

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016年9月22日(22.09.2016)

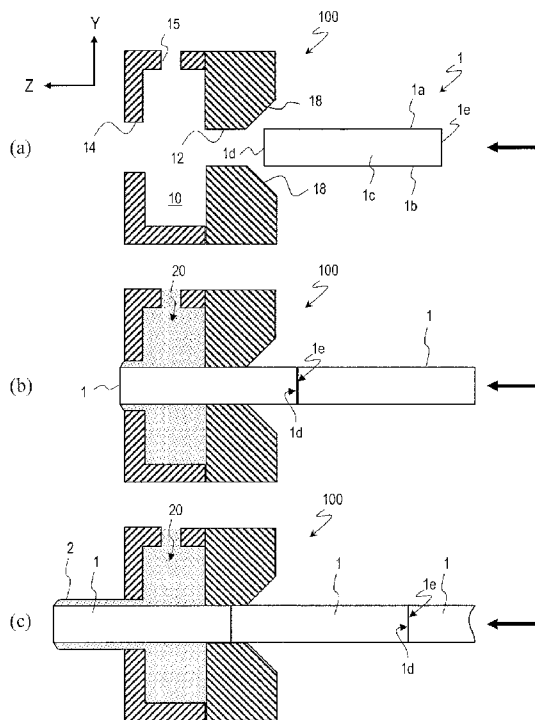


(10) 国際公開番号
WO 2016/147985 A1

- (51) 国際特許分類:
H01F 41/02 (2006.01) C22C 38/00 (2006.01)
B22F 3/24 (2006.01) H01F 1/057 (2006.01)
C22C 28/00 (2006.01) H01F 1/08 (2006.01)
 - (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/057409
 - (22) 国際出願日: 2016年3月9日(09.03.2016)
 - (25) 国際出願の言語: 日本語
 - (26) 国際公開の言語: 日本語
 - (30) 優先権データ:
特願 2015-051025 2015年3月13日(13.03.2015) JP
 - (71) 出願人: 日立金属株式会社(HITACHI METALS, LTD.) [JP/JP]; 〒1088224 東京都港区港南一丁目2番70号 Tokyo (JP).
 - (72) 発明者: 福山 建史(FUKUYAMA Takeshi). 三野修嗣(MINO Shuji).
 - (74) 代理人: 奥田 誠司(OKUDA Seiji); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜一丁目8番16号 大阪証券取引所ビル10階 奥田国際特許事務所 Osaka (JP).
 - (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
 - (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: METHOD FOR MANUFACTURING R-T-B SINTERED MAGNET, AND APPLICATION DEVICE AND APPLICATION APPARATUS USED IN SAID METHOD

(54) 発明の名称: R-T-B系焼結磁石の製造方法、当該方法に使用される塗布デバイスおよび塗布装置



(57) Abstract: The present invention includes: a step for applying a paste that contains powdered particles of a metal, alloy, and/or compound of a heavy rare earth element RH (where RH is Dy and/or Tb) onto the upper surface, the lower surface, and the side surfaces of R-T-B sintered magnets; and a step for heat-treating the R-T-B sintered magnets to which the paste has been applied at a temperature equal to or less than the sintering temperature. The step for applying the paste includes: a step for sequentially feeding R-T-B sintered magnets to an application device provided with an internal space having an inlet opening and an outlet opening, the application device being configured such that the R-T-B sintered magnets sequentially pass through the internal space in a lateral direction; and a step for filling an internal space in an application apparatus with the paste and bringing the paste into contact with the upper surface, the lower surface, and the side surfaces of the R-T-B sintered magnets while the R-T-B sintered magnets are moving through the internal space.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2016/147985 A1



R-T-B系焼結磁石の各々の上面、下面および側面に、重希土類元素RHの金属、合金および／または化合物（RHはDyおよび／またはTb）の粉末粒子を含むペーストを塗布する工程と、ペーストが塗布されたR-T-B系焼結磁石を焼結温度以下の温度で熱処理する工程とを含む。ペーストを塗布する工程は、入口開口部および出口開口部を有する内部空間を備える塗布デバイスであってR-T-B系焼結磁石が、順次、内部空間を横方向に通過するように構成された塗布デバイスに対して、R-T-B系焼結磁石を順次供給する工程と、塗布装置の内部空間にペーストを充填し、内部空間内を移動しつつあるR-T-B系焼結磁石の上面、下面および側面にペーストを接触させる工程とを含む。

明 細 書

発明の名称：

R-T-B系焼結磁石の製造方法、当該方法に使用される塗布デバイスおよび塗布装置

技術分野

[0001] 本開示は、R-T-B系焼結磁石の製造技術に関する。

背景技術

[0002] $R_2T_{14}B$ 型化合物（Rは希土類元素、TはFeを必ず含む遷移元素）を主相とするR-T-B系焼結磁石は、永久磁石の中で最も高性能な磁石として知られており、ハードディスクドライブのボイスコイルモータ（VCM）や、ハイブリッド車搭載用モータ等の各種モータや家電製品等に使用されている。

[0003] R-T-B系焼結磁石は、高温で固有保磁力 H_{cJ} （以下、単に「 H_{cJ} 」と表記する）が低下するため、不可逆熱減磁が起こる。不可逆熱減磁を回避するため、モータ用等に使用する場合、高温下でも高い H_{cJ} を維持することが要求されている。

[0004] R-T-B系焼結磁石は、 $R_2T_{14}B$ 型化合物中のRの一部を重希土類元素RH（Dy、Tb）で置換すると、 H_{cJ} が向上することが知られている。高温で高い H_{cJ} を得るためには、R-T-B系焼結磁石中に重希土類元素RHを多く添加することが有効である。しかし、R-T-B系焼結磁石において、Rとして軽希土類元素RL（Nd、Pr）を重希土類元素RHで置換すると、 H_{cJ} が向上する一方、残留磁束密度 B_r （以下、単に「 B_r 」と表記する）が低下してしまうという問題がある。また、重希土類元素RHは希少資源であるため、その使用量を削減することが求められている。

[0005] そこで、近年、 B_r を低下させないようにより少ない重希土類元素RHによってR-T-B系焼結磁石の H_{cJ} を向上させることが検討されている。例えば、重希土類元素RHを効果的にR-T-B系焼結磁石に供給し拡散させる方

法として、特許文献1～4にRH酸化物またはRHフッ化物と、各種金属MまたはMの合金との混合粉末をR-T-B系焼結磁石の表面に存在させた状態で熱処理することによって、RHやMを効率よくR-T-B系焼結磁石に吸収させて、R-T-B系焼結磁石の H_c を高める方法が開示されている。

[0006] 特許文献1には、M（ここでMはAl、Cu、Znから選ばれる1種又は2種以上）を含有する粉末とRHフッ化物の粉末の混合粉末を用いることが開示されている。また、特許文献2には、熱処理温度で液相となるRTMAH（ここでMはAl、Cu、Zn、In、Si、Pなどから選ばれる1種または2種以上、Aはホウ素または炭素、Hは水素）からなる合金の粉末を用いることが開示されており、この合金の粉末とRHフッ化物などの粉末との混合粉末でも良いと開示されている。

[0007] 特許文献3、特許文献4では、RM合金（ここでMはAl、Si、C、P、Tiなどから選ばれる1種または2種以上）の粉末またはM1M2合金（M1およびM2はAl、Si、C、P、Tiなどから選ばれる1種または2種以上）の粉末と、RH酸化物との混合粉末を用いることによって熱処理時にRM合金やM1M2合金によりRH酸化物を部分的に還元し、より多量のRを磁石内に導入することが可能であると開示されている。

先行技術文献

特許文献

- [0008] 特許文献1：特開2007-287874号公報
特許文献2：特開2007-287875号公報
特許文献3：特開2012-248827号公報
特許文献4：特開2012-248828号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0009] 特許文献1～4に記載の方法には、RH化合物の粉末を含む混合粉末を磁石表面に存在させることについて、以下の問題がある。すなわち、これらの

方法では、その具体的開示において、上記混合粉末を水や有機溶媒に分散させたスラリーに磁石を浸漬して引き上げている（浸漬引上げ法）。その場合、スラリーから引き上げられた磁石に対して熱風乾燥または自然乾燥を行っている。また、このようなスラリーに磁石を浸漬する代わりに、前記スラリーを磁石にスプレー塗布することが開示されている（スプレー塗布法）。しかしながら、浸漬引上げ法においては、どうしても重力によってスラリーが磁石下部に偏ってしまう。また、スプレー塗布法においては、表面張力によって磁石端部の塗布厚さが厚くなる。いずれの方法もRH化合物を磁石表面に均一に存在させるのが困難である。その結果、塗布厚さが均一でないことに伴って熱処理後の H_{cJ} が大きくばらついてしまうという問題が生じる。

[0010] 本開示は、重希土類元素RHを効果的にR-T-B系焼結磁石に供給し拡散させて H_{cJ} を向上させるために重希土類元素RHを含む粉末粒子の層を磁石表面に形成するとき、これらの粉末粒子を含むペーストをR-T-B系焼結磁石の表面に均一塗布し、重希土類元素RHを磁石表面に均一に存在させることができる新しいデバイス、装置、および方法を提供する。

課題を解決するための手段

[0011] 本開示によるR-T-B系焼結磁石の製造方法の実施形態は、複数のR-T-B系焼結磁石を用意する工程と、前記複数のR-T-B系焼結磁石の各々の上面、下面および側面に、重希土類元素RHの金属、合金および／または化合物（RHはDyおよび／またはTb）の粉末粒子を含むペーストを塗布する工程と、前記ペーストが塗布されたR-T-B系焼結磁石を焼結温度以下の温度で熱処理する工程とを含み、前記ペーストを塗布する工程は、入口開口部および出口開口部を有する内部空間を備える塗布デバイスであって前記複数のR-T-B系焼結磁石が、順次、前記内部空間を横方向に通過するように構成された塗布デバイスに対して、前記複数のR-T-B系焼結磁石を順次供給する工程と、前記塗布デバイスの内部空間に前記ペーストを充填し、前記内部空間内を移動しつつあるR-T-B系焼結磁石の前記上面、下面および側面に前記ペーストを接触させる工程とを含む。

- [0012] ある実施形態において、前記R-T-B系焼結磁石が前記塗布デバイスの内部空間を通過するとき、前記入口開口部は、前記R-T-B系焼結磁石を摺動可能に支持し、かつ、前記横方向に直交する方向における前記R-T-B系焼結磁石の運動を規制する形状および大きさを有している。
- [0013] ある実施形態において、前記出口開口部は、前記R-T-B系焼結磁石に塗布された前記ペーストの層厚を規定する形状および大きさを有している。
- [0014] ある実施形態において、前記塗布デバイスに対して前記複数のR-T-B系焼結磁石を順次供給する工程は、前記入口開口部に各R-T-B系焼結磁石を挿入する工程と、前記入口開口部に一部が挿入されつつあるR-T-B系焼結磁石の後端面を、他のR-T-B系焼結磁石の前端面で前記横方向に押し、前記他のR-T-B系焼結磁石を前記入口開口部に挿入する工程とを含む。
- [0015] ある実施形態において、前記塗布デバイスの前記出口開口部から排出された各R-T-B系焼結磁石の少なくとも前記下面に気体を押し当てながら前記R-T-B系焼結磁石を搬送する工程を含む。
- [0016] ある実施形態において、前記出口開口部から排出され、前記ペーストを介して前後に結合された複数のR-T-B系焼結磁石を個々のR-T-B系焼結磁石に分離する工程を含む。
- [0017] ある実施形態において、前記粉末粒子は、RLM合金（RLはNdおよび／またはPr、MはCu、Fe、Ga、Co、Ni、Alから選ばれる1種以上の元素）粉末の粒子と、RH化合物（RHはDyおよび／またはTb、RH化合物はRHフッ化物、RH酸フッ化物、およびRH酸化物の少なくとも1つ）の粉末粒子とを含む。
- [0018] ある実施形態において、前記RLM合金はRLを50原子%以上含み、かつ、前記RLM合金の融点は前記熱処理の温度以下である。
- [0019] ある実施形態において、前記ペーストにおける前記RLM合金粉末と前記RH化合物の粉末と質量比率は、RLM合金：RH化合物=9.6：0.4～5：5である。

- [0020] 本開示による塗布デバイスの実施形態は、複数のR-T-B系焼結磁石の各々の上面、下面および側面に、重希土類元素RHの金属、合金および／または化合物（RHはDyおよび／またはTb）の粉末粒子を含むペーストを塗布する装置に使用される塗布デバイスあって、前記ペーストが充填される内部空間と、前記複数のR-T-B系焼結磁石が、順次、前記内部空間を横方向に通過するように構成された入口開口部および出口開口部とを備え、前記出口開口部は、前記R-T-B系焼結磁石に塗布された前記ペーストの層厚を規定する形状および大きさを有している。
- [0021] ある実施形態において、前記入口開口部は、前記R-T-B系焼結磁石を摺動可能に支持し、かつ、前記横方向に直交する方向における前記R-T-B系焼結磁石の運動を規制する形状および大きさを有する。
- [0022] ある実施形態において、前記ペーストの種類と同一または異なる種類の第2のペーストが充填される第2の内部空間と、前記出口開口部から排出される複数のR-T-B系焼結磁石が、順次、前記第2の内部空間を横方向に通過するように構成された第2の出口開口部と、を備え、前記第2の出口開口部は、前記R-T-B系焼結磁石に塗布された前記ペーストの合計層厚を規定する形状および大きさを有している。
- [0023] ある実施形態において、前記出口開口部に対する前記R-T-B系焼結磁石の位置を規制する少なくとも1つの規制部材を備える。
- [0024] ある実施形態において、前記R-T-B系焼結磁石を前記入口開口部に案内するための傾斜が前記入口開口部の周囲に設けられている。
- [0025] ある実施形態において、前記内部空間に充填されたペーストが前記R-T-B系焼結磁石を周囲から押圧するように前記出口開口部にテーパが設けられている。
- [0026] ある実施形態において、前記入口開口部に挿入されつつある前記R-T-B系焼結磁石と前記入口開口部との隙間から前記ペーストが流出することを抑制する逆流防止装置を更に備え、前記逆流防止装置は、外部から供給された気体で前記入口開口部を加圧する気密室を備えている。

- [0027] ある実施形態において、前記内部空間は、前記 R-T-B 系焼結磁石が通過する方向において、各 R-T-B 系焼結磁石の長さの半分以上、4分の3以下のサイズを有している。
- [0028] ある実施形態において、前記内部空間に連通する複数のペースト導入孔を有する。
- [0029] ある実施形態において、前記入口開口部を有する入口側構造物と、前記出口開口部を有し、前記内部空間を規定する出口側構造物と、前記入口側構造物と前記出口側構造物との間に位置し、前記複数の R-T-B 系焼結磁石を順次通過させる磁石通過孔を有する中間板とを備え、前記入口側構造物は、第1の溝を有し、前記第1の溝と前記中間板とによって第1のペースト流路が規定されており、前記出口側構造物は、第2の溝を有し、前記第2の溝と前記中間板とによって第2のペースト流路が規定されており、前記中間板は、前記第1のペースト流路と前記第2のペースト流路とを連通する少なくとも1つのペースト通過孔を有し、前記第2のペースト流路は前記内部空間に連通している複数のペースト導入孔を形成する。
- [0030] 本開示による塗布装置の実施形態は、上記いずれかの塗布デバイスと、前記塗布デバイスの前記内部空間に前記ペーストを充填するペースト供給装置と、前記複数の R-T-B 系焼結磁石を、順次、前記入口開口部に挿入する磁石供給装置と、前記塗布デバイスの前記出口開口部から排出された各 R-T-B 系焼結磁石の少なくとも前記下面に気体を押し当てながら前記 R-T-B 系焼結磁石を搬送する装置とを備える。
- [0031] ある実施形態において、前記磁石供給装置は、前記複数の R-T-B 系焼結磁石を、順次、摺動させる面を有し、前記塗布デバイスの前記入口開口部に対する各 R-T-B 系焼結磁石の位置決めを調整する位置決め機構を更に備えている。
- [0032] 本開示による塗布装置の実施形態は、複数の磁石の各々の上面、下面および側面に、金属、合金および／または化合物の粉末粒子を含むペーストを塗布する装置に使用される塗布デバイスであって、前記ペーストが充填さ

れる内部空間と、前記複数のR-T-B系焼結磁石が、順次、前記内部空間を横方向に通過するように構成された入口開口部および出口開口部と、を備え、前記出口開口部は、前記磁石に塗布された前記ペーストの層厚を規定する形状および大きさを有している。

発明の効果

[0033] 本開示の実施形態によれば、R-T-B系焼結磁石の H_{cJ} を向上させるために、重希土類元素RHを含む粉末粒子を含むペーストをR-T-B系焼結磁石の複数の面に対して同時に均一に塗布することができる。

図面の簡単な説明

[0034] [図1]本開示による塗布装置の一例に用いられる塗布デバイス100と、塗布デバイス100によってペーストが塗布されるR-T-B系焼結磁石1の例を示す斜視図である。

[図2A]塗布デバイス100の正面図（塗布済みの磁石が排出される側の図）である。

[図2B]塗布デバイス100の背面図（塗布前の磁石が挿入される側の図）である。

[図2C]図2Aおよび図2Bの2C-2C線断面図である。

[図3A]R-T-B系焼結磁石が挿入された状態にある塗布デバイス100の正面図（塗布済みの磁石が排出される側の図）である。

[図3B]R-T-B系焼結磁石が挿入された状態にある塗布デバイス100の背面図（塗布前の磁石が挿入される側の図）である。

[図3C]図3Aおよび図3Bの3C-3C線断面図である。

[図4]複数のR-T-B系焼結磁石1が、順次、塗布デバイス100の入口開口部12に挿入され、内部空間10を通過して出口開口部14から排出される様子を模式的に示す図である。

[図5]ペースト層2が塗布された状態にあるR-T-B系焼結磁石1を模式的に示す図である。

[図6]従来のノズル・ディスペンサ24、84を用いてペースト層2をR-T

ーB系焼結磁石1の上面1aおよび下面1bに塗布する例を模式的に示す図である。

[図7]従来のノズル・ディスペンサ24、84を用いてペースト層2をR-T-B系焼結磁石1の上面1aおよび下面1bに塗布する様子の他の例を模式的に示す図である。

[図8]本開示の塗布デバイスを用いてペースト層2が塗布されたR-T-B系焼結磁石1の他の例を模式的に示す図である。

[図9]本開示による塗布装置の主要部を示す図である。

[図10]第2の内部空間16を形成するための追加構造物100cを備えている塗布デバイス100を示す図である。

[図11]R-T-B系焼結磁石1が入口側構造物100bによって十分に位置決めされず、R-T-B系焼結磁石1の姿勢が安定していない例を模式的に示す図である。

[図12]出口開口部14の位置に複数の規制部材104が設けられている塗布デバイス100の構成例を示す図である。

[図13]R-T-B系焼結磁石1を覆うペースト層2の一部に形成されたストライプ状の凹部22を模式的に示す断面図である。

[図14]出口開口部14にテーパ105が設けられた塗布デバイス100の構成例を示す図である。

[図15]入口側構造物100bの前段部分に逆流防止装置120を付加した塗布デバイス100の構成を示す図である。

[図16]本開示による塗布装置の実施形態における磁石供給部分の構成例を示す図である。

[図17]本開示による塗布装置の実施形態における塗布済み磁石の搬送部分の構成例を示す図である。

[図18]粗乾燥装置50の構成例を示す断面図である。

[図19]図18に模式的に示される粗乾燥装置50の斜視図である。

[図20]粗乾燥装置50の他の構成例を模式的に示す断面図である。

[図21]粗乾燥装置50の更に他の構成例を模試的に示す断面図である。

[図22]複数の孔から内部空間10にペーストを導入する塗布デバイス100の構成例を示す図である。

[図23A]ペーストを導入する孔の個数が2個の例における図22のA-A線図である。

[図23B]ペーストを導入する孔の個数が2個の例における図22のB-B線図である。

[図23C]ペーストを導入する孔の個数が2個の例における図22のC-C線図である。

[図24A]ペーストを導入する孔の個数が4個の例における図22のA-A線図である。

[図24B]ペーストを導入する孔の個数が4個の例における図22のB-B線図である。

[図24C]ペーストを導入する孔の個数が4個の例における図22のC-C線図である。

[図25]本開示による塗布装置において、R-T-B系焼結磁石1が十分に位置決めされていない他の例を示す図である。

[図26]本開示による塗布装置の更に他の構成例を示す図である。

[図27]本開示による塗布デバイス100の更に他の構成例を示す図である。

[図28]粗乾燥装置50の更に他の構成例を模試的に示す断面図である。

[図29A]実施例においてペーストを塗布したR-T-B系焼結磁石の断面写真である。

[図29B]実施例のR-T-B系焼結磁石におけるサンプルA～Eの領域を示す模式断面図である。

発明を実施するための形態

[0035] <塗布デバイス>

本開示の実施形態を説明する前に、本開示による塗布装置の基本構成例を説明する。本開示の非限定的な例による塗布装置は、複数のR-T-B系焼

結磁石の各々の上面、下面および側面に、重希土類元素RH（RHはDyおよび／またはTb）の金属、合金、および／または化合物の粉末粒子を含むペーストを塗布する装置である。この装置には、以下に説明する塗布デバイスが用いられる。

[0036] まず、図1、図2A、図2Bおよび図2Cを参照しながら、塗布デバイスの一例を説明する。図1は、一例である塗布デバイス100と、塗布デバイス100によってペーストが塗布されるR-T-B系焼結磁石1の例を示している。R-T-B系焼結磁石1は、上面1a、下面1b、一对の側面1c、前端面1d、および後端面1eを有している。図2Aは塗布デバイス100の正面図（塗布済みの磁石が排出される側の図）であり、図2Bは塗布デバイス100の背面図（塗布前の磁石が挿入される側の図）である。図2Cは、図2Aおよび図2Bの2C-2C線断面図である。図1には、参考のため、直交するX軸、Y軸、Z軸をそれぞれ示す3本の矢印が示されている。他の図面では、参考のため、XYZ軸のうちの2つの軸が示される。

[0037] この例における塗布デバイス100は、図1に示されるようなR-T-B系焼結磁石1の上面1a、下面1bおよび一对の側面1cに対して、重希土類元素RHの金属、合金および／または化合物（RHはDyおよび／またはTb）の粉末粒子を含むペーストを塗布するように構成されている。ペーストの詳細な説明は後述する。塗布されたペーストは、乾燥工程の後、重希土類元素RHを含有する粉末などの層を磁石表面に形成する。この粉末の層からは、その後の熱処理（拡散処理）により、重希土類元素RHがR-T-B系焼結磁石の内部に拡散し、磁石特性を改善する。

[0038] 図1のR-T-B系焼結磁石1は、上面が上に凸に湾曲した形状を有しているが、本開示の塗布装置が適用され得るR-T-B系焼結磁石1は、特定方向に沿って一様な断面形状を有していれば、全体として任意の形状およびサイズを有し得る。図1の例において、R-T-B系焼結磁石1は、Z軸方向に延び、Z軸に直交する断面（XY面に平行な断面）がZ軸方向における位置に関係なく一様な形状およびサイズを有している。この例において、R

—T—B系焼結磁石1の上面1aは曲面であるが、上面1aは平面であってもよい。Z軸方向に延びる溝またはリッジが上面1aに存在しても良い。この例において、R—T—B系焼結磁石1の下面1bおよび側面1cは平坦であるが、下面1bおよび／または側面1cは、曲面であってもよい。

[0039] 図2Cに示されるように、塗布デバイス100は、ペーストが充填され得る内部空間10と、複数のR—T—B系焼結磁石1が、順次、内部空間10を横方向に通過するように構成された入口開口部12および出口開口部14とを備えている。図示されている例において、塗布デバイス100は出口開口部14を有する出口側構造物100aと、入口開口部12を有する入口側構造物100bとを一体化した構成を備えているが、塗布デバイス100の構成は、このような例に限定されない。塗布デバイス100の入口側には、図2Bおよび図2Cに示されるように、入口開口部12の周囲に斜面18が設けられ得る。また、内部空間10にペーストを充填するための孔15（ペースト導入孔）が連通している。

[0040] 次に、図3A、図3Bおよび図3Cを参照する。図3Cは、図3Aおよび図3Bの3C—3C線断面図である。これらの図は、図2A、図2Bおよび図2Cに対応しており、1つのR—T—B系焼結磁石1が入口開口部12から挿入された状態を記載している。

[0041] 図3Bおよび図3Cに示されるように、入口開口部12とR—T—B系焼結磁石1の間には大きな隙間は無いが、図3Aに示されるように、出口開口部14とR—T—B系焼結磁石1の間には隙間が設けられている。この隙間の代表的なサイズtが図3Cに示されている。隙間のサイズtは、典型的には、出口開口部14の周縁に沿って一様であるが、本開示は、このような例に限定されない。隙間のサイズtはR—T—B系焼結磁石1の上面1a、下面1b、側面1cの各々の側で相互に異なる値を有していてもよい。

[0042] この例における塗布デバイス100の入口開口部12は、R—T—B系焼結磁石1を摺動可能に支持し、R—T—B系焼結磁石1は横方向（Z軸方向）に移動可能である。入口開口部12は、横方向（Z軸方向）に直交する方

向（XY面内方向）におけるR-T-B系焼結磁石1の運動を規制する形状および大きさを有している。典型的には、入口開口部12のZ軸に直交する断面における形状およびサイズは、R-T-B系焼結磁石1のZ軸に直交する断面における形状およびサイズに略等しく設計され得る。このように、入口開口部12は、挿入されたR-T-B系焼結磁石1の「位置決め」を行うとともに、内部空間10に充填されるペーストが入口開口部12から外部に流出しないように設計され得る。なお、後述するように、入口開口部12に対するR-T-B系焼結磁石1の位置決めは、この例に限定されず、他の装置を用いて行ってもよい。

[0043] 塗布デバイス100の出口開口部14は、R-T-B系焼結磁石1に塗布されるペーストの層厚を規定する形状および大きさを有している。典型的には、入口開口部12のZ軸に直交する断面における形状およびサイズは、R-T-B系焼結磁石1のZ軸に直交する断面における形状およびサイズよりも、塗布されるペーストの層厚の分だけ外側に拡大した形状およびサイズを有している。すなわち、出口開口部14とR-T-B系焼結磁石1の間には隙間のサイズ t によって、ペースト層の厚さが規定される。ペースト層は、塗布直後において溶剤などの液体成分を含有するが、乾燥工程によって液体成分が減少する。このため、ペースト層の厚さは、時間の経過に伴って変化し得る。

[0044] 内部空間10のサイズは、種々の観点から適切な値に決定され得る。内部空間10のZ軸方向におけるサイズは、個々のR-T-B系焼結磁石1のZ軸方向におけるサイズよりも小さい値に設定される。これは、R-T-B系焼結磁石1の先端が出口開口部14から外部に突出するとき、図3Cに示されるように、R-T-B系焼結磁石1の少なくとも一部が入口開口部12によって実質的に保持されている必要があるからである。内部空間10のZ軸方向におけるサイズは、典型的にはR-T-B系焼結磁石1のZ軸方向のサイズの2分の1以下に設定することができ、例えば0.1mm~50mmの範囲内の値に設定され得る。内部空間10のZ軸方向におけるサイズが0.

1 mmよりも小さいと、ペーストに含まれる粉末粒子のため、内部空間10でペーストの流動性が低下する。また、このサイズが50 mmを超えると、R-T-B系焼結磁石1の先端の位置が変動しやすくなる。しかし、Z軸方向におけるR-T-B系焼結磁石1のサイズが大きい場合、および、R-T-B系焼結磁石1の先端位置を規制する構成を付加的に設けることにより、内部空間10のZ軸方向におけるサイズを50 mmよりも拡大することが可能である。内部空間10の形状は、立方体である必要はなく、ペースト20の流動性を考慮して任意であり得る。内部空間は、概略的に円盤状であってもよいし、楕円球状であってもよい。内部空間10と連通してペースト20を受け入れる孔15（ペースト導入孔）の個数は、1つに限定されず、複数であってもよい。例えば、図3Cでは出口側構造物100aの上方に形成した孔15の1か所から内部空間10にペースト20を導入しているが、下方や側面に同様の孔15を形成し、複数の孔15から内部空間10内にペースト20を導入してもよい。さらに、後述の塗布デバイスの改変例について説明するように、塗布デバイス100内に複数のペースト導入孔に連通するペーストの流路を形成し、塗布デバイス100内で複数のペースト導入孔からペースト20を導入するようにしてもよい。なお、本開示においては、ペースト20を内部空間10に導入する孔（開口部を「ペースト導入孔」と言う）。

[0045] 次に、図4(a)、(b)および(c)を参照する。図4(a)、(b)および(c)は、複数のR-T-B系焼結磁石1が、順次、塗布デバイス100の入口開口部12に挿入され、内部空間10を通過して出口開口部14から排出される様子を模式的に示している。以下、これらの図を参照しながら塗布動作の例を説明する。

[0046] まず、図4(a)に示すように、R-T-B系焼結磁石1を用意し、塗布デバイス100の入口開口部12に挿入する。挿入には、不図示の磁石供給装置が用いられ、R-T-B系焼結磁石1は、Z軸に平行な矢印方向に沿って図中の左方向に押される。このとき、塗布デバイスの100の入口側に設

けた斜面18がR-T-B系焼結磁石1の先端部を摺動し、入口開口部12の中央にむけて案内する。R-T-B系焼結磁石1は内部空間10を通過し、出口開口部14から外側に出る。塗布工程の開始後、内部空間10がペーストによって充填される前、R-T-B系焼結磁石1を塗布デバイス100に挿入してもペーストの塗布は実行されない。しかし、ペーストを内部空間10に充填する前に、少なくとも1つのR-T-B系焼結磁石1を塗布デバイス100に挿入し、出口開口部14の開口面積を縮小しておくことが好ましい。

[0047] 次に、不図示のペースト供給装置から塗布デバイス100の孔15を通して内部空間10にペースト20を充填する。適切な圧力がペースト20に付与される。図4(b)は、内部空間10にペースト20が充填された状態を模式的に示している。内部空間10において、ペースト20はR-T-B系焼結磁石1の表面に接触し、その表面を被覆する。前述した隙間のサイズ t 、ペーストの圧力、R-T-B系焼結磁石1の移動速度を適切に調整することにより、隙間から外部に出るペースト20の量を制御し、適切な厚さのペースト20の塗布層（ペースト層2）を形成することができる。隙間のサイズ t は、例えば0.1mm~1mmの範囲に設定され得る。磁石サイズが大きくなるほど、ペースト層2を厚くすることが好ましい。例えば、厚さが6mm程度のR-T-B系焼結磁石1には、200~500 μ m程度の厚さを有するペースト層2が形成され得る。

[0048] 図4(b)に示す例において、最初のR-T-B系焼結磁石1は、次のR-T-B系焼結磁石1によってZ軸に平行な矢印方向に沿って図中の左方向に押される。後述するように、不図示の磁石供給装置は、複数のR-T-B系焼結磁石1を、順次、塗布デバイス100に供給するように構成されている。

[0049] 図4(c)に示されるように、塗布デバイス100の出口開口部14から排出されつつあるR-T-B系焼結磁石1の表面には、ペースト層2が形成されている。このペースト層2の厚さは、出口開口部14の端面からR-T

ーB系焼結磁石1の表面までの間隙のサイズtによって規定される。なお、ペースト20を内部空間10に充填する前に塗布デバイス100に挿入した最初のRーTーB系焼結磁石1には、ペースト層2の形成を十分に実現できない場合がある。そのような場合、塗布工程開始直後における少なくとも1つのRーTーB系焼結磁石1は、塗布のダミーとして機能する。

[0050] 複数のRーTーB系焼結磁石1が連続して塗布デバイス100に提供されるため、好ましい実施形態において、前後に隣接して移動しつつある2つのRーTーB系焼結磁石1の間には隙間が形成されていない。このような隙間が形成されると、その隙間をペースト20が満たし、その結果、RーTーB系焼結磁石1の前端面1dおよび後端面1eにもペースト層2が形成されてしまう可能性がある。2つのRーTーB系焼結磁石1の間に隙間が形成される場合、その隙間のサイズを適切に調整することは困難であるため、RーTーB系焼結磁石1の前端面1dおよび後端面1eを覆うペースト層2の厚さには、大きなばらつきが生じやすい。したがって、前後に隣接して移動しつつある2つのRーTーB系焼結磁石1の間には隙間を形成しないようにして次から次にRーTーB系焼結磁石1を塗布デバイス100に挿入することが好ましい。

[0051] 塗布デバイス100の出口開口部14から出てきたRーTーB系焼結磁石1は、その4面(1a、1b、1c)にペースト層2が形成された状態にあるため、RーTーB系焼結磁石1を手または治具によって支持または把持することは避けたい。後述する実施形態では、塗布デバイス100の出口開口部14から排出されたRーTーB系焼結磁石1には、その下面側から気体が押し当てられ、気流によって浮遊しながら図中の左側に搬送される。この搬送時において、ペースト層2の少なくとも表面が乾燥する。RーTーB系焼結磁石1に気体を押し当てる装置は、例えば、多数の小さな孔からエアを噴き出すように構成されたテーブルを備える。RーTーB系焼結磁石1は、テーブルから浮遊しているため、他の物体とは実質的に非接触の状態、ペースト層2の表面が乾燥する。その結果、ペースト層2に含まれる粉末の層がほ

ば一様な厚さでR-T-B系焼結磁石1の表面(4面)を被覆することが可能になる。

[0052] 図5は、ペースト層2が塗布された状態にあるR-T-B系焼結磁石1を模式的に示している。図5(a)、(b)、および(c)は、それぞれ、ペースト層2が塗布されたR-T-B系焼結磁石1の上面図、正面図、および図5(a)の5C-5C線断面図を模式的に示している。図5に示されるように、R-T-B系焼結磁石1の上面1a、下面1b、および、2つの側面1cは、ペースト層2によって覆われている。しかし、この例におけるR-T-B系焼結磁石1の前端面1dおよび後端面1eは、ペースト層2によって覆われていない。

[0053] 本開示の塗布装置および塗布方法は、R-T-B系焼結磁石1の前端面1dおよび後端面1eを除く他の面に対して一度にペースト層2を形成し、乾燥後に粉末の層で一様に覆うことが可能であるため、生産性が高く、量産性に優れている。

[0054] 次に、比較のため、R-T-B系焼結磁石1を従来のノズル・ディスペンサを用いてR-T-B系焼結磁石の面および裏面に、順次、ペーストの塗布を行う方法を説明する。

[0055] 図6は、従来のノズル・ディスペンサ24、84を用いてペースト層2をR-T-B系焼結磁石1の上面1aおよび下面1bに塗布する例を模式的に示している。この例では、まず、R-T-B系焼結磁石1をテーブル80に載せた状態で、ノズル・ディスペンサ24により、ペーストをR-T-B系焼結磁石1の上面1aに塗布してペースト層2cを形成する。ペースト層2cを十分に乾燥させ、ハンドリングが可能になった後、R-T-B系焼結磁石1を上下反転させる。次に、ノズル・ディスペンサ84により、ペーストをR-T-B系焼結磁石1の下面1bに塗布してペースト層2dを形成する。図6の例では、ペースト層2cの厚さとペースト層2dの厚さとは、ほぼ等しい。

[0056] 図7は、従来のノズル・ディスペンサ24、84を用いてペースト層2を

R-T-B系焼結磁石1の上面1aおよび下面1bに塗布する様子の他の例を模試的に示している。この例でも、まず、R-T-B系焼結磁石1をテーブル80に載せた状態で、ノズル・ディスペンサ24により、ペーストをR-T-B系焼結磁石1の上面1aに塗布してペースト層2cを形成する。しかし、このとき、ペースト層2cの厚さが設計値よりもDtだけ大きかったとする。その後、R-T-B系焼結磁石1を上下反転させる。R-T-B系焼結磁石1の下面1bのテーブル80からの高さのレベルは、ペースト層2cの厚さとR-T-B系焼結磁石1の厚さとの合計値に相当する。図6の例に比べると、ペースト層2cの厚さがDtだけ大きいため、R-T-B系焼結磁石1の下面1bとノズル・ディスペンサ84の下端との間隔が縮小する。その結果、ノズル・ディスペンサ84により、ペーストをR-T-B系焼結磁石1の下面1bに塗布してペースト層2dを形成すると、ペースト層2dの厚さは設計値よりもDtだけ小さくなる。こうして、ペースト層2cの厚さとペースト層2dの厚さとの間にDtの2倍の差が発生してしまう。

[0057] 上述のように、従来のノズル・ディスペンサを用いる方法には、R-T-B系焼結磁石1の上面1aおよび下面1bに形成するペースト層2の厚さの制御が困難であるという課題がある。また、上記の従来技術によってR-T-B系焼結磁石1の上面1aおよび下面1bにペーストを塗布すると、上面1aおよび下面1bから横方向（側面1cに垂直な方向）にペーストがはみ出す可能性もある。そのような場合において、R-T-B系焼結磁石1の両側面1cにペーストを塗布すると、R-T-B系焼結磁石1の辺の近傍においてペースト層が厚くなりやすい。また、R-T-B系焼結磁石1の側面1cに対する塗布を行うとき、既にペーストの一部が側面1cの側にはみ出ていると、R-T-B系焼結磁石1の側面1cにおけるペースト層の厚さがばらつき、R-T-B系焼結磁石1の側面1cに所望厚さのペースト層を均一に形成することが困難になる。

[0058] 前述したように、本開示の塗布デバイスおよび塗布方法によれば、このような従来技術で生じ得るペースト層の厚さバラツキを抑制することができる

。また、R-T-B系焼結磁石1を上下反転させる必要も、反転工程間におけるペースト乾燥の必要も無く、R-T-B系焼結磁石1の4つの面に対して同時に塗布層を形成することができるため、生産性が向上する。

[0059] 図8は、本開示の塗布デバイスを用いてペースト層2が塗布されたR-T-B系焼結磁石1の他の例を模式的に示している。この例におけるR-T-B系焼結磁石1は、長方形の断面を有する直方体の形状を有している。図8(a)、(b)、および(c)は、それぞれ、ペースト層2が塗布されたR-T-B系焼結磁石1の上面図、正面図、および図8(a)の8C-8C線断面図を模式的に示している。図8のR-T-B系焼結磁石1が図5のR-T-B系焼結磁石1と異なる主な点は、長軸方向に直交する断面の形状にある。図5の例において、この断面は長方形である。図8に示されるように、R-T-B系焼結磁石1の上面1a、下面1b、および、2つの側面1cは、ペースト層2によって覆われている。このような断面の形状およびサイズに合うように、塗布デバイス100の入口開口部12および出口開口部14の形状およびサイズが設計される。

[0060] このように、本開示によれば、R-T-B系焼結磁石1の周囲にペーストを塗布し、厚さが均一に調整されたペースト層を形成することが可能である。

[0061] <塗布装置>

図9は、上記の塗布デバイスを備える塗布装置の主要部を示している。この塗布装置は、塗布デバイス100にR-T-B系焼結磁石1を、順次、挿入するための一对のローラ30a、30bと、ローラ30a、30bにR-T-B系焼結磁石1を供給するための台40と、ペースト20を塗布デバイス100に供給するペースト充填装置102とを備えている。一对のローラ30a、30bは、複数のR-T-B系焼結磁石1の各々を上下面から押圧しつつ、図中の左側方向に移動させる。ローラ30a、30bはR-T-B系焼結磁石1の各々を側面から押圧するような態様であってもよい。ローラ30a、30bの働きにより、複数のR-T-B系焼結磁石1が隙間なく塗

布デバイス100に供給され得る。

[0062] また、この塗布装置は、更に、塗布デバイス100から出てきたペースト塗布済みのR-T-B系焼結磁石1を搬送しながら乾燥工程を行うことができる粗乾燥装置50を備えている。図示されている粗乾燥装置50は、塗布デバイス100から排出された各R-T-B系焼結磁石1の少なくとも下面側にエア（気体）を押し当てることにより、R-T-B系焼結磁石1を粗乾燥装置50から僅かに浮遊させ、搬送する。R-T-B系焼結磁石1は後続のR-T-B系焼結磁石1に押されて次々と搬送される。さらに、粗乾燥装置50の上面は傾斜していてもよい。磁石形状によっては、浮遊したR-T-B系焼結磁石1は、自重により、傾斜面の下降方向に向かって移動することができる。

[0063] 粗乾燥装置50は、エアを吹き出すための多数の孔が形成された上面を有している。各孔のサイズは、例えば直径2mmの円形で有り得る。エアは、典型的には乾燥空気であるが、窒素ガスなど他の種類のガスであってもよい。なお、より小さな孔が形成されている多孔質中間板を用いても良い。また、孔の形状はどのようなものでも良く、例えば後述の構成例のように、スリット状であってもよい。

[0064] 粗乾燥装置50の他の構成例については、後に説明する。

[0065] <塗布デバイスの他の構成例>

このような塗布装置における塗布デバイス100は、図9に示されている構成を有するものに限定されず、他の構成を有していてもよい。例えば、図10に示すように、各々が異なる種類のペーストを充填する複数の内部空間内を、順次、R-T-B系焼結磁石1が通過して2層のペースト層をR-T-B系焼結磁石1上に形成するように構成された塗布デバイス100を用いても良い。

[0066] 図10の塗布デバイス100は、第2の内部空間16を形成するための追加構造物100cを備えている。この追加構造物100cは、出口側構造物100aにおける出口開口部14を含む領域を覆い、出口側構造物100a

とともに第2の内部空間16を規定する。追加構造物100cの出口開口部17は、出口側構造物100aにおける出口開口部14よりも大きく、塗布によって形成される2層のペーストの合計厚さを規定するように設計されている。

[0067] このような塗布デバイスによれば、第1の内部空間10を第1のペースト20aで充填し、第2の内部空間16を第2のペースト20bで充填する。R-T-B系焼結磁石1が第1の内部空間10を通過するとき、R-T-B系焼結磁石1の表面にペースト20aが塗布されて第1のペースト層2aが形成される。その後、R-T-B系焼結磁石1が第2の内部空間16を通過するとき、第1のペースト層2aの上ペースト20bが塗布されて第2のペースト層2bが形成される。

[0068] 更に他の追加構造物を並べることにより、3層以上のペースト層を積層することも可能である。

[0069] 第1のペースト層2aと第2のペースト層2bとは、同じ材料から形成されていても良いし、異なる材料から形成されていても良い。後述する実施形態では、異なる材料から形成された粉末粒子を含むペーストをR-T-B系焼結磁石1に塗布する。図10の塗布デバイス100を用いると、R-T-B系焼結磁石1の表面に近い位置にはRLM合金粉末を含むペーストを配置し、R-T-B系焼結磁石1の表面から離れた位置にRH化合物粉末を含むペーストを配置することが容易に行える。

[0070] 図11は、R-T-B系焼結磁石1が入口側構造物100bによって十分に位置決めされず、R-T-B系焼結磁石1の姿勢が安定していない例を模式的に示している。この例では、R-T-B系焼結磁石1が内部空間10の中で傾いている。このため、出口開口部14に対するR-T-B系焼結磁石1の位置がずれ、ペースト層2の厚さが設計値から外れて不均一になっている。

[0071] 図12は、上記のような位置ずれが発生しないようにする改良例を示す図である。図12の塗布デバイス100では、出口開口部14の位置に複数の

規制部材 104 が設けられている。これらの規制部材 104 は、それぞれ、出口開口部 14 の周縁から中央に向かって突出しており、規制部材 104 の先端が R-T-B 系焼結磁石 1 の位置を規制している。規制部材 104 は部分的に R-T-B 系焼結磁石 1 の表面に接触して R-T-B 系焼結磁石 1 に対して相対的に摺動し得る。このため、R-T-B 系焼結磁石 1 の表面と出口開口部 14 の周縁との間隔は均一に維持され、ペースト層 2 の厚さが設計値から大きく外れることがなくなる。

[0072] 図 13 は、R-T-B 系焼結磁石 1 を覆うペースト層 2 の一部に形成されたストライプ状の凹部 22 を模式的に示している。ペースト層 2 の凹部 22 は、規制部材 104 の存在により、ペーストの塗布が行われなかった部分である。しかし、図 13 に示すように、R-T-B 系焼結磁石 1 が塗布デバイス 100 から排出された後、乾燥前のペースト層 2 は液体成分を含有するため、表面張力により、速やかに拡がる。その結果、ペースト層 2 の凹部 22 は消滅するか、無視できるサイズに縮小する。凹部 22 の幅を狭くすることが好ましいため、各規制部材 104 の幅は、例えば 0.2~1mm 程度の大きさに設定され得る。

[0073] 規制部材 104 が R-T-B 系焼結磁石 1 の表面を摺動するとき、R-T-B 系焼結磁石 1 の表面に小さな傷または浅い溝を形成する可能性がある。しかし、R-T-B 系焼結磁石 1 の表面は最終的に研磨などによって加工されるため、小さな傷および浅い溝の形成は、最終的な磁石特性に悪影響を及ぼさない。

[0074] なお、規制部材 104 は、出口開口部 14 の周縁に設けられる必要は無く、出口側構造物 100a の他の位置に設けられていても良い。

[0075] 図 14 は、出口開口部 14 にテーパ 105 が設けられた構成例を示している。このようなテーパ 105 が存在すると、ペーストが出口開口部 17 に向かって流れるときに R-T-B 系焼結磁石 1 の先端を、その周囲から略均等に押圧する力が発生する。そのため、内部空間 10 の中で R-T-B 系焼結磁石 1 が傾斜しても、テーパによって押されたペーストが R-T-B 系焼結

磁石 1 の位置を適切な範囲内に矯正する。

[0076] 図 15 は、入口側構造物 100b の前段部分に逆流防止装置 120 を付加した構成を示している。逆流防止装置 120 は、圧縮エアの圧力を入口側構造物 100b の入口開口部 12 に与える気密室 122 を有している。具体的には、逆流防止装置 120 は、入口側構造物 100b の入口開口部 12 をキャップし、逆流防止装置 120 と入口側構造物 100b との間に形成される空隙（気密室）に外部からエアを受け入れるように構成されている。逆流防止装置 120 は、R-T-B 系焼結磁石 1 を通過させる開口部 19 を有している。エアの圧力が高すぎると、ペースト 20 が充填された内部空間 10 にエアが進入するおそれがあるが、開口部 19 と R-T-B 系焼結磁石 1 との間に存在する空隙を介して、エアは外部に漏れるため、エアの圧力がそのように高くなりすぎることは防止され得る。

[0077] <塗布装置の構成例>

図 16 を参照して、塗布装置の構成例を説明する。

[0078] 図示される塗布装置は、上記のいずれかの塗布デバイスを備える。この塗布装置は、塗布デバイス 100 に R-T-B 系焼結磁石 1 を、順次、挿入するための一対のローラ 30a、30b、および、ローラ 30a、30b に R-T-B 系焼結磁石 1 を供給するためのコンベア装置 64 を備えている。コンベア装置 64 は、ローラ 64a、64b、およびコンベアベルト 64c を有している。

[0079] また、この塗布装置は、多数の R-T-B 系焼結磁石 1 を搭載し得るストッカ 60 を備えている。ストッカ 60 に搭載された R-T-B 系焼結磁石 1 は、投入シリンダ 62 によってコンベア装置 64 上に押し出される。ストッカ 60 と投入シリンダ 62 とによってローダが構成されている。コンベアベルト 64c に載った R-T-B 系焼結磁石 1 は、ローラ 64a、64b の回転によって回動するコンベアベルト 64c とともに塗布デバイス 100 に向かって移動する。一対のローラ 30a、30b の間に挟まれた R-T-B 系焼結磁石 1 は、順次、塗布デバイス 100 に挿入され、塗布工程に供せられ

る。ローラ30a、30bは、個々のR-T-B系焼結磁石1を上下から挟み込み、塗布デバイス100の入口開口部12に確実に挿入することができる。塗布デバイス100へのR-T-B系焼結磁石1の供給が途絶えないように、ローダ部はR-T-B系焼結磁石1をコンベア装置64上に供給し続ける。

[0080] 次に、図17を参照する。図17に示されるように、塗布デバイス100から排出されたR-T-B系焼結磁石1は、粗乾燥装置50の上面を、噴出されたエアによって浮遊しつつ移動する。その移動中にペースト層2に対する粗乾燥が実行され、ペースト層2の少なくとも表面が乾燥する。吹き出すエアの温度は、典型的には室温であり得るが、粗乾燥を促進するため、吹き出すエアの温度を室温よりも高くしてもよい。その後、R-T-B系焼結磁石1は本乾燥装置70に移動し、そこで必要な時間だけ待機し、ペースト層2の乾燥を進行させる。本乾燥装置70は、ローラ70a、70b、コンベアベルト70c、および、押さえローラ70dを有している。なお、粗乾燥装置50および／または本乾燥装置70は、乾燥室（不図示）内に配置されていても良い。

[0081] ペースト層2が十分に乾燥したR-T-B系焼結磁石1は、本乾燥装置70の上で待機する一つながりの状態にある複数のR-T-B系焼結磁石1から、一对のピンチローラ72によって個々に切り離され、その後、排出シュート74によって塗布装置から排出される。ピンチローラ72の接線方向速度、すなわち回転周速度は、ピンチローラ72に挟み込まれたR-T-B系焼結磁石1の移動速度を規定する。この移動速度は、本乾燥装置70のコンベアベルト70cの移動速度よりも高く設定される。本乾燥装置70の押さえローラ70dの働きにより、本乾燥装置70の上で待機する一つながりの状態にある複数のR-T-B系焼結磁石1から、ピンチローラ72で挟んだR-T-B系焼結磁石1を切り離すことが可能になる。

[0082] <粗乾燥装置の構成例>

まず、図18を参照する。図18は、粗乾燥装置のZ軸方向に垂直な断面

を模式的に示している。

[0083] 本開示の実施形態によれば、R-T-B系焼結磁石1の周囲がペースト層2で覆われた状態で塗布デバイス100から排出される。排出直後のペースト層2は乾燥していないため、R-T-B系焼結磁石1をそのままコンベアベルト上に置いたり、人の手または治具で把持したりすると、ペースト層2の厚さが局所的に変化したり、ペースト層2の一部が剥がれ落ちたりするおそれがある。図18に示される粗乾燥装置50は、エアを吹き出すための複数の孔（スリット状開口部）52a、52bと、エアの供給を受ける開口部54と、余分なエアを外部に逃がすためのスリット状の開口部56とを備えている。

[0084] 孔52aは、R-T-B系焼結磁石1を重力に抗して持ち上げるようにエアを吹き出すように構成されている。本実施形態における孔52aの幅は、例えば1mmであり得る。孔52bは、エアで持ち上げられ、浮遊するR-T-B系焼結磁石1の位置を中央付近に調整するためのエアを側方から中央に向けて吹き出すように構成されている。本実施形態における孔52bの幅は、例えば0.5~3mmの範囲内の値であり得る。孔52bの幅および高さ方向の位置は、R-T-B系焼結磁石1の上面または下面を流れる気流を形成し得るため、R-T-B系焼結磁石1の姿勢を安定に保つように適切に調整され得る。エアを外部に逃がすためのスリット状の開口部56の幅は、例えば1mm~10mmの範囲内に設定され得る。

[0085] 図19は、図18に模式的に示される粗乾燥装置50の斜視図である。スリット状の孔52a、52bから噴出されたエアがスリット状開口部56に向かって流れるため、粗乾燥装置50上で浮遊するR-T-B系焼結磁石1は、粗乾燥装置50の側壁に衝突することなく、後続のR-T-B系焼結磁石1に押されてZ軸方向に沿って移動していく。前述したように、粗乾燥装置50の上面は水平面に対して傾斜していてもよい。

[0086] 孔52a、52bの形状、サイズ、および個数は、図18および図19に示される例に限定されない。孔52a、52bは、スリット形状を有してい

る必要はない。開口部56の形状、サイズ、および個数も、図18および図19に示される例に限定されない。

[0087] 開口部56を設けないと、孔52a、52bから噴出したエアが、R-T-B系焼結磁石1の一方の側面から上方に流れてしまい、R-T-B系焼結磁石1を水平に保つことができなくなる場合がある。このため、孔52a、52bから噴出したエアを装置外に逃す開口部56を設けることが好ましい。

[0088] このような開口部56を設ける代わりに、他の構成を採用しても、R-T-B系焼結磁石1の姿勢を安定にすることが可能である。

[0089] 図20は、粗乾燥装置50の他の構成例を模試的に示す断面図である。この例における粗乾燥装置50の上面（R-T-B系焼結磁石1に対向する面）は水平方向に対して例えば0.5〜3度程度傾斜している。すなわち、粗乾燥装置50の上面に対する法線は、XY面内において、Y軸方向からX軸方向に向かって僅かに回転している。このような傾斜により、浮遊状態のR-T-B系焼結磁石1は図中のX軸方向に向かう力を受ける。この力は、孔52bから吹き出すエアによって力と釣り合う、こうして、浮遊状態のR-T-B系焼結磁石1のX軸方向における位置は安定し、R-T-B系焼結磁石1の姿勢も適切に調整される。

[0090] 図21は、粗乾燥装置50の更に他の構成例を模試的に示す断面図である。この例における粗乾燥装置50の上面（R-T-B系焼結磁石1に対向する面）は、中央が窪むように湾曲している。すなわち、このような湾曲により、浮遊状態のR-T-B系焼結磁石1は中央付近に向かう力を受ける。こうして、浮遊状態のR-T-B系焼結磁石1のX軸方向における位置は安定し、R-T-B系焼結磁石1の姿勢も適切に調整される。

[0091] <塗布デバイスの改変例>

図22は、塗布デバイス100内に形成された複数の孔から内部空間10にペーストを導入する塗布デバイス100の構成例を示す図である。図23Aは、ペーストを導入する孔の個数が2個の例における図22のA-A線図

である。同様に、図23Bおよび図23Cは、それぞれ、ペーストを導入する孔の個数が2個の例における図22のB-B線図およびC-C線図である。

- [0092] 図22の塗布デバイスは、入口開口部12を有する入口側構造物100bと、出口開口部14を有し内部空間10を規定する出口側構造物100aと、入口側構造物100bと出口側構造物100aとの間に位置し、複数のR-T-B系焼結磁石を順次通過させる磁石通過孔134を有する中間板130とを備えている。中間板130は、ペーストを通過させるペースト通過孔132a、132bを有している。
- [0093] 図23Aに示される入口側構造物100bは、中間板130に接する側を開いた凹部から形成された第1の溝140を有している。図の例において、第1の溝140は、外部から塗布デバイス100内にペーストを導入する孔15'の位置からXY面に平行な面に沿って延び、途中で2本に分岐している。第1の溝140の分岐部は、入口開口部12の両側をY軸方向に平行な方向に延びている。第1の溝140の深さ（凹部の深さ）は、入口側構造物100bの厚さよりも小さい。第1の溝140と中間板130とによって挟まれた空間が第1のペースト流路145を規定している。
- [0094] 図23Cに示される出口側構造物100aは、中間板130に接する側を開いた凹部から形成された第2の溝150を有し、第2の溝150と中間板130とによって挟まれた空間が第2のペースト流路155を規定している。第1および第2のペースト流路145、155の流路断面は、例えば1～400mm²程度である。
- [0095] 図23Bに示される中間板130は、第1のペースト流路145と第2のペースト流路155とを連通する2つのペースト通過孔132a、132bを有している。中間板130に設けられたペースト通過孔の個数は、2個に限定されず、単数であっても良いが、複数であることが望ましい。
- [0096] 第2のペースト流路155は、複数の異なる位置に設けられた孔（ペースト導入孔）15a、15bによって内部空間10に連通している。

[0097] 図23Aに示される入口側構造物100bの孔15'から導入されたペーストは、第1ペースト流路145を流れ、第1のペースト流路145の内部を埋める。第1のペースト流路145の内部を埋めたペーストは、図23Bに示される中間板130のペースト通過孔132a、132bを通り、図23Cに示される出口側構造物100aの第2のペースト流路155内に流れ込む。第2のペースト流路155内に流れ込んだペーストは、複数のペースト導入孔15a、15bの各々を通して内部空間10の中に導入される。ペースト導入孔は、例えば1~20mmの直径を有している。

[0098] 図24Aは、ペーストを導入する孔の個数が4個の例における図22のA-A線図である。同様に、図24Bおよび図24Cは、それぞれ、ペーストを導入する孔の個数が4個の例における図22のB-B線図およびC-C線図である。

[0099] 図24Aの入口側構造物100bおよび図24Bの中間板130は、それぞれ、図23Aの入口側構造物100bおよび図23Bの中間板130の構造と同様の構造を有している。異なる点は、図24Cに示される出口側構造物100aの構造にある。図24Cの出口側構造物100aも、第2の溝150を有し、中間板130と第2の溝150との間の空間によって第2のペースト流路155が規定されている。この例に特徴的な点は、第2のペースト流路155内に流れ込んだペーストが、4カ所のペースト導入孔15a、15b、15c、15dの各々を通して内部空間10の中に導入される点にある。内部空間10にペーストを導入する孔1の個数が増えると、ペースト供給量の変動しても、その影響が分散される。その結果、塗布によって形成されるペースト層の厚さのばらつきを低減することができる。

[0100] なお、図22~図24Cでは、入口側構造物100aの上方に形成した孔15'の1か所を通じて外部からペースト20を導入しているが、入口側構造物100aの下方や側面に同様の孔15'を形成し、複数の孔15'から塗布デバイス100内にペースト20を導入するようにしてもよい。

[0101] <塗布装置の改変例>

図25に示すように、塗布デバイス100に対するコンベア装置64の相対的な高さが基準レベルよりも高くなったり、低くなったりすると、塗布デバイス100の入口開口部12に対するR-T-B系焼結磁石1の位置および進入角度がずれてしまうことが起こり得る。R-T-B系焼結磁石1が入口開口部12から塗布デバイス100内に供給されているとき、R-T-B系焼結磁石1と入口開口部12との間のクリアランスが大きいと、位置や進入角度のずれは大きくなりやすい。このようなずれが生じると、図25に示されるように、塗布したペースト層2の厚さが不均一になる。入口開口部12の位置や進入角度の精度は、そのままペースト層2の厚さの精度に影響するため高い精度が必要とされる。入口開口部12の位置や進入角度のずれの影響は、R-T-B系焼結磁石1が長軸方向に長く伸びた形状を持つ場合に顕著である。

[0102] 図26は、このような位置ずれを抑制するために位置決め機構として機能する基準ブロック35を備える塗布装置の構成例を示す図である。位置決め基準ブロック35は、コンベア装置64から送られてきたR-T-B系焼結磁石1の上下方向（Y方向）の運動を規制するための上面（摺動面）を有している。位置決め基準ブロック35は、例えば機械加工によって高さや角度の精度が出されており、位置決め基準ブロック35上でR-T-B系焼結磁石1をローラで押し付けることによって、入口開口部12に侵入するR-T-B系焼結磁石1の位置と進入角度が高い精度で規制される。また、この位置決めブロック35に加えて、R-T-B系焼結磁石1の進行方向に対して左右の方向（X方向）の運動を規制する、さらなる位置決めブロックとローラを設けてもよい。上下方向（Y方向）の運動を規制するための位置決め基準ブロックと左右方向（X方向）の運動を規制するための位置決めブロックは一体化されていてもよい。すなわち、XY方向の運動を規制するための位置決めブロックとそれぞれの方向に対応するローラを設けてもよい。

[0103] R-T-B系焼結磁石1は、ローラによって位置決め基準ブロック35の上面に軽く押圧されながら、塗布デバイス100の入口開口部12の中に高

い位置および進入角度の精度でもって水平に移動する。位置決め基準ブロック35における上面の上下方向の位置は、塗布デバイス1における入口開口部12の上下方向の位置に合わせて調整可能である。また、上述の不図示の左右方向(X方向)の運動を規制するための位置決めブロックの左右方向の位置は、塗布デバイス1の入口開口部12の左右方向の位置に合わせて調整可能である。図26の例では、位置決め基準ブロック35の上面は水平であるが、なんらかの目的で塗布デバイス100そのものが傾斜している場合、塗布デバイス100の傾斜に合わせて、基準ブロック35の上面を傾斜させることによって、進入角度を塗布デバイス100の傾斜角度に合わせることも可能である。

[0104] 図27は、本開示による塗布デバイス100の更に他の構成例を示す図である。この塗布デバイス100において、出口側構造物100aによって規定される内部空間10は、R-T-B系焼結磁石1が通過する方向(Z軸方向)において、各R-T-B系焼結磁石1の長さの半分以上4分の3以下のサイズを有している。たとえば、内部空間10のZ軸方向におけるサイズは2mm以上に設定され、典型的な例において、4~90mmの範囲内にある。

[0105] 図27の例において、R-T-B系焼結磁石1の先端は、一時的にペーストの内部に完全に埋もれ、ペースト中に浮いた状態が形成される。そして、内部空間の隙間が狭くなるにしたがって、より大きな動圧を受け、それによってセンタリングが実現する。図27の内部空間10は、このように各R-T-B系焼結磁石1の一時的なペースト内浮遊を実現する寸法(R-T-B系焼結磁石1の寸法の半分以上)を有している。R-T-B系焼結磁石1全体が完全にペースト内に浮く状態になってしまうと、テーパ105によるセンタリング効果が発揮されにくいので、内部空間10の寸法はR-T-B系焼結磁石1の寸法の4分の3以下が好ましい。すなわち、R-T-B系焼結磁石1の先端が内部空間10内にあるとき、R-T-B系焼結磁石1の後端は内部空間10外にあることが好ましい。また、浮遊中のR-T-B系焼結

磁石 1 の先端がペースト内で沈降しないように、十分に長いテーパ 105 によって移動中の R-T-B 系焼結磁石 1 に適切な大きさの動圧を形成することが好ましい。テーパ 105 の Z 軸方向におけるサイズは、内部空間 10 の Z 軸方向におけるサイズの 20 分の 1 以上に設定され、内部空間 10 の Z 軸方向におけるサイズの 3 分の 1 以上が好ましく、半分以上がさらに好ましい。内部空間 10 の Z 軸方向におけるサイズと同じ、すなわち、内部空間 10 全体がテーパで形成されていてもよい。

[0106] 図 28 は、粗乾燥装置 50 の更に他の構成例を模試的に示す断面図である。この例における粗乾燥装置 50 は、図 21 の例に比べて、曲率半径がより短い凹部形状を有しており、弓型の R-T-B 系焼結磁石 1 の湾曲した面を下方に向けた状態で粗乾燥を行う。R-T-B 系焼結磁石 1 の湾曲した面の曲率半径と、粗乾燥装置 50 の凹部の曲率半径とは、一致している必要はない。重要な点は、端部 55a において、R-T-B 系焼結磁石 1 の湾曲した面と粗乾燥装置 50 の凹部とのギャップが相対的に短縮していることである。このようなギャップの短縮により、R-T-B 系焼結磁石の両脇からエアの抜けが抑制され、適切な搬送が実現する。

[0107] 以下、本開示の好ましい実施形態について詳細に説明する。

[0108] [R-T-B 系焼結磁石母材]

まず、本開示では、重希土類元素 R H の拡散の対象として R-T-B 系焼結磁石母材を準備する。なお、本明細書では、わかりやすさのため、重希土類元素 R H の拡散の対象とする R-T-B 系焼結磁石を R-T-B 系焼結磁石母材と厳密に称することがあるが、「R-T-B 系焼結磁石」の用語はそのような「R-T-B 系焼結磁石母材」を含むものとする。この R-T-B 系焼結磁石母材は公知のものが使用でき、例えば以下の組成を有する。

希土類元素 R : 12 ~ 17 原子%

B (B (ボロン) の一部は C (カーボン) で置換されていてもよい) : 5 ~ 8 原子%

添加元素 M' (Al、Ti、V、Cr、Mn、Ni、Cu、Zn、Ga、

Zr、Nb、Mo、Ag、In、Sn、Hf、Ta、W、Pb、およびBiからなる群から選択された少なくとも1種) : 0~2原子%

T (Feを主とする遷移金属元素であって、Coを含んでもよい) および不可避不純物 : 残部

ここで、希土類元素Rは、主として軽希土類元素RL (Ndおよび/またはPr) であるが、重希土類元素を含有していてもよい。なお、重希土類元素を含有する場合は、重希土類元素RH (Dyおよび/またはTb) の少なくとも一方を含むことが好ましい。

[0109] 上記組成のR-T-B系焼結磁石母材は、任意の製造方法によって製造される。

[0110] [ペースト]

ペーストは、拡散剤、または、拡散剤と拡散助剤との混合物を含有する。

[0111] 拡散剤は、典型的には、RH化合物 (RHはDyおよび/またはTb、RH化合物はRHフッ化物および/またはRH酸フッ化物) の粉末であり得る。ある好ましい実施形態において、RH化合物粉末は、後述する拡散助剤として機能するRLM合金粉末よりも質量比で等しいか少ない。RH化合物粉末を均一に塗布するには、RH化合物粉末の粒度が小さいことが好ましい。本発明者の検討によれば、RH化合物の粉末の粒度は凝集した2次粒子の大きさにおいて20 μ m以下が好ましく、10 μ m以下がより好ましい。小さいものは1次粒子で数 μ m程度 (1 μ m以上) である。

[0112] 拡散助剤は、典型的にはRLM合金の粉末であり得る。ここで、RLとしてはRH化合物を還元する効果の高い軽希土類元素が適しており、RLはNdおよび/またはPrである。MはCu、Fe、Ga、Co、Ni、Alから選ばれる1種以上である。拡散助剤の材料としてNd-Cu合金やNd-Al合金を用いると、NdによるRH化合物の還元能力が効果的に発揮され、 H_{c2} の向上効果がより高い。また、ある実施形態において、RLM合金はRLを50原子%以上含み、かつ、その融点は熱処理温度以下である。RLM合金の粉末の粒度は150 μ m以下が好ましく、100 μ m以下がより好ま

しい。R L M合金粉末の粒度が小さすぎると酸化しやすく、酸化防止の観点から、R L M合金粉末の粒度の下限は5 μm 程度である。R L M合金の粉末の粒度の典型例は、20~100 μm である。

[0113] R Lの含有割合が50原子%以上のR L M合金は、R LがR H化合物を還元する能力が高く、かつ、融点が熱処理温度以下である。このため、熱処理時に溶融してR H化合物を効率よく還元し、より高い割合で還元されたR HがR-T-B系焼結磁石母材中に拡散して少量でも効率よくR-T-B系焼結磁石の H_c を向上させることができる。ある実施形態において、R L M合金はR Lを65原子%以上含む。

[0114] ペーストは、上述したR H化合物粉末およびR L M合金粉末に、バインダ、水、および/または溶媒を混合して作製され得る。溶媒は例えば有機溶剤であり得る。R L M合金粉末の塗布量は H_c 向上の程度に直接関与しないため、重力や表面張力によって多少ばらついて問題はない。なお、バインダおよび溶媒は、その後の熱処理の昇温過程において、R L M合金の融点以下の温度で熱分解や蒸発が生じてR-T-B系焼結磁石の表面から除去されるものであればよく、その種類は特に限定されない。

[0115] 本開示の実施形態によれば、R-T-B系焼結磁石母材の表面に塗布したペーストには、塗布から乾燥までの間に一様に収縮して、塗布層の形状の均一性を保つことが求められる。バインダまたは粉末の重量比率を高めると、ペーストの粘度が増加するため、塗布層の形状を維持する能力が向上する。また、低沸点溶剤（エタノールまたは水）をペーストに含めると、乾燥に要する時間が短縮するため、塗布層の形状も維持されやすくなる。

[0116] [ペースト塗布]

前述した塗布装置を用いて、上記のペーストをR-T-B系焼結磁石母材に塗布する。

[0117] 塗布工程により、拡散剤であるR H化合物の粉末は、拡散助剤であるR L M合金粉末とともに磁石表面に配置される。このとき、磁石表面にR L M合金粉末粒子を含む第1のペーストを塗布して第1ペースト層を形成した後、

第1層の上にRH化合物を含む第2のペーストを塗布して第2ペースト層を形成しても良い。

[0118] ペーストに含まれるRLM合金は、その融点が熱処理温度以下であるため、熱処理の際に溶融し、それによって高い効率で還元されたRHがR-T-B系焼結磁石内部に拡散しやすい状態になる。したがって、RLM合金の粉末とRH化合物の粉末とをR-T-B系焼結磁石の表面に存在させる前にR-T-B系焼結磁石の表面に対して酸洗などの特段の清浄化処理を行う必要はない。もちろん、そのような清浄化処理を行うことを排除するものではない。

[0119] ペーストの層に含まれるRH化合物のR-T-B系焼結磁石母材の表面における存在比率（熱処理前）は、質量比率でRLM合金：RH化合物＝9.6：0.4～5：5とする。さらに好ましい存在比率はRLM合金：RH化合物＝9.5：0.5～6：4である。

[0120] 本開示は、RLM合金およびRH化合物の粉末以外の粉末（第三の粉末）を含むペーストが塗布されるなどして、R-T-B系焼結磁石母材の表面に第三の粉末が存在することを必ずしも排除しないが、第三の粉末がRH化合物中のRHをR-T-B系焼結磁石母材の内部に拡散することを阻害しないように留意する必要がある。R-T-B系焼結磁石母材の表面に存在する粉末の全体に占める「RLM合金およびRH化合物」の粉末の質量比率は、70%以上であることが望ましい。

[0121] 本開示によれば、少ない量のRHで、効率的にR-T-B系焼結磁石の H_c を向上させることが可能である。R-T-B系焼結磁石の表面に存在させるRHの量は、磁石表面1mm²あたり0.03～0.35mgであることが好ましく、0.05～0.25mgであることが更に好ましい。

[0122] [拡散熱処理]

本開示においては、ペーストに含まれていたRLM合金の粉末とRH化合物の粉末とをR-T-B系焼結磁石母材の表面に存在させた状態で熱処理を行う。なお、熱処理の開始後、RLM合金の粉末は溶融するため、RLM合

金が熱処理中に常に「粉末」の状態を維持する必要は無い。熱処理の雰囲気は真空または不活性ガス雰囲気が好ましい。熱処理温度はR-T-B系焼結磁石の焼結温度以下（具体的には例えば1000℃以下）であり、かつ、RLM合金の融点よりも高い温度である。熱処理時間は例えば10分～72時間である。また前記熱処理の後必要に応じてさらに400～700℃で10分～72時間の熱処理を行ってもよい。

[0123] なお、本開示の実施形態による塗布装置は、上述したR-T-B系焼結磁石母材の例に必ずしも限定されない。本開示の塗布装置は、様々な磁石母材の表面に粉末のペースト層を形成して磁石母材の内部に所望の元素を拡散させる方法に用いることができる。

実施例

[0124] 図4に示す塗布デバイスを有する装置および方法により、R-T-B系焼結磁石母材に対するペーストの塗布を行った。

[0125] 用いたR-T-B系焼結磁石母材は、図1に示されるような形状を有し、そのサイズはX方向28.4mm、Y方向6.88mm、Z方向32.3mm、上面のR30.2mmであった。R-T-B系焼結磁石母材の組成は、Nd=13.4、B=5.8、Al=0.5、Cu=0.1、Co=1.1、残部=Fe（原子%）であり、その磁気特性をB-Hトレーサーによって測定したところ、 H_{cJ} は1035kA/m、 B_r は1.45Tであった。

[0126] 用いたペーストの構成は、拡散剤（粒度10 μ m以下の市販のTbF₃（at.比）粉末）と拡散助剤（遠心アトマイズ法で作製された粒度100 μ m以下の球状Nd₇₀Cu₃₀（at.比）粉末）を質量比8：2で混合した混合粉末80質量%、ポリビニルアルコール4質量%、水16質量%であった。

[0127] こうして、表1記載の塗布量でR-T-B系焼結磁石母材の4つの面を被覆し、乾燥工程を行って、No.1～3のサンプルを作製した。1つのR-T-B系焼結磁石母材に対する塗布工程に要した時間は、0.3秒程度であった。

[0128] 図29Aは、乾燥工程後のサンプルNo.2の断面を示している。図29

Aからわかるように、4つの面に略均一な厚さのペースト層が形成されていた。

[0129] その後、拡散のための熱処理を行った。得られたR-T-B系焼結磁石の表面をそれぞれ0.2mmずつ機械加工にて除去し、さらにNo. 1~3のそれぞれにつき以下の通りA~E5種類の測定サンプルを切り出した。サンプルA：磁石中央部分の6.28mm×7.0mm×7.0mm、サンプルB：磁石底面のX軸方向中央部表面部分の1.0mm×1.0mm×1.0mm、サンプルC：磁石上面のX軸方向中央部表面部分の1.0mm×1.0mm×1.0mm（サンプルB、CのZ軸方向は中央付近、サンプルAを切り出した部分の近傍）、サンプルDおよびE：磁石両側面のY軸方向中央Z軸方向中央部表面部分の1.0mm×1.0mm×1.0mm。R-T-B系焼結磁石におけるサンプルA~Eの領域は、図29Bの模式断面図に示されている。

[0130] サンプルA~Eの磁気特性をB-Hトレーサーによって測定し、サンプルAについては H_{cJ} と B_r の変化量を、サンプルB~Eについては H_{cJ} の変化量を求めた。（サンプルB~Eについて B_r を測定していないのは、サンプルが小さいので測定精度が非常に低いためである。）結果を表2および表3に示す。表2からわかるように、No. 1~3のすべてが、 B_r がほとんど低下することなく、 H_{cJ} が大きく向上していた。また、表3からわかるように、各々のサンプルB~Eはほぼ同等に H_{cJ} が向上しており、ペースト層の塗布厚さが均一でないことに伴うような大きなばらつきは見られなかった。なお、サンプルB~Eは磁石表面付近の測定サンプルであるので、拡散したTbの濃度が磁石中央付近より高いため、サンプルAよりも H_{cJ} が高くなっている。また、側面のサンプルD、Eは上下面に近く、上下面からの拡散の影響も受けるため、上面、下面のサンプルB、Cよりやや H_{cJ} が高くなっている。

[0131]

[表1]

No.	塗布量					
	膜厚(μm)	体積(mm^3)	H° -スト重量(g)	拡散源重量(g)	Tb量	
					(g)	(mg/mm^2)
1	174	363.4	2.20	1.76	0.26	0.12
2	205	428.1	2.59	2.07	0.31	0.15
3	232	484.5	2.93	2.35	0.35	0.17

拡散源 = 拡散剤 + 拡散助剤

[0132] [表2]

No.	サンプルA			
	B_r (T)	H_{cJ} (kA/m)	ΔB_r (T)	ΔH_{cJ} (kA/m)
1	1.44	1409	-0.01	374
2	1.44	1417	-0.01	382
3	1.44	1422	-0.01	387

[0133] [表3]

No.	サンプルB		サンプルC		サンプルD		サンプルE	
	H_{cJ} (kA/m)	ΔH_{cJ} (kA/m)	H_{cJ} (kA/m)	ΔH_{cJ} (kA/m)	H_{cJ} (kA/m)	ΔH_{cJ} (kA/m)	H_{cJ} (kA/m)	ΔH_{cJ} (kA/m)
1	1819	784	1811	776	1830	795	1825	790
2	1830	795	1816	781	1840	805	1846	811
3	1827	792	1819	784	1842	807	1840	805

産業上の利用可能性

[0134] 本開示の実施形態によれば、R-T-B系焼結磁石の改質を行うための粉末粒子を含むペーストをR-T-B系焼結磁石の複数の面に対して同時に塗布することができる。このため、例えば、重希土類元素RHを効果的にR-T-B系焼結磁石に供給し拡散させる方法の量産性が向上する。

符号の説明

- [0135]
- 1 R-T-B系焼結磁石
 - 1 a R-T-B系焼結磁石の上面
 - 1 b R-T-B系焼結磁石の下面
 - 1 c R-T-B系焼結磁石の側面
 - 1 d R-T-B系焼結磁石の前端面

- 1 e R-T-B系焼結磁石の後端面
- 2 ペースト層
- 10 内部空間
- 12 入口開口部
- 14 出口開口部
- 15 孔
- 16 第2の内部空間
- 18 斜面
- 19 逆流防止装置の開口部
- 20 ペースト
- 50 粗乾燥装置
- 52 a、52 b 複数の孔
- 54 エアの供給を受ける開口部
- 56 エアを外部に逃がす開口部
- 100 塗布デバイス
- 100 a 出口側構造物
- 100 b 入口側構造物
- 100 c 追加構造物
- 104 規制部材
- 105 テーパ
- 120 逆流防止装置
- 122 気密室

請求の範囲

- [請求項1] 複数のR-T-B系焼結磁石を用意する工程と、
前記複数のR-T-B系焼結磁石の各々の上面、下面および側面に、重希土類元素RHの金属、合金および／または化合物（RHはDyおよび／またはTb）の粉末粒子を含むペーストを塗布する工程と、
前記ペーストが塗布されたR-T-B系焼結磁石を焼結温度以下の温度で熱処理する工程と、
を含み、
前記ペーストを塗布する工程は、
入口開口部および出口開口部を有する内部空間を備える塗布デバイスであって前記複数のR-T-B系焼結磁石が、順次、前記内部空間を横方向に通過するように構成された塗布デバイスに対して、前記複数のR-T-B系焼結磁石を順次供給する工程と、
前記塗布デバイスの内部空間に前記ペーストを充填し、前記内部空間内を移動しつつあるR-T-B系焼結磁石の前記上面、下面および側面に前記ペーストを接触させる工程と、
を含む、R-T-B系焼結磁石の製造方法。
- [請求項2] 前記R-T-B系焼結磁石が前記塗布デバイスの内部空間を通過するとき、前記入口開口部は、前記R-T-B系焼結磁石を摺動可能に支持し、かつ、前記横方向に直交する方向における前記R-T-B系焼結磁石の運動を規制する形状および大きさを有している、請求項1に記載のR-T-B系焼結磁石の製造方法。
- [請求項3] 前記出口開口部は、前記R-T-B系焼結磁石に塗布された前記ペーストの層厚を規定する形状および大きさを有している、請求項1または2に記載のR-T-B系焼結磁石の製造方法。
- [請求項4] 前記塗布デバイスに対して前記複数のR-T-B系焼結磁石を順次供給する工程は、
前記入口開口部に各R-T-B系焼結磁石を挿入する工程と、

前記入口開口部に一部が挿入されつつある R-T-B 系焼結磁石の後端面を、他の R-T-B 系焼結磁石の前端面で前記横方向に押し、前記他の R-T-B 系焼結磁石を前記入口開口部に挿入する工程と、を含む、請求項 1 から 3 のいずれかに記載の R-T-B 系焼結磁石の製造方法。

[請求項5] 前記塗布デバイスの前記出口開口部から排出された各 R-T-B 系焼結磁石の少なくとも前記下面に気体を押し当てながら前記 R-T-B 系焼結磁石を搬送する工程を含む、請求項 1 から 4 のいずれかに記載の R-T-B 系焼結磁石の製造方法。

[請求項6] 前記出口開口部から排出され、前記ペーストを介して前後に結合された複数の R-T-B 系焼結磁石を個々の R-T-B 系焼結磁石に分離する工程を含む、請求項 1 から 5 のいずれかに記載の R-T-B 系焼結磁石の製造方法。

[請求項7] 前記粉末粒子は、RLM合金（RLはNdおよび／またはPr、MはCu、Fe、Ga、Co、Ni、Alから選ばれる1種以上の元素）粉末の粒子と、RH化合物（RHはDyおよび／またはTb、RH化合物はRHフッ化物、RH酸フッ化物、およびRH酸化物の少なくとも1つ）の粉末粒子とを含む、請求項 1 から 6 のいずれかに記載の R-T-B 系焼結磁石の製造方法。

[請求項8] 前記RLM合金はRLを50原子%以上含み、かつ、前記RLM合金の融点は前記熱処理の温度以下である、請求項 7 に記載の R-T-B 系焼結磁石の製造方法。

[請求項9] 前記ペーストにおける前記RLM合金粉末と前記RH化合物の粉末と質量比率は、RLM合金：RH化合物=9.6：0.4～5：5である、請求項 7 または 8 に記載の R-T-B 系焼結磁石の製造方法。

[請求項10] 複数の R-T-B 系焼結磁石の各々の上面、下面および側面に、重希土類元素RHの金属、合金および／または化合物（RHはDyおよび／またはTb）の粉末粒子を含むペーストを塗布する装置に使用さ

れる塗布デバイスであって、

前記ペーストが充填される内部空間と、

前記複数のR-T-B系焼結磁石が、順次、前記内部空間を横方向に通過するように構成された入口開口部および出口開口部と、
を備え、

前記出口開口部は、前記R-T-B系焼結磁石に塗布された前記ペーストの層厚を規定する形状および大きさを有している、塗布デバイス。

[請求項11] 前記入口開口部は、前記R-T-B系焼結磁石を摺動可能に支持し、かつ、前記横方向に直交する方向における前記R-T-B系焼結磁石の運動を規制する形状および大きさを有する、請求項10に記載の塗布デバイス。

[請求項12] 前記ペーストの種類と同一または異なる種類の第2のペーストが充填される第2の内部空間と、

前記出口開口部から排出される複数のR-T-B系焼結磁石が、順次、前記第2の内部空間を横方向に通過するように構成された第2の出口開口部と、を備え、

前記第2の出口開口部は、前記R-T-B系焼結磁石に塗布された前記ペーストの合計層厚を規定する形状および大きさを有している、請求項10または11に記載の塗布デバイス。

[請求項13] 前記出口開口部に対する前記R-T-B系焼結磁石の位置を規制する少なくとも1つの規制部材を備える、請求項10から12のいずれかに記載の塗布デバイス。

[請求項14] 前記R-T-B系焼結磁石を前記入口開口部に案内するための傾斜が前記入口開口部の周囲に設けられている、請求項10から13のいずれかに記載の塗布デバイス。

[請求項15] 前記内部空間に充填されたペーストが前記R-T-B系焼結磁石を周囲から押圧するように前記出口開口部にテーパが設けられている、

請求項 10 から 14 のいずれかに記載の塗布デバイス。

[請求項16] 前記入口開口部に挿入されつつある前記 R-T-B 系焼結磁石と前記入口開口部との隙間から前記ペーストが流出することを抑制する逆流防止装置を更に備え、

前記逆流防止装置は、外部から供給された気体で前記入口開口部を加圧する気密室を備えている、請求項 10 から 15 のいずれかに記載の塗布デバイス。

[請求項17] 前記内部空間は、前記 R-T-B 系焼結磁石が通過する方向において、各 R-T-B 系焼結磁石の長さの半分以上、4分の3以下のサイズを有している、請求項 10 から 16 のいずれかに記載の塗布デバイス。

[請求項18] 前記内部空間に連通する複数のペースト導入孔を有する、請求項 10 から 17 のいずれかに記載の塗布デバイス。

[請求項19] 前記入口開口部を有する入口側構造物と、
前記出口開口部を有し、前記内部空間を規定する出口側構造物と、
前記入口側構造物と前記出口側構造物との間に位置し、前記複数の R-T-B 系焼結磁石を順次通過させる磁石通過孔を有する中間板と、
を備え、

前記入口側構造物は、第 1 の溝を有し、前記第 1 の溝と前記中間板とによって第 1 のペースト流路が規定されており、

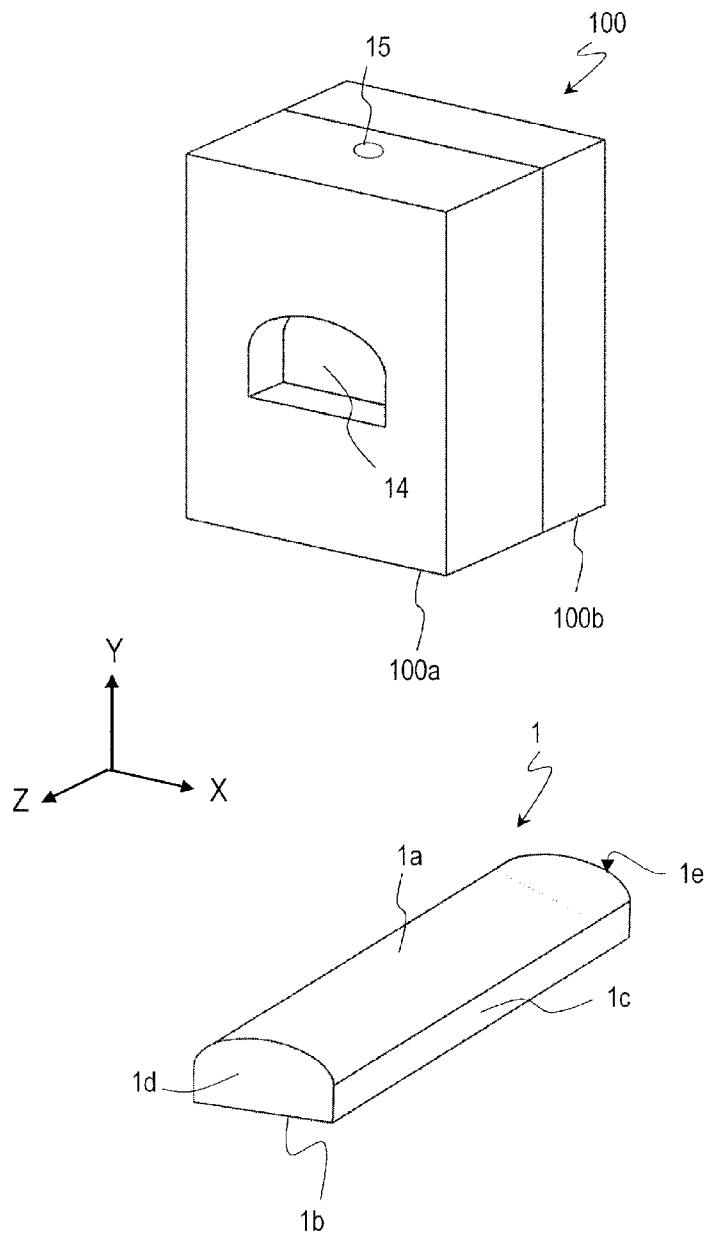
前記出口側構造物は、第 2 の溝を有し、前記第 2 の溝と前記中間板とによって第 2 のペースト流路が規定されており、

前記中間板は、前記第 1 のペースト流路と前記第 2 のペースト流路とを連通する少なくとも 1 つのペースト通過孔を有し、

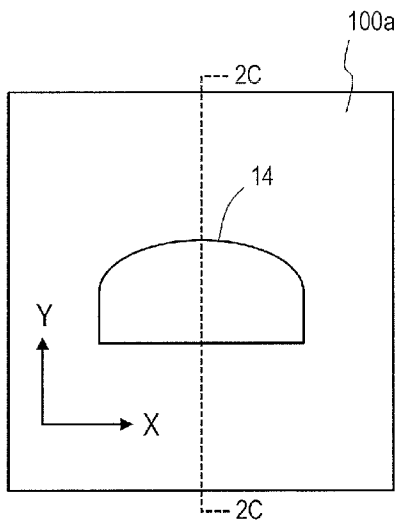
前記第 2 のペースト流路は前記内部空間に連通している複数のペースト導入孔を形成する、請求項 10 から 17 のいずれかに記載の塗布デバイス。

- [請求項20] 請求項10から19のいずれかに記載の塗布デバイスと、
前記塗布デバイスの前記内部空間に前記ペーストを充填するペースト供給装置と、
前記複数のR-T-B系焼結磁石を、順次、前記入口開口部に挿入する磁石供給装置と、
前記塗布デバイスの前記出口開口部から排出された各R-T-B系焼結磁石の少なくとも前記下面に気体を押し当てながら前記R-T-B系焼結磁石を搬送する装置と、
を備える、装置。
- [請求項21] 前記磁石供給装置は、前記複数のR-T-B系焼結磁石を、順次、摺動させる面を有し、前記塗布デバイスの前記入口開口部に対する各R-T-B系焼結磁石の位置を調整する位置決め機構を更に備えている、請求項20に記載の装置。
- [請求項22] 複数の磁石の各々の上面、下面および側面に、金属、合金および／または化合物の粉末粒子を含むペーストを塗布する装置に使用される塗布デバイスであって、
前記ペーストが充填される内部空間と、
前記複数のR-T-B系焼結磁石が、順次、前記内部空間を横方向に通過するように構成された入口開口部および出口開口部と、
を備え、
前記出口開口部は、前記磁石に塗布された前記ペーストの層厚を規定する形状および大きさを有している、塗布デバイス。

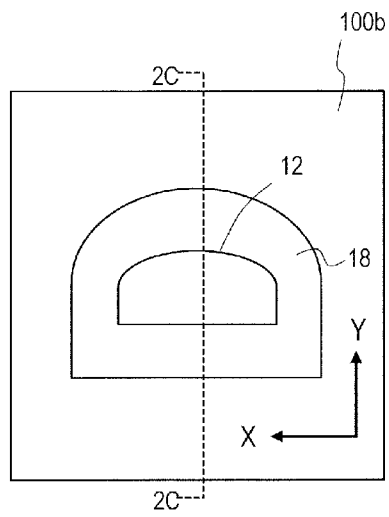
[図1]



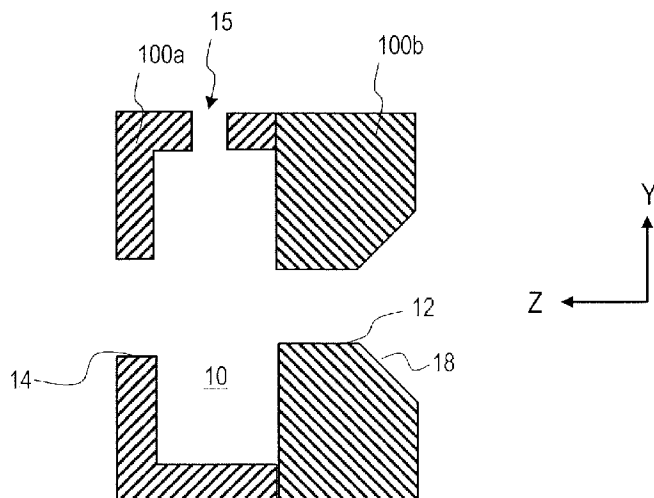
[図2A]



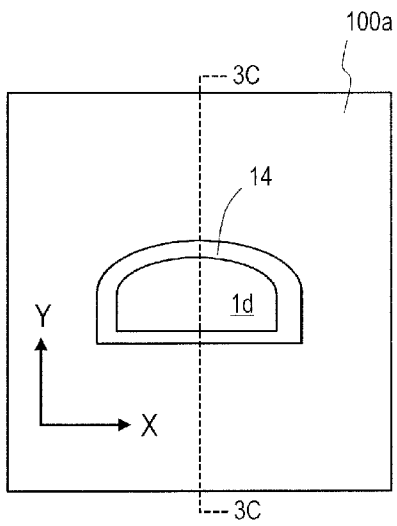
[図2B]



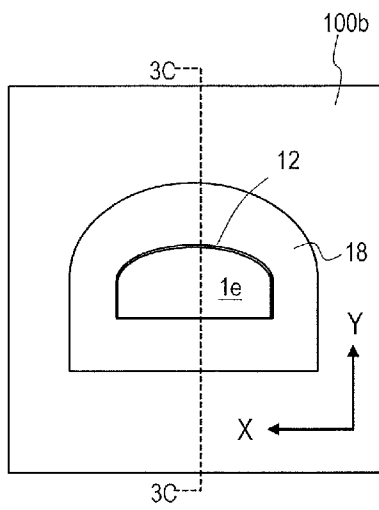
[図2C]



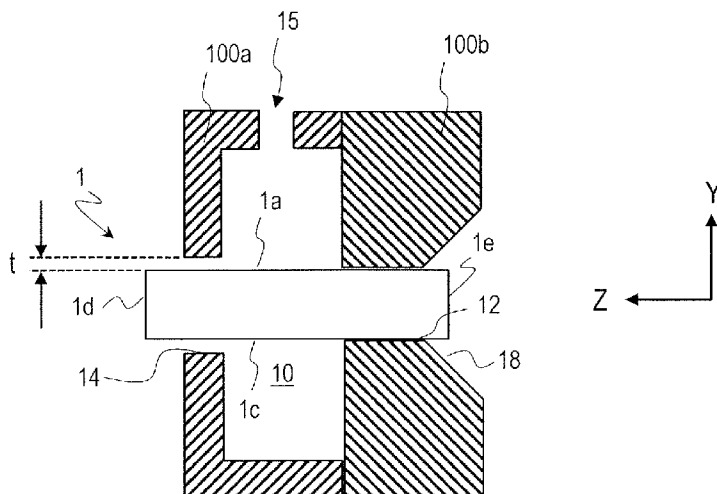
[図3A]



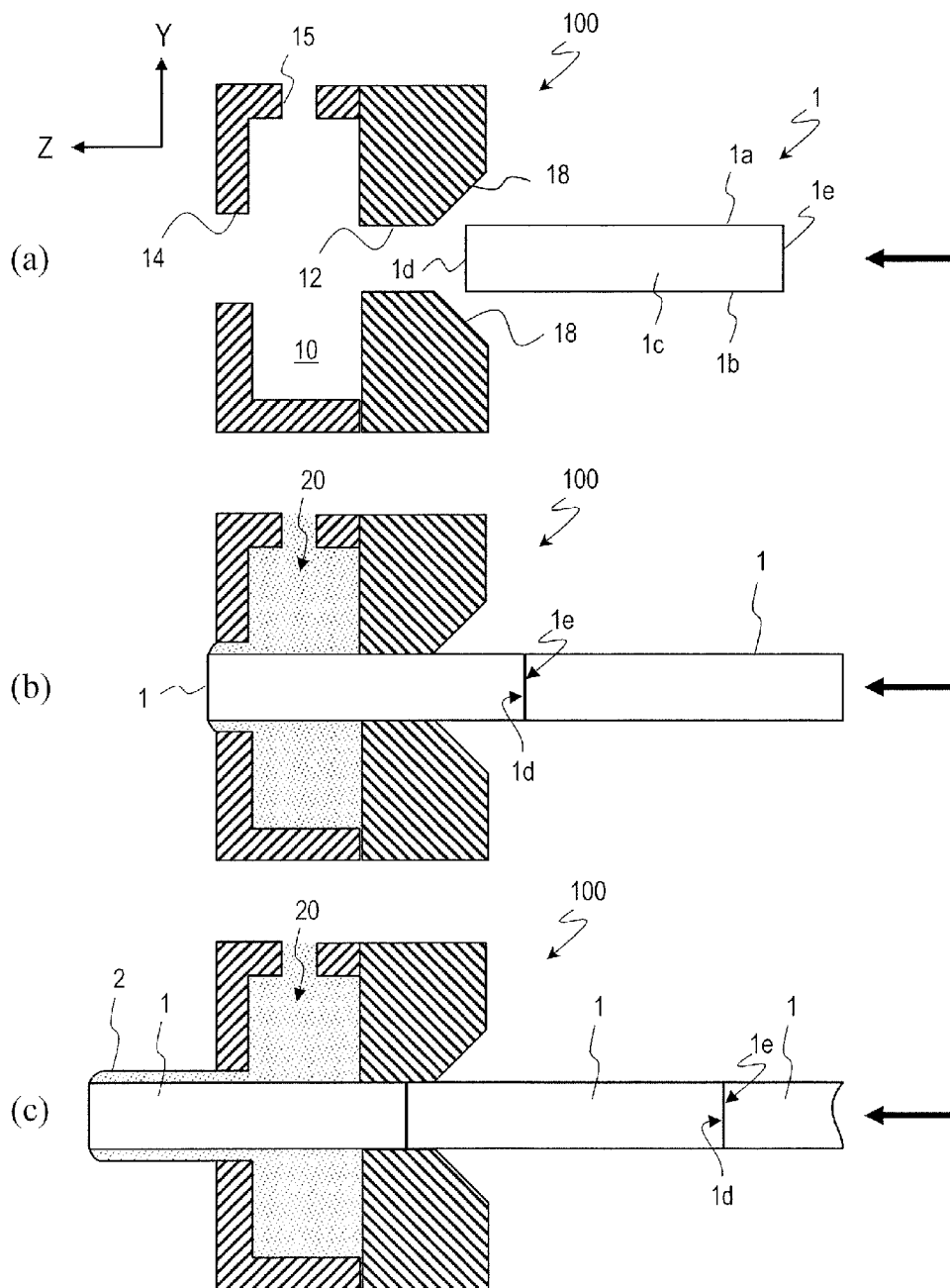
[図3B]



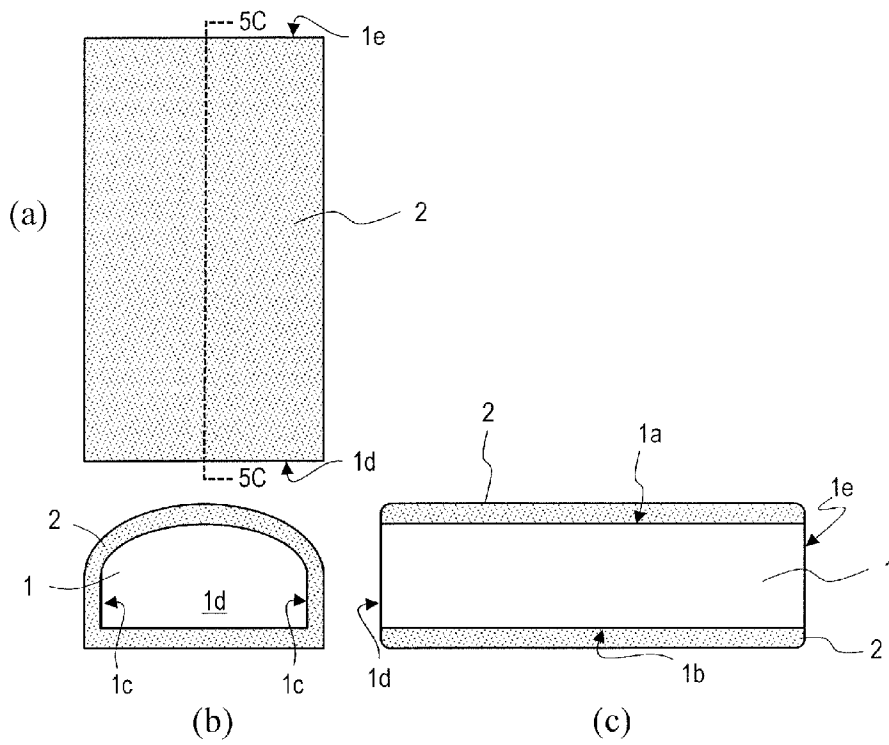
[図3C]



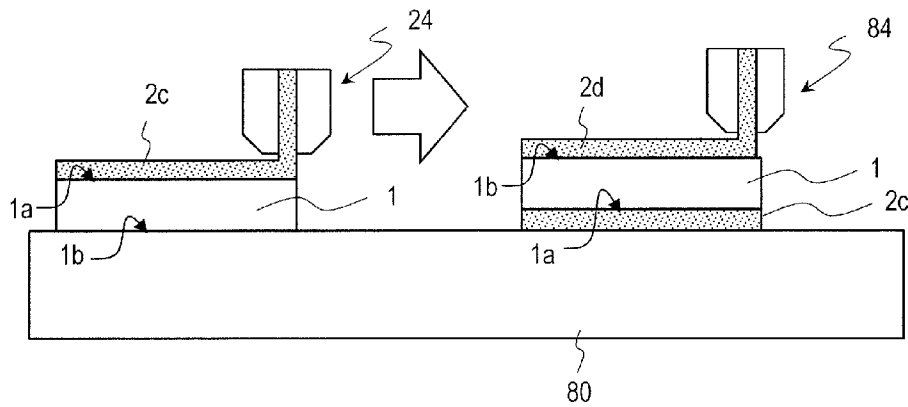
[図4]



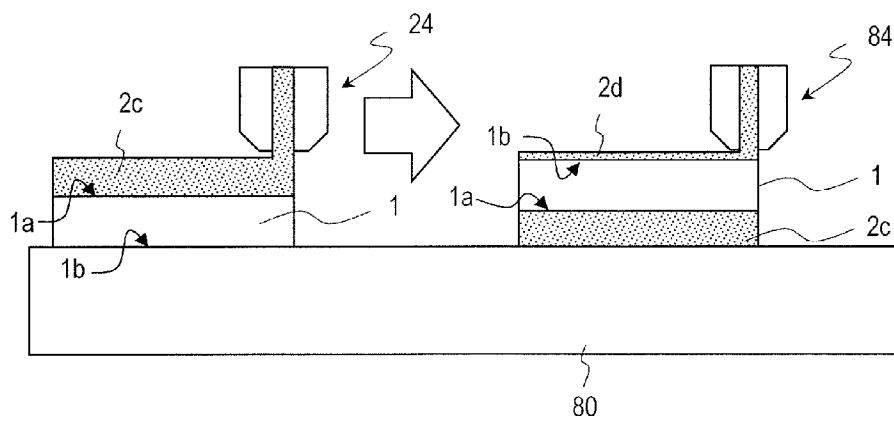
[図5]



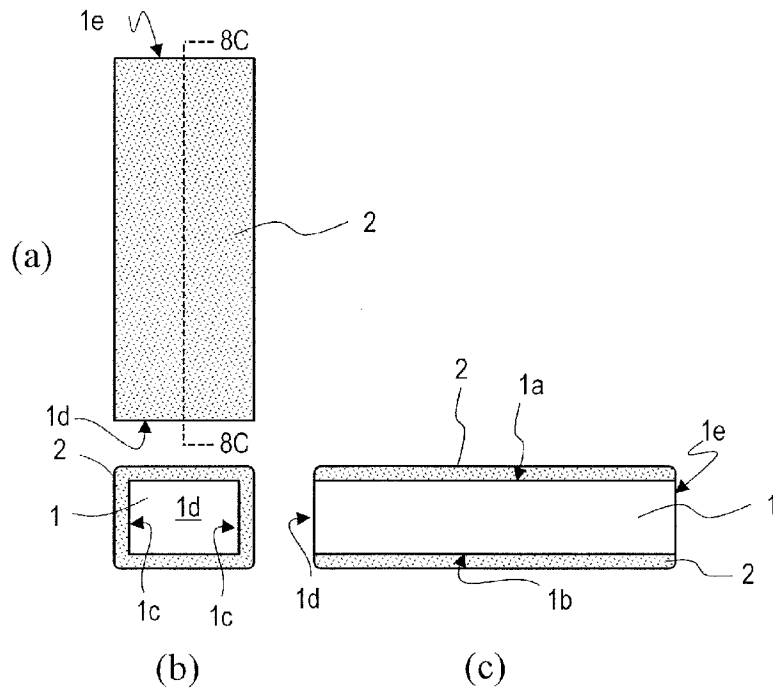
[図6]



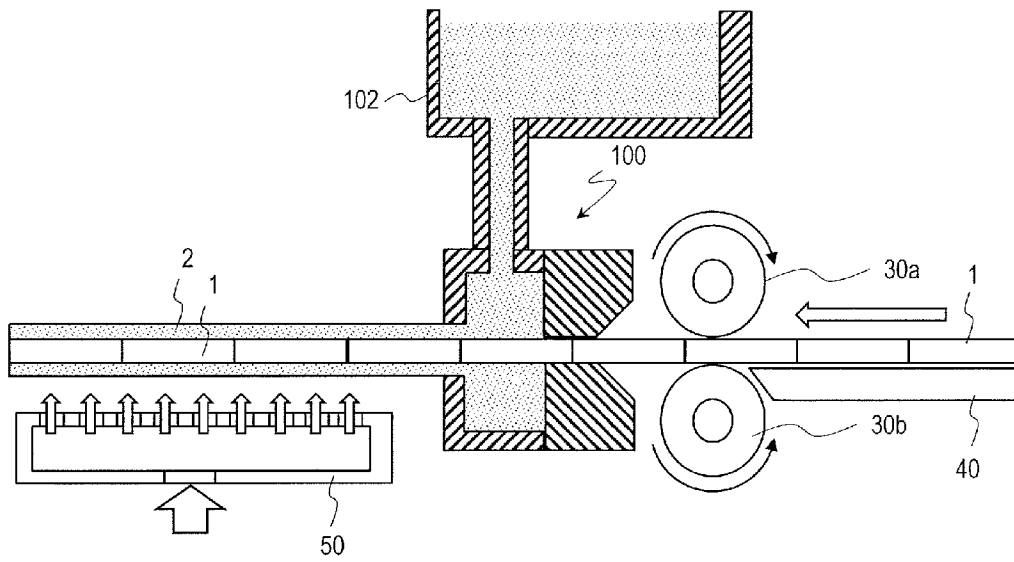
[図7]



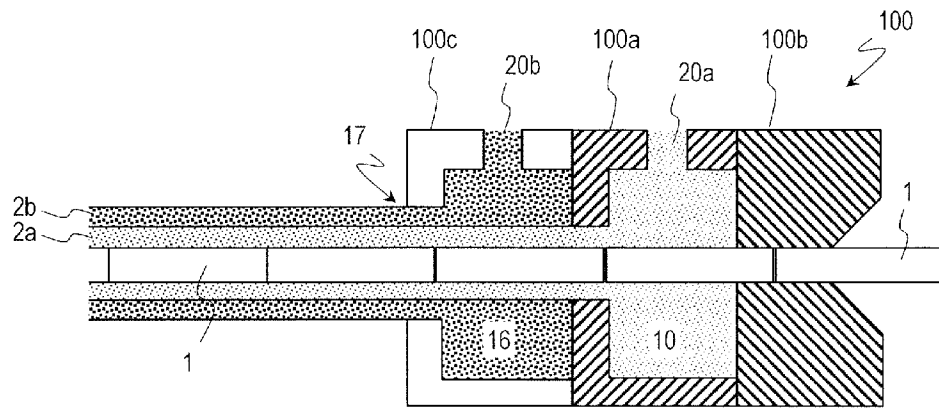
[図8]



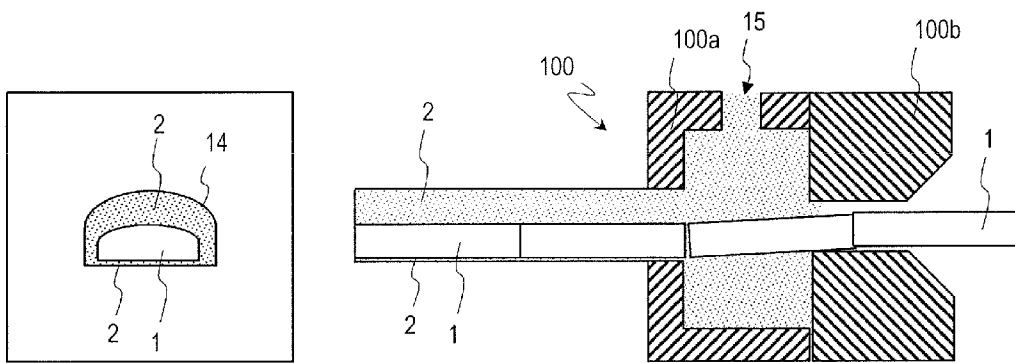
[図9]



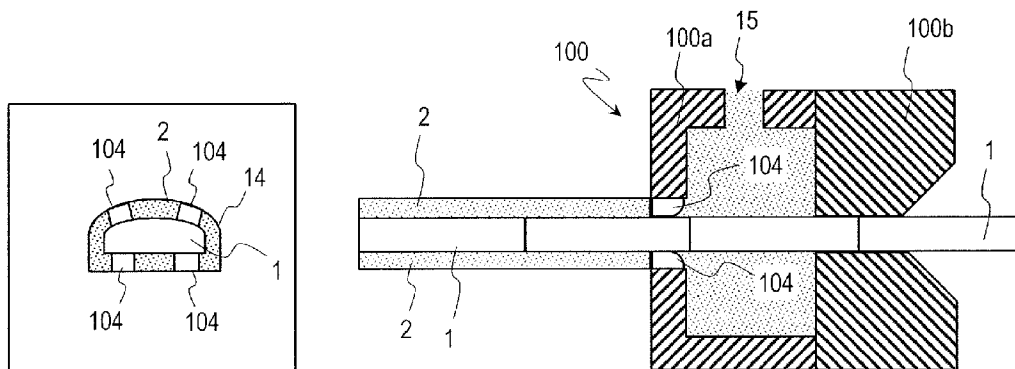
[図10]



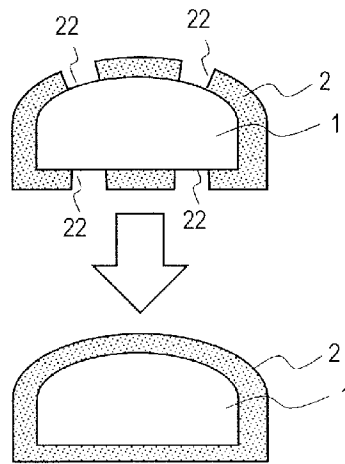
[図11]



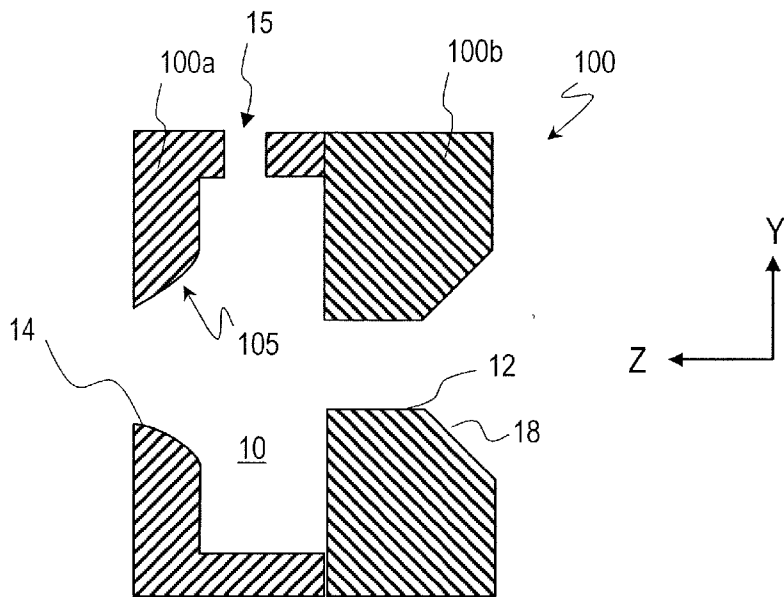
[図12]



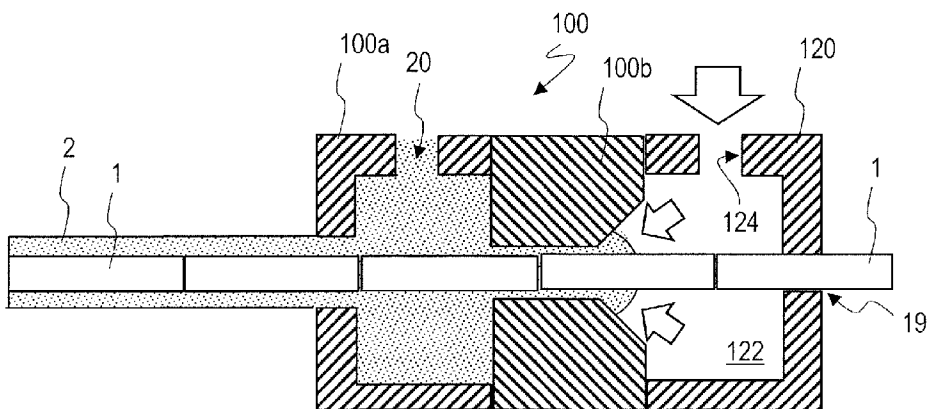
[図13]



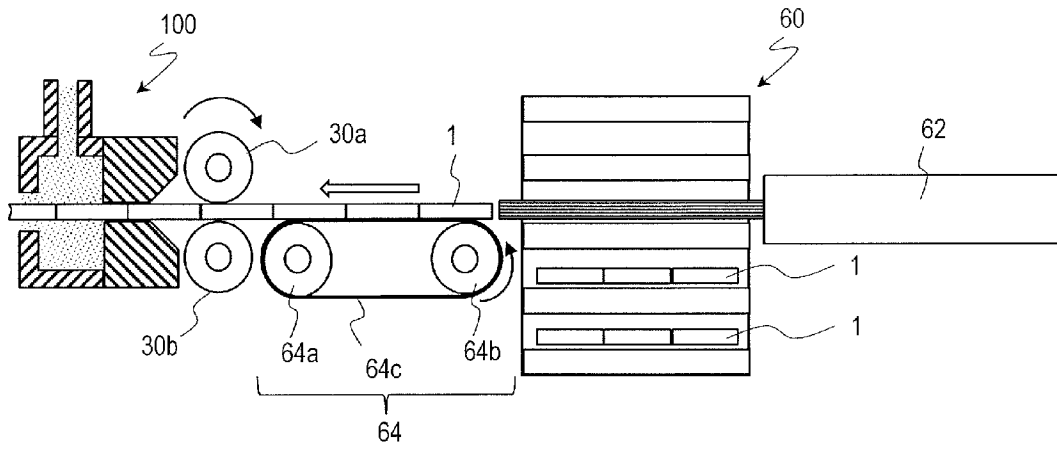
[図14]



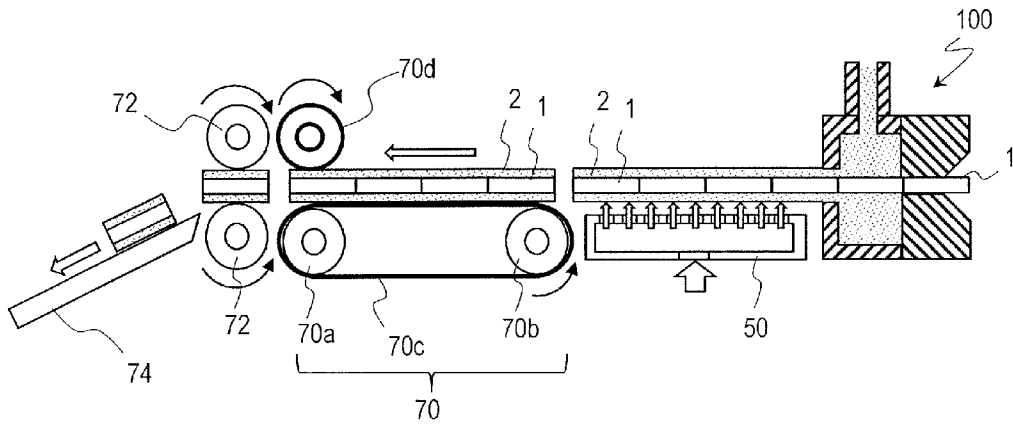
[図15]



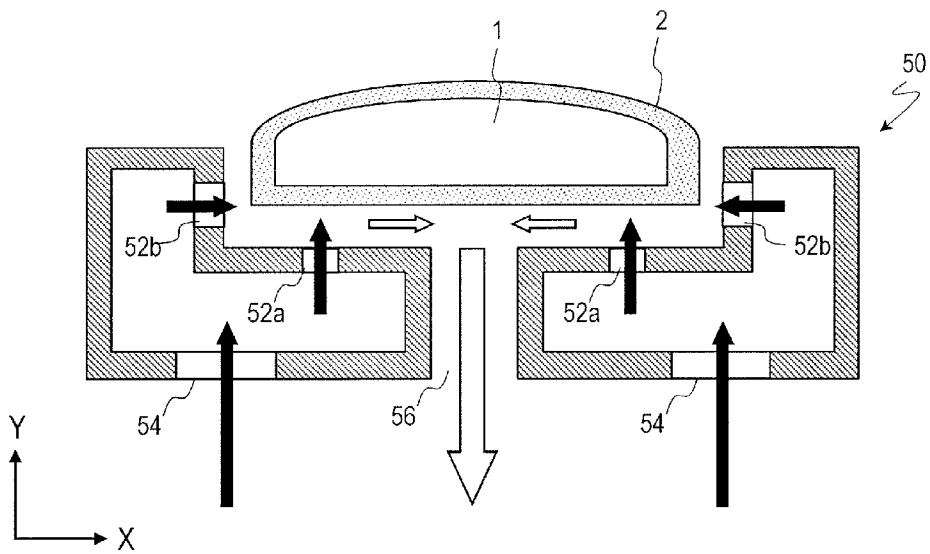
[図16]



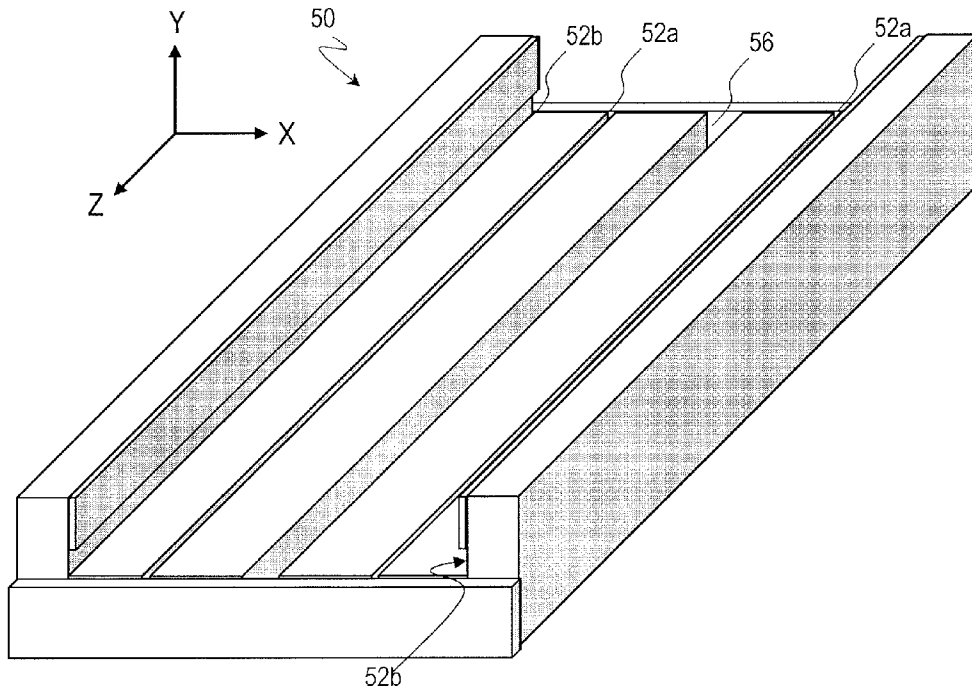
[図17]



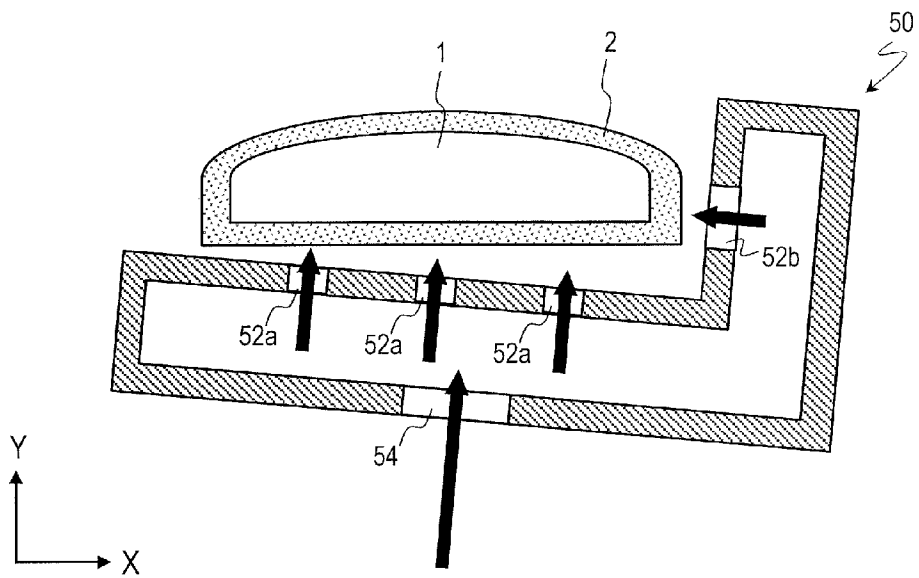
[図18]



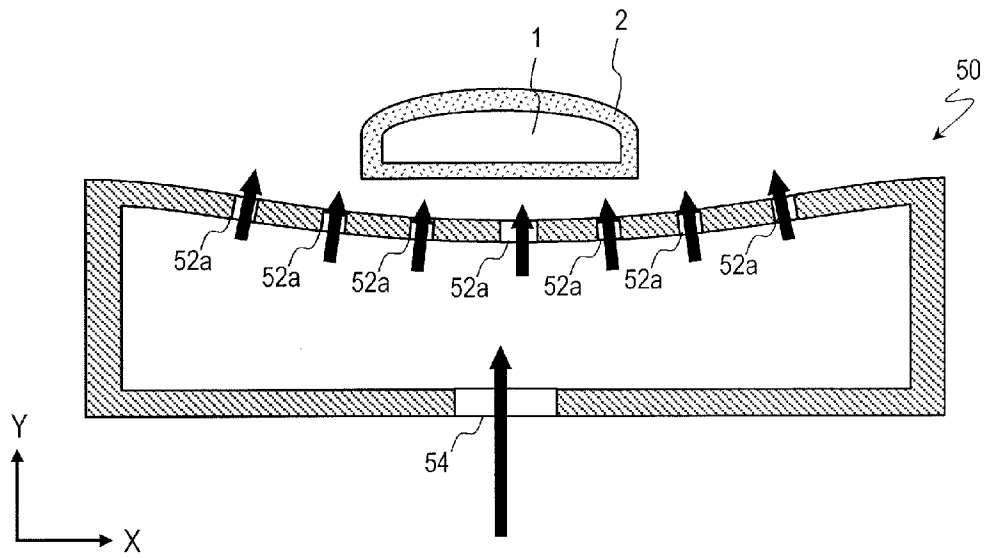
[図19]



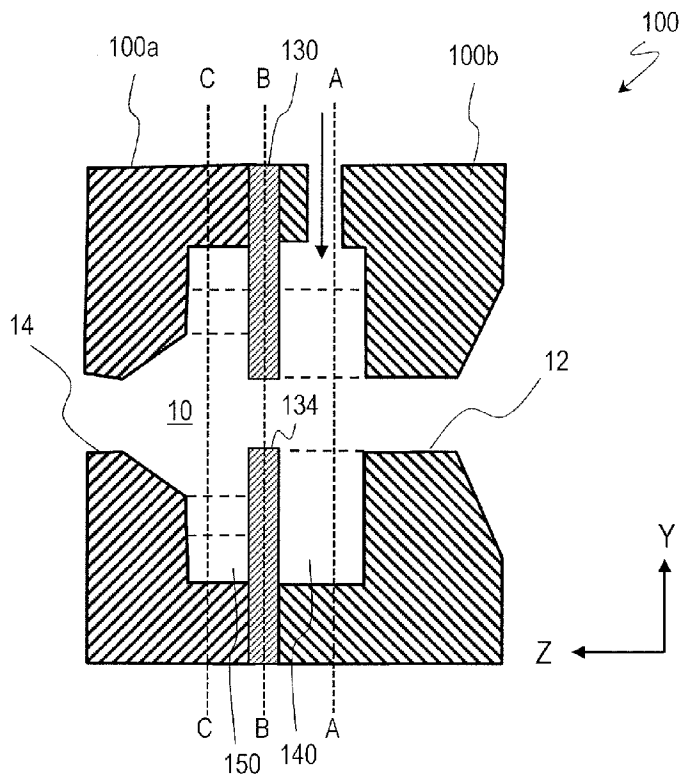
[図20]



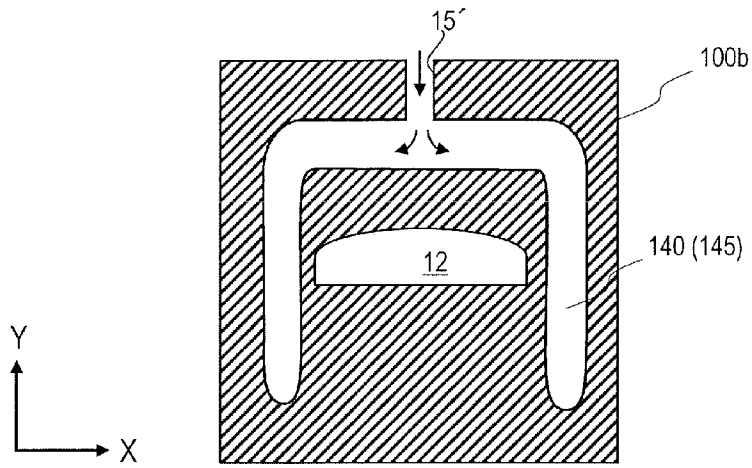
[図21]



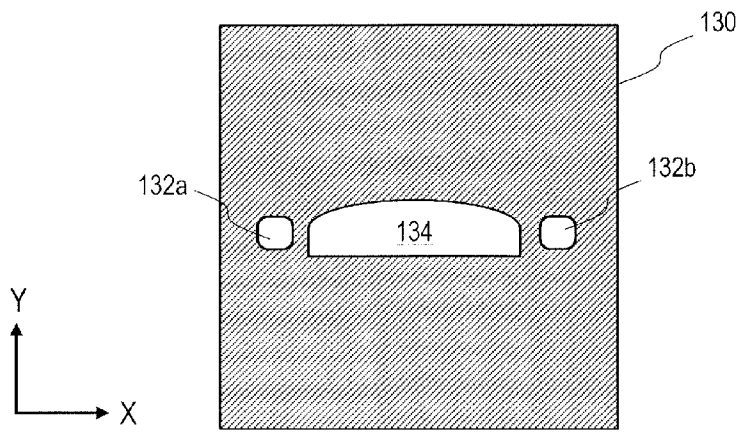
[図22]



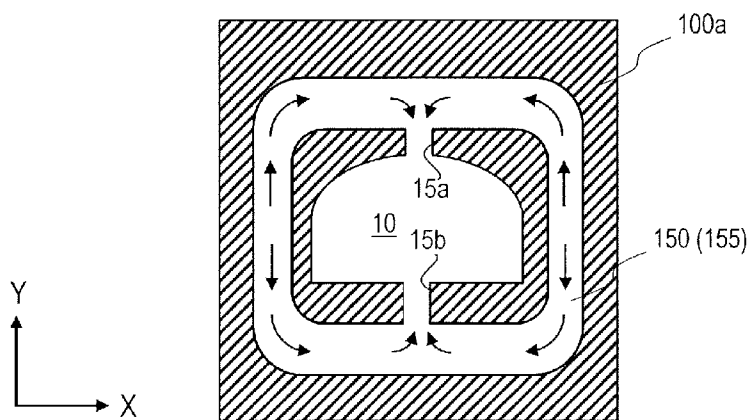
[図23A]



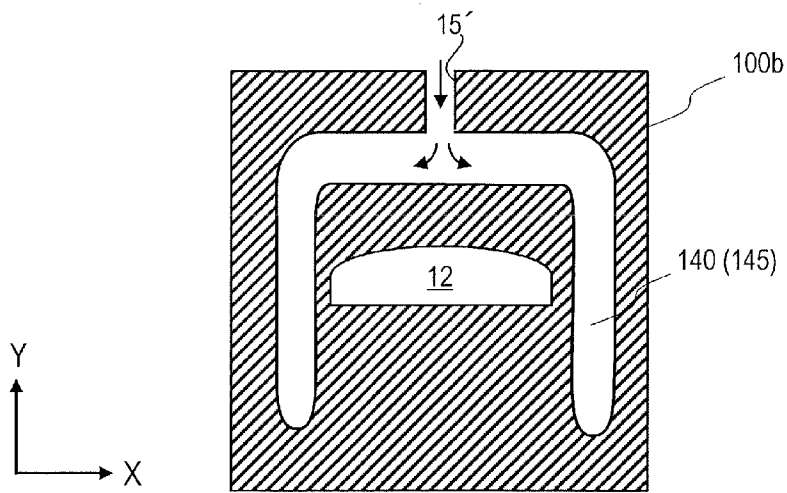
[図23B]



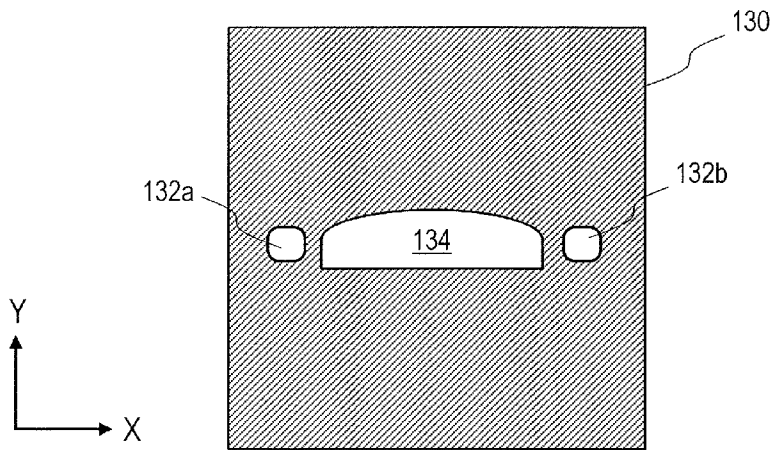
[図23C]



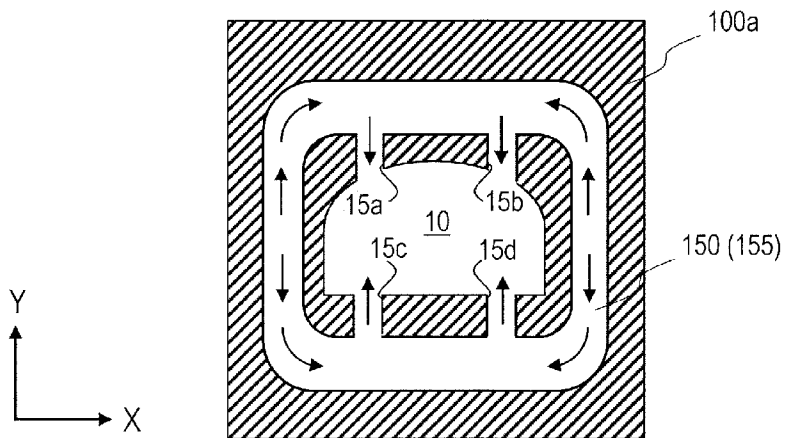
[図24A]



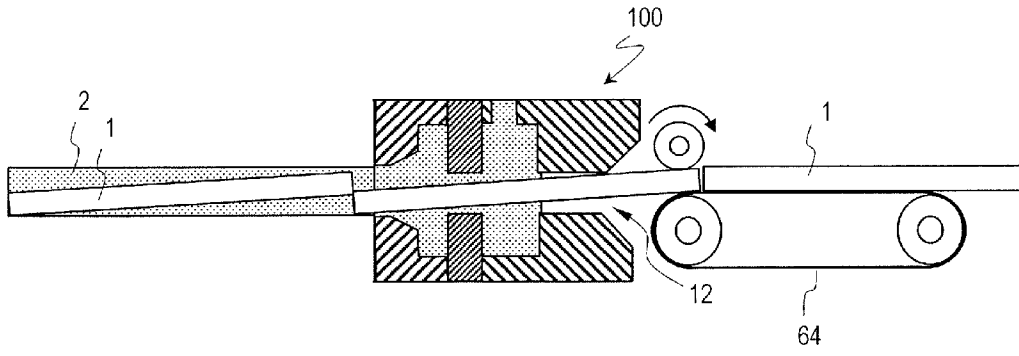
[図24B]



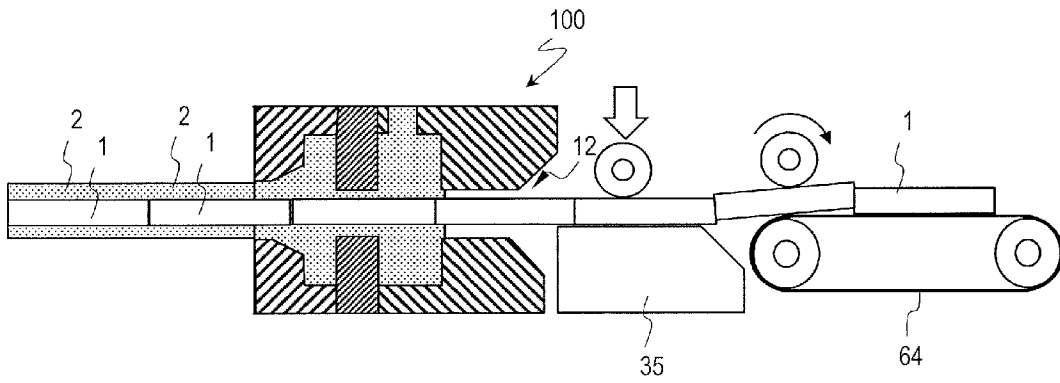
[図24C]



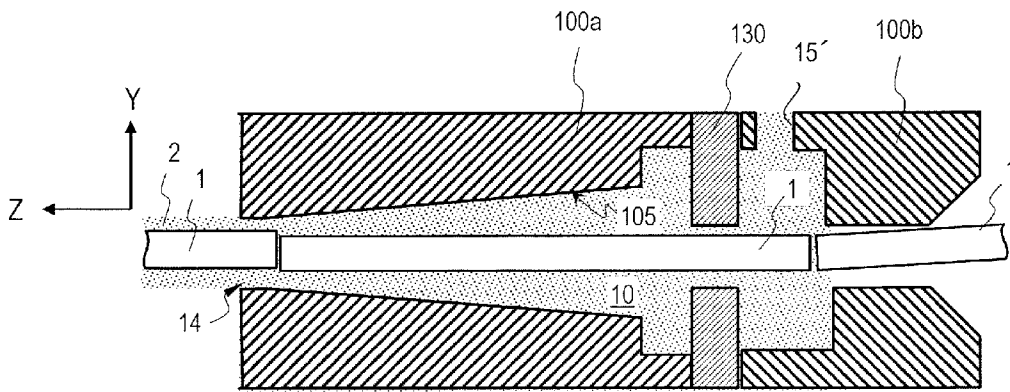
[図25]



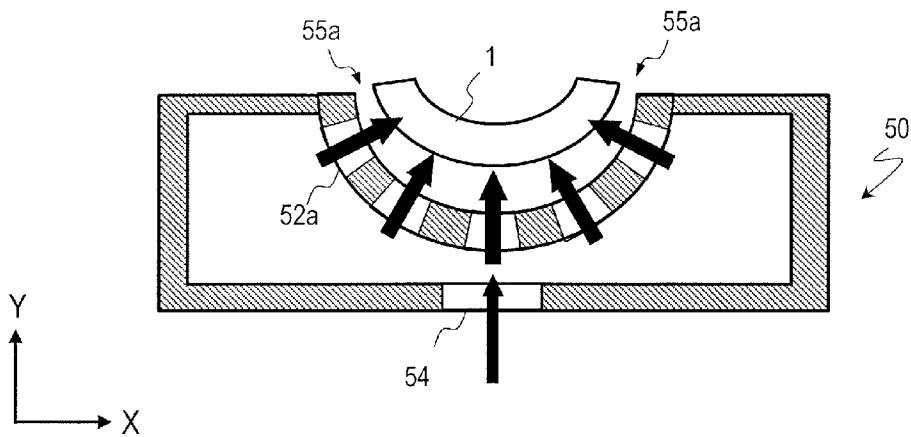
[図26]



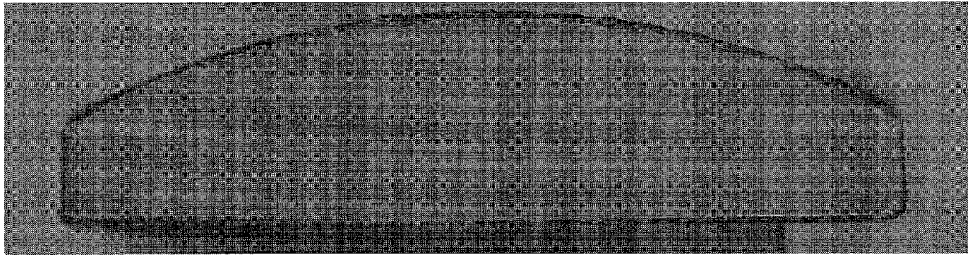
[図27]



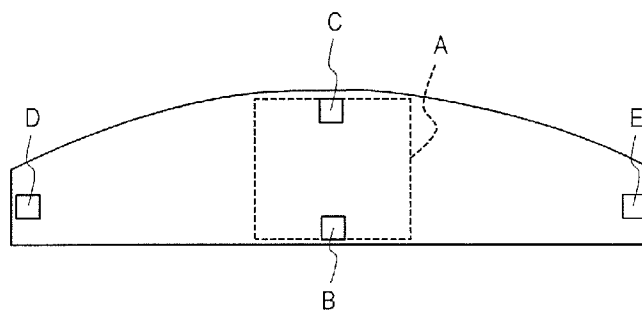
[図28]



[図29A]



[図29B]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2016/057409

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01F41/02(2006.01)i, B22F3/24(2006.01)i, C22C28/00(2006.01)i, C22C38/00(2006.01)i, H01F1/057(2006.01)i, H01F1/08(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01F41/02, B22F3/24, C22C28/00, C22C38/00, H01F1/057, H01F1/08

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2011-233663 A (Intermetallics Co., Ltd.), 17 November 2011 (17.11.2011), entire text; fig. 1 to 7 & US 2013/0040050 A1 entire text; fig. 1 to 7 & WO 2011/136223 A1 & EP 2565885 A1 & CN 102859621 A & KR 10-2013-0041809 A	1-22
A	JP 2008-284528 A (Toyota Motor Corp.), 27 November 2008 (27.11.2008), entire text; fig. 1 to 12 (Family: none)	1-22

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 28 April 2016 (28.04.16)	Date of mailing of the international search report 17 May 2016 (17.05.16)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/057409

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, A	JP 2015-65218 A (Daido Steel Co., Ltd.), 09 April 2015 (09.04.2015), entire text; fig. 1 to 4 & US 2015/0086710 A1 entire text; fig. 1 to 4 & DE 102014113865 A1 & CN 104465062 A	1-22

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01F41/02(2006.01)i, B22F3/24(2006.01)i, C22C28/00(2006.01)i, C22C38/00(2006.01)i, H01F1/057(2006.01)i, H01F1/08(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01F41/02, B22F3/24, C22C28/00, C22C38/00, H01F1/057, H01F1/08

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	J P 2011-233663 A (インターメタリックス株式会社) 2011.11.17 全文, 第1-7図 & US 2013/0040050 A1, 全文, 第1-7図 & WO 2011/136223 A1 & EP 2565885 A1 & CN 102859621 A & KR 10-2013-0041809 A	1-22

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 28.04.2016	国際調査報告の発送日 17.05.2016
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 五貫 昭一 電話番号 03-3581-1101 内線 3551

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2008-284528 A (トヨタ自動車株式会社) 2008. 11. 27 全文, 第1-12図 (ファミリーなし)	1-22
P, A	JP 2015-65218 A (大同特殊鋼株式会社) 2015. 04. 09 全文, 第1-4図 & US 2015/0086710 A1, 全文, 第1-4図 & DE 102014113865 A1 & CN 104465062 A	1-22