明　細　書

発明の名称 ：

はんだ合金、はんだペースト、はんだボール、はんだプリフォーム、はんだ継手、車載電子回路、ＥＣＵ電子回路、車載電子回路装置、およびＥＣＵ電子回路装置

技術分野

[0001] 本発明は、はんだ合金、はんだペースト、はんだボール、はんだプリフォーム、はんだ継手、車載電子回路、ＥＣＵ電子回路、車載電子回路装置、およびＥＣＵ電子回路装置に関する。

背景技術

[0002] 自動車には、プリント基板に電子部品をはんだ付けした電子回路（以下、「車載電子回路」と称する。）が搭載されている。車載電子回路は、エンジン、パワーステアリング、ブレーキ等を電気的に制御する機器に使用されおり、自動車の走行にとって非常に重要な保安部品となっている。特に、燃費向上のためにコンピュータで車を制御する電子回路のＥＣＵ（Ｅｎｇｉｎｅ　Ｃｏｎｔｒｏｌ　Ｕｎｉｔ）と呼ばれる車載電子回路は、長期間に渡って故障がなく安定した状態で稼働できるものでなければならない。このような車載電子回路は、搭載領域の拡大により、寒暖差、衝撃、振動などの種々の外的な負荷を受ける箇所に搭載されるようになった。

[0003] 例えば、エンジンルームに搭載された車載電子回路は、エンジン動作時には１２５℃以上という高温に曝されることがある。一方、エンジン停止時には、寒冷地であれば－４０℃以下という低温に曝される。このように、厳しい使用環境に使用される車載電子回路には、信頼性に優れるはんだ合金が使用されている。

[0004] 従来から、汎用性の高いはんだ合金として、Ｓｎ－Ａｇ－Ｃｕはんだ合金が使用されている。しかし、Ｓｎ－Ａｇ－Ｃｕはんだ合金は、前述のように、従来では想定されていなかった過酷な環境では、接合界面に形成される金

属間化合物層が厚くなり、せん断応力により電極とはんだ合金の接合界面で剥離が生じる懸念がある。このため、厳しい使用環境であっても接合強度が維持されるはんだ合金が求められており、従来から種々の検討がされている。

[0005] 特許文献１には、高い耐ヒートサイクル性を備えるはんだ合金として、Ｓｎ－Ａｇ－Ｃｕはんだ合金に、Ｉｎ、Ｓｂ、およびＣｏを含有するＳｎ－Ａｇ－Ｃｕ－Ｉｎ－Ｓｂ－Ｃｏ－Ｇｅはんだ合金が開示されている。同文献には、このはんだ合金は、耐ヒートサイクル性に加えてリフトオフを抑制することができる、ことが説明されている。この効果が発揮されるようにするため、また、同文献には、Ｓｂによる融点上昇を抑えるために従来からＢｉが添加されていたが、リフトオフを改善するため、Ｂｉの代わりに、Ｉｎを含有することが記載されている。

[0006] 特許文献２には、高い耐ヒートサイクル性を備えるはんだ合金として、Ｓｎ－Ａｇ－Ｃｕ－Ｉｎ－Ｓｂ－Ｎｉ－Ｃｏはんだ合金が開示されている。同文献には、このはんだ合金は、耐ヒートサイクル性に加えて、ボイド発生の抑制、およびリフトオフを抑制することができる、ことが説明されている。また、同文献には、ＳｂとＩｎの含有量のバランスを図ることにより、耐ヒートサイクル性の向上に加えて、リフトオフとボイドの発生をも抑制することが記載されている。また、同文献には、耐ヒートサイクル性、およびボイド発生を抑制する観点から、さらにＦｅなどを含有してもよいことが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特許第６３４９６１５号公報

特許文献2：特許第６４２０９３６号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 前述のように、特許文献１および２に記載の発明では、いずれも耐ヒートサイクル性とリフトオフの評価が行われている。特許文献２では、更にボイド発生の評価がなされている。また、リフロー温度の上昇を抑えるため、融点の評価が行われている。

[0009] しかし、車載用の電子回路に用いるはんだ合金としては、これらの評価だけでは不十分である。例えば、車載用の電子回路では、電子回路を搭載する自動車が悪路を走行すると、電子回路には外部からの応力が加わる。このため、高いシェア強度を示すことは、はんだ継手にとって大変重要である。

[0010] また、破断し難いはんだ継手が形成されたとしても、応力が継続的にはんだ継手に加わると、いずれ破断する。このような継続的な応力は、寒暖差が激しい環境に曝されることにより継続的に加わることが考えられる。これは、電極、接合界面に形成される金属間化合物、およびバルクの熱膨張係数の違いに起因する。特に、はんだ継手の負荷が大きくなったとしても、破断した箇所が接合界面となる破壊モードであってはならない。接合界面は電極と接合しているため、接合界面で応力を緩和することは容易ではない。ただ、物理的および電気的な負荷は主としてはんだ継手の接合界面に加わる。このため、比較的変形しやすいバルクで応力を緩和した方が、破壊を抑制することができると考えられる。

[0011] しかし、特許文献１および２には、シェア強度と破壊モードについては一切検討されておらず、はんだ継手の使用する上での実情が反映されているとは言い難い。はんだ継手は基板等と電子部品等を電気的に接続するものであるため、接合界面での破断は極力避けられるべきである。

[0012] 一方、前述のように、応力が継続的にはんだ継手に加わる環境での検討は、ヒートサイクル試験により評価されている。この点、特許文献１および２に記載の発明では、耐ヒートサイクル性が検討されている。ただ、特許文献１では、２０００サイクルでのクラックの全長を４個のサンプルの平均値で評価されている。また、特許文献２では、３０００サイクルでの亀裂の発生を１０個のサンプルで観察し、はんだ継手を横断した亀裂の発生有無が評価

されているとも思われる。

[0013] 特許文献１に記載されているように、平均値だけで評価する場合、クラックの全長が短いサンプルとクラックの全長が長いサンプルがあったとして、平均値が小さければ、そのサンプルは優れた評価を示すものとして取り扱われてしまう。本来であれば、クラックの全長が長いサンプルが含まれていれば、はんだ継手として耐ヒートサイクル性の課題が残存しているにも関わらず、その課題が見逃されてしまう。

[0014] 特許文献２に記載されているような評価は、はんだ継手が完全に破断するような亀裂については、概ね把握されると思われる。ただ、はんだ継手を横断していないものの、もう少しで横断するようなものがあっても、そのサンプルは優れた評価を示すものとして取り扱われてしまう。１０個のサンプルのうち、もう少しではんだ継手を横断するような亀裂が発生したサンプル数が多ければ、何等かの課題があると考えざるを得ないが、このようなサンプル群も優れた評価を示すものとして取り扱われてしまう。更に言えば、特許文献２に記載の発明では、たまたま３０００サイクルでの亀裂を評価しているが、あと数サイクル多いとはんだ継手を横断する亀裂がいくつも発生する懸念がある場合には、耐ヒートサイクル性の課題が残ると考えなければならない。

[0015] 特に、車載用の電子回路に搭載されるはんだ継手であれば、安全性の観点から、はんだ継手の破断は極力抑制しなければならない。特許文献１および２での耐ヒートサイクル性の評価では、一部では極めて短いサイクルで破断してしまう可能性がある。すなわち、評価結果にバラツキが大きいと、問題ないと思われるサンプルであってもすぐに破断するものが含まれてしまう。

[0016] このように、特許文献１および２には、はんだ継手として重要な特性であるシェア強度と破壊モードについては何ら検討されていない。また、近年の自動車は電気化が進み、搭載される基板数は増加し続けると考えられるため、耐ヒートサイクル性が高い確率で担保されるようなはんだ合金の開発は急務である。さらに、電子部品の耐熱性を鑑みると、従来と同程度の融点を示

すことも望まれている。

[0017] そこで、本発明の課題は、融点が低く、シェア強度が高く、破壊モードが適切であるとともに、耐ヒートサイクル性に優れるはんだ合金、はんだペースト、はんだボール、はんだプリフォーム、はんだ継手、車載電子回路、ＥＣＵ電子回路、車載電子回路装置、およびＥＣＵ電子回路装置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および２に開示されているはんだ合金を再検討した。両文献に開示されているはんだ合金の中で、特許文献１の実施例１２であるＳｎ－Ａｇ－Ｃｕ－Ｉｎ－Ｓｂ－Ｃｏ－Ｇｅはんだ合金、および特許文献２の実施例１５であるＳｎ－Ａｇ－Ｃｕ－Ｉｎ－Ｓｂ－Ｎｉ－Ｃｏ－Ｆｅはんだ合金のシェア強度が、いずれも従来と同程度であり、改善の余地がある知見が得られた。

[0019] これらのはんだ合金は、シェア強度の向上を目的として設計された合金組成を有するわけではない。はんだ合金は、それぞれのはんだ合金ごとに，その組成成分の一つでも含有量等が異なれば，全体の特性が異なることが通常であって、所定の含有量を有する合金元素の組合せの全体が一体のものとして技術的に評価されると解すべきである。

[0020] そこで、本発明者らは、融点の上昇を抑えつつ、シェア強度の向上と、破壊モードについて詳細に調査をおこなった。この結果、特許文献１の実施例１２にＦｅを所定量添加すると、融点が８～１０℃程度低下する知見が得られた。これは、Ｓｎ－Ａｇ－Ｃｕ－Ｉｎ－Ｓｂ－Ｃｏ－Ｇｅはんだ合金において、Ｆｅを所定量添加すると、Ｃｏとの相乗効果により、更にはんだ合金の組織が微細になり、粗大な化合物の析出が抑制されるためであると推察される。

[0021] また、Ｓｎ－Ａｇ－Ｃｕ－Ｉｎ－Ｓｂ－Ｃｏ－Ｇｅはんだ合金にＦｅを添加すると、Ｇｅの有無に寄らず、同等の融点、シェア強度、および破壊モードが得られる知見が得られた。これにともない、Ｓｎ－Ａｇ－Ｃｕ－Ｉｎ－

Ｓｂ－Ｃｏ－Ｆｅはんだ合金において、Ｇｅを任意元素として取り扱うことができる知見が得られた。

[0022] 特許文献２の実施例１５は、融点が少し高めである知見が得られた。これは、Ｓｎ－Ａｇ－Ｃｕ－Ｉｎ－Ｓｂ－Ｃｏ－Ｆｅはんだ合金において、Ｎｉを含有すると、凝固過程においてより高温域でＮｉに起因する固相が析出し始めるためであると推察される。また、Ｃｕの含有量が少ないため、Ｓｎ－Ａｇ－Ｃｕの共晶組成から若干ずれることにより、融点が上昇したものと考えられる。そこで、特許文献２の実施例１５からＮｉを除き、且つＣｕの含有量を０．１～０．４％だけ増量すると、融点が下がるとともに、シェア強度が著しく向上する知見が得られた。

[0023] さらに、合金組織が微細になる程度にＣｏやＦｅを含有する組成では、破断がバルクで発生するために適切な破壊モードを示す知見が得られた。ただ、ＣｏやＦｅの含有量が調整されたとしても、Ａｇ、およびＳｂの含有量が多すぎると、接合界面での破断が発生する知見も得られた。これは、化合物の析出によりバルクの強度が向上してしまい、ＣｏやＦｅの含有量が多すぎても同様の結果になると推察される。また、Ｃｕが多いとシェア強度が劣化するとともに破壊モードが接合界面になる知見が得られた。これは、過共晶になり接合界面に粗大なCu_6Sn_5が析出するためであると推察される。

[0024] 上述の知見に加えて、特許文献１および２では、耐ヒートサイクル性を発揮できることが示されている。しかし、本発明者らは、各特許文献の実施例であっても、中には極めて短いサイクルで破断してしまうものを確認した。これは、評価結果のバラツキが大きいことを示す。したがって、従来の評価方法では、耐ヒートサイクル性が高いとされてきたはんだ合金であっても、中には耐ヒートサイクル性が低いものが含まれることから、より正確な評価を行う必要がある。そこで、本発明者らは、耐ヒートサイクル性の評価における破断サイクル数を標準偏差で評価することが最も有効であることに思い至った。標準偏差で評価することにより、これまで見逃されてきた耐ヒートサイクル性の低いはんだ合金を抽出することができ、より高い精度で耐ヒー

トサイクル性を評価することができた。

[0025] そして、本発明者らは、耐ヒートサイクル性の評価として、破断サイクル数を標準偏差で求めた。その結果、各構成元素が所定の範囲内であるはんだ合金は、上述のように融点が低く、シェア強度が高く、破壊モードが適切であることに加えて、破断サイクル数の標準偏差が所定値以下である知見が得られ、本発明は完成した。

これらの知見により完成された本発明は以下のとおりである。

[0026] （０） 質量％で、Ａｇ：２．０～３．６％、Ｃｕ：０．６～０．９％、Ｉｎ：１．０～５．０％、Ｓｂ：３．０～５．０％、Ｆｅ：０．００１０～０．０３００％、Ｃｏ：０．００１０～０．０５００％、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：２．０～３．６％、Ｃｕ：０．６～０．９％、Ｉｎ：１．０～５．０％、Ｓｂ：３．０～５．０％、Ｆｅ：０．００１０～０．０３００％、Ｃｏ：０．００１０～０．０５００％、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。

[0027] （２） 合金組成（はんだ合金）は、更に、質量％で、Ｚｒ，Ｇｅ、Ｇａ、Ｐ、Ａｓ、Ｐｂ、Ｚｎ、Ｍｇ、Ｃｒ、Ｔｉ、Ｍｏ、Ｐｔ、Ｐｄ、Ａｕ、Ａｌ、およびＳｉの少なくとも１種を合計で０．１００％以下を含有する、上記（０）または上記（１）に記載のはんだ合金。

[0028] （３） 合金組成（はんだ合金）は、下記（１）式および（２）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。

０．００２０≦Ａｇ×Ｃｕ×Ｉｎ×Ｓｂ×Ｆｅ×Ｃｏ≦０．００９０

（１）

４４５≦Ｉｎ／（Ａｇ×Ｃｕ×Ｓｂ×Ｆｅ×Ｃｏ）≦３５６０

（２）

上記（１）式および（２）式中、Ａｇ、Ｃｕ、Ｉｎ、Ｓｂ、Ｆｅ、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。

[0029] （４） 上記（０）～上記（２）のいずれか１項に記載のはんだ合金から

なるはんだ粉末を有するはんだペースト。

[0030] （５） 上記（０）～上記（２）のいずれか１項に記載のはんだ合金からなるはんだボール。

[0031] （６） 上記（０）～上記（２）のいずれか１項に記載のはんだ合金からなるはんだプリフォーム。

[0032] （７） 上記（０）～上記（２）のいずれか１項に記載のはんだ合金を有するはんだ継手。

[0033] （８） 上記（０）～上記（２）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車載電子回路。

[0034] （９） 上記（０）～上記（２）のいずれか１項のはんだ合金を有することを特徴とするＥＣＵ電子回路。

[0035] （１０） 上記（８）に記載の車載電子回路を備えたことを特徴とする車載電子回路装置。

[0036] （１１） 上記（９）に記載のＥＣＵ電子回路を備えたことを特徴とするＥＣＵ電子回路装置。

図面の簡単な説明

[0037] [図1]図１は、シェア強度を測定した後におけるサンプルの光学顕微鏡写真を示し、図１（ａ）は実施例４であり、図１（ｂ）は比較例１９であり、図１（ｃ）は比較例３である。

発明を実施するための形態

[0038] 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。

[0039] １． はんだ合金

（１） Ａｇ：２．０～３．６％

Ａｇは、シェア強度の向上、Ag_3Snの析出による破壊モードの適切化、融点の低下、および耐ヒートサイクル性の向上に寄与する。Ａｇの含有量が２．０％未満であると、化合物の析出量が少なくシェア強度が低下する。Ａｇの含有量の下限は２．０％以上であり、好ましくは２．５％以上であり、

より好ましくは２．７％以上であり、更に好ましくは３．０％以上である。

[0040] 一方、Ａｇの含有量が３．６％を超えると、過共晶になるためにＡｇ$_3$Ｓｎが多量に析出してバルクの強度が上がるため、破壊モードが接合界面になる。また、シェア強度が低下し、化合物の多量析出により融点が上昇することがある。更に、バルクの強度が上がるため、ヒートサイクル試験中に亀裂が発生し、標準偏差が大きくなり、耐ヒートサイクル性が劣る。Ａｇの含有量の上限は３．６％以下であり、好ましくは３．４％以下であり、より好ましくは３．２％以下である。

[0041] （２） Ｃｕ：０．６～０．９％

Ｃｕは、シェア強度の向上、接合界面に形成する金属間化合物の形成量を制御することによる破壊モードの適正化、融点の低下、および耐ヒートサイクル性の向上に寄与する。また、含有量が適量であれば、粗大なＣｕ$_6$Ｓｎ$_5$の析出を抑制することができる。Ｃｕの含有量が０．６％未満であると、Ｃｕ$_6$Ｓｎ$_5$が十分に析出せず、シェア強度が劣る。また、融点が上昇する。Ｃｕの含有量の下限は０．６％以上であり、好ましくは０．７％以上である。

[0042] 一方、Ｃｕの含有量が０．９％を超えると、過共晶になり接合界面に粗大なＣｕ$_6$Ｓｎ５が析出するためにシェア強度が劣化する。また、破壊モードが接合界面になる。更に、シェア強度が劣化するため、ヒートサイクル試験中に亀裂が発生し、標準偏差が大きくなり、耐ヒートサイクル性が劣る。Ｃｕの含有量の上限は０．９％以下であり、好ましくは０．８％以下である。

[0043] （３） Ｉｎ：１．０～５．０％

Ｉｎは、シェア強度の向上、破壊モードの適正化、および耐ヒートサイクル性の向上に寄与する。Ｉｎの含有量が１．０％未満であると、シェア強度が劣り、また、濡れ性の低下により濡れ広がりが不十分であるとともに固溶強化の効果が不十分であるため、破壊モードが不適切になり、耐ヒートサイクル性も劣る。Ｉｎの含有量の下限は１．０％以上であり、好ましくは１．５％以上であり、より好ましくは２．０％以上であり、更に好ましくは２．５％以上であり、特に好ましくは３．０％以上である。

[0044] 一方、Ｉｎの含有量が５．０％を超えると、化合物を多量に析出することにより、融点が上昇する。さらに、バルク強度が過度に向上し、シェア強度が低下する。また、接合界面もしくは部品での破壊の懸念がある。また、バルクの強度が上がるため、ヒートサイクル試験中に亀裂が発生し、標準偏差の値が大きくなり、耐ヒートサイクル性が劣る。Ｉｎの含有量の上限は５．０％以下であり、好ましくは４．５％以下であり、より好ましくは４．０％以下であり、更に好ましくは３．５％以下である。

[0045] （４） Ｓｂ：３．０～５．０％

Ｓｂは、融点上昇の抑制、シェア強度の向上、破壊モードの適正化、および耐ヒートサイクル性の向上に寄与する。Ｓｂの含有量が３．０％未満であると、Ｓｎに対する固溶強化、並びにＳｎ－Ｓｂ化合物の析出強化が十分ではないため、シェア強度が劣る。Ｓｂの含有量の下限は３．０％以上であり、好ましくは３．５％以上であり、より好ましくは３．６％以上であり、さらに好ましくは３．８％以上であり、特に好ましくは３．９％以上であり、最も好ましくは４．０％以上である。

[0046] 一方、Ｓｂの含有量が５．０％を超えると、粗大なＳｎＳｂ化合物を形成するため、シェア強度が劣る。さらに、濡れ性が劣化し、破壊モードが接合界面または部品破壊となり、不適切になる。また、バルクの強度が上がるため、ヒートサイクル試験中に亀裂が発生し、標準偏差が大きくなり、耐ヒートサイクル性が劣る。Ｓｂの含有量の上限は５．０％以下であり、好ましくは４．８以下であり、より好ましくは４．６％以下であり、さらに好ましくは４．５％以下であり、特に好ましくは４．３％以下であり、最も好ましくは４．１％以下である。

[0047] （５） Ｆｅ：０．００１０～０．０３００％

Ｆｅは、シェア強度の向上、破壊モードの適正化、および耐ヒートサイクル性の向上に寄与する。Ｆｅの含有量が０．００１０％未満であると、界面に形成される金属間化合物層の改質による界面強化の効果が十分ではないため、シェア強度が劣る。Ｆｅの含有量の下限は０．００１０％以上であり、

好ましくは０．００５０％以上であり、より好ましくは０．０１００％以上であり、更に好ましくは０．０１５０％以上であり、特に好ましくは０．０２００％以上である。

[0048] 一方、Ｆｅの含有量が０．０３００％を超えると、ＳｎとＦｅの化合物が析出し、バルク強度が過度に向上するため、シェア強度が劣り、また、接合界面での破壊の懸念がある。Ｆｅの含有量の上限は０．０３００％以下であり、好ましくは０．０２７０％以下であり、より好ましくは０．０２５０％以下である。

[0049] （６） Ｃｏ：０．００１０～０．０５００％

Ｃｏは、融点上昇の抑制、シェア強度の向上、破壊モードの適切化、および耐ヒートサイクル性の向上に寄与する。Ｃｏの含有量が０．００１０％未満であると、バルクの微細化効果が十分ではないため、シェア強度が低下する。Ｃｏの含有量の下限は０．００１０％以上であり、好ましくは０．００３０％以上であり、より好ましくは０．００６０％以上であり、更に好ましくは０．００８０％以上である。

[0050] 一方、Ｃｏの含有量が０．０５００％を超えると、ＳｎとＣｏの化合物が析出し、バルクの強度が上がるため、破壊モードが接合界面になる。また、化合物の多量析出により融点が大幅に上昇し、濡れ性が悪化するため、シェア強度が低下する。更に、バルクの強度が上がるため、ヒートサイクル試験中に亀裂が発生し、標準偏差が大きくなり、耐ヒートサイクル性が劣る。Ｃｏの含有量の上限は０．０５００％以下であり、好ましくは０．０３００％以下であり、より好ましくは０．０１００％以下である。

[0051] （７） 残部：Ｓｎ

本発明に係るはんだ合金の残部はＳｎである。前述の元素の他に不可避的不純物を含有してもよい。不可避的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、本発明において、Ｎｉは、Ｓｎ－Ａｇ－Ｃｕ－Ｉｎ－Ｓｂ－Ｆｅ－Ｃｏはんだ合金において、各々の含有量が上述の範囲内である場合には、少量の添加で融点が急激に上昇するため、含有し

ない方がよい。また、本発明において、Ｍｎは、融点が上昇してしまい、濡れ性が悪化し、適切な化合物が形成できずシェア強度が低下するため、含有しない方がよい。さらに、Ｂｉは、Ｉｎと共存するとＳｎ－Ｉｎ－Ｂｉ低融点相を形成する。低融点相は、クリープ変形を鑑みると、室温環境が高温環境になるような低融点を有するであるため、クリープ変形し易く、強度が低下する。このため、本発明では、Ｂｉを含有しない方がよい。

[0052] （８） Ｚｒ、Ｇｅ、Ｇａ、Ｐ、Ａｓ、Ｐｂ、Ｚｎ、Ｍｇ、Ｃｒ、Ｔｉ、Ｍｏ、Ｐｔ、Ｐｄ、Ａｕ、Ａｌ、およびＳｉの少なくとも１種を合計で０．１００％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、Ｚｒ、Ｇｅ、Ｇａ、Ｐ、Ａｓ、Ｐｂ、Ｚｎ、Ｍｇ、Ｃｒ、Ｔｉ、Ｍｏ、Ｐｔ、Ｐｄ、Ａｕ、Ａｌ、およびＳｉの少なくとも１種を合計で０．１００％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０．０８０％以下である。含有量の下限は特に限定されないが、０．０００１％以上であればよく、０．００１％以上であってもよい。

[0053] （９） （１）式および（２）式

０．００２０≦Ａｇ×Ｃｕ×Ｉｎ×Ｓｂ×Ｆｅ×Ｃｏ≦０．００９０ （１）

４４５≦Ｉｎ／（Ａｇ×Ｃｕ×Ｓｂ×Ｆｅ×Ｃｏ）≦３５６０ （２）

上記（１）式および（２）式中、Ａｇ、Ｃｕ、Ｉｎ、Ｓｂ、Ｆｅ、およびＣｏは、各々

はんだ合金の質量％としての含有量である。

[0054] （１）式は、本発明に係るはんだ合金の添加元素のバランスが考慮された式である。本発明に係るはんだ合金は、低い融点、高いシェア強度、適正な破壊モード、および高い耐ヒートサイクル性を、各構成元素の相乗効果により発揮することができる。このため、Ｓｎを除くすべての構成元素のバランスが更に最適化されると、本発明のすべての効果を、より一層向上させるこ

とができる。（１）式の中で、Ａｇ、Ｃｕ、Ｉｎ、およびＳｂの含有量は、ＦｅとＣｏの含有量と比較して１０～１００倍程度である。しかし、はんだ合金への寄与度は同程度であると考えられる。したがって、本発明において低い融点、高いシェア強度、適正な破壊モード、および高い耐ヒートサイクル性を、１組成で、同時に、更に向上させるためには、均衡がとれた含有量にすることが好ましい。

[0055] （２）式は、本発明に係るはんだ合金の添加元素の中で、Ｉｎと、その他の元素とのバランスを考慮した式である。Ｉｎは、他の添加元素と比較して、含有量の範囲の下限未満であっても上限を超えても、シェア強度が劣るとともに破壊モードが不適切になる。これは、本発明に係るＳｎ－Ａｇ－Ｃｕ－Ｉｎ－Ｓｂ－Ｃｏ－Ｆｅはんだ合金において特有の現象である。この理由は定かではないが、濡れ性の低下により濡れ広がりが不十分であるとともに固溶強化の効果が不十分であると推察される。

[0056] （１）式および（２）の式の算出には、下記表１および２に示された合金組成の実測値において、表記されている数値自体が用いられる。すなわち、（１）式および（２）式の算出では、下記表１および表２で示された実測値において、有効数字の桁数より小さい桁をすべて０として取り扱う。例えば、Ｃｏの含有量が実測値で「０．００８」質量％であった場合、（１）、式および（２）式の算出に用いるＣｏの含有量は、０．００７５～０．００８４％の範囲を有するのではなく、「０．００８０００・・・」として取り扱う。（１）式では小数点第五位まで算出し、小数点第五位を四捨五入して小数点第四位まで求める。（２）式では小数点第一位まで算出し、小数点第一位を四捨五入して一の位まで求める。

なお、本明細書に記載されている特許文献やその他の文献に具体的に開示されている合金組成から（１）式および（２）式を算出する場合にも、同様にして取り扱う。

[0057] 前述のように、合金はすべての構成元素が個々に機能するのではなく、すべての構成元素が全体として１つの物を成すことから、１種の元素だけです

べての優れた効果が同時に発揮されることは稀である。このため、上述のように、各構成元素の最適な含有量の範囲内において、更に優れた特性を示すようにするためには、構成元素を全体的に検討する必要がある。本発明に係るはんだ合金では、低い融点、高いシェア強度、適正な破壊モード、および高い耐ヒートサイクル性のすべてを、１組成で、更に高い水準で達成するためには、（１）式および（２）式を満たすことが好ましい。

[0058] （１）式の下限は、好ましくは０．００２０以上であり、より好ましくは０．００２１以上であり、更に好ましくは０．００２２以上であり、更により好ましくは０．００２３以上であり、特に好ましくは、０．００２４以上であり、最も好ましくは０．００２８以上、０．００２９以上、０．００３３以上、０．００３４以上、０．００３５以上、０．００３６以上、０．００３８以上、０．００４２以上、０．００４３以上、０．００４５以上、０．００４６以上、０．００４８以上、０．００４９以上、０．００５０以上、０．００５７以上である。（１）式の上限は、好ましくは０．００９０以下であり、より好ましくは０．００８６以下であり、更に好ましくは０．００８５以下であり、更により好ましくは０．００８３以下であり、特に好ましくは０．００７６以下であり、最も好ましくは０．００７３以下、０．００７１以下、０．００６９以下、０．００６８以下、０．００６７以下、０．００６６以下、０．００６５以下、０．００６４以下、０．００６１以下、０．００６０以下である。

[0059] （２）式の下限は、好ましくは４４５以上であり、より好ましくは５２５以上であり、更に好ましくは６３０以上であり、更により好ましくは７００以上であり、特に好ましくは７８７以上であり、最も好ましくは７８８以上、８４０以上、１０５０以上、１２２５以上、１２６０以上、１２６１以上、１３１３以上、１３７８以上、１３７９以上、１４００以上、１４０１以上、１４７０以上、１４７１以上、１４８８以上である。（２）式の上限は、好ましくは３５６０以下であり、より好ましくは３５０１以下であり、更に好ましくは３１５１以下であり、更により好ましくは２８０１以下であり

、特に好ましくは２６７９以下であり、最も好ましくは２６７８以下、２６２６以下、２４５０以下、２４５１以下、２３６３以下、２１４３以下、２１４２以下、２１０１以下、２１００以下、１９７０以下、１９６９以下、１８９１以下、１８９０以下、１８３８以下、１７８６以下、１７８５以下、１７５１以下、１７５０以下、１６８１以下、１６８０以下、１５７６以下、１５７５以下である。

[0060] 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、他の評価結果も優れている場合には本発明の範囲内であり、実施例として取り扱う。「×」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。

[0061] 本発明における耐ヒートサイクル性は、ヒートサイクル試験後におけるサンプル毎のバラツキを考慮したものであり、平均値からのずれが小さい方が高い評価となる。このため、従来から検討されてきた耐ヒートサイクル性のように、単に平均値で比較する評価とは、その意味合いが大きく異なる。

[0062] ２． 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、チキソ剤、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。

[0063] ３． 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。はんだボールとして使用する場合は、本発明に係るはんだ合金を、当業界で一般的な方法である滴下法を用いてはんだボールを製造することができる。また、はんだボールを、フラックスを塗布した１つの電極上にはんだボール

を１つ搭載して接合する等、当業界で一般的な方法で加工することによりはんだ継手を製造することができる。はんだボールの粒径は、好ましくは１μｍ以上であり、より好ましくは１０μｍ以上であり、さらに好ましくは２０μｍ以上であり、特に好ましくは３０μｍ以上である。はんだボールの粒径の上限は好ましくは３０００μｍ以下であり、より好ましくは１０００μｍ以下であり、さらに好ましくは８００μｍ以下であり、特に好ましくは６００μｍ以下である。

[0064] ４．　はんだプリフォーム

本発明に係るはんだ合金は、プリフォームとして使用することができる。プリフォームの形状としては、ワッシャ、リング、ペレット、ディスク、リボン、ワイヤー等が挙げられる。

[0065] ５．　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気的に接続されるものであれば特に限定されない。

[0066] 本発明に係るはんだ合金を用いた接合方法は、例えばリフロー法を用いて常法に従って行えばよい。リフローソルダリングを行う場合のはんだ合金の溶融温度は概ね液相線温度から２０℃程度高い温度でよい。また、本発明に係るはんだ合金を用いて接合する場合には、凝固時の冷却速度を考慮した方がさらに合金組織を微細にすることができる。例えば２～３℃／ｓ以上の冷却速度ではんだ継手を冷却する。この他の接合条件は、はんだ合金の合金組成に応じて適宜調整することができる。

[0067] ６．　車載電子回路、ＥＣＵ電子回路、車載電子回路装置、ＥＣＵ電子回路装置

本発明に係るはんだ合金は、これまでの説明からも明らかなように、融点の上昇が抑えられ、シェア強度に優れ、破壊モードが適正であり、耐ヒート

サイクル性に優れている。このため、過酷な環境に曝される自動車用、つまり車載用として使用されても、はんだ継手の破断がバラツキなく抑制される。したがって、そのような特に顕著な特性を備えていることから、本発明に係るはんだ合金は、自動車に搭載する電子回路のはんだ付けに特に適していることがわかる。

[0068] 本明細書でいう「耐ヒートサイクル性に優れている」とは、後述する実施例でも示すように－４０℃および＋１２５℃で各１０分保持するヒートサイクル試験を行い、はんだ継手の電気抵抗がヒートサイクル試験前から２０％上昇するまでのサイクル数の標準偏差が１０００以下であることを言う。このような特性は、上記ヒートサイクル試験のような非常に過酷な条件で使用されても、車載電子回路が破断する可能性を極力低減し、使用不能あるいは誤動作をもたらさないことを意味している。

[0069] このように、本発明に係るはんだ合金は、より特定的には、車載電子回路のはんだ付けに用いられ、あるいは、ＥＣＵ電子回路のはんだ付けに用いられて優れた耐ヒートサイクル性を発揮する。

[0070] 「電子回路」とは、それぞれが機能を持っている複数の電子部品の電子工学的な組み合わせによって、全体として目的とする機能を発揮させる系（システム）である。

[0071] そのような電子回路を構成する電子部品としては、チップ抵抗部品、多連抵抗部品、ＱＦＰ、ＱＦＮ、パワートランジスタ、ダイオード、コンデンサ等が例示される。これらの電子部品を組み込んだ電子回路は基板上に設けられ、電子回路装置を構成するのである。

[0072] 本発明において、そのような電子回路装置を構成する基板、例えばプリント配線基板は特に制限されない。またその材質も特に制限されないが、耐熱性プラスチック基板（例：高Ｔｇ低ＣＴＥであるＦＲ－４）が例示される。プリント配線基板はＣｕランド表面をアミンやイミダゾール等の有機物（ＯＳＰ：ＯｒｇａｎｉｃＳｕｒｆａｃｅＰｒｏｔｅｃｔｉｏｎ）で処理したプリント回路基板が好ましい。

[0073] ７．　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

[0074] 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および表２に記載のはんだ合金を用いて、（１）融点、（２）シェア強度、（３）破壊モード、および（４）耐ヒートサイクル試験（ＴＣＴ）を評価した。なお、（４）については、以下の実施例および比較例の中から実施例４と比較例１９を抽出し、それらの評価結果を示す。

[0075] （１）　融点

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、融点とした。融点が２３２℃以下である場合には、従来と同程度の温度でリフローはんだ付けを行うことができる。融点が２３２℃超過である場合には、融点が高いために従来のリフローはんだ付けを行うことができない。

[0076] （２）　シェア強度

（２－１）サンプルの作製

表１および表２に示すはんだ合金を鋳造し、はんだシートを作製した（直径：１ｍｍ／、厚さ０．１５ｍｍ）。ＦＲ－４基板のＣｕ－ＯＳＰ電極にリフロー炉（ＳＮＲ－６１５：千住金属工業株式会社製）を使用し、チップ抵抗器をはんだ付けした。チップ抵抗器は、３２１６ＣＲ（ＣＲ３２－１１４ＪＶ：北陸電気工業社製）を用いた。リフロープロファイルは、２２０℃以

上を４０秒保持し、窒素雰囲気で、ピーク温度を２４５℃とした。

（２－２）シェア強度の評価

このように作製したサンプルを、シェア試験機（ＳＴＲ－１０００：ＲＨＥＳＣＡ社製）を用い、シェア速度を６ｍｍ／ｍｉｎ．としてシェア強度を測定した。シェア強度が８４．０Ｎ以上である場合には「◎」と評価した。シェア強度が７０．０Ｎ以上８４．０Ｎ未満である場合には「○」と評価した。シェア強度が７０．０Ｎ未満である場合には「×」と評価した。

[0077] （３） 破壊モード

上記「（２） シェア強度」で評価したサンプルを、光学顕微鏡（ＶＨＸ－５０００：ＫＥＹＥＮＣＥ社製）を用いて破壊モードを観察した。サンプルがバルクで破壊している場合には「◎」と評価した。サンプルがバルク及び接合界面の金属間化合物（ＩＭＣ）で破壊している場合には「○」と評価した。サンプルが接合界面の金属間化合物で破壊している場合には「×」と評価した。

[0078] （４） 耐ヒートサイクル試験（ＴＣＴ）

表１から実施例４、表２から比較例１９を選択し、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、フラックスを１２質量％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１００μｍのメタルマスクで印刷した後、１２ｍｍ×１２ｍｍのＬＧＡ（Ｌａｎｄ Ｇｒｉｄ Ａｒｒａｙ）部品をマウンタで実装して、上記「（２）（２－１）」と同じリフロープロファイルでリフローはんだ付けをし、サンプルを作製した。実施例４については１５個のサンプルを作製し、比較例１８については１４個のサンプルを作製した。

[0079] 作製したサンプルを、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（ＴＳＡ－１０１Ｌ－Ａ：エスペッ

ク社製）に入れ、試験中に抵抗値を測定した。初期の抵抗値から２０％上昇した場合に破断が発生したものとし、破断したサイクル数の平均値、および標準偏差を求めた。標準偏差が１０００以下である場合には、実用上問題ない程度のバラツキであると評価した。一方、標準偏差が１０００超過である場合には、平均値からかけ離れたサンプルが存在するため、実用的ではない程度のバラツキであると評価した。

以上のように（１）～（３）の評価結果を表１および表２に示す。また、（４）の評価結果を表３に示す。

[0080]

[表1]

	合金組成(質量%)																														
	Sn	Ag	Cu	In	Sb	Fe	Co	Ge	P	Ga	Zr	As	Pb	Zn	Mg	Cr	Ti	Mo	Pt	Pd	Au	Al	Si	Ni	Bi	Mn	(1)式	(2)式	融点(℃)	シェア強度(N)	破壊モード
実施例1	bal.	2.0	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080																				0.0034	2879	218	◎	◎
実施例2	bal.	2.5	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080																				0.0042	2143	218	◎	◎
実施例3	bal.	3.0	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080																				0.0050	1786	218	◎	◎
実施例4	bal.	3.4	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080																				0.0057	1576	218	◎	◎
実施例5	bal.	3.8	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080																				0.0060	1488	227	◎	◎
実施例6	bal.	3.4	0.6	3.0	4.0	0.0250	0.0080																				0.0049	1838	218	◎	◎
実施例7	bal.	3.4	0.8	3.0	4.0	0.0250	0.0080																				0.0055	1379	218	◎	◎
実施例8	bal.	3.4	0.9	3.0	4.0	0.0250	0.0080																				0.0073	1225	218	◎	◎
実施例9	bal.	3.4	0.7	1.0	3.0	0.0250	0.0080																				0.0014	700	221	○	◎
実施例10	bal.	3.4	0.7	1.5	3.0	0.0250	0.0080																				0.0021	1050	220	◎	◎
実施例11	bal.	3.4	0.7	2.0	3.0	0.0250	0.0080																				0.0029	1401	221	◎	◎
実施例12	bal.	3.4	0.7	2.5	3.0	0.0250	0.0080																				0.0036	1751	222	◎	◎
実施例13	bal.	3.4	0.7	3.0	3.0	0.0250	0.0080																				0.0043	2101	223	◎	◎
実施例14	bal.	3.4	0.7	3.5	3.0	0.0250	0.0080																				0.0050	2451	225	◎	◎
実施例15	bal.	3.4	0.7	4.0	3.0	0.0250	0.0080																				0.0057	2801	229	◎	◎
実施例16	bal.	3.4	0.7	4.5	3.0	0.0250	0.0080																				0.0064	3151	231	◎	◎
実施例17	bal.	3.4	0.7	5.0	3.0	0.0250	0.0080																				0.0071	3501	232	◎	◎
実施例18	bal.	3.4	0.7	1.0	4.0	0.0250	0.0080																				0.0019	525	222	◎	○
実施例19	bal.	3.4	0.7	1.5	4.0	0.0250	0.0080																				0.0029	788	221	◎	◎
実施例20	bal.	3.4	0.7	2.0	4.0	0.0250	0.0080																				0.0038	1050	219	◎	◎
実施例21	bal.	3.4	0.7	2.5	4.0	0.0250	0.0080																				0.0048	1313	220	◎	◎
実施例22	bal.	3.4	0.7	3.5	4.0	0.0250	0.0080																				0.0067	1838	223	◎	◎
実施例23	bal.	3.4	0.7	4.0	4.0	0.0250	0.0080																				0.0076	2101	228	◎	◎
実施例24	bal.	3.4	0.7	4.5	4.0	0.0250	0.0080																				0.0086	2363	229	◎	◎
実施例25	bal.	3.4	0.7	5.0	4.0	0.0250	0.0080																				0.0095	2626	231	◎	○
実施例26	bal.	3.4	0.7	1.0	5.0	0.0250	0.0080																				0.0024	420	223	◎	○
実施例27	bal.	3.4	0.7	1.5	5.0	0.0250	0.0080																				0.0036	630	221	◎	◎
実施例28	bal.	3.4	0.7	2.0	5.0	0.0250	0.0080																				0.0048	840	220	◎	◎
実施例29	bal.	3.4	0.7	2.5	5.0	0.0250	0.0080																				0.0060	1050	219	◎	◎
実施例30	bal.	3.4	0.7	3.0	5.0	0.0250	0.0080																				0.0071	1261	219	◎	◎
実施例31	bal.	3.4	0.7	3.5	5.0	0.0250	0.0080																				0.0083	1471	221	◎	◎
実施例32	bal.	3.4	0.7	4.0	5.0	0.0250	0.0080																				0.0095	1681	227	◎	○
実施例33	bal.	3.4	0.7	4.5	5.0	0.0250	0.0080																				0.0107	1891	226	◎	○
実施例34	bal.	3.4	0.7	5.0	5.0	0.0250	0.0080																				0.0119	2101	232	◎	○
実施例35	bal.	3.4	0.7	3.0	4.0	0.0010	0.0080																				0.0002	39391	222	◎	○
実施例36	bal.	3.4	0.7	3.0	4.0	0.0050	0.0080																				0.0011	7875	222	◎	○
実施例37	bal.	3.4	0.7	3.0	4.0	0.0100	0.0080																				0.0023	3939	222	◎	○
実施例38	bal.	3.4	0.7	3.0	4.0	0.0200	0.0080																				0.0046	1970	222	◎	◎
実施例39	bal.	3.4	0.7	3.0	4.0	0.0300	0.0080																				0.0069	1313	222	◎	◎
実施例40	bal.	3.4	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0010																				0.0007	12605	222	○	◎
実施例41	bal.	3.4	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0030																				0.0021	4202	222	○	◎
実施例42	bal.	3.4	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0060																				0.0043	2101	222	◎	◎
実施例43	bal.	3.4	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0100																				0.0071	1261	222	◎	◎
実施例44	bal.	3.4	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0300																				0.0214	420	222	◎	○
実施例45	bal.	3.4	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0500																				0.0357	252	222	◎	○
実施例46	bal.	3.8	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080	0.010																			0.0060	1488	222	◎	◎
実施例47	bal.	3.8	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080		0.010																		0.0060	1488	222	◎	◎
実施例48	bal.	3.8	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080			0.010																	0.0060	1488	222	◎	◎
実施例49	bal.	3.8	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080				0.010																0.0060	1488	222	◎	◎
実施例50	bal.	3.8	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080					0.010															0.0060	1488	222	◎	◎
実施例51	bal.	3.8	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080						0.010														0.0060	1488	222	◎	◎
実施例52	bal.	3.8	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080							0.010													0.0060	1488	222	◎	◎
実施例53	bal.	3.8	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080								0.010												0.0060	1488	222	◎	◎
実施例54	bal.	3.8	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080									0.010											0.0060	1488	222	◎	◎
実施例55	bal.	3.8	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080										0.010										0.0060	1488	222	◎	◎
実施例56	bal.	3.8	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080											0.010									0.0060	1488	222	◎	◎
実施例57	bal.	3.8	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080												0.010								0.0060	1488	222	◎	◎
実施例58	bal.	3.8	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080													0.010							0.0060	1488	222	◎	◎
実施例59	bal.	3.8	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080														0.010						0.0060	1488	222	◎	◎
実施例60	bal.	3.8	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080															0.010					0.0060	1488	222	◎	◎
実施例61	bal.	3.8	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080																0.010				0.0060	1488	222	◎	◎

[0081]

[表2]

	合金組成(質量%)																									(1)式	(2)式	融点(℃)	シェア強度(N)	破壊モード
	Sn	Ag	Cu	In	Sb	Fe	Co	Ge	P	Ga	Zr	As	Pb	Zn	Mg	Cr	Ti	Mo	Pt	Pd	Au	Al	Si	Ni	Bi	Mn					
実施例62	bal.	3.6	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001				0.0060	1488	222	◎	◎
比較例1	bal.	3.0	0.7																								0.0000	-	219	×	×
比較例2	bal.	1.5	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080																				0.0025	35/1	219	×	◎
比較例3	bal.	3.9	0.6	1.0	3.0	0.0250	0.008																				0.0014	712	224	×	×
比較例4	bal.	3.9	0.6	5.0	3.0	0.0250	0.008																				0.0070	3561	235	×	×
比較例5	bal.	3.0	0.5	2.0	3.0	0.0050	0.010	0.04	0.005																		0.0005	6889	252	×	○
比較例6	bal.	3.0	0.5	2.0	3.0	0.0050	0.010																	0.04			0.0005	6889	389	×	×
比較例7	bal.	3.4	1.0	3.5	4.0	0.0250	0.0080																				0.0085	1287	228	×	×
比較例8	bal.	3.4	0.7	0.5	4.0	0.0250	0.0080																				0.0010	263	218	×	×
比較例9	bal.	3.4	0.7	8.0	4.0	0.0250	0.0080																				0.0114	3151	233	×	×
比較例10	bal.	3.4	0.7	2.0	2.0	0.0250	0.0080																				0.0019	2101	225	×	○
比較例11	bal.	3.4	0.7	3.5	6.0	0.0250	0.0080																				0.0100	1225	232	×	×
比較例12	bal.	3.40	0.7	3.20	3.00	-	0.01		0.010																		-	-	238	×	○
比較例13	bal.	3.40	0.7	3.20	3.00	-	0.01	0.01																			-	-	238	×	○
比較例14	bal.	3.4	0.7	3.0	4.0	0.0004	0.0080																				0.0001	98477	225	×	○
比較例15	bal.	3.4	0.7	3.0	4.0	0.0400	0.0080																				0.0091	985	225	×	×
比較例16	bal.	3.4	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0004																				0.0003	31513	225	×	○
比較例17	bal.	3.4	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0400																				0.0428	210	344	×	×
比較例18	bal.	3.6	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080																	0.10			0.0060	1488	425	×	×
比較例19	bal.	3.6	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080																		0.10		0.0060	1488	227	×	○
比較例20	bal.	3.6	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080																			0.10	0.0060	1488	290	×	×

＊下線は本発明の範囲外であることを示す。

[0082] [表3]

	合金組成(質量%)								(1)式	(2)式	平均サイクル数	サイクル数の標準偏差
	Sn	Ag	Cu	In	Sb	Fe	Co	Bi				
実施例4	bal.	3.4	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080		0.0057	1576	4130.8	846.7
比較例19	bal.	3.6	0.7	3.0	4.0	0.0250	0.0080	0.10	0.0060	1488	4474.9	1899.5

[0083] 表１および表２に示すように、実施例１～６２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）式および（２）式を満たす実施例１～８、１０～１７、１９～２４、２７～３１、３８、３９、４２、４３、４６～６２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。これは、実用上耐え得る結果の中でも、有意差がある程度に優れる結果であった。

[0084] 一方、表２に示すように、比較例１は、Ｉｎ、Ｓｂ、Ｆｅ、およびＣｏを含有しないため、シェア強度が劣り、破壊モードが適切ではなかった。比較例２は、Ａｇの含有量が少ないため、シェア強度が劣った。比較例３および４は、Ａｇの含有量が多いため、シェア強度が劣り、破壊モードが不適切であった。

[0085] 比較例５および比較例６は、Ｃｕの含有量が少ないため、シェア強度が劣った。特に、比較例６は、Ｎｉを含有するために破壊モードも不適切であった。比較例７は、Ｃｕの含有量が多いため、シェア強度が劣り、破壊モードが不適切であった。

[0086] 比較例８および比較例９は、Ｉｎの含有量が適切ではなかったため、シェア強度が劣り、破壊モードが不適切であった。比較例１０は、Ｓｂの含有量が少ないため、シェア強度が劣った。比較例１１は、Ｓｂの含有量が多いため、シェア強度が劣り、破壊モードが不適切であった。

[0087] 比較例１２～１４は、Ｆｅの含有量が少ないため、シェア強度が劣った。比較例１５は、Ｆｅの含有量が多いため、シェア強度が劣り、破壊モードが不適切であった。

[0088] 比較例１６は、Ｃｏの含有量が少ないため、シェア強度が劣った。比較例１７は、Ｃｏの含有量が多いため、シェア強度が劣り、破壊モードが不適切であった。

[0089] 比較例１８および比較例２０は、各々ＮｉまたはＭｎを含有するため、融点が大幅に上昇し、シェア強度が劣り、破壊モードが不適切であった。比較例１９は、Ｂｉを含有するため、シェア強度が劣った。

[0090] また、表３から明らかなように、実施例４と比較例１９では平均サイクル数は３００サイクル程度の差であった。しかし、実施例４のサイクル数の標準偏差は１０００未満であるのに対して、比較例１９のサイクル数の標準偏差は１０００を大幅に超える結果であった。

[0091] したがって、実施例４では、ヒートサイクル試験におけるバラツキが小さく、平均値との差が小さいサンプルだけであった。他の実施例でも同様の結果を示すことがわかった。一方、比較例１９では、ヒートサイクル試験におけるバラツキが大きく、平均値との差が極めて大きいサンプルが存在することがわかった。

[0092] 図１は、シェア強度を測定した後におけるサンプルの光学顕微鏡写真を示し、図１（ａ）は実施例４であり、図１（ｂ）は比較例１９であり、図１（

ｃ）は比較例３である。図１から明らかなように、実施例４では、バルク破壊によりはんだ継手が破断していることがわかった。一方、比較例１９では、バルク破壊とともに接合界面の金属間化合物での破壊によりはんだ継手が破断していることがわかった。さらに、比較例３では接合界面の金属間化合物ではんだ継手が破断していることがわかった。このため、本実施例４では、破壊モードが適正であることがわかった。この結果は、他の実施例でも同様であった。

産業上の利用可能性

[0093] 本発明に係るはんだは、燃費向上のためにコンピュータで自動車を制御する電子回路であるＥＣＵなどの車載電子回路として利用することができるが、例えば、パソコンなどの民生電子機器にも使用して優れた効果を奏するものである。

請求の範囲

[請求項1] 質量％で、Ａｇ：２．０～３．６％、Ｃｕ：０．６～０．９％、Ｉｎ：１．０～５．０％、Ｓｂ：３．０～５．０％、Ｆｅ：０．００１０～０．０３００％、Ｃｏ：０．００１０～０．０５００％、および残部がＳｎからなる合金組成を有し、前記合金組成は、下記（１）式および（２）式を満たすことを特徴とするはんだ合金。

０．００２０≦Ａｇ×Ｃｕ×Ｉｎ×Ｓｂ×Ｆｅ×Ｃｏ≦０．００９０ （１）

４４５≦Ｉｎ／（Ａｇ×Ｃｕ×Ｓｂ×Ｆｅ×Ｃｏ）≦３５６０ （２）

上記（１）式および（２）式中、Ａｇ、Ｃｕ、Ｉｎ、Ｓｂ、Ｆｅ、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。

[請求項2] 前記合金組成は、更に、質量％で、Ｚｒ、Ｇｅ、Ｇａ、Ｐ、Ａｓ、Ｐｂ、Ｚｎ、Ｍｇ、Ｃｒ、Ｔｉ、Ｍｏ、Ｐｔ、Ｐｄ、Ａｕ、Ａｌ、およびＳｉの少なくとも１種を合計で０．１００％以下を含有する、請求項１に記載のはんだ合金。

[請求項3] 請求項１または２に記載のはんだ合金からなるはんだ粉末を有するはんだペースト。

[請求項4] 請求項１または２に記載のはんだ合金からなるはんだボール。

[請求項5] 請求項１または２に記載のはんだ合金からなるはんだプリフォーム。

[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はんだ継手。

[請求項7] 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車載電子回路。

[請求項8] 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ＥＣＵ電子回路。

[請求項9] 請求項７に記載の車載電子回路を備えたことを特徴とする車載電子回路装置。

[請求項10] 請求項８に記載のＥＣＵ電子回路を備えたことを特徴とするＥＣＵ電子回路装置。