

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5316920号
(P5316920)

(45) 発行日 平成25年10月16日(2013.10.16)

(24) 登録日 平成25年7月19日(2013.7.19)

(51) Int.Cl.	F I		
C 2 2 C 38/00	(2006.01)	C 2 2 C 38/00	3 0 3 V
C 2 2 C 45/02	(2006.01)	C 2 2 C 45/02	A
H O 1 F 1/153	(2006.01)	H O 1 F 1/14	C
H O 1 F 1/14	(2006.01)	H O 1 F 1/14	Z

請求項の数 11 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2007-68868 (P2007-68868)	(73) 特許権者	000005083
(22) 出願日	平成19年3月16日(2007.3.16)		日立金属株式会社
(65) 公開番号	特開2008-231462 (P2008-231462A)		東京都港区芝浦一丁目2番1号
(43) 公開日	平成20年10月2日(2008.10.2)	(72) 発明者	吉沢 克仁
審査請求日	平成22年2月15日(2010.2.15)		埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地 日立金属株式会社先端エレクトロニクス研究所内
		(72) 発明者	太田 元基
			埼玉県熊谷市三ヶ尻5200番地 日立金属株式会社先端エレクトロニクス研究所内
		審査官	伊藤 真明

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 軟磁性合金、アモルファス相を主相とする合金薄帯、および磁性部品

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

組成式： $Fe_{100-x-y-a}Co_aCu_xB_y$ （但し、原子%で、 $1 < x \leq 10$ 、 $y \leq 20$ 、 $10 < a < 25$ ）により表され、平均結晶粒径60nm以下（0を含まず）の結晶粒が非晶質母相中に体積分率で30%以上分散した組織を有する結晶相であり、かつ飽和磁束密度が1.85T以上、保磁力が200A/m以下であることを特徴とする軟磁性合金。

【請求項2】

組成式： $Fe_{100-x-y-z-a}Co_aCu_xB_yX_z$ （但し、XはSi, S, C, P, Al, Ge, Ga, Beからなる1種以上の元素であり、原子%で、 $1 < x \leq 10$ 、 $y \leq 20$ 、 $0 < z \leq 10$ 、 $10 < a < 25$ 、 $10 < y + z \leq 24$ ）により表され、平均結晶粒径60nm以下（0を含まず）の結晶粒が非晶質母相中に体積分率で30%以上分散した組織を有する結晶相であり、かつ飽和磁束密度が1.85T以上、保磁力が200A/m以下であることを特徴とする軟磁性合金。

【請求項3】

前記Cu量xは、 $1.2 < x \leq 1.8$ 、B量yは $12 < y \leq 17$ であることを特徴とする請求項1又は2に記載の軟磁性合金。

【請求項4】

前記軟磁性合金は、Fe量に対して、その2原子%未満のNiを含むことを特徴とする請求項1乃至請求項3のいずれかに記載の軟磁性合金。

【請求項5】

前記軟磁性合金は、Fe量に対して、その1原子%未満のTi、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo

、W、Mn、Re、白金族元素、Au、Agから選ばれた少なくとも一種以上の元素を含むことを特徴とする請求項1乃至請求項4のいずれかに記載の軟磁性合金。

【請求項6】

粒径10nm未満の結晶粒が非晶質母相中に体積分率で30%未満(0を含まず)分散した組織を有するアモルファス相を主相とする合金を熱処理して得られたことを特徴とする請求項1乃至請求項5のいずれかに記載の軟磁性合金。

【請求項7】

請求項1乃至6のいずれかの軟磁性合金を用いたことを特徴とする磁性部品。

【請求項8】

組成式： $Fe_{100-x-y-a}Co_aCu_xB_y$ (但し、原子%で、 $1 < x \leq 2$ 、 $10 < y \leq 20$ 、 $10 < a < 25$) により表され、粒径10nm未満の結晶粒が非晶質母相中に体積分率で30%未満(0を含まず)分散した組織を有することを特徴とするアモルファス相を主相とする合金薄帯。

10

【請求項9】

組成式： $Fe_{100-x-y-z-a}Co_aCu_xB_yX_z$ (但し、XはSi、S、C、P、Al、Ge、Ga、Beからなる1種以上の元素であり、原子%で、 $1 < x \leq 2$ 、 $10 < y \leq 20$ 、 $0 < z \leq 10$ 、 $10 < a < 25$ 、 $10 < y + z \leq 24$) により表され、粒径10nm未満の結晶粒が非晶質母相中に体積分率で30%未満(0を含まず)分散した組織を有することを特徴とするアモルファス相を主相とする合金薄帯。

【請求項10】

前記合金薄帯は、Fe量に対して、その2原子%未満のNiを含むことを特徴とする請求項8又は請求項9に記載のアモルファス相を主相とする合金薄帯。

20

【請求項11】

前記合金薄帯は、Fe量に対して、その1原子%未満のTi、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、W、Mn、Re、白金族元素、Au、Agから選ばれた少なくとも一種以上の元素を含むことを特徴とする請求項8乃至請求項10のいずれかに記載のアモルファス相を主相とする合金薄帯。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

各種トランス、各種リアクトル、ノイズ対策、レーザ電源、加速器用パルスパワー磁性部品、各種モータ、各種発電機等に用いられる特に高飽和磁束密度の軟磁性合金と、およびそれを製造するためのアモルファス合金薄帯、アモルファス合金薄帯、前記磁性合金を用いた磁性部品に関する。

30

【背景技術】

【0002】

各種トランス、各種リアクトル、ノイズ対策、レーザ電源、加速器用パルスパワー磁性部品、各種モータ、各種発電機等に用いられる高飽和磁束密度低保磁力の磁性材料としては珪素鋼、フェライト、アモルファス合金やFe基ナノ結晶合金材料等が知られている。

珪素鋼板は、材料が安価で磁束密度が高いが、高周波の用途に対しては磁心損失が大きいという問題がある。作製方法上、アモルファス薄帯並に薄く加工することは極めて難しく、渦電流損失が大きいため、これに伴う損失が大きく不利であった。また、フェライト材料は飽和磁束密度が低く、温度特性が悪い問題があり、動作磁束密度が大きいハイパワーの用途には磁氣的に飽和しやすいフェライトは不向きであった。

40

また、Co基アモルファス合金は、飽和磁束密度が実用的な材料では1T以下と低く、熱的に不安定である問題がある。このため、ハイパワーの用途に使用した場合、部品が大きくなる問題や経時変化のために磁心損失が増加する問題がある。

また、特許文献1に記載されているようなFe基アモルファス軟磁性合金は、良い角形特性や低い保磁力を有し、優れた軟磁気特性を示すが、Fe基アモルファス合金系においては、飽和磁束密度は、1.7Tがほぼ物理的上限值となっている。また、Fe基アモルファス合金は、磁歪が大きく応力により特性が劣化する問題や、可聴周波数帯の電流が重畳するよ

50

うな用途では騒音が大きいという問題がある。そのため、特許文献2に記載されるような、ナノ結晶を持つ軟磁性材料が開発され、様々な用途に使用されている。アモルファス合金において更に高い飽和磁束密度を示すものとしてFeCo系のアモルファス合金が知られているが、飽和磁束密度は1.8T程度が限界であり、磁歪も非常に大きいという課題がある。また、高透磁率かつ高飽和磁束密度の軟磁性成形体として、特許文献3に記載されるような技術も開示された。さらに、ナノ結晶軟磁性材料において、更に飽和磁束密度を向上させる目的でCoを添加することが試みられている。特許文献4には、FeCoCuNbSiB合金において1.8Tを超える高い飽和磁束密度が得られることが報告されている。

【0003】

【特許文献1】特開平5-140703号公報(0006)~(0010)

10

【特許文献2】特許平1-156451号公報(第2頁右上欄19行目~右下欄6行目)

【特許文献3】特開2006-40906号公報(0040)~(0041)

【特許文献4】特開2006-241569号公報(0016)~(0017)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上記のCoを含むナノ結晶軟磁性材料において飽和磁束密度が1.8 Tを超えるものも報告されているが、特に1.85 Tを超えるような材料では、薄帯を作製するためのノズル寿命が短いという問題やCo量が25原子%よりも多く原料価格が高くなるなどの課題があった。

本発明の目的は、FeCo系ナノ結晶軟磁性材料において1.85T以上の高飽和磁束密度を示し、ノズル寿命が長く薄帯製造しやすい軟磁性合金、およびそれを作るためのアモルファス合金薄帯、およびその軟磁性合金を用いた磁性部品を提供することである。

20

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明では、FeCo系合金で、飽和磁束密度 B_s が1.85T以上で良好な軟磁性が得られ、ノズル寿命が長く量産性に優れた高飽和磁束密度の軟磁性合金を実現することを目的に鋭意検討し、組成式： $Fe_{100-x-y-a}Co_aCu_xB_y$ (但し、原子%で、 $1 < x \leq 10$ 、 $0 < y \leq 20$ 、 $10 < a < 25$)により表され、平均粒径60nm以下(0を含まず)の結晶粒が非晶質母相中に体積分率で30%以上分散した組織を有する結晶相からなる軟磁性合金が、飽和磁束密度が1.85 T以上で保磁力が200A/m以下の優れた特性を示し、軟磁性が得られる熱処理条件範囲が広く、ばらつきも少なく、かつ、量産性に優れていることを見出し本発明に想到した。

30

【0006】

本発明において、組成式： $Fe_{100-x-y-z-a}Co_aCu_xB_yX_z$ (但し、XはSi, S, C, P, Al, Ge, Ga, Beからなる1種以上の元素であり、原子%で、 $1 < x \leq 10$ 、 $0 < y \leq 20$ 、 $0 < z \leq 10$ 、 $10 < a < 25$ 、 $10 < y + z \leq 24$)により表され、平均粒径60nm以下(0を含まず)の結晶粒が非晶質母相中に体積分率で30%以上分散した組織を有する結晶相である軟磁性合金は、軟磁性が得られる熱処理条件範囲が更に広く好ましい。特に、前記Xが、Si元素である場合、特に熱処理温度範囲が広く、ばらつきが小さくできるため好ましい。Siを添加することで、結晶磁気異方性の大きい強磁性化合物相が析出開始する温度が高くなるため、熱処理温度を高くできるようになる。高温の熱処理を施すことで微結晶相の割合が増え、 B_s が増加し好ましい結果が得られる。更に、Si添加は試料表面の変質、変色を抑える効果がある。

40

【0007】

本発明の軟磁性微結晶合金において、均質な微細組織を得るためには、原材料を溶解後、液体急冷法によって合金薄帯を作製した時点でアモルファス相を主相とする組織が得られることが重要である。本発明において、液体急冷法によって作製されたアモルファス合金薄帯中にナノスケールの微細な結晶粒が分散した状態で存在する方が結晶粒が微細となり好ましい結果が得られる。その後、結晶化温度以上の温度範囲で熱処理を施し、結晶粒径60nm以下の体心立方構造の結晶粒が非晶質母相中に体積分率で30%以上分散した組織とする。ナノ結晶粒相が体積分率で30%以上を占めることにより飽和磁束密度 B_s はアモル

50

ファス単相の状態より増加させることができる。さらに体積分率で50%以上を占めることにより、Bsを更に増加させることができる。

結晶粒の体積比は、線分法、すなわち顕微鏡組織中に任意の直線を想定しそのテストラインの長さをLt、結晶相により占められる線の長さLcを測定し、結晶粒により占められる線の長さの割合 $L_L = L_c / L_t$ を求めることにより求められる。ここで、結晶粒の体積比 $V_V = L_L$ である。

【0008】

Cu量xは $1 < x < 3$ とする。3.0%を超えると液体急冷時にアモルファス相を主相とする薄帯を得るのが極めて困難になり、軟磁気特性も急激に悪化する。また、Cu量xが1%以下では、適正な熱処理条件範囲も狭くなり保磁力が増加し軟磁性が劣化するため好ましくない。さらに好ましいCu量は $1 < x < 2$ である。B量yは $10 < y < 20$ とする。B量が10%未満であるとアモルファス相を主相とする薄帯を得るのが極めて困難となり、また20%を超えると飽和磁束密度の低下を招き好ましくない。さらに好ましいCu量x、B量yは $1.2 < x < 1.8$ 、 $12 < y < 17$ 、さらには、 $1.2 < x < 1.6$ 、 $14 < y < 17$ であり、このCu量、B量とすることで特に軟磁性が優れ製造が容易かつ熱処理による特性ばらつきを低減できる。

10

【0009】

本発明では熱処理前の段階で、合金中にアモルファス相が存在せず結晶からなる場合、低い保磁力は得られない。しかしながら、ナノスケールの結晶粒がアモルファス相中に30%未満分散した構造の場合は、熱処理後も低い保磁力が得られる。Bはアモルファスの形成を促進するために不可欠な元素であり、Si、S、C、P、Al、Ge、Gaは形成能の向上に寄与する。Bの濃度yは $10 < y < 20$ であり、Fe含有量の制約を満たしつつ、アモルファス相が安定に得られる組成範囲である。

20

【0010】

前記軟磁性合金は、Fe量に対して、その2原子%未満のNiを含むことができる。誘導磁気異方性の制御や耐食性向上に有効である。

また、前記軟磁性合金は、Fe量に対して、その1原子%未満のTi、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、W、Mn、Re、白金族元素、Au、Ag、Zn、In、Sn、As、Sb、Bi、Y、N、O及び希土類元素から選ばれた少なくとも一種以上の元素を含むことができる。微細結晶粒の生成を助け、軟磁気特性の改善に寄与する。

30

【0011】

具体的な製造方法は、前記組成の溶湯を単ロール法等の急冷技術によって100 /sec以上の冷却速度で急冷し、一旦アモルファス相を主相とする合金を作製後、これを加工し、結晶化温度近傍の温度で熱処理を施し、平均粒径が60nm以下の微結晶組織を形成することによって得られる。単ロール法等の急冷技術による薄帯の作製および熱処理は大気中または、Ar、He、窒素、一酸化炭素、二酸化炭素の雰囲気中あるいは減圧下で行う。磁界中熱処理により、誘導磁気異方性によって軟磁気特性を改善することができる。この場合、誘導磁気異方性を付与するには、熱処理中、一定時間、磁界を印加し、磁界中熱処理を行う。印加する磁界は、直流、交流、繰り返しのパルス磁界のいずれでも良い。磁界中熱処理は200以上の温度領域で通常20分以上印加する。昇温中、一定温度に保持中および冷却中も磁界を印加した方が、軟磁気特性の向上につながる。また、本発明合金はCoを含み誘導磁気異方性が生じやすく、B-Hループ形状を変えて磁気特性を改良することができる。

40

【0012】

熱処理は大気中、真空中、Ar、窒素等の不活性ガス中で行うことができるが、特に不活性ガス中に行うことが望ましい。熱処理の際、最高到達温度は結晶化温度からそれよりも70程度高い温度領域が望ましい。熱処理の保持時間を1時間以上とする場合、組成によるが350から470の範囲が最適である。一定温度で保持する時間は量産性の観点から通常は24時間以下であり、好ましくは4時間以下である。熱処理の平均昇温速度は0.1 /minから10000 /minが好ましく、より好ましくは100 /min以上であり、保磁力の増加を抑制

50

できる。熱処理は1段階でなく、多段階、複数回行って良い。さらに、合金に直接電流を流して、ジュール熱によって熱処理を施すことや、応力下で熱処理することも可能である。

【0013】

以上のようなプロセスを経て本発明の合金を作製することにより、飽和磁束密度が1.85 T以上、保磁力が120A/m以下の磁性材料を得ることが容易になる。

【0014】

本発明合金に対する熱処理は、微細結晶組織を形成することを目的としている。温度と時間の2つのパラメータを調整することにより、核生成および結晶粒成長が制御できる。そのため、高温中の熱処理であっても、非常に短時間であれば結晶粒成長を抑制できるうえ、保磁力が小さくなり、低磁界での磁束密度が向上し、ヒステリシス損失も減少するという効果が得られる。所望される磁気特性により、前記の低温長時間の熱処理と、この高温短時間の熱処理とを適宜使い分けることができるが、この高温短時間の熱処理の方が、一般的に必要とされる磁気特性を得やすく、好適である。

10

【0015】

保持温度は430 以上が好ましい。430 未満であると、保持時間を適宜調整しても上記の効果が得られにくい。化合物が析出する温度(T_{X2})に対し、 $T_{X2} - 50$ 以上とすることが好ましい。

また、この熱処理による製造方法は、高温域での熱処理速度が特性に影響を与えるため、熱処理温度が300 を超える際の昇温速度が100 /min以上であることが好ましく、350 を超える際の昇温速度が100 /min以上であることがより好ましい。

20

【0016】

また、昇温速度の制御や様々な温度で一定時間保持する数段階の熱処理等によって、核生成を制御することも可能である。また、結晶化温度よりも低い温度で一定時間保持し、核生成に十分な時間を与えた後、結晶化温度よりも高い温度で1h未満保持する熱処理により結晶粒成長を行えば、結晶粒同士が互いの成長を抑制しあうため、均質で微細な結晶組織が得られる。例えば、250 程度の熱処理を1h以上行い、その後、高温短時間、例えば熱処理温度が300 を超える際の昇温速度が100 /min以上の条件で熱処理を行えば、上記の製造方法と同じ効果を得ることができる。

30

【0017】

本発明の軟磁性微結晶合金は、必要に応じてSiO₂、MgO、Al₂O₃等の粉末あるいは膜で合金薄帯表面を被覆する、化成処理により表面処理し絶縁層を形成する、アノード酸化処理により表面に酸化物絶縁層を形成し層間絶縁を行う、等の処理を行うとより好ましい結果が得られる。これは特に層間を渡る高周波における渦電流の影響を低減し、高周波における磁心損失を改善する効果があるためである。この効果は表面状態が良好かつ広幅の薄帯から構成された磁心に使用した場合に特に著しい。更に、本発明合金から磁心を作製する際に必要に応じて含浸やコーティング等を行うことも可能である。本発明合金は高周波の用途として特にパルス状電流が流れるような応用に最も性能を発揮するが、センサや低周波の磁性部品の用途にも使用可能である。特に、磁気飽和が問題となる用途に優れた特性を発揮でき、ハイパワーのパワーエレクトロニクスの用途に特に適する。

40

使用時に磁化する方向とほぼ垂直な方向に磁界を印加しながら熱処理した本発明合金は、従来の高飽和磁束密度の材料よりも低い磁心損失が得られる。更に本発明合金は薄膜や粉末でも優れた特性を得ることができる。

【0018】

本発の軟磁性微結晶合金の少なくとも一部または全部には平均粒径60nm以下の結晶粒が形成している。前記結晶粒は組織の30%以上の割合であることが望ましく、より好ましくは50%以上、特に好ましくは60%以上である。特に望ましい平均結晶粒径は2nmから30nmであり、この範囲において特に低い保磁力および磁心損失が得られる。

前述の本発明合金中に形成する微結晶粒は主にFeとCoを主体とする体心立方構造(

50

bcc)の結晶相であり、Si, B, Al, GeやZr等が固溶しても良い。また、規則格子を含んでも良い。前記結晶相以外の残部は主にアモルファス相であるが、実質的に結晶相だけからなる合金も本発明に含まれる。CuやAuを含む面心立方構造の相(fcc相)が存在しても良い。

また、アモルファス相が結晶粒の周囲に存在する場合、抵抗率が高くなり、結晶粒成長の抑制により、結晶粒が微細化されており軟磁気特性が改善されるためより好ましい結果が得られる。

【0019】

本発明合金において化合物相が存在しない場合により低い磁心損失を示すが化合物相を一部に含んでも良い。

10

【0020】

もう一つの本発明は、前記軟磁性合金を用いた磁性部品である。前記本発明の軟磁性合金により磁性部品を構成することにより、アノードリアクトルなどの大電流用の各種リアクトル、アクティブフィルタ用チョークコイル、平滑チョークコイル、各種トランス、磁気シールド、電磁シールド材料などのノイズ対策部品、レーザ電源、加速器用パルスパワー磁性部品、モータ、発電機等に好適な高性能あるいは小型の磁性部品を実現することができる。

【発明の効果】

【0021】

本発明によれば、各種トランス、大電流用の各種リアクトル、電磁シールド材料などのノイズ対策部品、レーザ電源、加速器用パルスパワー磁性部品、アクティブフィルタ用チョークコイル、平滑チョークコイル、モータ、発電機等に用いられる高飽和磁束密度で特に低い磁心損失を示し、適正な熱処理条件範囲が広く熱処理しやすい高飽和磁束密度低損失の軟磁性微結晶合金およびそれを用いた高性能磁性部品を実現することができるため、その効果は著しいものがある。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

以下本発明を実施例にしたがって説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。

30

(実施例1)

$Fe_{ba1}Co_{15}Cu_{1.5}B_{14}Si_2$ (原子%)の合金溶湯を単ロール法により急冷し、幅10mm厚さ19 μm のアモルファス合金薄帯を得た。X線回折と透過電子顕微鏡観察の結果、アモルファス合金薄帯中には、体積分率で30%未満の粒径10 nm未満の粒径のナノスケールの極微細な結晶粒が形成していることが確認された。この結晶粒は主として体心立方構造(bcc構造)のFeCoを主体とする固溶体相であると考えられる。

昇温速度200 /minで、430 まで昇温し1時間保持後炉から取り出し空冷した。熱処理後の試料の、X線回折及び、透過電子顕微鏡による組織観察を行った。粒径約25nmのbcc構造のナノ結晶粒相が非晶質母相中に体積分率で50%以上を占めていた。これらの試料を長さ12cmに加工し、磁気測定を行った。8000A/mの磁界でほぼ飽和しており、8000A/mにおける磁束密度をBsとした。飽和磁束密度Bs = 1.94T、保磁力Hc=17A/mを示し、高Bsで低保磁力を示すことが示された。また、ノズル寿命は、同程度のBsを示す従来の $Fe_{ba1}Co_{29.4}Cu_1Nb_2B_{12}Si_1$ 合金の約1.5倍であった。

40

【0023】

(実施例2)

組成式 $Fe_{82.65-x}Co_xCu_{1.35}B_{14}Si_2$ (原子%)で表される合金溶湯を単ロール法により急冷し、幅5mm厚さ18 μm のアモルファス合金薄帯を作製した。次にX線回折と透過電子顕微鏡観察を行った。アモルファス合金薄帯中には、体積分率で30%未満の粒径10 nm未満の粒径のナノスケール結晶粒が形成していることが確認された。この結晶粒は主として体心立方構造(bcc構造)のFeCoを主体とする固溶体相であると考えられる。

50

次に、昇温速度200 /m i nで430 まで昇温し、1時間保持し炉から取り出し空冷する熱処理を行った。次に、X線回折及び、透過電子顕微鏡による組織観察を行った。粒径約25nmのbcc構造のナノ結晶粒相が非晶質母相中に体積分率で50%以上を占めていた。これらの試料を長さ12cmに加工し、磁気測定を行った。図1に飽和磁束密度Bsと保磁力HcのCo量依存性を示す。Co量xが $10 < x < 25$ (原子%)の範囲でBsが1.85T以上、Hcが200A/m以下の優れた特性が得られた。

【0024】

(実施例3)

表1に示す様々な組成の合金溶湯を単ロール法により急冷し、幅5mm厚さ18~25 μ mのアモルファス合金薄帯を得た。これらの合金薄帯を、350 ~460 の範囲で熱処理し、熱処理後の単板状試料をB-Hトレーサーで評価した。これらの熱処理後の磁性合金は、いずれも組織の少なくとも一部が結晶粒径60nm以下(0を含まず)の結晶粒を含むものであった。また、ナノ結晶粒相が非晶質母相中に体積分率で50%以上を占めていた。

10

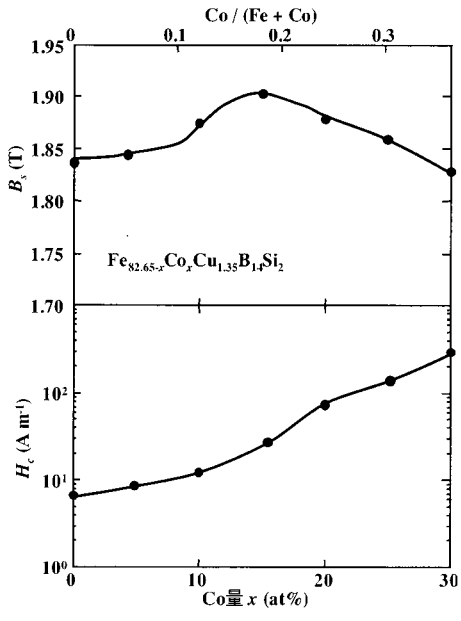
表1にこれらの試料の最も保磁力が低い熱処理条件の飽和磁束密度Bs、保磁力Hc、最大透磁率 μ_m を示す。比較のために従来のナノ結晶合金の磁気特性も示す。

本発明合金は、従来のナノ結晶合金と比較すると1.85T以上の合金に対しては、保磁力が低く、最大透磁率が高く軟磁性が優れている。従来の保磁力が低く軟磁性が優れているナノ結晶合金は、飽和磁束密度Bsが1.85T未満であり、本発明合金よりもBsが低い。以上のように本発明合金は従来のナノ結晶合金と比較し飽和磁束密度が高いにも係わらず軟磁性にも優れており、チョークコイルやトランスなどの鉄心材料に用いた場合、小型化、低損失化に寄与できる。

20

【0025】

【 図 1 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平07 - 201610 (JP, A)
特開2004 - 353090 (JP, A)
特開2006 - 040906 (JP, A)
特開平06 - 220592 (JP, A)
特開2006 - 241569 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C 2 2 C 3 8 / 0 0 - 3 8 / 6 0
C 2 2 C 4 5 / 0 2