

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4814085号
(P4814085)

(45) 発行日 平成23年11月9日(2011.11.9)

(24) 登録日 平成23年9月2日(2011.9.2)

(51) Int. Cl.	F I
B 2 2 F 3/14 (2006.01)	B 2 2 F 3/14 1 O 1 B
B 2 2 F 9/04 (2006.01)	B 2 2 F 9/04 C
C 2 2 C 1/04 (2006.01)	C 2 2 C 1/04 E
C 2 2 C 14/00 (2006.01)	C 2 2 C 14/00 Z
C 2 2 C 19/03 (2006.01)	C 2 2 C 19/03 A
請求項の数 3 (全 9 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号 特願2006-510874 (P2006-510874)
 (86) (22) 出願日 平成16年10月8日 (2004.10.8)
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2004/014963
 (87) 国際公開番号 W02005/087963
 (87) 国際公開日 平成17年9月22日 (2005.9.22)
 審査請求日 平成18年11月13日 (2006.11.13)
 審判番号 不服2010-6479 (P2010-6479/J1)
 審判請求日 平成22年3月26日 (2010.3.26)
 (31) 優先権主張番号 特願2004-69787 (P2004-69787)
 (32) 優先日 平成16年3月11日 (2004.3.11)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 503360115
 独立行政法人科学技術振興機構
 埼玉県川口市本町四丁目1番8号
 (74) 代理人 100108671
 弁理士 西 義之
 (72) 発明者 古屋 泰文
 宮城県仙台市青葉区吉成1-21-11
 (72) 発明者 岡崎 禎子
 青森県弘前市松原東2-15-29
 (72) 発明者 斉藤 千尋
 青森県弘前市桔梗野5-13-14 コーポ薔薇1-202
 (72) 発明者 横山 雅紀
 青森県中津軽郡岩木町大字百沢字笹平8-25

特許法第30条第1項適用 2003年10月11日~10月13日に開催された社団法人日本金属学会2003年秋季(第133回)大会(北海道大学工学部で開催)において文書をもって発表

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 鉄系磁歪合金の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

液体急冷凝固法により高温側不規則bcc構造でかつ微細柱状組織を有する、不規則~規則化遷移組成範囲である、多結晶のFeに対して17at%のGaを含有するFe-Ga合金からなる急冷凝固材を製造し、該急冷凝固材を薄片、粉末、またはチョップとして焼結原料とし、該原料を未熱処理のまま加圧力50MPa以上、焼結温度873K以上、かつ急冷凝固材の集合組織が失われない加圧力100MPa以下、焼結温度973K以下で放電焼結してバルク化合物とし、さらに熱処理して磁歪を向上させることを特徴とするアクチュエータ・センサ用の鉄系磁歪合金の製造方法。

【請求項2】

請求項1記載の方法において、加圧力100MPa、焼結温度973Kで放電焼結してバルク化合物とした後にさらに非磁場中で熱処理を行うことによって、室温で170~230ppmの磁歪を発現する合金とすることを特徴とするアクチュエータ・センサ用の鉄系磁歪合金の製造方法。

【請求項3】

請求項1記載の方法において、加圧力100MPa、焼結温度973Kで放電焼結してバルク化合物とした後にさらに磁場中で熱処理を行うことによって、室温で250~260ppmの磁歪を発現する合金とすることを特徴とするアクチュエータ・センサ用の鉄系磁歪合金の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【 0 0 0 1 】

本発明は、液体急冷凝固法 - 放電焼結法 - 熱処理法によって製造されたセンサ・アクチュエータ要素の素材となる鉄系超磁歪合金の製造方法に関する。

【 背景技術 】

【 0 0 0 2 】

液体急冷凝固法を利用して、各種合金系の非晶質、微結晶、多結晶の材料が開発されている。形状記憶合金などの機能性材料も液体急冷凝固法によって薄帯、細線、粉末として製造できる（特許文献1、2）。

【 0 0 0 3 】

鉄系磁性形状記憶合金について、本発明者の一人（古屋）は、液体急冷凝固法を適用し、超磁歪材料として知られるTerfenol-D(タフェノールディー)のレベルに達する巨大磁歪効果を発見した。この新磁歪材料は、急冷凝固材に特有な微細で強い方向性を有する特異な結晶制御組織を形成した実用的な多結晶材料であり、多結晶Fe-Pd系、Fe-Pt系合金に係わる発明を特許出願した（特許文献3）。さらに、本発明者らは、Fe-15at%Ga合金の短時間熱処理（1173K・0.5h）薄帯試料の特性を報告した（非特許文献3）。

10

【 0 0 0 4 】

さらに、NiCoGa、CoNiGa系合金（特許文献4）、Fe-Ga系合金（特許文献5）において、ある急冷速度を与えると結晶異方性が極めて強く、かつ微細な柱状結晶を形成でき、このように制御された材料は延性も有し、従来のランダム方位結晶材料よりも6~10倍以上も大きな磁歪現象を誘起できることを発見した。

20

【 0 0 0 5 】

しかしながら、上記のような高い性能を有する合金はこれまで主に厚さ又は直径が約200μm以下の薄帯や細線でしか得られておらず、溶製法では所期の特性を有するものは得ることは困難である。従来、板材や棒材などの厚さ又は直径がmmオーダー以上のバルク結晶合金の製造法としては、溶製法の他に、粉末冶金法が知られている。その方法の一つの手段として放電焼結法が知られている（例えば、非特許文献4、特許文献6）。

【 0 0 0 6 】

放電焼結は、粒間結合を形成しようとする部分に高エネルギーのパルスが集中でき、動的に焼結プロセスが進行する。これが放電焼結プロセスの特長であり、ホットプレス、抵抗焼結などの準静的な通常焼結法と大きく異なる点である。粒子表面のみの自己発熱による急速昇温が可能のため、焼結原料の粒成長を抑制しながら、短時間で緻密な焼結体を得ることができる。また、焼結原料内部の組織が変化するのを阻止できるため、アモルファス構造やナノ結晶組織をもつ粉体をそのままの状態で板材や棒材などのバルク（塊）化が可能である。この放電焼結法を利用して所望のバルク形状に製造されたFe-Dy-Tb系又は希土類元素-遷移金属系超磁歪材料が開発されている（特許文献7、8、9）。

30

【 0 0 0 7 】

【特許文献1】特開平1-212728号(特許第2589125号)公報

【特許文献2】特開平6-172886号公報

【特許文献3】特開平11-269611号公報

【特許文献4】特開2003-96529号公報

40

【特許文献5】特開2003-286550号公報

【特許文献6】特開平6-341292号(特許第2762225号)公報

【特許文献7】特開平5-105992号公報

【特許文献8】特開平11-189853号公報

【特許文献9】特開2001-358377号公報

【非特許文献1】S.Saito, Y.Furuya, T.Okazaki, T.Watanabe, T.Matsuzaki, and M.Wuttig: Mater. Trans., JIM, vol. 45, pp. 193-198, Feb. (2004)

【非特許文献2】M.Omori: Mater. Sci. Eng. A, vol. 287, pp. 183-188, Aug. (2000)

【 発明の開示 】

【発明が解決しようとする課題】

50

【 0 0 0 8 】

液体急凝固法によって製造された急凝固材は高性能ではあるが、いずれも、その急冷プロセスの制約で非常に薄いか細く、素材板厚で約100 μ m以下、素材線材直径で約100 μ m以下であり、また、長さは最大2m程度で、それほど長いものは作製困難である。これらの材料を用いた場合、そのアクチュエータ要素としての作動力は小さく、応用範囲は、マイクロマシンや小型センサデバイスに限定されていた。また、急凝固材は長時間の熱処理をすると急凝固材に特有の非平衡相や微細結晶組織に起因する高性能特性が失われるため、熱処理による合金特性の向上には限界があった。

【 0 0 0 9 】

現在までに、鉄基Fe-Ga磁歪合金については、米国（海軍研究所、ONR）のみで単結晶法による開発例があり、磁歪300ppmが報告されている。しかし、単結晶法は作成条件が厳しく、かつ、単結晶アクチュエータ/センサ材料は非常に高価な欠点がある。

10

【 0 0 1 0 】

それゆえ、工業的応用分野としての、機械電子部品や知的材料システム・構造（航空機、自動車、建設構造物、ソナー、電気機器など）にアクチュエータやセンサ素子として組み込むためには、もっと複雑形状に加工できる加工性と大きな回復力が取り出せる程度の大きな質量を持つバルク素材及びその製造方法の開発が要求されている。

【 0 0 1 1 】

本発明は、液体急凝固材に特有の非平衡相、析出物（＝状態図的平衡相の少ないこと、結晶微細化や異方性を生かしたFe-Ga系磁歪合金）をアクチュエータやセンサ素子材料として適するバルク化材とするとともに溶製法と比べてコスト的に有利な製造方法によって高性能化を図ることを課題とする。

20

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 2 】

本発明は、液体急凝固素材の優れた特性を生かしながら、ある程度の質量を有するバルク化した合金を提供する。本発明は、Fe-Ga磁歪合金の特定の急凝固組織及びそれに基づく優れた特性を有する急凝固材を薄片としてダイス内に積層するか、粉末やチョップ(chop：短切片)をダイス内に充填して未熱処理のまま放電焼結法によって高密度に結合させてバルク化合物とすることを特徴としている。また、本発明は、焼結後さらに該バルク化合物を熱処理することによって合金の磁歪特性を向上させることを特徴としている。

30

【 0 0 1 3 】

すなわち、本発明は、下記のとおりのものである。

(1) 液体急凝固法により高温側不規則bcc構造でかつ微細柱状組織を有する、不規則～規則化遷移組成範囲である、多結晶のFeに対して17at%のGaを含有するFe-Ga合金からなる急凝固材を製造し、該急凝固材を薄片、粉末、またはチョップとして焼結原料とし、該原料を未熱処理のまま加圧力50MPa以上、焼結温度873K以上、かつ急凝固材の集合組織が失われない加圧力100MPa以下、焼結温度973K以下で放電焼結してバルク化合物とし、さらに熱処理して磁歪を向上させることを特徴とするアクチュエータ・センサ用の鉄系磁歪合金の製造方法。

【 0 0 1 4 】

(2) 上記の方法において、加圧力100MPa、焼結温度973Kで放電焼結してバルク化合物とした後にさらに非磁場中で熱処理を行うことによって、室温で170～230ppmの磁歪を発現する合金とすることを特徴とするアクチュエータ・センサ用の鉄系磁歪合金の製造方法。

40

【 0 0 1 5 】

(3) 上記の方法において、加圧力100MPa、焼結温度973Kで放電焼結してバルク化合物とした後にさらに磁場中で熱処理を行うことによって、室温で250～260ppmの磁歪を発現する合金とすることを特徴とするアクチュエータ・センサ用の鉄系磁歪合金の製造方法。

【発明の効果】

【 0 0 1 6 】

本発明の製造方法で得られるFe-Ga新磁歪合金は、単結晶の磁歪合金の80%程度までの

50

大きさの磁歪が得られ、従来の希土類系Tefenol-Dよりも、はるかに（20分の一程度）安価で、かつ、良好な加工性（延性）、高剛性である特徴を有している。それゆえに、磁化初期での立ち上がり歪エネルギー密度を高くすることが出来る。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

図1に、本発明の鉄系磁歪合金の製造方法の工程を示す。まず、液体急冷凝固法によってセンサ・アクチュエータ要素素材を作製する。原料となるインゴットを高周波誘導溶解液体急冷凝固法（双ロール又は単ロール急冷法）によって薄帯（リボン）を製造する。あるいは、プラズマアーク溶解融液抽出急冷凝固法（円錐ロール先端スピニング法）によって細線（ファイバ）を製造する。これによって、微細柱状結晶、大きな結晶異方性、非平衡相などを特徴とする急冷凝固材が得られる。

10

【0018】

液体急冷凝固法は非晶質合金の作製法としてよく使われているが、Fe-Ga磁歪合金のように加工性の悪い材料を20~30 μ mの厚さの板にする場合にも有用である。液体急冷凝固合金では、急冷凝固材に特有のナノ~マイクロサイズの結晶微細化と柱状結晶（異方性）形成によって、耐久性、延性、磁歪効果や形状記憶効果などの機能特性の向上が可能になる。

【0019】

次に、急冷凝固材の形状が長さ20~50mm、厚み20~30 μ m程度の薄片の場合、粉碎せずにそのままダイス内に積層化してプリフォームとし焼結することができる。急冷凝固材の形状が長尺の薄帯の場合は、前記薄片の大きさ程度に切断して焼結原料とする。

20

【0020】

薄帯又は細線状の急冷凝固材を粉碎して粉末とする場合は、回転ボールミリングにて湿式粉碎、すなわち、エタノールなどのアルコール中に薄帯又は細線を浸した状態で粉碎して粉末（パウダー）やチョップ（短切片）状にする。粉碎には、遊星型ボールミル装置を使用する方式が好ましい。これはボールの遠心力と容器の壁との機械的エネルギーを使用し、短時間で粉末を作製可能な方式である。

【0021】

次に、粉碎によって得られた粉末やチョップはダイス内に充填してプレフォームとする。そして、ダイス内に積層又は充填した焼結原料を未熱処理のまま放電焼結する。図2に示すように、放電焼結は、焼結原料1を超合金製ダイス2内に充填し、上部パンチ3、下部パンチ4を押し込んで加圧する。これらをチャンバー5内の焼結ステージ（図示せず）上に固定し、チャンバー5内を真空ポンプ6で減圧した後、上部パンチ電極7、下部パンチ電極8で挟み、加圧しながら電源9からパルス通電を行う。焼結温度は熱電対10によってダイス2の温度を測定しながらコントローラ11で制御する。

30

【0022】

パルス通電を行うと、電界の作用でイオンの高速移動による高速拡散効果も生じる。このON-OFFによって繰り返し電圧・電流を印加することによって、焼結原料内で放電点とジュール発熱点（局所的な高温発生場）が移動し、焼結原料内の全体に分散されてONの状態での現象と効果が焼結原料内に均一に繰り返される結果、電力消費量も少なく効率のよい焼結が固相で行なわれる。

40

【0023】

上記方法によってFe-Ga磁歪合金を製造する場合について、さらに詳しく説明する。図3に、Fe-Ga合金の場合の急冷凝固法によって作製される代表的な準安定相（析出相なし）からなる薄帯素材と、通常の溶解後加工し、さらに熱処理を加えて得られる、平衡状態図に沿った金属組織（Fe-Ga₃、Li₂, DO₃規則相析出）の相違を示す。液体急冷凝固薄帯素材は、図3に示すように、石英ノズル12中で原料を高周波誘導コイル13によって加熱溶解して形成した溶解金属14を、Arガスによって回転ロール15の高速回転面に噴出させてリボン6とすることによって得られる。

【0024】

50

液体急冷凝固法によって、第一に、液相からの急速凝固によって通常では高温でのみ現れる相を常温で発現させる。第二に、中間冷却速度にて微細柱状晶を形成する。この組織は従来の多結晶材料よりも微細であることから高強度であり、凝固時の熱流方向が一軸であることからこの方向へ強い配向を持つ異方性を有する組織が得られる。Fe-Ga合金においては、磁気異方性を制御することで、エネルギー効率のよい機能材料になり得る。

【0025】

Fe-Ga合金においては、通常の溶解・加工法による $Fe_{100-x}Ga_x$ 単結晶では x が19at%以下で不規則bcc構造であり、その磁歪定数はFeの20倍に達する。さらに、これらの単結晶を高温から焼入れすると磁歪定数がさらに増大する。しかし、 x が20at%以上の合金では磁歪定数（飽和磁歪）が減少することが報告されている[文献T.A. Lograsso, A.R. Ross, D.L. Shlagel, A.E. Clark, M. Wun-Fogel: J. Alloys and Compounds, 35095-101(2003)]。

10

【0026】

Fe-Ga合金の飽和磁化が組成によってどのように変化するかを説明する。bcc Fe-Ga合金における1原子当たりの磁気モーメントのGa濃度依存性 [文献、N. Kawamiya, K.A. Adachi, Y. Nakamura: J. Physics

Soc. Japan. 33.1218-1327, 1972] から、約15at%Gaまでは単純にFeをGaで希釈するように変化する。それ以上のGa濃度では単純希釈の線からはずれ、20at%Ga以上の濃度からは規則化が進むとともに急激に小さくなる。これは、FeがGaに囲まれてくると、Fe自身の磁気モーメントが小さくなるためと考えられている。また、規則構造形成も自発磁化の変化に関係してくる。

20

【0027】

さらに、平衡状態図（図示せず）を見るとGa濃度が20at%以上の領域では700 付近で不規則bcc相から規則相（D03, L12）へ結晶構造が変化しており、この構造変化が磁歪の値と関連していると考えられる。そこで、液体急速凝固法によってFe-Ga合金の規則相を析出させずに高温相の不規則bcc相を室温まで凍結すれば、より大きな磁歪を期待できる。

【0028】

よって、通常の溶解・加工法による結晶組織では現れない、急冷凝固法による高温側不規則bcc構造でかつ微細柱状組織を有する、不規則～規則化遷移組成範囲である、多結晶のFeに対して15～23at%のGaを含有する合金薄帯を製造し、これをそのまま積層して放電焼結することが重要である。

30

【0029】

放電焼結時の上下パンチによる加圧力及び焼結温度を変えることによって焼結材の磁気・磁歪特性は変化する。液体急冷凝固法によって形成される微細結晶を活かしたままでの焼結を完了させるために、放電焼結では出来るだけ高圧力をかけ、低温で焼結することが好ましい。Fe-17at%Ga合金薄帯は放電焼結時の加圧力50MPa以上、焼結温度873K以上で焼結が可能である。100MPa・973K焼結試料の密度の割合は約100%である。

【0030】

100MPa・973Kで焼結した材料を短時間で非磁場中熱処理すると、室温で170～230ppmの磁歪を発現した。焼結後に磁場中熱処理を施すことによって合金特性の結晶配向性を強めることができ、さらには、磁歪に直接的に関係する磁気モーメント（磁区構造）を制御することができる。上記の試料に焼結後の磁場中熱処理を施した場合は、250～260ppmまで磁歪は増大した。これは、磁歪発現メカニズムである移動・回転する磁区（ドメイン）構造が、ナノ～メゾレベルで磁場中処理方向に揃えられ、その結果として、外部磁場付与に対して、ミクロ的に磁化回転が促進されて磁歪が促進されたものと考察できる。

40

【0031】

これらの事実から、大きな磁歪を得るためには液体急冷凝固薄帯に特有の集合組織を変化させず、さらに薄帯間の接合を完全に行うには、加圧力50MPa以上、焼結温度873K以上であればよい。加圧力及び焼結温度の上限は、急冷凝固材の集合組織が失われない程度にする必要がある。

【0032】

50

放電焼結前の液体急凝固素材の特性の他、素材の粉碎条件もバルク合金の特性に影響を及ぼす。アルコール湿式ミリングは、急凝固素材の特性維持に有効である。

【実施例 1】

【0033】

[Fe-Ga系合金の例]

電解鉄及びガリウムをプラズマアーク溶解法にて溶解し、Fe-17at%Ga合金インゴットを製作した。このインゴットを溶解してアルゴン雰囲気中で液体急凝固(単ロール)法によって長さ2m、幅5mm、膜厚80 μ mの薄帯を作製した。この薄帯を長さ40mmに切断して薄片とし未熱処理のまま放電プラズマ焼結用試料とした。

【0034】

焼結は超硬ダイス中に300枚の薄片を積層し、試料(a)を50MPa・973K、試料(b)を100MPa・973K、試料(c)を300MPa・873K、焼結時間は5分で行った。放電焼結装置としては住友石炭鉱業製SPS1050を用いた。放電焼結は、真空度2Pa、電流3,000A、電圧200Vで行った。昇温条件は温度によって異なるが約30分であった。焼結後の試料のサイズは長さ40mm、幅5mm、(薄帯表面に垂直方向の)厚さ9mmであった。比較のために、急凝固したままのFe-15at%Ga合金薄帯を1173Kで0.5時間熱処理した試料(非特許文献2に記載のものと同じ)を用意した。

【0035】

X線構造解析

各焼結試料の結晶構造はX線回折法を用い、CuK α 1線によるピークを解析することによって行った。図4は、Fe-17at%Ga合金の焼結試料である試料(a)、試料(b)、試料(c)と比較例の試料(d)のX線回折パターンを示している。3種類の焼結試料は、格子定数0.2904nmの体心立方構造で構成されている。試料(b)の100MPa・973K焼結試料の(200)ピークの強度は他の焼結試料より強く、[100]配向の強い比較例の試料(d)の回折パターンに似ている。この結果は、試料(b)は、薄帯の[100]集合組織が保持されたことを示唆している。

【0036】

試料(a)の50MPa・973K焼結試料も、試料(b)の100MPa・973K焼結試料よりは弱いものの(200)配向していることから、集合組織が保持されている。他方、試料(c)の300MPa・873K焼結試料の(200)ピークは小さく広がり、薄帯の集合組織を失っている。これは、300MPaの加圧力が塑性変形及び内部損傷を引き起こしたことが原因と考えられる。

【0037】

磁化・磁歪測定

磁化は振動試料型磁力計(VSM)を用いて最大磁場を10kOeとし、磁化-磁場ヒステリシス曲線(M-Hループ)を測定した。さらに、図5に示すように、2枚の黄銅板18、黄銅ネジ19、アクリル樹脂20で構成した測定装置を用いて、試料21に歪ゲージ17を貼り付けて厚さ方向に平行な磁歪を測定した。

【0038】

試料に予応力として20MPa、60MPa、100MPaの圧縮応力をかけ、磁歪の値は試料の裏表の歪ゲージ17から得られた値の平均によって決定した。磁化・磁歪測定のため、Fe-17at%Ga合金焼結試料を長さ2.7mm、幅5mm、及び(薄帯表面に垂直方向の)厚さ9mmに切り出した。磁場が薄帯表面に垂直方向に適用されたときに大きな磁歪が発現することが報告されている[非特許文献2]ことから、本実施例においても磁場Hはこの方向に適用した。飽和磁化は1.68テスラであり、予応力を増加させてもほとんど変わらなかった。

【0039】

図6は、試料(b)の100MPa・973K焼結試料の磁歪を示す。磁歪は予応力sにかなり依存し、2kOeの低磁場で飽和し、その後Hが大きくなるとともにわずかに減少して戻る。最大磁歪100ppmはs=100MPaを負荷した時に得られた。試料(a)の50MPa・973K焼結試料の飽和磁歪は70ppmであり、試料(b)の100MPa・973K焼結試料の値より小さかった。これは、焼結時の応力が低すぎたために、薄片間の接合が不完全であったためと考えられる。さらに、試料(c)の300MPa・873K焼結試料はランダム組織を持つために磁歪の値は最も小さい。

10

20

30

40

50

【0040】

上記の方法で製造した試料(b)の100MPa・973K焼結試料を真空中で1173K・1hで熱処理した。熱処理後に磁歪を測定した。図7は、この焼結試料の熱処理前と後の磁歪を示す。H=2kOeの熱処理前と後の磁歪はそれぞれ100ppmと170~230ppmであり、熱処理によって磁歪が増大した。

【0041】

さらに、焼結後に磁場中熱処理を施した場合は、250~260ppmまで増大した。薄帯試料を短時間で熱処理することによって[100]配向が強まり、磁歪が増大する[非特許文献2参照]こと、さらには、磁歪に直接的に関係する磁気モーメント(磁区構造)が外部磁場付与によって、ある特定の方向に揃うことも寄与しているものと考えられる。

10

【産業上の利用可能性】

【0042】

本発明のバルク固化急冷凝固材料であるFe-Ga焼結合金の磁歪材料としての利用は、大別して、磁気センサと磁歪アクチュエータ(駆動素子)である。磁歪材料のアクチュエータ・センサとしての具体例は、水中ソナー(音波探知機)、魚群探知機、アクティブ制振素子、音響スピーカー、エンジン燃料噴射弁制御(インジェクションバルブ)、電磁ブレーキ、マイクロポジショナー、流体制御(ガス、液体)バルブ、電動歯ブラシ、バイブレータ、歯科用切削振動治療器、さらには、車トルクセンサ、電動自転車トルクセンサ、センサシャフト、ひずみセンサ、セキュリティセンサーなどである。その他、磁歪材料の動的操作における渦電流損失を克服するために絶縁加工された磁気粒子やシリコンスチール、非電氣的伝導材料を用いた磁歪コンポジット材料が開発される。

20

【図面の簡単な説明】

【0043】

【図1】本発明のバルク固化急冷凝固材料の製造方法の工程図である。

【図2】放電焼結装置の概念図である。

【図3】非平衡相からなる急冷凝固薄帯材と平衡相からなる溶解加工後の熱処理材での金属組織の相違をFe-Ga磁歪合金について示す模式図である。

【図4】Fe-17at%Ga合金焼結試料とFe-15at%Ga合金薄帯試料のX線回折パターン図である。

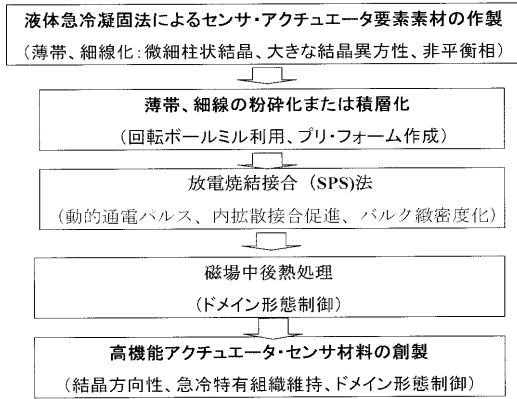
【図5】磁歪測定法の概念図である。

30

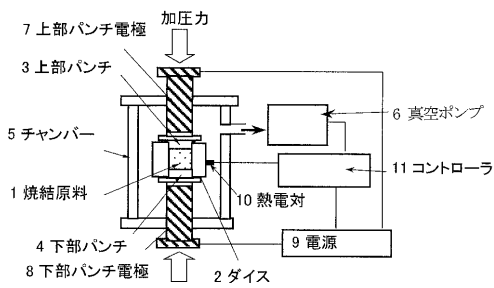
【図6】Fe-17at%Ga合金焼結(100MPa・973K)試料の磁歪(圧縮応力依存性)と熱処理後の磁歪増加現象を示すグラフである。

【図7】Fe-17at%Ga合金焼結(100MPa・973K)試料を熱処理後、さらに磁場中熱処理(400、H=0.5テスラ、15分)した後の磁歪増加現象(黒四角で表示、圧縮負荷応力=100MPa)を示すグラフである。

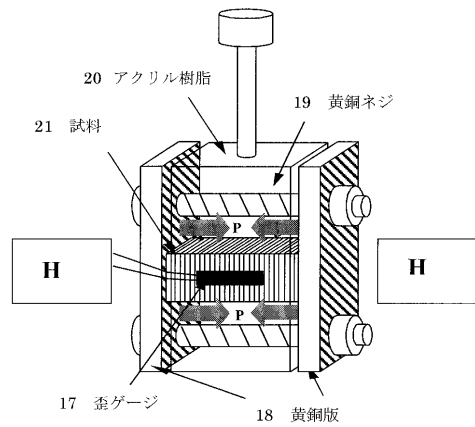
【図 1】



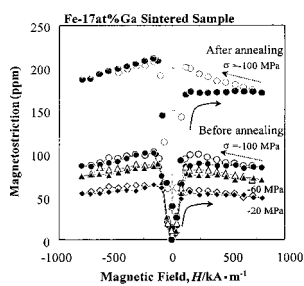
【図 2】



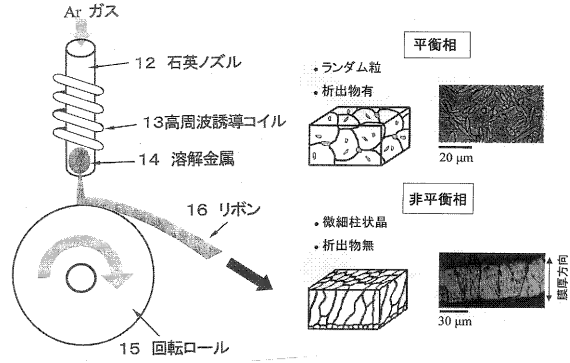
【図 5】



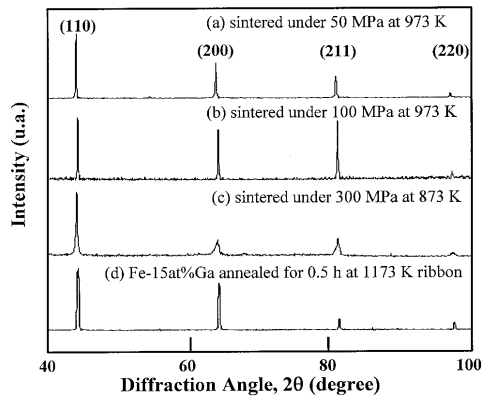
【図 6】



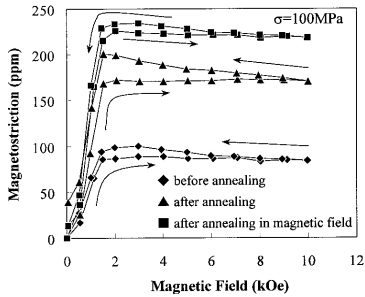
【図 3】



【図 4】



【図 7】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I		
C 2 2 C 33/02	(2006.01)	C 2 2 C 33/02		G
C 2 2 C 38/00	(2006.01)	C 2 2 C 38/00	3 0 3 Z	
H 0 1 L 41/20	(2006.01)	C 2 2 C 38/00	3 0 4	
H 0 1 L 41/22	(2006.01)	H 0 1 L 41/20		
		H 0 1 L 41/22		Z

(72)発明者 大森 守
宮城県仙台市泉区高森 1 - 1 - 4 2

合議体

審判長 長者 義久

審判官 大橋 賢一

審判官 田中 則充

(56)参考文献 特開 2 0 0 3 - 2 8 6 5 5 0 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 3 5 8 3 7 7 (J P , A)
特開平 3 - 1 1 5 5 4 0 (J P , A)
特開平 1 1 - 1 8 9 8 5 4 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
B22F 3/14