

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2021年4月8日(08.04.2021)



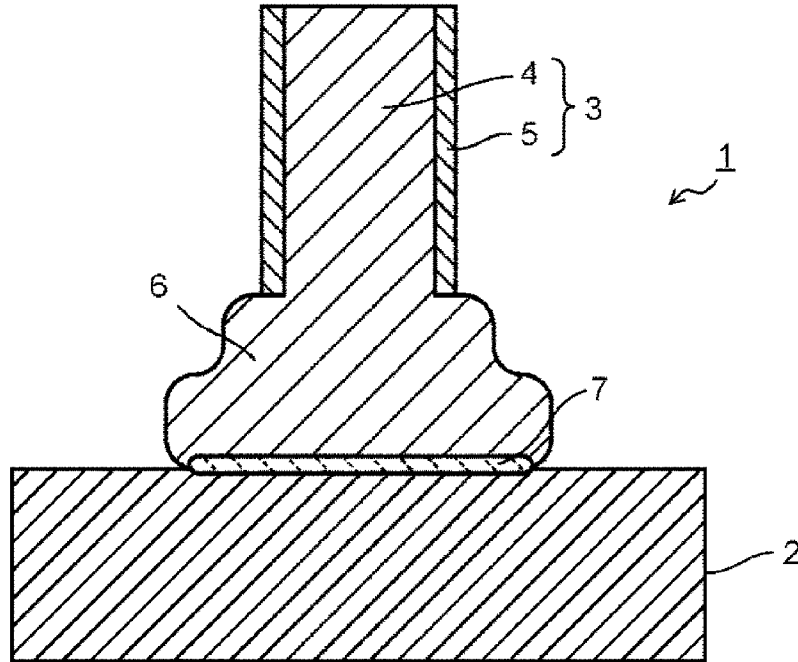
(10) 国際公開番号

WO 2021/065036 A1

- (51) 国際特許分類:
C22C 5/06 (2006.01) H01L 21/60 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2020/010119
- (22) 国際出願日: 2020年3月9日(09.03.2020)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2019-181763 2019年10月1日(01.10.2019) JP
- (71) 出願人: 田中電子工業株式会社 (TANAKA DENSHI KOGYO K.K.) [JP/JP]; 〒8420031 佐賀県神埼郡吉野ヶ里町吉田 2 3 0 3 - 1 5 Saga (JP).
- (72) 発明者: 安徳 優希 (ANTOKU Yuki); 〒8420031 佐賀県神埼郡吉野ヶ里町吉田 2 3 0 3 - 1 5 田中電子工業株式会社内 Saga (JP). ▲崎▼田雄祐 (SAKITA Yusuke); 〒8420031 佐賀県神埼郡吉野ヶ里町吉田 2 3 0 3 - 1 5 田中電子工業株式会社内 Saga (JP). 川野 将太 (KAWANO Shota); 〒8420031 佐賀県神埼郡吉野ヶ里町吉田 2 3 0 3 - 1 5 田中電子工業株式会社内 Saga (JP). 平井 ▲祐▼佳 (HIRAI Yuka); 〒8420031 佐賀県神埼郡吉野ヶ里町吉田 2 3 0 3 - 1 5 田中電子工業株式会社内 Saga (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人サクラ国際特許事務所 (SAKURA PATENT OFFICE, P.C.); 〒1010064

(54) Title: WIRE JOINING STRUCTURE, BONDING WIRE USED IN SAME, AND SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称: ワイヤ接合構造とそれに用いられるボンディングワイヤ及び半導体装置



(57) Abstract: In the present invention, the reliability of joining between a bonding wire for which the cost of materials was suppressed and an electrode is maintained over an extended period of time even in a harsh environment while increases in resistivity are suppressed despite joining of the bonding wire and the electrode. This wire joining structure 1 has an aluminum-containing electrode 2, a bonding wire 3, and a ball compression part 6 joined to the electrode 2. The bonding wire 3 has a core material 4 having silver as a main component, and a coating layer 5 having gold as a main component.



WO 2021/065036 A1

東京都千代田区神田猿樂町一丁目五番一号
豊島屋本店ビル3階 Tokyo (JP).

- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類 :

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

The bonding wire 3 contains at least one group-15 or -16 element selected from sulfur, tellurium, selenium, arsenic, and antimony. With respect to the entirety of the wire, the gold concentration is 2.0-7.0 mass% inclusive, and the group-15 or -16 element concentration is 4-80 mass ppm inclusive in total. A gold-concentrated joining region in which the gold concentration reaches or exceeds 5.0 at% with respect to the total of aluminum, silver, and gold is present near the joining interface of the electrode 2 and the ball compression part 6.

(57) 要約 : 材料コストを抑えたボンディングワイヤと電極とを接合しても比抵抗の上昇を抑制しつつ、過酷な環境下においても長期間ボンディングワイヤと電極との接合信頼性を保つ。ワイヤ接合構造1は、アルミニウムを含む電極2と、ボンディングワイヤ3と、電極2に接合されたボール圧縮部6とを有する。ボンディングワイヤ3は、銀を主成分とする芯材4と、金を主成分とする被覆層5とを有し、硫黄、テルル、セレン、ヒ素、及びアンチモンから選ばれる少なくとも1つの第15及び16族元素を含有し、ワイヤ全体に対して、金濃度が2.0質量%以上7.0質量%以下であり、第15及び16族元素濃度が合計で4質量ppm以上80質量ppm以下であり、電極2とボール圧縮部6との接合界面近傍に、金濃度が、アルミニウムと銀と金の合計に対して5.0原子%以上となる金濃化接合領域を有する。

明 細 書

発明の名称：

ワイヤ接合構造とそれに用いられるボンディングワイヤ及び半導体装置

技術分野

[0001] 本発明は、ワイヤ接合構造とそれに用いられるボンディングワイヤ及び半導体装置に関する。

背景技術

[0002] 半導体チップの電極とリードフレームや回路基板等の回路基材の外部電極とは、例えばボンディングワイヤにより接続される。ボンディングワイヤでは、例えばボール接合と呼ばれる方式により半導体チップの電極にボンディングワイヤの一端を接合（第1接合）し、ウェッジ接合と呼ばれる方式によりボンディングワイヤの他端を回路基材の外部電極に接合（第2接合）することが一般的である。ボール接合においては、ボンディングワイヤの一端を放電等により溶融させ、表面張力等により球形状に凝固させてボールを形成する。凝固したボールはフリーエアボール（Free Air Ball：F A B）と呼ばれ、超音波併用熱圧着ボンディング法等により半導体チップの電極に接続されてワイヤ接合構造が形成される。ここで、ボンディングワイヤに設けられたF A Bを電極に接合した構造を、ここではワイヤ接合構造と呼び、さらに、ボンディングワイヤが接続された半導体チップを、ボンディングワイヤや回路基材の一部と共に樹脂封止することによって、半導体装置が構成される。

[0003] 近年、半導体装置には低消費電力化及び信号処理速度の高速化が求められており、そのような半導体装置に使用されるボンディングワイヤは電気抵抗（比抵抗）が低く（例えば、純度99.99質量%の4N Auワイヤ以下）、かつ、過酷な環境でも長時間にわたり比抵抗が低いまま保持されること、すなわち、高信頼性であることが求められる。高信頼性とは、高温多湿な環境下においても腐食（硫化や酸化）されず、長期間電気抵抗が上昇しないこ

とを意味する。しかし、従来から一般的に用いられている金ワイヤは材料コストが高く、また銅ワイヤや被覆銅ワイヤは材料が硬く、半導体チップにダメージを与えてしまうという課題がある。また、銀ワイヤはコストが安く、柔らかいため、ボンディングワイヤとして好適であるものの、純銀ワイヤは大気中に長期間放置されると表面が硫化するという課題を有する。硫化対策として製品化されている銀合金ボンディングワイヤは純銀にパラジウムや金等の金属元素を添加しているため、銀の含有量は90質量%から97質量%となる。硫化対策はやや改善されたものの、銀合金ボンディングワイヤは、添加元素の含有量の影響で比抵抗が高くなるという難点があり、近年の半導体装置の要求に十分には適合しない。貴金属の含有量を低下させ、金ワイヤと同等の比抵抗を有する銀合金ワイヤが提案されているが、今度は耐腐食性の問題があることから半導体装置を構成するモールド樹脂、すなわち高信頼性に影響を及ぼす元素が入っていない樹脂の選定等が必要になる点やボンディングワイヤと電極の界面で生成される金属間化合物のため高信頼性評価基準を満たすことが困難であるというような課題もある。

[0004] 上記したような課題を解決するために、銀ワイヤの表面に耐腐食性の高いパラジウム等の白金族元素や金等の被覆層を形成することが提案されている。白金族元素や金等の被覆層は、溶融しない固体のままの状態であれば銀ワイヤ表面の硫化を抑制し得る。よって、ウェッジボンディング（第2接合）のように溶融しないで接合する場合には効果を発揮する。ところが、半導体チップ上にある電極と接合する（第1接合）際に問題が生じる。ボンディングワイヤは先に説明した通り、ワイヤの一端を放電等により溶融させ、表面張力等により球形状に凝固させてボールを形成する。凝固したボールはフリーエアボール（FAB）といい、FABを超音波併用熱圧着ボンディング法等により半導体チップの電極に接続されてワイヤ接合構造が形成される。ボールを形成しないで接合するウェッジ接合だと接合面積が小さくなり接合強度が弱まるため、一般的にボール状にして接合面積を広くすることで接合力を高める方法が用いられている。FAB形成時に白金族元素や金を被覆し

たワイヤ全体を溶融するため、被覆されている白金族元素や金も融点差等の理由により時間差はあるものの、ほぼ同時に溶かされボール内部に白金族元素や金が入り込み、ボール表面の白金族元素や金の濃度が相対的に低くなる。F A B表面の耐腐食性のある白金族元素や金の濃度が低くなり、銀の濃度が相対的に高くなったF A Bを半導体チップのアルミニウム電極に接合した場合、F A Bと電極との接合界面近傍に、相対的に多くなった銀と電極を構成するアルミニウムとで銀とアルミニウムの金属間化合物が形成されやすくなる。銀とアルミニウムの金属間化合物はハロゲン元素や水分等に腐食されやすく、比抵抗の上昇を招き通電不良を起こす原因となる。特に、自動車等の高温多湿の環境下で使用する場合、ボンディングワイヤと電極との接合界面に形成された金属間化合物がより腐食されやすくなる。これらの現象は電気抵抗（比抵抗）の上昇を招き、通電不良の原因となる。よって、ボンディングワイヤと電極との界面において高温多湿のような過酷な環境下でも長時間にわたり比抵抗が上昇しない接合構造の形成が求められている。

[0005] 例えば、特開平10-326803号公報（特許文献1）は、Agを11～18.5質量%の範囲で含有し、残部が金及び不可避不純物からなる金銀合金ワイヤ、さらにCu、Pd、Ptの少なくとも1種を総計で0.01～4質量%、Ca、In、希土類元素の少なくとも1種を総計で0.0005～0.05質量%、又はMn、Crの少なくとも1種を総計で0.01～0.2質量%の範囲で含有させた金銀合金ワイヤを開示している。特許文献1は特定量の銀を含有させることによって、銀によるアルミニウム電極との接合信頼性を改善しつつ低コスト化を図った金銀合金ワイヤを提供している。しかしながら、依然として主成分は金であることから、銀ワイヤ、銀合金ワイヤ、被覆銀ワイヤ等に比べて高価であり、材料コストが高いという課題が解決されていない。また、コストの問題だけではなく比抵抗が上昇するという懸念もある。

[0006] また、従来の被覆銀ボンディングワイヤに関して、例えば国際公開2013/129253号（特許文献2）は、Ag又はAg合金ワイヤの表面にP

d、Au、Zn、Pt、Ni、Snの1種以上又はこれらの合金もしくはこれら金属の酸化物又は窒化物を有するワイヤ被覆層を有するボンディングワイヤを開示している。特許文献2には、パワー半導体装置内の接続に被覆層を有するAg又はAg合金ワイヤを用いると共に、ボール接合ではなくウェッジ接合を用いることによって、Al電極とAgワイヤとの接合界面における金属間化合物の形成を抑制して接合信頼性を高めることが開示されている。しかしながら、特許文献2は上記したようにAgワイヤのウェッジ接合を前提としているため、被覆ワイヤを溶融凝固しなければならないFABを形成しないため、被覆層の構成元素が芯材であるAgワイヤ中に入り込むことを考慮していない。従って、特許文献2はFABを電極に接合した際の接合界面の構成元素を考慮しておらず、接合界面の構成元素に基づいて信頼性を向上させることを考慮していない。さらになお構成元素のAgワイヤ中への入り込みを抑制するための構成も開示していない。

[0007] さらに、特開2001-196411号公報（特許文献3）は、Ag線と、Ag線を被覆するAu膜とを有し、Au膜はNa、Se、Ca、Si、Ni、Be、K、C、Al、Ti、Rb、Cs、Mg、Sr、Ba、La、Y、Ceの少なくとも1つの元素を含むボンディングワイヤを開示している。特許文献3は、Au被覆したAgワイヤではFABの形状が軸対称にならないことから、Au膜に上記した元素を含有させてアーク放電が一点に集中することを抑制し、表面全体からアークを生じさせてFABの形状を安定化させることを開示している。しかし、特許文献3もまたFAB形成時に被覆層のAuがAg線中に入り込むことを考慮しておらず、またAuのAg線への入り込みを抑制するための構成を開示していない。従って、特許文献3は金被覆銀ワイヤを用いた際にAl電極とAgワイヤとの接合界面に金属間化合物が形成されて接合信頼性が低下することを示唆していないだけでなく、さらにAl電極とAgワイヤとの接合信頼性を高めるための構成も開示していない。また、上記したような添加元素は、その含有量によってはワイヤ自体の特性や被覆層の形成性等に悪影響を及ぼすおそれがある。このため、ワイ

ヤ自体の特性や被覆層の形成性等に悪影響を及ぼすことなく、AuのAg線への入り込みを抑制してワイヤ接合構造の信頼性を高める技術が求められている。

先行技術文献

特許文献

- [0008] 特許文献1：特開平10-326803号公報
特許文献2：国際公開2013/129253号
特許文献3：特開2001-196411号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0009] 本発明が解決しようとする課題は、材料コストを抑えたボンディングワイヤとアルミニウム電極とを接合しても比抵抗の上昇を抑制しつつ、過酷な環境下においても長期間ボンディングワイヤとアルミニウム電極との接合信頼性を保つことを可能にしたワイヤ接合構造と、それに用いられるボンディングワイヤ及び半導体装置を提供することにある。
- [0010] 本発明のワイヤ接合構造は、アルミニウムを主成分として含む電極と、ボンディングワイヤと、前記ボンディングワイヤの一端に設けられ、前記電極に接合されたボール圧縮部とを具備する。本発明のワイヤ接合構造において、前記ボンディングワイヤは、銀を主成分とする芯材と、前記芯材の表面に設けられ、金を主成分とする被覆層とを有し、硫黄、テルル、セレン、ヒ素、及びアンチモンから選ばれる少なくとも1つの第15及び16族元素を含有する金被覆銀ボンディングワイヤであって、ワイヤ全体に対して、金濃度が2.0質量%以上7.0質量%以下であり、第15及び16族元素濃度が合計で4質量ppm以上80質量ppm以下であり、前記電極と前記ボール圧縮部との接合界面近傍に、金の濃度が金と銀とアルミニウムの合計量に対して5原子%以上の金濃化接合領域を設けることで課題が解決される。
- [0011] 本発明の金被覆銀ボンディングワイヤは、本発明のワイヤ接続構造に用い

られる金被覆ボンディングワイヤであって、前記金被覆ボンディングワイヤは、銀を主成分として含む芯材と、前記芯材の表面に設けられ、金を主成分として含む被覆層とを有し、前記金被覆銀ボンディングワイヤは、硫黄、テルル、セレン、ヒ素、及びアンチモンから選ばれる少なくとも1つの第15及び16族元素を含有し、前記金被覆銀ボンディングワイヤにおいて、ワイヤ全体に対して、金の濃度が2.0質量%以上7.0質量%以下であり、第15及び16族元素の濃度が4質量ppm以上80質量ppm以下であり、前記金被覆銀ボンディングワイヤは、アルミニウムを主成分とする電極にボールボンディングで接合することによりボール圧縮部を形成したとき、前記電極と前記ボール圧縮部との接合界面近傍に、金の濃度が金と銀とアルミニウムの合計量に対して5原子%以上の金濃化接合領域が形成される、金被覆銀ボンディングワイヤである。

[0012] 本発明の半導体装置は、少なくとも1つの電極を有する1つ又は複数の半導体チップと、リードフレーム又は基板と、前記半導体チップの電極と前記リードフレームとの間、前記半導体チップの電極と前記基板の電極との間、及び前記複数の半導体チップの電極間から選ばれる少なくとも1つを、銀を主成分として含む芯材と、前記芯材の表面に設けられ、金を主成分として含む被覆層とを有するボンディングワイヤで接続した半導体装置であって、前記電極と前記ボンディングワイヤとの接続構造は、前記電極に前記ボンディングワイヤの一端を接合するように設けられたボール圧縮部を備え、前記電極と前記ボール圧縮部との接合界面近傍に、金の濃度が金と銀とアルミニウムの合計量に対して5原子%以上の金濃化接合領域が設けられている。

発明の効果

[0013] 本発明のワイヤ接合構造及びそれに用いられるボンディングワイヤによれば、ボンディングワイヤの比抵抗の上昇を抑えた上で、電極とボール圧縮部との接合界面近傍に金の濃度が金と銀とアルミニウムの合計量に対して5原子%以上の金濃化接合領域を設けることができる。このような金濃化接合領域を設けることによって、電極とボール圧縮部との接合信頼性を高めること

ができる。また、そのようなワイヤ接合構造を適用した本発明の半導体装置によれば、金濃化接合領域による電極とボール圧縮部との接合信頼性、ひいては半導体装置自体の信頼性を向上させることが可能になる。

図面の簡単な説明

- [0014] [図1]実施形態のワイヤ接合構造を示す断面図である。
- [図2]実施形態のワイヤ接合構造におけるボール圧縮部から電極に向けて実施したライン分析の濃度プロファイルの一例を示す図である。
- [図3]実施形態のワイヤ接合構造における金濃化接合領域の形成位置の一例を示す断面図である。
- [図4]実施形態のワイヤ接合構造に用いられる金被覆銀ボンディングワイヤの一端にF A Bを形成した状態を示す断面図である。
- [図5]実施形態の半導体装置の樹脂封止する前の状態を示す断面図である。
- [図6]実施形態の半導体装置の樹脂封止した状態を示す断面図である。
- [図7]実施形態の半導体装置における半導体チップの電極とボンディングワイヤとの接合構造を拡大して示す断面図である。

発明を実施するための形態

- [0015] 以下、本発明の実施形態のワイヤ接合構造とそれに用いるボンディングワイヤ及び半導体装置について、図面を参照して説明する。各実施形態において、実質的に同一の構成部位には同一の符号を付し、その説明を一部省略する場合がある。図面は模式的なものであり、厚さと平面寸法との関係、各部の厚さの比率や縮尺、縦寸法と横寸法との比率や縮尺等は現実のものとは異なる場合がある。

- [0016] (ワイヤ接合構造とそれに用いられるボンディングワイヤ)

図1は実施形態のワイヤ接合構造を示す断面図である。実施形態のワイヤ接合構造1は、アルミニウム(A l)を主成分として含む電極2と、電極2に一端が接合されたボンディングワイヤ3とを備えている。ボンディングワイヤ3は、銀(A g)を主成分とする芯材(銀芯材とも記す)4と、芯材4の表面に設けられ、金(A u)を主成分として含む被覆層5とを有する金被

覆銀ボンディングワイヤである。

[0017] 電極 2 は、アルミニウムを主成分として含んでいる。電極 2 の構成例としては、半導体チップに設けられた電極が挙げられるが、これに限定されるものではない。電極 2 は、純アルミニウムにより構成してもよいし、またアルミニウムに添加元素を加えたアルミニウム合金により構成してもよい。ただし、アルミニウム電極 2 としての機能を損なわないように、電極 2 はアルミニウムを主成分として含むものとする。一般的に、電極 2 は Al - 0.5% 銅 (Cu)、Al - 1.0% シリコン (Si) - 銅 (Cu) で構成されているが、これらに限定されるものではない。

[0018] 実施形態のワイヤ接合構造 1 は、電極 2 に金被覆銀ボンディングワイヤ 3 の一端を接合するように設けられたボール圧縮部 6 を備えている。ボール圧縮部 6 は、後に詳述するように、ボールボンディングする際にワイヤをキャピラリーと呼ばれる貫通した治具に通してボンディングするが、電極に押し付けて接合する際にキャピラリー内部の形状にボールが変形加工されて形作られる部分を言う。ボンディングワイヤ 3 の一端を放電等により溶融し、表面張力等により球状に凝固させて形成した FAB を、超音波併用熱圧着ボンディング法等により電極 2 に押し付けてボンディングすることにより形成される。電極 2 とボール圧縮部 6 との接合界面近傍には、金の濃度が金と銀とアルミニウムの合計量に対して 5 原子%以上の金濃化接合領域 7 が設けられている。

[0019] 接合界面近傍に金の濃度が金と銀とアルミニウムの合計量に対して 5 原子%以上の金濃化接合領域 7 を設けることによって、接合界面近傍における金濃度を高め、相対的に銀濃度を低く抑えることができる。従って、電極 2 とボール圧縮部 6 との接合信頼性を向上させることが可能になる。すなわち、銀純度が 98 質量%以上となる銀合金ボンディングワイヤ（以下、高純度銀合金ワイヤと記す）を用いてボール圧縮部 6 を形成すると、接合界面近傍の銀濃度が高くなり、腐食されやすい銀とアルミニウムとの金属間化合物（銀とアルミニウムの比率が 3 対 1 となる Ag_3Al 等）が形成されやすくなる。

高純度銀合金ワイヤには金やパラジウムのような貴金属等が最大で2質量%含まれるものの、 Ag_3Al のような耐食性の低い銀とアルミニウムとの金属間化合物が生成されるため、モールド樹脂に含まれる塩素(Cl)等のハロゲンやモールド樹脂に吸湿された水分によって金属間化合物が腐食され、電極2とボール圧縮部6との間に通電不良が生じやすくなる。これに対して、接合界面近傍における金濃度を高めて、銀の純度を相対的に低下させることにより、 Ag_3Al 金属間化合物が抑制されることにより、銀とアルミニウムの比率が2対1となる Ag_2Al 金属間化合物が生成されやすくなる。 Ag_2Al 金属間化合物は、 Ag_3Al 金属間化合物に比べて耐食性に優れていることから、電極2とボール圧縮部6との接合信頼性を向上させることができる。加えて、金濃化接合領域7に存在する金が過酷な環境下における経時変化、例えば、銀のマイグレーションや拡散等に対してバリアー的な役割を果たし、耐食性のある Ag_2Al 金属間化合物を維持することができる。さらに、金はアルミニウムと、より耐食性に優れた金とアルミニウムの金属間化合物(例えば Au_4Al 金属間化合物)が生成されると考えられ、より一層の接合信頼性の向上に寄与していると推察される。このように、電極2とボール圧縮部6との接合界面近傍に金濃化接合領域7を形成することによって、特に自動車等の高温多湿の過酷な環境下で使用される半導体装置の信頼性を高めることができる。

[0020] 電極2とボール圧縮部6との接合界面近傍に形成される金濃化接合領域7において、金濃度は金と銀とアルミニウムの合計量に対して5原子%以上とする。金濃化接合領域7における金の濃度が金と銀とアルミニウムの合計量に対して5原子%未満であると、金による腐食(硫化や酸化)を抑制する効果を十分に得ることができず、共に、相対的に銀濃度が増加するため、 Ag_3Al 金属間化合物が形成されやすくなり、電極2とボール圧縮部6との接合信頼性が低下する。金濃化接合領域7における金と銀とアルミニウムの合計量に対する金濃度は5原子%以上がより好ましく、さらに10原子%以上が望ましい。銀芯材4の直径に対する被覆層5の厚さの比により決定される

ものである。

[0021] 上述した金濃化接合領域7は、さらにパラジウム (Pd)、白金 (Pt)、ゲルマニウム (Ge)、インジウム (In)、銅 (Cu)、及びニッケル (Ni) から選ばれる少なくとも1つ元素 (以下、M元素と呼び) を含んでいることが好ましい。金濃化接合領域7が上記したようなM元素を含むことによって、電極2とボール圧縮部6との接合信頼性をさらに向上させることができる。M元素は、例えば銀芯材4に含有させておくことができる。M元素はその含有量がワイヤ全体に対して0.2原子%以上2.0原子%以下となるように含まれることが好ましい。0.2原子%未満であると、M元素による接合信頼性のさらなる向上効果を十分に得ることができず、また2.0原子%を超えると銀芯材4の比抵抗を上昇させるおそれがある。

[0022] 金濃化接合領域の分析方法を、接合対象としてアルミニウム電極を採用した場合を例に、詳細に説明する。アルミニウムとアルミニウム以外の元素を含む電極を用いる場合も同様である。金被覆銀ボンディングワイヤを用いてフリーエアボールを形成し、アルミニウム電極上にボールボンディングする。アルミニウム電極に接合されたボール圧縮部をワイヤ長手方向の中心線に平行な面が露出するように切断する。この切断面を、ワイヤ側の所定箇所から接合面に略垂直方向 (深さ方向) にライン分析する。ライン分析としては、電解放出形走査型電子顕微鏡/エネルギー分散型X線分光分析 (FE-SEM/EDX) が好適である。なお、当該分析に係る切断面はワイヤ長手方向の中心線を含むか、中心線にできるだけ近づけるように形成することが好ましい。

[0023] ボール接合部の切断面は次のようにして作製することができる。リードフレームとして、例えばPBGA32PINフレームを用い、このフレーム中央部に略正方形の半導体チップを接合する。半導体チップ上のアルミニウム電極とフレーム上の外部電極を、金被覆銀ボンディングワイヤによってワイヤボンディングして測定サンプルを作製する。この半導体チップ上にあるアルミニウム電極に金被覆銀ボンディングワイヤワイヤをボール接合 (第1接合

) し、リードフレームにウェッジ接合（第2接合）する。通常チップには、多くの電極が複数列に列設されているので、例えばそのうちの一系列（4個）の電極にボンディングワイヤを等間隔で接合し、他の3列（3辺）も同様に接合する。合計で16個のアルミニウム電極にボール接合する。リードフレームへのウェッジ接合を含めると合計で32組のワイヤボンディングとなる。

[0024] フリーエアーボールの形成条件は、例えば、金被覆銀ボンディングワイヤの線径が10～30 μm である場合に、放電電流値が30～90mA、フリーエアーボール径がワイヤ線径の1.5～2.3倍となるようにアーク放電条件を設定する。ボンダー装置は、例えば、ケー・アンド・エス社製のボンダー装置（全自動ボンダー：IConn ProCu PLUS）等の市販品を使用することができる。当該ボンダー装置を使用する場合、装置の設定として放電時間が50～1000 μs 、EFO-Gapが25～45mil（約635～1143 μm ）、テール長さが6～12mil（約152～305 μm ）であることが好ましい。当該ボンダー装置以外のその他のボンダー装置を用いる場合、上記と同等の条件、例えばフリーエアーボール径が上記と同等の大きさになる条件であればよい。

[0025] また、ボール接合条件（第1接合の条件）は、例えばワイヤ線径 ϕ が20 μm でボール径が36 μm のフリーエアーボールを形成したものについては、ボール圧縮部のくびれ部から接合界面側の高さが略10 μm 、接合面に略平行方向の最大幅が略45 μm となるように、また、ボールシェア強度が15gf以上となるようにボンダー装置にて調節することができる。また、第2接合の条件は、例えば、圧着力60gf、超音波出力90mAmps、超音波出力時間15msである。なお、第1接合部から第2接合部までのループ長さは2.0mmにてボンディングすることができる。

[0026] 次に、上記で形成された合計16組の接合部を含む半導体チップを封止樹脂によってモールド機でモールドする。モールドが固まったらモールドした部分をフレームからカットし、さらに、モールド部分の中にあるボール接合

部の一列（一辺）の近傍を切断する。切断したモールドは円筒状の型（かた）にボール接合部の断面が研磨できる方向に置き、埋め込み樹脂を流し込み硬化剤を添加して硬化させる。そのあと、この半導体チップ入の硬化させた円筒状の樹脂をなるべくボール接合部の中心付近が露出するように研磨器にて粗研磨する。おおよそボール接合部の中心断面近くまで研磨したら、最終研磨仕上げおよびボール中心部を含む面（ワイヤ部の中心線を通り、中心線に平行な面）がちょうど露出して分析面の位置になるようにイオンミリング装置にて微調整する。ワイヤ部断面のワイヤ幅がワイヤ直径の長さになれば切断面がボール中心部を含む面になっている目安となる。切断面を分析する面として、その所望の箇所を、FE-SEM/EDXによって、ボール側から電極側に向けてライン分析する。ライン分析条件は、例えば、加速電圧6 keV、測定領域 $\phi 0.18 \mu\text{m}$ 、測定間隔 $0.02 \mu\text{m}$ である。

[0027] 金濃化接合領域7の有無を定量的に測定するには、上記した測定試料の分析面（研磨断面）において、ボール圧縮部6側から接合界面を介して電極2側に向けて、電界放出型走査電子顕微鏡（FE-SEM: Field Emission-Scanning Electron Microscope）付属のエネルギー分散型X線分析（EDX: Energy Dispersive X-ray Spectrometry）によりライン分析することで金濃化接合領域7を確認できる。ライン分析条件は、日立ハイテクノロジーズ社製のFE-SEM SU8220とブルカー社製のXFlash (R) 5060FQを用いて、加速電圧6 keV、測定長さ $2 \mu\text{m}$ 、測定間隔 $0.03 \mu\text{m}$ 、測定時間60秒とする。ライン分析の濃度プロファイルにて、金濃度が銀と金及びアルミニウムの合計量に対して5原子%以上の箇所が存在していれば、金濃化接合領域7が形成されていると判断できる。

[0028] 金濃化接合領域は、フリーエアボールと電極とが接触して接合された接合面近傍、すなわち、アルミニウムと銀と金が共存する領域において、金、銀、及びアルミニウムの合計に対する金の割合が5.0原子%以上、好ましくは10.0原子%以上となる所定の範囲として評価することができる。具

体的には、上記ボール接合部の断面の所定の箇所を、ボール接合部の任意の面からアルミニウム電極の面に向けてワイヤ長手方向に平行にFE-SEM/EDXによってライン分析したときに、アルミニウムが5.0原子%を超え95.0原子%以下の範囲内の各測定点で、金、銀、及びアルミニウムの合計に対する金の割合が5.0原子%以上、好ましくは10.0原子%以上となる所定の範囲を金濃化接合領域として評価することができる。ここで、アルミニウム濃度が5.0原子%を超え95.0原子%以下の範囲で測定する理由は、分析におけるノイズ等の影響でアルミニウムが存在しない箇所の分析値が0原子%にならないことや、アルミニウムのみ箇所の分析値が100原子%にならないことがあるからである。

[0029] 図2はEDXによるライン分析結果の一例を示している。図2において、縦軸は各元素の濃度（原子%）であり、横軸は測定試料における測定距離（ μm ）である。図2の横軸の測定距離が約2.2 μm の箇所から約2.6 μm の箇所までが接合界面近傍の領域となり、そのような領域に金濃度が5.0原子%以上の領域、すなわち金接合濃化領域が存在している。ここでは金のピーク濃度が約15.0原子%を示している。従って、図2に示す濃度プロファイルを有するワイヤ接合構造1は、電極2とボール圧縮部6との接合界面近傍に金濃化接合領域7が存在していると判断することができる。また、図2において接合界面近傍に金濃度が低い領域（横軸2.4 μm 付近）があるが、その付近の銀とアルミニウムの濃度比から耐食性の強い Ag_2Al 金属間化合物が生成されていると推測される。

[0030] 上述した金濃化接合領域7の形成範囲は、電極2とボール圧縮部6との接合界面の全域であることが好ましいが、それに限られるものではない。すなわち、金濃化接合領域7は電極2とボール圧縮部6との接合信頼性を高める上で、図3に示すように、ボール圧縮部6の最大幅Yに対して、金濃化接合領域7が少なくともボール圧縮部6の両外周部から1/8の位置（線X1及び線X2で示す）までの間にそれぞれ形成されていればよい。ここで、ボール圧縮部6の最大幅Yとは、図3に示す電極2とボール圧縮部6との接合構

造をワイヤ3の長手方向に切断した断面図において、長手方向に直交する水平方向におけるボール圧縮部6の両最外端部（線Xで示す）間の幅を示す。このような両最外端部（線X）から、ボール圧縮部6の最大幅（線Y）を8等分したうちの両最外端部から1/8の位置（線X1及び線X2）までの間に、少なくとも金濃化接合領域7が形成されていればよい。このような位置に金濃化接合領域7を形成することによって、接合界面に侵入する大気や水分等による電極2とボール圧縮部6との接合信頼性の低下を抑制することができる。なぜなら、封止樹脂等からのハロゲン元素や水分は、ボール接合面近傍の両端、すなわち、ボールと電極の接合部の際付近のわずかな隙間等から浸入してくる可能性が高いため、両端付近に耐腐食性の高い金濃化接合領域があることがハロゲン等の浸入を阻止するという意味で非常に重要な役割を果たすからである。

[0031] さらに、発明者らが鋭意研究した結果、金濃化接合領域7の形成範囲は、上記したボール圧縮部6の最大幅Yに対して、占有率が合計で25%以上となるように形成されていることが好ましいことが分かった。ここで言う金濃化接合領域7の占有率とは、図3に示す電極2とボール圧縮部6との接合構造の断面図において、金濃化接合領域7の形成領域を分析した際に、ボール圧縮部6の最大幅Yに対して金濃化接合領域7の形成領域が25%以上であることを意味する。このように、ボール圧縮部6の最大幅Yに対して金濃化接合領域7の占有率が少なくとも25%となるように形成することによって、接合界面に侵入する大気や水分等による電極2とボール圧縮部6との接合信頼性の低下を抑制することができる。なお、ボール圧縮部6の最大幅Yに対する金濃化接合領域7の占有率は少なくとも25%であればよいが、さらに40%以上であることがより好ましく、50%以上であることがさらに好ましい。

[0032] 金濃化接合領域の測定方法について説明する。例えば、EPM A測定（面分析）では、通常、測定対象の元素の存在率を、測定対象に電子線を照射したときに当該元素から発せられるX線強度として測定し、その強度をEPM

A画像上で色彩に反映させたカラーマッピングで表示するのが一般的である。つまり、測定対象の元素が存在しない点は真っ黒に表示され、元素の存在確率が高い順に一例として「白、赤、黄、緑、青、黒」等のグラデーションで表示される。このようなE P M A画像の接合面近傍において、最も金強度が小さい点、すなわち、E P M A画像上に真っ黒ではないが金による強度が観測される箇所の中で一番暗い箇所（黒に近い青色の箇所）において、金濃度が5.0原子%以上あれば、それ以外に表示される上記の箇所よりも強度の強い色彩で表示される領域を金濃化接合領域として特定することができる。また、ライン分析とE P M A画像（面分析）の結果を重ね合わせて、ライン分析で金濃度が5.0原子%あるいはこれ以上に観測された、E P M A上の測定点と強度が同等かそれ以上の箇所を、強度差（画像上での色彩）として識別できる設定にするか、目視で判定する。これにより、金濃化接合領域の有無および占有率が算出できる。なお、金濃化接合領域の占有率を算出する場合において、E P M Aのカラーマッピング画像を用いるが、画像を拡大すればするほど金濃化接合領域が「疎」な状態に見えてしまうことがあるので、少なくともボール圧縮部が1枚の画像（枠）に収まる程度の倍率で占有率を算出するのが好ましい。

[0033] 実施形態のワイヤ接合構造1において、銀を主成分とする芯材（銀芯材）4は、ボンディングワイヤ3を主として構成するものであり、ボンディングワイヤ3の機能を担うものである。このような芯材4は、純銀により構成することが好ましいが、場合によっては銀に添加元素を加えた銀合金により構成してもよい。ただし、銀ボンディングワイヤとしての機能を損なわないように、芯材4は銀を主成分として含むものとする。ここで、銀を主成分として含むとは、芯材4が少なくとも50質量%以上の銀を含むことを意味する。芯材4を銀合金で構成する場合、パラジウム（P d）、白金（P t）、リン（P）、金（A u）、ニッケル（N i）、銅（C u）、鉄（F e）、カルシウム（C a）、ロジウム（R h）、ゲルマニウム（G e）、ガリウム（G a）及びインジウム（I n）から選ばれる少なくとも1つ以上の元素を含む

銀合金を適用することが好ましいが、これらに限定されるものではない。

[0034] 芯材4を構成する銀合金における添加元素は、電極との接合性や接合信頼性、機械的強度の向上等に効果を示す。ただし、添加元素の含有量が多すぎると芯材4の比抵抗が増加し、銀ボンディングワイヤとしての機能が低下するおそれがある。このため、金被覆銀ボンディングワイヤ3は金ワイヤ（純度99.99質量%（4N））の比抵抗以下、例えば $2.3\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 以下の範囲となるように添加元素の含有量を設定することが好ましい。純銀及び銀合金のいずれで芯材4を構成する場合においても、不可避な不純物を含んでいてもよいが、金被覆銀ボンディングワイヤ3の比抵抗が $2.3\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 以下の範囲となる不純物量であることが好ましい。このような銀芯材4を適用することによって、ボンディングワイヤ3に求められる比抵抗の値を満足させることができる。金よりも比抵抗の低い銀が多く含有している銀合金のほうが比抵抗は低いと考えられがちであるが、純金（4N）よりも銀合金の方が合金化によって比抵抗が高くなることが多い。なお、ワイヤの比抵抗は四端子法で測定することが好ましく、例えば、ミリオームメーター（横河ヒューレット・パッカード株式会社製 型番4328A）等を用いて測定する。

[0035] 実施形態の金被覆銀ボンディングワイヤ3において、被覆層5は金を主成分として含んでいる。ここで、金を主成分として含むとは、被覆層5が50質量%以上の金を含むことを意味する。被覆層5における金含有量は、多ければ多いほどよく、少なくとも金が被覆層5中に50質量%以上含まれていればよく、さらに金含有量は80%質量以上が好ましく、99質量%以上がより好ましい。被覆層5の金含有量は、ボンディングワイヤ3の表面からオージェ電子分光（AES: Auger Electron Spectroscopy）等によるワイヤ最表面の定量分析にて測定できる。なお、ここでいう金含有量は、検出される金属元素の合計量に対する値であり、表面に吸着等で存在している炭素や酸素等は含めない。

[0036] 上述した金被覆銀ボンディングワイヤ3は、 $13\mu\text{m}$ 以上 $30\mu\text{m}$ 以下の

線径を有することが好ましい。ワイヤ3の線径が $13\ \mu\text{m}$ 未満であると、半導体装置の製造時にボンディングワイヤ3を用いてワイヤボンディングを行った際に、強度や導電性等が低下してワイヤボンディングの信頼性等が低下するおそれがある。ワイヤ3の線径が $30\ \mu\text{m}$ を超えると、ボンディング本数が稼げないことと、隣接するボンディングワイヤとの接触（ショート）する可能性が高くなる。

[0037] 上記した線径を有する金被覆銀ボンディングワイヤ3において、線径に応じて被覆層5の厚さは $50\ \text{nm}$ 以上 $260\ \text{nm}$ 以下であることが好ましい。被覆層5の厚さは、金を主成分とする領域のワイヤ3の表面から垂直方向に対して芯材4に向かう深さ方向の厚さを示すものである。被覆層5の厚さが $50\ \text{nm}$ 未満であると、金被覆銀ボンディングワイヤ3と電極2との接合信頼性を、金を主成分とする被覆層5により十分に高めることができないおそれがある。被覆層5の厚さが $260\ \text{nm}$ を超えると、被覆層5の形成性が低下するおそれがある。なお、被覆層5の厚さは金被覆銀ボンディングワイヤ3の線径に応じて設定することが好ましい。

[0038] 被覆層5の厚さは、以下のようにして測定するものとする。すなわち、金被覆銀ボンディングワイヤ3において、その表面からAESにより深さ方向に元素濃度分析を実施して、表面近傍に存在する金の含有量の最大値を 100% としたときの 50% に位置する箇所を境界部とし、その境界部から表面までの領域を被覆層5の厚さとして求める。金被覆銀ボンディングワイヤ3の表面から深さ方向への元素分布は、AES分析によって測定することができる。例えば、ワイヤ1の表面から銀芯材4に向かって被覆層5の各元素濃度を分析する手段として、AES分析による濃度測定が有効である。ここでは一例として日本電子製のオージェ電子分光装置（商品名：JAMP-9500F）を用いて、一次電子線の加速電圧 $10\ \text{kV}$ 、照射電流 $50\ \text{nA}$ 、ビーム径約 $4\ \mu\text{m}\phi$ に設定し、Arイオンスパッタ速度を SiO_2 換算値で約 $3.0\ \text{nm}/\text{min}$ の条件により実施した。

[0039] 実施形態のワイヤ接合構造1において、電極2とボール圧縮部6との接合

界面近傍における金濃化接合領域 7 の形成方法は、特に限定されるものではない。金濃化接合領域 7 の形成方法としては、例えば金被覆銀ボンディングワイヤ 3 の一端に F A B を形成する際に、F A B の表面に金が濃化した領域（表面金濃化領域）を形成することによって達成できる。表面に金濃化領域を形成した F A B を電極 2 に接合してボール圧縮部 6 を形成することによって、電極 2 とボール圧縮部 6 との接合界面近傍に金の濃度が金と銀とアルミニウムの合計量に対して 5 原子%以上の金濃化接合領域 7 を形成することができる。詳しい形成方法については後述する。

[0040] 金濃化接合領域 7 の形成方法の一例として、ボンディングワイヤを制御して形成する方法について説明する。すなわち、表面に金濃化領域を形成した F A B を電極 2 に接合してボール圧縮部 6 を形成する方法について述べる。金被覆銀ボンディングワイヤ 3 を電極 2 に接合するにあたって、まず図 4 に示すように、金被覆銀ボンディングワイヤ 3 の一端に F A B 8 を形成する。F A B 8 の形成条件としては、例えば金被覆銀ボンディングワイヤ 3 の線径が $13\ \mu\text{m}$ 以上 $30\ \mu\text{m}$ 以下である場合に、線径に応じて放電電流値が $30\ \text{mA}$ 以上 $120\ \text{mA}$ 以下、F A B 8 の直径がワイヤ線径の 1.5 倍以上 2.0 倍以下となるようにアーク放電条件を設定する。ボンダー装置は、例えばキューリック・アンド・ソッフア社製のボンダー装置（全自動ボンダー：I C o n n P L U S）などの市販品を使用することができる。当該ボンダー装置を使用する場合、装置の設定として放電時間が $50\ \mu\text{s}$ 以上 $1000\ \mu\text{s}$ 以下、E F O - G a p が $20\ \text{mil}$ 以上 $40\ \text{mil}$ 以下（約 $635\ \mu\text{m}$ 以上 $1143\ \mu\text{m}$ 以下）、テール長さが $6\ \text{mil}$ 以上 $12\ \text{mil}$ 以下（約 $152\ \mu\text{m}$ 以上 $305\ \mu\text{m}$ 以下）を適用することが好ましい。また、当該ボンダー装置以外のボンダー装置を用いる場合には、当該ボンダー装置と同等の条件、例えば F A B 8 の直径が当該ボンダー装置と同等の大きさになる条件であればよい。

[0041] このとき、銀ボンディングワイヤ表面に被覆した金被覆層 5 を熔融凝固して F A B を作製するとき、表面の金がボール内部へ入り込んで結果的にボー

ル表面の金濃度が下がり、相対的に銀濃度が上がり、アルミニウムを主成分とする電極に接合したときに腐食されやすい Ag_3Al 金属間化合物が生成してしまうという課題に対して、発明者らはボールを形成したときでも、固体ワイヤと同様にボール表面にも金を留めさせて相対的に銀濃度を減らしアルミニウム電極に接合したときに腐食に強い Ag_2Al 金属間化合物の生成、ならびに、非常に化学反応に対して安定している「貴」な金をワイヤ接合界面近傍に留まらせることができないか鋭意研究を重ねた。特に金被覆層に何らかの元素を添加すれば溶融したときでも金が表面に留まるのではないかと考え、金めっき時に数多くの種類の元素を添加して F A B を作り表面の金濃度を分析するという実験を繰り返し行った。その結果、第 15 及び 16 族元素を添加すると F A B 表面に金が留まることをついに発見した。

[0042] 通常、特別な元素を添加しない金で形成した場合、金被覆銀ボンディングワイヤ 3 の一端を溶融・凝固させて F A B 8 を形成する際に、被覆層 5 を構成する金が銀芯材 4 中に入り込んでしまう。よって、F A B 8 の表面に金が濃化した領域（表面金濃化領域）を形成することができない。言い換えると、金被覆層は F A B 8 の形成前までは効果を発揮するものの、F A B 8 の形成後には表面金濃化領域を存在させることができない。すなわち、ウェッジボンディングでは効果を発揮するが、ボールボンディングでは高信頼性の効果を十分には発揮できない。そのような F A B 8 を電極 2 に接合しても、電極 2 とボール圧縮部 6 との接合界面近傍に金濃化接合領域 7 を再現性よく形成することができない。ここで、金層の厚さを単に厚くしても、銀芯材の直径と比較した場合、金層の厚さの比率は小さいため、金が銀芯材中に入り込むことを抑制できない。また、金層の厚さのみに基づいて、F A B の形成後の表面における金濃度を高めた場合、金被覆銀ワイヤというより金ワイヤに近い状態となり、材料コストが大幅に上がってしまう。また、金層の厚さをワイヤ全体における金濃度に換算して 7 質量%を超えると F A B のボール形成性、すなわちボールの偏芯等が生じる可能性が高くなる。

[0043] 発明者らは前述の通り鋭意研究の結果、F A B 8 の形成時における金の銀

芯材4中への入り込みを抑制する解決手段を解明した。金の銀芯材4中への入り込みの抑制は、被覆層5を構成する金中に、硫黄（S）、セレン（Se）、テルル（Te）、ヒ素（As）、及びアンチモン（Sb）から選ばれる少なくとも1つ以上の第15及び16族元素を含有させることにより得られることを見出した。さらに、量的にはワイヤ全体に対して第15及び16族元素の合計量は4質量ppm以上80質量ppm以下が好適であることを見出した。

[0044] 第15及び16族元素による金の銀芯材4中への入り込みの抑制メカニズムは完全に解明されていないが、FAB8が形成される過程において、被覆層5中の第15及び16族元素は溶融状態の被覆層5の表面張力に作用し、金が濃化した領域の形成に寄与すると推測される。従来の金被覆銀ボンディングワイヤの場合、溶融銀の表面張力は溶融金の表面張力よりも小さく、表面張力の違いにより発生する流れ（マランゴニ対流）が表面張力の小さい方から大きい方へ、つまり溶融銀（溶融ボール）から溶融金（溶融状態の被覆された金）に向かって発生するため、溶融金はボール内部へ移動する。一方、第15及び16族元素が被覆層5に存在する場合、溶融した被覆層5の表面張力は溶融銀よりも小さくなり、マランゴニ対流の向きが溶融金から溶融銀の方向へと反転するため、溶融金はFAB8の内部に入り込まない。従って、FAB8の表面に表面金濃化領域9を形成することができると推測した。

[0045] 上述した被覆層5中の第15及び16族元素の効果が発揮されるタイミング及び表面金濃化領域が形成される過程について、FAB8の形成過程に沿って説明する。FAB8は金被覆銀ボンディングワイヤ3をリード又はバンパ上に第2接合した後、所定長さのワイヤが繰り出され、切断されたボンディングワイヤ3の先端と放電トーチの間にアーク放電を生じさせ、ワイヤ先端を溶融することにより形成される。ボンディングワイヤ3は第2接合の際キャピラリーで押し潰されることにより変形するため、ボンディングワイヤ3とキャピラリーが接触する領域は被覆層5が存在せず、芯材4が露出した

状態となる。溶融ボールの形成初期段階では、この芯材4が露出したワイヤ先端のみ溶融されたボールは被覆層5が存在していない箇所が存在するため、金濃化領域は形成されていない。アーク放電により初期溶融ボールの溶融が進むにつれて、芯材4が露出していないワイヤ部分が溶融され始めると、被覆層5中の第15及び16族元素が溶融時の表面張力に作用し、溶融金はF A B 8の内部へ入り込むことなくF A B 8の表面領域に存在する。やがて、小さいボールから大きいボールへと成長してゆくが、金はボンディングワイヤ3から連続的に供給される。溶融金はアーク放電の熱により溶融した芯材4と合金化される。

[0046] 被覆層5を有する金被覆銀ボンディングワイヤ3において、金はワイヤ3の全体量に対して、2質量%以上7質量%以下の範囲で含まれることが好ましい。ワイヤ3の全体量に対する金の含有量が2質量%未満であると、銀芯材4を主体とする金被覆銀ボンディングワイヤ3に形成されたF A B 8を用いて形成したボール圧縮部6と電極2との間の接合信頼性を十分に高めることができないおそれがある。ワイヤ3の全体量に対する金の含有量が7質量%を超えると、溶融時のボール形状、ひいてはF A B 8の形状が偏芯等により低下し、ボール圧縮部6の形状や信頼性が損なわれると共に、金被覆銀ボンディングワイヤ3の材料コストが上昇する。ワイヤ3の直径や被覆層5の厚さにもよるが、ワイヤ3の全体量に対する金の含有量は3.5質量%以上がより好ましい。

[0047] 被覆層5中に第15及び16族元素を存在させる場合、第15及び16族元素は上記した金被覆銀ボンディングワイヤ3の全体量に対して、4質量ppm以上80質量ppm以下の範囲で含まれることが好ましい。ワイヤ3の全体量に対する第15及び16族元素の含有量が4質量ppm未満であると、F A B 8の形成時における金の濃化効果、それによる表面金濃化領域の形成性を十分に得ることができない。ワイヤ3の全体量に対する第15及び16族元素の含有量が80質量ppmを超えると、被覆層5にクラックや割れ等が生じやすくなり、伸線加工時に断線等の加工性、生産性が低下し、所望

の線径の金被覆銀ボンディングワイヤ3が得られにくくなる。なお、第15及び16族元素は2種類以上を混合して適用してもよく、その場合には第15及び16族元素の合計量が上記した含有範囲となるように調整する。

[0048] 上記した第15及び16族元素を含む被覆層5を有する被覆銀ボンディングワイヤ1を用いた場合、被覆層5に含有させた第15及び16族元素により、FAB8の表面領域、例えば形成されるFAB8の直径にもよるが表面から深さ方向に対して10 μ m以下（あるいはFAB8の直径に対して10%以下）の範囲に表面金濃化領域9が形成される。この表面金濃化領域9はFAB8と電極2との接合後も維持されるため、電極2とボール圧縮部6との接合界面近傍に金濃化接合領域7を形成することができる。すなわち、金濃化接合領域7を有するワイヤ接合構造1を得ることが可能になる。なお、上記した金濃化接合領域7の形成方法及び形成過程は一例であり、それに限定されるものではない。

[0049] 例えば、FABと電極2との接合条件について、以下のような条件でも金濃化接合領域7を形成することができる。具体的には、アルミニウム電極表面に金を蒸着する等でも金濃化接合領域7を形成することができる。しかしながら、電極への金被覆は材料コスト、製造コストの面から非常にコスト高になってしまうため推奨しない。実施形態のワイヤ接合構造1は、電極2とボール圧縮部6との接合界面近傍に金濃化接合領域7を設けることによって、上述した電極2とボール圧縮部6との接合信頼性を高めるものであるため、金濃化接合領域7の形成方法は特に限定されるものではない。

[0050] 以下に、金被覆銀ボンディングワイヤ3の全体量における金の含有量及び第15及び16族元素の含有量の算出方法について述べる。まず、金の含有量を算出する。ボンディングワイヤ3を希硝酸に入れ、芯材4を溶解した後、溶解液を採取する。この溶解液に塩酸を加え、超純水で定容液とする。被覆層5は希王水で溶解し、超純水で定容液とする。これらの定容液中の金の定量分析をICP発光分光分析法（ICP-AES：Inductively Coupled Plasma Atomic Emission S

pectroscopy) で行うことにより、金含有量を測定する。

[0051] 次に、第15及び16族元素の含有量を算出する。被覆層5のセレン及びテルルの含有量は、ボンディングワイヤ3を希硝酸に入れ、芯材4を溶融した後に被覆層5を抽出する。さらに、被覆層5を希王水で加熱分解した後、超純水で定容した溶液を用いて測定する。この定容液中のセレン、テルル、ヒ素、及びアンチモンの定量分析をICP質量分析法（ICP-MS：Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry）を用いて測定する。一方、芯材4のセレン、テルル、ヒ素、及びアンチモンの含有量は、ボンディングワイヤ3を希硝酸に入れ、芯材4を溶融した液を用いてICP-MSまたはICP-AESにより測定する。その後、被覆層5及び芯材4の金の含有量とセレン、テルル、ヒ素、及びアンチモンの含有量からボンディングワイヤ3全体における金含有量とセレン、テルル、ヒ素、及びアンチモンの含有量を算出する。また、上記以外にもICP-AESに水素化物発生装置を取り付けて、セレン、テルル、ヒ素、及びアンチモンの水素化物を生成することによって分析する方法もある。また、芯材4及び被覆層5の硫黄（S）の含有量は、ボンディングワイヤ3に対して燃焼赤外線吸収法を用いて測定する。測定1回あたりのボンディングワイヤ3の重量は0.5g以上とすることが好ましい。試料が溶けにくい場合、必要に応じて助燃材を使用してもよい。

[0052] 次に、ボンディングワイヤの製造方法について説明する。芯材4として銀を用いる場合には、所定の純度の銀を溶解させ、また銀合金を用いる場合には、所定の純度の銀を添加元素と共に溶解させることによって、銀芯材材料又は銀合金芯材材料が得られる。溶解には、アーク加熱炉、高周波加熱炉、抵抗加熱炉、連続鑄造炉等の加熱炉が用いられる。大気中からの酸素や水素の混入を防止する目的で、加熱炉の銀溶湯の上部は真空あるいはアルゴン、窒素等の不活性ガス雰囲気中に保持することが好ましい。溶解させた芯材材料は、加熱炉から所定の線径となるように鑄造凝固させるか、溶融した芯材材料を鑄型に鑄造してインゴットを作り、そのインゴットをロール圧延した後

、所定の線径まで伸線して銀線材（純銀線材及び銀合金線材を含む）が得られる。

[0053] 銀線材の表面に金層を形成する方法としては、例えばめっき法（湿式法）や蒸着法（乾式法）が用いられる。めっき法は電解めっき法と無電解めっき法のいずれの方法であってもよい。ストライクめっきやフラッシュめっき等の電解めっきでは、めっき速度が速く、また金めっきに適用すると、金層の銀線材への密着性が良好であるために好ましい。めっき法で金層内に硫黄族元素を含有させるためには、例えば上記電解めっきにおいて、金めっき液に硫黄、セレン、テルル、ヒ素、及びアンチモンから選ばれる少なくとも1つを含むめっき添加剤を含有させためっき液を使用する。この際、めっき添加剤の種類や量を調整することによって、被覆層5中の第15及び16族元素含有量を調整することができ、さらにワイヤ3中の第15及び16族元素含有量を調整することができる。

[0054] 蒸着法としては、スパッタ法、イオンプレーティング法、真空蒸着法等の物理蒸着（PVD）や、熱CVD、プラズマCVD、有機金属気相成長法（MOCVD）等の化学蒸着（CVD）を利用することができる。これらの方法によれば、形成後の金被覆層の洗浄が不要であり、洗浄時の表面汚染等の懸念がない。蒸着法によって金層内に第15及び16族元素を含有させる手法としては、第15及び16族元素を含有させた金ターゲットを用いて、マグネトロンスパッタリング等によって金層を形成する手法がある。それ以外の方法を適用する場合も、金属材料に第15及び16族元素を含有させた原料を用いればよい。

[0055] 金層を形成するタイミングは特に限定されない。金層を被覆した銀線材を最終線径まで伸線し、必要に応じて熱処理することによって、銀芯材4の表面に被覆層5を設けた金被覆銀ボンディングワイヤ3が製造される。伸線加工は銀線材の段階で実施してもよいし、またある程度の線径まで銀線材に伸線加工を施し、金層を形成した後に最終線径まで伸線加工してもよい。伸線加工と熱処理は、段階的に行われてもよい。伸線加工の加工率は、製造され

る金被覆銀ボンディングワイヤ3の最終線径や用途等に応じて決定される。伸線加工の加工率は、一般的には銀線材を最終線径に加工するまでの加工率として90%以上であることが好ましい。この加工率は、ワイヤ断面積の減少率として算出することができる。伸線加工は、複数のダイヤモンドダイスを用いて、段階的に線径を縮小するように行うことが好ましい。この場合、ダイヤモンドダイス1つあたりの減面率（加工率）は5%以上15%以下が好ましい。

[0056] 金層を被覆した銀線材を最終線径まで伸線した後に、最終熱処理を実施することが好ましい。最終熱処理は、最終線径において、ワイヤ3の内部に残留する金属組織の歪みを除去する歪み取り熱処理や必要とされるワイヤ特性を考慮して実行される。歪み取り熱処理は、必要とされるワイヤ特性を考慮して、温度及び時間を決定することが好ましい。その他、ワイヤ製造の任意の段階で、目的に応じた熱処理を施してもよい。このような熱処理としては、ワイヤの伸線過程での歪み取り熱処理、金層を形成した後に接合強度を上げるための拡散熱処理等がある。拡散熱処理を行うことで、芯材4と被覆層5との接合強度を向上させることができる。熱処理は、所定の温度に加熱された加熱雰囲気内にワイヤを通過させて熱処理を行う走間熱処理が、熱処理条件を調節しやすいために好ましい。走間熱処理の場合、熱処理時間はワイヤの通過速度と加熱容器内のワイヤの通過距離によって算出することができる。加熱容器としては電気炉等が使用される。

[0057] 次に、上述した金被覆銀ボンディングワイヤ3の一端にF A B 8を形成する。F A B 8は、ワイヤ3の先端と放電トーチの間にアーク放電を生じさせ、ワイヤ3の先端を溶融することにより形成される。金被覆銀ボンディングワイヤ3の一端に形成されたF A B 8を、超音波併用熱圧着ボンディング法等により電極2に接合する。電極2に接触したF A B 8を、超音波併用熱圧着時の圧力により変形させつつ、超音波及び熱により電極2に接合することによって、電極2に接合されたボール圧縮部6を形成することができる。

[0058] （半導体装置）

次に、実施形態のワイヤ接合構造を適用した半導体装置について、図5ないし図7を参照して説明する。なお、図5は実施形態の半導体装置の樹脂封止する前の段階を示す断面図、図6は実施形態の半導体装置の樹脂封止した段階を示す断面図、図7は実施形態の半導体装置における半導体チップの電極とボンディングワイヤとの接合部を拡大して示す断面図である。

[0059] 実施形態の半導体装置10（樹脂封止する前の半導体装置10X）は、図5及び図6に示すように、外部電極11を有する回路基板12と、回路基板12上に配置され、少なくとも1つの電極（チップ電極）13をそれぞれ有する複数の半導体チップ14（14A、14B、14C）と、回路基板12の外部電極11と半導体チップ14の電極13、及び複数の半導体チップ14の電極13間を接続するボンディングワイヤ15とを備えている。回路基板12には、例えば樹脂材やセラミックス材等の絶縁基材の表面や内部に配線網を設けたプリント配線板やセラミックス回路基板等が用いられる。

[0060] なお、図5及び図6は回路基板12上に複数の半導体チップ14を実装した半導体装置10を示しているが、半導体装置10の構成はこれに限られるものではない。例えば、半導体チップはリードフレーム上に実装されていてもよく、その場合には半導体チップの電極はリードフレームの外部電極として機能するアウターリードにボンディングワイヤ15を介して接続される。半導体チップの回路基板やリードフレームに対する搭載数は、1つ及び複数のいずれであってもよい。ボンディングワイヤ15は、回路基板12の外部電極11と半導体チップ14の電極13、リードフレームと半導体チップの電極、及び複数の半導体チップ14の電極13間の少なくとも1つに適用される。

[0061] 図5及び図6に示す半導体装置10の複数の半導体チップ14のうち、半導体チップ14A、14Cは回路基板12のチップ実装領域にダイボンディング材16を介して実装されている。半導体チップ14Bは半導体チップ14A上にダイボンディング材16を介して実装されている。半導体チップ14Aの1つの電極13はボンディングワイヤ15を介して回路基板12の外

部電極 11 と接続されており、他の 1 つの電極 13 はボンディングワイヤ 15 を介して半導体チップ 14 B の電極 13 と接続されており、さらに他の 1 つの電極 13 はボンディングワイヤ 15 を介して半導体チップ 14 C の電極 13 と接続されている。半導体チップ 14 B の他の 1 つの電極 13 は、ボンディングワイヤ 15 を介して回路基板 12 の外部電極 11 と接続されている。半導体チップ 14 C の他の 1 つの電極 13 は、ボンディングワイヤ 15 を介して回路基板 12 の外部電極 11 と接続されている。

[0062] 半導体チップ 14 は、シリコン (Si) 半導体や化合物半導体等からなる集積回路 (IC) を備えている。チップ電極 13 は、例えば、少なくとも最表面にアルミニウム (Al) 層、AlSiCu、AlCu 等のアルミニウム合金層を有するアルミニウム電極からなる。アルミニウム電極は、例えばシリコン (Si) 基板の表面に、内部配線と電氣的に接続するように Al や Al 合金等の電極材料を被覆することにより形成される。半導体チップ 14 は、外部電極 11 及びボンディングワイヤ 15 を介して、外部デバイスとの間でデータ通信をしたり、また外部デバイスから電力を供給したりする。

[0063] 回路基板 12 の外部電極 11 は、回路基板 12 に実装された半導体チップ 14 の電極 13 とボンディングワイヤ 15 を介して電氣的に接続されている。実施形態の半導体装置 10 において、ボンディングワイヤ 15 の一端は、チップ電極 13 にボール接合 (第 1 接合) されており、他端は外部電極 11 にウェッジ接合 (第 2 接合) されている。複数の半導体チップ 14 の電極 13 間をボンディングワイヤ 15 で接続する場合も同様であり、ボンディングワイヤ 15 の一端は、半導体チップ 14 のチップ電極 13 にボール接合 (第 1 接合) され、他端は他の半導体チップ 14 のチップ電極 13 にウェッジ接合 (第 2 接合) される。なお、半導体チップ 14 の電極 13 とは、半導体チップ 14 上にある電極パッドにあらかじめバンプを接合した形態も含むものとする (図示しない)。

[0064] ボンディングワイヤ 15 の一端をチップ電極 13 にボール接合するにあたって、ボンディングワイヤ 15 の一端を放電等により溶融し、表面張力等に

より球状に凝固させることによって、図4に示したようなF A B 8を形成する。このようなF A B 8を、超音波併用熱圧着ボンディング法等によりチップ電極13にボンディングすることによって、図1に示したワイヤ接合構造1が形成される。すなわち、図7に示すように、ボンディングワイヤ15とチップ電極13とチップ電極13に接合されたボール圧縮部6とを有するワイヤ接合構造1が形成される。この後、複数の半導体チップ14及びボンディングワイヤ15を樹脂封止するように、回路基材12上に封止樹脂層17を形成することによって、半導体装置10が製造される。半導体装置10の具体例としては、ロジックIC、アナログIC、ディスクリート半導体、半導体メモリ、光半導体等が挙げられる。

[0065] 半導体装置10におけるワイヤ接合構造1には、前述した実施形態のワイヤ接合構造1が適用される。すなわち、ボンディングワイヤ15の一端に設けられたボール圧縮部6とチップ電極13との接合界面近傍には、図1に示したように、金の濃度が金と銀とアルミニウムの合計量に対して5原子%以上の金濃化接合領域7が設けられている。このような金濃化接合領域7を存在させ、接合界面近傍における金濃度を高めることによって、非常に脆く、腐食されやすいAg₃A金属間化合物の形成を抑制し、耐食性に優れて安定なAg₂A金属間化合物を形成することによって、電極2とボール圧縮部6との接合信頼性を向上させることができ、ひいては半導体装置1の信頼性を高めることが可能になる。

実施例

[0066] 次に、本発明の実施例について説明する。本発明は以下の実施例に限定されない。例1～26は実施例であり、例27～32は比較例である。

[0067] (実施例1～26)

芯材として、連続鋳造で作製した銀もしくは銀合金の芯材を用意し、連続伸線を行って中間線径0.05mm～1.0mmまで加工した。さらに、中間線径の銀線材に、硫黄、セレン、テルル、ヒ素、及びアンチモンの各々の添加剤を適量添加した金電解めっき浴を使用し、銀線材を連続的に送線しな

から浸漬した状態で、銀線材に電流密度 0.20 A/dm^2 以上 2.0 A/dm^2 以下で電流を流し、金被覆層を形成した。この後、最終線径の $\phi 20\ \mu\text{m}$ まで伸線加工したワイヤに最終熱処理を施し、実施例 1 から実施例 26 の金被覆銀ボンディングワイヤを作製した。

[0068] (比較例 27～32)

実施例と同様にして、金被覆銀ボンディングワイヤを作製した。ボンディングワイヤの組成については表 1 にまとめて示す。

[0069] (含有量測定)

金被覆銀ボンディングワイヤ中の金含有量（金は被覆層由来であり銀芯材には含まれていない）、銀芯材への添加元素であるパラジウム、インジウム、及び第 15 及び 16 族元素含有量は、前述した方法前述した方法（

[0070]、

[0071] 参照) にしたがって測定した。その結果を表 1 に示す。

[0072] (ワイヤ表面割れ観察)

中間線径及び最終線径の金被覆銀ボンディングワイヤの外観をキーエンス社製のレーザー顕微鏡（商品名：VK-X200）を用いて、高倍率による金被膜の割れ（亀裂）の有無を確認した。サンプリング本数は合計 10 本で、主に伸線加工時に発生する引張応力により、金被膜に亀裂が発生して銀芯材の露出が 1 本でも見られた場合を不合格 (X)、1 本も見られなかった場合を合格 (O) とした。その結果を表 1 に示す。なお、表面割れのあったサンプルについては、これ以降のボール形成性や HAST 評価等を実施しなかったため表中には未実施 (－) と示した。

[0073] (FAB 作製条件)

上述の条件により FAB を作製し、上述の接合条件で電極に接合した（[0024]、[0040] 参照）。

[0074] (ボール形成性)

ボール形成性はボール圧着後の真円性にて評価することができる。30 本の第 1 接合について、接合されたボールを上部から観察し、圧着ボールの最

大幅とこれに直交する幅を測定し、最大幅とこれに直交する幅の比（最大幅／直交する幅）を求めた。この比の値の、上記30本の平均値が1.00以上1.15未満であれば良好（○）、1.15以上であれば問題ありで不良（×）とした

[0075]（金濃化接合領域等の測定）

次に、上述した方法で作製したサンプルの接合界面近傍について金濃化接合領域の有無（金濃度分析値）、及び、ボール圧縮部の全長に対して8分の1の箇所とボール圧縮部の端との間に金濃化接合領域が存在するか、また、接合界面近傍における占有率が25%以上あるかを測定した。1サンプルにつき電極とボール接合との接合構造が4組できる。その4組について上記3つの評価を行なった。金濃化接合領域の金濃度についてはパラジウムやインジウム、及び第15及び16族元素等の添加元素を考慮せずに求めた。すなわち、分母に入れずに求めた。表1の金濃化接合領域の金の分析値は4組の接合構造のうち1番金濃度が高かった組の値を採用し、その組の接合界面近傍におけるライン分析の測定点で金濃度が高い順から3点選び、その3点の平均値を記載した。圧縮部の両端から上記8分の1の箇所までの間に金濃化接合領域があるかないかの評価は、4組のボールすべてであった場合は合格（○）で、1組でも無ければ不合格（×）とした。同様に金濃化接合領域の占有率に関しても4組の接合構造すべて25%以上あった場合には合格（○）、1組でも25%未満だった場合は不合格（×）と記載した。（各評価方法の詳細については[0027]から[0032]を参照）。

[0076]（HAST試験用サンプルの作製）

各例で得られた金被覆銀ボンディングワイヤについて、市販のボンダー装置（K&S ICONN）にて、BGA（Ball Grid Array）基板上の厚さ300 μ mのSiチップ上の厚さ0.8 μ mのAl-0.5質量%Cu合金電極上に、それぞれ上記フリーエアボール、ボール接合及び第二接合と同様の条件でワイヤボンディングを行なった。つまり、フリーエアボールの形成は、全自動ボンダーを用いて、ボール径が線径の1.5

～2. 3倍の範囲の所定の大きさになるように、エレクトロン・フレーム・オフ（EFO）電流を30～90mAの範囲、放電時間を50～1000 μ sの範囲でそれぞれ所定の値に調節し、EFO-Gapが25～45mil（約635～1143 μ m）、テール長さが6～12mil（約152～305 μ m）で行なった。

[0077] 第1接合の条件は、例えば、ワイヤ線径 ϕ が20 μ mの実施例1については、ボール径が36 μ mのフリーエアボールを形成し、ボール圧縮部の高さが10 μ m、ボール圧縮部の接合面に平行方向の最大幅が45 μ m、ボールシェア強度15gf以上となるようにボンディング条件を調整した。この際、チップ上のAl-0.5質量%Cu合金電極は隣り合うボンド部のみが電氣的に接続されて、隣り合う2本のワイヤ同士で電氣的に1つの回路を形成しており、計320回路が形成する。その後、このBGA基板上のSiチップを市販のトランズファーモールド機（第一精工製株式会社、GPGP-PRO-LAB80）を使って樹脂封止して試験片を得た。なお、封止した樹脂は市販されているハロゲンフリーの樹脂（塩素濃度15ppm以下、pH6以上7以下）を使用した。また、実施例の試験片についてはボール圧縮部の高さが7～13 μ m、ボール圧縮部の接合面に平行方向の最大幅は形成されたフリーエアボールの1.2倍となるようにボール接合した。

[0078] <HAST (Highly Accelerated Temperature and Humidity Stress Test (高温高湿環境暴露試験)) >

この試験片についてHAST装置（株式会社平山製作所、PCR8D）を用いて、130 $^{\circ}$ C、85.0%RH（相対湿度）、2.2気圧で200時間保持した。保持前後に上記320回路の電気抵抗値を測定し、保持後の電気抵抗値が保持前の電気抵抗値に比べすべての回路で上昇率が8%以下であった場合を（S）、1回路でも8%を超えそれ以外の回路が10%以下である場合を（A）、1回路でも10%を超えそれ以外の回路が15%以下である場合を（B）、1回路でも15%を超えそれ以外の回路が20%以下である

場合を（C）、20%を超えた回路が一つでもあった場合を不良（X）とした。20%以下はSからCのランクを付けたが製品上問題ないレベルなので合格とした。

[0079] [表1]

| | ワイヤの構成 (ワイヤ全体に対する濃度) (質量%, ppm) | | | | | | | | | | ワイヤ評価 | | 金濃化接合領域の状態 | | | HAST | 総合評価 |
|----|---------------------------------|--------|--------|----------|----------|---------|----------|----------|------------------|---|-------|--------|------------|----------------|--------------|------|------|
| | Au層濃度換算 (%) | 芯材 | | | 第15族元素 | | | 第16族元素 | | | 表面割れ | ボール形成性 | Au濃度 (原子%) | 両端から1/8の位置にあるか | 占有率 25%以上あるか | | |
| | Ag (%) | Pd (%) | In (%) | As (ppm) | Sb (ppm) | S (ppm) | Se (ppm) | Te (ppm) | 第15,16族元素合計(ppm) | | | | | | | | |
| 1 | 2.2 | 残 | | | | 5 | | | 5 | ○ | ○ | 5.2 | X | X | C | ○ | |
| 2 | 3.0 | 残 | | | | 61 | | | 61 | ○ | ○ | 6.3 | ○ | X | B | ○ | |
| 3 | 4.8 | 残 | 0.2 | | | | | 4 | 4 | ○ | ○ | 10.6 | ○ | ○ | A | ○ | |
| 4 | 4.1 | 残 | | | | 4 | | | 4 | ○ | ○ | 5.7 | ○ | X | B | ○ | |
| 5 | 4.0 | 残 | | | | | | 9 | 9 | ○ | ○ | 7.5 | ○ | ○ | A | ○ | |
| 6 | 2.0 | 残 | | | 6 | | | | 6 | ○ | ○ | 7.9 | X | X | C | ○ | |
| 7 | 2.7 | 残 | | | | 7 | | | 7 | ○ | ○ | 6.6 | X | X | C | ○ | |
| 8 | 3.5 | 残 | | | | | 6 | | 6 | ○ | ○ | 6.0 | X | ○ | B | ○ | |
| 9 | 5.1 | 残 | | 0.2 | | 28 | | | 28 | ○ | ○ | 11.8 | ○ | ○ | S | ○ | |
| 10 | 5.2 | 残 | | | | | | 18 | 18 | ○ | ○ | 17.3 | ○ | ○ | S | ○ | |
| 11 | 3.3 | 残 | 0.5 | | | 15 | | | 15 | ○ | ○ | 10.2 | ○ | ○ | A | ○ | |
| 12 | 5.3 | 残 | | | 12 | | | | 12 | ○ | ○ | 12.8 | ○ | ○ | A | ○ | |
| 13 | 4.5 | 残 | | 0.4 | | | | 22 | 22 | ○ | ○ | 15.5 | ○ | ○ | S | ○ | |
| 14 | 4.4 | 残 | | | | 36 | | | 36 | ○ | ○ | 16.1 | ○ | ○ | S | ○ | |
| 15 | 5.1 | 残 | 1.5 | | 25 | | | | 25 | ○ | ○ | 7.4 | ○ | ○ | A | ○ | |
| 16 | 3.5 | 残 | | | 32 | | | | 32 | ○ | ○ | 10.3 | ○ | X | B | ○ | |
| 17 | 3.7 | 残 | 1.8 | | | 41 | | | 41 | ○ | ○ | 13.5 | ○ | ○ | S | ○ | |
| 18 | 5.8 | 残 | | | | 11 | | | 11 | ○ | ○ | 14.2 | ○ | X | B | ○ | |
| 19 | 5.0 | 残 | | | 70 | | | | 70 | ○ | ○ | 8.6 | ○ | ○ | A | ○ | |
| 20 | 4.3 | 残 | | | | 78 | | | 78 | ○ | ○ | 9.5 | X | ○ | B | ○ | |
| 21 | 5.4 | 残 | | | | | | 67 | 67 | ○ | ○ | 19.8 | ○ | ○ | S | ○ | |
| 22 | 4.8 | 残 | 1.1 | 0.5 | | | | 75 | 75 | ○ | ○ | 11.0 | ○ | ○ | A | ○ | |
| 23 | 5.2 | 残 | | 0.8 | | | | 36 | 36 | ○ | ○ | 12.5 | ○ | ○ | A | ○ | |
| 24 | 5.6 | 残 | | | | 20 | | | 25 | ○ | ○ | 14.7 | X | ○ | B | ○ | |
| 25 | 6.0 | 残 | | | | 43 | | | 9 | ○ | ○ | 15.0 | ○ | ○ | A | ○ | |
| 26 | 6.3 | 残 | | | 22 | | | 12 | 34 | ○ | ○ | 18.7 | ○ | ○ | A | ○ | |
| 27 | 1.7 | 残 | | | | | | | 0 | ○ | ○ | 1.0 | X | X | X | X | |
| 28 | 7.2 | 残 | | | | | | | 0 | ○ | X | - | - | - | - | X | |
| 29 | 2.5 | 残 | | 1.0 | 1 | | | | 1 | ○ | ○ | 2.0 | X | X | X | X | |
| 30 | 5.5 | 残 | | | | | 30 | 30 | 30 | X | - | - | - | - | - | X | |
| 31 | 4.3 | 残 | | | | | 2 | | 2 | ○ | ○ | 3.3 | X | X | X | X | |
| 32 | 6.7 | 残 | 1.0 | | | | | | 0 | ○ | ○ | 4.5 | X | X | X | X | |

[0080] 表1に示すように、実施例1～26の金被覆銀ボンディングワイヤによれば、アルミニウムを含む電極とボール圧縮部との接合界面近傍に金濃度がアルミニウムと銀と金の合計に対して5.0原子%以上となる金濃化接合領域が形成できる。そのような接合構造があることにより、HAST評価が良好となり、高温高湿等の厳しい環境下に長時間さらされても、接続部の比抵抗が上昇しない高い信頼性のある半導体装置を提供できる。表1からの傾向として、金濃化接合領域が接合界面の両端付近にあることが好ましく、また、接合界面において金濃化接合領域がボール圧縮部の幅に対して25%以上占めることでHAST評価が良好なことが分かる。さらに、ワイヤの芯材にパラジウムやインジウムの添加元素を添加することもHAST評価が良好にな

る要素のひとつとなる。金濃化接合領域の金濃度に関しても、金濃度が高いほどHAST評価が良くなる傾向にある。どちらかというとなら金濃度が高いほうが、芯材にパラジウム等を添加するよりもHAST評価に良い影響を与えていると考えられる。

[0081] 一方、比較例に示す通り、ワイヤに被覆している金層（表1では濃度換算した値）が2.0質量%未満だと、金濃化接合領域の金濃度が5原子%未満となりHAST評価では不合格となり、反対にワイヤに被覆する金層を厚くしすぎると（ここでは濃度換算して7質量%を超えると）、FAB形成時に偏芯等が生じ、ボール形成性が悪くなることが分かる。第15族元素及び第16族元素の添加量も重要になる。4質量ppm未満だと金濃化接合領域の金濃度が5原子%未満となって、HAST評価も不合格となり、80質量ppmを超えると、今度はワイヤ表面に割れ不良が発生してしまう。もちろん、第15族及び第16族元素を添加しない場合も金濃化接合領域が5原子%未満となりHAST評価も不合格となる。

[0082] 以上の通り、本発明のワイヤ接合構造及びそれに用いられるボンディングワイヤによれば、ボンディングワイヤの比抵抗の上昇を抑えた上で、電極とボール圧縮部との接合界面近傍に金の濃度が金と銀とアルミニウムの合計量に対して5原子%以上の金濃化接合領域を設けることによって、電極とボール圧縮部との接合信頼性を高めることができる。また、そのようなワイヤ接合構造を適用した本発明の半導体装置によれば、金濃化接合領域による電極とボール圧縮部との接合信頼性、ひいては半導体装置自体の信頼性を向上させることが可能になる。

符号の説明

[0083] 1…ワイヤ接合構造、2…電極、3…金被覆銀ボンディングワイヤ、4…芯材（銀芯材）、5…被覆層、6…ボール圧縮部、7…金濃化接合領域、8…FAB（ボール）、9…表面金濃化領域、10…半導体装置、11…外部電極、12…回路基板、13…チップ電極、14…半導体チップ、15…ボンディングワイヤ、16…ダイボンディング材、18…封止樹脂層。

請求の範囲

- [請求項1] アルミニウムを含む電極と、ボンディングワイヤと、前記ボンディングワイヤの一端に設けられ、前記電極に接合されたボール圧縮部とを有するワイヤ接合構造であって、
- 前記ボンディングワイヤは、銀を主成分とする芯材と、前記芯材の表面に設けられ、金を主成分とする被覆層とを有し、硫黄、テルル、セレン、ヒ素、及びアンチモンから選ばれる少なくとも1つの第15及び16族元素を含有する金被覆銀ボンディングワイヤであって、ワイヤ全体に対して、金濃度が2.0質量%以上7.0質量%以下であり、第15及び16族元素濃度が合計で4質量ppm以上80質量ppm以下であり、
- 前記電極と前記ボール圧縮部との接合界面近傍に、金濃度が、アルミニウムと銀と金の合計に対して5.0原子%以上となる金濃化接合領域を有する、ワイヤ接合構造。
- [請求項2] 前記接合界面近傍の金濃化接合領域が、前記ボール圧縮部の最大幅に対して、少なくとも前記ボール圧縮部の両端から1/8の位置の間に各々形成されている、請求項1に記載のワイヤ接合構造。
- [請求項3] 前記接合界面近傍の金濃化接合領域の占有率が、前記ボール圧縮部の最大幅に対して、合計で25%以上である、請求項1又は2に記載のワイヤ接合構造。
- [請求項4] 請求項1ないし請求項3のいずれか1項に記載のワイヤ接続構造に用いられる金被覆銀ボンディングワイヤであって、前記金被覆銀ボンディングワイヤは、銀を主成分として含む芯材と、前記芯材の表面に設けられ、金を主成分として含む被覆層とを有し、
- 前記金被覆銅ボンディングワイヤは、硫黄、テルル、セレン、ヒ素、及びアンチモンから選ばれる少なくとも1つの第15及び16族元素を含有し、
- 前記金被覆銅ボンディングワイヤにおいて、ワイヤ全体に対して、

金濃度が2.0質量%以上7.0質量%以下であり、第15及び16族元素濃度が合計で4質量ppm以上80質量ppm以下であり、

前記金被覆銀ボンディングワイヤは、アルミニウムを含む電極上にボール接合してボール圧縮部を形成したとき、前記電極と前記ボール圧縮部との接合界面近傍に、金濃度が、アルミニウムと金と銀の合計に対して5.0原子%以上となる金濃化接合領域が形成される、金被覆銅ボンディングワイヤ。

[請求項5] 前記金被覆銀ボンディングワイヤの比抵抗が $2.3\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 以下である、請求項4に記載の金被覆銀ボンディングワイヤ。

[請求項6] 前記金被覆銀ボンディングワイヤは、パラジウム(Pd)、白金(Pt)、金(Au)、ニッケル(Ni)、銅(Cu)、鉄(Fe)、カルシウム(Ca)、ロジウム(Rh)、ゲルマニウム(Ge)、ガリウム(Ga)、及びインジウム(In)から選ばれる少なくとも1つの元素を含む、請求項4又は請求項5に記載の金被覆銀ボンディングワイヤ。

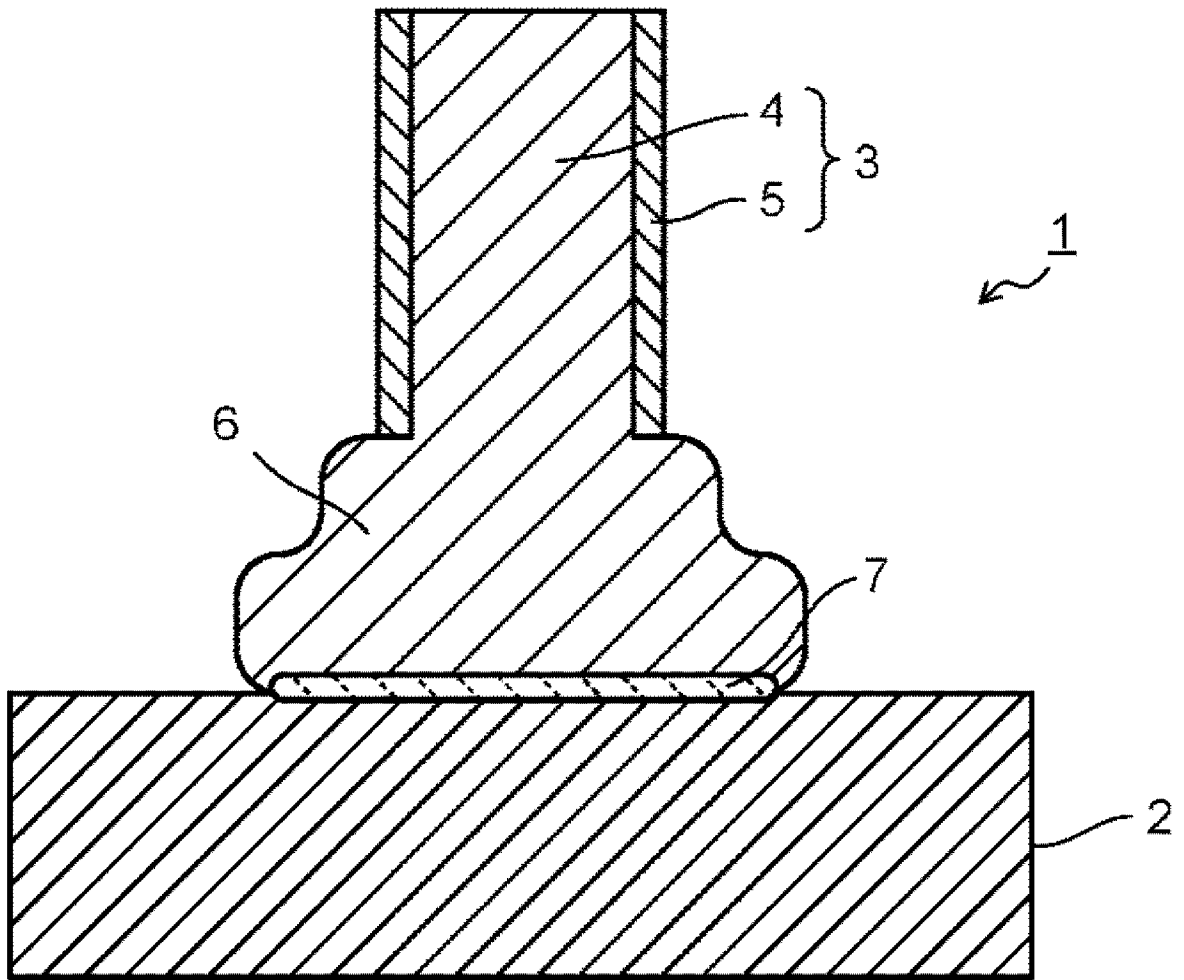
[請求項7] 少なくとも1つのアルミニウムを含む電極を有する1つ又は複数の半導体チップと、

リードフレーム又は基板と、

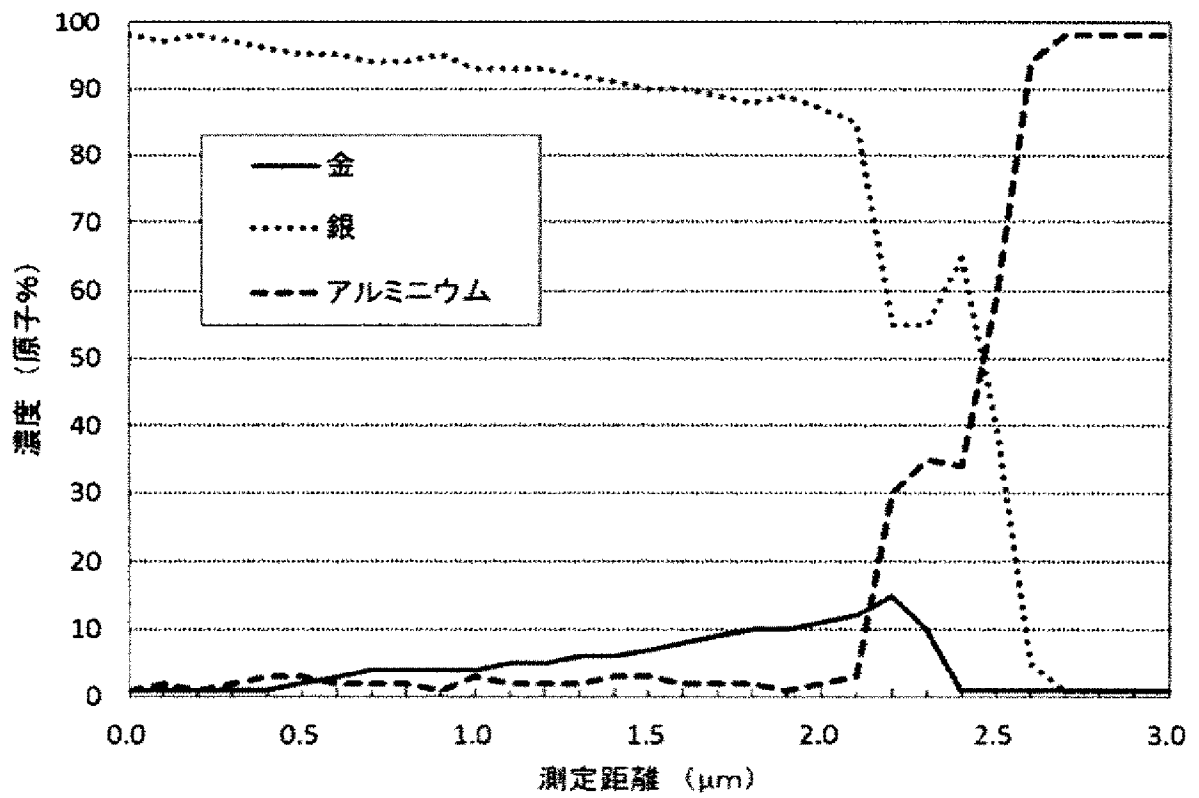
前記半導体チップの電極と前記リードフレームとの間、前記半導体チップの電極と前記基板の電極との間、及び前記複数の半導体チップの電極間から選ばれる少なくとも1つを、銀を主成分として含む芯材と、前記芯材の表面に設けられ、金を主成分として含む被覆層とを有するボンディングワイヤで接続した半導体装置であって、

前記電極と前記ボンディングワイヤとの接続構造は、前記電極に前記ボンディングワイヤの一端を接合するように設けられたボール圧縮部を備え、前記電極と前記ボール圧縮部との接合界面近傍に、金の濃度が金と銀とアルミニウムの合計量に対して5原子%以上の金濃化接合領域が設けられている、半導体装置。

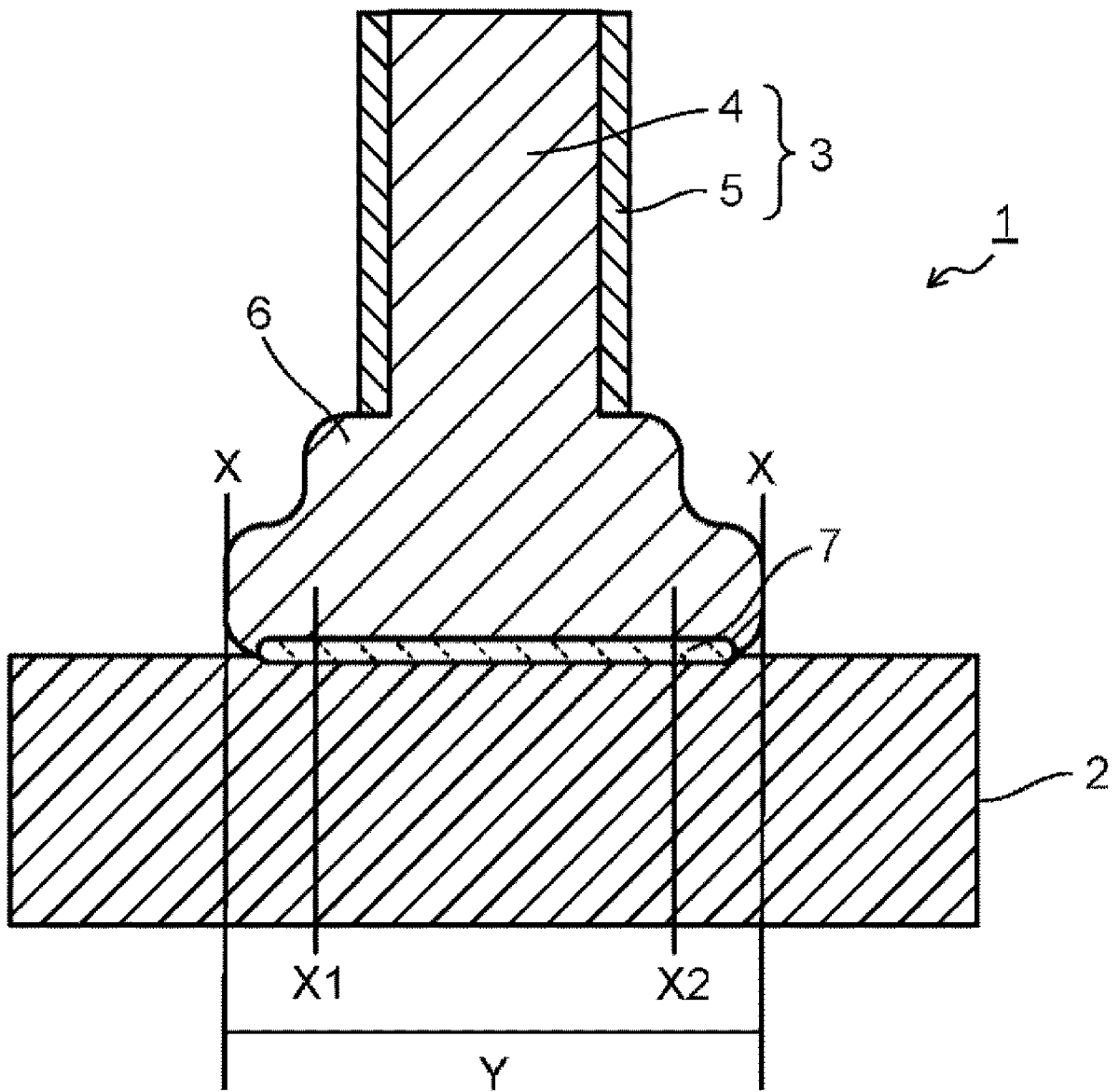
[図1]



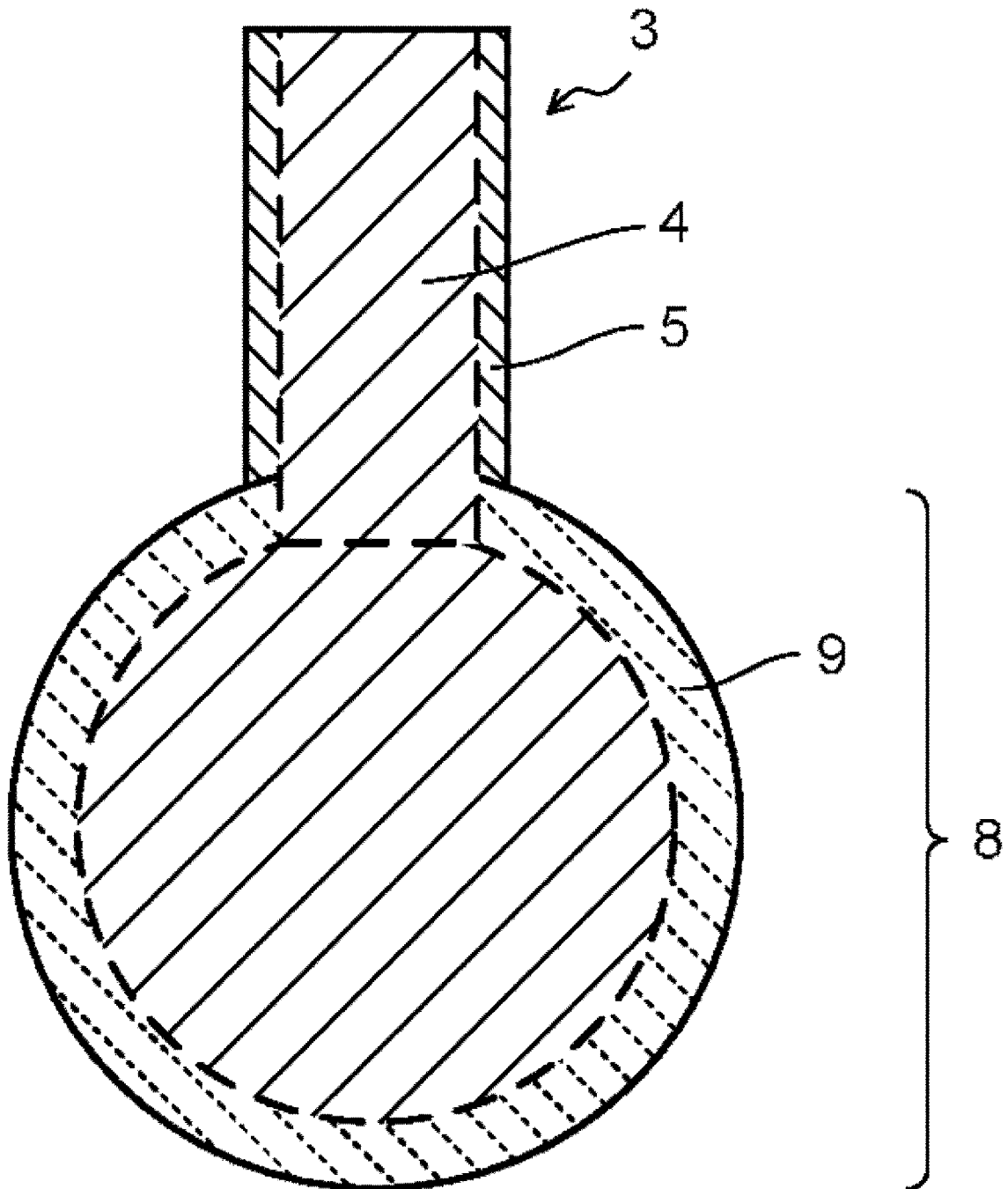
[図2]



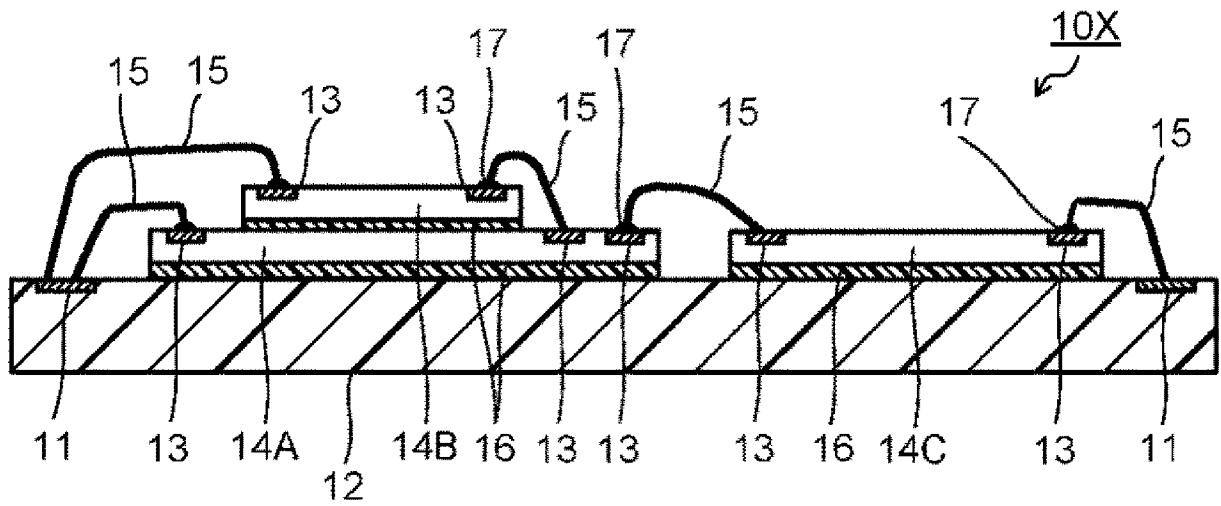
[図3]



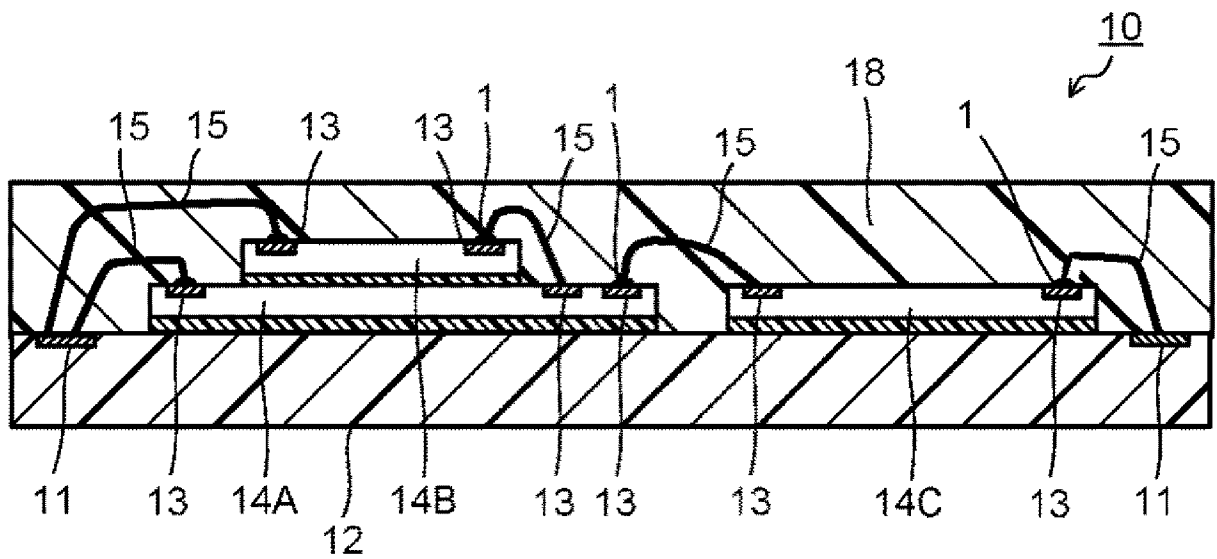
[図4]



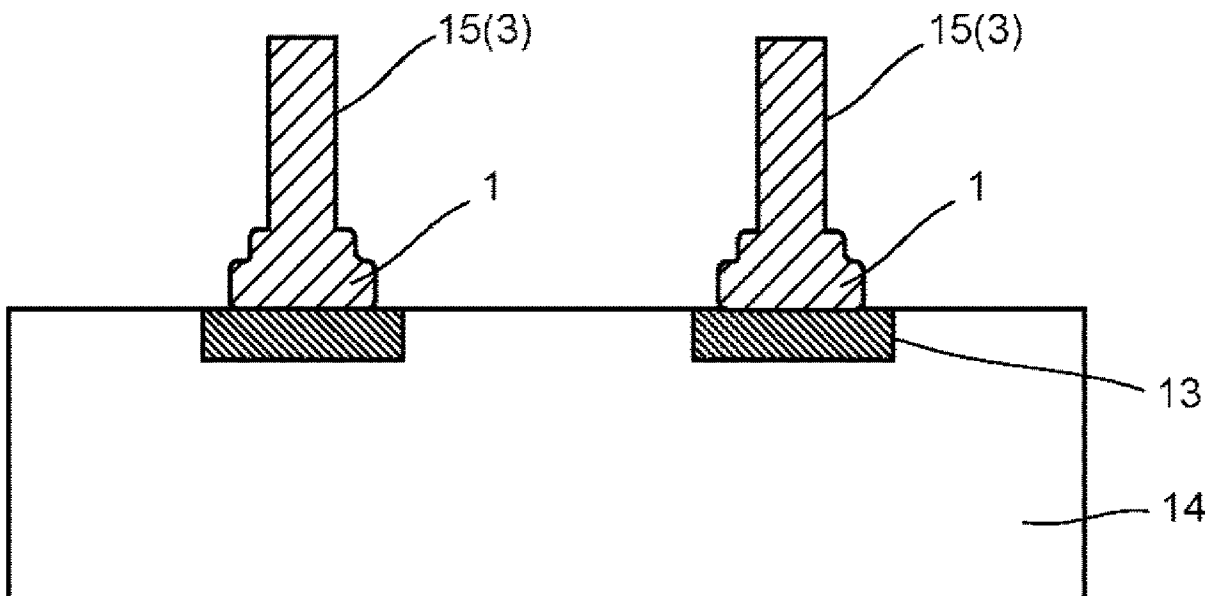
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/010119

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. C22C5/06 (2006.01) i, H01L21/60 (2006.01) i
 FI: H01L21/60 301F, H01L21/60 301A, C22C5/06 Z

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl. C22C5/06, H01L21/60

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2020
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2020
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|---|-----------------------|
| X Y | JP 64-17436 A (KOBE STEEL, LTD.) 20 January 1989, page 1, lower right column, line 10 to page 2, upper left column, line 1, page 2, lower right column, line 19 to page 4, lower left column, line 20, table 1, fig. 1, 2 | 7 1-7 |
| X Y | JP 64-17437 A (KOBE STEEL, LTD.) 20 January 1989, page 1, lower right column, lines 5-16, page 2, lower right column, line 15 to page 4, upper right column, line 20, all drawings | 7 1-7 |
| Y | JP 2001-196411 A (NOGE DENKI KOGYO KK) 19 July 2001, paragraphs [0013]-[0023], fig. 1 | 1-7 |

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
13.05.2020

Date of mailing of the international search report
26.05.2020

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORTInternational application No.
PCT/JP2020/010119

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| A | JP 2012-169374 A (TANAKA ELECTRONICS IND CO., LTD.) 06 September 2012 | 1-7 |
| A | WO 2017/187653 A1 (NIPPON MICROMETAL CORPORATION) 02 November 2017 | 1-7 |
| A | JP 2014-222725 A (TANAKA ELECTRONICS IND CO., LTD.) 27 November 2014 | 1-7 |
| A | JP 2016-29691 A (TANAKA ELECTRONICS IND CO., LTD.) 03 March 2016 | 1-7 |

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2020/010119

| Patent Documents referred to in the Report | Publication Date | Patent Family | Publication Date |
|--|------------------|--|------------------|
| JP 64-17436 A | 20.01.1989 | (Family: none) | |
| JP 64-17437 A | 20.01.1989 | (Family: none) | |
| JP 2001-196411 A | 19.07.2001 | (Family: none) | |
| JP 2012-169374 A | 06.09.2012 | US 2012/0263624 A1 WO 2012/108082 A1 TW 201233817 A SG 185347 A CN 103155130 A KR 10-2013-0141337 A | |
| WO 2017/187653 A1 | 02.11.2017 | JP 2017-212457 A US 2018/0374816 A1 KR 10-2018-0059951 A CN 108292612 A TW 201738391 A | |
| JP 2014-222725 A | 27.11.2014 | CN 104157625 A TW 201444005 A KR 10-2014-0134593 A | |
| JP 2016-29691 A | 03.03.2016 | CN 105321917 A TW 201604981 A | |

| A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） C22C 5/06(2006.01)i; H01L 21/60(2006.01)i FI: H01L21/60 301F; H01L21/60 301A; C22C5/06 Z | | |
|--|--|---|
| B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） C22C5/06; H01L21/60 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2020年 日本国実用新案登録公報 1996-2020年 日本国登録実用新案公報 1994-2020年 | | |
| 国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語） | | |
| C. 関連すると認められる文献 | | |
| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求項の番号 |
| X | JP 64-17436 A (株式会社神戸製鋼所) 20.01.1989 (1989-01-20) 第1頁右下欄10行-第2頁左上欄1行、第2頁右下欄19行-第4頁左下欄20行、第1表及び第1-2図 | 7 |
| Y | | 1-7 |
| X | JP 64-17437 A (株式会社神戸製鋼所) 20.01.1989 (1989-01-20) 第1頁右下欄5-16行、第2頁右下欄15行-第4頁右上欄20行及び図 | 7 |
| Y | | 1-7 |
| Y | JP 2001-196411 A (株式会社野毛電気工業) 19.07.2001 (2001-07-19) 段落[0013]-[0023]及び図1 | 1-7 |
| A | JP 2012-169374 A (田中電子工業株式会社) 06.09.2012 (2012-09-06) | 1-7 |
| A | WO 2017/187653 A1 (日鉄住金マイクロメタル株式会社) 02.11.2017 (2017-11-02) | 1-7 |
| A | JP 2014-222725 A (田中電子工業株式会社) 27.11.2014 (2014-11-27) | 1-7 |
| A | JP 2016-29691 A (田中電子工業株式会社) 03.03.2016 (2016-03-03) | 1-7 |
| <input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。 | | |
| * 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献 | | |
| 国際調査を完了した日 13.05.2020 | | 国際調査報告の発送日 26.05.2020 |
| 名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号 | | 権限のある職員（特許庁審査官） 安田 雅彦 5F 9447 電話番号 03-3581-1101 内線 3516 |

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2020/010119

| 引用文献 | 公表日 | パテントファミリー文献 | 公表日 |
|-------------------|------------|--|-----|
| JP 64-17436 A | 20.01.1989 | (ファミリーなし) | |
| JP 64-17437 A | 20.01.1989 | (ファミリーなし) | |
| JP 2001-196411 A | 19.07.2001 | (ファミリーなし) | |
| JP 2012-169374 A | 06.09.2012 | US 2012/0263624 A1 WO 2012/108082 A1 TW 201233817 A SG 185347 A CN 103155130 A KR 10-2013-0141337 A | |
| WO 2017/187653 A1 | 02.11.2017 | JP 2017-212457 A US 2018/0374816 A1 KR 10-2018-0059951 A CN 108292612 A TW 201738391 A | |
| JP 2014-222725 A | 27.11.2014 | CN 104157625 A TW 201444005 A KR 10-2014-0134593 A | |
| JP 2016-29691 A | 03.03.2016 | CN 105321917 A TW 201604981 A | |