及Al的含量最佳化。

【0018】具體而言，要含有大於3.50%且4.50%以下的Si，Si之固溶強化能力最高，且對於增加電阻之助益亦最大。除此之外，為了改善晶粒成長性，並穩定地獲得優異磁特性，要含有0.30%以上之Al。另一方面，為了抑制韌性之劣化，Al含量設為0.90%以下。

【0019】又，Mn係在3個元素之中固溶強化能力最低但韌性劣化少且有助於增加電阻的元素。然而，本發明人等反覆進行研討，結果得知若過多地含有固溶強化能力低於Si與Al之Mn，相較於強度之上升程度，磁通密度之降低會更為明顯，於Mn含量高時，會難以穩定地提升磁特性。因此，Mn含量設為小於0.60%。

【0020】無方向性電磁鋼板之製造過程中，一般於冷軋延之前會進行熱軋板退火。然而，於鋼板中之Si含量高且為了減低鐵損而需要減少板厚時，為了抑制冷軋延時之板斷裂、邊裂等不良情形，期望使熱軋板退火中之均熱溫度變成

低溫。另一方面，已知熱軋板退火中之均熱溫度越高，磁通密度越為上升，均熱溫度變成低溫會導致磁通密度降低。

【0021】於是，本發明人等針對可降低熱軋板退火時之均熱溫度且提升磁通密度之方法，進行研討。結果發現，於冷軋延後之精退火中，藉由進行急速加熱，可抑制不利於磁特性之集合組織的發達，即便於熱軋板退火時之均熱溫度低的情況下，仍可抑制磁通密度之降低。

【0022】又，本發明人等進行了施行急速加熱至各種到達溫度的實驗，結果可知即便進行了急速加熱，但到達溫度低時，仍無法確認磁特性之提升效果，藉由進行急速加熱至850°C以上之溫度，便可提升磁特性。

【0023】本發明係基於上述知識見解而做成者。以下，詳細說明本發明之各要件。

#### 【0024】 1.整體構成

本發明一實施形態之無方向性電磁鋼板具有優異磁特性且具有高強度，故適於定子及轉子這兩者。又，本實施形態之無方向性電磁鋼板宜於以下說明之母材表面具備絕緣被膜。

#### 【0025】 2.母材之化學組成

限定各元素的理由如下述。另，在以下說明中，有關含量之「%」意指「質量%」。

#### 【0026】 C：0.0040%以下

C(碳)係會引起無方向性電磁鋼板之鐵損劣化的元素。C含量若大於0.0040%，則無方向性電磁鋼板之鐵損會劣化而無法獲得良好之磁特性。因此，C含量設為0.0040%以下。C含量宜為0.0035%以下，較宜為0.0030%以下。另，由於C有助於無方向性電磁鋼板之高強度化，當欲獲得該效果時，C含量宜為0.0005%以上，較宜為0.0010%以上。

**【0027】 Si：大於3.50%且4.50%以下**

Si(矽)係一種會使鋼之電阻上升而減低渦電流損耗，從而改善無方向性電磁鋼板之鐵損的元素。又，Si之固溶強化能力大，故在無方向性電磁鋼板之高強度化上亦為有效元素。為了獲得該等效果，Si含量設為大於3.50%。Si含量宜為3.60%以上，較宜為3.70%以上，更宜為3.80%以上。另一方面，若Si含量過多，則加工性會明顯劣化而難以實施冷軋延。因此，Si含量設為4.50%以下。Si含量宜為4.40%以下，較宜為4.30%以下。

**【0028】 Mn：小於0.60%**

Mn(錳)係一種會使鋼之電阻上升而減低渦電流損耗，從而有效改善無方向性電磁鋼板之鐵損的元素。然而，Mn之固溶強化能力低於Si及Al，故為了獲得高強度就必須大量含有Mn，致使磁通密度大幅地降低。因此，Mn含量設為小於0.60%。Mn含量宜為0.55%以下，較宜為0.50%以下。Mn含量無需設置下限，但於欲獲得上述效果時，Mn含量宜為0.10%以上，較宜為0.20%以上。

**【0029】 Al：0.30~0.90%**

Al(鋁)係具有下述效果的元素：使鋼之電阻上升，藉此減低渦電流損耗，從而改善無方向性電磁鋼板之鐵損。又，Al雖程度不及Si，但亦為會藉由固溶強化而有助於無方向性電磁鋼板之高強度化的元素。此外，適量添加Al會具有下述效果：抑制與鋼中之N鍵結所產生的AlN微細化，進而改善精退火時之晶粒成長性。為了獲得該等效果，Al含量設為0.30%以上。Al含量宜為0.40%以上，較宜為大於0.45%，更宜為0.50%以上。另一方面，若Al含量過多，則韌性會劣化以致在冷軋延時斷裂之危險性增加。因此，Al含量設為0.90%以下。Al含量宜為0.80%以下，較宜為0.70%以下。

**【0030】** 於本實施形態中，係藉由適當控制Si、Al及Mn含量來確保鋼之電阻。又，從確保強度之觀點來看，亦需適當控制Si、Al及Mn含量。另一方面，

從確保磁通密度及韌性的觀點來看，亦需有上限。因此，除了Si、Al及Mn含量分別在上述範圍內之外，還必須滿足下述(i)式。下述(i)式之中間的值宜為4.3以上，較宜為4.4以上，且宜為4.8以下，較宜為4.7以下。

$$\text{【0031】 } 4.2 \leq \text{Si} + \text{Al} + 0.5 \times \text{Mn} \leq 4.9 \dots \text{(i)}$$

其中，上述式中之元素符號為各元素之含量(質量%)。

$$\text{【0032】 } \text{P} : 0.030\% \text{以下}$$

P(磷)係作為不純物而含有於鋼中，若其含量過多，則無方向性電磁鋼板之韌性會明顯降低。因此，P含量設為0.030%以下。P含量宜為0.025%以下，較宜為0.020%以下。另，極度減低P含量有時會引起製造成本增加，因此P含量宜為0.003%以上，較宜為0.005%以上。

$$\text{【0033】 } \text{S} : 0.0018\% \text{以下}$$

S(硫)係一種會因形成MnS之微細析出物而使鐵損增加，從而使無方向性電磁鋼板之磁特性劣化的元素。因此，S含量設為0.0018%以下。S含量宜為0.0016%以下，較宜為0.0014%以下。另，極度減低S含量有時會引起製造成本增加，因此S含量宜為0.0001%以上，較宜為0.0003%以上，更宜為0.0005%以上。

$$\text{【0034】 } \text{N} : 0.0040\% \text{以下}$$

N(氮)係一種無法避免地會混入鋼中之元素，且係一種會形成氮化物使鐵損增加，從而使無方向性電磁鋼板之磁特性劣化的元素。因此，N含量設為0.0040%以下。N含量宜為0.0030%以下，較宜為0.0020%以下。另，極度減低N含量有時會引起製造成本增加，因此N含量宜為0.0005%以上。

$$\text{【0035】 } \text{Ti} : \text{小於} 0.0040\%$$

Ti(鈦)係一種無法避免地會混入鋼中之元素，其會與碳或氮鍵結而形成析出物(碳化物、氮化物)。當形成有碳化物或氮化物時，該等析出物本身會使無方向性電磁鋼板的磁特性劣化。並且還會阻礙精退火中的晶粒成長，使得無方向性

電磁鋼板之磁特性劣化。因此，Ti含量設為小於0.0040%。Ti含量宜為0.0030%以下，較宜為0.0025%以下。另，極度減少Ti含量有時會引起製造成本增加，因此Ti含量宜為0.0005%以上。

**【0036】 Nb：小於0.0050%**

Nb(鈮)係一種會與碳或氮鍵結形成析出物(碳化物、氮化物)而有助於高強度化的元素，但該等析出物本身會使無方向性電磁鋼板之磁特性劣化。因此，Nb含量設為小於0.0050%。Nb含量宜為0.0040%以下，較宜為0.0030%以下，更宜為0.0020%以下。另，極度減低Nb含量有時會引起製造成本增加，因此Nb含量宜為0.0001%以上。

**【0037】 Zr：小於0.0050%**

Zr(鋯)係一種會與碳或氮鍵結形成析出物(碳化物、氮化物)而有助於高強度化的元素，但該等析出物本身會使無方向性電磁鋼板之磁特性劣化。因此，Zr含量設為小於0.0050%。Zr含量宜為0.0040%以下，較宜為0.0030%以下，更宜為0.0020%以下。另，極度減低Zr含量有時會引起製造成本增加，因此Zr含量宜為0.0001%以上。

**【0038】 V：小於0.0050%**

V(釩)係一種會與碳或氮鍵結形成析出物(碳化物、氮化物)而有助於高強度化的元素，但該等析出物本身會使無方向性電磁鋼板之磁特性劣化。因此，V含量設為小於0.0050%。V含量宜為0.0040%以下，較宜為0.0030%以下，更宜為0.0020%以下。另，極度減低V含量有時會引起製造成本增加，因此V含量宜為0.0001%以上。

**【0039】 Cu：小於0.200%**

Cu(銅)係無法避免地會混入鋼中之元素。若刻意含有Cu，則無方向性電磁鋼板之製造成本會增加。因此，在本實施形態中不需積極含有Cu，其為不純物

的程度即可。Cu含量設為在製造步驟中無法避免地會混入之最大值，亦即設為小於0.200%。Cu含量宜為0.150%以下，較宜為0.100%以下。另，Cu含量之下限值無特別限定，但極度減低Cu含量有時會引起製造成本增加。因此，Cu含量宜為0.001%以上，較宜為0.003%以上，更宜為0.005%以上。

**【0040】 Ni：小於0.500%**

Ni(鎳)係無法避免地會混入鋼中之元素。不過，Ni亦為會使無方向性電磁鋼板之強度提升的元素，故亦可刻意含有Ni。但Ni之價格高昂，故Ni含量設為小於0.500%。Ni含量宜為0.400%以下，較宜為0.300%以下。另，Ni含量之下限值無特別限定，但極度減低Ni含量有時會引起製造成本增加。因此，Ni含量宜為0.001%以上，較宜為0.003%以上，更宜為0.005%以上。又，當要刻意含有時，Ni含量宜設為0.200%以上。

**【0041】 Sn及Sb之1種或2種的合計：0.005~0.060%**

Sn(錫)及Sb(銻)具有改善集合組織，從而提高無方向性電磁鋼板之磁通密度的效果。又，會於母材表面偏析而抑制在退火中之氧化及氮化，藉此在無方向性電磁鋼板中確保低鐵損上，Sn及Sb係有用的元素。為了獲得該等效果，Sn及Sb之1種或2種的合計含量設為0.005%以上。上述合計含量宜為0.010%以上，較宜為0.015%以上。另一方面，若Sn及Sb之合計含量過多，則鋼之韌性會降低而難以實施冷軋延。因此，Sn及Sb之1種或2種的合計含量設為0.060%以下。上述合計含量宜為0.050%以下，較宜為0.040%以下。

**【0042】** 在本發明之無方向性電磁鋼板其母材之化學組成中，剩餘部分為Fe及不純物。此處所謂的「不純物」係指在工業上製造鋼時，由礦石、廢料等原料或因製造步驟的種種因素而混入之成分，且係指在不會對本發明造成不良影響的範圍內所容許之物。

**【0043】** 另，作為不純物元素，關於Cr及Mo含量不特別規定。在本實施形

態之無方向性電磁鋼板中，即便在0.5%以下之範圍內分別含有該等元素，仍不會特別影響本實施形態之無方向性電磁鋼板的特性。又，即便在0.002%以下之範圍內分別含有Ca及Mg，仍不會特別影響本實施形態之無方向性電磁鋼板的特性。即便在0.004%以下之範圍內含有稀土族元素(REM)，仍不會特別影響本實施形態之無方向性電磁鋼板的特性。另，在本實施形態中，REM係指由Sc、Y及鏷系元素所構成之合計17種元素，且上述REM含量係指該等元素之合計含量。

【0044】 O亦為不純物元素，但即便在0.035%以下之範圍內含有O，仍不會影響本實施形態之無方向性電磁鋼板的特性。O有時亦會在退火步驟中混入鋼中，因此以扁胚階段(亦即，澆桶取樣分析值)的含量而言，即便在0.010%以下之範圍內含有O，仍不會特別影響本實施形態之無方向性電磁鋼板的特性。

【0045】 又，除了含有上述元素之外，還可含有Zn、Pb、Bi、As、B及Se等元素作為不純物元素，而若其等的含量在0.0050%以下之範圍內，便不會損及本實施形態之無方向性電磁鋼板的特性。

【0046】 本實施形態之無方向性電磁鋼板其母材之化學組成可利用公知之各種測定法。例如，使用ICP發光分析法、重量法或火花(Spark)放電發光分析法來測定即可。又，C及S採用燃燒-紅外線吸收法，N採用不活性氣體燃燒-熱傳導率法，O採用不活性氣體溶解-非分散型紅外線吸收法來測定即可。

### 【0047】 3.結晶粒徑

在本實施形態中，母材之平均結晶粒徑設為大於40 $\mu\text{m}$ 且140 $\mu\text{m}$ 以下。藉由將母材之平均結晶粒徑設為大於40 $\mu\text{m}$ ，可抑制磁滯損失惡化，而可改善磁特性。另一方面，藉由將平均結晶粒徑設為140 $\mu\text{m}$ 以下，可獲得提升鋼強度的效果，並且能抑制因渦電流損耗上升所致之鐵損劣化。平均結晶粒徑宜為50 $\mu\text{m}$ 以上，較宜為60 $\mu\text{m}$ 以上。又，平均結晶粒徑宜為130 $\mu\text{m}$ 以下，較宜為120 $\mu\text{m}$ 以下。

【0048】 另，在本發明中，母材之平均結晶粒徑定為依據JIS G 0551：2013

「鋼-結晶粒度之顯微鏡試驗方法」求算者。

#### 【0049】 4.集合組織

在本實施形態中，會抑制使磁特性劣化之集合組織的發達。具體而言，將{111}方位之聚集度設為4.0以下。藉由抑制{111}方位之發達，可改善磁特性。{111}方位之聚集度宜為3.8以下，較宜為3.6以下。{111}方位之聚集度無需設置下限，但1.0為實質之下限。

【0050】 {111}方位之聚集度係藉由X射線繞射裝置來測定。又，所謂的聚集度係指下列數值：藉由X射線繞射法以相同條件，測定不具有對特定方位之聚集之標準試料的X射線強度、及被測材的X射線強度，並將所獲得之被測材的X射線強度除以標準試料的X射線強度而得之數值。具體之測定方法如下。測定係在被測材之無方向性電磁鋼板其母材經研磨後之表面上實施，前述研磨係藉由化學研磨將被測材之母材從單側表面去除至板厚1/4的深度。{111}方位之聚集度係以藉由X射線繞射裝置所測定之 $\alpha$ -Fe相的{200}面、{110}面、{310}面、{211}面之極圖為基準，從表示以級數展開法計算之3維集合組織的結晶方位分布函數ODF(Orientation Distribution Functions)來求算。將ODF表示之 $\phi_2=45^\circ$ 截面的 $\Phi=55^\circ$ 中 $\phi_1=0\sim 90^\circ$ 之聚集度的平均值定義為{111}方位之聚集度。 $\phi_1=0\sim 90^\circ$ 之聚集度係以 $5^\circ$ 間距進行測定，並使用 $0^\circ$ 至 $90^\circ$ 之19個聚集度的平均值。

【0051】 另，{111}方位有時會進一步分類成{111}<011>方位及{111}<112>方位等。但，{111}<011>方位之聚集度僅為ODF表示之 $\phi_2=45^\circ$ 截面的 $\Phi=55^\circ$ 中 $\phi_1=0^\circ$ 之聚集度的數值，{111}<112>方位之聚集度僅為ODF表示之 $\phi_2=45^\circ$ 截面的 $\Phi=55^\circ$ 中 $\phi_1=30^\circ$ 之聚集度的數值。因此，該等與本案之ODF表示之 $\phi_2=45^\circ$ 截面的 $\Phi=55^\circ$ 中 $\phi_1=0\sim 90^\circ$ 之聚集度的平均值所示之{111}方位之聚集度，係利用不同之方法所測定的數值。

#### 【0052】 5.磁特性

在本實施形態之無方向性電磁鋼板中，所謂的磁特性優異係指鐵損 $W_{10/400}$ 低且磁通密度 $B_{50}$ 高。

【0053】 在此，磁特性(鐵損 $W_{10/400}$ 及磁通密度 $B_{50}$ )定為遵照JIS C 2550-1：2011所規定之愛普斯坦試驗法來進行測定。又，此時，鋼板之密度定為 $7.65\text{g/cm}^3$ ，實施磁測定。另，鐵損 $W_{10/400}$ 意指在最大磁通密度 $1.0\text{T}$ 且頻率 $400\text{Hz}$ 之條件下產生鐵損，磁通密度 $B_{50}$ 意指 $5000\text{A/m}$ 磁場中之磁通密度。

【0054】 在本實施形態之無方向性電磁鋼板中，所謂的鐵損 $W_{10/400}$ 低意指在板厚 $0.26\text{mm}$ 以上時，鐵損為 $14.5\text{W/kg}$ 以下；在板厚 $0.21\sim 0.25\text{mm}$ 時，鐵損為 $12.5\text{W/kg}$ 以下；在板厚 $0.20\text{mm}$ 以下時，鐵損為 $11.2\text{W/kg}$ 以下。又，所謂的磁通密度 $B_{50}$ 高意指：在板厚 $0.26\text{mm}$ 以上時，磁通密度為 $1.64\text{T}$ 以上；在板厚 $0.21\sim 0.25\text{mm}$ 時，磁通密度為 $1.63\text{T}$ 以上；在板厚 $0.20\text{mm}$ 以下時，磁通密度為 $1.62\text{T}$ 以上。

#### 【0055】 6.機械特性

本實施形態之無方向性電磁鋼板具有高強度。就拉伸強度無需特別限定，但拉伸強度宜為 $580\text{MPa}$ 以上。拉伸強度較宜為 $590\text{MPa}$ 以上，更宜為 $600\text{MPa}$ 以上。在此，拉伸強度藉由進行依據JIS Z 2241：2011之拉伸試驗來測定。

#### 【0056】 7.板厚

在本實施形態之無方向性電磁鋼板中，從冷軋延與精退火之製造成本的觀點來看，將母材之板厚設為 $0.10\text{mm}$ 以上。另一方面，從減低鐵損的觀點來看，將母材之板厚設為 $0.30\text{mm}$ 以下。因此，本實施形態之無方向性電磁鋼板其母材之板厚為 $0.10\sim 0.30\text{mm}$ 。母材之板厚宜為 $0.15\sim 0.27\text{mm}$ 。

#### 【0057】 8.絕緣被膜

在本實施形態之無方向性電磁鋼板中，宜於母材表面具有絕緣被膜。無方向性電磁鋼板係在衝壓出鐵芯毛胚後進行積層，然後才加以使用，因此，藉由

於母材表面設置絕緣被膜，可減低板間的渦電流，從而作為鐵芯可減低渦電流損耗。

【0058】就絕緣被膜之種類無特別限定，可使用能用作無方向性電磁鋼板之絕緣被膜的公知絕緣被膜。所述絕緣被膜可舉例如以無機物為主體且進一步含有有機物的複合絕緣被膜。在此，所謂的複合絕緣被膜係例如下述之絕緣被膜：以鉻酸金屬鹽、磷酸金屬鹽、或膠質氧化矽、Zr化合物、Ti化合物等無機物中之至少一者為主體，且分散有微細有機樹脂粒子的絕緣被膜。尤其，從近年需求逐漸高漲之減低製造時之環境負荷的觀點來看，宜採用下述絕緣被膜：使用磷酸金屬鹽、Zr或Ti之耦合劑、或該等之碳酸鹽或銨鹽作為起始物質的絕緣被膜。

【0059】絕緣被膜之附著量無特別限定，但例如宜設為每面為200~3000mg/m<sup>2</sup>左右，較宜設為每面為300~2500mg/m<sup>2</sup>。以成為上述範圍內之附著量的方式形成絕緣被膜，藉此便能維持優異的均一性。另，於事後測定絕緣被膜之附著量時，可利用公知之各種測定法，只要適當利用例如測定浸漬於氫氧化鈉水溶液前後之質量差的方法、或使用檢量線法之螢光X射線法等即可。

#### 【0060】 9.製造方法

本實施形態之無方向性電磁鋼板就製造方法無特別限制，可藉由對於具有上述化學組成之鋼塊例如按以下所示條件依序實施熱軋延步驟、熱軋板退火步驟、去鏽步驟、冷軋延步驟及精退火步驟而製造。又，要於母材表面形成絕緣被膜時，可在上述精退火步驟後進行絕緣被膜形成步驟。以下詳細說明各步驟。

#### 【0061】 <熱軋延步驟>

將具有上述化學組成的鋼塊(扁胚)加熱，且對加熱後之鋼塊進行熱軋延而獲得熱軋板。在此，關於供於熱軋延時之鋼塊加熱溫度並無特別規定，但宜設為例如1050~1250°C。又，關於熱軋延後之熱軋板板厚亦無特別規定，但考慮到母

材之最終板厚則宜設為例如1.5~3.0mm左右。

**【0062】** <熱軋板退火步驟>

之後，以減低鋼板鐵損為目的，實施熱軋板退火。熱軋板退火宜使用連續退火爐，其生產性高於分批式退火，且退火後之金屬組織的均質性高。又，如上述，於鋼板中之Si含量高且為了減低鐵損而需要減少板厚時，期望使熱軋板退火中之均熱溫度變成低溫。因此，熱軋板退火係在均熱溫度為800~920°C且均熱時間為1秒~10分鐘之條件下進行。為了獲得良好之磁特性均熱溫度宜為820°C以上。為了獲得良好之韌性均熱溫度宜為900°C以下。

**【0063】** <去鏽步驟>

對上述熱軋板退火後之鋼板施行噴珠後實施酸洗，而去除於母材表面生成之鏽皮層。熱軋板退火時鏽皮層發達，故藉由於酸洗前施行噴珠，之後便容易利用酸洗進行去鏽。在此，酸洗所用之酸的濃度、酸洗所用之促進劑的濃度及酸洗液溫度等酸洗條件無特別限定，可設為公知之酸洗條件。

**【0064】** <冷軋延步驟>

對上述去鏽後之鋼板實施冷軋延。於冷軋延中，係以母材之最終板厚會為0.10~0.30mm之軋縮率進行軋延。

**【0065】** <精退火步驟>

於上述冷軋延後實施精退火。在本實施形態之無方向性電磁鋼板之製造方法中，於精退火宜使用連續退火爐。精退火係以均熱溫度為900~1050°C且均熱時間為1秒~10分鐘之條件進行。宜將氣體環境做成H<sub>2</sub>比率为1~100體積%之H<sub>2</sub>及N<sub>2</sub>之混合氣體環境(亦即，H<sub>2</sub>+N<sub>2</sub>=100體積%)，且令氣體環境之露點為-50~+10°C。

**【0066】** 當均熱溫度低於900°C時，結晶粒徑會變細小且鐵損會劣化而不佳，當均熱溫度高於1050°C時，強度不足且鐵損亦劣化，故不佳。又，若均熱時間小於1秒，便無法充分進行晶粒成長。另一方面，若均熱時間超過10分鐘，

則會引起製造成本增加。

【0067】於本實施形態中，藉由於精退火步驟中進行急速加熱，而可抑制不利於磁特性之集合組織的發達。因此，於精退火步驟中，以500~850°C之溫度範圍中升溫速度為400°C/秒以上的方式加熱至850°C以上之溫度。

【0068】藉由將升溫速度設為400°C/秒以上，而可抑制不利於磁特性之集合組織的發達。升溫速度宜為800°C/秒以上，較宜為1000°C以上。升溫速度越快越佳，因此無需特別設置上限，但考慮到設備上的限制，升溫速度宜為2000°C/秒以下。又，如上述，進行急速加熱至850°C以上之溫度，藉此可提升磁特性。另，包含低於500°C之溫度區及直至均熱溫度在內之升溫步驟整體中，亦可將平均之升溫速度設為1~2000°C/秒。

【0069】另，就通常之氣體燃燒的直接加熱、輻射管、電熱器等而言，係難以於上述條件下進行急速加熱。因此，在本實施形態中以使用通電加熱、感應加熱等為理想。

#### 【0070】 <絕緣被膜形成步驟>

在上述精退火後可視需求實施絕緣被膜形成步驟。在此，形成絕緣被膜之方法無特別限定，只要使用可形成如下述所示之公知絕緣被膜的處理液，並以公知方法進行處理液之塗佈及乾燥即可。公知絕緣被膜可舉例如以無機物為主體且進一步含有有機物的複合絕緣被膜。

【0071】所謂的複合絕緣被膜係例如下述之絕緣被膜：以鉻酸金屬鹽、磷酸金屬鹽等金屬鹽、或膠質氧化矽、Zr化合物、Ti化合物等無機物中之至少一者為主體，且分散有微細有機樹脂粒子的絕緣被膜。尤其，從近年需求逐漸高漲之減低製造時之環境負荷的觀點來看，宜採用下述絕緣被膜：使用磷酸金屬鹽、Zr或Ti之耦合劑作為起始物質的絕緣被膜，或者使用磷酸金屬鹽、Zr或Ti之耦合劑之碳酸鹽或銨鹽作為起始物質的絕緣被膜。

【0072】要形成絕緣被膜之母材其表面可在塗佈處理液之前，施行藉由鹼等所行之脫脂處理、或藉由鹽酸、硫酸及磷酸等所行之酸洗處理等任意前處理。亦可不施行該等前處理而在精退火後直接於母材表面塗佈處理液。

【0073】以上述方式進行而獲得之本發明之無方向性電磁鋼板具有鐵損低、高磁通密度且高強度之優異特性，因此亦適合作為轉子鐵芯及定子之任一者的胚料。

【0074】以下，利用實施例更具體地說明本發明，但本發明不限於該等實施例。

#### 實施例

【0075】在將具有表1所示之化學組成的扁胚加熱至1150°C後，按精加工溫度850°C、完工板厚2.0mm施行熱軋延，並在600°C下進行捲取而作成熱軋鋼板。對所得之熱軋鋼板藉由連續退火爐按表2所示之條件施行熱軋板退火。對以此方式所獲得之鋼板進行噴珠及利用酸洗所行之去鏽後，藉由冷軋延製成表2所示之板厚的冷軋鋼板。

【0076】此外，在H<sub>2</sub>：20%、N<sub>2</sub>：80%、露點：-30°C之混合氣體環境中，按表2所示條件施行精退火。另，於精退火時之升溫是使用感應加熱並急速加熱至表2所示之到達溫度。另，從到達溫度至均熱溫度的升溫步驟與均熱步驟係進行利用輻射管所行之加熱。從到達溫度至均熱溫度之升溫速度為約5°C/秒。於精退火後之鋼板上塗佈由磷酸鋁及粒徑0.2μm之丙烯酸-苯乙烯共聚物樹脂乳液所構成之絕緣被膜，並在大氣中以350°C進行燒黏。

【0077】 [表1]

表1

鋼種	化學組成(質量%・剩餘部分: Fe及不純物)																(i)式: 中間值
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	Ti	Nb	Zr	V	Cu	Ni	Sn	Sb		
A	0.0025	3.81	0.45	0.013	0.0010	0.60	0.0018	0.0015	0.0008	0.0007	0.0002	0.029	0.023	0.029	<0.001	4.6	
B	0.0020	3.81	0.15	0.012	<u>0.0022</u>	0.46	0.0017	0.0016	0.0010	0.0011	0.0005	0.021	0.024	0.024	<0.001	4.3	
C	0.0022	3.75	0.25	0.014	0.0017	0.47	0.0018	0.0017	0.0009	0.0010	0.0006	0.022	0.023	0.051	<0.001	4.3	
D	0.0018	3.98	0.55	0.013	0.0012	0.46	0.0025	0.0008	0.0007	0.0008	0.0008	0.015	0.011	<u>0.002</u>	<u>0.001</u>	4.7	
E	0.0018	4.05	0.56	0.008	0.0012	0.50	0.0012	0.0012	0.0006	0.0007	0.0006	0.010	0.015	<u>0.034</u>	<u>0.035</u>	4.8	
F	0.0018	4.00	0.15	0.008	0.0004	0.68	0.0016	0.0014	0.0007	0.0006	0.0007	0.019	0.026	0.015	0.015	4.8	
G	0.0018	4.01	<u>0.73</u>	0.010	0.0004	0.44	0.0025	0.0022	0.0006	0.0005	0.0003	0.025	0.020	0.010	<0.001	4.8	
H	0.0024	3.55	0.15	0.025	0.0012	0.48	0.0024	0.0020	0.0009	0.0006	0.0004	0.018	0.032	0.015	0.005	<u>4.1</u>	
I	0.0025	3.60	0.15	0.025	0.0005	0.85	0.0035	0.0025	0.0008	0.0007	0.0005	0.021	0.030	0.015	0.005	4.5	
J	0.0015	4.42	0.20	0.015	0.0009	0.50	0.0014	0.0014	0.0006	0.0005	0.0003	0.018	0.023	0.035	<0.001	<u>5.0</u>	
K	0.0015	4.21	0.18	0.010	0.0009	0.50	0.0013	0.0012	0.0041	0.0039	0.0004	0.024	0.030	0.015	<0.001	4.8	
L	0.0030	<u>3.44</u>	0.45	0.010	0.0014	0.60	0.0020	0.0025	0.0008	0.0008	0.0006	0.018	0.021	0.024	<0.001	4.3	
M	0.0024	<u>4.55</u>	0.10	0.012	0.0008	0.32	0.0013	0.0012	0.0007	0.0006	0.0005	0.018	0.024	0.025	<0.001	4.9	
N	0.0035	3.83	0.38	0.012	0.0010	0.23	0.0025	0.0015	0.0009	0.0006	0.0004	0.023	0.031	0.025	<0.001	4.3	
O	0.0035	3.93	0.40	0.012	0.0010	0.65	0.0026	0.0015	0.0008	0.0007	0.0002	0.025	0.028	0.024	<0.001	4.8	
P	0.0018	3.83	0.20	0.013	0.0009	<u>0.96</u>	0.0018	0.0019	0.0007	0.0005	0.0003	0.150	0.350	0.025	<0.001	4.9	
Q	0.0010	3.75	0.41	0.010	0.0006	0.70	0.0011	0.0035	0.0022	0.0009	0.0042	0.155	0.313	0.021	<0.001	4.7	
R	0.0025	3.81	0.42	0.010	0.0010	0.53	0.0018	0.0018	0.0007	0.0006	0.0003	0.022	0.031	0.026	<0.001	4.6	

\* 4.2: Si+Al+0.5×Mn: 4.9 ... (i)

底線表示在本發明範圍外

【0078】 [表2]

表2

試驗編號	鋼種	熱軋板退火		精退火				平均結晶粒徑(μm)	(111)方位聚集度(x隨機)	板厚(mm)	拉伸強度(MPa)	W <sub>10/400</sub> (W/kg)	B <sub>50</sub> (T)	備註
		均熱溫度(°C)	均熱時間(秒)	升溫速度* <sub>1</sub> (°C/秒)	到達溫度* <sub>2</sub> (°C)	均熱溫度(°C)	均熱時間(秒)							
1	A	850	40	<u>300</u>	870	1000	15	83	<u>4.2</u>	0.20	601	10.1	<u>1.61</u>	比較例
2	A	850	40	500	870	1000	15	82	3.4	0.20	601	10.0	1.63	發明例
3	A	850	40	1000	870	1000	15	84	2.8	0.20	600	10.0	1.64	發明例
4	A	850	40	1000	<u>800</u>	1000	15	82	<u>4.3</u>	0.20	601	10.2	<u>1.61</u>	比較例
5	A	850	40	1000	870	1000	15	86	2.8	0.25	603	11.2	1.66	發明例
6	A	850	40	1000	870	1000	15	89	2.7	0.30	605	13.5	1.67	發明例
7	A	850	40	1000	870	1000	15	88	2.7	<u>0.35</u>	603	<u>15.4</u>	1.67	比較例
8	B	900	50	800	850	950	20	48	3.5	0.20	608	<u>11.4</u>	1.65	比較例
9	C	900	50	800	850	950	20	70	3.0	0.20	592	10.4	1.66	發明例
10	D	825	40	1000	870	1000	15	81	<u>4.1</u>	0.20	614	10.8	<u>1.60</u>	比較例
11	E	825	40	在冷軋延時斷裂									比較例	
12	F	825	30	400	900	1020	40	130	3.1	0.20	604	10.8	1.63	發明例
13	G	825	30	400	900	1020	40	132	3.9	0.20	601	10.9	<u>1.60</u>	比較例
14	H	875	40	1000	950	950	15	65	3.0	0.20	<u>572</u>	<u>11.3</u>	1.66	比較例
15	I	875	40	1000	950	950	15	72	2.1	0.20	592	10.5	1.65	發明例
16	J	800	50	在冷軋延時斷裂									比較例	
17	K	800	50	1000	870	1000	15	80	3.2	0.20	637	9.6	1.63	發明例
18	L	900	50	800	900	950	15	61	2.0	0.20	<u>576</u>	10.9	1.65	比較例
19	M	820	40	在冷軋延時斷裂									比較例	
20	N	850	40	800	900	1000	15	<u>38</u>	3.3	0.20	617	<u>12.2</u>	1.64	比較例
21	O	<u>780</u>	40	400	900	1000	20	63	<u>4.5</u>	0.20	630	10.8	<u>1.61</u>	比較例
22	O	860	40	400	900	1000	20	85	3.2	0.20	617	10.0	1.63	發明例
23	O	<u>930</u>	40	在冷軋延時斷裂									比較例	
24	P	800	60	在冷軋延時斷裂									比較例	
25	Q	850	60	1000	870	950	40	92	2.9	0.20	593	9.7	1.65	發明例
26	R	890	40	1000	870	<u>870</u>	30	<u>38</u>	2.8	0.20	637	<u>12.0</u>	1.65	比較例
27	R	890	40	1000	870	930	30	80	2.5	0.20	612	10.5	1.65	發明例
28	R	890	40	1000	870	1020	30	100	2.8	0.20	590	9.8	1.65	發明例
29	R	890	40	1000	870	<u>1060</u>	30	<u>145</u>	2.4	0.20	<u>577</u>	11.0	1.63	比較例

底線表示在本發明範圍外。

#1 升溫速度意指在500~850°C之溫度範圍下的升溫速度。

#2 意指在急速加熱下之到達溫度。

【0079】 針對所得之各試驗材，依據JIS G 0551：2013「鋼-結晶粒度之顯微鏡試驗方法」，測量母材之平均結晶粒徑。又，由各試驗材之軋延方向及寬度方向採取愛普斯坦試片，藉由遵照JIS C 2550-1：2011之愛普斯坦試驗評估鐵損W<sub>10/400</sub>與磁通密度B<sub>50</sub>。另，鋼板之密度定為7.65g/cm<sup>3</sup>，實施磁測定。

【0080】藉由化學研磨將各試驗材之母材從單側表面去除至板厚1/4的深度，且於該研磨後之表面，以藉由X射線繞射裝置所測定之 $\alpha$ -Fe相的{200}面、{110}面、{310}面、{211}面之極圖為基準，從表示以級數展開法計算之3維集合組織的結晶方位分布函數ODF(Orientation Distribution Functions)來求算{111}方位之聚集度。

【0081】接著，依照JIS Z 2241：2011，從各試驗材以長邊方向與鋼板之軋延方向一致之方式採取JIS5號拉伸試驗片。然後，使用上述試驗片依照JIS Z 2241：2011進行拉伸試驗而測定拉伸強度。

【0082】將上述結果彙整列示於表2。

【0083】可知在滿足本發明規定之試驗編號2、3、5、6、9、12、15、17、22、25、27及28中，鐵損 $W_{10/400}$ 低、磁通密度 $B_{50}$ 高且具有580MPa以上的高拉伸強度。

【0084】相對於此，在作為比較例之試驗編號1、4、7、8、10、11、13、14、16、18~21、23、24、26及29中，鐵損 $W_{10/400}$ 不佳、磁通密度 $B_{50}$ 不佳或拉伸強度不佳，以致韌性明顯劣化而難以製造。

【0085】具體而言，在試驗編號1中，精退火之升溫速度較規定範圍低，因而{111}方位之聚集度超出規定範圍，而為磁通密度不佳的結果。在試驗編號4中，精退火中急速加熱之到達溫度較規定範圍低，因而{111}方位之聚集度超出規定範圍，而為磁通密度不佳的結果。

【0086】在試驗編號7中，板厚較規定範圍厚，而為鐵損不佳的結果。在試驗編號8中，S含量較規定範圍高，因而MnS之析出量增多，而為鐵損不佳的結果。在試驗編號10中，Sn及Sb之合計含量較規定範圍低，因而{111}方位之聚集度超出規定範圍，而為磁通密度不佳的結果。在試驗編號11中，Sn及Sb之合計含量較規定範圍高，以致韌性劣化而在冷軋延時斷裂，無法實施拉伸強度及磁

特性之測定。

【0087】 在試驗編號13中，Mn含量較規定範圍高，而為磁通密度不佳的結果。在試驗編號14中， $Si+Al+0.5\times Mn$ 較規定範圍低，而為鐵損及拉伸強度不佳的結果。在試驗編號16中， $Si+Al+0.5\times Mn$ 較規定範圍高，以致韌性劣化而在冷軋延時斷裂，無法實施拉伸強度及磁特性之測定。

【0088】 在試驗編號18中，Si含量較規定範圍低，而為拉伸強度不佳的結果。在試驗編號19中，Si含量較規定範圍高，以致韌性劣化而在冷軋延時斷裂，無法實施拉伸強度及磁特性之測定。在試驗編號20中，Al含量較規定範圍低，以致精退火後之平均結晶粒徑變得較規定範圍小，而為鐵損不佳的結果。

【0089】 在試驗編號21中，熱軋板退火之均熱溫度較規定範圍低，因而{111}方位之聚集度超出規定範圍，而為磁通密度不佳的結果。在試驗編號23中，熱軋板退火之均熱溫度較規定範圍高，以致韌性劣化而在冷軋延時斷裂，無法實施拉伸強度及磁特性之測定。在試驗編號24中，Al含量較規定範圍高，以致韌性劣化而在冷軋延時斷裂，無法實施拉伸強度及磁特性之測定。

【0090】 在試驗編號26中，精退火之均熱溫度變得較規定範圍低，且平均結晶粒徑變得較規定範圍小，而為鐵損不佳的結果。在試驗編號29中，精退火之均熱溫度變得較規定範圍高，且平均結晶粒徑變得較規定範圍大，而為拉伸強度不佳的結果。

#### 【0091】 產業上之可利用性

如上述，根據本發明，能以低成本穩定地獲得一種具有優異磁特性及高強度之無方向性電磁鋼板。

**【發明申請專利範圍】**

【請求項1】 一種無方向性電磁鋼板，其母材之化學組成為：

以質量%計，

C：0.0040%以下、

Si：大於3.50%且4.50%以下、

Mn：小於0.60%、

Al：0.30~0.90%、

P：0.030%以下、

S：0.0018%以下、

N：0.0040%以下、

Ti：小於0.0040%、

Nb：小於0.0050%、

Zr：小於0.0050%、

V：小於0.0050%、

Cu：小於0.200%、

Ni：小於0.500%、

Sn及Sb之1種或2種的合計：0.005~0.060%、及

剩餘部分：Fe及不純物，

且滿足下述(i)式；

前述母材之平均結晶粒徑大於40 $\mu\text{m}$ 且140 $\mu\text{m}$ 以下；

從前述母材表面起算板厚1/4之位置中{111}方位之聚集度為4.0以下；

前述母材之板厚為0.10~0.30mm；

$4.2 \leq \text{Si} + \text{Al} + 0.5 \times \text{Mn} \leq 4.9 \cdots (i)$ ；

其中，上述式中之元素符號為各元素之含量(質量%)。

【請求項2】 如請求項1之無方向性電磁鋼板，其拉伸強度為580MPa以上。

【請求項3】 如請求項1或請求項2之無方向性電磁鋼板，其於前述母材表面具有絕緣被膜。

【請求項4】 一種無方向性電磁鋼板之製造方法，係製造如請求項1至請求項3中任一項之無方向性電磁鋼板的方法；

該製造方法係對於鋼塊依序施行：

熱軋延步驟；

均熱溫度為800~920°C且均熱時間為1秒~10分鐘之熱軋板退火步驟；

施行噴珠後進行酸洗之去鏽步驟；

軋縮至板厚0.10~0.30mm之冷軋延步驟；及

以500~850°C之溫度範圍中升溫速度為400~2000°C/秒的方式加熱至850°C以上之溫度後，均熱溫度為900~1050°C且均熱時間為1秒~10分鐘之精退火步驟；

前述鋼塊具有下述化學組成：

以質量%計，

C：0.0040%以下、

Si：大於3.50%且4.50%以下、

Mn：小於0.60%、

Al：0.30~0.90%、

P：0.030%以下、

S：0.0018%以下、

N：0.0040%以下、

Ti：小於0.0040%、

Nb：小於0.0050%、

Zr：小於0.0050%、

V：小於0.0050%、

Cu：小於0.200%、

Ni：小於0.500%、

Sn及Sb之1種或2種的合計：0.005~0.060%、及

剩餘部分：Fe及不純物，

且滿足下述(i)式；

$4.2 \leq \text{Si} + \text{Al} + 0.5 \times \text{Mn} \leq 4.9 \dots (i)$ ；

其中，上述式中之元素符號為各元素之含量(質量%)。