



(19) ES	(11) NUMERO 456.850	(10) A 1
	(21)	
	(22) FECHA DE PRESENTACION 15-3-1977	

PATENTE DE INVENCION

P.- 65.359  
PHN 8331  
Spain - HK/MC

(30) PRIORIDADES: (31) NUMERO 76/02751	(32) FECHA 17-3-76	(33) PAIS Holanda
--	-----------------------	----------------------

(47) FECHA DE PUBLICIDAD	(51) CLASIFICACION INTERNACIONAL A23J	(62) PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
--------------------------	--	--

(64) TITULO DE LA INVENCION

"UN METODO DE PREPARACION DE UN ELEMENTO O UN COMPUESTO DE UN ELEMENTO, QUE CON RELACION AL MATERIAL DE PARTIDA DE LA PREPARACION ESTA ENRIQUECIDO EN UN GRADO SUFICIENTE PARA USOS TECNICOS CON UN ISOTOPO DE AQUEL ELEMENTO".

(71) SOLICITANTE (S)

N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

DOMICILIO DEL SOLICITANTE

Emmasingel 29, Eindhoven, Holanda

(72) INVENTOR (ES)

Hans Jurgen Lydtin, Petrus Johannes Wilhelmus Severin y Rolf Josef Wilden

(73) TITULAR (ES)

(74) REPRESENTANTE

DON ALBERTO DE ELZABURU MARQUEZ

1                   La invención se refiere a un método de pre-  
paración de un elemento o un compuesto de un elemento  
que en comparación con un material de partida para la  
5                   preparación está enriquecido con uno de los isótopos  
del elemento en un grado suficiente para su aplica- -  
ción técnica.

                  La bibliografía describe varios métodos de  
enriquecer elementos o compuestos de los mismos con -  
isótopos deseados dados. En general se refiere enton-  
10                   ces a métodos que requieren grandes inversiones y/o -  
grandes cantidades de energía para separar, por uní--  
dad de tiempo, una gran cantidad en un alto grado. Ha  
sido sugerido ya, por ejemplo, utilizar al separar --  
isótopos, la diferencia en velocidad de reacción de -  
15                   los isótopos de un elemento o los compuestos que con-  
tienen estos isótopos. Sin embargo, este efecto es --  
muy pequeño con otros elementos distintos del hidróge-  
no. Además, el efecto disminuye cuando la temperatura  
aumenta de modo que no fue posible adaptar este méto-  
20                   do a la práctica.

                  Es un objeto de la invención proporcionar -  
un método de preparación de un elemento o compuestos  
del mismo enriquecidos con un isótopo dado, que pro--  
porciona el resultado deseado de un modo sencillo y -  
25                   barato y con un consumo de energía relativamente bajo.

                  Según la invención un método que satisface  
este objeto está caracterizado porque parte del mate-  
rial de partida se convierte en un substrato calenta-  
do al tiempo que se deposita sobre el substrato el --  
30                   elemento o el compuesto formado por esta conversión,

1            después de lo cual la parte restante del material de  
partida o el depósito obtenido es convertido parcial-  
mente de nuevo después de haber sido llevado a una -  
5            forma adecuada de un modo análogo en un substrato ca-  
lentado, repitiéndose lo anterior muchas veces hasta  
que se obtiene un grado de enriquecimiento suficien-  
te para la aplicación técnica.

10           El método según la invención se basa en el  
reconocimiento de que debido a la difusión de la ma-  
sa y la difusión térmica en la conversión de substan-  
cias en un substrato calentado al tiempo que se depo-  
sita sobre el substrato un elemento o un compuesto -  
formado en él, por lo menos si se observan ciertas -  
precauciones, tiene lugar el enriquecimiento del ele-  
15           mento o un compuesto del mismo, con un isótopo más -  
ligero.

20           Con la conversión de sustancias en un subs-  
trato calentado, en que dichas sustancias pueden en-  
contrarse presentes en estado gaseoso y/o en estado  
líquido se forma una capa gaseosa relativamente es-  
tancada en torno al substrato mientras que en la re-  
gión exterior a esta capa tienen lugar corrientes de  
convección turbulentas en la sustancia calentada me-  
diante el substrato. La capa gaseosa relativamente -  
25           estancada se mantiene mediante un gradiente de tempe-  
ratura empinado desde el substrato hasta el gas tur-  
bulento o el líquido que están a una temperatura mu-  
cho más baja que el substrato. A través de la capa -  
de gas estancado, que puede estar constituida por --  
30           productos de reacción gaseosos y cualquier sustancia

añadida intencionadamente, se difunden moléculas desde el material de partida hasta el substrato. En general, al pasar este gradiente de concentración y el gradiente de temperatura, las moléculas que comprenden un isótopo más ligero del elemento se difundirán más rápidamente que las moléculas constituidas por un isótopo más pesado.

El enriquecimiento del material depositado sobre el substrato con un isótopo más ligero se favorece si se asegura el que mediante un mezclado intenso y rápido del material de partida, se evite la ocurrencia de un gradiente de concentración en el material de partida con relación al isótopo ligero. Debido a un mezclado intensivo tal del material de partida, la proporción entre los isótopos en la interfase entre la capa divisoria y el material de partida es en algún momento igual a la proporción media entre los isótopos en el material de partida. La diferencia más importante con procedimientos que son a veces deposición de vapores químicos, marcados, consiste en que no se pretende una conversión completa, sino que sólo una parte (habitualmente 20 a 50%) del material de partida implicado en el procedimiento, se convierte en el substrato. Así pues, en contraste con lo que habitualmente tiene lugar durante la descomposición o la reacción inducida de sustancias en un substrato calentado, no debe pretenderse tener este procedimiento completamente terminado. La parte del material de partida que no se convierte se enriquece con un isótopo pesado y puede ser, en circunstancias dadas, el --

1 producto deseado que ha de prepararse mediante el método según la invención.

5 Para que el procedimiento marche apropiadamente es deseable escoger la temperatura del sustrato lo suficientemente alta para que el grado de deposición sea función del grado en que las moléculas que han de ser convertidas puedan alcanzar el sustrato mediante difusión y que es independiente del grado de reacción, o en otras palabras, una temperatura en que todas las moléculas que alcanzan el sustrato y que puedan ser convertidas, sean convertidas, de modo que el grado de difusión es el factor decisivo para el enriquecimiento. Por consiguiente la temperatura debe ser tan elevada que el equilibrio químico se desplace totalmente hacia el lado del producto de conversión.

15 Si en cuanto antecede y en cuanto sigue más adelante en la Memoria se cita conversión, esto no debe ser interpretado como que significa sólo una reacción de pirólisis pura en la que un compuesto dado se descompone en los elementos de composición o compuestos de una construcción más sencilla, sino también reacciones tales en que se encuentran implicados diversos componentes del material de partida. Así pues, un material de partida no sólo significa un compuesto puro sino también una mezcla de sustancias, algunas de las cuales o todas juntas son llevadas a una reacción en el sustrato. La mezcla puede contener sustancias que no participan en la reacción sino que constan substancialmente de un solo isótopo, tal como argón y que favorecen la selectividad de colisión debido a que se

1 favorece la separación de masas.

5 Son ejemplos de reacciones, por ejemplo, reacciones de reducción y conversiones dobles. Parece ser -- que la velocidad de suministro de hidrógeno a través de un material de partida líquido no es, por ejemplo, un -- factor de limitación para la posibilidad de alcanzar -- una velocidad de deposición de 1 mm por minuto. Si se -- encuentran presentes en el compuesto otros elementos -- distintos del hidrógeno además del elemento a ser enri- 10 quecido, debe concederse preferencia a elementos que en su estado natural estén constituidos por más de 90% en peso de un solo isótopo.

15 Si en lo que antecede y en la exposición que sigue más adelante en la Memoria se cita un substrato, entonces esto debe entenderse que significa un objeto -- preparado con un material resistente a la temperatura -- que puede tener cualesquiera características geométri-- cas. Por ejemplo, puede tener la forma de un filamento o una cinta o estar constituido por un tubo poroso a -- 20 través del cual pueden suministrarse o descargarse ga-- ses tanto si están implicados en la reacción como si -- no. El substrato puede tener también la forma de un tubo a través del cual se hace pasar un medio que trans-- porta calor. La deposición tendrá lugar sobre la pared exterior del tubo. 25

30 El material de partida puede estar constituido en su totalidad por un gas o una mezcla de gases. Preferiblemente, sin embargo, el material de partida está -- constituido por un líquido en cualquier grado, al menos para aquella parte que está constituida por el compuesto

1 del cual forma parte el elemento que ha de ser enrique-  
cido con un isótopo más ligero. En la práctica se ha -  
puesto de manifiesto especialmente que cuando se usa -  
un material de partida que está presente, al menos en  
5 parte, en la forma de un líquido, puede realizarse un  
enriquecimiento adecuado de un modo sencillo y rápido  
con los métodos según la invención. Esto es debido pro-  
bablemente al hecho de que cuando se usa un material -  
de partida que se encuentra presente en forma de un lí-  
10 quido que comprende el elemento que ha de ser enrique-  
cido, pueden ocurrir fenómenos en un substrato calenta-  
do que favorecen el enriquecimiento del material depo-  
sitado con un isótopo más ligero. Una de las causas po-  
dría ser que en la interfase entre el material de par-  
15 tida líquido y la capa gaseosa que se forma en torno -  
al substrato y que está constituida por un vapor gene-  
rado por el líquido, los productos de conversión gaseo-  
sos y cualesquiera gases añadidos intencionadamente, -  
las moléculas que contienen un isótopo más ligero se -  
20 evaporan más rápidamente que las moléculas que contie-  
nen un isótopo más pesado del elemento que ha de enri-  
quecerse. Asimismo los fenómenos que tienen lugar cuan-  
do la interfase gas-líquido está en movimiento violen-  
to, debido a que productos gaseosos atraviesan esta in-  
25 terfase en ambas direcciones en forma de burbujas, pue-  
den jugar un papel en esta Memoria. Esto también favo-  
rece el mezclado. El mezclado rápido del material de -  
partida puede ser obtenido y/o mantenido con medios me-  
dios mecánicos si las corrientes de convección que tie-  
30 nen lugar de modo natural en el material de partida du-

1 rante el procedimiento pusieran de manifiesto que son  
insuficientes; también es posible cuando se usa un ma-  
terial de partida en forma de un líquido para hacer --  
burbujear un gas, por ejemplo hidrógeno, a través del  
5 líquido, en donde el gas puede participar en una reac-  
ción química que da como resultado un material que pue-  
de ser depositado sobre el substrato, por ejemplo una  
reacción de reducción.

10 A las temperaturas usadas las diferencias en  
las velocidades de reacción de compuestos que contie-  
nen isótopos diferentes no juegan un papel importante,  
lo que tampoco era de esperar sobre la base de conside-  
raciones teóricas.

15 El método puede ser llevado a cabo de tal mo-  
do que el líquido o el gas se haga pasar a lo largo del  
substrato que ha sido calentado a la temperatura de --  
descomposición o de reacción. También es posible mover  
el substrato con relación al líquido o el gas o combi-  
nar ambas medidas, por ejemplo en un proceso continuo,  
20 en el que un substrato de forma de alambre se hace pa-  
sar a través de un reactor y un líquido se mueve a tra-  
vés del reactor en dirección opuesta o en el que cual-  
quiera de los dos es estacionario. Aquí puede ser ven-  
tajoso tener el líquido circulando a través de un dis-  
positivo por ejemplo un filtro o un sedimentador, para  
25 separar productos secundarios sólidos que se forman po-  
siblemente durante la pirólisis en el substrato y que  
no se depositan sobre éste.

30 El trabajar con un líquido ofrece la ventaja  
adicional de que la temperatura del mismo puede ser --



1 mantenida en un valor bajo de modo que se obtiene un -  
gradiente de temperatura más empinado sobre la capa ga  
seosa estancada sobre el substrato que en un material  
de partida que es completamente gaseoso, y el grado de  
5 deposición del isótopo más ligero de un elemento es ma  
yor. El trabajar con un material de partida líquido tie  
ne consecuencias adicionales importantes que contribu  
yen a la capacidad de aplicación económica del procedi  
10 miento, por ejemplo en lo que respecta a la construc  
ción del reactor y de los materiales usados en él. El  
reactor puede estar constituido, por ejemplo, por un -  
material resinoso sintético reforzado, con tal que no  
haya riesgo de corrosión del mismo por el líquido.

15 En su forma más simple los substratos están  
constituidos por un filamento, una tira o un tubo de -  
un metal o una aleación, vidrio, cuarzo o un material  
cerámico, que debe ser estable a la temperatura de con  
versión y que de preferencia no reacciona con los pro  
20 ductos depositados del material de partida. Sin embar  
go, puede imaginarse que en ciertas circunstancias po  
dría ser deseable una reacción tal. Compuestos fluidos  
y soluciones pueden ser usados como líquidos, así como  
también formas fundidas de sustancias que funden a --  
temperaturas y presiones técnicamente aceptables.

25 Existen varios modos de elevar los substra  
tos a la temperatura deseada. Por ejemplo, los substra  
tos pueden ser calentados haciendo pasar una corriente  
eléctrica a través de ellos. No obstante, el substrato  
puede ser calentado también por inducción o por capaci  
30 dad o, posiblemente, por medio de radiaciones. Si el -

1            substrato es un tubo puede ser calentado por medio de  
vapor de agua sobrecalentado, aleaciones metálicas lí-  
quidas y semejantes.

5            Es ventajoso efectuar el método según la in-  
vención a presiones que excedan de una atmósfera; en -  
muchos casos se aprecia que cuando la presión es awmen  
tada a la velocidad que tiene lugar la reacción en que  
se deposita un isótopo más ligero, aumenta también.

10           El producto depositado sobre el substrato -  
puede ser, a la temperatura empleada, un sólido o es-  
tar constituido por un líquido. En este último caso de  
ben adoptarse las disposiciones necesarias para rete--  
ner el producto de deposición líquido separado del ma-  
terial de partida si este último está constituido tam-  
15           bién por un líquido.

            Con objeto de conseguir un grado de enrique-  
cimiento que sea suficiente para el uso de un elemento  
o un compuesto enriquecido con un isótopo dado, es ne-  
cesario en general repetir el método varias veces en -  
20           sucesión. En cada etapa de enriquecimiento subsiguien-  
te el material de partida está constituido entonces, -  
al menos parcialmente, por un elemento o compuesto en-  
riquecidos, obtenido en una etapa anterior, cuyo ele--  
mento o compuesto es llevado, si es necesario mediante  
25           un tratamiento químico o físico, a una forma adecuada  
para efectuar el método de enriquecimiento.

            A este respecto el método de la invención --  
ofrece una ventaja importante con relación a procedi--  
mientos irreversibles tales como procedimientos de di-  
30           fusión para separar isótopos, ya que, con mucho, la ma

1 yor parte de la energía disipada se usa para mantener  
diferencias de presión por medios de bombeo. Se apli--  
can consideraciones similares a procedimientos centrí-  
fugos. En el método según la invención es posible, se-  
5 gún los parámetros del proceso, por ejemplo por medio  
de la elección adecuada de los factores que acompañan  
a la reacción, recuperar una parte apreciable de la --  
energía usada en la etapa anterior, cuando se lleva el  
producto obtenido en la etapa de enriquecimiento ante-  
10 rior a una forma que es adecuada para efectuar el méto-  
do de enriquecimiento.

Esta energía puede devolverse a la fuente de  
energía, por ejemplo por medio de vapor de agua sobre-  
calentado.

15 Queda claro que el método según la invención  
puede basarse asimismo en un material que ya haya sido  
enriquecido con un isótopo dado por medio de otro méto-  
do. También es posible usar el método según la inven--  
ción para enriquecer una substancia dada con un isóto-  
20 po pesado, para cuyo fin se separa después un isótopo  
ligero del material de partida con el método según la  
invención. El método puede ser usado, por ejemplo, pa-  
ra enriquecer uranio con un isótopo más ligero de este  
elemento, para enriquecer carbono, lo que puede tener  
25 importancia entre otras cosas para determinar la edad -  
de materiales que contienen carbono determinando la --  
proporción de  $^{14}\text{C}/^{13}\text{C}$ .

Además de los mecanismos descritos que dan -  
por resultado que las moléculas más ligeras lleguen so-  
30 bre el substrato en números relativamente mayores que

1 las moléculas más pesadas de modo que a un grado de --  
conversión que sea igual para ambas clases, el produc-  
to depositado sobre el substrato está enriquecido con  
5 el isótopo más ligero, es posible influir en el grado  
de conversión.

Es sabido que átomos o moléculas que son ex-  
citados, por ejemplo con luz de una longitud de onda -  
adecuada, poseen una mayor velocidad de reacción en --  
ciertas reacciones que moléculas que no están excita--  
10 das.

Por ejemplo, excitando selectivamente  $^{235}\text{U}$  --  
en moléculas que contienen uranio, tales como de  $\text{UF}_6$ ,  
con luz láser de banda estrecha de una longitud de on-  
da adecuada, es posible asegurar que una molécula que  
15 contiene  $^{235}\text{U}$  se convierte más rápidamente que una mo-  
lécula que contiene  $^{238}\text{U}$ . Para evitar que la molécula  
excitada pierda su energía debido a colisiones o reac-  
ciones en la fase gaseosa de modo que no se obtiene el  
fin pretendido, el material de partida es irradiado --  
20 preferiblemente solo cerca del substrato con el objeto  
de reducir el riesgo de que la conversión de las molé-  
culas excitadas en el substrato tenga lugar antes de -  
que una molécula haya perdido su energía debido a coli-  
siones en la fase gaseosa.

25 Se encontró que el grado de deposición puede  
venir influido en un sentido todavía más positivo apli-  
cando un voltaje eléctrico elevado al substrato con re-  
lación al líquido si él no es eléctricamente conductor.  
El efecto es independiente del signo del voltaje aplica-  
30 do.

1 Una ventaja particular del método según la in  
vención es que no necesitan ser usados medios auxilia--  
res para los que la calidad de la propiedad es crítica  
5 como es el caso en el método de difusión gaseosa conoci  
do para separar isótopos por medio de las membranas usa  
das en ellos. Además el método según la invención no re  
quiere dispositivos de calidad técnicamente elevada que  
se aproximen a los límites de capacidad técnica como es  
10 el caso con los métodos de separación por centrifuga--  
ción de gases y con láser. Tampoco son necesarias gran--  
des capacidades de bombeo.

El método según la invención será explicado -  
con mayor detalle con referencia a las realizaciones si  
guientes.

15

#### Realización 1

Un alambre de tántalo que tenía un diámetro -  
de 100  $\mu\text{m}$  y cuyos extremos estaban conectados a conduc--  
tores de corriente, se sumergió en  $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$  fluido, el --  
20 alambre se calentó mediante paso de corriente continua  
a una temperatura de 2.000°C. El líquido se hizo circu--  
lar por medios de bombeo y todos los productos de des--  
composición sólidos fueron separados por medio de un --  
filtro. Una vez el procedimiento hubo tenido lugar du--  
25 rante 1 minuto se puso de manifiesto que había sido de--  
positada una capa de carbón que tenía un espesor de --  
1.000  $\mu\text{m}$ .

Tanto la parte sin convertir del material de  
partida como el producto depositado fueron analizados -  
30 por medio de espectroscopía de masa. Se encontró que el

1 producto depositado estaba enriquecido en  $0,8\% \pm 0,1\%$   
con el isótopo más ligero, habiendo cambiado la propor-  
ción de partida de 98,89/1,11 a 98,09/1,91 para la re-  
lación  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  en el material de partida.

5 Cuando se repitió el procedimiento, para que  
el carbono depositado se convirtiera en primer lugar  
en un compuesto fluido, tuvo lugar un enriquecimiento  
siempre creciente en  $^{12}\text{C}$  en el producto depositado.

#### 10 Realización 2

De un modo similar al del ejemplo 1 el méto-  
do puede ser efectuado con  $\text{UF}_6$  líquido a una temperatu-  
ra que excede de aproximadamente  $65^\circ\text{C}$  bajo presión de  
hidrógeno y, facultativamente, mientras se añade un --  
15 gas tal como argón que no participa en la reacción, es  
cogiéndose la presión total del sistema de tal modo --  
que a la temperatura del  $\text{UF}_6$  líquido no tengan lugar -  
en el líquido fenómenos de ebullición, es decir a apro-  
ximadamente  $70^\circ\text{C}$  y una presión de 2 atmósferas o ma-  
20 yor. Entonces un fluoruro de uranio inferior enriqueci-  
do con un isótopo ligero  $^{235}\text{U}$  respecto a  $^{238}\text{U}$ , en com-  
paración con el producto de partida, se depositará so-  
bre el substrato con dependencia de la temperatura del  
mismo.

25 La temperatura del substrato debe estar com-  
prendida entonces entre  $2.500$  y  $1.200^\circ\text{C}$ . El substrato  
y la pared del recinto de reacción deben estar consti-  
tuidos, por ejemplo, por níquel o por una aleación de  
níquel tal como una aleación de níquel y cobre resis-  
30 tente a la corrosión. El producto de reacción HF será

1 sacado por la corriente de fluido en forma de burbujas.  
El compuesto de flúor inferior con uranio depositado so  
bre el substrato puede ser convertido de nuevo con flúor  
en hexafluoruro de uranio. Si ahora la concentración --  
5 del isótopo requerido en el material de partida ascien-  
de a aproximadamente 0,7%, el proceso debe ser repetido  
aproximadamente 400 veces, como se calcula de un modo -  
sencillo, para una concentración requerida de 3% y un -  
enriquecimiento de 0,8% por etapa.

#### REIVINDICACIONES

10 Los puntos de invención propia y nueva que se  
presentan para que sean objeto de esta solicitud de Pa-  
tente de Invención en España, por VEINTE años, son los  
15 que se recogen en las reivindicaciones siguientes:

18.- Un método de preparación de un elemento  
o un compuesto de un elemento, que con relación al mate-  
rial de partida de la preparación, está enriquecido en  
20 un grado suficiente para usos técnicos con un isótopo -  
de aquel elemento, caracterizado porque parte del mate-  
rial de partida se convierte en un substrato calentado  
al tiempo que se deposita sobre el substrato el elemen-  
to formado con él o un compuesto formado con él, des- -  
25 pués de lo cual el material de partida restante o el de  
pósito obtenido, una vez llevado a una forma adecuada,  
es convertido parcialmente de nuevo de un modo corres-  
pondiente, en el substrato calentado, repitiéndose todo  
esto tantas veces como sea necesario para obtener un --  
30 grado de enriquecimiento suficiente para la aplicación

6

1 técnica.

2ª.- Un método según la reivindicación 1ª, -  
caracterizado porque cuando se lleva a cabo el método,  
5 el material de partida se mezcla en el lugar de reac--  
ción.

3ª.- Un método según la reivindicación 1ª, -  
caracterizado porque el material de partida se hace pa  
sar continuamente a través del recinto de reacción a -  
lo largo del substrato.

10 4ª.- Un método según la reivindicación 1ª, -  
caracterizado porque el material de partida está en --  
forma de un líquido, al menos para aquella parte que -  
comprende el elemento a ser enriquecido.

15 5ª.- Un método según la reivindicación 1ª, -  
caracterizado porque el método se lleva a cabo a una -  
presión que excede de una atmósfera.

6ª.- Un método según la reivindicación 1ª, -  
caracterizado porque el material de partida está cons-  
tituido por  $UF_6$ .

20 7ª.- Un método según la reivindicación 1ª, -  
caracterizado porque el material de partida está cons-  
tituido al menos, por dos componentes reactivos entre  
sí.

25 8ª.- Un método según la reivindicación 1ª, -  
caracterizado porque en el recinto de reacción existe  
un gas que no participa en la conversión y que está --  
constituido en su totalidad o substancialmente en su -  
totalidad por un solo isótopo.

30 9ª.- Un método según la reivindicación 1ª, -  
caracterizado porque el material de partida se irradia



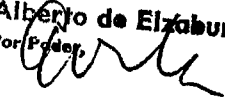
1 en las proximidades del substrato con radiación de una longitud de onda tal que el isótopo ligero es excitado selectivamente.

5 10ª.- Un método de preparación de un elemento o un compuesto de un elemento que con relación al material de partida de la preparación está enriquecido en un grado suficiente para usos técnicos con un isótopo de aquel elemento.

10 Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede y para los fines que se han especificado.

Esta Memoria consta de diecisiete hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, 19. ABR 1977  
P.A.

15 Alberto de Elzaburu  
Por Poder  


20

25

30  
