



(10) **DE 11 2017 002 907 T5** 2019.03.07

(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2017/213113**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2017 002 907.4**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2017/020912**
(86) PCT-Anmeldetag: **06.06.2017**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **14.12.2017**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **07.03.2019**

(51) Int Cl.: **C23C 28/04** (2006.01)
C23C 4/11 (2016.01)
C23C 4/18 (2006.01)
F01D 5/28 (2006.01)
F01D 9/02 (2006.01)
F02C 7/00 (2006.01)
F23R 3/42 (2006.01)
C23C 4/134 (2016.01)
C23C 4/073 (2016.01)

(30) Unionspriorität:
2016-114261 **08.06.2016** **JP**

(71) Anmelder:
Mitsubishi Heavy Industries, Ltd., Tokyo, JP

(74) Vertreter:
Patentanwälte Henkel, Breuer & Partner mbB,
80333 München, DE

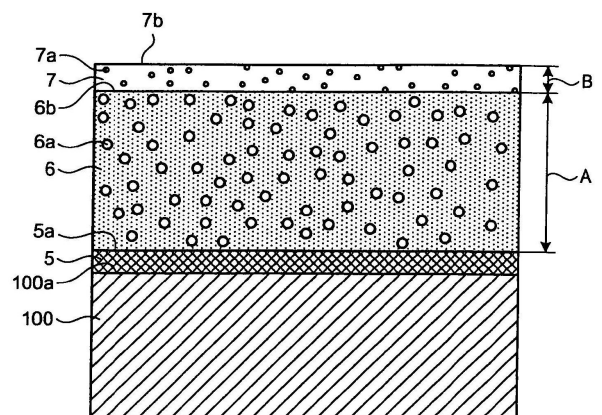
(72) Erfinder:
Tanigawa, Shuji, Tokyo, JP; Mega, Masahiko,
Tokyo, JP; Torigoe, Taiji, Tokyo, JP; Okajima,
Yoshifumi, Tokyo, JP; Kudo, Daisuke, Tokyo, JP

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Wärmedämmschicht, Turbinenelement und Gasturbine**

(57) Zusammenfassung: Die Wärmeabschirmungseigenschaft und die Erosionsbeständigkeit werden sichergestellt, während die Korrosionsbeständigkeit erhöht wird. Bereitgestellt werden eine auf einer wärmebeständigen Basis (100) ausgebildete hochporöse Schicht (6), welche aus Keramik besteht und Poren aufweist, sowie eine auf der hochporösen Schicht (6) ausgebildete dichte Schicht (7), welche aus Keramik besteht, einen Porenanteil von 0.9 Vol.-% oder weniger aufweist, was gleichgroß oder geringer ist als jener der hochporösen Schicht (6), eine Schichtdicke von 0.05 mm oder weniger besitzt, und eine Vickershärte von 800 Hv oder mehr aufweist.



Beschreibung**Zusammenfassung****Gebiet****Technisches Problem**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Wärmedämmschicht, sowie ein Turbinenelement und eine die Wärmedämmschicht umfassende Gasturbine.

Hintergrund

[0002] Patentliteratur 1 beschreibt beispielweise eine Wärmedämmschicht, welche mittels eines Verfahrens zur Herstellung einer Wärmedämmschicht hergestellt worden ist. Das Verfahren zur Herstellung der Wärmedämmschicht umfasst einen Schritt des Ausbilden einer Metallbindeschicht auf einer wärmebeständigen Basis, und einen Schritt des Ausbilden einer Keramikschicht auf der Metallbindeschicht. Der Schritt des Ausbilden der Keramikschicht umfasst eine Stufe des Ausbilden einer hochporösen, Poren umfassenden Schicht durch thermisches Aufspritzen auf die Metallbindeschicht, eine Stufe des Ausbilden einer dichten Schicht mit einer Struktur, welche dichter ist als jene der hochporösen Schicht, auf der hochporösen Schicht, und eine Stufe des Polierens der Oberfläche der dichten Schicht auf eine Art und Weise, dass die dichte Schicht eine vorbestimmte Dicke aufweist.

[0003] Patentliteratur 2 beschreibt beispielweise ein Beschichtungssystem, welches eine Wärmedämmschicht, enthaltend ein auf einer Metallkomponente bereitgestelltes chemisch stabilisiertes Zirkoniummaterial, und eine auf der Wärmedämmschicht angeordnete, thermisch aufgespritzte Aluminiumoxid-basierte Beschichtung umfasst. Die Aluminiumoxid-basierte Beschichtung enthält zumindest 87 Gew.-% Aluminiumoxid, bezogen auf das Gesamtgewicht der Aluminiumoxid-basierten Beschichtung, und weist eine Dicke auf, die wirksam ist, den Schmelzpunkt einer gemischte Kalzium-Magnesium-Aluminium-Silizium-Oxide enthaltenden verunreinigten Zusammensetzung zu erhöhen. Die mittlere Oberflächenrauigkeit der thermisch aufgespritzten Aluminiumoxid-basierten Beschichtung beträgt weniger als 4.0 µm bis etwa 0.75 µm.

Zitierungsliste**Patentliteratur**

- | | | | | |
|-----------------|----|-------------|--------|---------|
| Patentliteratur | 1: | Japanisches | Patent | Nr. |
| | | | | 5737996 |
| Patentliteratur | 2: | Japanisches | Patent | Nr. |
| | | | | 5554488 |

[0004] Patentliteratur 1 beschreibt eine typische herkömmliche Wärmedämmschicht (TBC) mit Zweischichtstruktur, in welcher eine Metallbindeschicht und eine Keramikschicht in dieser Reihenfolge ausgebildet sind. Eine Aufgabe der herkömmlichen TBC ist es, eine gute Wärmeabschirmungseigenschaft sicherzustellen, und eine hohe Erosionsbeständigkeit und eine glatte Oberfläche aufzuweisen. Wie vorstehend beschrieben, stellt Patentliteratur 1 die Keramikschicht bereit, welche eine hochporöse Schicht und eine auf der hochporösen Schicht ausgebildete dichte Schicht umfasst.

[0005] In ölverbrennenden Gasturbinenanlagen, welche Erdöl als Brennstoff nutzen, sind als Turbinenelemente dienende Turbinenlaufschaufeln und Turbinenleitschaufeln allerdings einer Umgebung ausgesetzt, die hochtemperaturkorrosive Substanzen (z.B. Na_2SO_4 und CaSO_4) umfasst. Die hochtemperaturkorrosiven Substanzen dringen in eine TBC ein und reduzieren hierbei die Lebensdauer der TBC. Infolgedessen kann sich die TBC möglicherweise ablösen.

[0006] Um dem vorstehend beschriebenen Nachteil zu begegnen, besteht eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, eine Wärmedämmschicht, ein Turbinenelement und eine Gasturbine bereitzustellen, welche(s) die Wärmeabschirmungseigenschaft und die Erosionsbeständigkeit sicherstellen und die Korrosionsbeständigkeit erhöhen kann.

Lösung des Problems

[0007] Um die vorstehend beschriebene Aufgabe zu lösen, umfasst eine Wärmedämmschicht gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung eine auf einer wärmebeständigen Basis ausgebildete hochporöse Schicht, welche aus Keramik besteht und Poren aufweist; und eine auf der hochporösen Schicht ausgebildete dichte Schicht, welche aus Keramik besteht, einen Porenanteil von 0.9 Vol.-% oder weniger aufweist, was gleichgroß oder geringer ist als der Porenanteil der hochporösen Schicht, eine Schichtdicke von 0.05 mm oder weniger besitzt, und eine Vickershärte von 800 Hv oder mehr aufweist.

[0008] Diese Wärmedämmschicht kann die Wärmeabschirmungseigenschaft für die wärmebeständige Basis in der hochporösen Schicht sicherstellen. Indem die dichte Schicht auf der hochporösen Schicht ausgebildet ist und als Hartschicht mit Dichte im Porenanteil und Vickershärte dient, kann die Wärmedämmschicht die Erosionsbeständigkeit sicherstellen. Die Dichte im Porenanteil der dichten Schicht kann das Eindringen von korrosiven Komponenten

verhindern und die Korrosionsbeständigkeit erhöhen. Infolgedessen kann die Wärmedämmschicht eine höhere Haltbarkeit in einer korrosiven Hochtemperaturumgebung aufweisen.

[0009] Um die vorstehend beschriebene Aufgabe zu lösen, umfasst eine Wärmedämmschicht gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung eine auf einer wärmebeständigen Basis ausgebildete Metallbindeschicht; eine auf der Metallbindeschicht ausgebildete hochporöse Schicht, welche aus Keramik besteht und Poren aufweist; und eine auf der hochporösen Schicht ausgebildete dichte Schicht, welche aus Keramik besteht, einen Porenanteil von 0.9 Vol.-% oder weniger aufweist, was gleichgroß oder geringer ist als der Porenanteil der hochporösen Schicht, eine Schichtdicke von 0.05 mm oder weniger besitzt, und eine Vickershärte von 800 Hv oder mehr aufweist.

[0010] Diese Wärmedämmschicht kann die Wärmeabschirmungseigenschaft für die wärmebeständige Basis in der hochporösen Schicht, welche über die Metallbindeschicht an die wärmebeständige Basis gebunden ist, sicherstellen. Indem die dichte Schicht auf der hochporösen Schicht ausgebildet ist und als Hartschicht mit Dichte im Porenanteil und Vickershärte dient, kann die Wärmedämmschicht die Erosionsbeständigkeit sicherstellen. Die Dichte im Porenanteil der dichten Schicht kann das Eindringen von korrosiven Komponenten verhindern und die Korrosionsbeständigkeit erhöhen. Infolgedessen kann die Wärmedämmschicht eine höhere Haltbarkeit in einer korrosiven Hochtemperaturumgebung aufweisen.

[0011] Zudem umfasst die Wärmedämmschicht gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung bevorzugt weiterhin eine geschmolzene Schicht, welche durch Schmelzen der dichten Schicht auf der dichten Schicht ausgebildet ist.

[0012] In dieser Wärmedämmschicht wird die geschmolzene Schicht durch Schmelzen der äußeren Schicht der dichten Schicht, welche einen Porenanteil von 0.9 Vol.-% oder weniger aufweist, ausgebildet, wobei das Schmelzen die Oberfläche der dichten Schicht dichter macht. Dementsprechend kann die Wärmedämmschicht die Korrosionsbeständigkeit weiter erhöhen. Infolgedessen kann die Wärmedämmschicht eine höhere Haltbarkeit in einer korrosiven Hochtemperaturumgebung aufweisen.

[0013] Zudem beträgt in der Wärmedämmschicht gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung die Schichtdicke der dichten Schicht unterhalb der geschmolzenen Schicht bevorzugt 0.01 mm oder mehr.

[0014] In dieser Wärmedämmschicht kann, obwohl die geschmolzene Schicht aufgrund ihrer hohen Dichte möglicherweise eine geringere Festigkeit aufweisen kann, eine derartige Verringerung der Festigkeit

unterdrückt werden, indem die Schichtdicke der dichten Schicht unterhalb der geschmolzenen Schicht auf 0.01 mm oder mehr eingestellt wird.

[0015] Zudem ist es in der Wärmedämmschicht gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung bevorzugt, dass entweder die hochporöse Schicht oder die dichte Schicht aus einem Yttrium-stabilisierten Zirkoniummaterial besteht und die andere Schicht aus einem Ytterbium-stabilisierten Zirkoniummaterial besteht.

[0016] In dieser Wärmedämmschicht besteht entweder die hochporöse Schicht oder die dichte Schicht aus dem Yttrium-stabilisierten Zirkoniummaterial, und die andere Schicht besteht aus dem Ytterbium-stabilisierten Zirkoniummaterial. Durch diese Konfiguration kann die Wärmedämmschicht die Wärmeabschirmungseigenschaft für die wärmebeständige Basis in der hochporösen Schicht auf signifikante Art und Weise sicherstellen. Ferner kann die Wärmedämmschicht die Erosionsbeständigkeit in der dichten Schicht sicherstellen und die Korrosionsbeständigkeit signifikant erhöhen. Infolgedessen kann die Wärmedämmschicht eine höhere Haltbarkeit in einer korrosiven Hochtemperaturumgebung aufweisen.

[0017] Zudem bestehen in der Wärmedämmschicht gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung die hochporöse Schicht und die dichte Schicht bevorzugt aus einem Ytterbium-stabilisierten Zirkoniummaterial.

[0018] In dieser Wärmedämmschicht bestehen die hochporöse Schicht und die dichte Schicht aus dem Ytterbium-stabilisierten Zirkoniummaterial. Dementsprechend kann die Wärmedämmschicht die Funktionen einer hohen Wärmeabschirmung, Haltbarkeit und Korrosionsbeständigkeit aufweisen.

[0019] Um die vorstehend beschriebene Aufgabe zu lösen, umfasst ein Turbinenelement gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung eine der vorstehend beschriebenen Wärmedämmschichten auf einer Oberfläche.

[0020] Dieses Turbinenelement umfasst eine der vorstehend beschriebenen Wärmedämmschichten mit guter Wärmeabschirmungseigenschaft, hoher Erosionsbeständigkeit und hoher Korrosionsbeständigkeit. Dementsprechend kann das Turbinenelement in einem Gasturbinenelement angewendet werden, welches beispielsweise bei 1600°C verwendet wird.

[0021] Um die vorstehend beschriebene Aufgabe zu lösen, umfasst eine Gasturbine gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung das vorstehend beschriebene Turbinenelement.

[0022] Diese Gasturbine umfasst das Gasturbinenelement mit guter Wärmeabschirmungseigenschaft, hoher Erosionsbeständigkeit und hoher Korrosionsbeständigkeit. Dementsprechend weist die Gasturbine eine höhere Haltbarkeit auf.

Vorteilhafte Effekte der Erfindung

[0023] Die vorliegende Erfindung kann die Wärmeabschirmungseigenschaft und die Erosionsbeständigkeit sicherstellen, und kann die Korrosionsbeständigkeit erhöhen.

Figurenliste

Fig. 1 ist ein schematisches Konfigurationsdiagramm einer Gasturbine gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Fig. 2 ist ein schematisches Schnittdiagramm einer Wärmedämmschicht gemäß der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Fig. 3 ist ein schematisches Schnittdiagramm eines anderen Beispiels der Wärmedämmschicht gemäß der Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Beschreibung von Ausführungsformen

[0024] Beispielhafte Ausführungsformen gemäß der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigelegten Zeichnungen näher beschrieben. Die Ausführungsformen sollen die vorliegende Erfindung nicht beschränken. Komponenten der folgenden Ausführungsformen umfassen Komponenten, welche von einem Fachmann auf einfache Art und Weise ausgetauscht werden können, sowie Komponenten, welche im Wesentlichen identisch zu diesen sind.

[0025] **Fig. 1** ist ein schematisches Konfigurationsdiagramm einer Gasturbine gemäß der vorliegenden Ausführungsform.

[0026] Während die vorliegende Ausführungsform als Beispiel eine industrielle, in **Fig. 1** dargestellte Gasturbine **10** beschreibt, umfassen Beispiele der Ausführungsform auch andere Gasturbinen, wie z.B. in der Luftfahrt verwendete Gasturbinen.

[0027] Wie in **Fig. 1** dargestellt ist, umfasst die Gasturbine **10** einen Verdichter **1**, Brennkammern **2** und eine Turbine **3**. In der Gasturbine **10** ist eine als rotierende Welle fungierende Turbinenwelle **4** angeordnet, welche die Mitte des Verdichters **1**, der Brennkammern **2** und der Turbine **3** durchdringt. Der Verdichter **1**, die Brennkammern **2** und die Turbine **3** sind, in dieser Reihenfolge ausgehend von der stromaufwärtigen Seite zur stromabwärtigen Seite einer Luftströmung entlang einer Achse **R** der Turbinenwel-

le **4**, in einer Reihe bereitgestellt. In der nachfolgenden Beschreibung gibt eine Axialrichtung eine Richtung parallel zur Achse **R** an. Eine Umfangsrichtung gibt eine Richtung des Umfangs um die Achse **R** an. Eine Radialrichtung gibt eine Richtung senkrecht zur Achse **R** an.

[0028] Der Verdichter **1** verdichtet Luft, um verdichtete Luft zu erzeugen. Der Verdichter **1** umfasst Verdichterleitschaufeln **13** und Verdichterlaufschaufeln **14** in einem Verdichtergehäuse **12**, welches eine Luftansaugöffnung **11** aufweist, über welche Luft angesaugt wird. Die Verdichterleitschaufeln **13** sind am Verdichtergehäuse **12** befestigt, und sind in der Umfangsrichtung in einer Reihe bereitgestellt. Die Verdichterlaufschaufeln **14** sind an der Turbinenwelle **4** befestigt, und sind in der Umfangsrichtung in einer Reihe bereitgestellt. Die Verdichterleitschaufeln **13** und die Verdichterlaufschaufeln **14** sind entlang der Axialrichtung abwechselnd bereitgestellt.

[0029] Die Brennkammern **2** führen der verdichteten Luft, welches mittels des Verdichters **1** verdichtet worden ist, Brennstoff zu, und erzeugen hierbei ein Hochtemperatur- und Hochdruckverbrennungsgas. Die Brennkammern **2** umfassen jeweils einen Innenzylinder **21**, ein Übergangsstück **22** und ein Außengehäuse **23**. Der als Brennkammer fungierende Innenzylinder **21** mischt und verbrennt die verdichtete Luft und den Brennstoff. Das Übergangsstück **22** leitet das Verbrennungsgas vom Innenzylinder **21** zur Turbine **3**. Das Außengehäuse **23** bedeckt die äußere Umgebung des Innenzylinders **21** und definiert einen Luftkanal **25**, welcher die verdichtete Luft aus dem Verdichter **1** zum Innenzylinder **21** leitet. Eine Vielzahl (z.B. 16) von Brennkammern **2** sind in der Umfangsrichtung in einer Reihe in einem Brennkammergehäuse **24** bereitgestellt.

[0030] Die Turbine **3** erzeugt aus dem Verbrennungsgas, welches von den Brennkammern **2** verbrannt worden ist, eine Drehkraft. Die Turbine **3** umfasst Turbinenleitschaufeln **32** und Turbinenlaufschaufeln **33** in einem Turbinengehäuse **31**. Die Turbinenleitschaufeln **32** sind am Turbinengehäuse **31** befestigt, und sind in der Umfangsrichtung in einer Reihe bereitgestellt. Die Turbinenlaufschaufeln **33** sind an der Turbinenwelle **4** befestigt, und sind in der Umfangsrichtung in einer Reihe bereitgestellt. Die Turbinenleitschaufeln **32** und die Turbinenlaufschaufeln **33** sind entlang der Axialrichtung abwechselnd bereitgestellt. Hinter dem Turbinengehäuse **31** ist eine Abgaskammer **34** bereitgestellt, welche einen mit der Turbine **3** kommunizierenden Abgasdiffusor **34a** umfasst.

[0031] Die Turbinenwelle **4** ist drehbar um die Achse **R** bereitgestellt, wobei ein Ende auf der Seite des Verdichters **1** von einem Lager **41** geträgert ist und das andere Ende auf der Seite der Abgaskammer **34**

von einem Lager **42** geträgert ist. Das Ende der Turbinenwelle **4** auf der Seite des Verdichters **1** ist mit einer Antriebswelle eines nicht dargestellten Generators verbunden.

[0032] In der vorstehend beschriebenen Gasturbine **10** tritt Luft, welche über die Luftansaugöffnung **11** des Verdichters **1** angesaugt worden ist, durch die Verdichterleitschaufeln **13** und die Verdichterlaufschaufeln **14** hindurch und wird verdichtet, wobei verdichtete Hochtemperatur- und Hochdruckluft entsteht. Die Brennkammer **2** mischt und verbrennt Brennstoff und die verdichtete Luft, wodurch ein Hochtemperatur- und Hochdruckverbrennungsgas erzeugt wird. Das Verbrennungsgas tritt durch die Turbinenleitschaufeln **32** und die Turbinenlaufschaufeln **33** der Turbine **3** hindurch, wobei sie die Turbinenwelle **4** in Rotation versetzt und antreibt. Die Drehkraft wird dem mit der Turbinenwelle **4** verbundenen Generator zugeführt, wodurch Elektrizität erzeugt wird. Das dem Drehen und Antreiben der Turbinenwelle **4** resultierende Abgas tritt durch den Abgasdiffusor **34a** der Abgaskammer **34** hindurch und wird als Abgas in die Atmosphäre abgeführt.

[0033] Fig. 2 ist ein schematisches Schnittdiagramm einer Wärmedämmschicht gemäß der vorliegenden Ausführungsform.

[0034] Die Wärmedämmschicht (TBC) gemäß der vorliegenden Ausführungsform wird beispielweise für die vorstehend beschriebene Gasturbine **10** verwendet. Insbesondere wird die TBC, wie in Fig. 2 dargestellt ist, auf einer Oberfläche **100a** einer wärmebeständigen Basis **100** ausgebildet. Bei der wärmebeständigen Basis **100** handelt es sich um ein Turbinenelement, wie z.B. um Turbinenlaufschaufeln und Turbinenleitschaufeln, welche für die vorstehend beschriebene Gasturbine **10** verwendet werden.

[0035] Die in Fig. 2 dargestellte TBC umfasst eine Metallbindeschicht **5**, eine hochporöse Schicht **6** und dichte Schicht **7**, welche in dieser Reihenfolge, ausgehend von der Oberfläche **100a**, auf der Oberfläche **100a** der wärmebeständigen Basis **100** bereitgestellt sind.

[0036] Die Metallbindeschicht **5** besteht beispielweise aus einer MCrAlY-Legierung (M repräsentiert ein Metallelement, wie z.B. Ni, Co und Fe, oder eine Kombination von zwei oder mehreren dieser Elemente). Die Metallbindeschicht **5** kann auf der Oberfläche **100a** der wärmebeständigen Basis **100** durch thermisches Spritzen (Niederdruck-Plasmaspritzen (LP-PS), Hochgeschwindigkeit-Flammspritzen (HVOF) oder atmosphärisches Plasmaspritzen (APS)) ausgebildet werden. Die MCrAlY-Legierung ist als Metallbindeschicht **5** auf der Oberfläche **100a** der wärmebeständigen Basis **100** bereitgestellt, wodurch eine Korrosionsbeständigkeitsfunktion für die wärme-

beständige Basis **100** und eine Bindefunktion für die hochporöse Schicht **6** bereitgestellt werden.

[0037] Die hochporöse Schicht **6** besteht aus Keramik, wie z.B. aus YbSZ (Ytterbium-stabilisiertes Zirkonium mit einem Zugabeanteil an Yb_2O_3 von 0.01 Gew.-% oder mehr und von 17.00 Gew.-% oder weniger) oder aus YSZ (Yttrium-stabilisiertes Zirkonium). Die hochporöse Schicht **6** kann auf einer Oberfläche **5a** der Metallbindeschicht **5** mittels APS unter Verwendung von YbSZ-Pulver oder YSZ-Pulver mit einer Partikelgrößenverteilung, in welcher der Partikeldurchmesser einer 10% kumulativen Partikelgröße 30 μm oder mehr und 150 μm oder weniger beträgt, ausgebildet werden. Die hochporöse Schicht **6** ist eine poröse Struktur, welche eine größere Anzahl an Poren **6a** aufweist und als Beschichtungsstruktur eine gute Wärmeabschirmungseigenschaft besitzt. „Aufweisen einer größeren Anzahl von Poren“ bedeutet, dass der Porenanteil (Vol.-%) größer ist als jener der dichten Schicht **7**. Der Porenanteil der hochporösen Schicht **6** beträgt 1 Vol.-% oder mehr und 30 Vol.-% oder weniger (bevorzugt 10 Vol.-% oder mehr und 15 Vol.-% oder weniger). Eine Schichtdicke **A** der hochporösen Schicht **6** beträgt 0.3 mm oder mehr und 1.0 mm oder weniger. Die Vickershärte (entsprechend JIS Z 2344, Vickershärtestest-Verfahren) der hochporösen Schicht **6** beträgt 800 Hv oder mehr (bevorzugt 1000 Hv oder mehr). Die hochporöse Schicht **6** weist eine vertikale Rissstruktur mit hoher Haltbarkeit auf einer Oberfläche **6b** auf. Die vertikale Rissstruktur weist vertikale Risse innerhalb eines Bereichs von 5% oder mehr und 100% oder weniger der Schichtdicke **A** der hochporösen Schicht **6** in der Dickenrichtung der hochporösen Schicht **6** auf. Die Anzahl an vertikalen Rissen pro Längeneinheit (1 mm) in dem Abschnitt der hochporösen Schicht **6** beträgt eins oder mehr und zehn oder weniger. Infolge der hochporösen Schicht **6** besitzt die TBC eine Wärmeabschirmungs- und Haltbarkeitsfunktion.

[0038] Die dichte Schicht **7** besteht beispielweise aus YbSZ (Ytterbium-stabilisiertes Zirkonium mit einem Zugabeanteil an Yb_2O_3 von 0.01 Gew.-% oder mehr und 17.00 Gew.-% oder weniger) oder aus YSZ (Yttrium-stabilisiertes Zirkonium). Die dichte Schicht **7** kann auf der Oberfläche **6b** der hochporösen Schicht **6** durch Kurzstanzspritzen (100 mm oder weniger) mittels APS unter Verwendung von YbSZ-Pulver oder YSZ-Pulver mit einer Partikelgrößenverteilung, in welcher der mittlere Partikeldurchmesser 20 μm oder weniger beträgt, ausgebildet werden. Die dichte Schicht **7** kann auf der Oberfläche **6b** der hochporösen Schicht **6** mittels eines bekannten Verfahrens (z.B. Kaltsprühverfahren oder Aerosolabscheidungsverfahren), welches eine Verfestigung und Verdichtung bei Normaltemperatur ohne Sintern von keramischen Feinpartikeln bei hoher Temperatur ermöglicht, ausgebildet werden. Die dichte Schicht **7** ist eine poröse Struktur, welche als Beschichtungsstruktur

tur eine kleinere Anzahl an Poren **7a** aufweist. „Aufweisen einer kleineren Anzahl von Poren“ bedeutet, dass der Porenanteil (Vol.-%) kleiner ist als jener der hochporösen Schicht **6**. Der Porenanteil der dichten Schicht **7** beträgt 0.9 Vol.-% oder weniger (bevorzugt weniger als 0.5 Vol.-%). Eine Schichtdicke **B** der dichten Schicht **7** ist beträgt 0.05 mm oder weniger. Die Vickershärte (entsprechend JIS Z 2244, Vickershärte-Test-Verfahren) der dichten Schicht **7** beträgt 800 Hv oder mehr (bevorzugt 1000 Hv oder mehr). Infolge der dichten Schicht **7** kann die TBC eine Dichte auf der äußeren Schicht aufweisen, wodurch die Eindringungsverhinderungseigenschaft verbessert wird und eine Korrosionsbeständigkeitsfunktion vorliegt.

[0039] Wie vorstehend beschrieben, umfasst die TBC gemäß der vorliegenden Ausführungsform die Metallbindeschicht **5**, die hochporöse Schicht **6** und die dichte Schicht **7**. Die Metallbindeschicht **5** ist auf der wärmebeständigen Basis **100** ausgebildet. Die hochporöse Schicht **6** ist auf der Metallbindeschicht **5** ausgebildet, besteht aus Keramik, und weist die Poren **6a** auf. Die dichte Schicht **7** ist auf der hochporösen Schicht **6** ausgebildet, besteht aus Keramik, weist einen Porenanteil von 0.9 Vol.-% oder weniger auf, was gleichgroß oder geringer ist als jener der hochporösen Schicht **6**, besitzt eine Schichtdicke von 0.05 mm oder weniger, und weist eine Vickershärte von 800 Hv oder mehr auf.

[0040] Diese TBC kann die Wärmeabschirmungseigenschaft für die wärmebeständige Basis **100** in der hochporösen Schicht **6**, welche über die Metallbindeschicht **5** an die wärmebeständige Basis **100** gebunden ist, sicherstellen. Indem die dichte Schicht **7** auf der hochporösen Schicht **6** ausgebildet ist und als Hartschicht mit Dichte im Porenanteil und Vickershärte dient, kann die TBC die Erosionsbeständigkeit sicherstellen. Die Dichte im Porenanteil der dichten Schicht **7** kann das Eindringen von korrosiven Komponenten verhindern und die Korrosionsbeständigkeit erhöhen. Infolgedessen kann die TBC eine höhere Haltbarkeit in einer korrosiven Hochtemperaturumgebung aufweisen.

[0041] In der TBC gemäß der vorliegenden Ausführungsform besteht eine der hochporösen Schicht **6** und der dichten Schicht **7** bevorzugt aus einem YbSZ-Material (Ytterbium-stabilisiertes Zirkoniummaterial), und die andere besteht bevorzugt aus einem YSZ-Material (Yttrium-stabilisiertes Zirkoniummaterial). Indem eine der hochporösen Schicht **6** und der dichten Schicht **7** aus einem YSZ-Material besteht, kann die TBC zu geringeren Materialkosten hergestellt werden als im Falle der Verwendung von YbSZ-Material. Das YSZ-Material besitzt tendenziell einen geringeren Schälwiderstand als das YbSZ-Material, weist jedoch ein der Korrosionsbeständigkeitsfunktion korrespondierendes Eindringungsverhinde-

rungsverhalten auf, welches im Wesentlichen äquivalent zu jenem des YbSZ-Materials ist.

[0042] Angenommen werden soll ein Fall, in welchem die TBC die in **Fig. 2** dargestellte Struktur aufweist, die hochporöse Schicht **6** aus YbSZ-Material besteht, und die dichte Schicht **7** aus YSZ-Material besteht. Die TBC wurde wie folgt einem Hochtemperaturkorrosionstest unterzogen: eine auf einer Oberfläche **7b** der dichten Schicht **7** angeordnete korrosive Komponente (Na_2SO_4) wurde in einer Hochtemperaturumgebung von 920°C geschmolzen, und der Zustand der Eindringung in die TBC wurde mittels eines Elektronenstrahlmikroanalysators (EPMA) evaluiert. Im Hochtemperaturkorrosionstest konnte kein Eindringen der korrosiven Komponente festgestellt werden. In einer die dichte Schicht **7** nicht enthaltenden TBC wurde ein Eindringen der korrosiven Komponente festgestellt. Um den Schälwiderstand zu testen, wurde ferner ein Lasererwärmungszyklustest an der dem Wärmetemperaturkorrosionstest unterzogenen TBC durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, dass die TBC einen Schälwiderstand aufwies, welcher äquivalent zu jenem der die dichte Schicht **7** nicht enthaltenden TBC war.

[0043] In dieser TBC besteht eine der hochporösen Schicht **6** und der dichten Schicht **7** aus YSZ-Material, und die andere besteht aus YbSZ-Material. Dementsprechend kann die TBC die Wärmeabschirmungseigenschaft für die wärmebeständige Basis **100** in der hochporösen Schicht **6** auf signifikante Art und Weise sicherstellen. Zudem kann die TBC die Erosionsbeständigkeit sicherstellen und die Korrosionsbeständigkeit in der dichten Schicht **7** signifikant erhöhen. Infolgedessen kann die TBC eine höhere Haltbarkeit in einer korrosiven Hochtemperaturumgebung aufweisen.

[0044] In der TBC gemäß der vorliegenden Ausführungsform bestehen die hochporöse Schicht **6** und die dichte Schicht **7** bevorzugt aus YbSZ-Material. Indem die hochporöse Schicht **6** und die dichte Schicht **7** beide aus YbSZ-Material bestehen, kann die TBC die Funktionen einer guten Wärmeabschirmung, Haltbarkeit und Korrosionsbeständigkeit aufweisen.

[0045] Angenommen werden soll ein Fall, in welchem die TBC die in **Fig. 2** dargestellte Struktur aufweist, und die hochporöse Schicht **6** und die dichte Schicht **7** aus YbSZ-Material bestehen. Die TBC wurde wie folgt einem Hochtemperaturkorrosionstest unterzogen: eine auf der Oberfläche **7b** der dichten Schicht **7** angeordnete korrosive Komponente (Na_2SO_4) wurde in einer Hochtemperaturumgebung von 920°C geschmolzen, und der Zustand der Eindringung in die TBC wurde mittels eines EPMA evaluiert. Im Hochtemperaturkorrosionstest konnte kein Eindringen der korrosiven Komponente festgestellt

werden. In einer die dichte Schicht **7** nicht enthaltenden TBC wurde ein Eindringen der korrosiven Komponente festgestellt. Um den Schälwiderstand zu testen, wurde ferner ein Lasererwärmungszyklustest an der dem Wärmetemperaturkorrosionstest unterzogenen TBC durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, dass die TBC einen Schälwiderstand aufwies, welcher äquivalent zu jenem der die dichte Schicht **7** nicht enthaltenden TBC war.

[0046] In dieser TBC bestehen die hochporöse Schicht **6** und die dichte Schicht **7** aus YbSZ-Material. Dementsprechend kann die TBC die Wärmeabschirmungseigenschaft für die wärmebeständige Basis **100** in der hochporösen Schicht **6** auf noch signifikantere Art und Weise sicherstellen. Zudem kann die TBC die Erosionsbeständigkeit sicherstellen und die Korrosionsbeständigkeit in der dichten Schicht **7** noch signifikanter erhöhen. Infolgedessen kann die TBC eine höhere Haltbarkeit in einer korrosiven Hochtemperaturumgebung aufweisen.

[0047] **Fig. 3** ist ein schematisches Schnittdiagramm eines anderen Beispiels der TBC gemäß der vorliegenden Ausführungsform.

[0048] Die in **Fig. 3** dargestellte TBC umfasst die Metallbindeschicht **5**, die hochporöse Schicht **6**, die dichte Schicht **7** und eine geschmolzene Schicht **8**, welche in dieser Reihenfolge, ausgehend von der Oberfläche **100a**, auf der Oberfläche **100a** der wärmebeständigen Basis **100** bereitgestellt sind.

[0049] Von einer Erläuterung der Metallbindeschicht **5**, der hochporösen Schicht **6** und der dichten Schicht **7** wird abgesehen, da sie die gleiche Struktur wie vorstehend beschrieben aufweisen. Die dichte Schicht **7** wird auf der Oberfläche **6b** der hochporösen Schicht **6** durch Kurzdistanzspritzen (100 mm oder weniger) mittels APS unter Verwendung von YbSZ-Pulver oder YSZ-Pulver mit einer Partikelgrößenverteilung, in welcher der mittlere Partikeldurchmesser **20** um oder weniger beträgt, ausgebildet.

[0050] Die geschmolzene Schicht **8** wird durch Schmelzen der äußeren Schicht der dichten Schicht **7**, welche wie vorstehend beschrieben durch thermisches Spritzen ausgebildet worden ist, mittels Hochgeschwindigkeits-Laserscanning, ausgebildet. Das Hochgeschwindigkeits-Laserscanning wird derart durchgeführt, dass die auf der Oberfläche **6b** der hochporösen Schicht **6** ausgebildete dichte Schicht **7** belassen wird. Eine Schichtdicke **D** der dichten Schicht **7** unterhalb der geschmolzenen Schicht **8** beträgt bevorzugt 0.01 mm oder mehr, um die vorstehend beschriebenen vorteilhaften Effekte nicht zu beeinträchtigen. Da die Schichtdicke **B** der dichten Schicht **7** 0.05 mm oder weniger beträgt, beträgt eine Schichtdicke **C** der geschmolzenen Schicht **8** unter Beachtung der Schichtdicke **D** der dichten Schicht

7 unterhalb der geschmolzenen Schicht **8** 0.04 mm oder weniger (bevorzugt 0.03 mm oder weniger).

[0051] Die geschmolzene Schicht **8** wird durch Schmelzen der äußeren Schicht der dichten Schicht **7**, welche aus YSZ-Material oder YbSZ-Material besteht und einen Porenanteil von 0.9 Vol.-% oder weniger (bevorzugt weniger als 0.5 Vol.-%) aufweist, ausgebildet werden, wobei das Schmelzen die Oberfläche **7b** der dichten Schicht **7** dichter macht. Dementsprechend kann die TBC die Korrosionsbeständigkeit weiter erhöhen. Infolgedessen kann die TBC eine höhere Haltbarkeit in einer korrosiven Hochtemperaturumgebung aufweisen.

[0052] Obwohl die geschmolzene Schicht **8** aufgrund ihrer hohen Dichte möglicherweise eine geringere Festigkeit aufweisen kann, kann eine derartige Verringerung der Festigkeit unterdrückt werden, indem die Schichtdicke **D** der dichten Schicht **7** unterhalb der geschmolzenen Schicht **8** auf 0.01 mm oder mehr eingestellt wird.

[0053] Obwohl gemäß der Ausführungsform die Metallbindeschicht **5** auf der wärmebeständigen Basis **100** ausgebildet ist, um die hochporöse Schicht **6** an die wärmebeständige Basis **100** zu binden, kann die hochporöse Schicht **6** in Abhängigkeit vom Material der wärmebeständigen Basis **100** auch ohne die Metallbindeschicht **5** an die Oberfläche **100a** der wärmebeständigen Basis **100** gebunden sein. Dementsprechend kann die TBC eine Struktur aufweisen, wie sie in **Fig. 2** und **Fig. 3** dargestellt ist, welche jedoch die Metallbindeschicht **5** nicht enthält. Auch in diesem Fall kann die TBC die vorteilhaften Effekte, welche zu jenen der in **Fig. 2** und **Fig. 3** dargestellten Strukturen äquivalent sind, bereitstellen.

Bezugszeichenliste

1	Verdichter
11	Luftansaugöffnung
12	Verdichtergehäuse
13	Verdichterleitschaufel
14	Verdichterlaufschaufel
2	Brennkammer
21	Innenzylinder
22	Übergangsstück
23	Außengehäuse
24	Brennkammergehäuse
25	Luftkanal
3	Turbine
31	Turbinengehäuse
32	Turbinenleitschaufel

33	Turbinenlaufschaufel
34	Abgaskammer
34a	Abgasdiffusor
4	Turbinenwelle
41, 42	Lager
5	Metallbindeschicht
5a	Oberfläche
6	hochporöse Schicht
6a	Pore
6b	Oberfläche
7	dichte Schicht
7a	Pore
7b	Oberfläche
8	geschmolzene Schicht
10	Gasturbine
100	wärmebeständige Basis
R	Achse

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- JP 5737996 [0003]
- JP 5554488 [0003]

Patentansprüche

1. Wärmedämmschicht, umfassend:
eine auf einer wärmebeständigen Basis ausgebildete hochporöse Schicht, welche aus Keramik besteht und Poren aufweist; und
eine auf der hochporösen Schicht ausgebildete dichte Schicht, welche aus Keramik besteht, einen Porenanteil von 0.9 Vol.-% oder weniger aufweist, was gleichgroß oder geringer ist als der Porenanteil der hochporösen Schicht, eine Schichtdicke von 0.05 mm oder weniger besitzt, und eine Vickershärte von 800 Hv oder mehr aufweist.
2. Wärmedämmschicht, umfassend:
eine auf einer wärmebeständigen Basis ausgebildete Metallbindeschicht;
eine auf der Metallbindeschicht ausgebildete hochporöse Schicht, welche aus Keramik besteht und Poren aufweist; und
eine auf der hochporösen Schicht ausgebildete dichte Schicht, welche aus Keramik besteht, einen Porenanteil von 0.9 Vol.-% oder weniger aufweist, was gleichgroß oder geringer ist als der Porenanteil der hochporösen Schicht, eine Schichtdicke von 0.05 mm oder weniger besitzt, und eine Vickershärte von 800 Hv oder mehr aufweist.
3. Wärmedämmschicht nach Anspruch 1 oder 2, weiterhin umfassend eine geschmolzene Schicht, welche durch Schmelzen der dichten Schicht auf der dichten Schicht ausgebildet ist.
4. Wärmedämmschicht nach Anspruch 3, wobei die Schichtdicke der dichten Schicht unterhalb der geschmolzenen Schicht 0.01 mm oder mehr beträgt.
5. Wärmedämmschicht nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei entweder die hochporöse Schicht oder die dichte Schicht aus einem Yttrium-stabilisierten Zirkoniummaterial besteht und die andere Schicht aus einem Ytterbium-stabilisierten Zirkoniummaterial besteht.
6. Wärmedämmschicht nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die hochporöse Schicht und die dichte Schicht aus einem Ytterbium-stabilisierten Zirkoniummaterial bestehen.
7. Turbinenelement, umfassend die Wärmedämmschicht nach einem der Ansprüche 1 bis 6 auf einer Oberfläche.
8. Gasturbine, umfassend das Turbinenelement nach Anspruch 7.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG.1

AXIALRICHTUNG

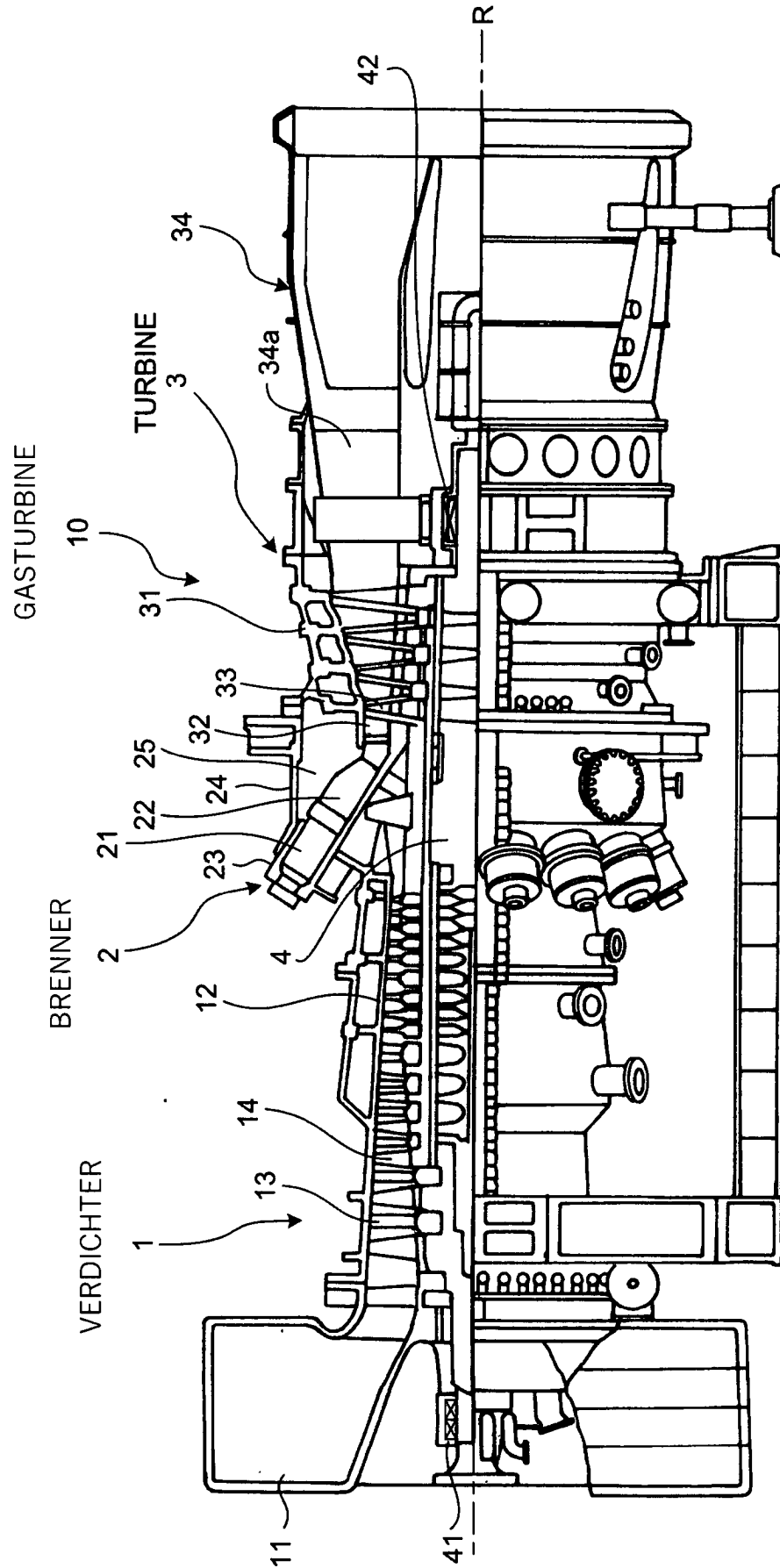


FIG.2

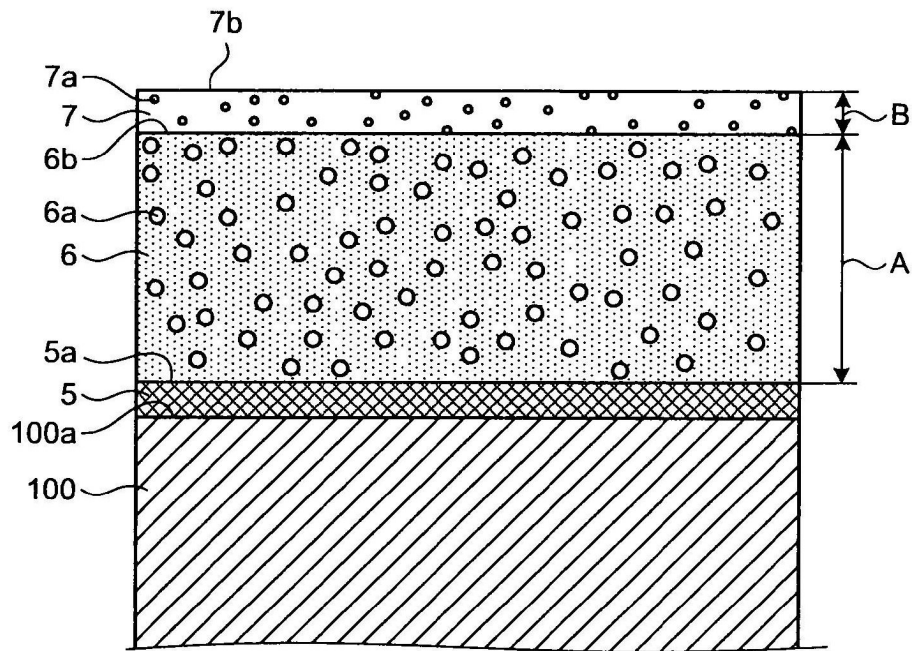


FIG.3

