

(19)



República Argentina
Ministerio de Economía y Producción
Secretaría de Industria, Comercio y de la
Pequeña y Mediana Empresa
Instituto Nacional de la Propiedad Industrial

(11) No de Publicación:

AR 044090 A1

(41) Fecha de Publicación:

24.08.2005

(51) Int. Cl:

G21C3/60;

(12)

Solicitud de Patente Independiente

(21) No de Solicitud: **P040101406**

(71) Solicitantes: **COMISION NAC DE EN ATOMICA [AR]**

(22) Fecha de Solicitud: **26.04.2004**

(72) Inventor/es:

(30) Prioridad/es: **2004P101406 AR 26.04.2004**

(54) **Título:**

**ELEMENTO COMBUSTIBLE PARA REACTORES
NUCLEARES DE INVESTIGACION**

(57) **Resumen:**

La presente consiste en un elemento combustible para reactores nucleares de investigación, del tipo metal/compuesto de uranio, al que se incorpora una barrera de interdifusión depositada en la interfase, cuyo objeto es impedir la difusión de uno o más componentes entre ambos lados de la interfase y la formación de intermetálicos en el compuesto de uranio (2). La presente puede ser aplicada a un elemento combustible tipo placa ó con vainas combustibles. Entra las placas de aluminio (1) que ofician de contención del compuesto de Uranio y dicho compuesto en forma de placa se deposita la barrera de interdifusión (3). En el caso de una vaina combustible, la barrera de interdifusión se deposita entre la vaina y el compuesto de Uranio.

En ambos casos, el compuesto de uranio es una solución sólida de uranio metálico con pequeñas cantidades de aditivos, del tipo: uranio-molibdeno, (UMox), uranio-zirconio (UZrx) o uranio-zirconio con agregado de Nb(U-Zr-Nb) y la matriz puede ser de Al, Zirconio (zircaloy), molibdeno, etc..

HOJA TECNICA



(19)

I.N.P.I.
REPUBLICA ARGENTINA

(10) PUBLICACION N°: AR

(21) SOLICITUD N°:

(51)

INT. CL.: 7G24G3/60

(12)



PATENTE DE INVENCION



MODELO DE UTILIDAD

040101406

(22) FECHA PRESENTACION:	(71) SOLICITANTE(S): Comisión Nacional de Energía Atómica
(30) DATOS PRIORIDAD:	(72) INVENTOR(ES): GARCÉS, Jorge Eduardo
(41) FECHA PUBLICACION SOLICITUD: BOLETIN N°:	(74) AGENTE:
(61) ADICIONAL A:	(83) DEPOS. MICROORGANISMOS:
(62) DIVISIONAL DE:	

(54) TITULO DE LA INVENCION: **ELEMENTO COMBUSTIBLE PARA REACTORES NUCLEARES DE INVESTIGACIÓN**

(57) RESUMEN:

La invención consiste en un elemento combustible para reactores nucleares de investigación, del tipo metal/compuesto de uranio, al que se incorpora una barrera de interdifusión depositada en la interfase, cuyo objeto es impedir la difusión de uno o más componentes entre ambos lados de la interfase y la formación de intermetálicos en el compuesto de uranio (1)

La invención puede ser aplicada a un elemento combustible tipo placa ó con vainas combustibles.

Entre las placas de aluminio que ofician de contención del compuesto de Uranio y dicho compuesto en forma de placa se deposita la barrera de interdifusión. En el caso de una vaina combustible, la barrera de interdifusión se deposita entre la vaina y el compuesto de Uranio.

En ambos casos, el compuesto de uranio es una solución sólida de uranio metálico con pequeñas cantidades de aditivos, del tipo: uranio-molibdeno (UO_x), uranio-zirconio (UZr_x) o uranio-zirconio con agregado de Nb (U-Zr-Nb); y la matriz puede ser de Al, Zirconio (zircaloy), molibdeno, etc.

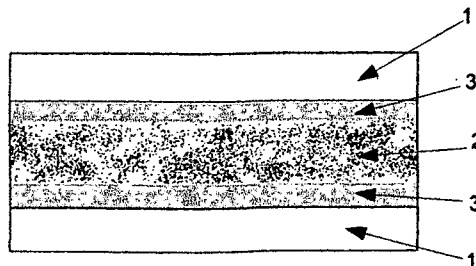


Figura 1

FIGURA MAS REPRESENTATIVA N° 1: (Aprobada)

A.E.P.T.
14.12.04
[Signature]

[Handwritten notes and signatures]
A.E.P.T.
14.12.04
9/15/12
9/15/12

AR



SOLICITUD DE:

PATENTE DE INVENCIÓN:
CERTIFICADO DE MODELO DE UTILIDAD:

Fecha de presentación: 26 de 9 55



I. SOLICITANTE(S):

P 040101406

Acta N°

1) Apellido y Nombre/Denominación o Razón Social:

Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA)

2) Documento de Identidad:

Estado Civil:

Nupcias:

Nombre del Cónyuge:

3) Caja de Jubilación o AFJP:

N° de CUIL o CUIT: 30-54666021-0 IVA:

4) Inscripto en el Registro Industrial de la Nación (Decreto-Ley 19.971/72) N°

5) Domicilio Real: Av. del Libertador N° 8250, Capital Federal, República Argentina

Legal: el mismo

(1429)

II. Objeto:

6) Título de la Invención: **"ELEMENTO COMBUSTIBLE PARA REACTORES NUCLEARES DE INVESTIGACIÓN"**

7) Carácter de la Patente / Modelo de Utilidad:

Definitiva, por el Término de: **20** años

Adicional a la Solicitud N° / Patente N°

Divisional de la Solicitud N°

8) Ley 17.011 Fecha de Prioridad:

País
N°

III. Documentación acompañada

9) Se acompaña:

- a) Comprobante de pago de servicio requerido
- b) Formulario (ANEXO) hoja técnica
- c) Carátula

000000200.00

MINISTERIO DE ECONOMIA
 DEBES Y SERV. PUBLICOS
 Secretaría de Coordinación
 TI: 04 DE: 19
 26/04/04
 ASANDELES POR
 TRIBUTOS

- d) Memoria descriptiva
- e) Reivindicaciones firmadas
- f) Dibujos (Anexo III)
- g) Numero de figuras reducidas
- h) Resumen (Anexo I)
- i) Copia Certificada (Ley 17.011)
- j) Documento de Cesión
- k) Dibujos informales

IV Sociedades

10) Sociedad, representada por: Ing. Jorge Aníbal FERNÁNDEZ

 quien declara bajo juramento que inviste el carácter de Representante
 que su mandato se encuentra vigente y que la Sociedad se halla inscripta en.....
 Fecha.....N°.....F°.....Lib.....T°.....

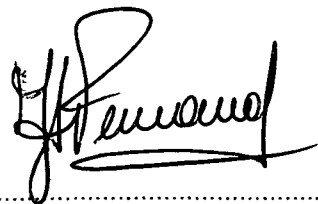
V Mandato

- 11) Poder inscripto en Resolución CNEA N° 60/96.... Registrado en el INPI bajo N°.....
 Otro Registro:..... N°...por Expte. N° 253-10041...(se adjunta copia).
- 12) En este acto, se autoriza a :
 para todas aquellas gestiones de mero tramite tales como practicar desgloses, retirar testimonios,
 certificados, títulos, copias y notificaciones en el expediente.
- 13) Se acompaña poder: Resolución CNEA N° 60/96 y Autorización INPI
- 14) Caja jubilación o AFJP..... N° CUIL o CUIT.....
- 15) Agente Nro.

VI Observaciones: Inventor: GARCÉS, Jorge EDUARDO

Se acompaña Resolución CNEA N° 60/96 y nota del INPI del 19/6/97, autorizando a la representación

.....
 (Firma del autorizado)


 (Firma del(los) Solicitante(s) y/o apoderado)

Ing. Jorge Aníbal FERNÁNDEZ
 Responsable de Patentes
 Comisión Nacional de Energía Atómica



Memoria Descriptiva
de la Patente de Invención

denominada

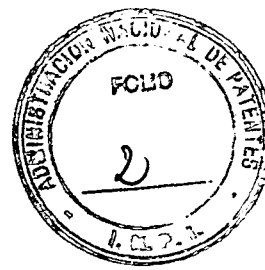
**“ELEMENTO COMBUSTIBLE PARA
REACTORES NUCLEARES DE INVESTIGACIÓN”**

Solicitada por

Comisión Nacional de Energía Atómica, residente en
Av. del Libertador 8250, Ciudad de Buenos Aires, República Argentina.

Inventor: GARCÉS, Jorge Eduardo

Por el plazo de 20 años

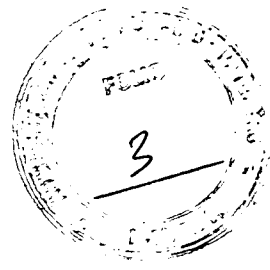


La presente invención se refiere a un elemento combustible para reactores nucleares de investigación, del tipo metal/compuesto de uranio, al que se incorpora una barrera de interdifusión depositada en la interfase, cuyo objeto es impedir la difusión de uno o más componentes entre ambos lados de la interfase y la formación de intermetálicos en el compuesto de uranio.

Esta invención es aplicable principalmente a combustibles avanzados de alta densidad para reactores nucleares de investigación, fabricados con cualquier aleación, compuesto intermetálico o solución sólida basada en uranio de bajo enriquecimiento contenida en una matriz metálica ó cerámica, recubierta ó encapsulada por una placa o vaina metálica con una barrera de interdifusión entre ambas partes. La barrera de interdifusión entre el combustible y su matriz de contención tiene por objeto solucionar los problemas de interdifusión, encontrados en los combustibles nucleares tipo placa basados en la solución sólida U-Mo con matriz de Aluminio, que impiden al día de la fecha obtener un elemento combustible que permita un buen quemado (>45%) y un tiempo alto de permanencia en operación en el reactor (>4000 horas).

Una consecuencia de los profundos cambios en política internacional ocurridos a partir de septiembre del 2001, se relacionan con restricciones en la provisión de uranio enriquecido y con el requerimiento de usar uranio de bajo enriquecimiento ($^{235}\text{U}/^{238}\text{U} < 20\%$) como combustible nuclear tanto en el diseño de nuevos reactores de investigación como en la conversión de los viejos reactores que funcionan con combustibles con alto enriquecimiento de uranio.

Por razones operativas y de costos, se desea realizar la conversión a bajos enriquecimientos manteniendo las condiciones de operación de los reactores y la geometría de los combustibles. De esta manera se puede usar la experiencia acumulada en el desarrollo tecnológico de combustibles nucleares de alta densidad para reactores

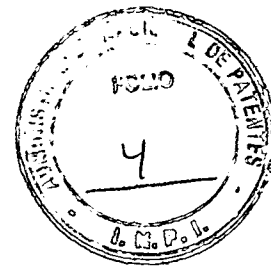


de investigación efectuando ligeras modificaciones en esta tecnología.

La geometría clásica del combustible de los reactores de investigación, consiste básicamente en una placa de un compuesto de uranio en forma de micropartículas dispersas en una matriz de aluminio, la cual se encuentra contenida entre placas de aluminio que dan rigidez y a la vez sellan herméticamente el compuesto combustible. La principal característica que debe cumplir el combustible a lo largo de su vida útil (irradiación) es conservar sus dimensiones dentro de rangos tales que permitan asegurar su correcta refrigeración y mantener confinado tanto el uranio como a los productos de fisión del uranio. Estas características suelen comprometerse a medida que el combustible se va quemando. Los dos principales factores que afectan la integridad y el rendimiento bajo irradiación de este tipo de combustible son: la interacción matriz-combustible en la forma de interdifusión y el hinchado bajo irradiación (*swelling*). El primer fenómeno es importante porque una reacción química excesiva con formación de intermetálicos puede hacer desaparecer la matriz de aluminio pudiendo llegar a reaccionar con el aluminio de las placas de contención del combustible y así migrar fuera del combustible. El segundo fenómeno se refiere a la formación de burbujas de gas proveniente de productos de fisión y también a la interdifusión de aluminio en el combustible con formación de compuestos de menor densidad.

Al efectuar la conversión a bajos enriquecimientos disminuye la cantidad de uranio fisible ^{235}U en el combustible. Por este motivo y a fin de mantener la eficiencia neutronica de los combustibles es necesario cambiar los compuestos de uranio de baja densidad con alto enriquecimiento por otros de mayor densidad que posean al menos una densidad de 15 g-U/cm^3 .

Existen dos tipos de aleaciones basadas en uranio que cumplen con la condición de lograr una densidad de combustible mayor que 15 g-



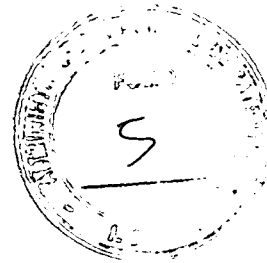
U/ cm³:

- la familia de intermetálicos U₆Me, donde Me representa a los elementos químicos hierro (Fe), manganeso (Mn) , níquel (Ni) o germanio (Ge), y
- una solución sólida de uranio metálico con pequeñas cantidades de aditivos como por ejemplo: uranio-molibdeno (UMo_x), uranio-zirconio (UZr_x) o uranio-zirconio con agregado de Nb (U-Zr-Nb).

Se ha investigado el comportamiento bajo irradiación de muestras con U₆Fe y U₆Mn y se ha encontrado experimentalmente que presentan muy pobre rendimiento bajo irradiación debido a roturas por hinchado a quemados relativamente bajos con interdifusión entre la matriz y el combustible.

Este resultado hace que sólo las soluciones sólidas de uranio sean potenciales candidatas para ser usadas como combustible con bajo enriquecimiento de U en los reactores de investigación. Sin embargo no todas las soluciones sólidas basadas en uranio pueden ser usadas a tal fin. Esto es debido a que experimentalmente se encuentra que los combustibles basados en la fase γ -U (estructura bcc) son más resistentes al hinchado que los basados en la fase α -U (ortorrómbica) a bajos quemados y altas temperaturas de irradiación. Si bien la fase γ -U no es termodinámicamente estable bajo las condiciones de fabricación e irradiación, algunas aleaciones de uranio pueden retenerse indefinidamente en la fase γ -U en un estado metaestable a temperatura ambiente y también por largos períodos de tiempo a temperaturas elevadas.

Así, han resultado de particular interés las aleaciones basadas en las siguientes soluciones sólidas: U-Mo, U-Zr o U-Zr-Nb ya que tanto Mo como Zr o Nb estabilizan la fase γ -U. Sin embargo, los estudios experimentales muestran que los combustible basado en U-Zr o en U-Zr-



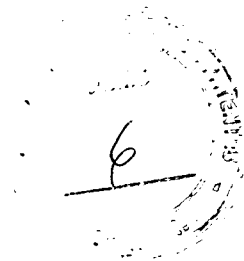
Nb presentan malas condiciones de quemado bajo irradiación. Presentan además una alta reactividad con la matriz de Al formando complejos cuaternarios del tipo $(U,Zr,Nb)Al_3$. Por otra parte, presentan una mayor inestabilidad de la fase γ -U precipitándose la fase α -U, la cual siempre favorece la interdifusión del Al y afecta, en forma negativa, el rendimiento del combustible (integridad física) para altos quemados.

Los resultados experimentales anteriores muestran las dificultades de encontrar un reemplazo a los actuales combustibles basados en siliciuros. Muestran también que, por el momento, el principal candidato para fabricar combustibles con bajo enriquecimiento de U es la solución sólida basada en U-Mo. Sin embargo, la misma también presenta interdifusión y reacción interfacial para bajos contenidos de Mo (que es la zona de interés nuclear) lo cual afecta negativamente el comportamiento bajo irradiación del combustible nuclear.

La manera en que se ha intentado resolver el problema de la interdifusión y la correspondiente formación de intermetálicos en U-Mo, ha sido a través del agregado de aditivos a la solución sólida, a la matriz o a ambos. Sin embargo, se encuentra experimentalmente que el comportamiento bajo irradiación de estos prototipos empeora.

Sigue siendo la mejor opción, por el momento, construir un combustible nuclear basado en una solución sólida de U-Mo sin aditivos. El contenido de Mo debe ser tal que asegure condiciones de quemado bajo irradiación aceptables y que no permita la descomposición de la fase bcc. Estas limitaciones obligan a que el contenido de Mo en la solución sólida deba ser mayor al 7%. Sin embargo, dentro de estos límites, aún no se ha encontrado la solución al problema tecnológico de la fabricación de combustibles tipo placa basados en U-Mo disperso en una matriz de Al.

El inconveniente que presenta el arte previo es que la fabricación



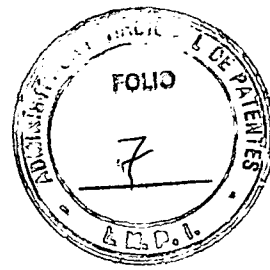
convencional, exitosa para otros combustibles como los basados en U-Si, fallan para los combustibles de alta densidad de U. A pesar de todo el conocimiento experimental que se ha obtenido en combustibles de baja densidad y alto enriquecimiento, los intentos de irradiación de elementos combustibles tipo placa fabricados en base a U-Mo disperso en una matriz de Al efectuados hasta hoy han fracasado por rotura del combustible. Esto es debido a la difusión del aluminio en la solución sólida de uranio con formación de intermetálicos de menor densidad.

Lo mencionado en la presente para la matriz de Al se adoptó a manera de ejemplo, pero vale de la misma manera para otros metales como ser una aleación de Zirconio (zircaloy), molibdeno, etc.

La novedad del elemento combustible para reactores nucleares de investigación, de la presente invención consiste en depositar una barrera de interdifusión depositada en la interfase metal/compuesto de uranio, cuyo objeto es impedir la difusión de uno o más componentes entre ambos lados de la interfase, que provocan los problemas de interdifusión ya mencionados.

La solución propuesta en el elemento combustible de la presente invención se basa en obtener una barrera depositando uno o más planos atómicos de uno o más elementos químicos entre la matriz y el compuesto de uranio. En el ejemplo de realización de esta patente, se depositó Mo como barrera de interdifusión entre la matriz de aluminio y el combustible nuclear.

El objetivo principal del elemento combustible de la presente invención y de depositar una barrera de interdifusión en la interfase metal/compuesto de uranio es obtener una unidad o parte de un elemento combustible nuclear basado en una aleación de uranio con bajo enriquecimiento y alta densidad ($>15 \text{ g-U/cm}^3$) que posea un comportamiento estable bajo irradiación para altos porcentajes de quemado ($>45\%$) solucionando el problema tecnológico de la durabilidad



bajo irradiación del combustible.

Así, la principal aplicación de la presente invención es un elemento combustible basado en una aleación de uranio con bajo enriquecimiento y alta densidad en forma de placa o polvo disperso en una matriz y contenida entre placas o vaina a fin de dar confinamiento y hermeticidad al combustible, que sea estable bajo irradiación y con tiempos de permanencia en el reactor mayores a las 4000 horas.

A fin de una mejor comprensión de la presente invención y mayor entendimiento de las ventajas comentadas, se realiza a continuación la descripción detallada de un ejemplo de realización de la presente invención, en base a los dibujos adjuntos, en los cuales:

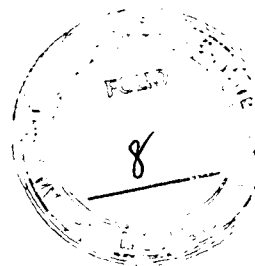
La figura N° 1 muestra un ejemplo de realización de una placa de un elemento combustible, según la invención, para los reactores de investigación con combustibles con bajo enriquecimiento de uranio.

La figura N° 2 muestra un ejemplo de realización de una vaina de un elemento combustible, según la invención, para los reactores de investigación con vainas combustibles, con bajo enriquecimiento de uranio.

Las figuras N° 3, 4 y 5 (en color, sólo a efectos informativos), muestran los resultados obtenidos para una interfase formada entre Al y una solución sólida de U, con diferentes contenidos de Mo.

Las figuras N° 6, 7 y 8 (en color, sólo a efectos informativos), muestran, el efecto que sobre la interdifusión de Al tiene el depositar una o mas monocapas atómicas de Mo entre la matriz de aluminio y el U-Mo.

En la figura 1 se puede observar una placa de un elemento combustible, de acuerdo a la invención cuando es aplicado al caso particular de un elemento combustible tipo placa para los reactores de investigación con combustibles con bajo enriquecimiento de uranio, con

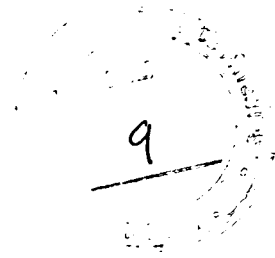


una interfase metal/compuesto de uranio. En la misma, entre las placas de Al (1) que ofician de contención del compuesto de U (2) y dicho compuesto en forma de placa se deposita la barrera de interdifusión (3). A fin de que actúe efectivamente como barrera, la misma consta de al menos cuatro planos atómicos de Mo depositados sobre el compuesto de uranio. Es importante que el depósito de Mo se realice sobre el compuesto de uranio a fin de que el mismo crezca con la misma estructura cristalina del substrato a fin de asegurar una mayor eficiencia de la barrera de interdifusión.

A fin de analizar los resultados de la aplicación de la invención, se realizaron cálculos de primeros principios y de métodos cuánticos aproximados mediante el método de Bozzolo, Ferrante y Smith (BFS), (1992). Este método puede tratar con sistemas y geometrías complejas sin restricciones en el número de elementos o de fases cristalográficas. En particular el método BFS modela el proceso de formación de una aleación con resultados altamente confiables para analizar tanto propiedades del sólido como superficies, interfaces ó defectos extendidos. En este análisis se ha incorporado además el método de Monte Carlo para describir los efectos de la temperatura.

En la figura 2 se puede observar una vaina combustible para un elemento combustible para reactores de investigación con vainas combustibles con bajo enriquecimiento de uranio, de acuerdo a la invención. En la misma, entre las vainas de Al (4) que ofician de contención del compuesto de U (5) y dicho compuesto en forma de vaina se deposita la barrera de interdifusión (6).

En ambos casos (figura 1 ó 2), el compuesto de uranio es una solución sólida de uranio metálico con pequeñas cantidades de aditivos, del tipo: uranio-molibdeno (UMo_x), uranio-zirconio (UZr_x) o uranio-zirconio con agregado de Nb (U-Zr-Nb); y la matriz de Al se adoptó a manera de ejemplo, pero puede ser de otros metales como ser una



aleación de Zirconio (zircaloy), molibdeno, etc

Las figuras 3, 4 y 5, muestran los resultados obtenidos con el método de Monte Carlo (en color, ya que es la única forma de visualizarlos) para una interfase formada entre 10 planos de Al (en color amarillo) y 10 planos de la solución sólida de U (en color azul) con diferentes contenidos de Mo (en color gris). Se presenta la evolución de la misma en función de la temperatura, de la concentración de Mo y de la orientación de la interfase. Se observa en los resultados presentados que el aluminio de la matriz difunde en la solución sólida con cualquier composición de Mo aún a temperatura ambiente.

En excelente acuerdo con la evidencia experimental, los resultados obtenidos con la descripción, muestran que el aluminio siempre encontrará un camino para difundir hacia las capas más profundas de la solución sólida de U-Mo, efecto observado aún a temperaturas relativamente bajas. Se determinó una tendencia del aluminio a difundir hacia regiones ricas en molibdeno formando un compuesto ternario (U, Al, Mo) de composición no definida. En el sistema ternario Al/U-Mo, las regiones ricas en Mo actúan como zonas de anclaje para los átomos de aluminio formándose estos complejos ternarios, los cuales ya han sido identificados experimentalmente. Para bajas concentraciones de Mo, que es la zona de interés nuclear, se presenta el problema que no puede evitarse la interdifusión de los átomos de Al procedentes de la matriz al no tener los cúmulos de Mo el tamaño crítico necesario.

La solución propuesta en esta invención se basa en depositar uno o más planos atómicos de uno o más elementos químicos entre la matriz y el combustible nuclear generando así una barrera de interdifusión. En el ejemplo de realización de esta patente, se depositó Mo entre la matriz de aluminio y el combustible nuclear, pues se comprueba que el Mo muestra un efecto marcado que indica que puede ser usado como

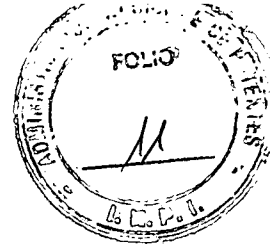


10

barrera de interdifusión.

Las figuras 6, 7 y 8 muestran (en color, ya que es la única forma de visualizarlos) para las superficies con una orientación cristalográfica [100], [110] y [111] en la estructura bcc, respectivamente, el efecto que sobre la interdifusión de Al tiene el depositar una o mas monocapas de Mo entre la matriz de aluminio y el U-Mo. Estas figuras presentan la evolución de esta interfase para diferentes temperaturas y concentraciones de Mo en la solución sólida. Se ve claramente que la interdifusión es detenida completamente para dos capas (superficie [100]) o más capas [superficies [110] y [111]) de molibdeno a una temperatura de 600 K, muy por arriba de la temperatura de trabajo de un reactor de investigación.

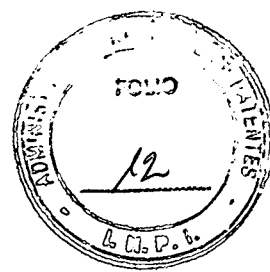
Siguen 10 reivindicaciones en página 11.



REIVINDICACIONES

Habiendo descrito y determinado la naturaleza y alcance de la presente invención, y la manera que la misma ha de ser llevada a la práctica, se declara lo que se reivindica como invención y de propiedad exclusiva :

- 1) Elemento combustible para reactores nucleares de investigación, que posee piezas combustibles formadas por un metal contenedor de un compuesto de uranio, caracterizado porque uno o más de dichas piezas combustibles poseen una barrera de interdifusión depositada en la interfase entre el metal y el compuesto de uranio.
- 2) Elemento combustible para reactores nucleares de investigación, según la reivindicación 1, caracterizado porque dicha barrera de interdifusión consta de uno o más elementos químicos depositados entre la matriz metálica y el compuesto de uranio y dicho compuesto de uranio es una solución sólida de uranio metálico con pequeñas cantidades de aditivos, del tipo: uranio-molibdeno (UMo_x), uranio-zirconio (UZr_x) o uranio-zirconio con agregado de Nb (U-Zr-Nb).
- 3) Elemento combustible para reactores nucleares de investigación, según la reivindicación 2, caracterizado porque dicho compuesto de uranio es una solución sólida basada en uranio metálico con molibdeno (UMo_x), y dicha barrera de interdifusión es un depósito de molibdeno ubicado entre la matriz metálica y el compuesto de uranio.
- 4) Elemento combustible para reactores nucleares de investigación,, según la reivindicación 3, caracterizado porque dicha matriz metálica es de aluminio.
- 5) Elemento combustible para reactores nucleares de investigación,, según la reivindicación 3, caracterizado porque dicha matriz metálica es de molibdeno.



- 6) Elemento combustible para reactores nucleares de investigación,, según la reivindicación 3, caracterizado porque dicha matriz metálica es de zircaloy (aleación de Zirconio).
- 7) Elemento combustible para reactores nucleares de investigación, según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, caracterizado porque dicha pieza combustible es una placa combustible, que posee unas placas de aluminio que contienen entre ellas al compuesto de uranio, y dicha barrera de interdifusión está entre cada una de las interfases aluminio/compuesto de uranio.
- 8) Elemento combustible para reactores nucleares de investigación, según cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, caracterizado porque dicha pieza combustible es una vaina combustible, que posee una vaina que contiene en su interior al compuesto de uranio y dicha barrera de interdifusión está entre la interfase aluminio/compuesto de uranio.
- 9) Elemento combustible para reactores nucleares de investigación, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque dicho depósito de molibdeno tiene un espesor de más de 4 planos atómicos de Mo.
- 10) Elemento combustible para reactores nucleares de investigación, según la reivindicación 9, caracterizado porque dicho compuesto de uranio está en forma de placa.

Ing. Jorge Aníbal Fernández
Responsable de Patentes
Comisión Nacional de Energía Atómica

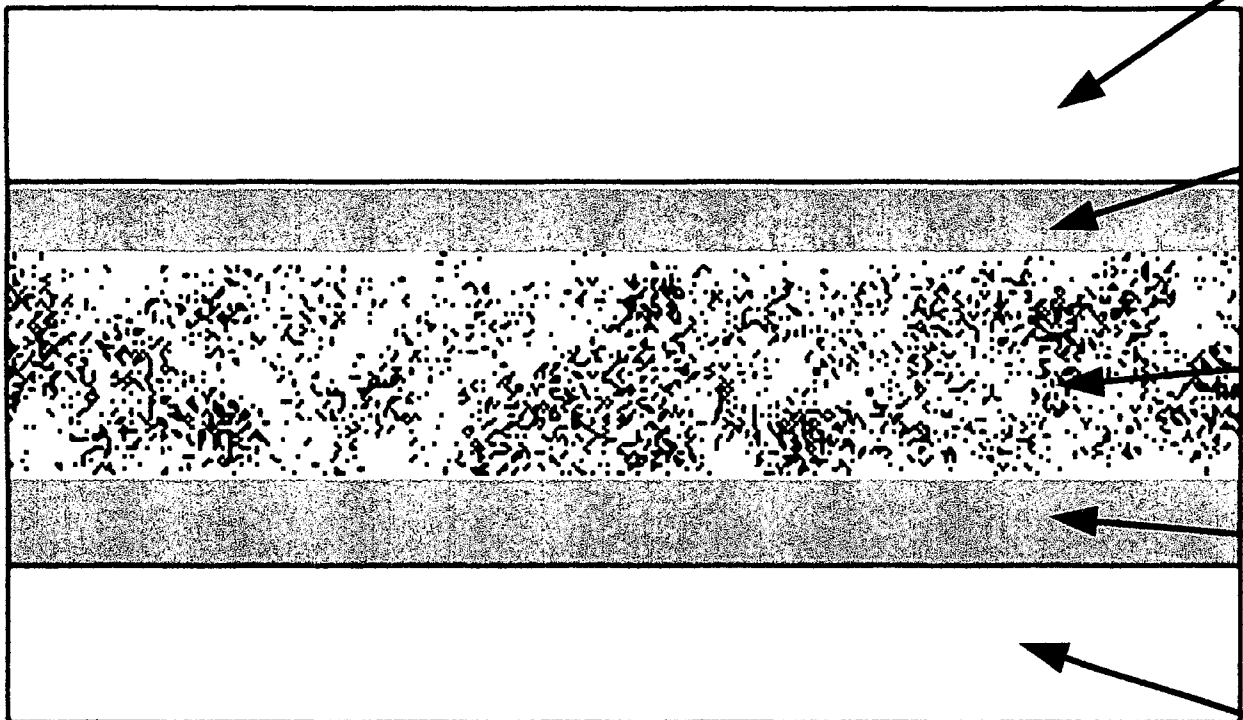


Figura 1

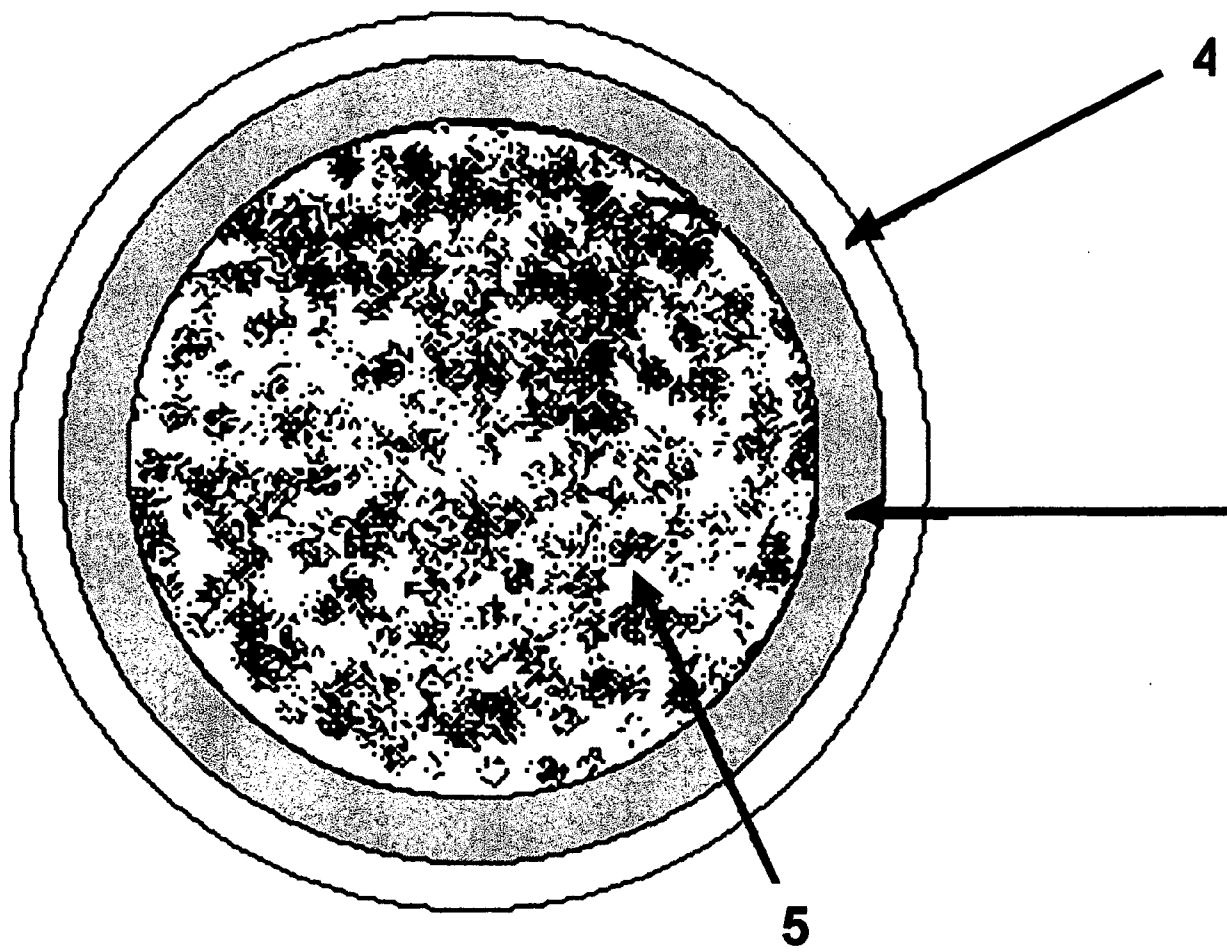


Figura 2

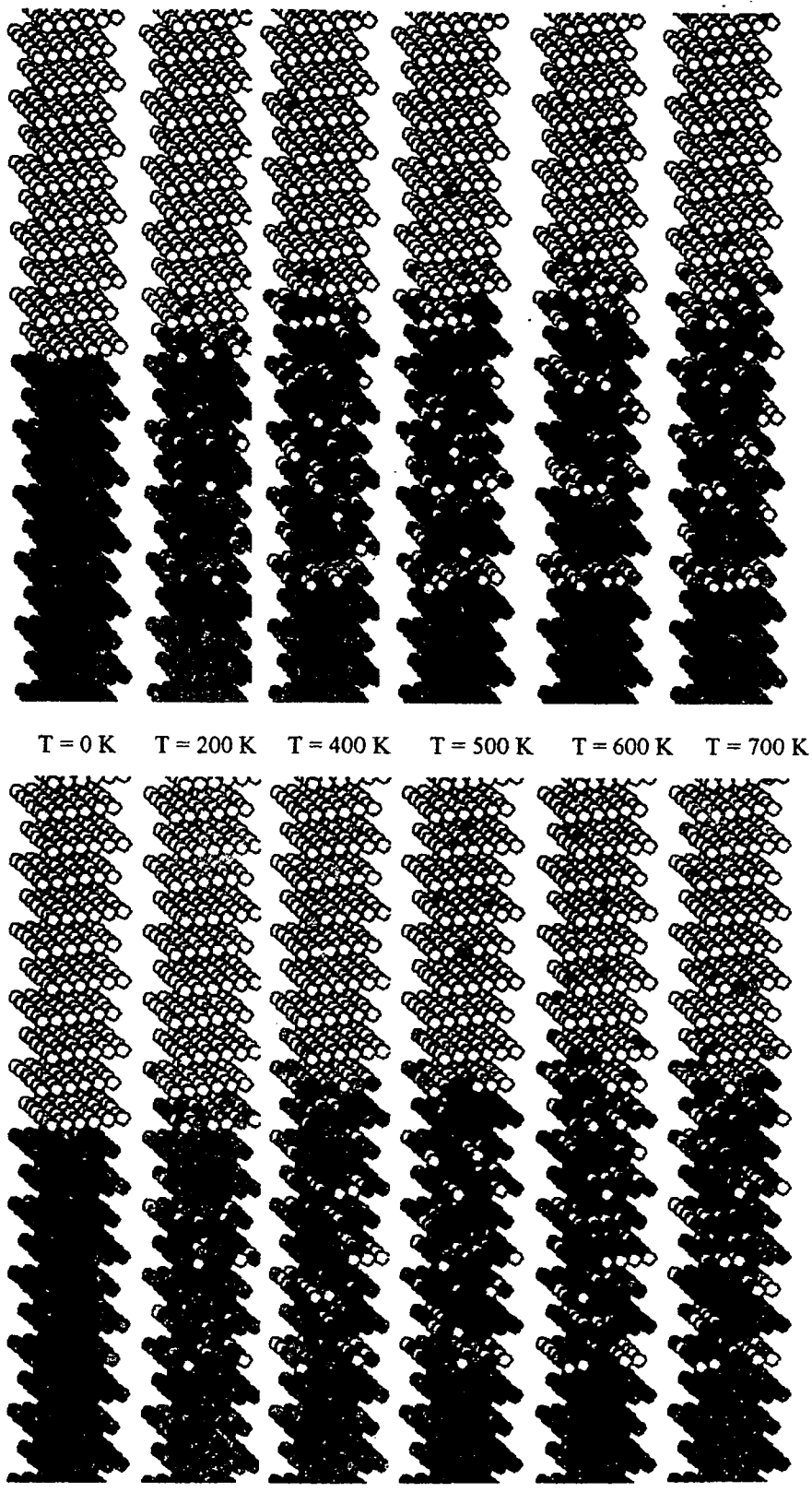


Figura 3. Evolución de una interfase [100] formada entre Al (círculos de color amarillo) y una solución sólida de U-Mo (círculos de color azul y gris, respectivamente) en función de la temperatura para una composición de 4% (figura superior) y 10% de Mo (figura inferior).

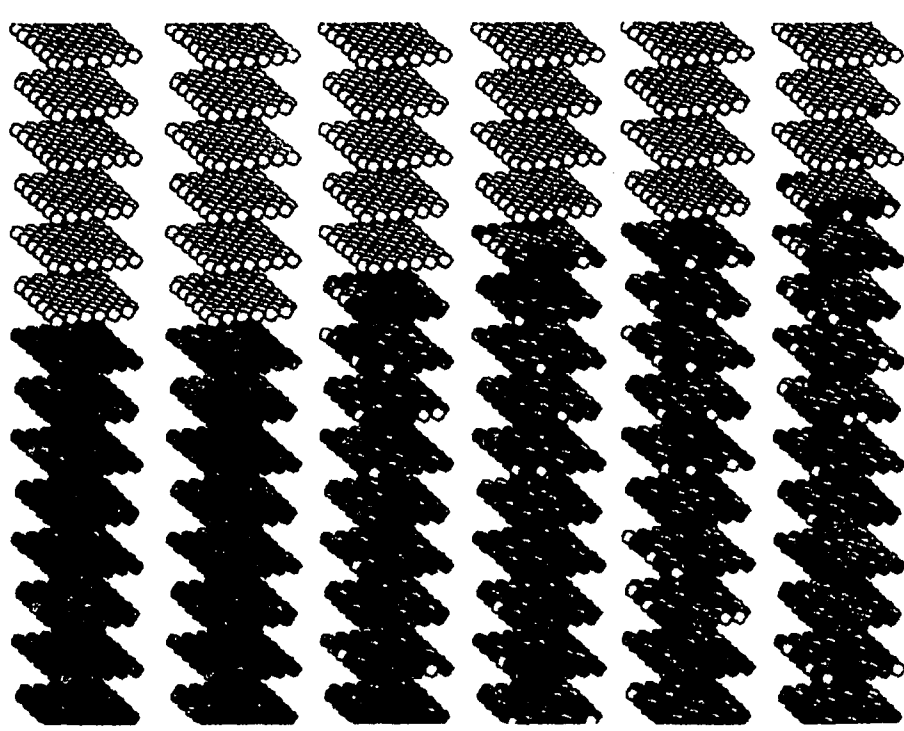
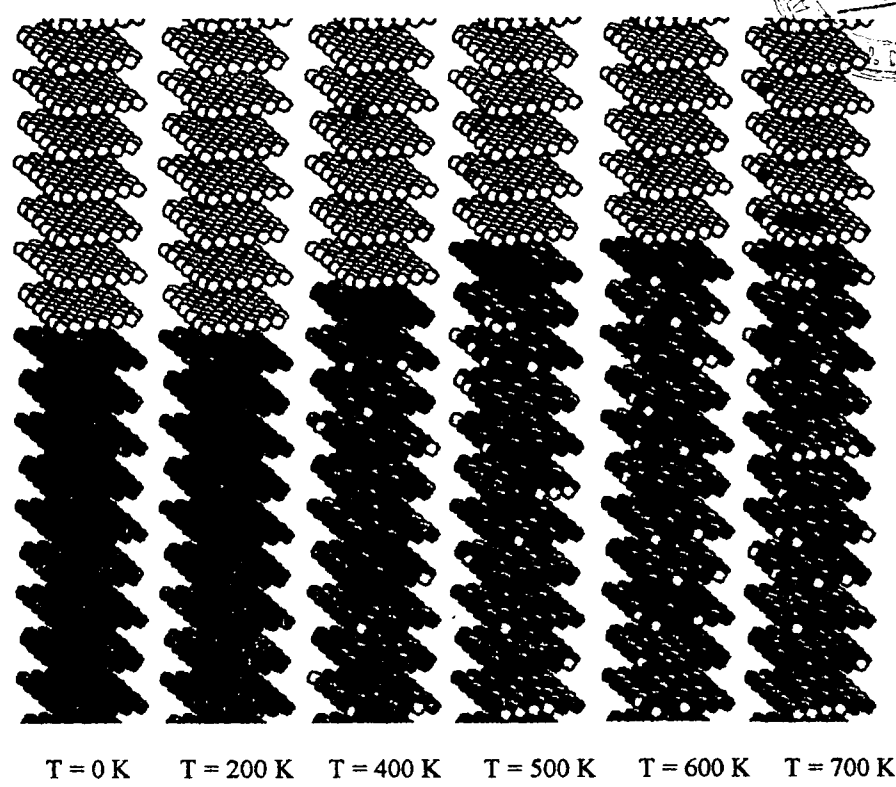


Figura 4. Evolución de una interfase [110] formada entre Al (círculos de color amarillo) y una solución sólida de U-Mo (círculos de color azul y gris, respectivamente) en función de la temperatura para una composición de 4% (figura superior) y 10% de Mo (figura inferior).

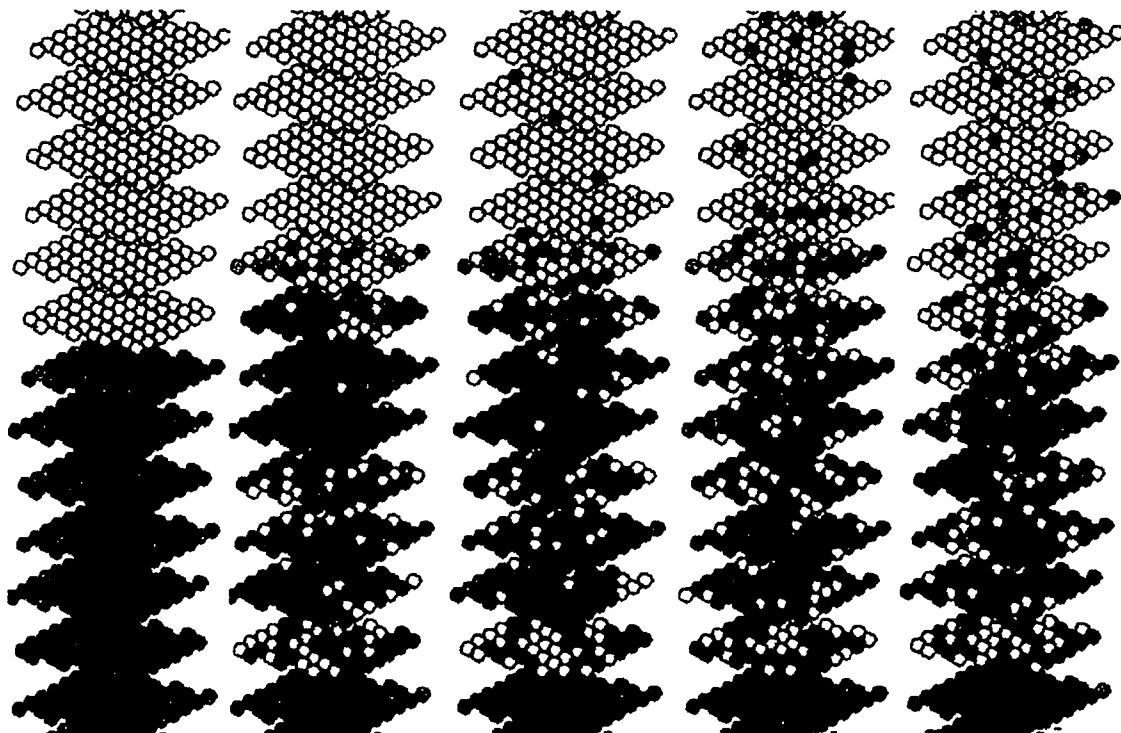
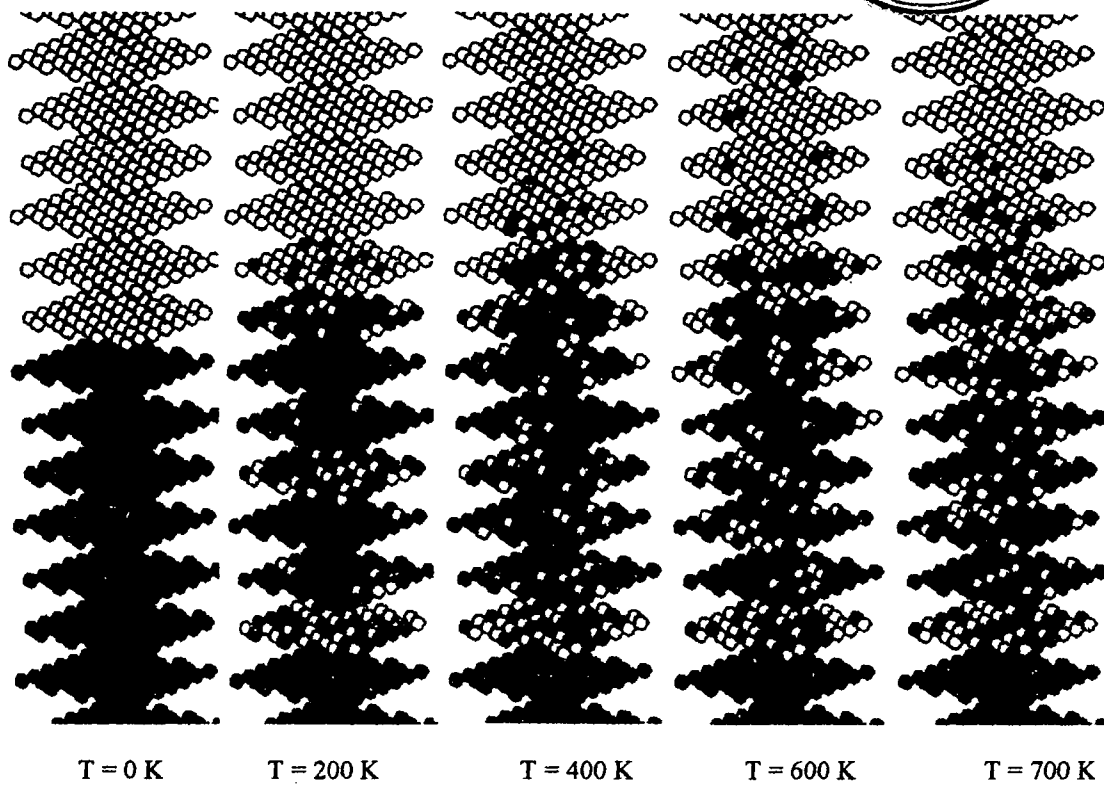
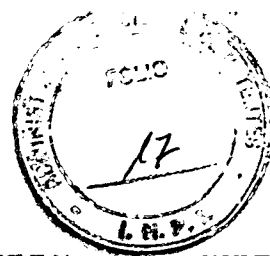
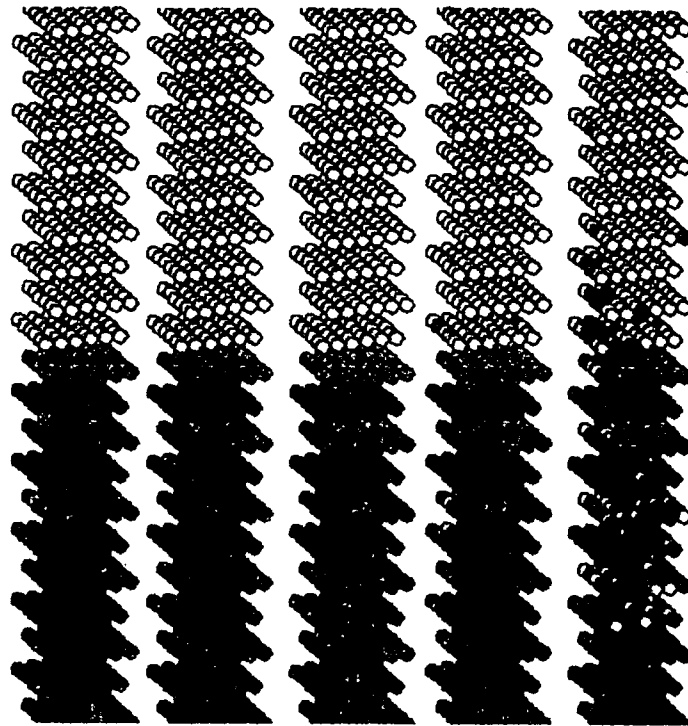


Figura 5. Evolución de una interfase [111] formada entre Al (círculos de color amarillo) y una solución sólida de U-Mo (círculos de color azul y gris, respectivamente) en función de la temperatura para una composición de 4% (figura superior) y 10% de Mo (figura inferior).



T = 0 K T = 400 K T = 500 K T = 600 K T = 700 K

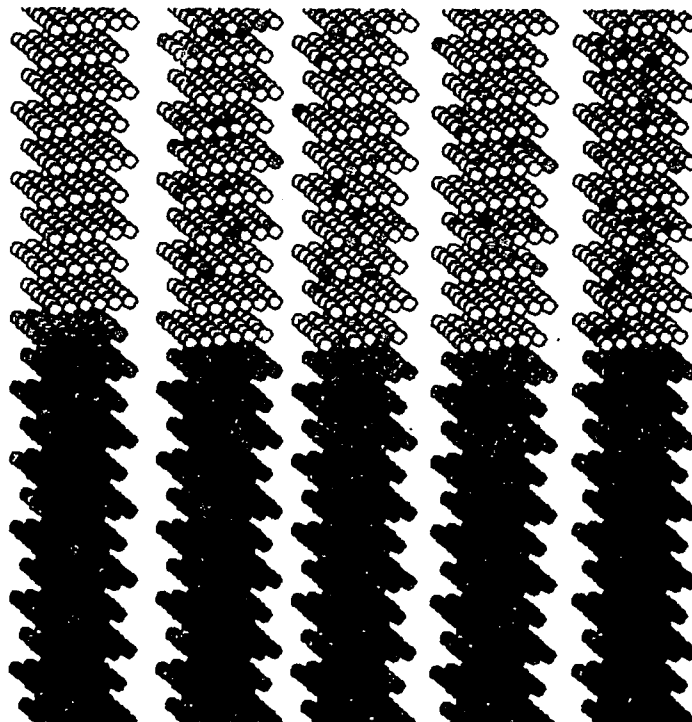
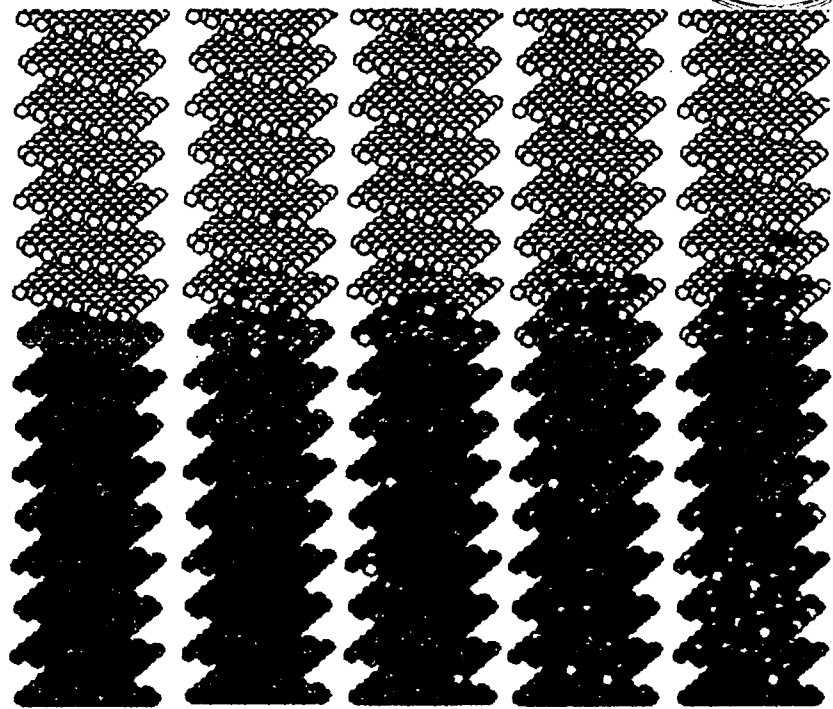
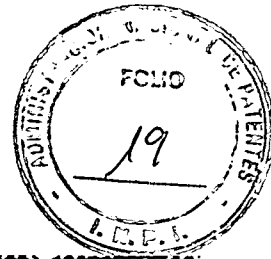


Figura 6. Evolución de la interfase [100] en función de la temperatura mostrando el efecto de barrera de interdifusión de uno (figura superior) y dos planos (figura inferior) de Mo (círculos de color gris) depositados entre planos de Al (círculos de color amarillo) y planos de la solución sólida de U (círculos de color azul) con 7% atómico de Mo.



T = 0 K

T = 400 K

T = 500 K

T = 600 K

T = 700 K

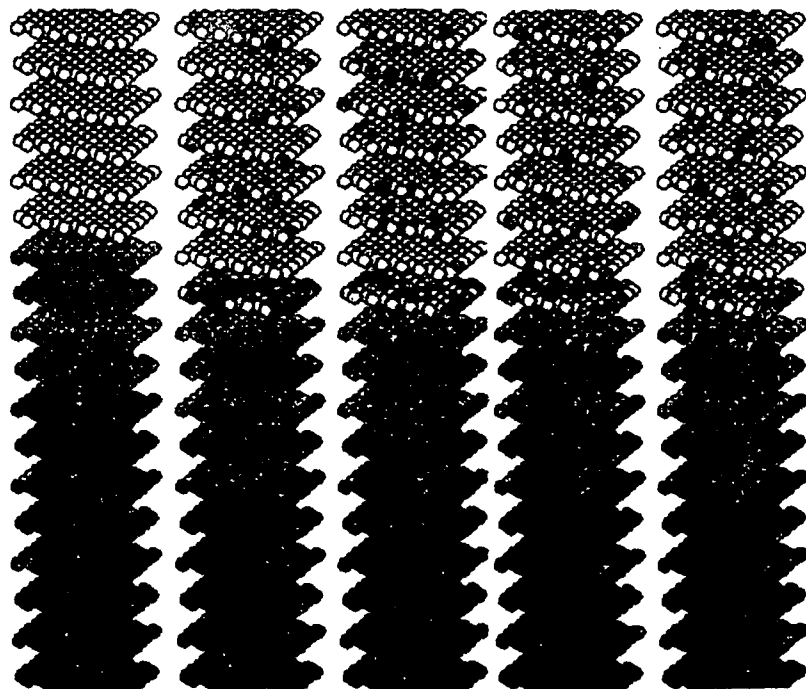
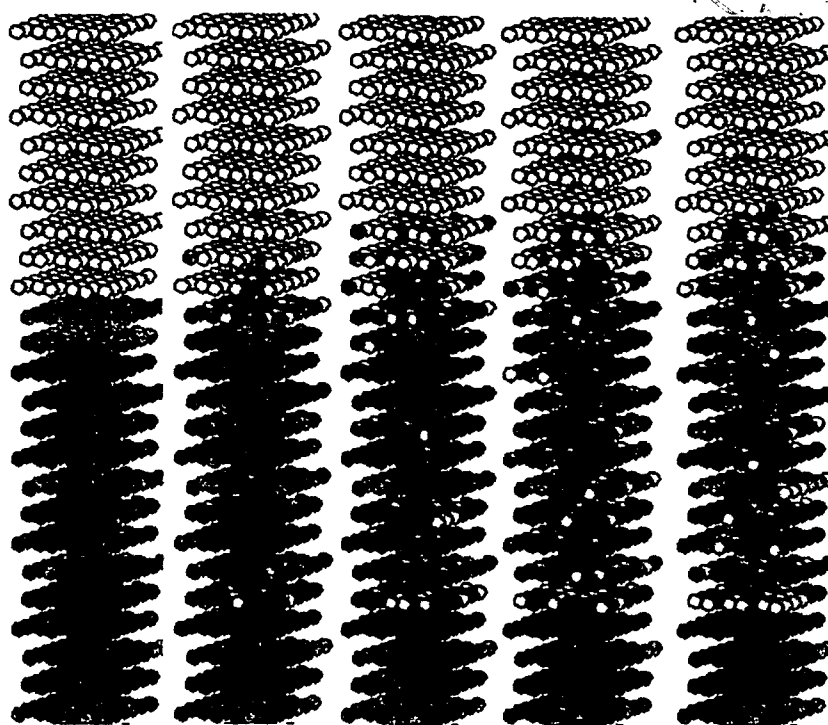


Figura 7. Evolución de la interfase [110] en función de la temperatura mostrando el efecto de barrera de interdifusión de uno (figura superior) y cuatro planos (figura inferior) de Mo (círculos de color gris) depositados entre planos de Al (círculos de color amarillo) y planos de la solución sólida de U (círculos de color azul) con 7% atómico de Mo.



T = 0 K

T = 400 K

T = 500 K

T = 600 K

T = 700 K

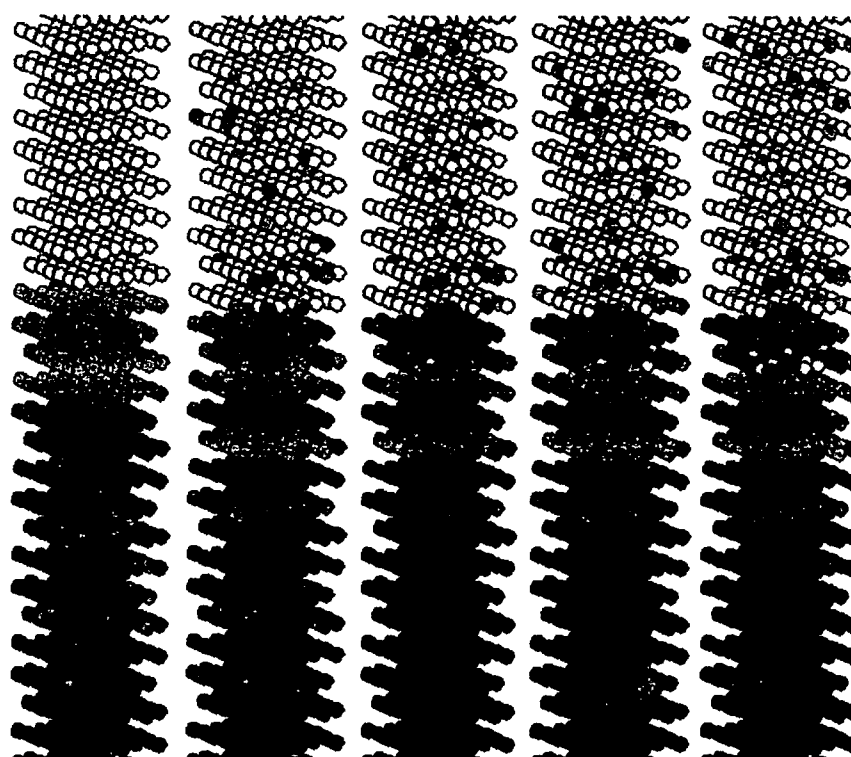
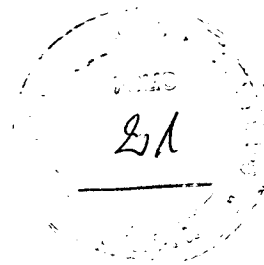


Figura 8. Evolución de la interfase [111] en función de la temperatura mostrando el efecto de barrera de interdifusión de dos (figura superior) y cuatro planos (figura inferior) de Mo (círculos de color gris) depositados entre planos de Al (círculos de color amarillo) y planos de la solución sólida de U (círculos de color azul) con 7% atómico de Mo.



RESUMEN

La invención consiste en un elemento combustible para reactores nucleares de investigación, del tipo metal/compuesto de uranio, al que se incorpora una barrera de interdifusión depositada en la interfase, cuyo objeto es impedir la difusión de uno o más componentes entre ambos lados de la interfase y la formación de intermetálicos en el compuesto de uranio.

La invención puede ser aplicada a un elemento combustible tipo placa ó con vainas combustibles.

Entre las placas de aluminio que offician de contención del compuesto de Uranio y dicho compuesto en forma de placa se deposita la barrera de interdifusión. En el caso de una vaina combustible, la barrera de interdifusión se deposita entre la vaina y el compuesto de Uranio.

En ambos casos, el compuesto de uranio es una solución sólida de uranio metálico con pequeñas cantidades de aditivos, del tipo: uranio-molibdeno (UMo_x), uranio-zirconio (UZr_x) o uranio-zirconio con agregado de Nb (U-Zr-Nb); y la matriz puede ser de Al, Zirconio (zircaloy), molibdeno, etc.

LA PRESENTE DOCUMENTACION
ORIGINAL CONSTA DE 21 FOJAS.
BUENOS AIRES, 28/4/09