

(12) **FASCÍCULO DE PATENTE DE INVENÇÃO**

(22) Data de pedido: 2004.10.06	(73) Titular(es): SENJU METAL INDUSTRY CO., LTD. 23 SENJU-HASHIDO-CHO ADACHI-KU TOKYO, 120-8555 JP
(30) Prioridade(s): 2003.10.07 JP 2003347950	
(43) Data de publicação do pedido: 2006.07.12	(72) Inventor(es): DAISUKE SOUMA JP TAKAHIRO ROPPONGI JP HIROSHI OKADA JP HIROMI KAWAMATA JP
(45) Data e BPI da concessão: 2012.05.02 125/2012	(74) Mandatário: ANTÓNIO JOÃO COIMBRA DA CUNHA FERREIRA RUA DAS FLORES, Nº 74, 4º AND 1249-235 LISBOA PT

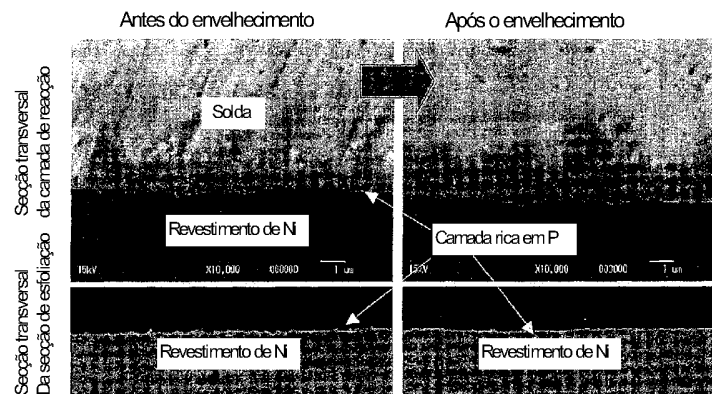
(54) Epígrafe: **ESFERA DE SOLDA ISENTA DE CHUMBO**

(57) Resumo:

UMA ESFERA DE SOLDA ISENTA DE CHUMBO À BASE DE SN-AG-CU, A QUAL NÃO FICA SUJEITA AO AMARELECIMENTO DA SUA SUPERFÍCIE, QUANDO TRANSFORMADA NUM PONTO SALIENTE DE SOLDA NUM ELÉCTRODO DE UM COMPONENTE ELECTRÓNICO COMO UM INVÓLUCRO DE BGA. A ESFERA DE SOLDA TEM UMA EXCELENTE CAPACIDADE COBERTURA SUPERFÍCIAL E NÃO FORMA ESPAÇOS VAZIOS NO MOMENTO DA SOLDADURA, MESMO QUANDO A MESMA TEM UM DIÂMETRO DIMINUTO, TAL COMO 0,04 A 0,5 MM. A MESMA TEM UMA COMPOSIÇÃO QUE COMPREENDE 1,0 A 4,0% EM MASSA DE AG, 0,05 A 2,0% EM MASSA DE CU, 0,0005 A 0,005% EM MASSA DE P, E UM REMANESCENTE DE SN.

RESUMO**"Esfera de solda isenta de chumbo"**

Uma esfera de solda isenta de chumbo à base de Sn-Ag-Cu, a qual não fica sujeita ao amarelecimento da sua superfície, quando transformada num ponto saliente de solda num eléctrodo de um componente electrónico como um invólucro de BGA. A esfera de solda tem uma excelente capacidade cobertura superficial e não forma espaços vazios no momento da soldadura, mesmo quando a mesma tem um diâmetro diminuto, tal como 0,04 a 0,5 mm. A mesma tem uma composição que compreende 1,0 a 4,0% em massa de Ag, 0,05 a 2,0% em massa de Cu, 0,0005 a 0,005% em massa de P, e um remanescente de Sn.

Fig. 1

DESCRIÇÃO

"Esfera de solda isenta de chumbo"

Campo Técnico

Este invento refere-se a uma esfera de solda isenta de chumbo adequada para utilização na conformação de pontos salientes para montagem superficial, tais como invólucros de BGA (ball Grid Array (disposição em grelha de esferas)), incluindo CSP ("chip scale packages" (invólucros com dimensões de pastilhas)).

Antecedentes da técnica

No passado, os componentes electrónicos eram mais habitualmente componentes axiais tendo terminais longos, que se prolongavam a partir de uma das extremidades dos componentes. Uma vez que os componentes electrónicos se tornaram mais pequenos e irão requer um maior número de terminais, foram desenvolvidos componentes electrónicos que têm terminais curtos dispostos na periferia dos componentes. Os exemplos de tais componentes com terminais periféricos são o invólucro de terminais alinhados (single in-line package - SIP) que têm terminais num lado de um invólucro, e os invólucros duplos (dual in-line packages - DIP), que têm terminais dispostos nos dois lados de um invólucro, e os invólucros planos quadrados (quad flat packs - QFP) que têm terminais dispostos nos quatro lados de um invólucro. Embora os componentes com terminais periféricos representem uma grande melhoria no que refere à capacidade de montagem em comparação com os componentes axiais, os mesmos têm ainda um limite no que se refere ao número de terminais, os quais podem ser instalados num componente.

Mais recentemente, tornaram-se populares os componentes electrónicos que têm eléctrodos providos na superfície de fundo dos corpos dos componentes. A superfície de fundo do corpo de um componente electrónico tem uma área superficial maior do que os lados do corpo, de modo que o número dos eléctrodos, os quais podem ser proporcionados, pode ser grandemente aumentado em comparação com o número dos terminais num componente com terminais periféricos. Na medida em que o número de eléctrodos de um componente electrónico

pode ser aumentado, o número das funções, que podem ser executadas pelo componente electrónico, pode ser aumentado. Um exemplo típico de um componente electrónico que tem eléctrodos na sua superfície de fundo é um invólucro de BGA.

Um invólucro de BGA inclui tipicamente um substrato que tem uma pastilha semicondutora de circuito integrado (IC) montada na sua superfície de topo e uma matriz de eléctrodos formada na sua superfície de fundo. Uma massa arredondada de solda, referida como um ponto saliente de solda, está fixa em cada um dos eléctrodos. O invólucro de BGA pode ser ligado a uma placa de circuito impresso, por exemplo, pela colocação do invólucro de BGA no topo de uma placa de circuito impresso com cada um dos pontos salientes de soldadura do invólucro em contacto uma correspondente área de contacto electricamente condutora de uma placa de circuito impresso e, em seguida, pelo aquecimento do invólucro de BGA e da placa de circuito impresso de modo a fundir os pontos salientes de solda e soldar as mesmas às áreas de contacto. Cada um dos pontos salientes de solda forma uma junção soldada diminuta, a qual liga mecânica e electricamente o invólucro de BGA à placa de circuito impresso. A utilização de pontos salientes de solda é vantajosa na medida em que permite que seja formado um grande número de junções soldadas uniformes simultaneamente em todos os eléctrodos de um invólucro de BGA.

Os invólucros de BGA podem ter uma grande gama de tamanhos e estruturas. Quando um invólucro de BGA tem aproximadamente as mesmas dimensões planas do que a pastilha de circuito integrado, montada no seu substrato, é classificada como um invólucro com dimensão de pastilha (chip scale package - CSP). Quando um invólucro de BGA inclui uma pluralidade de circuitos integrados, é classificada como um módulo de múltiplas pastilhas (multi-chip module - MCM).

Os pontos salientes de solda de um invólucro de BGA podem ser formados por um certo número de métodos. Um método vulgarmente utilizado emprega esferas de solda. As esferas de solda têm um peso uniforme, e a sua forma esférica torna as mesmas fáceis de serem fornecidas às localizações apropriadas num substrato, de modo que as mesmas tenham uma forma óptima para a conformação dos pontos salientes numa BGA.

No passado, as esferas de solda para utilização na conformação de pontos salientes de solda na BGA eram mais

normalmente ligas de Sn e Pb e, em particular, uma liga de 63Sn-Pb, que é a composição eutética das ligas Sn-Pb. A composição eutética tem uma temperatura de fusão baixa de apenas 183°C, a qual é uma temperatura adequada para evitar danos térmicos nos componentes electrónicos, e a mesma tem também excelente capacidade de cobertura superficial no que se refere aos eléctrodos de um invólucro de BGA e às áreas de contacto de uma placa de circuito impresso. Por conseguinte, uma 63Sn-Pb tem a excelente propriedade de a mesma produzir poucos defeitos de soldadura.

Verificou-se, no entanto, que a utilização de soldas que contêm chumbo, incluindo esferas de solda que contêm chumbo, constitui uma fonte de poluição ambiental. Quando os componentes electrónicos soldados na solda de Sn-Pb têm anomalias ou ficam velhos e já não são convenientes de utilizar, os mesmos são eliminados sendo deitados fora. Quando tal equipamento é deitado fora, algumas partes do equipamento podem ser reutilizadas ou recicladas. Por exemplo, os plásticos das caixas, os metais das armações, e os metais preciosos dos componentes electrónicos são muitas vezes recuperados. Pelo contrário, uma placa de circuito impresso com ligações por solda normalmente ligada não pode ser reutilizada ou reciclada. Por conseguinte, uma placa de circuito impresso deitada fora é geralmente pulverizada e, em seguida, eliminada sendo enterrada em aterros sanitários.

Se uma placa de circuito impresso que é eliminada por enterro, empregar uma solda contendo chumbo, tal como uma solda de Sn-Pb, e se a placa de circuito impresso entrar em contacto com chuva ácida com um pH elevado, chumbo na solda de Sn-Pb pode ser dissolvido e misturado com a água da chuva e entrar nas fontes de água subterrâneas. Se os seres humanos ou o gado beberem a água subterrânea com chumbo durante um período longo, o chumbo pode ser acumulado no organismo e pode causar envenenamento por chumbo.

Para evitar problemas ambientais e de saúde, associados à utilização de soldas que contêm chumbo, existe um movimento na indústria electrónica para a utilização das chamadas soldas sem chumbo, as quais não contêm chumbo.

Os tipos mais comuns de soldas sem chumbo são as soldas à base de Sn-Ag, as soldas à base de Sn-Cu, as soldas à base de Sn-Bi, e as soldas à base de Sn-Zn que têm o Sn como um

componente principal, às quais um ou mais de Ag, Cu, Zn, Na, Ni, Cr, Fe, Co, Ge, P, Ga, e semelhantes podem ser convenientemente adicionados como elementos de liga adicionais.

Assim, existem vários tipos de soldas sem chumbo. Cada tipo tem os seus próprios convenientes e inconvenientes, de modo que os vários tipos diferem no que se refere à utilização.

Na patente Japonesa n.º 3027441, a presente requerente descreveu uma solda isenta de chumbo, na qual é adicionado Cu a uma liga de Sn-Ag. Das composições descritas na referida patente, Sn-3Ag-0,5Cu é superior no que se refere a propriedades, tais como capacidade de soldadura, a resistência de ligação e a resistência à fadiga térmica. Por conseguinte, presentemente, esta liga é muito utilizada na soldadura de dispositivos electrónicos. A mesma é também utilizada para formar esferas de solda para a conformação de pontos salientes para os invólucros de BGA.

Quando é conformada em esferas de solda uma solda isenta de chumbo à base de Sn-Ag-Cu, a superfície das esferas de solda pode não ser perfeitamente lisa e pode ter irregularidades superficiais. Tais irregularidades superficiais são indesejáveis porque podem impedir que as esferas de solda de rolem suavemente e podem impedir que as esferas de solda de ser fornecidas com precisão a um aparelho de montagem, para a montagem esferas de solda num substrato de BGA. A fim de eliminar as irregularidades na superfície de uma solda isenta de chumbo à base de Sn-Ag-Cu, o pedido de patente japonesa não examinado publicado n.º 2002-57177 descreve esferas de solda, nas quais 0,006 a 0,1% em massa de, pelo menos, um de Ge, Ni, P, Mn, Au, Pd, Pt, S, Bi, Sb, e In é adicionado a uma liga à base de Sn-Ag-Cu.

As esferas de solda deste pedido de patente não têm irregularidades superficiais, de modo que as mesmas podem ser fornecidas regularmente e com precisão a um aparelho de montagem de esferas de solda. Além disso, as mesmas têm uma resistência de ligação elevada. De acordo com este pedido de patente, Ge tem o efeito de evitar a oxidação, Ni, P, Mn, Au, Pd, Pt, S, e IN têm os efeitos de redução do ponto de fusão e o aumento da resistência de ligação, e Sb tem o efeito de aumento da resistência.

Em US 2003024733 é descrita uma solda isenta de chumbo que compreende uma composição de liga composta principalmente por estanho. A composição da liga contém ainda 0,002 a 0,015% em massa de fósforo. Esta solda isenta de chumbo pode ser utilizada como um revestimento num terminal de ligação.

Em EP 1464431 é descrito um método, em soldadura de escoamento de uma liga de solda à base de Sn-Ag ou à base de Sn-Ag-Cu, para compensar uma diminuição no teor de P do banho de solda, a qual é observada durante a operação. É proporcionada uma liga de solda que contém 60 a 100 ppm em massa de P numa liga de solda à base Sn-Ag ou à base Sn-Ag-Cu para reabastecimento de um banho de solda, para manter não apenas o teor de P mas também o nível superficial do banho de solda do dispositivo de moldagem.

Em WO 0103878 é descrita uma liga de solda isenta de chumbo adequada para utilização em soldadura de onda e, em particular com o fluxo sem VOC à base de água, o fluxo de baixo VOC (base de água) e o fluxo com baixo teor de sólidos (à base de solvente). A liga de solda consiste em estanho ao qual é/são adicionados um ou mais de Ag numa quantidade de até 10%, Cu numa quantidade de até 5%, Sb numa quantidade de até 10% e Bi numa quantidade de até 10%, contendo a liga adicionalmente fósforo numa quantidade de até 0,01%, sendo todas as percentagens com base no peso em relação à quantidade de estanho.

Além disso, EP 1468777, a qual é relevante nos termos do art. 54 (3) EPC, na medida em que a sua prioridade é válida, descreve uma solda isenta de chumbo, que compreende 0,05 a 5% em massa de Ag, 0,01 a 0,5% em massa de Cu (reivindicação 1) ou 0,01 a 0,3% em massa de Cu (reivindicação 2), pelo menos, um de P, Ge, Ga, Al e Si numa quantidade total de 0,001 a 0,05% em massa, 0 a 0,1% em massa numa quantidade total de um ou mais elementos de transição, 0 a 5% em massa de, pelo menos, um de Bi, In e Zn, 0 a 1% em massa de Sb, e um remanescente de Sn. Além disso, a reivindicação 1 do documento de prioridade de EP 1468777 descreve uma solda isenta de chumbo com um teor de Cu de apenas 0,01 a 0,3% em massa.

Descrição do invento

Quando são utilizadas esferas de solda para conformar pontos salientes de solda de um invólucro de BGA, as esferas de solda são tipicamente retidas por um posicionador de sucção de um dispositivo de montagem e são movidas pelo posicionador para uma localização prescrita por cima do substrato do invólucro de BGA. As esferas de solda são então libertadas pelo posicionador de sucção para colocar as mesmas no topo dos eléctrodos do substrato de BGA. O substrato de BGA com as esferas de solda dispostas no topo é então aquecido a uma temperatura adequada, num forno de refluxo para fundir as esferas de solda e transformar as mesmas em pontos salientes no topo dos eléctrodos do substrato de BGA.

Se mesmo um único ponto saliente de solda estiver ausente ou impropriamente posicionado no topo de um substrato de BGA, provavelmente todo o invólucro de BGA fica defeituoso. Por conseguinte, após o aquecimento do substrato de BGA e das esferas de solda num forno de refluxo para transformar as esferas de solda em pontos salientes de soldadura, a superfície de fundo do invólucro de BGA é inspeccionada com equipamento de processamento de imagens para determinar se qualquer dos pontos salientes está ausente ou mal posicionado. O equipamento de processamento de imagens depende luz reflectida da superfície dos pontos salientes de solda. O amarelecimento da superfície dos ressaltos de solda reduz a sua capacidade de reflexão e pode fazer com que o equipamento de processamento de imagens faça uma determinação imprecisa que um ponto saliente de solda está ausente ou mal posicionado. Por conseguinte, o amarelecimento superficial dos pontos salientes de solda durante o refluxo é indesejável. O amarelecimento superficial é também indesejável porque, de acordo com o conhecimento tradicional, pensa-se que é um indicador da deterioração do metal.

As esferas de solda descritas no pedido de patente japonesa publicada e não examinada n.º 2002-57177 são melhoradas no que se refere às irregularidades superficiais, de modo que as mesmas podem ser facilmente e com precisão fornecidas a um substrato de BGA. No entanto, estas esferas de solda não têm a capacidade de soldadura adequada, isto é, capacidade de cobertura superficial no que se refere aos

eléctrodos de um substrato de BGA ou às áreas de contacto de uma placa de circuito impresso.

As esferas de solda que descritas neste pedido de patente têm uma elevada resistência de ligação, quando têm a forma de esferas de solda de grande diâmetro, tais como as esferas de solda com um diâmetro maior do que 0,5 mm. Isto é devido à resistência de ligação da própria solda ser elevada. No entanto, em particular quando o diâmetro das esferas de solda é de 0,5 mm ou menos, a resistência de ligação das esferas de solda pode tornar-se baixa.

Além disso, existem casos em que os pontos salientes de solda, feitos a partir dessas esferas de solda se delaminam de um substrato, no qual as mesmas estão soldadas após um período de utilização longo, de modo é desejada uma melhoria da sua fiabilidade.

É um objecto do presente invento proporcionar uma esfera de solda que tem uma excelente resistência de ligação, mesmo quando a mesma tem um pequeno diâmetro, que não fica sujeita ao amarelecimento e que tem uma boa fiabilidade ligação ao durante um período de tempo longo.

Os presentes inventores realizaram várias investigações com o objectivo de desenvolver uma esfera de solda melhorada para utilização na conformação de pontos salientes de solda. Como um resultado destas investigações, fizeram as seguintes descobertas e completaram desse modo o presente invento.

(1) A causa de uma diminuição da resistência de ligação das esferas de solda com um pequeno diâmetro é que, quando se desenvolvem vazios numa junção de solda, a proporção da junção de solda ocupada pelos vazios é grande. Os vazios, os quais se desenvolvem numa junção soldada no momento da soldadura ter aproximadamente o mesmo tamanho, independentemente do tamanho da junção, de modo a proporção da junção ocupada pelos vazios é menor quando a junção é grande e pode ser garantida uma resistência adequada por as partes da junção, em que não existem espaços vazios. No entanto, quando uma junção soldada é pequena, tal como é o caso das junções

conformadas utilizando esferas de solda de pequeno diâmetro, a proporção da junção ocupada por vazios torna-se maior, e a zona em que a solda da junção e os eléctrodos de um componente electrónico ou as áreas de contacto de uma placa de circuito impresso são efectivamente ligados entre si é diminuída, de modo que a resistência de ligação da junção se torna fraca.

(2) Ao investigar a capacidade de cobertura superficial e a formação de espaços vazios por uma solda isenta de chumbo à base Sn-Ag-Cu-P, os presentes inventores verificaram que o teor de P tem um grande efeito na capacidade de cobertura superficial e na formação de espaços vazios pela solda. Nomeadamente, se o teor de P de uma solda isenta de chumbo à base de Sn-Ag-Cu-P for demasiado elevado, a capacidade de soldadura da solda é prejudicada e são formados vazios numa junção soldada, do que resulta uma resistência de ligação reduzida.

No entanto, a adição de P tem a vantagem de evitar o amarelecimento da superfície da solda, de modo que é indesejável eliminar completamente o P das esferas de solda isenta de chumbo à base de Sn-Ag-Cu.

Como um resultado da pesquisa adicional, os presentes inventores verificaram que, se o teor de P de uma solda à base de Sn-Ag-Cu-P tiver um nível apropriado, é possível evitar que o P tenha um efeito adverso sobre a capacidade de cobertura superficial e na formação de vazios, permitindo ao mesmo tempo que o P impeça eficazmente o amarelecimento superficial das esferas de solda, feitas a partir da soldadura durante o aquecimento.

(3) A propriedade mais importante da solda é a sua fiabilidade na ligação. A delaminação dos pontos salientes de solda de uma superfície à qual os mesmos estão ligados provoca defeitos de condução é, por isso, um fenómeno indesejável. Por conseguinte, a fiabilidade de ligação é considerada mais importante do que a resistência da própria solda. Como demonstrado pelos exemplos descritos abaixo, os presentes inventores

verificaram que a adição de uma quantidade diminuta de P a uma esfera de solda que compreende uma liga de solda isenta de chumbo à base de Sn-Ag-Cu na gama acima descrita tem um efeito acentuado e inesperado no aumento da fiabilidade a longo prazo das partes soldadas.

Por conseguinte, entre outras características, o presente invento proporciona uma esfera de solda isenta de chumbo de acordo com a reivindicação 1. Na mesma, foi feita a renúncia da matéria reivindicada relevante de EP1468777 nos termos do art. 54 (3) EPC.

A superfície de uma esfera de solda de acordo com o presente invento não sofre amarelecimento superficial depois da mesma ter sido transformada num ponto saliente de solda, o mesmo pode proporcionar uma resistência de ligação elevada, mesmo quando tem um diâmetro pequeno, e o mesmo pode proporcionar fiabilidade de ligação durante um período de tempo longo. Por conseguinte, é altamente adequada para utilização no fabrico de invólucros de BGA.

Breve Descrição dos Desenhos

A Fig. 1 é uma fotomicrografia das secções transversais dos pontos salientes de solda, conformados num substrato revestido a Au antes e depois de serem sujeitos a um ensaio de tracção, quando a solda não contém P.

A Fig. 2 é uma fotomicrografia das secções transversais dos pontos salientes de solda, conformados num substrato revestido a Au antes e depois de serem sujeitos a um ensaio de tracção, quando a solda contém P.

A Fig. 3 é uma fotomicrografia das secções transversais dos pontos salientes de solda, conformados num substrato de Cu-OSP (Pré-fluxo superfície orgânico); referidos aqui em seguida como o "substrato de pré-fluxo", antes e depois de serem sujeitos a um ensaio de tracção, quando a solda contém P.

A Fig. 4 é uma fotomicrografia das secções transversais dos pontos salientes solda conformados sobre um

substrato de pré-fluxo antes e depois de serem sujeitos a um ensaio de tracção quando a solda contém P.

Melhor modo de execução do invento

As razões para os limites dos componentes de uma composição de liga de uma esfera de solda isenta de chumbo de acordo com o presente invento serão a seguir explicadas. Na explicação seguinte, a não ser que especificado de outro modo %, refere-se à % em massa.

Numa esfera de solda isenta de chumbo de acordo com o presente invento, se a quantidade de Ag for menor do que 1,0% em massa, a temperatura de fusão torna-se elevada, a temperatura de solda torna-se necessariamente também elevada, e aumenta a probabilidade de um invólucro de BGA ou outro componente electrónico sofrer danos térmicos durante a soldadura com a esfera de solda. A Ag é também um elemento que afecta a capacidade de soldadura. Se a quantidade de Ag for inferior a 1,0% em massa, a capacidade de soldadura torna-se pequena e aumenta a probabilidade do aparecimento de defeitos de soldadura. No entanto, se o teor de Ag exceder 4,0% em massa, ocorre o engrossamento acentuado dos compostos de AgSn e diminui a fiabilidade da ligação. Além disso, a temperatura de soldadura aumenta indesejavelmente devido a um aumento na temperatura de fusão da liga de solda. Por conseguinte, o limite inferior da Ag no presente invento é de 1,0% em massa, e o limite superior é de 4,0% em massa. De preferência, o teor de Ag é de 1,0 a 3,5% em massa.

Numa liga à base de Sn-Ag, a adição de Cu diminui a temperatura de fusão da liga e aumenta a sua resistência. Se o teor em Cu for inferior a 0,05% em massa, estes efeitos não são obtidos. No entanto, se o teor de Cu exceder 2,0% em massa, a temperatura de fusão da liga aumenta, de modo não só a temperatura de solda se torna elevada, mas uma grande quantidade de compostos intermetálicos de SnCu precipitam-se de modo a piorar a capacidade de soldadura. Por conseguinte, o teor de Cu é de 0,05 a 2,0% em massa e, de preferência, 0,05 a 0,75% em massa.

Numa liga de solda que tem o Sn como um componente principal, a adição de P é eficaz não apenas na prevenção do delaminação dos pontos salientes de solda após o envelhecimento, mas também na prevenção do amarelecimento. No entanto, se for adicionada uma grande quantidade de P, a sua presença agrava capacidade de cobertura superficial e provoca a formação de vazios. Numa liga à base de Sn-Ag-Cu, se o teor de P for inferior a 0,0005% em massa, não é obtido o efeito do P na prevenção do amarelecimento, enquanto se o teor de P exceder 0,005% em massa, a adição de P piora capacidade de soldadura e provoca a formação de espaços vazios. Por conseguinte, no presente invento, o teor de P é 0,0005 a 0,005% em massa.

De preferência, uma esfera de solda isenta de chumbo de acordo com o presente invento não está sujeita ao amarelecimento da sua superfície depois de ser montada num eléctrodo de um substrato de BGA e sendo fundida por aquecimento num forno de refluxo de modo a conformar um ponto saliente de solda. Isto acontece porque, como referido anteriormente, o amarelecimento superficial pode provocar erros que ocorrem durante a inspecção dos pontos salientes de solda de um invólucro de BGA com o equipamento de processamento de imagens.

Além disso, uma esfera de solda isenta de chumbo de acordo com o presente invento, não é, de preferência, sujeita ao amarelecimento depois de estabelecimento a uma temperatura elevada, mesmo sem fusão. A razão pela qual o amarelecimento da esfera de solda, não acontece, de preferência, após o estabelecimento, a uma temperatura elevada é que a ausência do amarelecimento superficial é um requisito dos testes de aceitação realizados pelos utilizadores de esferas de solda isenta de chumbo. Se o amarelecimento superficial de esferas de solda não se efectua durante o estabelecimento a uma temperatura elevada, amarelecimento não acontecerá no momento da fusão.

As esferas de solda utilizadas em muitos invólucros de BGA têm mais nomalmente um diâmetro de 0,5 a 0,76 mm, mas para CSP e bolachas, são utilizadas esferas de solda diminutas, com um diâmetro de 0,04 a 0,5 mm. Numa esfera de

solda isenta de chumbo de acordo com o presente invento, existe uma ocorrência extremamente baixa de vazios, de modo que é possível manter uma resistência de ligação elevada quando na forma de uma esfera diminuta. Como um resultado disso, uma esfera de solda de acordo com o presente invento, pode aumentar a fiabilidade das esferas de solda diminutas, com um diâmetro de 0,04 a 0,5 mm.

Durante a utilização, os dispositivos de BGA em equipamentos electrónicos são muitas vezes expostos a temperaturas elevadas que podem exceder 100°C. Com a utilização das esferas de solda de acordo com o presente invento para formar os pontos salientes de soldadura, podem ser obtidos pontos salientes de solda, os quais não estão sujeitos a delaminação, mas os quais são, efectivamente, sujeitos a um aumento na resistência de ligação como um resultado do envelhecimento, do que resulta no aumento da fiabilidade de ligação em ambientes de utilização severos.

Não existem restrições particulares de um método de fabrico de uma esfera de solda de acordo com o presente invento, e a mesma pode ser fabricada utilizando qualquer método conveniente. Por exemplo, pode ser fabricada pelo método de banho de óleo, no qual são deixados cair pedaços de solda num banho de óleo aquecido, ou pelo método directo, no qual a solda fundida é gotejada ou deixada cair em gotas com um determinado tamanho através um orifício ou bico e é solidificada enquanto cai através de uma câmara. Ambos estes métodos são bem conhecidos dos especialistas na técnica e por isso não serão descritos aqui com mais pormenor.

Exemplos

O presente invento será descrito com mais pormenor por meio dos exemplos seguintes.

Exemplo 1

Foram preparadas ligas de solda com as composições indicadas na Tabela 1, para avaliar as características seguintes. Os resultados são mostrados na Tabela 1.

A temperatura de solidificação (S.T.) e a temperatura de fusão (L.T.) foram determinadas para cada liga a partir da curva de aquecimento obtida por análise térmica diferencial.

As esferas de solda tendo um diâmetro de 0,5 mm foram preparadas pelo método de banho de óleo. O amarelecimento foi avaliado por disposição das esferas de solda em ar a 125°C durante 12 horas e, em seguida, a observação visual da superfície das esferas em relação ao grau de amarelecimento superficial. As esferas de solda que não tinham amarelecimento superficial foram todas avaliadas como boas, as que tinham uma pequena quantidade de amarelecimento foram avaliadas como suficientes, e os que tinham o amarelecimento grave foram avaliadas como mediocres.

A fim de avaliar as esferas de solda no que se refere à ocorrência de vazios, as esferas de solda foram colocadas nos eléctrodos de um substrato de BGA e depois aquecidas num forno de refluxo numa atmosfera de azoto, contendo 100 ppm ou menos de oxigénio, na qual o substrato de BGA foi mantido durante 40 segundos a uma temperatura acima da L.T. com um pico de temperatura de 240°C, para transformar as esferas de solda em pontos salientes de solda. Os pontos salientes de solda foram então inspeccionados no que se refere à presença de vazios, utilizando um aparelho de inspecção de raios X TOSMICRON FP7160F9 fabricado pela Toshiba Corporation. Os pontos salientes foram avaliados com base na quantidade de vazios. Os pontos salientes de solda, para os quais a quantidade de espaços vazios era inferior a 10% foram avaliados como bons, os para os quais a quantidade de espaços vazios era de 10 a 30% foram avaliados como suficientes, e os para os quais a quantidade de espaços vazios era superior a 30% foram avaliados como mediocres.

Os resultados das avaliações acima descritas são mostrados na Tabela 1.

A partir dos resultados mostrados na Tabela 1, pode ser visto que uma esfera de solda isenta de chumbo de acordo com o presente invento não está sujeita a amarelecimento superficial significativo ou a desenvolver uma quantidade significativa de vazios.

Por conseguinte, quando uma esfera de solda isenta de chumbo de acordo com o presente invento é transformada num ponto saliente num substrato de BGA e o ponto saliente é inspeccionado com equipamento de processamento de imagens, não ocorrem erros devidos ao amarelecimento superficial, de modo que a inspecção pode ser realizada com precisão. Para além disso, não é apenas evitada a ocorrência de pequenos defeitos no momento da soldadura, mas é obtida uma alta resistência de ligação.

Tabela 1

	N.º	Composição (%)				Temperatura de fusão (°C)		Amarelecimento	Ocorrência de vazios
		Sn	Ag	Cu	P	S.T.	L.T.		
Este invento	1	rem.	1,0	1,0	0,001	217	235	bom	bom
	2	rem.	2,0	0,3	0,003	217	223	bom	bom
	3	rem.	3,0	0,5	0,003	217	220	bom	bom
	4	rem.	3,0	2,0	0,005	217	284	bom	suficiente
	5	rem.	3,5	0,05	0,004	221	221	bom	suficiente
	6	rem.	3,5	0,75	0,0005	218	219	suficiente	suficiente
	7	rem.	4,0	0,5	0,002	217	229	bom	bom
Exemplos comparativos	1	rem.	3,0	0,5	--	217	220	mediocre	bom
	2	rem.	3,0	0,5	0,017	217	220	bom	mediocre
	3	rem.	3,5	--	--	221	221	mediocre	bom

Exemplo 2

Neste exemplo, foi medido o efeito da adição de P na fiabilidade de ligação de uma esfera de solda de acordo com o presente invento, antes e após o envelhecimento, isto é, a exposição a uma temperatura elevada.

As composições de solda mostradas nas Tabelas 2 e 3, as quais continham 0 a 400 ppm de P na liga de solda de Sn-3,0Ag-0,5Cu ou na liga de solda de Sn-4,0Ag-0,5Cu foram utilizadas para preparar esferas de solda que têm um diâmetro de 0,5 mm pelo método do banho de óleo. As esferas de solda foram colocados nas áreas de contacto de uma placa de circuito impresso e depois aquecidas num forno de refluxo

para transformar as esferas de solda em pontos salientes de solda. A placa de circuito impresso era quer uma placa com revestimento de Au ou uma placa com Cu-OSP (pré-fluxo de superfície orgânica). O forno de refluxo continha uma atmosfera de N_2 com uma concentração de oxigénio de, no máximo, 100 ppm. O refluxo foi executado durante 40 segundos a uma temperatura maior do que a temperatura de fusão com um pico de temperatura de 240°C.

Os pontos salientes de solda resultantes foram então sujeitos a envelhecimento ao ar a 150°C durante 200 horas. Tanto antes como após o envelhecimento os pontos salientes de solda foram sujeitos a um ensaio de tracção, utilizando um aparelho de teste Dage Série 4000 com uma velocidade de tracção de 300 mm/segundo durante 2 segundos. A percentagem dos pontos salientes que foram sujeitos a delaminação no ensaio de tracção antes ou após o envelhecimento de uma amostra com 50 pontos salientes é mostrada nas Tabelas 2 e 3. Quanto menor for a percentagem dos pontos salientes que foram sujeitos à delaminação melhor. A resistência à tracção é mostrada em (), a qual é a média da resistência máxima para os 50 pontos salientes, cada um obtido durante o ensaio de tracção durante 2 segundos.

Tabela 2

Propriedades dos pontos salientes de solda formados sobre uma placa de circuito resvestida a Au			
Composição de solda	Teor de P (% em massa)	Taxa de delaminação (%) no ensaio de tracção	
		Após refluxo	Após envelhecimento
Sn-3,0Ag-0,5Cu-P	0	22 (11,31N)	10 (9,62N)
	0,001	18 (11,27N)	0 (9,21N)
	0,003	22 (11,41N)	0 (9,57N)
	0,005	24 (11,71N)	0 (9,82N)
	0,040	28 (11,03N)	8 (9,23N)
Sn-4,0Ag-0,5Cu-P	0	56 (12,56N)	18 (10,67N)
	0,001	54 (12,33N)	0 (10,91N)
	0,003	54 (12,28N)	0 (10,46N)
	0,005	52 (12,68N)	0 (10,49N)
	0,040	56 (12,81N)	28 (11,07N)

Tabela 3

Propriedades dos pontos salientes de solda formados numa placa de circuito de Cu-OSP			
Composição de solda	Teor de P (% em massa)	Taxa de delaminação (%) no ensaio de tracção	
		Após refluxo	Após envelhecimento
Sn-3,0Ag-0,5Cu-P	0	90 (10,35N)	22 (8,21N)
	0,001	88 (10,52N)	0 (8,87N)
	0,003	88 (10,78N)	0 (8,83N)
	0,005	64 (10,22N)	0 (8,51N)
	0,040	74 (10,94N)	24 (8,22N)
Sn-4,0Ag-0,5Cu-P	0	64 (11,58N)	24 (9,33N)
	0,001	82 (11,04N)	0 (9,39N)
	0,003	68 (11,67N)	0 (9,86N)
	0,005	72 (11,29N)	0 (9,44N)
	0,040	80 (11,65N)	32 (9,91N)

A partir das Tabelas 2 e 3, pode ser visto que a taxa de delaminação imediatamente após o refluxo, não foi significativamente influenciada pela presença de P. No entanto, após o envelhecimento, para ambas as placas de circuito revestidas a Au e de pré-fluxo, a liga de solda que continha P tinha uma diminuição muito maior da taxa de delaminação.

Este efeito era devido à adição de uma quantidade diminuta de P que alterou a estrutura da camada de reacção de ligação.

As Figs. 1 a 4 mostram fotomicrografias das secções transversais antes e após a delaminação dos pontos salientes de solda, feitos a partir de uma esfera de solda de Sn-3,0Ag-0,5Cu ou de uma esfera de solda Sn-3,0Ag-0,5Cu-0,003P.

Os pontos salientes de solda mostrados nas Figs. 1 e 2 foram formados sobre um subrevestimento de Ni sem utilização de corrente eléctrica da placa de circuito revestida a Au, ao mesmo tempo que eram formados os pontos salientes de solda, mostrados nas Figs. 3 e 4 num subrevestimento de Cu da placa de circuito de pré-fluxo.

Para ambos os tipos de placa de circuito, a camada de reacção antes do envelhecimento não foi afectada pelo facto de estar ou não presente P na liga de solda, que forma os pontos salientes de solda. A superfície delaminada resultante do ensaio de tracção era a interface entre uma camada rica em P (quando foi adicionado P) e uma camada de reacção para a placa de circuito revestida a Au, e foi a interface entre Cu e Cu_6Sn_5 para a placa de circuito pré-fluxo.

Para a placa de circuito revestida a Au, a superfície delaminada após envelhecimento era a mesma que a interface entre a camada rica em P e a camada de reacção, quando a liga de solda não continha P, mas para a liga de solda que contém P a superfície delaminada movida para dentro da camada de reacção (a interface entre a primeira camada e a segunda camada).

Para a placa de circuito de pré-fluxo, a superfície delaminada foi a interface de $\text{Cu}_3\text{Sn}/\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ para ambas as composições de liga, mas para a composição que contém P, a camada de Cu_6Sn_5 mostrada por uma seta na Figs. 3 e 4 era fina.

Desta maneira, devido à formação de uma segunda camada, no caso de uma placa de circuito revestida a Au e devido à finura da camada de Cu_6Sn_5 , no caso de uma placa de circuito de pré-fluxo, a fiabilidade de ligação é aumentada durante a utilização por períodos longos e em ambientes de altas temperaturas.

O efeito acima descrito da adição de P no aumento da fiabilidade de ligação é um fenómeno, que foi em primeiro lugar descoberto pelos presentes inventores. Este efeito não é influenciado pelo diâmetro de uma esfera de solda.

Aplicabilidade industrial

Mesmo quando uma esfera de solda isenta de chumbo de acordo com o presente invento é fundida ou exposta a uma temperatura elevada, a sua superfície não se torna amarela. Por conseguinte, após os pontos salientes de solda serem conformados nos eléctrodos de um invólucro de BGA, utilizando as esferas de solda isenta de chumbo de acordo com o presente invento, pode ser executada com precisão a inspecção com o equipamento de processamento de imagens para determinar se

pontos salientes de soldadura foram conformados adequadamente.

Além disso, uma esfera de solda isenta de chumbo de acordo com o presente invento, tem excelente capacidade de cobertura superficial no que se refere aos eléctrodos de um invólucro de BGA ou às áreas de contacto de uma placa de circuito impresso, de modo não apenas não existe qualquer ocorrência de defeitos de soldadura, mas também é extremamente pequena a ocorrência de vazios, de modo é obtida uma elevada resistência de ligação.

Uma esfera de solda isenta de chumbo de acordo com o presente invento, proporciona os excelentes efeitos descritos acima, quando utilizada para conformar pontos salientes de solda num invólucro de BGA, mas pode também ser utilizada para conformar pontos salientes de solda noutros elementos, tais como em bolachas, as quais têm ainda eléctrodos menores do que invólucros de BGA. As esferas de solda para a formação de pontos salientes em bolachas têm um diâmetro extremamente pequeno, de 0,1 mm ou menos, e a zona de ligação é extremamente pequena, por isso, mesmo se ocorrer um pequeno vazio numa junção soldada, o vazio tem um grande efeito na resistência de ligação.

No entanto, uma esfera de solda isenta de chumbo de acordo com o presente invento não conduz a qualquer ocorrência de vazios, de modo que, quando a mesma é utilizada para conformar um ponto saliente de solda numa bolacha é obtida uma elevada resistência de ligação.

Além disso, uma esfera de solda de acordo com o presente invento pode conformar um ponto saliente de solda que tem excelente fiabilidade de ligação, mesmo quando exposto a um ambiente de elevada temperatura durante um período de tempo longo. Em particular, o presente invento proporciona o efeito inesperado que devido à adição de uma quantidade diminuta de P, o envelhecimento resulta numa acentuada melhoria na resistência à delaminação. Assim, quando os substratos resultantes são instalados em automóveis ou aparelhos industriais, em que os substratos estão normalmente revestidos com uma resina tal como o silicone, tais efeitos, quando provocados pelo envelhecimento, são vantajosas. Por conseguinte, uma esfera de solda de acordo com o presente invento pode contribuir significativamente para o aumento da fiabilidade do equipamento electrónico.

REIVINDICAÇÕES

1 - Esfera de solda isenta de chumbo, a qual é feita numa liga que consiste em 1,0 a 4,0% em massa de Ag, 0,05 a 2,0% em massa de Cu, 0,0005 a 0,005% em massa de P, e um remanescente de Sn, em que o diâmetro da esfera de solda é de 0,04 a 0,5 mm, sendo excluídas ligas que compreendem 0,05 a 5% em massa de Ag, 0,01 a 0,3% em massa de Cu, P numa quantidade de 0,001 a 0,05% em massa e um resmanescente de Sn.

2 - Esfera de solda isenta de chumbo de acordo com a reivindicação 1, em que o teor de Ag é de 1,0 a 3,5% em massa.

3 - Esfera de solda isenta de chumbo de acordo com a reivindicação 1 ou 2, em que o teor de Cu é de 0,05 a 0,75% em massa.

4 - Ponto saliente de solda conformado a partir de uma esfera de solda de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3.

5 - Utilização de uma esfera de solda isenta de chumbo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3 para produção de um ponto saliente de solda nas áreas de contacto de uma placa de circuito impresso, sendo a placa de circuito impresso seleccionada a partir de (i) uma placa de circuito impresso com revestimento a Au e tendo um subrevestimento de Ni sem utilização de corrente eléctrica, sobre o qual vai ser conformado o ponto saliente de solda, e (ii) uma placa de circuito impresso com Cu-OSP.

Lisboa, 2012-06-25

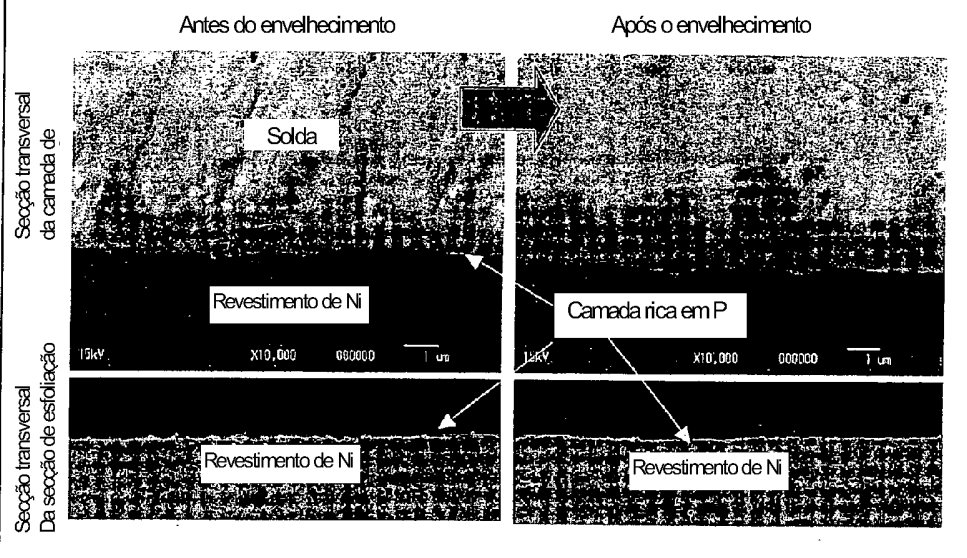
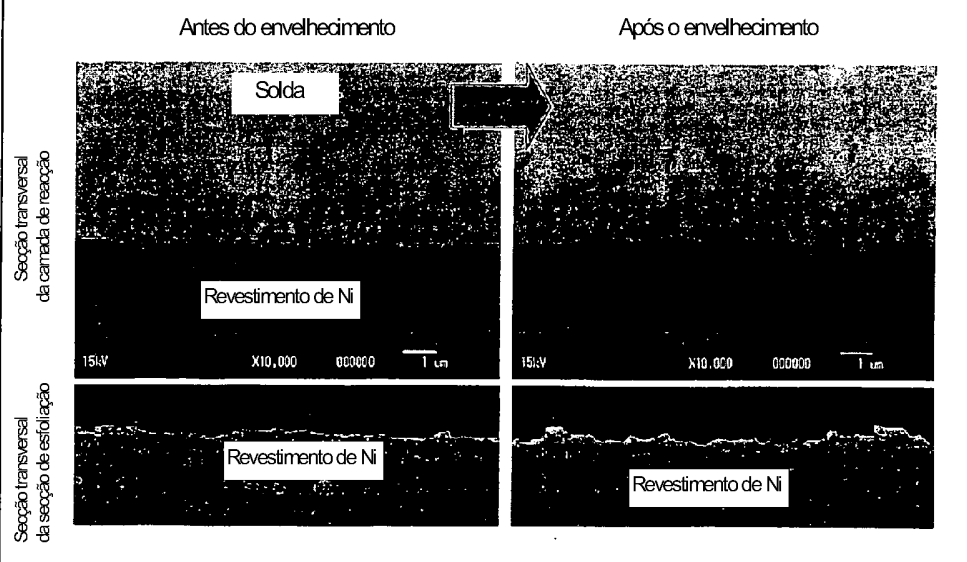
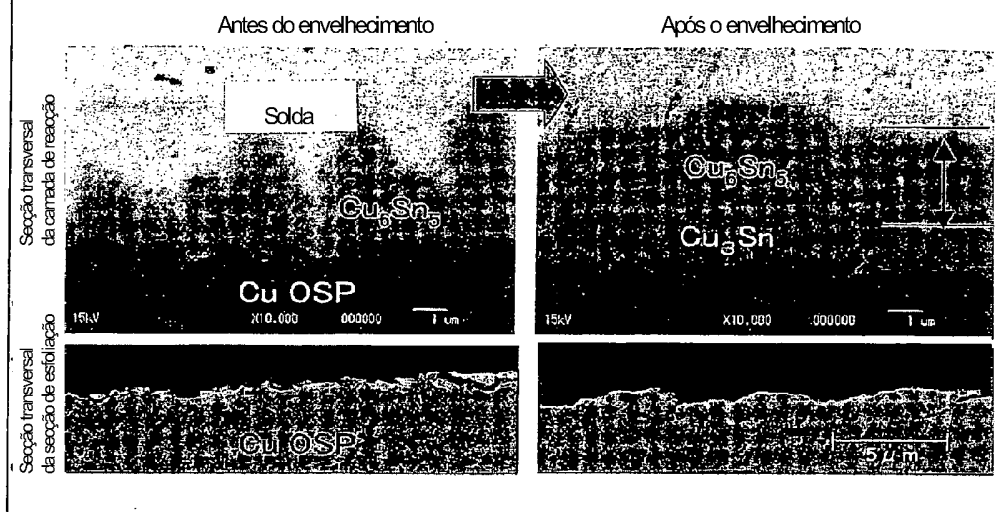
Fig. 1**Fig. 2**

Fig. 3**Fig. 4**