

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6447155号  
(P6447155)

(45) 発行日 平成31年1月9日(2019.1.9)

(24) 登録日 平成30年12月14日(2018.12.14)

(51) Int.Cl.			F I		
<b>H01L</b>	<b>21/60</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>H01L</b>	21/92	<b>603B</b>
<b>C22C</b>	<b>28/00</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>C22C</b>	28/00	<b>B</b>
<b>C22C</b>	<b>13/00</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>C22C</b>	13/00	
<b>B23K</b>	<b>35/26</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>B23K</b>	35/26	<b>310D</b>
<b>C22C</b>	<b>30/04</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>B23K</b>	35/26	<b>310A</b>

請求項の数 7 (全 24 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2015-6642 (P2015-6642)	(73) 特許権者	000005223 富士通株式会社
(22) 出願日	平成27年1月16日 (2015.1.16)		神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(65) 公開番号	特開2016-134421 (P2016-134421A)	(74) 代理人	100092152 弁理士 服部 毅巖
(43) 公開日	平成28年7月25日 (2016.7.25)	(72) 発明者	上村 泰紀 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
審査請求日	平成29年12月15日 (2017.12.15)	(72) 発明者	清水 浩三 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
		(72) 発明者	作山 誠樹 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電子装置及び電子装置の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1電極と、

前記第1電極上に設けられ、S n、I n、A g及びC uを含有する半田と、前記半田中に分散して含まれ、I n、A g及びC uを含有する第1相と

を含むことを特徴とする電子装置。

【請求項2】

前記第1相は、A g I n<sub>2</sub>にC uが含有された構造を有することを特徴とする請求項1に記載の電子装置。

【請求項3】

前記第1相が含まれる前記半田は、

S nと、

40重量%～65重量%のI nと、

0.01重量%～5重量%のA gと、

0.01重量%～1重量%のC uと

を含有することを特徴とする請求項1又は2に記載の電子装置。

【請求項4】

前記第1電極を備える第1電子部品と、

前記第1電極上に設けられ、前記第1相が含まれる前記半田と、

前記第1相が含まれる前記半田を通じて前記第1電極と電氣的に接続された第2電極を

10

20

備える第2電子部品と

を含むことを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載の電子装置。

【請求項5】

前記半田中に、Sn及びInを含有する第2相が含まれ、

前記第1相は、前記第2相中に分散して含まれることを特徴とする請求項1乃至4のいずれかに記載の電子装置。

【請求項6】

第1電極上に、Sn、In、Ag及びCuを含有する半田を形成する工程を含み、

前記半田中に、In、Ag及びCuを含有する第1相が分散して含まれることを特徴とする電子装置の製造方法。

10

【請求項7】

前記半田中に、Sn及びInを含有する第2相が含まれ、

前記第1相は、前記第2相中に分散して含まれることを特徴とする請求項6に記載の電子装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電子装置及び電子装置の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半田を用いて電極間を接合する技術が知られている。接合に用いる半田として、比較的融点の低い低融点半田、例えば、インジウム(In)を含有する半田や、これに銀(Ag)等の元素を添加した半田等を用いる技術が知られている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2013-233577号公報

【特許文献2】特開昭61-148774号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0004】

低融点半田では、半田を熔融する際の温度を低く抑えることができる一方、熔融、凝固した時に、良好な機械的特性を発揮する内部構造(組織)が形成されないと、外力や応力に対して信頼性の高い半田接合部を得ることが難しい。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の一観点によれば、第1電極と、前記第1電極上に設けられ、Sn、In、Ag及びCuを含有する半田と、前記半田中に分散して含まれ、In、Ag及びCuを含有する第1相とを含む電子装置が提供される。

また、本発明の一観点によれば、第1電極上に、Sn、In、Ag及びCuを含有する半田を形成する工程を含み、前記半田中に、In、Ag及びCuを含有する第1相が分散して含まれる電子装置の製造方法が提供される。

40

【発明の効果】

【0006】

開示の技術によれば、接合信頼性に優れた電子装置を実現することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】第1の実施の形態に係る電子装置の第1構成例を示す図である。

【図2】第1の実施の形態に係る第1構成例の電子装置の形成方法を説明する図である。

【図3】第1の実施の形態に係る電子装置の第2構成例を示す図である。

50

【図4】第1の実施の形態に係る第2構成例の電子装置の形成方法を説明する図である。

【図5】Ag-Cu系状態図である。

【図6】In-Sn-Ag-Cu系計算状態図(その1)である。

【図7】In-Sn-Ag-Cu系計算状態図(その2)である。

【図8】引っ張り試験の結果を示す図(その1)である。

【図9】InSn共晶半田に1重量%のAgを添加した半田の元素分析結果を示す図である。

【図10】InSn共晶半田に1重量%のAg及び0.5重量%のCuを添加した半田の元素分析結果を示す図である。

【図11】引っ張り試験の結果を示す図(その2)である。

【図12】InSn共晶半田に7.5重量%のAg及び0.5重量%のCuを添加した半田の元素分析結果を示す図である。

【図13】引っ張り試験の結果を示す図(その3)である。

【図14】InSn共晶半田に1重量%のAg及び2重量%のCuを添加した半田の元素分析結果を示す図である。

【図15】第2の実施の形態に係る電子装置の一例を示す図である。

【図16】第3の実施の形態に係る電子装置の製造方法の一例を説明する図(その1)である。

【図17】第3の実施の形態に係る電子装置の製造方法の一例を説明する図(その2)である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

まず、第1の実施の形態について説明する。

図1は第1の実施の形態に係る電子装置の第1構成例を示す図である。図1には第1の実施の形態に係る電子装置の第1構成例の要部断面を模式的に図示している。また、図2は第1の実施の形態に係る第1構成例の電子装置の形成方法を説明する図である。図2(A)及び図2(B)には接合工程の一例の要部断面を模式的に図示している。

【0009】

図1に示す電子装置1は、電子部品10、電子部品20及び半田30を有している。

電子部品10は、電極11を有している。電子部品20は、電子部品10と対向するように設けられ、電子部品10の電極11に対応する位置に、電極21を有している。電極11及び電極21には、例えば、銅(Cu)若しくはCuを含む材料、ニッケル(Ni)若しくはNiを含む材料、又は、金(Au)若しくはAuを含む材料が用いられる。尚、電極11及び電極21には、Cu、Ni、Au等を用いた単層構造又は積層構造の電極層を用いることができる。また、そのような電極層上にNi、タンタル(Ta)、チタン(Ti)、タングステン(W)、アルミニウム(Al)等が用いられたバリアメタル層を設けた積層構造を用いることもできる。

【0010】

半田30は、電子部品10の電極11と電子部品20の電極21とに接合されている。電子部品10と電子部品20とは、各々の電極11と電極21に接合された半田30を通じて電氣的に接続されている。

【0011】

電極11と電極21とを半田30で接合する際は、例えば、まず、図2(A)に示すように、電極21上に半田30aが配置された電子部品20と、電子部品10とを、互いの電極21と電極11の位置合わせを行って、対向させて配置する。次いで、図2(B)に示すように、半田30aを電極11に接触させる。その状態で、半田30aが熔融する温度で加熱し、その後、冷却して半田30aを凝固させる。これにより、図1に示すように、電極11と電極21とを半田30で接合し、半田30を通じて電子部品10と電子部品20とを電氣的に接続する。

【0012】

10

20

30

40

50

接合前(図2(A)及び図2(B))の電極21上の半田30a、及び、接合後(図1)の電極11と電極21との間の半田30は、成分元素として、スズ(Sn)、In、Ag及びCuを含有している。半田30a及び半田30は、例えば、40重量%~65重量%のInと、0.01重量%~5重量%のAgと、0.01重量%~1重量%のCuとを含有し、残部にSn等を含有する。

【0013】

尚、接合後の半田30と電極11との界面には、それらの互いの成分元素を含有する層が設けられていてもよく、接合後の半田30と電極21との界面には、それらの互いの成分元素を含有する層が設けられていてもよい。例えば、上記の成分元素を含有する半田30の場合で、電極11、電極21の表面がAuであった場合はInAu層が界面に形成され、電極11、電極21の表面がCuであった場合はCuInSn層が界面に形成される。

10

【0014】

図1に示すように、半田30は、In及びSnを含有するInSn含有相31と、In、Ag及びCuを含有するInAgCu含有相32とを含む。半田30中のInSn含有相31は、In及びSnを主体とする相であり、半田30中のInAgCu含有相32は、In、Ag及びCuを主体とする相である。InSn含有相31には、その成分元素として、主体のIn及びSnのほかに、Ag、Cu、電極11や電極21からの拡散成分、不可避不純物等が含まれ得る。InAgCu含有相32には、その成分元素として、主体のIn、Ag及びCuのほかに、Sn、電極11や電極21からの拡散成分、不可避不純物等が含まれ得る。

20

【0015】

InAgCu含有相32は、InSn含有相31中に分散して含まれる。InAgCu含有相32は、AgとInの金属間化合物である $AgIn_2$ にCuが固溶した構造を有する。InAgCu含有相32の主なものは、例えば大きさが2 $\mu m$ 以下といった比較的微細なサイズで、InSn含有相31中に分散している。

【0016】

ところで、In及びSnを含有するInSn共晶半田は、延性に優れる性質を示す。半田の延性は、例えば上記のように電子部品10と電子部品20との接合部に用いた場合において、加熱や発熱によって接合部に生じる応力の緩和に寄与する。しかし、InSn共晶半田は、このような延性に富む性質を示す反面、機械的強度が低く、接合部の信頼性を十分に確保することができない場合がある。

30

【0017】

一方、InSn共晶半田にAgを添加することで、半田の機械的強度を高める技術がある。Agを添加すると、半田中にAgとInの金属間化合物が生成され、一定の機械的強度の向上が図られる。しかし、AgとInの金属間化合物は、例えば大きさが50 $\mu m$ 以上といったサイズにまで粗大化する場合がある。このようにAgとInの金属間化合物が粗大化すると、半田の延性が低下し、接合部に応力が生じた際、そこに応力が集中して接合部に亀裂や破断が発生し易くなり、接合部の信頼性が低下することが起こり得る。

【0018】

これに対し、上記電子装置1では、電子部品10と電子部品20との接合部に、InAgCu含有相32が分散して含まれる半田30が用いられている。InAgCu含有相32は、上記のように、AgとInの金属間化合物 $AgIn_2$ にCuが固溶した構造を有し、また、比較的微細なサイズを有する。Inを含有する半田にAgと共にCuを添加し、AgとInの粗大な金属間化合物の生成を抑えて、半田30中に微細なInAgCu含有相32を分散させる。このようにInAgCu含有相32が分散して含まれる半田30は、InSn共晶半田やそれにAgを添加した半田等に比べて、高い延性を示すと共に、高い機械的強度を示すようになる。尚、InAgCu含有相32を分散させた半田30の延性及び機械的強度の詳細については後述する。

40

【0019】

50

電子部品 10 と電子部品 20 との間の接合部に、このような高い延性と機械的強度を併せ持つ半田 30 が用いられることで、接合信頼性に優れた電子装置 1 が実現される。

図 3 は第 1 の実施の形態に係る電子装置の第 2 構成例を示す図である。図 3 には第 1 の実施の形態に係る電子装置の第 2 構成例の要部断面を模式的に図示している。また、図 4 は第 1 の実施の形態に係る第 2 構成例の電子装置の形成方法を説明する図である。図 4 (A) 及び図 4 (B) には半田配置工程の一例の要部断面を模式的に図示している。

#### 【0020】

図 3 に示す電子装置 (電子部品) 10 a は、電極 11 a、及び電極 11 a 上に設けられた半田 30 a を有している。

電極 11 a には、例えば、Cu 若しくは Cu を含む材料、Ni 若しくは Ni を含む材料、又は、Au 若しくは Au を含む材料が用いられる。尚、電極 11 a には、Cu、Ni、Au 等を用いた単層構造又は積層構造の電極層を用いることができる。また、そのような電極層上に Ni、Ta、Ti、W、Al 等が用いられたバリアメタル層を設けた積層構造を用いることもできる。

#### 【0021】

電極 11 a 上に半田 30 a を設けた電子装置 10 a を形成する際は、まず、図 4 (A) 及び図 4 (B) に示すように、半田ボール 30 A や、半田を含有する半田ペースト 30 B を電極 11 a 上に配置する。次いで、半田ボール 30 A や半田ペースト 30 B 中の半田が溶解する温度で加熱し、その後、冷却してそれらを凝固させる。これにより、図 3 に示すような半田 30 a を形成する。

#### 【0022】

接合前 (図 4 (A) 及び図 4 (B)) の電極 11 a 上の半田ボール 30 A や半田ペースト 30 B 中の半田、及び、接合後 (図 3) の電極 11 a 上の半田 30 a は、成分元素として、Sn、In、Ag 及び Cu を含有している。半田ボール 30 A や半田ペースト 30 B 中の半田、及び半田 30 a は、例えば、40 重量% ~ 65 重量% の In と、0.01 重量% ~ 5 重量% の Ag と、0.01 重量% ~ 1 重量% の Cu とを含有し、残部に Sn 等を含有する。

#### 【0023】

尚、半田 30 a と電極 11 a との界面には、それらの互いの成分元素を含有する層が設けられていてもよい。例えば、上記の成分元素を含有する半田 30 a と、表面が Au の電極 11 a との界面には、InAu 層が形成され、表面が Cu の電極 11 a との界面には、CuInSn 層が形成される。

#### 【0024】

図 3 に示すように、半田 30 a は、In 及び Sn を含有する InSn 含有相 31 a と、In、Ag 及び Cu を含有する InAgCu 含有相 32 a とを含む。半田 30 a 中の InSn 含有相 31 a は、In 及び Sn を主体とする相であり、半田 30 a 中の InAgCu 含有相 32 a は、In、Ag 及び Cu を主体とする相である。InSn 含有相 31 a には、その成分元素として、主体の In 及び Sn のほかに、Ag、Cu、電極 11 a からの拡散成分、不可避不純物等が含まれ得る。InAgCu 含有相 32 a には、その成分元素として、主体の In、Ag 及び Cu のほかに、Sn、電極 11 a からの拡散成分、不可避不純物等が含まれ得る。

#### 【0025】

InAgCu 含有相 32 a は、InSn 含有相 31 a 中に分散して含まれる。InAgCu 含有相 32 a は、例えば、Ag と In の金属間化合物である  $AgIn_2$  に Cu が固溶した構造を有する。InAgCu 含有相 32 a の主なものは、例えば大きさが  $2\mu m$  以下といった比較的微細なサイズで、InSn 含有相 31 a 中に分散している。

#### 【0026】

電子装置 10 a では、その電極 11 a 上に、InAgCu 含有相 32 a が分散して含まれる半田 30 a が設けられている。InAgCu 含有相 32 a は、上記のように、Ag と In の金属間化合物  $AgIn_2$  に Cu が固溶した比較的微細な構造を有する。In を含有

10

20

30

40

50

する半田に Ag と共に Cu を添加し、Ag と In の粗大な金属間化合物の生成を抑えて、半田 30 a 中に微細な In Ag Cu 含有相 32 a を分散させる。このように In Ag Cu 含有相 32 a が分散して含まれる半田 30 a は、In Sn 共晶半田やそれに Ag を添加した半田等に比べて、高い延性を示すと共に、高い機械的強度を示すようになる。尚、In Ag Cu 含有相 32 a を分散させた半田 30 a の延性及び機械的強度の詳細については後述する。

#### 【0027】

電子装置 10 a では、このような高い延性と機械的強度を併せ持つ半田 30 a が電極 11 a 上に設けられることで、半田 30 a と電極 11 a との間の接合信頼性が高められている。

10

#### 【0028】

また、この電子装置 10 a を、半田 30 a を用いて、他の電子部品や電子装置と接合した場合には、電子装置 10 a と他の電子部品や電子装置とを、上記図 1 に示すような半田 30 で接合することができ、それらの接合信頼性を高めることができる。尚、この場合、電子装置 10 a の電極 11 a 上の半田 30 a は、接合時に加熱により熔融され、その後冷却により凝固される。その際、半田 30 a 中の In Ag Cu 含有相 32 a は、熔融時に一旦消失し（液相状態）、その後の凝固時に再度生成され、上記図 1 に示すような半田 30 が形成される。

#### 【0029】

尚、上記の電子部品 10 及び電子部品 20 には、半導体素子（半導体チップ）、回路基板上に搭載された半導体チップを備える半導体装置（半導体パッケージ）、回路基板等を用いることができる。電子部品 10 及び電子部品 20 には、樹脂とそれに埋設した半導体チップの上に再配線層を設けた半導体装置（半導体パッケージ）を用いることもできる。上記の電子装置（電子部品）10 a 及びこれと接合する他の電子部品や電子装置にも同様に、半導体チップ、半導体パッケージ、回路基板等を用いることができる。

20

#### 【0030】

接合する電子部品 10 と電子部品 20 の組合せ、接合する電子装置 10 a と他の電子部品や電子装置の組合せとしては、例えば、半導体チップと回路基板の組合せ、半導体パッケージと回路基板の組合せ、半導体チップと半導体パッケージの組合せがある。また、接合する電子部品 10 と電子部品 20 の組合せ、接合する電子装置 10 a と他の電子部品や電子装置の組合せとして、例えば、半導体チップ同士の組合せ、半導体パッケージ同士の組合せ、回路基板同士の組合せもある。

30

#### 【0031】

上記の In Ag Cu 含有相について、更に説明する。

まず、Ag - Cu 系状態図を図 5 に示す。

図 5 において、横軸は Ag への Cu の添加量 [ 重量% ] を表し、縦軸は温度 [ ] を表している。図 5 において、 $\alpha$  及び  $\beta$  は固相、L は液相を表している。

#### 【0032】

図 5 に示すように、Ag - Cu 系状態図は共晶型となる。図 5 に示されるように、Ag - Cu の 2 元系の場合、所謂低融点半田と呼ばれる半田を熔融させる 200 以下といった温度では、Ag と Cu がそれぞれ固相の状態（ $\alpha$  +  $\beta$ ）であり、互いに溶け込むことはない。Ag と Cu は、300 以上といったより高い温度から、僅かに溶け込むと考えられる。

40

#### 【0033】

続いて、In - Sn - Ag - Cu 系計算状態図を図 6 及び図 7 に示す。

図 6 は 52 重量%の In と 48 重量%の Sn とを含む In Sn 共晶半田に対して Ag 及び Cu を 1 : 1 で添加した時の計算状態図である。図 6 において、横軸は In Sn 共晶半田を原点とした時の Ag 及び Cu の添加量 [ 重量% ] を表し、縦軸は温度 [ ] を表している。例えば、横軸の Ag 及び Cu の添加量 1 重量%は、In Sn 共晶半田に 1 重量%の Ag 及び 1 重量%の Cu を添加していることを表す。

50

## 【0034】

図7はInSn共晶半田に1重量%のAgを添加した半田(InSn1Ag)に対してCuを添加した時の計算状態図である。図7において、横軸はInSn1Agを原点とした時のCuの添加量[重量%]を表し、縦軸は温度[ ]を表している。図7の原点の組成は、In:Sn:Ag:Cu=51.5重量%:47.5重量%:1重量%:0重量%となる。例えば、横軸のCuの添加量1重量%では、In:Sn:Ag:Cu=51重量%:47重量%:1重量%:1重量%の組成となり、Cuを添加した分だけInSnの組成割合が減る。

## 【0035】

図6及び図7において、 $\alpha$ 及び $\beta$ は固相(InSn相)、Lは液相を表している。尚、 $\alpha$ 相はIn:Sn=3:1のInSn相、 $\beta$ 相はIn:Sn=1:4のInSn相を表している。

10

## 【0036】

図6に示すように、InSn共晶半田に対してAg及びCuを1:1で添加した場合、100以下の温度では、 $\alpha$ 相、 $\beta$ 相、AgIn<sub>2</sub>相及びCu<sub>2</sub>In<sub>3</sub>Sn相が生成される。InSn共晶半田に添加されたAg及びCuは、100以下の温度において、それぞれ別の金属間化合物であるAgIn<sub>2</sub>及びCu<sub>2</sub>In<sub>3</sub>Snを形成する。

## 【0037】

また、図7に示すように、InSn共晶半田に1重量%のAg及び所定重量%のCuを添加した場合も同様に、100以下の温度では、 $\alpha$ 相、 $\beta$ 相、AgIn<sub>2</sub>相及びCu<sub>2</sub>In<sub>3</sub>Sn相が生成される。InSn共晶半田に添加されたAg及びCuは、100以下の温度において、それぞれ別の金属間化合物であるAgIn<sub>2</sub>及びCu<sub>2</sub>In<sub>3</sub>Snを形成する。

20

## 【0038】

このように、Ag-Cuの2元系では200以下の温度で互いに溶け込まない性質を有するAg及びCuを、InSn共晶半田に添加した場合、Ag及びCuは、100以下の温度でそれぞれ別の金属間化合物( $\alpha$ + $\beta$ +AgIn<sub>2</sub>+Cu<sub>2</sub>In<sub>3</sub>Sn)を形成する。このような金属間化合物種を含む固相が出現する温度と、液相になる温度との間の温度領域において、AgIn<sub>2</sub>にCuが固溶したInAgCu含有相(32, 32a)をInSn含有相(31, 31a)中に分散させた半田(30, 30a)が得られる。

30

## 【0039】

ここで、InSn共晶半田、InSn共晶半田に1重量%のAgを添加した半田(InSn1Ag)、並びに、InSn共晶半田に1重量%のAg及び0.5重量%のCuを添加した半田(InSn1Ag0.5Cu)の引っ張り試験の結果を図8に示す。図8には、InSn共晶半田、InSn1Ag、InSn1Ag0.5Cuについて、厚さ4mm、幅5mm、標点間距離20mmのダンベル型試験片を、引っ張り試験機を用い、引っ張り速度2mm/minの条件で試験した時の応力[MPa]とひずみの関係を示している。

## 【0040】

尚、InSn(共晶半田)の試料は、52重量%のInと、48重量%のSnとを含む半田を、熔融して凝固させることで、形成している。InSn1Agの試料は、51.5重量%のInと、47.5重量%のSnと、1重量%のAgとを含む半田を、熔融して凝固させることで、形成している。InSn1Ag0.5Cuの試料は、51重量%のInと、47重量%のSnと、1重量%のAgと、0.5重量%のCuとを含む半田を、熔融して凝固させることで、形成している。

40

## 【0041】

図9にはInSn1Agの元素分析結果を示し、図10にはInSn1Ag0.5Cuの元素分析結果を示している。図9及び図10において、指定の元素が含有されていない場合は黒く表示されており、指定の元素が含有されている場合はその含有量に応じて白く表示されている。図9(A)はInSn1Ag中のInの分析結果、図9(B)はInS

50

n 1 A g 中の S n の分析結果、図 9 ( C ) は I n S n 1 A g 中の A g の分析結果である。図 1 0 ( A ) は I n S n 1 A g 0 . 5 C u 中の I n の分析結果、図 1 0 ( B ) は I n S n 1 A g 0 . 5 C u 中の S n の分析結果、図 1 0 ( C ) は I n S n 1 A g 0 . 5 C u 中の A g の分析結果、図 1 0 ( D ) は I n S n 1 A g 0 . 5 C u 中の C u の分析結果である。

【 0 0 4 2 】

図 9 ( B ) に示す I n S n 1 A g 中の S n が存在する領域 1 0 0 b に対応して、図 9 ( A ) に示すように、I n が存在する領域 1 0 0 a がある。図 9 ( C ) に示すように、A g が存在する領域 1 0 0 c は、I n S n 1 A g 中に分散して存在する。図 9 ( A ) 及び図 9 ( C ) に示すように、I n S n 1 A g 中の、A g が存在する領域 1 0 0 c ( 図 9 ( C ) ) には、I n が存在する ( 図 9 ( A ) ) 。その一方、図 9 ( B ) 及び図 9 ( C ) に示すように、I n S n 1 A g 中の、A g が存在する領域 1 0 0 c ( 図 9 ( C ) ) には、S n は存在しない ( 図 9 ( B ) ) 。

10

【 0 0 4 3 】

図 9 ( A ) ~ 図 9 ( C ) より、I n S n 1 A g は、I n 及び S n を含有する I n S n 含有相中に、I n 及び A g を含有する I n A g 含有相が分散した構造を有していることが分かる。この I n A g 含有相は、I n と A g の金属間化合物である A g I n<sub>2</sub> の比較的微細な相である。

【 0 0 4 4 】

また、図 1 0 ( B ) に示す I n S n 1 A g 0 . 5 C u 中の S n が存在する領域 1 1 0 b に対応して、図 1 0 ( A ) のように、I n が存在する領域 1 1 0 a がある。図 1 0 ( C ) に示すように、A g が存在する領域 1 1 0 c は、I n S n 1 A g 0 . 5 C u 中に分散して存在する。図 1 0 ( A ) ~ 図 1 0 ( C ) に示すように、I n S n 1 A g 0 . 5 C u 中の、A g が存在する領域 1 1 0 c ( 図 1 0 ( C ) ) には、I n が存在する一方 ( 図 1 0 ( A ) ) 、S n は存在しない ( 図 1 0 ( B ) ) 。そして、図 1 0 ( C ) 及び図 1 0 ( D ) に示すように、I n S n 1 A g 0 . 5 C u 中の、C u が存在する領域 1 1 0 d ( 図 1 0 ( D ) ) は、A g が存在する領域 1 1 0 c ( 図 1 0 ( C ) ) に対応して存在する。

20

【 0 0 4 5 】

図 1 0 ( A ) ~ 図 1 0 ( D ) より、I n S n 1 A g 0 . 5 C u は、I n 及び S n を含有する I n S n 含有相中に、I n 、A g 及び C u を含有する I n A g C u 含有相が分散した構造を有していることが分かる。この I n A g C u 含有相は、A g I n<sub>2</sub> に C u が固溶した金属間化合物の比較的微細な相である。

30

【 0 0 4 6 】

I n S n 1 A g ( 図 9 ( A ) ~ 図 9 ( C ) ) と、I n S n 1 A g 0 . 5 C u ( 図 1 0 ( A ) ~ 図 1 0 ( D ) ) では、構造中に C u を含有することを除いて、I n A g 含有相と I n A g C u 含有相のサイズ等について大きな差異は認められない。

【 0 0 4 7 】

図 8 の引っ張り試験の結果から、I n S n 共晶半田に 1 重量 % の A g を添加した I n S n 1 A g ( 図 8 の鎖線 ) では、共晶組成の I n S n ( 図 8 の点線 ) よりも、ひずみに対する応力が低下する。これに対し、I n S n 共晶半田に 1 重量 % の A g 及び 0 . 5 重量 % の C u を添加した I n S n 1 A g 0 . 5 C u ( 図 8 の実線 ) では、共晶組成の I n S n ( 図 8 の点線 ) よりも、ひずみに対する応力が増大する。

40

【 0 0 4 8 】

上記のように、I n S n 1 A g は、I n S n 含有相中に比較的微細な I n A g 含有相が分散された構造を有する ( 図 9 ( A ) ~ 図 9 ( C ) ) 。I n S n 1 A g 0 . 5 C u は、I n S n 含有相中に比較的微細な I n A g C u 含有相が分散された構造を有する ( 図 1 0 ( A ) ~ 図 1 0 ( D ) ) 。図 8 より、I n S n 含有相中に比較的微細な I n A g C u 含有相が分散して含まれる I n S n 1 A g 0 . 5 C u では、A g 及び C u を含まない共晶組成の I n S n や、A g を含むが C u を含まない I n S n 1 A g に比べて、機械的強度の増大を図ることができる。更に、I n S n 含有相中に比較的微細な I n A g C u 含有相が分散して含まれる I n S n 1 A g 0 . 5 C u では、A g 及び C u を添加しても、その延性の低下

50

を抑えることができる。

【0049】

ここでは半田の一例として、InSn共晶半田に1重量%のAg及び0.5重量%のCuを添加したInSn1Ag0.5Cuを挙げたが、半田の組成はこれに限定されるものではない。40重量%～65重量%のInと、0.01重量%～5重量%のAgと、0.01重量%～1重量%のCuとを含有し、残部にSnを含有する半田であれば、上記同様、比較的微細なInAgCu含有相が分散した構造を得ることができる。それにより、高い延性と機械的強度を併せ持つ半田を得ることができる。

【0050】

所定の組成のIn(40重量%～65重量%)及びSnにCu(0.01重量%～1重量%)と共に添加されるAgが0.01重量%よりも少なくなると、熔融して凝固した際、Cuを主体とする比較的粗大な金属間化合物が生成され易くなる。所定の組成のIn(40重量%～65重量%)及びSnにCu(0.01重量%～1重量%)と共に添加されるAgが5重量%よりも多くなると、熔融して凝固した際、Agを主体とする比較的粗大な金属間化合物が生成され易くなる。InSn含有相中に、このようなCuを主体とする比較的粗大な金属間化合物、Agを主体とする比較的粗大な金属間化合物が生成されると、半田が脆化し易くなる。

【0051】

一例として、InSn共晶半田に1重量%のAg及び0.5重量%のCuを添加した半田(InSn1Ag0.5Cu)、並びに、InSn共晶半田に7.5重量%のAg及び0.5重量%のCuを添加した半田(InSn7.5Ag0.5Cu)の引っ張り試験の結果を図11に示す。図11には、図8で述べたのと同じ引っ張り試験機を用い、同じ条件で試験した時の応力 [MPa] とひずみ の関係を示している。

【0052】

尚、InSn7.5Ag0.5Cuの試料は、48重量%のInと、44重量%のSnと、7.5重量%のAgと、0.5重量%のCuとを含む半田を、熔融して凝固させることで、形成している。

【0053】

図12にはInSn7.5Ag0.5Cuの元素分析結果を示している。図12において、指定の元素が含有されていない場合は黒く表示されており、指定の元素が含有されている場合はその含有量に応じて白く表示されている。図12(A)はInSn7.5Ag0.5Cu中のInの分析結果、図12(B)はInSn7.5Ag0.5Cu中のSnの分析結果、図12(C)はInSn7.5Ag0.5Cu中のAgの分析結果、図12(D)はInSn7.5Ag0.5Cu中のCuの分析結果である。

【0054】

図12(B)に示すInSn7.5Ag0.5Cu中のSnが存在する領域120bに対応して、図12(A)のように、Inが存在する領域120aがある。図12(C)に示すように、InSn7.5Ag0.5Cu中には、Agが存在する領域120cがあり、この領域120cは、大きさが50µm乃至はそれ以上の比較的粗大なサイズを有する。図12(D)に示すように、Cuが存在する領域120dは、InSn7.5Ag0.5Cu中に分散している。図12(A)～図12(C)に示すように、InSn7.5Ag0.5Cu中の、Agが存在する領域120c(図12(C))には、Inが存在する一方(図12(A))、Snは存在しない(図12(B))。

【0055】

図12(A)～図12(D)より、InSn7.5Ag0.5Cuは、In及びSnを含有するInSn含有相中に、In及びAgを主体としCuを含有しないか又は微量のCuしか含有しない比較的粗大なInAg含有相が含まれた構造を有していることが分かる。

【0056】

図11の引っ張り試験の結果から、InSn7.5Ag0.5Cu(図11の点線)は

10

20

30

40

50

、比較的ひずみの小さい範囲では、 $\text{InSn1Ag0.5Cu}$  (図11の実線) よりも大きな応力を示す。しかし、その一方、 $\text{InSn7.5Ag0.5Cu}$  (図11の点線) は、 $\text{InSn1Ag0.5Cu}$  (図11の実線) に比べ、ひずみの増大に伴う応力の減少が著しい。

【0057】

上記のように、比較的多量のAgを添加した $\text{InSn7.5Ag0.5Cu}$ には、比較的粗大なInAg含有相が含まれる(図12(A)~図12(D))。 $\text{InSn7.5Ag0.5Cu}$ では、図11に示すように、比較的ひずみの小さい範囲で機械的強度の増大が図られる。しかし、 $\text{InSn7.5Ag0.5Cu}$ では、比較的粗大なInAg含有相が含まれることで、ひずみの増大に伴って比較的粗大なInAg含有相を起点とした亀裂が発生し易くなるため、図11に示すように、延性が著しく低下してしまう。

10

【0058】

ここでは、7.5重量%のAgを添加した場合を例示したが、5重量%よりも多いAgを添加した場合には、上記同様の傾向、即ち、一定のひずみ範囲では機械的強度が向上する一方、比較的粗大な金属間化合物の生成によって延性が低下する傾向が見られる。一方、Agの添加量が0.01重量%よりも少ないと、Cuを主体とする粗大な金属間化合物が生成され易くなり、同様に延性が低下する傾向が見られる。所定の組成のIn(40重量%~65重量%)及びSnにCu(0.01重量%~1重量%)と共に添加するAgは、0.01重量%~5重量%の範囲とすることが望ましい。

【0059】

20

また、所定の組成のIn(40重量%~65重量%)及びSnにAg(0.01重量%~5重量%)と共に添加されるCuが0.01重量%よりも少なくなると、十分な半田の機械的強度の向上効果が得られない恐れがある。所定の組成のIn(40重量%~65重量%)及びSnにAg(0.01重量%~5重量%)と共に添加されるCuが1重量%よりも多くなると、溶融して凝固した際、Cuを主体とする比較的粗大な金属間化合物が生成され易くなる。InSn含有相中に、このようなCuを主体とする比較的粗大な金属間化合物が生成されると、半田が脆化し易くなる。

【0060】

一例として、 $\text{InSn}$ 共晶半田に1重量%のAg及び0.5重量%のCuを添加した半田( $\text{InSn1Ag0.5Cu}$ )、並びに、 $\text{InSn}$ 共晶半田に1重量%のAg及び2重量%のCuを添加した半田( $\text{InSn1Ag2Cu}$ )の引っ張り試験の結果を図13に示す。図13には、図8及び図11で述べたのと同じ引っ張り試験機を用い、同じ条件で試験した時の応力 [MPa] とひずみ の関係を示している。

30

【0061】

尚、 $\text{InSn1Ag2Cu}$ の試料は、50.5重量%のInと、46.5重量%のSnと、1重量%のAgと、2重量%のCuとを含む半田を、溶融して凝固させることで、形成している。

【0062】

図14には $\text{InSn1Ag2Cu}$ の元素分析結果を示している。図14において、指定の元素が含有されていない場合は黒く表示されており、指定の元素が含有されている場合はその含有量に応じて白く表示されている。図14(A)は $\text{InSn1Ag2Cu}$ 中のInの分析結果、図14(B)は $\text{InSn1Ag2Cu}$ 中のSnの分析結果、図14(C)は $\text{InSn1Ag2Cu}$ 中のAgの分析結果、図14(D)は $\text{InSn1Ag2Cu}$ 中のCuの分析結果である。

40

【0063】

図14(B)に示す $\text{InSn1Ag2Cu}$ 中のSnが存在する領域130bに対応して、図14(A)のように、Inが存在する領域130aがある。図14(C)に示すように、Agが存在する領域130cは、比較的微細なサイズで $\text{InSn1Ag2Cu}$ 中に分散している。図14(D)に示すように、 $\text{InSn1Ag2Cu}$ 中には、Cuが存在する領域130dがあり、この領域130dは、比較的粗大なサイズを有する。 $\text{InSn1A}$

50

g 2 Cu中の、Cuが存在する領域130d(図14(D))には、In及びSnが存在する一方(図14(A)及び図14(B))、Agは存在しないか又は微量しか存在しない(図14(C))。

【0064】

図14(A)~図14(D)より、InSn1Ag2Cuは、In及びSnを含有するInSn含有相中に、Cuを主体としInを含有しAgを含有しないか又は微量しか含有しない比較的粗大な金属間化合物相が含まれた構造を有していることが分かる。

【0065】

図13の引っ張り試験の結果から、InSn1Ag2Cu(図13の点線)は、比較的ひずみの小さい範囲では、InSn1Ag0.5Cu(図13の実線)よりも大きな応力を示す。しかし、その一方、InSn1Ag2Cu(図13の点線)は、InSn1Ag0.5Cu(図13の実線)に比べ、ひずみの増大に伴う応力の減少が大きい。

10

【0066】

上記のように、比較的多量のCuを添加したInSn1Ag2Cuには、Cuを主体とする比較的粗大な金属間化合物の相が含まれる(図14(A)~図14(D))。InSn1Ag2Cuでは、図13に示すように、比較的ひずみの小さい範囲で機械的強度の増大が図られる。しかし、InSn1Ag2Cuでは、Cuを主体とする比較的粗大な金属間化合物の相が含まれることで、ひずみの増大に伴って比較的粗大な金属間化合物の相を起点とした亀裂が発生し易くなるため、図13に示すように、延性が著しく低下してしまう。

20

【0067】

ここでは、2重量%のCuを添加した場合を例示したが、1重量%よりも多いAgを添加した場合には、上記同様の傾向、即ち、一定のひずみ範囲では機械的強度が向上する一方、比較的粗大な金属間化合物の生成によって延性が低下する傾向が見られる。一方、Cuの添加量が0.01重量%より少ないと、十分な機械的強度の向上効果が得られない恐れが生じる。所定の組成のIn(40重量%~65重量%)及びSnにAg(0.01重量%~5重量%)と共に添加するCuは、0.01重量%~1重量%の範囲とすることが望ましい。

【0068】

尚、所定の組成のIn及びSnに、Ag及びCuのうちCuのみを添加した場合には、微細な金属間化合物が分散して含まれる構造が得られず、高い延性と機械的強度を示す半田を実現することが難しい。

30

【0069】

以上のような知見から、半田を、40重量%~65重量%のInと、0.01重量%~5重量%のAgと、0.01重量%~1重量%のCuとを含有し、残部にSnを含有する組成とすることで、高い延性と機械的強度とを実現することができる。このような組成の半田は、例えば108~117といった比較的低い融点を有する。

【0070】

半田中のInが40重量%よりも少ない場合、並びに、65重量%よりも多くなる場合は、いずれも固相線温度が上昇するため、低温で接合することが困難になる。

40

高い延性と高い機械的強度とが実現可能で、且つ、低温接合を実現可能とするためには、上記組成、即ち、40重量%~65重量%のInと、0.01重量%~5重量%のAgと、0.01重量%~1重量%のCuとを含有し、残部にSnを含有する組成の半田を用いることが望ましい。好ましくは、47重量%~55重量%のInと、0.1重量%~3重量%のAgと、0.1重量%~0.8重量%のCuとを含有し、残部にSnを含有する組成の半田を用いる。半田は、鉛(Pb)を含有しないPbフリー半田とすることが望ましい。

【0071】

上記のような組成の半田を用いる場合、それを液相線温度以上の温度に加熱して溶融した状態から冷却して凝固する際には、例えば1/秒といった比較的速い冷却速度で冷却

50

を行うことが好ましい。このように比較的速い冷却速度で冷却を行うと、粗大化する傾向のある金属間化合物、例えば  $Ag_2In$  や  $Cu_6(In, Sn)_5$  といった金属間化合物の生成（晶出）が抑えられ、 $InAgCu$  含有相が微細に分散した半田が形成され易くなる。

#### 【0072】

次に、第2の実施の形態について説明する。

ここでは、以上述べたような半田を備える電子装置及びその製造方法の、より具体的な例を、第2の実施の形態として説明する。

#### 【0073】

図15は第2の実施の形態に係る電子装置の一例を示す図である。図15には第2の実施の形態に係る電子装置の一例の要部断面を模式的に図示している。

図15に示す電子装置1Aは、半導体チップ40、インターポーザ50、及び回路基板60を有している。

#### 【0074】

半導体チップ40は、半導体基板を用いて形成されたトランジスタ等の回路素子（図示せず）を含み、その回路素子に電気的に接続された導体部である配線41及びビア42、並びに、そのような導体部に電気的に接続された複数の電極層43を有している。半導体チップ40の表面には、各電極層43の少なくとも一部が露出するように保護膜44が設けられている。保護膜44から露出する各電極層43の表面にはそれぞれ、バリアメタル層45が設けられている。このように半導体チップ40は、電極層43とその上のバリアメタル層45とを含む積層構造の電極を備えている。

#### 【0075】

インターポーザ50は、基板51、並びに、基板51の内部に設けられた導体部である配線52及びビア53、基板51の表裏面に設けられ内部の導体部に電気的に接続された複数の電極層54a及び電極層54bを有している。インターポーザ50の表面側の各電極層54aは、半導体チップ40の各電極層43に対応する位置に設けられている。インターポーザ50の裏面側の各電極層54bは、後述する回路基板60の各電極層64に対応する位置に設けられている。インターポーザ50の表裏面には、電極層54a及び電極層54bの各々の少なくとも一部が露出するように保護膜55が設けられている。保護膜55から露出する各電極層54a及び各電極層54bの表面にはそれぞれ、バリアメタル層56a及びバリアメタル層56bが設けられている。このようにインターポーザ50は、電極層54aとその上のバリアメタル層56aとを含む積層構造の電極、及び電極層54bとその上のバリアメタル層56bとを含む積層構造の電極を備えている。尚、インターポーザ50には、プリント基板を用いることができるほか、Siインターポーザのような半導体材料を用いたものを用いることもできる。

#### 【0076】

回路基板60は、基板61、並びに、基板61の内部に設けられた導体部である配線62及びビア63、基板61の表裏面に設けられ内部の導体部に電気的に接続された複数の電極層64を有している。回路基板60の各電極層64は、前述のように、インターポーザ50の裏面側の各電極層54bに対応する位置に設けられている。回路基板60の表面には、各電極層64の少なくとも一部が露出するように保護膜65が設けられている。保護膜65から露出する各電極層64の表面にはそれぞれ、バリアメタル層66が設けられている。このように回路基板60は、電極層64とその上のバリアメタル層66とを含む積層構造の電極を備えている。尚、回路基板60には、プリント基板を用いることができる。回路基板60には、その表面側と同様に、裏面側にも電極層、保護膜及びバリアメタル層が設けられてもよい。

#### 【0077】

半導体チップ40の各電極層43と、インターポーザ50の表面側の各電極層54aとは、半田70によって電気的に接続されている。半田70は、 $In$ 及び $Sn$ を主体とする $InSn$ 含有相71と、 $In$ 、 $Ag$ 及び $Cu$ を主体とする $InAgCu$ 含有相72とを含

10

20

30

40

50

む。InSn含有相71には、主体のIn及びSnのほか、Ag、Cu等が含まれ得る。InAgCu含有相72には、主体のIn、Ag及びCuのほか、Sn等が含まれ得る。InAgCu含有相72は、AgIn<sub>2</sub>にCuが固溶した構造を有し、比較的微細なサイズ(例えば2µm以下)でInSn含有相71中に分散している。

【0078】

半田70と、半導体チップ40の電極層43上のバリアメタル層45との界面には、それらの互いの成分元素を含有する界面層91が設けられている。半田70と、インターポーザ50の電極層54a上のバリアメタル層56aとの界面には、それらの互いの成分元素を含有する界面層91が設けられている。

【0079】

インターポーザ50の裏面側の各電極層54bと、回路基板60の各電極層64とは、半田80によって電氣的に接続されている。半田80は、In及びSnを主体とするInSn含有相81と、In、Ag及びCuを主体とするInAgCu含有相82とを含む。InSn含有相81には、主体のIn及びSnのほか、Ag、Cu等が含まれ得る。InAgCu含有相82には、主体のIn、Ag及びCuのほか、Sn等が含まれ得る。InAgCu含有相82は、AgIn<sub>2</sub>にCuが固溶した構造を有し、比較的微細なサイズ(例えば2µm以下)でInSn含有相81中に分散している。

【0080】

半田80と、インターポーザ50の電極層54b上のバリアメタル層56bとの界面には、それらの互いの成分元素を含有する界面層93が設けられている。半田80と、回路基板60の電極層64上のバリアメタル層66との界面には、それらの互いの成分元素を含有する界面層94が設けられている。

【0081】

上記のような構成を有する電子装置1Aを製造する場合は、例えば、半導体チップ40をインターポーザ50に実装し、半導体チップ40を実装したインターポーザ50を回路基板60に実装する。このほか、回路基板60にインターポーザ50を実装し、回路基板60に実装したインターポーザ50に半導体チップ40を実装することもできる。

【0082】

図16及び図17は第3の実施の形態に係る電子装置の製造方法の一例を説明する図である。図16には半導体チップとインターポーザとの接合工程の一例の要部断面を模式的に図示し、図17にはインターポーザと回路基板との接合工程の一例の要部断面を模式的に図示している。図16(A)及び図17(A)はそれぞれ接合前の状態を例示し、図16(B)及び図17(B)にはそれぞれ接合後の状態を例示している。

【0083】

まず、半導体チップ40とインターポーザ50との接合工程について述べる。

図16(A)及び図16(B)に示す半導体チップ40とインターポーザ50との接合工程では、例えば、まず図16(A)に示すように、半田70を搭載した半導体チップ40、及びインターポーザ50を準備する。

【0084】

半導体チップ40への半田70の搭載は、例えば、上記図4の例に従い、まず半田ボールや半田ペーストを電極層43上のバリアメタル層45の上に配置し、半田ボールや半田ペースト中の半田が溶融する温度で加熱し、その後、冷却して凝固させることで、行える。これにより、図16(A)に示すような、半田70を搭載した半導体チップ40を得る。このようにして半田70を搭載した半導体チップ40を得る際、バリアメタル層45上への半田ボールや半田ペーストの配置前には、バリアメタル層45や半田ボールの表面、半田ペースト中に予めフラックスを設けておいてもよい。

【0085】

半田ボールや半田ペースト中の半田には、例えば、40重量%~65重量%のInと、0.01重量%~5重量%のAgと、0.01重量%~1重量%のCuとを含有し、残部にSnを含有するものを用いる。半田ボールや半田ペースト中の半田の溶融と凝固の際、

10

20

30

40

50

例えばその凝固時の冷却速度によっては、上記のようなIn及びSnを主体とするInSn含有相71と、InSn含有相71中に分散したIn、Ag及びCuを主体とするInAgCu含有相72とが生成され得る。また、半田ボールや半田ペースト中の半田の溶融と凝固の際には、それによって形成される半田70と、電極層43上のバリアメタル層45との間に、上記のような界面層91が形成され得る。図16(A)には、界面層91が形成された状態を例示している。

#### 【0086】

半田70の搭載後、図16(A)に示すように、半導体チップ40とインターポーザ50とを、互いの電極層43(その上のバリアメタル層45、更にその上の半田70)と電極層54a(その上のバリアメタル層56a)との位置合わせを行って、対向させて配置する。そして、半導体チップ40のバリアメタル層45上の半田70を、インターポーザ50のバリアメタル層56aに接触させ、半田70が溶融する温度で加熱し、その後、冷却して半田70を凝固させる。これにより、図16(B)のような構造を得る。

10

#### 【0087】

この溶融と凝固の際、例えばその凝固時の冷却速度を調整することによって、In及びSnを主体とするInSn含有相71と、InSn含有相71中に分散したIn、Ag及びCuを主体とするInAgCu含有相72とを含む半田70を形成する。例えば、液相線以上の温度から半田70の融点未満の温度(100程度)まで、冷却速度1/秒で冷却を行うことで、粗大な金属間化合物の晶出を抑え、InSn含有相71中にInAgCu含有相72が微細に分散した半田70を形成する。形成される半田70は、40重量%~65重量%のInと、0.01重量%~5重量%のAgと、0.01重量%~1重量%のCuとを含有し、残部にSnを含有する。

20

#### 【0088】

また、この溶融と凝固の際には、それによって形成される半田70と、インターポーザ50の電極層54a上のバリアメタル層56aとの間に、界面層92が形成される。尚、半田70と、半導体チップ40の電極層43上のバリアメタル層45との間の界面層91は、この溶融と凝固の際に形成されてもよい。

#### 【0089】

以上の工程により、図16(B)のように半導体チップ40の電極層43がバリアメタル層45及び界面層91を介して半田70と接合され、インターポーザ50の電極層54aがバリアメタル層56a及び界面層92を介して半田70と接合された構造を得る。この半田70により、半導体チップ40とインターポーザ50とを電気的に接続する。

30

#### 【0090】

尚、図16(A)及び図16(B)には、半田70を搭載した半導体チップ40、及びインターポーザ50を準備し、それらを接合する場合を例示したが、半田70を搭載したインターポーザ50、及び半導体チップ40を準備し、それらを接合することもできる。

#### 【0091】

続いて、インターポーザ50と回路基板60との接合工程について述べる。

図17(A)及び図17(B)に示すインターポーザ50と回路基板60との接合工程では、例えば、まず図17(A)に示すように、半田80を搭載したインターポーザ50、及び回路基板60を準備する。インターポーザ50には、予め上記図16(A)及び図16(B)に示したような工程によって半導体チップ40が実装されていてもよい。

40

#### 【0092】

インターポーザ50への半田80の搭載は、例えば、上記図4の例に従い、まず半田ボールや半田ペーストを電極層54b上のバリアメタル層56bの上に配置し、半田ボールや半田ペースト中の半田が溶融する温度で加熱し、その後、冷却して凝固させることで、行える。これにより、図17(A)に示すような、半田80を搭載したインターポーザ50を得る。このようにして半田80を搭載したインターポーザ50を得る際、バリアメタル層56b上への半田ボールや半田ペーストの配置前には、バリアメタル層56bや半田ボールの表面、半田ペースト中に予めフラックスを設けておいてもよい。

50

## 【0093】

半田ボールや半田ペースト中の半田には、例えば、40重量%～65重量%のInと、0.01重量%～5重量%のAgと、0.01重量%～1重量%のCuとを含有し、残部にSnを含有するものを用いる。半田ボールや半田ペースト中の半田の溶融と凝固の際、例えばその凝固時の冷却速度によっては、上記のようなIn及びSnを主体とするInSn含有相81と、InSn含有相81中に分散したIn、Ag及びCuを主体とするInAgCu含有相82とが生成され得る。また、半田ボールや半田ペースト中の半田の溶融と凝固の際には、それによって形成される半田80と、電極層54b上のバリアメタル層56bとの間に、界面層93が形成され得る。図17(A)には、界面層93が形成された状態を例示している。

10

## 【0094】

半田80の搭載後、図17(A)に示すように、インターポーザ50と回路基板60とを、互いの電極層54b(その上のバリアメタル層56b、更にその上の半田80)と電極層64(その上のバリアメタル層66)との位置合わせを行って、対向させて配置する。そして、インターポーザ50のバリアメタル層56b上の半田80を、回路基板60のバリアメタル層66に接触させ、半田80が溶融する温度で加熱し、その後、冷却して半田80を凝固させる。これにより、図17(B)のような構造を得る。

## 【0095】

この溶融と凝固の際、例えばその凝固時の冷却速度を調整することによって、In及びSnを主体とするInSn含有相81と、InSn含有相81中に分散したIn、Ag及びCuを主体とするInAgCu含有相82とを含む半田80を形成する。例えば、液相線以上の温度から半田80の融点未満の温度(100程度)まで、冷却速度1/秒で冷却を行うことで、粗大な金属間化合物の晶出を抑え、InSn含有相81中にInAgCu含有相82が微細に分散した半田80を形成する。形成される半田80は、40重量%～65重量%のInと、0.01重量%～5重量%のAgと、0.01重量%～1重量%のCuとを含有し、残部にSnを含有する。

20

## 【0096】

また、この溶融と凝固の際には、それによって形成される半田80と、回路基板60の電極層64上のバリアメタル層66との間に、界面層94が形成される。尚、半田80と、インターポーザ50の電極層54b上のバリアメタル層56bとの間の界面層93は、この溶融と凝固の際に形成されてもよい。

30

## 【0097】

以上の工程により、図17(B)のようにインターポーザ50の電極層54bがバリアメタル層56b及び界面層93を介して半田80と接合され、回路基板60の電極層64がバリアメタル層66及び界面層94を介して半田80と接合された構造を得る。この半田80により、インターポーザ50と回路基板60とを電氣的に接続する。

## 【0098】

例えば、上記図16(A)及び図16(B)のようにして半導体チップ40を実装したインターポーザ50を、この図17(A)及び図17(B)のようにして回路基板60に実装することで、上記図15に示したような電子装置1Aを得ることができる。或いは、この図17(A)及び図17(B)のようにして回路基板60に実装したインターポーザ50に、上記図16(A)及び図16(B)のようにして半導体チップ40を実装することで、上記図15に示したような電子装置1Aを得ることもできる。

40

## 【0099】

尚、図17(A)及び図17(B)には、半田80を搭載したインターポーザ50、及び回路基板60を準備し、それらを接合する場合を例示したが、半田70を搭載した回路基板60、及びインターポーザ50を準備し、それらを接合することもできる。

## 【0100】

電子装置1Aでは、半導体チップ40とインターポーザ50とが、InSn含有相71中にInAgCu含有相72が分散した半田70で接合されている。インターポーザ50

50

と回路基板60とは、InSn含有相81中にInAgCu含有相82が分散した半田80で接合されている。このような半田70及び半田80は、上記第1の実施の形態で述べたように、高い延性と機械的強度を有する。そのため、半導体チップ40とインターポーザ50との間、及びインターポーザ50と回路基板60との間の接合信頼性に優れた電子装置1Aが実現される。

#### 【0101】

尚、半田70及び半田80には、同じ又は同等の組成のものを用いることができるほか、異なる組成のものを用いることもできる。

半田70及び半田80に同じ又は同等の組成のものを用いた場合には、半田70及び半田80の融点を同じ又は同等の温度にすることができる。そのため、半導体チップ40とインターポーザ50との接合工程及びインターポーザ50と回路基板60との接合工程の条件を統一化し、電子装置1Aの製造の容易化を図ることが可能になる。

10

#### 【0102】

半田70及び半田80に異なる組成のものを用いた場合には、半田70及び半田80の融点を異なる温度にすることができる。そのため、後の接合工程で半田80（又は半田70）を形成する際、先の接合工程で形成された半田70（又は半田80）が溶融しないように、半田70及び半田80の融点（接合温度）を調整することが可能になる。これにより、例えば、隣接する半田接合部が狭ピッチ化されているような場合であっても、先の接合工程で形成された半田70（又は半田80）が後の接合工程で溶融、流動して短絡に至るといった事態を回避することが可能になる。

20

#### 【0103】

また、ここでは、半導体チップ40、インターポーザ50及び回路基板60の接合を例示したが、上記同様にして、半導体チップ同士の接合、半導体パッケージ同士の接合、半導体チップと半導体パッケージの接合等、各種電子部品同士の接合を行うことができる。

#### 【0104】

従来、電子部品同士の接合には、電気的接続性に優れ、作業性が良好であり、生産性の高い半田材料が広く用いられている。近年では、環境への配慮からPbフリー半田材料が一般的となってきており、特にSn-Ag系やSn-Ag-Cu系の半田材料が広く用いられている。このようなPbフリー半田材料は、Pbを含有するものに比べて融点が高くなるため、接合時に半田材料を溶融させる際の温度も上昇し、例えば、半田材料を200

30

以上の温度でリフローして接合を行うことが広く行われている。しかし、半田材料の融点が増加し、リフロー温度が増加することで、半田接合部における応力が増大したり、接合する電子部品にその構成材料の熱膨張率に起因して反りが発生したりする等の問題が生じる場合がある。このような問題に対し、例えばSnとビスマス(Bi)を含むSnBi共晶半田を用いると、リフロー温度を180程度まで低下させることができ、また、低温接合が可能になることで製造コストの削減も図ることが可能になる。

#### 【0105】

一方、様々な電子部品が実装されるサーバ等の高性能コンピュータは、今後更なる情報処理能力や伝送能力の向上が求められるが、既存の電気配線技術の延長では情報処理能力や伝送能力の向上に伴い、消費電力が増大してしまうという問題がある。この問題の対策の1つとして、光部品、光配線を用いる技術がある。光配線は電気配線と異なり、伝送速度を高めても伝送路上での損失を抑えることができるという利点があるため、高速伝送且つ省エネルギーを実現することが可能になる。しかし、光部品や光配線を適用する際に用いられる材料の耐熱性が低いという問題がある。例えば、光学接着剤のような材料は、一般的なリフロー温度よりも低い温度にガラス転移点を持つことが多く、リフローする時のような温度環境に曝してしまうと、光学接着剤が変質したり、それで固定していた光部品の位置ずれが生じたりすることがある。そのため、半田材料のほか、上記のような低耐熱性の材料も用いられるような電子装置の製造では、更なるリフロー温度の低下が求められる。

40

#### 【0106】

50

InSn共晶半田は、融点が117程度で、SnBi共晶半田よりも更に融点が低く、リフロー温度を低下させることのできる材料の1つであるが、延性に優れる反面、機械的強度が低いため、半田接合部の信頼性を十分に確保することが難しい場合がある。

【0107】

尚、その他の低融点半田材料として、例えば、Sn-Bi-Pb系やBi-Pb系、或いはInとカドミウム(Cd)を含むIn-Cd系等もあるが、いずれもPbやCdといった有害元素を含有するため、電子装置に用いる接合材料としては不向きである。ガリウム(Ga)を含有させるという手法でも低融点化が見込めるものの、Gaを添加すると固相線温度が室温近傍まで落ちてしまい電子装置の動作環境で溶融してしまうため、やはり電子装置に用いる接合材料としては不向きである。

10

【0108】

このような観点から、InSn系半田材料について、その延性の低下を抑えつつ、機械的強度の向上を図ることが有効となる。

そこで、上記第1の実施の形態、第2の実施の形態で述べたような、InSn半田にAg及びCuを添加した半田材料を用いる。半田材料のSn、In、Ag及びCuの組成は、前述のような所定の範囲とすることができる。この半田材料は、108～117程度の低温域に融点を持つ。この半田材料をリフローすることによって、半田中にIn、Ag及びCuを含有する相が微細に(例えば大きさが2μm以下といったサイズで)分散して含まれる構造を形成する。このような構造により、高い延性と機械的強度を併せ持つ半田接合部が実現され、低温接合が可能で且つ接合信頼性に優れる電子装置を実現することが可能になる。また、低温接合が可能のため、この半田材料は、低耐熱性の材料も用いられるような電子装置の製造にも好適に利用することができる。

20

【0109】

以上説明した実施の形態に関し、更に以下の付記を開示する。

(付記1) 第1電極と、

前記第1電極上に設けられた半田と、

前記半田中に分散して含まれ、In、Ag及びCuを含有する相と

を含むことを特徴とする電子装置。

【0110】

(付記2) 前記相は、AgIn<sub>2</sub>にCuが含有された構造を有することを特徴とする付記1に記載の電子装置。

30

(付記3) 前記相が含まれる前記半田は、40重量%～65重量%のInを含有することを特徴とする付記1又は2に記載の電子装置。

【0111】

(付記4) 前記相が含まれる前記半田は、

Snと、

40重量%～65重量%のInと、

0.01重量%～5重量%のAgと、

0.01重量%～1重量%のCuと

を含有することを特徴とする付記1又は2に記載の電子装置。

40

【0112】

(付記5) 前記第1電極を備える第1電子部品と、

前記第1電極上に設けられ、前記相が含まれる前記半田と、

前記相が含まれる前記半田を通じて前記第1電極と電氣的に接続された第2電極を備える第2電子部品と

を含むことを特徴とする付記1乃至4のいずれかに記載の電子装置。

【0113】

(付記6) 第1電極上に、In、Ag及びCuを含有する相が分散して含まれる半田を形成する工程を含むことを特徴とする電子装置の製造方法。

(付記7) 前記相は、AgIn<sub>2</sub>にCuが含有された構造を有することを特徴とする

50

付記 6 に記載の電子装置の製造方法。

【 0 1 1 4 】

( 付記 8 ) 前記相が含まれる前記半田は、40重量%～65重量%のInを含有することを特徴とする付記 6 又は 7 に記載の電子装置の製造方法。

( 付記 9 ) 前記相が含まれる前記半田は、  
Snと、

40重量%～65重量%のInと、  
0.01重量%～5重量%のAgと、  
0.01重量%～1重量%のCuと

を含有することを特徴とする付記 6 又は 7 に記載の電子装置の製造方法。

10

【 0 1 1 5 】

( 付記 10 ) 前記第 1 電極上に、前記相が含まれる前記半田を形成する工程は、前記第 1 電極上に、Sn、In、Ag及びCuを含有する材料を配置する工程と、前記材料を熔融後に凝固させることによって、前記相が含まれる前記半田を形成する工程と

を含むことを特徴とする付記 6 乃至 9 のいずれかに記載の電子装置の製造方法。

【 0 1 1 6 】

( 付記 11 ) 前記第 1 電極上に、前記相が含まれる前記半田を形成する工程は、第 1 電子部品に設けられた前記第 1 電極上に、Sn、In、Ag及びCuを含有する材料を配置する工程と、

前記材料を熔融後に凝固させることによって、前記相が含まれる前記半田を形成する工程と、

前記第 1 電極を、前記相が含まれる前記半田を通じて、第 2 電子部品に設けられた第 2 電極と電氣的に接続する工程と

を含むことを特徴とする付記 6 乃至 9 のいずれかに記載の電子装置の製造方法。

20

【 0 1 1 7 】

( 付記 12 ) 前記第 1 電子部品の前記第 1 電極上に前記材料を配置する工程後に、前記材料に、前記第 2 電子部品の前記第 2 電極を接触させる工程を含み、

前記材料に前記第 2 電極を接触させる工程後、前記材料を熔融後に凝固させることによって、前記相が含まれる前記半田を形成すると共に、前記第 1 電極を、前記相が含まれる前記半田を通じて、前記第 2 電極と電氣的に接続することを特徴とする付記 11 に記載の電子装置の製造方法。

30

【符号の説明】

【 0 1 1 8 】

1, 1A, 10a 電子装置

10, 20 電子部品

11, 11a, 21 電極

30, 30a, 70, 80 半田

30A 半田ボール

30B 半田ペースト

31, 31a, 71, 81 InSn含有相

32, 32a, 72, 82 InAgCu含有相

40 半導体チップ

41, 52, 62 配線

42, 53, 63 ビア

43, 54a, 54b, 64 電極層

44, 55, 65 保護膜

45, 56a, 56b, 66 バリアメタル層

50 インターポーザ

51, 61 基板

40

50

60 回路基板

91, 92, 93, 94 界面層

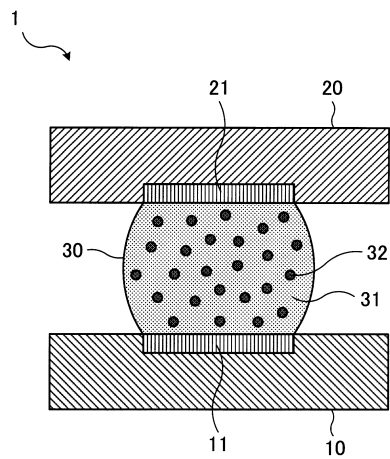
100a, 110a, 120a, 130a Inが存在する領域

100b, 110b, 120b, 130b Snが存在する領域

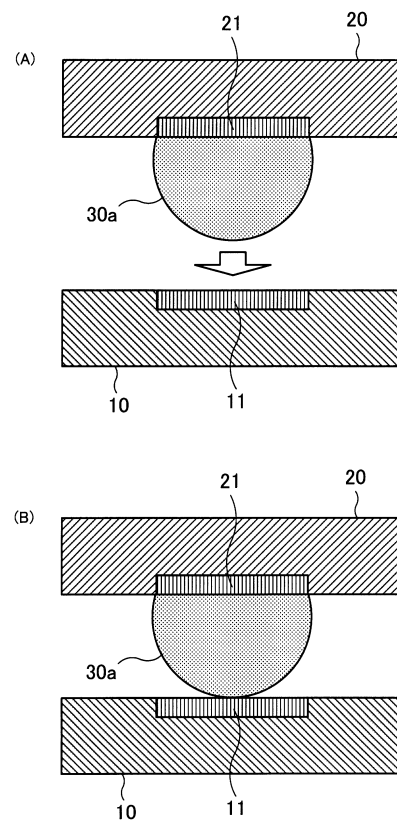
100c, 110c, 120c, 130c Agが存在する領域

110d, 120d, 130d Cuが存在する領域

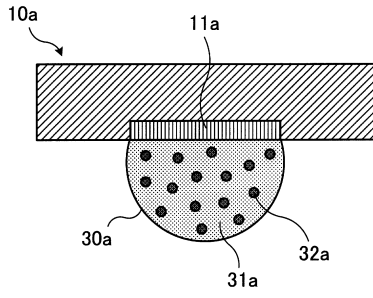
【図1】



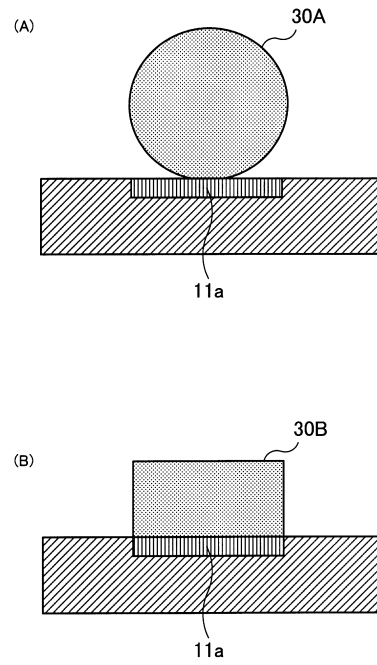
【図2】



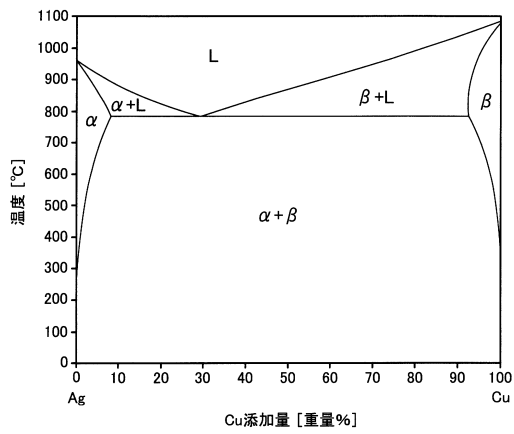
【図3】



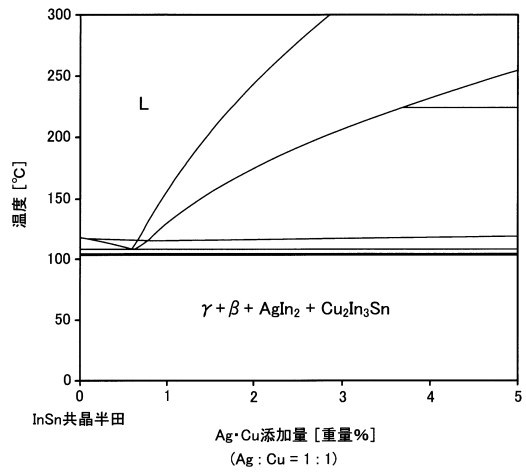
【図4】



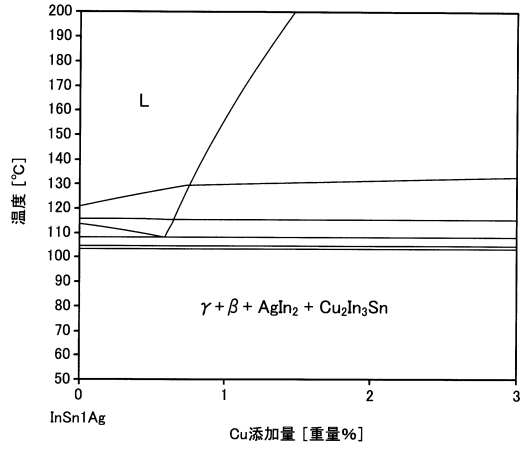
【図5】



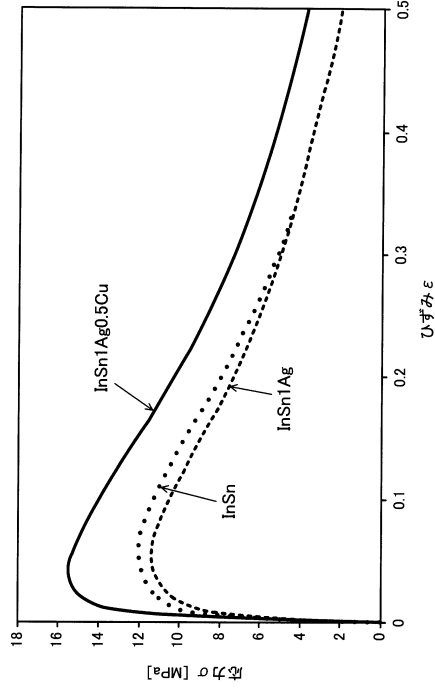
【図6】



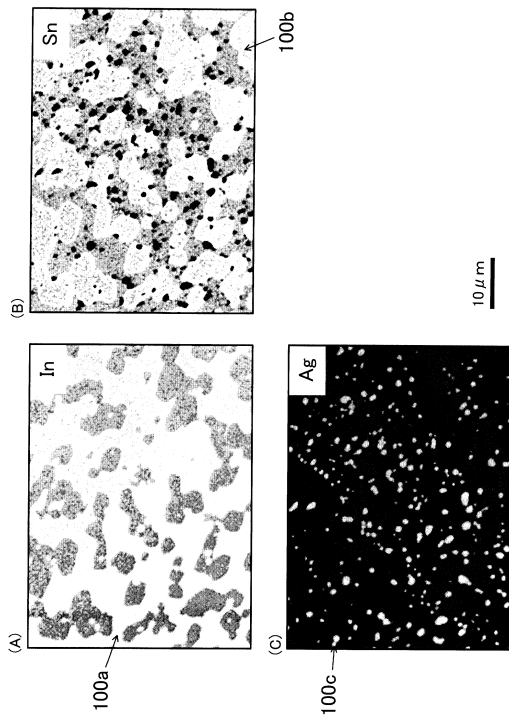
【 図 7 】



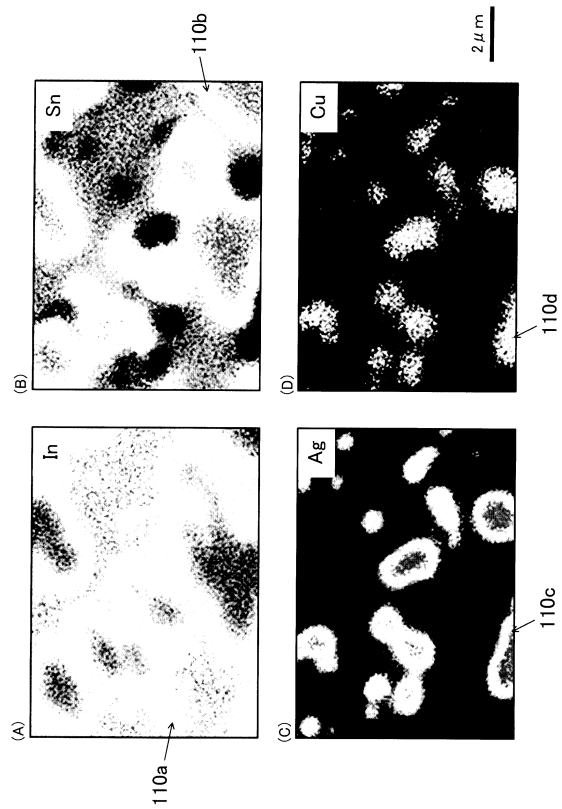
【 図 8 】



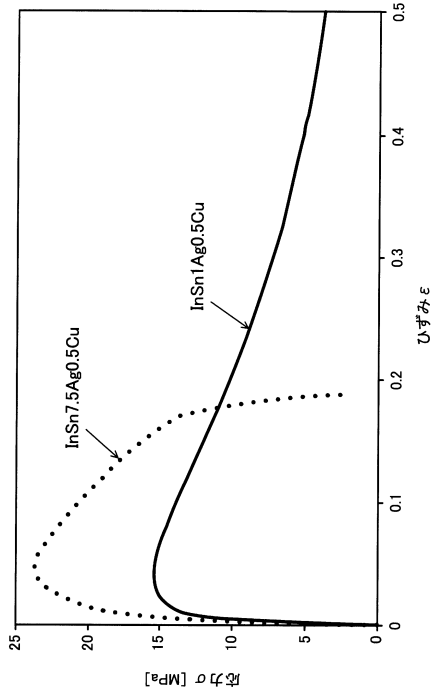
【 図 9 】



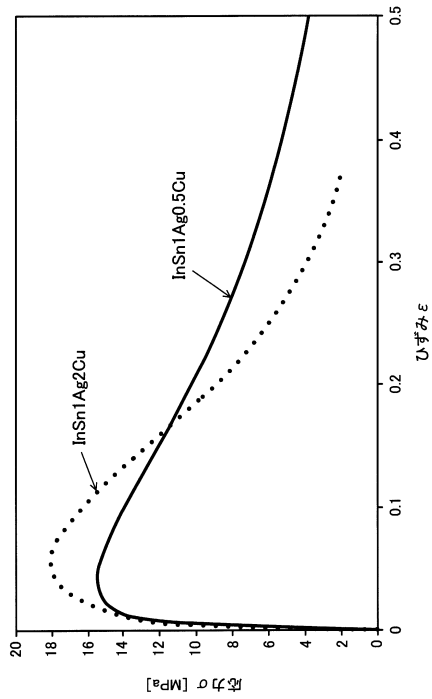
【 図 10 】



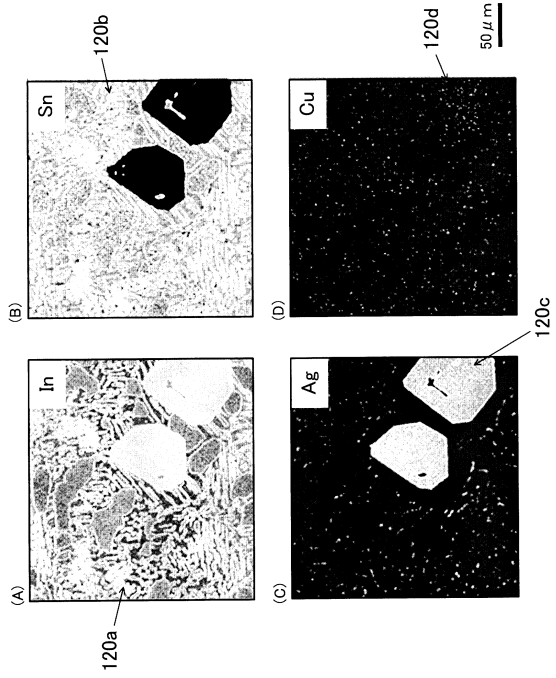
【 図 1 1 】



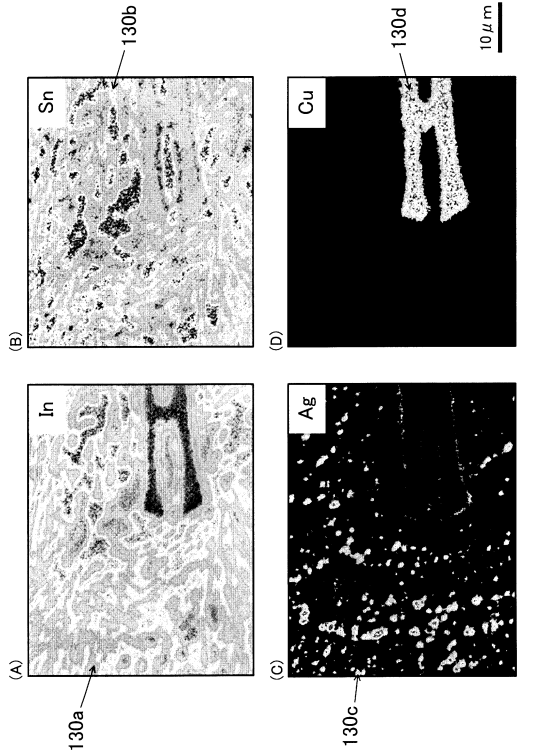
【 図 1 3 】



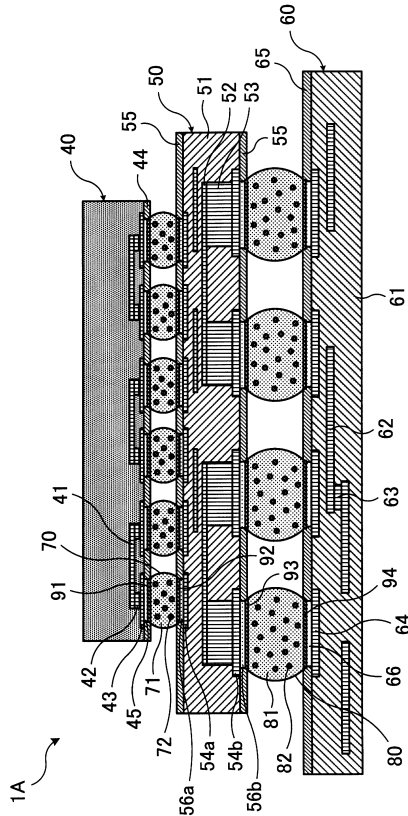
【 図 1 2 】



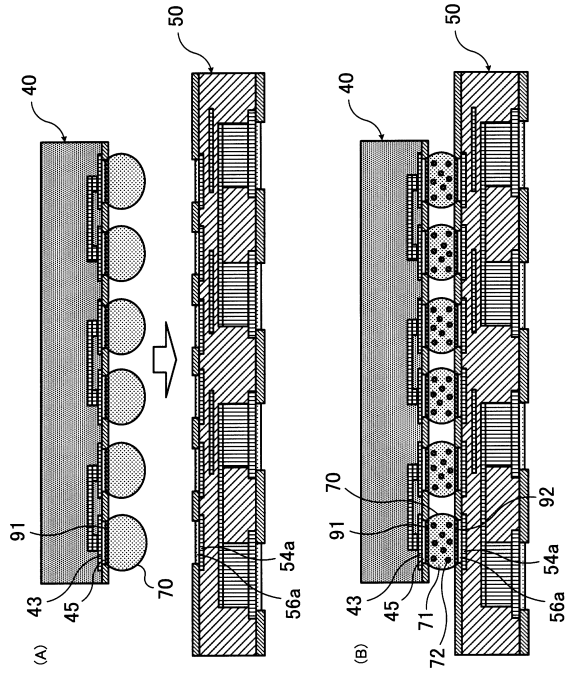
【 図 1 4 】



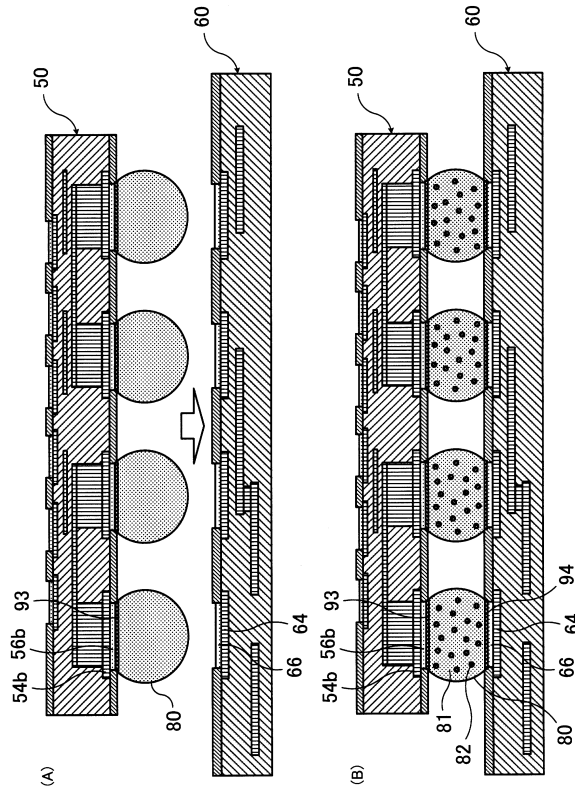
【 図 15 】



【 図 16 】



【 図 17 】



フロントページの続き

(51) Int.Cl.		F I		
<b>H 0 5 K</b>	<b>3/34</b>	<b>(2006.01)</b>	C 2 2 C	30/04
<b>B 2 3 K</b>	<b>1/00</b>	<b>(2006.01)</b>	H 0 1 L	21/60 3 1 1 Q
<b>B 2 3 K</b>	<b>101/40</b>	<b>(2006.01)</b>	H 0 5 K	3/34 5 1 2 C
			B 2 3 K	1/00 3 3 0 E
			B 2 3 K	1/00 3 1 0 B
			B 2 3 K	101:40

審査官 小池 英敏

(56) 参考文献 特開 2 0 1 3 - 0 2 2 6 1 9 ( J P , A )  
 特開 2 0 0 2 - 1 2 4 5 3 3 ( J P , A )  
 特開 2 0 1 4 - 1 0 6 3 3 6 ( J P , A )  
 特開 2 0 0 0 - 3 4 9 4 3 3 ( J P , A )

(58) 調査した分野(Int.Cl. , DB名)

H 0 1 L	2 1 / 6 0
B 2 3 K	1 / 0 0
B 2 3 K	3 5 / 2 6
C 2 2 C	1 3 / 0 0
C 2 2 C	2 8 / 0 0
C 2 2 C	3 0 / 0 4
H 0 5 K	3 / 3 4