



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



①① Número de publicación: **2 141 008**

②① Número de solicitud: 009602697

⑤① Int. Cl.⁷: C03C 27/00

①②

PATENTE DE INVENCION

B1

②② Fecha de presentación: **19.12.1996**

④③ Fecha de publicación de la solicitud: **01.03.2000**

Fecha de concesión: **04.09.2000**

④⑤ Fecha de anuncio de la concesión: **16.10.2000**

④⑤ Fecha de publicación del folleto de patente:
16.10.2000

⑦③ Titular/es: **CONSEJO SUPERIOR DE
INVESTIGACIONES CIENTIFICAS
C/ Serrano, 117
28006 Madrid, ES**

⑦② Inventor/es: **Plaza Plaza, José Antonio;
Esteve I Tintó, Jaume y
Lora-Tamayo d'Ocón, Emilio**

⑦④ Agente: **No consta**

⑤④ Título: **Método no destructivo para la determinación de la calidad de la soldadura anódica y mejora de contactos.**

⑤⑦ Resumen:

Método no destructivo para la determinación de la calidad de la soldadura anódica y mejora de contactos.

Con este método, la muestra testeada queda intacta para su posterior uso. Al aumentar la temperatura en la soldadura, los iones producidos de uno de los materiales a soldar, quedan dotados de una movilidad suficiente para que cuando se aplique la diferencia de potencial entre estos materiales, se alejen de la superficie. Al ser atraídos por el electrodo negativo, se crea una capa de vaciado en la superficie que genera una atracción electrostática enorme, entrando en contacto y soldándose. Al aumentar la presión electrostática una mayor área de los dos materiales entra en contacto y la soldadura será mejor. Se realiza un test haciendo cavidades con profundidades muy controladas sobre una de las dos superficies a soldar, preferentemente sobre el metal o semiconductor. Se utiliza un electrodo de estrella que impide la formación de burbujas por atrapamiento de aire.

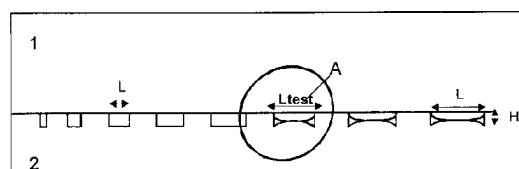


Figura 1

ES 2 141 008 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el artº 37.3.8 LP.

DESCRIPCION

Título

Método no destructivo para la determinación de la calidad de la soldadura anódica y mejora de contactos.

Sector de la técnica

La invención es de aplicación al sector de la técnica correspondiente a tecnologías físicas en particular soldaduras entre materiales.

La invención proporciona un método para la determinación del valor mínimo de la fuerza de soldadura.

Estado de la técnica

Desde que en 1968 se descubriera la soldadura anódica, ésta ha ido aumentando su campo de aplicación en particular en campo de la microelectrónica, [D.I. Pomerantz, U.S. Patent n° 3.397.278 (1968), U.S. Patent n° 3.417.459], ["Field assisted glass metal sealing" G. Wallis and [D.I. Pomerantz, Journal Applied Physics, Vol. 40 n° 10, September 1969, pp. 3946-3949], ["Anodic bonding of imperfect surfaces" T.R. Anthony, Journal Applied Physics 54(5), May 1983, pp. 2419-2428.], ["The mechanism of field assisted silicon-glass bonding", Y. Kanda, K. Matsuda, C. Murayana and J. Sugaya, Sensors and Actuators, A21-A23 (1990), pp. 939-943].

Una gran variedad de dispositivos microelectromecánicos se basan en esta tecnología, ["Precisión accelerometers with ug resolution", F. Rudolf. A. Jornod, J. Bergqvist and H. Leuthold, Sensors and Actuators, A-21A23 (1990) pp. 297-302.], ["A bulk silicon dissolved wafer for microelectromechanical devices", Y.B. Gianchandani and K. Najaki, Journal of Microelectromechanical systems vol. 1 n° 2, 1992, pp. 77-85].

Como métodos de caracterización de la soldadura anódica se tiene el test de tracción en el cual se estira de los dos materiales soldados anódicamente hasta que se rompe la soldadura. Otro test se basa en reventar mediante presión una cavidad que previamente ha sido soldada anódicamente, ["Low Temperature silicon-to-silicon anodic bonding with intermediate low melting point glass", E. Esashi, A. Nakano, S. Shoji and H. Heibiguchi, Sensors and Actuators, A21-A23 (1990), pp. 931-934], ["Silicon to thin film anodic bonding", A. Hannerborg, M. Nese, H. Jackobsen and R. Høla", MMEt92, Third European Workshop on Micromachining, Micromechanics and Microsystems, June 12, (1992), Leuven Belgium], ["Effective bond strength of pyrex thin film TE bonds for microstructure application". T.G. Stratton, D.W. Burns and D. Speldrich, Proceedings IEEE 1992, pp. 82-85, ["Anodic bonding of silicon coated with aluminium, silicon oxide, polysilicon or silicon nitride", M. Nese and A. Hanneborg, Sensors and Actuators A, 37-38 (1993) pp. 61-67.

Un test similar al anterior consiste en romper las muestras soldadas pero mediante una fuerza en el plano de la soldadura, de tal manera que se controle mejor el punto a partir del cual se empieza a romper la muestra, "Strength evaluation of field-assisted bond seals between silicon and Pyrex glass", S.Johansson, K. Gustafsson and J. Schweits, Sensors and Materials, 3 (1988) pp.

143-151.

Un método utilizado para la caracterización de soldaduras entre obleas consiste en introducir una lámina muy fina entre las dos superficies soldadas, de tal manera que las mismas se van separando. Midiendo la distancia a la que se desuel dan y conociendo el grosor de la lámina y de los parámetros mecánicos de los materiales, es posible calcular la energía superficial de la soldadura. Esta técnica se utiliza para determinar la calidad de la soldadura en el caso de soldaduras directas entre silicio y silicio, ["Bonding of silicon wafers for silicon-on-insulator", W.P. Maszara, G. Goetz, A. Caviglia and J.B. Mckitteick, Journal of Applied Physics, 64 (120), 15 November 1988 pp. 4943-4950.

Para la realización de la soldadura anódica normalmente se utiliza un electrodo puntual sobre el vidrio, ya que así la soldadura empieza, en la mayoría de los casos, justo debajo de ese electrodo y el frente de soldadura se va extendiendo con forma aproximadamente circular alrededor de él. Si la zona a soldar es grande puede pasar que la caída de potencial en el vidrio desde el electrodo sobre el vidrio hasta zonas alejadas del mismo, sea tan grande que impida o dificulte la soldadura. Por otra parte, si se utiliza un electrodo sobre el silicio con una gran área en contacto con este se tienen problemas ya que la soldadura empieza en varios puntos a la vez, existiendo varios frentes de soldadura. Estos frentes de soldadura pueden converger en varios puntos atrapando aire y formando burbujas en la superficie a soldar, que hacen bajar la calidad de la soldadura anódica.

Los test que se hacen hasta el momento para determinar la calidad de las soldaduras anódicas, son test destructivos, es decir, es necesario romper las muestras que se han soldado para determinar si la soldadura ha sido de calidad. Por otra parte, los citados test no dan información sobre la calidad de la soldadura anódica ya que normalmente se rompe el material con menor tensión de ruptura sin separarse los dos materiales por la superficie.

Descripción de la invención

En líneas generales, el método no destructivo para la determinación de la calidad de la soldadura anódica y mejora de contactos, que constituye el objeto de la invención, consiste en efectuar un test para determinar la calidad de las soldaduras anódicas, determinado el nivel de presión electrostática que se ha desarrollado durante el proceso de soldadura. Por tanto se determina la calidad de la misma ya que cuanto mayor sea esta presión, una mayor área entrará en contacto y en consecuencia un área mayor se soldará. Como principal ventaja se tiene que se trata de un test no destructivo, con lo cual la muestra deseada queda intacta para su posterior uso.

Como consecuencia del test anterior, se ha diseñado un electrodo con forma de estrella con el fin de facilitar la soldadura evitando la formación de burbujas por atrapamiento de aire en la superficie soldada que disminuyen la calidad de la soldadura.

Aunque el proceso de soldadura anódica no esta completamente determinado, se cree que se trata de un proceso electroquímico, electrostático

y térmico. La soldadura anódica se da entre metales o semiconductores y aislantes como vidrio y ciertas cerámicas, con la particularidad de que estos últimos deben ser conductores iónicos.

Aparte de las condiciones de limpieza y planitud de los materiales a soldar, los dos parámetros que juegan un papel importante en el proceso de soldadura son la temperatura (200-400°C) y el voltaje (10-1.000 voltios). Para explicar mínimamente el proceso, se parte del caso particular de la soldadura anódica entre pyrex #7740 y silicio. Con el incremento de temperatura se dota a los iones del pyrex #7740 de una movilidad suficiente como para que cuando se aplica la diferencia potencial entre éste y el silicio, los iones Na^+ se alejen de la superficie silicio-vidrio. Al ser atraídos, estos iones positivos, por el electrodo negativo sobre el vidrio, se crea una capa de vaciado en la superficie entre el pyrex #7740 y el silicio. Esta etapa de vaciado genera una atracción electrostática enorme que hace que las dos superficies entren en contacto y se suelden.

De la explicación anterior es fácil deducir que cuanto mayor sea la presión electrostática, una mayor área de los dos materiales entrará en contacto y por tanto la soldadura será mejor.

Con el test que se presenta se determina, de forma muy simple, el nivel de atracción electrostática que se desarrolla durante el proceso de soldadura anódica. Para realizar el test sólo es necesario hacer cavidades con profundidades muy controladas sobre una de dos superficies a soldar, preferentemente sobre el metal o semiconductor. Para realizar las cavidades se ataca el silicio anisotrópicamente por plasma o por cualquier otro método, de tal manera que se hacen cavidades del orden de 1.000 a 4.000 Å de profundidad. Sólo se atacan las zonas que definen las cavidades. De esta manera al ponerse en contacto el metal o semiconductor con el vidrio, se tiene un perfecto control sobre la distancia de separación entre las dos superficies a soldar en las cavidades.

Las dos superficies que se van a soldar en las cavidades se ven atraídas por una presión electrostática que viene dada por la fórmula de la atracción entre placas cargadas planoparalelas.

Las dimensiones laterales de estas cavidades determinan la resistencia que se genera a que las dos superficies a soldar entren en contacto. De esta manera cuanto menores sean las dimensiones laterales, más costará deformar las cavidades para que las superficies a soldar entren en contacto, por tanto se necesitará una mayor presión electrostática para soldarlas.

Por lo tanto, si se definen una serie de cavidades con diferentes dimensiones laterales, cuanto menor sea la cavidad que presenta sus superficies soldadas, mayor habrá sido la presión electrostática que se ha aplicado para soldarlas. La fuerza de la soldadura será como mínimo igual que la presión que se ha necesitado para que soldara la cavidad con dimensión lateral, L_{test} , más pequeña. Con lo cual este test nos dará también información sobre un límite inferior de la fuerza de la soldadura anódica.

De esta manera, según sean las necesidades de cada usuario, se pueden definir cavidades de las dimensiones necesarias para que cuando éstas se

suelden den fe de que la soldadura tiene la calidad deseada.

Estas estructuras también sirven para caracterizar los procesos de soldaduras. Variando los parámetros que se consideren importantes para el proceso, se puede observar el efecto sobre las cavidades de test. Y de esta manera elegir los parámetros que más convenga.

Con estas cavidades se puede saber la calidad de la soldadura anódica sin necesidad de romper la muestra, condición necesaria en los test existentes. Además su caracterización es muy sencilla ya que sólo es necesario mirar ópticamente la cavidad, con dimensiones laterales más pequeñas (L_{test}), que ha soldado.

Para facilitar la comprensión de las características de la invención y formando parte integrante de esta memoria descriptiva, se acompañan unas hojas de planos en cuyas figuras, con carácter ilustrativo y no limitativo se ha representado lo siguiente:

Descripción de los dibujos

Figura 1.- Es un esquema de una sección de las cavidades de test.

(1) vidrio Pyrex #7740

(2) silicio

L = longitud significativa de una cavidad cualquiera de las realizadas previamente al test.

H = profundidad de una cavidad cualquiera de las realizadas previamente al test.

L_{test} = longitud significativa de la cavidad más pequeña para la cual se ha producido la soldadura en un test determinado.

Figura 2.- Es una vista esquemática, a mayor escala, del detalle "A" destacado en un círculo, de la figura 1

(1) vidrio Pyrex #7740

(2) silicio

(L_b) Longitud sin soldar

Figura 3.- Es una vista esquemática de la máscara que se utiliza para atacar el silicio.

(3) cavidades en forma de zanja.

(4) Cavidades de formas variadas

(5) Cavidades circulares

Descripción de la forma de realización preferida

Haciendo referencia a las simbología adoptada en las figuras, podemos ver cómo el método no destructivo para la determinación de la calidad de la soldadura anódica y mejora de contactos, que la invención propone, aparte de la posibilidad de saber si la soldadura anódica que se ha realizado es de suficiente calidad como para dar el producto por bueno, permite mediante el test, determinar que condiciones favorecen al proceso de soldadura y en que modo.

Como ejemplo de realización nos centraremos en el caso particular de la soldadura anódica entre silicio y vidrio Pyrex #7740 (o equivalentes),

aplicada en microelectrónica para la fabricación de dispositivos electromecánicos. En este campo de aplicación, la soldadura anódica tiene un papel importante ya que no sólo se utiliza para encapsular los dispositivos, aislándolos térmicamente del entorno mediante el vidrio, sino que además puede formar parte de la estructura del chip.

En el ejemplo en cuestión, se trata de ver como varía la calidad de la soldadura anódica en función de algunos parámetros importantes para el proceso. Para ello, se realizaron unas pequeñas cavidades en el silicio mediante ataque seco con RIE (Reactive Ion Etching). El ataque fue anisotrópico con el fin de que las paredes de las cavidades fueran verticales. Había dos tipos de estas cavidades: las primeras eran zanjas, en las cuales una de las dimensiones laterales era mucho más grande que la otra, de tal manera que sólo la dimensión lateral pequeña fuera importante de cara a dar rigidez a la cavidad. Estas zanjas tenían como lado grande $12.000 \mu\text{m}$ y como lado corto 20, 40, 80, 100, 120, 160, 200, 250, 300, 400, 500, 600 y $770 \mu\text{m}$. La relación entre lado largo y lado corto hace que el largo se pueda tomar casi como infinito, con lo cual nos interesa el lado corto, L. También se tenían cavidades de forma circular en las cuales debido a su simetría circular, la dimensión significativa es el radio del círculo, L. Todas estas cavidades de test más otras con diferentes formas, se agrupan en un chip de $1,2 \times 1,8 \text{ cm}^2$. Y varios de estos chips se distribuyen por toda la oblea. De esta manera, al soldar una oblea de vidrio a una de silicio se tiene un mapa de cavidades soldadas de diferentes tamaños sobre toda la oblea.

En la figura 1 se puede apreciar cómo hay cavidades con diferentes dimensiones laterales, tal como la cota L de está figura 1. Cuando se suelda, la presión electrostática sólo es capaz de poner en íntimo contacto las superficies de aquellas cavidades con dimensiones laterales (L), mayores, y por consiguiente las cavidades con dimensiones laterales menores (las que se encuentran a la izquierda de la figura 1) no se sueldan. La referencia H indica la profundidad de la cavidad.

En el detalle "A" de la figura 1, tal y como se muestra en la figura 2, se puede apreciar como entre el borde de la cavidad y el punto en que las superficies del metal 2 y el vidrio 1 entran en contacto, hay una distancia marcada con Lb que dependen de la presión electrostática y por tanto que nos da información de la presión electrostática que se ha aplicado y también da un límite inferior de la fuerza de soldadura.

En la figura 3 está representada esquemáticamente la máscara que se utiliza para atacar el silicio (material referenciado con 2 con la figura 2). De está manera, se definen cavidades de diferentes formas y dimensiones, como por ejemplo, cavidades en forma de zanja 3, de formas variadas 4 ó de forma circular 5.

Un estudio realizado para validar el test de soldadura, ha consistido en analizar el efecto de la profundidad de las cavidades de test, H. Para ello se hicieron cavidades de profundidades 805, 1792, 2759 y 3728 \AA en cuatro obleas de silicio diferentes, una por profundidad diferente. Estas

obleas fueron soldadas respectivamente a cuatro obleas de vidrio Hoya SD-2, un vidrio con características similares a las del vidrio Pyrex #7740.

En la tabla I se muestran a continuación los valores Ltest correspondientes a la cavidad con una dimensión L menor que ha soldado en cada caso. En esta tabla se puede observar cómo cuanto mayor es la profundidad de la cavidad, H, la cavidad que se suelda tiene una dimensión lateral corta, L, mayor, es decir una menor rigidez. Como se explicó al principio, el test nos da información sobre la presión electrostática aplicada. Por ello si la distancia entre superficies del silicio 2 y el vidrio 1 es mayor, la presión electrostática disminuye y por tanto no es capaz de soldar cavidades tan pequeñas como cuando la profundidad de la cavidad H es menor.

5
10
15
20
TABLA I
Efecto de H sobre las cavidades de test

			Circular	Rectangular
H[Å]	Temp[C°]	Vol[V]	Ltest[μm]	Ltest[μm]
805	400	1000	60	40
1792	400	1000	160	100
2759	400	1000	360	200
3728	400	1000	520	300

30
35
Un vez estudiadas las cavidades de test del estudio anterior para determinar el nivel de presión electrostática que se tiene durante el proceso de soldadura, se dan unos ejemplos de cómo afecta el voltaje aplicado y la temperatura a la cual se realiza el proceso de soldadura. Para ver el efecto del voltaje se hicieron cavidades de unos 2000 \AA sobre cuatro obleas de silicio que se soldaron a cuatro voltajes diferentes respectivamente.

40
45
TABLA II
Efecto de voltaje sobre las cavidades de test

			Circular	Rectangular
H[Å]	Temp[C°]	Vol[V]	Ltest[μm]	Ltest[μm]
1792	400	1000	160	100
1725	400	800	200	100
1785	400	600	200	100
1689	400	400	200	100

50
55
60
En la tabla II se tienen los valores Ltest correspondientes a la cavidad con dimensión L menor soldadas en cada oblea para las cuatro configuraciones diferentes de voltajes aplicados. Se puede apreciar que la longitud L mínima (Ltest) no cambia considerablemente al cambiar el voltaje como sería de esperar. Sin embargo, un hecho que no se refleja en la tabla es que al disminuir el voltaje sólo las cavidades que están justo debajo de los contactos se sueldan bien, y a voltajes altos cavidades de test aunque se encuentran alejadas de los contactos, también se sueldan bien.

65
Por último, se estudió el efecto de la temperatura sobre el proceso de soldadura anódica. Para ello se soldaron dos obleas una a 400° y otra a 300° C . Los resultados se encuentran en la tabla III que se indica a continuación.

TABLA III
Efecto de la temperatura sobre las cavidades de test

			Circular	Rectangular
H[Å]	Temp[C°]	Vol[V]	Ltest[μm]	Ltest[μm]
1792	400	1000	160	100
1772	300	1000	240	160

El efecto de la reducción de temperatura es importante como se aprecia en esta tabla III; ya que afecta a la movilidad de los iones, con lo cual, la capa de vaciado es menor y por tanto la presión electrostática disminuye.

Se han realizado experiencias con obleas de silicio y vidrio Hoya de 4" con diferentes tipos de contactos. Si se utilizan contactos puntuales, en el centro de las obleas, se tienen problemas para que suelden las zonas alejadas. Si se utilizan contactos con una gran área, por ejemplo, un círculo de 3", la oblea se suelda bien pero aparecen una gran cantidad de burbujas en la superficie. Con la aplicación de un contacto en forma de estrella se consiguió soldar mejor las zonas del borde de las obleas, obteniéndose una mayor homogeneidad en la soldadura y además se redujo enormemente la aparición de burbujas.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Método no destructivo para la determinación de la calidad de la soldadura anódica y mejora de contactos, **caracterizado** porque sobre una de las superficies a soldar, preferentemente el metal o semiconductor, se realizan previamente cavidades de profundidad controlada, atacando el silicio por plasma o por cualquier otro método, realizándose cavidades del orden de 1000 a 4000 Å de profundidad; después de realizar la soldadura anódica se observan las cavidades de dimensión mínima que han soldado y en función de dicha dimensión se analiza la calidad de la soldadura.

2. Método no destructivo para la determinación de la calidad de la soldadura anódica y mejora de contactos, según reivindicación 1, **caracterizado** porque la soldadura se lleva a cabo empleando un electrodo con forma de estrella, con el fin de impedir la formación de burbujas

por atrapamiento de aire en la superficie soldada, de manera que cuanto mayor sea la presión electrostática una mayor área de los materiales entra en contacto y la soldadura será mejor.

3. Método no destructivo para la determinación de la calidad de la soldadura anódica y mejora de contactos, según reivindicación 1, **caracterizado** porque las dimensiones laterales de las estructuras a unir, determinan la resistencia que se genera a que las dos superficies a soldar entren en contacto, pudiéndose definir una serie de cavidades con diferentes dimensiones laterales, de manera que cuanto menor sea la cavidad que presenta sus superficies soldadas, mayor sea la presión electrostática que se ha aplicado para soldarlas, y de esta manera se pueden definir cavidades de las dimensiones necesarias para que cuando éstas se suelden la soldadura tenga la calidad deseada, sin romper la muestra.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

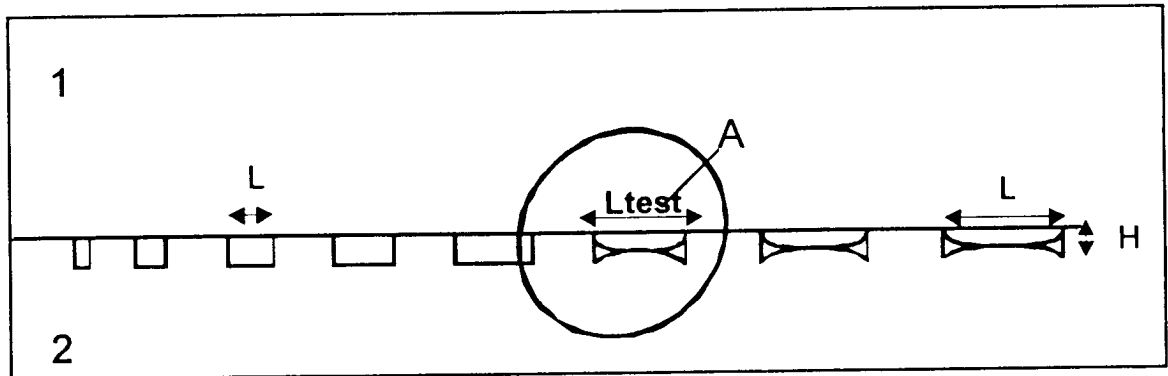


Figura 1

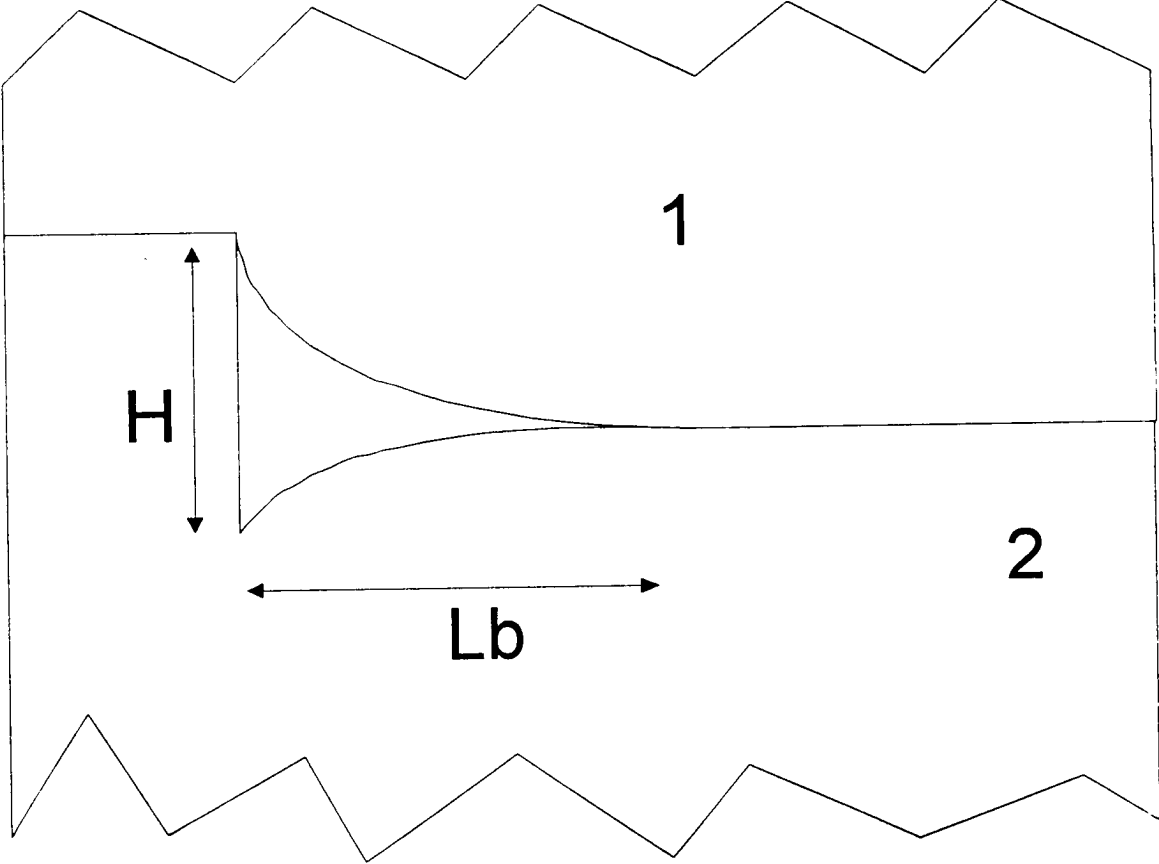


Figura 2

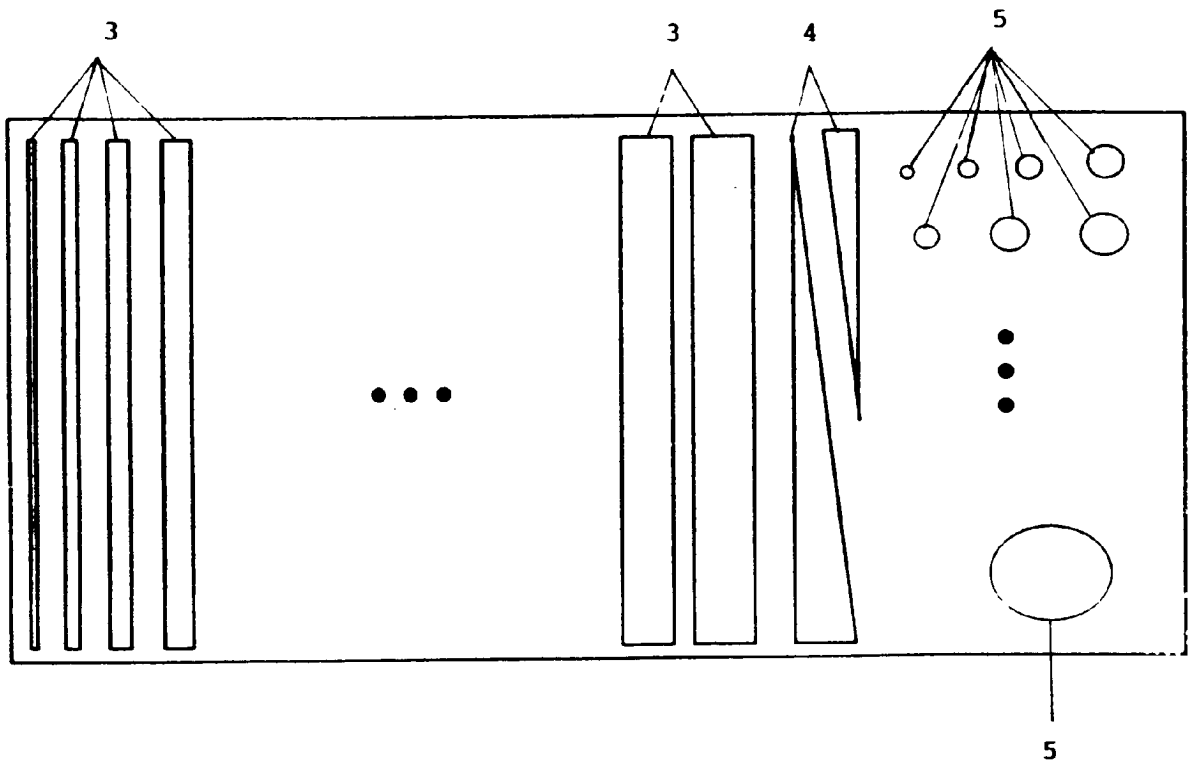


Figura 3



INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤ Int. Cl.⁶: C03C 27/00

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	BASE DE DATOS PAJ en EPOQUE, 25.09.1992, Tokio: Japan Patent Office & JP 04-164841 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 10.06.1992, resumen.	1
A	BASE DE DATOS PAJ en EPOQUE, 17.07.1991, Tokio: Japan Patent Office & JP 03-096840 A (TOYODA MACH WORKS LTD) 22.04.1991	
A	BASE DE DATOS PAJ en EPOQUE, 22.03.1991, Tokio: Japan Patent Office & JP 03-009250 A (NIPPONDENSO CO LTD) 17.01.1991	

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones n.º:

Fecha de realización del informe

20.01.2000

Examinador

A. Figuera González

Página

1/1