

【發明說明書】

【中文發明名稱】 軟磁性合金和磁性部件

【技術領域】

【0001】 本發明涉及軟磁性合金和磁性部件。

【先前技術】

【0002】 近年來，在電子、資訊、通信設備等中要求低消耗電力化和高效率化。此外，面向低碳化社會，上述要求進一步增強。因此，對於電子、資訊、通信設備等的電源電路也要求能量損失的降低或電源效率的提高。而且，對電源電路中所使用的陶瓷元件的磁芯要求飽和磁通密度的提高和鐵心損耗（磁芯損失）的降低。如果降低鐵心損耗，則電力能量的損耗變小，可以實現高效率化和節能化。

【0003】 專利文獻1中記載了透過熱處理使微細的結晶晶粒析出得到的Fe-M-B系的軟磁性合金的發明。專利文獻2記載了包含為體心立方結構且平均粒徑小至60nm以下的結晶晶粒的Fe-Cu-B系的軟磁性合金的發明。

現有技術文獻

專利文獻

【0004】

專利文獻1：日本特開2003-41354號公報

專利文獻2：日本專利第5664934號

【發明內容】

發明所要解決的技術問題

【0005】 此外，作為上述降低磁芯的鐵心損耗的方法，可以考慮降低構成磁芯的磁性體的矯頑力。

【0006】 然而，專利文獻1的軟磁性合金的飽和磁通密度並不足夠高。專利文獻2的軟磁性合金的矯頑力不足夠低。即，任何軟磁性合金的軟磁氣特性都不充分。

【0007】 本發明的目的在於提供一種具有兼顧高的飽和磁通密度和低的矯頑力的優異軟磁特性的軟磁性合金等。

用於解決技術問題的手段

【0008】 為了實現上述目的，本發明涉及的軟磁性合金為以Fe為主成分且包含Si的軟磁性合金，其特徵在於，

由Fe基奈米結晶和非晶質構成，

在將上述Fe基奈米結晶中的Si的平均含有率設為S1（at%）、將上述非晶質中的Si的平均含有率設為S2（at%）時，

$S2-S1>0$ ，

上述軟磁性合金由組成式

$((Fe_{(1-(\alpha+\beta))}X1_{\alpha}X2_{\beta})_{(1-(a+b+c+d+e+f))}M_aB_bSi_cP_dCr_eCu_f)_{1-g}C_g$ 構成，

X1為選自Co和Ni所組成的族群中的1種以上，

X2為選自Al、Mn、Ag、Zn、Sn、As、Sb、Bi、N、O、S和稀土元素所組成的族群中的1種以上，

M為選自Nb、Hf、Zr、Ta、Ti、Mo、V和W所組成的族群中的1種以上，

$0 \leq a \leq 0.14$

$0 \leq b \leq 0.20$

$0 < c \leq 0.17$

$0 \leq d \leq 0.15$

$$0 \leq e \leq 0.040$$

$$0 \leq f \leq 0.030$$

$$0 \leq g < 0.030$$

$$\alpha \geq 0$$

$$\beta \geq 0$$

$$0 \leq \alpha + \beta \leq 0.50。$$

【0009】 本發明所涉及的軟磁性合金透過具有上述特徵，從而就成為具有兼顧高的飽和磁通密度和低的矯頑力的優異的軟磁特性的軟磁性合金。

【0010】 本發明所涉及的軟磁性合金中，可以為 $S2-S1 \geq 2.00$ 。

【0011】 本發明所涉及的軟磁性合金的上述Fe基奈米結晶的平均粒徑可以為5.0nm以上且30nm以下。

【0012】 本發明所涉及的軟磁性合金中，可以為 $0.73 \leq 1 - (a+b+c+d+e+f) \leq 0.95$ 。

【0013】 本發明所涉及的軟磁性合金中，可以為 $0 \leq \alpha \{ 1 - (a+b+c+d+e+f) \} (1-g) \leq 0.40$ 。

【0014】 本發明所涉及的軟磁性合金中，可以為 $\alpha = 0$ 。

【0015】 本發明所涉及的軟磁性合金中，可以為 $0 \leq \beta \{ 1 - (a+b+c+d+e+f) \} (1-g) \leq 0.030$ 。

【0016】 本發明所涉及的軟磁性合金中，可以為 $\beta = 0$ 。

【0017】 本發明所涉及的軟磁性合金中，可以為 $\alpha = \beta = 0$ 。

【0018】 本發明所涉及的軟磁性合金可以為薄帶形狀。

【0019】 本發明所涉及的軟磁性合金可以為粉末形狀。

【0020】 本發明所涉及的磁性部件包含上述軟磁性合金。

【圖式簡單說明】**【0021】**

圖1是本實施方式涉及的軟磁性合金的剖面示意圖。

【實施方式】

【0022】 以下，使用圖式說明本發明的實施方式。

【0023】 本實施方式所涉及的軟磁性合金1是以Fe為主成分且包含Si的軟磁性合金。其中，以Fe為主成分是指Fe相對於軟磁性合金整體的含量為70at%以上。另外，Si的含量的下限沒有特別限制，例如Si的含量可以為0.1at%以上。

【0024】 軟磁性合金1如圖1所示，由Fe基奈米結晶2和非晶質4構成。

【0025】 Fe基奈米結晶2的粒徑為奈米級，Fe的結晶結構為bcc（體心立方晶體結構）。在本實施方式中，Fe基奈米結晶2的平均粒徑優選為5.0nm以上且30nm以下。由這樣的Fe基奈米結晶2和非晶質4構成的軟磁性合金1與僅由非晶質4構成時相比，飽和磁通密度高，矯頑力低。

【0026】 在軟磁性合金1存在Fe基奈米結晶2以及Fe基奈米結晶2的平均粒徑能夠透過使用穿透式電子顯微鏡（Transmission electron microscope, TEM）的觀察確認。例如，透過以倍率 $1.00 \times 10^5 \sim 3.00 \times 10^5$ 倍觀察軟磁性合金1的剖面，能夠確認Fe基奈米結晶2的有無。另外，目測來測定100個以上的Fe基奈米結晶2的粒徑（等效圓直徑），取平均，由此能夠算出Fe基奈米結晶2的平均粒徑。此外，Fe基奈米結晶2中的Fe的結晶結構為bcc可以利用X射線繞射測定（X-ray diffraction, XRD）來確認。

【0027】 另外，軟磁性合金1中的Fe基奈米結晶2的存在比例沒有特別限制，例如在軟磁性合金1的剖面中，Fe基奈米結晶2所占的面積為25～80%。

【0028】 此外，本實施方式所涉及的軟磁性合金1，在將Fe基奈米結晶2

中的Si的平均含有率設為S1 (at%)，將非晶質4的Si的平均含有率設為S2 (at%)時， $S2-S1>0$ 。即，本實施方式所涉及的軟磁性合金1與Fe基奈米結晶2相比較，非晶質4中存在較多的Si。

【0029】 透過 $S2-S1>0$ ，能夠進一步提高軟磁特性。即，與 $S2-S1\leq 0$ 的情況相比較，即使為相同組成，也能夠在將矯頑力維持在相同程度的狀態下帶來飽和磁通密度的提高。即，能夠使軟磁特性提高。

【0030】 以往已知的由Fe基奈米結晶和非晶質構成的軟磁性合金中， $S2-S1\leq 0$ ，即，相比於非晶質，Fe基奈米結晶中存在更多的Si。本發明的發明人等發現透過在非晶質4內存在更多的Si，能夠不改變軟磁性合金1的組成而使飽和磁通密度提高從而提高軟磁特性。另外，在本實施方式中，更優選 $S2-S1\geq 2.00$ 。

【0031】 Si的含有率能夠使用三維原子探針 (Three-Dimensional atom probe, 3DAP) 測定。

【0032】 首先，準備 $\phi 100\text{nm}\times 200\text{nm}$ 的針狀樣品，以 $100\text{nm}\times 200\text{nm}\times 5\text{nm}$ 進行Fe的二維成份影像(Element mapping)分析。在二維成份影像圖像中，Fe的濃度高的部分可以看作是Fe基奈米結晶2，Fe的濃度低的部分可以看作是非晶質4。接著，透過對Fe基奈米結晶2以 $5\text{nm}\times 5\text{nm}\times 5\text{nm}$ 進行組成分析，能夠測定該測定部位中的Si的含有率。在5處進行Si的含有率的測定，透過進行平均，從而能夠算出Si的平均含有率S1。另外，透過將非晶質4以 $5\text{nm}\times 5\text{nm}\times 5\text{nm}$ 進行組成分析，能夠測定該測定部位中的Si的含有率。透過在5處進行Si的含有率的測定，並進行平均，能夠算出Si的平均含有率S2。

【0033】 本實施方式所涉及的軟磁性合金1具有如下組成：由組成式 $((\text{Fe}_{(1-(\alpha+\beta))}\text{X1}_\alpha\text{X2}_\beta)_{(1-(a+b+c+d+e+f))}\text{M}_a\text{B}_b\text{Si}_c\text{P}_d\text{Cr}_e\text{Cu}_f)_{1-g}\text{C}_g$ 構成，

X1為選自Co和Ni所組成族群中的1種以上，

X2為選自Al、Mn、Ag、Zn、Sn、As、Sb、Bi、N、O、S和稀土元素所組

成族群中的1種以上，

M為選自Nb、Hf、Zr、Ta、Ti、Mo、V和W所組成族群中的1種以上，

$$0 \leq a \leq 0.14$$

$$0 \leq b \leq 0.20$$

$$0 < c \leq 0.17$$

$$0 \leq d \leq 0.15$$

$$0 \leq e \leq 0.040$$

$$0 \leq f \leq 0.030$$

$$0 \leq g < 0.030$$

$$\alpha \geq 0$$

$$\beta \geq 0$$

$$0 \leq \alpha + \beta \leq 0.50。$$

【0034】 在上述組成中，並不必須含有Fe和Si以外的元素。另外，優選B的含量（b）為 $0.028 \leq b \leq 0.20$ 。Si的含量（c）優選為 $0.001 \leq c \leq 0.17$ 。P的含量（d）優選為 $0 \leq d \leq 0.030$ 。C的含量（g）優選為 $0 \leq g \leq 0.025$ 。另外，X2可以為選自Al、Mn、Ag、Zn、Sn、As、Sb、Bi、N、O和稀土元素所組成族群中的1種以上。

【0035】 關於Fe的含量 $\{ 1 - (a+b+c+d+e+f) \}$ ，沒有特別的限制，優選為 $0.73 \leq (1 - (a+b+c+d+e+f)) \leq 0.95$ 。

【0036】 在本實施方式所涉及的軟磁性合金中，可以將Fe的一部分用X1及/或X2進行取代。X1是選自Co和Ni所組成族群中的1種以上。關於X1的含量可以為 $\alpha=0$ 。即，可以不含X1。另外，將組成整體的原子數作為100at%時，X1的原子數優選為40at%以下。即，優選為滿足 $0 \leq \alpha \{ 1 - (a+b+c+d+e+f) \} (1-g) \leq 0.40$ 。

【0037】 X2是選自Al、Mn、Ag、Zn、Sn、As、Sb、Bi、N、O、S以及稀土元素所組成族群中的1種以上。關於X2的含量可以為 $\beta=0$ 。即，可以不含X2。

另外，將組成整體的原子數作為100at%時，X2的原子數優選為3.0at%以下。即，優選為滿足 $0 \leq \beta \{ 1 - (a+b+c+d+e+f) \} (1-g) \leq 0.030$ 。

【0038】 作為將Fe用X1及/或X2進行取代的取代量的範圍，以原子數為基準設為Fe的一半以下。即， $0 \leq \alpha + \beta \leq 0.50$ 。

【0039】 具有上述的組成的軟磁性合金由非晶質構成，容易成為不含由粒徑大於15nm的結晶構成的結晶相的軟磁性合金。而且，如下所示，在對此軟磁性合金進行熱處理時，容易析出Fe基奈米結晶。而且，由Fe基奈米結晶2和非晶質4構成的軟磁性合金容易具有良好的軟磁特性。

【0040】 換言之，具有上述的組成的軟磁性合金容易成為使Fe基奈米結晶2析出得到的軟磁性合金1的起始原料。

【0041】 此外，熱處理前的軟磁性合金可以完全僅由非晶質構成，優選由非晶質和粒徑為15nm以下的初期微晶構成，並具有上述初期微晶存在於上述非晶質中的奈米異質結構。透過具有初期微晶存在於非晶質中的奈米異質結構，從而在熱處理時容易使Fe基奈米結晶2析出。此外，在本實施方式中，上述初期微晶優選平均粒徑為0.3～10nm。

【0042】 此外，本實施方式所涉及的軟磁性合金1也可以含有上述以外的元素作為不可避免的雜質。例如，相對於軟磁性合金100重量%，可以含有1重量%以下。

【0043】 以下，對本實施方式所涉及的軟磁性合金1的製造方法進行說明。

【0044】 本實施方式所涉及的軟磁性合金的製造方法沒有特別限定。例如有透過單輥法製造本實施方式所涉及的軟磁性合金的薄帶的方法。另外，薄帶可以為連續薄帶。

【0045】 在單輥法中，首先，準備最終得到的軟磁性合金所含的各金屬元素的純金屬，並以與最終得到的軟磁性合金為相同組成的方式進行秤量。然後，

將各金屬元素的純金屬熔化，並混合製作母合金。此外，上述純金屬的熔化方法沒有特別限制，例如有在腔室內抽真空後，以高頻加熱使其熔化的方法。此外，母合金與最終得到的由Fe基奈米結晶構成的軟磁性合金通常成為相同組成。

【0046】 接著，加熱製作的母合金使其熔融，得到熔融金屬（熔液）。熔融金屬的溫度沒有特別限制，例如能夠設為1200～1500℃。

【0047】 在單輥法中，主要可以透過調節輥33的旋轉速度來調節所得到的薄帶的厚度，透過例如調節噴嘴與輥的間隔或熔融金屬的溫度等也能夠調節所得到的薄帶的厚度。薄帶的厚度沒有特別限制，例如能夠設為5～30μm。

【0048】 在後述的熱處理前的時刻，薄帶為不含粒徑大於15nm的結晶的非晶質。透過對作為非晶質的薄帶實施後述的熱處理，從而能夠得到Fe基奈米結晶合金。

【0049】 此外，確認熱處理前的軟磁性合金的薄帶中是否含有粒徑大於15nm的結晶的方法沒有特別限制。例如，對於粒徑大於15nm的結晶的有無，可以利用通常的X線繞射測定來確認。

【0050】 另外，熱處理前的薄帶可以完全不含粒徑小於15nm的初期微晶，但優選含有初期微晶。即，熱處理前的薄帶優選為由非晶質和存在於此非晶質中的此初期微晶的奈米異質結構。此外，初期微晶的粒徑沒有特別限制，優選為平均粒徑在0.3～10nm的範圍內。

【0051】 另外，關於上述的初期微晶的有無和平均粒徑的觀察方法沒有特別限制，例如，對透過離子銑削進行了薄片化的樣品，使用穿透式電子顯微鏡，得到選區視場繞射圖像、奈米束繞射圖像、明視場圖像或高解析度圖像，由此能夠確認。在使用選區視場繞射圖像或奈米束繞射圖像的情況下，在繞射圖譜中，非晶質的情況下形成環狀的繞射，而相對於此在不是非晶質的情況下，形成由結晶結構造成的繞射斑點。另外，在使用明視場圖像或高解析度圖像的情況下，透

過以倍率 $1.00 \times 10^5 \sim 3.00 \times 10^5$ 倍目測觀察，從而能夠觀察到初期微晶的有無和平均粒徑。

【0052】 輥的溫度、旋轉速度和腔室內部的氣體沒有特別限制。由於非晶質化，故而優選輥的溫度設為 $4 \sim 30^\circ\text{C}$ 。有輥的旋轉速度越快則初期微晶的平均粒徑越小的傾向，為了得到平均粒徑為 $0.3 \sim 10\text{nm}$ 的初期微晶，優選設為 $25 \sim 30\text{m}/\text{秒}$ 。如果考慮成本方面，則腔室內部的氣體優選設為在大氣中。

【0053】 另外，用於製造Fe基奈米結晶合金的熱處理條件沒有特別限制。在此，本實施方式所涉及的軟磁性合金特別是透過控制熱處理條件，從而能夠控制上述的S1和S2，並設為 $S2-S1 > 0$ 。另外，優選為 $S2-S1 \geq 1.07$ ，更優選為 $S2-S1 \geq 2.00$ 。另外， $S2-S1$ 的上限沒有特別存在，例如，能夠設為 $S2-S1 \leq 10$ ，優選為 $S2-S1 \leq 6.09$ 。

【0054】 本實施方式所涉及的熱處理由加熱到特定的保持溫度的加熱步驟、維持特定的保持溫度的保持步驟、和從特定的保持溫度冷卻的冷卻步驟所構成。在此，透過使設為特定的保持溫度以及與其相近的溫度的時間比以前短，能夠做成 $S2-S1 > 0$ 。根據軟磁性合金的組成等而變化，但具體而言，透過將上述保持步驟的保持時間設為0分鐘以上且小於10分鐘、優選為0分鐘以上且5分鐘以下、更優選為0分鐘以上且1分鐘以下，容易設為 $S2-S1 > 0$ 。此外，保持時間0分鐘與透過加熱達到保持溫度後立即開始冷卻的意思相同。另外，根據軟磁性合金的組成，優選的熱處理條件不同。通常，優選的保持溫度大致為 $400 \sim 650^\circ\text{C}$ 。

【0055】 此外，在加熱步驟中從 300°C 到保持溫度的加熱速度優選設為 $250^\circ\text{C}/\text{分鐘}$ 以上，更優選設為 $500^\circ\text{C}/\text{分鐘}$ 以上。另外，在冷卻步驟中從保持溫度到 300°C 的冷卻速度優選設為 $20^\circ\text{C}/\text{分鐘}$ 以上，更優選設為 $40^\circ\text{C}/\text{分鐘}$ 以上。上述的加熱速度和冷卻速度也成為比以往的加熱速度和冷卻速度快的範圍。

【0056】 本發明的發明人認為，在熱處理中，透過使設為特定的保持溫度

和與其相近的溫度的時間比以往短從而能夠設為 $S2-S1 > 0$ 的理由如下。

【0057】 在透過加熱軟磁性合金而生成Fe基奈米結晶的階段中，Fe基奈米結晶難以含有Si，在非晶質中容易含有較多的Si。在此，認為Si含在Fe基奈米結晶時，比含在非晶質的情況下在能量上更穩定。而且，在Fe基奈米結晶生成後，在保持溫度和與其相近的溫度期間，非晶質所含的Si固溶於Fe基奈米結晶，Fe基奈米結晶中的Si含量比非晶質中的Si含量高。

【0058】 因此，以往的Fe基奈米結晶的軟磁性合金就成為 $S2-S1 \leq 0$ 。相對於此，本實施方式所涉及的軟磁性合金如上前述，由於使熱處理中設為特定的保持溫度和與其相近的溫度的時間比以往短，所以成為 $S2-S1 > 0$ 。而且，成為比以往的含有Fe基奈米結晶的軟磁性合金具有更優異的軟磁特性的軟磁性合金。

【0059】 根據組成，偏離上述的範圍時，也有存在優選的熱處理條件，但使在熱處理中設為特定的保持溫度和與其相近的溫度的時間比以往短的操作是共通的。另外，熱處理時的氣體沒有特別限制。既可以在大氣中如此的活性氣體下進行，也可以在Ar氣中如此的惰性氣體下進行。

【0060】 另外，作為得到本實施方式所涉及的軟磁性合金的方法，在上述單輥法以外，例如還有利用水霧化法或氣霧化法得到本實施方式涉及的軟磁性合金的粉體的方法。以下，對氣霧化法進行說明。

【0061】 在氣霧化法中，與上述單輥法同樣，得到 $1200 \sim 1500^{\circ}\text{C}$ 的熔融合金。然後，使上述熔融合金在腔室內噴射，製作粉體。

【0062】 此時，透過將氣體噴射溫度設為 $4 \sim 30^{\circ}\text{C}$ ，腔室內的蒸氣壓設為1hPa以下，容易得到上述的優選的奈米異質結構。

【0063】 用氣霧化法制作粉體後，例如在保持時間0分鐘以上且低於10分鐘、保持溫度 $400 \sim 700^{\circ}\text{C}$ 、加熱速度 $20^{\circ}\text{C}/\text{分鐘}$ 以上、冷卻速度 $20^{\circ}\text{C}/\text{分鐘}$ 以上進行熱處理，由此能夠防止各粉體彼此燒結、粉體粗大化，並且促進元素的擴散，

能夠在短時間內達到熱力學的平衡狀態，能夠除去應變或應力，容易得到平均粒徑為10～50nm的Fe基軟磁性合金。此外，該軟磁性合金為 $S_2-S_1 > 0$ 。

【0064】 以上，對本發明的一個實施方式進行說明，但本發明不限於上述的實施方式。

【0065】 本實施方式涉及的軟磁性合金的形狀沒有特別限制。如上前述，例示了薄帶形狀和粉末形狀，但除此以外也可以考慮塊狀等。

【0066】 本實施方式涉及的軟磁性合金（Fe基奈米結晶合金）的用途沒有特別限制。例如可以列舉磁性部件，其中，特別可以列舉磁芯。能夠適合作為電感器用、特別是功率電感器用的磁芯使用。本實施方式所涉及的軟磁性合金在磁芯以外，也能夠適合用於薄膜電感器、磁頭。

【0067】 以下，對由本實施方式涉及的軟磁性合金得到磁性部件、特別是磁芯和電感器的方法進行說明，由本實施方式所涉及的軟磁性合金得到磁芯和電感器的方法不限於下述方法。另外，作為磁芯的用途，除了電感器以外，還可以列舉變壓器和發動機等。

【0068】 作為由薄帶形狀的軟磁性合金得到磁芯的方法，可以列舉例如將薄帶形狀的軟磁性合金捲繞的方法或層疊的方法。在層疊薄帶形狀的軟磁性合金時經由絕緣體進行層疊的情況下，能夠得到特性進一步提高的磁芯。

【0069】 作為由粉末形狀的軟磁性合金得到磁芯的方法，可以列舉例如與適當的黏合劑混合後，使用模具進行成型的方法。另外，在與黏合劑混合前，透過對粉末表面實施氧化處理或絕緣覆膜等，比電阻提高，成為更適合於高頻帶域的磁芯。

【0070】 成型方法沒有特別限制，可以例示使用模具的成型和模塑成型等。黏合劑的種類沒有特別限制，可以例示矽酮樹脂。軟磁性合金粉末與黏合劑的混合比率也沒有特別限制。例如相對於軟磁性合金粉末100質量%，混合1～10

質量%的黏合劑。

【0071】 例如，透過相對於軟磁性合金粉末100質量%，混合1～5質量%的黏合劑，使用模具進行壓縮成型，從而能夠得到佔積率（粉末填充率）為70%以上、施加 $1.6 \times 10^4 \text{ A/m}$ 的磁場時的磁通密度為0.45T以上、且比電阻為 $1 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上的磁芯。上述的特性與一般的鐵氧體磁芯為同等以上的特性。

【0072】 另外，例如，透過相對於軟磁性合金粉末100質量%，混合1～3質量%的黏合劑，用黏合劑的軟化點以上的溫度條件下的模具進行壓縮成型，能夠得到佔積率為80%以上、施加 $1.6 \times 10^4 \text{ A/m}$ 的磁場時的磁通密度為0.9T以上、且比電阻為 $0.1 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上的壓粉磁芯。上述的特性是比一般的壓粉磁芯更優異的特性。

【0073】 進一步，對形成上述的磁芯的成型體，藉由在成型後進行熱處理作為消除應力熱處理，鐵心損耗進一步降低，有用性提高。此外，磁芯的鐵心損耗透過降低構成磁芯的磁性體的矯頑力而降低。

【0074】 另外，透過對上述磁芯實施捲線，可以得到電感部件。捲線的實施方法和電感部件的製造方法沒有特別限制。例如可以列舉對用上述的方法製造的磁芯纏繞至少1圈以上的捲線的方法。

【0075】 此外，在使用軟磁性合金顆粒的情況下，有在捲線線圈內置於磁性體的狀態下加壓成型並一體化由此製造電感部件的方法。此時，容易得到對應於高頻且大電流的電感部件。

【0076】 此外，在使用軟磁性合金顆粒的情況下，透過將在軟磁性合金顆粒中添加黏合劑和溶劑並膏化得到的軟磁性合金膏、以及在線圈用的導體金屬中添加黏合劑和溶劑並膏化得到導體膏交替地印刷層疊後加熱燒製，能夠得到電感部件。或者使用軟磁性合金膏製作軟磁性合金薄片，在軟磁性合金薄片的表面印刷導體膏，將這些層疊並燒製，由此能夠得到線圈內置於磁性體的電感部件。

【0077】 其中，在使用軟磁性合金顆粒製造電感部件的情況下，從得到優異的Q特性的觀點出發，首選使用最大粒徑以篩徑計為45 μm 以下、中心粒徑（D50）為30 μm 以下的軟磁性合金粉末。為了將最大粒徑設為以篩徑計為45 μm 以下，可以使用孔徑為45 μm 的篩，僅使用透過篩的軟磁性合金粉末。

【0078】 存在使用最大粒徑越大的軟磁性合金粉末，則高頻區域中的Q值越降低的傾向，特別是使用最大粒徑以篩徑計超過45 μm 的軟磁性合金粉末的情況下，有時高頻區域中的Q值會大幅降低。只是在不重視高頻區域的Q值的情況下，可以使用偏差大的軟磁性合金粉末。偏差大的軟磁性合金粉末能夠比較廉價地製造，因此在使用偏差大的軟磁性合金粉末的情況下，能夠降低成本。

實施例

【0079】 以下，基於實施例具體說明本發明。

（實驗例1）

【0080】 以成為下表所示的各實施例和比較例的合金組成的方式秤量原料金屬，以高頻加熱進行熔化，製作了母合金。

【0081】 然後，將製作的母合金加熱使其熔融，製成1300 $^{\circ}\text{C}$ 的熔融狀態的金屬後，在大氣中，透過以下表所示的旋轉速度使用20 $^{\circ}\text{C}$ 的輥的單輥法將上述金屬噴射到輥上，製作成薄帶。在沒有記載旋轉速度的實施例和比較例中旋轉速度設為30m/sec.。薄帶的厚度設為20～25 μm ，薄帶的寬度約15mm，薄帶的長度約10m。

【0082】 對所得到的各薄帶進行X射線繞射測定，確認粒徑大於15nm的結晶的有無。然後，在不存在粒徑大於15nm的結晶的情況下，作為由非晶質相構成，在存在粒徑大於15nm的結晶的情況下，作為由結晶相構成。

【0083】 然後，對各實施例和比較例的薄帶，以下表1所示的條件進行熱處理。在各實施例和比較例中，改變從300 $^{\circ}\text{C}$ 到熱處理溫度的加熱速度、熱處理

時間以及從熱處理溫度到300°C的冷卻速度。此時，使熱處理溫度以450°C、500°C、550°C、600°C和650°C的5個階段變化，對一個實施例和比較例進行5次試驗。而且，將矯頑力最小時的熱處理溫度作為該組成和熱處理條件下的最適合的熱處理溫度。下表1所記載的試驗結果是在最適合的熱處理溫度下實施時的試驗結果。

【0084】 對熱處理後的各薄帶的結晶結構，使用X射線繞射測定(XRD)、和穿透式電子顯微鏡(TEM)觀察加以確認。然後，測定各薄帶的結晶結構為bcc的Fe基奈米結晶的平均粒徑，在全部實施例和比較例中，確認了Fe基奈米結晶的平均粒徑為5.0nm以上且30nm以下。此外，利用三維原子探針(3DAP)測定Fe基奈米結晶中的Si的平均含有率S1(at%)、以及非晶質中的Si的平均含有率S2(at%)。

【0085】 進而，測定各實施例和比較例的飽和磁通密度Bs和矯頑力Hc。飽和磁通密度使用振動樣品型磁力計(Vibrating Sample Magnetometer, VSM)以磁場1000kA/m測定。矯頑力使用直流BH示蹤儀以磁場5kA/m測定。將結果表示在表1中。

【0086】 表1

	樣品編號	(Fe(1-(a+b+c+d+e+f))MaBbSicPdCreCuf)1-gCg(α=β=0)													熱處理條件				S1	S2	Bs	Hc			
		Fe		Nb	Hf	Zr	Ta	Ti	Mo	V	W	B	Si	P	Cr	Cu	C	保持時間 (分鐘)					(°C/分)	(°C/分)	(at%)
																			(A/m)						
實施例	1a	0.840	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.080	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1	250	40	0.21	5.25	1.73	4.3
	1b	0.840	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.080	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5	250	40	0.56	3.20	1.71	5.3
	1c	0.840	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.080	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1	100	40	0.42	4.21	1.72	4.8
	1d	0.840	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.080	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1	250	20	1.80	2.10	1.71	5.8
	1e	0.840	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.080	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1	500	40	0.10	6.21	1.74	4.0
比較例	5a	0.840	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.080	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	60	250	40	3.20	0.80	1.68	8.2
	5b	0.840	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.080	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	10	40	40	3.10	0.74	1.65	9.2
	5c	0.840	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.080	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1	250	10	2.10	1.65	1.69	8.1
實施例	2a	0.840	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.080	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	1	250	40	0.13	5.32	1.75	4.1
	2b	0.840	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.080	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	5	250	40	0.48	3.13	1.74	5.1
	2c	0.840	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.080	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	1	100	40	0.41	4.31	1.73	4.7
	2d	0.840	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.080	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	1	250	20	0.92	1.23	1.71	5.9
	2e	0.840	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.080	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	1	500	40	0.14	6.22	1.75	3.8
比較例	6a	0.840	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.080	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	60	250	40	2.30	0.67	1.69	8.3
	6b	0.840	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.080	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	10	40	40	3.20	0.57	1.66	9.4
	6c	0.840	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.080	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	1	250	10	2.40	1.63	1.65	9.2
實施例	3a	0.878	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.091	0.020	0.010	0.000	0.001	0.010	1	250	40	0.45	6.23	1.85	4.5	
	3b	0.878	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.091	0.020	0.010	0.000	0.001	0.010	5	250	40	0.56	4.21	1.82	4.2	
	3c	0.878	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.091	0.020	0.010	0.000	0.001	0.010	1	100	40	1.23	3.21	1.82	4.8	
	3d	0.878	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.091	0.020	0.010	0.000	0.001	0.010	1	250	20	1.82	3.21	1.81	5.3	
	3e	0.878	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.091	0.020	0.010	0.000	0.001	0.010	1	500	40	0.23	6.88	1.86	4.2	
比較例	7a	0.878	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.091	0.020	0.010	0.000	0.001	0.010	60	250	40	4.23	0.83	1.81	7.2	
	7b	0.878	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.091	0.020	0.010	0.000	0.001	0.010	10	40	40	5.21	0.34	1.81	8.3	
	7c	0.878	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.091	0.020	0.010	0.000	0.001	0.010	1	250	10	4.82	0.56	1.83	10.3	

【0087】 由表1可知，透過將保持時間控制得比通常短，將加熱速度和冷卻速度控制得比通常快，由此使得 $S2-S1 > 0$ 的實施例雖然為相同組成，但與 $S2-S1 < 0$ 的比較例相比，軟磁特性提高。

【0088】 （實驗例2）

以成為下表所示的各實施例和比較例的合金組成的方式秤量原料金屬，將熱處理溫度固定於 $450^{\circ}\text{C} \sim 650^{\circ}\text{C}$ ，從 300°C 到熱處理溫度的加熱速度固定為 $250^{\circ}\text{C}/\text{分鐘}$ ，保持時間固定為1分鐘，從熱處理溫度到 300°C 的冷卻速度固定為 $40^{\circ}\text{C}/\text{分鐘}$ ，除這些點以外，其它與實驗例1同樣製作了軟磁性合金。此外，在實驗例2中，飽和磁通密度為1.40T以上為良好，矯頑力為7.0A/m以下為良好。

【0089】 表2

	樣品編號	(Fe(1-(a+b+c+d+e+f))MaBbSicPdCreCu(f)1-gCg($\alpha=\beta=0$))															S1	S2	Bs	Hc	
		Fe		Nb	Hf	Zr	Ta	Ti	Mo	V	W	B	Si	P	Cr	Cu					C
		a																			(at%)
實施例	9	0.875	0.000	0.000	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.20	2.34	1.70	2.8
實施例	10	0.855	0.000	0.000	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.18	2.56	1.67	2.6
實施例	11	0.835	0.000	0.000	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.22	2.45	1.61	2.5
實施例	12	0.815	0.000	0.000	0.090	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.24	2.47	1.57	2.8
實施例	13	0.795	0.000	0.000	0.110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.25	2.54	1.54	3.0
實施例	14	0.775	0.000	0.000	0.130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.24	2.53	1.51	3.1

【0090】 表3

	樣品編號	(Fe(1-(a+b+c+d+e+f))MaBbSicPdCreCuf)1-gCg($\alpha=\beta=0$)																S1	S2	Bs	Hc			
		Fe		Nb	Hf	Zr	Ta	Ti	Mo	V	W	B	Si	P	Cr	Cu	C							
		a																				b	c	d
實施例	16	0.905	0.000	0.000	0.000	0.060	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.25	2.35	1.75	2.8	
實施例	17	0.885	0.000	0.000	0.000	0.060	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.050	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.21	2.45	1.71	2.7	
實施例	18	0.835	0.000	0.000	0.000	0.060	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.18	2.47	1.63	2.6	
實施例	19	0.785	0.000	0.000	0.000	0.060	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.150	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.19	2.26	1.55	3.0	
實施例	20	0.735	0.000	0.000	0.000	0.060	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.200	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.17	2.35	1.43	3.8	

【0091】 表4

	樣品編號	(Fe(1-(a+b+c+d+e+f))MaBbSicPdCreCuf)1-gCg(α=β=0))															S1	S2	Bs	Hc	
		Fe		Nb	Hf	Zr	Ta	Ti	Mo	V	W	B	Si	P	Cr	Cu					C
		a																			(at%)
實施例	21	0.870	0.000	0.000	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.090	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.23	4.80	1.71	2.3
實施例	22	0.830	0.000	0.000	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.090	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.25	5.30	1.63	2.4
實施例	24	0.905	0.000	0.000	0.060	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.025	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.23	5.23	1.78	2.0
實施例	25	0.730	0.000	0.000	0.060	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.200	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.34	5.33	1.46	3.1
實施例	26	0.855	0.000	0.000	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.090	0.025	0.000	0.000	0.000	0.000	0.025	0.35	6.23	1.64	2.5
實施例	27	0.815	0.000	0.000	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.090	0.025	0.000	0.000	0.000	0.000	0.025	1.34	5.23	1.62	2.6
實施例	29	0.890	0.000	0.000	0.060	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.025	0.025	0.000	0.000	0.000	0.000	0.025	1.25	6.45	1.74	2.2
實施例	30	0.715	0.000	0.000	0.060	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.200	0.025	0.000	0.000	0.000	0.000	0.025	1.43	6.23	1.45	3.4

【0092】 表5

	樣品編號	(Fe(1-(a+b+c+d+e+f))MaBbSicPdCrCuI)-gCg(α=β=0)															S1	S2	Bs	Hc																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
		Fe	Nb	Hf	Zr	Ta	Ti	Mo	V	W	B	Si	P	Cr	Cu	C																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						

【0093】 表6

	樣品編號	(Fe(1-(a+b+c+d+e+f))MaBbSicPdCreCuF)1-gCg($\alpha=\beta=0$)															S1	S2	Bs	Hc		
		Fe		Nb	Hf	Zr	Ta	Ti	Mo	V	W	B	Si	P	Cr	Cu					C	
		a									b	c	d	e	f	g					(at%)	(at%)
實施例	49	0.875	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.25	2.35	1.69	2.5
實施例	50	0.875	0.000	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.22	2.43	1.69	2.3
實施例	9	0.875	0.000	0.000	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.20	2.34	1.70	2.8
實施例	51	0.875	0.000	0.000	0.000	0.030	0.000	0.000	0.030	0.000	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.12	2.45	1.55	3.0
實施例	52	0.875	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.13	2.46	1.62	2.8
實施例	53	0.875	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.21	2.45	1.58	2.4
實施例	54	0.875	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.21	2.43	1.52	2.8
實施例	55	0.875	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.24	2.46	1.52	2.9

【0094】 表7

	樣品編號	(Fe(1-(a+b+c+d+e+f))MaBbSicPdCreCuf)1-gCg($\alpha=\beta=0$)															S1	S2	Bs	Hc		
		Fe		Nb	Hf	Zr	Ta	Ti	Mo	V	W	B	Si	P	Cr	Cu					C	
		a																			(at%)	(at%)
實施例	56	0.875	0.015	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	f	g	0.22	2.44	1.66	2.4
實施例	57	0.875	0.000	0.015	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.21	2.34	1.72	2.4
實施例	58	0.875	0.015	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.11	2.46	1.68	2.3
實施例	59	0.875	0.000	0.000	0.015	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.13	2.45	1.50	2.4
實施例	60	0.875	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.24	2.54	1.51	2.5
實施例	61	0.875	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.11	2.87	1.52	2.7
實施例	62	0.875	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.15	2.48	1.48	2.9
實施例	63	0.875	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.13	2.46	1.48	3.1

【0095】 表8

	樣品編號	(Fe(1-(a+b+c+d+e+f))MaBbSicPdCreCufl)-gCg($\alpha=\beta=0$)																S1	S2	Bs	Hc	
		Fe		Nb	Hf	Zr	Ta	Ti	Mo	V	W	B	Si	P	Cr	Cu	C					
		a																				(at%)
實施例	64	0.875	0.010	0.010	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.11	2.47	1.72	2.5
實施例	66	0.815	0.030	0.000	0.030	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.24	2.65	1.64	2.8
實施例	67	0.815	0.030	0.000	0.030	0.030	0.000	0.030	0.000	0.000	0.000	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.11	2.65	1.68	2.5
實施例	68	0.815	0.030	0.000	0.030	0.030	0.000	0.030	0.000	0.000	0.030	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.16	2.43	1.62	2.5
實施例	69	0.815	0.030	0.000	0.030	0.030	0.000	0.030	0.000	0.000	0.000	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.15	2.67	1.63	2.6
實施例	70	0.815	0.030	0.000	0.030	0.030	0.000	0.030	0.000	0.000	0.030	0.090	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.16	2.54	1.65	2.6

【0096】 表9

	樣品編號	(Fe(1-(a+b+c+d+e+f))MaBbSicPdCreCufl)-gCg(α=β=0)														S1	S2	Bs	Hc						
		Fe		Nb	Hf	Zr	Ta	Ti	Mo	V	W	B	Si	P	Cr					Cu	C				
		a																		b	c	d	e	f	g
實施例	71	0.819	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.010	0.000	0.000	0.000	0.001	0.010	0.23	3.21	1.58	1.4			
實施例	72	0.815	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.010	0.000	0.000	0.000	0.005	0.010	0.24	3.42	1.57	1.3			
實施例	73	0.810	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.010	0.000	0.000	0.000	0.010	0.010	0.22	3.52	1.55	1.2			
實施例	74	0.805	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.010	0.000	0.000	0.000	0.015	0.010	0.26	3.45	1.53	1.5			
實施例	75	0.800	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.010	0.000	0.000	0.000	0.020	0.010	0.28	3.25	1.52	1.9			
實施例	76	0.790	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.010	0.000	0.000	0.000	0.030	0.010	0.25	3.45	1.48	2.1			
實施例	77	0.809	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.010	0.001	0.000	0.000	0.010	0.010	0.21	3.66	1.51	1.3			
實施例	78	0.805	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.010	0.005	0.000	0.000	0.010	0.010	0.25	3.56	1.53	1.4			
實施例	79	0.800	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.010	0.010	0.000	0.000	0.010	0.010	0.26	3.32	1.56	1.3			
實施例	80	0.790	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.010	0.020	0.000	0.000	0.010	0.010	0.28	3.67	1.52	1.3			
實施例	81	0.780	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.010	0.030	0.000	0.000	0.010	0.010	0.23	3.56	1.48	1.5			
實施例	81a	0.760	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.100	0.010	0.050	0.000	0.000	0.010	0.010	0.21	3.76	1.43	2.1			
實施例	81b	0.760	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.075	0.010	0.075	0.000	0.000	0.010	0.010	0.18	3.88	1.44	1.9			
實施例	81c	0.760	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.050	0.010	0.100	0.000	0.000	0.010	0.010	0.15	4.08	1.43	2.3			
實施例	81d	0.760	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.025	0.010	0.125	0.000	0.000	0.010	0.010	0.08	4.11	1.45	2.2			
實施例	81e	0.760	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.150	0.000	0.000	0.010	0.010	0.04	4.21	1.43	2.3			
實施例	82	0.710	0.110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.140	0.010	0.000	0.010	0.020	0.000	0.000	0.26	3.21	1.40	2.2			
實施例	83	0.720	0.100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.140	0.010	0.000	0.010	0.020	0.000	0.000	0.25	3.66	1.43	2.1			
實施例	84	0.890	0.050	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035	0.010	0.000	0.005	0.010	0.000	0.000	0.26	3.67	1.69	2.1			
實施例	85	0.900	0.045	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030	0.010	0.000	0.005	0.010	0.000	0.000	0.23	3.54	1.70	2.7			

【0097】 表10

	樣品編號	Fe(1-(α+β))X1αX2β(α~g 與實施例 32 相同)						S1	S2	Bs	Hc
		X1		X2		β					
		種類	α	種類	β	(at%)	(at%)				
實施例	32	-	0.000	-	0.000	0.000	0.21	5.21	1.73	2.4	
實施例	86	Co	0.010	-	0.000	0.000	0.25	5.31	1.73	2.4	
實施例	87	Co	0.100	-	0.000	0.000	0.26	5.64	1.74	2.4	
實施例	88	Co	0.400	-	0.000	0.000	0.23	5.34	1.75	2.4	
實施例	89	Ni	0.010	-	0.000	0.000	0.21	5.23	1.72	2.3	
實施例	90	Ni	0.100	-	0.000	0.000	0.22	5.21	1.70	2.4	
實施例	91	Ni	0.400	-	0.000	0.000	0.27	5.34	1.68	2.1	
實施例	92	-	0.000	Al	0.030	0.030	0.26	5.44	1.70	2.1	
實施例	93	-	0.000	Mn	0.030	0.030	0.21	5.32	1.70	2.1	
實施例	94	-	0.000	Zn	0.030	0.030	0.22	5.23	1.71	2.3	
實施例	95	-	0.000	Sn	0.030	0.030	0.24	5.33	1.75	2.4	
實施例	96	-	0.000	Bi	0.030	0.030	0.22	5.34	1.75	2.7	
實施例	97	-	0.000	Y	0.030	0.030	0.21	5.44	1.79	5.2	
實施例	98	-	0.000	La	0.030	0.030	0.14	5.32	1.73	4.8	
實施例	99	-	0.000	Ce	0.030	0.030	0.11	5.41	1.74	3.9	
實施例	100	-	0.000	Dy	0.030	0.030	0.23	5.32	1.69	6.9	
實施例	101	-	0.000	Nd	0.030	0.030	0.21	5.32	1.75	6.8	
實施例	102	-	0.000	Gd	0.030	0.030	0.23	5.21	1.73	2.6	
實施例	102a	-	0.000	S	0.030	0.030	0.13	5.22	1.65	2.4	
實施例	103	Co	0.100	Al	0.030	0.030	0.12	5.21	1.73	2.1	

【0098】 確認了上述全部實施例的軟磁性合金由Fe基奈米結晶和非晶質構成， $S1-S2 > 0$ 。此外，測定Fe基奈米結晶的平均粒徑，在全部實施例和比較例中，確認了Fe基奈米結晶的平均粒徑為5.0nm以上且30nm以下。

【0099】 表2記載了改變M的含量(a)的實施例。滿足 $0 \leq a \leq 0.14$ 的各實施例的飽和磁通密度和矯頑力良好。

【0100】 表3記載了改變B的含量(b)的實施例。滿足 $0 \leq b \leq 0.20$ 的各實施例的飽和磁通密度和矯頑力良好。

【0101】 表4記載了在本申請發明的範圍內改變M的含量(a)或B的含量(b)，此外，同時改變Si的含量(c)和C的含量(g)的實施例。各成分的含量在規定的範圍內的實施例的飽和磁通密度和矯頑力良好。

【0102】 表5記載了改變Si的含量(c)和／或C的含量(g)的實施例。各成分的含量在規定的範圍內的實施例的飽和磁通密度和矯頑力良好。

【0103】 表6記載了從實施例9改變M的種類的實施例。即使改變M的種類，各成分的含量也在規定的範圍內的實施例的飽和磁通密度和矯頑力也都良好。特別是在使用了Nb、Hf或Zr的情況下，存在飽和磁通密度提高的傾向。

【0104】 表7記載了使用了2種元素作為M的實施例。即便改變M的種類，各成分的含量在規定的範圍內的實施例的飽和磁通密度和矯頑力也良好。特別是在從Nb、Hf和Zr中選擇使用2種元素的情況下，存在飽和磁通密度提高的傾向。

【0105】 表8記載了作為M使用了3種元素的實施例。即便改變M的種類，各成分的含量在規定的範圍內的實施例的飽和磁通密度和矯頑力也良好。特別是在從Nb、Hf和Zr選擇使用2種以上的元素，且M整體中Nb、Hf和Zr所占的比例超過50at%的情況下，存在飽和磁通密度提高的傾向。

【0106】 表9的實施例71～81記載了改變P的含量(d)或Cu的含量(f)的實施例。表9的實施例81a～81e是在P的含量(d)以外還改變B的含量(b)的實

施例。表9的實施例82～85是改變Cr的含量（e）、同時改變M的含量（a）、B的含量（b）及/或Cu的含量（f）的實施例。各成分的含量在規定的範圍內的實施例的飽和磁通密度和矯頑力良好。

【0107】 表10記載了對實施例28將Fe的一部分用X1及/或X2取代的實施例。即使將Fe的一部分用X1及/或X2取代也顯示良好的特性。

【符號說明】

【0108】

- 1 軟磁性合金
- 2 Fe基奈米結晶
- 4 非晶質



201910532

【發明摘要】

【中文發明名稱】 軟磁性合金和磁性部件

【中文】

一種以Fe為主成分且包含Si的軟磁性合金。其由Fe基奈米結晶和非晶質構成。在將Fe基奈米結晶中的Si的平均含有率設為S1（at%）、將非晶質中的Si的平均含有率設為S2（at%）的情況下， $S2-S1 > 0$ 。另外，軟磁性合金由組成式 $((Fe_{(1-(\alpha+\beta))}X1_{\alpha}X2_{\beta})_{(1-(a+b+c+d+e+f))}M_aB_bSi_cP_dCr_eCu_f)_{1-g}C_g$ 構成。X1為選自Co和Ni所組成的族群中的1種以上，X2為選自Al、Mn、Ag、Zn、Sn、As、Sb、Bi、N、O、S和稀土元素所組成的族群中的1種以上，M為選自Nb、Hf、Zr、Ta、Ti、Mo、V和W所組成的族群中的1種以上。 $a \sim g$ 和 α 、 β 在特定的範圍內。

【指定代表圖】 第1圖

【代表圖之符號簡單說明】

- 1 軟磁性合金
- 2 Fe基奈米結晶
- 4 非晶質

【發明申請專利範圍】

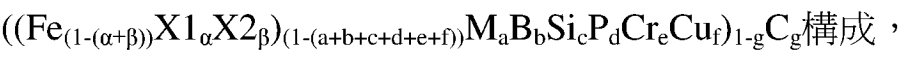
【第1項】 一種軟磁性合金，為以Fe為主成分且包含Si的軟磁性合金，其特徵在於，

由Fe基奈米結晶和非晶質構成，

在將上述Fe基奈米結晶中的Si的平均含有率設為S1(at%)，將上述非晶質中的Si的平均含有率設為S2(at%)時，

$$S2-S1>0，$$

上述軟磁性合金由組成式



X1為選自Co和Ni所組成的族群中的1種以上，

X2為選自Al、Mn、Ag、Zn、Sn、As、Sb、Bi、N、O、S和稀土元素所組成的族群中的1種以上，

M為選自Nb、Hf、Zr、Ta、Ti、Mo、V和W所組成的族群中的1種以上，

$$0\leq a\leq 0.14，$$

$$0\leq b\leq 0.20，$$

$$0< c\leq 0.17，$$

$$0\leq d\leq 0.15，$$

$$0\leq e\leq 0.040，$$

$$0\leq f\leq 0.030，$$

$$0\leq g< 0.030，$$

$$\alpha\geq 0，$$

$$\beta\geq 0，$$

$$0\leq \alpha+\beta\leq 0.50。$$

【第2項】 如申請專利範圍第1項所述的軟磁性合金，其中S2-S1≥2.00。

【第3項】如申請專利範圍第1或2項所述的軟磁性合金，其中，上述Fe基奈米結晶的平均粒徑為5.0nm以上且30nm以下。

【第4項】如申請專利範圍第1或2項所述的軟磁性合金，其中， $0.73 \leq 1 - (a+b+c+d+e+f) \leq 0.95$ 。

【第5項】如申請專利範圍第1或2項所述的軟磁性合金，其中， $0 \leq \alpha \{ 1 - (a+b+c+d+e+f) \} (1-g) \leq 0.40$ 。

【第6項】如申請專利範圍第1或2項所述的軟磁性合金，其中， $\alpha=0$ 。

【第7項】如申請專利範圍第1或2項所述的軟磁性合金，其中， $0 \leq \beta \{ 1 - (a+b+c+d+e+f) \} (1-g) \leq 0.030$ 。

【第8項】如申請專利範圍第1或2項所述的軟磁性合金，其中， $\beta=0$ 。

【第9項】如申請專利範圍第1或2項所述的軟磁性合金，其中， $\alpha=\beta=0$ 。

【第10項】如申請專利範圍第1或2項所述的軟磁性合金，為薄帶形狀。

【第11項】如申請專利範圍第1或2項所述的軟磁性合金，為粉末形狀。

【第12項】一種磁性部件，由申請專利範圍第1～11項中任一項所述的軟磁性合金構成。

