

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5438114号  
(P5438114)

(45) 発行日 平成26年3月12日(2014.3.12)

(24) 登録日 平成25年12月20日(2013.12.20)

(51) Int.Cl.

H01L 21/60 (2006.01)

F 1

H01L 21/60 311Q

請求項の数 25 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2011-527336 (P2011-527336)  
 (86) (22) 出願日 平成21年9月18日 (2009.9.18)  
 (65) 公表番号 特表2012-503321 (P2012-503321A)  
 (43) 公表日 平成24年2月2日 (2012.2.2)  
 (86) 國際出願番号 PCT/EP2009/062125  
 (87) 國際公開番号 WO2010/031845  
 (87) 國際公開日 平成22年3月25日 (2010.3.25)  
 審査請求日 平成24年5月2日 (2012.5.2)  
 (31) 優先権主張番号 61/098,194  
 (32) 優先日 平成20年9月18日 (2008.9.18)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 591060898  
 アイメック  
 1 M E C  
 ベルギー、ペー・3001ルーヴァン、カ  
 ペルドリーフ75番  
 (74) 代理人 100101454  
 弁理士 山田 阜二  
 (74) 代理人 100081422  
 弁理士 田中 光雄  
 (74) 代理人 100100479  
 弁理士 竹内 三喜夫  
 (74) 代理人 100112911  
 弁理士 中野 晴夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】材料ボンディングのための方法およびシステム

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

第1基板(1)上の第1導電性材料(2)と、第2基板(4)上の第2導電性材料(5)との間の電気的接続を実現する方法であって、

(a) 第1基板(1)上の第1導電性材料(2)上に、第1金属間層(3)を受け取る工程であって、第1金属間層は壊れやすくて粗く、低い圧力を用いて半田材料部分を接触させた場合に第1金属間層は破壊される工程と、

(b) 第2導電性材料(5)上に半田材料(6)を受け取る工程であって、半田材料(6)は、第1導電性材料、第2導電性材料、および第1金属間層(3)より低い融点を有し、半田材料(6)は金属間層(3)より柔らかい工程と、

(c) 半田材料(6)の融点より低い温度で、半田材料(6)を第1金属間層(3)と接触させて、第1金属間層(3)を破壊する工程と、

(d) 半田材料(6)の融点より低い温度で、半田材料(6)を第1金属間層(3)とより接触させて、第1金属間層(3)を破壊した後に、第1金属間層(3)の表面の孔の少なくとも一部に半田材料(6)を充填する工程と、

(e) 半田材料(6)の融点より低い温度で、半田材料(6)と第1金属間層(3)との間の界面で、第2金属間層(7)を実現する工程と、を含む方法。

## 【請求項 2】

第1金属間層(3)は、安定相であり、第1基板(1)上の第1導電性材料(2)と反応しない請求項1に記載の方法。

10

20

## 【請求項 3】

第1金属間層(3)の膜厚は、約1000nmと2000nmの間である請求項1または2に記載の方法。

## 【請求項 4】

金属間層(3)は、約0.2μmより大きなRMS表面粗さと、約0.5μmより大きな山と谷の高低差を有する請求項1～3のいずれかに記載の方法。

## 【請求項 5】

半田材料面積の約30%と70%の間が第1金属間層(3)に接触した場合に、第1金属間層(3)が破壊される請求項1～4のいずれかに記載の方法。

## 【請求項 6】

半田材料面積の約50%より広くが第1金属間層(3)に接触した場合に、半田材料(6)は、第1金属間層(3)の表面の孔の少なくとも一部を充填する請求項1～5のいずれかに記載の方法。

## 【請求項 7】

半田材料(6)は、接触領域の第1金属間層の表面の全ての孔を本質的に充填し、第1金属間層と完全に接触する請求項1～6のいずれかに記載の方法。

## 【請求項 8】

半田材料(6)は、第2金属間層(7)の形成後に全てが消費されるような体積を有する請求項1～7のいずれかに記載の方法。

## 【請求項 9】

更に、第1金属間層(3)の実現に先立って、導電性層の上に中間層を堆積する工程を含む請求項1～8のいずれかに記載の方法。

## 【請求項 10】

第1導電性層(2)は、第1金属であり、第1金属間層(3)は、第1金属層の上に第2金属層を堆積する工程と、第1金属層を第2金属層と反応させて第1金属間層(3)を実現する工程とにより実現される請求項1～9のいずれかに記載の方法。

## 【請求項 11】

低い圧力は、50MPa以下の圧力である請求項1～10のいずれかに記載の方法。

## 【請求項 12】

低い圧力は、20MPa以下の圧力である請求項11に記載の方法。

## 【請求項 13】

基板(1)上の第1導電性材料(2)と、第2基板(4)上の第2導電性材料(5)との間の電気的接続を実現するための部品一式であって、この一式は、

その上の第1導電性材料(2)と第1導電性材料(2)上の金属間層(3)とを有する第1基板であって、金属間層(3)は、壊れやすくて粗さを有し、低い圧力で半田材料と接触した場合に破壊するような第1基板と、

その上の第2導電性材料(5)と第2導電性材料(5)上の半田材料(6)とを有する第2基板(4)であって、半田材料(6)は第1導電性材料(2)および第2導電性材料(5)より低い、および第1金属間材料(3)より低い融点を有し、半田材料(6)は金属間層(3)より柔らかい、第2基板と、を含み、

半田材料(6)と第1金属間層(3)は、半田材料(6)の融点より低い温度で、第2金属間層(7)を形成するように変化する部品一式。

## 【請求項 14】

第1金属間層(6)は、安定相であり、第1基板(1)上の第1導電性層(2)と反応しない請求項13に記載の部品一式。

## 【請求項 15】

第1金属間層(3)の膜厚は、約1000nmと2000nmの間である請求項13または14のいずれかに記載の部品一式。

## 【請求項 16】

金属間層(3)は、約0.2μmより大きなRMS表面粗さと、約0.5μmより大き

10

20

30

40

50

な山と谷の高低差を有する請求項 13～15 のいずれかに記載の部品一式。

【請求項 17】

半田材料面積の約 30 % と 70 % の間が第 1 金属間層 (3) に接触する場合に、第 1 金属間層 (3) が破壊される請求項 13～16 のいずれかに記載の部品一式。

【請求項 18】

半田材料面積の約 50 % より広くが第 1 金属間層 (3) と接続する場合に、半田材料 (6) が第 1 金属間層 (3) の表面の孔の少なくとも一部を充填するように部品一式が適用される請求項 13～17 のいずれかに記載の部品一式。

【請求項 19】

部品一式は、接触領域の第 1 金属間層 (3) の表面の全ての孔を半田材料 (6) が充填して、第 1 金属間層 (3) と完全に接触するように適用される請求項 13～18 のいずれかに記載の部品一式。10

【請求項 20】

半田材料 (6) は、第 2 金属間層の形成中に、全て消費可能な体積を有する請求項 13～19 のいずれかに記載の部品一式。

【請求項 21】

更に、第 1 導電性層と第 1 金属間層との間に、中間層 (3) を含む請求項 13～20 のいずれかに記載の部品一式。

【請求項 22】

第 1 導電性層 (3) は、第 1 金属であり、第 1 金属間層 (3) は、第 1 金属と第 2 金属の反応により形成された金属間層である請求項 13～21 のいずれかに記載の部品一式。20

【請求項 23】

低い圧力は、50 MPa 以下の圧力である請求項 13～22 のいずれかに記載の部品一式。

【請求項 24】

低い圧力は、20 MPa 以下の圧力である請求項 23 に記載の部品一式。

【請求項 25】

第 1 基板 (1) の上の第 1 導電性材料 (2) と、第 2 基板 (4) の上の第 2 導電性材料 (5) の間に電気的接続を実現するデバイスであって、このデバイスは、第 1 導電性材料 (2) の上の第 1 金属間層 (3) と、第 2 導電性材料 (5) の上の半田材料 (6) から、融点より低い温度で形成された第 2 金属間層 (7) を含み、第 1 金属間層 (3) は、低い圧力で半田材料 (6) を接触させた場合に、小さな変形で破壊するように、壊れやすくて粗さを有し、半田材料 (6) は、第 1 導電性材料 (2) および第 2 導電性材料 (5) 、および第 1 金属間層 (3) より低い融点を有し、半田材料 (6) は第 1 金属間層 (3) より柔らかいデバイス。30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ボンディングの分野に関する。特に、本発明は、フリップチップボンディングのような半導体ボンディングおよび対応する 3 次元集積の方法およびシステム、およびそれにより得られたデバイスに関する。40

【背景技術】

【0002】

フリップチップボンディングは、しばしば電気メッキされた半田材料を用いて、半田の融点より高いボンディング温度を用いてベース金属にボンディングする。ボンディングプロセス中、液体半田が、素早くベース金属と反応して、金属間化合物 (IMC) 接合を形成する。異なるデバイスを集積した、先端的なDRAM や 3D チップ積層のような温度に敏感な構造では、ボンディングは、融点より低い温度で行わなければならない。

【0003】

しかしながら、融点より下では、固体表面が粗れて、良好な接続が得られない。Cu お50

および Sn は、互いに単に部分的に反応して、弱い IMC 接合を形成する。蒸着やスパッタした Sn や Cu と比較して、これはしばしば非常に粗い電気メッキ材料に対してより重要なとなる。弱い接合は、結果として悪い電気的接続や低い機械的強度となり、それゆえに、先端的な DRAM プロセスや 3D チップ積層技術においてしばしば問題となる。

#### 【 0 0 0 4 】

半田とベース金属との間のフルコンタクトを確実にするために、高いボンディング圧力または平坦なボンディング面のいずれかが、電気メッキされた半田とベース金属とをくっつけるのに必要となる。良好な接続のための平坦なボンディング界面を実現するために、フライカッターのような追加の機器がしばしば必要となる。ダイヤモンドブレードがウエハ表面を走査するフライカッティングは、半田またはベース金属の高さを均一にするために使用できる。微小な粗さが低減できる。しかしながら、ダイヤモンドブレードを用いるカッティングプロセス中における柔らかい材料の塑性変形は良好に制御するのは困難であり、これにより、フリップチップボンディングのミスアライメントを引き起こす。塑性変形があまりに大きな場合、良好なピッチバンプ接続に対して、電気的な短絡を引き起こす。また、フライカッティングの費用も比較的高価である。

#### 【 0 0 0 5 】

半田および / またはベース金属の高い粗さのために、フリップチップボンディングは、良好な接続を実現するための高圧力を必要とする。これが、幾つかの重要な欠点を有する。第 1 に、例えば約 40 % の間隙率を有する（非常に）低い誘電率 (low-k) の材料が組み込まれる場合に、高い圧力がデバイスにダメージを与える。第 2 に、ウエハ薄膜化プロセス中に形成された幾つかの微小クラックを有する薄層化したデバイスウエハが 3D の集積に使用された場合、高いボンディング圧力が微小クラックを拡大し、デバイスにダメージを与える。最後に、機械的な薄膜化プロセスは、また、転位やボイドのような幾つかの欠陥を形成する。それらの欠陥は、高いボンディング圧力の下で再拡散し、ついに局所応力条件に影響し、デバイス性能を低下させる。

#### 【 0 0 0 6 】

U S 2 0 0 2 / 0 0 2 7 2 9 4 には、2つの金属表面の間の電気的な接続を実現するために、ランダムに分散させた硬質粒子の使用が開示されている。この場合、硬質粒子は金属接続表面に付着し、硬質粒子の一部は圧力でベース金属中を通る。それゆえに、電気的接続は、粒子を通して局所的に実現されるのみである。これは接続面積、流れることができる電流、および信頼性を制限する。更に、非導電性接着層が、2つのベース金属の間で使用され、機械的接続のための主な力を与える。

#### 【 0 0 0 7 】

U S 7 1 3 2 7 2 1 は、固体 - 液体相互拡散プロセスを用いた、MEMS 部品のボンディング方法を開示する。この方法は、圧力封止のために使用される。しかしながら、半田材料の融点よりボンディング温度が低い場合、効果的なボンドは、数時間後にのみ得られる。加えて、密封封止を形成するには、非常に同種の金属層が必要とされる。それゆえに、異なる金属層を堆積するために、真空堆積技術が使用される。

#### 【 0 0 0 8 】

U S 6 9 9 4 9 2 0 は、2つの部分を融接する方法を示すが、この場合、2つの部分の界面が融接温度に加熱され、界面が溶融するような高温が使用される。

#### 【 0 0 0 9 】

Jackson et al ( IEEE Electronic Components and Technology Conference, p1472-P1 479 (2003) ) は、半田接合の信頼性および特性が微細構造に大きく依存することに言及する。金属間層は壊れやすく、膜厚は時間とともに増加する。半田接合中に形成されたクラックは、機械的欠陥と電気的欠陥の双方が発生するまで成長する。更に、接合のバルク中に延びる大きな Cu Sn 針は、問題として記載されている。この場合の金属間は、主に、半田材料の融点より高い温度で形成される。

#### 【 発明の概要 】

#### 【 0 0 1 0 】

10

20

30

40

50

本発明の具体例の目的は、集積回路のような材料の良好なボンディングのための方法およびシステムと、それにより得られたデバイスを提供することである。材料の間の良好なボンディングが、低温および低圧で得られることが、本発明に具体例の長所である。

【0011】

上記目的は、本発明にかかる方法、デバイス、および部分一式 (a kit of parts) により達成される。

【0012】

本発明は、第1基板上の第1導電性材料と、第2基板上の第2導電性材料との間の電気的接続を実現する方法であって、

(a) 例えば、棚状で得るか、または堆積により、第1基板上の第1導電性材料上に、10 第1金属間層を受け取る工程であって、第1金属間層は壊れやすくて粗く、例えば 50 MPa より低い圧力、例えば 35 MPa より低い圧力、例えば 20 MPa より低い圧力のような低い圧力を用いて半田材料部分を接続した場合に第1金属間層は破壊される工程と、

(b) 例えば、棚状で得るか、または堆積により、第2導電性材料上に半田材料を受け取る工程であって、半田材料は、第1導電性材料、第2導電性材料および第1金属間層より低い融点を有し、半田材料は金属間層より柔らかい工程と、

(c) 半田材料の融点より低い温度で、半田材料を第1金属間層と接触させて、第1金属間層を破壊する工程と、

(d) 半田材料の融点より低い温度で、半田材料を第1金属間層とより接触させて、第1金属間層を破壊した後に、第1金属間層の表面の孔の少なくとも一部に半田材料を充填する工程と、20

(e) 半田材料の融点より低い温度で、半田材料と第1金属間層との間の界面で、第2金属間層を実現する工程と、を含む。

【0013】

第1金属間層は壊れやすく、小さな変形で破壊されても良い。半田材料は、半田材料の融点より低い温度で、第1金属間層とともに、第2金属間層を形成しても良い。工程 (c) の破壊工程は、粗い第1金属間層の、例えば鋭い突出部のような突出部を破壊する工程を含んでも良い。

【0014】

第1金属間層は、安定相であり、第1基板上の第1金属層と反応しなくても良い。

30

【0015】

第1金属間層の、例えば初期膜厚のような膜厚は、約 1000 nm と 2000 nm の間でも良い。

【0016】

金属間層は、約 0.2 μm より大きな RMS 表面粗さと、約 0.5 μm より大きな山と谷の高低差 (peak-to-valley height difference) を有しても良い。

【0017】

半田材料面積の約 30 % と 70 % の間が第1金属間層に接触する場合に、第1金属間層が破壊されても良い。

【0018】

半田材料面積の約 50 % より広くが第1金属間層に接触する場合に、半田材料は、第1金属間層の表面の孔の少なくとも一部を充填しても良い。

40

【0019】

半田材料は、第1金属間層の表面の孔の少なくとも一部を充填して、第1金属間層と十分に接触しても良い。本質的に、全ての孔を充填する工程は、表面中の、少なくとも 50 %、好適には少なくとも 75 %、更に好適には少なくとも 90 %、より好適には少なくとも 95 %、より好適には少なくとも 99 %、より好適には全ての孔を充填する工程を含んでも良い。

【0020】

半田材料は、第2金属間層の形成後に全てが消費されるような体積を有しても良い。

50

## 【0021】

この方法は、更に、第1金属間層の実現に先立って、導電性層の上に中間層を堆積する工程を含んでも良い。

## 【0022】

第1導電性層は、第1金属でも良く、第1金属間層は、第1金属層の上に第2金属層を堆積する工程と、第1金属層を第2金属層と反応させて第1金属間層を実現する工程により実現されても良い。

## 【0023】

本発明は、また、第1基板上の第1導電性材料と第2基板上の第2導電性材料との間の電気的接続を実現するデバイスに関し、このデバイスは、融点より低い温度で、第1導電性材料上の第1金属間層と、第2導電性材料上の半田材料から形成された第2金属間層を含み、第1金属間層は、壊れやすくて、低い圧力で半田材料と接触した場合に小さな変形で破壊するような粗さを有し、半田材料は、第1導電性材料および第2導電性材料より低い融点を有し、半田材料は第1金属間層より柔らかである。半田材料領域が第1金属間層と接触した場合に、第2金属間層が形成されても良い。

10

## 【0024】

基板上の第1導電性材料と第2基板上の第2導電性材料との間の電気的接続を実現するための部分一式であって、この一式は、

その上の第1導電性材料と第1導電性材料上の金属間層とを有する第1基板であって、金属間層は、壊れやすくて粗さを有し、例えば50 MPaより低い、例えば35 MPa以下、例えば20 MPa以下の低い圧力で半田材料と接触した場合に破壊するような第1基板と、

20

その上の第2導電性材料と第2導電性材料上の半田材料とを有する第2基板であって、半田材料は第1導電性材料および第2導電性材料より低い、および第1金属間層より低い融点を有し、半田材料は金属間層より柔らかい、第2基板と、を含み、

互いに接触させた場合に、半田材料と第1金属間層は、半田材料の融点より低い温度で、第2金属間層を形成するように変化する。

## 【0025】

第1金属間層は、安定相であり、第1基板上の第1導電性層と反応しなくても良い。

## 【0026】

30

第1金属間層の膜厚は、約1000 nmと2000 nmの間でも良い。

## 【0027】

金属間層は、約0.2 μmより大きなRMS表面粗さと、約0.5 μmより大きな山と谷の高低差を有しても良い。

## 【0028】

半田材料面積の約30%と70%の間が第1金属間層に接触する場合に、第1金属間層が破壊されても良い。

## 【0029】

部分一式は、半田材料面積の約50%より広くが第1金属間層と接続する場合に、半田材料が第1金属間層の表面の孔に少なくとも一部を充填するように適用しても良い。

40

## 【0030】

部分一式は、半田材料が接触領域の第1金属間層の表面の全ての孔を充填して、第1金属間層と完全に接続するように適用されても良い。

## 【0031】

半田材料は、第2金属間層の形成中の、全ての消費可能な体積を有しても良い。

## 【0032】

部分一式は、更に、第1導電性層と第1金属間層との間に、中間層を含んでも良い。

## 【0033】

第1導電性層は、第1金属であり、第1金属間層は、第1金属と第2金属の反応により形成された金属間層でも良い。本発明の特別で好適な形態では、添付の独立請求項および

50

従属請求項に詳しく述べられる。従属請求項の特徴、必要に応じて、独立請求項の特徴および他の従属請求項の特徴と組み合わせても良く、請求項に明確に記載された通りではない。

#### 【0034】

本発明の具体例の、所定の発明の形態は、デバイスと、半田材料と第1金属との間の電気的接続を、低温および低圧で実現する方法に関する。更なる詳細は、以下に示される。

#### 【0035】

第1基板上の第1導電性材料と、第2基板上の第2導電性材料との間の電気的接続を実現するデバイスが、(a)第1基板上の第1導電性材料の上の第1金属間層であって、第1金属間層は、低い圧力で半田材料部分を接続した場合にそれが破壊するよう壊れやすく、粗さを有する第1金属間層と、(b)第2導電性材料の上の半田材料であって、半田材料は、第1および第2の導電性材料、および第1金属間層より低い融点を有し、半田材料は、金属間層より柔らかく、半田材料は、第1金属間層とともに、半田材料の溶融温度より低い温度で、第2金属間層を形成する半田材料と、を含む。本発明のこれらのおよび他の形態は、これ以降に記載された具体例から明らかになり、これらを参照して説明される。

10

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0036】

【図1】2つの基板をくっつける前のデバイスの模式的な表示であり、本発明の具体例にかかる部分一式を示す。

20

【図2】本発明の具体例にかかる、2つの基板をくっつけた後のデバイスの模式的な表示である。

【図3a】本発明の具体例にかかる、電気的な接続を実現する異なる工程であり、接続前の状態を示す。

【図3b】本発明の具体例にかかる、電気的な接続を実現する異なる工程であり、第1金属間層の破壊を示す。

【図3c】本発明の具体例にかかる、電気的な接続を実現する異なる工程であり、第1金属間層の表面の孔への半田材料の充填を示す。

【図3d】本発明の具体例にかかる、電気的な接続を実現する異なる工程であり、第2金属間層の形成を示す。

30

【図4】本発明の具体例にかかる方法で得られたAuIn金属間層のXRDスペクトルである。

【図5】AuIn金属間層を用いた場合と用いない場合の、Auに接合したInの剪断強度であり、本発明の具体例の特徴を示す。

【図6a】CuSn金属間層を用いた場合と用いない場合の、ボンディング圧力2MPaを用いて、Cuに接合したSnの剪断強度であり、本発明の具体例の特徴を示す。

【図6b】CuSn金属間層を用いた場合と用いない場合の、ボンディング圧力10MPaを用いて、Cuに接合したSnの剪断強度であり、本発明の具体例の特徴を示す。

#### 【0037】

図面は、単に模式的であり限定的ではない。図面において、図示目的で、いくつかの要素の大きさは拡張され、縮尺通りに記載されていない。請求の範囲中の参照符号は、範囲を限定するものと解釈すべきでない。異なる図面において、同一参照符号は、同一または類似の要素を示す。

40

#### 【発明を実施するための形態】

#### 【0038】

本発明は、特定の具体例について、添付図面を参照しながら詳細に説明する。図面は模式的であり、限定することを意図しない。図面において、図示目的で、いくつかの要素の大きさは拡張され、縮尺通りに記載されていない。

#### 【0039】

更に、説明や請求の範囲中の、第1、第2、第3等の用語は、類似の要素や操作の間で

50

区別するために使用され、一連の、または時間的な順序を表す必要はない。例えば、もし、第1要素が第2要素の上に配置されると記載された場合、第1要素の上に配置された第2要素も含むと理解される。より一般的には、そのように使用された用語は、適当な状況下で入れ替え可能であり、ここに記載された本発明の具体例は、ここに記載または図示された以外の順序で操作可能であることが理解される。

#### 【0040】

更に、記載中のチップ、ウエハ、基板等の用語は、説明目的で使用され、添付された請求の範囲で規定される第1および第2の基板の例である。ここで規定された基板の用語は、ベース基板やデバイス(チップ)のベース要素を表すだけでなく、ここで提供される電子回路を規定する全ての基板層(例えば、絶縁層および配線層)をいう。例えば、基板は、ベース要素上に形成された薄膜積層ボディを含む。本発明の具体例では、この「基板」は、例えばシリコン、ガリウムアーセナイト(GaAs)、ゲルマニウムアーセナイトフォスファイト(GaAsP)、インジウムフォスファイト(InP)、ゲルマニウム(Ge)、またはシリコンゲルマニウム(SiGe)基板のような半導体基板を含む。「基板」は、半導体基板の部分に加えて、例えばSiO<sub>2</sub>層またはSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>層のような一またはそれ以上の絶縁層を含んでも良い。「基板」は、例えば、半導体基板の部分に加えて、銅層のような一またはそれ以上の導電性層を含んでも良い。「基板」の用語は、このように、一般に、層のための要素や、関心のある層や部分の下にある構成要素を規定するために使用される。また、「基板」は、例えば、ガラス、石英、溶融石英(fused silica)、または金属箔のような、興味のある層がその上に形成される他のベースでも良い。本発明の具体例では、基板は、ウエハからダイシングされたダイ、完全なウエハ、または他の形の基板でも良い。

#### 【0041】

本発明の具体例では、「金属間の(intermetallic)」について述べられ、この文言は主として幾つかの層を他の層から区別するために使用される。更に、ポンディング後に、金属層の間に位置する層を言っても良い。

#### 【0042】

所定の具体例は、(第2)基板の上の半田材料と、ベース基板の粗い導電性表面との間の電気的接続を、室温のような低温、および低圧で実現する、費用効果のある方法に関する。また、低温および低圧で電気的に接続できる2つの異なるデバイス上のメタライゼーションの組み合わせが存在する。所定の具体例は、半田材料またはそれと接続された導電性材料と、第1基板上の導電性材料との間の電気的接続を、低温および低圧で、即ち130以下、例えばSnやInのような半田材料の融点(それぞれ232および156)より低い温度で、20 MPa以下の圧力で実現する。

#### 【0043】

本発明の具体例では、低圧に関して述べる場合、50 MPa以下の圧力、35 MPa以下の圧力、または20 MPa以下の圧力について述べられる。下端では、圧力は5 MPaよりも高くて良いが、本発明の具体例はこれに限定されるものではない。

#### 【0044】

所定の具体例は、半田材料と、第1基板上の導電性材料との間の電気的接続を、電気的接続が行われるような、低接続抵抗を用いて実現する。電気的接続は、接続面積の大きな部分で実現できる。2 mより低い接続抵抗が実現できる。また、例えば7 MPa以上の機械的な剪断強度のような、良好な機械的接続も実現できる。電気的および/または機械的な接続は、短時間で実現できる。

#### 【0045】

本発明にかかる具体例では、例えば、材料の相互拡散や金属間層の形成により、良好な電気的接続が実現できる。第1基板上の導電性材料と半田材料との間の電気的接続を低温および低圧で行うために、以下において第1金属間層(first intermetallic)と呼ばれる壊れやすい金属間層が、第1基板上の導電性材料の上に導入される。第1基板上の金属間層の表面として粗い表面が選ばれた場合、半田材料と部分的に接触するようになると壊

10

20

30

40

50

れやすい金属間層が破壊され。接続面積が増加して良好な電気的接続が実現される。半田材料は、比較的柔らかいものが選ばれ、これは第1基板の（破壊された）金属間層の表面の孔を充填するために適用され、これにより接続面積が増加することを意味する。半田材料は、第1金属間層とともに第2金属間層を形成し、これにより、良好な電気的接続を実現する。また、良好な機械的接続も実現できる。

【0046】

半田材料は、接続プロセスに含まれる他の材料より低い融点を有する材料であり、この場合、他の材料は接続される導電性材料と第1金属間層である。

【0047】

従来のボンディング（または半田付け）の場合、電気的接続が、半田材料と導電性材料との間で、半田材料の融点より高い温度で実現される。本発明の具体例は、半田材料の融点より低い温度で電気的接続を形成する。

【0048】

溶接の場合、機械的接続が、双方の材料が溶融するレベルまで加熱された2つの材料の間で形成される。

【0049】

壊れやすい材料は、応力が加えられた場合に、破壊しやすい材料である。この場合、金属間化合物は壊れやすく、半田材料とともにプレスされる。壊れやすい材料は、破壊前に、塑性変形の形跡を殆どまたは全く有さないで破壊する。

【0050】

柔らかい材料は、応力を加えた場合に容易に変形する材料である。本発明の具体例では、半田材料は柔らかく、金属間化合物と共にプレスされる。

【0051】

層の表面粗さは、本発明の具体例では、理想表面からの、実際の表面の最大垂直偏差として定義される。理想表面は、完全に平坦な表面または平均的な表面である。これは、平均高さを有する表面としても定義できる。表面粗さは、表面形状の最大高さの差  $h_t$  により定量化され、 $h_t$  は、 $h_t = h_{peak} - h_{valley}$  で定義される。 $h_{peak}$  は、理想表面の上方の最も高い点の高さであり、 $h_{valley}$  は、理想表面の下方の最も低い点の高さである。加えて、表面粗さは、二重平均平方根（RMS）値で定量化され、この値は、平坦でない表面の粗さの統計的測定である。RMS粗さは、平均表面の周囲の表面の変化を示す。これは、ばらつきの平方根の標準偏差、即ち、RMS粗さ =  $(1/n) \sum_{x=1}^n (h_x - h_{av})^2$  で定義される。ここで、nは表面上の点の数、 $h_x$  は異なる点の高さ、 $h_{av}$  は平均高さである。以下では、「粗い（rough）」表面は、 $h_t$  値が  $0.5 \mu m$  より高く、RMS粗さが  $0.2 \mu m$  より高いことをいう。

【0052】

半田材料表面の接続面積は、双方の基板をくっつけた場合に、下にある金属間層と接続する半田材料の面積を意味する。

【0053】

1つの形態では、本発明の具体例は、低温および低圧でのボンディングを用いるデバイスを作製するための部分一式（kit of parts）、および／またはそれにより得られたデバイスに関する。接続前の部分一式と、接続後のデバイスが、図1および図2に示される。接続工程の異なる工程における界面が、図3a～図3dに示される。

【0054】

部分一式は、その上に導電性材料2を含む第1基板1を含み、例えば基板中に含まれるデバイスに電気的接続を行う。そのような導電性材料2は、例えば金属のような導電性層であるが、バイア中の導電性材料またはその一部でも良い。導電性材料2は、Au、Al、Cu、Co、Ni、Pd、これらの合金のような金属でも良いが、導電性ポリマーや注入半導体のような他の導電性材料を用いることもできる。また、Ni/Au、Ni/Cu、Co/Cu、およびCu/Alのような多層の導電性材料を用いることもできる。原則として、いずれの導電性材料も使用できる。導電性材料は、例えばIC技術のチップに対

10

20

30

40

50

するボンドパッドでも良い。この場合、幅は、例えば80  $\mu\text{m}$  と100  $\mu\text{m}$  の間で変化しても良い。

#### 【0055】

導電性材料2の上に、第1金属間層3が形成される。好適には、良好な電気的接続が、第1金属間層3と下にある導電性材料2との間に形成される。好適には、良好な接着が、金属間層と導電性材料との間に形成される。

#### 【0056】

第1基板中の導電性材料2が金属または合金の場合、第1金属間層3は、例えばスパッタや電気メッキにより、金属または合金の上に活性層を堆積することにより形成しても良い。次に、金属間層3は、活性層の導電性層中への拡散、およびその逆により形成しても良い。加熱工程は、例えば材料の相互拡散を助けるために適用できる。例えば以下の組み合わせが可能である。Au上のIn、Cu上のIn、Ni上のIn、Cu上のSn、Ni上のSn、Co上のSn、Cu上のSn<sub>3.0</sub>Ag<sub>0.5</sub>Cu、およびAl上のCuである。例えば、導電性層がCuまたはAuの場合、薄いSnまたはIn層が上部に、金属間層を形成するために追加されても良い。反応は、良好な接続を形成する。好適には、反応性層は比較的薄く第2材料の全ての材料が、金属間層3の形成中に消費されて、これにより、未反応の導電性材料が下部に残り、反応性材料は、残った導電性材料中でそれ以上拡散しない。

#### 【0057】

第1金属間層3は、第1基板1の上の導電性材料2の上に堆積しても良い。金属間層3は、例えば、スパッタを用いて堆積できる。導電性層と金属間層3との間に、1またはそれ以上の中間層を形成できる。表面処理および/または追加の中間層が、例えば接着を改良するために(例えば接着層として)、または導電性層と第1金属間層3との間の電気的接続を実現および/または改良するために、追加しても良い。

#### 【0058】

好適には、第1金属間層3は安定相である。これは、下層の導電性層と反応せず、更なる処理で膜厚が増加しないことを意味する。これは、例えば、薄いSn層がCuの上に堆積され、化学量論的Cu<sub>3</sub>Snを形成する場合である。

#### 【0059】

好適には、金属間層3は、比較的薄い、膜厚は、500 nmと5000 nmの間、または700 nmと4000 nmの間、または900 nmと3000 nmの間、または1000 nmと2000 nmの間、または1200 nmと1500 nmの間で変化しても良いが、応用に応じて他の膜厚も可能である。

#### 【0060】

好適には、第1金属間層3は、第1金属間層3と接続するかするようになる半田材料の粗さより大きな粗さを有する。好適には、金属間層のRMS粗さは、0.1  $\mu\text{m}$  より大きく、好適には0.2  $\mu\text{m}$  より、または0.3  $\mu\text{m}$  より、または0.4  $\mu\text{m}$  より、または0.5  $\mu\text{m}$  より大きい。金属間層のRMS粗さは、0.1  $\mu\text{m}$  と1  $\mu\text{m}$  の間、または0.2  $\mu\text{m}$  と0.5  $\mu\text{m}$  の間である。最大高低差、または山と谷の高低差は、0.2  $\mu\text{m}$  より大きく、または0.3  $\mu\text{m}$  より大きく、または0.4  $\mu\text{m}$  より大きく、または好適には0.5  $\mu\text{m}$  より大きく、または0.6  $\mu\text{m}$  より大きく、または0.7  $\mu\text{m}$  より大きい。山と谷の高低差は、0.2  $\mu\text{m}$  と2  $\mu\text{m}$  の間、または0.5  $\mu\text{m}$  と1  $\mu\text{m}$  の間である。

#### 【0061】

接続の初期過程(例えばフリップチップボンディング)で、例えば、電気メッキで形成した金属間層3が非常に粗いため、半田材料6は金属間層3と部分的にのみ接続される。特徴的には、第1金属間層3は壊れやすく、(例えばフリップチップボンディングに)加えられる全体の負荷が大きくなくても、部分的な圧力はこの壊れやすい金属間層を破壊するのに十分である。壊れやすい金属間層3を破壊する大きな部分的圧力が形成された場合、粗い表面はそれゆえに有利である。それゆえに、半田材料6と金属間層3との間に、より大きな接続面積が形成される。これは、図3aおよび図3bに示される。図3aから図

10

20

30

40

50

3 d では、下方の金属間層に接続する半田材料の拡散工程の、詳細な図が示される。図 3 a では、半田材料と金属間層との間は、接続していない。図 3 b は、半田材料が金属間層に接続して、金属間層が破壊される場合を示す。更なる接続により、金属間層は更に破壊される。

#### 【 0 0 6 2 】

金属間層 3 は、例えば半田材料表面の接続面積の 20 % または 30 % または 40 % または 50 % または 60 % または 70 % または 80 % が金属間層 3 に接続するように、半田材料表面の接続面積の何割かだけが金属間層の表面に接触した場合、金属間層 3 は破壊される。金属間層の表面と接続する半田材料表面の接続面積の割合が 20 % と 80 % の間、または 30 % と 70 % の間、または 40 % と 60 % の間の場合、金属間層 3 は破壊される。

10

#### 【 0 0 6 3 】

第 1 基板 1 の上の第 1 導電性材料 2 と、第 2 基板 4 の上の第 2 導電性材料 5 との間の電気的接続は、第 1 金属間層 3 と、導電性材料 5 の上の半田材料 6 との間で実現される。有利には、半田材料 6 は、第 2 導電性材料 5 と良好な電気的接続を実現する。もし、第 2 基板 4 の上の第 2 導電性材料 5 がうまく選択されれば、これは、半田材料として使用でき、追加の半田材料 6 は必要でない。本発明は、それゆえに、第 2 導電性材料 5 が半田材料 6 の機能を満たす場合も含む。

#### 【 0 0 6 4 】

更に、半田材料 6 と、第 1 基板 1 の上の第 1 金属間層 3 との間の良好で信頼性のある電気的および機械的な接続を援助するために、粗さや硬さのような半田材料の幾つかの特徴は有利である。接続した場合の半田材料 6 と金属間層 3 との間の相互反応の観点では、半田材料と金属間層の好ましい特性は互いの機能として選択されても良い。

20

#### 【 0 0 6 5 】

半田材料 6 の粗さは、第 1 中間層 3 の粗さより高いか低い。好適には、半田材料 6 は、第 1 金属間層 3 の粗さより低く、接続の初期段階において、半田材料 6 はこの第 1 金属間層 3 と部分的にのみ接続する。第 1 金属間層 3 の粗さは、そのように粗くても良い。例えば電気メッキを用いて、第 1 金属間層を実現するために金属層の上に反応性層を堆積した場合、電気メッキされた金属層は粗いという事実により、金属間層は粗くても良い。代わりに、粗くする工程を行っても良い。更に、第 1 金属間層は壊れやすいため、この層は小さな変形により破壊され、部分的な圧力は、この壊れやすい金属間層を破壊するのに十分に高い。これを図 3 b に示す。

30

#### 【 0 0 6 6 】

有利には、半田材料 6 は比較的柔らかく、即ち、導電性材料 2 の上の金属間層 3 より柔らかく、更に金属間層 3 と接続した場合に、半田材料 6 は変形しても良い。そのように、半田材料 6 は、破壊された第 1 金属間層 3 の形状に少なくとも部分的に従う。半田材料 6 は、金属間層 3 の表面の孔を少なくとも部分的に充填する。有利には、半田材料 6 は表面の孔を完全に充填し、これにより、全ての接続領域において電気的接続を実現する。これが図 3 c に示される。半田材料 6 と第 1 金属間層 3 との間の接続面積は、第 1 金属間層 3 が破壊され、半田材料 6 がこの破壊された層の外形に従うことでの大きくなる。これは、半田材料 6 と第 1 金属間層 3 との間の接続を大きくして、これにより部分的でない電気的接続、即ち全体の良好な電気的接続が実現できる。

40

#### 【 0 0 6 7 】

一旦、半田材料 6 と第 1 金属間層 3 との間に完全な接続が形成されれば、半田材料 6 は、第 1 基板 1 の上の第 1 金属間層 3 と第 2 金属間層 7 を形成する。有利には、半田材料 6 は、金属間層 3 を通って拡散し、更に下方の導電性材料と反応して、高品質の金属間接合を形成する。好ましくは、半田材料 6 、導電性材料 2 、 5 および第 1 金属間層 3 の融点より下で余分の加熱工程が行われて、第 2 金属間層 7 の形成を容易にすることができます。

#### 【 0 0 6 8 】

厚い半田材料 3 の場合、第 2 金属間層 7 が比較的厚くなる。第 2 金属間層 7 は壊れやすいため、機械的な安定性はより低い。第 1 基板と第 2 基板が、同じ程度の熱膨張係数を有

50

する材料から形成された場合、これは問題ではない。これは、例えば同じ膨張係数を有する2つのシリコンチップが互いに電気的に接続される3D集積の場合である。

【0069】

特に、異なる熱膨張係数を有する基板が接続された場合、第2金属間層7は好適には薄くて、接続は機械的に安定である。それゆえに、半田材料6は、第2金属間層7の形成後に完全に消費されるように薄く選択される。形成後に、第2金属間層7は好適には安定相であり、第1金属間層3や下方の金属2と形成中は反応するが、その後、反応工程は停止する。第2金属間層7は、このように比較的薄い。これは、接続の機械的安定性を改良する。

【0070】

半田／ベース材料の組み合わせの例は、それぞれ半田材料およびベース金属として提供される、Cuと組み合わせた電気メッキされたSn、またはAuと組み合わせた電気メッキされたInである。壊れやすいCuSnまたはAuInの、所定の膜厚の第1金属間層は、1つのチップの上のCuまたはAuのベース層の上に形成される。第2金属間層を実現するために、厚いSn/In層が、他のチップの上に半田材料として堆積しても良い。更に、ボンディングプロセスの前に、低いTボンディング (low-T bonding) の効率を妨げる酸化物を減らすために、ウェット洗浄プロセス工程が半田層の上に組み込まれてもよい。

【0071】

所定の具体例は、異なる基板上の導電性領域の間の、低温での電気的な接続を実現する。それらの低い温度は、多くの応用において好ましく、特に基板上で使用される材料が、高温に耐えられない場合に好ましい。

【0072】

他の形態では、本発明は、第1基板1の上の第1導電性材料2と、第2基板4の上の第2導電性材料5との間の電気的接続を実現する方法に関する。この方法は、特に半導体チップのフリップチップボンディングに適しているが、これに限定するものではない。この方法は、その上に第1導電性材料を有し、導電性材料の上に第1金属間層を有する第1基板を受け取る工程を含む。第1金属間層3は壊れやすく、粗さを有して、低圧で半田材料に接続した場合に小さい変形により破壊される。この方法は、また、その上に半田材料6を有する第2導電性材料5を有する第2基板4を受け取る工程を含む。この方法は、第2導電性材料5の上に半田材料6を堆積する工程を含んでも良い。半田材料6は、第1および第2の導電性材料2、5、および第1金属間層3より低い融点を有し、半田材料6は、金属間層3より柔らかい。この方法は、半田材料6の融点より低い温度で、半田材料6を第1金属間層3に接続させ、第1金属間層3を破壊する工程を含む。この方法は、その後に、半田材料6の融点より低い温度で、半田材料を第1金属間層3により近く接続させ、第1金属間層3の破壊後に、第1金属間層3の表面の孔の少なくとも一部を半田材料6が充填する工程を含む。この方法は、更に、半田材料3の融点より低い温度で、半田材料6と第1金属間層3との界面に、第2金属間層7を形成する工程を含む。更に、選択的に、デバイスについて記載されたような、部品の機能性を表すプロセス工程が含まれても良い。

。

【0073】

例示の方法で、作製されるデバイスの例が以下に示されるが、本発明の具体例はこれに限定されない。3D積層に使用できる、高密度メモリセル、Cuのバックエンドオブライン、および貫通シリコンバイア(TSV)Cu相互接続を有するシリコンウエハが形成される。例えばCu/Snの組み合わせは、ダイが交互に積層され、2つのダイのCuのバックエンドオブラインの間の電気的接続がSnを半田材料に用いて行われる3D集積で使用される。しばしば、low-k材料は、容量の低減のために使用される。それらのlow-k材料は、しばしば高い圧力に耐えられない。更に、そのような先端的なDRAMデバイスは、高温に晒されることに非常に敏感であり、ボンディングは低温で行う必要がある。一の具体例は、メモリセルにダメージを与える温度より十分に低い温度で、ダイの間

10

20

30

40

50

の電気的接続を可能にする。

【0074】

他の応用は、フリップチップボンディングである。ボンディングする必要のあるダイは、しばしば高温に耐えられない。例えばMEMS構造は、200より高い温度で処理した場合、うまく機能しない。フリップチップボンディングの初期段階において、電気メッキされた金属層の上の第1金属間層は非常に粗いという事実により、SnまたはInは、この第1金属間層と部分的にのみ接続する。フリップチップボンディングに与えられる全ての負荷は高くは無いが、部分的な圧力は、この壊れやすい金属間層を破壊するには十分に高い。粗い金属間層表面は、半田材料を接続する場合に、壊れやすい第1金属間層を破壊するような高い部分的な圧力を示し、これにより、より広い接続面積を形成する。更に、この金属間層は、CuやAuより、SnやInとより良い親和性を有する。この結果、半田材料と金属間層との間に完全な接続が形成される。

【0075】

Au / Inでの実験

以下は、低温と低圧で2つのチップをボンディングするために準備される。第1に、約7μmの厚いIn半田材料バンプが電気メッキによりチップの上に堆積され、(1μmの膜厚の)薄いIn層が、厚いAu層を含む他のチップの上に堆積された。薄いIn層は厚いAu層と反応して、AuIn金属間層を形成した。これは、XRDにより確認され(図4参照)、ここでは、多くのAuIn金属間化合物の反射ピークが識別される。

【0076】

次に、それらの2つのチップはフェイストゥフェイスに配置され、1、2、および10MPaの圧力で、それぞれ14分間、130でボンディングされた。ボンディングの後、ボンディングされた界面の断面が、走査電子顕微鏡で観察され、ボンディングの品質を調査するために剪断試験も行われた。

【0077】

断面の後方散乱(バックスキヤッタリング)SEMから、Inは、Au金属間層を通してAuに良好に接続されており、金属間層のいくつかはインジウムの中に割り込んでいることが分かった。異なるコントラストを有する幾つかの層もまた観察され、これはAu、AuIn金属間層、およびInからの遷移を示す。

【0078】

比較のために、金属間層無しに、Inを直接Auにボンディングした。この場合、幾つかの金属間化合物が界面に形成され、この界面は(前の場合と比較して)平坦である。しかしながら、Au / In界面においてしばしば悪い接続が見られた。この結果、金属間層を用いてInをAuにボンディングすることは、金属間層無しのボンディングに比較して良いことが導かれる。それゆえに、粗くて壊れやすい反応性の金属間層は、低温および定圧でのボンディングの場合に、接続面積、電気的接続、および機械的ボンディング強度を増加させることが結論づけられる。

【0079】

Cu / Snの実験

CuのSnへのボンディングは、AuのInへのボンディングと同様の手順に続く。約5μmの厚いSn半田材料バンプは、電気メッキによりチップ上に堆積され、薄いSn層は、厚いCu層と接続する他のチップの上に堆積された。電気メッキされたSnの山と谷の粗さ(peak-to-valley roughness)(ht)は、0.5μmと1.0μmの間であるため、1.5μm膜厚のSn層がCuの上に堆積され、Cuは完全にSnで覆われる。薄いSn層は厚いCu層と反応してCuSn金属間層を形成する。CuSn金属間層の成長速度は、AuIn金属間層の成長速度より遅いため、Cu / Sn反応を加速するためのチップは100まで加熱される。この後、このチップ上の余剰のSnがHClエッティングで除去され、CuSn金属間層を通して(他のチップ上の)SnにCuがボンディングされるのを保証する。続いて、それらの2つのチップは、フェイストゥフェイスに配置され、150と200で、それぞれ2MPaと10MPaの圧力で、14分間ボンディ

10

20

30

40

50

ングされる。最後に、剪断強度が、剪断試験で測定される。図6aおよび図6bに示すように、(余剰のSnがエッチングされた後において)金属間層でSnにポンディングされたCuの剪断強度は、この金属間層の無い場合より大きい。これは、Au/Inシステムにおいて観察されたものと一致した。

【0080】

上述の記載は、本発明の所定の具体例について詳述する。しかしながら、いかに詳しく上述の記載が文章中に表されていても、本発明は多くの方法で実施できることが認識されるであろう。なお、本発明の所定の特徴や形態を記載する場合の、特定の用語の使用は、用語が関連する本発明の特徴や形態の特定の特徴を含むように、用語がここで再定義されることを意味するものと受け取るべきではない。

10

【0081】

上記詳細な説明は、様々な具体例に適用された本発明の新しい特徴を示し、記載し、指摘する一方で、記載されたデバイスやプロセスの形態や詳細において多くの省略、代替え、および変化が、本発明の精神から離れることなく当業者により行えることを理解すべきである。

【0082】

図面、説明および添付された請求の範囲の検討から、記載された具体例の他の変形が、請求された発明を実施する技術分野の当業者により理解され遂行できる。請求の範囲において、「含む (comprising)」の用語は、他の要素や工程を排除するものではなく、不定冠詞の「1つ (a)」や「1つ (an)」は、複数を排除しない。

20

【図1】

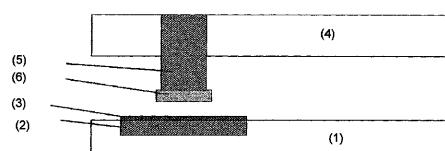


FIG. 1

【図3b】

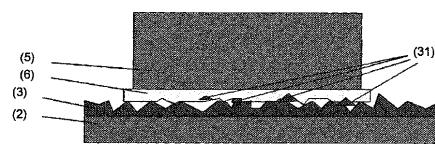


FIG. 3b

【図2】

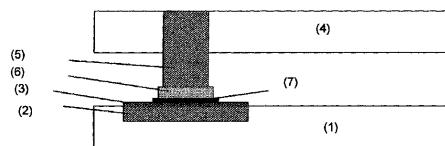


FIG. 2

【図3c】



FIG. 3c

【図3a】

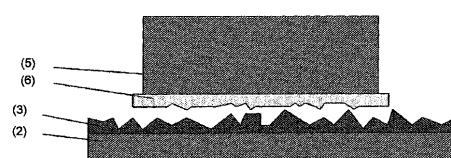


FIG. 3a

【図3d】

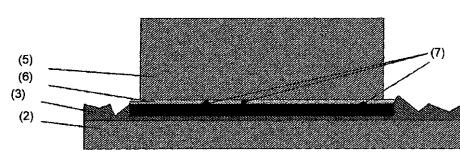
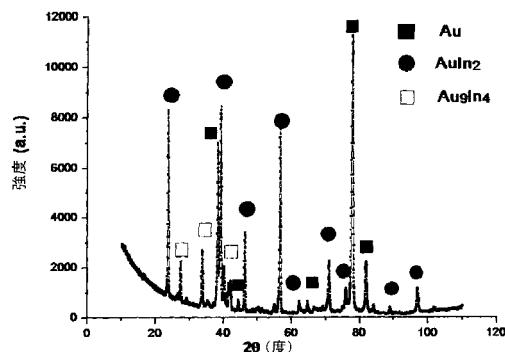
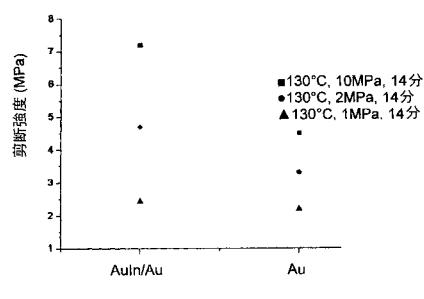


FIG. 3d

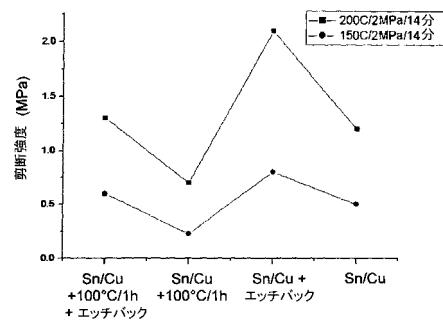
【図4】



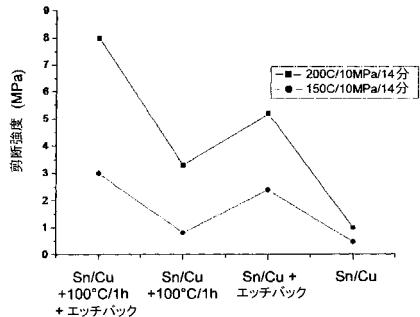
【図5】



【図6 a】



【図6 b】



---

フロントページの続き

(72)発明者 チャン・ウェンキ

ベルギー、ベー-3000ルーヴァン、レオン・コリンスラーン2-501番

(72)発明者 エリック・ペイネ

ベルギー、ベー-3001ルーヴァン、ロツツプールストラート15番

審査官 田代 吉成

(56)参考文献 特開平9-36169(JP, A)

特表2001-522143(JP, A)

特表2008-505768(JP, A)

特開2003-152016(JP, A)

特開2002-171055(JP, A)

特開2003-31616(JP, A)

特開2005-123223(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/60