

(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
2023年6月15日(15.06.2023)



(10) 国際公開番号

WO 2023/106241 A1

(51) 国際特許分類:

C22C 9/00 (2006.01) C22F 1/08 (2006.01)
C22C 9/02 (2006.01) H01L 21/60 (2006.01)
C22F 1/00 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2022/044602

(22) 国際出願日: 2022年12月2日(02.12.2022)

(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 2021-198360 2021年12月7日(07.12.2021) JP

(71) 出願人: 古河電気工業株式会社(FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1008322 東京都千代田区大手町二丁目6番4号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 関谷 茂樹(SEKIYA Shigeki); 〒1008322 東京都千代田区大手町二丁目6番4号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 長谷川 勝政(HASEGAWA Katsumasa); 〒1008322 東京都千代田区大手町二丁目6番4号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 北河 秀一(KITAGAWA Shuichi); 〒1008322 東京都千代田区大手町二丁目6番4号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 三原 邦照(MIHARA Kunitaru); 〒1008322 東京都千代田区大手町二丁目6番4号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 金子 秀雄(KANEKO Hideo); 〒1008322 東京都千代田区大手町二丁目6番4号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 高澤 司(TAKAZAWA Tsukasa); 〒1008322 東京都千代田区大手町二丁目6番4号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 来間 清志, 外(KURUMA Kiyoshi et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内1-7-12 サピアタワー 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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, 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, CV, 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, ME, 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))

(54) Title: COPPER-BASED WIRE ROD, AND SEMICONDUCTOR DEVICE

(54) 発明の名称: 銅系線材および半導体デバイス

(57) Abstract: This copper-based wire rod is composed of copper or a copper alloy, and in a cross-section perpendicular to the longitudinal direction of the copper-based wire rod, the average crystal grain size is 20 μm to 150 μm, an accumulation rate of crystal orientation <111> is 40% or less, the Young's modulus is 80 GPa to 120 GPa, and 0.2% yield strength is 20 MPa to 90 MPa.

(57) 要約: 銅系線材は、銅または銅合金から構成され、前記銅系線材の長手方向に垂直な横断面において、平均結晶粒径は20 μm以上150 μm以下であり、かつ、結晶方位<111>の集積率は40%以下であり、ヤング率が80 GPa以上120 GPa以下、0.2%耐力が20 MPa以上90 MPa以下である。



WO 2023/106241 A1

明 細 書

発明の名称：銅系線材および半導体デバイス

技術分野

[0001] 本開示は、銅系線材および半導体デバイスに関する。

背景技術

[0002] 半導体デバイスにおいて、ボンディングワイヤは、半導体チップと電極とを電氣的に接続するワイヤ状の部材である。通常、ボンディングワイヤは、超音波接合を用いて半導体チップに接合される。

[0003] ボンディングワイヤが硬いと、ボンディングワイヤを半導体チップに押し当てた際に半導体チップへの負荷が大きくなり、半導体チップが破損してしまうという問題が生じる。さらに、近年では、高出力化や大電流化に貢献する次世代パワー半導体チップ（SiC、GaNなど）が開発されているが、半導体チップ自体は脆く、また小型化に伴う半導体チップの薄膜化により、耐久性への要求は一段と厳しくなっている。

[0004] 例えば、特許文献1には、ボビンへの巻取りおよびボビンからの繰出し時における不均一な変形を抑制し得る太陽電池用リード線が記載され、太陽電池用リード線の0.2%耐力は比較的低い。しかしながら、特許文献1では、太陽電池用リード線のヤング率についての言及はなく、太陽電池用リード線を半導体チップにウェッジボンディングで超音波接合したときの衝撃に耐久できるかどうか不明である。

[0005] また、特許文献2には、ボールボンディング時に形成する引け巣を抑制し、さらにはボンディングワイヤ間の狭ピッチ化にも対応できるパラジウム被覆銅ボンディングワイヤが記載されている。しかしながら、特許文献2では、パラジウム被覆銅ボンディングワイヤのヤング率および0.2%耐力についての言及はなく、パラジウム被覆銅ボンディングワイヤを半導体チップにウェッジボンディングで超音波接合したときの衝撃に耐久できるかどうか不明である。さらには、高出力化や大電流化の要求に対して、パラジウム被覆

銅ボンディングワイヤの最終線径が細すぎるため、十分な電流が流せないといった問題がある。

先行技術文献

特許文献

- [0006] 特許文献1：特開2013-102054号公報
特許文献2：国際公開第2020/183748号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0007] 本開示の目的は、半導体チップに押し当てても負荷が小さく、衝撃耐久性に優れる、軟らかい銅系線材、および銅系線材をボンディングワイヤとして備える半導体デバイスを提供することである。

課題を解決するための手段

- [0008] [1] 銅または銅合金から構成される銅系線材であって、前記銅系線材の長手方向に垂直な横断面において、平均結晶粒径は $20\mu\text{m}$ 以上 $150\mu\text{m}$ 以下であり、かつ、結晶方位 $\langle 111 \rangle$ の集積率は40%以下であり、ヤング率が80GPa以上120GPa以下、0.2%耐力が20MPa以上90MPa以下である、銅系線材。
- [2] 前記横断面において、結晶方位 $\langle 100 \rangle$ の集積率および結晶方位 $\langle 110 \rangle$ の集積率の合計集積率は、15%以上40%以下である、上記[1]に記載の銅系線材。
- [3] 前記横断面において、隣接する結晶の方位差が15度以上の結晶粒界の長さ L_B に対する双晶粒界の長さ L_T の比(L_T/L_B)は、0.7以上1.0以下である、上記[1]または[2]に記載の銅系線材。
- [4] 前記銅系線材は、丸線またはリボン線である、上記[1]～[3]のいずれか1つに記載の銅系線材。
- [5] 前記銅系線材は、無酸素銅から構成される、上記[1]～[4]のいずれか1つに記載の銅系線材。

[6] 前記銅系線材は、外周面を被覆するパラジウム被覆層を有する、上記[1]～[5]のいずれか1つに記載の銅系線材。

[7] 半導体チップと前記半導体チップに接合されるボンディングワイヤとを備え、前記ボンディングワイヤは銅または銅合金から構成され、前記半導体チップの上部に設けられる電極と前記ボンディングワイヤとの接合部における、前記ボンディングワイヤの長手方向に垂直な前記ボンディングワイヤの横断面において、平均結晶粒径が $10\mu\text{m}$ 以上 $100\mu\text{m}$ 以下であり、かつ、結晶方位 $\langle 111 \rangle$ の集積率が40%以下である、半導体デバイス。

[8] 前記横断面において、結晶方位 $\langle 100 \rangle$ の集積率および結晶方位 $\langle 110 \rangle$ の集積率の合計集積率は、15%以上40%以下である、上記[7]に記載の半導体デバイス。

[9] 前記横断面において、隣接する結晶の方位差が15度以上の結晶粒界の長さ L_B に対する双晶粒界の長さ L_T の比(L_T/L_B)は、0.7以上1.0以下である、上記[7]または[8]に記載の半導体デバイス。

[10] 前記ボンディングワイヤは、無酸素銅から構成される、上記[7]～[9]のいずれか1つに記載の半導体デバイス。

[11] 前記ボンディングワイヤは、外周面を被覆するパラジウム被覆層を有する、上記[7]～[10]のいずれか1つに記載の半導体デバイス。

発明の効果

[0009] 本開示によれば、半導体チップに押し当てても負荷が小さく、衝撃耐久性に優れる、軟らかい銅系線材、および銅系線材をボンディングワイヤとして備える半導体デバイスを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]図1は、実施形態の半導体デバイスの一例を示す斜視図である。

[図2]図2は、ウェッジボンディング前のボンディングワイヤの長手方向に垂直な横断面の一例を示す概略図である。

[図3]図3は、ウェッジボンディング時のボンディングワイヤの長手方向に垂直な横断面の一例を示す概略図である。

発明を実施するための形態

- [0011] 以下、実施形態を詳細に説明する。
- [0012] 本発明者らは、鋭意研究を重ねた結果、銅系線材の結晶粒径および結晶方位を同時に制御することに着目し、銅系線材の横断面における結晶粒径および結晶方位が銅系線材のヤング率および0.2%耐力に影響することを見出した。その結果、半導体チップに押し当てても負荷が小さく、衝撃耐久性に優れる、軟らかい銅系線材を達成すると共に、銅系線材をボンディングワイヤとして用いると、半導体デバイスに搭載される半導体チップの破損を抑制できることを見出した。本開示は、かかる知見に基づいて完成させるに至った。
- [0013] はじめに、実施形態の銅系線材について説明する。
- [0014] 実施形態の銅系線材は、銅または銅合金から構成され、前記銅系線材の長手方向に垂直な横断面において、平均結晶粒径は20 μ m以上150 μ m以下であり、かつ、結晶方位<111>の集積率は40%以下であり、ヤング率が80GPa以上120GPa以下、0.2%耐力が20MPa以上90MPa以下である、
- [0015] 銅系線材は、銅（銅線）または銅合金（銅合金線）から構成される。
- [0016] 銅系線材は、例えば銀（Ag）、クロム（Cr）、スズ（Sn）などの元素を少量含む銅合金でもよいが、軟らかさと半導体チップおよび電極間の導通を確保し、近年の高出力化、大電流化の傾向を加味すると、銅であることが好ましい。その中でも、銅の含有量が多いほど導電率が高いことから、99.90質量%以上の銅（Cu）および不可避不純物からなる純銅であるタブピッチ銅であることが好ましく、99.96質量%以上のCu、10ppm以下の酸素および不可避不純物からなる無酸素銅であることがより好ましい。
- [0017] 銅系線材を構成する銅合金としては、0.1質量%以上1.0質量%以下のAg、0.1質量%以上1.0質量%以下のCr、0.1質量%以上1.0質量%以下のSnの少なくとも1種の元素を含有し、残部がCuおよび不

可避不純物からなる合金組成を有することが好ましい。

[0018] Ag、Cr、Snが上記下限値以上であると、銅系線材の引張耐久性を向上できる。そのため、銅系線材をボンディングワイヤとして半導体チップの電極に接合する際の銅系線材の繰り出し時の引張負荷に対して耐久することができ、接合スピードを向上させることができる。一方で、Ag、Cr、Snが上記上限値超であると、銅系線材の導電率を低下させる要因となりうる。そのため、銅系線材をパワー半導体向けのボンディングワイヤとして用いるには、上記元素の低濃度での添加が好ましい。このような観点から、銅合金がAgを含む場合のAgの含有量について、上限値は、より好ましくは0.7質量%以下、さらに好ましくは0.4質量%以下である。銅合金がCrを含む場合のCrの含有量について、上限値は、より好ましくは0.7質量%以下、さらに好ましくは0.4質量%以下である。銅合金がSnを含む場合のSnの含有量について、上限値は、より好ましくは0.7質量%以下、さらに好ましくは0.4質量%以下である。

[0019] 上述した元素以外の残部は不可避不純物である。不可避不純物は、製造工程上、不可避的に混入してしまう含有レベルの不純物を意味する。不可避不純物の含有量によっては銅系線材の導電率を低下させる要因になりうるため、不可避不純物の含有量は少ないことが好ましい。

[0020] 銅系線材が銅合金の場合、不可避不純物としては、例えば、アルミニウム(AI)、ベリリウム(Be)、カドミウム(Cd)、鉄(Fe)、マグネシウム(Mg)、ニッケル(Ni)、リン(P)、鉛(Pb)、ケイ素(Si)、チタン(Ti)などの元素が挙げられる。また、銅系線材が銅の場合、不可避不純物としては、上記の元素に加えて、銅合金に意図的に含有されて銅と合金化する元素、例えばAg、Cr、Snなどの元素も含まれる。なお、不可避不純物の含有量の上限は、上記元素の合計で20ppm以下であることが好ましい。

[0021] また、銅系線材の長手方向に垂直な横断面において、平均結晶粒径は20 μ m以上150 μ m以下であり、かつ、結晶方位<111>の集積率は40

%以下である。銅系線材の横断面において、結晶方位 $\langle 111 \rangle$ の集積率とは、全結晶方位に対する、結晶方位 $\langle 111 \rangle$ から $\pm 15^\circ$ ずれた範囲の結晶方位の割合である。

[0022] ここで、従来では、背反の関係であったヤング率および0.2%耐力を同時に下げることは困難であったが、結晶粒径および結晶方位がヤング率および0.2%耐力に影響することを見出した。こうした知見から、銅系線材の横断面における平均結晶粒径および結晶方位 $\langle 111 \rangle$ の集積率を上記範囲内に制御することで、以下に説明するように、銅系線材のヤング率および0.2%耐力を上記範囲内に容易に制御することができる。

[0023] 銅系線材の長手方向に垂直な横断面において、銅系線材の平均結晶粒径が $20\mu\text{m}$ 以上であると、銅系線材の0.2%耐力の増加を抑制できる。また、上記平均結晶粒径が $150\mu\text{m}$ 以下であると、銅系線材が引っ張られたときに生じる不均一変形に起因する銅系線材の断線を抑制できる。上記の観点から、銅系線材の横断面における平均結晶粒径について、下限値は、 $20\mu\text{m}$ 以上、好ましくは $30\mu\text{m}$ 以上、より好ましくは $40\mu\text{m}$ 以上であり、上限値は、 $150\mu\text{m}$ 以下である。

[0024] また、銅系線材の長手方向に垂直な横断面において、銅系線材の結晶方位 $\langle 111 \rangle$ の集積率が40%以下であると、ヤング率の増加を抑制でき、軟らかさが向上する。上記の観点から、銅系線材の横断面における結晶方位 $\langle 111 \rangle$ の集積率は、40%以下、好ましくは30%以下、より好ましくは20%以下である。

[0025] ここで、金属材料の分野では、結晶粒径および結晶方位は一般的に知られている材料因子である。しかしながら、結晶粒径を大きくする目的で熱処理温度を高く設定すると、熱処理温度によって結晶方位も変化してしまい、結晶粒径と結晶方位とを同時に制御することができなかった。本開示では、結晶粒径と結晶方位とを上記範囲内に制御することで、ヤング率および0.2%耐力を上記範囲内に制御できるため、銅系線材は、軟らかく、半導体チップに押し当てても負荷が小さく、衝撃耐久性に優れている。

[0026] また、銅系線材のヤング率について、下限値は、80 GPa以上であり、上限値は、120 GPa以下、好ましくは110 GPa以下、より好ましくは100 GPa以下である。

[0027] また、銅系線材の0.2%耐力について、下限値は、20 MPa以上であり、上限値は、90 MPa以下、好ましくは60 MPa以下、より好ましくは40 MPa以下である。

[0028] ここで、材料の変形には弾性変形と塑性変形がある。弾性変形では、 $\sigma = E \varepsilon$ (σ : 応力、 E : ヤング率、 ε : ひずみ) の関係があり、与える歪に対して比例関係で応力が作用する。すなわち、ヤング率が低い方が緩やかに変形するため、負荷は小さくなる。そして、ある歪領域を超えると、材料が元に戻らなくなる塑性変形が生じ、この塑性変形し始める応力を耐力と言う。こうしたことから、耐力が低い方が塑性変形しやすく負荷は小さくなる。軟らかく、半導体チップに押し当てても負荷が小さく、衝撃耐久性に優れる観点から、銅系線材では、ヤング率および耐力は低いことが求められる。

[0029] 銅系線材のヤング率および0.2%耐力が上記範囲内であると、軟らかく、半導体チップに押し当てても負荷が小さく、衝撃耐久性に優れる。そのため、銅系線材をボンディングワイヤとして用いる半導体デバイスの製造時に、銅系線材を半導体チップに接合する際の半導体チップへの負荷が軽減されるため、半導体チップの破損を抑制できる。特に、上記範囲内において、ヤング率および0.2%耐力が低いほうが、銅系線材は半導体チップに接合する際に容易に変形し衝撃耐久性に優れる。また、ヤング率および0.2%耐力が上記下限値以上であると、半導体チップとの接合のため、銅系線材を超音波接合機にセッティングするためにポピンから繰り出す際に、銅系線材の引張切れを抑制できる。

[0030] また、塑性変形中の硬くなりやすさを表す材料特性として加工硬化指数 (n 値とも言う) があり、 n 値は式： $\sigma = C \times \varepsilon^n$ で表される (σ : 真応力、 C : 強度定数、 ε : 真ひずみ)。 n 値は、一般に0.2%耐力と背反の特性であり、0.2%耐力が低ければ n 値は高く、0.2%耐力が高ければ n 値は低くな

るが、銅系線材をボンディングワイヤとして用いる場合、理想的には塑性変形をし始めた後は、低い n 値の方が容易に変形できる点で好ましい。よって、銅系線材の n 値は、0.45以下が好ましく、0.35以下がさらに好ましい。なお、 n 値は塑性変形中に変化する値であり、ボンディングワイヤとしての変形しやすさを考慮すると変形初期の値にて n 値を規定すべきと考え、ここでは n 値を公称ひずみが1%~5%の範囲にて算出した。5%以上公称ひずみが得られないサンプルについては、オフセット法にて0.2%耐力を算出した際の公称ひずみから最大引張強度となる公称ひずみまでの範囲にて n 値を算出した。

[0031] また、銅系線材の横断面において、結晶方位 $\langle 100 \rangle$ の集積率および結晶方位 $\langle 110 \rangle$ の集積率の合計集積率は、好ましくは15%以上、より好ましくは20%以上、さらに好ましくは25%以上である。結晶方位 $\langle 100 \rangle$ の集積率および結晶方位 $\langle 110 \rangle$ の集積率の合計集積率が15%以上である、すなわち、15%以上の割合で結晶方位 $\langle 100 \rangle$ および結晶方位 $\langle 110 \rangle$ が銅系線材の長手方向に向いていると、ヤング率が低くなりやすく、軟らかい銅系線材が得られやすい。

[0032] また、銅系線材の横断面において、結晶方位 $\langle 100 \rangle$ の集積率および結晶方位 $\langle 110 \rangle$ の集積率の合計集積率は、好ましくは40%以下である。上記合計集積率が40%以下であると、銅系線材をボビンから繰り出す際の引張負荷に対してより耐久することができる。

[0033] ここで、銅系線材の横断面において、結晶方位 $\langle 100 \rangle$ の集積率および結晶方位 $\langle 110 \rangle$ の集積率の合計集積率とは、全結晶方位に対する、結晶方位 $\langle 100 \rangle$ から $\pm 15^\circ$ ずれた範囲の結晶方位および結晶方位 $\langle 110 \rangle$ から $\pm 15^\circ$ ずれた範囲の結晶方位の合計結晶方位の割合である。

[0034] また、双晶粒界は原子の整合性が高い低エネルギーの粒界であり、大角粒界よりも加工時に転位が蓄積されにくく、曲げ加工の際に負荷する力を軽減することができることから、双晶粒界の存在割合は多い方がよい。そのため、銅系線材の横断面において、隣接する結晶の方位差が15度以上の結晶粒

界の長さ L_B に対する双晶粒界の長さ L_T の比 (L_T/L_B) は、0.7以上1.0以下であることが好ましい。

[0035] また、銅系線材の形状について、半導体デバイスに求められる電流量や配線スペースなどに応じて適宜選択でき、丸線またはリボン線であることが好ましい。丸線は、銅系線材の横断面の形状が円形状である。リボン線には、平角線、条線、トラック形状線が含まれる。平角線は、銅系線材の横断面が4つの直線で囲まれる形状である。条線は、銅系線材の横断面の形状が矩形形状である。トラック形状線は、銅系線材の横断面が2つの直線および2つの直線の端部をつなぐ2つの曲線で囲まれる形状、いわゆるトラック形状である。

[0036] 銅系線材が丸線の場合、銅系線材（丸線）の線径が0.1mm以上であると、銅系線材には比較的高い電流を流すことができるため、銅系線材はパワー半導体向けのボンディングワイヤに好適である。また、銅系線材（丸線）の線径が0.5mm以下であると、半導体デバイスの小型化のトレンドに対する配線スペースの確保に十分に対応でき、さらには、容易に曲げやすい。

[0037] また、銅系線材がリボン線の場合、銅系線材（リボン線）の厚さが0.1mm以上であると、銅系線材には比較的高い電流を流すことができるため、銅系線材はパワー半導体向けのボンディングワイヤに好適である。また、銅系線材（リボン線）の厚さが0.5mm以下であると、半導体デバイスの小型化のトレンドに対する配線スペースの確保に十分に対応でき、さらには、容易に曲げやすい。

[0038] また、銅系線材の外周面の酸化を防止するために、銅系線材は、外周面を被覆する金属被膜層を有してもよい。金属被膜層としては、好適にはパラジウム被覆層である。銅系線材の外周面を被覆するパラジウム被覆層は、例えばめっき処理によって形成される。

[0039] このような銅系線材は、半導体チップに押し当てても負荷が小さく、衝撃耐久性に優れる、軟らかいことから、半導体デバイス用のボンディングワイヤに好適に用いられる。

- [0040] 次に、実施形態の銅系線材の製造方法について説明する。
- [0041] 実施形態の銅系線材の製造方法では、まず、鑄造工程を行う。鑄造工程では、還元雰囲気下で電気銅を溶かし、円柱状のビレットと呼ばれる鑄塊を得る。
- [0042] 鑄造工程の後には、押出工程または圧延工程を行う。押出工程では、ビレットを熱間押出により丸棒の状態に加工する。圧延工程は、連続鑄造圧延機を用いて、鑄造工程と共に連続して実施される。この場合、リング状の回転鑄型に溶銅を流し込み鑄塊とし、上下方向または左右方向からの圧延を繰り返すことによって、荒引線を得る。
- [0043] 押出工程または圧延工程の後には、第1伸線工程を行う。第1伸線工程では、上記工程で得られた丸棒または荒引線を所定の線径まで伸線する。また、上記工程までに生じた表面欠陥を除去するための皮むき工程が第1伸線工程に含まれている。
- [0044] 第1伸線工程の後には、第1熱処理工程を行う。第1熱処理工程では、後工程の第2熱処理工程後によって、銅系線材の横断面における平均結晶粒径および所定の結晶方位の集積率が所定範囲内に同時に制御されるために、比較的高温での熱処理を施す。
- [0045] 第1熱処理工程がバッチ焼鈍炉を用いるバッチ式熱処理の場合、熱処理温度は400℃以上900℃以下である。熱処理温度が400℃未満であると、結晶粒が成長しにくく、第2熱処理工程によって、銅系線材の横断面における平均結晶粒径20μm以上および結晶方位<111>の集積率40%以下を同時に達成しにくい。なお、上記特許文献1では、200~300℃で熱処理しているが、後述の比較例A2および比較例A3で示すように、平均結晶粒径および結晶方位<111>の集積率のいずれか一方または両方が本開示の上記所定範囲を満たさない。一方で、熱処理温度が900℃超であると、第2熱処理工程によって、銅系線材の横断面における平均結晶粒径は150μm超となり、銅系線材がポピンからの繰り出し時の張力に耐え切れず、断線の原因となる。

- [0046] また、第1熱処理工程がバッチ式熱処理の場合、熱処理時間は10分以上6時間以内である。熱処理時間が10分未満であると、多数の試料をバッチ炉で加熱するときに、試料全体を均一に熱処理するためには時間的に不十分であるため、結晶粒も均一にならない。そのため、第2熱処理工程による、銅系線材の横断面における平均結晶粒径 $20\mu\text{m}$ 以上を安定的に達成できない。一方で、熱処理時間が6時間超であると、第2熱処理工程によって、銅系線材の横断面における平均結晶粒径は $20\mu\text{m}$ 以上になるものの、工業的にコストがかかりすぎる。
- [0047] 第1熱処理工程がある長さの加熱炉を通線させて焼鈍する走間熱処理の場合、バッチ式熱処理に比べて熱処理時間が6秒以上15秒以内と短くなるため、熱処理温度は 700°C 以上 950°C 以下に設定する。走間熱処理における熱処理温度の上限値および下限値の設定理由は、バッチ式熱処理と同様である。
- [0048] 第1熱処理工程の後には、第2伸線工程を行う。第2伸線工程では、加工率10%以上70%以下で伸線を行う。加工率が10%未満であると、第2熱処理工程時に再結晶するための駆動力が不足し、第2熱処理工程によって、銅系線材の横断面における所定の結晶方位の集積率を所望範囲内に制御できない。一方で、加工率が70%超であると、導入する加工歪が多くなり、試料全体に歪が導入されてしまうため、第2熱処理工程によって、銅系線材の横断面における所定の結晶方位の集積率を所望範囲内に制御できず、さらには、銅系線材の横断面における平均結晶粒径 $20\mu\text{m}$ 以上を達成しにくい。こうした観点から、加工率は15%以上50%以下であることが好ましい。加工率とは、伸線前の試料断面積から伸線後の試料断面積を引いた値を伸線前の試料断面積で割って100をかけたものとして表される。
- [0049] 第2伸線工程の後には、第2熱処理工程を行う。第2熱処理工程では、走間熱処理にて、熱処理温度は 500°C 以上 900°C 以下、熱処理時間は6秒以上15秒以内である。こうして、銅系線材を得ることができる。
- [0050] また、銅系線材が金属被覆層を有する場合、銅系線材に対してめっき工程

を行うことが好ましい。めっき工程では、まず、銅系線材をアルカリ浴に浸漬し、銅系線材が陰極になるように通電し、銅系線材の表面に存在する有機物の汚れを除去する。続いて、水洗後の銅系線材を硫酸浴に浸漬し、銅系線材の表面の酸化被膜を除去する。続いて、水洗後の銅系線材をパラジウム含有溶液に浸漬し、所定の電流および時間にて電気めっきを行い、金属被覆層であるパラジウム被覆層を銅系線材の表面に形成する。金属被覆層の厚さに応じて、電気めっきの電流および時間を適宜設定する。

[0051] 次に、実施形態の半導体デバイスについて説明する。

[0052] 図1は、実施形態の半塔体デバイスの一例を示す斜視図である。図1に示すように、実施形態の半導体デバイスは、半導体チップと前記半導体チップに接合されるボンディングワイヤとを備え、前記ボンディングワイヤは銅または銅合金から構成され、前記半導体チップの上部に設けられる電極と前記ボンディングワイヤとの接合部における、前記ボンディングワイヤの長手方向に垂直な前記ボンディングワイヤの横断面において、平均結晶粒径が10 μ m以上100 μ m以下であり、かつ、結晶方位<111>の集積率が40%以下である。

[0053] 半導体デバイス1において、ダイパッド3上に半導体チップ2、さらに半導体チップ2の上部に電極2aが設けられ、一方で基板電極であるインナーリード5が存在し、電極2aとインナーリード5がボンディングワイヤ4で接続されている。電極2aは、例えばアルミニウム電極または銅電極である。

[0054] ボンディングワイヤ4は、銅（銅線）または銅合金（銅合金線）から構成される。

[0055] ボンディングワイヤは、例えばAg、Cr、Snなどの元素を少量含む銅合金でもよいが、軟らかさと半導体チップ2およびインナーリード5間の導通を確保し、近年の高出力化、大電流化の傾向を加味すると、銅であることが好ましい。その中でも、銅の含有量が多いほど導電率が高いことから、99.90質量%以上のCuおよび不可避不純物からなる純銅であるタフピッ

チ銅であることが好ましく、99.96質量%以上のCu、10ppm以下の酸素および不可避不純物からなる無酸素銅であることがより好ましい。

[0056] ボンディングワイヤ4を構成する銅合金としては、0.1質量%以上1.0質量%以下のAg、0.1質量%以上1.0質量%以下のCr、0.1質量%以上1.0質量%以下のSnの少なくとも1種の元素を含有し、残部がCuおよび不可避不純物からなる合金組成を有することが好ましい。

[0057] Ag、Cr、Snが上記下限値以上であると、ボンディングワイヤ4の引張耐久性を向上できる。そのため、ボンディングワイヤ4を半導体チップ2の電極2aに接合する際のボンディングワイヤ4の繰り出し時の引張負荷に対して耐久することができ、接合スピードを向上させることができる。一方で、Ag、Cr、Snが上記上限値超であると、ボンディングワイヤ4の導電率を低下させる要因となりうる。そのため、パワー半導体向けのボンディングワイヤとしては上記元素の低濃度での添加が好ましい。このような観点から、銅合金がAgを含む場合のAgの含有量について、上限値は、より好ましくは0.7質量%以下、さらに好ましくは0.4質量%以下である。銅合金がCrを含む場合のCrの含有量について、上限値は、より好ましくは0.7質量%以下、さらに好ましくは0.4質量%以下である。銅合金がSnを含む場合のSnの含有量について、上限値は、より好ましくは0.7質量%以下、さらに好ましくは0.4質量%以下である。

[0058] 上述した元素以外の残部は不可避不純物である。不可避不純物の含有量によってはボンディングワイヤ4の導電率を低下させる要因になりうるため、不可避不純物の含有量は少ないことが好ましい。

[0059] ボンディングワイヤ4が銅合金の場合、不可避不純物としては、例えば、アルミニウム(Al)、ベリリウム(Be)、カドミウム(Cd)、鉄(Fe)、マグネシウム(Mg)、ニッケル(Ni)、リン(P)、鉛(Pb)、ケイ素(Si)、チタン(Ti)などの元素が挙げられる。また、ボンディングワイヤ4が銅の場合、不可避不純物としては、上記の元素に加えて、銅合金に意図的に含有されて銅と合金化する元素、例えばAg、Cr、Sn

などの元素も含まれる。なお、不可避不純物の含有量の上限は、上記元素の合計で20ppm以下であることが好ましい。

[0060] また、半導体チップ2上の電極2aとボンディングワイヤ4との接合部6における、ボンディングワイヤ4の長手方向に垂直なボンディングワイヤ4の横断面において、平均結晶粒径は10 μ m以上100 μ m以下であり、かつ、結晶方位<111>の集積率は40%以下である。ボンディングワイヤ4の横断面において、結晶方位<111>の集積率とは、全結晶方位に対する、結晶方位<111>から $\pm 15^\circ$ ずれた範囲の結晶方位の割合である。また、接合部6とは、ボンディングワイヤ4の、半導体チップ2上の電極2aと接合している部分である。

[0061] 接合部6におけるボンディングワイヤ4の横断面において、ボンディングワイヤ4の平均結晶粒径および結晶方位<111>の集積率が上記範囲内であると、半導体チップ2とボンディングワイヤ4との接合に起因する半導体チップ2の破損が抑制され、良好な半導体デバイス1を得ることができる。

[0062] また、接合部6におけるボンディングワイヤ4の横断面において、結晶方位<100>の集積率および結晶方位<110>の集積率の合計集積率は、15%以上40%以下であることが好ましい。接合部6におけるボンディングワイヤ4の横断面において、結晶方位<100>の集積率および結晶方位<110>の集積率の合計集積率とは、全結晶方位に対する、結晶方位<100>から $\pm 15^\circ$ ずれた範囲の結晶方位および結晶方位<110>から $\pm 15^\circ$ ずれた範囲の結晶方位の合計結晶方位の割合である。

[0063] 接合部6におけるボンディングワイヤ4の横断面において、ボンディングワイヤ4の上記合計集積率が上記範囲内であると、ボンディングワイヤ4について、軟らかくなり、衝撃耐久性に優れ、配策時の曲げが容易となることから、省スペース化が可能となる。

[0064] また、接合部6におけるボンディングワイヤ4の横断面において、隣接する結晶の方位差が15度以上の結晶粒界の長さ L_B に対する双晶粒界の長さ L_T の比(L_T/L_B)は、0.7以上1.0以下であることが好ましい。接合部

6におけるボンディングワイヤ4の横断面において、上記比 (L_T/L_B) が上記範囲内であると、ボンディングワイヤ4について、軟らかくなり、衝撃耐久性に優れ、配策時の曲げが容易となることから、省スペース化が可能となる。

[0065] また、ボンディングワイヤ4が丸線の場合には、ボンディングワイヤ4（丸線）の線径が0.1mm以上であり、ボンディングワイヤ4がリボン線の場合には、ボンディングワイヤ4（リボン線）の厚さが0.1mm以上であると、ボンディングワイヤ4には比較的高い電流を流すことができる。そのため、ボンディングワイヤ4は、パワー半導体向けのボンディングワイヤに好適である。

[0066] また、ボンディングワイヤ4（丸線）の線径が0.5mm以下であり、ボンディングワイヤ4（リボン線）の厚さが0.5mm以下であると、半導体デバイスの小型化のトレンドに対する配線スペースの確保に十分に対応でき、さらには、ボンディングワイヤ4を容易に曲げやすい。

[0067] また、ボンディングワイヤ4の外周面の酸化を防止するために、ボンディングワイヤ4は、外周面を被覆する不図示の金属被膜層を有してもよい。金属被膜層としては、好適にはパラジウム被覆層である。ボンディングワイヤ4の外周面を被覆するパラジウム被覆層は、例えばめっき処理によって形成される。

[0068] 半導体チップ2の電極2aとボンディングワイヤ4との接合に起因する半導体チップ2の破損を抑制する観点から、ボンディングワイヤ4は上記実施形態の銅系線材であることが好ましい。

[0069] 次に、実施形態の半導体デバイスにおける半導体チップ2とボンディングワイヤ4との接合方法について説明する。ここでは、ウェッジボンディングで半導体チップ2とボンディングワイヤ4とを接合する方法を説明するが、半導体チップ2とボンディングワイヤ4との接合方法はウェッジボンディングに限定されるわけではない。

[0070] 図2は、ウェッジボンディング前のボンディングワイヤの長手方向に垂直

な横断面の一例を示す概略図であり、図3は、ウェッジボンディング時のボンディングワイヤの長手方向に垂直な横断面の一例を示す概略図である。

[0071] ボンディングワイヤ4は、半導体チップ2上の電極2aに接合される。ウェッジボンディングでは、ウェッジ状の工具7でボンディングワイヤ4を半導体チップ2上の電極2aに押し当て、60kHz以上120kHz以下の周波数、0.1秒以上0.8秒以内の時間で、超音波を印加して、ボンディングワイヤ4を半導体チップ2の電極2aに接合する。こうして、半導体チップ2と半導体チップ2に接合されるボンディングワイヤ4とを備える半導体デバイスを得ることができる。

[0072] 以上説明した実施形態によれば、銅系線材の結晶粒径および結晶方位を同時に制御することに着目し、銅系線材の横断面における平均結晶粒径および結晶方位 $\langle 111 \rangle$ の集積率を制御することによって、従来では背反の関係であったヤング率および0.2%耐力を同時に下げることができる。そのため、銅系線材は、軟らかく、半導体チップに押し当てても負荷が小さく、衝撃耐久性に優れている。さらに、銅系線材をボンディングワイヤとして用いると、半導体デバイスに搭載される半導体チップに銅系線材（ボンディングワイヤ）を接合する際に、銅系線材が適度に変形するため、半導体チップへの負荷が軽減され、半導体チップとボンディングワイヤとの接合に起因する半導体チップの破損を抑制できる。

[0073] 以上、実施形態について説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、本開示の概念および特許請求の範囲に含まれるあらゆる態様を含み、本開示の範囲内で種々に改変することができる。

実施例

[0074] 次に、実施例および比較例について説明するが、本開示はこれら実施例に限定されるものではない。

[0075] (実施例A1～A4、A7～A14および比較例A1～A3)

表1に示す成分で構成される銅系材料について鑄造工程、押出工程、および第1伸線工程を施し、線径0.56mmの線材を得た。続いて、表2に示

す条件で第1熱処理工程を施した。続いて、第2伸線工程を施し、表2に示す形状、線径、厚さ、幅、および加工率を有する線材を得た。第2伸線工程では、丸穴ダイス、平角形状のダイス、または2つのロールで配置される隙間を通して伸線するカセットローラーダイス（CRD）を用いて、丸線またはリボン線に仕上げた。続いて、表2に示す条件で第2熱処理工程を施した。こうして、銅系線材を得た。

[0076]（実施例A5～A6）

表1に示す成分で構成される銅系材料について鑄造工程、圧延工程、および第1伸線工程を施し、厚さ0.56mmの条材を得た。続いて、表2に示す条件で第1熱処理工程を施した。続いて、第2伸線工程を施し、表2に示す形状、厚さ、幅、および加工率を有する線材を得た。第2伸線工程では、表2に示す厚さまで圧延し、スリット加工をして所望の幅に切り出し、リボン線に仕上げた。続いて、表2に示す条件で第2熱処理工程を施した。こうして、銅系線材を得た。

[0077]（実施例A15）

実施例A1で得られた銅系線材について、めっき工程を施した。めっき工程では、まず、苛性ソーダ、炭酸ソーダ、ケイ酸ソーダからなるアルカリ浴に銅系線材を浸漬し、銅系線材が陰極になるように電流を 5 A/dm^2 にて5秒間通電し、銅系線材の表面に存在する有機物の汚れを除去した。続いて、水洗後の銅系線材を10%濃度の硫酸浴に5秒間浸漬し、銅系線材の表面の酸化被膜を除去した。続いて、水洗後の銅系線材をパラジウム含有溶液に浸漬し、電流 $4\sim 20\text{ A/dm}^2$ にて電気めっきを行い、パラジウム被覆層の厚さが $1\ \mu\text{m}$ になるように電流値および時間を調節して、パラジウム被覆層を銅系線材の表面に形成した。パラジウム被覆層の厚さは、銅系線材の長手方向に垂直な断面を光学顕微鏡で観察して求めた。

[0078] パラジウム含有溶液は、パラジウム金属量 8 g/L （パラジウム金属錯体であるジクロロテトラアンミンパラジウム 98 g/L ）、硝酸アンモニウム 400 g/L 、塩化アンモニウム 160 g/L からなるもので、アンモニア

水にてpH8～9の間になるようにpHを調整した。パラジウム含有溶液の温度は60℃とした。

[0079] (実施例B1～B15および比較例B1～B3)

表4に示すように、上記実施例および比較例で得られた銅系線材をボンディングワイヤとして用いて、縦10mm、横10mmの半導体チップ上に設けられている電極（アルミニウム電極パッド）に銅系線材を押し当てて、超音波接合を施して、半導体チップに銅系線材を接合した。超音波の印加条件は、周波数60kHz、時間0.3秒であった。こうして、ウェッジボンディングによって、半導体デバイスを得た。

[0080] [評価]

上記実施例および比較例で得られた銅系線材および半導体デバイスについて、下記の評価を行った。結果を表3～4に示す。

[0081] [1] 平均結晶粒径、結晶方位の集積率、および比(L_T/L_B)

平均結晶粒径、結晶方位および比(L_T/L_B)は、高分解能走査型分析電子顕微鏡（日本電子株式会社製、JSM-7001FA）に付属するEBSD検出器（TSL社製、OIM5.0 HIKARI）を用いて連続して測定した結晶方位データから解析ソフト（TSL社製、OIM Analysis）を用いて算出した結晶方位解析データから得た。「EBSD」とは、Electron Back Scatter Diffractionの略で、走査型電子顕微鏡（SEM）内で測定試料に電子線を照射したときに生じる反射電子菊池線回折を利用した結晶方位解析技術のことである。

[0082] 測定対象は、1本の銅系線材を長手方向に対して垂直に切断した横断面を研磨で鏡面仕上げされた面、または図1に示すように半導体チップとボンディングワイヤとの接合部6をボンディングワイヤの長手方向に対して垂直な切断線Pに沿って切断した切断横断面を研磨で鏡面仕上げされた面（図1では、2つの切断横断面のうち、紙面右手前側のボンディングワイヤの面）とした。測定領域は、断面の全範囲とした。測定は、EBSDのステップサイズ1μmで行った。EBSDでの測定では、n3（3つの測定対象）の測定

を実施し、その平均値を算出した。

[0083] 平均結晶粒径は、測定範囲に対して解析ソフトの `chart-grain size (diameter)` を選択し、`area`法にて算出した。

[0084] 各結晶方位の集積率は、`IPFmap`上で銅系線材またはボンディングワイヤの長手方向に平行な方位を選択し、`chart-crystal direction`にてその方位に対して結晶方位 $\langle 111 \rangle$ 、結晶方位 $\langle 100 \rangle$ 、結晶方位 $\langle 110 \rangle$ から $\pm 15^\circ$ の方位粒の面積が全方位粒の面積に占める割合を、それぞれ結晶方位 $\langle 111 \rangle$ の集積率、結晶方位 $\langle 100 \rangle$ の集積率、結晶方位 $\langle 110 \rangle$ の集積率とした。

[0085] また、`Rotation Angle`にて 15° 以上 65° 以下を選択し、その結晶方位差の合計の長さを L_B とし、`CSL`にて $\Sigma 3$ を選択し、その合計の長さを L_T とした。そして、 L_B を L_T で割って、比 (L_T/L_B) を算出した。なお、`CSL`とは、`Coincidence Site Lattice`の略で、対応を意味し、双晶粒界は対応粒界 $\Sigma 3$ で表される。

[0086] [2] 成分分析

線径8mmの荒引線を得た段階で、荒引線をプレスして平板状にし、発光分光分析を用いてn3の平均値を算出した。

[0087] [3] 0.2%耐力

JIS Z2241に準じて、精密万能試験機（株式会社島津製作所製）を用いて、引張試験を行い、オフセット法にて0.2%耐力（MPa）を求めた。なお、引張試験は、各試料3本ずつ行い（n3）、その平均値を求めた。0.2%耐力は、20MPa以上90MPa以下を合格とした。

[0088] [4] ヤング率

共振法を用いたヤング率測定装置JERT（日本テクノプラス製）を用いて、ヤング率測定を実施した。サンプルを測定時の共振周波数における振幅が大きくなるように40mm以上60mm以下の任意の長さに切り出し、サンプルの重さを測定して密度を算出した。n3の測定を行い、平均値を算出した。ヤング率は、80GPa以上120GPa以下を合格とした。

[0089] [5] 加工硬化指数

JIS Z 2241 に準じて、精密万能試験機（株式会社島津製作所製）を用いて、引張試験を行い、式： $\sigma=C \times \varepsilon^n$ （ σ ：真応力、 C ：強度定数、 ε ：真ひずみ、 n ：加工硬化指数）より加工硬化指数を求めた。

[0090] [6] 半導体チップの破損

半導体チップ上に設けられているアルミニウム電極パッドに銅系線材を押し当てて、超音波接合を施して、半導体チップに銅系線材を接合した際の半導体チップの破損状態について評価した。実施例および比較例で得られた半導体デバイスについて、超音波接合後の半導体チップ上のアルミニウム電極パッド表面を目視で観察し、き裂が観察されたものは、半導体チップの破損ありとして不合格とした。一方で、き裂が確認されなかったものは、半導体チップの破損なしとして合格とした。

[0091]

[表1]

	材料	含有量 (質量%)				含有量 (ppm)
		Cu	Ag	Cr	Sn	不可避不純物の合計
実施例A1	無酸素銅	99.96以上	-	-	-	6
実施例A2	無酸素銅	99.96以上	-	-	-	3
実施例A3	無酸素銅	99.96以上	-	-	-	6
実施例A4	無酸素銅	99.96以上	-	-	-	8
実施例A5	無酸素銅	99.96以上	-	-	-	4
実施例A6	無酸素銅	99.96以上	-	-	-	6
実施例A7	無酸素銅	99.96以上	-	-	-	10
実施例A8	無酸素銅	99.96以上	-	-	-	13
実施例A9	無酸素銅	99.96以上	-	-	-	16
実施例A10	無酸素銅	99.96以上	-	-	-	20
実施例A11	タフピッチ銅	99.90以上	-	-	-	-
実施例A12	銅合金	残	0.6	-	-	15
実施例A13	銅合金	残	-	1.0	-	16
実施例A14	銅合金	残	-	-	0.3	18
実施例A15	無酸素銅	99.96以上	-	-	-	6
比較例A1	無酸素銅	99.96以上	-	-	-	10
比較例A2	無酸素銅	99.96以上	-	-	-	10
比較例A3	タフピッチ銅	99.90以上	-	-	-	-

[0092]

[表2]

	第1熱処理工程			第2伸線工程						第2熱処理工程	
	温度	時間	種類	形状	線径 (mm)	厚さ (mm)	幅 (mm)	加工率 (%)	温度	時間	
実施例A1	400°C	1時間	バッチ	丸線	0.51	-	-	17	800°C	9秒	
実施例A2	500°C	1時間	バッチ	丸線	0.53	-	-	10	800°C	9秒	
実施例A3	600°C	1時間	バッチ	リボン線 (平角線)	-	0.25	0.43	54	800°C	9秒	
実施例A4	700°C	1時間	バッチ	リボン線 (平角線)	-	0.31	0.45	43	800°C	9秒	
実施例A5	800°C	1時間	バッチ	リボン線 (条線)	-	0.40	0.56	29	800°C	9秒	
実施例A6	900°C	1時間	バッチ	リボン線 (条線)	-	0.30	0.56	46	800°C	9秒	
実施例A7	700°C	15秒	走間	リボン線 (トラック形状線)	-	0.40	-	13	800°C	9秒	
実施例A8	800°C	9秒	走間	丸線	0.31	-	-	69	800°C	9秒	
実施例A9	800°C	12秒	走間	丸線	0.45	-	-	35	700°C	9秒	
実施例A10	950°C	6秒	走間	リボン線 (トラック形状線)	-	0.31	-	20	700°C	9秒	
実施例A11	800°C	12秒	走間	丸線	0.45	-	-	35	700°C	9秒	
実施例A12	800°C	12秒	走間	丸線	0.45	-	-	35	700°C	9秒	
実施例A13	800°C	12秒	走間	丸線	0.45	-	-	35	700°C	9秒	
実施例A14	800°C	12秒	走間	丸線	0.45	-	-	35	700°C	9秒	
実施例A15	400°C	1時間	バッチ	丸線	0.51	-	-	17	800°C	9秒	
比較例A1	-	-	-	丸線	0.45	-	-	99	800°C	9秒	
比較例A2	300°C	1時間	バッチ	丸線	0.45	-	-	35	800°C	9秒	
比較例A3	300°C	1時間	バッチ	丸線	0.45	-	-	35	600°C	9秒	

[0093] [表3]

	金属組織				材料特性		
	平均結晶粒径 (μm)	<111>の集積率 (%)	<100>の集積率と <110>の集積率の 合計集積率 (%)	比(L_T/L_B)	0.2%耐力 (MPa)	ヤング率 (GPa)	加工硬化指数
実施例A1	20	30	20	0.54	51	118	0.30
実施例A2	31	25	18	0.61	45	113	0.36
実施例A3	41	20	15	0.72	38	105	0.42
実施例A4	53	13	24	0.77	33	102	0.45
実施例A5	110	8	28	0.90	28	108	0.55
実施例A6	150	4	22	0.85	20	95	0.60
実施例A7	25	40	32	0.48	90	120	0.13
実施例A8	35	32	35	0.57	78	118	0.38
実施例A9	44	28	44	0.62	72	115	0.40
実施例A10	54	25	38	0.70	65	112	0.32
実施例A11	40	25	22	0.73	75	117	0.29
実施例A12	38	28	14	0.68	85	115	0.25
実施例A13	28	25	10	0.36	83	119	0.26
実施例A14	33	26	12	0.65	85	115	0.24
実施例A15	20	30	20	0.54	51	118	0.35
比較例A1	37	70	12	0.60	46	150	0.61
比較例A2	10	45	15	0.77	102	135	0.15
比較例A3	5	29	42	0.29	118	115	0.14

[0094]

[表4]

	材料	ボンディング後の金属組織				評価
		平均結晶粒径 (μm)	<111>の集積率 (%)	<100>の集積率と <110>の集積率の 合計集積率 (%)	比(L_T/L_B)	
実施例B1	実施例A1の銅系線材	10	27	24	0.54	なし
実施例B2	実施例A2の銅系線材	21	26	22	0.60	なし
実施例B3	実施例A3の銅系線材	24	21	15	0.72	なし
実施例B4	実施例A4の銅系線材	28	14	22	0.77	なし
実施例B5	実施例A5の銅系線材	60	7	32	0.91	なし
実施例B6	実施例A6の銅系線材	88	4	20	0.83	なし
実施例B7	実施例A7の銅系線材	13	40	33	0.45	なし
実施例B8	実施例A8の銅系線材	18	33	35	0.56	なし
実施例B9	実施例A9の銅系線材	25	26	43	0.62	なし
実施例B10	実施例A10の銅系線材	28	23	35	0.7	なし
実施例B11	実施例A11の銅系線材	22	24	23	0.72	なし
実施例B12	実施例A12の銅系線材	20	28	15	0.66	なし
実施例B13	実施例A13の銅系線材	14	22	10	0.4	なし
実施例B14	実施例A14の銅系線材	20	24	12	0.65	なし
実施例B15	実施例A15の銅系線材	11	30	20	0.54	なし
比較例B1	比較例A1の銅系線材	21	72	11	0.63	あり
比較例B2	比較例A2の銅系線材	4	44	14	0.74	あり
比較例B3	比較例A3の銅系線材	3	28	45	0.28	あり

[0095] 表1～3に示すように、実施例A1～A15では、銅系線材の横断面における平均結晶粒径および結晶方位<111>の集積率、ならびに銅系線材のヤング率および0.2%耐力が所定範囲内に制御されていたため、銅系線材は軟らかく、半導体チップに押し当てても負荷が小さく、衝撃耐久性に優れていた。さらに、表4に示すように、実施例A1～A15で得られた銅系材料をボンディングワイヤとして用いた実施例B1～B15では、接合部におけるボンディングワイヤの横断面において、平均結晶粒径および結晶方位<111>の集積率が所定範囲内であり、半導体チップに接合する際に銅系線材が適度に変形したため、半導体チップへの負荷が軽減され、半導体チップとボンディングワイヤとの接合に起因する半導体チップの破損は発生しなかった。

[0096] 一方、比較例A1では、銅系線材の横断面における結晶方位<111>の集積率、および銅系線材のヤング率が所定範囲内に制御されていなかった。

さらに、比較例 A 1 で得られた銅系材料をボンディングワイヤとして用いた比較例 B 1 では、接合部におけるボンディングワイヤの横断面において、結晶方位 $\langle 111 \rangle$ の集積率が所定範囲内でなかった。そのため、比較例 B 1 では、半導体チップとボンディングワイヤとの接合に起因する半導体チップの破損が発生した。

[0097] また、比較例 A 2 では、銅系線材の横断面における平均結晶粒径および結晶方位 $\langle 111 \rangle$ の集積率、ならびに銅系線材のヤング率および 0.2% 耐力が所定範囲内に制御されていなかった。さらに、比較例 A 2 で得られた銅系材料をボンディングワイヤとして用いた比較例 B 2 では、接合部におけるボンディングワイヤの横断面において、平均結晶粒径および結晶方位 $\langle 111 \rangle$ の集積率が所定範囲内でなかった。そのため、比較例 B 2 では、半導体チップとボンディングワイヤとの接合に起因する半導体チップの破損が発生した。

[0098] また、比較例 A 3 では、銅系線材の横断面における平均結晶粒径、および 0.2% 耐力が所定範囲内に制御されていなかった。さらに、比較例 A 3 で得られた銅系材料をボンディングワイヤとして用いた比較例 B 3 では、接合部におけるボンディングワイヤの横断面において、平均結晶粒径が所定範囲内でなかった。そのため、比較例 B 3 では、半導体チップとボンディングワイヤとの接合に起因する半導体チップの破損が発生した。

符号の説明

- [0099]
- 1 半導体デバイス
 - 2 半導体チップ
 - 2 a 電極
 - 3 ダイパッド
 - 4 ボンディングワイヤ
 - 5 インナーリード
 - 6 接合部
 - 7 ウェッジ状の工具

請求の範囲

- [請求項1] 銅または銅合金から構成される銅系線材であって、
前記銅系線材の長手方向に垂直な横断面において、平均結晶粒径は $20\ \mu\text{m}$ 以上 $150\ \mu\text{m}$ 以下であり、かつ、結晶方位 $\langle 111 \rangle$ の集積率は40%以下であり、
ヤング率が80GPa以上120GPa以下、
0.2%耐力が20MPa以上90MPa以下である、銅系線材。
- [請求項2] 前記横断面において、結晶方位 $\langle 100 \rangle$ の集積率および結晶方位 $\langle 110 \rangle$ の集積率の合計集積率は、15%以上40%以下である、請求項1に記載の銅系線材。
- [請求項3] 前記横断面において、隣接する結晶の方位差が15度以上の結晶粒界の長さ L_B に対する双晶粒界の長さ L_T の比 (L_T/L_B) は、0.7以上1.0以下である、請求項1または2に記載の銅系線材。
- [請求項4] 前記銅系線材は、丸線またはリボン線である、請求項1～3のいずれか1項に記載の銅系線材。
- [請求項5] 前記銅系線材は、無酸素銅から構成される、請求項1～4のいずれか1項に記載の銅系線材。
- [請求項6] 前記銅系線材は、外周面を被覆するパラジウム被覆層を有する、請求項1～5のいずれか1項に記載の銅系線材。
- [請求項7] 半導体チップと前記半導体チップに接合されるボンディングワイヤとを備え、
前記ボンディングワイヤは銅または銅合金から構成され、
前記半導体チップの上部に設けられる電極と前記ボンディングワイヤとの接合部における、前記ボンディングワイヤの長手方向に垂直な前記ボンディングワイヤの横断面において、平均結晶粒径が $10\ \mu\text{m}$ 以上 $100\ \mu\text{m}$ 以下であり、かつ、結晶方位 $\langle 111 \rangle$ の集積率が40%以下である、半導体デバイス。
- [請求項8] 前記横断面において、結晶方位 $\langle 100 \rangle$ の集積率および結晶方位

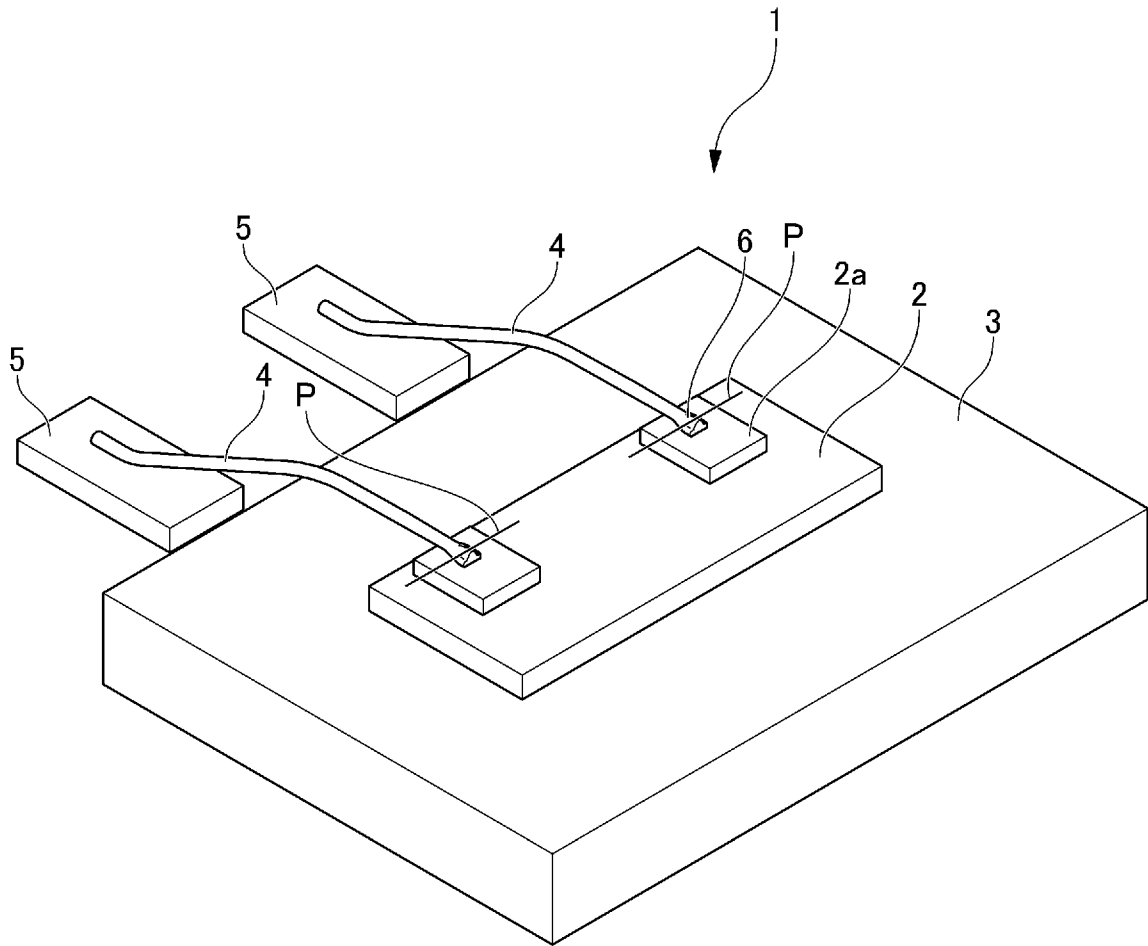
$\langle 110 \rangle$ の集積率の合計集積率は、15%以上40%以下である、請求項7に記載の半導体デバイス。

[請求項9] 前記横断面において、隣接する結晶の方位差が15度以上の結晶粒界の長さ L_B に対する双晶粒界の長さ L_T の比(L_T/L_B)は、0.7以上1.0以下である、請求項7または8に記載の半導体デバイス。

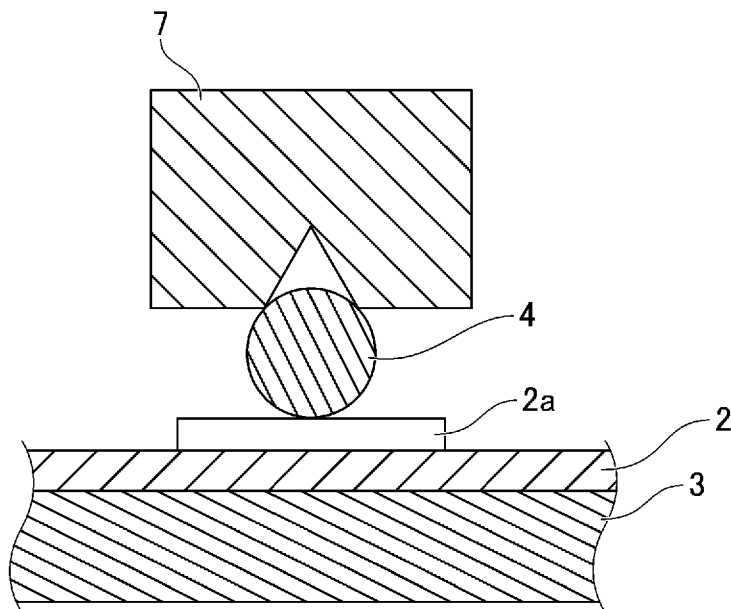
[請求項10] 前記ボンディングワイヤは、無酸素銅から構成される、請求項7～9のいずれか1項に記載の半導体デバイス。

[請求項11] 前記ボンディングワイヤは、外周面を被覆するパラジウム被覆層を有する、請求項7～10のいずれか1項に記載の半導体デバイス。

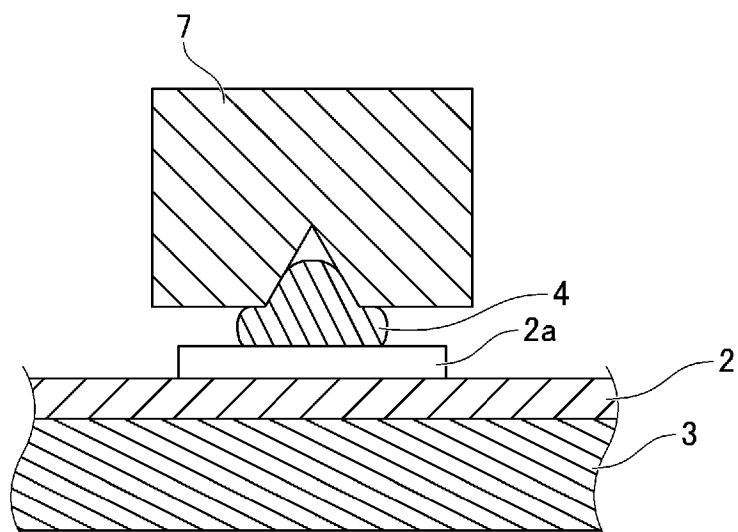
[図1]



[図2]



[図3]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/044602

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<p><i>C22C 9/00</i>(2006.01)i; <i>C22C 9/02</i>(2006.01)i; <i>C22F 1/00</i>(2006.01)i; <i>C22F 1/08</i>(2006.01)i; <i>H01L 21/60</i>(2006.01)i FI: C22C9/00; C22C9/02; H01L21/60 301F; C22F1/08 C; C22F1/00 612; C22F1/00 625; C22F1/00 606; C22F1/00 613; C22F1/00 630M; C22F1/00 630B; C22F1/00 661A; C22F1/00 681; C22F1/00 683; C22F1/00 684B; C22F1/00 685Z; C22F1/00 686A; C22F1/00 691B; C22F1/00 691C; C22F1/00 694A; C22F1/00 630Z; C22F1/00 661Z</p> <p>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) C22C9/00; C22C9/02; C22F1/00; C22F1/08; 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 1971-2023 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023		
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	WO 2016/002770 A1 (NIPPON STEEL & SUMIKIN MATERIALS CO., LTD.) 07 January 2016 (2016-01-07) claims, paragraphs [0020], [0078], [0080], examples	1, 4-5, 7, 10
Y		6, 11
A		2-3, 8-9
Y	WO 2020/183748 A1 (TANAKA DENSHI KOGYO K.K.) 17 September 2020 (2020-09-17) paragraph [0004]	6, 11
A	WO 2020/059856 A1 (NIPPON STEEL CHEMICAL & MAT CO LTD) 26 March 2020 (2020-03-26) claims	1-11
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 06 January 2023		Date of mailing of the international search report 24 January 2023
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 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/JP2022/044602

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO 2016/002770 A1	07 January 2016	(Family: none)	
WO 2020/183748 A1	17 September 2020	US 2022/0005781 A1 paragraph [0005] CN 113748493 A TW 202045739 A	
WO 2020/059856 A1	26 March 2020	US 2021/0043599 A1 claims JP 6651065 B1 EP 3745450 A1 KR 10-2020-0121847 A CN 111886685 A TW 202021001 A	

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））</p> <p>C22C 9/00(2006.01)i; C22C 9/02(2006.01)i; C22F 1/00(2006.01)i; C22F 1/08(2006.01)i; H01L 21/60(2006.01)i FI: C22C9/00; C22C9/02; H01L21/60 301F; C22F1/08 C; C22F1/00 612; C22F1/00 625; C22F1/00 606; C22F1/00 613; C22F1/00 630M; C22F1/00 630B; C22F1/00 661A; C22F1/00 681; C22F1/00 683; C22F1/00 684B; C22F1/00 685Z; C22F1/00 686A; C22F1/00 691B; C22F1/00 691C; C22F1/00 694A; C22F1/00 630Z; C22F1/00 661Z</p>																			
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））</p> <p>C22C9/00; C22C9/02; C22F1/00; C22F1/08; H01L21/60</p> <p>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</p> <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2023年</td> </tr> </table> <p>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）</p>		日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2023年	日本国実用新案登録公報	1996-2023年	日本国登録実用新案公報	1994-2023年										
日本国実用新案公報	1922-1996年																		
日本国公開実用新案公報	1971-2023年																		
日本国実用新案登録公報	1996-2023年																		
日本国登録実用新案公報	1994-2023年																		
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリ*</th> <th>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</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>WO 2016/002770 A1（新日鉄住金マテリアルズ株式会社）07.01.2016（2016-01-07） 請求の範囲，[0020]，[0078]，[0080]，実施例</td> <td>1, 4-5, 7, 10</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td></td> <td>6, 11</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td></td> <td>2-3, 8-9</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>WO 2020/183748 A1（田中電子工業株式会社）17.09.2020（2020-09-17） [0004]</td> <td>6, 11</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>WO 2020/059856 A1（日鉄ケミカル&マテリアル株式会社）26.03.2020（2020-03-26） 請求の範囲</td> <td>1-11</td> </tr> </tbody> </table> <p><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。</p> <p>* 引用文献のカテゴリ “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</p>		引用文献の カテゴリ*	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	WO 2016/002770 A1（新日鉄住金マテリアルズ株式会社）07.01.2016（2016-01-07） 請求の範囲，[0020]，[0078]，[0080]，実施例	1, 4-5, 7, 10	Y		6, 11	A		2-3, 8-9	Y	WO 2020/183748 A1（田中電子工業株式会社）17.09.2020（2020-09-17） [0004]	6, 11	A	WO 2020/059856 A1（日鉄ケミカル&マテリアル株式会社）26.03.2020（2020-03-26） 請求の範囲	1-11
引用文献の カテゴリ*	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	WO 2016/002770 A1（新日鉄住金マテリアルズ株式会社）07.01.2016（2016-01-07） 請求の範囲，[0020]，[0078]，[0080]，実施例	1, 4-5, 7, 10																	
Y		6, 11																	
A		2-3, 8-9																	
Y	WO 2020/183748 A1（田中電子工業株式会社）17.09.2020（2020-09-17） [0004]	6, 11																	
A	WO 2020/059856 A1（日鉄ケミカル&マテリアル株式会社）26.03.2020（2020-03-26） 請求の範囲	1-11																	
<p>国際調査を完了した日</p> <p>06.01.2023</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>24.01.2023</p>																		
<p>名称及びあて先</p> <p>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</p>	<p>権限のある職員（特許庁審査官）</p> <p>立木 林 4K 4660</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3435</p>																		

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/JP2022/044602

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
WO	2016/002770	A1	07.01.2016	(ファミリーなし)			
WO	2020/183748	A1	17.09.2020	US	2022/0005781	A1	
				[0005]			
				CN	113748493	A	
				TW	202045739	A	
WO	2020/059856	A1	26.03.2020	US	2021/0043599	A1	
				Claims			
				JP	6651065	B1	
				EP	3745450	A1	
				KR	10-2020-0121847	A	
				CN	111886685	A	
				TW	202021001	A	