

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6019547号  
(P6019547)

(45) 発行日 平成28年11月2日(2016.11.2)

(24) 登録日 平成28年10月14日(2016.10.14)

(51) Int.Cl. F I  
H O 1 L 21/60 (2006.01) H O 1 L 21/60 3 O 1 F

請求項の数 3 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2011-160355 (P2011-160355)	(73) 特許権者	000005083
(22) 出願日	平成23年7月21日 (2011.7.21)		日立金属株式会社
(65) 公開番号	特開2013-26475 (P2013-26475A)		東京都港区港南一丁目2番70号
(43) 公開日	平成25年2月4日 (2013.2.4)	(74) 代理人	100071526
審査請求日	平成26年2月28日 (2014.2.28)		弁理士 平田 忠雄
		(74) 代理人	100099597
			弁理士 角田 賢二
		(74) 代理人	100119208
			弁理士 岩永 勇二
		(74) 代理人	100124235
			弁理士 中村 恵子
		(74) 代理人	100124246
			弁理士 遠藤 和光
		(74) 代理人	100128211
			弁理士 野見山 孝

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 銅ボンディングワイヤ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

Tiを添加元素として10~20mass ppm及び酸素を5~15mass ppm含み、残部が銅と不可避不純物である軟質希薄銅合金材料からなり、前記不可避不純物として硫黄を3~8mass ppm含み、結晶組織が少なくともその表面から内部に向けて線径の20%の深さまでの表層の平均結晶粒サイズが20μm以下であり、前記表層の結晶粒サイズが前記表層よりも断面方向の内部の結晶粒サイズよりも小さいことを特徴とする銅ボンディングワイヤ。

【請求項2】

請求項1において、引張り強さが210MPa以上、伸び率が15%以上及びビッカース硬さが65Hv以下であることを特徴とする銅ボンディングワイヤ。

【請求項3】

請求項1又は2において、導電率が98%IACS以上であることを特徴とする銅ボンディングワイヤ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、高い引張り強さ、伸び率を有し、かつ硬さが小さい新規な銅ボンディングワイヤに関する。

【背景技術】

## 【0002】

従来より、半導体素子の電極と外部リードとを接続するボンディングワイヤには、Au線又はAl合金線が用いられている。特に、樹脂モールドタイプの半導体素子では、接続の信頼性の観点から0.025mm程度のAu線が用いられている。また、近年では、自動車用パワーモジュールのボンディングワイヤとして、0.3mm程度のAl線が用いられている。

## 【0003】

Au線は、優れた導電性、耐食性、軟質性を有する半面、コストが非常に高い。そこで、銅(Cu)を素材とするボンディングワイヤが提案されている。

## 【0004】

特許文献1には、電解精錬と帯域融解法(ゾーンメルト法)により、純度99.999mass%以上に高純度化したボンディング用銅細線が知られている。

## 【0005】

特許文献2には、精製を繰り返して10ppm以下の不可避不純物とした無酸素銅を用いて、Ti、Zr、Hf、V、Cr、Mn及びBからなる群から選択された添加元素を含み、残部が銅である銅合金にて構成され、熱間、冷間圧延後、200~300、1~2秒の光輝熱処理にて直径25μmに製造された銅ボンディングワイヤが示されている。

## 【0006】

特許文献3には、精製を繰り返して10ppm以下の不可避不純物とした無酸素銅を用いて、Mg、Ca、Be、Ge及びSiからなる群から選択された添加元素を含み、残部が銅である銅合金にて構成され、熱間、冷間圧延後、200~300、1~2秒の光輝熱処理にて直径25μmに製造された銅ボンディングワイヤがHvが41.1~49.5であることが示されている。

## 【0007】

特許文献4~7には、精製を繰り返して5ppm以下又は10ppm以下の不可避不純物とした無酸素銅を用いて、S、Se、Te、Agからなる群から選択された添加元素を含み、残部が銅である銅合金にて構成され、熱間、冷間圧延後、特許文献4では250~350、0.5~1.5秒、特許文献5では300~400、1~2秒、特許文献6では300~400、1~2秒、特許文献7では250~380、1.5秒の光輝熱処理にて直径25μmに製造された銅ボンディングワイヤが示されている。

## 【0008】

特許文献8には、純度99.99mass%以上99.999mass%未満の銅心材に全体の30~70容量%にて99.999mass%以上の銅被覆した半導体集積回路素子配線用ボンディングワイヤが示されている。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0009】

【特許文献1】特開昭60-244054号公報

【特許文献2】特開昭61-259558号公報

【特許文献3】特開昭61-258463号公報

【特許文献4】特開昭62-22469号公報

【特許文献5】特開昭61-224443号公報

【特許文献6】特開昭62-2645号公報

【特許文献7】特開昭62-94969号公報

【特許文献8】特開昭63-236338号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0010】

特許文献1における純度99.99mass%レベルのOFCからなるボンディングワイヤは、Auより硬いCuから構成されているので、このボンディングワイヤを用い、例

10

20

30

40

50

えば、半導体素子（一例として、シリコンチップ）に設けられている電極パットとしてのアルミパットにボンディングすると、アルミパットにダメージを与える。

【0011】

アルミパッドへのダメージを少なくするため、OFCより軟質化するため過剰な熱エネルギーをこれに加えると、ボンディングワイヤの硬さと、ボンディングワイヤの伸び、引張強度とはトレードオフの関係にあるため、ボンディングワイヤの硬さは減少するものの、同時にボンディングワイヤの伸びが低下し、また、ボンディングワイヤの結晶組織（サイズ）が粗大化することに伴い、引張強さも低下してしまう。

【0012】

すなわち、ボンディングワイヤの伸びが低下すると、ボンディングワイヤ自身の変形能力が低下するため、ワイヤボンディング後に樹脂封止した後にボンディングワイヤと封止樹脂材との熱膨張差により発生する応力により、ボンディングワイヤと接合対象物との間の接続信頼性が損なわれる恐れがあるとともに、ワイヤスプールからボンディング部へワイヤを供給する際にいわゆるワイヤカールなどの巻き癖がつきやすく、ハンドリング特性が低下してしまう恐れがある。

【0013】

また、一方、ボンディングワイヤの引張強さが低下すると、ボンディングを行った場合にボンディング時に形成される溶融ボールの直上部（ボールネック部）におけるボンディングワイヤに強度低下が生じ破断に至る場合がある。またボンディングワイヤの引張強度が低下すると、繰り返し温度サイクルを受けたときに、上述のボンディングワイヤと封止樹脂材との熱膨張差を原因としてボンディングワイヤが破断に至る恐れがある。つまり、ボンディングワイヤとしての疲労特性が低下してしまう。

【0014】

このような問題を解決するべく、特許文献2、3においては99.999質量%以上の高純度銅に添加元素を微量（1～10ppm）添加、特許文献4～7においては99.999質量%以上の高純度銅に添加元素を微量（数ppm）添加することにより、ボンディングワイヤの伸び率、引張強さ及びボンディングワイヤの素材の硬さのバランスを調整する試みが一部でなされているがその導体素材を伸線加工及び焼鈍処理をした後の導体自身において、その硬さが小さく軟質の特性を維持しながら高い伸び特性及び引張強度を兼ね備える銅導体を実現するには至っておらず、未だ改善の余地がある。

【0015】

又、特許文献8においては、特許文献1と同様に純度99.99mass%レベルのOFCからなるボンディングワイヤからなるものであり、半導体素子に設けられている電極パットとしてのアルミパットにボンディングすると、アルミパットにダメージを与える。

【0016】

本発明の目的は、無酸素銅に比して低コストであり、又、高い導電性、引張強さ及び伸び率を有し、かつ硬さが小さい銅ボンディングワイヤを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0017】

本発明は、Ti、Mg、Zr、Nb、Ca、V、Ni、Mn及びCrからなる群から選択された添加元素とを含み、残部が銅である軟質希薄銅合金材料からなる銅ボンディングワイヤであって、結晶組織がその表面から内部に向けて線径の20%の深さまでの平均結晶粒サイズが20μm以下であることを特徴とする銅ボンディングワイヤにある。

【0018】

また、本発明の銅ボンディングワイヤは、2massppm以上12massppm以下の硫黄と、2massppmを超え30massppm以下の酸素と、4massppm以上55massppm以下のチタンとを含むのがよい。

【0019】

また、本発明の銅ボンディングワイヤは、焼鈍処理を施した無酸素銅線と同じ或いはそれ以下の硬さを有し、かつ、伸び率の値の平均値が無酸素銅線に比べて1%以上高い伸び

10

20

30

40

50

率の値を有するものがよい。

【0020】

また、前記焼鈍処理を施した無酸素銅線と同じ或いはそれ以上の引張強さを有し、かつ、硬さの値が無酸素銅線に比べて2Hv以上低い値を有するものがよい。

【0021】

更に、本発明の銅ボンディングワイヤは、導電率が98%IACS以上であること、硫黄(S)及びチタン(Ti)が、TiO、TiO<sub>2</sub>、TiS、若しくはTi-O-S結合を有する化合物又はTiO、TiO<sub>2</sub>、TiS、若しくはTi-O-S結合を有する化合物の凝集物として含まれ、残部のTi及びSが固溶体として含まれるのがよい。

【0022】

また、前記TiO、TiO<sub>2</sub>、TiS、Ti-O-Sの形の化合物又は凝集物が結晶粒内に分布しており、TiOが200nm以下、TiO<sub>2</sub>が1000nm以下、TiSが200nm以下、Ti-O-Sの形の化合物又は凝集物が300nm以下のサイズを有し、500nm以下の粒子が90%以上であるのがよい。

【0023】

本発明に係る銅ボンディングワイヤは、Ti、Mg、Zr、Nb、Ca、V、Ni、Mn及びCrからなる群から選択された添加元素を含む軟質希薄銅合金材料を1100以上1320以下の溶銅温度で溶湯にする溶湯製造工程と、前記溶湯からワイヤロッドを作製するワイヤロッド作製工程と、前記ワイヤロッドに880以下550以上の温度で熱間圧延を施す熱間圧延工程と、前記熱間圧延工程を経た前記ワイヤロッドに伸線加工を施す伸線加工工程とを備える製造方法によって製造することができる。

【0024】

本発明に係る銅ボンディングワイヤの製造方法では、前記添加元素が4mass ppm以上55mass ppm以下のTiであり、前記軟質希薄銅合金材料が、2mass ppm以上12mass ppm以下の硫黄と、2mass ppmを超えて30mass ppm以下の酸素とを含むのがよい。

【0025】

本発明に係る銅ボンディングワイヤの製造方法では、前記軟質希薄銅合金材料の軟化温度が、2.6mmのサイズで130以上148以下であるのがよい。

(銅ボンディングワイヤの構成)

(1) 添加元素について

本発明は、Ti、Mg、Zr、Nb、Ca、V、Ni、Mn及びCrからなる群から選択された添加元素を含み、残部が銅及び不可避的不純物である軟質希薄銅合金材料を伸線加工し、次いで焼鈍処理が施された銅ボンディングワイヤにある。

【0026】

添加元素としてTi、Mg、Zr、Nb、Ca、V、Ni、Mn及びCrからなる群から選択される元素を選択した理由は、これらの元素は他の元素と結合しやすい活性元素であり、特にSと結合しやすいためSをトラップすることができ、マトリックスの銅母材を高純度化し、素材の硬さを低下させることができるためである。また、Sをトラップすることにより高い導電性を実現することができるという効果も得られる。添加元素は1種類又は2種類以上含まれる。また、合金の性質に悪影響を及ぼすことのないその他の元素及び不純物を合金に含有させることもできる。

(2) 組成比率について

添加元素として、Ti、Ca、V、Ni、Mn及びCrの1種又は2種以上の合計の含有量は4~55mass ppmであり、より10~20mass ppmが好ましく、Mgの含有量は2~30mass ppm、より5~10mass ppmが好ましく、Zr、Nbの含有量は8~100mass ppm、より20~40mass ppmが好ましい。

【0027】

また、後述する好適な実施の形態においては、酸素含有量が2mass ppmを超え3

10

20

30

40

50

0 m a s s p p m以下が良好であり、より5 ~ 15 m a s s p p mが好ましく、添加元素の添加量及びSの含有量によっては、合金の性質を備える範囲において、2 m a s s p p mを超え400 m a s s p p m以下を含むことができる。

【0028】

Sの含有量は、2 ~ 12 m a s s p p m、より3 ~ 8 m a s s p p mが好ましい。

【0029】

本発明に係る銅ボンディングワイヤは、例えば、自動車等に用いられるパワーモジュールの小型化、及び/又はパワーモジュールに供給される電流の電流密度の増大の観点から、アルミニウムよりも熱伝導率の高い材料である銅を主成分として構成する。

【0030】

例えば、本発明に係る銅ボンディングワイヤは、導電率98% I A C S (万国標準軟銅 (International Annealed Copper Standard) 以上、抵抗率 $1.7241 \times 10^{-8}$  mを100%とした場合の導電率)、好ましくは100% I A C S以上、より好ましくは102% I A C S以上を満足する軟質型銅材としての軟質希薄銅合金材料を用いて構成される。

【0031】

導電率が98% I A C S以上の軟質銅材を得る場合、ベース素材として不可避的不純物を含む純銅をベースに、3 ~ 12 m a s s p p mの硫黄と、2 m a s s p p mを超え30 m a s s p p m以下の酸素と、4 ~ 55 m a s s p p mのチタンとを含む軟質希薄銅合金材料を用い、この軟質希薄銅合金材料からワイヤロッド(荒引き線)を製造する。

【0032】

ここで、導電率が100% I A C S以上の軟質銅材を得る場合には、ベース素材として不可避的不純物を含む純銅をベースに、2 ~ 12 m a s s p p mの硫黄と、2 m a s s p p mを超え30 m a s s p p m以下の酸素と、4 ~ 37 m a s s p p mのチタンとを含む軟質希薄銅合金材料を用いる。

【0033】

また、導電率が102% I A C S以上の軟質銅材を得る場合には、ベース素材として不可避的不純物を含む純銅をベースに、3 ~ 12 m a s s p p mの硫黄と、2 m a s s p p mを超え30 m a s s p p m以下の酸素と、4 ~ 25 m a s s p p mのチタンとを含む軟質希薄銅合金材料を用いる。

【0034】

通常、純銅の工業的製造において、電気銅を製造する際に硫黄が銅の中に取り込まれるので、硫黄を3 m a s s p p m以下にすることは困難である。汎用電気銅の硫黄濃度の上限は、12 m a s s p p mである。

【0035】

本発明に係る銅ボンディングワイヤは、2 m a s s p p mを超え30 m a s s p p m以下の酸素を含有することが好ましいことから、この実施の形態では、いわゆる低酸素銅(L O C)を対象としている。

【0036】

酸素濃度が2 m a s s p p mより低い場合、銅ボンディングワイヤの硬度が低下しにくいので、酸素濃度は2 m a s s p p mを超える量に制御する。また、酸素濃度が30 m a s s p p mより高い場合、熱間圧延加工で銅ボンディングワイヤの表面に傷が生じやすくなるので、30 m a s s p p m以下に制御する。

(3) 銅ボンディングワイヤの結晶組織について

本発明に係る銅ボンディングワイヤは、結晶組織が銅ボンディングワイヤの少なくとも表面から銅ボンディングワイヤの内部に向けて線径の20%の深さまでの平均結晶粒サイズが20 μm以下である。

【0037】

表層に平均結晶粒サイズが20 μm以下の微細な結晶粒が存在することで、材料の引張り強さや伸びの向上が期待できるためである。この理由として、引張り変形により粒界近

10

20

30

40

50

傍に導入される局所ひずみが、結晶粒径が微細なほど小さくなり、粒界応力集中の緩和に寄与し、これに伴い、粒界応力集中が低減して粒界破壊が抑制されると考えられるからである。

#### 【0038】

また、本発明において、結晶組織が銅ボンディングワイヤの少なくとも表面から銅ボンディングワイヤの内部に向けて線径の20%の深さまでの平均結晶粒サイズが20 $\mu$ m以下である本発明の効果を備える限りにおいては、線径の20%深さを越えてより線材の中心部に近い領域に微細結晶層が存在する態様を排除するものではない。

#### (4) 分散している物質について

銅ボンディングワイヤ内に分散している分散粒子のサイズは小さいことが好ましく、また、銅ボンディングワイヤ内に分散粒子が多く分散していることが好ましい。その理由は、分散粒子は、硫黄の析出サイトとしての機能を有するからであり、析出サイトとしてはサイズが小さく、数が多いことが要求されるからである。

#### 【0039】

具体的には、銅ボンディングワイヤに含まれる硫黄は、特に添加元素としてのチタンは、TiO、TiO<sub>2</sub>、TiS、若しくはTi-O-S結合を有する化合物又はTiO、TiO<sub>2</sub>、TiS、若しくはTi-O-S結合を有する化合物の凝集物として含まれ、残部のTi及びSが固溶体として含まれる。尚、他の添加元素についてもチタンと同様である。

#### 【0040】

分散粒子の形成及び分散粒子への硫黄の析出は、銅母材のマトリックスの純度を向上させ、材料硬さの低減に寄与する。

#### (5) 銅ボンディングワイヤの硬さ、伸び率及び引張強度について

本発明に係る銅ボンディングワイヤ用の材料には、硬さと伸び率、引張強度のバランスに優れることが求められる。この理由として、もし、ワイヤ或いは、ワイヤ先端に形成されたボールが硬いと、ボンディングパッドとしてのAl配線膜や、或いはその下のSi半導体チップにダメージを与えてしまうためである。更に、ワイヤ自体の引張強さや伸びが小さいと、適正なワイヤループを保持することが困難となったり、ボンディングの際に、ワイヤ切れ不良などを起こしやすくなるためである。

#### 【0041】

通常、硬さ(やわらかさ)と伸び(の高さ)、引張強さ(の高さ)はトレードオフの関係になるため、これらの特性をバランスよく併せ持つことが望まれる。

#### 【0042】

また、本発明に係る銅ボンディングワイヤは、焼鈍処理を施した無酸素銅線と同じ或いはそれ以下の硬さを有し、かつ、伸び率の値の平均値が無酸素銅線に比べて1%以上高い伸び率の値を有する。ここで硬さとは、材料におけるビッカース硬度を意味する。

#### 【0043】

また、本発明に係る銅ボンディングワイヤは、焼鈍処理を施した無酸素銅線と同じ或いはそれ以上の引張強さを有し、かつ、硬さの値が無酸素銅線に比べて2Hv以上低い値を有する。

#### (銅ボンディングワイヤの製造方法)

本発明に係る銅ボンディングワイヤの製造方法は以下のとおりである。例として、Tiを添加元素に選択した場合を説明する。

#### 【0044】

まず、銅ボンディングワイヤの原料としてのTiを含む軟質希薄銅合金材料を準備する(原料準備工程)。次に、この軟質希薄銅合金材料を1100以上1320以下の溶銅温度で溶湯にする(溶湯製造工程)。次に、溶湯からワイヤロッドを作製する(ワイヤロッド作製工程)。続いて、ワイヤロッドに880以下550以上の温度で熱間圧延を施す(熱間圧延工程)。更に、熱間圧延工程を経たワイヤロッドに伸線加工及び熱処理を施す(伸線加工、熱処理工程)。熱処理方法としては、管状炉を用いた走行焼鈍や、抵

10

20

30

40

50

抗発熱を利用した通電焼鈍などが適用できる。その他、バッチ式の焼鈍も可能である。これらの工程により、本発明に係る銅ボンディングワイヤが製造される。

【0045】

また、銅ボンディングワイヤの製造には、 $2\text{mass ppm}$ 以上 $12\text{mass ppm}$ 以下の硫黄と、 $2\text{mass ppm}$ を超え $30\text{mass ppm}$ 以下の酸素と、 $4\text{mass ppm}$ 以上 $55\text{mass ppm}$ 以下のチタンとを含む軟質希薄銅合金材料が好ましい。

【0046】

そこで、本発明者は、銅ボンディングワイヤの硬度の低下を実現すべく、以下の二つの方策を検討した。そして、以下の二つの方策を銅ワイヤロッドの製造に併せ用いることで、本発明に係る銅ボンディングワイヤを得た。

10

【0047】

まず、第1の方策は、酸素濃度が $2\text{mass ppm}$ を超える量のCuに、チタン(Ti)を添加した状態で、軟質希薄銅合金材料の溶湯を作製することである。この溶湯中においては、TiSとチタンの酸化物(例えば、 $\text{TiO}_2$ )とTi-O-S粒子とが形成されると考えられる。

【0048】

次に、第2の方策は、軟質希薄銅合金材料中に転位を導入することにより硫黄(S)の析出を容易にすることを目的として、熱間圧延工程における温度を通常の銅の製造条件における温度(つまり、 $950 \sim 600$ )より低い温度( $880 \sim 550$ )に設定することである。このような温度設定により、転位上へのSの析出、又はチタンの酸化物(例えば、 $\text{TiO}_2$ )を核としてSを析出させることができる。

20

【0049】

以上の第1の方策及び第2の方策により、軟質希薄銅合金材料に含まれる硫黄が晶出すると共に析出するので、所望の軟質特性と所望の導電率とを有する銅ワイヤロッドを冷間伸線加工後に得ることができる。

【0050】

本発明に係る銅ボンディングワイヤは、SCR連続鋳造圧延設備を用い、表面の傷が少なく、製造範囲が広く、安定生産が可能である。SCR連続鋳造圧延により、鋳塊ロッドの加工度が $90\%$ ( $30\text{mm}$ ) $\sim 99.8\%$ ( $5\text{mm}$ )でワイヤロッドを作製する。一例として、加工度 $99.3\%$ で $8\text{mm}$ のワイヤロッドを製造する条件を採用する。

30

【0051】

溶解炉内での溶銅温度は $1100$ 以上 $1320$ 以下に制御することが好ましい。溶銅の温度が高いとブローホールが多くなり、傷が発生すると共に粒子サイズが大きくなる傾向にあるので $1320$ 以下に制御する。また、 $1100$ 以上に制御する理由は、その温度以下では溶銅が固まりやすく、製造が安定しないことがあるものの、溶銅温度は可能な限り低い温度が望ましい。

【0052】

熱間圧延加工の温度は、最初の圧延ロールにおける温度を $880$ 以下に制御すると共に、最終圧延ロールでの温度を $550$ 以上に制御することが好ましい。

【0053】

これらの鋳造条件は、通常の純銅の製造条件と異なり、溶銅中での硫黄の晶出及び熱間圧延中における硫黄の析出の駆動力である固溶限をより小さくすることを目的としているものである。

40

【0054】

また、通常の熱間圧延加工における温度は、最初の圧延ロールにおいて $950$ 以下、最終圧延ロールにおいて $600$ 以上であるが、固溶限をより小さくすることを目的として、本実施の形態では、最初の圧延ロールにおいて $880$ 以下、最終圧延ロールにおいて $550$ 以上に設定することが望ましい。

【0055】

なお、最終圧延ロールにおける温度を $550$ 以上に設定する理由は、 $550$ 未満の

50

温度では得られるワイヤロッドの傷が多くなり、製造される銅ボンディングワイヤを製品として扱うことができないからである。熱間圧延加工における温度は、最初の圧延ロールにおいて880 以下の温度、最終圧延ロールにおいて550 以上の温度に制御すると共に、可能な限り低い温度であることが好ましい。このような温度設定にすることで、銅ボンディングワイヤのマトリックスの硬さを、高純度銅(5N以上)の硬さに近づけることができる。硫黄トラップの効果として、軟化温度低下のほか、マトリックスを高純度化して、硬さが低減することが挙げられる。

【0056】

ベース材の純銅は、シャフト炉で溶解された後、還元状態で樋に流すことが好ましい。すなわち、還元ガス(例えば、COガス)雰囲気下において、希薄合金の硫黄濃度、チタン濃度及び酸素濃度を制御しつつ製造すると共に、材料に圧延加工を施すことにより、ワイヤロッドを安定的に製造することが好ましい。なお、銅酸化物が混入すること、及び/又は粒子サイズが所定サイズより大きいことは、製造される銅ボンディングワイヤの品質を低下させる。

10

【0057】

以上より、伸び特性、破断強度、ビッカース硬さのバランスのよい軟質希薄銅合金材料を、本発明に係る銅ボンディングワイヤの原料として得ることができる。

【0058】

なお、軟質希薄銅合金材料の表面にめっき層を形成することもできる。めっき層は、例えば、パラジウム、亜鉛、ニッケル、金、白金、銀等の貴金属を主成分とする材料、又はPbフリーめっきを用いることができる。更に、軟質希薄銅合金材料の形状は特に限定されず、断面丸形状、棒状、又は平角導体状にすることができる。

20

【0059】

また、本実施の形態では、SCR連続製造圧延法によりワイヤロッドを作製すると共に、熱間圧延にて軟質材を作製したが、双ロール式連続製造圧延法又はプロペルチ式連続製造圧延法を採用することもできる。

【発明の効果】

【0060】

本発明によれば、Ti等の特定の添加元素を含み、残部が銅からなり、結晶組織が表面から線径の20%の深さまでの平均結晶粒サイズが20µm以下であることから、高い引張り強さと伸び率を有し、更には、軟らかさ(硬さの小ささ)を両立できる銅ボンディングワイヤを提供することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0061】

【図1】試料の表層における平均結晶粒サイズの測定方法について説明するための図である。

【図2】実施材1及び比較材1の異なる焼鈍温度と伸び率との関係を示す図である。

【図3】実施材1の焼鈍温度500 における径方向の断面写真を示す図である。

【図4】実施材1の焼鈍温度700 における径方向の断面写真を示す図である。

【図5】比較材1の焼鈍温度500 における径方向の断面写真を示す図である。

40

【図6】実施材2及び比較材2の伸び率と硬さとの関係を示す図である。

【図7】実施材2及び比較材2の引張強さと硬さとの関係を示す図である。

【図8】直径0.05mmの比較材2に係るボンディングワイヤの幅方向の断面写真を示す図である。

【図9】直径0.05mmの実施材2に係るボンディングワイヤの幅方向の断面写真を示す図である。

【図10】表層における平均結晶粒サイズの測定方法の概要図である。

【図11】直径0.26mmの実施材3の幅方向の断面写真を示す図である。

【図12】直径0.26mmの比較材3の幅方向の断面写真を示す図である。

【図13】直径0.26mmの実施材4の幅方向の断面写真を示す図である。

50



【図14】直径0.26mmの比較材4の幅方向の断面写真を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0062】

以下、本発明の実施の形態を説明するが、下記の実施の形態は特許請求の範囲に係る発明を限定するものではない。また、本実施の形態の中で説明した特徴の組合せの全てが発明の課題を解決するための手段に必須であるとは限らない点に留意すべきである。

【実施例1】

【0063】

[軟質希薄銅合金材料(2.6mm径)の製造]

実験材として、酸素濃度7mass ppm~8mass ppm、硫黄濃度5mass ppm、チタン濃度13mass ppmを有する8mmの銅線(ワイヤロッド、加工度99.3%)を作製した。8mmの銅線は、SCR連続铸造圧延法(South Continuous Rod System)により、熱間圧延加工が施され作製されたものである。Tiは、シャフト炉で溶解された銅溶湯を還元ガス雰囲気中へ流し、樋に流した銅溶湯を同じ還元ガス雰囲気の铸造ポットに導き、この铸造ポットにて、Tiを添加した後、これをノズルを通して铸造輪と無端ベルトとの間に形成される鑄型にて鑄塊ロッドを作成した。この鑄塊ロッドを熱間圧延加工して8mmの銅線を作成したものである。次に、各実験材に冷間伸線加工を施した。これにより、2.6mmサイズの銅線を作製した。

【0064】

この2.6mmサイズの銅線を用いて、銅ボンディングワイヤに使用する素材の特性を検証した。

[軟質希薄銅合金材料の軟質特性について]

表1は、無酸素銅線を用いた比較材1と酸素濃度7mass ppm~8mass ppm、硫黄濃度5mass ppm、チタン濃度13mass ppmを有する軟質希薄銅合金線を用いた実施材1とを試料とし、異なる焼鈍温度で1時間の焼鈍を施したもののビッカース硬さ(Hv)を検証した表である。表1によると、焼鈍温度が400のときに比較材1と実施材1とのビッカース硬さ(Hv)は同等レベルとなり、焼鈍温度が600でも同等のビッカース硬さ(Hv)を示している。このことから、本発明の軟質希薄銅合金線は十分な軟質特性を有するとともに、無酸素銅線と比較しても、特に焼鈍温度が400を超える領域においては優れた軟質特性を備えていることがわかる。

【0065】

【表1】

表1

試料	20°C	400°C	600°C
実施材1	120	52	48
比較材1	124	53	56

(単位: Hv)

【0066】

[軟質希薄銅合金材料の結晶構造について]

2.6mm径である実施材1、比較材1の表層における平均結晶粒サイズを測定した。ここに、表層における平均結晶粒サイズの測定方法は、図1に示すように、2.6mm径の径方向断面の表面から深さ方向に10μm間隔で50μmの深さまでのところの長さ10mmの線上の範囲での結晶粒サイズを測定した夫々の実測値を平均した値を表層における平均結晶粒サイズとした。

【0067】

測定の結果、比較材 1 の表層における平均結晶粒サイズが  $100\ \mu\text{m}$  であったのに対し、実施材 1 の表層における平均結晶粒サイズは  $20\ \mu\text{m}$  であった。従って、本発明においては、表面から内部に向けて  $20\%$  までの深さの表層における平均結晶粒サイズを  $20\ \mu\text{m}$  以下とするものである。

#### 【0068】

比較材 1 の結晶構造は、表面部から中央部にかけて全体的に大きさの等しい結晶粒が均一に並んでいるのに対し、実施材 1 の結晶構造は、試料の断面方向の表面付近に薄く形成されている層における結晶粒サイズが内部の結晶粒サイズに比べて極めて小さくなっていた。

[ 軟質希薄銅合金材料の伸び特性と結晶構造との関係について ]

10

図 2 は、 $2.6\ \text{mm}$  径の無酸素銅線を用いた比較材 1 と  $2.6\ \text{mm}$  径の低酸素銅（酸素濃度  $7\ \text{mass ppm} \sim 8\ \text{mass ppm}$ 、硫黄濃度  $5\ \text{mass ppm}$ ）に  $13\ \text{mass ppm}$  の Ti を添加した軟質希薄銅合金線を用いた実施材 1 を試料とし、異なる焼鈍温度で 1 時間の焼鈍を施したものの伸び率（%）の値の推移を検証したグラフである。図 2 に示す丸記号は実施材 1 を示し、四角記号は比較材 1 を示す。

#### 【0069】

図 2 に示すように、比較材 1 に比して実施材 1 の方が、焼鈍温度  $100$  を超え  $130$  付近から  $900$  の広い範囲で優れた伸び特性を示すことがわかる。

#### 【0070】

図 3 は、焼鈍温度  $500$  における実施材 1 の銅線の径方向の断面写真を示した図である。図 3 に見られるように、銅線の断面全体において微細な結晶組織が形成されており、この微細な結晶組織が伸び特性に寄与しているものと思われる。これに対し、焼鈍温度  $500$  における比較材 1 の断面組織は 2 次再結晶が進んでおり、図 3 の結晶組織に比して、断面組織中の結晶粒が粗大化しているため、伸び特性が低下したものと考えられる。

20

#### 【0071】

図 4 は、焼鈍温度  $700$  における実施材 1 の銅線の径方向の断面写真を示した図である。銅線の断面における表層の結晶粒サイズが、内部における結晶粒サイズに比べて極めて小さくなっていることがわかる。内部における結晶組織は 2 次再結晶が進んでいるものの、外層における微細な結晶粒の層は残存している。実施材 1 は、内部の結晶組織が大きく成長するが、表層に微細結晶の層が残っているため、伸び特性を維持しているものと思

30

#### 【0072】

このように、焼鈍温度と焼鈍時間とを調節することで線材断面における微細結晶層の占める割合を調節することができ、微細結晶層の占める割合に応じて線材の伸び特性を調整することができる。

#### 【0073】

図 5 は、比較材 1 の径方向の断面組織を断面写真にて示した図である。図 5 に示すように、表面から中央にかけて全体的に略等しい大きさの結晶粒が均一に並んでおり、断面組織全体において 2 次再結晶が進行しているため、実施材 1 に比して比較材 1 の  $600$  以上の高温領域における伸び特性は、低下しているものと考えられる。

40

#### 【0074】

以上の結果により、実施材 1 を用いた製品では、比較材 1 に比して、軟らかく、導電率が向上し、且つ伸び特性を向上させることができる。

#### 【0075】

従来の導体では、結晶組織を実施材 1 のような大きさに再結晶させるためには、高温の焼鈍処理が必要となる。しかし、焼鈍温度が高過ぎると、S が再固溶してしまう。また、従来の導体では、再結晶させると、軟らかくなり、伸び特性が低下する問題があった。しかし、実施材 1 では、焼鈍したときに双晶とならずに再結晶できるため、内部の結晶粒が大きくなり、軟らかくなるが、一方で表層は、微細結晶が残っているため、引張強度および伸び特性が低下しない特徴がある。このような素材を銅ボンディングワイヤに使用する

50

ことにより、軟らかく、高い導電性を有し、伸び特性に優れ、後述する優れた引張強度を備えた銅ボンディングワイヤを実現することができる。

【実施例 2】

【0076】

[銅ボンディングワイヤ]

2.6 mmサイズの銅線を作製するところまでは、上述した軟質希薄銅合金材料の実施例 1 と同様である。これを 0.9 mmまで伸線加工を施し、通電アニーラにて一旦焼鈍したあと、0.05 mmまで伸線した。次に、管状炉にて400 ~ 600 x 0.8 ~ 4.8 秒の走行焼鈍を施し実施材 2 の材料とした。比較として、0.05 mmの4 N銅(99.99%以上、OFC(無酸素銅))も同様の加工熱処理条件で作製し比較材 2 の材料とした。これらの材料の機械的特性(引張強さ、伸び率、硬さ)、結晶粒サイズを測定した。

10

【0077】

表層における平均結晶粒サイズは、0.05 mm径の径方向断面の表面から深さ方向に10 μmの深さのときの長さ0.025 mmの範囲での結晶粒サイズを測定した。(銅ボンディングワイヤの軟質特性、伸び率及び引張強さ)

図6及び図7は、無酸素銅線を用いた比較材 2 に係るワイヤロッドと、低酸素銅に13 mass ppmのTiを含有させた軟質希薄銅合金線から作製した実施材 2 に係るワイヤロッドとについて、0.9 mm(なまし材)から0.05 mmまで伸線加工をし、管状炉による走行焼鈍(温度300 ~ 600、時間0.8 ~ 4.8 秒)をしたあとの断面硬さ(Hv)及び機械的特性(引張強さ、伸び率)を測定した結果である。

20

【0078】

断面硬さは、樹脂中に埋め込んだ0.05 mmワイヤの横断面を研磨し、ワイヤ中央部のビッカース硬さを測定することで評価した。測定数は5箇所であり、その平均値とした。

【0079】

引張り強さと伸び率の測定は、0.05 mmワイヤを標点距離100 mm、引張り速度20 mm/minの条件で引張り試験を行うことにより評価した。材料が破断するときの最大の引張応力が引張強さであり、材料が破断するときの最大の变形量(ひずみ)を伸びとした。

30

【0080】

図6に示すように、ほぼ同じ伸び率で比較した場合、実施材 2 の硬さは、比較材 2 よりも10 Hvほど小さいことがわかる。OFC材料との比較で、伸び特性を低下させることなく、硬さを小さくできることで、実施材 2 の銅ボンディングワイヤは無酸素銅を使用するボンディングワイヤに比して、ボンディング時のパッドダメージを低減させることができる。

【0081】

図7に示すように、ほぼ同じ伸び率で比較した場合、実施材 2 の硬さは、比較材 2 よりも10 Hvほど小さいことがわかる。無酸素銅との比較で、伸びの特性を低下させることなく、硬さを小さくできることで、例えば、実施例 2 の銅導体は、無酸素銅を使用するボンディングワイヤに比して、ボンディング時のパッドダメージを低減させることができる。

40

【0082】

表3は、図6に示す評価結果のうち、実施材 2 と比較材 2 とで硬さがほぼ同等になる条件のデータを抜粋し比較した結果を示す。表3の上段の実施例は、実施材 2 に係るワイヤロッドを、0.9 mm(なまし材)から0.05 mmまで伸線加工をし、管状炉中を400 x 1.2 秒間走行焼鈍したときの機械的特性及び硬さを示したものである。同じく表3の比較例は、比較材 2 に係るワイヤロッドを、0.9 mm(なまし材)から0.05 mmまで伸線加工をし、管状炉中を600 x 2.4 秒間走行焼鈍したときの機械的特性及び硬さを示したものである。

50

【 0 0 8 3 】

【表 2】

表 2

試料	引張強さ (MPa)	伸び率 (%)	ビッカース硬さ (Hv)
実施材 2	213	18	53
比較材 2	211	13	61

10

【 0 0 8 4 】

表 3 に示すように、同じ引張強さの材料であっても、実施例 2 の伸び率は、比較材 2 よりも 7 % も高いため、ワイヤボンディング時の接続信頼性やハンドリング特性の向上に大きく寄与できる。また、実施材 2 は、同じ硬さでありながら無酸素銅を使用する比較材 2 のボンディングワイヤに比して、引張強さが高いため、接続部（ボールネック部）の強度信頼性に大きく寄与できる。

【 0 0 8 5 】

ここでのワイヤボンディング部の接続信頼性とは、ワイヤボンディング後に樹脂モールドした後、銅ワイヤと樹脂材との熱膨張差により発生する応力に対する耐性のことである。また、ハンドリング性とは、ワイヤスプールからボンディング部へワイヤを供給する際の応力に対する耐性、その他、巻きぐせのつきにくさのことである。

20

【 0 0 8 6 】

次に、図 7 よると、ほぼ同じ引張強さで比較した場合、実施材 2 の硬さは、比較材 2 よりも Hv で 10 ほど小さいことがわかる。引張強さを低下させることなく、硬さを小さくできることで、実施例 2 のボンディングワイヤはボンディング時のパッドダメージを低減させることができる。

【 0 0 8 7 】

表 2 は、実施材 2 と比較材 2 とで引張強さがほぼ同等になる条件のデータを抜粋し比較した結果を示す。表 2 の上段の実施例は、実施材 2 に係るワイヤロッドを、0.9 mm（なまし材）から 0.05 mm まで伸線加工をし、管状炉中を 500 × 4.8 秒間走行焼鈍したときの機械的特性、及び硬さを示したものである。同じく表 2 の比較例は、比較材 2 に係るワイヤロッドを、0.9 mm（なまし材）から 0.05 mm まで伸線加工をし、管状炉中を 600 × 2.4 秒間走行焼鈍したときの機械的特性及び硬さを示したものである。

30

【 0 0 8 8 】

【表 3】

表 3

試料	引張強さ (MPa)	伸び率 (%)	ビッカース硬さ (Hv)
実施材 2	279	20	61
比較材 2	211	13	61

40

【 0 0 8 9 】

表 2 に示すとおり、同じ引張強さの材料であっても、実施例 2 の伸び率は、比較材 2 よりも 5 % も高いため、ワイヤボンディング時の接続信頼性やハンドリング特性の向上に大きく寄与できる。また、同じ引張強さの材料でありながらも、実施材 2 の硬さは、比較例 2 よりも十分小さいため、ワイヤボンディング時のパッドダメージを小さくすることがで

50

きる。

【0090】

ここでのワイヤボンディング部の接続信頼性とは、ワイヤボンディング後に樹脂モールドした後、銅ワイヤと樹脂材との熱膨張差により発生する応力に対する耐性のことである。また、ハンドリング性とは、ワイヤスプールからボンディング部へワイヤを供給する際の応力に対する耐性、その他、巻きぐせのつきにくさのことである。

【0091】

硬さ、伸び率、引張強さのバランスは、製品により要求される仕様によって多少異なるが、一例として、本発明によると、引張強さを重視する場合、引張り強さ270MPa以上、伸び率7%以上、硬さ65HV以下のワイヤの供給が可能である。

10

【0092】

また、硬さの小ささを重視する場合、引張強さ210MPa以上270MPa未満、伸び率15%以上、かつ、硬さ63HV以下の導体の供給が可能である。

(0.05mm径の銅ボンディングワイヤの結晶構造について)

図8は比較材2に係る銅ボンディングワイヤの径方向の断面組織を断面写真にて表したものであり、図9は実施材2に係る銅ボンディングワイヤの径方向の断面組織を断面写真にて表したものである。図8に示すように、比較材2の結晶構造は、表面部から中央部にかけて全体的に大きさの等しい結晶粒が均一に並んでいることが分かる。一方、実施材2の結晶構造は、全体的に結晶粒の大きさがまばらであり、試料の断面方向の表面付近に薄く形成されている層における結晶粒サイズが内部の結晶粒サイズに比べて極めて小さくなっている。

20

【0093】

本発明者は、比較材2には形成されていない表層に現れた微細結晶粒層が実施例2においては軟質特性を有し、かつ、引張強さと伸び特性を併せ持つことに寄与しているものと考えている。

【0094】

通常、軟質化を目的とした熱処理を行うと、比較材2のように再結晶により均一に粗大化した結晶粒が形成されると理解される。しかし、実施材2においては、内部に粗大な結晶粒を形成する焼鈍処理を実行しても表層には微細結晶粒層が残存している。したがって、実施材2では、軟質銅材でありながら引張強さと伸びに優れた軟質希薄銅合金材料が得られたと考えられる。

30

【0095】

また、図8及び図9に示す結晶構造の断面写真を基に、比較材2及び実施材2に係る試料の表層における平均結晶粒サイズを測定した。

【0096】

図10は、表層における平均結晶粒サイズの測定方法の概要を示す。図10に示すように、0.05mm径の幅方向断面の表面から深さ方向に5 $\mu$ m間隔で10 $\mu$ mの深さまでの線径の20%の深さの範囲で、結晶粒サイズを測定した。そして、各測定値(実測値)から平均値を求め、この平均値を平均結晶粒サイズにした。

【0097】

測定の結果、比較材2の表層における平均結晶粒サイズは22 $\mu$ mであったのに対し、実施材2の表層における平均結晶粒サイズは、深さ5 $\mu$ mまでの最表面層が7 $\mu$ m及びその内部の5~10 $\mu$ mまでの表層が15 $\mu$ mであり、比較材2の表層とは異なっていた。表層の平均結晶粒サイズが細かいことを一つの理由として、高い引張り強さと伸びが得られたと考えられる。なお、結晶粒サイズが大きいと、結晶粒界に沿って亀裂が進展する。しかし、表層における結晶粒サイズが小さいと亀裂の進展方向が変わるので、進展が抑制される。このことから、実施材2の疲労特性は、比較材2よりも優れると考えられる。従って、本実施例の効果を奏するには、表層の平均結晶粒サイズとしては15 $\mu$ m以下とするのが好ましい。

40

【0098】

50

疲労特性とは繰り返し応力を受けたとき、材料が破断に至るまでの応力付加サイクル数  
或いは、時間を示す。

【実施例 3】

【0099】

(0.26mm径の銅ボンディングワイヤの焼鈍温度600 での結晶構造について)

図11は、実施材1と同様の成分組成であり、0.26mm径の線材に対して焼鈍温度  
600 で1時間の焼鈍を施したものをを用いた実施材3の試料の径方向の断面組織の断面  
写真を示したものであり、図12は、比較材3の径方向の断面組織の断面写真を示したも  
のである。

【0100】

図11及び図12に示すように、比較材3の結晶構造は、表面部から中央部にかけて全  
体的に大きさの等しい結晶粒が均一に並んでいることがわかる。これに対し、実施材3の  
結晶構造は、全体的に結晶粒の大きさがまばらであり、特筆すべきは、試料の断面方向の  
表面付近に薄く形成されている層における結晶粒サイズが内部の結晶粒サイズに比べて極  
めて小さくなっていることである。

【0101】

このことは、通常であれば、焼鈍温度600 で1時間の焼鈍処理を行えば、比較材3  
のように再結晶により均一に粗大化した結晶粒が形成されるものであると理解されるが、  
本発明の場合には、焼鈍温度600 で1時間の焼鈍処理を行ってもなお、その表層には  
微細結晶粒層が残存していることから、軟質銅材でありながら、後述する銅ボンディング  
ワイヤの良好な引張強度、伸び特性を実現するに至る軟質希薄銅合金材料が得られたもの  
であると考えられる。

【0102】

そして、図11及び図12に示す結晶構造の断面写真をもとに、実施材3および比較材  
3の試料の表層における平均結晶粒サイズを測定した。ここに、表層における平均結晶粒  
サイズの測定方法は、図1に示すように、0.26mm径の幅方向断面の表面から深さ方  
向に10μm間隔で50μmの深さまでのところの長さ1mmの線上の範囲での結晶粒サ  
イズを測定した夫々の実測値を平均した値を表層における平均結晶粒サイズとした。

【0103】

測定の結果、比較材3の表層における平均結晶粒サイズは、50μmであったのに対し  
、実施材3の表層における平均結晶粒サイズは、10μmである点で大きく異なっていた  
。表層の平均結晶粒サイズが細かいことによって、後述する銅ボンディングワイヤの良好  
な引張強度、伸び特性を実現するに至ったものと考えられる。

【実施例 4】

【0104】

(0.26mm径の銅ボンディングワイヤの焼鈍温度400 での結晶構造について)

図13は、実施材4の試料の幅方向の断面組織を断面写真にて表したものであり、図1  
4は比較材4の幅方向の断面組織を断面写真にて表したものである。

【0105】

実施材4は、酸素濃度7massppm~8massppm、硫黄濃度5massppm、チタン濃度13massppmを備える0.26mm径の希薄銅合金線であり、焼鈍  
温度400 で1時間の焼鈍処理を経て作製される。比較材4は、無酸素銅(OF C)か  
らなる0.26mm径の線材であり、焼鈍温度400 で1時間の焼鈍処理を経て作製さ  
れる。

【0106】

図13及び図14に示すように、比較材4の結晶構造は、表面部から中央部にかけて全  
体的に大きさの等しい結晶粒が均一に並んでいることがわかる。これに対し、実施材3の  
結晶構造は、表層と内部とで結晶粒の大きさに差があり、表層における結晶粒サイズに比  
べて内部の結晶粒サイズが極めて大きくなっている。

【0107】

10

20

30

40

50

銅を焼鈍して結晶組織を再結晶させたときには、実施材 4 は、再結晶化が進み易く内部の結晶粒が大きく成長する。

【 0 1 0 8 】

次に、表 4 は、実施材 4 及び比較材 4 の導電率を示す。

【 0 1 0 9 】

【表 4】

表 4

	軟質材導電率 (%IACS)
実施材 4	102.4
比較材 4	101.8

10

【 0 1 1 0 】

表 4 に示すように、実施材 4 の導電率は比較材 4 の導電率よりも高く、ほぼ同等であり、ボンディングワイヤとして満足できるものである。

【 0 1 1 1 】

以上の本実施形態に係る銅ボンディングワイヤは、Ti 等を含み残部が不可避的不純物からなる軟質希薄銅合金材料において、結晶組織が表面から線径の 20% の深さまでの表層の平均結晶粒サイズが 15 μm 以下であり、その内部の平均結晶粒サイズが前記表層の平均結晶粒サイズより大きいことから、銅線表層の結晶粒の微細化により高い引張り強さと伸びを両立できるため、製品の接続信頼性を向上させることができる。

20

【 0 1 1 2 】

又、添加した Ti と同様に、Mg、Zr、Nb、Ca、V、Ni、Mn 及び Cr からなる群から選択された添加元素においても不純物である硫黄 (S) をトラップするので、マトリックスとしての銅母相が高純度化し、素材の軟質特性が向上される。このため、ボンディング時にシリコンチップ上の脆弱なアルミパットにダメージを与えることを抑制できる効果が得られることが確認されている。

【 0 1 1 3 】

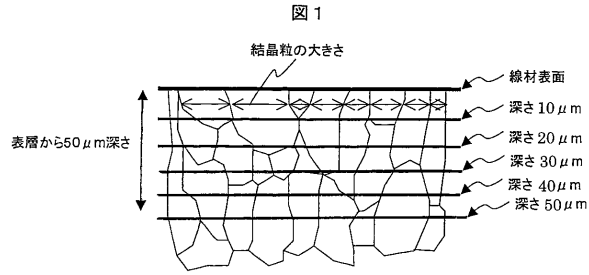
又、本実施形態に係る銅ボンディングワイヤは、銅の高純度化 (99.999 質量%以上) 処理を要せず、安価な連続鋳造圧延法により高い導電率を実現することができるので、低コスト化ができる。

30

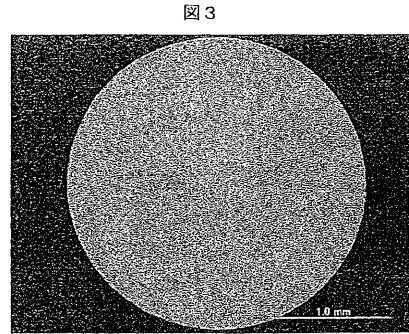
【 0 1 1 4 】

更に、本本実施形態に係る銅ボンディングワイヤは、車載用パワーモジュール用途の 0.3 mm 程度の Al ボンディングワイヤの代替としても適用でき、素材の高熱伝導性によるワイヤ径の減少に伴うモジュールの小型化、熱伝導性向上による放熱性アップによって電流密度増大による接続信頼性の低下を回避できる。

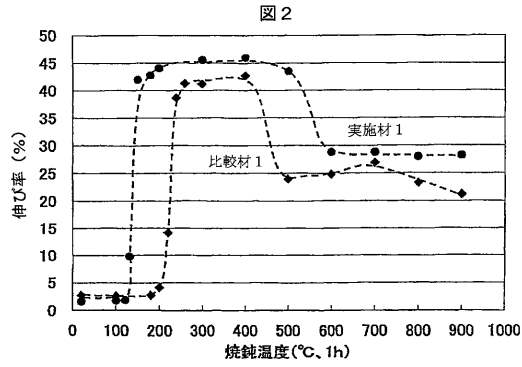
【 図 1 】



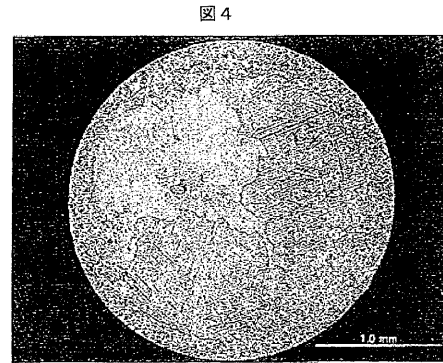
【 図 3 】



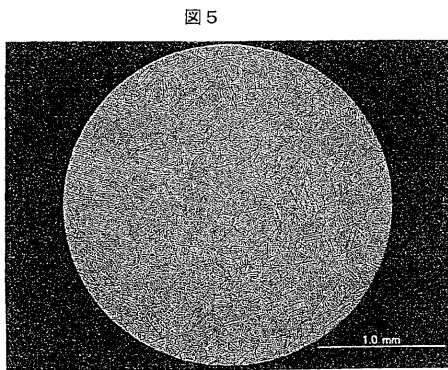
【 図 2 】



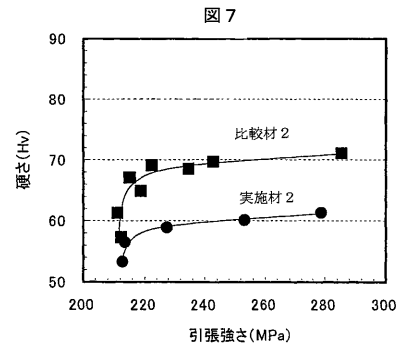
【 図 4 】



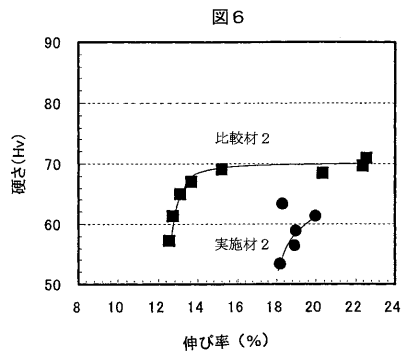
【 図 5 】



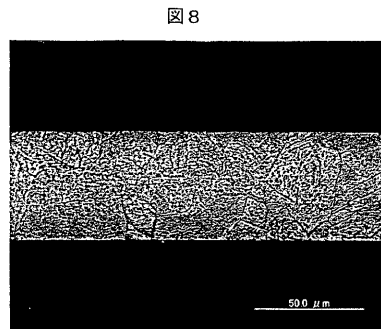
【 図 7 】



【 図 6 】



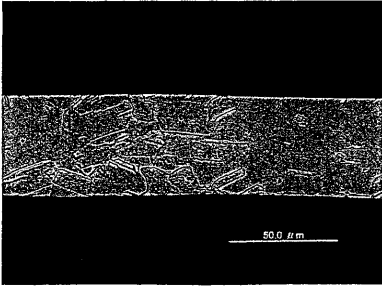
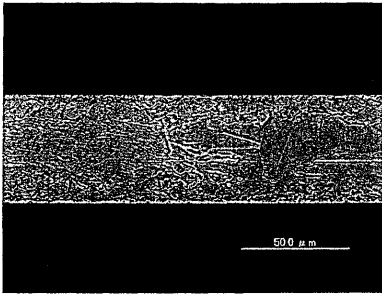
【 図 8 】





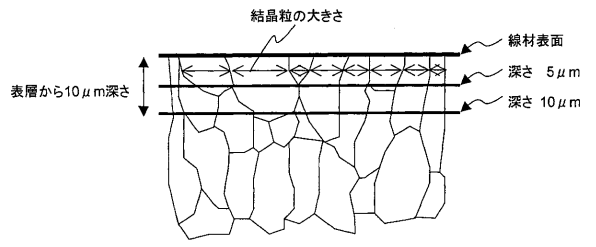
【図 9】

図 9



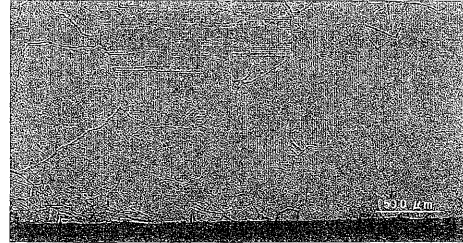
【図 10】

図 10



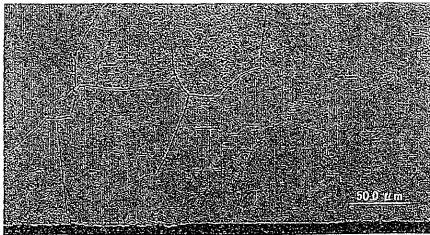
【図 11】

図 11



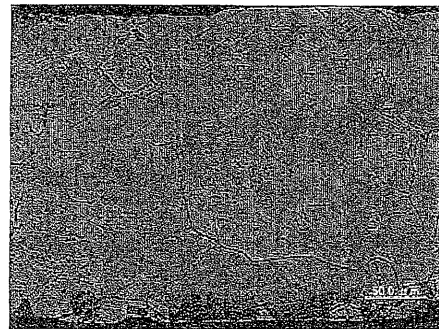
【図 12】

図 12



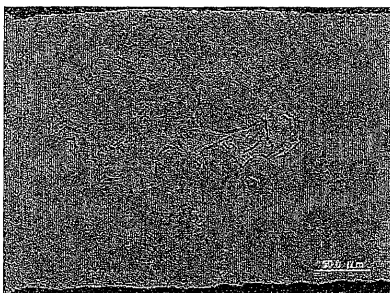
【図 14】

図 14



【図 13】

図 13



## フロントページの続き

- (74)代理人 100145171  
弁理士 伊藤 浩行
- (74)代理人 100074631  
弁理士 高田 幸彦
- (72)発明者 佐川 英之  
東京都千代田区外神田四丁目14番1号 日立電線株式会社内
- (72)発明者 青山 正義  
東京都千代田区外神田四丁目14番1号 日立電線株式会社内
- (72)発明者 黒田 洋光  
東京都千代田区外神田四丁目14番1号 日立電線株式会社内
- (72)発明者 鷺見 亨  
東京都千代田区外神田四丁目14番1号 日立電線株式会社内
- (72)発明者 藤戸 啓輔  
東京都千代田区外神田四丁目14番1号 日立電線株式会社内
- (72)発明者 岡田 良平  
茨城県日立市川尻町4丁目10番1号 日立電線ファインテック株式会社  
内

審査官 工藤 一光

- (56)参考文献 特開2010-265511(JP,A)  
特開2008-001933(JP,A)  
特開2002-294369(JP,A)  
特開2011-179110(JP,A)  
特開平07-086325(JP,A)  
特開2006-274383(JP,A)  
国際公開第2011/096576(WO,A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H01L21/60-21/607  
C22C9/00-9/10