

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-93270

(P2004-93270A)

(43) 公開日 平成16年3月25日(2004.3.25)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

G 2 1 B 1/00

C 2 2 C 25/00

F I

G 2 1 B 1/00

C 2 2 C 25/00

テーマコード (参考)

N

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号	特願2002-253285 (P2002-253285)	(71) 出願人	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)	(71) 出願人	000004097 日本原子力研究所 千葉県柏市末広町14番1号
		(74) 代理人	100072051 弁理士 杉村 興作
		(72) 発明者	河村 弘 茨城県東茨城郡大洗町成田町字新堀360 7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

(54) 【発明の名称】 核融合炉プラズマ対向材料用ベリリウム金属間化合物

(57) 【要約】

【課題】スパッタリングによる損耗が小さく、かつプラズマに混入した際の放射損失が小さく、さらにトリチウムの吸収も少ない核融合炉用のプラズマ対向材料を提供する。

【解決手段】化学式： $Be - x a t \% M$

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

$2.0 \times 15.0$  (at%)

で表わされる成分組成とする。

【選択図】 なし

## 【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  
 $2.0 < x < 15.0 (at\%)$

で表わされる核融合炉プラズマ対向材料用ベリリウム金属間化合物。

## 【請求項2】

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、 $Be_{1.2}M$ または $Be_{1.3}M$ と $Be_{1.7}M_2$ 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プラズマ対向材料用ベリリウム金属間化合物  
 。

10

## 【請求項3】

結晶粒径が $30 \mu m$ 以下であることを特徴とする請求項1または2記載の核融合炉プラ  
 ズマ対向材料用ベリリウム金属間化合物。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、核融合炉プラズマ対向材料用ベリリウム金属間化合  
 物に関するものである。

20

## 【0002】

【従来の技術】核融合炉のプラズマ対向機器とは、“プラズマ”に直接“対向”している  
 “機器”の総称で、第一壁、ダイバータなど、プラズマを取り囲む壁を構成している機器  
 を指す。これらのプラズマ対向機器の役割は、プラズマからの放射熱ならびに中性粒子（  
 原子、分子）、荷電粒子（イオン、電子）および中性子などから、プラズマ対向機器の外  
 側にあるブランケットや真空容器などを保護することにある。

【0003】プラズマ対向機器の基本構造は、プラズマに面する側から、プラズマよりの  
 粒子や熱から表面を保護する「プラズマ対向材料」、その背面で熱を除去する「冷却構造  
 」および全体を支える「支持構造」からなる。

【0004】プラズマ対向材料は、プラズマからの熱や粒子によって表面が損耗する。す  
 なわち、粒子の持つ運動エネルギーによって叩き出される物理スパッタリング、および入  
 射する粒子とプラズマ対向材料が化学的に反応して損耗する化学スパッタリングによって  
 損耗する。さらに、粒子の持つ熱的なエネルギーがプラズマ対向材料表面で熱として放出  
 され、この熱が過大な場合には表面が熔融、蒸発して損耗を生じる。

30

このようにして損耗したプラズマ対向材料表面の粒子の一部は、イオンとなってプラズマ  
 中に不純物として混入し、プラズマの放射損失を増大させ、甚だしい場合には核融合反応  
 が停止してしまう。

【0005】上記したような弊害を回避するため、プラズマ対向材料には、次のような特  
 性が要求される。

(1) スパッタリング損耗が小さい。

40

(2) プラズマに混入しても放射損失が小さい。

【0006】物理スパッタリングによる損耗を小さくするという観点からは、タングステ  
 ンや炭素材料のような融点が高い材料が好ましく、また化学スパッタリングの観点からは  
 タングステンのような水素と反応しない材料が有利に適合する。これらの観点から、タン  
 グステンや炭素材料が、入射エネルギーの大きいダイバータに用いられている。

一方、放射損失の観点からは、放射損失パワーが不純物原子の原子量に比例するので、原  
 子番号の小さい材料が有利である。この観点から、第一壁にはベリリウム（原子番号9）  
 が使用されている。また、炭素材料（原子番号12）も候補材料である。

さらに、核融合反応の原料であるトリチウムをプラズマ対向材料が吸収すると原料のロス  
 ばかりでなく、解体時の放射化物の取り扱いにも問題が生じる。この観点からは、タング

50

ステンが優れていて、ベリリウム、炭素材料の順であった。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上述したように、既存の材料では、プラズマ対向材料の機能について一長一短があり、その性質を活かした使い分けをしているのが現状であった。

しかしながら、融点が高く、化学的にも安定で、トリチウムの吸収も少ない材料があれば、全てのプラズマ対向材料に使用可能であり、核融合炉の性能を向上させることが可能であることから、その開発が待たれていた。

【0008】本発明は、上記の要望に有利に応えるもので、スパッタリングによる損耗が小さく、かつプラズマに混入した際の放射損失が小さく、さらにはトリチウムの吸収も少ないという必要特性を全て兼ね備える核融合炉用のプラズマ対向材料を提案することを目的とする。

10

【0009】

【課題を解決するための手段】さて、発明者らは、上記の目的を達成すべく鋭意研究を重ねた結果、従来のように金属ベリリウム単味ではなく、金属ベリリウムとベリリウム金属間化合物の複合相、あるいはベリリウム金属間化合物同士の複合相とすることが、所期した目的の達成に関し、極めて有効であ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、本発明の要旨構成は次のとおりである。

20

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

$2.0 < x < 15.0 (at \%)$

で表わされる核融合炉プラズマ対向材料用ベリリウム金属間化合物。

【0011】2. 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、 $Be_{1.2}M$ または $Be_{1.3}M$ と $Be_{1.7}M_2$ 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プラズマ対向材料用ベリリウム金属間化合物

。

【0012】3. 結晶粒径が $30 \mu m$ 以下であることを特徴とする請求項1または2記載の核融合炉プラズマ対向材料用ベリリウム金属間化合物。

30

【0013】

【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、金属ベリリウムは、放射損失の面では優れているものの、スパッタリングおよびトリチウム吸収性の面で問題を残していた。

そこで、発明者らは、この点を解決すべく数多くの実験と検討を重ねた結果、金属ベリリウムとベリリウム金属間化合物の複合相、あるいはベリリウム金属間化合物同士の複合相とすることによって、スパッタリングおよびトリチウム吸収性を有利に解決できることを見出し、本発明を完成させるに至ったのである。

【0014】すなわち、 $Be - x at \% M$ で示される化学式において、 $x = 2.0 \sim 15.0 at \%$ の割合でM元素を含有させることによって、従来の問題を有利に解決したのである。

40

ここに、M元素としては、Ti, V, Mo, W, Zr, NbおよびTaのうちから選んだいずれか一種が有利に適合する。

【0015】そして、特にM元素の含有量xを、 $7.7 < x < 10.5 (at \%)$ の範囲、すなわちM元素が例えばTiの場合には、 $Be_{1.2}Ti$ と $Be_{1.7}Ti_2$ とが混在する複合相とした場合に、とりわけ良好な改善効果が得られることが究明された。特に好ましくは、 $x = 8.8 \sim 9.9 at \%$ の範囲である。

なお、M元素が特にZrの場合には、 $Be_{1.3}Zr$ と $Be_{1.7}Zr_2$ で示されるベリリウム金属間化合物が混在するような比率とすることが好ましい。

50

【0016】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、その結晶粒径を $30\ \mu\text{m}$ 以下とくに好ましくは $20\ \mu\text{m}$ 以下とすることが、強度の面で一層有利であることが判明した。

【0017】次に、本発明に従うプラズマ対向材料の製造方法について説明する。ベリリウム粉末またはベリリウム金属間化合物粉末を、所望の組成になるように配合してから、型に封入する。かような型としては、通常はステンレスが使用され、電子ビーム溶接などでキャニングする。

ついで、HIP（熱間静水等方加圧）装置を用いて、 $1200\sim 1500$ ， $100\sim 200\text{Mpa}$ で $1\sim 5\text{h}$ 程度のHIPを行う。

その後、取り出して、機械加工にて仕上げる。

10

【0018】

【実施例】表1に示す組成になるプラズマ対向材料を、HIP法により製造した。

この際、使用した粉末材料の粒径は $0.6\ \mu\text{m}$ 、またHIP条件は温度： $1300$ 、圧力： $150\text{Mpa}$ とした。なお、得られたプラズマ対向材料の結晶粒径は $5\sim 20\text{nm}$ であった。

かくして得られたプラズマ対向材料の放射損失、スパッタリング性およびトリチウム吸収性について調べた結果を、表2に示す。

【0019】なお、各特性は次のようにして評価した。

・放射損失

放射損失は、原子量が小さいほど良いので、化合物の平均原子量を評価の指標とした。

20

・スパッタリング性

物理的スパッタリングの評価指標として融点を用いた。また、化学的スパッタリングについては、水素との反応性（ $600$ における）に応じて、（ほとんど反応なし）、（若干の反応が見られる）、 $\times$ （反応が大きい）で評価した。

・トリチウム吸収性

材料をトリチウム雰囲気中で $3\text{h}$ 保持したのち、昇温脱離法で吸収したトリチウム量を測定し、その測定量に応じて、大、中、小で評価した。

【0020】

【表1】

No.	M元素	組成比率 x * (at%)	組合せ	結晶粒径 ( $\mu\text{m}$ )
1	Ti	6.5	Be と Be <sub>12</sub> Ti	15
2	"	9.0	Be <sub>12</sub> Ti と Be <sub>17</sub> Ti <sub>2</sub>	10
3	"	10.0	"	8
4	"	12.0	Be <sub>17</sub> Ti <sub>2</sub> と Be <sub>3</sub> Ti	12
5	V	6.0	Be と Be <sub>12</sub> V	17
6	"	9.0	Be <sub>12</sub> V と Be <sub>12</sub> V <sub>2</sub>	13
7	"	10.0	"	11
8	"	12.0	Be <sub>12</sub> V <sub>2</sub> と Be <sub>2</sub> V	10
9	Mo	5.5	Be と Be <sub>12</sub> Mo	14
10	"	9.0	Be <sub>12</sub> Mo と Be <sub>17</sub> Mo <sub>2</sub>	12
11	"	10.0	"	10
12	"	12.0	Be <sub>17</sub> Mo <sub>2</sub> と Be <sub>3</sub> Mo	11
13	W	6.5	Be と Be <sub>12</sub> W	20
14	"	9.0	Be <sub>12</sub> W と Be <sub>17</sub> W <sub>2</sub>	18
15	"	10.0	"	16
16	"	12.0	Be <sub>12</sub> W <sub>2</sub> と Be <sub>3</sub> W	5
17	Zr	7.0	Be と Be <sub>13</sub> Zr	18
18		9.0	Be <sub>13</sub> Zr と Be <sub>17</sub> Zr <sub>2</sub>	17
19		10.0	"	15
20		12.0	Be <sub>17</sub> Zr <sub>2</sub> と Be <sub>3</sub> Zr	13
21	Nb	6.5	Be と Be <sub>12</sub> Nb	13
22		9.0	Be <sub>12</sub> Nb と Be <sub>17</sub> Nb <sub>2</sub>	12
23		10.0	"	9
24		12.0	Be <sub>17</sub> Nb <sub>2</sub> と Be <sub>3</sub> Nb	10
25	Ta	6.0	Be と Be <sub>12</sub> Ta	12
26		9.0	Be <sub>12</sub> Ta と Be <sub>17</sub> Ta <sub>2</sub>	11
27		10.0	"	9
28		12.0	Be <sub>17</sub> Ta <sub>2</sub> と Be <sub>3</sub> Ta	10
29	Ti	7.7	Be <sub>12</sub> Ti のみ	15
30	なし	0	Be のみ	5

\* Be-xat%Mとしてのx (at%)

【 0 0 2 1 】

【 表 2 】

10

20

30

40

No.	放射損失	スパッタリング性		トリチウム吸収性	備考
		物理的	化学的		
1	2.2	1500	○	小	発明例
2	2.5	1520	"	"	"
3	2.6	1550	"	"	"
4	2.8	1500	"	"	"
5	3.6	1670	"	"	"
6	3.9	1700	"	"	"
7	4.1	1750	"	"	"
8	4.3	1650	"	"	"
9	2.9	1630	"	"	"
10	3.1	1650	"	"	"
11	3.2	1680	"	"	"
12	3.4	1600	"	"	"
13	4.2	1680	"	"	"
14	4.4	1700	"	"	"
15	4.5	1720	"	"	"
16	4.7	1650	"	"	"
17	2.7	1680	"	"	"
18	2.8	1700	"	"	"
19	2.9	1710	"	"	"
20	3.1	1650	"	"	"
21	2.9	1580	"	"	"
22	3.0	1600	"	"	"
23	3.1	1630	"	"	"
24	3.3	1520	"	"	"
25	4.0	1750	"	"	"
26	4.2	1760	"	"	"
27	4.3	1780	"	"	"
28	4.4	1700	"	"	"
29	2.3	1550	○	小	比較例
30	1.9	1280	×	大	"

10

20

30

40

【0022】表2に示したとおり、発明例はいずれも、放射損失が少なく、またスパッタリング性およびトリチウム吸収性も少なかった。

これに対し、No. 29の比較例は、特性的には問題なかったが、Be<sub>12</sub>Ti単味であるため、室温で極めて脆いという欠点がある。

また、No. 30の比較例は、金属ベリリウムが100%であるため、放射損失の面では良好であったが、スパッタリング性およびトリチウム吸収性の面で劣っていた。

【0023】

50

【発明の効果】かくして、本発明によれば、スパッタリングによる損耗が小さく、かつプラズマに混入した際の放射損失が小さく、さらにはトリチウムの吸収も少ない核融合炉用のプラズマ対向材料を安定して得ることができる。