



(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 I733766 B

(45)公告日：中華民國 110 (2021) 年 07 月 21 日

(21)申請案號：106106631

(22)申請日：中華民國 106 (2017) 年 03 月 01 日

(51)Int. Cl. :            **B32B15/01 (2006.01)**            **B32B37/12 (2006.01)**  
                               **B32B38/08 (2006.01)**            **C21D8/12 (2006.01)**  
                               **H01F1/147 (2006.01)**            **H01F3/04 (2006.01)**  
                               **H01F27/25 (2006.01)**            **H01F41/02 (2006.01)**

(30)優先權：2016/02/29            美國            62/300,937

(71)申請人：日商日立金屬股份有限公司 (日本) HITACHI METALS, LTD. (JP)

日本

美商梅特格拉斯公司 (美國) METGLAS, INC. (US)

美國

(72)發明人：太田元基 OHTA, MOTOKI (JP)

(74)代理人：周良謀；周良吉

(56)參考文獻：

CN	104619875A	JP	2009-200428A
JP	2013-48138A	WO	2008/133301A1

審查人員：李明達

申請專利範圍項數：6 項            圖式數：4            共 42 頁

(54)名稱

疊層塊磁芯、疊層塊及疊層塊之製造方法

(57)摘要

一種疊層塊磁芯，具備由具有  $Fe_{100-a-b-c-d}B_aSi_bCu_cM_d$  [此處，a、b、c、及 d 皆為原子%，分別滿足  $13.0 \leq a \leq 17.0$ 、 $3.5 \leq b \leq 5.0$ 、 $0.6 \leq c \leq 1.1$ 、及  $0 \leq d \leq 0.5$ 。M 表示選自於由 Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、及 W 構成之群組中之至少 1 種元素。] 表示之組成之奈米結晶合金條帶片疊層而成的疊層塊。

The invention provides a layered block core including a layered block in which nano-crystal alloy ribbon pieces are layered, each of the nano-crystal alloy ribbon pieces having a composition represented by  $Fe_{100-a-b-c-d}B_aSi_bCu_cM_d$ : wherein, each of a, b, c, and d is an atom % and a, b, c, and d respectively satisfy  $13.0 \leq a \leq 17.0$ ,  $3.5 \leq b \leq 5.0$ ,  $0.6 \leq c \leq 1.1$ , and  $0 \leq d \leq 0.5$ , and wherein M is an element selected from the group consisting of Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo and W.

特徵化學式：





申請日：106/03/01

I733766

## 【發明摘要】

IPC分類：*B32B 15/01* (2006.01)  
*B32B 37/12* (2006.01)  
*B32B 38/08* (2006.01)  
*G21D 8/12* (2006.01)  
*H01F 1/147* (2006.01)  
*H01F 3/04* (2006.01)  
*H01F 27/25* (2006.01)  
*H01F 41/02* (2006.01)

## 【中文發明名稱】

疊層塊磁芯、疊層塊及疊層塊之製造方法

## 【英文發明名稱】

LAYERED BLOCK CORE, LAYERED BLOCK, AND METHOD OF PRODUCING LAYERED BLOCK

## 【中文】

一種疊層塊磁芯，具備由具有 $\text{Fe}_{100-a-b-c-d}\text{B}_a\text{Si}_b\text{Cu}_c\text{M}_d$ [此處，a、b、c、及d皆為原子%，分別滿足 $13.0 \leq a \leq 17.0$ 、 $3.5 \leq b \leq 5.0$ 、 $0.6 \leq c \leq 1.1$ 、及 $0 \leq d \leq 0.5$ 。M表示選自於由Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、及W構成之群組中之至少1種元素。]表示之組成之奈米結晶合金條帶片疊層而成的疊層塊。

## 【英文】

The invention provides a layered block core including a layered block in which nano-crystal alloy ribbon pieces are layered, each of the nano-crystal alloy ribbon pieces having a composition represented by  $\text{Fe}_{100-a-b-c-d}\text{B}_a\text{Si}_b\text{Cu}_c\text{M}_d$ : wherein, each of a, b, c, and d is an atom % and a, b, c, and d respectively satisfy  $13.0 \leq a \leq 17.0$ ,  $3.5 \leq b \leq 5.0$ ,  $0.6 \leq c \leq 1.1$ , and  $0 \leq d \leq 0.5$ , and wherein M is an element selected from the group consisting of Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo and W.

【指定代表圖】 無

【代表圖之符號簡單說明】 無

【特徵化學式】

$\text{Fe}_{100-a-b-c-d}\text{B}_a\text{Si}_b\text{Cu}_c\text{M}_d$  ... 組成式(A)

## 【發明說明書】

### 【中文發明名稱】

疊層塊磁芯、疊層塊及疊層塊之製造方法

### 【英文發明名稱】

LAYERED BLOCK CORE, LAYERED BLOCK, AND METHOD OF PRODUCING LAYERED BLOCK

### 【技術領域】

#### 【0001】

本發明關於疊層塊磁芯、疊層塊、及疊層塊之製造方法。

### 【先前技術】

#### 【0002】

作為使用在變壓器、電抗器、抗流線圈、馬達、抗雜訊對策零件、雷射電源、加速器用脈衝功率磁性零件、發電機等之磁心(磁芯)的磁性材料，矽鋼、肥粒鐵(ferrite)、Fe基非晶合金、Fe基奈米結晶合金等係已知。

就磁芯而言，使用Fe基非晶合金條帶製得之環形磁心為已知(例如，參照專利文獻1)。

又，就磁芯而言，使用Fe基奈米結晶合金條帶製得之環形磁心亦為已知(例如，參照專利文獻2)。

[先前技術文獻]

[專利文獻]

#### 【0003】

[專利文獻1]日本特開2006-310787號公報

第1頁，共34頁(發明說明書)

[專利文獻2]國際公開第2015/046140號

**【發明內容】**

**【0004】**

[發明所欲解決之課題]

專利文獻1及2所記載之環形磁心，係將合金條帶進行捲繞並製造，故亦稱為捲磁心或捲磁芯。

就捲磁芯而言，需藉由以成為期望之內徑及外徑的方式將合金條帶進行捲繞，之後進行熱處理而製造。由於該製造條件的限制，會有可製造之捲磁芯的大小範圍受到限制的情況。故，捲磁芯存在欠缺磁芯大小之設計自由度的問題。

**【0005】**

又，專利文獻1所記載之使用Fe基非晶合金條帶而得的環形磁心(捲磁芯)，在高溫(例如，100°C以上200°C以下)下飽和磁通密度(Bs)相對於溫度上升的降低率大。因此，專利文獻1所記載之環形磁心，在高溫下有飽和磁通密度(Bs)低的傾向。

又，專利文獻2所記載之使用Fe基奈米結晶合金條帶而得的環形磁心(捲磁芯)，在室溫下有飽和磁通密度(Bs)低的傾向。

**【0006】**

考量以上的觀點，期望磁芯大小之設計自由度優異、且於包括高溫(例如，100°C以上200°C以下)之寬廣溫度範圍內維持高飽和磁通密度(Bs)的疊層塊磁芯、及適合作為上述疊層塊磁芯之一構件的疊層塊及其製造方法。

[解決課題之手段]

**【0007】**

用於解決上述課題之具體手段包括以下態樣。

第2頁，共34頁(發明說明書)

<1> 一種疊層塊磁芯，具備由具有下列組成式(A)表示之組成之奈米結晶合金條帶片疊層而成的疊層塊。



[組成式(A)中，a、b、c、及d皆為原子%，分別滿足 $13.0 \leq a \leq 17.0$ 、 $3.5 \leq b \leq 5.0$ 、 $0.6 \leq c \leq 1.1$ 、及 $0 \leq d \leq 0.5$ 。M表示選自於由Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、及W構成之群組中之至少1種元素。]

### 【0008】

<2> 如<1>之疊層塊磁芯，佔積率為85%以上92%以下。

<3> 如<1>或<2>之疊層塊磁芯，其中，

該奈米結晶合金條帶片分別具有矩形狀，

該疊層塊具有長方體形狀，

具備至少4個之該疊層塊，

至少4個之該疊層塊配置成四角環狀，

配置成該四角環狀之該疊層塊中之奈米結晶合金條帶片的疊層方向和配置成該四角環狀之該疊層塊之配置面的法線方向為相同方向。

<4> 如<1>~<3>中任一項之疊層塊磁芯，其中，該奈米結晶合金條帶片之厚度分別為 $10\mu\text{m} \sim 30\mu\text{m}$ ，寬度分別為 $5\text{mm} \sim 100\text{mm}$ ，長度相對於寬度之比為 $1 \sim 10$ 。

<5> 如<1>~<4>中任一項之疊層塊磁芯，其中，該奈米結晶合金條帶片分別包含30體積%~60體積%的結晶粒徑 $1\text{nm} \sim 30\text{nm}$ 之奈米結晶粒。

### 【0009】

<6> 一種疊層塊，係由具有下列組成式(A)表示之組成之奈米結晶合金條帶片疊層而成。



[組成式(A)中，a、b、c、及d皆為原子%，分別滿足 $13.0 \leq a \leq 17.0$ 、 $3.5 \leq b \leq 5.0$ 、 $0.6 \leq c \leq 1.1$ 、及 $0 \leq d \leq 0.5$ 。M表示選自於由Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、及W構成之群組中之至少1種元素。]

**【0010】**

<7> 一種疊層塊之製造方法，係製造如<6>之疊層塊的方法，包括以下步驟：  
準備具有該組成式(A)表示之組成的非晶合金條帶；

使該非晶合金條帶於施加有張力F之狀態連續移動，並使於該施加有張力F之狀態連續移動之該非晶合金條帶的一部分區域以滿足下式(1)之條件接觸維持在 $450^{\circ}\text{C}$ 以上之溫度的傳熱介質，藉此將該非晶合金條帶之溫度以 $350^{\circ}\text{C}$ 至 $450^{\circ}\text{C}$ 之溫度範圍之平均升溫速度為 $10^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以上的升溫速度升溫至 $450^{\circ}\text{C}$ 以上之到達溫度，而獲得奈米結晶合金條帶；

從該奈米結晶合金條帶切取奈米結晶合金條帶片；

將該奈米結晶合金條帶片予以疊層，藉此獲得該疊層塊。

$$t_c > 4/\sigma \quad \dots \quad \text{式(1)}$$

[式(1)中， $t_c$ 表示從該非晶合金條帶之任意一點接觸傳熱介質時起直到該任意一點離開該傳熱介質時的時間(秒)。 $\sigma$ 表示由下式(X)定義之該非晶合金條帶與該傳熱介質的接觸壓力(kPa)。]

$$\sigma = ((F \times (\sin\theta + \sin\alpha))/a) \times 1000 \quad \dots \quad \text{式(X)}$$

[式(X)中，F表示施加於該非晶合金條帶的張力(N)。

a表示該非晶合金條帶與該傳熱介質的接觸面積( $\text{mm}^2$ )。

$\theta$ 係該非晶合金條帶即將接觸該傳熱介質時之移動方向與該非晶合金條帶和該傳熱介質接觸時之移動方向形成的角度，表示 $3^{\circ}$ 以上 $60^{\circ}$ 以下之角度。

$\alpha$ 係該非晶合金條帶和該傳熱介質接觸時之移動方向與該奈米結晶合金條帶剛從該傳熱介質離開時之移動方向形成的角度，表示超過 $0^\circ$ ，且 $15^\circ$ 以下之角度。]

[發明之效果]

### 【0011】

根據本發明，可提供磁芯大小之設計自由度優異、且於包括高溫(例如， $100^\circ\text{C}$ 以上 $200^\circ\text{C}$ 以下)之寬廣溫度範圍內維持高飽和磁通密度( $B_s$ )的疊層塊磁芯、及適合作為上述疊層塊磁芯之一構件的疊層塊及其製造方法。

### 【圖式簡單說明】

#### 【0012】

【圖1】係示意性地表示本實施形態之具體例之疊層塊磁芯(疊層塊磁芯100)的立體圖。

【圖2】係示意性地表示本實施形態之具體例之疊層塊磁芯中的一個疊層塊(疊層塊10A)的立體圖。

【圖3】係圖1之A-A線剖面圖。

【圖4】係示意性地表示本實施形態之一態樣的產線上退火(inline annealing)裝置之傳熱介質、及與該傳熱介質接觸之非晶合金條帶(與傳熱介質接觸後成為奈米結晶合金條帶)的局部側視圖。

### 【實施方式】

#### 【0013】

以下，針對本發明之實施形態進行說明。

本說明書中，利用「~」表示之數值範圍，意指包括「~」之前後所記載之數值作為下限值及上限值的範圍。

又，本說明書中，關於「步驟」之用語，不僅包含獨立的步驟，即使是不能與其他步驟明確區別的情況，只要能達成該步驟所期待的目的，亦包含於本用語。

又，本說明書中，「奈米結晶合金條帶」意指含有奈米結晶之長條的合金條帶。例如，「奈米結晶合金條帶」的概念，不只包含僅由奈米結晶構成之合金條帶，也包含在非晶相中分散有奈米結晶的合金條帶。

又，本說明書中，「奈米結晶合金條帶片」意指從(長條的)奈米結晶合金條帶以短冊狀切出的長度比奈米結晶合金條帶更短的構件。

又，本說明書中，Fe、B、Si、Cu、M(此處，M表示選自於由Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、及W構成之群組中之至少1種元素)等各元素的含量(原子%)，意指令Fe、B、Si、Cu、及M之合計為100原子%時的含量(原子%)。

又，本說明書中，2個線段所形成的角度(具體而言， $\theta$ 及 $\alpha$ )係採用2種方式定義之角度中之較小的角度( $0^\circ$ 以上 $90^\circ$ 以下之範圍的角度)。

#### 【0014】

[疊層塊、疊層塊磁芯]

本實施形態之疊層塊係由具有下列組成式(A)表示之組成之奈米結晶合金條帶片疊層而成的疊層塊。

本實施形態之疊層塊磁芯具備上述疊層塊。

#### 【0015】

$\text{Fe}_{100-a-b-c-d}\text{B}_a\text{Si}_b\text{Cu}_c\text{M}_d \quad \dots \quad \text{組成式(A)}$

[組成式(A)中， $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、及 $d$ 皆為原子%，分別滿足 $13.0 \leq a \leq 17.0$ 、 $3.5 \leq b \leq 5.0$ 、 $0.6 \leq c \leq 1.1$ 、及 $0 \leq d \leq 0.5$ 。M表示選自於由Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、及W構成之群組中之至少1種元素。]

#### 【0016】

根據本實施形態之疊層塊磁芯，可解決捲磁芯中欠缺磁芯大小之設計自由度的問題。亦即，本實施形態之疊層塊磁芯，磁芯大小之設計自由度高。例如，本實施形態之疊層塊磁芯，藉由變更疊層塊之大小及疊層塊之組合數目中之至少一者，可實現各種大小的疊層塊磁芯。

又，根據本實施形態之疊層塊磁芯，亦可解決捲磁芯中之其他問題，例如，渦電流損失容易變大、為了使其彎曲變形成所期望之曲率導致製造步驟容易繁雜化等的問題。

#### 【0017】

又，本實施形態之疊層塊磁芯係使用奈米結晶合金條帶片。因此，本實施形態之疊層塊磁芯，相較於使用非晶合金而得之磁芯，具有高飽和磁通密度( $B_s$ ) (例如1.70T以上之 $B_s$ )。

#### 【0018】

此外，本說明書中，就飽和磁通密度( $B_s$ )而言，意指針對疊層塊磁芯所包含之條帶片，利用VSM(Vibrating Sample Magnetometer)測得的值。

#### 【0019】

又，根據本實施形態之疊層塊磁芯，亦可解決使用非晶合金而得之磁芯的問題(具體而言，由於飽和磁通密度( $B_s$ )相對於溫度上升的降低率大，尤其在高溫環境下磁特性容易劣化的問題)。

本實施形態之疊層塊磁芯，可將 $B_s$ 相對於溫度上升的降低率壓低至例如於 $10^\circ\text{C}$ 以上 $200^\circ\text{C}$ 以下之溫度範圍內 $-0.0004\text{T}/^\circ\text{C} \sim 0.0007\text{T}/^\circ\text{C}$ 。該 $B_s$ 的降低率為使用

$\text{Fe}_{80}\text{Si}_9\text{B}_{11}$ 之組成(下標字為原子%)之非晶合金條帶而得之疊層塊磁芯的值的約1/2。

故，本實施形態之疊層塊磁芯，可在包括高溫(例如 $100^\circ\text{C}$ 以上 $200^\circ\text{C}$ 以下，進一步為 $150^\circ\text{C}$ 以上 $200^\circ\text{C}$ 以下)之寬廣溫度範圍內維持高飽和磁通密度( $B_s$ )。

#### 【0020】

又，本實施形態之疊層塊磁芯所含之奈米結晶合金條帶片具有上述組成式(A)表示之組成。

該組成為包含 $76.4(=100-a-b-c-d=100-17.0-5.0-1.1-0.5)$ 原子%以上之Fe的組成。

由於該高Fe含量(76.4原子%以上)，本實施形態之疊層塊磁芯所含之奈米結晶合金條帶片具有高居禮溫度( $T_c$ )(例如 $680^\circ\text{C}$ 以上 $720^\circ\text{C}$ 以下)。

#### 【0021】

本實施形態之疊層塊磁芯的佔積率，考量減小磁芯之截面積的觀點，宜為85%以上較佳，86%以上更佳。

另一方面，本實施形態之疊層塊磁芯的佔積率，考量製造適性的觀點，宜為92%以下較佳，90%以下更佳。

考量以上的觀點，本實施形態之疊層塊磁芯的佔積率宜為85%以上92%以下較佳，86%以上90%以下更佳。

此外，本實施形態之疊層塊之佔積率的較佳範圍和本實施形態之疊層塊磁芯之佔積率的較佳範圍相同。

#### 【0022】

作為本實施形態之疊層塊磁芯的較佳態樣，可列舉以下態樣：

奈米結晶合金條帶片分別具有矩形狀，

疊層塊具有長方體形狀，

具備至少4個之疊層塊，

至少4個之疊層塊配置成四角環狀，

配置成四角環狀之疊層塊中之奈米結晶合金條帶片的疊層方向和配置成四角環狀之疊層塊之配置面的法線方向為相同方向。

該態樣中，使配置成四角環狀之疊層塊中之奈米結晶合金條帶片的疊層方向皆對齊成和該等疊層塊之配置面的法線方向為相同方向(例如，參照後述圖1及圖3)。因此，著眼於疊層塊彼此的相鄰部分的話，該相鄰部分中，特定疊層塊中之包含奈米結晶合金條帶片之端面的面和與上述特定疊層塊相鄰的另外的疊層塊中之包含奈米結晶合金條帶片之端面的面為對向。因此，形成橫跨上述特定疊層塊與上述相鄰的另外的疊層塊之間的抑制磁通洩漏之封閉磁路。藉由形成該封閉磁路，可減低磁芯損失，並可抑制磁導率的降低。

#### 【0023】

本實施形態之疊層塊磁芯中，奈米結晶合金條帶片之厚度宜分別為 $10\mu\text{m}$ ~ $30\mu\text{m}$ 較佳。

厚度為 $10\mu\text{m}$ 以上的話，可確保奈米結晶合金條帶片的機械強度，並可抑制奈米結晶合金條帶片的斷裂。奈米結晶合金條帶片之厚度宜為 $15\mu\text{m}$ 以上較佳， $20\mu\text{m}$ 以上更佳。

厚度為 $30\mu\text{m}$ 以下的話，係奈米結晶合金條帶片之原料的非晶合金條帶中可獲得穩定的非晶狀態。

#### 【0024】

本實施形態之疊層塊磁芯中，奈米結晶合金條帶片之寬度宜分別為 $5\text{mm}$ ~ $100\text{mm}$ 較佳。

奈米結晶合金條帶片之寬度為 $5\text{mm}$ 以上的話，製造適性優異。

奈米結晶合金條帶片之寬度為100mm以下的話，容易確保穩定生產性。考量進一步提高穩定生產性的觀點，奈米結晶合金條帶片之寬度宜為70mm以下較佳。

**【0025】**

本實施形態之疊層塊磁芯中，奈米結晶合金條帶片之長度相對於寬度之比(長度/寬度)宜分別為1~10較佳。

長度相對於寬度之比為1~10的話，疊層塊磁芯之磁芯大小的設計自由度更為改善。

**【0026】**

本說明書中，奈米結晶合金條帶片之長度，意指奈米結晶合金條帶片之縱向長度(奈米結晶合金條帶片具有矩形狀時為長邊長度)，奈米結晶合金條帶片之寬度，意指奈米結晶合金條帶片之寬度方向長度(奈米結晶合金條帶片具有矩形狀時為短邊長度)。

**【0027】**

奈米結晶合金條帶片之厚度宜分別為10 $\mu$ m~30 $\mu$ m，寬度分別為5mm~100mm，長度相對於寬度之比分別為1~10較佳。厚度、寬度、及長度相對於寬度之比之各自的較佳範圍分別如前述。

**【0028】**

本實施形態之疊層塊磁芯中，奈米結晶合金條帶片宜分別包含30體積%~60體積%的結晶粒徑1nm~30nm之奈米結晶粒較佳。

藉此，疊層塊磁芯的磁特性更為改善。

奈米結晶合金條帶片宜分別包含40體積%~50體積%的結晶粒徑1nm~30nm之奈米結晶粒更佳。

**【0029】**

又，奈米結晶合金條帶片宜分別包含30體積%~60體積%的平均粒徑為5nm~20nm之奈米結晶粒較佳，包含40體積%~50體積%更佳。

### 【0030】

<疊層塊及疊層塊磁芯之具體例>

然後，針對本實施形態之疊層塊及疊層塊磁芯之具體例，邊參照圖1~3邊進行說明。

### 【0031】

圖1係示意性地表示本實施形態之具體例之疊層塊磁芯(疊層塊磁芯100)的立體圖，圖2係示意性地表示本實施形態之具體例之疊層塊磁芯中的一個疊層塊(疊層塊10A)的立體圖，圖3係圖1之A-A線剖面圖及其局部放大圖(圓形圍出的部分)。

### 【0032】

如圖1所示，疊層塊磁芯100具備4個疊層塊(疊層塊10A~10D)，該等疊層塊10A~10D配置成四角環狀。

圖1~圖3中，將配置成四角環狀之疊層塊10A~10D的配置面設定為xy平面(包含x軸及y軸的平面)，該配置面的法線方向設定為z軸方向。

### 【0033】

疊層塊磁芯100所包含之疊層塊10A，如圖2所示，係具有長條平板形狀之奈米結晶合金條帶片12A疊層而成之結構的長方體形狀的塊。又，圖示雖省略，但在多數個奈米結晶合金條帶片12A之間含浸有丙烯酸樹脂、環氧樹脂等樹脂並進行硬化。藉由該經硬化之樹脂，將多數個奈米結晶合金條帶片12A彼此固定，並保持疊層塊10A的長方體形狀。

疊層塊10B~10D的構成也和疊層塊10A的構成相同。

但，各疊層塊的大小係分別因應疊層塊磁芯100之大小而適當設定。因此，各疊層塊的大小(尤其縱向長度)可彼此不同。

#### 【0034】

此外，圖1~圖3中，僅顯示奈米結晶合金條帶片的一部分，省略了剩餘之奈米結晶合金條帶片的圖示。

#### 【0035】

如圖1所示，疊層塊磁芯100中，疊層塊10A~10D中之奈米結晶合金條帶片的疊層方向皆和配置成四角環狀之疊層塊10A~10D之配置面(xy平面)的法線方向(z軸方向)為相同方向。因此，如圖3所示，疊層塊10A與疊層塊10B的相鄰部分中，疊層塊10A中之包含奈米結晶合金條帶片12A之端面的面和疊層塊10B中之包含奈米結晶合金條帶片12B之端面的面為對向。藉此，形成通過疊層塊10A與疊層塊10B的磁路M1。如此在疊層塊磁芯100中，相鄰之疊層塊中之包含奈米結晶合金條帶片之端面的面彼此為對向。藉此，在疊層塊磁芯100中，可抑制相鄰之疊層塊間的磁通洩露(flux leakage)，其結果磁芯損失的降低及磁導率的降低受到抑制。

又，圖示雖省略，但在其他疊層塊彼此的相鄰部分中，包含奈米結晶合金條帶片之端面的面也彼此為對向。

藉由具有該等結構，在疊層塊磁芯100中形成通過疊層塊10A~10D並環繞一周的封閉磁路。藉由該封閉磁路，磁芯損失減小，磁導率的降低受到抑制。

#### 【0036】

也可和本具體例不同，而以使該等4個疊層塊之配置面之法線方向和各疊層塊中之奈米結晶合金條帶片之疊層方向成為正交的方式配置構成四角環狀之4個疊層塊(以下，該配置稱為「配置C」)。但，該配置C中，2個疊層塊之相鄰部分中，其中一疊層塊中之包含奈米結晶合金條帶片之端面的面(以下，亦稱為「疊

層塊之端面」)和另一疊層塊之奈米結晶合金條帶片之主面(亦即，垂直於奈米結晶合金條帶片之厚度方向的面)為對向。故，該態樣中，在其中一疊層塊之端面和另一疊層塊之奈米結晶合金條帶片之主面之間，磁通的洩露非常大。亦即，上述配置C中相鄰之疊層塊間的磁通洩露大，故相較於本具體例，磁芯損失大且磁導率低。

### 【0037】

回到圖1，針對疊層塊磁芯100之較佳大小進行說明。但，本實施形態之疊層塊磁芯的大小並不限定於以下之較佳大小。

疊層塊磁芯100之縱向長度L宜為50mm~1000mm較佳，100mm~500mm更佳。

疊層塊磁芯100之寬度方向長度W宜為10mm~200mm較佳，15mm~100mm更佳。

疊層塊磁芯100之厚度T宜為3mm~100mm較佳，5mm~50mm更佳。此外，疊層塊磁芯100之厚度T係對應於奈米結晶合金條帶片之疊層厚。

疊層塊磁芯100之框寬度W1係對應於奈米結晶合金條帶片之寬度。就框寬度W1而言，在疊層塊磁芯100的4邊中可相同也可不同。框寬度W1之較佳範圍如奈米結晶合金條帶片之寬度之較佳範圍所示。

### 【0038】

疊層塊磁芯100中之疊層數(所疊層之奈米結晶合金條帶片的數量)宜為100~4000較佳，200~3000更佳。

疊層塊磁芯100之佔積率，如前述宜為85%以上92%以下較佳，86%以上90%以下較佳。

### 【0039】

此外，本說明書中，「四角環狀」意指相對於長方體設置有貫穿該長方體之6面中相互平行之2面間的長方體形狀之開口部(亦即，空間部)的形狀整體。

例如，就疊層塊磁芯100的形狀而言，也會有成為四角筒型之形狀的情況(例如，疊層塊10A~10D之疊層數多的情況)，該四角筒型之形狀也包含於本說明書所稱之「四角環狀」。

**【0040】**

以上的具體例係4個疊層塊配置成四角環狀的示例，但本實施形態並不限定於上述具體例。

例如，本實施形態之疊層塊磁芯亦可為5個以上之疊層塊配置成四角環狀者。

**【0041】**

又，就本實施形態之疊層塊磁芯而言，亦可為具備係上述疊層塊磁芯100之第1疊層塊磁芯、及第2疊層塊磁芯的複合體，該第2疊層塊磁芯係(和構成第1疊層塊磁芯之疊層塊不同的)至少4個之本實施形態之疊層塊以環繞第1疊層塊磁芯(疊層塊磁芯100)之內周面側的方式配置而成。

該複合體中，第1疊層塊磁芯中之奈米結晶合金條帶片的疊層方向及第2疊層塊磁芯中之奈米結晶合金條帶片的疊層方向宜為相同方向較佳。又，該複合體中，第1疊層塊磁芯之內周面與第2疊層塊磁芯之外周面宜接觸較佳。

又，在磁芯中，有內周側之磁通密度比起外周側之磁通密度更高的傾向。因此，上述複合體中，考量使該複合體不易磁飽和的觀點，位於內周側之第2疊層塊磁芯中之奈米結晶合金條帶片的Bs宜比起位於外周側之第1疊層塊磁芯中之奈米結晶合金條帶片的Bs更高較佳。

**【0042】**

又，本實施形態之疊層塊磁芯，除具備配置成四角環狀之疊層塊外，可進一步具備另外的疊層塊(不參與四角環狀之形成的疊層塊)。

**【0043】**

又，上述具體例係四角環狀之「單相兩腳磁芯(two-limbed core)」的示例，本實施形態之疊層塊磁芯亦可為將2個四角環狀之「單相兩腳磁芯」排列而成之「三相三腳磁芯」的態樣。

#### 【0044】

<奈米結晶合金條帶片>

然後，針對本實施形態中之奈米結晶合金條帶片進行詳細說明。

此外，以下奈米結晶合金條帶片之組成的說明，也適用於切出奈米結晶合金條帶片之(長條的)奈米結晶合金條帶、及係奈米結晶合金條帶之原料的非晶合金條帶。

奈米結晶合金條帶片具有下列組成式(A)表示之組成。

具有下列組成式(A)表示之組成的奈米結晶合金條帶片，可藉由將具有下列組成式(A)表示之組成的非晶合金條帶進行熱處理而製成奈米結晶合金條帶，然後將奈米結晶合金條帶進行裁切而製造。該熱處理之較佳態樣係後述製法P中之「獲得奈米結晶合金條帶之步驟」的態樣。根據後述製法P中之「獲得奈米結晶合金條帶之步驟」，可獲得起伏、皺紋、及翹曲受到抑制之奈米結晶合金條帶。其結果可獲得由於該等起伏、皺紋、及翹曲所致之佔積率的降低及磁特性的劣化受到抑制的疊層塊。

#### 【0045】

$\text{Fe}_{100-a-b-c-d}\text{B}_a\text{Si}_b\text{Cu}_c\text{M}_d$  ... 組成式(A)

[組成式(A)中，a、b、c、及d皆為原子%，分別滿足 $13.0 \leq a \leq 17.0$ 、 $3.5 \leq b \leq 5.0$ 、 $0.6 \leq c \leq 1.1$ 、及 $0 \leq d \leq 0.5$ 。M表示選自於由Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、及W構成之群組中之至少1種元素。]

#### 【0046】

以下，針對上述組成式(A)進行更加詳細地說明。

第 15 頁，共 34 頁(發明說明書)

組成式(A)中之100-a-b-c-d(亦即，Fe的原子%)，理論上為76.4以上。

Fe係奈米結晶合金條帶片之主成分，當然係有助於磁特性的元素。

100-a-b-c-d宜為78.0以上較佳，80.0以上更佳，超過80.0尤佳，80.5以上又更佳，81.0以上特佳。

100-a-b-c-d的上限係因應a、b、c、及d而決定。

#### 【0047】

組成式(A)中之a(亦即，B的原子%)為13.0以上17.0以下。

B藉由在係奈米結晶合金條帶片之原料的非晶合金條帶中穩定地維持非晶狀態，具有改善製得之奈米結晶合金條帶片中奈米結晶粒之存在密度之均勻性的機能。

本實施形態中，藉由組成式(A)中之a為13.0以上，可有效地發揮B的上述機能。又，藉由組成式(A)中之a為13.0以上，鑄造係奈米結晶合金條帶片之原料的非晶合金條帶時的非晶相之形成能力得到改善，藉此，可抑制熱處理所形成之奈米結晶粒的大型化。

另一方面，藉由組成式(A)中之a為17.0以下，可確保Fe的含量，故可進一步改善奈米結晶合金條帶片的Bs。

#### 【0048】

組成式(A)中之b(亦即，Si的原子%)為3.5以上5.0以下。

Si具有使係奈米結晶合金條帶片之原料的非晶合金條帶之結晶化溫度上升、且形成牢固的表面氧化膜的機能。

本實施形態中，藉由組成式(A)中之b為3.5以上，可有效地發揮Si的上述機能。故，可於更高溫進行熱處理，因而變得容易有效地形成緻密且微細的奈米結晶組織。其結果製得之奈米結晶合金條帶片的Bs更為改善。

另一方面，藉由組成式(A)中之b為5.0以下，可確保Fe的含量，故奈米結晶合金條帶片的Bs得到改善。

#### 【0049】

組成式(A)中之c(亦即，Cu的原子%)為0.6以上1.1以下。

Cu藉由在將非晶合金條帶進行熱處理而獲得奈米結晶合金條帶的過程中形成Cu簇集，具有使以Cu簇集作為核的奈米結晶化更有效地進行的機能。

本實施形態中，藉由組成式(A)中之c為0.6以上，可有效地發揮Cu的上述機能。又，藉由組成式(A)中之c為0.6以上，成為奈米結晶粒之核的Cu簇集容易以分散於合金組織內之狀態形成，藉此，可抑制熱處理所形成之奈米結晶粒的大型化，且可抑制上述奈米結晶粒之粒度分布的變異。

另一方面，藉由組成式(A)中之c為1.1以下，可進一步抑制非晶合金條帶之製作階段(液體急冷階段)中之Cu的簇集形成及奈米結晶粒的析出。因此，藉由熱處理能以更加良好的再現性製作奈米結晶合金條帶。

又，根據後述製法P，有助於奈米結晶化之進行的Cu即使為1.1原子%以下，亦容易進行奈米結晶化。

#### 【0050】

組成式(A)中之d(亦即，組成式(A)中之M表示之選自於由Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、及W構成之群組中之至少1種元素的原子%)為0以上0.5以下。

M為任意的添加元素，M的含量可為0原子%(亦即，組成式(A)中之d可為0)。

但，M藉由在係奈米結晶合金條帶片之原料的非晶合金條帶中穩定地維持非晶狀態，具有改善製得之奈米結晶合金條帶片中奈米結晶粒之存在密度之均勻性的機能。考量發揮M的上述機能的觀點，組成式(A)中之d宜為超過0較佳。考量更有效地發揮上述M的機能的觀點，組成式(A)中之d宜為0.1以上較佳，0.2以上更佳。

另一方面，組成式(A)中之 $d$ 宜為0.5以下較佳。

組成式(A)中之 $d$ 為0.5以下的話，可進一步抑制軟磁性的降低。

考量以上的觀點，組成式(A)中之 $d$ 宜為超過0，且0.5以下較佳，0.1以上0.5以下更佳，0.2以上0.5以下特佳。

#### 【0051】

奈米結晶合金條帶片可含有上述Fe、B、Si、Cu、及M以外的雜質。

就雜質而言，可列舉選自於由Ni、Mn、及Co構成之群組中之至少1種元素。但，考量進一步抑制軟磁性的降低的觀點，該等元素之總含量宜相對於奈米結晶合金條帶片之總質量為0.4質量%以下較佳，0.3質量%以下更佳，0.2質量%以下特佳。

又，作為雜質，也可列舉選自於由Re、Zn、As、In、Sn、及稀土類元素構成之群組中之至少1種元素。但，考量進一步改善飽和磁通密度( $B_s$ )的觀點，該等元素之總含量宜相對於奈米結晶合金條帶片之總質量為1.5質量%以下較佳，1.0質量%以下更佳。

作為雜質，亦可列舉上述元素以外的元素，例如，可列舉O、S、P、Al、Ge、Ga、Be、Au、Ag等。

奈米結晶合金條帶片中之雜質的總含量宜相對於奈米結晶合金條帶片之總質量為1.5質量%以下較佳，1.0質量%以下更佳。

#### 【0052】

奈米結晶合金條帶片之厚度、寬度等之較佳態樣如前述。

#### 【0053】

[疊層塊之製造方法(製法P)]

製造本實施形態之疊層塊的方法並無特別限制，以下所示之製法P為較理想。

製法P包括以下步驟：

準備具有上述組成式(A)表示之組成的非晶合金條帶；

使非晶合金條帶於施加有張力F之狀態連續移動，並使於施加有張力F之狀態連續移動之非晶合金條帶的一部分區域以滿足下式(1)之條件接觸維持在450°C以上之溫度的傳熱介質，藉此將非晶合金條帶之溫度以350°C至450°C之溫度範圍之平均升溫速度為10°C/秒以上的升溫速度升溫至450°C以上之到達溫度，而獲得奈米結晶合金條帶；

從奈米結晶合金條帶切取奈米結晶合金條帶片；

將奈米結晶合金條帶片予以疊層，藉此獲得疊層塊。

#### 【0054】

$$t_c > 4/\sigma \quad \dots \quad \text{式(1)}$$

[式(1)中， $t_c$ 表示從該非晶合金條帶之任意一點接觸傳熱介質時起直到該任意一點離開該傳熱介質時的時間(秒)。 $\sigma$ 表示由後述式(X)定義之非晶合金條帶與傳熱介質的接觸壓力(kPa)。]

#### 【0055】

根據製法P中之獲得奈米結晶合金條帶之步驟，可獲得起伏、皺紋、及翹曲受到抑制之奈米結晶合金條帶，故可獲得由於該等起伏、皺紋、及翹曲所致之佔積率的降低及磁特性的劣化受到抑制之疊層塊。

#### 【0056】

根據獲得奈米結晶合金條帶之步驟可獲得起伏、皺紋、及翹曲受到抑制之奈米結晶合金條帶的理由，據考慮係由於：根據本步驟，可減小成為起伏、皺紋、及翹曲之原因的奈米結晶粒之存在密度的變異。

根據獲得奈米結晶合金條帶之步驟能減小奈米結晶粒之存在密度的變異的理由，據考慮為以下的理由。但，本發明並不限定於以下理由。

## 【0057】

據考慮一般將非晶合金條帶進行熱處理以製造奈米結晶合金條帶時，在用於熱處理的升溫過程中，尤其在 $350^{\circ}\text{C}$ 至 $450^{\circ}\text{C}$ 之溫度範圍的升溫過程中，由於原子的移動，會形成係原子彼此之集合體的簇集(非晶合金條帶含Cu時，主要形成Cu簇集)。此外，據考慮在 $450^{\circ}\text{C}$ 以上之溫度範圍，以上述簇集作為核奈米結晶粒成長，藉此製造奈米結晶合金條帶。以下，奈米結晶粒成長亦稱為「奈米結晶化」。

據考慮此時在簇集之大小變得過大的條件(亦即，原子的移動時間相對較長的條件)下，條帶中取決於位置簇集之存在密度的變異變大。其結果以簇集作為核而成長的奈米結晶粒之存在密度的變異亦變大。

## 【0058】

鑒於以上情形，在獲得奈米結晶合金條帶之步驟中，係以 $350^{\circ}\text{C}$ 至 $450^{\circ}\text{C}$ 之溫度範圍(亦即，簇集形成之溫度範圍)之平均升溫速度(以下，亦稱為「平均升溫速度 $R_{350-450}$ 」)為 $10^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以上的升溫速度將非晶合金條帶之溫度升溫至 $450^{\circ}\text{C}$ 以上之到達溫度(亦即，於此條件對非晶合金條帶進行熱處理)。據考慮藉此用於形成簇集之原子移動的時間變短，成為奈米結晶之核的簇集之大小變得過大的現象受到抑制，因此可抑制簇集之存在密度的變異。

進一步，本步驟中，為了非晶合金條帶之上述升溫(亦即熱處理)，係使於施加有張力 $F$ 之狀態連續移動的非晶合金條帶的一部分區域以滿足式(1)之條件接觸維持在 $450^{\circ}\text{C}$ 以上之溫度的傳熱介質。詳細而言，係使從連續移動的非晶合金條帶之任意一點接觸傳熱介質時起直到該任意一點離開該傳熱介質時的時間 $t_c$ (亦即，於上述任意一點與傳熱介質接觸之狀態通過該傳熱介質的時間)超過 $4/\sigma$ 。藉此，可充分進行從傳熱介質到非晶合金條帶的傳熱，自非晶開始的奈米結晶化充分進行，而獲得奈米結晶合金條帶。且，據考慮如上述藉由使平均升溫速

度 $R_{350-450}$ 成為 $10^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以上，成為奈米結晶之核的簇集之存在密度的變異受到抑制。

### 【0059】

總之，根據獲得奈米結晶合金條帶之步驟，藉由使平均升溫速度 $R_{350-450}$ 成為 $10^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以上以縮短簇集成長的時間，同時藉由使 $t_c(\text{秒})$ 超過 $4/\sigma$ 以確保奈米結晶化的時間，可獲得奈米結晶粒之存在分布的均勻性得到改善之奈米結晶合金條帶。

### 【0060】

本說明書中， $350^{\circ}\text{C}$ 至 $450^{\circ}\text{C}$ 之溫度範圍之平均升溫速度(平均升溫速度 $R_{350-450}$ )，意指 $450^{\circ}\text{C}$ 與 $350^{\circ}\text{C}$ 的差(亦即， $100^{\circ}\text{C}$ )除以從非晶合金條帶之任意一點之溫度達到 $350^{\circ}\text{C}$ 時起直到達到 $450^{\circ}\text{C}$ 時的時間(秒)得到的值。

獲得奈米結晶合金條帶之步驟中，平均升溫速度 $R_{350-450}$ 為 $10^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以上。

平均升溫速度 $R_{350-450}$ 未達 $10^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 的話，用於簇集成長之原子移動的時間變長，簇集之存在密度的變異變大，其結果奈米結晶化的均勻性降低，獲得之奈米結晶合金條帶中容易產生起伏、皺紋、及翹曲。

就平均升溫速度 $R_{350-450}$ 而言，考量進一步抑制獲得之奈米結晶合金條帶中之起伏、皺紋、及翹曲產生的觀點，宜為 $100^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以上較佳。

平均升溫速度 $R_{350-450}$ 的上限並無特別限制，就上限而言，例如，可列舉 $10000^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 、 $900^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 、 $800^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 等。

### 【0061】

又，式(1)中之 $\sigma$ 係由下式(X)定義之非晶合金條帶與傳熱介質的接觸壓力。

### 【0062】

$$\sigma = ((F \times (\sin\theta + \sin\alpha)) / a) \times 1000 \quad \dots \quad \text{式(X)}$$

[式(X)中，F表示施加於該非晶合金條帶的張力(N)。

a表示非晶合金條帶與傳熱介質的接觸面積( $\text{mm}^2$ )。

$\theta$ 係非晶合金條帶即將接觸傳熱介質時之移動方向與非晶合金條帶和傳熱介質接觸時之移動方向形成的角度，表示 $3^\circ$ 以上 $60^\circ$ 以下之角度。

$\alpha$ 係非晶合金條帶和傳熱介質接觸時之移動方向與奈米結晶合金條帶剛從傳熱介質離開時之移動方向形成的角度，表示超過 $0^\circ$ ，且 $15^\circ$ 以下之角度。]

### 【0063】

以下，針對式(X)進行更加詳細地說明。

獲得奈米結晶合金條帶之步驟中，係使於施加有張力F之狀態連續移動的非晶合金條帶的一部分區域接觸傳熱介質。亦即，施加有張力F之狀態的非晶合金條帶，係以於維持與該傳熱介質接觸之狀態通過傳熱介質的方式連續移動。非晶合金條帶藉由通過傳熱介質而成為奈米結晶合金條帶。

藉由在非晶合金條帶施加張力F，非晶合金條帶即將接觸傳熱介質時之移動方向、非晶合金條帶和傳熱介質接觸時之移動方向、及奈米結晶合金條帶剛從傳熱介質離開時之移動方向均成為直線狀。

惟，非晶合金條帶可在比起「即將接觸傳熱介質時」更靠移動方向上游側，邊經由輸送輥等邊蛇行移動。同樣由非晶合金條帶獲得之奈米結晶合金條帶亦可在比起「剛從傳熱介質離開時」更靠移動方向下游側，邊經由輸送輥等邊蛇行移動。

### 【0064】

式(X)中，非晶合金條帶即將接觸傳熱介質時之移動方向與非晶合金條帶和傳熱介質接觸時之移動方向形成的角度 $\theta$ (參照圖4；以下，亦稱為「進入角度 $\theta$ 」)為 $3^\circ$ 以上 $60^\circ$ 以下。

考量更有效地確保 $\sigma$ 的觀點，進入角度 $\theta$ 宜為 $5^\circ\sim 60^\circ$ 較佳， $10^\circ\sim 60^\circ$ 更佳， $15^\circ\sim 50^\circ$ 特佳。

### 【0065】

式(X)中，非晶合金條帶和傳熱介質接觸時之移動方向與奈米結晶合金條帶剛從傳熱介質離開時之移動方向形成的角度 $\alpha$ (參照圖4；以下，亦稱為「退出角度 $\alpha$ 」)為超過 $0^\circ$ ，且 $15^\circ$ 以下。

退出角度 $\alpha$ 宜為 $0.05^\circ$ 以上 $10^\circ$ 以下較佳， $0.05^\circ$ 以上 $5^\circ$ 以下更佳。

#### 【0066】

又，本步驟中，連續移動的非晶合金條帶的一部分區域和傳熱介質的接觸，係於在非晶合金條帶施加有張力 $F$ 之狀態進行。

亦即，式(X)中之張力 $F$ 為超過 $0\text{N}$ 。

本步驟中，張力 $F$ 超過 $0\text{N}$ ， $\sin\theta$ 超過 $0$ (詳細而言， $\theta$ 為 $3^\circ$ 以上 $60^\circ$ 以下)， $\sin\alpha$ 超過 $0$ (詳細而言， $\alpha$ 為超過 $0^\circ$ ，且 $15^\circ$ 以下)。因此，接觸壓力( $\sigma$ )亦超過 $0\text{kPa}$ 。藉由接觸壓力( $\sigma$ )超過 $0\text{kPa}$ ，可有效地進行從傳熱介質到非晶合金條帶的傳熱。

#### 【0067】

就張力 $F$ 而言，宜為 $1.0\text{N}\sim 40.0\text{N}$ 較佳， $2.0\text{N}\sim 35.0\text{N}$ 更佳， $3.0\text{N}\sim 30.0\text{N}$ 特佳。

張力 $F$ 為 $1.0\text{N}$ 以上的話，可進一步抑制製得之奈米結晶合金條帶中之起伏、皺紋、及翹曲的產生。

張力 $F$ 為 $40.0\text{N}$ 以下的話，可進一步抑制非晶合金條帶或奈米結晶合金條帶的斷裂。

#### 【0068】

式(X)中，非晶合金條帶與傳熱介質之接觸面積 $a$ ，考量更有效地進行奈米結晶化的觀點，宜為 $500\text{mm}^2$ 以上較佳， $1000\text{mm}^2$ 以上更佳。接觸面積 $a$ 的上限並無特別限制，考量生產性的觀點，接觸面積 $a$ 的上限為例如 $10000\text{mm}^2$ ，較佳為 $8000\text{mm}^2$ 以下。

#### 【0069】

又，非晶合金條帶與傳熱介質之接觸部分的條帶移動方向之長度，亦取決於非晶合金條帶之寬度，但考量更有效地進行奈米結晶化的觀點，宜為30mm以上較佳，50mm以上更佳。

上述接觸部分的條帶移動方向之長度的上限並無特別限制，考量生產性的觀點，上述接觸部分的條帶移動方向之長度的上限為例如1000mm，較佳為500mm。

#### 【0070】

式(X)及式(1)中， $\sigma$ 宜為0.1kPa以上較佳，0.4kPa以上更佳。

$\sigma$ 為0.1kPa以上的話，更容易達成上述平均升溫速度 $R_{350-450}$ (10°C/秒以上)。

又， $\sigma$ 為0.1kPa以上的話，考量降低保磁力(Hc)的方面亦為有利。

$\sigma$ 的上限並無特別限制，就上限而言，例如可列舉20kPa。

#### 【0071】

又，式(1)中，從非晶合金條帶之任意一點接觸傳熱介質時起直到該任意一點離開該傳熱介質時的時間( $t_c$ )的上限並無特別限制， $t_c$ 宜為300秒以下較佳，100秒以下更佳，50秒以下尤佳，10秒以下特佳。

$t_c$ 為300秒以下的話，奈米結晶合金條帶的生產性更為改善。

又， $t_c$ 為300秒以下時，能進一步降低可使奈米結晶合金條帶之軟磁特性(保磁力(Hc)、飽和磁通密度(Bs)等)劣化之Fe-B化合物的析出頻率。

此外，只要滿足式(1)， $t_c$ 的下限並無特別限制。以生產穩定性的觀點觀之， $t_c$ 宜為0.5秒以上較佳。

#### 【0072】

又，如上述，本步驟中滿足式(1)( $t_c > 4/\sigma$ )。

本步驟中， $t_c$ 相對於( $4/\sigma$ )的比( $t_c/(4/\sigma)$ )宜為1.1以上較佳，1.2以上更佳。

本步驟中， $t_c$ 與( $4/\sigma$ )的差( $t_c - (4/\sigma)$ )宜為0.3以上較佳，0.5以上更佳。

**【0073】**

以下，針對製法P之較佳態樣進行更加詳細地說明。

**【0074】**

<準備非晶合金條帶之步驟>

本步驟包括準備具有上述組成式(A)表示之組成的非晶合金條帶。

上述非晶合金條帶係奈米結晶合金條帶之原料。

就上述非晶合金條帶而言，可利用將熔融合金噴出至軸旋轉之冷卻輥的液體急冷法等公知的方法製造。但，準備非晶合金條帶之步驟未必是製造非晶合金條帶之步驟，亦可是單純準備預先製得之非晶合金條帶的步驟。

**【0075】**

上述非晶合金條帶之寬度及厚度的較佳範圍和奈米結晶合金條帶片之寬度及厚度的較佳範圍相同。

**【0076】**

準備非晶合金條帶之步驟，亦可包括準備上述非晶合金條帶之捲繞體。

此時，在以下獲得奈米結晶合金條帶之步驟中，係使從非晶合金條帶之捲繞體捲出的非晶合金條帶於施加有張力F之狀態連續移動。

**【0077】**

<獲得奈米結晶合金條帶之步驟>

本步驟包括：使非晶合金條帶於施加有張力F之狀態連續移動，並使於施加有張力F之狀態連續移動的非晶合金條帶的一部分區域以滿足上述式(1)之條件接觸維持在450°C以上之溫度的傳熱介質，藉此將非晶合金條帶之溫度以350°C至450°C之溫度範圍之平均升溫速度為10°C/秒以上的升溫速度升溫至450°C以上之到達溫度，而獲得奈米結晶合金條帶。

關於獲得奈米結晶合金條帶之步驟之較佳態樣的一部分如已述說明。

**【0078】**

傳熱介質可列舉板、雙輓等。

作為傳熱介質之材質，可列舉銅、銅合金(青銅、黃銅等)、鋁、鐵、鐵合金(不銹鋼等)等，銅、銅合金、或鋁為較佳。

傳熱介質可施以Ni鍍敷、Ag鍍敷等鍍敷處理。

**【0079】**

傳熱介質之溫度如前述為450°C以上。藉此，在條帶的組織中進行奈米結晶化。

傳熱介質之溫度宜為450°C~550°C較佳。

傳熱介質之溫度為550°C以下時，能進一步降低可使奈米結晶合金條帶之軟磁特性(Hc、Bs等)劣化之Fe-B化合物的析出頻率。

**【0080】**

又，本步驟中，係將非晶合金條帶升溫至450°C以上之到達溫度。藉此，在條帶的組織中進行奈米結晶化。

到達溫度宜為450°C~550°C較佳。

到達溫度為550°C以下時，能進一步降低可使奈米結晶合金條帶之軟磁特性(Hc、Bs等)劣化之Fe-B化合物的析出頻率。

又，到達溫度宜和傳熱介質之溫度為相同溫度較佳。

**【0081】**

又，本步驟中，升溫後可將奈米結晶合金條帶之溫度在傳熱介質上保持一定時間。

又，本步驟中，宜將獲得之奈米結晶合金條帶進行冷卻(較佳為冷卻至室溫)較佳。

又，本步驟亦可包括：將獲得之奈米結晶合金條帶(較佳為上述冷卻後之奈米結晶合金條帶)進行捲繞，藉以獲得奈米結晶合金條帶之捲繞體。

#### 【0082】

<獲得奈米結晶合金條帶之步驟之一較佳態樣(態樣X)>

作為獲得奈米結晶合金條帶之步驟之一較佳態樣，可列舉如下態樣：使用具備傳熱介質之產線上退火裝置，使上述非晶合金條帶接觸傳熱介質而進行熱處理，藉此製作奈米結晶合金條帶(以下，稱為「態樣X」)。

#### 【0083】

圖4係示意性地表示態樣X之產線上退火裝置之傳熱介質、及與該傳熱介質接觸之非晶合金條帶(與傳熱介質接觸後成為奈米結晶合金條帶)的局部側視圖。

如圖4所示，態樣X中，使於粗箭頭的方向連續移動的非晶合金條帶200A接觸維持在 $450^{\circ}\text{C}$ 以上之溫度的傳熱介質210，藉此將非晶合金條帶200A進行連續地熱處理。以下，針對該熱處理的細節，為方便起見分階段進行說明，但以下熱處理係連續進行。

首先，使利用張力器(tensioner)(未顯示於圖中)施加有張力 $F$ 之狀態的非晶合金條帶200A以進入角度 $\theta$ 進入到維持在 $450^{\circ}\text{C}$ 以上之溫度的傳熱介質210。藉此，使非晶合金條帶200A接觸傳熱介質210。

然後，將非晶合金條帶200A利用傳熱介質210進行熱處理，藉此獲得奈米結晶合金條帶200B。詳細而言，藉由以滿足上述式(1)( $t_c > 4/\sigma$ )之條件接觸傳熱介質210，並藉由將非晶合金條帶200A以 $350^{\circ}\text{C}$ 至 $450^{\circ}\text{C}$ 之溫度範圍之平均升溫速度 $R_{350-450}$ 為 $10^{\circ}\text{C}/\text{秒}$ 以上的條件升溫至 $450^{\circ}\text{C}$ 以上之溫度，而獲得奈米結晶合金條帶200B。

平均升溫速度 $R_{350-450}$ 、及上述式(1)中之 $t_c$ 及 $\sigma$ 之較佳範圍如前述。

#### 【0084】

熱處理後，使奈米結晶合金條帶200B以退出角度 $\alpha$ 從傳熱介質210退出，然後冷卻(空冷)至室溫。之後，藉由未顯示於圖中之捲繞輥將奈米結晶合金條帶200B進行捲繞。

#### 【0085】

<切取奈米結晶合金條帶片之步驟>

本步驟包括：從上述奈米結晶合金條帶切取奈米結晶合金條帶片。

此處，從奈米結晶合金條帶切取奈米結晶合金條帶片，可藉由將奈米結晶合金條帶以成為所期望之縱向長度(例如，目標疊層塊之長邊長度)的方式進行裁切而進行。

目標疊層塊之短邊長度和奈米結晶合金條帶之寬度相同時，本步驟中可僅進行成為上述所期望之縱向長度的裁切即可。

又，目標疊層塊之短邊長度比起奈米結晶合金條帶之寬度更短時，在實施成為上述所期望之縱向長度的裁切後，進行成為所期望之寬度方向長度(例如，欲製造之疊層塊之短邊長度)的加工(裁切及研磨中之至少一者)即可。

#### 【0086】

奈米結晶合金條帶片的切取(亦即，奈米結晶合金條帶的裁切)可利用砥石、金剛石裁切機等公知的裁切手段進行。

#### 【0087】

上述獲得奈米結晶合金條帶之步驟中，將奈米結晶合金條帶進行捲繞而製成捲繞體時，切取奈米結晶合金條帶片之步驟中，係從奈米結晶合金條帶之捲繞體捲出奈米結晶合金條帶，並從捲出之奈米結晶合金條帶切取奈米結晶合金條帶片。

#### 【0088】

<獲得疊層塊之步驟>

本步驟包括：藉由將奈米結晶合金條帶片予以疊層，而獲得疊層塊。

本步驟宜包括下列步驟較佳：將奈米結晶合金條帶片予以疊層，使樹脂(例如，丙烯酸樹脂、環氧樹脂等)含浸於經疊層之奈米結晶合金條帶片間之至少一部分，然後將該樹脂硬化。

藉由使含浸之樹脂硬化，多數個奈米結晶合金條帶片被固定，故容易維持疊層塊的形狀(例如長方體形狀)。

#### 【0089】

本步驟亦可包括：將疊層塊中之經疊層之奈米結晶合金條帶片的端面進行研磨，為了去除裁切面中之殘留加工應力而進行利用酸等所為之蝕刻去除等。

#### 【0090】

製法P也可包括上述步驟以外之其他步驟。

作為其他步驟，可列舉將多數個(較佳為4個以上)疊層塊進行組合而獲得疊層塊磁芯的步驟。

疊層塊磁芯中之多數個疊層塊之配置的較佳態樣如前述。

多數個疊層塊也可藉由黏著劑等進行黏著。又，就多數個疊層塊而言，也可藉由以使各疊層塊之連接部分確實地接觸的方式容納在預定形狀之塑膠盒中而進行固定。

#### [實施例]

#### 【0091】

以下，顯示本發明之實施例，但本發明並不限於以下實施例。

#### 【0092】

#### [實施例1]

#### <疊層塊之製作>

利用將熔融合金噴出至軸旋轉之冷卻輓的液體急冷法，製造具有 $\text{Fe}_{81.3}\text{B}_{13.8}\text{Si}_{4.0}\text{Cu}_{0.7}\text{Mo}_{0.2}$ 之組成(下標字為原子%)的寬度19mm、厚度23 $\mu\text{m}$ 之非晶合金條帶。

X射線繞射及穿透式電子顯微鏡(TEM)觀察的結果，在非晶合金條帶之非晶相中未確認到奈米結晶的析出。

### 【0093】

然後，根據上述態樣X，使用具備傳熱介質之產線上退火裝置，並使上述非晶合金條帶接觸傳熱介質而進行熱處理，藉此製作奈米結晶合金條帶。使獲得之奈米結晶合金條帶從傳熱介質退出，然後冷卻(空冷)至室溫，之後進行捲繞而製成奈米結晶合金條帶之捲繞體。

本實施例1之製造條件如下。

### 【0094】

-實施例1之製造條件-

傳熱介質：青銅製板

傳熱介質之溫度：510°C

施加於非晶合金條帶的張力F：30N

非晶合金條帶與傳熱介質的接觸面積a：1880mm<sup>2</sup>

進入角度 $\theta$ ：45°

非晶合金條帶與傳熱介質的接觸壓力 $\sigma$ ：12.7kPa(根據上述式(X)算出的值)。

$4/\sigma$ ：0.3(根據上述 $\sigma$ 算出的值)

非晶合金條帶與傳熱介質的接觸時間 $t_c$ ：0.9秒

退出角度 $\alpha$ ：5°

平均升溫速度 $R_{350-450}$ ：超過200°C/秒

到達溫度 $T_a$ ：510°C

### 【0095】

利用TEM觀察上述冷卻後之奈米結晶合金條帶的剖面，結果上述冷卻後之奈米結晶合金條帶包含奈米結晶粒。詳細而言，冷卻後之奈米結晶合金條帶中的結晶粒徑1nm以上30nm以下之奈米結晶粒的含量為45體積%。剩餘部分為非晶相。

此外，本實施例中，求出結晶粒徑1nm以上30nm以下之奈米結晶粒在視野面積 $1\mu\text{m}\times 1\mu\text{m}$ 之TEM圖像全體中所佔的面積比率(%), 將該面積比率(%)作為奈米結晶合金條帶中之奈米結晶粒相的含量(體積%)。

#### 【0096】

又，藉由ICP發光分光分析確認到：上述冷卻後之奈米結晶合金條帶和係原料之非晶合金條帶為相同組成。

#### 【0097】

然後，從奈米結晶合金條帶之捲繞體捲出奈米結晶合金條帶，並將捲出之奈米結晶合金條帶進行裁切，切取1320片縱向長度為86mm之奈米結晶合金條帶片。奈米結晶合金條帶的裁切係使用具備旋轉砥石之切割刀片實施。

將上述1320片奈米結晶合金條帶片予以疊層而製成疊層體，然後，藉由真空含浸使丙烯酸樹脂含浸於疊層體中之奈米結晶合金條帶片之間，之後，將丙烯酸樹脂硬化。

然後，將疊層體之端面(包含奈米結晶合金條帶片之端面的面)進行研磨，之後蝕刻去除數 $\mu\text{m}$ 左右，藉此獲得疊層塊。

藉由以上的操作，製作2個長度85mm、寬度18mm、厚度(疊層厚)35mm之疊層塊。

#### 【0098】

進一步，將切取之奈米結晶合金條帶片之縱向長度變更為64mm，除此以外，和上述同樣進行，製作2個長度63mm、寬度18mm、厚度(疊層厚)35mm之疊層塊。

**【0099】**

又，基於各疊層塊中之奈米結晶合金條帶片的疊層數(任一疊層塊中皆為1320層)，求出各疊層塊之佔積率(亦即，後述疊層塊磁芯之佔積率)，結果佔積率為87%。以下顯示佔積率之計算式。

$$\text{佔積率(\%)} = ((23 \times 1320) / 35000) \times 100$$

**【0100】**

## &lt;疊層塊磁芯之製作&gt;

將上述4個疊層塊和前述疊層塊10A~10D(圖1)同樣地進行配置，獲得和前述疊層塊磁芯100同樣構成之四角環狀的疊層塊磁芯。

製得之疊層塊磁芯的大小，縱向長度L為121mm，寬度方向長度W為63mm，厚度T為35mm，框寬度W1為18mm。

**【0101】**

## &lt;疊層塊磁芯之磁特性之測定&gt;

針對本實施例1之疊層塊磁芯，就磁特性而言，分別測定奈米結晶合金條帶片的Bs(T)及Hc(A/m)。此外，如前述Bs係藉由疊層塊磁芯所含之奈米結晶合金條帶片的VSM測定而求得(後述實施例2中之Bs也同樣)。

其結果本實施例1之疊層塊磁芯中，奈米結晶合金條帶片的Bs為1.71T，Hc為4.0A/m。

如以上般，本實施例1之疊層塊磁芯相較於後述比較用疊層塊磁芯，具有優異的磁特性。

**【0102】**

## [實施例2]

將係原料之非晶合金條帶之組成變更成 $\text{Fe}_{81.8}\text{B}_{13.3}\text{Si}_{3.8}\text{Cu}_{0.8}\text{Mo}_{0.3}$ 之組成(下標字為原子%)，並將傳熱介質之溫度變更為 $498^\circ\text{C}$ ，除此以外，進行和實施例1同樣的操作。

針對本實施例2之疊層塊磁芯，就磁特性而言，分別測定奈米結晶合金條帶片的 $B_s(\text{T})$ 及 $H_c(\text{A/m})$ 。

其結果 $B_s$ 為 $1.72\text{T}$ ， $H_c$ 為 $4.0\text{A/m}$ 。

如以上般，本實施例2之疊層塊磁芯相較於後述比較用疊層塊磁芯，具有優異的磁特性。

### 【0103】

#### [比較例1]

將奈米結晶合金條帶變更成 $\text{Fe}_{80}\text{Si}_9\text{B}_{11}$ 之組成(下標字為原子%)之非晶合金條帶，除此以外，和實施例1同樣進行，製作非晶合金條帶片疊層而成之結構的比較用疊層塊磁芯。

比較用疊層塊磁芯中，非晶合金條帶片的 $B_s$ 為 $1.56\text{T}$ 。

### 【0104】

2016年2月29日提申之美國臨時專利申請62/300,937之揭示內容全部援引於本說明書中以作參照。

本說明書所記載之全部文獻、專利申請、及技術規格，係和援引各個文獻、專利申請、及技術規格以作參照而具體且分別標記的情形同程度地援引於本說明書中以作參照。

### 【符號說明】

#### 【0105】

10A~10D 疊層塊

- 12A、12B 奈米結晶合金條帶片
- 100 疊層塊磁芯
- 200A 非晶合金條帶
- 200B 奈米結晶合金條帶
- 210 傳熱介質
- L 疊層塊磁芯之縱向長度
- W 疊層塊磁芯之寬度方向長度
- W1 疊層塊磁芯之框寬度
- T 疊層塊磁芯之厚度
- M1 磁路
- $\theta$  進入角度
- $\alpha$  退出角度
- F 張力

## 【發明申請專利範圍】

### 【第1項】

一種疊層塊磁芯，具備由具有下列組成式(A)表示之組成之奈米結晶合金條帶片疊層而成的疊層塊；

該奈米結晶合金條帶片分別包含40體積%~60體積%的結晶粒徑1nm~30nm之奈米結晶粒；

$Fe_{100-a-b-c-d}B_aSi_bCu_cM_d$  ... 組成式(A)

組成式(A)中，a、b、c、及d皆為原子%，分別滿足 $13.0 \leq a \leq 17.0$ 、 $3.5 \leq b \leq 5.0$ 、 $0.6 \leq c \leq 1.1$ 、及 $0 \leq d \leq 0.5$ ；M表示選自於由Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、及W構成之群組中之至少1種元素。

### 【第2項】

如申請專利範圍第1項之疊層塊磁芯，佔積率為85%以上92%以下。

### 【第3項】

如申請專利範圍第1或2項之疊層塊磁芯，其中，

該奈米結晶合金條帶片分別具有矩形狀，

該疊層塊具有長方體形狀，

具備至少4個之該疊層塊，

至少4個之該疊層塊配置成四角環狀，

配置成該四角環狀之該疊層塊中之奈米結晶合金條帶片的疊層方向和配置成該四角環狀之該疊層塊之配置面的法線方向為相同方向。

### 【第4項】

如申請專利範圍第1或2項之疊層塊磁芯，其中，該奈米結晶合金條帶片之厚度分別為 $10\mu m \sim 30\mu m$ ，寬度分別為 $5mm \sim 100mm$ ，長度相對於寬度之比為1~10。

### 【第5項】

一種疊層塊，係由具有下列組成式(A)表示之組成之奈米結晶合金條帶片疊層而成；

該奈米結晶合金條帶片分別包含40體積%~60體積%的結晶粒徑1nm~30nm之奈米結晶粒；

$\text{Fe}_{100-a-b-c-d}\text{B}_a\text{Si}_b\text{Cu}_c\text{M}_d$  ... 組成式(A)

組成式(A)中，a、b、c、及d皆為原子%，分別滿足 $13.0 \leq a \leq 17.0$ 、 $3.5 \leq b \leq 5.0$ 、 $0.6 \leq c \leq 1.1$ 、及 $0 \leq d \leq 0.5$ ；M表示選自於由Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、及W構成之群組中之至少1種元素。

### 【第6項】

一種疊層塊之製造方法，係製造如申請專利範圍第5項之疊層塊的方法，包括以下步驟：

準備具有該組成式(A)表示之組成的非晶合金條帶；

使該非晶合金條帶於施加有張力F之狀態連續移動，並使於該施加有張力F之狀態連續移動之該非晶合金條帶的一部分區域以滿足下式(1)之條件接觸維持在450°C以上之溫度的傳熱介質，藉此將該非晶合金條帶之溫度以350°C至450°C之溫度範圍之平均升溫速度為10°C/秒以上的升溫速度升溫至450°C以上之到達溫度，而獲得奈米結晶合金條帶；

從該奈米結晶合金條帶切取奈米結晶合金條帶片；

將該奈米結晶合金條帶片予以疊層，藉此獲得該疊層塊；

$$t_c > 4/\sigma \quad \dots \quad \text{式(1)}$$

式(1)中， $t_c$ 表示從該非晶合金條帶之任意一點接觸傳熱介質時起直到該任意一點離開該傳熱介質時的時間(秒)； $\sigma$ 表示由下式(X)定義之該非晶合金條帶與該傳熱介質的接觸壓力(kPa)；

$$\sigma = ((F \times (\sin\theta + \sin\alpha))/a) \times 1000 \quad \dots \quad \text{式(X)}$$

式(X)中，F表示施加於該非晶合金條帶的張力(N)；

a表示該非晶合金條帶與該傳熱介質的接觸面積(mm<sup>2</sup>)；

$\theta$ 係該非晶合金條帶即將接觸該傳熱介質時之移動方向與該非晶合金條帶和該傳熱介質接觸時之移動方向形成的角度，表示3°以上60°以下之角度；

$\alpha$ 係該非晶合金條帶和該傳熱介質接觸時之移動方向與該奈米結晶合金條帶剛從該傳熱介質離開時之移動方向形成的角度，表示超過0°，且15°以下之角度。

【發明圖式】

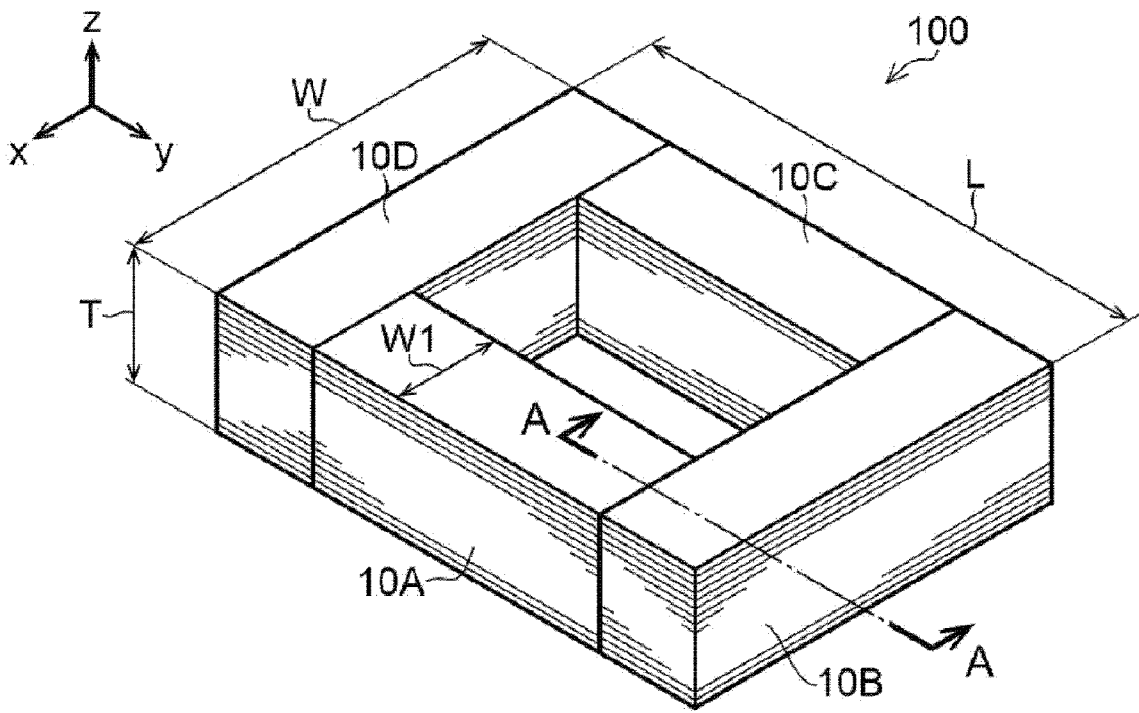


圖 1

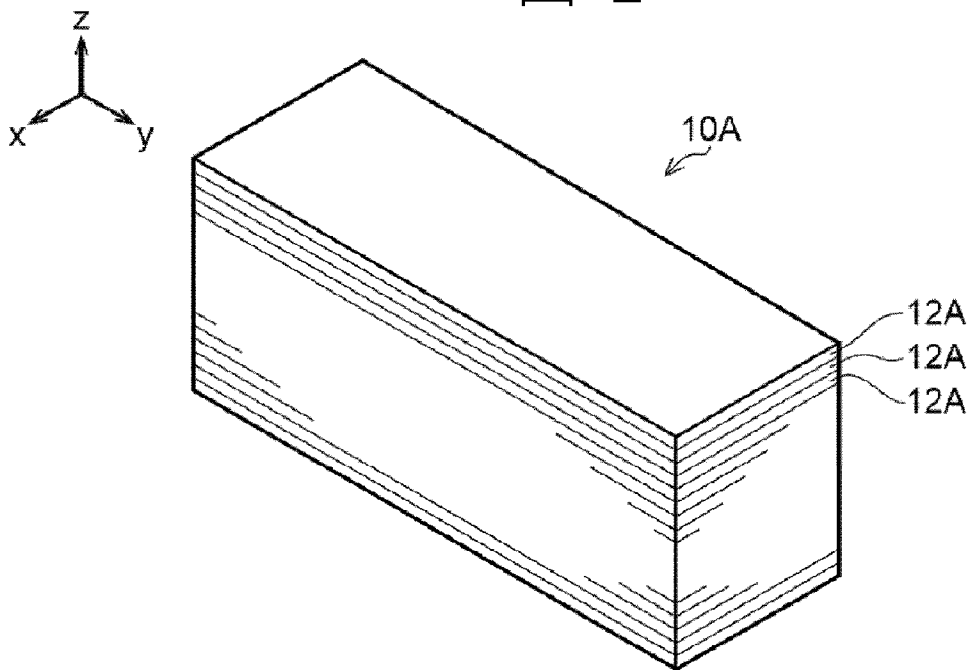


圖 2

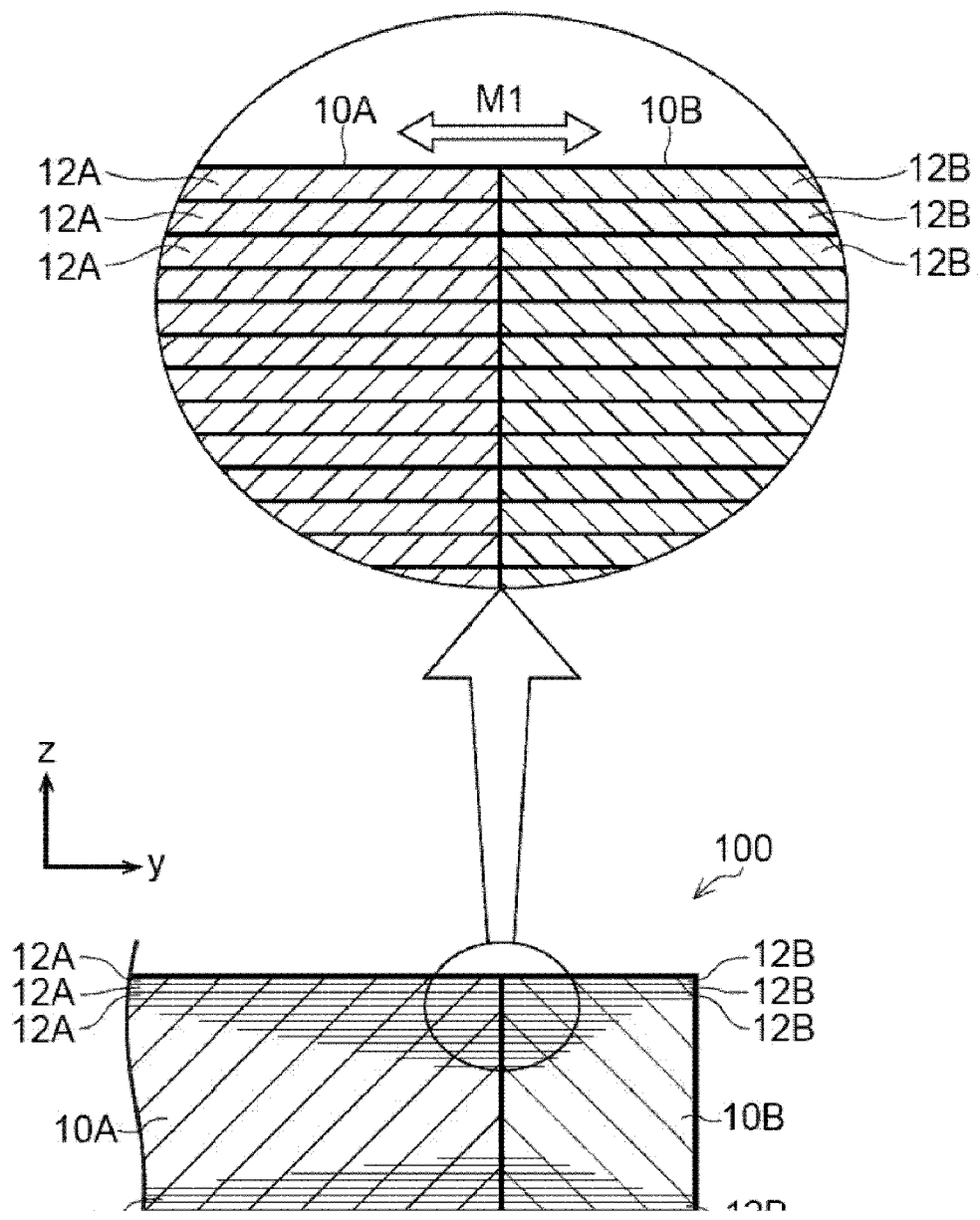


圖 3

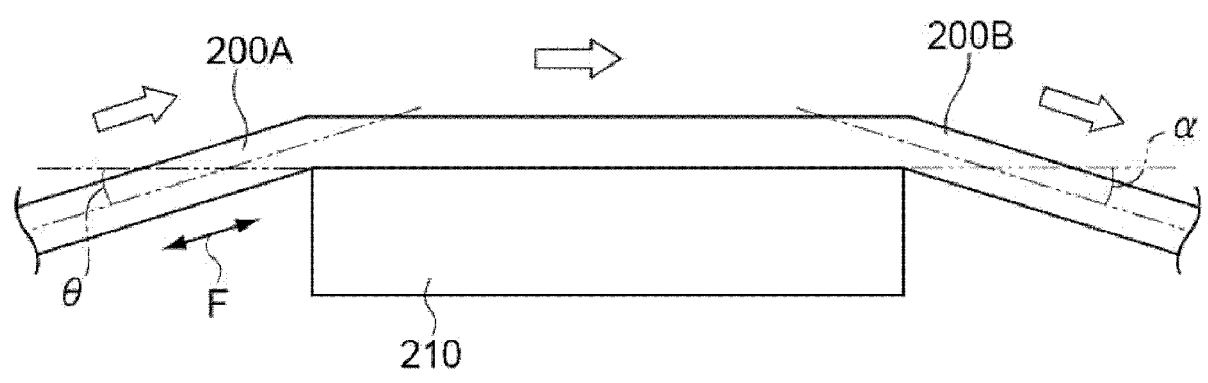


圖 4