

明 細 書

発明の名称：

はんだ合金、はんだボール、はんだペースト、およびはんだ継手

技術分野

[0001] 本発明は、はんだ合金、はんだボール、はんだペースト、およびはんだ継手に関する。

背景技術

[0002] 近年、電子機器は、高集積化、大容量化、高速化が要求されている。例えばBGA（Ball Grid Array）などの半導体パッケージが用いられており、半導体チップレベルでの高集積化、高機能化が図られている。

[0003] BGAのような微小電極では、はんだボールを用いてはんだバンプが形成される。はんだボールを用いる場合には、例えば、粘着性のフラックスを微小電極に塗布し、フラックスが塗布された電極上にはんだボールを載置する。その後、リフロー炉で加熱してはんだボールが溶融し、溶融はんだが微小電極と濡れることにより、微小電極にはんだバンプが形成される。このように、はんだボールを用いる場合には、電極との濡れ性が求められている。

[0004] はんだバンプを形成するはんだ合金として、従来からSn-Ag-Cuはんだ合金が広く用いられている。このはんだ合金は汎用性が高く、はんだボールやはんだペーストなどの種々の形態で使用されている。しかし、このはんだ合金は、汎用性が高いものの、はんだボールやはんだペーストなどの用途により、更に向上しなければならない特性がある。そこで、従来から広く使用されてきたSn-Ag-Cuはんだ合金に関して、用途に応じて特性を改善するために種々の検討がなされている。

[0005] 特許文献1には、Sn-Ag-Cuはんだ合金の耐振動性を改善するため、Niが必須元素であるとともに、CoおよびGeを任意元素として含有してもよい自動車搭載電子部材用はんだ合金が開示されている。特許文献1に

は、耐振動性を評価する繰返し曲げ試験を行うと、合金組成に応じて、金属間化合物層またははんだ合金の領域内で亀裂が発生することが開示されている。

[0006] そこで、特許文献1には、金属間化合物層での破断の進行を抑制するため、Cuより原子半径の小さい原子種であるNiやCoがSnCu化合物のCuと置換されることにより、金属間化合物層の歪を緩和することができることが開示されている。また、はんだ合金の領域内での破断の進行を抑制するため、Fe、Ni、Coを添加することが開示されている。

[0007] 特許文献2には、シア強度が向上し、未融合を抑制するため、Sn-Ag-Cuはんだ合金に必須元素としてNiおよびGeを含有し、任意元素としてCoを含有するはんだ合金が開示されている。また、特許文献2には、Ag、CuおよびNi含有量と、Ge含有量とのバランスが未融合の抑制に起因することが開示されている。さらに、特許文献2には、CuとSnの化合物の微細化と固溶強化によりシア強度が向上することが開示されている。

[0008] 特許文献3には、Ni食われとボイドの発生を抑制するために、Sn-Ag-Cu-Ni-Co-Geはんだ合金において、各構成元素の関係式が規定されたはんだ合金が開示されている。特許文献3には、各構成元素が所定の関係式を満たすことにより、Niの拡散を抑制するとともに、溶融はんだ内に発生するボイドを排出しやすくなることが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：特開2007-237252号公報

特許文献2：特許第6928284号公報

特許文献3：特許第6700568号公報

特許文献4：特開2001-58286号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0010] 特許文献1には、繰り返し曲げ特性の結果が最も優れるはんだ合金として、 Sn-Ag-Cu-Ni-Fe-Co はんだ合金、および $\text{Sn-Ag-Cu-Ni-Fe-Co-Ge-(P)}$ はんだ合金が開示されている。特許文献1の段落0036～0037には、微量のFeを含有させることにより、初晶の核として多量の FeSn_2 金属間化合物が生成し、デンドライト構造が微細化され、耐振動性を評価する繰り返し曲げ試験において、優れた結果を示す、とされている。また、特許文献1の段落0038～0039には、Ni、Co、およびFeを含有する場合には、 SnCu 金属間化合物層の厚さが薄くなり、かつ均一成長していることが開示されている。さらに、特許文献1の段落0056には、はんだ表面の変色を抑制するため、Geを添加してもよいことが開示されている。
- [0011] 特許文献2に記載の発明は、未融合の抑制とシェア強度の向上を図ることができる優れた発明であり、構成元素の含有量の関係式が規定されている。特許文献2の段落0035には、液相線温度と固相線温度との温度差を表す ΔT 、溶融はんだの粘性、およびGe酸化物に着目されたことが記載されている。また、特許文献2の段落0038には、Cuの一部がNiに置換された $(\text{Cu}, \text{Ni})_6\text{Sn}_5$ 化合物が形成されることにより、接合界面に形成される化合物が微細になることが開示されている。さらに、同段落には、GeがNiに固溶して化合物の結晶構造が歪み、 $(\text{Cu}, \text{Ni})_6\text{Sn}_5$ 化合物が固溶強化される Sn-Ag-Cu-Ni-Ge はんだ合金が説明されている。
- [0012] 特許文献3に記載の発明は、Ni食われとボイドの発生が抑制された優れた発明である。特許文献3の段落0044には、Niによる溶融温度の急激な変化を利用して、Ni層の溶出を最小限に留めることが可能であることが開示されている。また、特許文献3の段落0045には、強固な酸化錫の代わりに、薄くて脆い酸化ゲルマニウムの酸化膜を形成することにより、溶融はんだの対流によるボイド排出機能が維持されることが開示されている。さ

らに、特許文献3の段落0054には、凝固時の合金組織の偏析などを抑止するため、 ΔT を狭くした方がよいことが開示されている。

[0013] このように、特許文献1～3には、耐振動性の向上、変色の抑制、未融合の抑制、シエラ強度の向上、Ni食われとボイドの発生の抑制については検討されている。しかし、いずれの特許文献に記載の発明であっても、チップ立ちについては検討されていない。近年の急速な技術革新により、電子部品の小型化や軽量化が著しく進行している。このため、電子部品が搭載される2つの電極に異なる量のはんだ合金が供給されていると、チップ立ちが発生することがある。チップ立ちは、2つの電極に供給されるはんだ合金のうち、早く溶融した側の表面張力によりチップが引っ張られることにより発生する。この原因としては、例えば、はんだ合金の供給量が異なった場合が挙げられる。また、外的な要因による場合、すなわち、同じはんだ供給量であったとしても基板への混載実装において周辺部品などではんだ合金の温度上昇に差が生じる場合が挙げられる。更には、はんだ合金特有の挙動を鑑みると、はんだ合金が溶融を開始してから直ちに固相が液相に変化することが挙げられる。しかし、特許文献2および3に記載の発明では、これらの原因に起因するチップ立ちについては検討されていなかった。

[0014] ここで、特許文献4の段落0032には、チップ立ちを抑制するため、Sn-Agはんだ合金にNi、Cu、Co、Geなどを添加してもよいことが開示されている。そして、同段落には、これらを添加したはんだ合金は、示差熱分析において2つの吸熱ピークを示すことが開示されている。しかし、単に添加元素が開示されているだけであり、実際に検討されたはんだ合金は、Sn-Ag、Sn-Ag-Cu、Sn-Ag-Ni、Sn-Ag-Pだけである。このため、特許文献1～3に記載のはんだ合金に含有され得るCo、Geについては、一切立証されていない。

[0015] 加えて、はんだ合金が車載用などの過酷な環境下で使用される基板に使用される場合には、優れた耐ヒートサイクル性や耐落下衝撃性が必要になる。しかし、上記特許文献では、耐ヒートサイクル性については検討されてい

い。

[0016] このように、特許文献1～4に記載のはんだ合金は、各々の課題を解決することができるとしても、電子部品の実装時における実情がより反映されるようにすることが望まれている。すなわち、これらの文献に記載の発明では、特許文献1～4に開示されている諸特性を同時に満たす検討は行われていない。さらには、近年の温暖化により使用環境は過酷になりつつあり、優れた耐ヒートサイクル性も同時に満足するはんだ合金が望まれている。

[0017] そこで、本発明の課題は、優れた耐ヒートサイクル性、および耐落下衝撃性を有し、未融合、チップ立ち、および変色が抑制されることにより実装性に優れるはんだ合金、はんだペースト、はんだボール、およびはんだ継手を提供することである。

課題を解決するための手段

[0018] 本発明者らは、特許文献1～3に開示されている $\text{Sn}-\text{Ag}-\text{Cu}-\text{Ni}-\text{Ge}$ （ $-\text{Co}$ ）はんだ合金において、各特性について検討した。まず、特許文献2に記載の $\text{Sn}-\text{Ag}-\text{Cu}-\text{Ni}-\text{Ge}$ はんだ合金では、各構成元素の含有量に応じて特性が変化する知見が得られた。

[0019] Ag の含有量が0.5%であるはんだ合金（特許文献2の実施例1）では耐ヒートサイクル性が劣るが、 Ag の含有量が多いはんだ合金（特許文献2の実施例2～4、9～11、14、16～22）では耐ヒートサイクル性が改善される知見が得られた。耐ヒートサイクル性が改善されたこれらのはんだ合金であっても、合金組成によっては、耐落下衝撃性が劣り、未融合、チップ立ち、変色が発生した。

[0020] 合金組織を微細にする Co を含有する $\text{Sn}-\text{Ag}-\text{Cu}-\text{Ni}-\text{Ge}-\text{Co}$ はんだ合金（特許文献2の実施例29）であっても、耐落下衝撃性が劣り、チップ立ちや変色が発生した。このように、上記課題を解決するためには、特許文献2に記載された関係式では足りず、更なる検討が必要であることがわかった。

[0021] 特許文献1の実施例89には、 $\text{Sn}-\text{Ag}-\text{Cu}-\text{Ni}-\text{Ge}-\text{Co}$ 系は

んだ合金が開示されている。しかし、Geの含有量が0.005%と少なく、Coの含有量が0.040%と多いため、未融合と変色が発生する知見が得られた。

[0022] 特許文献3の実施例3にも、Sn-Ag-Cu-Ni-Ge-Coはんだ合金が開示されている。この合金組成は、Geの含有量が0.005%と少ないため、変色が発生する知見が得られた。

[0023] このように、Sn-Ag-Cu-Ni-Ge(-Co)はんだ合金であっても、各構成元素の含有量に応じて必要な特性が得られないことが明らかになった。ここで、耐ヒートサイクル性や耐落下衝撃性を向上させるためには、はんだ合金に加わる応力を緩和する必要があるため、合金組織は微細であることが望ましい。合金組織が微細になるためには、液相線温度から少しだけ温度が下がった時に液相が多量に固相となり、互いが互いの成長を阻害すればよいと考えられる。

[0024] チップ立ちは、前述のように、2つの電極に導入されたはんだ合金が溶融するタイミングが異なると発生する。2つの電極が搭載されている電子部品は、早く溶融した溶融はんだの溶融による表面張力の影響で、チップ部品の溶融側の上端部が引っ張られるため、チップ立ちは発生すると推察される。

[0025] より詳細には、溶融はんだの温度が固相線温度から液相線温度に上昇する際、固相線温度からわずかに温度が上がっただけで、固相が多量の液相になり表面張力の影響が大きくなることでチップ立ちは発生すると推察される。一方、固相線温度から温度が上昇しても液相があまり形成されず、液相線温度に到達する間際の温度でようやく液相が多く形成され始める場合には、表面張力の影響が比較的抑えられるため、チップ立ちは発生し難いと推察される。そして、この挙動は、固相線温度と液相線温度との温度域を表す ΔT が同程度であっても、はんだ合金の合金組成により大きく異なると推察される。

[0026] 一方、チップの耐熱性を鑑みると、Sn-Ag-Cu-Ni-Ge-Co系はんだ合金では、 ΔT の温度域が狭い方と液相線温度が低い傾向がある知

見が得られた。このため、 ΔT の温度域は狭い方がよいと推察される。

[0027] さらに、はんだ合金の表面に強固な酸化膜が形成されると、未融合が発生すると推察される。一方、適切な酸化膜が形成されると、変色を抑制することができる。したがって、未融合が抑制されるとともに変色が抑制されるためには、適度な酸化が必要であると考えられる。

[0028] 以上より、固相線温度から液相線温度までの挙動を鑑みると、耐ヒートサイクル性や耐落下衝撃性と、チップ立ちとは、各々相反する方向性を有すると推察される。同様に、未融合と変色も、各々相反する方向性を有すると推察される。従来のはんだ合金では、これらの相反する合金組織が要求される効果を同時に発揮することは困難であった。また、優れた耐ヒートサイクル性や耐落下衝撃性を同時に満足するためには、合金組織を微細にすることに加えて、接合界面の組織の微細化、Sn結晶粒の強化も必要であると考えられる。これまでは、各特性を追及するあまり、必要以上の効果が発揮されるような合金組成が探索されたが、適度な効果が満遍なく発揮される方が、実装の実情に適合しやすいと考えられる。

[0029] そこで、本発明者らは、合金組織と酸化について、すべての効果が同時に発揮されるように、各構成元素の含有量を再度詳細に検討した。その結果、各構成元素の含有量が特定の範囲内である場合に、初めて、 ΔT の温度域が狭く、優れた耐ヒートサイクル性と耐落下衝撃性を有し、未融合、チップ立ち、および変色が発生しない知見が得られ、本発明は完成した。

これらの知見により得られた本発明は以下のとおりである。

[0030] (0) 質量%で、Ag : 0.8~2.5%、Cu : 0.10~1.00%、Ni : 0.03~0.07%、Ge : 0.006~0.014%、Co : 0.001~0.030%、および残部がSnからなることを特徴とするはんだ合金。

(1) 質量%で、Ag : 0.8~2.5%、Cu : 0.10~1.00%、Ni : 0.03~0.07%、Ge : 0.006~0.014%、Co : 0.001~0.030%、および残部がSnからなる合金組成を有する

ことを特徴とするはんだ合金。

[0031] (2) 合金組成は、更に、質量％で、Ga、As、Pd、Mn、In、Zn、Zr、およびMgの少なくとも1種を合計で0.1％以下の量を含有する、上記(0)または上記(1)に記載のはんだ合金。

[0032] (3) 合金組成は、下記(1)～(3)式の少なくとも一式を満たす、上記(0)～上記(2)のいずれか1項に記載のはんだ合金。

$$400000 \leq Ag / (Cu \times Ni \times Ge \times Co) \leq 1458334$$

(1)

$$2.50 \leq Ni / Co \leq 8.40$$

(2)

$$0.000168 \leq Ag \times Cu \times Ni \times Co \leq 0.004900$$

(3)

上記(1)～(3)式中、Ag、Cu、Ni、Ge、およびCoは、各々前記はんだ合金の質量％としての含有量である。

[0033] (4) 上記(0)～上記(3)のいずれか1項に記載のはんだ合金を有することを特徴とするはんだボール。

[0034] (5) 上記(0)～上記(3)のいずれか1項記載のはんだ合金を有することを特徴とするはんだペースト。

[0035] (6) 上記(0)～上記(3)のいずれか1項に記載のはんだ合金を有することを特徴とするはんだ継手。

図面の簡単な説明

[0036] [図1]図1は、ヒートサイクル試験前後におけるはんだ合金の断面SEM写真を示し、図1(a)は実施例3のヒートサイクル試験前であり、図1(b)は実施例3のヒートサイクル試験後であり、図1(c)は比較例16のヒートサイクル試験前であり、図1(d)は比較例16のヒートサイクル試験後である。

[図2]図2は、高温放置前後におけるはんだボールの光学顕微鏡写真であり、図2(a)は実施例3の高温放置前であり、図2(b)は実施例3の高温放置後であり、図2(c)は比較例10の高温放置前であり、図2(d)は比

較例 10 の高温放置後である。

[図3]図 3 は、未融合の有無を示す断面 SEM 写真であり、図 3 (a) は実施例 3 であり、図 3 (b) は比較例 8 である。

発明を実施するための形態

[0037] 本発明を以下により詳しく説明する。本明細書において、はんだ合金組成に関する「%」は、特に指定しない限り「質量%」である。

[0038] 1. はんだ合金

(1) Ag : 0.8 ~ 2.5 %

Ag は、 Ag_3Sn を粒状に析出させるため、はんだ合金の析出強化により耐ヒートサイクル性や耐落下衝撃性を向上させる。また、融点を下げることにより ΔT の温度域を狭くし、また、チップ立ちを抑制することができる。Ag の含有量が 0.8 % 未満であると化合物の析出量が少なく耐ヒートサイクル性が劣る。また、Ag、Cu、Ni 含有量が少なすぎると、Ge 含有量が相対的に多くなりすぎるため、硬くて脆い Ge の酸化膜が厚く覆われてしまい、未融合が発生してしまう。Ag 含有量の下限は 0.8 % 以上であり、好ましくは 1.0 % 以上であり、より好ましくは 1.2 % 以上である。

[0039] 一方、Ag の含有量が 2.5 % を超えると、はんだ合金の硬度が上昇し、接合界面に応力が集中するため耐落下衝撃性が劣る。Ag 含有量の上限は 2.5 % 以下であり、好ましくは 2.3 % 以下であり、より好ましくは 2.0 % 以下であり、更に好ましくは 1.6 % 以下であり、特に好ましくは 1.4 % 以下である。

本発明では、前述の下限や上限を適宜組み合わせて Ag の含有量の範囲にすることができる。Ag の好ましい範囲は、1.0 ~ 1.4 % である。

[0040] (2) Cu : 0.10 ~ 1.00 %

Cu は、融点の上昇を抑制する。また、未融合や粗大な Cu_6Sn_5 の析出を抑制することができる。Cu の含有量が 0.10 % 未満であると、 Cu_6Sn_5 が十分に析出せず、耐ヒートサイクル性が劣る。Cu 含有量の下限は 0.10 % 以上であり、好ましくは 0.20 % 以上であり、より好ましくは 0.

30%以上であり、更に好ましくは0.40%以上であり、特に好ましくは0.50%以上である。

- [0041] 一方、Cuの含有量が1.00%を超えると、接合界面に粗大なCu₆Sn₅が析出して耐落下衝撃性が劣る。また、Cuの含有量が1.00%を大幅に超えると、ΔTの温度域が拡大し、また、未融合が発生する懸念が生じる。Cu含有量の上限は1.00%以下であり、好ましくは0.90%以下であり、より好ましくは0.80%以下であり、更に好ましくは0.70%以下であり、特に好ましくは0.60%以下である。

本発明では、前述の下限や上限を適宜組み合わせてCuの含有量の範囲にすることができる。Cuの好ましい範囲は、0.40～0.60%である。

- [0042] (3) Ni : 0.03～0.07%

Niは、融点の上昇を抑え、未融合を抑制し、Sn結晶粒の微細化を促進し、耐ヒートサイクル性および耐落下衝撃性を向上させる。Niの含有量が0.03%未満であると、Sn結晶粒が微細にならず、耐落下衝撃性が劣る。Niの含有量の下限は0.03%以上であり、好ましくは0.04%以上であり、より好ましくは0.05%以上である。

- [0043] 一方、Niの含有量が0.07%を超えると、粗大なSnNi合金がはんだ合金の表面に析出し、未融合が発生する。また、液相線温度が上昇するためにΔTの温度域が広がる。さらに、Niの含有量が更に多い場合には耐落下衝撃性も劣る。Niの含有量の上限は0.07%以下であり、好ましくは0.06%以下である。

本発明では、前述の下限や上限を適宜組み合わせてNiの含有量の範囲にすることができる。Niの好ましい範囲は、0.04～0.06%である。

- [0044] (4) Ge : 0.006～0.014%

Geは、未融合およびはんだ合金の変色を抑制することができる。Geを含有しない場合には、酸化錫が溶融はんだの表面に形成される。酸化錫は強固であり破壊し難い。一方、はんだ合金中に添加されたGeは、雰囲気中の酸素と反応し、溶融はんだの表面に硬くて脆い酸化膜を形成する。この酸化

膜は脆いために溶融はんだ自体の対流や、チップを載置した際にチップから加わる外力により容易に破壊される。このため、S nの酸化膜の形成が阻害されるとともに溶融はんだの表面に酸化膜が保持されることがなく、S nの酸化膜とは逆に、むしろ、はんだボールとペースト中のはんだ粉末との融合が促進される。

[0045] また、Geは、雰囲気中の酸素と反応し、脆い酸化膜を形成するため、はんだ合金の変色を抑制することができる。なお、Geは、過冷却の抑制に寄与しないため、凝固までの時間が遅くなり、S n結晶粒は微細になる。また、Geは、酸化抑制元素として用いられているPと比較して酸化防止抑制効果が持続する。このため、特にはんだボールに用いる場合には、S nの結晶粒微細効果と酸化抑制持続効果を発揮する。

[0046] Geの含有量が0.006%未満であると酸化錫が生成されることにより変色が発生する。Ge含有量の下限は0.006%以上であり、好ましくは0.007%以上であり、より好ましくは0.008%以上である。一方、Geの含有量が0.014%を超えると、はんだ合金の表面に厚い酸化ゲルマニウムが生成し、硬くて脆いGeの酸化膜が厚く覆われてしまい、未融合が発生する。また、Ag、Cu、およびNiの合計量が相対的に少ない場合にも、同様に未融合が発生することがある。Ge含有量の上限は0.014%以下であり、好ましくは0.012%以下であり、より好ましくは0.011%以下であり、更に好ましくは0.010%以下であり、特に好ましくは0.009%以下である。

本発明では、前述の下限や上限を適宜組み合わせてGeの含有量の範囲にすることができる。Geの好ましい範囲は、0.006～0.012%である。

[0047] (5) Co: 0.001～0.030%以下

Coは、本発明に係るはんだ合金において、融点の上昇を抑え、また、Niとの相乗効果により、未融合を抑制し、S n結晶粒の微細化を促進し、耐ヒートサイクル性および耐落下衝撃性を向上させる。本発明に係るはんだ合

金において、C oの含有量はA gやC uより少ないものの、C oを含有しないことにより、耐落下衝撃性が劣り、未融合およびチップ立ちが発生する。このため、C oは微量添加元素であるものの、本発明において必須元素として扱われる。

[0048] C oの含有量が0.001%未満であると、S n結晶粒の微細化が損なわれ、耐ヒートサイクル性が劣る。C o含有量の下限は0.001%以上であり、好ましくは0.004%以上であり、より好ましくは0.006%以上であり、更に好ましくは0.0070%以上であり、特に好ましくは0.008%以上である。一方、C oの含有量が0.030%を超えると、粗大なS nC o化合物がはんだ合金の表面に形成されるため、熔融はんだ中に固相と液相が同時に存在し、液相線温度が上昇し、濡れ性が劣化することによって、未融合が発生する。C o含有量の上限は0.030%以下であり、好ましくは0.020%以下であり、より好ましくは0.015%以下であり、更に好ましくは0.012%以下であり、特に好ましくは0.010%以下である。

本発明では、前述の下限や上限を適宜組み合わせてC oの含有量の範囲にすることができる。C oの好ましい範囲は、0.006~0.012%である。

[0049] (6) 残部：S n

本発明に係るはんだ合金の残部はS nである。前述の元素の他に不可避免の不純物を含有してもよい。本発明に係るはんだ合金の残部は、S n及び不可避免の不純物からなるものであってもよい。不可避免の不純物を含有する場合であっても、前述の効果に影響することはない。なお、Pは、過冷却抑制としてS n結晶粒の凝固核の役割を果たすため、凝固までの時間が長くなり、S n結晶粒が大きくなりすぎるため、含有しない方がよい。また、本発明において、F eは、S nF eの金属間化合物を形成する懸念がある。これにともない、加工難易度が上昇するため、含有しない方がよい。

[0050] (7) G a、A s、P d、M n、I n、Z n、Z r、およびM gの少な

くとも1種を合計で0.1%以下

本発明に係るはんだ合金は、本発明の効果を損なわない程度において、任意元素として、Ga、As、Pd、Mn、In、Zn、Zr、およびMgの少なくとも1種を合計で0.1%以下の範囲で含有することができる。好ましくは、合計量が0.08%以下である。含有量の下限は特に限定されないが、0.001%以上であればよい。

[0051] (8) (1)～(3)式

$$400000 \leq Ag / (Cu \times Ni \times Ge \times Co) \leq 1458334$$

(1)

$$2.50 \leq Ni / Co \leq 8.40$$

(2)

$$0.000168 \leq Ag \times Cu \times Ni \times Co \leq 0.004900$$

(3)

上記(1)～(3)式中、Ag、Cu、Ni、Ge、およびCoは、各々前記はんだ合金の質量%としての含有量である。

[0052] 本発明に係るはんだ合金は、(1)～(3)式を満たすことにより、すべての効果をさらに十分に発揮することができる。好ましくは(1)～(3)式の少なくとも一式を満たし、最も好ましくは(1)～(3)式のすべてを満たす。(1)式に関しては、Agはチップ立ちに寄与する元素であり、Cu、Ni、Ge、およびCoがチップ立ち以外の効果に寄与する元素である。耐ヒートサイクル性と耐落下衝撃性とチップ立ちに関しては、液相線温度から固相線温度までの挙動が相反するが、一方の効果だけが必要以上に突出せず、全体的にバランスの取れた効果が発揮されるようにした方がよい。

[0053] このためには、液相線温度から固相線温度までの温度域での液相および固相の挙動を制御することが要求される。このような実情に鑑みた要求に対応するためには、本発明に係るはんだ合金が(1)式を満たすことが好ましい。

[0054] また、本発明に係るはんだ合金は、(2)式を満たすことにより、NiとCoの相乗効果を更に十分な水準にまで向上させ、Sn結晶粒の微細化効果

を十分に発揮することができる。さらに、 ΔT が狭く、また、未融合の発生が抑制されるとともに、この他の効果も同時に達成することができる。

[0055] 本発明に係るはんだ合金は、(3)式を満たすことにより、 S_n との化合物を形成する構成元素のバランスが極めて良好になる。このため、 $AgSn$ 化合物、 $CuSn$ 化合物、 $NiSn$ 化合物、および $SnCo$ 化合物のいずれかが凝固時に突出して多く析出することがない。この結果、(3)式を満たすはんだ合金は、高い水準で耐ヒートサイクル性が優れる。

[0056] (1)式の下限は、好ましくは400000以上であり、より好ましくは428571以上であり、更に好ましくは500000以上であり、更により好ましくは535714以上であり、特に好ましくは600000以上であり、最も好ましくは625000以上であり、714286以上、750000以上であってもよい、(1)式の上限は、好ましくは1458334以下であり、より好ましくは1437500以下であり、更に好ましくは1250000以下であり、更により好ましくは1000000以下であり、特に好ましくは937500以下であり、最も好ましくは875000以下である。

本発明では、前述の下限や上限を適宜組み合わせて(1)式の範囲にすることができる。(1)式の好ましい範囲は、600000～937500である。

[0057] (2)式の下限は好ましくは2.50以上であり、より好ましくは3.75以上であり、更に好ましくは5.00以上であり、更により好ましくは6.25以上である。(2)式の上限は好ましくは8.40以下であり、より好ましくは8.33以下であり、更に好ましくは7.50以下である。

本発明では、前述の下限や上限を適宜組み合わせて(2)式の範囲にすることができる。(2)式の好ましい範囲は、5.00～7.50である。

[0058] (3)式の下限は好ましくは0.000168以上であり、より好ましくは0.000180以上であり、更に好ましくは0.000192以上であり、更により好ましくは0.000200以上であり、特に好ましくは0.

0.00240以上である。(3)式の上限は好ましくは0.004900以下であり、より好ましくは0.000900以下であり、更に好ましくは0.000800以下であり、更により好ましくは0.000480以下であり、特に好ましくは0.000460以下であり、最も好ましくは0.000400以下であり、0.000336以下、0.000300以下、0.000280以下、0.000252以下であってもよい。

本発明では、前述の下限や上限を適宜組み合わせて(3)式の範囲にすることができる。(3)式の好ましい範囲は、0.000200～0.000400である。

[0059] これらの式は、各構成元素が相互に依存することにより得られるものである。合金はすべての構成元素が組み合わされた一体のものであり、各構成元素が相互に影響を及ぼすためである。このように、各構成元素の最適な含有量に調整した上で、更に(1)式～(3)式を満たす本発明に係るはんだ合金は、各構成元素が相互に依存していることが十分に考慮された範囲に設定されている。このため、各構成元素が上述の範囲内であるとともに、更に(1)式～(3)式を満たすと、従来では両立が困難であった諸特性を1組成で、同時に、且つ高い水準で達成することができる。

[0060] (1)式～(3)式の計算には、合金組成の実測値である表1および表2に示す数値を用いた。(1)式～(3)式より算出される値については、(1)式は整数値で算出し、(2)式は小数点第2位まで算出し、(3)式は小数点第6位まで算出する。この計算規則は本出願で使用され、また、すべてのはんだ合金が同じ方法で扱われなければならないため、他の文献などで説明される更なるはんだ合金に関する計算にも同様に使用されることを意図している。

[0061] なお、後述する実施例において、判定結果が「◎」である場合には、「○」と比較して実用上特に好ましいことを表す。「○」は、従来よりも好ましい結果であるため、本発明の範囲内であり、実施例として取り扱う。「×」または「△」は、本発明においては不十分な結果であるため、本発明の範囲

外であり、比較例として取り扱う。

[0062] 2. はんだボール

本発明に係るはんだ合金は、はんだボールとして使用することができる。本発明に係るはんだボールは、BGAなどの半導体パッケージの電極や基板のバンプ形成に用いられる。本発明に係るはんだボールの直径は1～1000 μm の範囲内が好ましい。はんだボールは、一般的なはんだボールの製造法により製造することができる。

[0063] 3. はんだペースト

本発明に係るはんだペーストは、上述の合金組成からなるはんだ粉末とフラックスとの混合物である。本発明において使用するフラックスは、常法によりはんだ付けが可能であれば特に制限されない。したがって、一般的に用いられるロジン、有機酸、活性剤、チキソ材、そして溶剤を適宜配合したものを使用すればよい。本発明において金属粉末成分とフラックス成分との配合割合は特に制限されないが、好ましくは、金属粉末成分：70～90質量％、フラックス成分：10～30質量％である。

[0064] 4. はんだ継手

本発明に係るはんだ継手は、少なくとも2つ以上の被接合部材の接合に好適に使用される。被接合部材とは、例えば、素子、基板、電子部品、プリント基板、絶縁基板、ヒートシンク、リードフレーム、電極端子等を用いる半導体及び、パワーモジュール、インバーター製品など、本発明に係るはんだ合金を用いて電氣的に接続されるものであれば特に限定されない。

[0065] 5. はんだ合金の製造方法

本発明に係るはんだ合金は、SnにAgおよびCuを所定量含有する合金に、Sn-Ni母合金、Sn-Co母合金、およびSn-Ge母合金を、各構成元素の含有量が所定量になるように添加して製造されることが好ましい。NiやCoの融点は高いため、単独でSnに添加すると溶け残り、SnNi合金やSnCo合金が粗大になる。また、Geは融点が高いため、溶け残ってしまい、通常は単独で添加することができない。このため、Ni、Co

、およびGeについては、Snとの母合金の形態でSnAgCu合金に添加することが好ましい。

[0066] 6. その他

本発明に係るはんだ合金は、その原材料として低 α 線量材を使用することにより低 α 線量合金を製造することができる。このような低 α 線量合金は、メモリ周辺のはんだバンプの形成に用いられるとソフトエラーを抑制することが可能となる。

実施例

[0067] 本発明を以下の実施例により説明するが、本発明が以下の実施例に限定されることはない。

本発明の効果を立証するため、表1に記載のはんだ合金を用いて、(1) ΔT を測定し、(2) 耐ヒートサイクル試験(TCT)、および(3) 落下衝撃試験(DROP)を行い、(4) 未融合、(5) チップ立ち、および(6) 変色の有無を確認した。

[0068] (1) ΔT

表1および表2に示すはんだ合金について、DSC曲線から各々の温度を求めた。DSC曲線は、セイコーインスツルメンツ社製のDSC(型番: 6200)により、大気中で5℃/minで昇温して得られた。得られたDSC曲線から液相線温度を求めた。また、DSC曲線から固相線温度も評価した。液相線温度から固相線温度を差し引いた値を ΔT とした。 ΔT が11℃未満である場合には、「◎」と判定した。 ΔT が11℃以上40℃以下である場合には、「○」と判定した。 ΔT が40℃超である場合には、「△」と判定した。

[0069] (2) 耐ヒートサイクル試験(TCT)

表1および表2に示す各はんだ合金をアトマイズしてはんだ粉末とした。松脂、溶剤、活性剤、チキソ剤、有機酸等からなるはんだ付けフラックス(千住金属工業株式会社製「GLV」)と混和して、各はんだ合金のはんだペーストを作製した。はんだペーストの合金粉末は88質量%とし、フラックス

スを質量12%とした。はんだペーストを、厚さが0.8mmのプリント基板（材質：FR-4）に厚さが100 μ mのメタルマスクで印刷した後、15個のBGA部品をマウンタで実装して、最高温度245℃、保持時間60秒の条件でリフローはんだ付けをし、試験基板を作製した。

[0070] 作製した試験基板を、低温-40℃、高温+125℃、保持時間10分の条件に設定したヒートサイクル試験装置に入れ、初期の抵抗値である3~5 Ω から、少なくとも1個のBGA部品での抵抗値が15 Ω を超えた時点でのサイクル数を求めた。サイクル数が700回以上である場合には「◎」と判定した。サイクル数が650~699回である場合には「○」と判定した。サイクル数が650回未満である場合には「×」と判定した。

[0071] (3) 落下衝撃試験 (DROP)

(2)と同様にはんだペーストを作製した。はんだペーストは、厚さが0.8mmのプリント基板（材質：FR-4）に厚さが100 μ mのメタルマスクで印刷した後、1つの基板ごとに5個のBGA部品をマウンタで実装して、最高温度240℃、保持時間60秒の条件でリフローはんだ付けをし、2枚の試験基板を作製した。その後、BGA部品を1つずつ個片化した。

[0072] 次に、BGA部品が台座側に向くように試験基板の両端をボルトで台座に固定した。その状態でJEDEC規格に則って電気抵抗値を測定しながら加速度1500Gの衝撃を与えて耐衝撃性を評価した。亀裂が進展している状況を、電気抵抗値が初期値から50%上昇するまでの落下回数で評価した。落下回数が100回以上である場合には「◎」と判定した。落下回数が90回以上100回未満である場合には「○」と判定した。落下回数が90回未満である場合には「×」と判定した。

[0073] (4) 未融合

表1および表2に示すはんだ合金について、未融合の有無を検証した。検証方法は、各実施例及び比較例の組成で調合したはんだ合金を鋳造、圧延したものを、打ち抜きして小片状の部材（2mm（縦）×2mm（横）×0.1mm（厚み））を作成した。この小片を所定の大きさの板状に成形し、フ

ラックスを塗布したOSP（水溶性プリフラックス（Organic Solderability Preservation）処理が施されたCu板上に置き、リフローを行った後、表面を洗浄し、温度125℃、湿度100%RHの環境に24時間置いた。

[0074] さらに、Agが3.0%、Cuが0.5%、残部がSnからなるはんだ合金（Sn-3.0Ag-0.5Cu）を用いて作製したはんだボール（本例の場合、直径300μm）を、小片部材と同様に温度125℃、湿度100%RHの環境に24時間置いた。次に、実施例あるいは比較例のはんだ合金からなる試料上にフラックスを塗布し、はんだボールを所定個数置いた。本例では、はんだボールの数は9個とし、それぞれ5枚用意した。そして、大気中、最高温度240℃、保持時間60秒の条件でリフローを行った後、未融合のはんだボールの数を数えた。未融合とは、小片とはんだボールが接合していない状態をいう。未融合が1つも発生しない場合には「◎」と判定した。未融合が1つでも発生した場合には「×」と判定した。

[0075] （5） チップ立ち

（2）と同様にはんだペーストを作製した。このはんだペーストを6層のプリント基板（FR-4、Cu-OSP）のCuランドに150μmのメタルマスクでペースト印刷した後、12個の3216チップ抵抗をマウンタで実装した。その後、最高温度245℃、保持時間40秒の加熱条件で溶融させてリフローを行い、はんだ付けを行って試験基板を作製した。実装後のチップ立ち個数を数えた。チップ立ち個数が0個である場合には「◎」と判定した。チップ立ち個数が1個である場合には「○」と判定した。チップ立ち個数が2個以上である場合には「×」と判定した。

[0076] （6） 変色

表1および表2に示すはんだ合金を坩堝に投入し、245℃で10分間加熱してはんだ合金を溶融させ、坩堝の底部に設けたオリフィスから溶融はんだを滴下し、生成した液滴を室温（18℃）まで急冷して、直径が600μmのはんだボールに造球した。造球されたはんだボールを大気雰囲気下の恒

温槽を用いて300℃設定で300秒間加熱し、明度の変化を測定した。明度は、コニカミノルタ製CM-3500d型分光測色計を使用して、D65光源、10度視野でJIS Z 8722「色の測定方法-反射及び透過物体色」に準じて分光透過率を測定して、色彩値(L^* , a^* , b^*)から求めた。なお、(L^* , a^* , b^*)は、JIS Z 8729「色の表示方法- $L^*a^*b^*$ 表色系及び $L^*u^*v^*$ 表色系」にて規定されているものである。 L^* は明度であり、 a^* は赤色度であり、 b^* は黄色度である。明度が70以上である場合には「◎」と判定した。明度が70未満である場合には「×」と判定した。

以上のように評価した結果を表1および表2に示す。

[0077]

[表1]

	元素組成(質量%)																		(JIS)	(JIS)	試験1				試験2	試験3	試験4	試験5	試験6
	Sn	Ag	Cu	Ni	Fe	Co	As	Pb	In	Zn	Zr	Mg	銀	銅	ΔT	利度	TCT												
実施例1	34	0.8	0.50	0.06	0.008	0.008									218	229	11	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例2	34	1.0	0.50	0.06	0.008	0.008									212	228	10	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例3	34	1.2	0.50	0.06	0.008	0.008									216	227	9	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例4	34	1.4	0.50	0.06	0.008	0.008									216	227	9	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例5	34	2.0	0.50	0.06	0.008	0.008									218	225	7	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例6	34	2.3	0.50	0.06	0.008	0.008									218	224	6	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例7	34	1.2	0.10	0.06	0.008	0.008									218	228	11	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例8	34	1.4	0.20	0.06	0.008	0.008									218	228	10	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例9	34	1.2	0.70	0.05	0.008	0.008									218	226	8	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例10	34	1.2	1.00	0.05	0.008	0.008									218	212	14	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例11	34	1.4	0.30	0.03	0.008	0.008									218	227	8	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例12	34	1.2	0.30	0.04	0.008	0.008									218	217	9	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例13	34	1.2	0.30	0.06	0.008	0.007									218	236	26	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例14	34	1.2	0.30	0.07	0.006	0.008									218	227	9	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例15	34	1.2	0.50	0.05	0.006	0.006									218	227	9	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例16	34	1.2	0.50	0.06	0.010	0.008									218	227	9	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例17	34	1.2	0.50	0.06	0.014	0.008									218	227	9	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例18	34	1.2	0.50	0.06	0.008	0.008									218	227	9	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例19	34	1.2	0.50	0.06	0.008	0.010									218	227	9	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例20	34	1.6	0.50	0.05	0.008	0.008									218	227	9	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例21	34	1.2	0.50	0.05	0.008	0.008									218	250	32	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例22	34	1.2	0.50	0.05	0.008	0.008		0.010							218	227	9	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例23	34	1.2	0.50	0.05	0.008	0.008		0.010							218	227	9	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例24	34	1.2	0.50	0.05	0.008	0.008									218	227	9	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例25	34	1.2	0.50	0.05	0.008	0.008									218	227	9	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例26	34	1.2	0.50	0.05	0.008	0.008									218	227	9	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例27	34	1.2	0.50	0.05	0.008	0.008									218	227	9	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例28	34	1.2	0.50	0.05	0.008	0.008									218	227	9	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例29	34	1.2	0.50	0.05	0.008	0.008									218	227	8	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
実施例30	34	1.2	0.50	0.05	0.008	0.008									218	227	8	○	○	○	○	○	○	○	○	○			

[0078]

[表2]

	合金組成(質量%)														(1)式	(2)式	(3)式	試験1				試験2	試験3	試験4	試験5	試験6	合金 分類
	Sn	Ag	Cu	Fe	Co	Ga	As	Pd	Mn	In	Zn	Zr	Mo	溶融温度 ΔT				熱膨張率 ΔT	熱膨張率 ΔT	熱膨張率 ΔT							
比較例1	5wt	0.2	0.50	0.05	0.038	0.038								403500	8.25	0.000140	218	238	11	○	×	○	○	○	×	×	
比較例2	5wt	2.5	0.50	0.05	0.038	0.038								1245000	8.25	0.000320	218	235	7	○	○	×	○	○	○	×	
比較例3	5wt	1.2	0.25	0.05	0.038	0.038								7300000	8.25	0.000094	218	230	12	○	×	×	○	○	○	×	
比較例4	5wt	1.2	1.55	0.05	0.038	0.038								357145	8.25	0.000094	218	235	17	○	○	×	○	○	○	×	
比較例5	5wt	1.2	0.50	0.024	0.038	0.038								9150000	8.25	0.000019	218	227	9	○	○	×	○	○	○	×	
比較例6	5wt	1.2	0.50	0.03	0.038	0.038								3750000	1.25	0.000048	218	227	9	○	○	×	○	○	○	×	
比較例7	5wt	1.2	0.50	0.10	0.038	0.038								174900	12.50	0.000490	218	262	84	△	○	×	×	○	○	×	
比較例8	5wt	1.2	0.50	0.11	0.038	0.038								54808	12.75	0.000528	218	267	79	△	×	×	×	○	○	×	
比較例9	5wt	1.2	0.50	0.05	0.038	0.038								1583500	8.25	0.000040	218	227	9	○	○	○	○	○	×	×	
比較例10	5wt	1.2	0.50	0.05	0.038	0.038								6000000	8.25	0.000040	218	227	9	○	○	○	○	○	×	×	
比較例11	5wt	1	0.7	0.07	0.038	0.038								138034	2.33	0.001470	218	260	42	△	○	○	○	○	×	×	
比較例12	5wt	1	0.5	0.05	0.038	0.038								26887	5.50	0.002250	218	226	10	○	○	○	○	○	×	×	
比較例13	5wt	1.2	0.50	0.05	0.038	0.038								375000	4.25	0.000246	218	227	8	○	○	○	○	○	×	×	
比較例14	5wt	1.2	0.50	0.05	0.038	0.038								1500000	175.00	0.000012	218	227	8	○	×	×	○	○	○	×	
比較例15	5wt	1.2	0.50	0.03	0.038	0.038								450000	0.75	0.000735	218	236	41	△	○	○	○	×	×	×	
比較例16	5wt	3.5	0.50	0.05	0.038	0.038								-	-	0.000000	219	226	11	○	×	○	×	○	×	×	
比較例17	5wt	3.0	0.50	0.05	0.038	0.038								-	-	0.000000	218	226	11	○	○	○	○	×	×	×	
比較例18	5wt	3.0	0.50	0.05	0.038	0.038								-	-	0.000000	218	225	7	○	○	×	×	×	×	×	
比較例19	5wt	3.5	0.50	0.03	0.038	0.038								-	-	0.000000	218	226	8	○	○	×	×	×	×	×	
比較例20	5wt	3.5	0.26	0.038	0.038	0.038								-	-	0.000000	218	237	19	○	○	○	×	×	×	×	
比較例21	5wt	3.0	0.50	0.05	0.038	0.038								-	-	0.000000	218	226	7	○	○	○	×	×	×	×	
比較例22	5wt	3.2	0.50	0.03	0.038	0.038								-	-	0.000000	218	224	8	○	○	○	×	×	×	×	
比較例23	5wt	3.5	0.50	0.05	0.038	0.038								-	-	0.000000	218	228	8	○	○	○	×	×	×	×	
比較例24	5wt	3.5	0.50	0.05	0.038	0.038								2111111	5.00	0.000075	218	225	8	○	○	○	○	×	×	×	

[0079] 表1に示すように、実施例1～30は、いずれも各構成元素の含有量が適

量であるため、すべての評価が実用上耐え得る結果になった。また、(1)～(3)式を満たす実施例2～5、8、9、11、12、15～20、および22～30は、すべての評価において、極めて優れる結果を示すことがわかった。

[0080] 一方、表2に示すように、比較例1は、Agの含有量が少ないため、TC Tが劣った。比較例2は、Agの含有量が多いため、DROPが劣った。

[0081] 比較例3は、Cuの含有量が少ないため、TC Tが劣った。比較例4は、Cuの含有量が多いため、DROPが劣った。

[0082] 比較例5および6は、Niの含有量が少ないため、DROPが劣った。比較例7は、Niの含有量が多いため、未融合が発生し、ΔTが広がった。比較例8は、Niの含有量が更に多いため、未融合が発生し、TC TおよびDROPが劣り、ΔTが広がった。

[0083] 比較例9～11は、Geの含有量が少ないため、変色が発生した。比較例12および13は、Geの含有量が更に多いため、未融合が発生した。

[0084] 比較例14は、Coの含有量が少ないため、TC Tが劣った。比較例15は、Coの含有量が多いため、未融合が発生し、また、Coの含有量が多いため、ΔTが広がり、未融合が発生し、変色が発生した。

[0085] 比較例16は、Coを含有せず、AgおよびNiも少ないため、TC Tが劣り、未融合が発生した。比較例17は、Geの含有量が少ないため、変色が発生した。比較例18～24は、Geの含有量が少なくAgが多いため、DROPが劣り、変色が発生した。

[0086] 図1は、ヒートサイクル試験前後におけるはんだ合金の断面SEM写真を示し、図1(a)は実施例3のヒートサイクル試験前であり、図1(b)は実施例3のヒートサイクル試験後であり、図1(c)は比較例16のヒートサイクル試験前であり、図1(d)は比較例16のヒートサイクル試験後である。図1(a)および図1(b)に示すように、実施例3ではヒートサイクル試験後においては、Sn、およびSnの周りのAg₃Snは若干粗大になったものの、特性が劣化しない程度に粗大化を抑えられた。一方、図1(c)

）および図1（d）に示すように、比較例16のヒートサイクル試験後では、 Sn 、 Ag_3Sn 、および $(\text{Cu}, \text{Ni})_6\text{Sn}_5$ が大幅に粗大になることがわかった。

[0087] 図2は、高温放置前後におけるはんだボールの光学顕微鏡写真であり、図2（a）は実施例3の高温放置前であり、図2（b）は実施例3の高温放置後であり、図2（c）は比較例10の高温放置前であり、図2（d）は比較例10の高温放置後である。図2（a）および図2（b）に示すように、実施例3では高温放置後にはんだボールの酸化は見られなかった。一方、図2（c）および図2（d）に示すように、比較例10は高温放置後に全体的に黒ずんでいた。

[0088] 図3は、未融合の有無を示す断面SEM写真であり、図3（a）は実施例3であり、図3（b）は比較例8である。図3（a）に示すように、実施例3でははんだボールと融合していることがわかった。一方、図3（b）に示すように、比較例8では未融合が発生していることがわかった。

請求の範囲

[請求項1] 質量%で、A g : 0.8 ~ 2.5 %、C u : 0.10 ~ 1.00 %、N i : 0.03 ~ 0.07 %、G e : 0.006 ~ 0.014 %、C o : 0.001 ~ 0.030 %、および残部がS nからなる合金組成を有することを特徴とするはんだ合金。

[請求項2] 前記合金組成は、更に、質量%で、G a、A s、P d、M n、I n、Z n、Z r、およびM gの少なくとも1種を合計で0.1 %以下の量を含む、請求項1に記載のはんだ合金。

[請求項3] 前記合金組成は、下記(1)式~(3)式の少なくとも一式を満たす、請求項1または2に記載のはんだ合金。

$$400000 \leq A g / (C u \times N i \times G e \times C o) \leq 1458334 \quad (1)$$

$$2.50 \leq N i / C o \leq 8.40 \quad (2)$$

$$0.000168 \leq A g \times C u \times N i \times C o \leq 0.004900 \quad (3)$$

上記(1)~(3)式中、A g、C u、N i、G e、およびC oは、各々前記はんだ合金の質量%としての含有量である。

[請求項4] 請求項1または2に記載のはんだ合金を有することを特徴とするはんだボール。

[請求項5] 請求項1または2に記載のはんだ合金を有することを特徴とするはんだペースト。

[請求項6] 請求項1または2に記載のはんだ合金を有することを特徴とするはんだ継手。