

(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8月26日(26.08.2021)



(10) 国際公開番号

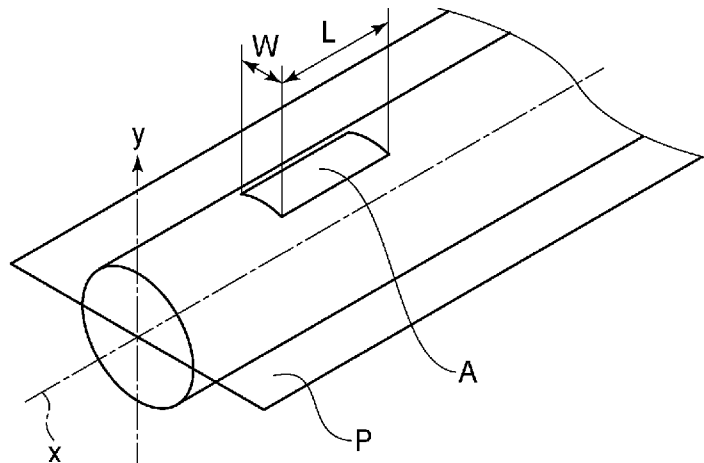
**WO 2021/166081 A1**

- (51) 国際特許分類:  
*H01L 21/60* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2020/006337
- (22) 国際出願日: 2020年2月18日(18.02.2020)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 日鉄ケミカル & マテリアル株式会社(NIPPON STEEL CHEMICAL & MATERIAL CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1030027 東京都中央区日本橋一丁目13番1号 Tokyo (JP). 日鉄マイクロメタル株式会社(NIPPON MICROMETAL CORPORATION) [JP/JP]; 〒3580032 埼玉県入間市大字狭山ヶ原158番地1 Saitama (JP).
- (72) 発明者: 小山田 哲哉 (OYAMADA Tetsuya); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 日本製鉄株式会社内 Tokyo (JP). 宇野智裕 (UNO Tomohiro); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 日本製鉄株式会社内 Tokyo (JP). 山田 隆 (YAMADA Takashi); 〒3580032 埼玉県入間市大字狭山ヶ原158-1 日鉄マイクロメタル株式会社内 Saitama (JP). 小田 大造 (ODA Daizo); 〒3580032 埼玉県入間市大字狭山ヶ原158-1 日鉄マイクロメタル株式会社内 Saitama (JP).

(54) Title: CU ALLOY BONDING WIRE FOR SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称: 半導体装置用Cu合金ボンディングワイヤ

[図3]



(57) Abstract: The purpose of the present invention is to provide a Cu alloy bonding wire for a semiconductor device, the bonding wire being capable of meeting performance levels required in high-density LSI applications. A Cu alloy bonding wire for a semiconductor device according to the present invention is characterized in that, from among crystal orientations of a wire surface, a <100> crystal orientation, a <110> crystal orientation, and a <111> crystal orientation that have an angular difference of 15 degrees or less relative to a direction perpendicular to one plane including the wire center axis are present in proportions of at least 3% and less than 27% in terms of average area ratio.

[続葉有]



WO 2021/166081 A1

(74) 代理人: 特許業務法人ドライト国際特許事務所(DORAIT IP LAW FIRM); 〒1600023 東京都新宿区西新宿六丁目15番1号 ラ・トゥール新宿411号 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))

---

(57) 要約: 高密度LSI用途における要求性能を満たすことができる半導体装置用Cu合金ボンディングワイヤを提供することを目的とする。本発明に係る半導体装置用Cu合金ボンディングワイヤは、ワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である<100>結晶方位、<110>結晶方位、<111>結晶方位の存在比率が、それぞれ平均面積率で3%以上27%未満であることを特徴とする。

## 明 細 書

発明の名称：半導体装置用Cu合金ボンディングワイヤ

### 技術分野

[0001] 本発明は、半導体素子上の電極と外部リード等の回路配線基板を接続するために利用される半導体装置用Cu合金ボンディングワイヤに関する。

### 背景技術

[0002] 現在、半導体素子上の電極と外部リードとの間を接合する半導体装置用ボンディングワイヤ（以下、ボンディングワイヤ）として、直径が15～50 $\mu$ m程度の細線が主に使用されている。ボンディングワイヤの接合方法は、超音波併用熱圧着方式が一般的であり、汎用ボンディング装置、ボンディングワイヤをその内部に通して接続に用いるキャピラリ冶具等が用いられる。ボンディングワイヤの接合プロセスは、ワイヤ先端をアーク加熱で加熱熔融し、表面張力によりボール（FAB：Free Air Ball）を形成した後、150～300 $^{\circ}$ Cの範囲内で加熱した半導体素子の電極上にこのボール部を圧着接合（以下、ボール接合）し、次にキャピラリからワイヤを繰り出しながらループを形成した後、外部リード側の電極にワイヤ部を圧着接合（以下、ウェッジ接合）することで完了する。

[0003] ボンディングワイヤの材料は、これまで金（Au）が主流であったが、近年では銅（Cu）への代替が進んでいる。Cuを用いたボンディングワイヤは、Cuの表面にPdやAu等の被覆層を有するもの（以下、被覆Cuワイヤ）と被覆層を有さないもの（以下、ベアCuワイヤ）に大別される。被覆Cuワイヤは、被覆層を設けることでCuの酸化を抑制し、接合性などの使用性能を向上させた点が特徴であり、高密度LSIを中心に使用されている。一方、ベアCuワイヤは、安価である利点を活かして、比較的要求性能の低いパワーデバイス用途を中心に使用されている。最近では、ベアCuワイヤの特性を向上させることにより、最先端の高密度LSIにもベアCuワイヤを適用しようとする試みがなされている。

[0004] しかしながら、ベアCuワイヤを最先端の高密度LSIに適用するためには改善すべき課題があった。その課題がループ直進性である。高密度LSIでは、実装の高密度化にともなう電極の小型化、狭ピッチ化が進んでいる。こうした実装の高密度化に対応するため、ボンディングワイヤを短い間隔で配線する技術が求められている。このとき、ループ部分が傾いたり、湾曲してしまうと隣接するワイヤ同士が接触して、短絡等の不良が発生してしまう。したがって、高密度LSIに用いるボンディングワイヤには、高いループ直進性が要求されている。ベアCuワイヤの場合、ウェッジ接合部の接合強度を得るために、超音波の出力を高くする傾向にあるが、超音波の影響を受けてループが湾曲してしまうことがあった。ベアCuワイヤのウェッジ接合では、キャピラリでワイヤを押し付けている間、スクラブと呼ばれるステージを低周波で振動させる動作を併用することが多い。スクラブはワイヤの変形を促進し、ウェッジ接合部の接合強度の改善に対して有効であるが、スクラブの振動によってループが湾曲して直進性が低下してしまうことがあった。また、高密度LSIで使用されるボンディングワイヤの直径は25 $\mu$ m以下の細い線径が主流であるが、線径が細くなるにしたがって、ループ部分の強度は低くなるため、ループ直進性を確保することがより困難となっていた。

[0005] 特許文献1には、導電性金属からなる芯材と、前記芯材の上に該芯材とは異なる金属を主成分とする表皮層とを有する半導体装置用ボンディングワイヤであって、表皮層の表面における結晶粒の平均サイズの、ワイヤ長手方向／円周方向のアスペクト比が3以上であることを特徴とするボンディングワイヤが開示されており、通常条件の3mmスパンにおいて、ループの直進性が良好であることが述べられている。

[0006] 特許文献2には、導電性金属からなる芯材と、前記芯材の上に芯材とは異なる金属を主成分とする表皮層とを有する半導体装置用ボンディングワイヤであって、ワイヤ表面における前記表皮層結晶粒のワイヤ円周方向の平均サイズaと、ワイヤ軸に垂直方向の断面である垂直断面における前記芯材結晶

粒の平均サイズ  $b$  との関係について、 $a/b \leq 0.7$  であることを特徴とする半導体装置用ボンディングワイヤが開示されており、ボール直上部のワイヤ倒れ（リーニング性）を改善できることが述べられている。

## 先行技術文献

## 特許文献

- [0007] 特許文献1：特開2011-91404号公報  
特許文献2：国際公開第2009/093554号

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

- [0008] 図1はループ直進性が高い場合、図2A、Bはループ直進性が低い場合を模式的に示した図である。この模式図はループ部分を真上から観察したものである。ループ直進性が高いループ1は、ループ部分に傾きや湾曲がなく、直線もしくは直線に近い形状となる。一方、ループ直進性が低い場合、例えばループ2のようにループ全体が一方向に傾いたり、ループ3のようにループの一部が左右に湾曲した形状となることが多い。
- [0009] 特許文献1、特許文献2は、いずれも導電性金属からなる芯材と、前記芯材の上に該芯材とは異なる金属を主成分とする表皮層とを有する半導体装置用ボンディングワイヤに関する技術である。この技術は、被覆構造を前提としており、ベアCuワイヤに対して、この技術が有効であるかは明らかではなかった。そこで、発明者らは、ベアCuワイヤにこれらの技術を用いてベアCuワイヤのループ直進性が改善し、高密度LSIに求められるループ直進性を満足できるか否かを調べた。
- [0010] 特許文献1を参考にして、ベアCuワイヤの表面における結晶粒の平均サイズのワイヤ長手方向／円周方向のアスペクト比が3以上とすることでループ直進性が改善できるか否かを検証した。ワイヤの表面における結晶粒の平均サイズのワイヤ長手方向／円周方向のアスペクト比が3以上であるベアCuワイヤを試作し、ループ直進性を評価した結果、高密度LSIに求められ

るループ直進性を満足することができなかった。この結果から、特許文献1に開示されている技術を参考にして、ベアCuワイヤの表面における結晶粒径の平均サイズを制御しても、高密度LSIに求められるループ直進性を満足することができないことが明らかとなった。

[0011] 特許文献2を参考にして、ベアCuワイヤの表面における結晶粒のワイヤ円周方向の平均サイズaと、ワイヤ軸に垂直方向の断面である垂直断面における結晶粒の平均サイズbとの関係が、 $a/b \leq 0.7$ とすることでループ直進性が改善できるか否かを検証した。ワイヤの表面における結晶粒のワイヤ円周方向の平均サイズaと、ワイヤ軸に垂直方向の断面である垂直断面における結晶粒の平均サイズbとの関係が、 $a/b \leq 0.7$ であるベアCuワイヤを試作し、ループ直進性を評価した結果、高密度LSIに求められるループ直進性を満足することができなかった。この結果から、特許文献2に開示されている技術を参考にして、ベアCuワイヤの表面における結晶粒の平均サイズを制御しても、高密度LSIに求められるループ直進性を満足することができないことが明らかとなった。

[0012] このように、特許文献1、特許文献2に開示された技術を参考にし、ベアCuワイヤに適用しても、最先端の高密度LSIに適用するために必要なループ直進性を満足することはできなかった。

[0013] 半導体素子と配線基板をボンディングワイヤで接続した後は、衝撃や温度、湿度等から保護するため周囲を樹脂で封止する。樹脂封止の方法は、エポキシ系樹脂などの熱硬化性樹脂を用いたトランスファー成形が主流となっている。トランスファー成形では、まず熱硬化性樹脂を160~190℃に加熱された金型内に装填し低粘度化させる。その後、リードフレームや樹脂基板を固定した金型内に樹脂を流し込み、目的とする形状に成形する。さらに金型内で数分間加熱し、最終的に樹脂を硬化させて成形が完了する。高密度LSIにおいて樹脂封止工程で問題となるのが、樹脂を金型内に流し込む際のループ部分の変形である。トランスファー成形では、基板の表面に沿って樹脂が流れていくため、樹脂がループ部分と接触し、ループ部分に変形する

ためループ直進性が失われ易い。このように、ベアCuワイヤを最先端の高密度LSIに適用するためには、樹脂封止工程において、ループ部分の変形をできる限り抑制し、高いループ直進性を維持する技術が求められていた。

[0014] ループ部分のうちボール直上の曲折部をネック部と称す。ネック部は、その他のループ部に比べて大きな曲げ変形を伴うため、曲げ変形に耐えられずにき裂などの損傷が発生する課題があった。最先端の高密度LSIにベアCuワイヤを適用するためには、ネック部の損傷を低減する技術が求められていた。

[0015] 最先端の高密度LSIでは、半導体製品の薄型化にともなって、ループ高さを低くすること（低ループ化）が要求されている。低ループ化のためには、ネック部を従来よりも大きく屈曲させる必要がある。このとき、ネック部には通常のループ高さの場合に比べて大きな負荷が掛かるため、ネック部の損傷がより起こり易い課題があった。したがって、最先端の高密度LSIにベアCuワイヤを適用するためには、低ループ化してもネック部の損傷を低減する技術が求められていた。

[0016] 最先端の高密度LSIでは、長時間使用しても、故障が発生せずに動作することが要求されている。こうした要求を受けて、ボンディングワイヤの各接合部における長期使用寿命の改善が求められていた。長期使用寿命を評価する方法として、一般に高温放置試験、高温高湿試験、熱サイクル試験などが行われる。最先端の高密度LSIでは、特に高温放置試験に求められる性能要件が厳しく、200℃の高温放置試験において500時間以上の長期使用寿命を満足することが求められている。ベアCuワイヤを用いた場合、ボール接合部において、ボールと接合相手のAl電極で剥離が発生し、電気的な接続が失われる課題があった。こうした剥離は、500時間未満で発生し、最先端の高密度LSIに要求される性能を満足することができなかった。したがって、最先端の高密度LSIにベアCuワイヤを適用するためには、高温放置試験におけるボール接合部の寿命(以下、ボール接合部寿命)を改善する技術が求められていた。

[0017] 最先端の高密度LSIでは、半導体素子上の電極の小型化が進んでいる。こうした電極の小型化に対応するため、ボール接合を行う際のボール変形挙動を制御する技術が求められている。ベアCuワイヤで課題となるのが、ボール接合時にボールの圧着形状(以下、ボール圧着形状)が花卉状に変形する不良である。こうした不良が発生すると、変形したボールの一部が電極外にはみ出し、隣接する電極に接触し短絡等を引き起こす原因となる。したがって、最先端の高密度LSIにベアCuワイヤを適用するためには、ボール圧着形状を電極の直上から観察した際に真円に近い形状に制御する技術が求められていた。

[0018] 本発明は、高密度LSI用途における要求性能を満たすことができる半導体装置用Cu合金ボンディングワイヤを提供することを目的とする。

#### 課題を解決するための手段

[0019] 本発明に係る半導体装置用Cu合金ボンディングワイヤは、ワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である<100>結晶方位、<110>結晶方位、<111>結晶方位の存在比率が、それぞれ平均面積率で3%以上27%未満であることを特徴とする。

#### 発明の効果

[0020] 本発明によれば、ループ直進性を改善できるので、高密度LSI用途における要求性能を満たすことができる。

#### 図面の簡単な説明

[0021] [図1]ループ直進性が高い場合のループ部分を真上からみた模式図である。  
[図2]ループ直進性が低い場合のループ部分を真上からみた模式図であり、図2Aは一方向に曲がった状態、図2Bは左右に曲がった状態の図である。  
[図3]測定領域の説明に供する斜視図である。

#### 発明を実施するための形態

[0022] 本実施形態のボンディングワイヤは、半導体装置用Cu合金ボンディング



ワイヤであって、ワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である $\langle 100 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の存在比率が、それぞれ平均面積率で3%以上27%未満であることを特徴とする。

[0023] (ボンディングワイヤ表面の結晶方位の決定方法)

本明細書におけるボンディングワイヤ表面の結晶方位の測定方法について説明する。本明細書において、ワイヤ表面の結晶方位とは、ワイヤ表面に存在するCuおよびCuを主体とする合金部分の結晶方位と定義する。ワイヤ表面の結晶方位の測定には、SEMに備え付けた、後方散乱電子線回折 (EBSD: Electron Backscattered Diffraction) 法を利用することができる。EBSD法は、試料に電子線を照射したときに発生する反射電子の回折パターンを検出器面上に投影し、その回折パターンを解析することによって、各測定点の結晶方位を決定する手法である。EBSD法によって得られたデータの解析には専用ソフト (TSLソリューションズ製 OIM analysis等) を用いることができる。本実施形態では、ボンディングワイヤを試料台に固定し、一方向からワイヤ表面に電子線を照射させて、結晶方位のデータを取得する。この方法を用いることにより、ワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対する結晶方位と、ワイヤ中心軸方向に対する結晶方位を決定することができる。

[0024] 例として、ワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して $\langle 100 \rangle$ 結晶方位の存在比率を算出する方法について説明する。 $\langle 100 \rangle$ 結晶方位の存在比率は、EBSD法による測定領域の面積に対して、前記方法により決定した $\langle 100 \rangle$ 結晶方位が占める面積の比率とする。

[0025] 本明細書において、 $\langle 100 \rangle$ 結晶方位とは、図3に示すように、ワイヤ表面の $\langle 100 \rangle$ 結晶方位のうちワイヤ中心軸xを含む1つの平面Pに垂直な方向yに対して角度差が15度以下のものと定義する。これは、前記角度

差が15度以下であれば、ボンディングワイヤの特性改善に有利な効果が得られるためである。ボンディングワイヤのワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸x方向に対して $\langle 110 \rangle$ 結晶方位と $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の存在比率についても、同様の方法を用いて算出することができる。

[0026] 本明細書において、特定の結晶方位の存在比率の値には平均面積率を用いる。平均面積率は、EBSD法によって少なくとも10箇所以上を測定して得られた存在比率の各値の算術平均とする。測定箇所の選択にあたっては、測定データの客観性を確保することが好ましい。その方法として、測定対象のボンディングワイヤから、測定用の試料をボンディングワイヤのワイヤ中心軸x方向に対して3~5m間隔で取得し、測定に供することが好ましい。測定領域Aは、SEMの画像上において、円周方向の長さWがワイヤの直径の25%以下、ワイヤ中心軸x方向の長さLが $40\mu\text{m}$ ~ $100\mu\text{m}$ であることが好ましい。

[0027] EBSD法により求めたワイヤ表面の結晶方位の存在比率は、本実施形態の作用効果であるループ直進性の改善効果と相関が強いことを確認した。ここで、ワイヤ表面は曲面であり、ワイヤの頂点（試料台に固定したワイヤの円周方向に対して最も高い位置）から円周方向に向かうにつれて、ワイヤ表面に垂直な方位からのずれが生じるが、上記方法による測定データが、ループ直進性の改善効果を示す実態と整合していると言える。これは、測定領域Aの長さWがワイヤの直径の少なくとも25%以下であれば、曲面を有するワイヤ表面のEBSDの測定領域内において、円周方向に対するワイヤ表面に垂直な方位のずれを許容でき、ループ直進性の改善効果が得られるためである。ワイヤ中心軸x方向に対して測定領域Aに下限を設ける理由は、長さLが $40\mu\text{m}$ 以上であれば測定データが試料の特性を十分に反映していると判断したためである。ワイヤ中心軸x方向に対して測定領域Aに上限を設ける理由は、長さLが $100\mu\text{m}$ 以下であれば解析を効率的に行うことができるためである。

[0028] ボンディングワイヤの表面には銅酸化膜や意図せず付着した不純物が存在

する場合がある。不純物としては、有機物、硫黄、窒素やその化合物などが挙げられる。これらが存在する場合も、その厚さが薄い場合や存在量が少ない場合には、EBSD法の測定条件を適正化することにより、ボンディングワイヤ表面の結晶方位が測定可能である。ボンディングワイヤ表面の銅酸化膜が厚い場合や不純物の付着量が多い場合には、CuおよびCu合金部分の結晶方位が測定できないことがある。この場合には、EBSD法を用いて測定を行う前に、アルカリ脱脂や酸洗浄、イオンスパッタ等によって、ボンディングワイヤの表面を処理することが有効である。

[0029] (ボンディングワイヤのワイヤ中心軸に対して垂直な断面の平均結晶粒径の測定方法)

本明細書におけるボンディングワイヤのワイヤ中心軸に対して垂直な断面の平均結晶粒径の測定方法について説明する。平均結晶粒径の測定には、EBSD法を用いることができる。結晶粒径は、EBSD法によって測定した方位差が15度以上の結晶粒界に囲まれた領域の面積から算出した円相当径と定義する。平均結晶粒径には、無作為に抽出したボンディングワイヤ5本について測定した結晶粒径の値の算術平均の値を用いる。ワイヤ中心軸に対して垂直な断面を露出させる方法としては、ボンディングワイヤを樹脂に埋め込んでから機械研磨する方法や、Arイオンビームによって加工する方法を用いることができる。

[0030] (ボンディングワイヤに含まれる元素の濃度分析方法)

ボンディングワイヤに含まれる元素の濃度分析には、ICP発光分光分析装置等を利用することができる。ボンディングワイヤの表面に炭素、硫黄などの汚染物の濃度が高い場合には、解析を行う前にボンディングワイヤの表面から1~2nmの領域をスパッタ等で除去してから濃度分析を行っても良い。その他の方法として、酸洗浄を用いる方法も有効である。

[0031] (ループ直進性の改善効果)

発明者らは、ループ直進性の支配因子を調査した結果、ワイヤ表面の結晶方位と相関が認められることを見出した。具体的には、ワイヤ表面に特定の

結晶方位が強く配向すると、特定の方向にループ全体が傾いたり、ループの一部が湾曲してしまっていた。この理由として、ワイヤ表面の塑性異方性が大きくなり、ループ部分に負荷がかかった際に、特定の方向に変形しやすいこと等が考えられる。このループ直進性の推定低下機構をもとに、発明者らはループ直進性の改善方法を鋭意検討した。その結果、ワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である $\langle 100 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の存在比率とループ直進性の間に強い相関があり、これらの結晶方位の存在比率を適正な範囲に制御することにより、ループ直進性を改善する効果が得られることを見出した。具体的には、本実施形態のボンディングワイヤを用いて接合を100回実施し、ループを光学顕微鏡によって観察した結果、ループ全体が傾いたり、ループの一部が湾曲している場所が著しく減少し、高いループ直進性が得られていることを確認した。

[0032] 前記 $\langle 100 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の存在比率のうち、1つ以上の結晶方位の存在比率が平均面積率で5%未満、もしくは25%以上の場合、特定の方向にループが傾いてしまう場合がある。上記存在比率が平均面積率で3%未満、もしくは27%以上の場合、特定の方向にループが傾いてしまい、ループ直進性の改善効果が不十分であるため実用に適さない。これは、前記結晶方位のうち、ある結晶方位が強く配向することで、ループ部分のワイヤ表面の塑性異方性が大きくなったことが影響していると考えられる。

[0033] (樹脂封止後も高いループ直進性を維持する効果の改善)

本実施形態のボンディングワイヤは、さらにワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である $\langle 100 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の存在比率の合計が、15%以上50%未満であることが好ましい。これにより、樹脂封止工程を経た後も高いループ直進性を維持する効果が得られる。具体的には、ボンディングワイヤを接合後、トランスファー成形により樹脂封

止し、軟X線装置を用いてループを観察した結果、高いループ直進性が維持されていることを確認した。これは、ワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である $\langle 100 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の存在比率を、それぞれ平均面積率で3%以上27%未満とすることに加えて、これらの結晶方位の存在比率の合計を適正な範囲に制御することで、ループ部分の塑性異方性を低減する効果を相乗的に高めることができ、樹脂封止後も高いループ直進性を維持する効果が高められたためと考えられる。

[0034] 前記存在比率の合計が15%未満の場合、或いは50%以上の場合、樹脂封止後に高いループ直進性を維持する効果が十分ではなかった。前記存在比率の合計が15%未満の場合、 $\langle 100 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位以外の結晶方位が優先的に成長する場合があります、樹脂封止後も高いループ直進性を維持する効果を安定的に高めることができなかつたと考えられる。前記存在比率の合計が50%以上の場合、 $\langle 100 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位が支配的となるため、樹脂封止後も高いループ直進性を維持する効果を十分に高めることができなかつたと考えられる。

[0035] (樹脂封止後も高いループ直進性を維持する効果の大きな改善)

本実施形態のボンディングワイヤは、さらにワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である $\langle 100 \rangle$ 結晶方位の存在比率をX、 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位の存在比率をY、 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の存在比率をZとしたとき、 $X + Y > Z$ であることが好ましい。これにより、樹脂封止後も高いループ直進性を維持する効果がさらに高められる。この理由として、ワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である $\langle 100 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の存在比率を、それぞれ平均面積率で3%以上27%未満とすること、これらの結晶方位の存在比率の合計を、15%以上50%未満とすることに加えて、前記X

、Y、Zが $X + Y > Z$ の関係を満足することによって、ループ部分の塑性異方性を更に低減することができ、ループ直進性を改善する効果が相乗的に高められたためと推定される。明確な理由は明らかではないが、前記 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位と $\langle 110 \rangle$ 結晶方位の合計存在比率の方が、前記 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の存在比率に比べて、ループ部分の異方性を低減させる効果が高いためと考えられる。

[0036] 前記X、Y、Zが、 $X + Y \leq Z$ である場合は、樹脂封止後も高いループ直進性を維持する効果がさらに高められることは少ない。

[0037] (樹脂封止後も高いループ直進性を維持する効果のより大きな改善)

本実施形態のボンディングワイヤは、さらにワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である $\langle 121 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 123 \rangle$ 結晶方位の存在比率が、平均面積率でそれぞれ15%未満であることが好ましい。これにより、樹脂封止後も高いループ直進性を維持する効果がより大きく高められる。この理由として、ワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である $\langle 100 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の存在比率を、それぞれ平均面積率で3%以上27%未満とすること、これらの結晶方位の存在比率の合計を、15%以上50%未満とすること、前記X、Y、Zが $X + Y > Z$ の関係を満足することに加えて、前記 $\langle 121 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 123 \rangle$ 結晶方位の存在比率をそれぞれ15%未満とすることによって、ループ部分の塑性異方性を更に低減することができ、樹脂封止後もループ直進性を維持する効果が相乗的に高められたためと推定される。

[0038] 前記 $\langle 121 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 123 \rangle$ 結晶方位の存在比率が15%以上の場合には、ループ部分の塑性異方性を更に低減する効果が不十分であり、樹脂封止工程を経た後も高いループ直進性を維持する効果がより大きく改善する効果は不十分である。

[0039] (ネック部損傷の低減)

本実施形態のボンディングワイヤは、さらにワイヤ中心軸に対して垂直な断面における平均結晶粒径が $0.4\ \mu\text{m}$ 以上 $2.1\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。これにより、ネック部の損傷を低減することができる。これは、平均結晶粒径を $0.4\ \mu\text{m}$ 以上 $2.1\ \mu\text{m}$ 以下としたことによって、ネック部の損傷の原因となる曲げ変形に対する塑性変形能が適正な範囲に制御されたためと考えられる。ネック部は、ボール形成の際にアーク入熱の影響を受けた部分（以下、熱影響部）に相当する。熱影響部の結晶粒径は、アーク入熱によって粗大化するが、ボンディングワイヤの平均結晶粒径を予め制御することによって、ネック部の結晶粒径の制御に有効であったと考えられる。

[0040] 前記平均結晶粒径が $0.4\ \mu\text{m}$ 未満の場合、或いは $2.1\ \mu\text{m}$ よりも大きい場合は、ネック部損傷の低減効果が十分ではない。前記平均結晶粒径が $0.4\ \mu\text{m}$ 未満の場合は、ネック部の曲げ部分にき裂の発生が認められた。これは、ネック部の平均結晶粒径が微細化して、曲げ変形に対する変形抵抗が高くなりすぎたこと等が原因と考えられる。前記平均結晶粒径が $2.1\ \mu\text{m}$ よりも大きい場合は、ネック部が過剰に変形してワイヤが折れる等の損傷が認められた。これは、ネック部の平均結晶粒径が粗大化して、曲げ変形に対する変形抵抗が不足したこと等が原因と考えられる。

[0041] （低ループ形成時のネック部損傷の低減）

本実施形態のボンディングワイヤは、さらにワイヤ中心軸に平行な方向の断面における結晶方位のうち、ワイヤ中心軸方向に対して角度差が $15$ 度以下である $\langle 111 \rangle$ 結晶方位と $\langle 100 \rangle$ 結晶方位の存在比率の合計が、平均面積率で $25\%$ 以上 $60\%$ 未満であることが好ましい。これにより、低ループ形成時においてもネック部分の損傷を低減する効果を得ることができる。これは、明確な理由は明らかではないが、前記 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位と $\langle 100 \rangle$ 結晶方位がネック部の曲げ変形に対する変形能の制御に対する影響が大きく、これらの存在比率の合計を適正に制御することで、ネック部の曲げ変形に対する塑性変形能を適正に制御できたためと考えられる。

[0042] 前記 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位と $\langle 100 \rangle$ 結晶方位の存在比率の合計が、平均

面積率が25%未満の場合、或いは60%以上の場合は、低ループ時のネック部損傷を抑制する効果が十分ではない。前記存在比率の合計が25%未満の場合、ネック部が過剰に変形してワイヤが折れ曲がる等の損傷が認められた。これは、曲げ変形に対する変形抵抗が不足したこと等が原因と考えられる。前記存在比率の合計が60%以上の場合は、ネック部の曲げ部分にき裂の発生が認められた。これは、曲げ変形に対する変形抵抗が高くなりすぎたこと等が原因と考えられる。

[0043] (高温放置試験におけるボール接合部寿命の改善)

本実施形態のボンディングワイヤは、さらにNi、Pd、Pt、Auの1種以上を総計で0.01質量%以上1.5質量%以下含み、残部がCuおよび不可避不純物であることが好ましい。これにより、200℃の高温放置試験におけるボール接合部寿命を500時間以上に改善することができる。この理由は、Ni、Pd、Pt、AuがボールとAl電極の界面における剥離発生の原因となるCu-Al系金属間化合物の成長速度を低下させる効果等によるものと考えられる。前記元素の濃度が0.01質量%未満の場合は、200℃の高温放置試験におけるボール接合部寿命を改善する効果が十分ではない。前記元素の濃度が1.5質量%を超える場合は、ボールの硬度が上昇して、金属間化合物の形成が不均一になるため、200℃の高温放置試験におけるボール接合部寿命の改善効果が十分ではない。

[0044] (ボール圧着形状不良の抑制)

本実施形態のボンディングワイヤは、さらにP、In、Ga、Ge、Agの1種以上を総計で0.001質量%以上0.75質量%以下含み、残部がCuおよび不可避不純物であることが好ましい。これにより、ボール圧着形状が、花卉状となる不良を抑制する効果が得られる。このような効果が得られた理由は、ボールを構成する結晶粒が微細化されて、等方的な変形が促進されたためと推定される。前記濃度が0.001質量%未満の場合は、結晶粒を微細化する効果が不足するため、上記の効果が十分ではない。前記濃度が0.75質量%を超えるとボール内部での元素の偏析が顕著になり、ボー



ルを構成する結晶粒のばらつきが増加するため、上記の効果が十分ではない。

[0045] (ボンディングワイヤの製造方法)

本実施形態の半導体装置用ボンディングワイヤの製造方法について説明する。

(銅合金の作製方法)

まず、Cuの純度が4N～6N（Cu濃度：99.99質量%以上99.9999質量%以下）である高純度銅を原料とし、添加する元素と一緒に溶解することにより、銅合金のインゴット（鑄塊）を作製する。銅合金作製時には、銅と高純度の添加成分を直接溶解して合金化する方法や、銅に添加元素を3～5質量%程度含有する母合金を予め作製しておき、銅と母合金を溶解して合金化する方法等を用いることができる。母合金を利用する手法は、低濃度で元素分布を均一化する場合に有効である。溶解には、アーク溶解炉、高周波溶解炉等を利用することができる。大気中からのO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>等のガスの混入を防ぐために、真空雰囲気あるいはArやN<sub>2</sub>等の不活性雰囲気中で溶解を行うことが好ましい。インゴットの表面は、酸化物や汚れを除去するために酸洗浄、アルコール洗浄を行い、その後乾燥させることが好ましい。

[0046] (加工、熱処理方法)

製造した銅合金のインゴットは、まず圧延や鍛造加工により線状に加工する。次いで、引抜加工により製品となる最終線径まで細く加工していくことが好ましい。引抜加工には、ダイヤモンドコーティングされたダイスを複数個セットできる連続伸線装置を用いることができる。連続伸線の際は、ダイスの磨耗およびワイヤの表面疵の低減を目的として、潤滑液を使用することが好ましい。最終線径に到達する前段階の中間線径では、引抜加工の途中段階で、ひずみ取り等を目的として熱処理を行う。本明細書では、中間線径で行う熱処理を中間熱処理と称す。中間熱処理後のワイヤは製品として使用する最終線径まで引抜加工を行う。本明細書では、中間熱処理を行う線径から最終線径まで引抜加工を行う工程を最終引抜加工と称す。最終線径では、ボ

ンディングワイヤを再結晶させて機械的特性を調整するための熱処理を行う。本明細書では、最終線径で行う熱処理を最終熱処理と称す。中間熱処理および最終熱処理は、ワイヤを連続的に掃引しながら熱処理を行う方法を用いることができる。なお、ボンディングワイヤ表面の酸化をできるだけ抑制する目的から、熱処理時はArガスやN<sub>2</sub>ガスを還流させた不活性雰囲気中で行うことが好ましい。さらに、不活性雰囲気中に、還元性のガス成分としてH<sub>2</sub>を数%含むことも有効である。

[0047] (ワイヤ表面の結晶方位の制御方法)

ワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である<100>結晶方位、<110>結晶方位、<111>結晶方位の存在比率を、それぞれ平均面積率で3%以上27%未満に制御する方法の一例について説明する。

[0048] 前記<100>結晶方位、<110>結晶方位、<111>結晶方位の存在比率を制御するためには、例えば、中間熱処理条件、最終引抜加工条件、最終熱処理条件を制御することが有効である。この理由については、以下のように考えられる。最終引抜加工後の最終熱処理によって、ワイヤ表面では再結晶や粒成長が起こる。ここで、再結晶によってどのような結晶方位を持った結晶粒が生成するのか、どの結晶方位を持った結晶粒がどの程度粒成長するのかは、加工ひずみ量、最終熱処理の温度や時間などの影響を受ける。その一例として、引抜加工によって特定の結晶方位を持つ再結晶核を発生させて、その核を特定の条件で熱処理することによって優先的に成長させる方法が挙げられる。再結晶核の形成に影響を及ぼす因子の一つとして、加工ひずみ量が考えられる。ボンディングワイヤの製造工程で導入される加工ひずみ量は、圧延や鍛造などでも導入することができるが、加工ひずみ量を安定的に制御するためには、複数の加工工程を組み合わせるよりも最終引抜加工のみで制御することが好ましい。そのためには、中間熱処理を行うことが有効となる。加工ひずみ量は、中間熱処理を回復や再結晶が起こる温度以上で一定時間以上行えば、十分低減することができる。したがって、中間熱処理を

適切な線径で行うことによって、最終熱処理を行う段階で蓄積される加工ひずみ量は最終引抜加工によって材料に導入される加工ひずみ量のみを考慮すればよく、結晶方位を安定的に制御することが可能となる。

[0049] このような考え方にに基づき、中間熱処理、最終引抜加工、最終熱処理の制御方法について説明する。中間熱処理は、630℃以上750℃未満で、0.05秒以上1.5秒未満とすることが有効である。中間熱処理の温度が630℃未満の場合や熱処理時間が0.05秒未満の場合は、加工ひずみ量を低減する効果が十分得られず、前記<100>結晶方位、<110>結晶方位、<111>結晶方位の存在比率を安定して制御することができない。中間熱処理の温度が750℃以上の場合や熱処理時間が1.5秒以上の場合は、結晶粒が粗大化して、ワイヤが軟質化し過ぎてしまい、その後の最終引抜加工で断線の発生頻度が増加するため実用に適さない。

[0050] 最終引抜加工で導入される加工ひずみ量は、次式で定義される最終引抜加工の加工率と正の相関を持つと考えられる。

$$[0051] P_f = \{ (R_m^2 - R_f^2) / R_m^2 \} \times 100$$

$P_f$  : 最終引抜加工の加工率

$R_m$  : 中間熱処理を行ったワイヤの直径 (mm)、 $R_f$  : 最終熱処理を行ったワイヤの直径 (mm)

[0052] 最終引抜加工の加工率は、57%以上87%未満であることが有効である。最終引抜加工の加工率が57%未満の場合は、前記<100>結晶方位、<110>結晶方位、<111>結晶方位のいずれかの存在比率が3%未満になってしまう。これは、最終引抜加工における加工ひずみ量が不足し、上記の結晶方位が成長するために必要な再結晶核の発生が不十分であったこと等が理由と考えられる。最終引抜加工の加工率が87%以上の場合は、前記<110>結晶方位が27%以上になってしまう。これは、最終引抜加工における加工ひずみ量が過剰となり、前記<100>結晶方位の再結晶核が多く発生したこと等が理由と考えられる。

[0053] 最終熱処理は、660℃以上750℃未満、0.05秒以上1.5秒未満

とすることが有効である。最終熱処理の温度が680℃未満の場合や熱処理時間が0.05秒未満の場合は、前記<110>結晶方位の存在比率が27%以上となってしまふ。最終熱処理の温度が750℃以上の場合や熱処理時間が1.5秒以上の場合は、ワイヤが軟質化し過ぎてしまい十分なワイヤ接合性が得られない。

[0054] 続いて、ワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である<100>結晶方位、<110>結晶方位、<111>結晶方位の存在比率の合計を、15%以上50%未満に制御する方法の一例について説明する。前記<100>結晶方位、<110>結晶方位、<111>結晶方位の存在比率の合計を制御するためには、最終引抜加工と最終熱処理の間に特定の条件で第一最終前熱処理を行うことが有効である。すなわち、ワイヤの製造工程は、順番に中間熱処理、最終引抜加工、第一最終前熱処理、最終熱処理とすることが有効である。

[0055] 第一最終前熱処理は、550℃以上680℃未満で、0.05秒以上0.5秒未満とすることが有効である。これは、第一最終前熱処理を適正な条件範囲で行うことにより、最終熱処理で形成される結晶方位の存在比率を制御できるためである。第一最終前熱処理の温度が550℃未満の場合や熱処理時間が0.05秒未満の場合は、前記<100>結晶方位、<110>結晶方位、<111>結晶方位の存在比率の合計が50%以上となってしまふ。第一熱処理の温度が680℃以上の場合や熱処理時間が0.5秒以上の場合には、前記<100>結晶方位、<110>結晶方位、<111>結晶方位の存在比率の合計が15%未満となってしまふ。

[0056] 続いて、ワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である<100>結晶方位の存在比率をX、<110>結晶方位の存在比率をY、<111>結晶方位の存在比率をZとしたとき、 $X + Y > Z$ の関係を満足するようにX、Y、Zを制御する方法の一例について説明する。前記X、Y、Zが $X + Y > Z$ を満足するためには、最終引抜加工と第一最終前熱処理の間に特定の条件で第二最終前熱

処理を行うことが有効である。すなわち、ワイヤの製造工程は、順番に中間熱処理、最終引抜加工、第二最終前熱処理、第一最終前熱処理、最終熱処理とすることが有効である。

[0057] 第二最終前熱処理は、 $450^{\circ}\text{C}$ 以上 $550^{\circ}\text{C}$ 未満、 $0.05$ 秒以上 $0.5$ 秒未満とすることが有効である。これは、第二最終前熱処理を適正な条件範囲で行うことにより、最終熱処理によって前記 $\langle 100 \rangle$ 結晶方位と $\langle 110 \rangle$ 結晶方位が増加し、結果として $X+Y$ の値が増加するためである。第二最終前熱処理の温度が $450^{\circ}\text{C}$ 未満の場合や熱処理時間が $0.05$ 秒未満の場合は、前記 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ が $X+Y>Z$ を満足することができない。これは $X+Y$ の値を増加させる効果が得られないためであると考えられる。第二最終前熱処理の温度が $550^{\circ}\text{C}$ 以上、 $0.5$ 秒以上の場合もまた、前記 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ が $X+Y>Z$ を満足することができない。これは、前記 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位が、 $\langle 100 \rangle$ 結晶方位や $\langle 110 \rangle$ 結晶方位に比べて、成長しやすいためと考えられる。

[0058] 続いて、ワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が $15$ 度以下である $\langle 121 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 123 \rangle$ 結晶方位の存在比率を、平均面積率でそれぞれ $15\%$ 未満に制御する方法の一例を示す。前記 $\langle 121 \rangle$ 結晶方位と $\langle 123 \rangle$ 結晶方位の存在比率を、平均面積率でそれぞれ $15\%$ 未満に制御するためには、最終熱処理工程において $A_r$ ガスを還流させた還流炉内でワイヤを送りながら焼鈍することが有効である。これは、熱伝導率が比較的低い $A_r$ ガスを還流しながら熱処理を行うことにより、ワイヤの冷却速度が遅くなり、前記 $\langle 121 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 123 \rangle$ 結晶方位の成長が抑制されたことが原因と考えられる。最終熱処理工程において、 $A_r$ 以外の不活性ガスとして、 $N_2$ がコストや安全性の観点から有望であるが、 $A_r$ ガスよりも熱伝導率が高いため、前記 $\langle 121 \rangle$ 結晶方位と $\langle 123 \rangle$ 結晶方位の存在比率を、平均面積率でそれぞれ $15\%$ 未満に制御する効果は得られない。

[0059] 続いて、ワイヤ中心軸に対して垂直な断面における平均結晶粒径が $0.4$

$\mu\text{m}$ 以上2.1  $\mu\text{m}$ 以下に制御する方法の一例を示す。前記平均結晶粒径を、0.4  $\mu\text{m}$ 以上2.1  $\mu\text{m}$ 以下に制御するためには、最終引抜加工時のワイヤ送り速度を750 m/min以上1200 m/min以下とすることが有効である。これは、最終引抜加工のワイヤ送り速度を特定の範囲に設定することで、加工ひずみ量が制御でき、その後の最終熱処理工程における再結晶挙動や粒成長挙動が変化したためと考えられる。最終引抜加工時のワイヤ送り速度が750 m/min未満の場合は、前記平均結晶粒径が2.1  $\mu\text{m}$ よりも大きくなってしまふ。これは、材料内部に蓄積される加工ひずみ量が少なかったことが原因と考えられる。最終引抜加工時のワイヤ送り速度が1200 m/minよりも大きい場合は、前記平均結晶粒径が0.4  $\mu\text{m}$ 未満となってしまう。

[0060] 続いて、ワイヤ中心軸に平行な方向の断面における結晶方位のうち、ワイヤ中心軸に対して角度差が15度以下である $\langle 111 \rangle$ 結晶方位と $\langle 100 \rangle$ 結晶方位の存在比率の合計を、平均面積率で25%以上60%未満に制御する方法の一例を示す。前記 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位と $\langle 100 \rangle$ 結晶方位の存在比率の合計を、平均面積率で25%以上60%未満に制御するためには、最終引抜加工時のダイス1個あたりの加工率を18%以上21%未満とすることが有効である。これは、ダイス1個あたりの加工率を変化させることによって、ワイヤ表面のワイヤ中心軸方向の結晶方位の発達に係るダイスとワイヤの界面に発生する摩擦力を制御することができるためと考えられる。ここで、ダイス1個あたりの加工率とは、加工前のワイヤのワイヤ中心軸に対して垂直な方向の断面積に対する、加工によって減少したワイヤの前記方向の面積の比率を、百分率で表したものである。ダイス1個あたりの加工率が18%未満の場合は、前記 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位と $\langle 100 \rangle$ 結晶方位の存在比率の合計が25%未満となってしまう。ダイス1個あたりの加工率が21%以上の場合は、前記 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位と $\langle 100 \rangle$ 結晶方位の存在比率の合計が60%以上となってしまう。

[0061] 続いて、ボンディングワイヤにNi、Pd、Pt、Au、P、In、Ga

、Ge、Agを添加する方法の一例を示す。銅に合金元素を添加して合金化する場合には、銅と高純度の添加成分を直接溶解して合金化する方法と、銅に添加元素を3～5質量%程度含有する母合金を予め作製しておき、銅と母合金を溶解して合金化する方法などを用いることができる。母合金を利用する手法は、低濃度で元素分布を均一化する場合に有効である。

### 実施例

- [0062] ボンディングワイヤの作製方法について説明する。原材料となるCuは純度が99.99質量%以上で残部が不可避不純物からなるものを用いた。ボンディングワイヤが、添加元素としてNi, Pd, Pt, Au, P, In, Ga, Ge, Agを含む場合には、Cuとこれらの元素を高周波溶解炉によって溶解させ合金化した。不可避不純物元素以外の添加元素の合計の狙い濃度が0.5質量%未満の場合には、添加元素を高濃度で含んだCu合金を使用して、目的とする濃度の合金を製造した。溶解時の雰囲気は、酸素等の不純物の混入を防ぐためAr雰囲気とした。溶解で製造したインゴットの形状は、直径が約5mmの円柱状とした。
- [0063] その後、インゴットに対して、鍛造加工、引抜加工を行い、中間線径のワイヤを作製した。中間線径のワイヤの線径は、最終線径から逆算して、最終引抜加工の加工率が57%以上87%未満となる線径とした。その後、中間線径のワイヤに対して、中間熱処理を630℃以上750℃未満、0.05秒以上1.5秒未満の条件で行った。続いて、最終引抜加工を、引抜加工率が57%以上87%未満となる条件で行い、 $\Phi 20\mu\text{m}$ の線径のワイヤを製造した。その後、最終熱処理を660℃以上750℃未満、0.05秒以上1.5秒未満の条件で行った。また、一部のサンプルに関しては、最終熱処理の前に、第一最終前熱処理、第二最終前熱処理を実施した。第一最終前熱処理の条件は、550℃以上680℃未満、0.05秒以上0.5秒未満とした。第二最終前熱処理の条件は、450℃以上550℃未満、0.05秒以上0.5秒未満とした。最終熱処理時の雰囲気はAr雰囲気、もしくはN<sub>2</sub>雰囲気とした。最終引抜加工時のワイヤ送り速度は600m/min以上1

300 m/min以下の範囲で変化させた。最終引抜加工時のダイス1個あたりの加工率は、16%以上23%以下の範囲で変化させた。

[0064] (評価方法：ボンディングワイヤに含まれる元素の濃度分析)

本実施形態のボンディングワイヤに含まれる元素の濃度分析には、ICP発光分光分析装置を用いた。

[0065] (評価方法：ワイヤ表面の結晶方位解析)

本実施形態のボンディングワイヤのワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である<100>結晶方位、<110>結晶方位、<111>結晶方位、<121>結晶方位、<123>結晶方位の存在比率は、EBSD法によって測定したデータから算出した。前記存在比率は、ワイヤを約3m間隔で5本取得して測定した値の平均値とした。測定領域は、円周方向に対し5μm(ワイヤ直径の25%)、ワイヤ中心軸方向に対し40μmの直線に囲まれる領域とした。さらに前記測定領域は、試料台に固定したサンプルの円周方向に対して最も高い位置が含まれる領域とした。

[0066] (評価方法：ワイヤ中心軸に垂直な断面における平均結晶粒径解析)

本実施形態のボンディングワイヤのワイヤ中心軸に垂直な断面における平均結晶粒径は、ワイヤ断面をAryonビームで加工して露出させた後、EBSD法によって測定したデータから算出した。ワイヤを約3m間隔で5本取得して、各ワイヤを測定した値の平均値とした。測定領域は、ワイヤ中心軸に垂直な断面がすべて含まれる領域とした。

[0067] (評価方法：ワイヤ中心軸に平行な方向の断面における結晶方位解析)

本実施形態のワイヤ中心軸に平行な方向の断面におけるボンディングワイヤのワイヤ中心軸方向に対して角度差が15度以下である<111>結晶方位と<100>結晶方位の存在比率の合計は、ワイヤ断面をAryonビームで加工して露出させた後、EBSD法によって測定したデータから算出した。前記存在比率の合計は、ワイヤを約3m間隔で10本取得して、各ワイヤを測定した値の平均値とした。測定領域は、ワイヤ中心軸方向が80μm



、直径方向が $20\ \mu\text{m}$ の長方形の領域とした。さらに前記測定領域は、直径方向に対してワイヤの両端が含まれる領域とした。

[0068] (ループ直進性の評価方法)

ループ直進性は、ボンディングワイヤを接合した際に、直進性が低いループが発生した頻度によって評価した。ループ部分の観察には光学顕微鏡を用いた。ループ長さは $7.0\ \text{mm}$ 、ループ高さは $0.2\ \text{mm}$ とした。ループの直上からループ部分を観察し、ボール接合部とワイヤ接合部を直線で結んだ位置からループ部分までの距離が最も離れている場所で $10\ \mu\text{m}$ 以上離れていればループ直進性が低いと判定した。200本のボンディングワイヤのループを観察し、直進性の低いループが5本以上あれば不良と判断し-1点、直進性が低いループが3本以上5本未満であれば不良は発生するものの許容範囲内であり、実用上使用可能と判断し0点とした。直進性が低いループが2本以下であれば実用上問題がないと判断し1点とした。評価結果は、表2の「ループ直進性」の欄に表記した。-1点が不合格、0点及び1点は合格である。

[0069] (樹脂封止後のループ直進性の評価方法)

樹脂封止後のループ直進性は、ボンディングワイヤを接合した後、汎用のモールド樹脂で封止した際に、直進性が低いループが発生した頻度によって評価した。ループ部分の観察には軟X線装置を用いた。ループ長さは $7.0\ \text{mm}$ 、ループ高さは $0.2\ \text{mm}$ とした。ループの直上からループ部分を観察し、ボール接合部とワイヤ接合部を直線で結んだ位置からループ部分までの距離が最も離れている場所で $15\ \mu\text{m}$ 以上離れていれば直進性が低いと判定した。200本のボンディングワイヤのループを観察し、直進性が低いループが6本以上あれば不良と判断し-1点、4本以上6本未満であれば不良は発生するものの許容範囲内であり、実用上使用可能と判断し0点とした。直進性が低いループが3本であれば実用上問題がないと判断し1点、2本であれば優れていると判断し2点、1本であればさらに優れていると判断し3点、全て直進性が高かった場合は、特に優れていると判断し4点とした。評価結

果は、表2の「樹脂封止後のループ直進性」の欄に表記した。－1点が不合格、それ以外は合格である。

[0070] (ネック部損傷の評価方法)

ネック部損傷は、ボンディングワイヤを接合後、ネック部分を観察して、損傷が発生した箇所の数によって評価した。ループ長さは7.0mm、ループ高さは0.2mm、ループ形状は台形形状とした。接合した200本のボンディングワイヤのネック部分を走査型電子顕微鏡で観察し、損傷が発生した箇所が2箇所以上あれば不良と判断し0点と表記した。損傷が発生した箇所が1箇所であれば実用上問題がないと判断し1点、不良が全く発生しなければ優れていると判断し2点と表記した。評価結果は、表2の「ネック部損傷」の欄に表記した。0点が不合格、それ以外は合格である。

[0071] (低ループ時のネック部損傷の評価方法)

低ループ時のネック部損傷の評価では、ループ高さを通常よりも低い0.1mmとし、前記ネック部損傷の評価方法と同様の方法を用いた。接合した200本のボンディングワイヤのネック部分を走査型電子顕微鏡で観察し、損傷が発生した箇所が2箇所以上あれば不良と判断し0点と表記した。損傷が発生した箇所が1箇所であれば実用上問題がないと判断し1点、不良が全く発生しなければ優れていると判断し2点と表記した。評価結果は、表2の「低ループ時のネック部損傷」の欄に表記した。0点が不合格、それ以外は合格である。

[0072] (高温放置試験におけるボール接合部寿命の評価方法)

高温放置試験におけるボール接合部寿命は、ボンディングワイヤを接合し、汎用の樹脂で封止した後、200℃に設定した恒温炉内に放置し、ボール接合部の接合強度が試験前の50%以下に低下するまでに要した時間により評価した。ボール接合部寿命の判定に用いた接合強度の値は、微小シェア試験機を用いて、無作為に選択した10箇所のボール接合部の強度を測定した値の平均値を用いた。接合強度を測定する際は、ボール接合部を露出させるために、酸処理によって樹脂を除去した。ボールの直径は、ワイヤの直径に

対して1.5～1.7倍の範囲とした。ボール形成時には、酸化を防ぐために $N_2 + 5$ 体積% $H_2$ ガスを流量0.4～0.6 L/minで吹き付けた。上記の評価において、ボール接合部の寿命が500時間未満であれば実用上問題があると判断し0点、500時間以上700時間未満であれば、実用上問題ないと判断し1点、700時間以上であれば優れていると判断し2点と表記した。評価結果は、表2の「高温放置試験におけるボール接合部寿命」の欄に表記した。0点が不合格、それ以外は合格である。

[0073] (ボール圧着形状の評価方法)

ボール圧着形状は、Si基板上のAl電極に100回ボール接合を行い、圧着形状不良の発生数によって評価した。ボール圧着形状の判定は、ボールをボール接合部の直上から観察し、ボール圧着形状が円形に近ければ良好と判定し、花卉状の形状であれば不良と判定した。ボール圧着形状の観察には光学顕微鏡を用いた。100箇所のボール接合部を観察し、不良が9個以上あれば実用上問題があると判断し0点、不良が8個以下6個以上であれば実用上問題がないと判断し1点、不良が5個以下3個以上であれば優れていると判断し2点と表記した。評価結果は、表2の「ボール圧着形状」の欄に表記した。0点のみが不合格であり、それ以外は合格である。

[0074] (評価結果の説明)

実施例No. 1～87は、半導体装置用Cu合金ボンディングワイヤであって、ワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である $\langle 100 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の存在比率が、それぞれ平均面積率で3%以上27%未満であるので、ループ直進性は許容範囲内であった。実施例No. 1～75は、上記存在比率がそれぞれ平均面積率で5%以上25%未満であるので、ループ直進性は実用上問題なかった。

[0075] 実施例No. 4、5は、半導体装置用Cu合金ボンディングワイヤであって、ワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である $\langle 100 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 110 \rangle$ 結

晶方位、 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の存在比率が、それぞれ平均面積率で3%以上27%未満であって、さらにワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である $\langle 100 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の存在比率の合計が、平均面積率で15%以上50%未満であるので、樹脂封止後のループ直進性に関して、優れた評価結果が得られた。

[0076] 実施例1、6、7、15、16は、半導体装置用Cu合金ボンディングワイヤであって、ワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である $\langle 100 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の存在比率が、それぞれ平均面積率で3%以上27%未満であって、さらにワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である $\langle 100 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の存在比率の合計が、平均面積率で15%以上50%未満であって、さらにワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である $\langle 100 \rangle$ 結晶方位の存在比率をX、 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位の存在比率をY、 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の存在比率をZとしたとき、 $X + Y > Z$ であるので、樹脂封止後のループ直進性に関して、さらに優れた評価結果が得られた。

[0077] 実施例No. 8~14、17~27、29~75は、半導体装置用Cu合金ボンディングワイヤであって、ワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である $\langle 100 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の存在比率が、それぞれ平均面積率で3%以上27%未満であって、さらにワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である $\langle 100 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の存在比率の合計が、平均面積率で15%以上50%未満であって、さらにワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直

な方向に対して角度差が15度以下である<100>結晶方位の存在比率をX、<110>結晶方位の存在比率をY、<111>結晶方位の存在比率をZとしたとき、 $X+Y>Z$ であって、さらにワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である<121>結晶方位、<123>結晶方位の存在比率が、平均面積率でそれぞれ15%未満であるので、樹脂封止後のループ直進性に関して、特に優れた評価結果が得られた。

[0078] 実施例No. 2~8、10、12~87は、半導体装置用Cu合金ボンディングワイヤであって、ワイヤ中心軸に対して垂直な断面における平均結晶粒径が $0.4\mu\text{m}$ 以上 $2.1\mu\text{m}$ 以下であるので、ネック部損傷に関して、優れた評価結果が得られた。

[0079] 実施例No. 5~12、14、16~75は、半導体装置用Cu合金ボンディングワイヤであって、ワイヤ中心軸に平行な方向の断面における結晶方位のうち、ワイヤ中心軸に対して角度差が15度以下である<111>結晶方位と<100>結晶方位の存在比率の合計が、平均面積率で25%以上60%未満であるので、低ループ時のネック部損傷に関して、優れた評価結果が得られた。

[0080] 実施例No. 24~30、38~46、48、49、51~55、57~63、71~74は、半導体装置用Cu合金ボンディングワイヤであって、Ni、Pd、Pt、Auの1種以上を総計で0.01質量%以上1.5質量%以下含み、残部がCuおよび不可避不純物であるので、高温放置試験におけるボール接合部寿命に関して、優れた評価結果が得られた。

[0081] 実施例No. 50~54、60~70、72~74は、半導体装置用Cu合金ボンディングワイヤであって、P、In、Ga、Ge、Agの1種以上を総計で0.001質量%以上0.75質量%以下含むので、ボール圧着形状に関して、優れた評価結果が得られた。

[0082]

[表1-1]

No.	ワイヤ表面の結晶方位						ワイヤ中心軸に対して垂直な断面における平均結晶粒径 (μm)	ワイヤ中心軸に平行な方向の断面における結晶方位			元素の含有量(質量%)					元素の含有量(質量%)						
	ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である結晶方位の存在比率(%)							ワイヤ中心軸に対して角度差が15度以下である結晶方位の存在比率(%)			元素の含有量(質量%)					元素の含有量(質量%)						
	<100>:X	<110>:Y	<111>:Z	<121>	<123>	<100>+<110>+<111>		X-Y-Zの成立可否	<111>	<100>	合計	Ni	Pd	Pt	Au	合計	P	In	Ga	Ge	Ag	合計
1	5	5	5	15	15	15	○	0.3	5	13	18	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.000
2	24	24	24	5	7	72	○	0.5	7	15	22	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.000
3	12	14	24	8	14	50	○	1.7	8	14	22	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.000
4	13	11	24	8	14	48	x	1.5	9	14	23	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.000
5	5	5	11	8	10	21	x	1.6	18	23	41	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.000
6	11	5	6	15	16	22	○	1.5	17	25	42	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.000
7	5	11	7	16	15	23	○	1.7	18	22	40	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.000
8	15	17	9	5	3	41	○	1.8	17	22	39	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.000
9	8	9	6	3	2	23	○	0.3	16	20	36	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.000
10	9	8	7	3	3	24	○	0.4	15	19	34	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.000
11	8	8	6	2	3	22	○	2.2	16	20	36	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.000
12	8	9	8	8	10	25	○	2.1	16	22	38	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.000
13	9	8	10	7	10	27	○	1.6	11	13	24	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.000
14	10	9	9	8	11	28	○	1.3	12	13	25	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.000
15	18	15	13	15	16	46	○	1.4	26	34	60	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.000
16	13	16	13	16	18	42	○	1.5	27	32	59	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.000
17	14	18	8	6	3	40	○	1.7	19	20	39	0.008	-	-	-	0.008	-	-	-	-	-	0.000
18	16	17	10	4	4	43	○	1.5	18	21	39	-	0.009	-	-	0.009	-	-	-	-	-	0.000
19	15	18	9	5	3	42	○	1.8	19	22	41	-	-	0.009	-	0.009	-	-	-	-	-	0.000
20	15	19	10	6	5	44	○	1.6	17	20	37	-	-	-	0.008	0.008	-	-	-	-	-	0.000
21	14	17	9	4	3	40	○	0.9	18	21	39	0.005	-	-	0.003	0.008	-	-	-	-	-	0.000
22	17	18	10	3	4	45	○	0.7	19	20	39	-	-	0.004	0.005	0.009	-	-	-	-	-	0.000
23	18	17	9	4	6	44	○	1.0	29	20	49	-	0.003	0.003	0.003	0.009	-	-	-	-	-	0.000
24	16	18	8	7	7	42	○	1.5	18	22	40	0.010	-	-	-	0.010	-	-	-	-	-	0.000
25	18	22	7	8	6	47	○	2.0	17	18	35	-	0.010	-	-	0.010	-	-	-	-	-	0.000
26	18	20	9	7	7	47	○	1.6	18	22	40	-	-	0.010	-	0.010	-	-	-	-	-	0.000
27	17	21	8	5	8	46	○	1.6	19	21	40	-	-	-	0.011	0.011	-	-	-	-	-	0.000
28	20	21	9	6	7	50	○	1.9	18	17	35	0.005	-	-	0.005	0.010	-	-	-	-	-	0.000
29	17	20	8	5	8	45	○	1.5	17	18	35	-	-	0.005	0.006	0.011	-	-	-	-	-	0.000
30	19	19	9	5	8	47	○	1.7	18	20	38	-	0.003	0.004	0.004	0.011	-	-	-	-	-	0.000
31	8	12	8	7	7	28	○	1.4	17	25	42	1.600	-	-	-	1.600	-	-	-	-	-	0.000
32	6	8	12	6	7	26	○	1.2	19	22	41	-	1.600	-	-	1.600	-	-	-	-	-	0.000
33	14	15	10	4	6	39	○	1.2	14	27	41	-	-	1.600	-	1.600	-	-	-	-	-	0.000
34	15	14	10	8	6	39	○	1.0	15	28	43	-	-	-	1.700	1.700	-	-	-	-	-	0.000
35	14	15	7	4	5	36	○	1.1	19	19	38	0.800	-	-	0.900	1.700	-	-	-	-	-	0.000
36	14	19	8	5	6	41	○	1.3	20	22	42	-	-	0.800	0.800	1.600	-	-	-	-	-	0.000

[表1-2]

No.	ワイヤ表面の結晶方位							ワイヤ中心軸に対して垂直な断面における平均結晶粒径(μm)	ワイヤ中心軸に平行な方向の断面における結晶方位			元素の含有量(質量%)					元素の含有量(質量%)					
	ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である結晶方位の存在比率(%)								ワイヤ中心軸に対して角度差が15度以下である結晶方位の存在比率(%)													
	<100>:X	<110>:Y	<111>:Z	<121>	<123>	<100> -<110> -<111>	X-Y-Zの 成立可否		<111>	<100>	合計	Ni	Pd	Pt	Au	合計	P	In	Ga	Ge	Ag	合計
37	13	18	7	4	7	38	○	1.0	19	25	44	0.400	-	0.800	0.400	1.600	-	-	-	-	-	0.0000
38	11	13	7	5	7	31	○	0.9	20	26	46	1.500	-	-	-	1.500	-	-	-	-	-	0.0000
39	10	14	7	6	6	31	○	1.2	16	28	44	-	1.500	-	-	1.500	-	-	-	-	-	0.0000
40	13	13	9	6	7	35	○	1.1	15	27	42	-	-	1.500	-	1.500	-	-	-	-	-	0.0000
41	14	11	7	5	5	32	○	1.3	18	28	46	-	-	-	1.500	1.500	-	-	-	-	-	0.0000
42	15	12	9	5	5	36	○	1.2	20	25	45	0.900	-	-	0.800	1.500	-	-	-	-	-	0.0000
43	7	14	8	4	5	29	○	1.1	13	24	37	-	-	0.700	0.800	1.500	-	-	-	-	-	0.0000
44	16	11	9	5	6	36	○	1.4	15	28	43	-	0.700	0.700	0.100	1.500	-	-	-	-	-	0.0000
45	14	18	10	6	4	42	○	1.5	17	22	39	-	-	0.500	-	0.500	0.0009	-	-	-	-	0.0009
46	13	19	8	5	4	40	○	1.6	16	23	39	-	-	-	0.100	0.100	-	0.0008	-	-	-	0.0008
47	14	15	9	4	3	38	○	1.5	15	22	37	-	-	-	-	0.000	-	0.0009	-	-	-	0.0009
48	15	13	9	5	4	37	○	1.4	16	24	40	-	0.500	-	-	0.500	-	-	-	0.0009	-	0.0009
49	14	15	9	4	3	38	○	1.2	17	23	40	-	-	0.400	-	0.400	-	-	-	-	0.0008	0.0008
50	16	11	10	7	6	37	○	1.6	18	20	38	-	-	-	-	0.000	0.0010	-	-	-	-	0.0010
51	14	20	10	5	6	44	○	1.4	19	22	41	-	-	0.200	-	0.200	-	0.0010	-	-	-	0.0010
52	15	18	9	5	6	42	○	1.4	19	20	39	-	0.300	-	-	0.300	-	-	0.0010	-	-	0.0010
53	16	17	9	6	5	42	○	1.5	18	22	40	-	-	0.200	-	0.200	-	-	-	0.0010	-	0.0010
54	15	15	10	5	5	40	○	1.4	17	24	41	-	-	-	0.100	0.100	-	-	-	-	0.0010	0.0010
55	16	17	9	8	8	42	○	1.2	19	20	39	0.800	-	-	-	0.800	0.7600	-	-	-	-	0.7600
56	13	18	9	4	3	40	○	1.3	15	21	36	-	-	-	-	0.000	-	0.7600	-	-	-	0.7600
57	11	15	11	5	3	37	○	1.6	18	22	40	-	-	0.100	-	0.100	-	-	0.7700	-	-	0.7700
58	16	16	13	4	2	45	○	1.5	15	23	38	-	0.200	-	-	0.200	-	-	-	0.7600	-	0.7600
59	10	12	15	5	5	37	○	1.6	16	22	38	-	-	-	0.300	0.300	-	-	-	-	0.7700	0.7700
60	16	10	8	3	10	34	○	1.1	16	30	46	-	-	-	0.050	0.050	0.7500	-	-	-	-	0.7500
61	19	14	7	5	7	40	○	1.0	15	33	48	-	-	-	0.020	0.020	-	0.7500	-	-	-	0.7500
62	15	15	8	6	5	38	○	1.6	12	33	45	-	-	0.010	-	0.010	-	-	0.7500	-	-	0.7500
63	18	12	6	10	6	36	○	1.5	15	26	41	-	-	0.010	-	0.010	-	-	-	0.7500	-	0.7500
64	15	10	8	6	7	33	○	1.6	14	30	44	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	0.7500	0.7500
65	17	13	7	5	5	37	○	2.0	16	30	46	-	-	-	-	0.000	-	0.4000	0.3000	-	-	0.7000
66	19	10	8	4	5	37	○	2.0	14	25	39	-	-	-	-	0.000	-	-	0.5000	0.2000	-	0.7000
67	15	16	7	4	5	38	○	1.6	11	33	44	-	-	-	-	0.000	-	-	0.5000	0.0200	-	0.5200
68	16	12	6	3	4	34	○	1.9	10	28	38	-	-	-	-	0.000	-	-	0.1000	-	0.0500	0.1500
69	15	15	5	4	5	35	○	2.0	12	27	39	-	-	-	-	0.000	-	-	-	0.3000	0.0500	0.3500
70	15	16	8	3	7	39	○	1.5	19	28	47	-	-	-	-	0.000	0.0050	-	-	-	-	0.0050

[0084]

[表1-3]

No.	ワイヤ表面の結晶方位						ワイヤ中心軸に対して垂直な断面における平均結晶粒径(μm)	ワイヤ中心軸に平行な方向の断面における結晶方位	元素の含有量(質量%)					元素の含有量(質量%)									
	ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である結晶方位の存在比率(%)								ワイヤ中心軸に対して角度差が15度以下である結晶方位の存在比率(%)														
	<100>:X	<110>:Y	<111>:Z	<121>	<123>	<100> -<110> -<111>			X-Y-Zの 成立可否	<111>	<100>	合計	Ni	Pd	Pt	Au	合計	P	Ir	Ga	Ge	Ag	合計
実施例	71	15	20	9	5	8	44	○	1.8	18	26	44	-	-	1.200	-	1.200	-	-	-	-	-	0.0000
	72	18	21	10	6	7	49	○	1.9	11	35	46	-	-	0.500	-	0.500	-	-	-	-	0.0500	0.0500
	73	16	22	8	5	10	46	○	1.5	10	28	38	-	-	-	0.030	0.030	-	-	0.5000	-	-	0.5000
	74	14	23	7	6	10	44	○	1.7	11	25	36	-	-	0.100	-	0.100	-	0.3000	-	-	0.0200	0.3200
	75	15	24	8	7	10	47	○	1.8	10	22	32	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.0000
	76	4	5	5	12	16	14	○	0.5	5	13	18	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.0000
	77	5	4	5	13	15	14	○	0.4	5	12	17	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.0000
	78	5	5	4	13	14	14	○	0.5	6	10	16	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.0000
	79	25	17	18	12	9	60	○	0.8	8	9	17	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.0000
	80	14	25	17	11	14	56	○	1.0	7	10	17	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.0000
	81	16	17	25	12	16	58	○	0.9	8	9	17	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.0000
	82	3	4	4	12	13	11	○	1.0	10	11	21	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.0000
	83	4	3	4	13	13	11	○	0.8	9	10	19	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.0000
	84	4	4	3	12	12	11	○	0.8	9	10	19	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.0000
	85	15	26	12	11	12	53	○	0.9	10	11	21	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.0000
86	12	11	26	13	13	49	×	0.8	9	10	19	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.0000	
87	26	10	11	12	13	47	○	0.9	10	10	20	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.0000	
比較例	7	2	1	1	12	16	4	○	0.5	10	8	18	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.0000
	8	1	2	1	13	13	4	○	0.6	9	7	16	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.0000
	9	1	1	2	12	11	4	×	0.3	9	8	17	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.0000
	10	27	10	2	11	12	39	○	0.5	10	8	18	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.0000
	11	3	27	11	11	12	41	○	0.4	8	8	16	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.0000
12	15	15	27	13	11	57	○	0.3	10	9	19	-	-	-	-	0.000	-	-	-	-	-	0.0000	

[0085]



[表2-1]

	No.	評価結果					
		ループ直進性	樹脂封止後の ループ直進性	ネック部損傷	低ループ時の ネック部損傷	高温放置試験 におけるボール 接合部寿命	ボール 圧着形状
実施例	1	1	3	1	1	1	1
	2	1	1	2	1	1	1
	3	1	1	2	1	1	1
	4	1	2	2	1	1	1
	5	1	2	2	2	1	1
	6	1	3	2	2	1	1
	7	1	3	2	2	1	1
	8	1	4	2	2	1	1
	9	1	4	1	2	1	1
	10	1	4	2	2	1	1
	11	1	4	1	2	1	1
	12	1	4	2	2	1	1
	13	1	4	2	1	1	1
	14	1	4	2	2	1	1
	15	1	3	2	1	1	1
	16	1	3	2	2	1	1
	17	1	4	2	2	1	1
	18	1	4	2	2	1	1
	19	1	4	2	2	1	1
	20	1	4	2	2	1	1
	21	1	4	2	2	1	1
	22	1	4	2	2	1	1
	23	1	4	2	2	1	1
	24	1	4	2	2	2	1
	25	1	4	2	2	2	1
	26	1	4	2	2	2	1
	27	1	4	2	2	2	1
	28	1	1	2	2	2	1
	29	1	4	2	2	2	1
	30	1	4	2	2	2	1
	31	1	4	2	2	1	1
	32	1	4	2	2	1	1
	33	1	4	2	2	1	1
	34	1	4	2	2	1	1
	35	1	4	2	2	1	1
	36	1	4	2	2	1	1
	37	1	4	2	2	1	1
	38	1	4	2	2	2	1
	39	1	4	2	2	2	1
	40	1	4	2	2	2	1
	41	1	4	2	2	2	1
	42	1	4	2	2	2	1

[0086] [表2-2]

	No.	評価結果					
		ループ直進性	樹脂封止後の ループ直進性	ネック部損傷	低ループ時の ネック部損傷	高温放置試験 におけるボール 接合部寿命	ボール 圧着形状
実施例	43	1	4	2	2	2	1
	44	1	4	2	2	2	1
	45	1	4	2	2	2	1
	46	1	4	2	2	2	1
	47	1	4	2	2	1	1
	48	1	4	2	2	2	1
	49	1	4	2	2	2	1
	50	1	4	2	2	1	2
	51	1	4	2	2	2	2
	52	1	4	2	2	2	2
	53	1	4	2	2	2	2
	54	1	4	2	2	2	2
	55	1	4	2	2	2	1
	56	1	4	2	2	1	1
	57	1	4	2	2	2	1
	58	1	4	2	2	2	1
	59	1	4	2	2	2	1
	60	1	4	2	2	2	2
	61	1	4	2	2	2	2
	62	1	4	2	2	2	2
	63	1	4	2	2	2	2
	64	1	4	2	2	1	2
	65	1	4	2	2	1	2
	66	1	4	2	2	1	2
	67	1	4	2	2	1	2
	68	1	4	2	2	1	2
	69	1	4	2	2	1	2
	70	1	4	2	2	1	2
	71	1	4	2	2	2	1
	72	1	4	2	2	2	2
	73	1	4	2	2	2	2
	74	1	4	2	2	2	2
	75	1	4	2	2	1	1

[0087]

[表2-3]

	No.	評価結果					
		ループ直進性	樹脂封止後の ループ直進性	ネック部損傷	低ループ時の ネック部損傷	高温放置試験 におけるボール 接合部寿命	ボール 圧着形状
実施例	76	0	0	2	1	1	1
	77	0	0	2	1	1	1
	78	0	0	2	1	1	1
	79	0	0	2	1	1	1
	80	0	0	2	1	1	1
	81	0	0	2	1	1	1
	82	0	0	2	1	1	1
	83	0	0	2	1	1	1
	84	0	0	2	1	1	1
	85	0	0	2	1	1	1
	86	0	0	2	1	1	1
87	0	0	2	1	1	1	
比較例	7	-1	-1	2	1	1	1
	8	-1	-1	2	1	1	1
	9	-1	-1	1	1	1	1
	10	-1	-1	2	1	1	1
	11	-1	-1	2	1	1	1
	12	-1	-1	1	1	1	1

## 請求の範囲

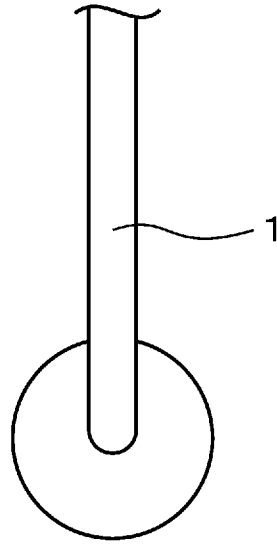
- [請求項1] 半導体装置用Cu合金ボンディングワイヤであって、ワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である $\langle 100 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の存在比率が、それぞれ平均面積率で3%以上27%未満であることを特徴とする半導体装置用Cu合金ボンディングワイヤ。
- [請求項2] 前記ワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である前記 $\langle 100 \rangle$ 結晶方位、前記 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位、前記 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の存在比率の合計が、平均面積率で15%以上50%未満であることを特徴とする請求項1に記載の半導体装置用Cu合金ボンディングワイヤ。
- [請求項3] 前記ワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である前記 $\langle 100 \rangle$ 結晶方位の存在比率をX、前記 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位の存在比率をY、前記 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の存在比率をZとしたとき、 $X+Y>Z$ であることを特徴とする請求項2に記載の半導体装置用Cu合金ボンディングワイヤ。
- [請求項4] 前記ワイヤ表面の結晶方位のうち、ワイヤ中心軸を含む1つの平面に垂直な方向に対して角度差が15度以下である $\langle 121 \rangle$ 結晶方位、 $\langle 123 \rangle$ 結晶方位の存在比率が、平均面積率でそれぞれ15%未満であることを特徴とする請求項3に記載の半導体装置用Cu合金ボンディングワイヤ。
- [請求項5] ワイヤ中心軸に対して垂直な断面における平均結晶粒径が $0.4\ \mu\text{m}$ 以上 $2.1\ \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載の半導体装置用Cu合金ボンディングワイヤ。
- [請求項6] ワイヤ中心軸に平行な方向の断面における結晶方位のうち、ワイヤ中心軸に対して角度差が15度以下である $\langle 111 \rangle$ 結晶方位と $\langle 100 \rangle$

0 > 結晶方位の存在比率の合計が、平均面積率で25%以上60%未満であることを特徴とする請求項1～5のいずれか1項に記載の半導体装置用Cu合金ボンディングワイヤ。

[請求項7] Ni、Pd、Pt、Auの1種以上を総計で0.01質量%以上1.5質量%以下含み、残部がCuおよび不可避不純物であることを特徴とする請求項1～6のいずれか1項に記載の半導体装置用Cu合金ボンディングワイヤ。

[請求項8] P、In、Ga、Ge、Agの1種以上を総計で0.001質量%以上0.75質量%以下含み、残部がCuおよび不可避不純物であることを特徴とする請求項1～7のいずれか1項に記載の半導体装置用Cu合金ボンディングワイヤ。

[図1]



[図2]

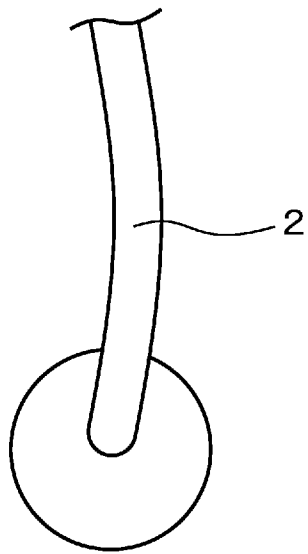


図 2 A

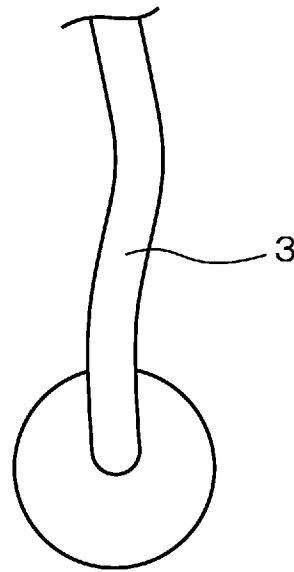
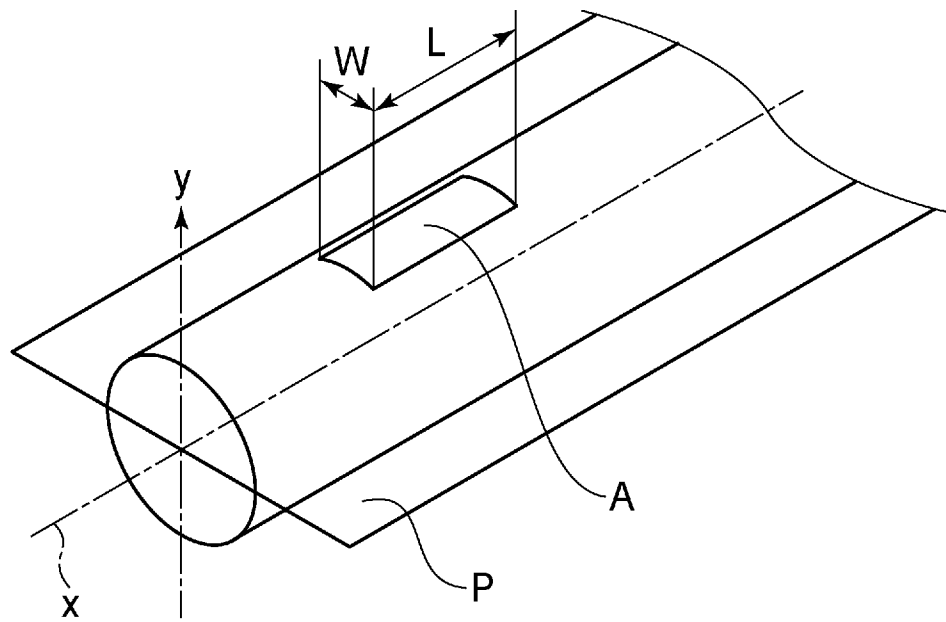


図 2 B

[図3]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2020/006337

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

Int. Cl. H01L21/60 (2006.01) i

FI: H01L21/60 301F

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. 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.
A	WO 2019/031497 A1 (NIPPON STEEL CHEMICAL & MATERIAL CO., LTD.) 14 February 2019, paragraphs [0001], [0019]-[0033], [0050], [0051], table 1	1-5
A	WO 2019/031498 A1 (NIPPON STEEL CHEMICAL & MATERIAL CO., LTD.) 14 February 2019, paragraphs [0001], [0019]-[0034], [0068], table 1	1-8

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  
17.03.2020

Date of mailing of the international search report  
24.03.2020

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 REPORT**  
Information on patent family members

International application No.  
PCT/JP2020/006337

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2019/031497 A1	14.02.2019	(Family: none)	
WO 2019/031498 A1	14.02.2019	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01L 21/60(2006.01)i FI: H01L21/60 301F		
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）） 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
A	WO 2019/031497 A1（日鉄ケミカル&マテリアル株式会社）14.02.2019（2019 - 02 - 14） 段落[0001], [0019]-[0033], [0050]-[0051], 表1	1-8
A	WO 2019/031498 A1（日鉄ケミカル&マテリアル株式会社）14.02.2019（2019 - 02 - 14） 段落[0001], [0019]-[0034], [0068], 表1	1-8
<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、一般的な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 17.03.2020	国際調査報告の発送日 24.03.2020	
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） 小池 英敏 5F 8396 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/JP2020/006337

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO 2019/031497 A1	14.02.2019	(ファミリーなし)	
WO 2019/031498 A1	14.02.2019	(ファミリーなし)	