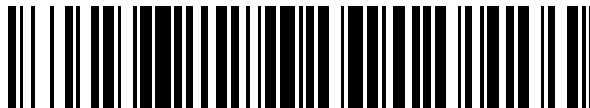


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 799 421**

51 Int. Cl.:

**B23K 35/26** (2006.01)  
**C22C 13/00** (2006.01)  
**C22C 13/02** (2006.01)  
**B23K 35/02** (2006.01)  
**C22C 1/02** (2006.01)  
**H05K 3/34** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.02.2012 PCT/JP2012/054774**  
87 Fecha y número de publicación internacional: **30.08.2012 WO12115268**  
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.02.2012 E 12749274 (2)**  
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.05.2020 EP 2679334**

54 Título: **Uso de una aleación de soldadura y una unión soldada de alta densidad de corriente**

30 Prioridad:

**25.02.2011 JP 2011057183**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**17.12.2020**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**ALBRECHT, HANS-JURGEN;  
WILKE, KLAUS;  
SUGANUMA KATSUAKI y  
UESHIMA MINORU**

74 Agente/Representante:

**GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo**

ES 2 799 421 T3

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

## DESCRIPCIÓN

Uso de una aleación de soldadura y una unión soldada de alta densidad de corriente

**Campo técnico**

5 La invención se refiere a una aleación de soldadura y una unión de soldadura que puede soportar una alta densidad de corriente sin ser dañada por la electromigración. La presente invención también se refiere a un elemento electrónico (dispositivo electrónico) y en particular a un dispositivo de alimentación eléctrica que usa dicha unión de soldadura.

**Técnica anterior**

10 La soldadura es el procedimiento más comúnmente usado para conectar eléctricamente dispositivos electrónicos a placas de circuitos y sustratos similares. A medida que los dispositivos electrónicos se hacen cada vez más pequeños, el tamaño de las uniones de soldadura para conectar dispositivos electrónicos a otros miembros se está volviendo más pequeño, y a medida que su forma se hace más pequeña, la densidad de corriente en cada unión se está volviendo extremadamente grande. En la actualidad, las uniones de soldadura normalmente usadas para los dispositivos electrónicos no tienen una densidad de corriente considerablemente alta. Sin embargo, se espera que en el futuro haya una demanda de uniones de soldadura que puedan ser usadas de manera fiable durante largos períodos de tiempo a densidades de corriente bastante altas, tal como 5 - 100 kA/cm<sup>2</sup>. Una densidad de corriente tan elevada se prevé en particular en los equipos eléctricos tal como dispositivos de alimentación eléctrica usados en vehículos eléctricos híbridos, inversores, y similares.

20 En el pasado, los dispositivos electrónicos de interés eran aquellos usados en circuitos digitales tal como sustratos para ordenadores. Sin embargo, recientemente, los aparatos eléctricos domésticos tal como electrodomésticos de cocina y acondicionadores de aire también se están informatizando, y los dispositivos electrónicos que portan una gran corriente se están volviendo más comunes en estos aparatos. En los últimos años, el control de los vehículos se está volviendo cada vez más electrónico, y actualmente hay vehículos tal como los híbridos y eléctricos con una gran porción constituida por piezas electrónicas.

25 Los dispositivos electrónicos que controlan estas grandes corrientes incluyen los denominados dispositivos de alimentación eléctrica (dispositivos semiconductores para control de la energía) que manejan 1 amperio o más de corriente. Estos dispositivos incluyen no sólo los semiconductores tal como transistores de alimentación eléctrica y diodos de alimentación eléctrica, sino también inversores, módulos de alimentación eléctrica, y similares que han sido convertidos en componentes.

30 Debido a que un dispositivo de alimentación eléctrica maneja un alto voltaje y una alta corriente, es generada una gran cantidad de calor en su interior. Por lo tanto, un disipador de calor a base de Cu, un sustrato aislante, y un dispositivo de silicio a menudo están conectados entre sí con soldadura para proporcionar la disipación de calor. Incluso cuando están conectados entre sí por medio de un cable, la soldadura es usada entre las tierras para proporcionar la disipación de calor. Debido a la gran corriente que fluye en estas uniones de soldadura, tienen una alta densidad de corriente, y puede ocurrir electromigración en la que el Cu en las tierras de Cu o Ni en las tierras de Ni migran hacia la soldadura, y causar problemas.

35 La electromigración es un fenómeno en el que el flujo de electrones producido cuando fluye una gran corriente hace que los átomos metálicos fluyan en la dirección del flujo de electrones. La electromigración a menudo produce vacíos y grietas en el lado del cátodo de una unión de soldadura, y la extrusión de la soldadura y el crecimiento de compuestos intermetálicos a menudo ocurren en el lado del ánodo de la misma. Estos cambios en la microestructura de una unión de soldadura y el aumento de temperatura resultante a menudo producen tal daños como fractura de la unión de soldadura, y tales daños pueden hacer que un dispositivo electrónico conectado a la unión de soldadura funcione parcial o totalmente mal.

45 Dado que los dispositivos de alimentación eléctrica tienen una alta densidad de corriente y una gran cantidad de calor es generada por los dispositivos de alimentación eléctrica, en las soldaduras convencionales para los dispositivos de alimentación eléctrica han sido usadas soldaduras de alta temperatura tal como Pb-5Sn o Pb-10Sn (% en masa) que tienen con una temperatura de fusión de aproximadamente 300°C. Debido a preocupaciones ambientales, se están estudiando las soldaduras sin plomo para su uso en dispositivos de alimentación eléctrica, pero aún no ha sido determinada una composición de soldadura sin plomo que sea óptima para los dispositivos de alimentación eléctrica.

50 Las soldaduras de Sn-5Sb y Sn-10Sb mencionadas con anterioridad son actualmente bien conocidas como soldaduras sin plomo para dispositivos de alimentación eléctrica. Además, los inventores de la presente desvelaron una pasta de soldadura que contiene una potencia de soldadura basada en Bi que tiene una temperatura de solidificación de al menos 260°C y un adhesivo termoendurecible (Documento de Patente 1).

55 Las aleaciones de soldadura que tienen una composición de Sn-Ag-Bi-In que han sido desveladas incluyen una "lead-free solder alloy characterized by consisting essentially of at least 0.8 weight % to at most 5 weight % of Ag, at least 0.1 weight % of each of In and Bi with the total of both being at most 17 weight %, and a remainder of Sn and unavoidable impurities" (Documento de Patente 2), y "a solder material having Sn and Ag as a basic composition with

an Ag content of 0.1 - 20 weight %, characterized by containing at least one of 0.1 - 25 weight % of Bi and 0.1 - 20 weight % of In, and a remainder of Sn" (Documento de Patente 3) y similares.

El documento US 2003/0015575 A1 desvela un material de soldadura sin plomo que es usado como material de conexión en un proceso de montaje de un componente electrónico.

- 5 El documento EP 2177305 A1 describe una aleación de soldadura sin plomo que puede ser usada para soldar circuitos electrónicos montados en vehículos.

Los documentos WO00/18536 A1, EP 0826458 A1, EP 1083020 A2, US 5733501, EP 0710521 A1 y US 2001/0050181 A1 describen otros materiales de soldadura.

#### **Documentos de la técnica anterior**

10 **Documentos de patente**

Documento de patente 1: JP 2005-72173 A

Documento de patente 2: JP 9-70687 A

Documento de patente 3: JP 8-206874 A

#### **Sumario de la invención**

15 **Problema a ser resuelto por la invención**

A medida que los dispositivos electrónicos se hacen cada vez más pequeños, las uniones de soldadura que conectan los componentes dentro de los dispositivos electrónicos y las uniones de soldadura que conectan los dispositivos electrónicos a otros miembros se están haciendo igualmente más pequeñas, y a medida que su forma se hace más pequeña, la densidad de corriente en cada unión se está haciendo extremadamente grande. Además, los dispositivos electrónicos que están conectados a los electrodos de las placas de circuitos impresos de los equipos electrónicos se están volviendo más pequeños, su resistencia eléctrica se está volviendo más grande, y la densidad de corriente en cada unión se está volviendo extremadamente alta. La electromigración se desarrolla en tales uniones de soldadura que tienen una alta densidad de corriente. La electromigración es un fenómeno en el que los átomos de metal migran, y provoca el desarrollo de vacíos y grietas en el lado del cátodo de una unión y la extrusión de la soldadura y el crecimiento de compuestos intermetálicos en el lado del ánodo, acortando así la vida útil de los dispositivos y equipos electrónicos.

A medida que los dispositivos electrónicos se hacen más pequeños, las uniones que conectan los dispositivos electrónicos y las placas de circuitos impresos también se hacen más pequeñas. Dado que la corriente eléctrica fluye en estas uniones diminutas, la densidad de corriente es grande, incluso con uniones de soldadura para la conexión de placas de circuitos impresos con patrones finos, y la aparición de la electromigración se ha convertido en un problema.

El problema a ser resuelto por la presente invención es desarrollar una aleación de soldadura que no desarrolle electromigración incluso cuando conecte piezas electrónicas tal como diodos de alimentación eléctrica con una densidad de corriente extremadamente alta o dispositivos electrónicos pequeños con un patrón fino a las placas de circuitos impresos.

#### **Medios para resolver el problema**

La invención está definida en las reivindicaciones.

Los inventores de la presente invención han descubierto que la causa de la aparición de electromigración es que debido a la corriente que es generada por el funcionamiento de los dispositivos electrónicos o las placas de circuitos impresos de los equipos electrónicos, los electrones fluyen en dirección opuesta a la corriente y el metal de una unión se mueve junto con el movimiento de los electrones, provocando así vacíos y grietas en el lado del cátodo de la unión. También han descubierto que la electromigración es aliviada por el control del movimiento brusco de los átomos de metal en las uniones de los tableros de circuitos impresos de los equipos electrónicos, y han completado la presente invención.

45 La presente invención es una aleación de soldadura adecuada para el montaje de piezas electrónicas tal como diodos de alimentación eléctrica con una densidad de corriente extremadamente alta o dispositivos electrónicos pequeños con un patrón fino. La aleación de soldadura consiste esencialmente en 2 - 4 % en masa de Ag, 2-4 % en masa de Bi, 2-5 % en masa de In, y un resto de Sn. También es una unión de soldadura que conecta un dispositivo electrónico pequeño a una placa de circuito usando esta aleación de soldadura.

50 Una aleación de soldadura de acuerdo con la presente invención puede contener además al menos uno de 0,01 - 0,3 % en masa de Ni, 0,01 - 0,3 % en masa de Co, y 0,01 - 0,1 % en masa de Fe.

En las explicaciones de esta descripción que prescriben una composición de aleación de soldadura, % por sí mismo significa % en masa.

5 Un dispositivo electrónico en el que es usada una aleación de soldadura y una unión de soldadura de acuerdo con la presente invención y una unión de soldadura que conecta dicho dispositivo electrónico a una placa de circuito impreso son eficaces para evitar la electromigración.

10 La electromigración es producida debido a que un metal en tierras tal como Cu que se mueve y difunde en la aleación de soldadura de una unión de soldadura junto con el movimiento de electrones. Si puede ser controlado el movimiento de un metal en tierras tal como Cu con una carga eléctrica en una aleación de soldadura, puede ser evitado el movimiento de Cu en las tierras o de un compuesto intermetálico formado en la superficie de unión entre las tierras de Cu y la aleación de soldadura en la aleación de soldadura, y no se desarrollan vacíos y grietas incluso con una unión con una alta densidad de corriente.

Pueden ser concebidos dos procedimientos por los cuales la aleación de soldadura de acuerdo con la presente invención controla el movimiento de los átomos de metal.

15 Un primer procedimiento es aquel en el que la difusión de átomos de Cu en el interior de una aleación de soldadura que tiene una matriz de Sn es suprimida para evitar el flujo abrupto de corriente. Este procedimiento es altamente eficaz para evitar la electromigración propiamente dicha.

20 Específicamente, en este procedimiento, un metal que imparte tensiones a la red metálica de la aleación de soldadura es añadido para hacer más difícil el movimiento de los átomos de metal que se mueven (Cu y Ni). En la presente invención, al añadir Bi o Sb, la red metálica es distorsionada para impartir una tensión y el flujo abrupto de corriente puede ser suprimido. En este procedimiento, debido a que Bi tiene un radio atómico mayor que Sb, puede impartir una mayor tensión a la red. Por lo tanto, Bi es usado en la presente invención.

25 La Figura 1 muestra un modelo de una red metálica que compara el caso en el que Bi no está presente como en una aleación convencional de SnAgCu con el caso en el que Bi es añadido como en la presente invención. La Figura 1(a) muestra un ejemplo convencional. Puede ser observado que los átomos de Cu pasan fácilmente a través de una red de Sn. La Figura 1(b) muestra que cuando Bi es añadido como en la presente invención, los átomos Bi distorsionan la red, y se hace más difícil para los átomos de Cu pasar a través de la red de Sn. Para simplificar la explicación, los átomos In y otros son omitidos en esta figura.

30 También ha sido descubierto que cuanto más uniforme es la orientación del cristal, más fácilmente es producida la difusión de los átomos de Cu en una aleación de soldadura. Si la orientación del cristal de la aleación de soldadura se vuelve aleatoria, ya no ocurre la difusión abrupta de Cu. En particular, la difusión es extrema en la dirección del eje C de la orientación del cristal. Por lo tanto, si la dirección de la corriente se hace de manera que no coincida con la dirección del eje c, la difusión de Cu dentro de la aleación de soldadura con una matriz de Sn es suprimida y no es producida una difusión abrupta de Cu. En la presente invención, el In (indio) es añadido como un metal que puede suprimir el alineamiento de la orientación del cristal, a consecuencia del cual es suprimida la electromigración.

35 Un segundo procedimiento es aquel en el que es formada una capa de reacción de un compuesto o compuestos intermetálicos en la interfase entre un metal tal como Cu que es usada para formar tierras y la aleación de soldadura. En la presente invención, son usados In, Ni y Co. La corriente no fluye fácilmente en la periferia de una capa compuesta intermetálica formada por una reacción de Cu usada en tierras e In, Ni, o Co en una aleación de soldadura. Sin embargo, sólo la periferia de una capa de reacción de compuestos intermetálicos formada por este procedimiento es un área que suprime el flujo de corriente, por lo que el efecto de la supresión de la corriente es local. Por consiguiente, es menos eficaz que el primer procedimiento, que es un procedimiento que produce un efecto global y dificulta el flujo de corriente dentro de una aleación de soldadura. En la presente invención, son usados ambos de un procedimiento que tiene un efecto global y hace difícil que Cu sea difundido en una aleación de soldadura y un procedimiento que tiene un efecto local y forma una capa de reacción de compuestos intermetálicos en la interfaz entre un metal como Cu usado en tierras y la aleación de soldadura, por lo que es posible obtener una unión de soldadura en que la ocurrencia de electromigración sea minimizada.

50 Con el fin de controlar el movimiento de los átomos metálicos y evitar la electromigración, son añadidos In y Bi a una soldadura de Sn-Ag en una aleación de soldadura de acuerdo con la presente invención, impartiendo así tensiones a la red metálica de la aleación de soldadura y controlando su orientación de cristal. Una aleación de soldadura de acuerdo con la presente invención tiene una composición de soldadura Sn-Ag-In-Bi como la descrita en el Documento de Patente 2 o el Documento de Patente 3, y la composición de soldadura está en el intervalo de una soldadura de baja temperatura.

55 Los dispositivos electrónicos o los sustratos con los que la electromigración es un problema son dispositivos electrónicos tal como los dispositivos de alimentación eléctrica en los que fluye una gran corriente, dispositivos electrónicos como las CPU que tienen patrones finos, o sustratos sobre los que son montados dichos dispositivos. Todos estos tienen la característica común de que tienen una alta densidad de corriente y, por lo tanto, generan calor debido a una alta corriente.

En la presente invención, una composición de soldadura que controla el movimiento de los átomos metálicos e impide la electromigración es casualmente una composición de soldadura que cae en el intervalo denominado soldadura a baja temperatura. Los dispositivos electrónicos y los sustratos que tienen el problema de la electromigración tienen problemas con respecto a la generación de calor debido a las grandes corrientes. Por lo tanto, las aleaciones de soldadura de alta temperatura que tienen un punto de fusión alto, denominadas soldaduras de alta temperatura, han sido usadas con tales dispositivos y sustratos. Si una composición de soldadura como la descrita en el Documento de Patente 2 o en el Documento de Patente 3 en la que es añadido In o Bi simplemente para bajar la temperatura de fusión de la soldadura es usada con dispositivos electrónicos o sustratos que tienen el problema de la electromigración, debido a una alta densidad de corriente de una unión de soldadura con flujo de una gran corriente, las uniones de soldadura terminan fundiéndose localmente, y la electromigración termina aumentando porque el movimiento de los átomos metálicos debido a la electromigración ya no puede ser controlado.

Una aleación de soldadura para dispositivos de alimentación eléctrica de acuerdo con la presente invención es adecuada para transistores de alimentación eléctrica tal como IGBT (transistores bipolares de puerta aislada) o MOSFET (transistores de efecto de campo MOS) usados en acondicionadores de aire, cocinas eléctricas de arroz, máquinas herramientas, y similares.

La Figura 2 muestra esquemáticamente un IGBT. En la figura, es proporcionado un electrodo de unión de matriz en un disipador de calor basado en cobre 25, y una capa de soldadura 27 encima del electrodo. La capa de soldadura 27 está conectada a un chip de IC 22 a través de una capa de revestimiento 24 que es formada en el chip de IC 22 que está montado en la capa de soldadura 27. Un clip de Cu 21 se extiende desde un electrodo formado sobre el chip CI 22 hasta un marco de plomo de Cu 20. El chip de IC 22 está conectado al clip de Cu 21 y el clip de Cu 21 está conectado al marco de plomo 20 por medio de uniones de soldadura 26.

Particularmente cuando una aleación de soldadura de acuerdo con la presente invención es usada para una unión que conecta el emisor y el colector de un dispositivo de alimentación eléctrica, es posible mantener la calidad durante largos períodos, lo que es deseable, incluso si hay una alta densidad de corriente entre los terminales.

Una aleación de soldadura para dispositivos de alimentación eléctrica de acuerdo con la presente invención puede ser usada no sólo dentro de dispositivos de alimentación eléctrica sino que es usada para uniones que tienen una gran corriente entre los dispositivos y una placa de circuito impreso tal como las uniones entre un dispositivo de alimentación eléctrica y una placa de circuito impreso o las uniones entre una CPU y una placa de circuito impreso que tiene una alta densidad de corriente, impidiendo así la electromigración desarrollada en tierras hechas a partir de Cu, Ni o similares. Cuando es conectado un dispositivo electrónico de este tipo a una placa de circuito impreso, puede ser usado el mismo perfil de reflujo que para la aleación de Sn-3,0Ag-0,5Cu normalmente usada.

A saber, una aleación de soldadura para dispositivos de alimentación eléctrica de acuerdo con la presente invención puede ser usada para dispositivos de alimentación eléctrica que tengan uniones de soldadura a través de las cuales fluya una corriente con una densidad de corriente de 5 - 100 kA/cm<sup>2</sup>. También puede ser usada para el montaje de dispositivos de alimentación eléctrica en placas de circuitos impresos con uniones a través de las cuales fluye una corriente con una densidad de corriente de 5 - 100 kA/cm<sup>2</sup>.

Una aleación de soldadura para dispositivos de alimentación eléctrica de acuerdo con la presente invención puede garantizar una excelente resistencia al calor hasta condiciones de temperatura de aproximadamente 150°C dentro de un dispositivo electrónico cuando el dispositivo es montado con la aleación de soldadura. Sin embargo, dado que un dispositivo de alimentación eléctrica permite que fluya una gran corriente de al menos 1 amperio, si la temperatura de solidificación de la aleación de soldadura es demasiado baja, la unión de soldadura se vuelve medio fundida, y el movimiento de los átomos de metal ya no puede ser controlado.

#### **Contenido de bi (bismuto):**

Debido a la segregación, una fase de Bi puro cristaliza sobre un filete de soldadura entero. Por lo tanto, si la densidad de corriente localmente se vuelve alta en una unión de soldadura, dado que la propia soldadura genera calor Joule, la temperatura de la unión de soldadura supera instantáneamente los 150°C y la unión es fundida parcialmente. En una prueba habitual de ciclo de calor o en una prueba convencional de ciclo de alimentación eléctrica en el que el paso es amplio y el flujo de corriente es pequeño, incluso si es generado calor de Joule, no hay grandes problemas porque debido a la difusión del calor, la temperatura promedio aumenta en lugar de que la temperatura de una porción de un filete de soldadura aumente localmente. Además, el aumento de la temperatura es producido lentamente, por lo que la fase de Bi puro es redisuelta en la matriz de Sn, permitiendo así que la fase de bajo punto de fusión desaparezca, y no hay preocupación de que se vuelva a fundir debido a la segregación de Bi.

Sin embargo, con una unión de soldadura de acuerdo con la presente invención que tiene una alta densidad de corriente, si el contenido de Bi excede 4%, el Bi es segregado en todo el filete de soldadura, y si la densidad de corriente se vuelve alta en una porción en la que el Bi ha sido segregado, dado que el propio Bi tiene aproximadamente al menos 5 veces la resistencia eléctrica de Sn, la generación de calor se vuelve violenta. Además, la conductividad térmica de Bi es un valor extremadamente bajo de aproximadamente 1/7 del valor de Sn y 1/40 del valor de Cu, por lo que el calor generado no es disipado fácilmente y el calentamiento local es acelerado. En las porciones refundidas, la

difusión de Cu se hace cada vez más violenta, de modo que la electromigración progresa localmente y la vida útil se acorta hasta que es producido un circuito abierto. A saber, incluso con Bi, que es eficaz para impartir tensiones a la red cristalina de Sn y suprimir la difusión de Cu, la fase de Bi puro cristalizada en la matriz de Sn ya no tiene el efecto de suprimir la difusión de Cu en la matriz de Sn, y si está presente en porciones de alta densidad de corriente, promueve la generación de calor e interfiere en la disipación del calor, por lo que disminuye en gran medida la resistencia a la electromigración. Por lo tanto, el contenido de Bi es realizado a un valor máximo de 4 %, de manera que la segregación de una fase de Bi puro en el momento de la solidificación de un filete de soldadura sea minimizada.

**Contenido de In (indio):**

La adición de In causa que una capa de reacción con cableado de Cu cambie de Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub> a Cu<sub>6</sub>(SnIn)<sub>5</sub>. Además, In es disuelto en la matriz de Sn para formar una solución sólida, impartiendo así tensiones a la red cristalina y suprimiendo la difusión de Cu, por lo que mejora la resistencia a la electromigración. Por otra parte, a medida que aumenta la cantidad añadida de In, la temperatura de solidificación de la aleación de soldadura disminuye, y particularmente a una temperatura elevada como la de 125°C, no se puede esperar un endurecimiento (fortalecimiento) de la solución sólida debido a In. A saber, los átomos de In ya no imparten tensiones a la red cristalina de la matriz de Sn, y la difusión mutua en la matriz de Sn es acelerada por la disminución del punto de fusión, con lo que disminuye la resistencia a la electromigración. Además, a una temperatura elevada de 125°C, una porción de la fase β-Sn es transformada en la fase γ-SnIn, lo que hace que la difusión de los átomos de Sn e In se vuelva violenta y forme un gran número de vacantes atómicas. Esto facilita la difusión de Cu a través de las vacantes atómicas, por lo que debe evitarse en la medida de lo posible la transformación a la fase γ-SnIn a alta temperatura. Por lo tanto, la cantidad añadida de In es realizada como máximo en 5%. Si es posible, es como máximo 4%. Sin embargo, si la cantidad añadida de In es realizada en una cantidad menor que 2%, la concentración de In en una capa de reacción con electrodos de Cu disminuye, y la ocurrencia de electromigración aumenta.

En general, una disminución de la temperatura del sólido de una soldadura activa la difusión de átomos y la formación de vacantes atómicas en la soldadura a alta temperatura. Por lo tanto, para suprimir la electromigración, que requiere la supresión de la difusión de Cu, es deseable una soldadura con una alta temperatura del sólido. Sin embargo, ha sido comprobado que el endurecimiento de la solución sólida debido a la adición de Bi se mantiene incluso a 200°C, lo que permite suprimir el movimiento de transición en el Sn y la formación de vacantes atómicas. Además, el problema de la electromigración debido a la aceleración de la difusión de Cu en β-Sn causada por la disminución del punto de fusión es suprimida ajustando la cantidad añadida de In para suprimir la difusión de Cu en una capa de reacción con electrodos. De este modo, ha sido descubierta la cantidad añadida de In para minimizar la disminución de la resistencia a la electromigración debido a la disminución del punto de fusión.

**Efectos de la invención**

Incluso si una aleación de soldadura para un dispositivo de alimentación eléctrica de acuerdo con la presente invención tiene una composición de soldadura a baja temperatura que contiene Bi e In, tiene una resistencia al calor de aproximadamente 150°C, incluso si es usada para las uniones para la conexión dentro de un dispositivo de alimentación eléctrica. Además, no es dañada por electromigración incluso a una alta densidad de corriente de 5 - 100 kA/cm<sup>2</sup>. Por consiguiente, un dispositivo de alimentación eléctrica hecho a partir de una aleación de soldadura de acuerdo con la presente invención puede funcionar de forma estable durante largos períodos. Además, si una aleación de soldadura de acuerdo con la presente invención es usada para uniones para la conexión de dispositivos de alimentación eléctrica a placas de circuito impreso mediante montaje en placas de circuito impreso o uniones de conexión para dispositivos tal como CPU con cableado fino a placas de circuito impreso, la electromigración no se desarrolla ni siquiera con una unión que genere una alta densidad de corriente de 5 - 100 kA/cm<sup>2</sup>, por lo que es posible obtener una calidad estable durante largos períodos.

**Breve explicación de los dibujos**

Las Figuras 1(a) y 1(b) muestran un modelo de una red de Sn de un ejemplo convencional y un ejemplo de la presente invención, respectivamente.

La Figura 2 es una vista esquemática de un IGBT (transistor bipolar de puerta aislada).

La Figura 3 es una vista explicativa que muestra el estado de la conexión por soldadura en un ejemplo de la presente invención.

La Figura 4 es una fotomicrografía de electrones que muestra el estado de una tierra de cobre antes de conducir la corriente en un ejemplo de la presente invención.

La Figura 5 es una fotomicrografía de electrones que muestra el estado de una tierra de cobre que tuvo un aumento de resistencia de 5 % tras conducir 20 amperios a 125°C en un ejemplo de la presente invención.

La Figura 6 es una fotomicrografía de electrones que muestra el estado de una tierra de cobre que tuvo un aumento de resistencia de 10 % tras conducir 20 amperios a 125°C en un ejemplo de la presente invención.

**Modos de llevar a cabo la invención**

La presente invención es el uso de una aleación que consiste esencialmente en 2 - 4 % en masa de Ag, 2-4 % en masa de Bi, 2 - 5 % en masa de In, y un resto de Sn. El contenido de Ag puede ser como máximo de 3,2 %. El contenido de In puede ser como máximo de 4,5%.

- 5 La aleación descrita con anterioridad puede preferentemente contener además al menos uno de 0,05 - 0,2 % en masa de Ni, 0,05 - 0,2 % en masa de Co, y 0,02 - 0,1 % en masa de Fe.

Una unión de soldadura de acuerdo con la presente invención puede ser formada a partir de una aleación que consiste esencialmente en 2-4 % en masa de Ag, 2-4 % en masa de Bi, 2-5 % en masa de In, y un resto de Sn.

- 10 Una aleación que constituye la unión descrita con anterioridad puede preferentemente contener además al menos uno de 0,05 - 0,2 % en masa de Ni, 0,05 - 0,2 % en masa de Co, y 0,02 - 0,1 % en masa de Fe.

Una unión de soldadura de acuerdo con la presente invención no está limitada al uso con dispositivos electrónicos específicos, sino que es particularmente eficaz cuando es usada con dispositivos electrónicos que consumen una gran cantidad de alimentación eléctrica eléctrica, tal como transistores de alimentación eléctrica, dado que puede evitar la electromigración.

- 15 Una unión de soldadura de acuerdo con la presente invención puede ser formada de varias formas. Por ejemplo, en el interior de un dispositivo de alimentación eléctrica, se pueden concebir procedimientos tal como unión por alambre o unión por clip de giro mediante soldadura de reflujo usando preformas, bolas de soldadura o pasta de soldadura.

- 20 Una unión de soldadura para montaje de un dispositivo de alimentación eléctrica en un circuito impreso o montaje de una CPU en un circuito impreso puede ser formada conectando un plomo o un electrodo de un dispositivo electrónico mediante soldadura de flujo. Alternativamente puede ser formada por soldadura de reflujo de pasta de soldadura, bolas de soldadura, o varias preformas. Además, una unión de soldadura de acuerdo con la presente invención puede ser formada por soldadura manual. El procedimiento de soldadura está determinado en función de si el dispositivo de alimentación eléctrica es un tipo discreto o de un tipo montado en superficie.

- 25 Las razones de los límites en el intervalo de los componentes de la composición de la aleación descritas con anterioridad son las siguientes.

- 30 Mejora de la electromigración en una aleación de Sn-Ag-Bi-In: el contenido de Ag es determinado desde el punto de vista de la temperatura de fusión y la resistencia a la fatiga térmica de la soldadura. Si el contenido de Ag es menor que 2%, las propiedades de fatiga térmica de la soldadura empeoran. Por otro lado, si es mayor que 4%, su temperatura de líquido aumenta, por lo que el número de vacíos aumenta y la calidad de una unión de la soldadura disminuye. Por consiguiente, el contenido de Ag en la presente invención es al menos de 2 % en masa y como máximo 4 % en masa.

- 35 En particular, cuando son formadas protuberancias usando bolas de soldadura, el compuesto grueso de  $Ag_3Sn$  de aproximadamente el mismo tamaño que el diámetro de las bolas de soldadura es cristalizado en el momento de la soldadura, y en el momento del montaje posterior en una placa madre o en el montaje de un flip chip, dicho compuesto grueso es cristalizado y convertido en la causa de los defectos de soldadura. A medida que la cantidad añadida de Ag en la presente invención aumenta, la cristalización de  $Ag_3Sn$  grueso gradualmente se vuelve marcada. Para evitar este problema, es mejor un contenido de Ag de como máximo 3,5%, y para disminuir la cristalización de los cristales primarios y mejorar la fiabilidad de una unión de soldadura, es preferente un contenido de Ag de como mínimo 2,5%. Por lo tanto, un contenido de Ag más preferente es de al menos 2,5 % en masa y como máximo 3,5 % en masa.

- 40 Bi forma una solución sólida con una matriz de Sn y suprime la difusión de Cu en la matriz de Sn. Bi forma una solución sólida en la matriz de Sn, e imparte tensiones a la red y suprime la difusión de los átomos de Cu en la matriz.

- 45 La electromigración es desarrollada fácilmente a una alta temperatura de aproximadamente 150°C. Por consiguiente, es importante mantener un estado de endurecimiento de la solución sólida producido debido a la adición de Bi a una temperatura tan alta. En general, un estado de endurecimiento por solución sólida desaparece si una unión de soldadura es calentada a una alta temperatura de 150°C, y el límite de solubilidad de Bi en Sn es convertido en al menos 10 % a 150°C. Por lo tanto, cuando es añadido Bi, se considera que la difusión de los átomos de Bi en una matriz de Sn se vuelve violenta y las tensiones de la red de Sn son aliviadas. Ha sido descubierto que cuando Bi es añadido en una cantidad de al menos 2 %, el endurecimiento de la solución sólida es mantenido incluso a una temperatura elevada de al menos 150°C, y la presencia de tensiones en la red de Sn causadas por el endurecimiento continuo de la solución sólida suprime la difusión de los átomos de Cu. La resistencia a la tracción a 160°C es de 19 MPa y 28 MPa para  $SnAg0.5Cu$  y  $Sn3Ag0.8Cu3Bi$  respectivamente, y a 200°C es de 13 MPa y 20 MPa, respectivamente. Si el contenido de Bi es menor que 2 % en masa, no es exhibido el endurecimiento por solución sólida, y no aparecen tensiones en la red de Sn. Sin embargo, si es añadida una cantidad excesiva de Bi, además de la disminución de la temperatura del sólido descrita anteriormente, es cristalizada una fase de bajo punto de fusión (fase de baja temperatura) que es fundida a 139°C debido a la segregación en el momento de la soldadura. Dado que una unión de soldadura es calentada a menudo a una temperatura elevada de 150°C, no puede evitarse la formación

de una fase líquida en ese momento debido a la presencia de esa fase de baja temperatura en una unión de soldadura. Como resultado, debido al aumento de la carga de tensión causada por la fatiga térmica, repentinamente son desarrolladas grietas. Por lo tanto, la cantidad añadida de Bi es realizada en una cantidad máxima de 4 %. La cantidad añadida de Bi en la presente invención es de al menos 2 % en masa y como máximo 4 % en masa.

5 Como un ejemplo, en el caso de una aleación de soldadura de Sn3.0Ag0.8Cu5Bi, Bi es cristalizado en la totalidad del filete de una unión de soldadura debido a la segregación. Cuando es añadido 4% de Bi, este es cristalizado con un tamaño de aproximadamente 10  $\mu\text{m}$  y es dispersado sobre la totalidad del filete, pero el área en el que es concentrado el Bi no pasa a través de todo el filete. Sin embargo, si Bi es añadido en una cantidad de al menos 7 %, el área en el que es segregado Bi pasa a través del filete. En este caso, si una unión de soldadura es expuesta rápidamente a una  
10 alta temperatura de 150°C, una porción de la fase líquida pasa a través del filete, de modo que aunque sea suprimida la difusión de los átomos de Cu y pueda ser evitada la electromigración, la resistencia a la fatiga térmica es reducida notablemente. Por lo tanto, un contenido tan alto de Bi no es adecuado para una unión de soldadura que requiere una alta fiabilidad incluso bajo altas corrientes.

15 La cantidad añadida de Bi está limitada a un máximo de 4 % y preferentemente a un máximo de 3 %. Si el contenido de Bi es de 3 % o menor, es determinada la segregación de Bi en varias ubicaciones de un filete, e incluso si las porciones en las que es segregado Bi son refundidas a 139°C, puede ser evitada la progresión de las grietas. La tendencia del Bi a la segregación no cambia por la adición de In.

20 De la misma manera que Bi, el In (indio) forma una solución sólida con Sn e imparte tensiones de red a la matriz de Sn. El endurecimiento de la solución sólida debido a la adición de In es mantenido incluso a una alta temperatura de 160° C. Aunque su efecto es menor que el de Bi, In también puede suprimir la difusión de Cu en una matriz de Sn.

25 Cuando es añadido entre 2-5 % de In a una aleación de Sn, los cristales primarios son convertidos en  $\gamma\text{-SnIn}$  en lugar de  $\beta\text{-Sn}$ , y la fase  $\gamma\text{-SnIn}$  cristalizada es convertida en una fase  $\beta\text{-Sn}$  debido a la transformación de la fase sólida a 100° C o menos. Con una fase  $\beta\text{-Sn}$  que sufre una transformación de fase sólida de esta manera, los granos de cristal son refinados para que su tamaño llegue a ser como máximo de 50  $\mu\text{m}$  y la orientación del cristal se vuelve aleatoria. Con una fase  $\beta\text{-Sn}$ , la velocidad de difusión de los átomos de Cu en la dirección del eje c se vuelve rápida. Si los granos de cristal en una soldadura son grandes, hay una alta probabilidad de que la dirección de la corriente coincida con la dirección del eje c. Además, debido a que los granos de cristal son grandes y la probabilidad descrita con anterioridad es alta, la distancia a la que los átomos de Cu pueden ser difundidos se hace larga, y la cantidad de Cu difundida en la soldadura de los electrodos de Cu aumenta. Como resultado, los circuitos abiertos en los electrodos  
30 de Cu debido a la electromigración son producidos con extrema facilidad en un corto período de tiempo. Sin embargo, cuando los granos de cristal son pequeños, incluso si la dirección de la corriente coincide con el eje c de algunos de los granos de cristal, los propios granos de cristal son pequeños, y la cantidad total de Cu que se mueve desde los electrodos de Cu hacia la soldadura es suprimida. Como resultado, la vida útil hasta que las vías de conducción se rompen por electromigración se hace larga.

35 Si la cantidad añadida de In es menor que 2%, casi no hay cristalización de la fase  $\gamma\text{-SnIn}$  como cristales primarios. Desde la etapa inicial de solidificación, una fase  $\beta\text{-Sn}$  es cristalizada y crece continuamente. Por consiguiente, no es desarrollada una transformación de fase debido a una reacción de fase sólida, y la dirección de la corriente coincide con la dirección del eje c de los cristales gruesos  $\beta\text{-Sn}$ . Por lo tanto, la difusión de los átomos de Cu en una unión de soldadura aumenta y los circuitos abiertos ocurren en un corto período de tiempo.

40 Por otro lado, si es añadido In en exceso de 5 %, es formada una fase  $\beta\text{-Sn}$  a temperatura ambiente, pero a 150°C, la relación entre la fase  $\beta\text{-Sn}$  y  $\gamma\text{-SnIn}$  se convierte en aproximadamente 7:3. Esto significa que una unión de soldadura sufre una transformación de fase durante su uso. Si una transformación de fase de  $\beta\text{-Sn}$  a  $\beta\text{-Sn}$  y  $\gamma\text{-SnIn}$  ocurre durante el uso, una unión de soldadura se deforma y ocurren cortocircuitos entre los electrodos adyacentes. Por lo tanto, el contenido de In está limitado a un máximo de 5 %. El contenido de In en la presente invención es de al menos 2 % en masa y como máximo 5 % en masa. Preferentemente es de al menos 3 % en masa y como máximo 4 % en masa.

45 La adición de In puede suprimir directamente la electromigración. Normalmente, los compuestos intermetálicos tal como  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  y  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  son formados en la interfaz entre un electrodo de Cu y una aleación de soldadura. El movimiento de los átomos de Cu en estas fases de compuestos intermetálicos (también denominadas a continuación fases de reacción) es rápido. Debido a la electromigración, los átomos de Cu en  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  son difundidos en la matriz de Sn, lo que hace que las fases compuestas intermetálicas desaparezcan fácilmente. Una vez que las fases compuestas intermetálicas desaparecen, el electrodo de Cu y la matriz de Sn son puestas en contacto directamente entre sí, y la difusión de Cu es acelerada en forma adicional, de modo que es producido un circuito abierto en un corto período de tiempo. Por otra parte, si la fase compuesta intermetálica está hecha a partir de  $\text{Cu}_6(\text{SnIn})_5$ , la difusión de los átomos de Cu causada por la corriente puede ser suprimida. De este modo, puede ser evitada eficazmente la  
50 desaparición de las fases compuestas intermetálicas por electromigración. El contenido de In es de al menos 2%.

Ni: La adición de 0,01 - 0,3 % de Ni también tiene el efecto de suprimir la electromigración. La adición de Ni a una aleación de Sn-Ag-Bi-In puede cambiar una fase de reacción de  $\text{Cu}_6(\text{SnIn})_5$  a  $(\text{CuNi})_6(\text{SnIn})_5$  y puede suprimir la difusión de Cu. Si la cantidad añadida de Ni es menor que 0,01%, una porción de la fase de reacción de  $\text{Cu}_6(\text{SnIn})_5$  puede permanecer inalterada. Si una región en la que la densidad de corriente se vuelve alta coincide con la fase de



reacción de  $\text{Cu}_6(\text{SnIn})_5$  restante, la difusión de Cu es acelerada y, en última instancia, ocurre un circuito abierto en un corto período de tiempo. En este caso, la cantidad añadida de Ni es preferentemente de al menos 0,1 %. Al realizar la soldadura de reflujo, la temperatura de calentamiento en el momento del reflujo es como máximo de 260° C. Normalmente, esta temperatura es como máximo de 240° C. Si es añadido Ni en exceso de 0,1 %, la temperatura de líquido supera los 240°C. A 240°C, permanece una pequeña cantidad de  $\text{Ni}_3(\text{SnIn})_4$  pero casi no tiene efecto en la soldadura. Sin embargo, si el contenido de Ni excede 0,3 % y en algunos casos si excede 0,2 %, produce un efecto adverso como el aumento de la cantidad de vacíos.

Sin embargo, dado que permanece  $\text{Ni}_3(\text{SnIn})_4$ , puede ser evitado eficazmente que Cu sea disuelto en la soldadura en el momento de reflujo. Como resultado, se previene es evitada la aparición de circuitos abiertos y se puede extender la vida útil de una unión. La cantidad añadida preferente de Ni es de 0,01 - 0,2 % y más preferentemente de 0,1 - 0,15 %.

Co: la adición de 0,01 - 0,3 % de Co también tiene el efecto de suprimir la electromigración. La adición de Co a una aleación de Sn-Ag-Bi-In puede cambiar la fase de reacción de  $\text{Cu}_6(\text{SnIn})_5$  a  $(\text{CuCo})_6(\text{SnIn})_5$  y puede suprimir la difusión de Cu. Si la cantidad añadida de Co es menor que 0,01 % y a menudo si es menor que 0,02 %, una porción de la fase de reacción de  $\text{Cu}_6(\text{SnIn})_5$  permanece inalterada. Si una región con una alta densidad de corriente coincide con la fase de reacción de  $\text{Cu}_6(\text{SnIn})_5$  restante, la difusión de Cu es acelerada en esta región, y eventualmente ocurre un circuito abierto en un corto período de tiempo. La cantidad añadida de Co es preferentemente de al menos 0,1 %. Al realizar la soldadura de reflujo, la temperatura de calentamiento en el momento del reflujo es como máximo de 260°C. Normalmente, esta temperatura es como máximo de 240°C. Si es añadido Co en exceso de 0,05 %, la temperatura de líquido supera los 240°C. A 240° C, permanece una pequeña cantidad de  $\text{Co}(\text{SnIn})_2$ , pero casi no tiene efecto en la soldadura. En particular, si el contenido de Co supera 0,3% y a menudo si es mayor que 0,2%, el Co produce un efecto adverso como el aumento de la cantidad de vacíos. Sin embargo,  $\text{Co}(\text{SnIn})_2$  permanece, por lo que se puede evitar eficazmente que Cu sea disuelto en la soldadura en el momento del reflujo y, como resultado, es evitada la aparición de circuitos abiertos y puede ser prolongada la vida útil de una unión. La cantidad añadida de Co es preferentemente de 0,05 - 0,2 % y más preferentemente de 0,05 - 0,15 %.

La adición de Co también hace que la superficie de una fase de reacción  $(\text{CuCo})_6(\text{SnIn})_5$  sea lisa, y forma una capa de reacción con un espesor uniforme. Si la cantidad añadida de Co es menor que 0,01%, son formadas graves irregularidades en la superficie en la fase de reacción  $(\text{CuCo})_6(\text{SnIn})_5$ , y si la corriente está concentrada en las porciones en las que la capa de reacción es fina, la fase de reacción desaparece fácilmente por electromigración. Después de que la fase de reacción desaparece, los electrodos de Cu y la soldadura son puestos en contacto directamente entre sí, y la difusión de Cu de los electrodos de Cu a la soldadura es acelerada, lo que hace que ocurran circuitos abiertos en un corto período de tiempo.

La adición de Co también puede refinar los granos de cristal  $\beta$ -Sn en las proximidades de la fase de reacción hasta 30  $\mu\text{m}$  o menos, de modo que la vida útil hasta que ocurra la fractura debido a la electromigración puede ser extendida.

Una pequeña cantidad de Fe puede ser añadida a una aleación de Sn-Ag-Bi-In de acuerdo con la presente invención. Cuando es añadido Fe, su contenido es preferentemente de 0,01 – 0,1 %.

#### **Sn: resto**

Sn constituye sustancialmente el resto de la aleación de la soldadura. No existe un límite inferior particular para el contenido de Sn, pero generalmente es de al menos 94% en masa.

Una aleación de soldadura usada en una unión de soldadura de acuerdo con la presente invención puede ser fabricada mediante los procedimientos habituales de fabricación de una aleación de soldadura, y la aleación de soldadura en el momento de la fabricación puede ser formada en una forma adecuada para el procedimiento de soldadura usado para formar una unión de soldadura. Por ejemplo, una aleación de soldadura de acuerdo con la presente invención puede ser usada en forma de lingotes, barras, varillas, bolas de soldadura, polvo de soldadura o alambre de soldadura. Además, puede ser usada después de ser formada en varios tipos de preformas tal como gránulos o discos.

Cuando la aleación de soldadura es usada como una pasta de soldadura, un polvo de aleación de soldadura es mezclado con un fundente adecuado de manera convencional.

#### **Ejemplos**

Con el fin de investigar los efectos de una unión de soldadura de acuerdo con la presente invención, son preparadas uniones de soldadura de acuerdo con la presente invención y uniones de soldadura convencionales por la soldadura de un componente de Cu a las tierras por el procedimiento de soldadura de reflujo usando pasta de soldadura, y son medidas las propiedades de las uniones de soldadura resultantes. Los polvos de soldadura que tienen las composiciones de aleación de soldadura mostradas en la Tabla 1 son mezaclados con fundente para preparar pastas de soldadura.

Como es mostrado en la Figura 3, una pasta de soldadura es impresa en los electrodos de cobre de una placa de circuito impreso 31 usando un estencil, por ejemplo, y luego es colocada una placa rectangular de Cu 33 arriba de la

## ES 2 799 421 T3

pasta. La placa de circuito impreso 31 y la placa de cobre 33 son calentadas en un horno de reflujo para derretir la pasta de soldadura, y después el montaje resultante es enfriado para obtener las uniones de soldadura 34 que conectan la placa de Cu 33 a las tierras 32 de la placa de circuito impreso 31. La Figura 3 muestra esquemáticamente el estado de la placa de circuito impreso 31 en este momento.

5 Una prueba de ciclo de calor es realizada de la siguiente manera.

Es usada una placa de circuito impreso FR4 de seis capas con un espesor de 1,6 mm. Una pasta de soldadura a ser probada es impresa en un patrón de soldadura (1,6 x 1,2 mm) con un espesor de 150 µm con el mismo tamaño de apertura que los electrodos de la placa de circuito impreso. Son montadas resistencias de chip cerámico de 3,2 x 1,6 x 0,6 mm en la pasta de soldadura usando un montador automático de piezas Modelo SMT-2000V fabricado por Suzuki Co., Ltd., y después es realizada la soldadura usando un horno de reflujo Modelo SNR-825 fabricado por Senju Metal Industry Co., Ltd. con una temperatura máxima de 240° C y una concentración de oxígeno de como máximo 500 ppm.

Para probar la fatiga térmica, es usado un probador de choque térmico Modelo TSA-101 del tipo de circulación de aire fabricado por Espec Corporation. El conjunto soldado anterior es mantenido durante treinta minutos a -55° C y +125° C, y la exposición a temperatura ambiente es de cero minutos. Cada 500 ciclos, la resistencia a cizallamiento de 10 - 15 uniones de cada pieza de chip es medida usando un probador de cizallamiento Modelo STR-1000 fabricado por Rheska Corporation. El tamaño de la herramienta de cizallamiento es de 3 mm de ancho x 2 mm de espesor y la velocidad es de 5 mm por minuto.

Para determinar la vida útil de las uniones de soldadura, la fuerza de unión mínima de una pieza de tamaño de 3216 es realizada para que sea de 15N. El número acumulado de uniones de soldadura con una fuerza de 15N o menos es calculado cada 500 ciclos. El fallo es realizado en el punto en el que el número acumulado supera 10 %, y en los 500 ciclos anteriores es realizada la vida útil de las uniones de soldadura. Los resultados son mostrados en la Tabla 1.

Una prueba de electromigración es realizada de la siguiente manera.

Al determinar la resistencia a la electromigración, es conectada una placa de cobre 33 y una tierra 32 de una placa de circuito impreso 31 a una fuente de alimentación adecuada 35 como es mostrado en la Figura 3, y una corriente es pasada entre la placa de Cu 33 y la tierra 32 de la placa de circuito impreso 31. Esta corriente es suministrada hasta que la resistencia eléctrica aumenta en 5 % o 10 % mientras es mantenida la placa de circuito impreso 31 a temperatura ambiente en el aire. Después de completar la conducción, la sección transversal de la unión de soldadura 34 cerca de la parte inferior de los filetes de la unión de soldadura 34 es observada con un microscopio electrónico. La razón por la que es observada la región del filete es porque es la ubicación en la que se presume que la densidad de corriente es más alta.

En este ejemplo son usadas aleaciones de soldadura con las composiciones mostradas en la Tabla 1. Los resultados también son mostrados en la Tabla 1.

Finalmente, los filetes de soldadura de una placa de circuito impreso 1 tras la soldadura en un horno de reflujo ajustado a una temperatura máxima de reflujo de 240°C son verificados con un aparato de transmisión de rayos X para investigar los vacíos en las uniones de soldadura. Las composiciones para las que los vacíos constituyen al menos 20 % de la superficie de la sección transversal de las uniones son evaluadas como X (deficientes), las que constituyen entre 10 y 20 % de la superficie son evaluadas como Δ (aceptables), y las que constituyen menos que 10 % de la superficie son evaluadas como ○ (buenas). Los resultados son mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1

	Composición de la aleación (% en masa)							Prueba de ciclo de temperatura (ciclos)	Vida de la unión (h)		Defectos* % después de 500 h	Vacíos
	Sn	Ag	Bi	En	Ni	Co	Fe		10% de aumento	5% de aumento		
1	restante	2	2	2				2000	400	-	13	-
2	restante	2	3	4				2000	400	-	7	-
3	restante	2,5	3	4				2500	400	-	0	-
4	restante	3	3	4				3500	400	200	0	-
5	restante	3,2	3	4				3500	400	-	0	-
6	restante	4	3	4				3000	400	-	0	-
7	restante	3	2	4				3000	400	-	7	-
8	restante	3	2,5	4				3500	400	-	7	-
9	restante	3	3	4				4000	400	-	0	-
10	restante	3	3,5	4				4000	400	-	0	-
11	restante	3	4	4				3500	400	-	0	-
12	restante	3	4	5				3000	400	-	13	-

	Composición de la aleación (% en masa)							Prueba de ciclo de temperatura (ciclos)	Vida de la unión (h)		Defectos* % después de 500 h	Vacíos	
	Sn	Ag	Bi	En	Ni	Co	Fe		10% de aumento	5% de aumento			
													N=15
Ejemplo	13	restante	3	3	2			2500	400	-	7	-	
	14	restante	3	3	3			3500	400	-	0	-	
	15	restante	3	3	3,5			4000	400	-	0	-	
	16	restante	3	3	4,5			3500	400	-	0	-	
	17	restante	3	3	5			2500	400	-	7	-	
	18	restante	3	3	4	0,02		3500	400	200	-	-	o
	19	restante	3	3	4	0,05		3500	450	250	-	-	o
	20	restante	3	3	4	0,1		3500	≥500	300	-	-	o
	21	restante	3	3	4	0,15		3500	≥500	350	-	-	o
	22	restante	3	3	4	0,2		3500	≥500	350	-	-	Δ
	23	restante	3	3	4	0,3		3500	≥500	350	-	-	x
	24	restante	3	3	4		0,02	3500	400	200	-	-	o
	25	restante	3	3	4		0,05	3500	450	250	-	-	o
26	restante	3	3	4		0,1	3500	≥500	300	-	-	o	
27	restante	3	3	4		0,15	3500	≥500	350	-	-	o	

	Composición de la aleación (% en masa)						Prueba de ciclo de temperatura (ciclos)	Vida de la unión (h)		Defectos* % después de 500 h	Vacíos	
	Sn	Ag	Bi	En	Ni	Co		Fe	10% de aumento			5% de aumento
28	restante	3	3	4		0,2		3500	≥500	350	-	Δ
29	restante	3	3	4		0,3		3500	≥500	350	-	x
30	restante	3	3	4			0,02	3500	≥500	200	-	o
31	restante	3	3	4			0,1	3500	≥500	400	-	Δ
32	restante	3	3	4	0,05	0,05		3500	≥500	400	-	o
33	restante	3	3	4	0,1	0,1		3500	≥500	2:500	-	o
34	restante	3	3	4		0,1	0,05	3500	≥500	≥500	-	o
35	restante	3	3	4	0,1		0,05	3500	≥500	≥500	-	o
36	restante	3	4	3				4000	400	-	0	-
37	restante	3	4	2				2500	400	-	7	-
38	restante	3	2,5	2,5				2000	400	-	7	-
39	restante	3	2	3				2000	400	-	7	-
40	restante	3	2,5	4,5				2500	400	-	7	-
41	restante	3	2	5				2500	400	-	13	-

	Composición de la aleación (% en masa)							Prueba de ciclo de temperatura (ciclos)	Vida de la unión (h)		Defectos* % después de 500 h	Vacíos
	Sn	Ag	Bi	En	Ni	Co	Fe		10% de aumento	5% de aumento		
1	restante	1,5	3	4				1500	400	-	7	-
2	restante	3	1,5	1,5				1000	200	-	33	-
3	restante	3	1,5	4				1500	300	-	20	-
4	restante	3	7	4				1500	100	-	27	-
5	restante	3	7	7				500	100	-	33	-
6	restante	3	3	1,5				2000	300	-	20	-
7	restante	3	3	7				500	100	-	20	-
8	restante	3	5	4				3000	400	-	20	-
9	restante	4	4	6				500	300	-	20	-
10	restante	3	4	1,5				2000	300	-	20	-
Comparativo												
*Defectos = 20% de aumento en la resistencia												

La Figura 4 es una fotomicrografía de electrones que muestra el estado de una tierra de cobre antes del paso de la corriente en un ejemplo de la presente invención.

La Figura 5 es una fotomicrografía de electrones que muestra el estado de una tierra de cobre cuando la resistencia aumenta en 5 % tras portar una corriente de 20 amperios a 125° C en un ejemplo de la presente invención.

- 5 La Figura 6 es una fotomicrografía de electrones que muestra el estado de una tierra de cobre cuando la resistencia aumenta en 10 % tras portar una corriente de 20 amperios a 125°C en un ejemplo de la presente invención.

10 En la comparación de las Figuras 5 y 6 con la Figura 4 antes de la prueba de conducción, las tierras de Cu de la placa de circuito impreso se volvieron significativamente más delgadas debido a la electromigración. A partir de las Figuras 5 y 6, puede ser observado que la fractura ocurre en la porción de una unión de soldadura mostrada como una región negra. En esta región, la unión de soldadura y la tierra de Cu de la placa de circuito impreso ya no estaban conectadas entre sí.

Ha sido confirmado que una aleación de Sn-Ag-Bi-In usada en una unión de soldadura de acuerdo con la presente invención tiene una resistencia a la fatiga muy superior en comparación con una aleación de Sn-Ag-Cu o una aleación de Sn-Cu.

- 15 A partir de los resultados de las pruebas descritas anteriormente, puede ser observado que prácticamente no ocurre ninguna electromigración incluso si una unión de soldadura de acuerdo con la presente invención es usada durante largos períodos a una densidad de corriente en el intervalo de 5 a 100 kA/cm<sup>2</sup>. Al mismo tiempo, la unión de soldadura tiene una excelente resistencia al ciclo de calor y a la fatiga. Por consiguiente, una unión de soldadura de acuerdo con la presente invención es particularmente adecuada para equipos electrónicos que operan con una corriente alta que produce una densidad de corriente alta tal como transistores de alimentación eléctrica y otros equipos eléctricos.
- 20

**REIVINDICACIONES**

- 1.** Un uso de una aleación de soldadura para evitar la electromigración de una unión de soldadura de un dispositivo electrónico, la unión de soldadura porta una corriente con una densidad de corriente de 5 - 100 kA/cm<sup>2</sup>, la aleación de soldadura consiste en:
- 5                   – al menos 2% en masa y como máximo 4% en masa de Ag,
- al menos 2% en masa y como máximo 4% en masa de Bi,
- al menos 2 % en masa y como máximo 5 % en masa de In,
- opcionalmente al menos un elemento seleccionado de 0,01 - 0,3 % en masa de Ni, 0,01 - 0,3 % en masa de Co, y 0,01 - 0,1 % en masa de Fe,
- 10                   y un resto de Sn.
- 2.** Un uso como es establecido en la reivindicación 1, la aleación de soldadura comprende al menos un elemento seleccionado de 0,01 - 0,3 % en masa de Ni, 0,01 - 0,3 % en masa de Co, y 0,01 - 0,1 % en masa de Fe.
- 3.** Un uso como es establecido en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, la aleación de soldadura comprende 2,5-3,5 % en masa de Ag, 2-3 % en masa de Bi, 3-4 % en masa de In.
- 15                   **4.** Un uso como es establecido en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la unión de soldadura es formada en una tierra de cobre del dispositivo electrónico.
- 5.** Uso de una aleación de soldadura de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores para evitar la electromigración de Cu a la aleación de soldadura cuando es formada una unión de soldadura hecha a partir de la aleación de soldadura a una tierra de Cu.
- 20                   **6.** Un dispositivo electrónico que comprende una unión de soldadura dentro del dispositivo electrónico o conectada al dispositivo electrónico, estando la unión de soldadura caracterizada por estar hecha a partir de una aleación de soldadura que consiste en:
- al menos 2% en masa y como máximo 4% en masa de Ag,
- al menos 2% en masa y como máximo 4% en masa de Bi,
- 25                   – al menos 2% en masa y como máximo 5 % en masa de In,
- opcionalmente al menos un elemento seleccionado de 0,01 - 0,3 % en masa de Ni, 0,01 - 0,3 % en masa de Co, y 0,01 - 0,1 % en masa de Fe, y un resto de Sn, y en el que el dispositivo electrónico y la unión de soldadura están diseñados para que una corriente con una densidad de corriente de 5 - 100 kA/cm<sup>2</sup> fluya a través de al menos una porción de la unión de soldadura.
- 30                   **7.** Un dispositivo electrónico como es establecido en la reivindicación 6, que comprende además una tierra de cobre, en el que la unión de soldadura es formada en la tierra de cobre.
- 8.** Un dispositivo electrónico como es establecido en una cualquiera de las reivindicaciones 6 y 7, en el que la aleación de soldadura tiene una orientación de cristal aleatoria.



Fig. 1

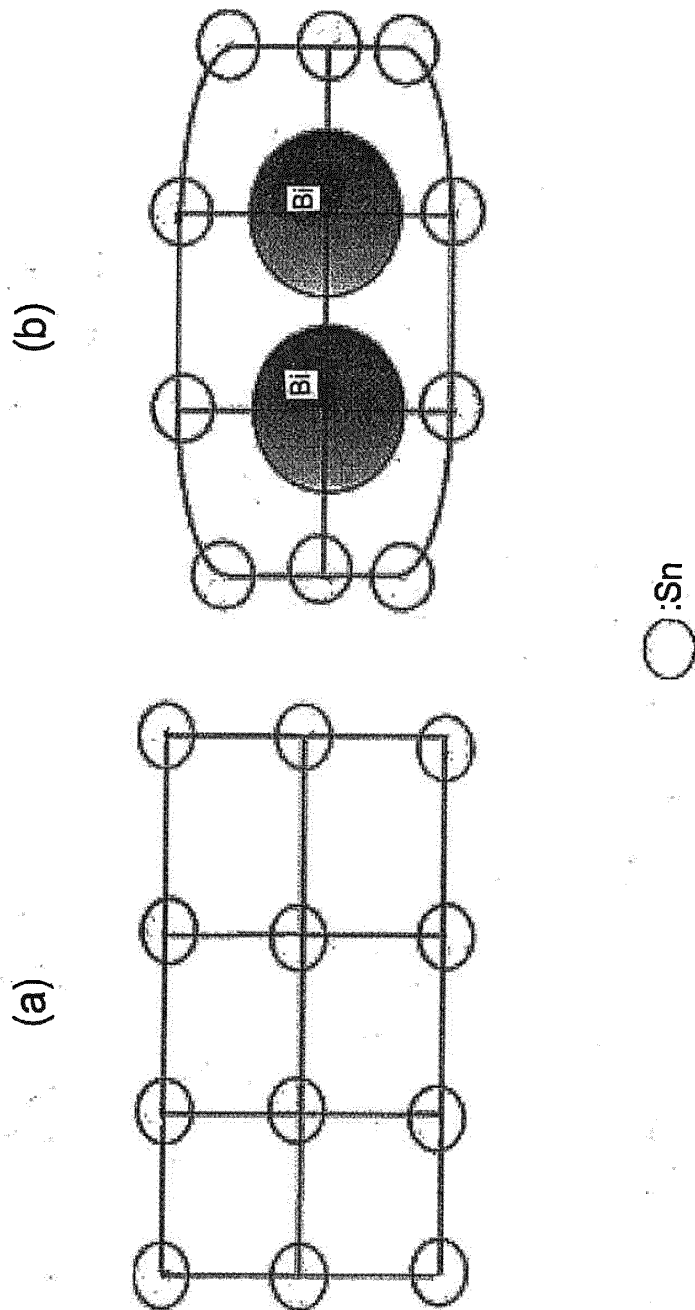


Fig. 2

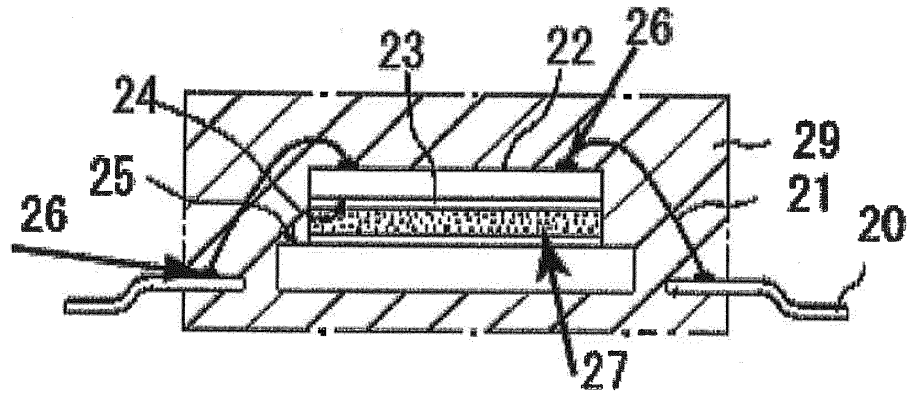
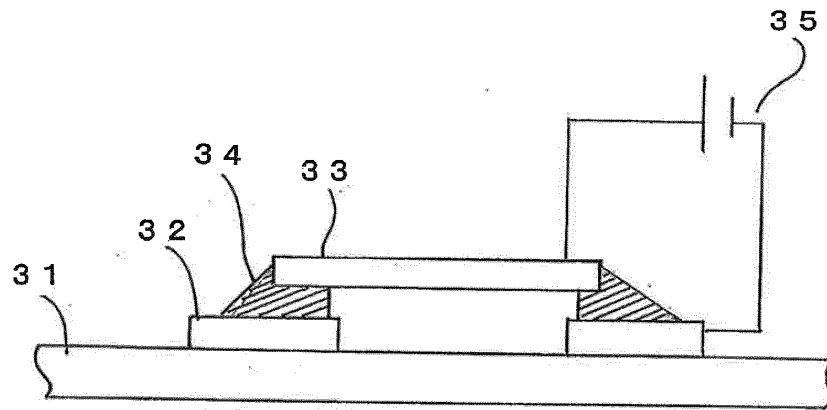
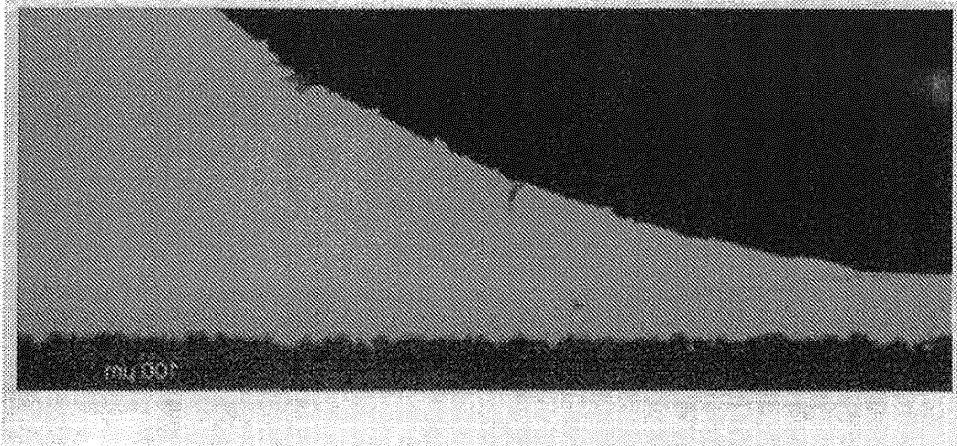


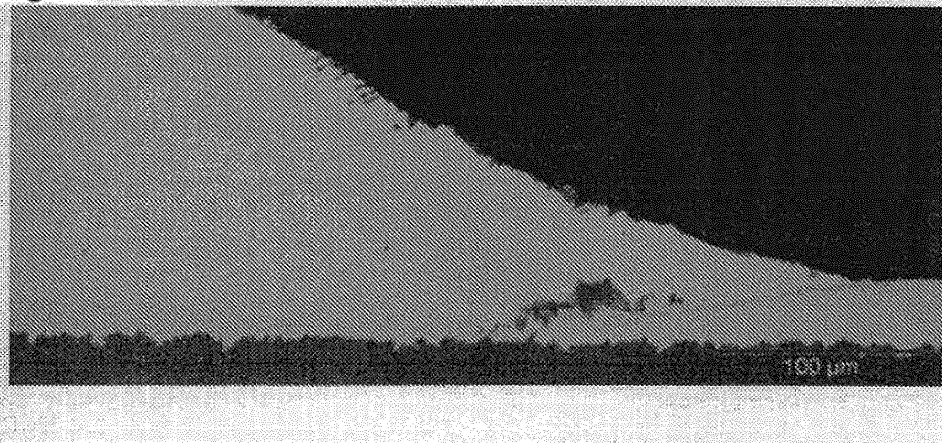
Fig. 3



**Fig. 4**



**Fig. 5**



**Fig. 6**

