

明 細 書

発明の名称：

ボンディングワイヤ用銅素線及びボンディングワイヤ用銅素線の製造方法 技術分野

[0001] 本発明は、線径 $180\mu\text{m}$ 以下のボンディングワイヤを製出する際に使用されるボンディングワイヤ用銅素線及びボンディングワイヤ用銅素線の製造方法に関する。

本願は、2011年7月22日に日本に出願された特願2011-161036号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 一般に、半導体素子を搭載した半導体装置においては、半導体素子とリードとを、上述のボンディングワイヤによって接続している。従来、ボンディングワイヤとしては、伸線性及び導電性等の観点から主にAu線が使用されている。しかしながら、Auは高価であることから、このAu線を代用するボンディングワイヤとして、Cu製のボンディングワイヤが提供されている。

[0003] ここで、Cuは、Auに比べて硬いため、ボンディング時にワイヤ先端に形成されたボールが、例えばSi半導体素子の表面に形成されたAl配線被膜を破壊してしまうおそれがあった。また、Cuは、Auに比べて伸びが低いため、適正なワイヤループ形状を維持できないといった問題があった。

そこで、例えば、特許文献1、2には、純度が99.9999質量%以上の超高純度銅(6NCu)を用いたCu製のボンディングワイヤが提案されている。また、特許文献3には、Ti、Zr、Hf、V、Cr及びBを微量添加したCu製のボンディングワイヤが提案されている。

[0004] ところで、特許文献1、2に記載されているように、純度が99.9999質量%以上の超高純度銅(6NCu)を用いる場合においては、超高純度

銅（6 N C u）を得るために精錬処理工程が必要となる。このため、製造コストが大幅に増加してしまうといった問題があった。

また、特許文献3に記載されたボンディングワイヤにおいては、A uに比べると未だ硬く、かつ伸びも低い。このため、A u線の代用としては特性が不十分であった。

さらに、近年では、C u線からなるボンディングワイヤの細線化が求められており、ボンディングワイヤ用銅素線には、断線することのない加工性も求められている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開昭62-111455号公報

特許文献2：特開平04-247630号公報

特許文献3：特公平04-012623号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] この発明は、前述した事情に鑑みてなされたものであって、硬さが低く、かつ伸びが高く、さらに加工性に優れたボンディングワイヤ用銅素線及びボンディングワイヤ用銅素線の製造方法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

[0007] 上記の課題を解決するために、本発明の一態様に係るボンディングワイヤ用銅素線は、線径180 μ m以下のボンディングワイヤを形成するための銅素線であって、素線径が0.15mm以上3.0mm以下であり、Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Zr, Ti, 及び希土類元素から選択される1種以上の添加元素を合計で0.0001質量%以上0.01質量%以下の範囲で含有し、残部が銅及び不可避不純物である組成を有し、EBSD法にて測定された全ての結晶粒界の長さLに対する特殊粒界の長さL σ の比率である特殊粒界比率（L σ /L）が50%以上である。

[0008] このボンディングワイヤ用銅素線においては、Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Zr, Ti, 及び希土類元素から選択される1種以上の添加元素を合計で0.0001質量%以上0.01質量%以下の範囲で含有し、残部が銅及び不可避不純物である組成を有する。このため、銅中に含まれるSが上述の元素と反応して化合物を形成することになる。これにより、Sの影響が小さくなり、再結晶温度を低くすることができ、かつ硬さを低くすることができる。

また、EBSD法にて測定された全ての結晶粒界の長さLに対する特殊粒界の長さ L_σ の比率である特殊粒界比率(L_σ/L)が50%以上である。このため、硬さを低く維持したまま、伸び及び加工性を向上させることが可能となる。

[0009] なお、電界放出型走査電子顕微鏡を用いたEBSD測定装置によって、結晶粒界、特殊粒界を特定し、全ての結晶粒界の長さL及び特殊粒界の長さ L_σ を算出する。これら長さより、本態様における特殊粒界比率(L_σ/L)が得られる。

結晶粒界は、二次元断面観察の結果、隣り合う2つの結晶間の配向方位差が 15° 以上となっている場合の当該結晶間の境界として定義される。

また、特殊粒界とは、結晶学的にCSL理論(Kronberg et al.: Trans. Met. Soc. AIME, 185, 501 (1949))に基づき定義される Σ 値が $3 \leq \Sigma \leq 29$ を満たす対応粒界であって、かつ、当該対応粒界における固有対応部位格子方位欠陥 Dq が、 $Dq \leq 15^\circ / \Sigma^{1/2}$ (D. G. Brandon: Acta Metallurgica, Vol. 14, p. 1479, (1966))を満たす結晶粒界であるとして定義される。

[0010] 本発明の一態様に係るボンディングワイヤ用銅素線では、前記添加元素の含有量の合計が0.0003質量%以上0.002質量%以下であることが好ましい。

この場合、再結晶温度を確実に低く抑えることができ、硬さを低くするこ

とができる。

- [0011] また、前記不可避不純物である Fe, Pb, 及び S の含有量が、Fe ; 0.0001 質量%以下、Pb ; 0.0001 質量%以下、及び S ; 0.005 質量%以下であることが好ましい。

前述のように不純物の含有量を規定することにより、再結晶温度を確実に低く抑えることができ、硬さを低くすることができる。

- [0012] 前記ボンディングワイヤ用銅素線 100 g を硝酸溶液に加熱溶解して得られる粒径 30 μ m 以上の酸不溶解残渣物の個数が 1000 個以下であることが好ましい。

この場合、ボンディングワイヤ用銅素線の内部に存在する酸不溶解残渣物の粒径が小さく、かつ、個数が少ない。このため、ボンディングワイヤを製造する際の伸線加工時における断線の発生を抑制することが可能となる。

- [0013] 前記ボンディングワイヤ用銅素線を硝酸溶液に加熱溶解して得られる酸不溶解残渣物の量が 0.00015 質量%以下であることが好ましい。

この場合、ボンディングワイヤ用銅素線の内部に存在する酸不溶解残渣物の存在比率が少ない。このため、ボンディングワイヤを製造する際の伸線加工時における断線の発生を抑制することが可能となる。

- [0014] 本発明の一態様に係るボンディングワイヤ用銅素線の製造方法は、前述のボンディングワイヤ用銅素線の製造方法であって、純度 99.99 質量%以上 99.998 質量%以下の銅原料に Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Zr, Ti, 及び希土類元素から選択される 1 種以上の添加元素を添加し、銅溶湯を生成する銅溶湯生成工程と、前記銅溶湯をベルト・ホイール式連続鑄造機に供給し、鑄塊を連続的に製出する連続鑄造工程と、製出された鑄塊を初期温度 800℃以上の条件で連続的に圧延する連続圧延工程と、を備えている。

- [0015] このボンディングワイヤ用銅素線の製造方法によれば、純度 99.99 質量%以上 99.998 質量%以下、いわゆる 4NCu の銅原料を用いている。このため、6NCu を用いる場合比べて、ボンディングワイヤ用銅素線の

製造コストを大幅に低減することができる。

さらに、製出された鋳塊を初期温度 800℃以上の条件で連続的に圧延する連続圧延工程を備えている。このため、ボンディングワイヤ用銅素線における特殊粒界比率 ($L\sigma/L$) を 50%以上とすることができる。

[0016] また、本発明の他の態様に係るボンディングワイヤ用銅素線の製造方法は、前述のボンディングワイヤ用銅素線の製造方法であって、純度 99.99 質量%以上 99.998 質量%以下の銅原料に Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Zr, Ti, 及び希土類元素から選択される 1 種以上の添加元素を添加し、銅溶湯を生成する銅溶湯生成工程と、前記銅溶湯を鋳型に注入して鋳塊を製出する鋳造工程と、得られた鋳塊を初期温度 800℃以上の条件で押出加工して押出素線を製出する押出工程と、得られた押出素線に対して、圧延加工又は伸線加工のいずれかと焼鈍とを繰り返し実施する加工・焼鈍工程と、圧下率 5%以上 25%以下で圧延して最終線径 0.15 mm 以上 3.0 mm 以下とする軽圧下工程と、を備えている。

[0017] このボンディングワイヤ用銅素線の製造方法によれば、純度 99.99 質量%以上 99.998 質量%以下、いわゆる 4NCu の銅原料を用いている。このため、6NCu を用いる場合比べて、ボンディングワイヤ用銅素線の製造コストを大幅に低減することができる。

さらに、押出素線に対して圧延加工又は伸線加工のいずれかと焼鈍とを繰り返し実施する加工・焼鈍工程と、圧下率 5%以上 25%以下で圧延して最終線径 0.15 mm 以上 3.0 mm 以下とする軽圧下工程と、を備えている。このため、ボンディングワイヤ用銅素線における特殊粒界比率 ($L\sigma/L$) を 50%以上とすることができる。

発明の効果

[0018] 本発明の一態様によれば、硬さが低く、かつ、伸びが高く、さらに加工性に優れたボンディングワイヤ用銅素線及びボンディングワイヤ用銅素線の製造方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]本発明の一実施形態であるボンディングワイヤ用銅素線を製造する際に使用される連続鋳造圧延装置の説明図である。

[図2]本発明の一実施形態であるボンディングワイヤ用銅素線の製造方法のフロー図である。

[図3]本発明の他の実施形態であるボンディングワイヤ用銅素線の製造方法のフロー図である。

[図4]本発明例1における酸不溶解残渣物の評価結果を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0020] 以下に、本発明の一実施形態に係るボンディングワイヤ用銅素線及びボンディングワイヤ用銅素線の製造方法について説明する。

[0021] 本実施形態に係るボンディングワイヤ用銅素線は、線径 $180\mu\text{m}$ 以下、より望ましくは、線径 $20\mu\text{m}$ 以上 $180\mu\text{m}$ 以下のボンディングワイヤを製造する際の素材として使用される。

また、本実施形態に係るボンディングワイヤ用銅素線の素線径は、 0.15mm 以上 3.0mm 以下である。

[0022] このボンディングワイヤ用銅素線は、Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Zr, Ti, 及び希土類元素から選択される1種以上の添加元素を合計で 0.0001 質量%以上 0.01 質量%以下の範囲で含有し、残部が銅及び不可避不純物である組成を有する。好ましくは、Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Zr, Ti, 及び希土類元素から選択される1種以上の添加元素の含有量の合計は、 0.0003 質量%以上 0.002 質量%以下である。

また、前記不可避不純物であるFe, Pb, Sの含有量は、Fe; 0.0001 質量%以下、Pb; 0.0001 質量%以下、S; 0.005 質量%以下である。

ここで、希土類元素とは、Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, 及びLuである。

[0023] このボンディングワイヤ用銅素線の特殊粒界比率($L\sigma/L$)は 50% 以上である。ここで、特殊粒界比率は、全ての結晶粒界の長さLに対する特殊

粒界の長さ L_σ の比率である。電界放出型走査電子顕微鏡を用いたEBSD測定装置によって、結晶粒界、特殊粒界を特定し、全ての結晶粒界の長さ L 及び特殊粒界の長さ L_σ を算出する。この算出された長さから、特殊粒界比率が得られる。すなわち、本実施形態であるボンディングワイヤ用銅素線は、通常の結晶粒界よりも特殊粒界の方がより多く存在している。

結晶粒界は、二次元断面観察の結果、隣り合う2つの結晶間の配向方位差が 15° 以上となっている場合の当該結晶間の境界として定義される。

また、特殊粒界とは、結晶学的にCSL理論(Kronberg et al: Trans. Met. Soc. AIME, 185, 501 (1949))に基づいて定義される Σ 値が $3 \leq \Sigma \leq 29$ を満たす対応粒界であって、かつ、当該対応粒界における固有対応部位格子方位欠陥 Dq が、 $Dq \leq 15^\circ / \Sigma^{1/2}$ (D. G. Brandon: Acta Metallurgica, Vol. 14, p. 1479, (1966))を満たす結晶粒界であるとして定義される。

[0024] また、本実施形態であるボンディングワイヤ用銅素線100gを硝酸溶液に加熱溶解して得られる粒径 $30\mu\text{m}$ 以上の酸不溶解残渣物の個数が1000個以下である。さらに、上述の酸不溶解残渣物の存在比率が0.00015質量%以下である。

[0025] 酸不溶解残渣物の評価は、次のような手順で実施される。

まず、表面を洗浄したボンディングワイヤ用銅素線から所定量(100g)の試料をサンプリングし、加熱した硝酸溶液に加熱溶解する。溶解液を室温まで冷却後、フィルタでろ過し、残渣物を捕集する。

残渣物を捕集したフィルタを秤量し、残渣物の残渣質量を測定する。そして、試料(ボンディングワイヤ用銅素線)の量に対する残渣物の量(残渣質量)の割合(質量%)を算出する。以上により、ボンディングワイヤ用銅素線を硝酸溶液に加熱溶解して得られる酸不溶解残渣物の量(存在比率)が測定される。

次いで、残渣物を捕集したフィルタを走査型電子顕微鏡により観察し、S

EM写真を撮影する。SEM写真を画像解析し、残渣物の大きさ及び個数を測定する。そして粒径 $30\mu\text{m}$ 以上の残渣物の個数を求める。以上により、ボンディングワイヤ用銅素線 100g を硝酸溶液に加熱溶解して得られる粒径 $30\mu\text{m}$ 以上の酸不溶解残渣物の個数が測定される。

[0026] 次に、本実施形態であるボンディングワイヤ用銅素線の製造方法について説明する。

結晶粒界の全結晶粒界長さ L に対する特殊粒界の全特殊粒界長さ L_{σ} の比率(L_{σ}/L)が50%以上であるボンディングワイヤ用銅素線は、連続鑄造圧延方法又は鑄塊の押出加工方法によって製造される。

[0027] 本実施形態では、図1に示す連続鑄造圧延装置10を用いた例で説明する。

図1に示す連続鑄造圧延装置10は、溶解炉11と、保持炉12と、鑄造樋13と、ベルト・ホイール式連続鑄造機30と、連続圧延装置15と、コイラー18とを有している。

[0028] 本実施形態では、溶解炉11として、円筒形の炉本体を有するシャフト炉を用いている。炉本体の下部には複数のバーナ（図示略）が円周方向に配備され、かつ上下方向に多段状に配備されている。そして、炉本体の上部から原料である電気銅が装入される。前記バーナの燃焼によって電気銅が溶解され、銅溶湯が連続的につくられる。

[0029] 保持炉12は、溶解炉11でつくられた純銅溶湯を、所定の温度で保持したまま一旦貯留し、一定量の銅溶湯を鑄造樋13に送る。

[0030] 鑄造樋13は、保持炉12から送られた銅溶湯を、ベルト・ホイール式連続鑄造機30の上方に配置されたタンディシュ20まで移送する。この鑄造樋13は、例えばAr等の不活性ガス又は還元性ガスでシールされている。なお、この鑄造樋13には、不活性ガスによって銅溶湯を攪拌する攪拌手段（図示なし）が設けられている。

[0031] タンディシュ20には、移送された銅溶湯に対して元素を添加する元素添加手段21が設けられている。また、タンディシュ20の銅溶湯の流れ方向

終端側には、注湯ノズル 22 が配置されている。この注湯ノズル 22 を介してタンディシュ 20 内の銅溶湯がベルト・ホイール式連続鑄造機 30 へと供給される。

ベルト・ホイール式連続鑄造機 30 は、外周面に溝が形成された鑄造輪 31 と、この鑄造輪 31 の外周面の一部に接触するように周回移動される無端ベルト 32 とを有する。前記溝と無端ベルト 32 との間に形成された空間に、注湯ノズル 22 を介して供給された銅溶湯を注入して冷却し、棒状鑄塊 40 を連続的に鑄造する。

[0032] そして、このベルト・ホイール式連続鑄造機 30 は、連続圧延装置 15 に連結されている。この連続圧延装置 15 は、ベルト・ホイール式連続鑄造機 30 から製出された棒状鑄塊 40 を連続的に圧延して、所定の外径の銅荒引線 50 を製出する。連続圧延装置 15 から製出された銅荒引線 50 は、洗浄冷却装置 16 および探傷器 17 を介してコイラー 18 に巻き取られる。

[0033] 次に、このベルト・ホイール式連続鑄造機 30 を用いたボンディングワイヤ用銅素線の製造方法について、図 1、図 2 を用いて説明する。

まず、溶解炉 11 に、純度 99.99 質量%以上 99.998 質量%以下の銅原料（いわゆる 4N Cu）を投入して溶解して銅溶湯を得る（溶解工程 S01）。この溶解工程 S01 では、シャフト炉の複数のバーナの空燃比を調整して溶解炉 11 の内部を還元雰囲気とする。

[0034] 溶解炉 11 によって得られた銅溶湯は、保持炉 12 及び鑄造樋 13 を介してタンディシュ 20 まで移送される。

ここで、不活性ガス又は還元性ガスでシールされた鑄造樋 13 を通過する銅溶湯は、前述の攪拌手段によって攪拌される。これにより、銅溶湯と不活性ガス又は還元性ガスとの反応が促進される。

[0035] 次に、元素添加手段（装置）21 によって、タンディシュ 20 内の銅溶湯に、Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Zr, Ti, 及び希土類元素から選択される 1 種以上の元素が連続的に添加される（元素添加工程 S02）。これにより、Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Zr, Ti, 及び希土類元素から

選択される１種以上の元素の含有量が合計で０．０００１質量％以上０．０１質量％以下、より好ましくは、０．０００３質量％以上０．００２質量％以下に調整された銅溶湯が生成される。

[0036] このように成分調整された銅溶湯は、ベルト・ホイール式連続鑄造機３０に注湯ノズル２２を介して供給され、棒状鑄塊４０が連続的に製出される（連続鑄造工程Ｓ０３）。ここで、連続鑄造工程Ｓ０３では、鑄造輪３１の溝と無端ベルト３２との間に形成された空間が台形状をなしている。このため、断面が略台形状をなす棒状鑄塊４０が製出される。

[0037] この棒状鑄塊４０は、連続圧延装置１５に供給されてロール圧延加工が施され、所定の外径（本実施形態では直径８ｍｍ）の銅荒引線５０が製出される（連続圧延工程Ｓ０４）。この連続圧延工程Ｓ０４においては、４００～９００℃の範囲で圧延が実施される。本実施形態では、圧延の初期温度を８００℃以上としている。圧延の初期温度は、好ましくは８００℃以上、１０５０℃以下である。

[0038] 連続圧延装置１５から製出された銅荒引線５０は、洗浄冷却装置１６および探傷器１７を介してコイラー１８に巻き取られる。洗浄冷却装置１６は、連続圧延装置１５から製出された銅荒引線５０の表面をアルコール等の洗浄剤で洗浄するとともに冷却する。また、探傷器１７は、洗浄冷却装置１６から送られた銅荒引線５０の傷を検知する。

[0039] 次に、得られた銅荒引線５０に対して伸線加工を実施し、最終線径０．１５ｍｍ以上３．０ｍｍ以下（本実施形態では直径０．９ｍｍ）とする（伸線加工工程Ｓ０５）。

そして、上述の伸線加工工程Ｓ０５の後に、１５０℃以上２５０℃以下で再結晶化熱処理を行う（仕上げ熱処理工程Ｓ０６）。本実施形態では、２２０℃で２時間の雰囲気熱処理を実施する。

以上のような手順によって、本実施形態であるボンディングワイヤ用銅素線が製出される。

[0040] 本実施形態であるボンディングワイヤ用銅素線は、さらに引き抜き加工が

施されて直径 $180\mu\text{m}$ 以下の細線とされ、ボンディングワイヤとして使用される。

[0041] このような特徴を有する本実施形態のボンディングワイヤ用銅素線によれば、Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Zr, Ti, 及び希土類元素から選択される1種以上の添加元素を合計で0.0001質量%以上0.01質量%以下の範囲で含有し、残部が銅及び不可避不純物である組成を有する。より好ましくは、上記添加元素の含有量の合計は0.0003質量%以上0.002質量%以下である。このため、銅中に含まれるSが上述の添加元素と化合物を形成する。よって、Sの影響が小さくなるため、再結晶温度を低く、かつ硬さを低くすることができる。

[0042] また、本実施形態であるボンディングワイヤ用銅素線の特殊粒界比率(L_σ/L)は50%以上である。なお、電界放出型走査電子顕微鏡を用いたEBSD測定装置によって、結晶粒界、特殊粒界を特定し、全ての結晶粒界の長さL及び特殊粒界の長さ L_σ を算出する。そして、この算出された長さから、特殊粒界比率が得られる。この特殊粒界比率が高い場合には、組織全体の結晶粒界の整合性が向上して、転位が蓄積し難くなる。よって、硬さを低く維持したまま、伸び及び加工性を向上させることが可能となる。

[0043] また、本実施形態であるボンディングワイヤ用銅素線100gを硝酸溶液に加熱溶解して得られる粒径 $30\mu\text{m}$ 以上の酸不溶解残渣物の個数が1000個以下である。さらに、酸不溶解残渣物の量(存在比率)は0.00015質量%以下である。

このように、酸不溶解残渣物の粒径が小さく、且つ、個数が少なく、さらに、その存在比率も抑えられている。このため、ボンディングワイヤ用銅素線をボンディングワイヤへと伸線加工する際の断線を抑制することが可能となる。

[0044] また、本実施形態であるボンディングワイヤ用銅素線の製造方法によれば、純度99.99質量%以上99.998質量%以下、いわゆる4NCuの銅原料を用いている。このため、6NCuを用いる場合と比べて、ボンディ

ングワイヤ用銅素線の製造コストを大幅に低減することができる。

さらに、ベルト・ホイール式連続鑄造機 30 を用いて棒状鑄塊 40 を連続的に製出する連続鑄造工程 S03 と、製出された棒状鑄塊 40 を初期温度 800℃以上の条件で連続的に圧延する連続圧延工程 S04 と、を備えている。このため、製出されるボンディングワイヤ用銅素線の特殊粒界比率 ($L\sigma/L$) を 50%以上とすることができる。

[0045] 以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明はこれに限定されることはなく、その発明の技術的思想を逸脱しない範囲で適宜変更可能である。

本実施形態では、ベルト・ホイール式連続鑄造機を用いてボンディングワイヤ用銅素線を製造するものとして説明したが、これに限定されることはない。

[0046] 例えば、図 3 に示すように、銅溶湯生成工程 S11 と、鑄造工程 S12 と、熱間押出工程 S13 と、加工・焼鈍工程 S14 と、軽圧下工程 S15 と、を実施することにより、特殊粒界比率 ($L\sigma/L$) が 50%以上であるボンディングワイヤ用銅素線を製出してもよい。

銅溶湯生成工程 S11 では、純度 99.99 質量%以上 99.998 質量%以下の銅原料（いわゆる 4NCu）に、Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Zr, Ti, 及び希土類元素から選択される 1 種以上の添加元素を添加して銅溶湯を得る。

鑄造工程 S12 では、銅溶湯を鑄型に注湯して直径 200mm~400mm の鑄塊を得る。

熱間押出工程 S13 では、鑄塊を初期温度 800℃以上の条件で押出加工して、押出素線を得る。押出加工の初期温度は、好ましくは 800℃以上、1050℃以下である。

加工・焼鈍工程 S14 では、押出素線に対して圧延加工又は伸線加工のいずれかと、焼鈍とを繰り返し実施する。焼鈍は、断面減少率が 80%以上となる毎に実施する。

軽圧下工程 S 1 5 では、圧下率 5 % 以上 2 5 % 以下で圧延し、最終線径 0 . 1 5 m m 以上 3 . 0 m m 以下とする。

実施例

[0047] (実施例 1)

以下に、前述した本実施形態であるボンディングワイヤ用銅素線について評価した評価試験の結果について説明する。

図 2 のフロー図に示す方法により、本発明例 1 ～ 5 及び比較例 1 , 2 のボンディングワイヤ用銅素線を製出した。詳細には、4 N C u に、表 1 に記載の添加元素を添加して銅溶湯を得た。銅溶湯をベルト・ホイール式連続鑄造機に注湯して連続鑄造圧延を行った。さらに伸線加工及び仕上げ熱処理を実施し、直径 0 . 9 m m のボンディングワイヤ用銅素線を製出した。

図 3 のフロー図に示す方法により、本発明例 6 ～ 1 0 及び比較例 3 , 4 のボンディングワイヤ用銅素線を製出した。詳細には、4 N C u に、表 1 に記載の添加元素を添加して銅溶湯を得た。銅溶湯を用いて直径 2 4 0 m m の鑄塊を製出した。この鑄塊を 8 0 0 ° C で熱間押出加工して直径 8 m m の押出素線を製出した。この押出素線に対して圧延と焼鈍とを繰り返して線径 1 m m の銅素線を製出した。その後、この銅素線に対して圧延率 1 0 % の圧延を実施した。次いで 2 2 0 ° C で仕上げ熱処理を行い、直径 0 . 9 m m のボンディングワイヤ用銅素線を製出した。

従来例のボンディングワイヤ用銅素線を以下の方法により製出した。まず、4 N C u に、0 . 0 0 3 0 質量 % の Z r を添加して銅溶湯を得た。銅溶湯を用いて直径 2 4 0 m m の鑄塊を製出した。この鑄塊を 8 0 0 ° C で熱間押出加工して直径 8 m m の押出素線を製出した。この押出素線に対して伸線加工を実施した。次いで 2 2 0 ° C で仕上げ熱処理を行い、直径 0 . 9 m m のボンディングワイヤ用銅素線を製出した。

また、得られた本発明例 1 ～ 1 0 、比較例 1 ～ 4 、及び従来例のボンディングワイヤ用銅素線に対して、伸線加工を実施して直径 1 8 0 μ m のボンディングワイヤを製出した。

[0048] (特殊粒界比率)

得られた本発明例 1～10、比較例 1～4、及び従来例のボンディングワイヤ用銅素線について、特殊粒界比率 (L_{σ}/L) を以下の方法により測定した。

各試料について、耐水研磨紙及びダイヤモンド砥粒を用いて機械研磨を行った。次いで、コロイダルシリカ溶液を用いて仕上げ研磨を行った。

そして、EBSB測定装置 (HITACHI社製 S4300-SEM、EDAX/TSL社製 OIM Data Collection) と、解析ソフト (EDAX/TSL社製 OIM Data Analysis ver. 5.2) によって、結晶粒界、特殊粒界を特定し、全ての結晶粒界の長さ L 及び特殊粒界の長さ L_{σ} を算出した。これにより、平均結晶粒径及び特殊粒界長さ比率の解析を行った。測定方法の詳細を以下に示す。

まず、走査型電子顕微鏡を用いて、試料表面の測定範囲内の個々の測定点に電子線を照射し、電子線を試料表面に2次元で走査させた。後方散乱電子線回折による方位解析により、隣接する測定点間の方位差が 15° 以上となる測定点間を結晶粒界とした。

測定範囲における結晶粒界の全粒界長さ (全ての結晶粒界の長さ) L を測定した。また隣接する結晶粒の界面が特殊粒界である結晶粒界の位置を決定するとともに、特殊粒界の全粒界長さ (全ての特殊粒界の長さ) L_{σ} を測定した。そして、上記測定した結晶粒界の全粒界長さ L に対する特殊粒界の長さ L_{σ} の比率 L_{σ}/L を求め、特殊粒界比率 (L_{σ}/L) とした。

[0049] (硬さ試験)

次に、本発明例 1～10、比較例 1～4、及び従来例のボンディングワイヤ用銅素線、及びそれらのボンディングワイヤ用銅素線から製出されたボンディングワイヤについて、硬さを測定した。

なお、硬さ試験は、AKASHI製のマイクロビッカース試験機MVK-700を用いて、JIS Z 2241に準拠して実施した。

[0050] (伸び)

次に、本発明例 1 ～ 10、比較例 1 ～ 4、及び従来例のボンディングワイヤ用銅素線、及びそれらのボンディングワイヤ用銅素線から製出されたボンディングワイヤについて、AKASHI 製のアムスラー式縦型引張試験機を用いて引張試験を実施し、伸びを評価した。

[0051] (加工性)

得られた本発明例 1 ～ 10、比較例 1 ～ 4、及び従来例のボンディングワイヤ用銅素線に対して、さらに伸線加工を施し、直径が $87\ \mu\text{m}$ 、 $50\ \mu\text{m}$ 、又は $20\ \mu\text{m}$ のワイヤを作製した。伸線加工時の断線回数を評価した。

[0052] ボンディングワイヤ用素線の特殊粒界比率 ($L\sigma/L$)、硬さ、及び伸び、ボンディングワイヤの硬さ及び伸び、並びに伸線加工時の断線回数について、評価した結果を表 1 に示す。

[0053]

[表1]

	ボンディングワイヤ用素線の合金組成		ボンディングワイヤ用素線			ボンディングワイヤ		破断回数(回/100km)		
	添加元素 (質量 ppm)	残部	特殊粒界 比率 ($L\sigma/L$)	硬さ (Hv)	伸び (%)	硬さ (Hv)	伸び (%)	$\phi 87\mu m$	$\phi 50\mu m$	$\phi 20\mu m$
本発明例 1	Mg:5	銅及びび不可避不純物	57	36	41	35	40	0	0	0
本発明例 2	Mg:80	銅及びび不可避不純物	60	39	41	36	42	0	0	1
本発明例 3	Zr:7	銅及びび不可避不純物	62	34	42	34	44	0	0	0
本発明例 4	Zr:70	銅及びび不可避不純物	65	35	42	35	41	0	0	1
本発明例 5	Sr:8	銅及びび不可避不純物	54	38	42	39	40	0	0	1
本発明例 6	Ti:10	銅及びび不可避不純物	55	33	40	36	38	0	0	0
本発明例 7	Ba:9	銅及びび不可避不純物	59	36	41	39	37	0	0	1
本発明例 8	Ce:15	銅及びび不可避不純物	52	37	40	38	39	0	0	1
本発明例 9	Ca:3	銅及びび不可避不純物	58	38	41	36	40	0	0	0
本発明例 10	Ca:95	銅及びび不可避不純物	53	37	40	38	41	0	1	1
比較例 1	Zr:0.5	銅及びび不可避不純物	41	46	35	51	38	2	9	40
比較例 2	Zr:150	銅及びび不可避不純物	42	49	30	58	32	5	13	54
比較例 3	Ca:0.3	銅及びび不可避不純物	38	44	38	53	39	3	8	35
比較例 4	Ca:130	銅及びび不可避不純物	45	54	31	57	33	7	15	58
従来例	—	銅及びび不可避不純物	35	48	35	43	37	3	6	38

[0054] 本発明例 1 ～ 10 においては、特殊粒界比率 ($L\sigma/L$) が 50% 以上と なっていることが確認される。一方、比較例 1 ～ 4 及び従来例では、特殊粒 界比率 ($L\sigma/L$) が 50% 未満であった。本発明例 6 ～ 10 と従来例とを 対比すると、最終線径を有する素線に対して仕上げ熱処理を実施する前に、 圧延率 10% の加工を実施することで、特殊粒界比率 ($L\sigma/L$) を増加さ せることが可能であることが確認される。

特殊粒界比率 ($L\sigma/L$) が 50% 以上である本発明例 1 ～ 10 において は、線径 180 μm のボンディングワイヤの状態で硬さが 40 Hv 以下と低 くなっていることが確認される。

また、本発明例 1 ～ 10 においては、比較例に比べて、伸線時の断線が抑 制されており、細径まで伸線可能であることが確認される。

[0055] (実施例 2)

次に、本発明例 1 ～ 10 のボンディングワイヤ用銅素線を用いて酸不溶解 残渣物の残渣量と粒度分布を評価した。

試料を硝酸にてエッチング処理を行い、表面に付着した不純物を除去した 。次いで、100 g の試料を秤量した。この試料を硝酸溶液に加熱溶解した 。加熱温度は 60℃ とした。この作業を繰り返し行った。

次に、室温まで冷却し、そしてフィルタでろ過して残渣を捕集した。

ここでは、ポリカーボネイトフィルタ (孔径 0.4 μm) を用いてろ過を 行った。残渣物を捕集したポリカーボネイトフィルタをクリーンルーム内で 精密に秤量し、残渣物の残渣質量を測定した。

[0056] また、酸不溶解残渣物の粒度分布を測定した。前述の残渣物を捕集したフ ィルタを走査型電子顕微鏡により観察し、SEM 画像を撮影した。画像をパ ソコンに取り込み、画像解析用ソフト (WinRoof ソフト) にて画像を 2 値化処理の解析を行った。そして、残渣物の投影面積を測定し、この投影 面積と同じ面積を有する円の直径 (円相当径) を算出した。この円相当径を 残渣物の粒径として用いた。残渣物の大きさ (円相当径) 及び個数を測定し た。なお、本発明例 1 のデータから粒度分布のグラフを作成した。その結果

を図 4 に示す。

[0057] WinRoof ソフトの画像解析の結果、本発明例 1 ～ 10 の試料（ボンディングワイヤ用銅素線） 100 g を硝酸溶液に加熱溶解した際、粒径 30 μ m 以上の酸不溶解残渣物の個数がいずれも 1000 個以下であることが確認された。また、上述の方法で残渣物の残渣質量を測定した結果、本発明例 1 ～ 10 の試料における酸不溶解残渣物の質量比は、0.00015 質量% 以下であることが確認された。

産業上の利用可能性

[0058] 本実施形態のボンディングワイヤ用銅素線は、硬さが低く、かつ、伸びが高く、さらに加工性に優れる。このため、本実施形態の銅素線は、Au 線の代わりに使用される Cu ボンディングワイヤの製造工程に好適に適用できる。

符号の説明

[0059] 30 ベルト・ホイール式連続鋳造機

請求の範囲

- [請求項1] 線径 $180\ \mu\text{m}$ 以下のボンディングワイヤを形成するための銅素線であって、
素線径が $0.15\ \text{mm}$ 以上 $3.0\ \text{mm}$ 以下であり、
 Mg , Ca , Sr , Ba , Ra , Zr , Ti , 及び希土類元素から選択される1種以上の添加元素を合計で 0.0001 質量%以上 0.01 質量%以下の範囲で含有し、残部が銅及び不可避不純物である組成を有し、
EBSD法にて測定された全ての結晶粒界の長さ L に対する特殊粒界の長さ L_σ の比率である特殊粒界比率 (L_σ/L) が 50% 以上であることを特徴とするボンディングワイヤ用銅素線。
- [請求項2] 前記添加元素の含有量の合計が 0.0003 質量%以上 0.002 質量%以下であることを特徴とする請求項1に記載のボンディングワイヤ用銅素線。
- [請求項3] 前記不可避不純物である Fe , Pb , 及び S の含有量が、 Fe ; 0.0001 質量%以下、 Pb ; 0.0001 質量%以下、及び S ; 0.005 質量%以下であることを特徴とする請求項1又は2に記載のボンディングワイヤ用銅素線。
- [請求項4] 前記ボンディングワイヤ用銅素線 $100\ \text{g}$ を硝酸溶液に加熱溶解して得られる粒径 $30\ \mu\text{m}$ 以上の酸不溶解残渣物の個数が 1000 個以下であることを特徴とする請求項1～3のいずれか一項に記載のボンディングワイヤ用銅素線。
- [請求項5] 前記ボンディングワイヤ用銅素線を硝酸溶液に加熱溶解して得られる酸不溶解残渣物の量が 0.00015 質量%以下であることを特徴とする請求項1～4のいずれか一項に記載のボンディングワイヤ用銅素線。
- [請求項6] 請求項1～5のいずれか一項に記載のボンディングワイヤ用銅素線の製造方法であって、

純度 99.99 質量%以上 99.998 質量%以下の銅原料に Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Zr, Ti, 及び希土類元素から選択される 1 種以上の添加元素を添加し、銅溶湯を生成する銅溶湯生成工程と、

前記銅溶湯をベルト・ホイール式連続鋳造機に供給し、鋳塊を連続的に製出する連続鋳造工程と、

製出された鋳塊を初期温度 800℃以上の条件で連続的に圧延する連続圧延工程と、を備えていることを特徴とするボンディングワイヤ用銅素線の製造方法。

[請求項7]

請求項 1～5 のいずれか一項に記載のボンディングワイヤ用銅素線の製造方法であって、

純度 99.99 質量%以上 99.998 質量%以下の銅原料に Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Zr, Ti, 及び希土類元素から選択される 1 種以上の添加元素を添加し、銅溶湯を生成する銅溶湯生成工程と、

前記銅溶湯を鋳型に注入して鋳塊を製出する鋳造工程と、

得られた鋳塊を初期温度 800℃以上の条件で押出加工して押出素線を製出する押出工程と、

得られた押出素線に対して、圧延加工又は伸線加工のいずれかと焼鈍とを繰り返し実施する加工・焼鈍工程と、

圧下率 5%以上 25%以下で圧延して最終線径 0.15 mm 以上 3.0 mm 以下とする軽圧下工程と、を備えていることを特徴とするボンディングワイヤ用銅素線の製造方法。