

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2016-515088

(P2016-515088A)

(43) 公表日 平成28年5月26日(2016.5.26)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>C O 4 B 41/89 (2006.01)</b>	C O 4 B 41/89 A	3 G 2 0 2
<b>F O 1 D 25/00 (2006.01)</b>	F O 1 D 25/00 L	
<b>F O 2 C 7/00 (2006.01)</b>	F O 1 D 25/00 X	
<b>F O 1 D 5/28 (2006.01)</b>	F O 2 C 7/00 D	
<b>F O 1 D 5/18 (2006.01)</b>	F O 2 C 7/00 C	
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 35 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2015-561471 (P2015-561471)	(71) 出願人	512182267
(86) (22) 出願日	平成26年2月28日 (2014. 2. 28)		ロールスーロイス コーポレーション
(85) 翻訳文提出日	平成27年10月1日 (2015. 10. 1)		アメリカ合衆国, インディアナ 4 6 2 2
(86) 国際出願番号	PCT/US2014/019386		5 - 1 1 0 3 インディアナポリス, サウ
(87) 国際公開番号	W02014/137804		ス メリディアン ストリート 4 5 0
(87) 国際公開日	平成26年9月12日 (2014. 9. 12)	(74) 代理人	100099759
(31) 優先権主張番号	61/772, 661		弁理士 青木 篤
(32) 優先日	平成25年3月5日 (2013. 3. 5)	(74) 代理人	100077517
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 石田 敬
		(74) 代理人	100087413
			弁理士 古賀 哲次
		(74) 代理人	100146466
			弁理士 高橋 正俊
		(74) 代理人	100128495
			弁理士 出野 知
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 セラミックマトリクス複合材のための、長寿命、低コストな環境バリアコーティング

## (57) 【要約】

セラミックマトリクス複合材の上のドーブされた希土類ジシリケート層を含む、セラミックマトリクス複合材のための環境バリアコーティング組成物が提供される。ドーブされた希土類ジシリケートは、 $RE_2Si_2O_7$ の組成を有するジシリケートを含む。REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジウム、プラセオジウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つである。

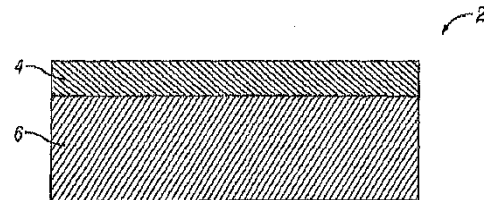


FIG. 1

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

ドーブされた希土類ジシリケート層を含む、セラミックマトリクス複合材のための環境バリアコーティング組成物であって、

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、前記セラミックマトリクス複合材の上に位置し；

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $RE_2Si_2O_7$ の組成を有するジシリケートを含み、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジウム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つであり；

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $Al_2O_3$ 及びアルカリ酸化物であるドーバントを含み；

前記ドーバントは、約0.1質量%～約5質量%の量で存在し、前記ドーブされた希土類ジシリケート層の残部はジシリケートである、環境バリアコーティング組成物。

## 【請求項 2】

前記ドーバントが約0.5質量%～約3質量%の量で存在する、請求項1に記載の環境バリアコーティング組成物。

## 【請求項 3】

前記ドーバントが約0.5質量%～約1質量%の量で存在する、請求項1に記載の環境バリアコーティング組成物。

## 【請求項 4】

希土類ジシリケート層、希土類モノシリケート層、希土類ジシリケート層の上の希土類モノシリケート層を含む二重層被覆、並びに希土類ジシリケート及び希土類モノシリケート層からなる群から選択される、最外トップコートを含み；前記希土類ジシリケートは $RE_2Si_2O_7$ の組成を有し、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジウム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つであり；前記モノシリケートは $RE_2SiO_5$ の組成を有し、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジウム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つである、請求項1に記載の環境バリアコーティング組成物。

## 【請求項 5】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、約0.5ミル(12.7 $\mu m$ )～約10ミル(254.0 $\mu m$ )の厚さを有する、請求項1に記載の環境バリアコーティング組成物。

## 【請求項 6】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、約1ミル(25.4 $\mu m$ )～約3ミル(76.2 $\mu m$ )の厚さを有する、請求項1に記載の環境バリアコーティング組成物。

## 【請求項 7】

ドーブされた希土類ジシリケート層と；シリコン被覆層と；

を含む、セラミックマトリクス複合材のための環境バリアコーティング組成物であって、前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、前記シリコン被覆層の上に位置し；

前記シリコン被覆層は、前記ドーブされた希土類ジシリケート層と前記セラミックマトリクス複合材との間に位置し；

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $RE_2Si_2O_7$ の組成を有するジシリケート

10

20

30

40

50

トを含み、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つであり；

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $Al_2O_3$  及びアルカリ酸化物であるドーパントを含み；

前記ドーパントは、約0.1質量%～約5質量%の量で存在し、前記ドーブされた希土類ジシリケート層の残部はジシリケートである、

環境バリアコーティング組成物。

【請求項8】

前記ドーパントが約0.5質量%～約3質量%の量で存在する、請求項7に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項9】

前記ドーパントが約0.5質量%～約1質量%の量で存在する、請求項7に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項10】

希土類ジシリケート層、希土類モノシリケート層、希土類ジシリケート層の上の希土類モノシリケート層を含む二重層被覆、並びに希土類ジシリケート及び希土類モノシリケート層からなる群から選択される、最外トップコートを含み；前記希土類ジシリケートは $RE_2Si_2O_7$ の組成を有し、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つであり；前記モノシリケートは $RE_2SiO_5$ の組成を有し、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つである、請求項7に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項11】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層が約0.5ミル(12.7 $\mu m$ )～約10ミル(254.0 $\mu m$ )の厚さを有する、請求項7に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項12】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層が約1ミル(25.4 $\mu m$ )～約3ミル(76.2 $\mu m$ )の厚さを有する、請求項7に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項13】

カルシウム-マグネシウムアルミノシリケート-耐性層と；

ドーブされた希土類ジシリケート層と；

を含む、セラミックマトリクス複合材のための環境バリアコーティング組成物であって、前記カルシウム-マグネシウムアルミノシリケート-耐性層は、前記ドーブされた希土類ジシリケート層の上に位置し；

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、前記カルシウム-マグネシウムアルミノシリケート-耐性層と前記セラミックマトリクス複合材との間に位置し；

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $RE_2Si_2O_7$ の組成を有するジシリケートを含み、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つであり；

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $Al_2O_3$  及びアルカリ酸化物であるドーパントを含み；

前記ドーパントは、約0.1質量%～約5質量%の量で存在し、前記ドーブされた希土類

10

20

30

40

50

ジシリケート層の残部はジシリケートであり；

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、希土類酸化物、アルミナ、及びシリカを含み、前記希土類酸化物は  $RE_2O_3$  の組成を有し、RE は、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つであり；

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、アルカリ酸化物、 $Al_2O_3$ 、及び  $SiO_2$  を含み；

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記  $Al_2O_3$  は、約 0 . 1 質量% ~ 約 5 質量% の量で存在し；

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記アルカリ酸化物は、約 0 . 1 質量% ~ 約 1 質量% の量で存在し；

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記  $SiO_2$  は、約 5 質量% ~ 約 25 質量% の量で存在し、残部は希土類酸化物である、環境バリアコーティング組成物。

【請求項 14】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、 $Ta_2O_5$ 、 $TiO_2$ 、及び  $HfSiO_4$  からなる群から選択される少なくとも一つの酸化物を更に含む、請求項 13 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 15】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記  $Al_2O_3$  は、約 0 . 5 質量% ~ 約 3 質量% の量で存在し、前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記  $SiO_2$  は、約 5 質量% ~ 約 20 質量% の量で存在する、請求項 13 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 16】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記  $Al_2O_3$  は、約 0 . 5 質量% ~ 約 1 質量% の量で存在し、前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記  $SiO_2$  は、約 10 質量% ~ 約 20 質量% の量で存在する、請求項 13 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 17】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層の前記酸化物は、約 0 . 1 質量% ~ 約 3 質量% の量で存在する、請求項 14 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 18】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層の前記酸化物は、約 0 . 5 質量% ~ 約 1 質量% の量で存在する、請求項 14 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 19】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、約 0 . 5 ミル ( 12 . 7  $\mu m$  ) ~ 約 10 ミル ( 254 . 0  $\mu m$  ) の厚さを有する、請求項 13 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 20】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、約 1 ミル ( 25 . 4  $\mu m$  ) ~ 約 3 ミル ( 76 . 2  $\mu m$  ) の厚さを有する、請求項 13 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 21】

前記ドーパされた希土類ジシリケート層中の前記ドーパントは、約 0 . 5 質量% ~ 約 3 質量% の量で存在する  $Al_2O_3$  である、請求項 13 に記載の環境バリアコーティング組成物。

10

20

30

40

50

## 【請求項 22】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層中の前記  $Al_2O_3$  は、約 0.5 質量% ~ 約 1 質量% の量で存在する、請求項 13 に記載の環境バリアコーティング組成物。

## 【請求項 23】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層中の前記アルカリ酸化物は、約 0.1 質量% ~ 約 1 質量% の量で存在する、請求項 13 に記載の環境バリアコーティング組成物。

## 【請求項 24】

希土類ジシリケート層、希土類モノシリケート層、希土類ジシリケート層の上の希土類モノシリケート層を含む二重層被覆、並びに希土類ジシリケート及び希土類モノシリケート層からなる群から選択される、最外トップコートを含み；前記希土類ジシリケートは  $RE_2Si_2O_7$  の組成を有し、RE は、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つであり；前記モノシリケートは  $RE_2SiO_5$  の組成を有し、RE は、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つである、請求項 13 に記載の環境バリアコーティング組成物。

10

## 【請求項 25】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、約 0.5 ミル (12.7  $\mu m$ ) ~ 約 10 ミル (254.0  $\mu m$ ) の厚さを有する、請求項 13 に記載の環境バリアコーティング組成物。

20

## 【請求項 26】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、約 1 ミル (25.4  $\mu m$ ) ~ 約 3 ミル (76.2  $\mu m$ ) の厚さを有する、請求項 13 に記載の環境バリアコーティング組成物。

## 【請求項 27】

バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層と；

ドーブされた希土類ジシリケート層と；

を含む、セラミックマトリクス複合材のための環境バリアコーティング組成物であって、前記バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層は、前記ドーブされた希土類ジシリケート層の上に位置し；

30

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、前記バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層と前記セラミックマトリクス複合材との間に位置し；

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $RE_2Si_2O_7$  の組成を有するジシリケートを含み、RE は、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つであり；

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $Al_2O_3$  及びアルカリ酸化物であるドーパントを含み；

40

前記ドーパントは、約 0.1 質量% ~ 約 5 質量% の量で存在し、前記ドーブされた希土類ジシリケート層の残部はジシリケートである、環境バリアコーティング組成物。

## 【請求項 28】

前記ドーパントは、約 0.5 質量% ~ 約 3 質量% の量で存在する、請求項 27 に記載の環境バリアコーティング組成物。

## 【請求項 29】

前記ドーパントは、約 0.5 質量% ~ 約 1 質量% の量で存在する、請求項 27 に記載の環境バリアコーティング組成物。

50

## 【請求項 30】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、約 0.5 ミル (12.7  $\mu\text{m}$ ) ~ 約 10 ミル (254.0  $\mu\text{m}$ ) の厚さを有する、請求項 27 に記載の環境バリアコーティング組成物。

## 【請求項 31】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、約 1 ミル (25.4  $\mu\text{m}$ ) ~ 約 3 ミル (76.2  $\mu\text{m}$ ) の厚さを有する、請求項 27 に記載の環境バリアコーティング組成物。

## 【請求項 32】

バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層と；  
 ドーブされた希土類ジシリケート層と；  
 シリコン被覆層と；  
 を含む、セラミックマトリクス複合材のための環境バリアコーティング組成物であって、  
 前記バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層は、前記ドーブされた希土類ジシリケート層の上に位置し；  
 前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、前記バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層と前記シリコン被覆層との間に位置し；  
 前記シリコン被覆層は、前記ドーブされた希土類ジシリケート層と前記セラミックマトリクス複合材との間に位置し；  
 前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $\text{RE}_2\text{Si}_2\text{O}_7$  の組成を有するジシリケートを含み、RE は、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つであり；  
 前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  及びアルカリ酸化物であるドーバントを含み；  
 前記ドーバントは約 0.1 質量% ~ 約 5 質量% の量で存在し、前記ドーブされた希土類ジシリケート層の残部はジシリケートである、  
 環境バリアコーティング組成物。

## 【請求項 33】

前記  $\text{Al}_2\text{O}_3$  は、約 0.5 質量% ~ 約 3 質量% の量で存在する、請求項 32 に記載の環境バリアコーティング組成物。

## 【請求項 34】

前記  $\text{Al}_2\text{O}_3$  は、約 0.5 質量% ~ 約 1 質量% の量で存在する、請求項 32 に記載の環境バリアコーティング組成物。

## 【請求項 35】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、約 0.5 ミル (12.7  $\mu\text{m}$ ) ~ 約 10 ミル (254.0  $\mu\text{m}$ ) の厚さを有する、請求項 32 に記載の環境バリアコーティング組成物。

## 【請求項 36】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、約 1 ミル (25.4  $\mu\text{m}$ ) ~ 約 3 ミル (76.2  $\mu\text{m}$ ) の厚さを有する、請求項 32 に記載の環境バリアコーティング組成物。

## 【請求項 37】

バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層と；  
 カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層と；  
 ドーブされた希土類ジシリケート層と；  
 を含む、セラミックマトリクス複合材のための環境バリアコーティング組成物であって、  
 前記バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層は、前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層の上に位置し；  
 前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、前記バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層と前記ドーブされた希土類ジシリケート層との間に位置し

10

20

30

40

50

;

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層と前記セラミックマトリクス複合材との間に位置し；

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $RE_2Si_2O_7$ の組成を有するジシリケートを含み、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つであり；

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $Al_2O_3$ 及びアルカリ酸化物であるドーパントを含み；

前記ドーパントは、約0.1質量%～約5質量%の量で存在し、前記ドーブされた希土類ジシリケート層の残部はジシリケートであり；

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、希土類酸化物、アルミナ、及びシリカを含み、前記希土類酸化物は $RE_2O_3$ の組成を有し、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つであり；

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、アルカリ酸化物、 $Al_2O_3$ 、及び $SiO_2$ を含み；

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記 $Al_2O_3$ は、約0.1質量%～約5質量%の量で存在し；

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記アルカリ酸化物は、約0.1質量%～約1質量%の量で存在し；

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記 $SiO_2$ は、約5質量%～約25質量%の量で存在し、残部は希土類酸化物である、環境バリアコーティング組成物。

#### 【請求項38】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、 $Ta_2O_5$ 、 $TiO_2$ 、及び $HfSiO_4$ からなる群から選択される少なくとも一つの酸化物を更に含む、請求項37に記載の環境バリアコーティング組成物。

#### 【請求項39】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記 $Al_2O_3$ は、約0.5質量%～約3質量%の量で存在し、前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記 $SiO_2$ は、約5質量%～約20質量%の量で存在する、請求項37に記載の環境バリアコーティング組成物。

#### 【請求項40】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記 $Al_2O_3$ は、約0.5質量%～約1質量%の量で存在し、前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記 $SiO_2$ は、約10質量%～約20質量%の量で存在する、請求項37に記載の環境バリアコーティング組成物。

#### 【請求項41】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層の前記酸化物は、約0.1質量%～約3質量%の量で存在する、請求項38に記載の環境バリアコーティング組成物。

#### 【請求項42】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層の前記酸化物は、約0.5質量%～約1質量%の量で存在する、請求項38に記載の環境バリアコーティング組成物。

#### 【請求項43】

10

20

30

40

50

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、約 0.5 ミル (12.7  $\mu\text{m}$ ) ~ 約 10 ミル (254.0  $\mu\text{m}$ ) の厚さを有する、請求項 37 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 44】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、約 1 ミル (25.4  $\mu\text{m}$ ) ~ 約 3 ミル (76.2  $\mu\text{m}$ ) の厚さを有する、請求項 37 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 45】

前記ドーパされた希土類ジシリケート層中の前記  $\text{Al}_2\text{O}_3$  は、約 0.5 質量% ~ 約 3 質量% の量で存在する、請求項 37 に記載の環境バリアコーティング組成物。

10

【請求項 46】

前記ドーパされた希土類ジシリケート層中の前記  $\text{Al}_2\text{O}_3$  は、約 0.5 質量% ~ 約 1 質量% の量で存在する、請求項 37 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 47】

前記ドーパされた希土類ジシリケート層中の前記アルカリ酸化物は、約 0.1 質量% ~ 約 1 質量% の量で存在する、請求項 37 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 48】

前記ドーパされた希土類ジシリケート層は、約 0.5 ミル (12.7  $\mu\text{m}$ ) ~ 約 10 ミル (254.0  $\mu\text{m}$ ) の厚さを有する、請求項 37 に記載の環境バリアコーティング組成物。

20

【請求項 49】

前記ドーパされた希土類ジシリケート層は、約 1 ミル (25.4  $\mu\text{m}$ ) ~ 約 3 ミル (76.2  $\mu\text{m}$ ) の厚さを有する、請求項 37 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 50】

バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層と；

カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層と；

ドーパされた希土類ジシリケート層と；

を含む、セラミックマトリクス複合材のための環境バリアコーティング組成物であって、前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、前記バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層の上に位置し；

30

前記バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層は、前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層と前記ドーパされた希土類ジシリケート層との間に位置し；

前記ドーパされた希土類ジシリケート層は、前記バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層と前記セラミックマトリクス複合材との間に位置し；

前記ドーパされた希土類ジシリケート層は、 $\text{RE}_2\text{Si}_2\text{O}_7$  の組成を有するジシリケートを含み、RE は、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジウム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つであり；

40

前記ドーパされた希土類ジシリケート層は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  及びアルカリ酸化物であるドーパントを含み；

前記ドーパントは、約 0.1 質量% ~ 約 5 質量% の量で存在し、前記ドーパされた希土類ジシリケート層の残部はジシリケートであり；

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、希土類酸化物、アルミナ、及びシリカを含み、前記希土類酸化物は  $\text{RE}_2\text{O}_3$  の組成を有し、RE は、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジウム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つであり；

50

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、アルカリ酸化物、 $Al_2O_3$ 、及び $SiO_2$ を含み；

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、これが含むドーパントを含み；

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記 $Al_2O_3$ は、約 0.1 質量% ~ 約 5 質量%の量で存在し；

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記アルカリ酸化物は、約 0.1 質量% ~ 約 1 質量%の量で存在し；

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記 $SiO_2$ は、約 5 質量% ~ 約 25 質量%の量で存在し、残部は希土類酸化物である、

環境バリアコーティング組成物。

【請求項 51】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、 $Ta_2O_5$ 、 $TiO_2$ 、及び $HfSiO_4$ からなる群から選択される少なくとも一つの酸化物を更に含む、請求項 50 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 52】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記 $Al_2O_3$ は、約 0.5 質量% ~ 約 3 質量%の量で存在し、前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記 $SiO_2$ は、約 5 質量% ~ 約 20 質量%の量で存在する、請求項 50 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 53】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記 $Al_2O_3$ は、約 0.5 質量% ~ 約 1 質量%の量で存在し、前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記 $SiO_2$ は、約 10 質量% ~ 約 20 質量%の量で存在する、請求項 50 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 54】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層の前記酸化物は、約 0.1 質量% ~ 約 3 質量%の量で存在する、請求項 51 に記載の環境バリアコーティング組成物。

。

【請求項 55】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層の前記酸化物は、約 0.5 質量% ~ 約 1 質量%の量で存在する、請求項 51 に記載の環境バリアコーティング組成物。

。

【請求項 56】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、約 0.5 ミル (12.7  $\mu m$ ) ~ 約 10 ミル (254.0  $\mu m$ ) の厚さを有する、請求項 50 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 57】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、約 1 ミル (25.4  $\mu m$ ) ~ 約 3 ミル (76.2  $\mu m$ ) の厚さを有する、請求項 50 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 58】

前記ドーパされた希土類ジシリケート層中の前記 $Al_2O_3$ は、約 0.5 質量% ~ 約 3 質量%の量で存在する、請求項 50 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 59】

前記ドーパされた希土類ジシリケート層中の前記 $Al_2O_3$ は、約 0.5 質量% ~ 約 1 質量%の量で存在する、請求項 50 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 60】

前記ドーパされた希土類ジシリケート層中の前記アルカリ酸化物は、約 0.1 質量% ~ 約 1 質量%の量で存在する、請求項 50 に記載の環境バリアコーティング組成物。

10

20

30

40

50

## 【請求項 6 1】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、約 0.5 ミル (12.7  $\mu\text{m}$ ) ~ 約 10 ミル (254.0  $\mu\text{m}$ ) の厚さを有する、請求項 50 に記載の環境バリアコーティング組成物。

## 【請求項 6 2】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、約 1 ミル (25.4  $\mu\text{m}$ ) ~ 約 3 ミル (76.2  $\mu\text{m}$ ) の厚さを有する、請求項 50 に記載の環境バリアコーティング組成物。

## 【請求項 6 3】

カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層と；  
ドーブされた希土類ジシリケート層と；  
シリコン被覆層と；  
を含む、セラミックマトリクス複合材のための環境バリアコーティング組成物であって、  
前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、前記ドーブされた希土類ジシリケート層の上に位置し；  
前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層と前記シリコン被覆層との間に位置し；  
前記シリコン被覆層は、前記ドーブされた希土類ジシリケート層と前記セラミックマトリクス複合材との間に位置し；  
前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $\text{RE}_2\text{Si}_2\text{O}_7$  の組成を有するジシリケートを含み、RE は、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つであり；  
前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  及びアルカリ酸化物であるドーバントを含み；  
前記ドーバントは約 0.1 質量% ~ 約 5 質量% の量で存在し、前記ドーブされた希土類ジシリケート層の残部はジシリケートであり；  
前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、希土類酸化物、アルミナ、及びシリカを含み、前記希土類酸化物は  $\text{RE}_2\text{O}_3$  の組成を有し、RE は、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つであり；  
前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、アルカリ酸化物、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、及び  $\text{SiO}_2$  を含み；  
前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記  $\text{Al}_2\text{O}_3$  は、約 0.1 質量% ~ 約 5 質量% の量で存在し；  
前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記アルカリ酸化物は、約 0.1 質量% ~ 約 1 質量% の量で存在し；  
前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記  $\text{SiO}_2$  は、約 5 質量% ~ 約 25 質量% の量で存在し、残部は希土類酸化物である、  
環境バリアコーティング組成物。

## 【請求項 6 4】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{TiO}_2$ 、及び  $\text{HfSiO}_4$  からなる群から選択される少なくとも一つの酸化物を更に含む、請求項 6 3 に記載の環境バリアコーティング組成物。

## 【請求項 6 5】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記  $\text{Al}_2\text{O}_3$  は、約 0.5 質量% ~ 約 3 質量% の量で存在し、前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記  $\text{SiO}_2$  は、約 5 質量% ~ 約 20 質量% の量で存在する、請求項 6

3 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 6 6】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記  $Al_2O_3$  は、約 0.5 質量% ~ 約 1 質量% の量で存在し、前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記  $SiO_2$  は、約 10 質量% ~ 約 20 質量% の量で存在する、請求項 6 3 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 6 7】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層の前記酸化物は、約 0.1 質量% ~ 約 3 質量% の量で存在する、請求項 6 4 に記載の環境バリアコーティング組成物。

10

【請求項 6 8】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層の前記酸化物は、約 0.5 質量% ~ 約 1 質量% の量で存在する、請求項 6 4 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 6 9】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、約 0.5 ミル (12.7  $\mu m$ ) ~ 約 10 ミル (254.0  $\mu m$ ) の厚さを有する、請求項 6 3 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 7 0】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、約 1 ミル (25.4  $\mu m$ ) ~ 約 3 ミル (76.2  $\mu m$ ) の厚さを有する、請求項 6 3 に記載の環境バリアコーティング組成物。

20

【請求項 7 1】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層中の前記  $Al_2O_3$  は、約 0.5 質量% ~ 約 3 質量% の量で存在する、請求項 6 3 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 7 2】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層中の前記  $Al_2O_3$  は、約 0.5 質量% ~ 約 1 質量% の量で存在する、請求項 6 3 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 7 3】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層中の前記アルカリ酸化物は、約 0.1 質量% ~ 約 1 質量% の量で存在する、請求項 6 3 に記載の環境バリアコーティング組成物。

30

【請求項 7 4】

希土類ジシリケート層、希土類モノシリケート層、希土類ジシリケート層の上の希土類モノシリケート層を含む二重層被覆、並びに希土類ジシリケート及び希土類モノシリケート層からなる群から選択される、最外トップコートを更に含み；

前記希土類ジシリケートは  $RE_2Si_2O_7$  の組成を有し、RE は、ルテチウム、イットルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジウム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つであり；

40

前記モノシリケートは  $RE_2SiO_5$  の組成を有し、RE は、ルテチウム、イットルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジウム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つである、

請求項 6 3 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 7 5】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、約 0.5 ミル (12.7  $\mu m$ ) ~ 約 10 ミル (254.0  $\mu m$ ) の厚さを有する、請求項 6 3 に記載の環境バリアコーティング組成物。

50

## 【請求項 76】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、約 1 ミル (  $25.4 \mu\text{m}$  ) ~ 約 3 ミル (  $76.2 \mu\text{m}$  ) の厚さを有する、請求項 63 に記載の環境バリアコーティング組成物。

## 【請求項 77】

バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層と；  
 カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層と；  
 ドーブされた希土類ジシリケート層と；  
 シリコン被覆層と；  
 を含む、セラミックマトリクス複合材のための環境バリアコーティング組成物であって、  
 前記バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層は、前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層の上に位置し；  
 前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、アルカリ酸化物、及びアルカリ土類酸化物からなる群から選択される酸化物を含み；  
 前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、前記バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層と前記ドーブされた希土類ジシリケート層との間に位置し；  
 前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層と前記シリコン被覆層との間に位置し；  
 前記シリコン被覆層は、前記ドーブされた希土類ジシリケート層と前記セラミックマトリクス複合材との間に位置し；  
 前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $\text{RE}_2\text{Si}_2\text{O}_7$  の組成を有するジシリケートを含み、RE は、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジウム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つであり；  
 前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  及びアルカリ酸化物であるドーパントを含み；  
 前記ドーパントは、約 0.1 質量% ~ 約 5 質量% の量で存在し、前記ドーブされた希土類ジシリケート層の残部はジシリケートであり；  
 前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、希土類酸化物、アルミナ、及びシリカを含み、前記希土類酸化物は  $\text{RE}_2\text{O}_3$  の組成を有し、RE は、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジウム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つであり；  
 前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  及び  $\text{SiO}_2$  であるドーパントを含み；  
 前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記  $\text{Al}_2\text{O}_3$  は、約 0.1 質量% ~ 約 5 質量% の量で存在し；  
 前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記  $\text{SiO}_2$  は、約 5 質量% ~ 約 25 質量% の量で存在し、残部は希土類酸化物である、  
 環境バリアコーティング組成物。

## 【請求項 78】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{TiO}_2$ 、及び  $\text{HfSiO}_4$  からなる群から選択される少なくとも一つの酸化物を更に含む、請求項 77 に記載の環境バリアコーティング組成物。

## 【請求項 79】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記  $\text{Al}_2\text{O}_3$  は、約 0.5 質量% ~ 約 3 質量% の量で存在し、前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記  $\text{SiO}_2$  は、約 5 質量% ~ 約 20 質量% の量で存在する、請求項 7

10

20

30

40

50

7 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 8 0】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記  $Al_2O_3$  は、約 0.5 質量% ~ 約 1 質量% の量で存在し、前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記  $SiO_2$  は、約 10 質量% ~ 約 20 質量% の量で存在する、請求項 77 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 8 1】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層の前記酸化物は、約 0.1 質量% ~ 約 3 質量% の量で存在する、請求項 78 に記載の環境バリアコーティング組成物。

10

【請求項 8 2】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層の前記酸化物は、約 0.5 質量% ~ 約 1 質量% の量で存在する、請求項 78 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 8 3】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、約 0.5 ミル (12.7  $\mu m$ ) ~ 約 10 ミル (254.0  $\mu m$ ) の厚さを有する、請求項 77 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 8 4】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、約 1 ミル (25.4  $\mu m$ ) ~ 約 3 ミル (76.2  $\mu m$ ) の厚さを有する、請求項 77 に記載の環境バリアコーティング組成物。

20

【請求項 8 5】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層中の前記  $Al_2O_3$  は、約 0.5 質量% ~ 約 3 質量% の量で存在する、請求項 77 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 8 6】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層中の前記  $Al_2O_3$  は、約 0.5 質量% ~ 約 1 質量% の量で存在する、請求項 77 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 8 7】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層中の前記アルカリ酸化物は、約 0.1 質量% ~ 約 1 質量% の量で存在する、請求項 77 に記載の環境バリアコーティング組成物。

30

【請求項 8 8】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、約 0.5 ミル (12.7  $\mu m$ ) ~ 約 10 ミル (254.0  $\mu m$ ) の厚さを有する、請求項 77 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 8 9】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、約 1 ミル (25.4  $\mu m$ ) ~ 約 3 ミル (76.2  $\mu m$ ) の厚さを有する、請求項 77 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 9 0】

バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層と；  
カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層と；  
ドーブされた希土類ジシリケート層と；  
シリコン被覆層と；

40

を含む、セラミックマトリクス複合材のための環境バリアコーティング組成物であって、前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、前記バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層の上に位置し；

前記バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層は、前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層と前記ドーブされた希土類ジシリケート層との間に位置し；

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、前記バリウム - スترونチウム - アルミノシ

50

リケート層と前記シリコン被覆層との間に位置し；

前記シリコン被覆層は、前記ドーパされた希土類ジシリケート層と前記セラミックマトリクス複合材との間に位置し；

前記ドーパされた希土類ジシリケート層は、 $RE_2Si_2O_7$ の組成を有するジシリケートを含み、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つであり；

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、アルカリ酸化物、及びアルカリ土類酸化物からなる群から選択される酸化物を含み；

10

前記ドーパされた希土類ジシリケート層は、 $Al_2O_3$ 及びアルカリ酸化物であるドーパントを含み；

前記ドーパントは約0.1質量%～約5質量%の量で存在し、前記ドーパされた希土類ジシリケート層の残部はジシリケートであり；

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、希土類酸化物、アルミナ、及びシリカを含み、前記希土類酸化物は $RE_2O_3$ の組成を有し、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つであり；

20

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、 $Al_2O_3$ 及び $SiO_2$ であるドーパントを含み；

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記 $Al_2O_3$ は、約0.1質量%～約5質量%の量で存在し；

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記 $SiO_2$ は、約5質量%～約25質量%の量で存在し、残部は希土類酸化物である、環境バリアコーティング組成物。

【請求項91】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、 $Ta_2O_5$ 、 $TiO_2$ 、及び $HfSiO_4$ からなる群から選択される少なくとも一つの酸化物を更に含む、請求項90に記載の環境バリアコーティング組成物。

30

【請求項92】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記 $Al_2O_3$ は、約0.5質量%～約3質量%の量で存在し、前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記 $SiO_2$ は、約5質量%～約20質量%の量で存在する、請求項90に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項93】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記 $Al_2O_3$ は、約0.5質量%～約1質量%の量で存在し、前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の前記 $SiO_2$ は、約10質量%～約20質量%の量で存在する、請求項90に記載の環境バリアコーティング組成物。

40

【請求項94】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層の前記酸化物は、約0.1質量%～約3質量%の量で存在する、請求項91に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項95】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層の前記酸化物は、約0.5質量%～約1質量%の量で存在する、請求項91に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項96】

50

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、約 0.5 ミル (12.7  $\mu\text{m}$ ) ~ 約 10 ミル (254.0  $\mu\text{m}$ ) の厚さを有する、請求項 90 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 97】

前記カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、約 1 ミル (25.4  $\mu\text{m}$ ) ~ 約 3 ミル (76.2  $\mu\text{m}$ ) の厚さを有する、請求項 90 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 98】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層中の前記  $\text{Al}_2\text{O}_3$  は、約 0.5 質量% ~ 約 3 質量% の量で存在する、請求項 90 に記載の環境バリアコーティング組成物。

10

【請求項 99】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層中の前記  $\text{Al}_2\text{O}_3$  は、約 0.5 質量% ~ 約 1 質量% の量で存在する、請求項 90 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 100】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層中の前記アルカリ酸化物は、約 0.1 質量% ~ 約 1 質量% の量で存在する、請求項 90 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【請求項 101】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、約 0.5 ミル (12.7  $\mu\text{m}$ ) ~ 約 10 ミル (254.0  $\mu\text{m}$ ) の厚さを有する、請求項 90 に記載の環境バリアコーティング組成物。

20

【請求項 102】

前記ドーブされた希土類ジシリケート層は、約 1 ミル (25.4  $\mu\text{m}$ ) ~ 約 3 ミル (76.2  $\mu\text{m}$ ) の厚さを有する、請求項 90 に記載の環境バリアコーティング組成物。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

《関連出願》

本出願は、2013年3月5日に提出された米国仮特許出願番号 61/772,661、タイトル「Long Life Low Cost Environmental Barrier Coating For Ceramic Matrix Composites」に関連し、優先権を主張する。この仮出願に開示されている発明主題は、その全体として本出願に明確に取り入れられる。

30

【0002】

《技術分野》

本開示は、一般に環境バリアコーティングに関し、より具体的には、高温機械系、例えばガスタービンエンジンに使用される、セラミックマトリクス複合材のための、長寿命、低コストなバリアコーティングに関する。

【背景技術】

【0003】

《背景技術》

ガスタービンエンジン、例えば航空機エンジンは、厳しい環境で動作する。例えば、高圧タービンブレード及び高圧タービン翼は、約 1000、短期ピーク 1100 もの高い金属表面温度を経験する高温気体に暴露される。

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

セラミックマトリクス複合材 (CMC) 部品は、ガスタービンエンジンを、超合金部品を有する現行のエンジンよりも非常に高い温度で動作可能にする、優れた高温機械的、物理的、及び化学的特性を有する。しかしながら、CMC 部品の問題としては、燃焼環境における環境耐久性に欠けることである。水蒸気、燃焼反応生成物は、炭化ケイ素 / 炭化ケイ素 ( $\text{SiC} / \text{SiC}$ ) CMC 上の保護シリカスケール、又はオキシド / オキシド CMC

50

内のアルミナマトリクスと反応して、気体状の反応生成物、例えば、それぞれ $\text{Si}(\text{OH})_4$ 、及び $\text{Al}(\text{OH})_3$ を形成する。高圧、高気体速度のガスタービン環境において、この反応は、CMCの表面損耗につながることもある。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本開示は、セラミックマトリクス複合材(CMC)のための、長寿命、低コストな環境バリアコーティング(EBIC)の実施形態を含む。本開示の実施例は、セラミックマトリクス複合材のための環境バリアコーティング組成物を提供する。コーティングは、ドーブされた希土類ジシリケート層、及びセラミックマトリクス複合材を含む。ドーブされた希土類ジシリケート層は、セラミックマトリクス複合材の上に位置し、 $\text{RE}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ の組成を有するジシリケートを含む。REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つである。更に、ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、アルカリ酸化物、及びアルカリ土類酸化物からなる群から選択される少なくとも1つのドーパントを含み、ドーパントは、約0.1質量%~約5質量%の量で存在する。ドーブされた希土類ジシリケート層の残部は、ジシリケートである。

10

【0006】

本明細書に開示される上記及び他の実施形態において、環境バリアコーティング組成物は、更に以下を含んでもよい：約0.5質量%~約3質量%の量で存在する $\text{Al}_2\text{O}_3$ であるドーパント；約0.5質量%~約1質量%の量で存在する $\text{Al}_2\text{O}_3$ であるドーパント；約0.1質量%~約1質量%の量で存在するアルカリ酸化物であるドーパント；約0.1質量%~約1質量%の量で存在するアルカリ土類酸化物であるドーパント；希土類ジシリケート層、希土類モノシリケート層、希土類ジシリケート層上の希土類モノシリケート層を含む二重層被覆、並びに希土類ジシリケート及び希土類モノシリケート層からなる群から選択される最外トップコート；ここで、希土類ジシリケートは $\text{RE}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ の組成を有し、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つであり；モノシリケートは $\text{RE}_2\text{SiO}_5$ の組成を有し、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つである；約0.5ミル(12.7 $\mu\text{m}$ )~約10ミル(254.0 $\mu\text{m}$ )の厚さを有するドーブされた希土類ジシリケート層；約1ミル(25.4 $\mu\text{m}$ )~約3ミル(76.2 $\mu\text{m}$ )の厚さを有するドーブされた希土類ジシリケート層。

20

30

【0007】

他の実施形態は、ドーブされた希土類ジシリケート層、セラミックマトリクス複合材、及びシリコン被覆層を含む、セラミックマトリクス複合材のための環境バリアコーティング組成物を含む。ドーブされた希土類ジシリケート層は、シリコン被覆層の上に位置する。シリコン被覆層は、ドーブされた希土類ジシリケート層とセラミックマトリクス複合材との間に位置する。ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $\text{RE}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ の組成を有するジシリケートを含み、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つである。更に、ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、アルカリ酸化物、及びアルカリ土類酸化物からなる群から選択される少なくとも1つのドーパントを含む。最後に、ドーパントは約0.1質

40

50

量%～約5質量%の量で存在し、残部はジシリケートである。

【0008】

他の実施形態は、カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層、及びドーブされた希土類ジシリケート層を含む、セラミックマトリクス複合材のための環境バリアコーティング組成物を含む。カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、ドーブされた希土類ジシリケート層の上に位置する。ドーブされた希土類ジシリケート層は、カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層とセラミックマトリクス複合材との間に位置する。ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $RE_2Si_2O_7$ の組成を有するジシリケートを含み、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジウム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つである。ドーブされた希土類ジシリケート層は、約0.1質量%～約5質量%の量で存在する、 $Al_2O_3$ 、アルカリ酸化物、及びアルカリ土類酸化物からなる群から選択される少なくとも一つのドーパントを含む。ドーブされた希土類ジシリケート層の残部は、ジシリケートである。カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、希土類酸化物、アルミナ、及びシリカを含み、希土類酸化物は $RE_2O_3$ の組成を有する。REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジウム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つである。カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、 $Al_2O_3$ 及び $SiO_2$ を含むドーパントを含む。カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の $Al_2O_3$ は、約0.1質量%～約5質量%の量で存在し、 $SiO_2$ は約5質量%～約25質量%の量で存在する。残部は希土類酸化物である。

【0009】

本明細書に開示される上記及び他の実施形態において、環境バリアコーティング組成物は、更に以下を含んでもよい： $Ta_2O_5$ 、 $TiO_2$ 、 $HfSiO_4$ 、アルカリ酸化物、及びアルカリ土類酸化物からなる群から選択される少なくとも一つの酸化物を更に含むカルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層；カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中に、約0.5質量%～約3質量%の量で存在する $Al_2O_3$ 、及び約5質量%～約20質量%の量で存在する $SiO_2$ ；カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中に、約0.5質量%～約1質量%の量で存在する $Al_2O_3$ 、及び約10質量%～約20質量%の量で存在する $SiO_2$ ；約0.1質量%～約3質量%の量で存在する、カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層の酸化物；約0.5質量%～約1質量%の量で存在する、カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層の酸化物；約0.5ミル(12.7 $\mu m$ )～約10ミル(254.0 $\mu m$ )の厚さを有するカルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層；約1ミル(25.4 $\mu m$ )～約3ミル(76.2 $\mu m$ )の厚さを有するカルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層；約0.5質量%～約3質量%の量で存在する $Al_2O_3$ である、ドーブされた希土類ジシリケート層中のドーパント；約0.5質量%～約1質量%の量で存在する $Al_2O_3$ である、ドーブされた希土類ジシリケート層中のドーパント；約0.1質量%～約1質量%の量で存在するアルカリ酸化物である、ドーブされた希土類ジシリケート層中のドーパント；約0.1質量%～約1質量%の量で存在するアルカリ土類酸化物である、ドーブされた希土類ジシリケート層中のドーパント；希土類ジシリケート層、希土類モノシリケート層、希土類ジシリケート層の上の希土類モノシリケート層を含む二重層被覆、並びに希土類ジシリケート及び希土類モノシリケート層からなる群から選択される、最外トップコート；ここで、希土類ジシリケートは $RE_2Si_2O_7$ の組成を有し、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジウム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から

10

20

30

40

50

選択される少なくとも一つであり；モノシリケートは $RE_2SiO_5$ の組成を有し、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つである；約0.5ミル(12.7 $\mu m$ )～約10ミル(254.0 $\mu m$ )の厚さを有するドーブされた希土類ジシリケート層；約1ミル(25.4 $\mu m$ )～約3ミル(76.2 $\mu m$ )の厚さを有するドーブされた希土類ジシリケート層。

【0010】

他の実施形態は、バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層、及びドーブされた希土類ジシリケート層を含む、セラミックマトリクス複合材のための環境バリアコーティング組成物を含む。バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層は、ドーブされた希土類ジシリケート層の上に位置する。ドーブされた希土類ジシリケート層は、バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層とセラミックマトリクス複合材との間に位置する。ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $RE_2Si_2O_7$ の組成を有するジシリケートを含み、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つである。ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $Al_2O_3$ 、アルカリ酸化物、及びアルカリ土類酸化物からなる群から選択される少なくとも一つであり、約0.1質量%～5質量%の量で存在するドーバントを含み、ドーブされた希土類ジシリケート層の残部はジシリケートである；約0.5質量%～約3質量%の量で存在する $Al_2O_3$ であるドーバント；約0.5質量%～約1質量%の量で存在する $Al_2O_3$ であるドーバント；0.1質量%～1質量%の量で存在するアルカリ酸化物であるドーバント；約0.1質量%～約1質量%の量で存在するアルカリ土類酸化物であるドーバント；約0.5ミル(12.7 $\mu m$ )～約10ミル(254.0 $\mu m$ )の厚さを有するドーブされた希土類ジシリケート層；約1ミル(25.4 $\mu m$ )～約3ミル(76.2 $\mu m$ )の厚さを有するドーブされた希土類ジシリケート層。

【0011】

他の実施形態は、バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層、ドーブされた希土類ジシリケート層、及びシリコン被覆層を含む、セラミックマトリクス複合材のための環境バリアコーティング組成物を含む。バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層は、ドーブされた希土類ジシリケート層の上に位置する。ドーブされた希土類ジシリケート層は、バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層とシリコン被覆層との間に位置する。シリコン被覆層は、ドーブされた希土類ジシリケート層とセラミックマトリクス複合材との間に位置する。ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $RE_2Si_2O_7$ の組成を有するジシリケートを含み、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つである。ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $Al_2O_3$ 、アルカリ酸化物、及びアルカリ土類酸化物からなる群から選択される少なくとも一つのドーバントを含む。ドーバントは約0.1質量%～約5質量%の量で存在し、残部はジシリケートである。

【0012】

他の実施形態は、バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層、カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層、及びドーブされた希土類ジシリケート層を含む、セラミックマトリクス複合材のための環境バリアコーティング組成物を含む。バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層は、カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層の上に位置する。カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層とドーブされた希土類ジシリケート層との間に位置する。ドーブされた希土類ジシリケート層は、カルシウム - マグネシウム

10

20

30

40

50

アルミノシリケート - 耐性層とセラミックマトリクス複合材との間に位置する。ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $RE_2Si_2O_7$ の組成を有するジシリケートを含み、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つである。ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $Al_2O_3$ 、アルカリ酸化物、及びアルカリ土類酸化物からなる群から選択される少なくとも1つのドーパントを含む。ドーパントは約0.1質量%～約5質量%の量で存在し、残部はジシリケートである。カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、希土類酸化物、アルミナ、及びシリカを含み、希土類酸化物は $RE_2O_3$ の組成を有し、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つである。カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、 $Al_2O_3$ 及び $SiO_2$ を含むドーパントを含む。カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の $Al_2O_3$ は、約0.1質量%～約5質量%の量で存在する。カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の $SiO_2$ は、約5質量%～約25質量%の量で存在し、残部は希土類酸化物である。

#### 【0013】

本明細書に開示される上記及び他の実施形態において、環境バリアコーティング組成物は、更に以下を含んでもよい： $Ta_2O_5$ 、 $TiO_2$ 、 $HfSiO_4$ 、アルカリ酸化物、及びアルカリ土類酸化物からなる群から選択される少なくとも一つの酸化物を更に含むカルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層；カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の、約0.5質量%～約3質量%の量で存在する $Al_2O_3$ 、及び約5質量%～約20質量%の量で存在する $SiO_2$ ；カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の、約0.5質量%～約1質量%の量で存在する $Al_2O_3$ 、及び約10質量%～約20質量%の量で存在する $SiO_2$ ；約0.1質量%～約3質量%の量で存在する、カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層の酸化物；約0.5質量%～約1質量%の量で存在する、カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層の酸化物；約0.5ミル(12.7  $\mu m$ )～約10ミル(254.0  $\mu m$ )の厚さを有するカルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層；約1ミル(25.4  $\mu m$ )～約3ミル(76.2  $\mu m$ )の厚さを有するカルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層；約0.5質量%～約3質量%の量で存在する $Al_2O_3$ である、ドーブされた希土類ジシリケート層中のドーパント；約0.5質量%～約1質量%の量で存在する $Al_2O_3$ である、ドーブされた希土類ジシリケート層中のドーパント；約0.1質量%～約1質量%の量で存在するアルカリ酸化物である、ドーブされた希土類ジシリケート層中のドーパント；約0.1質量%～約1質量%の量で存在するアルカリ土類酸化物である、ドーブされた希土類ジシリケート層中のドーパント；約0.5ミル(12.7  $\mu m$ )～約10ミル(254.0  $\mu m$ )の厚さを有するドーブされた希土類ジシリケート層；約1ミル(25.4  $\mu m$ )～約3ミル(76.2  $\mu m$ )の厚さを有するドーブされた希土類ジシリケート層。

#### 【0014】

他の実施形態は、バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層、カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層、及びドーブされた希土類ジシリケート層を含む、セラミックマトリクス複合材のための環境バリアコーティング組成物を含む。カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層の上に位置する。バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層は、カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層とドーブされた希土類ジシリケート層との間に位置する。ドーブされた希土類ジシリケート層は、バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層とセラミックマトリクス複合材との間に位置する。ドーブされた

10

20

30

40

50

希土類ジシリケート層は、 $RE_2Si_2O_7$ の組成を有するジシリケートを含み、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つである。ドーパされた希土類ジシリケート層は、 $Al_2O_3$ 、アルカリ酸化物、及びアルカリ土類酸化物からなる群から選択される少なくとも1つのドーパントを含む。ドーパントは、約0.1質量%～約5質量%の量で存在し、残部はジシリケートである。カルシウム-マグネシウムアルミノシリケート-耐性層は、希土類酸化物、アルミナ、及びシリカを含み、希土類酸化物は $RE_2O_3$ の組成を有し、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つである。カルシウム-マグネシウムアルミノシリケート-耐性層は、 $Al_2O_3$ 及び $SiO_2$ を含むドーパントを含む。カルシウム-マグネシウムアルミノシリケート-耐性層中、 $Al_2O_3$ は、約0.1質量%～約5質量%の量で存在し、ここで、カルシウム-マグネシウムアルミノシリケート-耐性層中の $SiO_2$ は、約5質量%～約25質量%の量で存在し、残部は希土類酸化物である。

10

#### 【0015】

他の実施形態は、カルシウム-マグネシウムアルミノシリケート-耐性層、ドーパされた希土類ジシリケート層、及びシリコン被覆層を含む、セラミックマトリクス複合材のための環境バリアコーティング組成物を含む。カルシウム-マグネシウムアルミノシリケート-耐性層は、ドーパされた希土類ジシリケート層の上に位置する。ドーパされた希土類ジシリケート層は、カルシウム-マグネシウムアルミノシリケート-耐性層とシリコン被覆層との間に位置する。シリコン被覆層は、ドーパされた希土類ジシリケート層とセラミックマトリクス複合材との間に位置する。ドーパされた希土類ジシリケート層は、 $RE_2Si_2O_7$ の組成を有するジシリケートを含み、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つである。ドーパされた希土類ジシリケート層は、 $Al_2O_3$ 、アルカリ酸化物、及びアルカリ土類酸化物からなる群から選択される少なくとも1つのドーパントを含む。ドーパントは約0.1質量%～約5質量%の量で存在し、ドーパされた希土類ジシリケート層の残部はジシリケートである。カルシウム-マグネシウムアルミノシリケート-耐性層は、希土類酸化物、アルミナ、及びシリカを含み、希土類酸化物は $RE_2O_3$ の組成を有し、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つである。カルシウム-マグネシウムアルミノシリケート-耐性層は、 $Al_2O_3$ 及び $SiO_2$ を含むドーパントを含む。カルシウム-マグネシウムアルミノシリケート-耐性層中、 $Al_2O_3$ は約0.1質量%～約5質量%の量で存在し、 $SiO_2$ は約5質量%～約25質量%の量で存在し、残部は希土類酸化物である。

20

30

40

#### 【0016】

本明細書に開示される上記及び他の実施形態において、環境バリアコーティング組成物は、更に以下を含んでもよい： $Ta_2O_5$ 、 $TiO_2$ 、 $HfSiO_4$ 、アルカリ酸化物、及びアルカリ土類酸化物からなる群から選択される少なくとも一つの酸化物を更に含むカルシウム-マグネシウムアルミノシリケート-耐性層；カルシウム-マグネシウムアルミノシリケート-耐性層中の、約0.5質量%～約3質量%の量で存在する $Al_2O_3$ 、及び約5質量%～約20質量%の量で存在する $SiO_2$ ；カルシウム-マグネシウムアルミノシリケート-耐性層中の、約0.5質量%～約1質量%の量で存在する $Al_2O_3$ 、及び約10質量%～約20質量%の量で存在する $SiO_2$ ；約0.1質量%～約3質量%の

50

量で存在する、カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層の酸化物；約 0.5 質量% ~ 約 1 質量% の量で存在する、カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中の酸化物；約 0.5 ミル (12.7  $\mu\text{m}$ ) ~ 約 10 ミル (254.0  $\mu\text{m}$ ) の厚さを有するカルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層；約 1 ミル (25.4  $\mu\text{m}$ ) ~ 約 3 ミル (76.2  $\mu\text{m}$ ) の厚さを有するカルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層；約 0.5 質量% ~ 約 3 質量% の量で存在する  $\text{Al}_2\text{O}_3$  を有する、ドーパされた希土類ジシリケート層中のドーパント；約 0.5 質量% ~ 約 1 質量% の量で存在する  $\text{Al}_2\text{O}_3$  である、ドーパされた希土類ジシリケート層中のドーパント；約 0.1 質量% ~ 約 1 質量% の量で存在するアルカリ酸化物である、ドーパされた希土類ジシリケート層中のドーパント；約 0.1 質量% ~ 約 1 質量% の量で存在するアルカリ土類酸化物である、ドーパされた希土類ジシリケート層中のドーパント；希土類ジシリケート層、希土類モノシリケート層、希土類ジシリケート層の上の希土類モノシリケート層を含む二重層被覆、希土類ジシリケート及び希土類モノシリケート層からなる群から選択される、最外トップコート；ここで、希土類ジシリケートは  $\text{RE}_2\text{Si}_2\text{O}_7$  の組成を有し、RE は、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジウム、プラセオジウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つであり；モノシリケートは  $\text{RE}_2\text{SiO}_5$  の組成を有し、RE は、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジウム、プラセオジウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つである；約 0.5 ミル (12.7  $\mu\text{m}$ ) ~ 約 10 ミル (254.0  $\mu\text{m}$ ) の厚さを有するドーパされた希土類ジシリケート層；約 1 ミル (25.4  $\mu\text{m}$ ) ~ 約 3 ミル (76.2  $\mu\text{m}$ ) の厚さを有するドーパされた希土類ジシリケート層。

10

20

30

40

50

#### 【0017】

他の実施形態は、バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層、カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層、ドーパされた希土類ジシリケート層、及びシリコン被覆層を含む、セラミックマトリクス複合材のための環境バリアコーティング組成物を含む。バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層は、カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層の上に位置する。カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層とドーパされた希土類ジシリケート層との間に位置する。ドーパされた希土類ジシリケート層は、カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層とシリコン被覆層との間に位置する。シリコン被覆層は、ドーパされた希土類ジシリケート層とセラミックマトリクス複合材との間に位置する。ドーパされた希土類ジシリケート層は、 $\text{RE}_2\text{Si}_2\text{O}_7$  の組成を有するジシリケートを含み、RE は、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジウム、プラセオジウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つである。ドーパされた希土類ジシリケート層は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、アルカリ酸化物、及びアルカリ土類酸化物からなる群から選択される少なくとも一つのドーパントを含む。ドーパントは約 0.1 質量% ~ 約 5 質量% の量で存在し、ドーパされた希土類ジシリケート層の残部はジシリケートである。カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、希土類酸化物、アルミナ、及びシリカを含み、希土類酸化物は  $\text{RE}_2\text{O}_3$  の組成を有し、RE は、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジウム、プラセオジウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つである。カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  及び  $\text{SiO}_2$  を含むドーパントを含む。カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  は、約 0.1 質量% ~ 約 5 質量% の量で存在する。カルシウム - マグネシウムアルミ

ノシリケート - 耐性層中の  $\text{SiO}_2$  は、約 5 質量% ~ 約 25 質量% の量で存在し、残部は希土類酸化物である。

【0018】

他の実施形態は、バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層、カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層、ドーブされた希土類ジシリケート層、及びシリコン被覆層を含む、セラミックマトリクス複合材のための環境バリアコーティング組成物を含む。カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層の上に位置する。バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層は、カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層とドーブされた希土類ジシリケート層との間に位置する。ドーブされた希土類ジシリケート層は、バリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層とシリコン被覆層との間に位置する。シリコン被覆層は、ドーブされた希土類ジシリケート層とセラミックマトリクス複合材との間に位置する。ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $\text{RE}_2\text{Si}_2\text{O}_7$  の組成を有するジシリケートを含み、RE は、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジウム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つである。ドーブされた希土類ジシリケート層は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、アルカリ酸化物、及びアルカリ土類酸化物からなる群から選択される少なくとも一つのドーバントを含む。ドーバントは約 0.1 質量% ~ 約 5 質量% の量で存在し、ドーブされた希土類ジシリケート層の残部はジシリケートである。カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、希土類酸化物、アルミナ、及びシリカを含み、希土類酸化物は  $\text{RE}_2\text{O}_3$  の組成を有し、RE は、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジウム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムからなる群から選択される少なくとも一つである。カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  及び  $\text{SiO}_2$  を含むドーバントを含む。カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層中、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  は、約 0.1 質量% ~ 約 5 質量% の量で存在し、 $\text{SiO}_2$  は、約 5 質量% ~ 約 25 質量% の量で存在し、残部は希土類酸化物である。

【0019】

環境バリアコーティングの更なる特徴及び利点は、現在認められる環境バリアコーティングの最良の実施モードを例示する以下の詳細な説明を考慮することにより、当業者にとって明らかとなる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

本開示は、単に非限定的な例として提供される添付の図面に関して、以下に記載する。

【0021】

【図1】図1は、ドーブされた希土類ジシリケート層で被覆された、セラミックマトリクス複合材料の断面図である。

【0022】

【図2】図2は、シリコン結合被覆層の上のドーブされた希土類ジシリケート層で被覆された、他のセラミックマトリクス複合材料の断面図である。

【0023】

【図3】図3は、ドーブされた希土類ジシリケート層の上の希土類モノシリケート及びジシリケート層で被覆された、他のセラミックマトリクス複合材料の断面図である。

【0024】

【図4】図4は、シリコン結合被覆の上のドーブされた希土類ジシリケート層の上の希土類ジシリケート及びモノシリケート層で被覆された、他のセラミックマトリクス複合材料の断面図である。

【0025】

【図 5】図 5 は、ドーブされた希土類ジシリケート層の上の希土類ジシリケート層で被覆された、他のセラミックマトリクス複合材料の断面図である。

【 0 0 2 6 】

【図 6】図 6 は、シリコン結合被覆の上のドーブされた希土類ジシリケート層の上の希土類ジシリケート層で被覆された、他のセラミックマトリクス複合材料の断面図である。

【 0 0 2 7 】

【図 7】図 7 は、ドーブされた希土類ジシリケート層の上の希土類モノシリケート層で被覆された、他のセラミックマトリクス複合材料の断面図である。

【 0 0 2 8 】

【図 8】図 8 は、シリコン結合被覆の上のドーブされた希土類ジシリケート層の上の希土類モノシリケート層で被覆された、他のセラミックマトリクス複合材料の断面図である。

【 0 0 2 9 】

【図 9】図 9 は、ドーブされた希土類ジシリケート層の上の希土類ジシリケート層の上の希土類モノシリケート層で被覆された、他のセラミックマトリクス複合材料の断面図である。

【 0 0 3 0 】

【図 10】図 10 は、シリコン結合被覆の上のドーブされた希土類ジシリケート層の上の希土類ジシリケート層の上の希土類モノシリケート層で被覆された、他のセラミックマトリクス複合材料の断面図である。

【 0 0 3 1 】

【図 11】図 11 は、ドーブされた希土類ジシリケート層の上のカルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層を有する、他のセラミックマトリクス複合材料の断面図である。

【 0 0 3 2 】

【図 12】図 12 は、シリコン結合被覆層の上のドーブされた希土類ジシリケート層の上のカルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層で被覆された、他のセラミックマトリクス複合材料の断面図である。

【 0 0 3 3 】

【図 13】図 13 は、ドーブされた希土類ジシリケート層の上のバリウム - ストロンチウム - アルミノシリケート層で被覆された、他のセラミックマトリクス複合材料の断面図である。

【 0 0 3 4 】

【図 14】図 14 は、シリコン結合被覆の上のドーブされた希土類ジシリケート層の上のバリウム - ストロンチウム - アルミノシリケート層で被覆された、他のセラミックマトリクス複合材料の断面図である。

【 0 0 3 5 】

【図 15】図 15 は、ドーブされた希土類ジシリケート層の上のカルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層の上のバリウム - ストロンチウム - アルミノシリケート層で被覆された、他のセラミックマトリクス複合材料の断面図である。

【 0 0 3 6 】

【図 16】図 16 は、ドーブされた希土類ジシリケート層の上のバリウム - ストロンチウム - アルミノシリケート層の上のカルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層で被覆された、他のセラミックマトリクス複合材料の断面図である。

【 0 0 3 7 】

【図 17】図 17 は、シリコン結合被覆の上のドーブされた希土類ジシリケート層の上のバリウム - ストロンチウム - アルミノシリケート層の上のカルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層で被覆された、他のセラミックマトリクス複合材料の断面図である。

【 0 0 3 8 】

【図 18】図 18 は、シリコン結合被覆の上のドーブされた希土類ジシリケート層の上の

10

20

30

40

50

カルシウム - マグネシウムアルミノシリケート - 耐性層の上のバリウム - スترونチウム - アルミノシリケート層で被覆された、他のセラミックマトリクス複合材料の断面図である。

【0039】

【図19】図19は、例示的な、シリコン結合被覆の上のドーブされた希土類ジシリケート層の上のバリウム - スترونチウム - アルミノシリケートで覆われた、例示的な三次元表面セラミックマトリクス複合材料の断面図である。

【0040】

対応する参照符号は、いくつかの図にわたって対応する部分を示す。本明細書において提示する例は、環境バリアコーティングの実施形態を説明するものであり、そのような例は、いかなる態様でも本開示の範囲を制限するものとして解釈されない。

10

【発明を実施するための形態】

【0041】

本開示は、セラミックマトリクス複合材(CMC)のための、低コスト、長寿命な環境バリアコーティング(EBC)に関する。ドーブされた希土類ジシリケート層又は結合被覆は、希土類ジシリケート(すなわち、 $RE_2Si_2O_7$ 、ここで、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムの少なくとも1つである)の少なくとも1つを含み、 $Al_2O_3$ 、アルカリ酸化物、及びアルカリ土類酸化物の少なくとも一つによってドーブされている。この被覆は、シリコン結合被覆層の上に適用される。 $Al_2O_3$ 、アルカリ酸化物、及びアルカリ土類酸化物の少なくとも一つによってドーブすることは、化学的結合を提供することによって、EBC - 被覆されたCMC系の酸化寿命を改善する。シリコン結合被覆を、ドーブされた希土類ジシリケート結合被覆とCMC基材との間に適用して、結合を更に改善してもよい。

20

【0042】

一実施形態は、図1に示すように、CMC層6の上のドーブされた希土類ジシリケート層4を含む、長寿命、低コストな環境的バリア被覆系2を含む。一実施形態において、希土類元素はイッテルビウム(Yb)であってもよい。しかしながら、他の希土類元素、例えばルテチウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムが含まれていてもよいことが理解される。

30

【0043】

ドーブされた希土類ジシリケート層4の厚みは最低限に保ってもよく、すなわち、CMC層6の連続的被覆を形成するのに十分な程度 - プラズマ溶射被覆で1ミル( $25.4\mu m$ ) ~ 約3ミル( $76.2\mu m$ )、及び電子ビーム、物理蒸着(EB-PVD)、又は直接蒸着(DVD)で処理した被覆で約1ミル( $25.4\mu m$ )である。更なる実施形態において、希土類ジシリケート層4は、約0.5ミル( $12.7\mu m$ ) ~ 約10ミル( $254.0\mu m$ )の厚さを有してもよい。

40

【0044】

例えば、CMC基材は、以下の1つを含んでもよい: Si含有セラミック、例えば炭化ケイ素(SiC)、又は窒化ケイ素( $Si_3N_4$ ) ; SiC又は $Si_3N_4$ マトリクス、シリコン酸窒化物、及びシリコンアルミニウム酸窒化物 ; Si含有金属合金、例えばモリブデン - シリコン合金(例えば、 $MoSi_2$ )、及びニオブ - シリコン合金(例えば $NbSi_2$ ) ; 並びにオキシド - オキシドCMC。CMCは、セラミック繊維、ウィスカー、小片、及びチョップド繊維又は連続繊維によって強化されたマトリクスを更に含んでもよい。

【0045】

ドーパントは、アルミナ( $Al_2O_3$ )、アルカリ酸化物、又はアルカリ土類酸化物の

50

少なくとも一つから選択してもよい。これらのドーパントは、0.1質量パーセント～約5質量パーセントの量で存在してもよく、残部は希土類ジシリケートである。特定の実施形態において、ドーパントがアルミナであるとき、ドーパントは約0.5質量パーセント～約3質量パーセントの量で存在してもよい。一実施形態において、アルミナの量は、約0.5質量パーセント～約1質量パーセントであってもよい。ドーパントが例えばアルカリ酸化物であるとき、ドーパントは約0.1質量パーセント～約1質量パーセントの量で存在してもよい。最後に、ドーパントがアルカリ土類酸化物であるとき、約0.1質量パーセント～約1質量パーセントの量で存在してもよい。

#### 【0046】

更なる実施形態において、系2は、様々な希土類ジシリケート及びモノシリケート層の組合せを含むトップコートを含んでもよい（また、図3～10を参照）。希土類ジシリケート成分は、 $RE_2Si_2O_7$ の組成を有し、REは、希土類元素、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムから選択される。希土類モノシリケート成分は、 $RE_2SiO_5$ の組成を有し、REは、希土類元素、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムから選択される。この層の機能は、EBC系の温度性能を強化することである。ドーパされた希土類ジシリケート層内のドーパントは、希土類シリケートの温度性能、例えば融点、及び水蒸気安定性を低下させる。

#### 【0047】

他の実施形態は、図2に示すように、シリコン層10の上に位置するドーパされた希土類ジシリケート層4を含むCMC材料6の上に位置する、環境バリアコーティング系8を含む。シリコン層10は、ドーパされた希土類ジシリケート層4とCMC材料6との間に位置することが理解される。ジシリケート層4の希土類元素は、図1の層4に関して記載した希土類元素と同様であってもよいことが更に理解される。さらに、 $Al_2O_3$ 、アルカリ酸化物、及びアルカリ土類酸化物を含む、この例における層4のためのドーパントは、同様であってもよい。ドーパントは、前述の実施形態と同じ特徴を有してもよく、例えば、図1の層4に関して記載した質量パーセントと同じ質量パーセントを有してもよい。また、図3～10について述べたように、系8は、様々な希土類ジシリケート及びモノシリケートトップコートの組合せを含んでもよい。ドーパされた希土類ジシリケート層の厚みは、前述のように、約0.5ミル（12.7 $\mu m$ ）～約10ミル（254.0 $\mu m$ ）、又は約1ミル（25.4 $\mu m$ ）～約3ミル（76.2 $\mu m$ ）であってもよい。ドーパされた希土類ジシリケート層は、 $SiO_2$ スケールをほとんど生じないことが理解される。厚いシリカスケールは、早期のEBC破碎をもたらす被覆応力を増加させることによって、EBC寿命を低下させる。ドーパされたジシリケートの下のシリカスケールの遅い成長は、より強い化学的結合に起因している。厚いシリカスケールは、次々にEBC破碎をもたらす高いEBC応力をもたらすと考えられる。90% $H_2O$ -残部 $O_2$ 、2400°F（1316℃）での、シリコン/ドーパされたジシリケートEBCの水蒸気-熱-サイクル寿命が、シリコン/YbジシリケートEBC試験の寿命の4倍を超えたように、予備的EBC水蒸気-熱-サイクル寿命試験は、この仮定をサポートしている。

#### 【0048】

ドーパされた希土類ジシリケート層4の上の希土類ジシリケート及びモノシリケートトップコート14によって被覆されたCMC材料6を含む、他の実施形態を図3に示す。同様に、図4に示すように、同じジシリケート及びモノシリケートトップコート14を、ドーパされた希土類ジシリケート層4、及びCMC材料6を全面的に被覆するシリコン結合被覆層10の上に適用してもよい。前述のように、希土類ジシリケート及びモノシリケート層14における希土類ジシリケートは、 $RE_2Si_2O_7$ の組成を有し、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビ

ウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムを含む希土類元素から選択されることが理解される。同様に、この層のモノシリケート成分は、 $RE_2SiO_5$ の組成を有し、REは、同様の希土類元素から選択される。このトップコート14は、本明細書に開示される他のあらゆる実施形態に適用してもよいことが理解される。層14は、EBC系の温度性能を強化する。ドーブされた希土類ジシリケート層内のドーパントは、希土類シリケートの温度性能、例えば融点、及び水蒸気安定性を低下させる。

#### 【0049】

ドーブされた希土類ジシリケート層4の上の希土類ジシリケートトップコート15で被覆されたCMC材料6を含む、他の実施形態を図5に示す。希土類ジシリケート層15は、 $RE_2Si_2O_7$ の希土類ジシリケートの組成を有し、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムを含む希土類元素から選択される。図6の実施形態は、シリコン結合被覆10が、ドーブされた希土類ジシリケート層4とCMC材料6との間に位置することを除き、図5の実施形態と同様である。

10

#### 【0050】

図7に示す実施形態は、ドーブされた希土類ジシリケート層4の上に位置する希土類モノシリケート層17を含む。希土類モノシリケート層17は、 $RE_2SiO_5$ の組成を有し、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムを含む希土類元素から選択される。図8の実施形態は、シリコン結合被覆10が、ドーブされた希土類ジシリケート層4とCMC材料6との間に位置することを除き、図7に示した実施形態と同様である。

20

#### 【0051】

図9及び10に示す実施形態は、ドーブされた希土類ジシリケート層4の上に位置する希土類ジシリケート層15の上に位置する希土類モノシリケート層17を含む。他の実施形態のように、希土類モノシリケート層17は、 $RE_2SiO_5$ の組成を有し、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムを含む希土類元素から選択される。同様に、希土類ジシリケート層15は、 $RE_2Si_2O_7$ の組成を有し、REは、ルテチウム、イッテルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムを含む希土類元素から選択される。図10に示す実施形態では、シリコン結合被覆10が、ドーブされた希土類ジシリケート層4とCMC材料6との間に位置する。

30

#### 【0052】

本開示の他の実施例は、図11に示すように、ドーブされた希土類ジシリケート層4を覆うカルシウム-マグネシウムアルミノシリケート-耐性(CMAS-耐性)層22で被覆されたCMC材料6を有するバリアコーティング系20を含む。CMAS-耐性被覆は、希土類酸化物、アルミナ、及びシリカを含む。任意に、CMAS-耐性被覆は、 $Ta_2O_5$ 、 $TiO_2$ 、 $HfSiO_4$ 、アルカリ酸化物、又はアルカリ土類酸化物の少なくとも一つを更に含んでもよい。CMAS-耐性被覆内の希土類酸化物は、スカンジウム、イットリウム、ランタン、セリウム、プラセオジミウム、ネオジム、プロメチウム、サマリウム、ユウロピウム、ガドリニウム、テルビウム、ジスプロシウム、ホルミウム、エルビウム、ツリウム、イッテルビウム、及びルテチウムの少なくとも一つを含む。ドーブされていないジシリケート層内に複数の孔が形成されることがあり、また、シリコン結合被覆と剥離することがあると理解される。複数の孔は、CMAS-希土類ジシリケート化学反応

40

50

の結果である。剥離もまた C M A S - 希土類ジシリケート化学反応の結果である。両者が C M A S 分解の結果であるという事実を除き、孔形成と剥離との間に直接的な相関はない。

#### 【 0 0 5 3 】

同様に、長寿命、低コストな環境バリアコーティングの他の実施形態は、図 1 2 に示すように、C M C 材料 6 の上のシリコン結合被覆層 1 0 を覆うドーブされた希土類ジシリケート層 4 を覆う C A M S - 耐性被覆層 2 2 を有する、系 2 4 を含む。

#### 【 0 0 5 4 】

C A M S - 耐性層は、希土類酸化物、アルミナ、及びシリカを含んでもよく、ここで、希土類酸化物は  $RE_2O_3$  の組成を有し、RE は、ルテチウム、イットルビウム、ツリウム、エルビウム、ホルミウム、ジスプロシウム、テルビウム、ガドリニウム、ユウロピウム、サマリウム、プロメチウム、ネオジム、プラセオジミウム、セリウム、ランタン、イットリウム、及びスカンジウムを含む希土類元素の群から選択される。C A M S - 耐性層は、それ自身が、 $Al_2O_3$  及び  $SiO_2$  を含むドーパントを含んでもよく、ここで、 $Al_2O_3$  は約 0.1 質量パーセント～約 5 質量パーセントの量で存在し、 $SiO_2$  は約 5 質量パーセント～約 25 質量パーセントの量で存在する。 $Al_2O_3$  は、約 0.5 質量パーセント～約 3 質量パーセントの範囲内で存在してもよく、 $SiO_2$  は、約 5 質量パーセント～約 20 質量パーセント、約 0.5 質量パーセント～約 1 質量パーセント、又は約 10 質量パーセント～約 20 質量パーセントの量でそれぞれ存在してもよいことが更に理解される。これらの量の残部は、希土類酸化物である。更なる実施形態において、C A M S 層は、 $Ta_2O_5$ 、 $TiO_2$ 、 $HfSiO_4$ 、アルカリ酸化物、又はアルカリ土類酸化物の群から少なくとも一つの酸化物を含んでもよい。他の実施形態において、酸化物は、約 0.1 質量パーセント～約 3 質量パーセント、又は約 0.5 質量パーセント～約 1 質量パーセントの量で存在してもよい。例えば、C M A S 耐性層は、約 0.5 ミル (12.7  $\mu m$ )～約 10 ミル (254.0  $\mu m$ )、又は約 1 ミル (25.4  $\mu m$ )～約 3 ミル (76.2  $\mu m$ ) の厚さを有してもよい。これらの C A M S - 耐性の実施形態は、他の実施形態について議論した特徴と同じ特徴を有する、希土類ジシリケート及びモノシリケート層 1 4 を含んでもよい。

#### 【 0 0 5 5 】

図 1 3 に示すように、本開示の他の実施例は、C M C 材料 6 を覆うドーブされた希土類ジシリケート層 4 を覆うバリウム - ストロントリウム - アルミノシリケート層 3 2 を有する、系 3 0 を含む。B S A S は、化学式  $1 - x BaO \cdot x SrO \cdot Al_2O_3 \cdot 2 SiO_2$ 、 $0 < x < 1$  を有する。

#### 【 0 0 5 6 】

ムライト / B S A S E B C と比較して、ドーブされた希土類シリケート / B S A S E B C は、プラズマ溶射のために基材を加熱する必要がないので、より著しく製造上好都合である。ムライト / B S A S E B C は、相安定性のため C M C 基材を 1000 より高く加熱することを必要とする。基材を加熱しないことは、基材を加熱する装置、例えば高温炉を除去することによって、実質的なコスト削減にもつながる。また、希土類ジシリケート内のドーパントは、より長い酸化寿命につながるより強い化学的結合を促進するので、希土類シリケート E B C、及びムライト / B S A S E B C と比較して、ドーブされた希土類ジシリケート / B S A S E B C は、より長い熱サイクル寿命を提供する。

#### 【 0 0 5 7 】

他の実施形態において、図 1 4 に示すように、系 3 4 は、C M C 材料 6 を覆うシリコン結合被覆層 1 0 を覆うドーブされた希土類ジシリケート層 4 の上に位置する B S A S 層 3 2 を含む。その他の実施形態に関して記載されているように、希土類元素、ドーパント、及びこれらの本明細書における特定の特徴を有するジシリケート層の組成物を、系 3 2 及び系 3 4 に適用してもよい。

#### 【 0 0 5 8 】

本開示の他の実施形態は、図 1 5 に示すように、C M C 材料 6 を覆うドーブされた希土

類ジシリケート層 4 を覆う C A M S - 耐性被覆 2 2 を覆う B S A S 層 3 2 を有する、系 4 0 を含む。また、他の実施形態と同様に、ドーブされた希土類ジシリケート層 4 の特徴、そのドーパント、組成、及びそれらの層の厚み、並びに C A M S - 耐性層に関して既に述べた特徴は、図 1 5 に示すこれらの層にも適用してよい。同様の実施形態において、図 1 6 に示すように、系 4 2 は、C M C 材料 6 を覆うドーブされた希土類ジシリケート層 4 を覆う B S A S 層 3 2 を覆う C M A S 耐性被覆 2 2 を含む。

【 0 0 5 9 】

同様にして、図 1 7 に示す系 4 4 は、C M C 材料 6 を覆うシリコン結合被覆 1 0 を覆うドーブされた希土類ジシリケート層 4 を覆う B S A S 層 3 2 を覆う C A M S - 耐性層 2 2 を含む。また、C A M S - 耐性層 2 2、B S A S 層 3 2、ドーブされた希土類ジシリケート層 4、シリコン結合被覆層 1 0、及び C M C 材料 6 の特徴は、他の実施形態に関して既に記載した特徴を含んでもよい。

10

【 0 0 6 0 】

図 1 8 の実施形態において、系 4 6 は、この場合、B S A S 層 3 2 が、C M C 材料 6 上のシリコン結合被覆層 1 0 を覆うドーブされた希土類ジシリケート層 4 を覆う C A M S 耐性被覆 2 2 を覆っていることを除いて、系 4 2 及び系 4 4 に関して記載したものと同様である。

【 0 0 6 1 】

本明細書に記載されている実施形態の全ての範囲の一部として、C M C 材料 6 は、必ずしも平坦な被覆可能な表面を有する必要はない。これらの各実施形態は、例えば図 1 9 に示す不規則な表面を有する C M C 材料 6 にも適応するよう構成される。この特定の実施形態は、ドーブされた希土類ジシリケート層 4 を覆う B S A S 層 3 2、及びシリコン結合被覆 1 0 を含む、系 3 4 を含む（また、図 1 4 を参照）。また、この実施形態は、組成物、質量パーセント、厚み等を含む前述の実施形態によって記載されている層の各々の特徴を含んでもよく、すでに本明細書に示したように、このような 3 次元の表面に適用してもよい。更に、本明細書で用いるドーブ及びドーパントとの用語は、組成物が均一な化学物質及び結晶構造を形成するという、従来の意味に適用する。

20

【 0 0 6 2 】

本開示は、特定の手段、材料、及び実施形態に関して記載したが、前述の記載から、当業者は本開示の本質的特徴を容易に確認することができ、以下の請求項に記載するように、本発明の精神と範囲から逸脱することなく様々な変更及び変形を行い、様々な使用及び特徴に適合させてもよい。

30

【図 1】

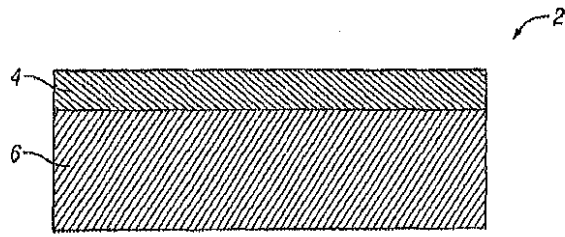


FIG. 1

【図 3】

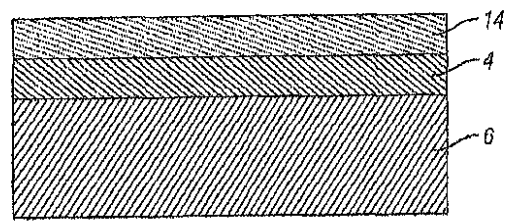


FIG. 3

【図 2】

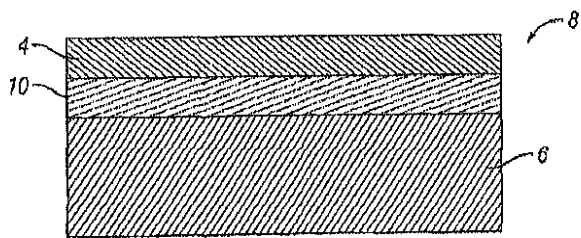


FIG. 2

【図 4】

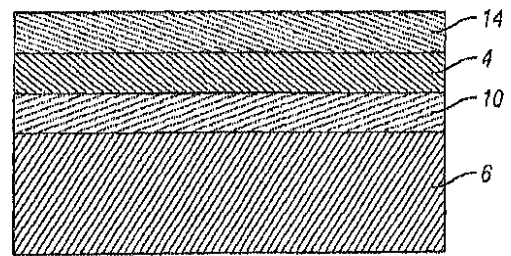


FIG. 4

【図 5】

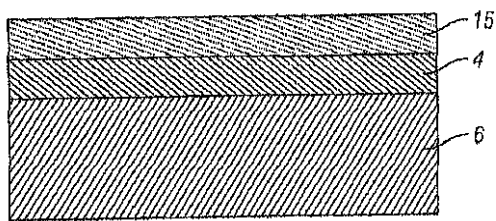


FIG. 5

【図 7】

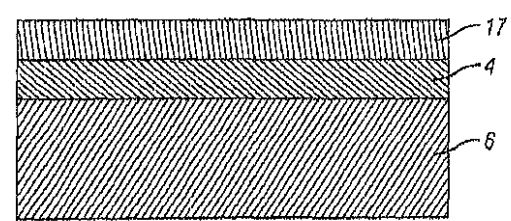


FIG. 7

【図 6】

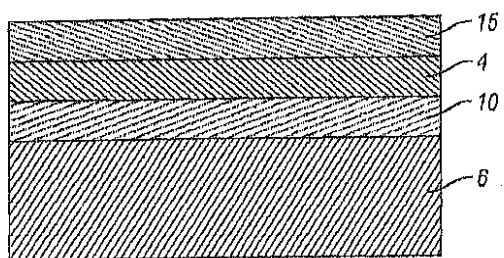


FIG. 6

【図 8】

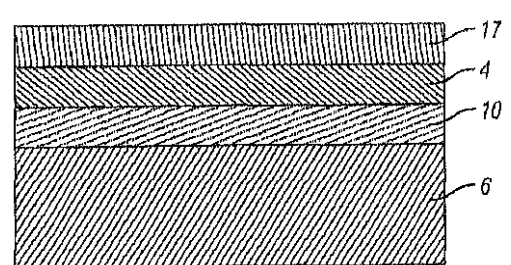


FIG. 8

【図 9】

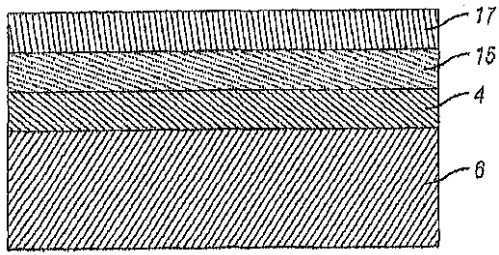


FIG. 9

【図 11】

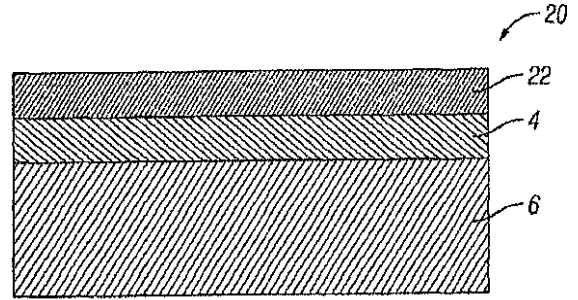


FIG. 11

【図 10】

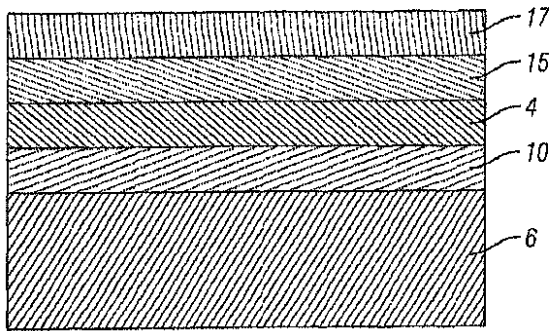


FIG. 10

【図 12】

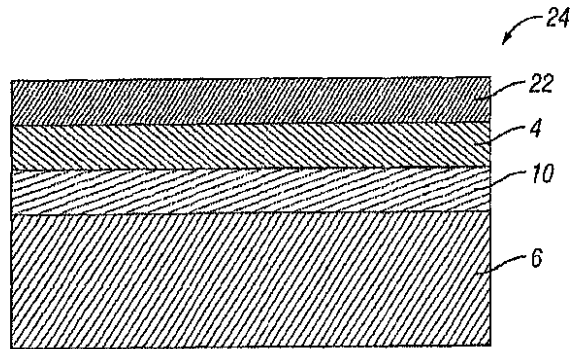


FIG. 12

【図 13】

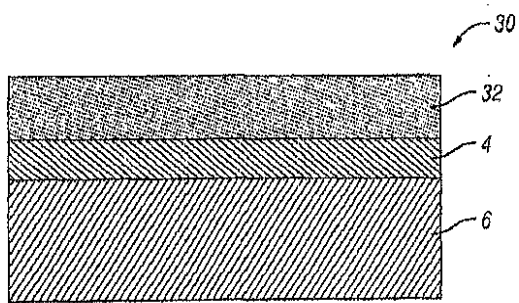


FIG. 13

【図 15】

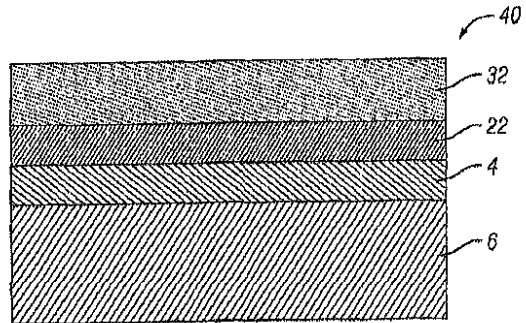


FIG. 15

【図 14】

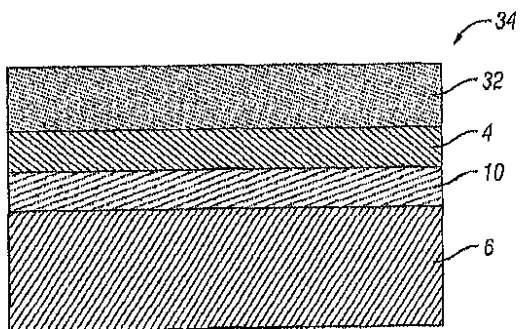


FIG. 14

【図 16】

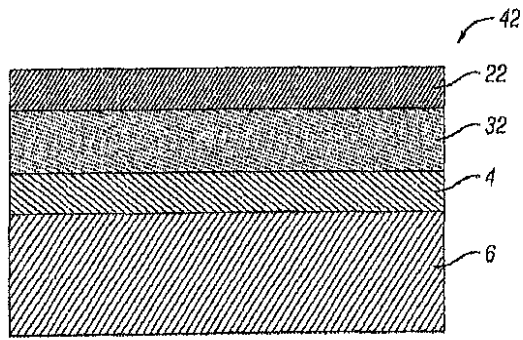


FIG. 16

【図 17】

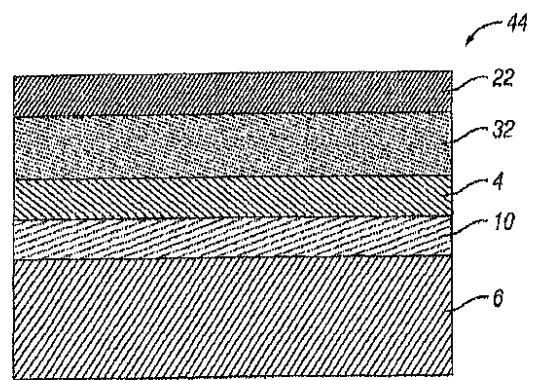


FIG. 17

【図 18】

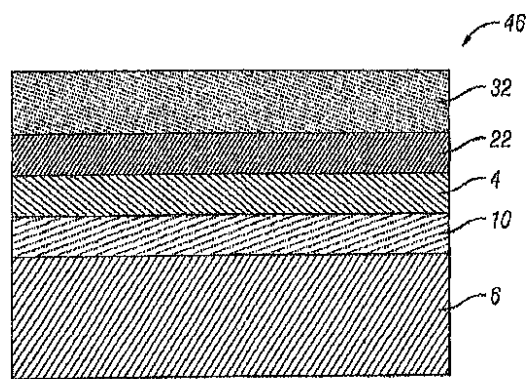


FIG. 18

【図 19】

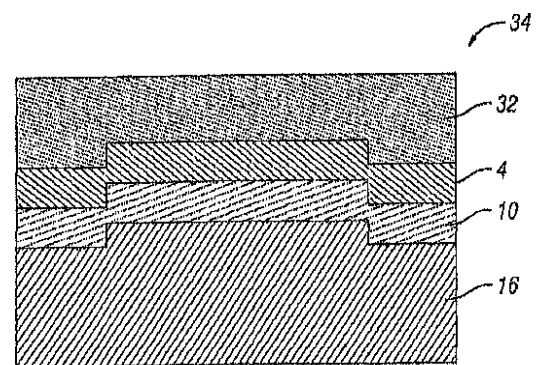


FIG. 19

## 【 国際調査報告 】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/US2014/019386

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> INV. C04B41/87 C04B41/89 F01D5/28 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) C04B F01D		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, COMPENDEX		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2010/080984 A1 (LEE KANG N [US]) 1 April 2010 (2010-04-01) examples figures paragraph [0022] paragraph [0025] paragraph [0042]	1-103
A	US 2011/027559 A1 (KIRBY GLEN HAROLD [US] ET AL) 3 February 2011 (2011-02-03) the whole document	1-103
A	WO 2012/129431 A1 (ROLLS ROYCE CORP [US]; LEE KANG N [US]) 27 September 2012 (2012-09-27) the whole document	1-103
----- -/--		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "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) "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 "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 "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 "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 "Z" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
16 June 2014		25/06/2014
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Rosenberger, Jürgen

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/US2014/019386

(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2012/122373 A1 (ROLLS ROYCE CORP [US]; LEE KANG N [US]) 13 September 2012 (2012-09-13) the whole document -----	1-103
A	US 2009/186237 A1 (LEE KANG N [US]) 23 July 2009 (2009-07-23) the whole document -----	1-103

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No

PCT/US2014/019386

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2010080984 A1	01-04-2010	CA 2739008 A1 EP 2344590 A2 US 2010080984 A1 WO 2010039699 A2	08-04-2010 20-07-2011 01-04-2010 08-04-2010
US 2011027559 A1	03-02-2011	US 2011027559 A1 US 2014134399 A1	03-02-2011 15-05-2014
WO 2012129431 A1	27-09-2012	EP 2688858 A1 US 2014072816 A1 WO 2012129431 A1	29-01-2014 13-03-2014 27-09-2012
WO 2012122373 A1	13-09-2012	EP 2683844 A1 WO 2012122373 A1	15-01-2014 13-09-2012
US 2009186237 A1	23-07-2009	CA 2712248 A1 EP 2245096 A2 US 2009186237 A1 US 2014065438 A1 WO 2009091721 A2	23-07-2009 03-11-2010 23-07-2009 06-03-2014 23-07-2009

## フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード ( 参考 )
<b>F 0 1 D</b>	<b>9/02</b>	<b>(2006.01)</b>	F 0 1 D	5/28
			F 0 1 D	5/18
			F 0 1 D	9/02
				1 0 2

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(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),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),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,LT,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

(74)代理人 100173107  
弁理士 胡田 尚則

(74)代理人 100191444  
弁理士 明石 尚久

(72)発明者 カーン エヌ . リー  
アメリカ合衆国 , インディアナ 4 6 0 7 7 , ジオンズビル , バーデュア レーン 3 8 9 7

F ターム(参考) 3G202 BA08 BA09 BA10 BB04 BB05 CA13 CA14 CA15 CB07 EA05  
EA08 EA09 FB03 FB05 GA10