

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6730999号  
(P6730999)

(45) 発行日 令和2年7月29日 (2020.7.29)

(24) 登録日 令和2年7月7日 (2020.7.7)

(51) Int. Cl.	F I
<b>B 2 3 K 35/26 (2006.01)</b>	B 2 3 K 35/26 3 1 0 A
<b>C 2 2 C 13/02 (2006.01)</b>	C 2 2 C 13/02

請求項の数 20 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2017-557168 (P2017-557168)	(73) 特許権者	512285214
(86) (22) 出願日	平成28年5月5日 (2016.5.5)		インディウム コーポレーション
(65) 公表番号	特表2018-518368 (P2018-518368A)		アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 3 3
(43) 公表日	平成30年7月12日 (2018.7.12)		2 3, クリントン, ロビンソン ロード
(86) 国際出願番号	PCT/US2016/030915		3 4
(87) 国際公開番号	W02016/179358	(74) 代理人	110000659
(87) 国際公開日	平成28年11月10日 (2016.11.10)		特許業務法人広江アソシエイツ特許事務所
審査請求日	平成31年4月18日 (2019.4.18)	(72) 発明者	リュウ, ウェイピン
(31) 優先権主張番号	62/157, 302		アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 3 4
(32) 優先日	平成27年5月5日 (2015.5.5)		1 3, ニュー ハートフォード, アイロン
(33) 優先権主張国・地域又は機関			ウッド ロード 3 0
	米国 (US)	(72) 発明者	リー, ニン-チェン
(31) 優先権主張番号	15/147, 137		アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 3 4
(32) 優先日	平成28年5月5日 (2016.5.5)		1 3, ニュー ハートフォード, ジュビリ
(33) 優先権主張国・地域又は機関			ー レーン 1 0 8
	米国 (US)		最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 過酷な環境での電子機器用途のための高信頼性無鉛はんだ合金

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

2 . 5 ~ 4 . 5 重量 % の A g ;

0 . 6 ~ 2 . 0 重量 % の C u ;

5 . 0 重量 % より多く 9 . 0 重量 % までの S b ;

0 . 1 重量 % 以上で 0 . 5 重量 % 未満の B i 、及び、0 . 1 ~ 4 . 5 重量 % の I n のうちの少なくとも一方 ;

オプションとして、0 . 0 0 1 ~ 0 . 2 重量 % の N i もしくは C o 、またはそれらの両方 ;

並びに、残余の S n

を含んでなる、はんだ合金。

【請求項 2】

2 . 5 ~ 4 . 5 重量 % の A g ;

0 . 6 ~ 2 . 0 重量 % の C u ;

5 . 0 重量 % より多く 9 . 0 重量 % までの S b ;

0 . 1 ~ 4 . 5 重量 % の I n ;

オプションとして、0 . 0 0 1 ~ 0 . 2 重量 % の N i もしくは C o 、またはそれらの両方 ;

並びに、残余の S n

を含んでなる、請求項 1 に記載のはんだ合金。

10

20

## 【請求項 3】

2.5 ~ 4.5 重量%の A g ;  
 0.6 ~ 2.0 重量%の C u ;  
 5.0 重量%より多く 9.0 重量%までの S b ;  
 0.1 ~ 4.5 重量%の I n ;

並びに、残余の S n

を含んでなる、請求項 2 に記載のはんだ合金。

## 【請求項 4】

2.5 ~ 4.5 重量%の A g ;  
 0.6 ~ 2.0 重量%の C u ;  
 5.0 重量%より多く 9.0 重量%までの S b ;  
 0.1 ~ 3.0 重量%の I n ;

並びに、残余の S n

を含んでなる、請求項 3 に記載のはんだ合金。

## 【請求項 5】

3.0 ~ 4.0 重量%の A g ;  
 0.6 ~ 1.2 重量%の C u ;  
 5.0 重量%より多く 6.0 重量%までの S b ;  
 0.3 ~ 1.5 重量%の I n ;

並びに、残余の S n

を含んでなる、請求項 4 に記載のはんだ合金。

## 【請求項 6】

3.8 重量%の A g、1.0 重量%の C u、5.5 重量%の S b、0.5 重量%の I n  
 および残余の S n を含んでなる、請求項 5 に記載のはんだ合金。

## 【請求項 7】

2.5 ~ 4.5 重量%の A g ;  
 0.6 ~ 2.0 重量%の C u ;  
 5.0 重量%より多く 9.0 重量%までの S b ;  
 0.1 重量%以上で 0.5 重量%未満の B i ;

オプションとして、0.001 ~ 0.2 重量%の N i もしくは C o、またはそれらの両方；

並びに、残余の S n

を含んでなる、請求項 1 に記載のはんだ合金。

## 【請求項 8】

2.5 ~ 4.5 重量%の A g ;  
 0.6 ~ 2.0 重量%の C u ;  
 5.0 重量%より多く 9.0 重量%までの S b ;  
 0.1 重量%以上で 0.5 重量%未満の B i ;

並びに、残余の S n

を含んでなる、請求項 7 に記載のはんだ合金。

## 【請求項 9】

3.0 ~ 4.0 重量%の A g ;  
 0.6 ~ 1.2 重量%の C u ;  
 5.0 重量%より多く 6.0 重量%までの S b ;  
 0.1 重量%以上で 0.5 重量%未満の B i ;

並びに、残余の S n

を含んでなる、請求項 8 に記載のはんだ合金。

## 【請求項 10】

3.0 ~ 4.0 重量%の A g ;  
 0.6 ~ 1.2 重量%の C u ;

5.0重量%より多く6.0重量%までのSb；

0.3重量%のBi；

並びに、残余のSn

を含んでなる、請求項9に記載のはんだ合金。

【請求項11】

フラックス及びはんだ合金粉末を含んでなるはんだペーストであって、

前記はんだ合金粉末は、

2.5～4.5重量%のAg；

0.6～2.0重量%のCu；

5.0重量%より多く9.0重量%までのSb；

0.1重量%以上で0.5重量%未満のBi、及び、0.1～4.5重量%のInのうち  
の少なくとも一方；

オプションとして、0.001～0.2重量%のNiもしくはCo、またはそれらの両  
方；

並びに、残余のSn

を含んでなる、ことを特徴とするはんだペースト。

【請求項12】

前記はんだ合金粉末は、

2.5～4.5重量%のAg；

0.6～2.0重量%のCu；

5.0重量%より多く9.0重量%までのSb；

0.1～4.5重量%のIn；

オプションとして、0.001～0.2重量%のNiもしくはCo、またはそれらの両  
方；

並びに、残余のSn

を含んでなる、ことを特徴とする請求項11に記載のはんだペースト。

【請求項13】

前記はんだ合金粉末は、

2.5～4.5重量%のAg；

0.6～2.0重量%のCu；

5.0重量%より多く9.0重量%までのSb；

0.1～4.5重量%のIn；

並びに、残余のSn

を含んでなる、ことを特徴とする請求項12に記載のはんだペースト。

【請求項14】

前記はんだ合金粉末は、

2.5～4.5重量%のAg；

0.6～2.0重量%のCu；

5.0重量%より多く9.0重量%までのSb；

0.1～3.0重量%のIn；

並びに、残余のSn

を含んでなる、ことを特徴とする請求項13に記載のはんだペースト。

【請求項15】

前記はんだ合金粉末は、

3.0～4.0重量%のAg；

0.6～1.2重量%のCu；

5.0重量%より多く6.0重量%までのSb；

0.3～1.5重量%のIn；

並びに、残余のSn

を含んでなる、ことを特徴とする請求項14に記載のはんだペースト。

10

20

30

40

50

**【請求項 16】**

前記はんだ合金粉末は、

2.5～4.5重量%のAg；

0.6～2.0重量%のCu；

5.0重量%より多く9.0重量%までのSb；

0.1重量%以上で0.5重量%未満のBi；

オプションとして、0.001～0.2重量%のNiもしくはCo、またはそれらの両方；

並びに、残余のSn

を含んでなる、ことを特徴とする請求項11に記載のはんだペースト。

10

**【請求項 17】**

前記はんだ合金粉末は、

2.5～4.5重量%のAg；

0.6～2.0重量%のCu；

5.0重量%より多く9.0重量%までのSb；

0.1重量%以上で0.5重量%未満のBi；

並びに、残余のSn

を含んでなる、ことを特徴とする請求項16に記載のはんだペースト。

**【請求項 18】**

前記はんだ合金粉末は、

3.0～4.0重量%のAg；

0.6～1.2重量%のCu；

5.0重量%より多く6.0重量%までのSb；

0.1重量%以上で0.5重量%未満のBi；

並びに、残余のSn

を含んでなる、ことを特徴とする請求項17に記載のはんだペースト。

20

**【請求項 19】**

はんだ合金を基材とデバイスとの間に塗布してアセンブリを形成すること、及び、前記アセンブリをリフローはんだ付けしてはんだ継手を形成すること、のプロセスを経て形成されるはんだ継手であって、

30

前記はんだ合金は、

2.5～4.5重量%のAg；

0.6～2.0重量%のCu；

5.0重量%より多く9.0重量%までのSb；

0.1重量%以上で0.5重量%未満のBi、及び、0.1～4.5重量%のInのうちの少なくとも一方；

オプションとして、0.001～0.2重量%のNiもしくはCo、またはそれらの両方；

並びに、残余のSn

を含んでなる、ことを特徴とするはんだ継手。

40

**【請求項 20】**

3.0～4.0重量%のAg；

0.6～1.2重量%のCu；

5.0重量%より多く6.0重量%までのSb；

オプションとして、0.001～0.2重量%のNiもしくはCo、またはそれらの両方；

並びに、残余のSn

からなる、ことを特徴とするはんだ合金。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】**

50



## 【0001】

本開示は一般に、電子機器における使用のための鉛フリーはんだ（無鉛はんだ）合金組成、並びに、特に、鉛フリーはんだプリフォーム、はんだ粉末、はんだボール、はんだペースト、および鉛フリーはんだ合金で作製されたはんだ継手（solder joint、「はんだ接合」ともいう）に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

欧州連合が2006年7月に有害物質制限（RoHS）規制を実施して以来、鉛（Pb）フリーはんだ合金は、電子機器産業に広く採用されている。しかし、現在のPbフリーはんだ合金（無鉛はんだ合金）は、125 以下の使用温度または動作温度を必要とする過酷でない電子機器環境で主に使用されている。例えば、150 以上の動作温度を必要とする自動車用途などの過酷な電子機器環境の場合、PbフリーSnAgCu（「SAC」）はんだ、例えば、Sn3.0Ag0.5Cu（SAC305）合金およびSn3.8Ag0.7Cu（SAC387）合金は、高Pbの高熔融温度はんだを置き換えるほど信頼性は高くない。

10

## 【0003】

高Pbはんだ合金は、現在、パワー半導体パッケージ内、特に大型のダイの中で最も広く使用されているダイアタッチ材の1つである。高Pbはんだのミクロ組織は一般に非常に安定しており、高温での長期間の時効（エイジング、aging）中にほとんど変化しない。これらの高熔融温度・高Pb合金は、ほとんどの用途において高温性能および安定性と、高延性および許容される熱/電気伝導度とを組み合わせ、高出力モジュールの実装を含むさまざまな用途に広く使用されている。

20

## 【0004】

RoHS規制から現在除外されている過酷な環境の電子産業は、適した代替はんだを積極的に探している。Pbフリーの規制に加えて、この探索は、自動車車両における電子機器の利用の増加のため、より厳しい電子機器の信頼性要件によって強いられている。より高出力の電気自動車に向かう自動車産業の流れは、車両内のパワーモジュール（例えば、IGBTモジュール）が、より高い効率、より軽い重量、より小さいサイズ、およびより高い信頼性を、より高い動作温度で有することを必要としている。これは、現在の高Pbはんだよりもさらに高い信頼性を有するPbフリーはんだ合金の使用に対する需要を高める。一部の半導体実装用途では、後続のはんだ付けアセンブリの必要がないため、はんだ付け工程温度を一般的なSAC合金の温度に下げることが意図されている。

30

## 【0005】

前述の点に鑑み、自動車産業及び防衛産業などにおける過酷な環境の電子機器用途に対する要求を満たす高信頼性Pbフリーはんだ合金を開発することが望ましいであろう。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0006】

## 【特許文献1】（特になし）

## 【発明の概要】

40

## 【0007】

SnAgCuSbベースのPbフリーはんだ合金が開示されている。開示されているはんだ合金は、過酷な環境の電子機器のためのはんだプリフォーム、はんだボール、はんだ粉末またははんだペースト（はんだ粉末およびフラックスの混合物）の形態でのはんだ継手（はんだ接合）の作製に特に適しているが、これらには限定されない。0.1～2.5重量%のBiおよび/または0.1～4.5重量%のInから選択される添加剤（添加物）が、はんだ合金に含まれてもよい。

## 【0008】

本明細書において用いられるとき、量的な用語における用語「約」は、プラスまたはマイナス10%を表す。例えば、「約10」は9～11を包含するものである。さらに、「

50

約」が、本明細書において量的な用語と共に用いられる場合、プラスまたはマイナス10%の値に加えて、量的な用語の厳密な値も意図され、かつ表されるものと理解される。例えば、用語「約10」は、明示的に、厳密に10を意図し、表し、かつ含む。

#### 【0009】

本発明の他の特徴および態様は、本発明の実施形態による特徴を例として示す添付図面と併せて、以下の発明を実施するための形態から明らかになるであろう。この「発明の概要」は、本明細書に添付された特許請求の範囲によってのみ定義される本発明の範囲を限定するものではない。

#### 【0010】

1つまたは複数のさまざまな実施形態による、本明細書に開示の技術が、添付の図面を参照して詳細に説明される。図面は、例示のみを目的として提供されており、単に、開示される技術の典型的な実施形態または例示の実施形態を示している。これらの図面は、開示される技術に対する読者の理解を容易にするために提供されており、その幅、範囲または適用性の限定と見なされないものとする。図を見やすく容易にするために、これらの図面は必ずしも一定の縮尺で作成されていないことに留意されたい。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0011】

【図1】本開示によるはんだ合金のSnAgCuSbBi系の実施形態（合金No. 1～5）および比較例の業界標準の高Pbはんだ合金（合金No. 6）を列挙した表である。

【図2】本開示によるはんだ合金の実施形態（合金No. 7～21）および比較例の市販のPbフリー合金Sn3.8Ag0.7Cu3.0Bi1.4Sb0.15Ni（合金No. 22-Inno1ot）を列挙した表である。

【図3】図1の試験合金No. 1～6を含むはんだ継手における、250回、500回、1000回および1500回の熱衝撃サイクル後のはんだ継手の平均せん断強さを示す図である。

【図4】図1の試験合金No. 1～6を含むはんだ継手における、500回、1000回および1500回の熱衝撃サイクル後に測定されたはんだ継手の平均割れ長さを示す図である。

【図5】1000サイクルのTS試験後の試験合金No. 1～6を含むはんだ継手における、はんだ継手断面端部の光学顕微鏡写真の組（セット）である。

【図6】1000サイクルのTS試験後の高Pbはんだ継手の断面拡大図を含む光学顕微鏡写真である。

【図7】250サイクルの熱衝撃試験後の図1の合金No. 3および合金No. 6におけるはんだ継手の断面顕微鏡写真の組（セット）である。

【図8】図2に列挙した鋳放しはんだ合金の耐力、最大引張強度および延性の実験結果を示す図である。

【図9】200、1000時間の熱時効処理後の図2に列挙したはんだ合金の耐力、最大引張強度および延性の実験結果を示す図である。

【図10】図2の選択したはんだ合金から作製したCu基材上のSiダイアタッチはんだ継手における-55/200温度サイクル試験（TC T）の、それぞれ840サイクル後および1585サイクル後のせん断強さのばらつきを示す図である。Sb3.5合金およびSb5.5合金については、それぞれ860サイクルおよび1607サイクルのTC T後にせん断強さを試験したことに留意されたい。

【図11】図10と同じ合金から作製したNi基材上のSiダイアタッチはんだ継手における-55/200のTC Tの602サイクルおよび1838サイクル後のせん断強さのばらつきを示す図である。

【図12】図2のはんだ合金ならびに比較例の標準的な高Pb合金から作製したCu基材上のSiダイアタッチはんだ継手における-40/175のTC Tの、それぞれ1360サイクル後および2760サイクル後のせん断強さの結果を示す図である。

【図13】図2のはんだ合金から作製したCu基材上のInvarダイアタッチはんだ継

10

20

30

40

50

手における - 40 / 175 の TCT の、リフローしたままの状態、1360 サイクル後および 2760 サイクル後のそれぞれのせん断強さの結果を示す図である。

【図 14】図 13 と同じ合金から作製した Ni 基材上の Invar ダイアタッチはんだ継手における - 40 / 175 の TCT の、リフローしたままの状態、1360 サイクル後および 2760 サイクル後のそれぞれのせん断強さの結果を示す図である。

【図 15】本開示による Sn ( 3 . 2 ~ 3 . 8 ) Ag ( 0 . 7 ~ 0 . 9 ) Cu ( 3 . 0 ~ 4 . 0 ) Sb x In 合金における In 含有量による固相線温度および液相線温度の変化を示す図である。

【図 16】Sn - Sb 二元状態図 ( 相図 ) である。

【 0012 】

10

図は網羅的なものではなく、または開示された正確な形態に本発明を限定するものではない。本発明は、修正および改変を伴って実施することができること、ならびに開示される技術は特許請求の範囲およびその均等物によってのみ限定されることを理解されたい。

【発明を実施するための形態】

【 0013 】

[ 発明の詳細な説明 ]

開示される技術のさまざまな実施形態にしたがって、SnAgCuSb ベースの Pb フリーはんだ合金、および該はんだ合金を含むはんだ継手が開示される。開示されているはんだ合金は、150 以上のような、より高い使用温度または動作温度で高信頼性を必要とする過酷な環境の電子機器用途のためのはんだプリフォーム、はんだボール、はんだ粉末またははんだペースト ( はんだ粉末およびフラックスの混合物 ) の形態でのはんだ継手の作製に特に適しているが、これらには限定されない。

20

【 0014 】

さまざまな実施形態において、はんだ合金は、2.5 ~ 4.5 重量 % の Ag、0.6 ~ 2.0 重量 % の Cu、2.5 ~ 9.0 重量 % の Sb および残余の Sn を含む。別の実施形態において、はんだ合金は、( a ) 0.1 ~ 2.5 重量 % の Bi、( b ) 0.1 ~ 4.5 重量 % の In、および ( c ) 0.001 ~ 0.2 重量 % の Ni または Co、あるいは両方から選択される添加剤 ( 添加物 ) のうちの少なくとも 1 つを追加的に含んでもよい。

【 0015 】

第 1 の組 ( セット ) の実施形態において、はんだ合金は、2.5 ~ 4.5 重量 % の Ag、0.6 ~ 2.0 重量 % の Cu、2.5 ~ 9.0 重量 % の Sb、0.1 ~ 2.5 重量 % の Bi および残余の Sn を含む SnAgCuSbBi 系合金である。これらの実施形態の特定の実施において、はんだ合金は、実質的に、3.0 ~ 4.0 重量 % の Ag、0.6 ~ 1.2 重量 % の Cu、5.0 ~ 6.0 重量 % の Sb、約 0.3 重量 % の Bi および残余の Sn からなる。例えば、はんだ合金は、実質的に、約 3.8 重量 % の Ag、約 1.0 重量 % の Cu、約 6.0 重量 % の Sb、約 0.3 重量 % の Bi および残余の Sn からなっているもよい。

30

【 0016 】

第 2 の組 ( セット ) の実施形態において、はんだ合金は、本質的に、3.0 ~ 4.0 重量 % の Ag、0.6 ~ 1.2 重量 % の Cu、3.0 ~ 9.0 重量 % の Sb および残余の Sn からなる SnAgCuSb 系合金である。これらの実施形態の特定の実施において、Sb 含有量が 5.0 ~ 6.0 重量 % であってもよい。

40

【 0017 】

第 3 の組 ( セット ) の実施形態において、はんだ合金は、2.5 ~ 4.5 重量 % の Ag、0.6 ~ 2.0 重量 % の Cu、2.5 ~ 9.0 重量 % の Sb、0.1 ~ 4.5 重量 % の In および残余の Sn を含む SnAgCuSbIn ( Bi ) 系合金である。これらの実施形態のある組の実施において、はんだ合金は、本質的に、3.0 ~ 4.0 重量 % の Ag、0.6 ~ 1.2 重量 % の Cu、3.0 ~ 5.0 重量 % の Sb、1.0 ~ 4.0 重量 % の In、約 0.5 重量 % の Bi および残余の Sn からなる。これらの実施形態の別の組の実施において、はんだ合金は、本質的に、3.0 ~ 4.0 重量 % の Ag、0.6 ~ 1.2 重量

50

%のCu、5.0～6.0重量%のSb、約0.5重量%のInおよび残余のSnからなる。

#### 【0018】

以下にまとめる実験結果によって示されるように、本明細書に開示のPbフリーはんだ合金の実施形態で作製されたはんだ継手は、熱サイクルおよび熱衝撃試験において、業界標準の高Pbはんだ合金(Pb5Sn2.5Ag)で作製されたはんだ継手と比べて、より高い耐熱疲労性を有する。さらに、本明細書に開示のPbフリーはんだ合金の実施形態で作製されたはんだ継手は、さまざまな条件下、特に熱サイクル試験後の耐熱疲労性試験、せん断強さ試験において、市販の標準的なPbフリー合金Sn3.8Ag0.7Cu3.0Bi1.4Sb0.15Ni(Inno10t)よりも性能が大幅に優れていた。

10

#### 【実施例】

#### 【0019】

##### [EXAMPLES(事例)]

化学組成を重量%で列挙した図1および図2に示す通り、開示されているSnAgCuSbベースのPbフリーはんだ合金(合金No.1～5および7～21)、業界標準の高Pbはんだ合金(合金No.6)および市販のPbフリー合金Sn3.8Ag0.7Cu3.0Bi1.4Sb0.15Ni(Inno10t、合金No.22)のさまざまな実施形態の化学組成を誘導結合プラズマ(ICP)分析で測定した。はんだ合金の溶融挙動を、示差走査熱量測定法(DSC)を用いて10/minの加熱および冷却速度で分析した。DSC試験を、TAQ2000示差走査熱量計で室温から350℃まで走査して実施した。各合金について、サンプルをまず周囲温度から350℃まで走査し、続いて20℃まで冷却し、次いで再び350℃まで走査した。第2の加熱サーモグラフを用いて合金の溶融挙動を表した。DSC分析から得られるはんだ合金の固相線温度および液相線温度を図1および図2の表に一覧にした。

20

#### 【0020】

##### [SnAgCuSbBi系合金の実施例]

図1に示すSnAgCuSbBi系はんだ合金の実施形態を含むはんだ継手の耐熱疲労性を、熱衝撃試験を用いて評価した。熱衝撃試験は、以下の手順を用いて行った。寸法がそれぞれ8×8×0.25mmおよび3×3×0.7mmのTi/Ni/Ag膜で被覆した2タイプのSiダイを純Ni被覆Cuのリードフレーム基材にはんだ付けしてダイアタッチはんだ継手を形成した。寸法がそれぞれ8×8×0.15mmおよび3×3×0.15mmのはんだプリフォームを使用した。はんだ付けは、アセンブリの位置決めと共平面性を容易にするためにSiダイ/はんだプリフォーム/基材の組(セット)をジグを用いて組み立て、続いて、Pbフリー実験のはんだ合金についてはピーク温度246℃および220℃を上回る時間:61秒で、あるいは標準的な高Pbはんだ合金(Pb5Sn2.5Ag)についてはピーク温度335℃およびTAL(液相線を上回る時間):61秒でリフロー炉内で加熱することによって行った。

30

#### 【0021】

得られたダイアタッチはんだ継手を空気対空気熱衝撃試験機に入れた。この試験機では、2つの別のチャンバーがそれぞれ逆の極端な温度に設定され、機構によって、試験サンプルを2つのチャンバー間で移動させ、それぞれの極端な温度で特定の時間(滞留時間)保持した。本実験では-40℃/150℃で、滞留時間20分で最大1500サイクルの熱衝撃試験を実施した。250回、500回、1000回および1500回のサイクル数で、さまざまな試験および測定の目的のために、3×3mmおよび8×8mmタイプのダイアタッチはんだ継手サンプルのそれぞれからサンプルの組を取り出した。3×3mmタイプのダイアタッチ継手は、Condor 250 XYZTECダイせん断試験機を使用して、せん断速度6mm/minでせん断試験し、各合金におけるさまざまな熱衝撃サイクル後の残留せん断強さをMPaで測定した。8×8mmタイプのダイアタッチ継手は、C-SAM画像解析による割れ検出、ならびに断面作製および顕微鏡観察による割れ長さ測定に使用した。

40

50

## 【 0 0 2 2 】

図 3 は、図 1 の試験合金 No. 1 ~ 6 を含むはんだ継手における、250 回、500 回、1000 回および 1500 回の熱衝撃サイクル後のはんだ継手の平均せん断強さを示す。熱衝撃試験後のはんだ継手の残留強さが高いほど、その信頼性が高い。示す通り、はんだ継手のせん断強さは、熱衝撃サイクルの増加に伴って、熱衝撃サイクル試験によって引き起こされるはんだ継手の損傷の増加により低下する。せん断強さの低下率は一般に、熱衝撃サイクルの増加に伴って小さくなる。

## 【 0 0 2 3 】

例示の通り、すべての試験条件下で、開示されているはんだ合金の SnAgCuSbBi の実施形態（合金 No. 1 ~ 5）を含むはんだ継手は、業界標準の高 Pb はんだ合金（合金 No. 6）を含むはんだ継手よりも高いせん断強さを示した。合金 No. 3 は、すべての試験条件下で、高 Pb はんだ継手の 2 倍のせん断強さを示した。

10

## 【 0 0 2 4 】

図 4 は、図 1 の試験合金 No. 1 ~ 6 を含むはんだ継手における、500 回、1000 回および 1500 回の熱衝撃サイクル後に測定されたはんだ継手の平均割れ長さを示す。平均割れ長さは、サイクル数の増加に伴って長くなる。はんだ継手における割れの伝播が遅いほど、その熱疲労破壊に対する耐性が増す。開示されているはんだ合金の SnAgCuSbBi 系の実施形態（合金 No. 1 ~ 5）を含むはんだ継手は、業界標準の高 Pb はんだ合金（合金 No. 6）を含むはんだ継手よりも平均割れ長さが大幅に短かった。

## 【 0 0 2 5 】

20

図 5 は、1000 サイクルの TS 試験後の試験合金 No. 1 ~ 6 を含むはんだ継手における、はんだ継手断面端部の光学顕微鏡写真の組（セット）を示す。割れの断面観察は、高 Pb はんだ合金（合金 No. 6）を使用して形成されたはんだ継手におけるより長い割れ長さを示す。合金 No. 6 については、割れが、（白い矢印で示す通り）縁部から各写真の全視野にわたって伝播するのが観察される。高 Pb はんだ継手におけるこれらの割れは、図 6 に示す通り、両端部から離れた継手内部までかなり延びた。

## 【 0 0 2 6 】

図 7 は、250 サイクルの熱衝撃試験後の合金 No. 3 および合金 No. 6 におけるはんだ継手の断面顕微鏡写真の組（セット）を示す。図 7 に示す通り、Pb フリー合金については、熱疲労割れは一般に、TS 試験において 250 サイクルの後に始まり、一方、高 Pb 合金については、割れが 250 サイクルの前に始まった。

30

## 【 0 0 2 7 】

[ SnAgCuSb および SnAgCuSbIn ( Bi ) 系合金の実施例 ]

SnAgCuSbBi 系（図 1）で設計されたはんだ合金の良好な信頼性性能に続いて、図 2 に示す SnAgCuSb 系および SnAgCuSbIn ( Bi ) 系の合金（合金 No. 11 ~ 21）を試験した。

## 【 0 0 2 8 】

はんだ合金の機械的特性を評価するために、ASTM 規格の試験手順にしたがって引張試験を行った。直径 1/4"（4 分の 1 インチ）およびゲージ長 1"（1 インチ）の円形の試験片ならびに試験速度 0.05 インチ/min を引張試験で用いた。図 8 は、図 2 に列挙した鑄造はんだ合金の耐力、最大引張強度および延性の結果を示す。図 2 において、合金 No. 7 ~ 21 は本開示によるはんだ合金であり、合金 No. 22 は、比較例の合金として使用した市販の高信頼性 Pb フリー合金である。図 9 は、200、1000 時間の熱時効処理後の図 2 に列挙したはんだ合金の耐力、最大引張強度および延性の結果を示す。

40

## 【 0 0 2 9 】

はんだペーストは、タイプ 4（粒径 38 ~ 20 ミクロン）のはんだ合金粉末（金属負荷 88.25%）を、標準的なペースト調製手順にしたがって無洗浄フラックスと混合することによって調製した。はんだペーストを用いて純 Cu または純 Ni 基材のいずれかの上に組み立てたダイアタッチはんだ継手を、その後の信頼性試験での評価に使用した。Cu

50

基材を10% HBF<sub>4</sub>酸溶液で洗浄し、次いでDI水ですすいだ。純Ni基材を硝酸洗浄溶液(水中、14% HNO<sub>3</sub>)で洗浄し、次いでDI水ですすいだ。まず、サイズが3×3×0.7mmのTi/Ni/Ag膜(75nm Ti/300nm Ni/75nm Ag)で被覆したSiダイをはんだ継手アセンブリに使用した。開口部が3×3mmの厚さ8ミル(0.2mm)のステンシルを使用して基材上にはんだペーストを印刷し、次いで、印刷したはんだペースト上にダイを置いた。しかし、Siダイアタッチはんだ継手については、リフローしたままの状態ではんだ継手のせん断強さを測定することができない。その理由は、リフローしたままの継手のダイせん断試験において、Siダイで完全な破壊が起こるためである。リフローしたままのはんだ継手のせん断強さを得るために、サイズが3×3×1.0mmのInvarダイを使用して金属ダイアタッチはんだ継手を形成した。「Invar」は、その独特の低い熱膨張係数(CTE)で既知の64Fe36Ni合金である。Invarは、Siにおける約2.6ppm/°CのCTEと比べて約半分の値である約1.2ppm/°CのCTEを有する。したがって、Invarダイアタッチはんだ継手はCTEの不釣り合いがはるかに大きく、熱サイクル試験において、Siダイアタッチ継手よりも寿命が短いことが予想される。本調査では、はんだ付けの前に純Ni基材と同じように、被覆のない露出したInvarダイを洗浄した。

10

#### 【0030】

はんだ付けは、Pbフリーはんだ合金についてはピーク温度243~248 および液相線を上回る時間(TAL):50~60秒で、あるいは標準的な高Pbはんだ合金(Pb5Sn2.5Ag)についてはピーク温度335 およびTAL:約60秒で、リフロー炉内で行った。

20

#### 【0031】

はんだ継手の耐熱疲労性は、加速温度サイクル試験(TCT)を用いて評価した。温度サイクル試験は、本実験において、-55/200のプロファイルおよびそれぞれの温度端にて滞留時間5分(約40分/サイクル)で、ならびに-40/175のプロファイルおよびそれぞれの温度端にて滞留時間5分(約33分/サイクル)で行った。さまざまなサイクル数で、ダイせん断試験のために、サンプルの組を取り出した。ダイアタッチはんだ継手は、Condor 250 XYZTECダイせん断試験機を使用して、せん断速度6mm/minでせん断試験し、各合金におけるさまざまな温度サイクル後の残留せん断強さをMPaで測定した。各条件について、7つのはんだ継手をせん断試験した。

30

#### 【0032】

本開示によるはんだ合金の実施例および比較例の合金(市販のInnot合金および業界標準の高Pbはんだ合金Indalloy151)の試験結果を図10~図14に示す。

#### 【0033】

図10は、図2の選択した合金から作製したCu基材上のSiダイアタッチはんだ継手における-55/200温度サイクル試験(TCT)の、それぞれ840サイクル後および1585サイクル後のせん断強さのばらつきを示す。Sb3.5合金およびSb5.5合金については、それぞれ860サイクルおよび1607サイクルのTCT後にせん断強さを試験したことに留意されたい。TCT後のはんだ継手の残留強さが高いほど、その信頼性が高い。はんだ継手のせん断強さは、熱サイクルの増加に伴って、TCTによって引き起こされるはんだ継手の損傷の増加により低下することが示されている。図10に示す通り、新規の例示的なはんだ合金から形成されるはんだ継手は、これらの試験条件のTCT後に、市販のInnotはんだ継手よりも高い平均残留せん断強さを示す。Sn3.8Ag0.9Cu6.0Sb0.5Inの組成を有するSI6005合金は、比較例の合金の性能の2倍を超えた。

40

#### 【0034】

図11は、図10と同じ合金から作製したNi基材上のSiダイアタッチはんだ継手における-55/200のTCTの602サイクルおよび1838サイクル後のせん断

50

強さのばらつきを示す図である。一般に、Ni基材上のSiダイアタッチはんだ継手は、TCT後に、Cu基材上のそれらの対応するはんだ継手よりもはるかに高い平均残留せん断強さを有する。これは、Ni基材のはんだ継手における熱膨張係数(CTE)の不釣り合い(CTEは、Niの13ppm/°Cに対して、Siの約3ppm/°C)が、Cu基材のはんだ継手におけるCTEの不釣り合い(CTEは、Cuの17ppm/°Cに対して、Siの約3ppm/°C)よりも小さいことによる。その結果、温度サイクル試験中に、Ni基材のはんだ継手において、Cu基材のはんだ継手よりも小さい応力またはひずみが生じ、したがって、生じる損傷がより少ない。図11に示す通り、例示的なはんだ合金から作製されたNi上のすべてのはんだ継手は、これらの試験条件のTCT後に、比較例のInno10tはんだ継手よりも高い平均せん断強さを示す。SI6005、SB6003(Sn3.8Ag1.0Cu6.0Sb0.3Biの公称組成を有する)およびSb5.5(Sn3.8Ag1.0Cu5.5Sbの公称組成を有する)が、これらの試験において性能が最も優れた3つであった。

#### 【0035】

図12は、例示的なはんだ合金ならびに比較例の合金(Inno10t合金および標準的な高Pb合金Indalloy151)から作製したCu基材上のSiダイアタッチはんだ継手における-40/175のTCTの、それぞれ1360サイクル後および2760サイクル後のせん断強さの結果を示す。図12に示す通り、これらの試験条件下で、例示的なはんだ合金から作製されたCu上のすべてのはんだ継手は、TCT後に、比較例のPbフリーInno10tはんだ継手よりも高いだけでなく、比較例の高Pb Indalloy151はんだ継手よりも高い平均せん断強さを示す。

#### 【0036】

図13は、図2の例示的なはんだ合金ならびに比較例のInno10t合金から作製したCu基材上のInvarダイアタッチはんだ継手における-40/175のTCTの、リフローしたままの状態、1360サイクル後および2760サイクル後のそれぞれのせん断強さの結果を示す。高Pbはんだ合金Indalloy151は比較例の合金として評価に含めなかった。その理由は、露出したInvarダイを使用して作製したはんだ継手は、Invar合金上で高Pbはんだのぬれが不十分なために弱かったからである。先述の通り、金属ダイアタッチはんだ継手の形成にInvarダイを使用する利点の1つは、リフローしたままのはんだ継手のせん断強さを測定できることである。図13に示す通り、例示的なはんだ合金から作製したCu基材上のリフローしたままのはんだ継手は、比較例のInno10tはんだ継手の68MPaと比べて、76~94MPaの範囲の非常に高い平均せん断強さを有する。-40/175のTCTの1360サイクル後および2760サイクル後、はんだ継手の平均せん断強さは大幅に低下するが、例示的なはんだ合金から作製されたはんだ継手の平均せん断強さは、Inno10tはんだ継手のせん断強さよりもはるかに高い。

#### 【0037】

図14は、図13と同じ合金から作製したNi基材上のInvarダイアタッチはんだ継手における-40/175のTCTの、リフローしたままの状態、1360サイクル後および2760サイクル後のそれぞれのせん断強さの結果を示す図である。一般に、Ni基材上のリフローしたままのInvarダイアタッチはんだ継手は、Cu基材上のそれらの対応するはんだ継手と同等の平均せん断強さを有する。しかし、Ni基材上のInvarダイアタッチはんだ継手におけるTCT後のせん断強さの低下率は、Cu基材上のそれらの対応するはんだ継手と比べて大幅に小さい。図14に示す通り、これらの試験条件のTCT後に、例示的なはんだ合金から作製されたNi上のすべてのInvarダイアタッチ継手は、比較例のInno10tはんだ継手よりも高い平均せん断強さだけでなく、リフローしたままの状態からののはるかに小さいせん断強さの低下率も示す。

#### 【0038】

図15は、本開示によるSn(3.2~3.8)Ag(0.7~0.9)Cu(3.0~4.0)SbxIn合金におけるIn含有量による固相線温度および液相線温度の変化

10

20

30

40

50

を示す図である。In濃度が上昇すると、固相線温度と液相線温度の両方が低下する。したがって、InをSnAgCuSb合金に添加すると、合金の溶融温度を効果的に低下させることができる。In濃度が上昇すると、(固相線と液相線の間の)溶融温度範囲も広くなる。はんだ付け性能を考慮すると、15未満の狭い溶融温度範囲が望ましく、In添加は5重量%以下であるべきである。

#### 【0039】

図16は、Sn-Sb二元状態図である。平衡状態図によれば、Sn(Sb)固溶体は、10.2重量%未満のSbのSn-Sb合金の凝固後に生成する。その後冷却すると、SnSb金属間相が過飽和のSn(Sb)固溶体(>3重量%Sb)から析出する。SnSb相は、擬立方NaCl(B1)面心立方(FCC)タイプである。この構造は、Sb原子の1つの副格子と、Sn原子の別の副格子を含み、各Sn原子は6個の第1Sb隣接原子に囲まれ、各Sb原子は6個の第1Sn隣接原子に囲まれている。その組成はかなり広い範囲で変化するので、このタイプの金属間相は中程度の延性を有する傾向があり、したがって、継手特性に良い影響を与える。したがって、3重量%を超えてSbを添加すると、固溶体および析出物強化の両方をSnAgCuベース合金にもたらしすることができる。Sb含有量が6.7重量%~10.2重量%の間のSn-Sb合金では、Sn-Sb二元状態図に示す通り、 $\text{Sn}_3\text{Sb}_2$ の一次凝固相が初めに生成し、250の包晶反応を経てSn(Sb)固溶体に変態する。しかし、はんだ付け工程のような非平衡凝固条件では、この $\text{Sn}_3\text{Sb}_2$ の相変化が完全にならず、粗い一次金属間相が脆くなる傾向がある。したがって、本開示による合金中のSb含有量は、約9重量%未満であることが好ましい。

#### 【0040】

##### [本開示の合金の成分範囲の利益]

本明細書に開示の合金の成分範囲の利益を以下で説明する。Sn-Ag-Cu合金系では、三元共晶組成は約Sn3.7Ag0.9Cuであり、共晶温度は217である。Agは、 $\text{Ag}_3\text{Sn}$ 金属間粒子を形成して分散強化相として作用する、合金中の主要な強化元素である。Agは、はんだ合金のぬれ性も向上させる。合金の溶融挙動、ぬれ性、機械的特性および熱サイクル信頼性を包括的に考慮すると、Ag含有量は、2.5~4.5重量%の範囲内であることが好ましい。Agが2.5重量%未満のとき、はんだ継手の機械的特性および熱サイクル信頼性性能は、過酷な環境の電子機器用途には十分ではない。Agが4.5重量%を超えると、合金の液相線温度が著しく上昇し、はんだ付け性能に悪影響を与える。加えて、より高いAg含有量に伴うコストの上昇は望ましくない。したがって、実施形態において、Ag含有量は、好ましくは3.0~4.0重量%の範囲内である。

#### 【0041】

SnAgCuSbベース合金を構成する主要元素の1つとして、Cuは、はんだマトリックス中に $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ 金属間化合物粒子を形成することにより、合金の機械的特性を向上させる。また、Cu基材金属またはCuパッドの溶解を大幅に低減する。はんだ継手のミクロ組織の観察に基づいて、はんだ中のCu含有量をより高くすると、 $(\text{Cu}, \text{Ni})_6\text{Sn}_5$ 金属間層構造を促進および安定化し、かつ $(\text{Cu}, \text{Ni})_6\text{Sn}_5 / (\text{Cu}, \text{Ni})_3\text{Sn}_4$ 二重層構造がはんだ継手界面に形成されるのを防ぐことによって、特にNi基材金属または表面仕上げを有するはんだ継手の信頼性を向上させることができることが本発明者らによって明らかになった。さらに、はんだ中のCu含有量をより高くすると、 $\text{Ag}_3\text{Sn}$ の一次凝固相の形成の代わりに、 $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ の一次凝固を開始することによって、高Ag含有量(3重量%以上)のはんだ継手における $\text{Ag}_3\text{Sn}$ プレートが発生を抑制することもできる。Cuが0.6重量%未満のときは、前述の有益な効果の利用は期待できない。Cuが2.0重量%を超えると、合金の液相線温度が高くなり過ぎて、溶融温度範囲がリフローはんだ付けには広くなりすぎる。これは、はんだ付け性能に悪影響を及ぼす(例えばボイド(空所、隙間の類)の増加)。本開示の実施形態において、Cu含有量は、好ましくは0.6~1.2重量%の範囲内である。



## 【0042】

本開示において、Sbは、本調査で用いられる非常に厳しい熱サイクルまたは熱衝撃試験条件において、開示されている合金で作製されたはんだ継手の耐熱疲労性を改善する重要な元素であることが明らかである。Sb含有量が2.5重量%未満であるとき、SbはAg<sub>3</sub>Sn相だけでなくSnマトリックスにも溶解し、Sn(Sb)固溶体を生成する。先述の通り、はんだ合金に3重量%を超えてSbを添加すると、-SnSb(図16)金属間相が過飽和のSn(Sb)固溶体から析出し、固溶体および析出物強化の両方をSnAgCu合金にもたらし、-SnSb金属間析出物強化機構の特性およびよい影響によって、本開示によるSnAgCuSb合金は、図8に示す通り、優れた広範な機械的特性(高強度および高延性の両方)ならびに大幅に改善されたはんだ継手の信頼性性能を示す。しかし、Sbの添加は、合金の固相線温度と液相線温度の両方を上昇させる。さらに、先の分析によれば、Sn<sub>3</sub>Sb<sub>2</sub>の粗くて脆い一次凝固相の併発を避けるために、本開示によるSb含有量は約9重量%未満であるべきである。Sb含有量は、より好ましくは3.0~8.0重量%の範囲内である。本調査の信頼性試験結果によれば、最適なSb含有量は、SnAgCuSb合金では約5~6重量%である。

10

## 【0043】

SnAgCuSb合金への添加剤(添加物)として、BiおよびInの両方が合金の固相線温度および液相線温度を低下させることができる。Biも液体はんだの表面張力を低下させ、したがって合金のぬれ性を向上させる。Sbとは異なり、Biが2.5重量%を超えると、Biの添加によって合金の強度は高くなるが、その延性を著しく低下させ、はんだ継手を脆くすると共に耐熱疲労性を低下させる。本開示の実施形態において、1.5重量%以下のBi添加が過酷な環境の電子機器用途には好ましい。

20

## 【0044】

合金の固相線温度および液相線温度を低下させる有益な効果に加えて、SnAgCuSb合金にInを4.5重量%未満添加すると、Inは-Snマトリックスにほとんど溶解して固溶体強化効果が得られる。したがって、合金の機械的特性およびはんだ継手の熱サイクル信頼性性能がさらに改善される。厳しい温度サイクル試験を行ったはんだ継手のミクロ組織観察に基づいて、SnAgCuSb合金にInを添加すると、温度サイクル試験中に粒界を強化し、高温での粒界損傷を抑制し、はんだ継手の再結晶過程を遅らせることができることが本発明者らによって明らかになった。先に議論した通り、In含有量が5重量%以上であるとき、合金の溶融温度範囲は15よりも高い。Inは、特にペースト用途のための微細なはんだ粉末の形態で酸化しやすい合金元素でもある。4.5重量%を超えてInを添加した合金で、はんだ付け性能が低下すること(例えば、ぬれの低下およびボイドの増加)が本発明者らによって明らかになった。したがって、本開示において、4.5重量%以下のIn添加が一般に好ましい。合金中の好ましいIn含有量はSb含有量にも依存する。Sb含有量が5.0重量%を超えると、合金中の初期溶融段階を避けるために、In添加は3.0重量%未満であることが好ましい。

30

## 【0045】

本開示において、0.001~0.2重量%の量のNiまたはCo、あるいは両方を添加して、合金の機械的特性およびはんだ継手の信頼性性能をさらに改善することができる。総量が0.2重量%を超えると、合金の液相線温度が過度に上昇する。加えて、これらの元素も酸化されやすく、したがって、特にペースト用途のための微細なはんだ粉末の形態で総添加量が0.2重量%を超えると、はんだ付け性能に悪影響を及ぼす。したがって、これらの添加量の上限は0.2重量%である。

40

## 【0046】

開示された技術のさまざまな実施形態について上記で説明してきたが、これらの実施形態は例として提示されているに過ぎず、限定するものではないと理解されるべきである。同じく、さまざまな図は、開示された技術に含まれ得る特徴および機能の理解を助けるためになされる、開示された技術の構造または他の構成の例を示し得る。開示された技術は、示した事例の構造または構成に限定されず、所望の特徴は、さまざまな代替の構造およ

50

び構成を用いて実施され得る。実際、本明細書に開示された技術の所望の特徴を実施するために、代替の機能的、論理的または物理的な区画化および構成をどのように実施できるかは、当業者には明らかであろう。また、本明細書に示したものの以外の多数の異なる構成モジュール名をさまざまな区画に適用することができる。さらに、流れ図、動作説明および方法クレーム（方法の請求項）に関して、本明細書においてステップが提示されている順番は、文脈によって別段の指示がなされていない限り、記載された機能を同じ順番で実施するためにさまざまな実施形態が実施されることを要求しないものとする。

#### 【0047】

開示された技術は、さまざまな例示的な実施形態および実施に関して上述されているが、1つまたは複数の個々の実施形態において記載されたさまざまな特徴、態様および機能は、共に記載された特定の実施形態に対するそれらの適用可能性において制限されず、その代わり、そのような実施形態が記載されているかどうか、記載された実施形態の一部としてそのような特徴が提示されているかどうかに関わらず、開示されている技術の1つまたは複数の他の実施形態に単独またはさまざまな組み合わせで適用され得るものと理解されるべきである。したがって、本明細書に開示された技術の幅および範囲は、上述の例示的な実施形態のいずれによっても制限されるべきではない。

#### 【0048】

本文書において用いられる用語および語句ならびにそれらの変形は、特に明記されていない限り、限定するものではなく制約のないものと解釈されるべきである。前述の例として：用語「含む (including)」は、「限定することなく含む (including, without limitation)」などを意味するものと解釈されるべきである；用語「例、事例」は、議論されている項目の網羅的または限定的なリストではなく、それらの例示的な例を示すために用いられている；用語「a」または「an」は、「少なくとも1つの」、「1つまたは複数の」などを意味するものと解釈されるべきである；「従来の」、「伝統的な」、「通常の」、「標準的な」、「既知の」などの形容詞および類似の意味の用語は、記載された項目を所与の期間または所与の時間の時点で利用可能な項目に限定するものと解釈されるべきではなく、その代わり、現在または将来の任意の時点で利用可能であるか、または既知であり得る従来の技術、伝統的な技術、通常の技術または標準的な技術を包含すると解釈されるべきである。同じく、本文書が、当業者には明らかであるか、または既知であろう技術に言及している場合、そのような技術は、現在または将来の任意の時点で当業者には明らかであるか、または既知の技術を包含する。

#### 【0049】

「1つまたは複数の」、「少なくとも」、「ただし、～に限定されない」などの広範な語および語句または他の類似の語句の存在は、一部の例において、そのような広範な語句が存在しなくてもよい例において、より狭いケースが意図され、または必要とされることを意味すると解釈されないものとする。用語「モジュール」の使用は、モジュールの一部として記載または主張されている構成要素または機能が共通のパッケージにすべて含まれることを意味しない。実際、モジュールの任意またはすべてのさまざまな構成要素は、制御ロジックであろうと他の構成要素であろうと、単一のパッケージに組み合わせることも、別々に維持することもできて、さらに、複数のグルーピングまたはパッケージに分散させることも、複数の場所に分散させることもできる。

#### 【0050】

さらに、本明細書に記載のさまざまな実施形態は、例示的なブロック図、フローチャートおよび他の図に関して記載される。本文書を読んだ後に当業者には明らかになるであろう通り、例示された実施形態およびそれらのさまざまな代替は、示した例に限定されることなく実施され得る。例えば、ブロック図およびそれらに付随する説明は、特定の構造または構成を要求するものと解釈されるべきではない。

#### 【符号の説明】

#### 【0051】

図5、6及び7中、「Alloy No.」は「合金No.」を意味する。

10

20

30

40

50

【図 1】

合金No.	名称	Sn	Ag	Cu	Sb	Bi	Ni	Co	Pb	固相線(℃)	液相線(℃)
1	SBS503	残余分	3.80	1.10	3.46	0.38				219.9	226.0
2	SBS503Ni(Co)	残余分	3.54	1.04	3.46	0.29	0.05	0.05		218.8	226.0
3	SBS503	残余分	3.98	1.10	5.63	0.30				222.0	228.7
4	SB205B	残余分	3.65	1.93	3.30	0.36				219.3	226.1
5	SBS520	残余分	3.71	1.04	3.35	1.97				215.6	223.7
6	Indalloy151	5.39	2.35						残余分	298.0	304.1

FIG. 1

【図 2】

合金No.	名称	Sn	Ag	Cu	Sb	Bi	In	Ni	固相線(℃)	液相線(℃)
7	SB6003	残余分	3.96	0.97	6.20	0.29			222.6	229.0
8	SB105B	残余分	2.71	1.04	5.91	0.32			221.1	230.9
9	SB3515	残余分	3.84	1.21	3.71	1.54			216.3	226.6
10	SN60	残余分	3.85	0.69	6.40			0.08	223.1	231.5
11	Sb3.5	残余分	3.84	0.98	3.72				221.8	226.6
12	Sb5.5	残余分	3.85	0.94	5.70				223.3	228.3
13	Sb8.0	残余分	3.26	0.74	8.18				223.3	231.7
14	Si6005	残余分	3.86	0.96	6.28		0.45		221.6	228.4
15	Si6030	残余分	3.80	0.89	6.19				216.9	225.2
16	Si3025	残余分	3.81	0.58	2.92		2.44		212.7	221.6
17	Si3505	残余分	3.28	0.71	3.55		0.70		219.5	226.5
18	Si3520	残余分	3.34	0.71	3.60		2.08		215.2	224.1
19	Si3540	残余分	3.24	0.70	3.64		4.20		208.0	221.1
20	Si3520Bi	残余分	3.26	0.74	3.55	0.45			214.1	223.2
21	Si3520Ni	残余分	3.20	0.68	3.45		2.06	0.05	214.2	225.2
22	Innolet	残余分	3.80	0.70	1.50	3.00		0.15	211.2	221.2

FIG. 2

【図 3】

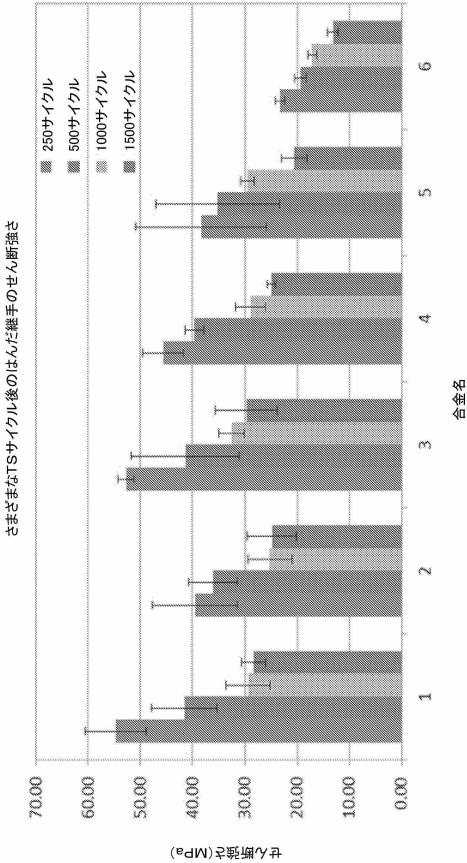


FIG. 3

【図 4】

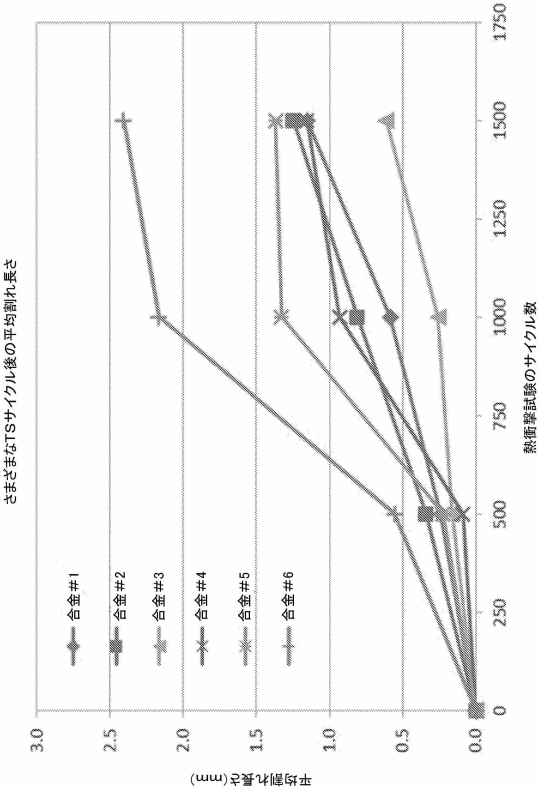


FIG. 4

【図 5】

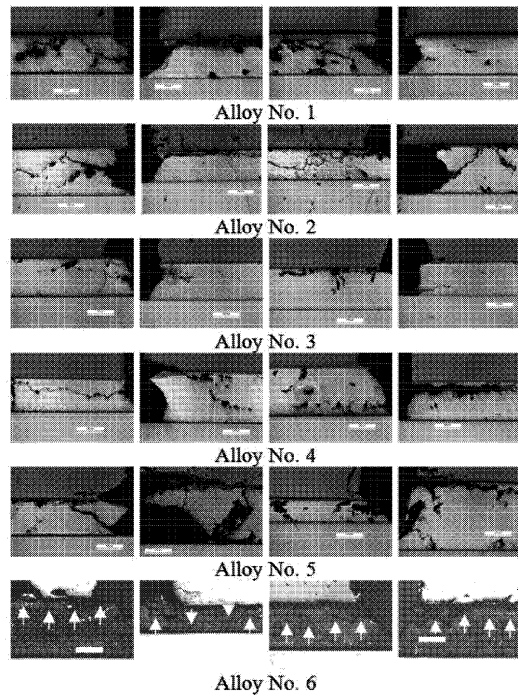


FIG. 5

【図 6】

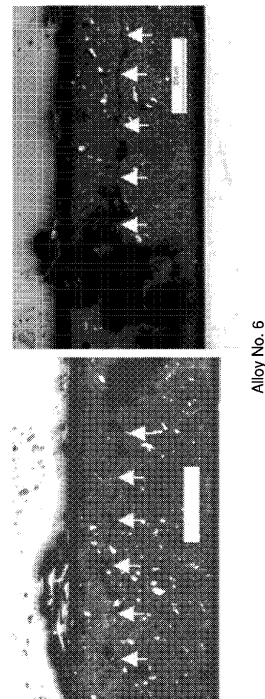


FIG. 6

【図 7】

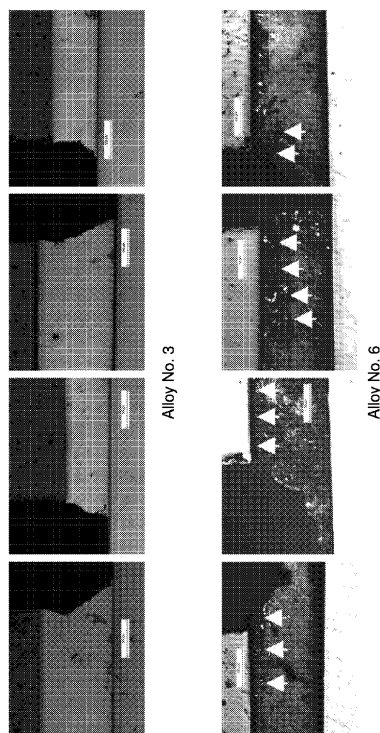


FIG. 7

【図 8】

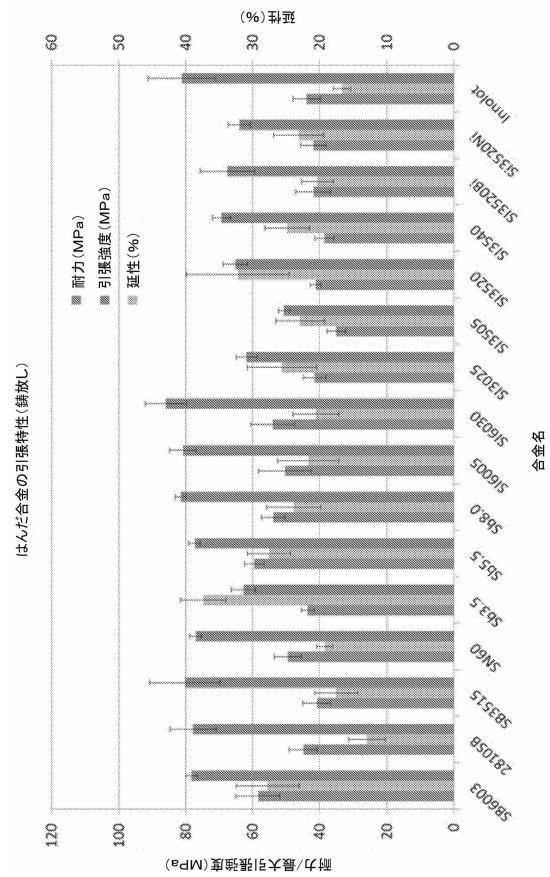


FIG. 8

【図 9】

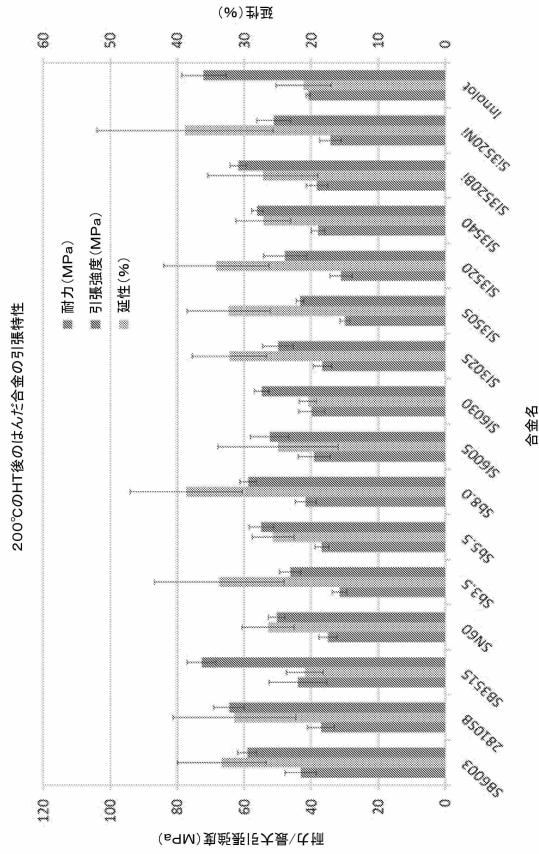


FIG. 9

【図 10】

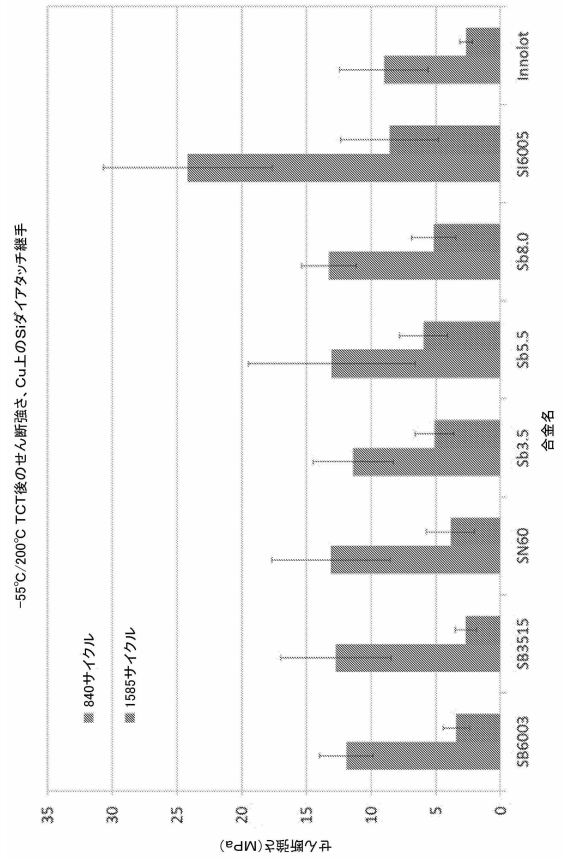


FIG. 10

【図 11】

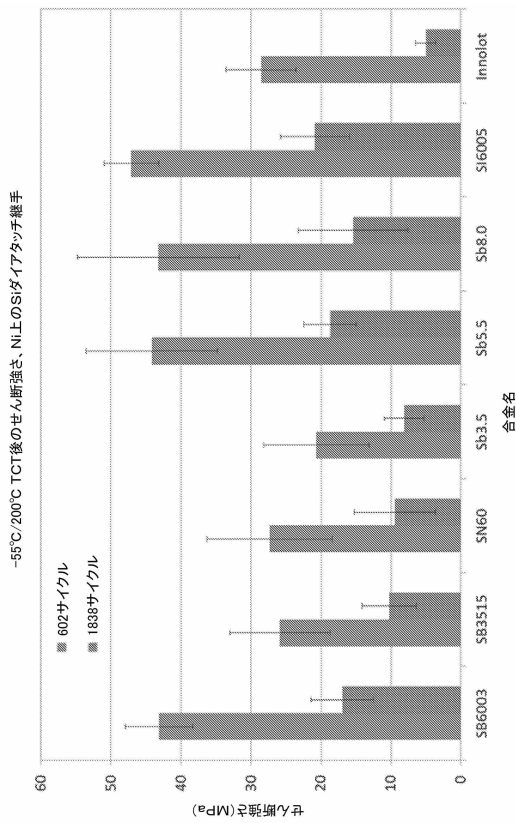


FIG. 11

【図 12】

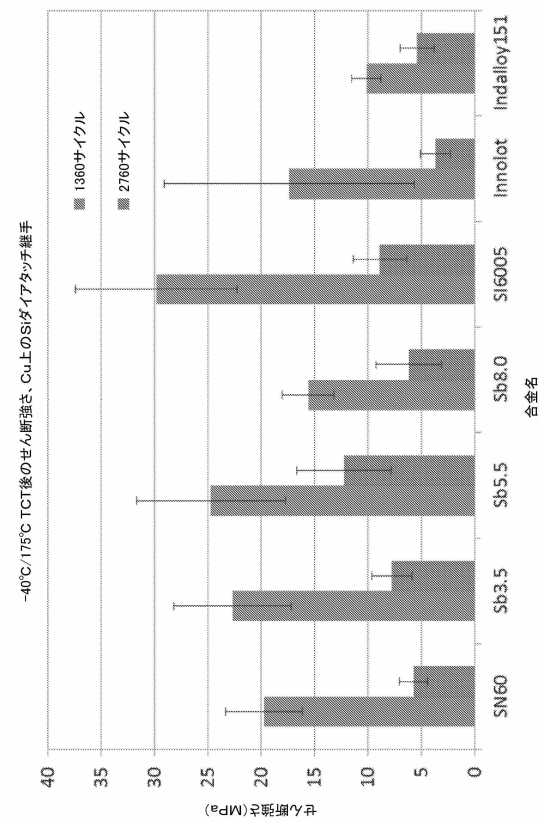


FIG. 12

【図 13】

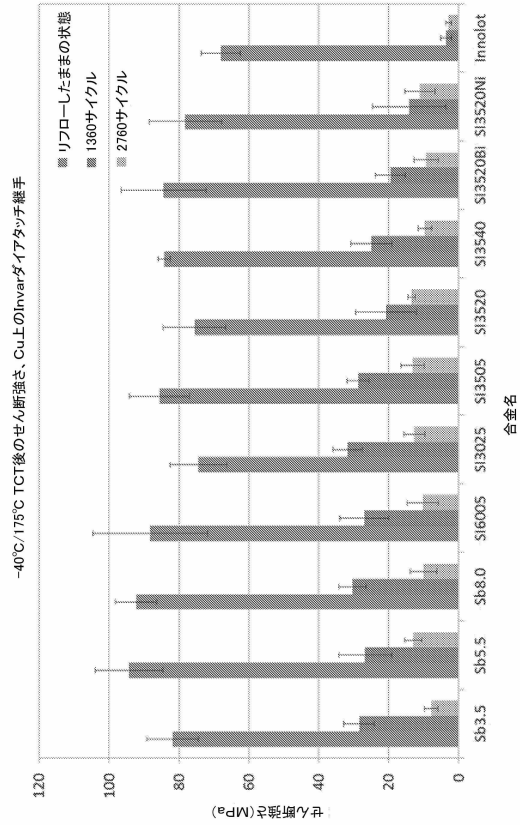


FIG. 13

【図 14】

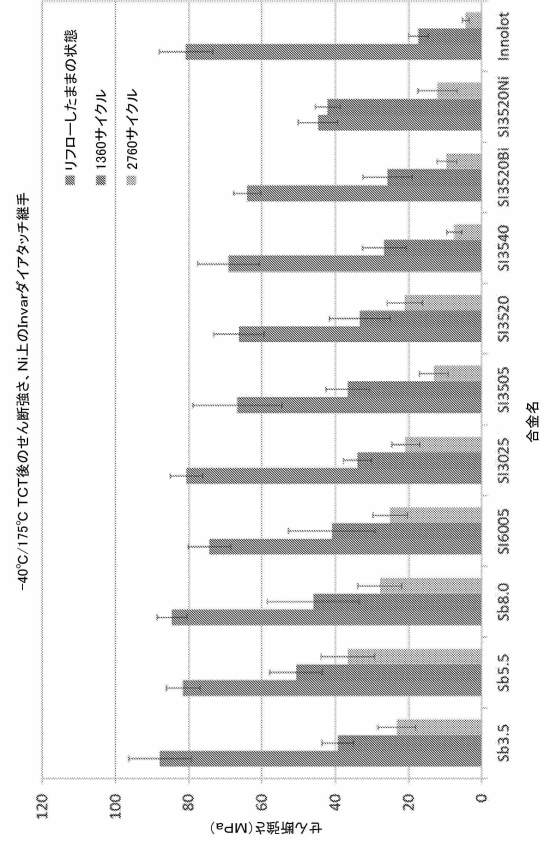


FIG. 14

【図 15】

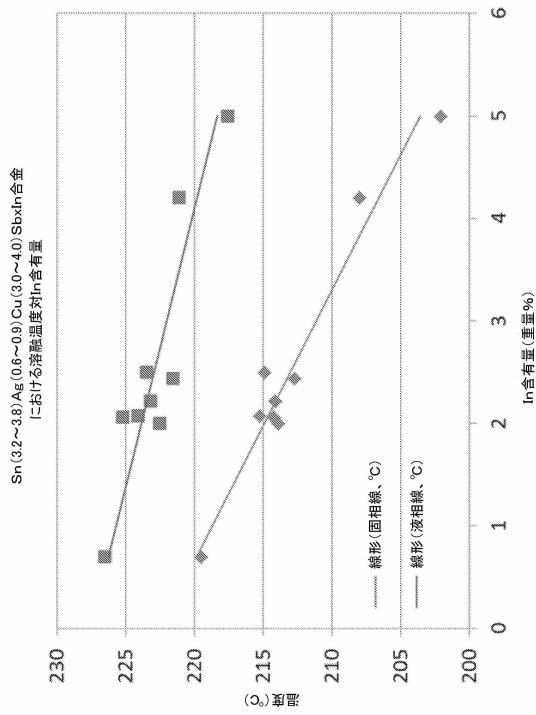


FIG. 15

【図 16】

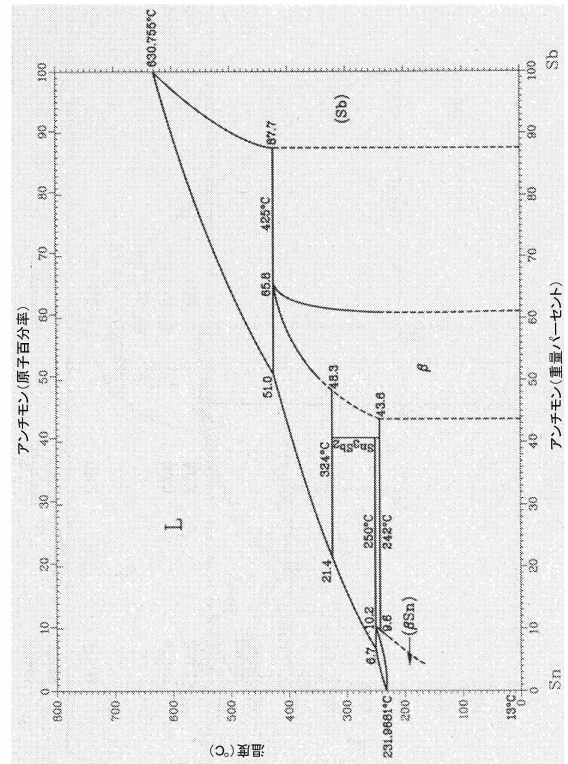


FIG. 16

---

フロントページの続き

審査官 結城 佐織

(56)参考文献 特開2015-077601(JP,A)  
特開2014-77601(JP,A)  
特開2014-37005(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
B23K 35/26  
C22C 13/02