

(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2019-65384

(P2019-65384A)

(43) 公開日 平成31年4月25日 (2019.4.25)

|                             |            |             |
|-----------------------------|------------|-------------|
| (51) Int.Cl.                | F I        | テーマコード (参考) |
| <b>C23C 4/11 (2016.01)</b>  | C23C 4/11  | 4K031       |
| <b>C23C 4/134 (2016.01)</b> | C23C 4/134 |             |
| <b>F02C 7/00 (2006.01)</b>  | F02C 7/00  | C           |

審査請求 有 請求項の数 15 O L 外国語出願 (全 16 頁)

|              |                              |          |                     |
|--------------|------------------------------|----------|---------------------|
| (21) 出願番号    | 特願2018-140845 (P2018-140845) | (71) 出願人 | 390041542           |
| (22) 出願日     | 平成30年7月27日 (2018.7.27)       |          | ゼネラル・エレクトリック・カンパニー  |
| (31) 優先権主張番号 | 15/664,446                   |          | アメリカ合衆国、ニューヨーク州 123 |
| (32) 優先日     | 平成29年7月31日 (2017.7.31)       |          | 45、スケネクタデイ、リバーロード、1 |
| (33) 優先権主張国  | 米国 (US)                      |          | 番                   |
|              |                              | (74) 代理人 | 100137545           |
|              |                              |          | 弁理士 荒川 聡志           |
|              |                              | (74) 代理人 | 100105588           |
|              |                              |          | 弁理士 小倉 博            |
|              |                              | (74) 代理人 | 100113974           |
|              |                              |          | 弁理士 田中 拓人           |
|              |                              | (72) 発明者 | ディアンイン・チェン          |
|              |                              |          | アメリカ合衆国、ニューヨーク州・119 |
|              |                              |          | 61、リッジ、アパートメント・202エ |
|              |                              |          | ー、ビレッジ・ドライブ、100     |
|              |                              |          | 最終頁に続く              |

(54) 【発明の名称】 滑らかな表面上の溶射コーティングの改良された接着

## (57) 【要約】

【課題】コーティングされた構成要素と、その形成および使用の方法を提供する。

【解決手段】コーティングされた構成要素 (10) が、そのようなコーティングシステム (20) を形成する方法と共に一般に提供される。コーティングされた構成要素 (10) は、その上にコーティングシステム (20) を有する表面 (25、27) を有する基材を含む。コーティングシステム (20) は、基材の表面 (25、27) 上に柱状遮熱コーティング (TBC) (24) を含んでもよく、柱状TBC (24) は、表面接続された空隙 (30) を含む。中間層 (26) が、柱状TBC層の上にある。中間層 (26) は、柱状TBC (24) の表面 (25、27) よりも粗い柱状TBC (24) の反対側の表面 (25、27) を有する。第2のTBC (28) が、中間層 (26) の上にある。

【選択図】 図1

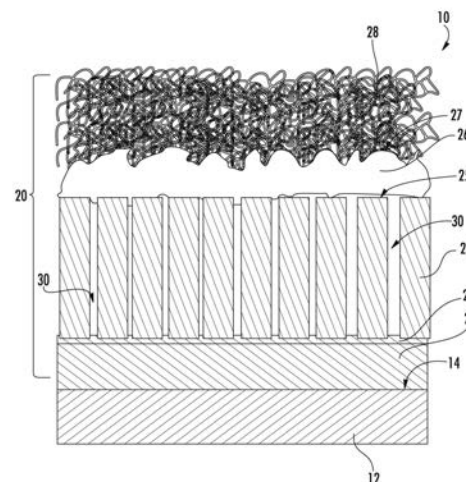


FIG. 1

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

その上にコーティングシステム（20）を有する表面（25、27）を有する基材（12）を備えるコーティングされた構成要素（10）であって、前記コーティングシステム（20）は、

前記基材（12）の前記表面（25、27）上にあり、表面接続された空隙（30）を含み、前記基材（12）の反対側の表面（25、27）を有する柱状遮熱コーティング（TBC）（24）と、

前記柱状TBC層上にあり、前記柱状TBC（24）の前記表面（25、27）よりも粗い前記柱状TBC（24）の反対側の表面（25、27）を有する中間層（26）と、

前記中間層（26）上の第2のTBC（28）と

を備える、コーティングされた構成要素（10）。

**【請求項 2】**

前記表面接続された空隙（30）が、実質的に垂直に配向される、請求項1に記載のコーティングされた構成要素（10）。

**【請求項 3】**

前記表面接続された空隙（30）の大部分が、前記柱状TBC（24）の全厚にわたって延びる、請求項1または2に記載のコーティングされた構成要素（10）。

**【請求項 4】**

前記柱状TBC（24）の前記表面接続された空隙（30）が、前記柱状TBC（24）内の結晶粒界によって画定される、請求項1乃至3のいずれか1項に記載のコーティングされた構成要素（10）。

**【請求項 5】**

前記第2のTBC（28）が、多孔度を有し、前記中間層（26）が、前記第2のTBC（28）の前記多孔度よりも小さい多孔度を有する、請求項1乃至4のいずれか1項に記載のコーティングされた構成要素（10）。

**【請求項 6】**

前記中間層（26）が、約0.1%～約10%の多孔度を有し、前記第2のTBC（28）が、約10%～約25%の多孔度を有する、請求項1乃至5のいずれか1項に記載のコーティングされた構成要素（10）。

**【請求項 7】**

前記柱状TBC（24）が、厚さを有し、前記中間層（26）が、前記柱状TBC（24）の前記厚さの約1%～約50%の厚さを有する、請求項1乃至6のいずれか1項に記載のコーティングされた構成要素（10）。

**【請求項 8】**

前記コーティングシステム（20）が、ボンドコーティング（22）が前記柱状TBC（24）と前記基材（12）の前記表面（25、27）との間に存在するように、前記基材（12）の前記表面（25、27）に前記ボンドコーティング（22）をさらに備える、請求項1乃至7のいずれか1項に記載のコーティングされた構成要素（10）。

**【請求項 9】**

熱成長酸化物層（23）が、前記ボンドコーティング（22）と前記柱状TBC（24）との間の前記ボンドコーティング（22）の上にある、請求項8に記載のコーティングされた構成要素（10）。

**【請求項 10】**

前記中間層（26）の前記表面（25、27）が、約2  $\mu\text{m}$ 以上の表面粗さ（Ra）を有する、請求項1乃至9のいずれか1項に記載のコーティングされた構成要素（10）。

**【請求項 11】**

前記中間層（26）の前記表面（25、27）が、約2.5  $\mu\text{m}$ ～約6.5  $\mu\text{m}$ の表面粗さ（Ra）を有する、請求項1乃至10のいずれか1項に記載のコーティングされた構成要素（10）。

10

20

30

40

50

## 【請求項 1 2】

前記柱状 T B C ( 2 4 ) の前記表面 ( 2 5 、 2 7 ) が、前記空隙 ( 3 0 ) によって形成される空間を除く領域において、約 2 . 5  $\mu$  m 以下の表面粗さ ( R a ) を有する、請求項 1 乃至 1 1 のいずれか 1 項に記載のコーティングされた構成要素 ( 1 0 ) 。

## 【請求項 1 3】

前記柱状 T B C ( 2 4 ) が、セラミック材料を含み、前記中間層 ( 2 6 ) が、さらに、空気プラズマ溶射を介して堆積されたセラミック材料を含む、請求項 1 乃至 1 2 のいずれか 1 項に記載のコーティングされた構成要素 ( 1 0 ) 。

## 【請求項 1 4】

前記基材 ( 1 2 ) が、金属または金属合金を含む、請求項 1 に記載のコーティングされた構成要素 ( 1 0 ) 。

10

## 【請求項 1 5】

基材 ( 1 2 ) の表面 ( 2 5 、 2 7 ) にコーティングシステム ( 2 0 ) を形成する方法 ( 2 0 0 ) であって、

前記基材 ( 1 2 ) の前記表面 ( 2 5 、 2 7 ) 上に柱状遮熱コーティング ( T B C ) ( 2 4 ) を形成することであって、前記柱状 T B C ( 2 4 ) は、表面接続された空隙 ( 3 0 ) を有し、第 1 の表面粗さを有する表面 ( 2 5 、 2 7 ) を有することと、

前記柱状 T B C ( 2 4 ) 上に空気プラズマ溶射 ( A P S ) 中間層 ( 2 6 ) を形成することであって、前記中間層 ( 2 6 ) は、前記柱状 T B C ( 2 4 ) の前記第 1 の表面粗さよりも粗い第 2 の表面粗さを有する前記柱状 T B C ( 2 4 ) の反対側の表面 ( 2 5 、 2 7 ) を有することと

20

を含む、方法 ( 2 0 0 ) 。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本開示は、電子ビーム物理蒸着 ( E B - P V D ) 遮熱コーティングが予め堆積されているタービンエンジン構成要素への使用または修理のためのような、柱状または高密度垂直亀裂遮熱コーティング上への溶射コーティングの堆積のための方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

30

遮熱コーティングは、典型的には、高温で動作する、または高温に曝される物品で使用される。例えば、航空タービンおよび陸上タービンは、遮熱コーティングによって保護された 1 つまたは複数の構成要素を含むことができる。通常の動作の条件下では、コーティングされた構成要素は、侵食、酸化、および環境汚染物質からの攻撃を含む様々な種類の損傷を受けやすい可能性がある。

## 【0003】

タービン構成要素の場合、特に懸念される環境汚染物質組成物は、カルシウム、マグネシウム、アルミニウム、ケイ素、およびそれらの混合物の酸化物を含むものであり、例えば、ガスタービンエンジンによって摂取される泥、灰、および塵は、そのような化合物で構成されることが多い。しばしば、これらの酸化物は組み合わせられて、以後、「C M A S」と呼ばれる混合カルシウム-マグネシウム-アルミニウム-ケイ素-酸化物系 ( C a - M g - A l - S i - O ) からなる汚染物質組成物を形成する。高いタービン動作温度では、これらの環境汚染物質は、高温の遮熱コーティング表面に付着し、それにより遮熱コーティングを損傷させる可能性がある。例えば、C M A S は、タービンの動作温度で液体である、または溶融する組成物を形成する場合がある。溶融 C M A S 組成物は、遮熱コーティングを溶解するか、またはコーティングの孔、チャネル、亀裂、または他の空洞に浸透することによってその多孔質構造を満たすことがある。冷却すると、浸透した C M A S 組成物は、凝固してコーティングの歪み耐性を低下させ、したがって亀裂を発生させ伝播し、その亀裂が、コーティング材料の剥離およびスポーリングを引き起こす恐れがある。さらにこれによって、部品または構成要素の下にある金属基材に施された熱保護が部分的に

40

50

または完全に失われることがある。さらに、遮熱コーティングのスポーリングは、金属基材にホットスポットを生じさせ、それによって構成要素が早期に故障することがある。構成要素が早期に故障することによって、予定外のメンテナンスならびに部品交換をまねき、その結果、性能が低下し、運転および修理の費用が増す可能性がある。

#### 【0004】

しかし、TBCの定期的なメンテナンスには、TBC材料を洗浄して構成要素上に再適用することが含まれる。このような操作は、新しいTBCを構成要素の表面上に適用することができるように、エンジン分解またはエンジン洗浄プロセスのいずれかを必要とする。そのような分解プロセスは、エンジンの停止時間を長くし、長期間にわたり使用ができなくなる。あるいは、エンジンの内部構成要素を洗剤および他の洗浄剤で洗い流すことは、エンジンに他の望ましくない問題をもたらす可能性がある。

10

#### 【0005】

したがって、高温で動作されたとき、または高温に曝されたときに環境汚染物質の悪影響から遮熱コーティングを保護する改良されたコーティングシステムが必要とされている。特に、堆積したCMASの悪影響から保護する、改良されたコーティングシステム、およびそのようなコーティングを製作するための方法が必要とされている。

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0006】

【特許文献1】米国特許出願公開第2016/0214176号

20

#### 【発明の概要】

#### 【0007】

態様および利点は、その一部を以下の説明に記載しており、あるいはその説明から明らかになり、あるいは本発明の実施により学ぶことができる。

#### 【0008】

コーティングされた構成要素が、一般に提供される。一実施形態では、コーティングされた構成要素は、その上にコーティングシステムを有する表面を有する基材を含む。コーティングシステムは、基材の表面上に柱状遮熱コーティング(TBC)を含んでもよく、柱状TBCは、表面接続された空隙を含む。中間層が、柱状TBC層の上にある。中間層は、柱状TBCの表面よりも粗い柱状TBCの反対側の表面を有する。第2のTBCが、中間層の上にある。

30

#### 【0009】

基材の表面にコーティングシステムを形成するための方法も提供される。一実施形態では、柱状遮熱コーティングが基材の表面上に形成され、それにより柱状TBCは、表面接続された空隙を有し、第1の表面粗さを有する表面を有するようになる。空気プラズマ溶射中間層が柱状TBCの上に形成され、それにより中間層は、柱状TBCの第1の表面粗さよりも粗い第2の表面粗さを有する柱状TBCの反対側の表面を有するようになる。任意選択で、次に第2のTBCをAPS中間層上に形成してもよい。

#### 【0010】

これらおよび他の特徴、態様、および利点は、以下の説明および添付の特許請求の範囲を参照することによってよりよく理解されるであろう。添付の図面は、本明細書に組み込まれて、本明細書の一部を構成し、本発明の実施形態を例示し、説明と共に本発明のある特定の原理を説明するのに役立つ。

40

#### 【0011】

当業者を対象とした、その最良の形態を含む本発明の完全で実施可能な程度の開示が本明細書に記載されており、本明細書は添付の図を参照する。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0012】

【図1】一実施形態によるボンドコーティング、柱状TBC、中間層、および第2のTBCを含むコーティングシステムを有するコーティングされた構成要素の例示的な実施形態

50

を示す図である。

【図 2】一実施形態によるコーティングシステムを形成する例示的な方法の図である。

【0013】

本明細書および図面における符号の反復使用は、本発明の同じまたは類似の特徴または要素を表すことを意図している。

【発明を実施するための形態】

【0014】

ここで、本発明の実施形態を詳細に参照するが、その 1 つまたは複数の例が図面に示されている。各例は、本発明の限定としてではなく、本発明の例示として提示される。実際、本発明の範囲または趣旨を逸脱せずに、様々な修正および変更が本発明において可能であることは、当業者にとって明らかであろう。例えば、一実施形態の一部として図示または記載する特徴は、別の実施形態と共に使用して、さらに別の実施形態を得ることができる。したがって、本発明は、添付の特許請求の範囲およびそれらの均等物の範囲内にあるそのような修正および変更を包含することが意図されている。

【0015】

本明細書で使用されるとき、用語「コーティング」は、連続的または不連続的な形で下にある表面の少なくとも一部に配置された材料を指す。さらに、用語「コーティング」は、必ずしも配置された材料の均一な厚さを意味するものではなく、配置された材料は均一な厚さを有しても、不均一な厚さを有してもよい。用語「コーティング」は、コーティング材料の単一の層を指すことも、コーティング材料の複数の層を指すこともある。複数の層において、コーティング材料は同じであっても異なってもよい。

【0016】

本開示では、ある層が別の層または基材の「上に」または「上方に」あると記述される場合には、特に明示的にただし書きがない限り、それらの層が互いに直接接触してもよいし、あるいはそれらの層の間に別の層または特徴を有してもよいと理解すべきである。よって、それらの用語は、層同士の互いの相対的な配置を単純に記述しており、上方または下方の相対的な配置が視認者に対するデバイスの向きに依存するので、必ずしも「上端にある」ことを意味してはいない。

【0017】

一般に、追加の TBC の接着を改良するための中間層をその上に有する遮熱コーティング (TBC) を含むコーティングされた構成要素と、その形成および使用の方法とが提供される。図 1 を参照すると、望ましくない化学的および／または熱的相互作用から下にある基材 12 (例えば、下にあるコーティングおよび／または表面 14) を保護するコーティングシステム 20 を有する例示的なコーティングされた構成要素 10 が概して示されている。コーティングシステム 20 は、一般に、任意のボンドコーティング 22 と、任意のボンドコーティング 22 上の柱状 TBC 24 と、柱状 TBC 24 上の中間層 26 と、中間層 26 上の TBC 28 とを含む。

【0018】

一般に、柱状 TBC 24 は、比較的滑らかな表面 25 を有し、その上に追加の層を接着することを困難にする (特に、空気プラズマ溶射 (APS) コーティングの場合)。柱状 TBC 24 の表面 25 への接着性を改良するために、中間層 26 は、柱状 TBC 24 の表面 25 よりも (表面粗さに関して) 粗い表面 27 を有するように柱状 TBC 24 上に形成される。

【0019】

コーティングシステム 20 の層の各々について、以下により詳細に説明する。コーティングシステム 20 は、任意の適切な基材 12 と共に利用することができる。例えば、基材 12 は、(例えば、タービンプレードの) 翼形部のようなタービン構成要素であってもよい。しかし、基材 12 は、特定の形状または構成要素に限定されないことが理解されるべきである。一実施形態では、基材 12 は、金属または金属合金から形成される。例としては、ニッケル、コバルト、チタン、アルミニウム、ジルコニウム、および銅などの金属が

挙げられる。金属合金の例としては、ニッケル基合金、コバルト基合金、チタン基合金、鉄基合金、鋼、ステンレス鋼、およびアルミニウム基合金が挙げられる。特定の実施形態では、基材 12 は、ニッケル基超合金、コバルト基超合金などの超合金材料から形成される。1つの特定の実施形態では、基材 12 は、ニッケル基合金から形成される。ニッケル基超合金は、R E N E（登録商標）の商品名で市販されており、これはエンジン構成要素に使用するのに特に有益である非限定的な例である。

#### 【0020】

図 1 に示すように、任意のボンドコーティング 22 は、上に重なる T B C 層と基材 12 との間の基材 12 の表面 14 に配置される。存在する場合、ボンドコーティング 22 は、そのようなコーティングが従来の用途で一般に提供するものと同様の機能性（例えば、接着促進および耐酸化性）を提供する。いくつかの実施形態では、ボンドコーティング 22 は、アルミナイド、例えばニッケルアルミナイド、白金アルミナイド、または当該技術分野で周知の M C r A l Y 型コーティングを含む。これらのボンドコーティングは、超合金のような金属基材 12 に適用される場合に特に有用であり得る。ボンドコーティング 22 は、プラズマ溶射、溶射、化学気相堆積、イオンプラズマ堆積、気相アルミナイドまたは物理気相堆積などの、当技術分野で公知の様々なコーティング技術のいずれかを使用して適用することができる。

#### 【0021】

ボンドコーティング 22 は、約  $2.5\text{ }\mu\text{m}$  ～ 約  $400\text{ }\mu\text{m}$  の厚さを有してもよく、基材 12 に付加層として適用されてもよく、または基材に拡散されて特性に勾配を有するように設計される不均質な組成を与えてもよい。しかし、コーティングシステム 20 内のすべてのコーティング層は、部品上の位置に応じて厚さが変化し得ることに留意されたい。

#### 【0022】

熱成長酸化物層 23 が、ボンドコーティング 22 上に示されている。一般に、熱成長酸化物層 23 は、ボンドコーティング 22 の材料の酸化物を含む。例えば、ボンドコーティング 22 がその構造にアルミニウムを含む場合、熱成長酸化物 (T G O) 層 23 は、酸化アルミニウム（例えば、 $\text{Al}_2\text{O}$ 、 $\text{AlO}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  など、またはそれらの混合物）を含むことができる。ある特定の実施形態では、熱成長酸化物層 23 は、一般に、最大約  $10\text{ }\mu\text{m}$ （例えば、約  $0.1\text{ }\mu\text{m}$  ～ 約  $6\text{ }\mu\text{m}$ ）の厚さを有し、後続の層の処理中の熱暴露による天然生成物であってもよく、または部品を熱処理することによってより厚くなるように設計されてもよい。T G O 層は、下にあるボンドコーティング 22、処理方法、および暴露条件に依存して均一でなくてもよい。

#### 【0023】

柱状 T B C 24 は、任意のボンドコーティング 22 上にある。一実施形態では、柱状 T B C 24 は、電子ビーム物理蒸着 (E B - P V D) から形成され、E B - P V D T B C 層として説明することができる。柱状 T B C 24 は、柱状 T B C 24 の全厚に広がり得る空隙 30 を含む。空隙 30 は、柱状 T B C 24 内に意図的に形成されてもよく、亀裂、結晶粒界、または他の多孔性の形態で画定されてもよい。いくつかの実施形態では、空隙 30 は、空隙 30 が基材 12 から表面 25 に向かって離れる方向に概して広がっているが、空隙の長さに沿ってある程度水平なベクトルを有することができる点で、実質的に垂直に配向した（図 1 の断面図の観点から）亀裂および／または粒子もしくは他の微細特徴部の境界を含む。これらの空隙 30 は、E B P V D プロセスなどの柱状 T B C 24 を堆積するために使用される堆積プロセスの固有の特性のために存在し得る。しかし、空隙 30 は、動作中の通常の摩耗および裂け目のために堆積後に形成されてもよい。

#### 【0024】

上述したように、柱状 T B C 24 は、比較的滑らかな表面 25 を有し、その上に追加の層を接着することを困難にする。例えば、柱状 T B C 24 の表面 25 は、空隙 30 によって形成される空間を除く領域において、約  $2.5\text{ }\mu\text{m}$  マイクロメートル ( $\mu\text{m}$  またはミクロン) 以下（例えば、約  $1\text{ }\mu\text{m}$  以下）の表面粗さ (R a) を有することができる。

#### 【0025】

柱状構造を有する柱状TBC24は、典型的には、歪み耐性、ならびに耐侵食性および耐衝撃性コーティングを提供するタービン翼形部用途（例えば、ブレードおよびペーン）により適している。多孔質構造、特に（しかし排他的ではない）上記のような垂直に配向したおよび／または柱状特徴部を組み込んだ構造は、熱サイクル中の遮熱コーティングによる歪み耐性を提供する要素の1つであり得る。さらに、多孔質構造は、コーティングの熱膨張率（CTE）とその下にあるボンドコーティング／基材のCTEとの間の差異による応力低減を提供し得る。

#### 【0026】

柱状TBC24は、一般に、コーティングシステム20内の他の層のセラミック材料から独立して選択することができるセラミック遮熱材料を含む。すなわち、ある特定の実施形態では、柱状TBC24および他の層（例えば、柱状TBC24）のセラミック材料は、化学組成に関して、中間層26および／またはTBC層28と実質的に同一であってもよい。しかし、他の実施形態では、柱状TBC24のセラミック材料は、化学組成に関して、中間層26および／またはTBC層28とは異なってもよい。適切なセラミック遮熱コーティング材料は、酸化ハフニウム（「ハフニア」）または酸化ジルコニウム（「ジルコニア」）、特に安定化ハフニアまたは安定化ジルコニア、およびこれらの一方または両方を含むブレンドなどの様々な種類の酸化物を含む。安定化ジルコニアの例としては、限定はしないが、イットリア安定化ジルコニア、セリア安定化ジルコニア、カルシア安定化ジルコニア、スカンジウム安定化ジルコニア、マグネシア安定化ジルコニア、インジウム安定化ジルコニア、イッテルビア安定化ジルコニア、ランタナ安定化ジルコニア、ガドリニウム安定化ジルコニア、ならびにそのような安定化ジルコニアの混合物が挙げられる。同様の安定化ハフニア組成物は、当技術分野で公知であり、本明細書に記載の実施形態での使用に適している。

#### 【0027】

ある特定の実施形態では、柱状TBC24は、イットリア安定化ジルコニアを含む。適切なイットリア安定化ジルコニアは、約1重量％～約60重量％のイットリア（イットリアとジルコニアの合計重量に基づく）、より典型的には、約3重量％～約20重量％のイットリアを含むことができる。例示的なイットリア安定化ジルコニア遮熱コーティングは、約7％のイットリアと、約93％のジルコニアとを含む。これらの種類のジルコニアは、遮熱コーティング材料の熱伝導率をさらに低下させるために、ジスプロシア、エルビア、ユーロピア、ガドリニウム、ネオジミウム、プラセオジミウム、ウラニウム、およびハフニアなどの第2の金属（例えば、ランタニドまたはアクチニド）酸化物の1つまたは複数をさらに含むことができる。いくつかの実施形態では、遮熱コーティング材料は、チタニウムなどの追加の金属酸化物をさらに含むことができる。

#### 【0028】

適切なセラミック遮熱コーティング材料はまた、一般式 $A_2B_2O_7$ のパイロクロアを含むことができ、式中、Aは、3+または2+の価数を有する金属（例えば、ガドリニウム、アルミニウム、セリウム、ランタンまたはイットリウム）であり、Bは、4+または5+の価数を有する金属（例えば、ハフニウム、チタン、セリウムまたはジルコニウム）であり、AおよびBの価数の合計は、7である。この種類の代表的な材料は、ジルコン酸ガドリニウム、チタン酸ランタン、ジルコン酸ランタン、ジルコン酸イットリウム、ハフニウム酸ランタン、ハフニウム酸セリウム、およびセリウム酸ランタンを含む。

#### 【0029】

柱状TBC24は、最大100重量％の量のセラミック遮熱コーティング材料を含むことができる。いくつかの実施形態では、柱状TBC24は、約95重量％～100重量％、より具体的には約98重量％～100重量％の範囲のセラミック遮熱コーティング材料を含む。柱状TBC24の選択された組成物は、任意の隣接するボンドコーティング22（存在する場合）の組成物、柱状TBC24に望ましい熱膨張率（CTE）特性、および柱状TBC24に望ましい遮熱特性を含む、1つまたは複数の要素に依存し得る。

#### 【0030】

柱状TBC24の厚さは、基材12および／または構成要素10の意図された使用に依存し得る。一実施形態では、柱状TBC24は、約25ミクロン～約2000ミクロンの範囲の厚さを有する。ある特定の実施形態では、柱状TBC24は、約25ミクロン～約1500ミクロン（例えば、約25ミクロン～約1000ミクロン）の範囲の厚さを有する。

#### 【0031】

上述したように、中間層26が、柱状TBC24の表面25に形成される。図示された実施形態では、中間層26は、柱状TBC24の表面25に他の層を全く介さずに直接形成される。しかし、他の実施形態では、追加の層が存在してもよい。

#### 【0032】

一般に、中間層26は、柱状TBC24の表面25よりも（表面粗さに関して）粗い表面27を画定するように形成される。例えば、中間層26の表面27は、一実施形態では、約2μm以上、例えば約2.5μm以上（例えば、約2.5μm～約6.5μm、例えば約3μm～約6μm）の表面粗さ（Ra）を有する。中間層26の表面27の増大した表面粗さは、その後に堆積される層（例えば、APS TBC層）がコーティングシステム内で結合する能力を高める。

#### 【0033】

中間層26は、柱状TBC24の比較的滑らかな表面25を中間層26によって画定されたより粗い表面27に移行させるのに十分な厚さに形成され、コーティングシステム20に最小厚さを付加することができる。一実施形態では、中間層26は、柱状TBC24の厚さよりも薄い厚さを有することができる。例えば、ある特定の実施形態では、中間層26は、柱状TBC24の厚さの半分（例えば、約1%～約50%）未満、例えば柱状TBC24の厚さの約1%～約25%（例えば、柱状TBC24の厚さの約1%～約10%）の厚さを有することができる。例えば、柱状TBC24が約25ミクロン～約500ミクロンの厚さを有する場合、中間層26は、約4ミクロン～約500ミクロンの厚さを有することができる。

#### 【0034】

そのようなAPSコーティングは、プラズマ溶射トーチを用いて微粒子（例えば、粉末金属氧化物または非氧化物材料）のガス推進噴霧を加熱することによって形成されてもよい。微粒子の噴霧は、粒子が溶融する温度に加熱され、中間層26を形成するために微粒子が衝撃により凝固する堆積表面（すなわち、柱状TBC24の表面25）に向けられる。微粒子は、一般に、粒子を溶融し、それらを溶融形態で柱状TBC24の表面25上に堆積させるプラズマ溶射トーチに注入されたガスを介して運ばれる。溶融した微粒子が高速で表面25に衝突すると、それらは冷却するにつれて薄く、実質的に均一なコーティングに凝固する。

#### 【0035】

一実施形態では、微粒子は、中間層26を形成する表面25と溶融した微粒子とを良好に接着するために、柱状TBC24の表面25が約90°C～約650°Cの表面温度を有するように、加熱された基材上に堆積される。例えば、柱状TBC24の表面25は、微粒子が添加される前にプラズマジェットを使用して予熱されてもよい。

#### 【0036】

中間層26を形成するのに有用な微粒子は、平均直径が約0.1μm～約100ミクロン（例えば、約10μm～約80μm）のサイズの範囲であり得る。微粒子のサイズおよび組成物のために、噴霧は、柱状TBC24に複数の不均一なスプラットを形成し、最終的に結合してAPS中間層26を形成する。スプラットの正確な厚さおよびサイズは、空気プラズマ溶射およびプラズマ溶射条件に使用される微粒子の初期サイズに依存する。

#### 【0037】

APS堆積の間に、得られる中間層26の密度は、他の変数の中でも、粒子サイズ、火炎温度、基材の表面温度、ノズル距離、および／または粒子の速度を変えることによって制御することができる。例えば、形成されたAPS層の密度は、APSの温度（例えば、

10

20

30

40

50

火炎温度および／または基材温度)を上昇させ、粒子サイズを減少させ、粒子速度を増加させることなどによって増加させることができる(すなわち、層の多孔度を減少させることができる)。

#### 【0038】

一実施形態では、中間層26は、APSを介して形成され、スプラット間境界が強く接合されて多孔度を最小にする(すなわち、密度を最大にする)ように完全に溶融した材料のスプラットを噴霧することによって形成される微細構造を有する。すなわち、APSプロセスを介して完全に溶融したスプラットを堆積させて緻密な微細構造を形成する間に、中間層26のスプラット間ギャップが最小にされる。したがって、中間層26は、柱状TBC24の多孔度よりも小さい多孔度および／または後に堆積されるTBC28の多孔度よりも小さい多孔度を有することができる。一実施形態では、例えば、中間層26は、約10%以下(例えば、約0.1%~約10%)、例えば約5%以下(例えば、約0.1%~約5%)の多孔度で堆積される。完全に溶融したスプラットは、柱状TBC24の滑らかな表面25との接着性を向上させ、表面27の粗さを増加させ、後に堆積されるTBC層(例えば、溶射コーティング)との中間層の良好な結合を可能にする。このように、改良されたスプラット接触および緻密なコーティング微細構造は、中間層26と下にあるTBC24(例えば、EB-PVD TBC層)との間、ならびに後に堆積される層との良好な接着性をもたらす。

#### 【0039】

中間層26を形成するために利用される微粒子は、イッテルビウム、イットリア、ハフニウム、タンタルおよび／またはジルコニウム、それらの組み合わせ、ならびにそれらの酸化物などの柱状TBC24に関して上述したような任意の適切な材料を含むことができる。すなわち、特定の実施形態では、微粒子は、柱状TBC24のセラミック材料から独立して選択することができるセラミック遮熱材料を含むことができる。しかし、ある特定の実施形態では、柱状TBC24および中間層26のセラミック材料は、化学組成に関して実質的に同一である。他の実施形態では、柱状TBC24および中間層26のセラミック材料は、化学組成に関して異なる。

#### 【0040】

適切な中間層26の材料は、酸化ハフニウム(「ハフニア」)または酸化ジルコニウム(「ジルコニア」)、特に安定化ハフニアまたは安定化ジルコニア、およびこれらの一方または両方を含むブレンドなどの様々な種類の酸化物を含む。安定化ジルコニアの例としては、限定はしないが、イットリア安定化ジルコニア、セリア安定化ジルコニア、カルシア安定化ジルコニア、スカンジウム安定化ジルコニア、マグネシア安定化ジルコニア、インジウム安定化ジルコニア、イッテルビウム安定化ジルコニア、ランタナ安定化ジルコニア、ガドリウム安定化ジルコニア、ならびにそのような安定化ジルコニアの混合物が挙げられる。同様の安定化ハフニア組成物は、当技術分野で公知であり、本明細書に記載の実施形態での使用に適している。ある特定の実施形態では、中間層26は、イットリア安定化ジルコニアを含む。いくつかの実施形態では、中間層26の材料は、チタニアなどの追加の金属酸化物をさらに含むことができる。適切なセラミック中間層26の材料はまた、ジルコン酸ガドリニウム、チタン酸ランタン、ジルコン酸ランタン、ジルコン酸イットリウム、ハフニウム酸ランタン、ハフニウム酸セリウム、セリウム酸ランタン、 $Y_2SiO_5$ 、 $Yb_2SiO_5$ 、 $Y_2Si_2O_7$ 、 $Yb_2Si_2O_7$ 、またはそれらの組み合わせなどの一般式 $A_2B_2O_7$ のパイロクロア(上述のような)を含んでもよい。

#### 【0041】

中間層26は、最大100重量%の量のセラミックTBC層材料を含むことができる。いくつかの実施形態では、中間層26は、約95重量%~100重量%、より具体的には約98重量%~約100重量%の範囲のセラミックTBC層材料を含む。中間層26の選択された組成物は、隣接する柱状TBC24の組成物、中間層26に望ましい熱膨張率(CTE)特性、および中間層26に望ましい遮熱特性を含む、1つまたは複数の要素に依存し得る。

## 【0042】

上述のように、後続のTBC28が中間層26上に適用され、表面27が改良された接着性をもたらす。一実施形態では、第2のTBC28は、APSを介して形成されてもよいが、異なる処理パラメータにより、中間層26の多孔度と比較してTBC28の多孔度を増加させる。例えば、形成されたAPS層の密度は、APSの温度（例えば、火炎温度および／または基材温度）を減少させ、粒子サイズを増加させ、粒子速度を減少させることなどによって減少させることができる（すなわち、層の多孔度を増加させることができる）。

## 【0043】

一実施形態では、TBC28は、APSを介して形成され、スプラット間境界がギャップによって分離されてある程度の多孔度が生じるように部分的に溶融した材料のスプラットを噴霧することによって形成される微細構造を有する。したがって、TBC28は、中間層26の多孔度よりも大きい多孔度を有することができる。一実施形態では、例えば、TBC28は、約10%～約25%の多孔度で堆積される。さらに、部分的に溶融したスプラットは、中間層26の粗面27との良好な接着性を有する。

## 【0044】

このようなAPSコーティングは、中間層26に関して上述したように、プラズマ溶射トーチを用いて微粒子のガス推進噴霧を加熱することによって形成することができ、TBC28を形成する表面27と部分的に溶融した微粒子とを良好に接着するために、中間層の表面27が約90℃～約225℃の表面温度を有するように、加熱された基材上に適用され得る。例えば、表面27は、微粒子が添加される前にプラズマジェットを使用して予熱されてもよい。

## 【0045】

TBC28を形成するのに有用な微粒子は、平均直径が約0.1μm～約100ミクロン（例えば、約10μm～約80μm）のサイズの範囲であり得る。微粒子のサイズおよび組成物のために、噴霧は、中間層26に複数の不均一なスプラットを形成し、最終的に結合してTBC28を形成する。スプラットの正確な厚さおよびサイズは、空気プラズマ溶射およびプラズマ溶射条件に使用される微粒子の初期サイズに依存する。

## 【0046】

TBC28を形成するために利用される微粒子は、イッテルビウム、イットリア、ハフニウム、タンタルおよび／またはジルコニウム、それらの組み合わせ、ならびにそれらの酸化物などの柱状TBC24および／または中間層26に関して上述したような任意の適切な材料を含むことができる。すなわち、特定の実施形態では、微粒子は、中間層26のセラミック材料から独立して選択することができるセラミック遮熱材料を含むことができる。しかし、ある特定の実施形態では、中間層26およびTBC28のセラミック材料は、化学組成に関して実質的に同一である。他の実施形態では、中間層26およびTBC28のセラミック材料は、化学組成に関して異なる。

## 【0047】

適切なTBC28の材料は、酸化ハフニウム（「ハフニア」）または酸化ジルコニウム（「ジルコニア」）、特に安定化ハフニアまたは安定化ジルコニア、およびこれらの一方または両方を含むブレンドなどの様々な種類の酸化物を含む。安定化ジルコニアの例としては、限定はしないが、イットリア安定化ジルコニア、セリア安定化ジルコニア、カルシア安定化ジルコニア、スカンジウム安定化ジルコニア、マグネシア安定化ジルコニア、インジウム安定化ジルコニア、イッテルビウム安定化ジルコニア、ランタナ安定化ジルコニア、ガドリウム安定化ジルコニア、ならびにそのような安定化ジルコニアの混合物が挙げられる。同様の安定化ハフニア組成物は、当技術分野で公知であり、本明細書に記載の実施形態での使用に適している。ある特定の実施形態では、TBC28は、イットリア安定化ジルコニアを含む。いくつかの実施形態では、TBC28の材料は、チタニアなどの追加の金属酸化物をさらに含むことができる。適切なセラミックTBC28の材料はまた、ジルコン酸ガドリニウム、チタン酸ランタン、ジルコン酸ランタン、ジルコン酸イットリウム、

10

20

30

40

50

ハフニウム酸ランタン、ハフニウム酸セリウム、セリウム酸ランタン、 $Y_2SiO_5$ 、 $Yb_2SiO_5$ 、 $Y_2Si_2O_7$ 、 $Yb_2Si_2O_7$ 、またはそれらの組み合わせなどの一般式 $A_2B_2O_7$ のパイロクロア（上述のような）を含んでもよい。

#### 【0048】

TBC 28は、最大100重量%の量のセラミックTBC層材料を含むことができる。いくつかの実施形態では、TBC 28は、約95重量%～100重量%、より具体的には約98重量%～約100重量%の範囲のセラミックTBC層材料を含む。TBC 28の選択された組成物は、隣接する中間層26の組成物、TBC 28に望ましい熱膨張率（CTE）特性、およびTBC 28に望ましい遮熱特性を含む、1つまたは複数の要素に依存し得る。

10

#### 【0049】

TBC 28の厚さは、堆積される基材12および／または形成される構成要素10の種類に依存し得る。特定の実施形態では、TBC 28の厚さは、下にある中間層26の厚さに依存し得るが、典型的には、コーティングシステム20の総厚の半分未満である。いくつかの実施形態では、TBC 28は、中間層26の厚さよりも大きい。特定の実施形態では、例えば、存在する場合、TBC 28は、中間層26よりも約0.5倍～約5倍厚い厚さを有し、十分な障壁コーティングシステム20を提供することができる。例えば、TBC 28は、約25ミクロン～約500ミクロンの厚さを有することができる。

#### 【0050】

上述したように、コーティングシステム20は、一般に、基材12の表面14上に配置され、構成要素10を形成する。特定の実施形態では、構成要素10は、ガスタービンアセンブリの構成要素（例えば、その中の高温ガス経路内）のような、高温環境下で使用される任意の構成要素であり得る。そのような構成要素の例としては、限定はしないが、ブレードおよびベーンのようなタービン翼形部と、ライナおよびトランジションピースのような燃焼構成要素とを含む構成要素が挙げられる。

20

#### 【0051】

上述したような構成要素10などのコーティングされた構成要素を製作するために、基材の表面にコーティングシステムを形成するための方法も一般に提供される。例えば、図2は、コーティングシステムを製作する例示的な方法200の図を示す。210において、任意のボンドコーティングが、基材の表面に重なって形成される。220において、柱状TBCが、基材の表面に（例えば、基材の表面に重なるボンドコーティングに）形成される。230において、上述したような中間層を柱状TBC層上に形成することができ、中間層は、柱状TBCよりも粗い表面および大きい密度（すなわち、より小さい多孔度）を有する。240において、上述したようなTBC 28などの第2のTBCを中間層上に形成することができ、第2のTBCは、中間層よりも小さい密度を有する（すなわち、中間層よりも大きい多孔度を有する）。

30

#### 【0052】

本明細書は、本発明を最良の態様を含めて開示するとともに、あらゆるデバイスまたはシステムの製作および使用ならびにあらゆる関連の方法の実行を含む本発明の実施を当業者にとって可能にするために、例示的な実施形態を用いている。本発明の特許可能な範囲は、特許請求の範囲によって定義され、当業者が想到する他の実施例を含むことができる。このような他の実施例は、それらが特許請求の範囲の文言と異なる構造要素を含む場合、または特許請求の範囲の文言と実質的な差異を有さない等価の構造要素を含む場合、特許請求の範囲内であることを意図している。

40

#### [実施態様1]

その上にコーティングシステム（20）を有する表面（25、27）を有する基材（12）を備えるコーティングされた構成要素（10）であって、前記コーティングシステム（20）は、

前記基材（12）の前記表面（25、27）上にあり、表面接続された空隙（30）を含み、前記基材（12）の反対側の表面（25、27）を有する柱状遮熱コーティング（

50

T B C) (24) と、

前記柱状 T B C 層上にあり、前記柱状 T B C (24) の前記表面 (25、27) よりも粗い前記柱状 T B C (24) の反対側の表面 (25、27) を有する中間層 (26) と、  
前記中間層 (26) 上の第 2 の T B C (28) と  
を備える、コーティングされた構成要素 (10)。

[実施態様 2]

前記表面接続された空隙 (30) が、実質的に垂直に配向される、実施態様 1 に記載のコーティングされた構成要素 (10)。

[実施態様 3]

前記表面接続された空隙 (30) の大部分が、前記柱状 T B C (24) の全厚にわたって延びる、実施態様 1 に記載のコーティングされた構成要素 (10)。

10

[実施態様 4]

前記柱状 T B C (24) の前記表面接続された空隙 (30) が、前記柱状 T B C (24) 内の結晶粒界によって画定される、実施態様 1 に記載のコーティングされた構成要素 (10)。

[実施態様 5]

前記第 2 の T B C (28) が、多孔度を有し、前記中間層 (26) が、前記第 2 の T B C (28) の前記多孔度よりも小さい多孔度を有する、実施態様 1 に記載のコーティングされた構成要素 (10)。

[実施態様 6]

20

前記中間層 (26) が、約 0.1% ~ 約 10% の多孔度を有し、前記第 2 の T B C (28) が、約 10% ~ 約 25% の多孔度を有する、実施態様 1 に記載のコーティングされた構成要素 (10)。

[実施態様 7]

前記柱状 T B C (24) が、厚さを有し、前記中間層 (26) が、前記柱状 T B C (24) の前記厚さの約 1% ~ 約 50% の厚さを有する、実施態様 1 に記載のコーティングされた構成要素 (10)。

[実施態様 8]

前記コーティングシステム (20) が、ボンドコーティング (22) が前記柱状 T B C (24) と前記基材 (12) の前記表面 (25、27) との間に存在するように、前記基材 (12) の前記表面 (25、27) に前記ボンドコーティング (22) をさらに備える、実施態様 1 に記載のコーティングされた構成要素 (10)。

30

[実施態様 9]

熱成長酸化物層 (23) が、前記ボンドコーティング (22) と前記柱状 T B C (24) との間の前記ボンドコーティング (22) の上にある、実施態様 8 に記載のコーティングされた構成要素 (10)。

[実施態様 10]

前記中間層 (26) の前記表面 (25、27) が、約 2  $\mu\text{m}$  以上の表面粗さ (Ra) を有する、実施態様 1 に記載のコーティングされた構成要素 (10)。

[実施態様 11]

40

前記中間層 (26) の前記表面 (25、27) が、約 2.5  $\mu\text{m}$  ~ 約 6.5  $\mu\text{m}$  の表面粗さ (Ra) を有する、実施態様 1 に記載のコーティングされた構成要素 (10)。

[実施態様 12]

前記柱状 T B C (24) の前記表面 (25、27) が、前記空隙 (30) によって形成される空間を除く領域において、約 2.5  $\mu\text{m}$  以下の表面粗さ (Ra) を有する、実施態様 1 に記載のコーティングされた構成要素 (10)。

[実施態様 13]

前記柱状 T B C (24) の前記表面 (25、27) が、前記空隙 (30) によって形成される前記空間を除く前記領域において、約 2  $\mu\text{m}$  以下の表面粗さ (Ra) を有する、実施態様 1 に記載のコーティングされた構成要素 (10)。

50

## 〔実施態様 14〕

前記柱状 TBC (24) が、セラミック材料を含み、前記中間層 (26) が、空気プラズマ溶射を介して堆積されたセラミック材料を含む、実施態様 1 に記載のコーティングされた構成要素 (10)。

## 〔実施態様 15〕

前記基材 (12) が、金属または金属合金を含む、実施態様 1 に記載のコーティングされた構成要素 (10)。

## 〔実施態様 16〕

基材 (12) の表面 (25、27) にコーティングシステム (20) を形成する方法 (200) であって、

前記基材 (12) の前記表面 (25、27) 上に柱状遮熱コーティング (TBC) (24) を形成することであって、前記柱状 TBC (24) は、表面接続された空隙 (30) を有し、第 1 の表面粗さを有する表面 (25、27) を有することと、

前記柱状 TBC (24) 上に空気プラズマ溶射 (APS) 中間層 (26) を形成することであって、前記中間層 (26) は、前記柱状 TBC (24) の前記第 1 の表面粗さよりも粗い第 2 の表面粗さを有する前記柱状 TBC (24) の反対側の表面 (25、27) を有することと

を含む、方法 (200)。

## 〔実施態様 17〕

前記表面接続された空隙 (30) が、実質的に垂直に配向され、前記柱状 TBC (24) の前記表面 (25、27) が、前記空隙 (30) によって形成される空間を除く領域において、約 2.5  $\mu\text{m}$  以下の表面粗さ (Ra) を有し、前記中間層 (26) の前記表面 (25、27) が、約 2.5  $\mu\text{m}$  以上の表面粗さ (Ra) を有する、実施態様 16 に記載の方法 (200)。

## 〔実施態様 18〕

前記 APS 中間層 (26) を形成することが、

前記 APS 中間層 (26) が約 10% 以下の多孔度を有するように、プラズマ溶射トーチを介して、前記柱状 TBC (24) の前記表面 (25、27) 上に複数の完全に溶融した微粒子を噴霧することを含み、前記微粒子が、セラミック TBC 層材料を含む、実施態様 16 に記載の方法 (200)。

## 〔実施態様 19〕

前記 APS 中間層 (26) 上に第 2 の TBC (28) を形成することをさらに含む、実施態様 16 に記載の方法 (200)。

## 〔実施態様 20〕

前記 APS 中間層 (26) 上に第 2 の TBC (28) を形成することが、

前記第 2 の TBC (28) が約 10%～約 25% の多孔度を有するように、プラズマ溶射トーチを介して、前記柱状 TBC (24) の前記表面 (25、27) 上に複数の部分的に溶融した微粒子を噴霧することを含み、前記微粒子が、セラミック TBC 層材料を含む、実施態様 19 に記載の方法 (200)。

## 【符号の説明】

## 【0053】

- 10 構成要素
- 12 基材、金属基材
- 14 表面
- 20 コーティングシステム、障壁コーティングシステム
- 22 ボンドコーティング
- 23 熱成長酸化物層
- 24 柱状遮熱コーティング (TBC)
- 25 表面
- 26 中間層、セラミック中間層、APS 中間層

10

20

30

40

50

- 27 表面、粗面
- 28 TBC層、第2の柱状遮熱コーティング(TBC)
- 30 空隙
- 200 方法

【図1】

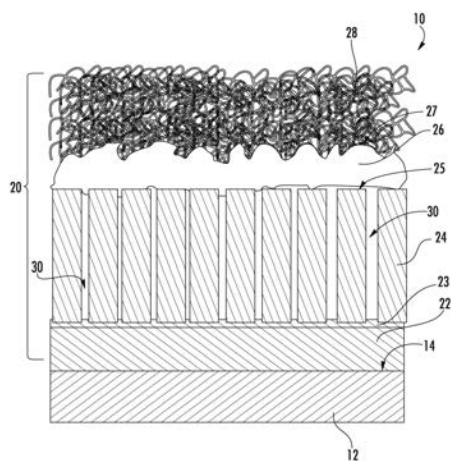


FIG. 1

【図2】

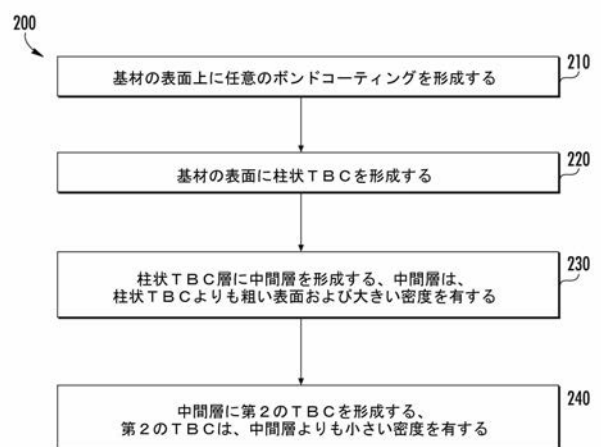


FIG. 2

---

フロントページの続き

(72)発明者 ミン・フー

アメリカ合衆国、オハイオ州・45215、シンシナティ、ヌーマンウェイ、1

(72)発明者 マイケル・デビッド・クラーク

アメリカ合衆国、オハイオ州・45215、シンシナティ、ヌーマンウェイ、1

(72)発明者 ダグラス・ジェラルド・コニツァー

アメリカ合衆国、オハイオ州・45215、シンシナティ、ヌーマンウェイ、1

Fターム(参考) 4K031 AA02 AB05 AB08 CB42 CB50 DA04

【外国語明細書】  
2019065384000001.pdf