

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5927697号  
(P5927697)

(45) 発行日 平成28年6月1日(2016.6.1)

(24) 登録日 平成28年5月13日(2016.5.13)

(51) Int.Cl. F I  
**B 2 2 F 9/10 (2006.01)** B 2 2 F 9/10  
**B 2 2 F 9/14 (2006.01)** B 2 2 F 9/14 Z

請求項の数 3 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2012-79603 (P2012-79603)	(73) 特許権者	505374783 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 茨城県那珂郡東海村大字舟石川765番地 1
(22) 出願日	平成24年3月30日(2012.3.30)	(73) 特許権者	000140627 株式会社化研 茨城県水戸市堀町1044番地
(65) 公開番号	特開2013-209694 (P2013-209694A)	(74) 代理人	100074631 弁理士 高田 幸彦
(43) 公開日	平成25年10月10日(2013.10.10)	(72) 発明者	中道 勝 青森県上北郡六ヶ所村大字尾駸字表館2番 166 独立行政法人日本原 子力研究開発機構 青森研究開発センター 内
審査請求日	平成26年12月19日(2014.12.19)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】ベリライドペブルの製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

2個の消耗電極棒の一方を、ベリライドを構成する金属からなる中空管とその内部に封入されたベリリウム粉末とによって作成し、他方を、純ベリリウム(Be)とベリライドを構成する純金属の粉末をベリライドの目的組成比となるように混合した後、それをプラズマ放電焼結することによって作成し、作成された2個の消耗電極棒を不活性ガスが充填された密閉容器内に対向配置した後、それらを互いに回転させながらアーク放電により溶融させ、溶融物を前記消耗電極棒の回転による遠心力で飛ばし、目的組成比を有するベリライドペブルを製造することを特徴とするベリライドペブルの製造方法。

【請求項2】

請求項1に記載の製造方法において、前記ベリライドを構成する金属からなる中空管の肉厚を、ベリライドを構成する金属の化学量論比から導かれる厚みを基に設定することを特徴とするベリライドペブルの製造方法。

【請求項3】

請求項1又は2に記載の製造方法において、前記ベリライドを構成する金属がチタン(Ti)であることを特徴とするベリライドペブルの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えば、核融合炉のブランケットにおいて中性子増倍材料として使用される

、ベリライドペブル（ベリリウム金属間化合物の微小球）の製造方法に係り、特に、2個の対向配置された棒状電極の一方あるいは両方を回転させながら、アーク放電によってペブルを作製する、ベリライドペブルの製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

核融合炉では、プラズマ内で生じたエネルギーの多くが高速中性子の形で炉壁に衝突してくる。これらの高速中性子を受け止め、そのエネルギーを熱に変えて発電のエネルギーとするための炉壁構造として、ブランケットと呼ばれるモジュール構造が採用されている。これらブランケット・モジュールは燃料の生産を行うトリチウム増殖域とそれを取り囲む中性子増倍材であるベリリウム金属間化合物（ベリライド）の構造体から構成されている。

10

【0003】

このような構造体を構成するベリライドは、体積膨張や割れ防止などの様々な理由から微小球（ペブル）の形状をなしている。このようなベリライドペブルを製造する手段の一つとして回転電極法が広く知られている。これら従来の回転電極法では、例えば、特許文献1や2に開示されているように、ベリリウム金属からなる消耗電極棒と、タングステン等のアーク溶融電極棒を用い、両電極間にアーク放電を発生させ消耗電極棒を溶融させつつ、消耗電極棒を回転させてベリリウムの溶滴を飛散させて球状粒子を製造している。

【0004】

そして、特許文献3には、上述のような回転電極法で使用する消耗電極棒を、所望の金属間化合物の組成比率となるようにベリリウムと各種金属とを混ぜ、これらを溶融・凝固させたのち、所定の形状に機械加工することによって作製する方法が開示されている。

20

【0005】

さらに、特許文献4には、回転電極法で使用する2個の電極棒が共に消耗電極棒であることが記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特許第2604869号公報

【特許文献2】特許第2648655号公報

【特許文献3】特許第3882114号公報

【特許文献4】特開60-70110号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかし、これまでのベリライドペブルの製造方法では、ベリライドからなる不純物の少ない消耗電極自体を製作することが困難であったこと、及びアーク溶融電極として、例えば、タングステン（W）などから構成される電極を使用するため、このアーク溶融電極を構成する成分が、製造されるベリライドペブルに捕獲され、高純度のベリライドペブルを得ることが困難であった。

40

【0008】

本発明の目的は、従来のベリライドペブルの製造方法に比較して、高純度で、大量のベリライドペブルを短時間に製造することができる、ベリライドペブルの製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

高純度で、大量のベリライドペブルを短時間に製造するため、本発明では、まず、従来のように、ペブルにとって不純物となる成分を含むアーク溶融電極棒を使用することなく、互いに対向配置される2個の電極棒を共に消耗電極棒とし、互いに回転するそれら2個の消耗電極棒がアーク溶融され、融合されて、所望の成分から成るベリライドペブルが得

50

られるようになっている。

【0010】

より具体的には、本発明の一つの観点にかかるベリライドペブルの製造方法は、2個の消耗電極棒の一方を、ベリライドを構成する金属からなる中空管とその内部に封入されたベリリウム粉末から作成し、他方を純ベリリウム(Be)とベリライドを構成する純金属の粉末をベリライドの目的組成比となるように混合した後、プラズマ放電焼結することによって作成し、作成された2個の消耗電極棒を不活性ガスが充填された密閉容器内に対向配置した後、それらを互いに回転させながらアーク放電により溶融させ、溶融物を前記消耗電極棒の回転による遠心力で飛ばし、目的組成比を有するベリライドペブルを製造することを特徴とする。

10

【発明の効果】

【0011】

本発明のベリライドペブルの製造方法では、アーク放電を発生させる2個の棒状電極を共にベリライド電極とし、それらがアーク溶融され、融合されることでベリライドの目的組成比を有するベリライドペブルが作製されるため、従来技術のように片側の電極をアーク放電溶融用の熱電子放出のための異質材料の専用電極とすることがないため、アーク溶融電極を構成する異質成分がベリライドペブルに混入される恐れがない。従って、高純度のベリライドペブルを得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明に係るベリライドペブルの製造方法の概略構成図である。

【図2】図1に示された製造方法で使用される消耗電極棒の構造説明図である。

【図3】図2の消耗電極棒を製造するためのプラズマ焼結法の概略説明図である。

【図4】粉末冶金法で作製したベリライド消耗電極と、プラズマ焼結法で作製したベリライド消耗電極についての耐熱衝撃性試験の結果を示す写真である。

【図5】従来の製造方法と本発明に係る製造方法で作製されたベリライドペブルの顕微鏡写真である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

本発明に係るベリライドペブルの製造方法は、基本的に、2個の消耗電極棒の一方を、ベリライドを構成する金属からなる中空管とその内部に封入されたベリリウム粉末とによって作成し、他方を純ベリリウム(Be)とベリライドを構成する純金属の粉末をベリライドの目的組成比となるように混合した後、プラズマ放電焼結することによって作成し、作成された2個の消耗電極棒を不活性ガスが充填された密閉容器内に対向配置した後、それらを互いに回転させながらアーク放電により溶融させ、溶融物を前記消耗電極棒の回転による遠心力で飛ばし、目的組成比を有するベリライドペブルを製造する

20

30

【0014】

これらの消耗電極棒としては、例えば、(1)2個の前記消耗電極棒の一方が、ベリライドを構成する金属からなる中空管とその内部に封入されたベリリウム粉末から成り、他方が純ベリリウム(Be)とベリライドを構成する純金属の粉末をベリライドの目的組成比となるように混合したもの、(2)2個の前記消耗電極棒の一方が、ベリライドを構成する金属からなる中空管とその内部に封入されたベリリウム粉末から成り、他方が各材料の融点よりも低い温度で合成した低温合成ベリライド粉末をプラズマ放電焼結したベリライドロッドであるもの、を使用できる。

40

【0015】

また、2個の消耗電極棒を同一の構造とすることもできる。例えば、(3)2個の前記消耗電極棒の両方が、ベリライドを構成する金属からなる中空管とその内部に封入されたベリリウム粉末から成るもの、(4)2個の前記消耗電極棒の両方が、純ベリリウム(Be)とベリライドを構成する純金属の粉末を、ベリライドの目的組成比となるように混合し、プラズマ放電焼結したベリライドロッドであっても良い。

50

## 【0016】

前記金属製中空管の肉厚は、ベリライドを構成する金属の化学量論比から導かれる厚みに基づいて設計することができる。中空管の材質としては、チタン(Ti)が好ましい。

## 【0017】

以下、添付図面を参照しながら、ベリライドを構成する金属をチタン(Ti)とした、本発明に係るベリライドペブルの製造方法の一実施例について詳細に説明する。

## 【0018】

図1を参照する。図1は、対向する2個の電極を消耗電極棒として使用する場合の例である。参照符号11は、ヘリウムガス(He)が充填された密閉容器であり、12a及び12bは棒状の消耗電極である。2個の消耗電極棒12a及び12bは、それぞれ電極チャック13a及び13bによって固定されている。また、2個の消耗電極棒12a及び12bの先端は、それらが互いに一定の距離だけ離隔した状態で、前記密閉容器内11の中心部において対向して配置されている。2個の前記電極チャック13a及び13bは、順方向あるいは反対方向に回転するように構成されている。このため、前記密閉容器11の外部に、前記電極チャック13a及び13bを回転させるための電極駆動ユニット14a及び14bが設けられている。この電極駆動ユニット14a及び14bは、必要に応じて前記電極チャック13a及び13bをそれらの軸方向に移動させ、2個の前記消耗電極棒12a及び12bの先端間の間隔を一定に保持する機能も有している。

## 【0019】

図1は、説明の都合上、本発明の製造方法を実施するためのベリライドペブルの製造装置を模式的に表している。2個の消耗電極棒12a,12bは互いに垂直方向に対向配置されており、作製されたベリライドペブルは、密閉容器11の側壁に沿って、重力によって下方の消耗12b側に集められ、密閉容器11の外部に取り出される。

## 【0020】

次に、上述の構成を有するベリライドペブルの製造装置の動作について説明する。2本の消耗電極棒12aおよび12bを、それぞれ電極チャック13a及び13bで取付けた後、密閉容器をHeガスで置換および密閉し、外部に設けられた電極駆動ユニット14a及び14bにより、前記電極チャック13a及び13bを互いに反対方向に回転させ、消耗電極棒12aおよび12bに最大300Aの直流電流を印加する。それにより、これらの消耗電極棒間にアーク放電を起こさせ、消耗電極棒12a及び12bを溶融させる。溶融させられた消耗電極棒12a及び12bは、球状の液滴として飛散し、飛散した液滴球は、ベリライドペブル回収部15で回収される。消耗電極棒12a及び12bは溶融消耗するため、電極駆動ユニット14a及び14bにより前記電極チャック13a及び13bを軸方向に移動させ、常にアーク放電部10の距離を一定に保ちながら連続してベリライドペブルを製造する。

## 【0021】

ここでは、アーク溶融のための熱電子は、電極棒部においてマイナス極(-)からプラス極(+)へ流れ、その熱電子の衝撃により電極棒が加熱され部分溶融し、回転により溶融物が飛び散って表面張力でペブル化しながらHeガス雰囲気中で冷却され、その結果ベリライドペブルが作製されるようになっている。そのため、電極の電位は、図1に示めされているように交番電位「 $\pm E$ 」となっている。

## 【0022】

図2を参照し、図1に示されたベリライドペブルの製造装置において使用された消耗電極の構造について説明する。消耗電極棒12aは、図示のように、チタン(Ti)製中空管にベリリウム(Be)粉末を充填して、封入したものである。図1に示されたベリライドペブルの製造装置に使用する消耗電極棒の直径が5mm~20mmとすると、 $Be_{12}Ti$ の化学量論組成を得る場合、消耗電極棒の直径5mmでは、このチタン製中空管の肉厚は0.125mmとなり、直径20mmでは肉厚は0.5mmとなる。

## 【0023】

消耗電極棒12bは、原材料となる、純Beと純Tiの粉末をベリライドの目的組成比となるように混合した混合粉末を成形・焼成したベリライド焼結ロッドである。各材料の融点よりも低い温度で合成した低温合成ベリライド粉末も使用可能である。

10

20

30

40

50

## 【0024】

低温合成ベリライド粉末は、Be（融点1285）粉末、Ti（融点1660）粉末を秤量（目的組成比）して混合後に、不活性雰囲気（例えばArガス）中で、昇温速度200 /hで各金属粉末の融点以下である1200まで加熱し、24時間保持後12時間で室温まで冷却した後、粒子融着を無くすため粉碎して作製する。

## 【0025】

消耗電極棒12a、12bは、上述のように純Beと純Tiの粉末をベリライドの目的組成比となるように混合したものを成型し、焼結したベリライドロッドか、各材料の融点よりも低い温度で合成した低温合成ベリライド粉末を成形・焼結したベリライドロッドであるが、その焼結は、一般的な電気炉等で行なっても良いが、プラズマ放電焼結法によって焼結することが望ましい。

10

## 【0026】

上述の消耗電極棒のように、Ti製中空管にBe粉末を充填して封入したのからなる電極棒や、純Beと純Tiの粉末をベリライドの目的組成比となるように混合したのもしくは、各材料の融点よりも低い温度で合成した低温合成ベリライド粉末をプラズマ放電焼結したベリライドロッドによる消耗電極棒は、従来のアーク溶融により製作される消耗電極棒に比べ、材料溶融時の不純物混入がないことから、高純度なベリライドペブルが得られ、しかも高温溶融法で作製したベリライドロッドに比べ熱衝撃性に優れているため、アーク放電による加熱衝撃でも破壊されにくい。

## 【0027】

次に、図3を参照して、プラズマ焼結法による消耗電極棒の作製について説明する。図3は、カーボン製のパンチ&ダイに原料粉末を入れ、1軸圧縮した状態を示している。原料粉末は、このパンチ&ダイ装置内で、成型され、パルス電流によりその表面を活性化された後、直流電流加熱により焼結される。このようなプラズマ焼結法で作製したベリライド消耗電極は、以下に説明するように優れた耐熱衝撃性を有する。

20

## 【0028】

図4に、粉末冶金法で作製したベリライド消耗電極と、図1に示されたベリライドペブルの製造装置において使用された、プラズマ焼結法で作製したベリライド消耗電極についての耐熱衝撃性試験の結果を示す。図4の(a)が粉末冶金法で作製したBe<sub>12</sub>Ti消耗電極の結果を示す写真で、(b)がプラズマ焼結法で作製したBe<sub>12</sub>Ti消耗電極の試験結果である。これらの写真から、粉末冶金法で作製した電極棒はアーク放電時の熱衝撃で破壊されるが、プラズマ焼結法で作製した電極棒は熱衝撃にも耐えていることがわかる。なお、これらの実験では対向配置電極棒として従来のタングステン(W)製のアーク溶融電極棒を使用した。

30

## 【0029】

次に、図5に、従来の製造方法と本発明に係る製造方法で作製されたベリライドペブルの顕微鏡写真を示す。図5の(a)は従来方法で製造したベリライドペブルの顕微鏡写真で、(b)は本発明に係る上述の方法で製造したベリライドペブルの顕微鏡写真である。

## 【0030】

以上、本発明の最適な実施例について説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。例えば、消耗電極棒の断面は、必ずしも円形でなくても、多角形、星型など点対称の形状であれば良い。また、消耗電極間で常時アーク放電を発生させるため、上述の実施例では目視で観察し手動で電極駆動ユニットのモータ回転を制御しているが、カメラで監視するか、両電極間の間隔にて変化するアーク放電電流値や電圧値のようなパラメータにて、モータ回転を自動制御しても良いことは明らかであるし、そのような置き換えは当業者にとって自明の範囲である。

40

## 【符号の説明】

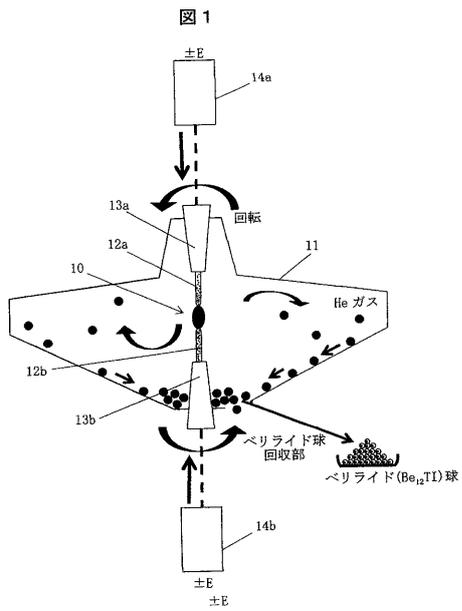
## 【0031】

11 密閉容器  
12a, 12b 消耗電極棒

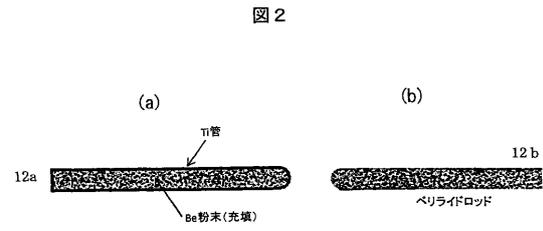
50

13a, 13b 電極チャック  
14a, 14b 電極駆動ユニット

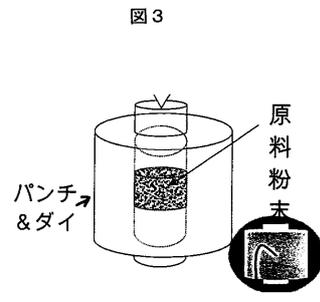
【図1】



【図2】



【図3】



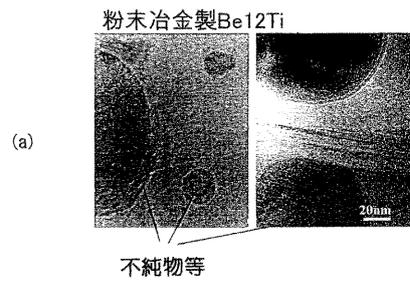
【 図 4 】

図 4



【 図 5 】

図 5



## フロントページの続き

- (72)発明者 米原 和男  
青森県上北郡六ヶ所村大字尾駁字表館2番166  
機構 青森研究開発センター内 独立行政法人日本原子力研究開発
- (72)発明者 中村 和  
茨城県水戸市堀町1044 株式会社化研内
- (72)発明者 名取 ゆり  
茨城県水戸市堀町1044 株式会社化研内
- (72)発明者 蓼沼 克嘉  
茨城県水戸市堀町1044 株式会社化研内

審査官 田中 永一

- (56)参考文献 特開昭60-070110(JP,A)  
特開2004-093269(JP,A)  
特開昭62-067106(JP,A)  
特公昭59-020723(JP,B2)  
特開平03-253521(JP,A)  
特開2003-302484(JP,A)  
特開昭51-016262(JP,A)  
特開昭61-073844(JP,A)  
特開平06-228675(JP,A)  
米国特許第03150970(US,A)  
米国特許第03172196(US,A)  
特開2010-019608(JP,A)

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B22F 9/00 - 9/30  
G21B 1/00  
C22B 9/20