

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3882114号

(P3882114)

(45) 発行日 平成19年2月14日(2007.2.14)

(24) 登録日 平成18年11月24日(2006.11.24)

(51) Int. Cl. F I  
**G 2 1 B 1/13 (2006.01)** G 2 1 B 1/00 N  
**C 2 2 C 25/00 (2006.01)** C 2 2 C 25/00

請求項の数 2 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2002-253284 (P2002-253284)	(73) 特許権者	000004064 日本碍子株式会社 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号
(22) 出願日	平成14年8月30日(2002.8.30)	(74) 代理人	100072051 弁理士 杉村 興作
(65) 公開番号	特開2004-93269 (P2004-93269A)	(73) 特許権者	505374783 独立行政法人 日本原子力研究開発機構 茨城県那珂郡東海村村松4番地49
(43) 公開日	平成16年3月25日(2004.3.25)	(74) 代理人	100072051 弁理士 杉村 興作
審査請求日	平成17年3月4日(2005.3.4)	(74) 代理人	100107227 弁理士 藤谷 史朗
		(74) 代理人	100114292 弁理士 来間 清志

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 核融合炉用中性子増倍材

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

化学式：Be - x at% M

但し、Mは、Ti、V、Mo、W、Zr、NbおよびTaのうちから選んだいずれか一種

 $7.7 < x < 10.5$  (at%)

で表わされる、Be<sub>12</sub>MまたはBe<sub>13</sub>MとBe<sub>17</sub>M<sub>2</sub>とのベリリウム金属間化合物の複合相からなることを特徴とする核融合炉用中性子増倍材。

【請求項2】

組織が鑄造組織で、かつ結晶粒径が50 μm以下であることを特徴とする請求項1記載の核融合炉用中性子増倍材。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、高温特性および延性に優れた核融合炉用中性子増倍材に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来、核融合炉用中性子増倍材としては、金属ベリリウム微小球が標準材料とされてきた。というのは、この金属ベリリウム微小球は、中性子反応断面積が大きく、中性子の数を増やす中性子増倍効果に優れることから、効果的に中性子を増やすことができ、その結果増倍した中性子により燃料であるトリチウムを増殖させることができるため、核融合燃料

サイクルの有利な向上が望めるからである。

【0003】

ところが、近年、核融合炉の発電効率を高め、寿命を延長するために、中性子増倍材をより高温（600～900）、かつより高い中性子照射環境下（～20000 appmHe）で使用する計画が進められている。

しかしながら、上記した金属ベリリウムは、従来の使用環境下では問題はないものの、より高温での使用に際しては種々の問題が取り沙汰されている。

【0004】

すなわち、金属ベリリウムは、従来考えられていた400程度までの使用温度、3000 appmHe程度までの中性子照射環境では、核融合炉用中性子増倍材として問題はないけれども、使用温度が600以上になると冷却管破断等の事故発生時に高温水蒸気により酸化されて水素を生成して、水素爆発等の危険性が高まり、またスエリングが大きくなって、容器の破損等を生じるおそれがあり、かような高温発電ブランケットの中性子増倍材としては使用できない可能性がある。

【0005】

従って、現在、高温で使用できる中性子増倍材の開発が進められている。

このような高温で使用できる中性子増倍材としては、ベリリウム金属間化合物が注目を浴びている。

例えば、ベリリウム金属間化合物の一つである $Be_{12}Ti$ は、600の蒸気と接しても酸化せず、またブランケット構造材であるSUS316LNとの両立性試験においても600ではほとんど反応せず、さらに800における反応層厚さは金属ベリリウムの約1/10であり、化学的に極めて安定であることが判明している。また、中性子照射試験でのスエリング特性についての調査結果からも、 $Be_{12}Ti$ は金属ベリリウムに比べてスエリング量が格段に小さいことが解明されている。

このように、ベリリウム金属間化合物は、高温での中性子増倍材として優れた特性を有することが明らかになってきている。

【0006】

しかしながら、ベリリウム金属間化合物は、室温において脆いため、その加工や取り扱いが極めて難しいところに問題を残していた。

すなわち、機械加工中に欠け等の欠陥が発生し易いことから、歩留りや生産性の低下を余儀なくされ、また微小球とした後も割れが発生しないように、その取り扱いに細心の注意が必要なことから、その実使用が危ぶまれていた。

【0007】

ところで、発明者らは先に、上記の問題を解決するものとして、少なくとも一種のベリリウム金属間化合物相と金属相との複合相からなる核融合炉用中性子増倍材を開発し、特願2002-105742号明細書において開示した。

上記の技術によれば、金属相がベリリウム金属間化合物相間にバインダーとして介在するため、ベリリウム金属間化合物相同士の固着強度が増大し、その結果、中性子増倍材全体の延性が向上して、加工性や取り扱い性の有利な改善を図ることができる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記の技術では、金属相を介在させたことに起因する特性劣化が免れ得ない。すなわち、僅かとはいえ金属相を介在させると、その分、中性子増倍効果が低下するだけでなく、スエリング特性、構造材との反応性、蒸気との反応性およびトリチウムインベントリ等の金属間化合物の特性劣化が生じる。

また、金属相として、金属ベリリウムを用いたとしても、Be相に起因して、上記したところと同様な金属間化合物の特性劣化が生じる。

本発明は、上記の問題を有利に解決するもので、バインダーとしての金属相の必要なしに、ベリリウム金属間化合物相のみで延性を有利に改善した、高温特性および延性に優れた核融合炉用中性子増倍材を提案することを目的とする。

10

20

30

40

50

## 【0009】

## 【課題を解決するための手段】

さて、発明者らは、上記の問題を解決すべく鋭意研究を重ねた結果、単味のベリリウム金属間化合物を使用した場合に比べて、特定組成比のベリリウム金属間化合物同士を組み合わせた場合に、延性が有利に改善されることの知見を得た。

本発明は、上記の知見に由来するものである。

## 【0010】

すなわち、本発明は、

化学式： $\text{Be} - x \text{ at} \% \text{ M}$

但し、Mは、Ti, V, Mo, W, Zr, NbおよびTaのうちから選んだいずれか一種

$7.7 < x < 10.5$  (at%)

で表わされる、 $\text{Be}_{12}\text{M}$ または $\text{Be}_{13}\text{M}$ と $\text{Be}_{17}\text{M}_2$ とのベリリウム金属間化合物の複合相からなることを特徴とする核融合炉用中性子増倍材である。

## 【0011】

本発明において、中性子増倍材の組織は、鑄造組織で、かつ結晶粒径が $50 \mu\text{m}$ 以下であることが有利に適合する。

## 【0012】

## 【発明の実施の形態】

以下、本発明の解明経緯について説明する。

前述したとおり、バインダーとして金属相を用いた場合には、中性子増倍効果の低下など金属間化合物の特性劣化が生じる。

そこで、発明者らは、金属相に代わるバインダーとして種々の材料の組合せ実験を行っていたところ、かようなバインダーとして別種の材料を用いなくても、特定組成のベリリウム金属間化合物同士を組み合わせることによって、延性の改善に関し、望外の成果を得ることができた。

すなわち、 $\text{Be}_{12}\text{Ti}$ と $\text{Be}_{17}\text{Ti}_2$ とが混在する比率でベリリウムとチタンを混合し、これを鑄造してその延性を調べたところ、 $\text{Be}_{12}\text{Ti}$ や $\text{Be}_{17}\text{Ti}_2$ 単味の場合に比べて、延性が格段に向上することが究明されたのである。

## 【0013】

ここに、上記した $\text{Be}_{12}\text{Ti}$ と $\text{Be}_{17}\text{Ti}_2$ の配合比率については特に制限されず、一方が僅かでも混在していると、その分、延性が向上することが判明したが、特に好ましくは $\text{Be}_{12}\text{Ti}$ と $\text{Be}_{17}\text{Ti}_2$ の比が $1 : 0.5 \sim 2.0$ の場合、 $\text{Be} - x \text{ at} \% \text{ Ti}$ で示すとxが $8.8 \sim 9.9 \text{ at} \%$ の場合にとりわけ良好な結果が得られることが判明した。

## 【0014】

次に、発明者らは、Ti以外の成分についても、同様な効果が得られるのではないかと考え、種々の成分についても検討した結果、V, Mo, W, Zr, NbおよびTaが、Tiと同様な効果があることが判明した。

そして、これらの元素を用いる場合も、Tiの場合と同様、 $\text{Be}_{12}\text{M}$ および $\text{Be}_{17}\text{M}_2$ （但し、MはV, Mo, W, NbおよびTaのうちから選んだいずれか一種）で示されるベリリウム金属間化合物（特にMがZrの場合は、 $\text{Be}_{13}\text{Zr}$ と $\text{Be}_{17}\text{Zr}_2$ で示されるベリリウム金属間化合物）が混在する比率とすれば良いことが究明された。

## 【0015】

さらに、かようなベリリウム金属間化合物の複合相の組織については、鑄造組織で、しかもその結晶粒径を $50 \mu\text{m}$ 以下とくに好ましくは $20 \mu\text{m}$ 以下とすることが、強度をはじめとして、延性の面で一層有利であることが判明した。

## 【0016】

なお、本発明に従う中性子増倍材微小球の大きさは、平均粒径で $0.1 \sim 3.0 \text{ mm}$ 程度とすることが望ましい。またその真球度は、粒径 $\times 0.5 \text{ mm}$ 以下とすることが好ましい。

さらに、中性子増倍材中のFe濃度は $0.4 \text{ mass} \%$ 以下程度、また酸化物の混入量は $5.0 \text{ mass} \%$ 以下程度とすることが有利である。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 7 】

次に、本発明に従う中性子増倍材の製造方法について説明する。

本発明では、中性子増倍材の製造方法を特に限定することはないが、従来から公知の回転電極法や粉末冶金法が特に有利に適合する。

## ・ 回転電極法

回転電極法によって本発明の中性子増倍材微小球を製造するには、まず消耗電極を作製する必要がある。この消耗電極を作製するには、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、これらを溶解し、鑄造したのち、所定の電極形状に機械加工する。

ついで、得られた消耗電極を用い、回転電極法によって、中性子増倍材微小球を製造する 10

。なお、この際の製造条件は特に限定されることはないが、好適条件について述べると次のとおりである。

- ・ 雰囲気ガス圧：500～12000 Torr
- ・ アーク電流：100～1000 A
- ・ 消耗電極の回転速度：4～1000 m/s

## 【 0 0 1 8 】

## ・ 粉末冶金法

この方法によって中性子増倍材微小球を製造するには、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、これらを溶解し、鑄造したのち、粉碎し、得られた粉末を球形の金型等に装填し、冷間プレス等で球形に圧粉成形したのち、真空雰囲気中で焼結して微小球とする。 20

## 【 0 0 1 9 】

## 【 実施例 】

表1に示す組成になるベリリウム金属間化合物の複合相からなる中性子増倍材を、回転電極法または粉末冶金法によって製造した。なお、得られた中性子増倍材の粒径は0.7～1.3 mmである。

かくして得られた各中性子増倍材の中性子増倍効果、耐スエリング性、延性、構造材との反応性、蒸気との反応性、トリチウムインベントリおよび熱伝導率について調べた結果を、表2に示す。 30

## 【 0 0 2 0 】

なお、各特性は次のようにして評価した。

## ・ 中性子増倍効果

中性子増倍効果は、構成元素の持つ中性子反応断面積、中性子吸収断面積および中性子捕獲断面積の値を考慮して、従来の金属ベリリウム微小球を用いた場合の中性子増倍効果を1.0とし、それとの相対比で評価した。

## ・ 耐スエリング性

700 で、材料中に生成するHe量が4000ppmとなる中性子照射条件において、スエリング量を判断するものとし、スエリングの程度に応じ、小（スエリング量：0.5 vol%以下）、中（スエリング量：0.5 vol%超、3.0 vol%以下）、大（スエリング量：3.0 vol%超） 40

で評価した。なお、スエリング量は体積変化率（ $V/V \times 100(\%)$ ）で求めた。

## ・ 延性

室温において、直径が約1mmの微小球に対し、圧縮速度：0.2 mm/minの条件で圧縮試験を行い、かかる圧縮試験後の形態によって評価した。

## 【 0 0 2 1 】

## ・ 構造材との反応性

6 NのHe雰囲気中にて、ステンレス鋼を、800～1000 hの反応性試験に供し、その際の構造材との反応の程度に応じ、小（反応層：50 μm以下）、中（反応層：50 μm超、200 μm以下）、大（反応層：200 μm超）で評価した。

## ・ 蒸気との反応性

800 において、水蒸気との反応試験を行い、その際の水蒸気との反応の程度に応じ、小（ほとんど酸化しない）、中（酸化する）、大（酸化により破壊する）で評価した。

・トリチウムインベントリ

スエリングの実験を行った試料について、昇温脱離法により測定したトリチウム量でトリチウムインベントリを評価した。すなわち、トリチウムインベントリの程度に応じ、小（極めて少ない）、中（幾分生じる）、大（かなり生じる）で評価した。

【 0 0 2 2 】

【表 1】

No.	金属間化合物の組合せ	組成比率 x * (at%)	製造方法	結晶粒径 ( $\mu\text{m}$ )
1	Be <sub>12</sub> Ti と Be <sub>17</sub> Ti <sub>2</sub>	8	回転電極法	30
2	"	8	H I P	20
3	"	9	回転電極法	10
4	"	9	H I P	20
5	"	10	回転電極法	20
6	"	10	H I P	30
7	Be <sub>12</sub> V と Be <sub>17</sub> V <sub>2</sub>	8	回転電極法	35
8	"	9	回転電極法	25
9	"	9	H I P	35
10	"	10	回転電極法	25
11	Be <sub>12</sub> Mo と Be <sub>17</sub> Mo <sub>2</sub>	8	回転電極法	30
12	"	9	回転電極法	20
13	"	9	H I P	25
14	"	10	回転電極法	25
15	Be <sub>12</sub> W と Be <sub>17</sub> W <sub>2</sub>	8	回転電極法	35
16	"	9	回転電極法	25
17	"	9	H I P	35
18	"	10	回転電極法	25
19	Be <sub>13</sub> Zr と Be <sub>17</sub> Zr <sub>2</sub>	8	回転電極法	35
20	"	9	回転電極法	20
21	"	9	H I P	25
22	"	10	回転電極法	40
23	Be <sub>12</sub> Nb と Be <sub>17</sub> Nb <sub>2</sub>	8	回転電極法	30
24	"	9	回転電極法	20
25	"	9	H I P	25
26	"	10	回転電極法	25
27	Be <sub>12</sub> Ta と Be <sub>17</sub> Ta <sub>2</sub>	8	回転電極法	35
28	"	9	回転電極法	25
29	"	9	H I P	25
30	"	10	回転電極法	35
31	Be <sub>12</sub> Ti のみ	7.7	回転電極法	35
32	Be <sub>12</sub> Ti と Be	5	回転電極法	50
33	Be のみ	—	回転電極法	100

\* Be-x at%Mとしてのx (at%)

【 0 0 2 3 】

【表 2】

No.	中性子増倍効果	耐スエリング性	延性*	構造材との反応性	蒸気との反応性	トリチウムインベントリ	熱伝導率 (W/m・K)	備考
1	0.89	小	○	小	小	小	40	発明例
2	0.89	"	○	"	"	"	40	"
3	0.87	"	◎	"	"	"	40	"
4	0.87	"	○	"	"	"	40	"
5	0.85	"	○	"	"	"	40	"
6	0.85	"	○	"	"	"	40	"
7	0.89	"	○	"	"	"	40	"
8	0.87	"	◎	"	"	"	40	"
9	0.87	"	○	"	"	"	40	"
10	0.85	"	○	"	"	"	40	"
11	0.89	"	○	"	"	"	50	"
12	0.87	"	◎	"	"	"	50	"
13	0.87	"	○	"	"	"	50	"
14	0.85	"	○	"	"	"	50	"
15	0.89	"	○	"	"	"	70	"
16	0.87	"	◎	"	"	"	70	"
17	0.87	"	○	"	"	"	70	"
18	0.85	"	○	"	"	"	70	"
19	0.89	"	○	"	"	"	70	"
20	0.87	"	◎	"	"	"	70	"
21	0.87	"	○	"	"	"	70	"
22	0.85	"	○	"	"	"	70	"
23	0.89	"	○	"	"	"	50	"
24	0.87	"	◎	"	"	"	50	"
25	0.87	"	○	"	"	"	50	"
26	0.85	"	○	"	"	"	50	"
27	0.89	"	○	"	"	"	60	"
28	0.87	"	◎	"	"	"	60	"
29	0.87	"	○	"	"	"	60	"
30	0.85	"	○	"	"	"	60	"
31	0.90	小	×	小	小	小	40	比較例
32	0.92	"	○	中	中	中	55	"
33	1.00	大	◎	大	大	大	170	従来例

\*1) 圧縮試験後の形態

◎: 変形 (ひび割れ無し) ○: 変形 (ひび割れ微小) △: 変形 (ひび割れ小)

×: 破壊

#### 【0024】

表2に示したとおり、発明例はいずれも、延性および耐スエリング性に優れ、また高い中性子増倍効果を有し、さらにトリチウムインベントリが小さく、構造材との反応性および蒸気との反応性も低い。

これに対し、No.31の比較例は、Be<sub>12</sub>Ti単味であるため、延性に乏しい。

また、No.32の比較例は、ベリリウム金属間化合物相間にバインダーとして金属相が介在

10

20

30

40

50

しているため、延性や耐スエリング性に優れ、またトリチウムインベントリが小さく、構造材との反応性および蒸気との反応性も低いけれども、中性子増倍効果に劣っている。さらに、No.33の従来例は、金属ベリリウムが100%であるため、中性子増倍効果や延性には優れるものの、スエリングやトリチウムインベントリが大きく、また構造材との反応性および蒸気との反応性も大きい。

【 0 0 2 5 】

【 発 明 の 効 果 】

かくして、本発明によれば、高温での特性に優れるのは言うまでもなく、加工性が良好で歩留りや生産性に優れ、さらには取り扱いも極めて容易な、核融合炉用中性子増倍材を安定して得ることができる。

---

フロントページの続き

- (72)発明者 河村 弘  
茨城県東茨城郡大洗町成田町字新堀3607番地 日本原子力研究所 大洗研究所内
- (72)発明者 内田 宗範  
愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内
- (72)発明者 宇田 実  
愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内
- (72)発明者 伊藤 義夫  
愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号 日本碍子株式会社内

審査官 中塚 直樹

- (56)参考文献 特開平06-094866(JP,A)  
特開平04-259891(JP,A)  
特開昭61-194389(JP,A)  
特開平03-282359(JP,A)  
特開平06-228673(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G21B 1/13

C22C 25/00