

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6743251号  
(P6743251)

(45) 発行日 令和2年8月19日(2020.8.19)

(24) 登録日 令和2年7月31日(2020.7.31)

(51) Int.Cl.		F I			
HO 1 F 41/02	(2006.01)	HO 1 F 41/02		G	
HO 1 F 1/057	(2006.01)	HO 1 F 1/057	1 7 0		
C 2 3 C 24/04	(2006.01)	C 2 3 C 24/04			

請求項の数 52 外国語出願 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2019-136997 (P2019-136997)	(73) 特許権者	500024469
(22) 出願日	令和1年7月25日(2019.7.25)		ダイソン・テクノロジー・リミテッド
(62) 分割の表示	特願2018-500419 (P2018-500419) の分割		イギリス・ウィルトシャー・SN16・O RP・マルムズベリー・テットベリー・ヒル(番地なし)
原出願日	平成28年6月29日(2016.6.29)	(74) 代理人	100108453
(65) 公開番号	特開2019-208050 (P2019-208050A)		弁理士 村山 靖彦
(43) 公開日	令和1年12月5日(2019.12.5)	(74) 代理人	100110364
審査請求日	令和1年7月29日(2019.7.29)		弁理士 実広 信哉
(31) 優先権主張番号	1511822.7	(74) 代理人	100133400
(32) 優先日	平成27年7月6日(2015.7.6)		弁理士 阿部 達彦
(33) 優先権主張国・地域又は機関	英国 (GB)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マグネット

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

マグネットの製造方法であって、  
希土類合金のグレインを含む磁性体を提供するステップと、  
前記磁性体の表面の一部のみにジスプロシウム金属のビードを堆積してマグネットを形成するステップと、  
前記マグネットを熱処理するステップと、を備え、  
前記金属ビードがコールドスプレーで堆積される方法。

【請求項2】

前記磁性体は複数の極を備え、ジスプロシウム金属のビードを堆積するステップは前記極のそれぞれの表面の一部のみにジスプロシウム金属のビードを堆積するステップを備える、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

マグネット体の表面は極交差によって幾何学的に分割されており、各金属ビードは前記極交差から離れた領域に堆積される、請求項2に記載の方法。

【請求項4】

各金属ビードは前記マグネット体の表面の端に堆積される、請求項3に記載の方法。

【請求項5】

前記マグネットを熱処理するステップが粒界拡散プロセスを含む、請求項1から4のいずれか一項に記載の方法。

## 【請求項 6】

前記マグネットを熱処理するステップが、  
 前記マグネットを第一高温に加熱するステップと、  
 前記マグネットを第二温度に冷却するステップと、  
 前記マグネットを室温に急冷するステップとを備える、請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の方法。

## 【請求項 7】

前記第一高温が少なくとも 900 である、請求項 6 に記載の方法。

## 【請求項 8】

前記第二温度が少なくとも 500 である、請求項 6 又は 7 に記載の方法。

10

## 【請求項 9】

複合マグネットは前記第一高温で少なくとも 6 時間保持される、請求項 6 から 8 のいずれか一項に記載の方法。

## 【請求項 10】

前記複合マグネットが前記第二温度で少なくとも 0.5 時間保持される、請求項 6 から 9 のいずれか一項に記載の方法。

## 【請求項 11】

前記希土類合金はネオジウム合金である、請求項 1 から 10 のいずれか一項に記載の方法。

## 【請求項 12】

前記ネオジウム合金は  $Nd_2Fe_{14}B$  である、請求項 11 に記載の方法。

20

## 【請求項 13】

磁性体と、一以上のジスプロシウム金属のビードとを含むマグネットであって、前記磁性体は希土類磁性合金のグレインを含み、各ビードは前記磁性体の表面の一部のみに堆積されており、

各金属ビードがコールドスプレープロセスで堆積されている、マグネット。

## 【請求項 14】

各金属ビードが前記磁性体のそれぞれの極に堆積されている、請求項 13 に記載のマグネット。

## 【請求項 15】

マグネット体の表面が極交差によって幾何学的に分割されており、前記極交差から離れた領域に各金属ビードが堆積されている、請求項 13 又は 14 に記載のマグネット。

30

## 【請求項 16】

前記マグネット体の表面の端に各金属ビードが堆積されている、請求項 15 に記載のマグネット。

## 【請求項 17】

前記マグネットが円筒状の形状である、請求項 13 から 16 のいずれか一項に記載のマグネット。

## 【請求項 18】

前記磁性体は焼結された希土類マグネットである、請求項 13 から 17 のいずれか一項に記載のマグネット。

40

## 【請求項 19】

前記希土類合金がネオジウム合金である、請求項 13 から 18 のいずれか一項に記載のマグネット。

## 【請求項 20】

前記ネオジウム合金が  $Nd_2Fe_{14}B$  である、請求項 19 に記載のマグネット。

## 【請求項 21】

ある程度の量のジスプロシウムが前記グレイン内に拡散している、請求項 13 から 20 のいずれか一項に記載のマグネット。

## 【請求項 22】

50

前記グレインが0.5～15重量%のある程度の量の拡散したジスプロシウムを含む、請求項21に記載のマグネット。

【請求項23】

前記グレインの境界に沿ってジスプロシウムが拡散しておりシェル層を形成している、請求項21又は22に記載のマグネット。

【請求項24】

前記磁性体が、 $Dy_2Fe_{14}B$ 又は $(Dy, Nd)_2Fe_{14}B$ を含むシェル層を有する $Nd_2Fe_{14}B$ のグレインを含む、請求項23に記載のマグネット。

【請求項25】

前記シェル層が約0.5 $\mu m$ の厚さを有する、請求項23又は24に記載のマグネット 10

【請求項26】

前記ジスプロシウム金属のビードの堆積厚さが1～5 $\mu m$ である、請求項13から25のいずれか一項に記載のマグネット。

【請求項27】

マグネットの製造方法であって、  
希土類合金のグレインを含む磁性体を提供するステップと、  
前記磁性体の表面の一部のみにテルビウム金属のビードを堆積してマグネットを形成するステップと、

前記マグネットを熱処理するステップと、を備え、 20

前記金属ビードがコールドスプレーで堆積される、方法。

【請求項28】

前記磁性体は複数の極を備え、テルビウム金属のビードを堆積するステップは前記極のそれぞれの表面の一部のみにテルビウム金属のビードを堆積するステップを備える、請求項27に記載の方法。

【請求項29】

マグネット体の表面は極交差によって幾何学的に分割されており、各金属ビードは前記極交差から離れた領域に堆積される、請求項28に記載の方法。

【請求項30】

各金属ビードは前記マグネット体の表面の端に堆積される、請求項29に記載の方法。 30

【請求項31】

前記マグネットを熱処理するステップが粒界拡散プロセスを含む、請求項27から30のいずれか一項に記載の方法。

【請求項32】

前記マグネットを熱処理するステップが、  
前記マグネットを第一高温に加熱するステップと、  
前記マグネットを第二温度に冷却するステップと、  
前記マグネットを室温に急冷するステップとを備える、請求項27から31のいずれか一項に記載の方法。

【請求項33】 40

前記第一高温が少なくとも900である、請求項32に記載の方法。

【請求項34】

前記第二温度が少なくとも500である、請求項32又は33に記載の方法。

【請求項35】

複合マグネットは前記第一高温で少なくとも6時間保持される、請求項32から34のいずれか一項に記載の方法。

【請求項36】

前記複合マグネットが前記第二温度で少なくとも0.5時間保持される、請求項32から35のいずれか一項に記載の方法。

【請求項37】 50

前記希土類合金はネオジウム合金である、請求項 27 から 36 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 38】

前記ネオジウム合金は  $Nd_2Fe_{14}B$  である、請求項 37 に記載の方法。

【請求項 39】

磁性体と、一以上のテルビウム金属のビードとを含むマグネットであって、前記磁性体は希土類磁性合金のグレインを含み、各金属ビードは前記磁性体の表面の一部のみに堆積されており、

各金属ビードがコールドスプレースプロセスで堆積されている、マグネット。

【請求項 40】

各金属ビードが前記磁性体のそれぞれの極に堆積されている、請求項 39 に記載のマグネット。

【請求項 41】

マグネット体の表面が極交差によって幾何学的に分割されており、前記極交差から離れた領域に各金属ビードが堆積されている、請求項 39 又は 40 に記載のマグネット。

【請求項 42】

前記マグネット体の表面の端に各金属ビードが堆積されている、請求項 41 に記載のマグネット。

【請求項 43】

前記マグネットが円筒状の形状である、請求項 39 から 42 のいずれか一項に記載のマグネット。

【請求項 44】

前記磁性体は焼結された希土類マグネットである、請求項 39 から 43 のいずれか一項に記載のマグネット。

【請求項 45】

前記希土類合金がネオジウム合金である、請求項 39 から 44 のいずれか一項に記載のマグネット。

【請求項 46】

前記ネオジウム合金が  $Nd_2Fe_{14}B$  である、請求項 45 に記載のマグネット。

【請求項 47】

ある程度の量のテルビウムが前記グレイン内に拡散している、請求項 39 から 46 のいずれか一項に記載のマグネット。

【請求項 48】

前記グレインが 0.5 ~ 15 重量%のある程度の量の拡散したテルビウムを含む、請求項 47 に記載のマグネット。

【請求項 49】

前記グレインの境界に沿ってテルビウムが拡散しておりシェル層を形成している、請求項 47 又は 48 に記載のマグネット。

【請求項 50】

前記磁性体が、テルビウムを含むシェル層を有する  $Nd_2Fe_{14}B$  のグレインを含む、請求項 49 に記載のマグネット。

【請求項 51】

前記シェル層が約 0.5  $\mu m$  の厚さを有する、請求項 49 又は 50 に記載のマグネット。

【請求項 52】

前記テルビウムのビードの堆積厚さが 1 ~ 5  $\mu m$  である、請求項 39 から 51 のいずれか一項に記載のマグネット。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

20

30

40

50

本発明は希土類マグネットと、希土類マグネットの製造方法とに関する。より具体的に、本発明は改善した保磁力を有する希土類マグネットとそれの製造方法とに関する。

【背景技術】

【0002】

希土類マグネットは希土類合金のグレインを含む結晶格子構造を含んでよい。そのようなマグネットの磁性特性、特に保磁力は、結晶格子構造中にジスプロシウム又はテルビウム等の希土類磁性元素で置換することで向上できることが示されてきた。ジスプロシウム又はテルビウムは、例えば二元添加を介して結晶格子のバルク中に置換されるか、粒界拡散などの、熱処理ステップを介して結晶格子の粒界に沿って置換され得る。粒界に沿ったジスプロシウム又はテルビウムの拡散は、保磁力等の磁性特性の同じ改善を達成するのに比較的少量のジスプロシウム又はテルビウムが必要とされるので好ましい。

10

【0003】

粒界拡散のために、ジスプロシウム又はテルビウムは、効率的な置換が起こるように希土類マグネット上に堆積されねばならない。しかしながら、ジスプロシウム及びテルビウムの高価格と低い天然存在度は、最近の研究の努力が、より少量のジスプロシウム又はテルビウムを使用して改善したマグネットを提供することに集中してきたことを意味する。これらの堆積技術の問題は、ジスプロシウム又はテルビウムを堆積するのに非常に長期間が要求され得ることと、高価なジスプロシウム又はテルビウムの損失が依然として生じ得ることである。例えば $DyF_3$ 等の現在の堆積技術で使用されるいくつかのジスプロシウム含有材料は、基材の磁性特性に有害であることがあると考えられてもいる。

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

高速かつ/又は材料的に効率的な、基材の磁性特性に有害な効果を有しない、希土類磁性基材上にジスプロシウム又はテルビウムを堆積する方法が望まれている。

【課題を解決するための手段】

【0005】

第一の態様において、本発明は、磁性体と、一以上のジスプロシウム金属のビードとを備えるマグネットであって、磁性体は希土類磁性合金のグレインを含み、各ビードは磁性体の表面の一部のみに堆積される、マグネットを提供する。

30

【0006】

使用中、温度上昇及び/又は逆磁場効果に起因してマグネットは永久的に減磁され得る(その磁場強度のいくらか又は全てを失う)。これらの効果はマグネット内で均一に生じず、減磁のサイトの位置は、しばしばマグネットの用途、即ちモーター中又は発電機中、に依存する。その結果、理想的には、これらの効果に対抗するためにマグネットの保磁力は勾配がつけられている。磁性体の表面の特定部分のみにジスプロシウム金属のビードを堆積することによって、磁性基材にわたる保磁力の勾配をいっそう注意深く制御することができる。用語ビードは、様々な形状及び大きさで形成され得り、希土類マグネットの表面上の特定のサイトに堆積され得る、ある量の金属を規定することが意図される。

【0007】

40

ジスプロシウム金属のビードの堆積は、様々な堆積技術を用いて達成することができる。ジスプロシウムのビードのみを磁性体上に堆積することによって、比較的少量の材料が必要とされ、マグネットの標的のサイト上、又はサイトの周りで、保磁力等の同一の向上が達成される。マグネットの標的サイトは、使用中に高レベルの温度変化又は逆磁場効果を経験するマグネットの部分であり得る。磁性体全体に磁性特性の改善は要求されないので、高価なジスプロシウムの損失が回避される。

【0008】

希土類合金のグレインは、サマリウム、プラセオジウム、セリウム、又はネオジウムを含む磁性合金を含んでよい。ネオジウム又はサマリウム合金を含む焼結合金、特に $Nd_2Fe_{14}B$ 、 $SmCo_5$ 及び $Sm(Co, Fe, Cu, Zr)_7$ が特に注目される。

50

## 【 0 0 0 9 】

各ビードは、磁性体のそれぞれの極に堆積されてよい。マグネットは少なくとも二つの極を備えるので、各極の磁性特性を高めるために、ジスプロシウムのビードは各極に堆積され得る。

## 【 0 0 1 0 】

マグネットの極は、極の磁場の变化する極性の間を通過する線によって幾何学的に分割されうるように配置される。各極の磁気密度は、対応する交差する極境界から最も遠い領域で最大である。マグネット体の表面は、従って極交差によって幾何学的に分割されてよく、各ビードは、その後、極交差から離れたそれぞれの領域に堆積されてよい。即ち、各ビードは極交差と重ならない。この領域にジスプロシウムのビードを堆積することによって、向上した保磁力と磁性特性とを有するマグネットを得ることができる。更に、この領域に堆積された少量のジスプロシウムが、磁性体の全表面にわたってジスプロシウムを堆積する必要なしに、マグネットの磁性特性を向上させる効率的で費用効率の高い方法を提供する。更に、ビードはマグネット体の表面の端に堆積されてよい。極交差から離れており、マグネットの端に沿ってもいるそれぞれの領域にビードを堆積することによって、ジスプロシウムは、最大の磁場密度を有する領域に堆積される。

10

## 【 0 0 1 1 】

マグネットは円筒形状でよい。円筒状のマグネット形状は、環状及びリング状のマグネット、並びに固体円筒状ディスクマグネットを含む。円筒形状によって、マグネットをモーター及び発電機の使用することが可能となる。より一般的に、いくつかの非円筒状のマグネットを集めて、円筒形状であり得る磁性アセンブリを形成してもよい。

20

## 【 0 0 1 2 】

磁性体は焼結され得る。焼結された磁性体は、より良好な粒界拡散が起こることを可能にする。粒界拡散熱処理中に、ある程度の焼結が起こることが可能であることが好ましい。しかしながら、ジスプロシウムビードのコールドスプレー堆積前に、磁性体が事前焼結されていると、いっそう有利である。事前焼結された磁性体は、本体 ( b o d y ) 中にジスプロシウムを拡散させるために別々の熱処理ステップが要求されることを意味する。合金グレインへの完全な拡散に対して粒界拡散が支配的であるように、この別々の熱処理ステップは注意深く調節され得る。

## 【 0 0 1 3 】

各金属ビードはコールドスプレープロセスで堆積されてよい。磁性体上にジスプロシウムのビードを堆積するのにコールドスプレーを使用することは、従来の技術に対していくつかの利点を有する。例えば、 $DyF_3$  又は  $Dy_2O_3$  等のジスプロシウムリッチ粉末の代わりに、ジスプロシウム金属が本プロセスで直接使用できる。上述の通り、フッ化物スラリーは磁性基材の磁性特性に悪影響を与えることがある。 $Dy_2O_3$  リッチな粉末が使用される場合、熱処理後、又はマグネットの焼結後さえ、ジスプロシウム酸化物が残存し得り、格子構造中への不十分なジスプロシウムの置換を引き起こす。これらの望ましくない副作用は、ジスプロシウム酸化物の代わりにジスプロシウム金属を磁性体上に直接コールドスプレーすることによって克服され得る。

30

## 【 0 0 1 4 】

ジスプロシウム蒸気収着及びディップコーティング等の従来の堆積技術は、十分なレベルのジスプロシウム置換を有する希土類マグネットを製造するために大量の時間と制御された条件を必要とする。対照的に、コールドスプレープロセスを使用すると、比較的制御されていない環境も可能であり、堆積プロセスは比較的高速であり、ジスプロシウムの堆積は数秒である。加えて、コールドスプレーでは標準条件を使用できるので、処理中に比較的少量のジスプロシウム金属が酸化され、それによって磁性体中に拡散するのにより高品質のジスプロシウムを提供する。

40

## 【 0 0 1 5 】

磁性体上に堆積されたジスプロシウムの量も、コールドスプレープロセスを用いて注意深く制御され、明確に目標とされることができる。従来の堆積技術は予測できない量の堆

50

積を引き起こし得り、高い保磁力と、従ってジスプロシウムとの要求が比較的重大でない領域に堆積された高価なジスプロシウム金属の大量損失も引き起こし得る。

【0016】

ジスプロシウムをコールドスプレーするのに使用されたノズルに起因して、スパッタコートや化学気相堆積等の他のジスプロシウムコート法に必要なとされる表面マスク技術と比較して、磁性体上を標的とした堆積を実施するのが比較的容易かつ比較的高速である。標的コーティングと、従って制御された保磁力分布とを達成するためにマグネットの表面がマスクされている、スパッタコートやCVD等の技術を用いた標的コーティングは、プロセスで使用されるジスプロシウムの量の減少をもたらさない。

【0017】

熱処理中、ある程度の量のジスプロシウムがグレイン内で拡散してもよい。拡散したジスプロシウムの量が比較的少量だと、グレイン中の初期ジスプロシウム量を増やすのと比べて、磁性体の保磁力を改善できる。更に、拡散量は、熱処理の条件、即ち、温度上昇、保持時間及び温度、冷却レート、並びにガス雰囲気を変えることによって制御し調節することができる。グレインは、0.5～15重量%のある程度の量の拡散したジスプロシウムを含んでよく、ジスプロシウムはグレインの境界に沿って拡散してシェル層を形成することができる。

【0018】

グレインはネオジウム合金を含んでよい。ネオジウム合金は好ましい磁場強度を有し、磁氣的に強力な永久磁石が必要とされる用途で広く使用されている。そのような用途の例は、電気モーター及び発電機を含む。いくつかの用途では、動作温度が150℃を超えることがある。

【0019】

しかし、従来のネオジウムマグネットの保磁力は、高温で劣っていることがある。結晶格子中である程度の量（典型的には12%）のネオジウムをジスプロシウムで置換することで、保磁力を著しく高めることができ、高温におけるマグネットの性能を改善することができることが分かった。

【0020】

ネオジウム磁性表面上にジスプロシウムを堆積する場合、拡散したジスプロシウムはネオジウムと磁氣的に反平行に結合し、マグネットの全体的な磁場強度を減少させる。しかし、表面上に堆積されるジスプロシウムの量を制御し、限定することによって、マグネットの残留磁気への全体的な影響は、ジスプロシウムの完全な均一コートよりも小さくなる。ネオジウム合金は、特に改善したマグネットを示すNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>Bでよい。保磁力の改善は、Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>Bよりも高い異方性場を有するDy<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B及び(Dy, Nd)<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>Bに起因すると信じられている。

【0021】

Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B合金マグネットはDy<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B又は(Dy, Nd)<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>Bを含むシェル層を有するNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>Bのグレインを含んでよく、シェル層は約0.5µmの厚さを有する。磁性体上にコールドスプレーされたジスプロシウムのビードを堆積した後の熱処理中に、堆積されたジスプロシウムは磁性体中を拡散する。熱処理中、堆積されたジスプロシウムは、結晶格子のバルク中に浸透する代わりに、結晶格子の粒界に沿ってネオジウム原子を置換する。コールドスプレー及び熱処理によって生じたグレインのシェル層は制御され得り、従って他の方法によって製造されたマグネットと比べてずっと薄いことができる。シェル層は0.5µmの厚さを有することができる。従って、ずっと高濃度のジスプロシウムが粒界に存在し、従来のジスプロシウム置換希土類マグネットで示されたのと同じ保磁力増加を達成するために比較的少量のジスプロシウムが必要とされることを意味する。

【0022】

ジスプロシウムのビードの堆積厚は1～5µmでよい。この厚さによって熱処理中に効果的な粒界拡散を引き起こし、高価なジスプロシウムの損失も減らすことができる。均一

10

20

30

40

50

な堆積厚さを有するビードは要求されていないので、ジスプロシウム製のビードは1 ~ 5  $\mu$ mの平均堆積厚さを有するべきである。

【0023】

第二の態様において、本発明は、マグネットの製造方法であって、希土類合金のグレインを含む磁性体を提供するステップと、磁性体の表面上にジスプロシウム金属製のビードを堆積してマグネットを形成するステップと、マグネットを熱処理するステップと、を備える方法を提供する。

【0024】

マグネットを熱処理するステップは粒界拡散プロセスを含んでもよい。より具体的に、マグネットを熱処理するステップは、マグネットを第一高温に加熱するステップと、マグネットを第二高温に冷却するステップと、マグネットを室温に急冷するステップと、を備えてもよい。このプロセスは、第一高温が少なくとも900でもよいように実行され得る。第一温度とは独立に、第二高温は少なくとも500でもよい。温度に加えて、マグネットは第一高温で少なくとも6時間保持されてよい。マグネットが第一温度に保持される時間と独立に、マグネットは第二高温で少なくとも0.5時間保持されてよい。これらの温度及び時間は、グレインが焼結又は更なる焼結を受けることなく良好な拡散条件を提供するので、特に好ましい。

【0025】

第三の態様において、本発明は、磁性体と、一以上のテルビウム金属製のビードとを備えるマグネットであって、磁性体は希土類磁性合金のグレインを含み、各ビードは磁性体の表面の一部のみに堆積されている、マグネットを提供する。

【0026】

第四の態様において、本発明は、マグネットの製造方法であって、希土類合金のグレインを含む磁性体を提供するステップと、磁性体の表面上にテルビウム金属製のビードを堆積してマグネットを形成するステップと、マグネットを熱処理するステップと、を備える方法を提供する。

【0027】

本発明がいっそう容易に理解され得るように、本発明の実施形態が、例として、添付の図面を参照しつつ以下で記述される。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】図1は、本発明のマグネットの上面図を示す。

【図2】図2は、本発明のマグネットの透視図と、磁性体の覆われた領域の断面図とを示す。

【図3】図3は、本発明のマグネットの製造プロセスを示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0029】

図1及び2のマグネット1は、円筒形状の磁性体2と、磁性体2の表面上に堆積されたジスプロシウム金属製のビード3とを含む。マグネット1は四つの極を有するものとして示されており、四つの極は極交差4によって幾何学的に分割されているものとして示されている。マグネット1の各極は、極交差4の間に位置した高磁場密度の領域を有する。

【0030】

磁性体2は、希土類合金の焼結されたグレイン6を含む。グレイン5は、境界を有する個別の顆粒として示されている。具体的に、グレイン5内のバルク材料はNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B合金を含む。堆積されたビードに隣接するグレイン5は、それらの境界の周りに、それぞれシェル層7を有する。シェル層6は、希土類合金の結晶格子構造中に置換した、拡散されたジスプロシウムを含む。グレイン5内の結晶構造のバルク中にジスプロシウムは拡散することができるが、熱処理条件を注意深く制御することによって、拡散が粒界でより容易に起こるようにできる。具体的に、シェル層6は、Dy<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B又は(Dy, Nd)<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B合金を含み、ジスプロシウムはネオジウム合金中に置換している。各グ

10

20

30

40

50

レイン5の周りに形成されたジスプロシウム含有合金のシェル層6は約0.5 μmの厚さを有する。

【0031】

ジスプロシウム金属の各ビード3は、コールドスプレー技術を用いて磁性体2上に直接適用される。ビード3は形態が均一であり、マグネットの端の各極交差のそれぞれを二分する領域に位置しているように示されている。しかし、磁性体2の表面の任意の部分が、その上に堆積されたジスプロシウムのビードを有してよく、ビード3は均一又は不均一な態様で適用され得る。ビードの堆積厚さが図面中に概略的に示されている。グレイン5の内部又は周りでジスプロシウムの拡散を促進するために最小の厚さが望ましい。しかしながら、5 μmの層厚を超えると、改善した保磁力及び磁性特性の収穫遞減が観測される。

10

【0032】

図2を参照しつつ、マグネット1の製造方法が以下に記述される。Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B合金のグレイン5を含む磁性体2が提供される。磁性体2の表面の一部は、ジスプロシウムでコートされるように選択される。ジスプロシウム金属粒子7は、選択された表面の一部上に標的とされ、放出され、堆積される。銅や鉄などの他の金属粉末のコールドスプレー用に使用される条件が、ジスプロシウム金属粒子のコールドスプレーに適用され得る。堆積されたジスプロシウム金属は、磁性体2の標的とされた表面上ですぐに層3を形成する。

【0033】

ジスプロシウムビードの堆積に続いて、マグネット1が熱処理される。熱処理中、磁性体2のグレインの周りにシェル層が形成する。熱処理によってコーティングビード3中のジスプロシウムが磁性体2中のグレイン5の境界に沿って拡散して、ジスプロシウム含有合金を含むシェル層6を形成するように、熱処理は粒界拡散プロセスを含む。熱処理は、コートされたマグネット1を高温第一温度まで一定のレートで加熱するステップと、マグネット1をその高温で少なくとも6時間の期間にわたって保持するステップとの一般的な方法に従う。第一高温は1000に近いべきであり、理想的には900である。この温度は、ジスプロシウムの拡散を開始し、広めるには十分高温である一方、磁性グレイン4の焼結又は融解を回避する。

20

【0034】

その後、マグネット1は、制御されたレートで、第一よりも低温の第二高温まで冷却される。マグネット1は、制御された冷却レートで室温まで急冷される前に、比較的短時間、約30分間、この第二高温で保持される。急冷されたマグネット1は、ジスプロシウムビード堆積の領域付近で改善した磁性特性を示す。例えば、高場密度を有するマグネットの領域で高まった保磁力が観測される。

30

【0035】

この例示的な実施形態では、マグネット1は四極マグネットであるが、任意の数の極を有するマグネットがジスプロシウムの堆積から利益を受けると考えられる。

【0036】

ジスプロシウムのビード3がコールドスプレーを用いて堆積されたとして説明されたが、ジスプロシウムビードの堆積を達成するのに他の標的特定堆積技術が同様に用いられ得る。正確な標的化と高速堆積との理由でコールドスプレーが例示的な実施例として選択された。

40

【0037】

グレイン5はNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B合金を含む。グレインは、サマリウム、プラセオジウム、又はセリウムを含むもの等の他の磁性希土類合金、特に、SmCo<sub>5</sub>及びSm(Co, Fe, Cu, Zr)<sub>7</sub>も含むことができる。合金グレイン6の境界に沿ったジスプロシウムビード3の拡散は、少なくともこれらの希土類合金に対して容易に起こる。

【0038】

グレイン5は、図面に示されるようにシェル層6で全体的にコートされ得る。代替的に、凝集グレイン5は、シェル層6がグレイン5の露出された境界のみを覆うように、シェ

50

ル層 6 でコートされ得る。

【 0 0 3 9 】

更なる研究によって、希土類磁性金属テルビウムも、改善した保磁力を有する希土類マグネットをつくるためにコールドスプレー堆積プロセスで使用され得ることが示された。

【 図 1 】

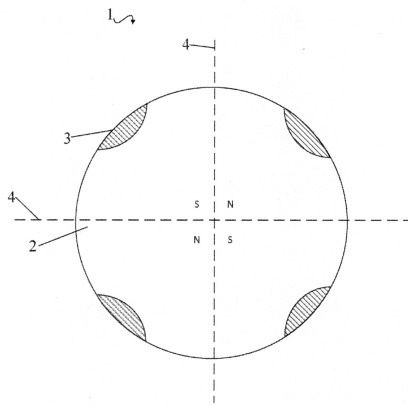


Fig. 1

【 図 2 】

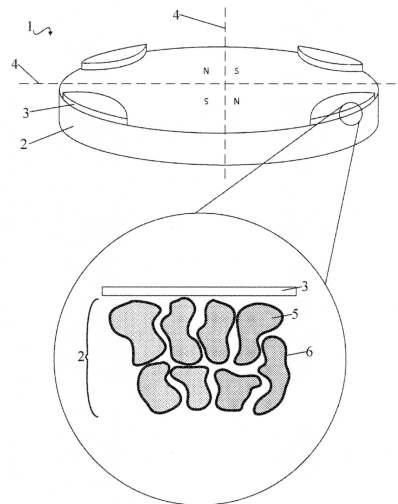
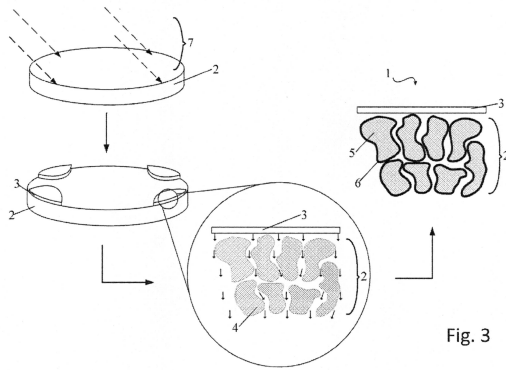


Fig. 2

【 図 3 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 トウンジャイ・チェリク  
イギリス・ウィルトシャー・SN16・0RP・マルムズベリー・テットベリー・ヒル・(番地なし)・ダイソン・テクノロジー・リミテッド内

審査官 秋山 直人

(56)参考文献 国際公開第2008/123251(WO, A1)  
特開2014-236221(JP, A)  
特開2014-194958(JP, A)  
特開2013-135071(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H01F 41/02  
C23C 24/04  
H01F 1/057