

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 729 940**

51 Int. Cl.:

C04B 41/89 (2006.01)

B32B 18/00 (2006.01)

F01D 5/28 (2006.01)

C04B 41/87 (2006.01)

C04B 41/90 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.02.2016 PCT/JP2016/053802**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.08.2016 WO16129591**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.02.2016 E 16749235 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.04.2019 EP 3243809**

54 Título: **Elemento recubierto y método para producir un elemento recubierto**

30 Prioridad:

09.02.2015 JP 2015023373

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

07.11.2019

73 Titular/es:

**MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES AERO
ENGINES, LTD. (100.0%)
1200, Higashitanaka, Komaki-shi
Aichi 485-0826, JP**

72 Inventor/es:

**MATSUMOTO, MINEAKI;
KURIMURA, TAKAYUKI;
NISHIKAWA, KOSUKE y
HANADA, TADAYUKI**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 729 940 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Elemento recubierto y método para producir un elemento recubierto

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un elemento recubierto y a un método para fabricarlo, y más particularmente, a un elemento recubierto en el que se realiza un recubrimiento de barrera ambiental.

10 Antecedentes

Dado que una cerámica a base de silicio como SiC, Si₃N₄, o similar, o un material compuesto de matriz de SiC reforzado con fibra de SiC (CMC) tiene excelentes propiedades mecánicas a alta temperatura, la cerámica a base de silicio o el material compuesto de matriz de SiC reforzado con fibra de SiC son materiales prometedores como elementos de alta temperatura para motores de avión o turbinas de gas de generación eléctrica. Sin embargo, por ejemplo, dado que en un entorno de combustión de turbina de gas, una turbina de gas funciona en un entorno de oxidación de vapor a alta temperatura y alta presión en el que está presente el vapor, la cerámica a base de silicio o el material compuesto de matriz de SiC reforzado con fibra SiC se corroe y se vuelve más delgado debido al vapor mientras se oxida, de manera que la durabilidad se deteriora notablemente.

Por lo tanto, para poner en práctica la cerámica a base de silicio o el material compuesto de matriz de SiC reforzado con fibra SiC en la turbina de gas, o similar, se realiza un recubrimiento de barrera ambiental en una superficie de la cerámica a base de silicio o el material compuesto de matriz de SiC reforzado con fibra SiC. Un recubrimiento hecho de silicato de itrio se describe en el Documento de Patente 1. Un recubrimiento hecho de Lu₂Si₂O₇ se describe en el Documento de Patente 2.

Un recubrimiento hecho de un monosilicato de un elemento de tierras raras como Lu, Yb o Y (es decir, un monosilicato de tierras raras), un disilicato de un elemento de tierras raras (es decir, un disilicato de tierras raras), o una combinación de ellos se describe en el Documento de Patente 3. En la tecnología del Documento de Patente 3, después de que se forme una película de recubrimiento del monosilicato de tierras raras sobre un sustrato, se somete a un tratamiento térmico en un entorno que contiene oxígeno, convirtiendo así el monosilicato de tierras raras en el disilicato de tierras raras.

Lista de citas**Bibliografía de patentes**

{PTL 1} La publicación de la patente japonesa n.º 3866002

{PTL 2} La publicación de la patente japonesa n.º 4690709

{PTL 3} Publicación de solicitud de patente japonesa no examinada n.º 2006-28015

Resumen de la invención**Problema técnico**

Dado que el Y₂Si₂O₇ es un material relativamente barato entre los silicatos de tierras raras, el Y₂Si₂O₇ es ventajoso como material de recubrimiento de máquinas grandes como motores de aviación, turbinas de gas para generación de energía y similares. El coeficiente de expansión térmica de Y₂Si₂O₇ es de 3,7 × 10⁻⁶/K y está cerca de un coeficiente de expansión térmica (3,5 × 10⁻⁶/K a 4,5 × 10⁻⁶/K) de un material compuesto de matriz de SiC reforzado con fibra SiC. Por lo tanto, es posible aliviar la tensión térmica durante el uso a alta temperatura. Sin embargo, dado que puede ocurrir la fase de transformación de Y₂Si₂O₇ (γ → β) acompañada de un cambio de volumen cerca de los 1300 °C, el recubrimiento puede dañarse durante el uso a alta temperatura.

Por otra parte, las fases β de Lu₂Si₂O₇ y Yb₂Si₂O₇ están presentes de manera estable hasta una temperatura alta de 1400 °C o más, de modo que no se produce la transformación de fase. Sin embargo, dado que los materiales que contienen estos elementos de tierras raras son costosos, ha habido un problema porque se requiere un alto coste para recubrir un elemento que tiene un área grande.

En el método descrito en el Documento de Patente 3, una pluralidad de disilicatos de tierras raras (Lu₂Si₂O₇, Yb₂Si₂O₇ e Y₂Si₂O₇) están en un estado en el que los cristales heterogéneos simplemente se mezclan entre sí, pero no están en un estado (solución sólida) en el que los elementos de tierras raras se distribuyen uniformemente para existir en la misma fase. En este caso, existe un problema porque la estabilidad de la fase de Y₂Si₂O₇ no mejora.

Un objetivo de la presente invención es proporcionar un elemento recubierto que tenga una alta fiabilidad al suprimir el daño de una película de recubrimiento en un entorno de alta temperatura, y en el que el recubrimiento se realiza a bajo coste, y un método para fabricarlo.

Solución al problema

5 De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un elemento recubierto que incluye: una
 10 capa de unión y una capa superior laminada secuencialmente sobre un sustrato fabricado de una cerámica a base
 de silicio (Si) o un material compuesto de matriz de SiC reforzado con fibra de SiC, en el que la capa superior incluye
 una primera capa compuesta de una fase mixta de un disilicato de tierras raras y un monosilicato de tierras raras, el
 disilicato de tierras raras que es una solución sólida de $(Y_{1-a}Ln_{1a})_2Si_2O_7$ (en este caso, Ln_1 es cualquiera de Nd, Sm,
 Eu y Gd, a es 0,1 o más y 0,5 o menos cuando Ln_1 es Nd, Sm o Eu, y a es 0,2 o más y 0,5 o menos cuando Ln_1 es
 Gd), y el monosilicato de tierras raras es Y_2SiO_5 o una solución sólida de $(Y_{1-b}Ln'_1)_2SiO_5$ (en este caso, Ln'_1 es
 cualquiera de Nd, Sm, Eu y Gd, y b es superior a 0 e igual o inferior a 0,5).

15 De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un elemento recubierto que incluye:
 una capa de unión y una capa superior laminada secuencialmente sobre un sustrato fabricado de una cerámica a
 base de Si o un material compuesto de matriz de SiC reforzado con fibra de SiC, en el que la capa superior incluye
 una primera capa compuesta de una fase mixta de un disilicato de tierras raras y un monosilicato de tierras raras, el
 disilicato de tierras raras que es una solución sólida de $(Y_{1-c}Ln_{2c})_2Si_2O_7$ (en este caso, Ln_2 es cualquiera de Sc, Yb y
 Lu, c es 0,05 o más y 0,5 o menos cuando Ln_2 es Sc, y c es 0,1 o más y 0,5 o menos cuando Ln_2 es Yb o Lu), y el
 monosilicato de tierras raras es Y_2SiO_5 o una solución sólida de $(Y_{1-d}Ln'_2)_2SiO_5$ (en este caso, Ln'_2 es cualquiera de
 20 Sc, Yb y Lu, y d es superior a 0 e igual o inferior a 0,5).

25 Una región estable de una fase α se expande sustituyendo parcialmente Y en $Y_2Si_2O_7$ con Nd, Sm, Eu, Gd o en la
 relación anteriormente mencionada. Una región estable de una fase β se expande sustituyendo parcialmente Y en
 $Y_2Si_2O_7$ con Sc, Yb, o Lu en la relación anteriormente mencionada. Por lo tanto, en los disilicatos de tierras raras que
 tienen las composiciones definidas en el primer y segundo aspectos, la transformación de fase no se produce
 incluso a una temperatura elevada de aproximadamente 1300 °C a 1400 °C. Por lo tanto, en el caso de aplicar el
 elemento recubierto a un recubrimiento de motores de avión o turbinas de gas, se puede prevenir el daño de una
 película de recubrimiento debido a un cambio de volumen que acompaña a la transformación de fase.

30 En general, un coeficiente de expansión térmica de un monosilicato de tierras raras es mayor que el de un disilicato
 de tierras raras. Un coeficiente de expansión térmica de una fase mixta del monosilicato de tierras raras y el
 disilicato de tierras raras se modifica dependiendo de la relación de mezcla. Cuando la diferencia en el coeficiente de
 expansión térmica entre un sustrato y una capa superior es grande, puede ocurrir una distorsión en la capa superior
 y, por lo tanto, la capa superior puede dañarse. La fase mixta del monosilicato de tierras raras y el disilicato de
 35 tierras raras se usa en la capa superior como en la presente invención, lo que hace posible ajustar el coeficiente de
 expansión térmica para evitar que el recubrimiento se dañe por el estrés térmico.

40 En el primer y segundo aspectos, es preferible que la capa superior tenga una segunda capa sobre la primera capa,
 y la segunda capa esté hecha de Re_2SiO_5 (en este caso, Re es un elemento de tierras raras).

El monosilicato de tierras raras tiene una baja actividad de SiO_2 en comparación con el disilicato de tierras raras.
 Por lo tanto, el monosilicato de tierras raras tiene una excelente resistencia al vapor. La resistencia al vapor de la
 capa superior se puede mejorar aún más formando una capa de monosilicato de tierras raras como segunda capa.

45 En el primer y segundo aspectos, es preferible que la diferencia entre el coeficiente de expansión térmica del
 sustrato sobre el que se lamina la capa de unión y el coeficiente de expansión térmica de la primera capa sea de $3 \times 10^{-6}/K$ o menos.

50 En el primer y segundo aspectos, es preferible que la diferencia entre el coeficiente de expansión térmica de la
 primera capa y el coeficiente de expansión térmica de la segunda capa sea de $3 \times 10^{-6}/K$ o menos.

55 Cuando la diferencia en el coeficiente de expansión térmica entre el sustrato y la primera capa es de $3 \times 10^{-6}/K$ o
 menos, se puede aliviar el estrés térmico, haciendo posible evitar que la primera capa se dañe. En el caso en el que
 la capa superior esté compuesta de dos capas, cuando la diferencia en el coeficiente de expansión térmica entre la
 primera y la segunda capa es de $3 \times 10^{-6}/K$ o menos, es posible evitar que la primera y la segunda capa se dañen
 por el estrés térmico.

60 De acuerdo con un tercer aspecto de la presente invención, se proporciona un método para fabricar un elemento
 recubierto, el método incluye: formar una capa de unión sobre un sustrato fabricado de una cerámica a base de Si o
 un material compuesto de matriz de SiC reforzado con fibra de SiC; y formar una capa superior sobre la capa de
 unión, en el que la formación de la capa superior incluye: preparar partículas de pulverización mezclando polvo de
 disilicato de tierras raras formado por una solución sólida de $(Y_{1-a}Ln_{1a})_2Si_2O_7$ (en este caso, Ln_1 es cualquiera de Nd,
 Sm, Eu y Gd, cuando Ln_1 es Nd, Sm o Eu, a es 0,1 o más y 0,5 o menos, y cuando Ln_1 es Gd, a es 0,2 o más y 0,5 o
 menos) y polvo de monosilicato de tierras raras formado por Y_2SiO_5 o una solución sólida de $(Y_{1-b}Ln'_1)_2SiO_5$ (en este
 65 caso, Ln'_1 es cualquiera de Nd, Sm, Eu y Gd, y b es superior a 0 e igual o inferior a 0,5) entre sí; y formar una
 primera capa compuesta de una fase mixta del disilicato de tierras raras y el monosilicato de tierras raras

pulverizando las partículas de pulverización sobre una superficie de la capa de unión.

De acuerdo con un cuarto aspecto de la presente invención, se proporciona un método para fabricar un elemento recubierto, el método incluye: formar una capa de unión sobre un sustrato fabricado de una cerámica a base de Si o un material compuesto de matriz de SiC reforzado con fibra de SiC; y formar una capa superior sobre la capa de unión, en el que la formación de la capa superior incluye: preparar partículas de pulverización mezclando polvo de disilicato de tierras raras formado por una solución sólida de $(Y_{1-c}Ln_{2c})_2Si_2O_7$ (en este caso, Ln_2 es cualquiera de Sc, Yb y Lu, cuando Ln_2 es Sc, c es 0,05 o más y 0,5 o menos, y cuando Ln_2 es Yb o Lu, c es 0,1 o más y 0,5 o menos) y polvo de monosilicato de tierras raras formado por Y_2SiO_5 o una solución sólida de $(Y_{1-d}Ln'_{2d})_2SiO_5$ (en este caso, Ln'_2 es cualquiera de Sc, Yb y Lu, y b es superior a 0 e igual o inferior a 0,5); y formar una primera capa compuesta de una fase mixta del disilicato de tierras raras y monosilicato de tierras raras pulverizando las partículas de pulverización sobre una superficie de la capa de unión.

Como se ha descrito anteriormente, el disilicato de tierras raras representado por la solución sólida de $(Y_{1-a}Ln_{1a})_2Si_2O_7$ (en este caso, Ln_1 es cualquiera de Nd, Sm, Eu y Gd) o solución sólida de $(Y_{1-c}Ln_{2c})_2Si_2O_7$ (en este caso, Ln_2 es cualquiera de Sc, Yb y Lu) tiene una excelente estabilidad de fase a alta temperatura.

De acuerdo con el presente aspecto, dado que las partículas de disilicato de tierras raras previamente usadas en solución sólida se usan en partículas de pulverización, se puede formar una capa superior en la que los elementos de tierras raras se distribuyen uniformemente. Como resultado, se mejora la estabilidad de fase del disilicato de tierras raras y se puede extender la vida útil de la película de recubrimiento.

En el tercer y cuarto aspectos, es preferible que la formación de la capa superior incluya la formación de una segunda capa pulverizando partículas compuestas de Re_2SiO_5 (en este caso, Re es un elemento de tierras raras) sobre una superficie de la primera capa.

La resistencia al vapor puede mejorarse aún más formando una capa de monosilicato de tierras raras como segunda capa.

En el tercer y cuarto aspectos, es preferible que el polvo de disilicato de tierras raras y el polvo de monosilicato de tierras raras se mezclen en una relación de mezcla en la que se encuentre una diferencia entre un coeficiente de expansión térmica del sustrato sobre el que se lamina la capa de unión y el coeficiente de expansión de la primera capa sea de $3 \times 10^{-6}/K$ o menos.

En el tercer y cuarto aspectos, es preferible que el polvo de disilicato de tierras raras y el polvo de monosilicato de tierras raras se mezclen en una relación de mezcla en la que se encuentre una diferencia entre un coeficiente de expansión térmica de la primera capa y el coeficiente de expansión térmica de la segunda capa sea de $3 \times 10^{-6}/K$ o menos.

El coeficiente de expansión térmica de una fase mixta del monosilicato de tierras raras y el disilicato de tierras raras se modifica dependiendo de la relación de mezcla. De acuerdo con el presente aspecto, ya que la primera capa se forma utilizando partículas preparadas ajustando la relación de mezcla del monosilicato de tierras raras y el disilicato de tierras raras, de modo que la diferencia en el coeficiente de expansión térmica entre la primera capa y la segunda capa sea de $3 \times 10^{-6}/K$ o menos, es posible evitar que la primera capa se dañe.

Cuando la capa superior está compuesta de dos capas, la primera capa se forma utilizando las partículas preparadas ajustando la relación de mezcla del monosilicato de tierras raras y el disilicato de tierras raras de modo que la diferencia en el coeficiente de expansión térmica entre la primera capa y la capa segunda sea de $3 \times 10^{-6}/K$ o menos. Esto puede evitar que la primera y la segunda capa se dañen.

Efectos ventajosos de la invención

En un elemento recubierto obtenido de acuerdo con la presente invención, aunque el elemento recubierto se usa en un entorno de oxidación con vapor de agua a una temperatura alta de aproximadamente 1300 °C a 1400 °C y alta presión, pueden evitarse un cambio de volumen acompañado con la transformación de fase de una capa superior y daños por erosión por vapor. El daño de la capa superior se puede evitar ajustando el coeficiente de expansión térmica de una primera capa de la capa superior para suprimir la tensión térmica generada en el elemento recubierto.

Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 es una vista esquemática en sección transversal de un elemento recubierto de acuerdo con una primera realización.

La FIG. 2 es un gráfico que ilustra una relación entre una temperatura y una estructura cristalina de un disilicato de tierras raras.

La FIG. 3 es una vista que ilustra un cambio en la estructura cristalina de una película de recubrimiento por

pulverización $Y_2Si_2O_7$ mediante tratamiento térmico.

La FIG. 4 es una vista que ilustra un cambio en la estructura cristalina de una película de recubrimiento por pulverización de una solución sólida de $(Y_{0,8}Gd_{0,2})_2Si_2O_7$ por tratamiento térmico.

La FIG. 5 es una vista que ilustra un cambio en la estructura cristalina de una película de recubrimiento por pulverización de una solución sólida de $(Y_{0,8}Yb_{0,2})_2Si_2O_7$ por tratamiento térmico.

La FIG. 6 es un gráfico que ilustra una relación entre una relación de mezcla de un disilicato de tierras raras y un monosilicato de tierras raras y un coeficiente de expansión térmica.

La FIG. 7 es una vista esquemática en sección transversal de un elemento recubierto de acuerdo con una segunda realización.

Descripción de las realizaciones

<Primera realización>

La FIG. 1 es una vista esquemática en sección transversal de un elemento recubierto de acuerdo con una primera realización. Un elemento recubierto 100 puede formarse laminando secuencialmente una capa de unión 102 y una capa superior 103 sobre un sustrato 101.

El sustrato 101 es un elemento de turbina de un motor de avión, o un elemento de turbina de gas para generación de energía tal como una cubierta, un forro de combustión, o similares. El sustrato 101 está hecho de una cerámica a base de silicio (Si) o un material compuesto de matriz de SiC reforzado con fibra de SiC (CMC). La cerámica a base de Si es una cerámica que contiene Si tal como SiC, Si_3N_4 , o similares. El material compuesto de matriz de SiC reforzado con fibra de SiC es un material compuesto de matriz en el que la fibra de SiC se utiliza como fibra de refuerzo y el SiC se utiliza como matriz.

La capa de unión 102 se forma sobre una superficie del sustrato 101. La capa de unión 102 sirve para asegurar una buena adhesión entre el sustrato 101 y la capa superior 103. La capa de unión 102 está hecha de siliciuro tal como Si, $MoSi_2$, $LuSi_2$, o similar, mullita ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), aluminosilicato de estroncio y bario (BSAS, $(Ba_{1-x}Sr_x)O \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$), o similares. La capa de unión 102 puede estar hecha de uno de los materiales mencionados anteriormente o formarse laminando una pluralidad de materiales. El espesor de la capa de unión 102 es de 20 μm o más y de 200 μm o menos.

La capa de unión 102 se forma mediante un método de pulverización, un método de sinterización, o similar.

La capa superior 103 se forma sobre la capa de unión 102. La capa superior 103 de acuerdo con la presente realización está compuesta de una fase mixta de un disilicato de tierras raras y un monosilicato de tierras raras. El espesor de la capa superior 103 es de 20 μm o más y de 400 μm o menos.

La FIG. 2 es un gráfico que ilustra una relación entre la temperatura y la estructura cristalina de un disilicato de tierras raras (Referencia del gráfico: AJF Carrion et al., "Structural and kinetic study of phase transitions in $LaYSi_2O_7$ ", Journal of the European Ceramic Society, Vol. 32 (2012) PP. 2477-2486, el presente inventor añade una línea límite de la estructura cristalina). En la FIG. 2, un eje horizontal indica un radio iónico de un elemento de tierras raras, y un eje vertical indica una temperatura.

Un radio iónico de Y^{3+} es de 0,90 Å, y en referencia a la FIG. 2, la transición de fase (fase $\gamma \rightarrow$ fase β) se produce a aproximadamente 1280 °C. Es decir, cuando el elemento recubierto se utiliza en un entorno de temperatura superior a 1300 °C, se genera la transformación de fase acompañada de un cambio de volumen por enfriamiento y calentamiento repetitivos. Por lo tanto, se producen grietas en la capa superior 103 debido a la transformación de fase de $Y_2Si_2O_7$.

En el caso en el que un elemento de tierras raras tiene un radio iónico mayor que el de Y, hay un límite entre una fase α y una fase γ como se ilustra en la FIG. 2. En referencia a la FIG. 2, un radio iónico en una línea límite entre la fase α y la fase γ a 1300 °C es de 0,905 Å. Es decir, cuando el radio iónico del elemento de tierras raras es de 0,905 Å o más, se puede asegurar la estabilidad del cristal del disilicato de tierras raras hasta 1300 °C. El radio iónico en una línea límite entre la fase α y la fase γ a 1400 °C es de 0,91 Å. Es decir, cuando el radio iónico del elemento de tierras raras es de 0,91 Å o más, se puede asegurar la estabilidad del cristal del disilicato de tierras raras hasta 1400 °C.

Para permitir que el radio iónico promedio sea mayor que el de Y, Y está sustituido con un elemento de tierras raras que tiene un radio iónico mayor que el de Y. A medida que se incrementa la diferencia en el radio iónico entre un elemento de tierras raras y el Y, se incrementa el efecto de modificar el radio iónico promedio de los elementos de tierras raras. Por lo tanto, es ventajoso seleccionar un elemento que tenga un radio iónico mayor que el de Gd en la FIG. 2. Por otra parte, Pr, Ce y La tienen una alta reactividad con el vapor, de modo que la resistencia al vapor de la película de recubrimiento se deteriora. Por lo tanto, el Gd, Eu, Sm y Nd son adecuados como elemento de sustitución de Y.

La Tabla 1 ilustra la cantidad de sustitución de un elemento de sustitución (Gd, Eu, Sm o Nd) en la solución sólida de $(Y_{1-a}Ln_{1a})_2Si_2O_7$ y un radio iónico promedio de los elementos de tierras raras.

Tabla 1

a	Elemento de sustitución			
	Nd	Sm	Eu	Gd
0	0,9	0,9	0,9	0,9
0,1	0,908	0,906	0,905	0,9038
0,2	0,917	0,912	0,909	0,9076
0,3	0,925	0,917	0,914	0,9114
0,4	0,933	0,923	0,919	0,9152
0,5	0,942	0,929	0,924	0,919

De acuerdo con la Tabla 1, el radio iónico promedio debe ser de 0,905 Å o más si a es 0,1 o más para Nd, Sm o Eu, y 0,2 o más para Gd. Es decir, cuando a es igual o superior al intervalo mencionado anteriormente, el elemento recubierto puede soportar una temperatura de operación de hasta 1300 °C.

Además, de acuerdo con la Tabla 1, el radio iónico promedio debe ser de 0,91 Å o más si a es 0,2 o más para Nd o Sm, y 0,3 o más para Eu o Gd. Es decir, cuando a es igual o superior al intervalo mencionado anteriormente, el elemento recubierto puede soportar una temperatura de operación de hasta 1400 °C.

Por otra parte, si a es grande, aumenta la cantidad del elemento de sustitución. Por lo tanto, teniendo en cuenta el coste de la materia prima, el coste de la sustitución se incrementa al usar Nd, Sm, Eu y Gd, que son elementos costosos. Por lo tanto, hay un límite superior en la cantidad de sustitución de Nd, Sm, Eu o Gd. En detalle, es preferible que el límite superior de a sea de 0,5.

En referencia a la FIG. 2, un radio iónico en una línea límite entre la fase β y la fase γ a 1300 °C es de 0,897 Å. Es decir, cuando el radio iónico del elemento de tierras raras es de 0,897 Å o menos, se puede asegurar la estabilidad del cristal del disilicato de tierras raras hasta 1300 °C. El radio iónico en una línea límite entre la fase β y la fase γ a 1400 °C es de 0,885 Å. Es decir, cuando el radio iónico del elemento de tierras raras es de 0,885 Å o menos, se puede asegurar la estabilidad del cristal del disilicato de tierras raras hasta 1400 °C.

En la solución sólida de $(Y_{1-c}Ln_{2c})_2Si_2O_7$ en la que Y está sustituido con un elemento de tierras raras separado, el radio iónico promedio de elementos de tierras raras (Y y Ln_2) se modifica dependiendo de la cantidad de sustitución. Para permitir que el radio iónico promedio sea más pequeño que el de Y, Y está sustituido con un elemento de tierras raras que tiene un radio iónico más pequeño que el de Y. En referencia a la FIG. 2, los elementos que tienen un radio iónico más pequeño que el de Y son Sc, Yb, Lu, Tm y Er. Particularmente, en los casos de Sc, Yb y Lu, el radio iónico es pequeño en comparación con Y, y está presente una fase β de disilicato de manera estable hasta una temperatura alta.

La Tabla 2 ilustra la cantidad de sustitución de un elemento de sustitución (Sc, Yb o Lu) en la solución sólida de $(Y_{1-c}Ln_{2c})_2Si_2O_7$ y un radio iónico promedio de los elementos de tierras raras.

Tabla 2

c	Elemento de sustitución		
	Sc	Yb	Lu
0	0,9	0,9	0,9
0,05	0,892	0,898	0,898
0,1	0,885	0,897	0,897
0,2	0,869	0,894	0,894
0,3	0,854	0,89	0,89
0,4	0,838	0,887	0,887
0,5	0,823	0,884	0,884

De acuerdo con la Tabla 2, el radio iónico promedio debe ser de 0,897 Å o menos si c es 0,05 o más para Sc, y 0,1 o más para Yb o Lu. Es decir, cuando c es igual o superior al intervalo mencionado anteriormente, el elemento recubierto puede soportar una temperatura de operación de 1300 °C.

Además, de acuerdo con la Tabla 2, el radio iónico promedio debe ser de 0,885 Å o menos si c es 0,1 o más para Sc y 0,5 o más para Yb o Lu. Es decir, cuando c es igual o superior al intervalo mencionado anteriormente, el elemento recubierto puede soportar una temperatura de operación de 1400 °C o más.

Por otra parte, si c es grande, se incrementa la cantidad del elemento de sustitución. Por lo tanto, teniendo en cuenta el coste de la materia prima, el coste de la sustitución se incrementa al utilizar Sc, Yb y Lu, que son elementos costosos. Por lo tanto, hay un límite superior en la cantidad de sustitución de Sc, Yb o Lu. En detalle, es preferible que el límite superior de c sea de 0,5.

Cuando el disilicato de tierras raras es $(Y_{1-a}Ln_{1a})_2Si_2O_7$, el monosilicato de tierras raras según la presente realización es Y_2SiO_5 o una solución sólida de $(Y_{1-b}Ln_{1'b})_2SiO_5$ (en este caso, $b > 0$). Es preferible que el elemento de sustitución $Ln_{1'}$ de Y sea el mismo que el elemento de sustitución del disilicato de tierras raras. En detalle, $Ln_{1'}$ es cualquiera de Nd, Sm, Eu y Gd.

5 Como monosilicato de tierras raras, también se puede usar Y_2SiO_5 (cantidad de sustitución $b = 0$), pero para evitar que las concentraciones del elemento de tierras raras se modifiquen por interdifusión con el disilicato de tierras raras, $(Y_{1-a}Ln_{1a})_2Si_2O_7$, que coexiste en la fase mixta, es preferible que la cantidad de sustitución b sea la misma que la cantidad de sustitución a del disilicato de tierras raras. Por lo tanto, el límite superior de la cantidad de sustitución b es 0,5. Es preferible que cuando el elemento de sustitución sea Nd, Sm o Eu, el límite inferior de la cantidad de sustitución b sea 0,1, y cuando el elemento de sustitución sea Gd, el límite inferior de la cantidad de sustitución b sea 0,2.

15 Cuando el disilicato de tierras raras es $(Y_{1-c}Ln_{2c})_2Si_2O_7$, el monosilicato de tierras raras es Y_2SiO_5 o una solución sólida de $(Y_{1-d}Ln_{2'd})_2SiO_5$ (en este caso, $d > 0$). Es preferible que el elemento de sustitución $Ln_{2'}$ de Y sea el mismo que el elemento de sustitución del disilicato de tierras raras. En detalle, $Ln_{2'}$ es cualquiera de Yb, Lu y Sc.

20 Como monosilicato de tierras raras, también se puede utilizar Y_2SiO_5 (cantidad sustitución $d = 0$), pero a fin de evitar concentraciones de los elementos de tierras raras se intercambien por interdifusión con el disilicato de tierras raras, $(Y_{1-c}Ln_{2c})_2Si_2O_7$, que coexiste en la fase mixta, es preferible que la cantidad de sustitución d sea la misma que la cantidad de sustitución c del disilicato de tierras raras. Por lo tanto, el límite superior de la cantidad de sustitución d es 0,5. Es preferible que cuando el elemento de sustitución sea Sc, el límite inferior de la cantidad de sustitución d sea 0,05, y cuando el elemento de sustitución sea Yb o Lu, el límite inferior de la cantidad de sustitución d sea 0,1.

25 La capa superior 103 se forma por un método de pulverización. En la presente realización, como partículas de pulverización, se usan partículas compuestas de una mezcla de polvo de disilicato de tierras raras y polvo de monosilicato de tierras raras.

30 Las partículas de pulverización se preparan mediante el siguiente método. Primero, se preparan partículas de la solución sólida de disilicato de tierras raras que tiene la composición mencionada anteriormente. Como polvos de materia prima, se pesan y se mezclan entre sí polvo de SiO_2 , polvo de Y_2O_3 , $[Ln_1]_2O_3$ en polvo (en este caso, Ln_1 es uno cualquiera de Nd, Sm, Eu y Gd), $[Ln_2]_2O_3$ en polvo (en este caso, Ln_2 es cualquiera de Sc, Yb y Lu) para que tenga una composición predeterminada. Alternativamente, se pesan y mezclan entre sí polvo de $Y_2Si_2O_7$ y polvo de $Ln_2Si_2O_7$ (en este caso, Ln es cualquiera de Sc, Yb y Lu o cualquiera de Nd, Sm, Eu y Gd) para que tengan una
35 composición predeterminada.

La formación de soluciones sólidas mediante tratamiento térmico puede promoverse utilizando polvos finos con un tamaño de partícula de 1 μm o menos como polvo de materia prima. Por lo tanto, es posible disminuir el tiempo de tratamiento térmico mientras se eliminan las partículas sin reaccionar.

40 Se obtiene una solución sólida en polvo realizando un tratamiento térmico en los polvos mezclados. Como método para preparar el polvo de solución sólida, hay un método para realizar un tratamiento térmico a 1300 °C o más utilizando un horno eléctrico, un método para realizar un tratamiento térmico con plasma, un método para fundir los polvos de la materia prima y moler el fundido obtenido, o similares.

45 También se preparan los monosilicatos de tierras raras representados por Y_2SiO_5 , $(Y_{1-b}Ln_{1'b})_2SiO_5$ (solución sólida), y $(Y_{1-d}Ln_{2'd})_2SiO_5$ (solución sólida) por el mismo método descrito anteriormente.

50 El polvo de disilicato de tierras raras y el polvo de monosilicato de tierras raras preparados mediante el método mencionado anteriormente se pesan y se granulan para que tengan una relación de composición predeterminada. Las partículas obtenidas como se describe anteriormente se clasifican, y las partículas que tienen un tamaño de 10 μm a 200 μm se utilizan como partículas de pulverización.

55 Se prepararon polvos de pulverización de $Y_2Si_2O_7$, una solución sólida de $(Y_{0,8}Gd_{0,2})_2Si_2O_7$, y una solución sólida de $(Y_{0,8}Yb_{0,2})_2Si_2O_7$. Además, se fabricó una película de recubrimiento por pulverización usando estos polvos.

60 La película de recubrimiento por pulverización fabricada se trató térmicamente a 1300 °C durante 100 horas y a 1400 °C durante 100 horas, y se determinó un cambio en la fase cristalina por difracción de rayos X (XRD). Como se ilustra en la FIG. 3, en el caso de $Y_2Si_2O_7$, la película de recubrimiento era amorfa en el estado de pulverización, y después de un tratamiento térmico a 1300 °C durante 100 horas, la película de recubrimiento estaba compuesta de una fase β - $Y_2Si_2O_7$ y una fase X_2 - Y_2SiO_5 . Después de tratamiento térmico a 1400 °C durante 100 horas, la película de recubrimiento estaba compuesta de dos fases, es decir, una fase γ - $Y_2Si_2O_7$ y una fase X_2 - Y_2SiO_5 . Por lo tanto, puede apreciarse que a 1300 °C o más, se produjo la transformación de la fase β - $Y_2Si_2O_7$ a γ - $Y_2Si_2O_7$.

65 Por otra parte, la FIG. 4 ilustra los resultados obtenidos por tratamiento térmico de una película de recubrimiento por pulverización de la solución sólida de $(Y_{0,8}Gd_{0,2})_2Si_2O_7$ en la que Y se sustituyó parcialmente con Gd a 1300 °C durante 100 horas y a 1400 °C durante 100 horas. Puede apreciarse que en los casos de tratamiento térmico a

1300 °C durante 100 horas y a 1400 °C durante 100 horas, casi no hubo cambios en el pico de difracción y, por lo tanto, se suprimió la transformación de fase.

5 Por otra parte, la FIG. 5 ilustra los resultados obtenidos por tratamiento térmico de una película de recubrimiento por pulverización de la solución sólida de $(Y_{0,8}Yb_{0,2})_2Si_2O_7$ en la que Y se sustituyó parcialmente con Yb a 1300 °C durante 100 horas y a 1400 °C durante 100 horas. Puede apreciarse que en los casos de tratamiento térmico a 1300 °C durante 100 horas y a 1400 °C durante 100 horas, casi no hubo cambios en el pico de difracción, y por lo tanto, en este caso, se suprimió la transformación de fase.

10 La relación de mezcla del polvo de disilicato de tierras raras y el polvo de monosilicato de tierras raras se determina teniendo en cuenta un coeficiente de expansión térmica de la capa superior. En el elemento recubierto 100 de acuerdo con la presente realización correspondiente a un laminado, cuando la diferencia en el coeficiente de expansión térmica entre la capa superior 103 y una base de la capa superior 103 es grande, se genera tensión térmica en la capa superior 103. Se pueden producir grietas, o similares, en la capa superior 103 debido a la tensión
15 térmica generada en la capa superior 103 al repetir la operación y detener el equipo (motor de avión o turbina de gas).

Con el fin de aliviar la tensión térmica en la capa superior 103, es preferible que la diferencia entre el coeficiente de expansión térmica de la capa superior 103 y el coeficiente de expansión térmica del sustrato 101, incluida la capa de
20 unión 102, que es la base de la capa superior 103, sea de $3 \times 10^{-6}/K$ o menos (a temperatura ambiente hasta 1200 °C). Para permitir que la diferencia en el coeficiente de expansión térmica se encuentre en el intervalo mencionado anteriormente, la relación de mezcla del disilicato de tierras raras y el monosilicato de tierras raras se determina según el tipo de sustrato, el tipo de disilicato de tierras raras y el tipo de monosilicato de tierras raras. En el momento de preparar el polvo de pulverización, los polvos de materia prima se pesan y se mezclan entre sí para
25 que tengan la relación de mezcla.

La FIG. 6 es un gráfico que ilustra una relación entre una relación de mezcla de un disilicato de tierras raras y un monosilicato de tierras raras y un coeficiente de expansión térmica. La FIG. 6 ilustra un ejemplo en el que se usa
30 $(Y_{0,8}Yb_{0,2})_2Si_2O_7$ como disilicato de tierras raras, y se usa Y_2SiO_5 como monosilicato de tierras raras. En la FIG. 6, el eje horizontal indica una relación de $(Y_{0,8}Yb_{0,2})_2Si_2O_7$ en una solución sólida de $((Y_{0,8}Yb_{0,2})_2Si_2O_7 + Y_2SiO_5)$, y el eje vertical indica un coeficiente de expansión térmica de la solución sólida (a temperatura ambiente hasta 1200 °C).

El coeficiente de expansión térmica del monosilicato de tierras raras es mayor que el del disilicato de tierras raras. Por lo tanto, como se ilustra en la FIG. 6, a medida que aumenta la relación de mezcla del disilicato de tierras raras,
35 disminuye el coeficiente de expansión térmica. Dado que el coeficiente de expansión térmica de un elemento formado por SiC reforzado con fibra de SiC que incluye una capa de unión (Si) es de $4 \times 10^{-6}/K$ (a temperatura ambiente a 1200 °C), cuando la relación del disilicato de tierras raras se encuentra en el intervalo de 0,05 a 0,85, la diferencia en el coeficiente de expansión térmica puede llegar a ser de $3 \times 10^{-6}/K$ o menos.

40 Se puede obtener una capa superior 103 con excelente resistencia al vapor y durabilidad del ciclo térmico mezclando el disilicato de tierras raras con un coeficiente de expansión térmica relativamente cercano al del sustrato y el monosilicato de tierras raras con excelente resistencia al vapor para formar la solución sólida como se ha descrito anteriormente. Una composición de la capa superior 103 puede ser uniforme formando la capa superior 103 usando las partículas de pulverización hechas de la solución sólida de antemano. Dado que en la capa superior 103,
45 el disilicato de tierras raras no permanece en un estado sin reaccionar, se puede asegurar una excelente resistencia al vapor.

<Segunda realización>

50 La FIG. 7 es una vista esquemática en sección transversal de un elemento recubierto de acuerdo con una segunda realización. En un elemento recubierto 200 de acuerdo con la segunda realización, una capa de unión 202 y una capa superior 203 se laminan secuencialmente sobre un sustrato 201, en el que la capa superior 203 está compuesta de dos capas.

55 El sustrato 201 y la capa de unión 202 están hechos de los mismos materiales que los de las primeras realizaciones. Una primera capa 204 de la capa superior 203 está hecha del mismo material que la de la capa superior 103 según la primera realización, y tiene el mismo espesor de película que la de la capa superior 103 según la primera realización.

60 La segunda capa 205 de la capa superior 203 está hecha de un monosilicato de tierras raras representado por Re_2SiO_5 . Re es uno de los elementos de tierras raras o se puede seleccionar una pluralidad de elementos de tierras raras. Por ejemplo, la segunda capa 205 puede estar hecha de Y_2SiO_5 , Yb_2SiO_5 , Lu_2SiO_5 , $(Y, Yb)_2SiO_5$, $(Y, Lu)_2SiO_5$, o similares. Considerando el coste de la materia prima, es preferible que la segunda capa 205 esté hecha de Y_2SiO_5 o un óxido compuesto, $(Y, Re')_2SiO_5$ (en este caso, Re' es otro elemento de tierras raras excepto Y) en el que Y está
65 parcialmente sustituido con otro elemento de tierras raras. En vista de evitar que las concentraciones de elementos de tierras raras se modifiquen por interdifusión con la primera capa 204, es preferible que se seleccione un elemento

de sustitución Re' entre Yb, Lu, Sc, Nd, Sm, Eu y Gd. Particularmente, es preferible que el elemento de sustitución Re' sea el mismo material que el elemento de tierras raras contenido en la primera capa 204. Considerando el coste de la materia prima, es preferible que la cantidad de sustitución de Re' sea de 0,5 o menos.

- 5 La segunda capa 205 se forma mediante un método de pulverización similar a la primera capa 204. El espesor de la segunda capa 205 es de 50 μm o más y de 300 μm o menos.

- 10 En el caso de aplicar el óxido compuesto que contiene un elemento de tierras raras seleccionado de la pluralidad de elementos de tierras raras a la segunda capa 205, como partículas de pulverización se pueden utilizar partículas solubilizadas con un sólido mediante tratamiento térmico después de pesar y mezclar polvos de materia prima para que tengan una relación de sustitución predeterminada. De esta manera, se asegura la uniformidad de la composición en la segunda capa 205.

- 15 En la presente realización, es preferible que la diferencia en el coeficiente de expansión térmica entre la primera capa 204 y una base (el sustrato 201 que incluye la capa de unión 202) sea de $3 \times 10^{-6}/\text{K}$ (a temperatura ambiente hasta 1200 °C). Es preferible que la diferencia en el coeficiente de expansión térmica entre la primera capa 204 y la segunda capa 205 sea de $3 \times 10^{-6}/\text{K}$ (a temperatura ambiente hasta 1200 °C).

- 20 Como se describe en la primera realización, se seleccionan el material del sustrato 201 (y la capa de unión 202), los tipos de monosilicato de tierras raras y disilicato de tierras raras y una relación de mezcla entre ellos en la primera capa 204, y el material de la segunda capa 205 de modo que las capas respectivas puedan satisfacer las diferencias en el coeficiente de expansión térmica.

- 25 El daño por erosión por vapor en un ambiente de alta temperatura puede evitarse permitiendo que la capa superior 203 esté compuesta de dos capas y formando una capa de monosilicato de tierras raras que tenga una excelente resistencia al vapor en una capa más externa como en la presente realización.

Ejemplo

- 30 Las tablas 3 y 4 ilustran ejemplos de elementos recubiertos utilizando un material compuesto de matriz de SiC reforzado con fibra SiC (Tyranohex, Ube Industries, Ltd., coeficiente de expansión térmica: $4 \times 10^{-6}/\text{K}$ (a temperatura ambiente hasta 1200 °C) como sustrato. Además, en las Tablas 3 y 4 se ilustran una diferencia en el coeficiente de expansión térmica entre una primera capa y una base (un sustrato que incluye una capa de unión) (a temperatura ambiente hasta 1200 °C), y una diferencia en el coeficiente de expansión térmica entre la primera y
35 segunda capas (a temperatura ambiente a 1200 °C).

Tabla 3

		Ejemplo 1	Ejemplo 2	Ejemplo 3	Ejemplo 4	Ejemplo 5
Capa superior	Segunda capa	Y ₂ SiO ₅	Y ₂ SiO ₅	Yb ₂ SiO ₅	Yb ₂ SiO ₅	-
	Primera capa (relación molar)	0,2 (Y _{0,8} Yb _{0,2}) ₂ Si ₂ O ₇ + 0,8Y ₂ SiO ₅	0,5 (Y _{0,8} Yb _{0,2}) ₂ Si ₂ O ₇ + 0,5Y ₂ SiO ₅	0,2 (Y _{0,8} Yb _{0,2}) ₂ Si ₂ O ₇ + 0,8Y ₂ SiO ₅	0,5 (Y _{0,8} Yb _{0,2}) ₂ Si ₂ O ₇ + 0,5 (Y _{0,8} Yb _{0,2})SiO ₅	0,5 (Y _{0,8} Yb _{0,2}) ₂ Si ₂ O ₇ + 0,5 (Y _{0,8} Yb _{0,2})SiO ₅
Capa de unión		Si	Si	Si	Si	Si
Diferencia en el coeficiente de expansión térmica entre la primera y la segunda capa (x 10 ⁻⁶ /K)		1,3	2,5	1	2,2	-
Diferencia en el coeficiente de expansión térmica entre la primera capa y la base (x 10 ⁻⁶ /K)		2	0,85	2	0,85	0,85

Tabla 4

		Ejemplo 6	Ejemplo 7	Ejemplo 8	Ejemplo comparativo 1	Ejemplo comparativo 2
Capa superior	Segunda capa Primera capa (relación molar)	Y ₂ SiO ₅ 0,2 (Y _{0,8} Gd _{0,2}) ₂ Si ₂ O ₇ + 0,8 (Y _{0,8} Gd _{0,2}) ₂ SiO ₅	Y ₂ SiO ₅ 0,5 (Y _{0,8} Gd _{0,2}) ₂ Si ₂ O ₇ + 0,5 (Y _{0,8} Gd _{0,2}) ₂ SiO ₅	Gd ₂ SiO ₅ 0,2 (Y _{0,8} Gd _{0,2}) ₂ Si ₂ O ₇ + 0,8 (Y _{0,8} Gd _{0,2}) ₂ SiO ₅	Y ₂ SiO ₅ Y ₂ Si ₂ O ₇	- Y ₂ SiO ₅
Capa de unión		Si	Si	Si	Si	Si
Diferencia en el coeficiente de expansión térmica entre la primera y la segunda capa (x 10 ⁻⁶ /K)		1,3	2,6	2,6	3,7	-
Diferencia en el coeficiente de expansión térmica entre la primera capa y la base (x 10 ⁻⁶ /K)		2,2	0,9	2,2	0,3	3,4

Como se ilustra en las Tablas 3 y 4, y dado que en los Ejemplos 1 a 8 las diferencias en los coeficientes de expansión térmica entre las capas respectivas fueron de $3 \times 10^{-6}/K$ o menos, se alivió la tensión térmica en la capa superior. Por lo tanto, la durabilidad del ciclo térmico se puede mejorar en comparación con los Ejemplos comparativos 1 y 2 en los que la diferencia en el coeficiente de expansión térmica fue superior a $3 \times 10^{-6}/K$.

5

Lista de signos de referencia

- 100, 200 Elemento recubierto
- 101, 201 Sustrato
- 10 102, 202 Capa de unión
- 103, 203 Capa superior
- 204 Primera capa
- 205 Segunda capa

15

REIVINDICACIONES

1. Un elemento recubierto que comprende:

5 una capa de unión y una capa superior laminada secuencialmente sobre un sustrato fabricado de una cerámica a base de silicio (Si) o un material compuesto de matriz de SiC reforzado con fibra de SiC, en donde la capa superior incluye una primera capa compuesta de una fase mixta de un disilicato de tierras raras y un monosilicato de tierras raras,
 10 el disilicato de tierras raras que es una solución sólida de $(Y_{1-a}Ln_{1a})_2Si_2O_7$, en la que Ln_1 es uno cualquiera de Nd, Sm, Eu y Gd, a es 0,1 o más y 0,5 o menos cuando Ln_1 es Nd, Sm o Eu, y a es 0,2 o más y 0,5 o menos cuando Ln_1 es Gd, y
 el monosilicato de tierras raras que es Y_2SiO_5 o una solución sólida de $(Y_{1-b}Ln_1'b)_2SiO_5$, en la que Ln_1' es uno cualquiera de Nd, Sm, Eu y Gd, y b es más de 0 e igual o inferior a 0,5.

15 2. Un elemento recubierto que comprende:

una capa de unión y una capa superior laminada secuencialmente sobre un sustrato fabricado de una cerámica a base de Si o un material compuesto de matriz de SiC reforzado con fibra de SiC,
 20 en donde la capa superior incluye una primera capa compuesta de una fase mixta de un disilicato de tierras raras y un monosilicato de tierras raras,
 siendo el disilicato de tierras raras una solución sólida de $(Y_{1-c}Ln_{2c})_2Si_2O_7$, en la que Ln_2 es uno cualquiera de Sc, Yb y Lu, cuando Ln_2 es Sc, c es 0,05 o más y 0,5 o menos, y cuando Ln_2 es Yb o Lu, c es 0,1 o más y 0,5 o menos, y
 25 siendo el monosilicato de tierras raras Y_2SiO_5 o una solución sólida de $(Y_{1-d}Ln_2'd)_2SiO_5$, en la que Ln_2' es cualquiera de Sc, Yb y Lu, y d es superior a 0 e igual a o inferior a 0,5.

3. El elemento recubierto de las reivindicaciones 1 o 2, en el que la capa superior tiene una segunda capa sobre la primera capa, y la segunda capa está hecha de Re_2SiO_5 (aquí, Re es un elemento de tierras raras).

30 4. El elemento recubierto de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que la diferencia entre el coeficiente de expansión térmica del sustrato sobre el que se lamina la capa de unión y el coeficiente de expansión térmica de la primera capa es de $3 \times 10^{-6}/K$ o menos.

35 5. El elemento recubierto de las reivindicaciones 3 o 4, en el que la diferencia entre el coeficiente de expansión térmica de la primera capa y el coeficiente de expansión térmica de la segunda capa es de $3 \times 10^{-6}/K$ o menos.

6. Un método para fabricar un elemento recubierto, comprendiendo el método:

40 formar una capa de unión sobre un sustrato fabricado de una cerámica a base de Si o un material compuesto de matriz de SiC reforzado con fibra de SiC;
 y formar una capa superior sobre la capa de unión,
 en el que la formación de la capa superior incluye:

45 preparar partículas de pulverización mezclando entre sí polvo de disilicato de tierras raras formado por una solución sólida de $(Y_{1-a}Ln_{1a})_2Si_2O_7$, en la que Ln_1 es uno cualquiera de Nd, Sm, Eu y Gd, a es 0,1 o más y 0,5 o menos cuando Ln_1 es Nd, Sm o Eu, y a es 0,2 o más y 0,5 o menos cuando Ln_1 es Gd, y polvo de monosilicato de tierras raras formado por Y_2SiO_5 o una solución sólida de $(Y_{1-b}Ln_1'b)_2SiO_5$, en la que Ln_1' es cualquiera de Nd, Sm, Eu y Gd, y b es mayor que 0 e igual o inferior a 0,5; y
 50 formar una primera capa compuesta por una fase mixta del disilicato de tierras raras y el monosilicato de tierras raras pulverizando las partículas de pulverización sobre una superficie de la capa de unión.

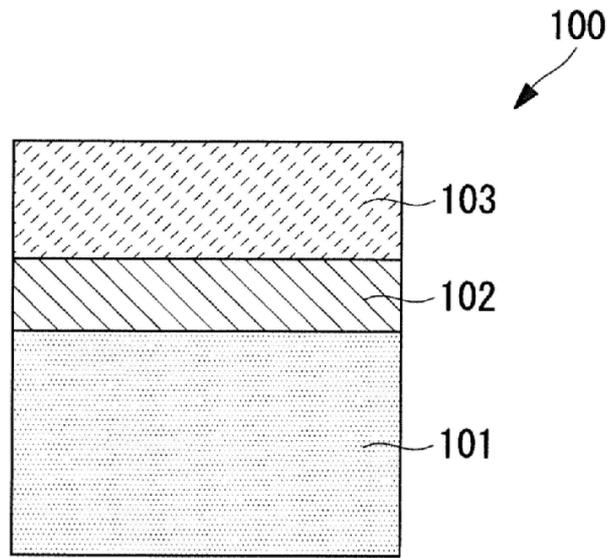
7. Un método para fabricar un elemento recubierto, comprendiendo el método:

55 formar una capa de unión sobre un sustrato fabricado de una cerámica a base de Si o un material compuesto de matriz de SiC reforzado con fibra de SiC;
 y formar una capa superior sobre la capa de unión,
 en donde la formación de la capa superior incluye:

60 preparar partículas de pulverización mezclando polvo de disilicato de tierras raras formado por una solución sólida de $(Y_{1-c}Ln_{2c})_2Si_2O_7$, en la que Ln_2 es uno cualquiera de Sc, Yb y Lu, c es 0,05 o más y 0,5 o menos cuando Ln_2 es Sc, y c es 0,1 o más y 0,5 o menos cuando Ln_2 es Yb o Lu, y polvo de monosilicato de tierras raras formado por Y_2SiO_5 o una solución sólida de $(Y_{1-d}Ln_2'd)_2SiO_5$, en la que Ln_2' es cualquiera de Sc, Yb y Lu, y b es superior a 0 e igual o inferior a 0,5; y
 65 formar una primera capa compuesta por una fase mixta del disilicato de tierras raras y el monosilicato de tierras raras pulverizando las partículas de pulverización sobre una superficie de la capa de unión.

8. El método de las reivindicaciones 6 o 7, en el que la formación de la capa superior incluye la formación de una segunda capa pulverizando partículas formadas por Re_2SiO_5 (en este caso, Re es un elemento de tierras raras) sobre una superficie de la primera capa.
- 5 9. El método de una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en el que el polvo de disilicato de tierras raras y el polvo de monosilicato de tierras raras se mezclan en una relación de mezcla en la que la diferencia entre un coeficiente de expansión térmica del sustrato sobre el que se lamina la capa de unión y el coeficiente de expansión térmica de la primera capa es de $3 \times 10^{-6}/\text{K}$ o menos.
- 10 10. El método de las reivindicaciones 8 o 9, en el que el polvo de disilicato de tierras raras y el polvo de monosilicato de tierras raras se mezclan en una relación de mezcla en la que la diferencia entre el coeficiente de expansión térmica de la primera capa y el coeficiente de expansión térmica de la segunda capa es de $3 \times 10^{-6}/\text{K}$ o menos.

FIG. 1



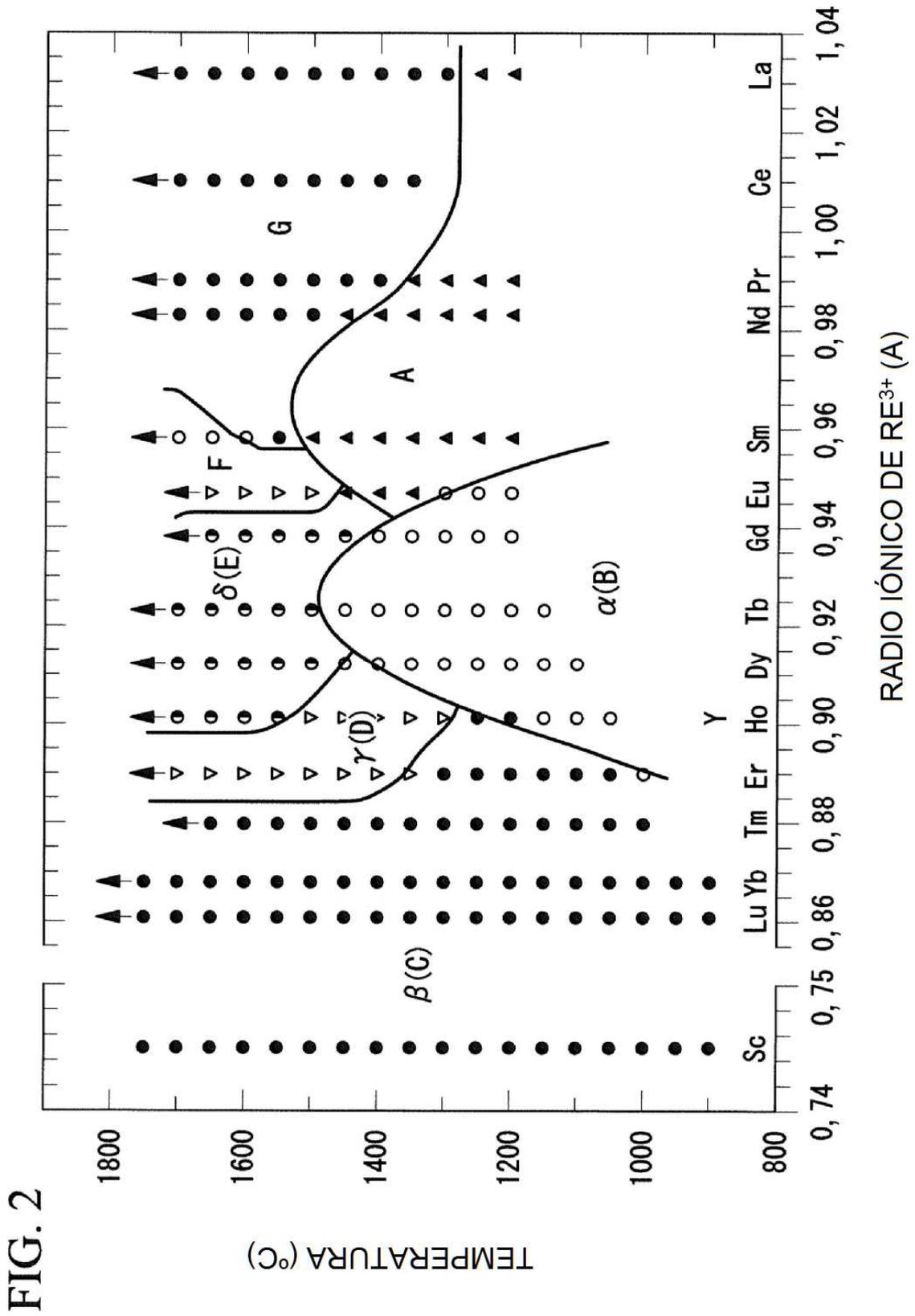


FIG. 3

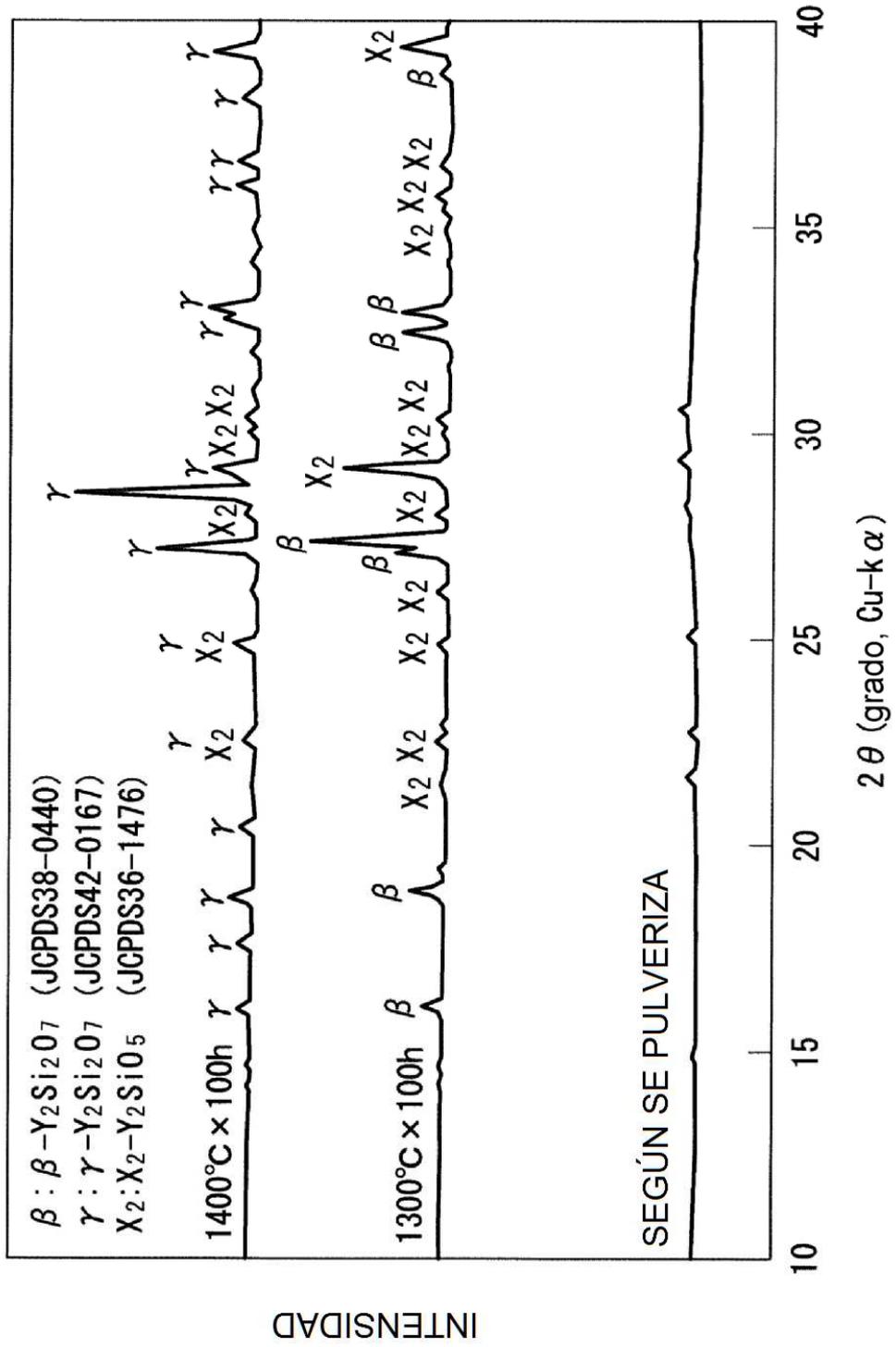


FIG. 4

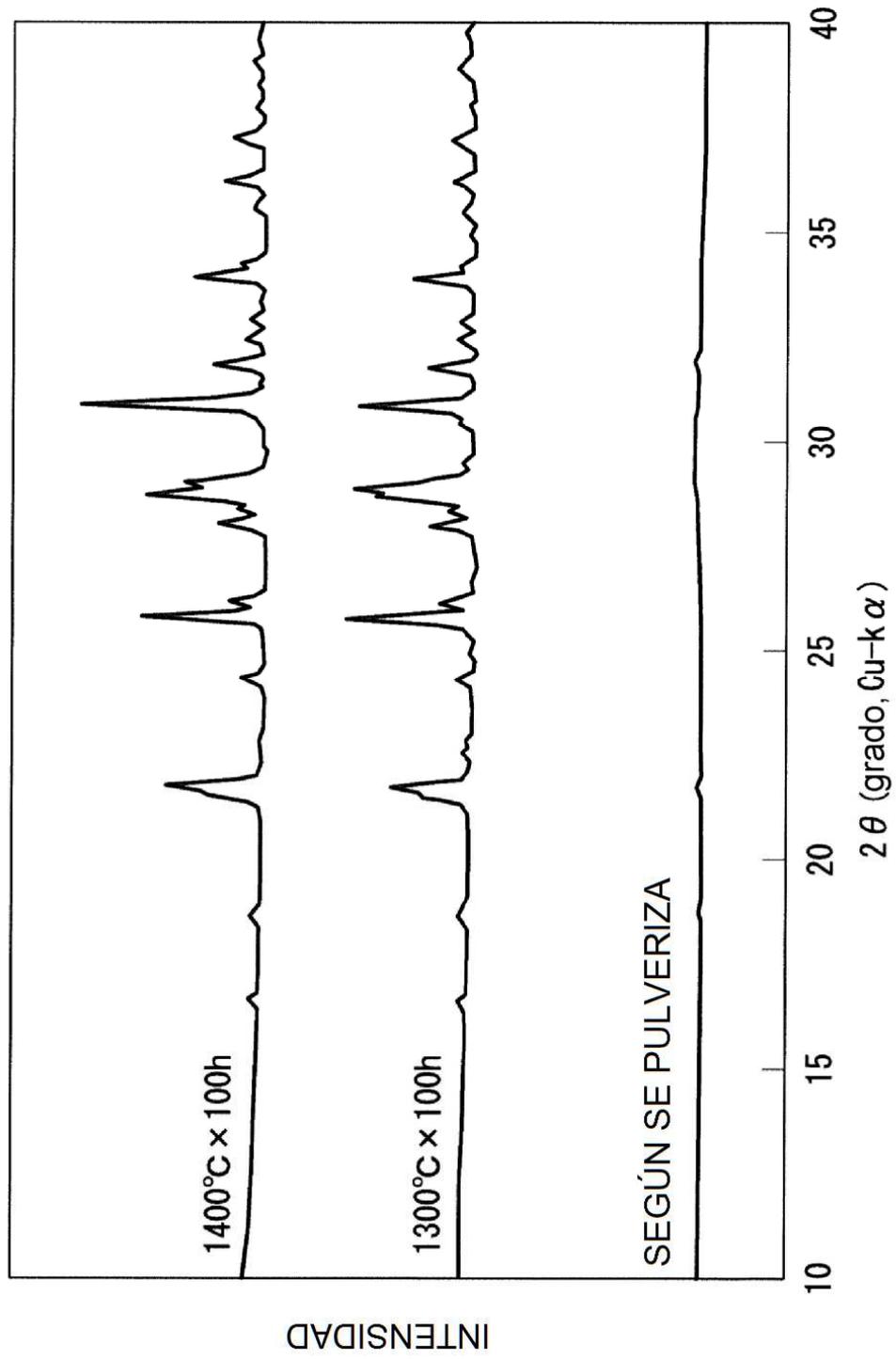


FIG. 5

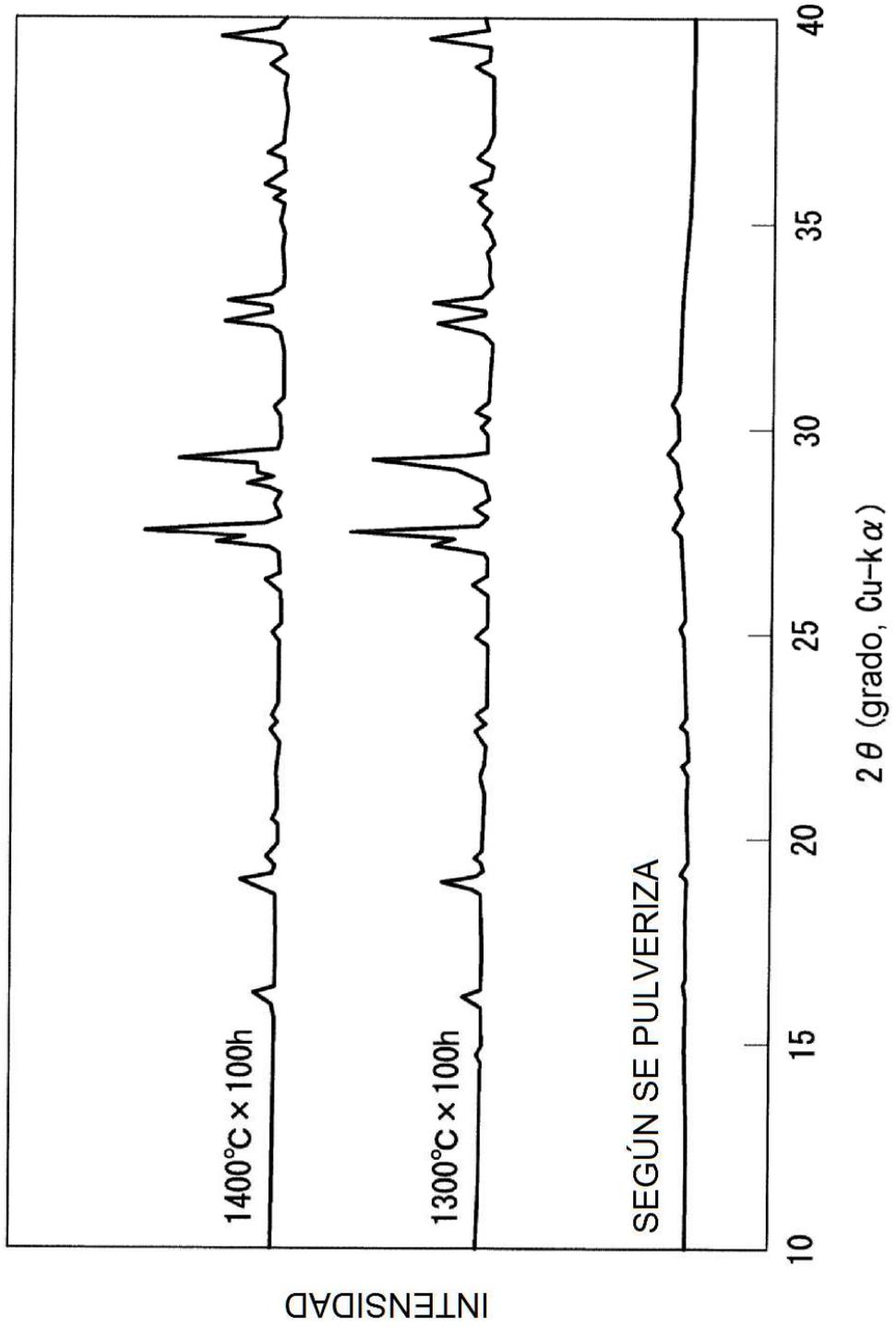


FIG. 6

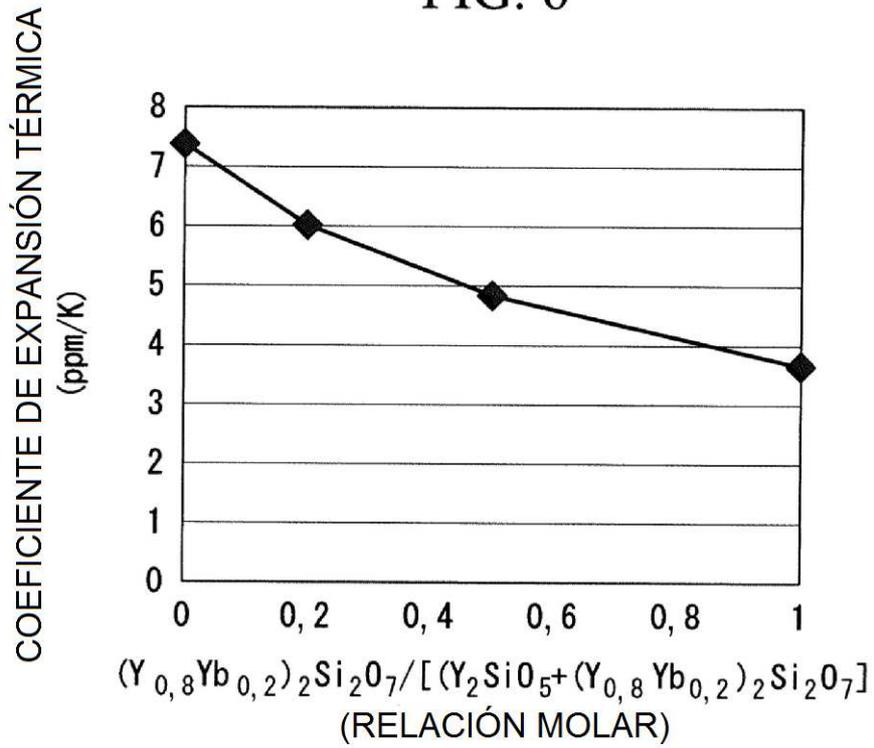


FIG. 7

