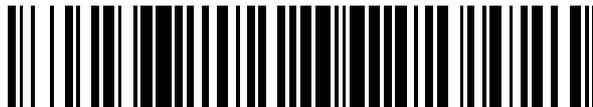


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 632 605**

51 Int. Cl.:

<b>B23K 35/26</b>	(2006.01)	<b>B23K 35/28</b>	(2006.01)
<b>B23K 1/00</b>	(2006.01)	<b>B23K 35/02</b>	(2006.01)
<b>B23K 35/22</b>	(2006.01)		
<b>C22C 13/02</b>	(2006.01)		
<b>C22C 30/02</b>	(2006.01)		
<b>C22C 30/04</b>	(2006.01)		
<b>C22C 30/06</b>	(2006.01)		
<b>H05K 3/34</b>	(2006.01)		
<b>B23K 101/40</b>	(2006.01)		
<b>C22C 12/00</b>	(2006.01)		

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.07.2013 PCT/JP2013/070473**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **13.02.2014 WO14024715**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.07.2013 E 13828210 (8)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.04.2017 EP 2883649**

54 Título: **Aleación de soldadura sin plomo de alta temperatura**

30 Prioridad:

**10.08.2012 JP 2012178846**

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

**14.09.2017**

73 Titular/es:

**SENJU METAL INDUSTRY CO., LTD (100.0%)  
23 Senju-Hashido-cho Adachi-ku  
Tokyo 120-8555, JP**

72 Inventor/es:

**FUJIMAKI, REI y  
UESHIMA, MINORU**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

ES 2 632 605 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).

**DESCRIPCION**

Aleación de soldadura sin plomo de alta temperatura

**5 Campo técnico**

La presente invención se refiere a una aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura a base de Sn-Sb-Ag-Cu.

**10 Estado de la técnica**

En los últimos años, a medida que se requieren mayores niveles de propiedades de los elementos semiconductores, su entorno de uso también se hace cada vez más severo. Por lo tanto, el Si (denominado en lo sucesivo como un elemento semiconductor de Si) que ha sido utilizado convencionalmente como un material del elemento semiconductor está siendo reemplazado por SiC, GaAs, GaN y similares. En lo sucesivo, se hace referencia a ellos como un elemento semiconductor de SiC, un elemento semiconductor de GaAs y un elemento semiconductor de GaN, respectivamente. Cada uno de los elementos semiconductores de SiC, GaAs y GaN tiene excelentes propiedades que incluyen una excelente resistencia a la presión, un aumento alcanzado en la temperatura de funcionamiento y un intervalo de banda ampliado, y se aplica a transistores de potencia y dispositivos ópticos tales como los LED. Estos elementos semiconductores se denominan semiconductores de siguiente generación y están obligados a funcionar a altas temperaturas y, por lo tanto, las uniones soldadas utilizadas para ello también pueden alcanzar una temperatura de aproximadamente 250 a 280°C. Por consiguiente, se requiere de una soldadura de alta temperatura para uso en tales semiconductores de próxima generación.

Además, en general, un elemento semiconductor puede conectarse a un disipador de calor tal como un núcleo metálico o una lámina cerámica para la disipación de calor y también se utiliza una soldadura de alta temperatura para tales fines de conexión.

Algunas soldaduras de alta temperatura ya son conocidas y se conoce como tal una aleación de soldadura Au-20Sn que es una aleación de composición eutéctica de Au-Sn que es una aleación de soldadura sin plomo convencional de alta temperatura. La aleación de soldadura de Au-20Sn tiene una temperatura eutéctica de 280°C y puede por tanto utilizarse a 250°C o más, pero inferior a 280°C. Sin embargo, es un material muy caro.

Ejemplos de aleaciones de soldadura sin plomo de alta temperatura y bajo coste incluyen una aleación de soldadura basada en Sn-Sb, una aleación de soldadura basada en Bi, una aleación de soldadura basada en Zn y una aleación sinterizada que contiene Ag. De éstas, una aleación de soldadura basada en Sn-Sb es más excelente que una aleación de soldadura basada en Bi, una aleación de soldadura basada en Zn y una aleación sinterizada que contiene Ag en términos de conductividad térmica, resistencia a la corrosión y resistencia de la unión.

Cada una de las patentes 1 a 3 divulga una aleación de soldadura de Sn-Sb-Ag-Cu obtenida añadiendo Ag y Cu a una aleación de soldadura de Sn-Sb, como una aleación de soldadura a alta temperatura que también se puede usar en un intervalo de temperatura de 250 a 280°C.

En otras palabras, cada una de las patentes 1 a 3 divulga una aleación de soldadura de Sn-Sb-Ag-Cu que tiene una temperatura del solidus superior a 250°C con el fin de mejorar la resistencia al calor.

Además, la patente 4 propone una aleación de soldadura obtenida añadiendo Fe a una aleación de soldadura de Sn-Sb-Ag-Cu para mejorar las propiedades del ciclo térmico.

**50 Listado de citas****Literatura de Patentes**

Literatura de Patente 1: JP 2005-340267 A

Literatura de Patente 2: JP 2007-152385 A

Literatura de Patente 3: JP 2005-340268 A

Literatura de Patente 4: JP 2005-177842 A

**Sumario de la invención****60 Problemas técnicos**

En general, se supone que la velocidad de enfriamiento en el momento de la soldadura es de aproximadamente 0,8 a 50°C/s. De acuerdo con la tendencia técnica reciente de la soldadura, se puede adoptar una velocidad de enfriamiento considerablemente baja de, por ejemplo, 1°C/s en soldadura de reflujo común. Esta condición se puede decir que es considerablemente severa como la condición de soldadura. En la memoria descriptiva, esto se

denomina colectivamente como "enfriamiento lento" por conveniencia.

Sin embargo, en algunas de las aleaciones de soldadura divulgadas en las patentes 1 a 3, se forma una fase de bajo punto de fusión que funde a 210 hasta 250°C mediante enfriamiento lento en una cantidad de más del 2 %. En estas aleaciones de soldadura, la fase de bajo punto de fusión funde a la temperatura de funcionamiento de un elemento semiconductor que varía de 250 a 280°C, por lo que una unión de soldadura tiene una porción de baja resistencia en la que coexisten sólido y líquido. Si se aplica adicionalmente una carga a la porción de baja resistencia, la resistencia a la tracción se reduce considerablemente. Por lo tanto, una unión de soldadura obtenida mediante soldadura utilizando una aleación de soldadura que tiene una gran cantidad de una fase de bajo punto de fusión seleccionada de entre las aleaciones de soldadura divulgadas en las patentes 1 a 3 es inferior en la resistencia de la unión porque la fase de bajo punto de fusión se funde a 250°C o más.

En general, en un dispositivo de soldadura, la velocidad de enfriamiento de la soldadura fundida está limitada dentro de un cierto intervalo en vista de la especificación del dispositivo y no es un factor operativo que se controla cada vez que se realiza la soldadura. Además, el enfriamiento excesivamente rápido puede aplicar un esfuerzo térmico innecesario a un dispositivo electrónico sometido a soldadura. Por lo tanto, la siguiente descripción se basa en la premisa de enfriamiento lento.

A la temperatura de funcionamiento de un elemento semiconductor que varía de 250 a 280°C, se produce deformación en la unión de la soldadura debido a la deformación térmica entre un sustrato y un componente semiconductor causado por generación de calor desde el propio elemento semiconductor.

En general, se sabe que, en la fractura de un material metálico, las dislocaciones se producen en las proximidades de los límites de los granos cristalinos debido a la deformación aplicada para causar la fractura del límite del grano. Cuando la tensión se concentra en los bordes del grano debido a la deformación aplicada y el esfuerzo resultante de la misma, se produce una fractura del borde del grano. En contraste, en un caso en que los límites de grano cristalino están finamente dispersos, la tensión aplicada se reduce porque está dispersa en los límites de grano adyacentes. En otras palabras, cuando se aplica una tensión, una unión de soldadura obtenida mediante soldadura por enfriamiento lento usando una aleación de soldadura que puede formar granos de cristal gruesos es más probable que cause fractura en los límites de grano de compuestos intermetálicos de la aleación de soldadura. Esto se refleja en la resistencia a la tracción y la elongación que son propiedades mecánicas de la aleación de soldadura. Por lo tanto, una unión de soldadura obtenida por soldadura utilizando una aleación de soldadura que tiene una estructura gruesa es inferior en la resistencia de la unión y la elongación en comparación con una unión de soldadura obtenida por soldadura usando una aleación de soldadura que tiene una estructura fina.

Las aleaciones de soldadura de Sn-Sb-Ag-Cu divulgadas en las Patentes 1 a 3 son por lo tanto frágiles e inferiores en la elongación y por lo tanto las uniones de soldadura obtenidas por soldadura utilizando estas aleaciones de soldadura son más susceptibles de quebrarse y romperse durante el uso real como resultado del enfriamiento lento.

La Patente 4 examina una aleación de soldadura de Sn-Sb-P-Ag-Cu-Fe en el Ejemplo 31. Sin embargo, esta aleación de soldadura contiene Fe en una cantidad considerablemente mayor de 1 % o más. Con un alto contenido de Fe, el enfriamiento lento hará que los compuestos intermetálicos que contienen Fe sean más gruesos en la aleación de soldadura. Por lo tanto, esta aleación de soldadura se considera que es baja en resistencia a la tracción y alargamiento debido a que es más probable que se produzcan fracturas en los límites de grano de compuestos intermetálicos cuando se aplica una tensión.

Además, como resultado de un enfriamiento lento, se considera que la aleación de soldadura descrita en el Ejemplo 31 de la Patente 4 tiene una proporción en fase sólida a 250°C de hasta 95 % y se convierte en un estado semifundido. Por lo tanto, se estima que la resistencia de unión de la unión de soldadura no puede mantenerse en un entorno de uso de 250 a 280°C. Esto se debe a las siguientes razones: la proporción en fase sólida de Sn-40Sb a 250°C es de aproximadamente 90 %; la proporción en fase sólida de Sn-40Sb-7Cu a 250°C es del 95 %; y estas aleaciones de soldadura tienen una proporción en fase sólida de menos del 98 % y una resistencia a la tracción considerablemente baja a 250°C. De acuerdo con lo anterior, dado que la proporción en fase sólida se incrementa añadiendo 7 % en peso de Cu a Sn-40Sb, se considera que Cu tiene un efecto de aumento de la proporción en fase sólida. La composición de la aleación de la aleación de soldadura descrita en el Ejemplo 31 de la Patentes 4 es Sn-40Sb-0,1P-1Ag-1Cu-1Fe. El contenido total de los elementos distintos de Sn y Sb es sólo del 3,1 % en peso. Incluso si Ag, Fe y P tienen el mismo efecto que Cu al aumentar la proporción en fase sólida, el contenido total de los elementos añadidos es menor al 7 % en peso. Por lo tanto, la aleación de soldadura descrita en el Ejemplo 31 de la Patente 4 se considera que es inferior en resistencia a la tracción a 250°C debido a su menor proporción en fase sólida que Sn-40Sb-7Cu.

Un objetivo de la presente invención es proporcionar una aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura que tenga una excelente resistencia a la tracción y alargamiento incluso bajo un entorno de alta temperatura de 250°C.

#### **Solución a los problemas**

En primer lugar, los inventores de la invención han estudiado la relación entre la proporción en fase líquida y la

estructura en aleaciones de soldadura y, como resultado, han hallado que una aleación de soldadura que tiene una proporción en fase líquida de hasta 2 % exhibe una resistencia a la tracción consistentemente alta, mientras que una aleación de soldadura que tiene una estructura gruesa presenta un bajo valor de alargamiento a 250°C incluso si la proporción en fase líquida es de hasta 2 %. A continuación, los inventores de la invención han realizado un estudio intensivo sobre el refinado de una estructura de aleación de soldadura de Sn-Sb-Ag-Cu basada en la suposición de que la proporción en fase líquida es de hasta 2 %, con el fin de mejorar la resistencia a la tracción y la elongación de la misma aleación de soldadura a 250°C, que son indicadores de la resistencia de la unión y la confiabilidad de una unión de soldadura. Como resultado, los inventores de la invención han hallado inesperadamente que la estructura de la aleación de soldadura puede refinarse añadiendo al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en Al, Ti y Fe en una pequeña cantidad a una aleación de soldadura de Sn-Sb-Ag-Cu. Los inventores de la invención han hallado además que Cu<sub>3</sub>Sn, Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>, Ag<sub>3</sub>Sn y similares se dispersan finamente en una fase de SbSn mediante la adición de Al, Ti y Fe, logrando así una alta resistencia a la tracción y mejorando particularmente la elongación de la aleación de soldadura, y se ha completado la presente invención.

15 La presente invención es como sigue:

(1) Una aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura que tiene una composición de la aleación que consiste en: 35 a 40 % en peso de Sb, 8 a 25 % en peso de Ag, 5 a 10 % en peso de Cu así como al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en 0,003 a 1,0 % en peso de Al, 0,01 a 0,2 % en peso de Fe y 0,005 a 0,4 % en peso de Ti, opcionalmente al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en P, Ge y Ga en una cantidad total de 0,002 a 0,1 % en peso, opcionalmente al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en Ni, Co y Mn en una cantidad total de 0,01 a 0,5 % en peso, opcionalmente al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en Zn y Bi en una cantidad total de 0,005 a 0,5 % en peso, opcionalmente al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en Au, Ce, In, Mo, Nb, Pd, Pt, V, Ca, Mg y Zr en una cantidad total de 0,0005 a 1 % en peso y un resto de Sn e impurezas inevitables.

(2) Una pasta de soldadura que comprende la aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con (1) anterior.

(3) Una preforma de soldadura que comprende la aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con (1) anterior.

(4) Una unión de soldadura formada usando la aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con (1) anterior.

#### Breve descripción de los dibujos

35 **[FIG. 1].** La figura 1 es una vista esquemática que muestra un ejemplo de empaquetamiento de un elemento semiconductor usando una aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con la invención.

**[FIG. 2].** La figura 2 es un gráfico que muestra la curva de DSC de una aleación de soldadura en el Ejemplo Comparativo 1.

40 **[FIG. 3].** La figura 3 es un gráfico que muestra la curva de DSC de una aleación de soldadura en el Ejemplo 14.

**[FIG. 4].** La figura 4 es un gráfico que muestra la curva de DSC de la aleación de soldadura en el Ejemplo Comparativo 1 que indica procedimientos para calcular la proporción en fase líquida y la proporción en fase sólida.

45 **[FIG. 5].** La figura 5 es una vista en sección transversal de una muestra utilizada en un ensayo de tracción.

**[FIG. 6]** Las figuras 6(a) a 6(d) son cada una de ellas una micrografía de una superficie de fractura de una muestra tomada por un microscopio óptico; la figura 6(a) es una micrografía en el Ejemplo 7, la figura 6(b) una micrografía en el Ejemplo 10, la figura 6(c) una micrografía en el Ejemplo 14 y la figura 6(d) una micrografía en el Ejemplo Comparativo 3.

**[FIG. 7]** Las figuras 7(a) a 7(d) son cada de ellas una micrografía de una superficie de fractura de una muestra tomada por un microscopio electrónico; la figura 7(a) es una micrografía en el Ejemplo 7, la figura 7(b) una micrografía en el Ejemplo 10, la figura 7(c) una micrografía en el Ejemplo 14 y la figura 7(d) una micrografía en el Ejemplo Comparativo 3.

**[FIG. 8]** Las figuras 8(a) a 8(c) son, cada una de ellas, una micrografía de una superficie en sección transversal de una interfaz de unión entre una aleación de soldadura sin plomo de alta temperatura de la invención y un disipador de calor de Cu tal como como la tomada con un microscopio electrónico; la figura 8(a) es una micrografía en el Ejemplo 38, la figura 8(b) una micrografía en el Ejemplo 39, y la figura 8(c) una micrografía en el Ejemplo 40.

#### Descripción de las formas de realización

La presente invención se describirá a continuación con más detalle. A menos que se especifique lo contrario, "porcentaje ( %)" con respecto a la composición de aleación de soldadura utilizada en la especificación es "porcentaje en peso".

## ES 2 632 605 T3

Una aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con la invención tiene la composición de aleación como se describe a continuación.

Sb: 35 a 40 %

- 5 El contenido de Sb está en un intervalo de 35 a 40 %. Sb promueve la generación de una fase de SbSn que tiene un alto punto de fusión. Sb suprime la generación de una fase de bajo punto de fusión para aumentar la temperatura del solidus. Además, Sb tiende a reducir la tensión superficial de la aleación de soldadura y, por lo tanto, mejora la humectabilidad. Con un contenido de Sb inferior al 35 %, el efecto de la supresión de la generación de una fase de bajo punto de fusión no puede exhibirse y la humectabilidad también se deteriora. Con un contenido de Sb superior al 40 %, la temperatura del liquidus aumenta considerablemente para deteriorar la soldabilidad. El contenido de Sb está preferiblemente en un intervalo de 36 a 40 % y más preferiblemente de 37 a 40 %.

Ag: 8 a 25 %

- 15 El contenido de Ag está en un intervalo de 8 a 25 %. Ag reduce la temperatura del liquidus a 380°C o menos. Ag genera un compuesto intermetálico de Sn y Ag<sub>3</sub>Sn para suprimir la generación de una fase de bajo punto de fusión, mejorando así la resistencia de la aleación de soldadura. Además, Ag reduce la tensión superficial en un intervalo de temperatura de hasta 400°C y por lo tanto mejora la humectabilidad.
- 20 Con un contenido de Ag inferior a 8 %, no se puede exhibir el efecto de suprimir la generación de una fase de bajo punto de fusión obtenida por adición de Ag. Con un contenido de Ag superior al 25 %, Sb y Ag forman preferiblemente una fase de Ag<sub>3</sub>Sb y por tanto la fase de Ag<sub>3</sub>Sb aparece en la etapa inicial de solidificación. Por lo tanto, es más probable que se genere una fase de bajo punto de fusión en la aleación de soldadura.
- 25 La formación de la fase de Ag<sub>3</sub>Sb de Sb y Ag en la etapa inicial de solidificación reduce relativamente las concentraciones de Sb y Ag en la fase líquida que queda en el proceso de solidificación de la aleación de soldadura. La disminución en las concentraciones de Sb y Ag en la fase líquida restante reduce el efecto de suprimir la generación de una fase de bajo punto de fusión para aumentar la proporción de la fase de bajo punto de fusión a 250°C o menos. Por lo tanto, la resistencia al calor de la aleación de soldadura se deteriora. El contenido de Ag está preferiblemente en un intervalo de 10 a 22 % y más preferiblemente de 12 a 18 %.

Cu: 5 a 10 %

- 35 El contenido de Cu está en un intervalo de 5 a 10 %. Cu controla la temperatura del liquidus en un intervalo de 340 a 380°C. Cu genera principalmente Cu<sub>3</sub>Sn y Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> para suprimir la generación de una fase de bajo punto de fusión, mejorando así la resistencia a la tracción de la aleación de soldadura.
- 40 Con un contenido de Cu inferior al 5 %, no se puede exhibir el efecto de suprimir la generación de una fase de bajo punto de fusión obtenida mediante la adición de Cu. Con un contenido de Cu superior al 10 %, Sb y Cu preferiblemente forman una fase de Cu<sub>2</sub>Sb y por lo tanto la fase de Cu<sub>2</sub>Sb aparece en la etapa inicial de solidificación de la aleación de soldadura. Por lo tanto, es más probable que se genere una fase de bajo punto de fusión en la aleación de soldadura.
- 45 La formación de la fase de Cu<sub>2</sub>Sb a partir de Sb y Cu en la etapa inicial de solidificación de la aleación de soldadura reduce relativamente las concentraciones de Sb y Cu en la fase líquida que queda en el proceso de solidificación de la aleación de soldadura. La disminución de las concentraciones de Sb y Cu en la fase líquida restante reduce el efecto de supresión de la generación de una fase de bajo punto de fusión de Sb y Cu para aumentar la proporción de la fase de bajo punto de fusión a 250°C o menos. Por lo tanto, la resistencia al calor de la aleación de soldadura se deteriora. Además, la temperatura del liquidus de la aleación de soldadura se incrementa para reducir la humectabilidad, reduciendo de este modo la soldabilidad. El contenido de Cu está preferiblemente en un intervalo de 6 a 9 % y más preferiblemente de 6 a 8 %.

- 55 La fase de bajo punto de fusión es una fase solidificada que se forma por segregación de solidificación en el momento del enfriamiento de la aleación de soldadura después de la fusión y que tiene un punto de fusión de 210 a 250°C. En general, la segregación de solidificación es un fenómeno en el que los ingredientes específicos se segregan debido a una diferencia de composición entre la primera porción solidificada y la última porción solidificada tras la solidificación de una fase fundida. En general, la segregación de solidificación es más probable que ocurra con la disminución de la velocidad de enfriamiento. Particularmente, en una aleación de soldadura sin plomo que contiene una gran cantidad de Sn, es más probable que se segregue una fase simple de Sn de bajo punto de fusión.
- 60 Desde este punto de vista, la presente invención se caracteriza por suprimir, en la unión de soldadura, la generación de una fase de bajo punto de fusión en la que la fase única de Sn es considerada como un ingrediente principal.

- 65 La fase de bajo punto de fusión incluye la fase única de Sn como su ingrediente principal porque la temperatura del solidus que es el punto de fusión de la fase de bajo punto de fusión está al mismo nivel que el punto de fusión de Sn que es 232°C. El resto de la fase de bajo punto de fusión se considera que está compuesta por una fase residual que tiene una composición más próxima a Sb<sub>2</sub>Sn<sub>3</sub> que tiene un punto de fusión de aproximadamente 240°C y una

composición eutéctica de Sn-Ag-Cu que tiene un punto de fusión de aproximadamente 220 a 230°C. Por lo tanto, se considera que la temperatura del solidus que es el punto de fusión de la fase de bajo punto de fusión, es una temperatura en el intervalo de 210 a 250°C.

5 La fase de bajo punto de fusión se genera al menos en el caso en que tal composición de aleación tenga un contenido de Sn que excede el contenido total de Sb, Ag y Cu. En otras palabras, la fase de bajo punto de fusión se genera cuando se satisface que  $Sb + Ag + Cu < Sn$ . La razón por la cual la generación de la fase de bajo punto de fusión se suprime como en la presente invención cuando el contenido de Ag es de 8 a 25 % y el contenido de Cu es de 5 a 10 % se considera que es la formación preferencial de compuestos intermetálicos de Sb, Ag y Cu con Sn durante la solidificación, formando así una fase de alto punto de fusión. Sin embargo, no se conoce su mecanismo preciso.

10 La fase de alto punto de fusión utilizada en la invención es una fase solidificada compuesta por un compuesto intermetálico que muestra un punto de fusión de 290°C o más, como se ejemplifica por Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>, Cu<sub>3</sub>Sn, Ag<sub>3</sub>Sn, SbSn o Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub>.

15 Una unión de soldadura para la que se realizó la soldadura utilizando la aleación de soldadura de acuerdo con la invención tiene estos compuestos intermetálicos constituyendo cada uno la fase de alto punto de fusión, pero puede contener otros compuestos intermetálicos además de los compuestos ilustrados anteriormente mientras la fase de alto punto de fusión sea una fase solidificada que muestra un punto de fusión de 290°C o más. En otras palabras, puesto que la fase solidificada que muestra un punto de fusión de 290°C o más representa una gran parte de la estructura, la unión de soldadura obtenida por soldadura utilizando la aleación de soldadura de acuerdo con la invención exhibe excelente resistencia al calor y resistencia a la tracción.

20 Al menos uno seleccionado del grupo que consiste en 0,003 a 1,0 % de Al, 0,01 a 0,2 % de Fe y 0,005 a 0,4 % de Ti

Estos elementos dispersan finamente fases compuestas respectivamente de compuestos intermetálicos tales como Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>, Cu<sub>3</sub>Sn y Ag<sub>3</sub>Sn en una fase de SbSn para mejorar la resistencia a la tracción y la elongación.

25 En la aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con la invención, la aleación de soldadura de Sn-Sb-Ag-Cu contiene Al, Fe y Ti y por lo tanto estos elementos cristalizan preferiblemente durante la solidificación para servir como semillas de nucleación heterogéneas, evitando así que cada fase se engrose. Cuando la nucleación de cada fase es promovida por nucleación heterogénea, el número de puntos de partida para la nucleación se aumenta y por lo tanto las fases de los compuestos intermetálicos tales como Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>, Cu<sub>3</sub>Sn y Ag<sub>3</sub>Sn están finamente dispersadas. Por lo tanto, en la aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con la invención, el área de los límites de grano del cristal en la aleación de soldadura aumenta para dispersar la tensión aplicada a los límites de grano y por lo tanto se considera que diversas propiedades mecánicas y particularmente la elongación mejoran de manera más significativa que una aleación de soldadura en la que las respectivas fases del compuesto intermetálico son más gruesas.

30 Se añaden Al, Ti y Fe en cantidades tan pequeñas como 0,003 a 1,6 %. Por lo tanto, incluso si se produce un compuesto que tiene un punto de fusión más alto que SbSn como un compuesto intermetálico que contiene Sb, Ag y Cu, así como cualquiera de Al, Ti y Fe, Sb, Ag y Cu en la aleación de soldadura, no se consumen demasiado. Por consiguiente, se suprime la generación de una fase gruesa de bajo punto de fusión y, por tanto, es menos probable que se deteriore la resistencia de la unión de una unión de soldadura.

35 El contenido de Al está preferiblemente en un intervalo de 0,01 a 0,8 % y más preferiblemente de 0,02 a 0,5 % con el fin de que el efecto descrito anteriormente pueda estar suficientemente exhibido. El contenido de Fe está preferiblemente en un intervalo de 0,02 a 0,15 % y más preferiblemente de 0,02 a 0,1 %. El contenido de Ti está preferiblemente en un intervalo de 0,01 a 0,3 % y más preferiblemente de 0,02 a 0,2 %.

40 Si el contenido de estos elementos es menor que sus valores límite inferiores, no tiene sentido refinar la estructura de aleación de soldadura y la resistencia a la tracción y la elongación no se mejoran suficientemente. Si el contenido de estos elementos supera sus valores límite superiores, los compuestos intermetálicos que contienen estos elementos se engrosan. Por lo tanto, una tensión aplicada a la aleación de soldadura se concentra en los límites de grano de los compuestos intermetálicos, deteriorando así la resistencia a la tracción y la elongación.

45 La aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con la invención puede contener los siguientes elementos como ingredientes opcionales.

50 Al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en P, Ge y Ga en una cantidad total de 0,002 a 0,1 %

55 Estos elementos tienen el efecto de mejorar la humectabilidad suprimiendo la aparición de Al, Fe y Ti oxidables sobre la superficie de la aleación de soldadura durante la solidificación de la aleación de soldadura. Por lo tanto, Al, Fe y Ti permanecen dentro de la aleación de soldadura para promover adicionalmente el refinado de la estructura por medio de la nucleación heterogénea descrita anteriormente. Como resultado, estos elementos también tienen el

efecto de mejorar considerablemente la elongación de la aleación de soldadura. El contenido total de estos elementos está más preferiblemente en un intervalo de 0,003 a 0,01 %. El contenido de los elementos respectivos no está particularmente limitado, pero con el fin de que los efectos anteriormente descritos puedan estar suficientemente exhibidos, el contenido de P está preferiblemente en un intervalo de 0,002 a 0,005 %, el contenido de Ge está preferiblemente en un intervalo de 0,002 a 0,006 % y el contenido de Ga está preferiblemente en un intervalo de 0,002 a 0,02 %.

Al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en Ni, Co y Mn en una cantidad total de 0,01 a 0,5 %

Estos elementos suprimen la difusión de ingredientes de una capa chapada formada en un elemento semiconductor o un sustrato externo en el momento de la soldadura en la aleación de soldadura. Por lo tanto, estos elementos tienen el efecto de mantener la estructura de la aleación de soldadura que constituye una unión de soldadura mientras se reduce el espesor de una capa de compuesto intermetálico que se forma en la interfaz de unión. Por consiguiente, estos elementos pueden mejorar la resistencia de la unión de soldadura. El contenido total de estos elementos está más preferiblemente en un intervalo de 0,01 a 0,05 %. El contenido de los elementos respectivos no está particularmente limitado, pero con el fin de que el efecto anteriormente descrito pueda ser suficientemente exhibido, el contenido de Ni está preferiblemente en un intervalo de 0,02 a 0,07 %, el contenido de Co está preferiblemente en un intervalo de 0,02 a 0,04 % y el contenido de Mn está preferiblemente en un intervalo de 0,02 a 0,05 %. De estos elementos, el Ni es un elemento particularmente preferible como elemento que exhibe el efecto anteriormente descrito.

Al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en Zn y Bi en una cantidad total de 0,005 a 0,5 %

Estos elementos aumentan adicionalmente la proporción en fase sólida de la aleación de soldadura a 280°C para mejorar la resistencia a la tracción. El contenido total de estos elementos está más preferiblemente en un intervalo de 0,005 a 0,4 % y lo más preferiblemente de 0,01 a 0,3 %. El contenido de los elementos respectivos no está particularmente limitado, pero con el fin de que el efecto anteriormente descrito pueda estar suficientemente exhibido, el contenido de Zn está preferiblemente en un intervalo de 0,01 a 0,2 %, y el contenido de Bi está preferiblemente en un intervalo de 0,02 a 0,3 %.

Al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en Au, Ce, In, Mo, Nb, Pd, Pt, V, Ca, Mg y Zr en una cantidad total de 0,0005 a 1 %

Estos elementos mejoran la ductilidad mecánica a 250°C como con P, Ge y Ga. Estos elementos son oxidables y se oxidan más fácilmente que Al, Ti y Fe, y tienen el efecto de promover el refinado de la estructura como el obtenido usando Al, Ti y Fe por tener Al, Ti y Fe que permanecen dentro de la soldadura. El contenido total de estos elementos está más preferiblemente en un intervalo de 0,01 a 0,03 %. Los contenidos de los respectivos elementos no están particularmente limitados, pero para que el efecto descrito anteriormente pueda estar suficientemente exhibido, los contenidos de Au, Ce, In, Mo, Nb, Pd, Pt, V, Ca, Mg y Zr están preferiblemente en un intervalo de 0,02 a 0,03 %.

La aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con la invención tiene preferiblemente una temperatura de solidus de 280°C o más y preferiblemente 290°C o más. La temperatura del solidus se definió así por las siguientes razones:

La temperatura del solidus se definió para permitir que la unión de soldadura utilizando la aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con la invención tuviera suficiente resistencia térmica para resistir la generación de calor a partir de un elemento semiconductor de SiC, un elemento semiconductor de GaN y un elemento semiconductor de GaAs que funcionan a una temperatura elevada de 250°C o más, para tener una proporción de fase sólida del 98 % o más y para asegurar una buena confiabilidad. Otra razón por la que la temperatura del solidus se define como 280°C o más y preferiblemente 290°C o más es que la temperatura de reflujo en el momento de la unión de otro componente electrónico a un sustrato de empaquetamiento en la etapa subsiguiente después de que se une un elemento semiconductor al sustrato de empaquetamiento puede llegar a 260°C. Se requiere que la unión de soldadura muestre una temperatura del solidus de 280°C o más y preferiblemente 290°C o más como la temperatura capaz de hacer frente a tal temperatura de reflujo sin volverse a fundir. Incluso en una aleación de soldadura que tiene una temperatura del solidus de hasta 250°C, si la proporción en fase sólida a 280°C es del 98 % o más, la resistencia mecánica y en particular la elongación de la unión de soldadura a 250°C, son buenas y se puede mantener también la conexión en el momento del reflujo repetido.

La "proporción en fase sólida", tal como se utiliza en la invención, se refiere a una proporción (%) del área de picos endotérmicos como la detectada a 280°C o más con respecto a la superficie total de picos endotérmicos en una curva de DSC medida en una relación de elevación de la temperatura de 5°C/min utilizando una aleación de soldadura solidificada a una velocidad de enfriamiento de 1°C/min como muestra.

La aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con la invención tiene preferiblemente una temperatura del liquidus de hasta 400°C. La temperatura de soldadura debe ser una temperatura elevada por

encima de la temperatura del liquidus. Por lo tanto, a una temperatura del liquidus por encima de 400°C, la temperatura de soldadura necesita ser superior a esta temperatura, pero a una temperatura tan elevada, el coste de funcionamiento en el momento de la producción es alto y se deteriora la laborabilidad. Además, la temperatura del liquidus es más preferiblemente de hasta 380°C desde los puntos de vista de la resistencia al calor del componente semiconductor mismo y la protección del cableado del circuito dentro del componente semiconductor.

La aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con la invención también puede usarse en el encastramiento de cubos de un elemento semiconductor, es decir, en la unión de un elemento semiconductor a un disipador de calor. La aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con la invención también puede aplicarse a la soldadura de terminales conectores y placas madre, al montaje de circuitos integrados DIP o similares en placas de circuito impreso, al ensamble y montaje de componentes electrónicos tales como condensadores, al sellado de empaques cerámicos, a la unión de cables a diodos y similares, ya soldar preformas para soldadura de semiconductores.

La aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con la invención se puede usar adecuadamente en forma de una preforma de soldadura o pasta de soldadura. Tal material de preforma tiene la forma de una arandela, un anillo, un gránulo, un disco, una cinta, un alambre, una bola o similar.

Se puede usar una preforma de soldadura para unión en una atmósfera reductora sin usar fundente. La unión en una atmósfera reductora no causa contaminación de porciones unidas con flujo, por lo que tiene las ventajas de que no sólo es innecesario limpiar las porciones unidas en una etapa posterior a la unión, sino también que los huecos en las uniones de soldadura pueden disminuir considerablemente.

La aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con la invención se puede usar en forma de pasta de soldadura. La pasta de soldadura está en forma de pasta y se obtiene mezclando el polvo de aleación de soldadura con una pequeña cantidad de fundente. La aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con la invención puede utilizarse en forma de pasta de soldadura cuando se montan componentes electrónicos en una placa de circuito impreso mediante un procedimiento de soldadura por reflujo. El fundente para uso en la pasta de soldadura puede ser un fundente soluble en agua o un fundente insoluble en agua. Típicamente, se utiliza un fundente de colofonia que es un fundente insoluble en agua basado en colofonia.

La Fig. 1 es una vista esquemática que muestra un ejemplo de empaquetamiento de un elemento semiconductor que usa una aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con la invención. La aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con la invención puede usarse como una aleación de soldadura a alta temperatura para unir (encastramiento de cubos) un elemento semiconductor a un disipador de calor. Como se muestra en la Fig. 1, cada uno de un elemento 1 semiconductor y un disipador 2 de calor tiene una capa 3 elaborada con Cu, Ni, Ni / Au, Ag, o similares. Una aleación 4 de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con la invención conecta las capas 3 chapadas entre sí para formar una unión de soldadura.

La unión de soldadura de acuerdo con la invención se forma utilizando la aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con la invención. Por ejemplo, con referencia a la figura 1, la unión de soldadura de acuerdo con la invención incluye las capas 3 chapadas y la aleación 4 de soldadura.

En cuanto a las condiciones para fabricar la unión de soldadura de acuerdo con la invención, la velocidad de enfriamiento en el momento de la solidificación está preferiblemente en un intervalo de 0,8 a 50°C/s. La velocidad de enfriamiento dentro de este intervalo cubre la velocidad de enfriamiento en la mayoría de los dispositivos de soldadura utilizados actualmente. Por lo tanto, en un caso en el que la aleación de soldadura de acuerdo con la invención se utiliza para realizar la soldadura, no es particularmente necesario efectuar cambios particulares en la velocidad de enfriamiento en el momento de la soldadura. Debido a tales excelentes efectos de la invención, incluso en el caso en que un elemento semiconductor se une a una placa de circuito impreso o disipador de calor a gran escala que tiene una gran capacidad calorífica, no es necesario cambiar la velocidad de enfriamiento en la aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con la invención, y la soldadura se realiza en condiciones de enfriamiento convencionales. Esto se debe a que la aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con la invención puede exhibir una excelente confiabilidad de conexión mientras suprime la generación de una fase de bajo punto de fusión incluso cuando se realiza un enfriamiento lento a razón de 0,8°C/s. La velocidad de enfriamiento es más preferiblemente de 1 a 10°C/s.

La aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con la invención exhibe sus efectos particularmente en los casos en que un elemento semiconductor como el descrito anteriormente que funciona a una temperatura elevada de aproximadamente 250 a 280°C se suelda a un disipador de calor. Como es natural, la aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con la invención no genera una fase de bajo punto de fusión y puede presentar una confiabilidad de conexión suficientemente alta incluso cuando se usa para una unión de soldadura que tiene una temperatura requerida resistente al calor de hasta 250°C.

La aleación de soldadura de acuerdo con la invención fabricada utilizando un material de alta pureza o un material de baja alfa es una aleación de soldadura de baja alfa. Se puede evitar que se produzcan errores de software al utilizarlo en la periferia de una memoria.

## 5 Ejemplos

Las aleaciones de soldadura que tienen las respectivas composiciones de aleación mostradas en las Tablas 1 y 2 se fundieron a 430°C y luego cada aleación de soldadura se enfrió a una velocidad de enfriamiento de 1°C/s para simular la formación de cada unión de soldadura después de la soldadura. La velocidad de enfriamiento es controlada por un termopar que detecta la temperatura del horno de DSC. Para ser más específicos, la velocidad de enfriamiento de 1°C/s es un valor obtenido cuando una aleación de soldadura que se ha fundido completamente a 430°C se enfría entonces a 180°C a una velocidad de reducción de la temperatura de 1°C/s.

Se obtuvo una curva de DSC de la aleación de soldadura enfriada mediante el aumento de la temperatura a razón de 5°C/min al aire usando DSC (modelo: Q2000) fabricado por TA Instruments Japan Inc. A partir de la curva de DSC resultante, se determinaron la temperatura del solidus, la temperatura del liquidus, la proporción en fase líquida y la proporción en fase sólida. Los resultados se recogen en las Tablas 1 y 2.

La Fig. 2 es un gráfico que muestra la curva de DSC de una aleación de soldadura en el Ejemplo Comparativo 1. La Fig. 3 es un gráfico que muestra la curva de DSC de una aleación de soldadura en el Ejemplo 14. Estas curvas de DSC se obtienen aumentando la temperatura de las aleaciones de soldadura solidificadas a una velocidad de enfriamiento de 1°C/s a 5°C/min.

En la curva de DSC mostrada en la Fig. 2, la temperatura al comienzo de la endotermia del primer pico endotérmico es la temperatura del solidus, y la temperatura al final de la endotermia del último pico endotérmico es la temperatura del liquidus. Sin embargo, en el caso en el que sólo hay un pico endotérmico como se muestra en la Fig. 3, la temperatura al comienzo de la endotermia del pico endotérmico es la temperatura del solidus, y la temperatura en la terminación de la endotermia de este pico endotérmico es la temperatura del liquidus.

Como se desprende de la Fig. 2, en la aleación de soldadura del Ejemplo Comparativo 1 en el que la composición de la aleación está fuera del intervalo de la invención, se observaron dos picos endotérmicos y la temperatura del solidus mostrada fue de 227°C. Por otra parte, como se desprende de la Fig. 3, en la aleación de soldadura del Ejemplo 14 en la que la composición de la aleación está dentro del intervalo de la invención, sólo se observó un pico endotérmico y la temperatura mostrada del solidus fue de 323°C.

En las composiciones de aleación mostradas en los Ejemplos Comparativos excepto los Ejemplos Comparativos 4, 5 y 10, se observó un pico endotérmico a una temperatura por debajo de 280°C.

Los procedimientos de cálculo de la proporción en fase líquida y la proporción en fase sólida se describirán en detalle, tomando la curva de DSC en el Ejemplo Comparativo 1 como se muestra en la Fig. 4 como un ejemplo.

La proporción en fase líquida a 280°C se determinó como sigue: En primer lugar, como se muestra en la Fig. 4, se dibujó una línea base 8, y se determinó el área  $V_0$  ( $V_0 = V_1 + V_2$ ) rodeada por la línea base 8 y una curva 9 de DSC. Se dibujó entonces una línea divisoria 10 a 280°C y se determinó el área  $V_1$  rodeada por la línea divisoria 10, la curva 9 de DSC a 280°C o menos y se determinó la línea base 8. Finalmente, la proporción en fase líquida (porcentaje) a 280°C se calculó mediante  $(V_1/V_0) \times 100$ . Por otra parte, en un caso en el que no se observó ningún pico endotérmico a una temperatura de 280°C o menos como se muestra en la Fig. 3, el área  $V_1$  es 0 y por lo tanto la proporción en fase líquida a 280°C se convierte en 0 %.

La proporción en fase sólida a 280°C se determinó como sigue: Se determinó el área  $V_2$  rodeada por la línea divisoria 10, la curva 9 de DSC a 280°C o más y la línea base 8 como se muestra en la Fig. 4. La proporción en fase líquida a 280°C se calculó después por  $(V_2/V_0) \times 100$  para obtener la proporción en fase sólida. Por otra parte, en un caso en el que se observó un pico endotérmico sólo a 280°C o más como se muestra en la Fig. 3,  $V_2$  es igual a  $V_0$ , por lo que la proporción en fase sólida a 280°C llega al 100 %. Los resultados de la medición se muestran en las Tablas 1 y 2.

Además, una aleación de soldadura que tiene cada composición de aleación mostrada en las Tablas 1 y 2 se moldeó en un molde para preparar una muestra que tiene una forma predeterminada. Los procedimientos para medir la resistencia a la tracción y la elongación hasta rotura se describen a continuación.

Un espécimen tiene una forma ilustrada en la Fig. 5. Su porción paralela tiene dimensiones de 8 mm de diámetro ( $\phi$ ) y 30 mm de longitud. El espécimen se obtuvo por fusión de cada aleación de soldadura a la temperatura del liquidus de cada composición + 100°C, moldeando la aleación de soldadura fundida en un molde dividido fabricado trabajando de acuerdo con las dimensiones descritas anteriormente, enfriando la aleación de soldadura fundida con aire hasta que la temperatura disminuye a temperatura ambiente y sacando la aleación de soldadura enfriada del molde dividido. Se fijó un termopar a la porción fundida del molde dividido y se midió el historial de temperatura

## ES 2 632 605 T3

durante la solidificación. Como resultado, la velocidad de enfriamiento fue de aproximadamente 1 a 3°C/s. Se realizó un ensayo de tracción en una cámara termostática a 250°C al aire a una velocidad de cruceta de 0,09 mm/min usando Autograph 5966 fabricado por Instron.

- 5 La resistencia a la tracción y la elongación hasta la rotura se calcularon a partir de la carga y los valores de desplazamiento leídos de una célula de carga del probador de tracción. De acuerdo con la invención, en el caso en que una aleación de soldadura mostrara una resistencia a la tracción de 5 MPa o más y una elongación hasta la rotura del 5 % o más, se consideró que la aleación de soldadura tenía propiedades mecánicas suficientes para prevenir una fractura fácil a alta temperatura incluso cuando se utiliza para una unión de soldadura.

10

Tabla 1

	Composición de la aleación (%)																Temperatura del sólido [°C]	Temperatura de fusión del líquido [°C]	Proporción en fase sólida [°C]	Proporción en fase líquida [°C]	Resistencia a la tracción [Mpa]	Elongación hasta rotura [%]											
	Sn	Sb	Ag	Cu	Al	Fe	Ti	P	Ge	Ga	Co	Mn	Ni	Bi	Zn	In							V	Ca	Pt	Pd	Ce	Mo	Nb	Zr	Mg	Au	
Ejemplo 1	bal.	35	8	5	0,003																						228,4	360,3	1,5	98,5	26,9	6,3	
Ejemplo 2	bal.	37	8	7	0,01																							300,2	358,9	0,0	100,0	33,3	36,9
Ejemplo 3	bal.	37	15	6	0,013																							297,7	357,0	0,0	100,0	29,9	40,2
Ejemplo 4	bal.	37	8	7	0,03																							300,8	359,5	0,0	100,0	12,9	45,6
Ejemplo 5	bal.	40	20	8	0,08																							338,2	375,1	0,0	100,0	26,0	72,9
Ejemplo 6	bal.	35	15	5	0,11																							227,6	348,2	1,9	98,1	17,5	124,0
Ejemplo 7	bal.	37	8	7	0,33																							296,5	358,8	0,0	100,0	14,1	86,7
Ejemplo 8	bal.	37	15	6	1																							228,6	359,8	1,9	98,1	14,2	24,1
Ejemplo 9	bal.	37	8	7	0,01																							304,6	358,9	0,0	100,0	33,2	35,3
Ejemplo 10	bal.	37	15	6	0,02																							308,1	358,5	0,0	100,0	30,9	39,1
Ejemplo 11	bal.	37	8	7	0,046																							303,9	358,5	0,0	100,0	38,3	11,9
Ejemplo 12	bal.	40	20	8	0,1																							327,8	373,6	0,0	100,0	38,7	76,1
Ejemplo 13	bal.	37	8	7	0,005																							301,3	359,0	0,0	100,0	34,7	53,1
Ejemplo 14	bal.	37	15	6	0,02																							323,6	358,2	0,0	100,0	32,2	117,9
Ejemplo 15	bal.	37	8	7	0,04																							301,0	358,6	0,0	100,0	12,6	74,3
Ejemplo 16	bal.	40	20	8	0,2																							328,6	375,2	0,0	100,0	33,4	96,8
Ejemplo 17	bal.	36	15	6	0,01	0,003																						324,7	354,7	0,0	100,0	30,1	112,3
Ejemplo 18	bal.	35	15	5	0,085	0,003																						227,3	346,9	1,5	98,5	11,0	346,0
Ejemplo 19	bal.	36	15	6	0,015	0,005																						322,2	356,7	0,0	100,0	28,7	63,3
Ejemplo 20	bal.	36	15	6	0,01	0,01																						322,1	356,3	0,0	100,0	27,7	71,2
Ejemplo 21	bal.	37	15	6	0,06	0,04																						299,3	348,1	0,0	100,0	18,7	134,9
Ejemplo 22	bal.	37	15	6	0,05	0,02																						301,0	350,1	0,0	100,0	20,0	181,7
Ejemplo 23	bal.	37	15	6	0,08	0,03																						299,5	356,4	0,0	100,0	19,5	120,5
Ejemplo 24	bal.	37	15	6	0,1	0,3																						227,6	351,4	0,7	99,3	13,4	26,5
Ejemplo 25	bal.	37	15	6	0,07	0,3																						228,9	352,3	0,3	99,7	20,9	272,0
Ejemplo 26	bal.	37	13	5	0,003	0,9																						221,6	348,1	1,3	98,7	8,6	209,1
Ejemplo 27	bal.	37	15	6	0,01	0,005																						304,4	358,0	0,0	100,0	25,5	159,6
Ejemplo 28	bal.	37	15	6	0,006	0,1																						225,6	356,5	0,4	99,6	27,5	23,9
Ejemplo 29	bal.	37	15	6	0,004	0,0086																						300,3	355,9	0,0	100,0	23,6	43,0
Ejemplo 30	bal.	37	15	6	0,05	0,015																						305,1	358,7	0,0	100,0	23,5	102,6
Ejemplo 31	bal.	36	15	6	0,003	0,049																						324,2	360,0	0,0	100,0	28,0	126,6

Tabla 2

	Composición de la aleación (%)																Temperatura del líquido [°C]	Temperatura del sólido [°C]	Proporción en fase líquida [°C]	Proporción en fase sólida [°C]	Resistencia a la tracción [MPa]	Elongación hasta rotura [%]											
	Sn	Sb	Ag	Cu	Al	Fe	Ti	P	Ce	Os	Co	Mn	Ni	Bi	Zn	In							V	Ca	Pt	Pd	Ce	Mo	Nb	Zr	Mg	Au	
Ejemplo 32	bal.	37	15	6	0,003																							326,0	360,4	0,0	100,0	31,8	66,8
Ejemplo 33	bal.	37	15	6	0,03																							225,7	358,4	0,0	100,0	13,3	6,0
Ejemplo 34	bal.	37	15	6	0,03										0,1													224,0	354,2	0,5	99,5	31,3	6,9
Ejemplo 35	bal.	37	15	6	0,009																							228,6	354,7	0,5	99,5	28,2	56,7
Ejemplo 36	bal.	37	15	6	0,04																							225,5	358,0	0,2	99,8	29,3	32,2
Ejemplo 37	bal.	40	20	8	0,046	0,003	0,003	0,002	0,004	0,09	0,01	0,016	0,05	0,044	0,53	0,03	0,012	0,04	0,012	0,03	0,02	0,0023	0,002	0,0007	0,002	0,01	333,5	375,0	0,0	100,0	29,3	140,8	
Ejemplo comparativo 1	bal.	34	5	5																								227,0	357,2	6,8	91,2	0,6	2,1
Ejemplo comparativo 2	bal.	35	8	5																								228,4	362,9	2,2	97,8	3,2	1,1
Ejemplo comparativo 3	bal.	35	15	5																								226,9	356,9	0,4	99,6	29,9	1,6
Ejemplo comparativo 4	bal.	37	6	7																								300,2	359,2	0,0	100,0	35,1	2,8
Ejemplo comparativo 5	bal.	40	20	6																								338,9	375,3	0,0	100,0	28,9	1,9
Ejemplo comparativo 6	bal.	37	8	7	0,25																							228,4	359,1	2,7	97,3	15,4	0,3
Ejemplo comparativo 7	bal.	37	8	7		0,43																						227,2	359,4	3,0	97,0	13,1	0,3
Ejemplo comparativo 8	bal.	35	8	5	0,002																							227,9	362,8	2,4	97,6	4,5	1,8
Ejemplo comparativo 9	bal.	37	15	6	1,14																							228,5	359,6	3,7	96,3	12,8	3,2
Ejemplo comparativo 10	bal.	37	6	7	0,006																							302,8	359,2	0,0	100,0	33,2	2,9
Ejemplo comparativo 11	bal.	35	8	5																								229,1	362,3	1,5	98,5	7,7	1,2

5 Cada uno de los Ejemplos 1 a 37 en los que la composición de la aleación está dentro del intervalo de la invención  
mostró una proporción en fase sólida de 98 % o más, una temperatura del liquidus de hasta 376°C, una resistencia a  
la tracción a 250°C de 5 MPa o más, y una elongación hasta rotura del 5 % o más. Por otra parte, cada uno de los  
Ejemplos Comparativos 1 a 11 en los que Al, Fe y Ti no están contenidos o Al, Fe y Ti están contenidos en  
cantidades fuera de los intervalos de la invención sólo mostraron una elongación hasta un valor de rotura de menos  
del 4 %. Por ejemplo, cada uno de los Ejemplos Comparativos 3, 4, 5, 10 y 11 muestran una proporción en fase  
sólida a 250°C del 98 % o más, satisfaciendo así suficiente resistencia al calor, pero muestra una elongación hasta  
rotura a 250°C de menos del 3 %, no satisfaciendo por lo tanto la ductilidad mecánica. Sin embargo, en los ejemplos  
2, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 13, 15, 16, 18 y 37 en los que se añade Al, Fe o Ti en una cantidad específica, la ductilidad  
mecánica se mejora considerablemente.

15 Los Ejemplos Comparativos 1 a 5 en los que Al, Fe o Ti no están contenidos tienen, cada uno, una elongación hasta  
rotura de hasta 3 %, aunque algunos de ellos muestran una alta resistencia a la tracción. Los Ejemplos  
Comparativos 6 a 11 en los que los contenidos de Al, Fe y Ti están fuera de los intervalos de la invención tienen  
cada uno una baja elongación hasta el valor de rotura, aunque algunos de ellos muestran una alta resistencia a la  
tracción.

20 Las Figuras 6(a) a 6(d) son cada una, una micrografía de una superficie de fractura de una muestra tomada por un  
microscopio óptico; la Figura 6(a) es una micrografía en el Ejemplo 7, la Fig. 6(b) una micrografía en el Ejemplo 10,  
la Figura 6(c) una micrografía en el Ejemplo 14 y la Figura 6(d) una micrografía en el Ejemplo Comparativo 3. Las  
micrografías mostradas en las Figuras 6(a) a 6(d) se toman con una amplificación de 20x.

25 Las Figuras. 7(a) a 7(d) son cada una, una micrografía de una superficie de fractura de una muestra tomada por un  
microscopio electrónico; La Figura 7(a) es una micrografía en el Ejemplo 7, la Figura 7(b) una micrografía en el  
Ejemplo 10, la Figura 7(c) una micrografía en el Ejemplo 14 y la Figura 7(d) una micrografía en el Ejemplo  
Comparativo 3. Las micrografías mostradas en las Figuras. 7(a) a 7(d) se toman a una amplificación de 200x.

30 Como se muestra en las Figuras 6(a) a 6(d), se reveló que las regiones de grano rodeadas por grietas observadas  
en la superficie de fractura en las Figuras 6(a) a 6(c) son claramente más pequeñas en tamaño que aquellas en la  
Figura. 6(d). También se reveló que las fases de los compuestos intermetálicos tales como Ag<sub>3</sub>Sn y Cu<sub>3</sub>Sn se  
dispersan finamente en una fase de SbSn en las Figuras 7(a) a 7(c), mientras que una fase de SbSn y fases gruesas  
de compuestos intermetálicos tales como Ag<sub>3</sub>Sn y Cu<sub>3</sub>Sn forman una estructura lamelar en la Figura 7(d).

35 En la aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con la invención, las fases de Ag<sub>3</sub>Sn, Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>,  
Cu<sub>3</sub>Sn y similares se dispersan finamente en la fase de SbSn como se muestra en las Figuras 7(a) a 7(c) para  
aumentar el área de los límites del grano cristalino reduciendo por lo tanto la concentración de tensión. Por lo tanto,  
las regiones de grano rodeadas por las grietas observadas en la superficie de fractura como se muestra en las  
Figuras 6(a) a 6(c) se consideran de menor tamaño que las regiones de grano rodeadas por las grietas observadas  
en la superficie de fractura como se muestra en la Figura 6 (d).

40 La aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con la invención puede reducir así la  
concentración de tensión debido a la deformación mientras se suprime la fractura de cada límite de grano y por lo  
tanto se considera que muestran una excelente resistencia a la tracción y elongación hasta rotura.

45 Además, cada aleación de soldadura de acuerdo con la invención se utilizó para formar una junta de soldadura  
sobre un disipador de calor y se examinó el estado de la interfaz de unión entre la aleación de soldadura y el  
disipador de calor.

Tabla 3

	Composición de la aleación (%)						Temperatura del solidus [°C]	Temperatura del liquidus [°C]	Proporción en fase líquida [°C]	Proporción en fase sólida [°C]	Espesor de la capa de IMC [µm]
	Sn	Sb	Ag	Cu	Al	Ni					
Ejemplo 32	bal.	37	15	6	0,02	0	326,0	358,4	0,0	100,0	4,0
Ejemplo 33	bal.	37	15	6	0,02	0,03	326	358,6	0,0	100,0	3,5
Ejemplo 34	bal.	37	15	6	0,02	0,07	327,0	358,7	0,0	100,0	2,3

5 Cada uno de los Ejemplos 38, 39 y 40 en los que la composición de la aleación está dentro del intervalo de la invención muestra una proporción en fase sólida de 100 % y una temperatura del líquido de hasta 376°C y tiene buena resistencia al calor. Además, dado que el contenido de Al está dentro del intervalo de la invención, la resistencia mecánica y la ductilidad también se satisfacen obviamente. Además, una capa de compuesto intermetálico (IMC) formada en la interfaz de unión con el disipador de calor es más delgada en los Ejemplos 39 y 40 que en el Ejemplo 38 en el que el Ni no está contenido. Se sabe comúnmente que la confiabilidad de la unión se reduce en la interfaz de unión entre la aleación de la soldadura y el disipador de calor si la capa de compuesto intermetálico formada en la vecindad de la interfaz de unión tiene un espesor grande. En otras palabras, añadiendo adicionalmente Ni a una aleación de soldadura obtenida incorporando Al, Ti y Fe en una aleación de Sn-Sb-Ag-Cu dentro del ámbito de la invención, se puede evitar que la capa de compuesto intermetálico tenga un mayor espesor, mejorando adicionalmente por lo tanto la confiabilidad de la unión.

15 Las Figuras 8(a) a 8(c) son, cada una, una micrografía de una superficie en sección transversal de una interfaz de unión entre una aleación de soldadura sin plomo de alta temperatura de la invención y un disipador de calor de Cu como la tomada por un microscopio electrónico. El disipador de calor de Cu tiene un tamaño de 30 x 20 x 2 mm y está hecho de Cu. Un chip de Si tiene un tamaño de 5 x 5 x 0,5 mm y las porciones del electrodo de unión son chapadas en forma ultrarrápida con Ni/Au.

20 La soldadura por reflujo se realizó aplicando un fundente apropiado a la porción central de un disipador de calor de Cu, poniendo una aleación de soldadura con un peso de aproximadamente de 10 mg sobre el fundente y montando un chip de Si sobre el mismo. Las condiciones de unión son las siguientes: se utilizó un dispositivo de soldadura al vacío con H<sub>2</sub> fabricado por Shinko Seiki Co., Ltd.; velocidad de elevación de la temperatura: 1,8 [°C/s]; temperatura máxima: 367[°C]; tiempo de fusión de la aleación de soldadura: 80 segundos; y velocidad de enfriamiento: 1,7[°C/s].

25 La Figura 8 (a) es una micrografía electrónica de una superficie en sección transversal de una interfaz de unión entre una aleación de soldadura en el Ejemplo 38 (Sn-37 % Sb-6 % Cu-15 % Ag-0,02 % Al) y un disipador de calor de Cu; la Figura 8 (b) es una micrografía electrónica de una superficie transversal de una interfaz de unión entre una aleación de soldadura en el Ejemplo 39 (Sn-37 % Sb-6 % Cu-15 % Ag-0,02 % Al-0,03 % Ni) y un disipador de calor de Cu; y la Figura 8(c) es una micrografía electrónica de una superficie en sección transversal de una interfaz de unión entre una aleación de soldadura en el Ejemplo 40 (Sn-37 % Sb-6 % Cu-15 % Ag-0,02 % Al-0,07 % Ni) y un disipador de calor de Cu.

35 Como se muestra en las Figuras 8(a) a 8(c), la unión de soldadura en el Ejemplo 38 forma una fase de compuesto intermetálico de CuSb con un espesor de aproximadamente 4 (µm) en la interfaz de unión con el disipador de calor de Cu. Las uniones de soldadura que utilizan las aleaciones de soldadura descritas en los Ejemplos 39 y 40 tienen espesores de IMC de 3,5 (µm) y 2,3 (µm), respectivamente. Las Figuras 8(a) a 8(c) revelan que la licuación de los ingredientes del electrodo de Cu de los disipadores de calor de Cu en las aleaciones de soldadura se suprime y las capas hechas de diversos compuestos intermetálicos como los formados en las interfaces de unión son delgadas.

40 A partir de lo anterior, la aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con la invención tiene una excelente resistencia a la tracción y elongación bajo un entorno de alta temperatura de 250°C. Por lo tanto, la aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con la invención puede reducir la tensión térmica aplicada a una unión de soldadura que puede ser causada por la deformación térmica debido a una diferencia en el coeficiente de expansión térmica entre cada sustrato y un componente unido. Como se ha descrito anteriormente, en la aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con la invención, la unión de soldadura no causa fractura con respecto a un elemento semiconductor capaz de operación a alta temperatura. La aleación de soldadura sin plomo a alta temperatura de acuerdo con la invención también se puede usar sin ningún problema incluso en un entorno tal que la aleación de soldadura pueda estar expuesta a alta temperatura.

50

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Una aleación de soldadura sin plomo de alta temperatura que tiene una composición de aleación que consiste en:  
35 a 40 % en peso de Sb, 8 a 25 % en peso de Ag, 5 a 10 % en peso de Cu así como al menos un elemento  
seleccionado del grupo que consistente en 0,003 a 1,0 % en peso de Al, 0,01 a 0,2 % en peso de Fe y 0,005 a 0,4 %  
en peso de Ti, opcionalmente al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste en P, Ge y Ga en una  
cantidad total de 0,002 a 0,1 % en peso, opcionalmente al menos un elemento seleccionado del grupo que consiste  
10 en Ni, Co y Mn en una cantidad total de 0,01 a 0,5 % en peso, opcionalmente al menos un elemento seleccionado  
del grupo que consiste en Zn y Bi en una cantidad total de 0,005 a 0,5 en peso, opcionalmente al menos un  
elemento seleccionado del grupo que consiste en Au, Ce, In, Mo, Nb, Pd, Pt, V, Ca, Mg y Zr en una cantidad total de  
0,0005 a 1 % en peso, opcionalmente impurezas inevitables, y un resto de Sn.
- 15 2. Una pasta de soldadura que comprende la aleación de soldadura sin plomo de alta temperatura según la  
reivindicación 1.
3. Una preforma de soldadura que comprende la aleación de soldadura sin plomo de alta temperatura según la  
reivindicación 1.
- 20 4. Una unión de soldadura formada usando la aleación de soldadura sin plomo de alta temperatura según la  
reivindicación 1.

FIG. 1

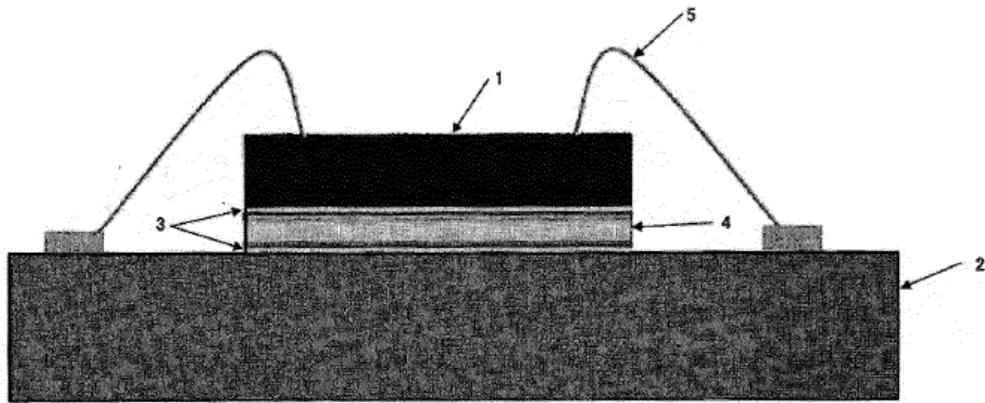


FIG. 2

Sn34Sb5Ag5Cu

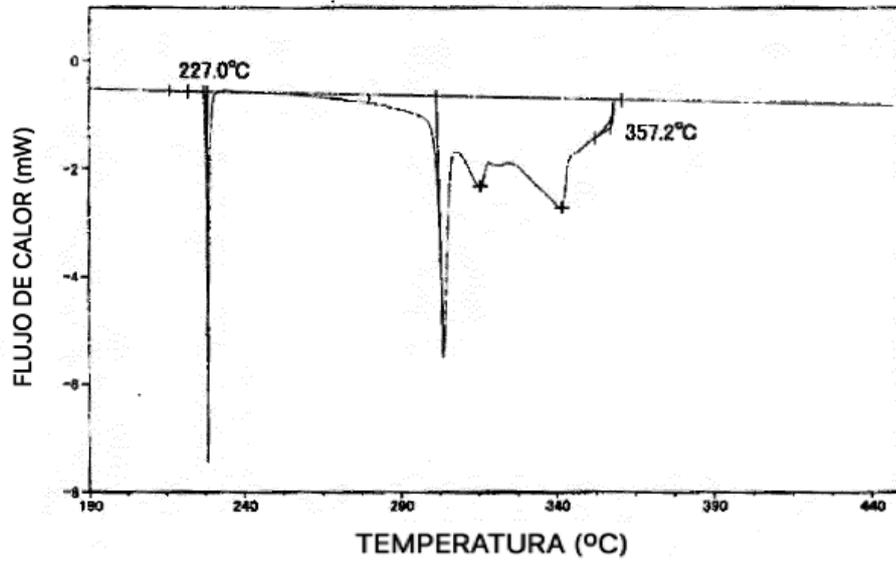


FIG. 3

Sn37Sb6Cu15Ag0.02Ti

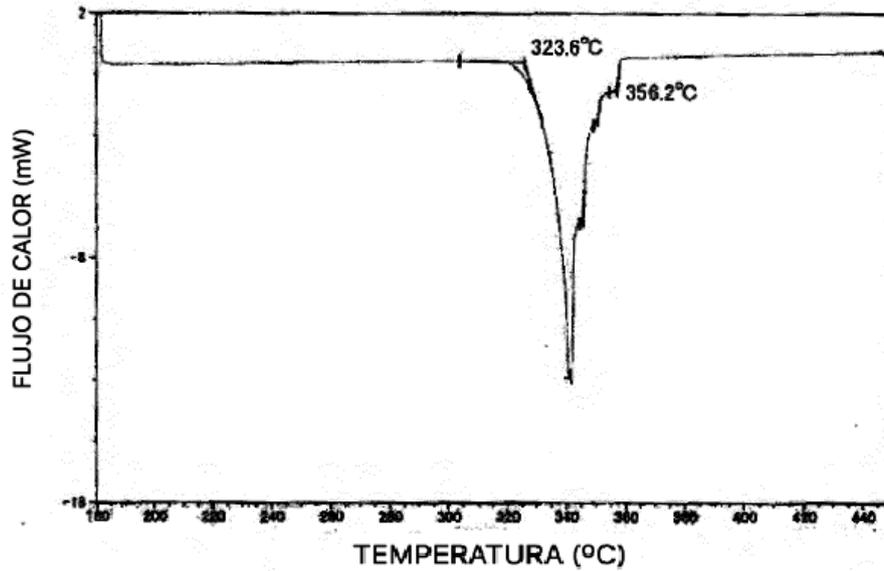


FIG. 4  
Sn34Sb5Ag5Cu

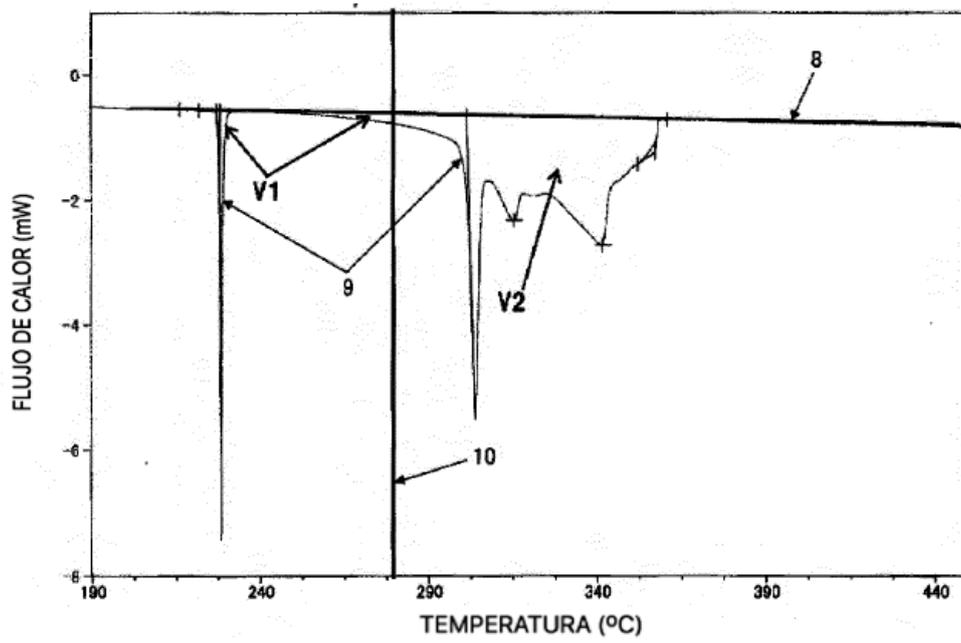
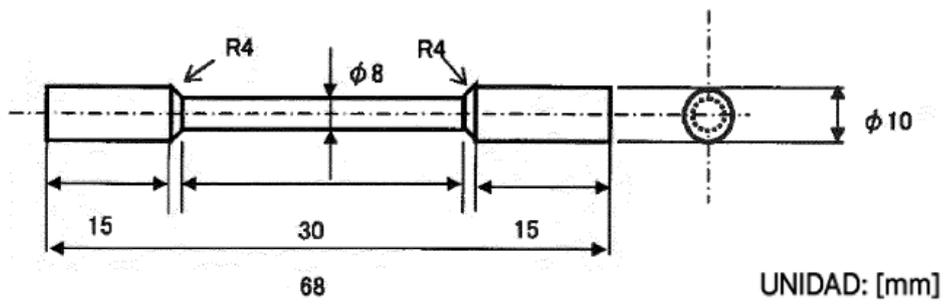


FIG. 5



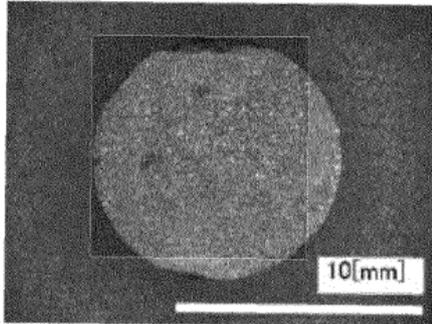


FIG. 6 (a)

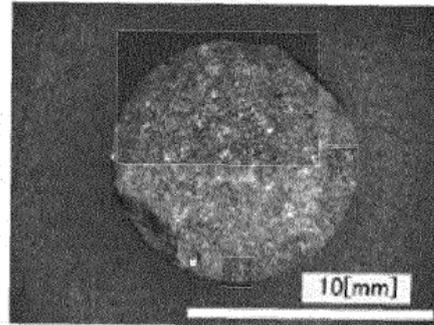


FIG. 6 (b)

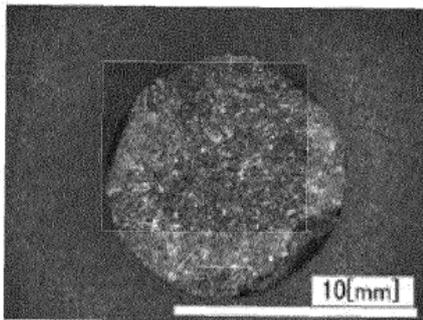


FIG. 6 (c)

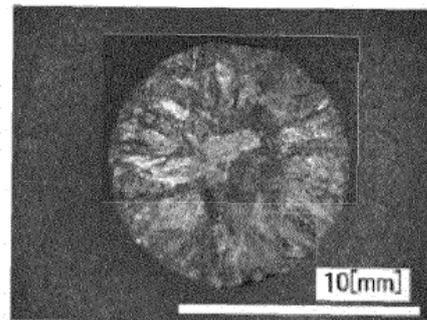


FIG. 6 (d)

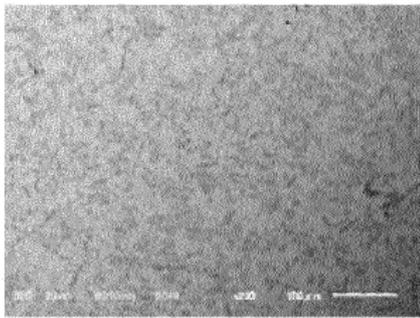


FIG. 7 (a)

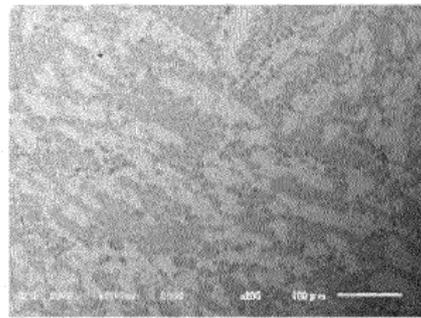


FIG. 7 (b)

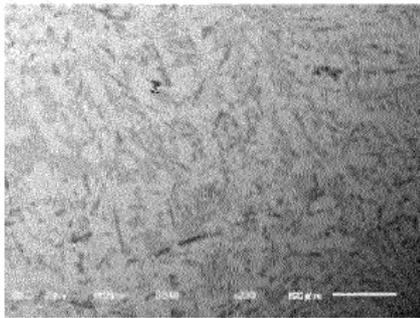


FIG. 7 (c)

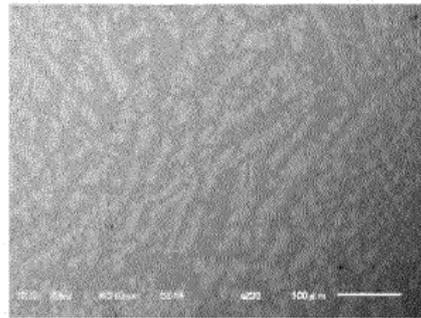


FIG. 7 (d)

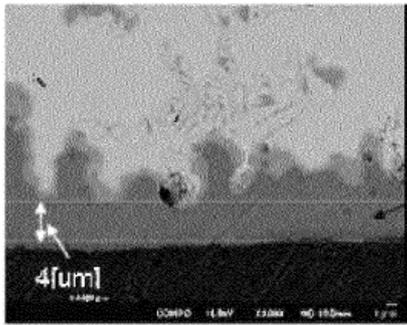


FIG. 8 (a)

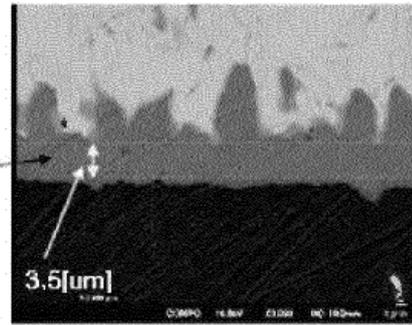


FIG. 8 (b)

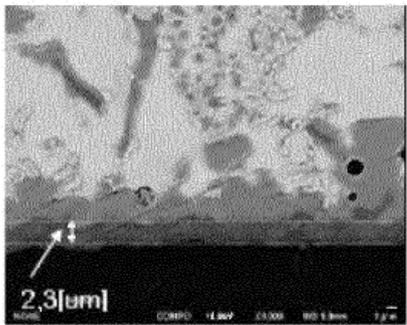


FIG. 8 (c)