

明 細 書

発明の名称： A l 配線材

技術分野

[0001] 本発明は、A l 配線材に関する。さらには、該A l 配線材を含む半導体装置に関する。

背景技術

[0002] 半導体装置では、半導体チップ上に形成された電極と、リードフレームや基板上の電極との間をボンディングワイヤやボンディングリボン（これらを総称して「配線材」ともいう。）によって接続している。パワー半導体装置においては主にアルミニウム（A l）を材質とする配線材（以下、単に「A l 配線材」ともいう。）が用いられており、例えば、特許文献1には、パワー半導体モジュールにおいて、 $300\mu\text{m}\phi$ のA lボンディングワイヤを用いる例が示されている。また、A l 配線材を用いたパワー半導体装置において、ボンディング方法としては、半導体チップ上電極との第1接続と、リードフレームや基板上の電極との第2接続のいずれも、ウェッジ接合が用いられている。

[0003] A l 配線材を用いたパワー半導体装置は、エアコンや太陽光発電システムなどの大電力機器、車載用の半導体装置として用いられることが多い。これらの半導体装置においては、装置作動時に、配線材と被接続部材の接続部は 120°C 以上の高温にさらされる。また、高電圧のON/OFFが高速で進行すると、昇温と降温を繰り返す厳しい環境になる。配線材として高純度のA lのみからなる材料を用いた場合、装置作動時の温度環境において配線材の軟化が進行しやすいため、高温環境で使用することが困難であった。

[0004] A l に特定の元素を添加した材料からなるA l 配線材が提案されている。例えば、特許文献2には、A l に0.05～1重量%のスカンジウム（Sc）を添加し析出硬化させることによって機械的強度の向上したA lボンディングワイヤが開示されている。特許文献3には、ニッケル（Ni）、珪素（

シリコン) (Si) 及びリン (P) のうちの1種以上を合計で800重量ppm以下含有するAl配線材が良好な接合強度、耐候性を呈することが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2002-314038号公報

特許文献2：特表2016-511529号公報

特許文献3：特開2016-152316号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 装置の作動サイクルに伴う温度変化の著しいパワー半導体装置においては、温度変化に伴う衝撃的な熱応力が生じ（以下、斯かる現象を「熱衝撃」ともいう。）、Al配線材と被接続部材との接続部等が損傷する場合がある。詳細には、装置の作動サイクルに伴う温度変化に伴い、Al配線材と被接続部材との熱膨張率差に起因して、接続部界面にクラックが発生する場合がある（以下、斯かる現象を「ボンドクラック」ともいう。）。パワー半導体装置ではまた、Al配線材自体の伸縮による曲げ応力に起因して接続部近傍のループ立ち上がり部にクラックが生じる場合もある（以下、斯かる現象を「ヒールクラック」ともいう。）。装置作動時に繰り返し生じる熱衝撃により、これらボンドクラックやヒールクラックは進展し、最終的にAl配線材が被接続部材から剥離するなどして接合信頼性が損なわれる場合があった。

[0007] 上記のボンドクラックは、高温環境下におけるAl配線材の軟化を抑制し、強度を維持することにより、その発生を抑制することができる。例えば、Sc等を添加したAl配線材は、高温環境下で強度を維持することができ、装置作動時の環境下においてボンドクラックを抑制することができる。その一方で、高い強度に起因して、装置作動時の環境下においてヒールクラックが進展し易い。

[0008] ヒールクラックは、軟質のAⅠ配線材を使用することにより、その発生を抑制することができる。例えば、高純度のAⅠ配線材やNⅰを低濃度で添加したAⅠ配線材は比較的軟質であり、ヒールクラックを抑制することができる。その一方で、高温環境下における軟化が進行し易く、装置作動時の環境下においてボンドクラックが進展し易い。

[0009] このように、高温環境下で高い強度を呈する従来のAⅠ配線材に関しては、装置作動時に繰り返し生じる熱衝撃によりヒールクラックが進展し易く、また、軟質である従来のAⅠ配線材に関しては、装置作動時に繰り返し生じる熱衝撃によりボンドクラックが進展し易く、何れにおいても装置の作動サイクルに伴う熱衝撃に対する耐性（以下、単に「熱衝撃耐性」ともいう。）に改善の余地があった。また、前者の高強度のAⅠ配線材に関しては、熱処理等により強度を十分に調整しないと、被接続部材への接続時に被接続部材が損傷する場合があった（以下、斯かる現象を「チップダメージ」ともいう。）。）。。

[0010] 本発明は、良好な熱衝撃耐性を示し、さらにチップダメージを抑制し得る新規なAⅠ配線材を提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0011] 本発明者らは、上記課題につき鋭意検討した結果、下記構成を有するAⅠ配線材によって上記課題を解決できることを見出し、斯かる知見に基づいて更に検討を重ねることによって本発明を完成した。

[0012] すなわち、本発明は以下の内容を含む。

[1] AⅠ芯材と、該AⅠ芯材の表面に形成されたAⅠ被覆層とを含み、
AⅠ芯材のビッカース硬度を H_{1s} （HV）、AⅠ被覆層のビッカース硬度を H_{1h} （HV）としたとき、 $1.2 \leq H_{1h}/H_{1s}$ を満たす、AⅠ配線材。

[2] AⅠ配線材の線径を D （ μm ）としたとき、AⅠ芯材の線径 d_{1sc} （ μm ）が、

$$0.5D \leq d_{1sc} \leq 0.95D$$

を満たす、[1]に記載のAⅠ配線材。

[3] A I 芯材中の A I 含有量を x_1 (質量%)、A I 被覆層中の A I 含有量を x_2 (質量%) としたとき、 $95 \leq x_2 < x_1$ の関係を満たす、[1] 又は [2] に記載の A I 配線材。

[4] A I 芯材と、該 A I 芯材の表面に形成された A I 被覆層とを含み、A I 芯材のビッカース硬度を H_{2h} (Hv)、A I 被覆層のビッカース硬度を H_{2s} (Hv) としたとき、 $1.2 \leq H_{2h}/H_{2s}$ を満たす、A I 配線材。

[5] A I 配線材の線径を D (μm) としたとき、A I 芯材の線径 d_{2hc} (μm) が、

$$0.25D \leq d_{2hc} \leq 0.7D$$

を満たす、[4] に記載の A I 配線材。

[6] A I 芯材中の A I 含有量を y_1 (質量%)、A I 被覆層中の A I 含有量を y_2 (質量%) としたとき、 $95 \leq y_1 < y_2$ の関係を満たす、[4] 又は [5] に記載の A I 配線材。

[7] A I 芯材と、該 A I 芯材の表面に形成された A I 被覆層とを含み、A I 被覆層が、Mg、Sc、Y、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Cr、Mo、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Ag、Zn 及び Si からなる群から選択される 1 種以上の元素（以下、「第 1 群元素」という。）を総計で 0.2 ~ 3 質量% 含有し、

A I 芯材が、元素周期表第 10 族の金属元素を総計で 0 ~ 500 質量 ppm 含有する、A I 配線材。

[8] A I 配線材の線径を D (μm) としたとき、A I 芯材の線径 d (μm) が、

$$0.5D \leq d \leq 0.95D$$

を満たす、[7] に記載の A I 配線材。

[9] A I 芯材と、該 A I 芯材の表面に形成された A I 被覆層とを含み、A I 芯材が、Mg、Sc、Y、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Cr、Mo、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Ag、Zn 及び Si からなる群から選択される 1 種以上の元素（以下、「第 1 群元素」という。）を総計で 0.2 ~

3質量%含有し、

AⅠ被覆層が、元素周期表第10族の金属元素を総計で0～500質量ppm含有する、AⅠ配線材。

[10] AⅠ配線材の線径をD(μm)としたとき、AⅠ芯材の線径d(μm)が、

$$0.25D \leq d \leq 0.7D$$

を満たす、[9]に記載のAⅠ配線材。

[11] 第1群元素が、Sc、Zr、Fe、Ni、Cu及びSiからなる群から選択される、[7]～[10]の何れかに記載のAⅠ配線材。

[12] AⅠ配線材の線径が100～600μmである、[1]～[11]の何れかに記載のAⅠ配線材。

[13] ボンディングワイヤである、[1]～[12]の何れかに記載のAⅠ配線材。

[14] [1]～[13]の何れかに記載のAⅠ配線材を含む半導体装置。

発明の効果

[0013] 本発明によれば、良好な熱衝撃耐性を示し、さらにチップダメージを抑制し得る新規なAⅠ配線材を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]図1は、本発明の一実施形態に係るAⅠ配線材の概略断面図である。

[図2]図2は、本発明の一実施形態に係るAⅠ配線材の概略断面図である。

[図3]図3は、本発明の一実施形態に係るAⅠ配線材の概略断面図である。

[図4]図4は、AⅠ配線材のピッカース硬度の測定方法の一例を説明するための概略図である。

[図5]図5は、本発明の一実施形態に係るAⅠ配線材のピッカース硬度プロファイルの一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0015] 以下、本発明をその好適な実施形態に即して詳細に説明する。説明にあた

り図面を参照する場合もあるが、各図面は、発明が理解できる程度に、構成要素の形状、大きさおよび配置が概略的に示されているに過ぎない。本発明は以下の記述によって限定されるものではなく、各構成要素は本発明の要旨を逸脱しない範囲において適宜変更可能である。

[0016] [A I 配線材]

本発明のA I 配線材は、硬質部と軟質部を有することを特徴とする。

[0017] 本発明のA I 配線材は、その硬質部に基づいて、装置作動時の環境下においてボンドクラックの進展を抑制することができ、その軟質部に基づいて、被接続部材への接続時にチップダメージを抑制すると共に、装置作動時の環境下においてヒールクラックの進展を抑制することができる。これにより、本発明のA I 配線材は、良好な熱衝撃耐性を示し、さらにチップダメージを抑制することができる。さらには、本発明のA I 配線材は、その硬質部に基づいて、ループ形成時の安定性やループ形状の維持において優れるといった有利な効果を奏する。

[0018] 本発明のA I 配線材において、硬質部と軟質部は共に、A I 配線材の長さ方向に連続的に延在することが好ましい。硬質部と軟質部が共にA I 配線材の長さ方向に連続的に延在すると、該A I 配線材を用いて被接続部材に接続した際に、所期の効果を安定して奏することができる。

[0019] 本発明のA I 配線材において、硬質部と軟質部は共に、A I を主成分とする。ここで、硬質部及び軟質部についていう「A I を主成分とする」とは、硬質部中のA I 含有量及び軟質部中のA I 含有量がそれぞれ50質量%以上であることをいう。

[0020] 硬質部中のA I 含有量は、好ましくは95質量%以上、より好ましくは96質量%以上、さらに好ましくは96.5質量%以上である。硬質部中のA I 含有量の上限は、好ましくは99.9質量%以下、より好ましくは99.8質量%以下である。

[0021] 軟質部中のA I 含有量は、好ましくは95質量%以上、より好ましくは96質量%以上、さらに好ましくは97質量%以上、98質量%以上、99質

量%以上、99.5質量%以上、99.6質量%以上又は99.8質量%以上である。軟質部中のAl含有量の上限は、特に限定されず、例えば99.9999質量%以下とし得る。

[0022] 中でも、本発明の効果をより享受し得る観点から、硬質部中のAl含有量を C_{Alh} （質量%）、軟質部中のAl含有量を C_{Als} （質量%）としたとき、 $95 \leq C_{Alh} < C_{Als}$ の関係を満たすことが好ましい。 C_{Alh} 及び C_{Als} は、より好ましくは $96 \leq C_{Alh} < C_{Als}$ 、さらに好ましくは $96.5 \leq C_{Alh} < C_{Als}$ の関係を満たす。特に C_{Als} は、好ましくは $99.5 \leq C_{Als}$ 、より好ましくは $99.6 \leq C_{Als}$ 、さらに好ましくは $99.8 \leq C_{Als}$ の条件を満たすことが好適であり、 C_{Als} の上限は先述のとおり99.9999（質量%）であってよい。

[0023] 本発明のAl配線材において、硬質部のビッカース硬度 H_h （HV）と軟質部のビッカース硬度 H_s （HV）は、 $1.2 \leq H_h/H_s$ の関係を満たすことが好ましい。該 H_h/H_s の値は、より好ましくは1.3以上、さらに好ましくは1.4以上、1.5以上、1.6以上、1.8以上又は2.0以上である。該 H_h/H_s の値の上限は、特に限定されないが、8.0以下、6.0以下、5.0以下などとし得る。

[0024] 硬質部のビッカース硬度 H_h は、軟質部のビッカース硬度 H_s と共に上記 H_h/H_s の関係を満たす限り特に限定されないが、装置作動時の環境下においてボンドクラックの進展をいっそう抑制し得る観点から、好ましくは20HV以上、より好ましくは22HV以上、24HV以上又は25HV以上である。該 H_h の上限は、特に限定されず、例えば、100HV以下、95HV以下、90HV以下などとし得る。

[0025] 本発明のAl配線材は、Alボンディングワイヤであってもよく、Alボンディングリボンであってもよい。本発明のAl配線材がAlボンディングワイヤである場合、その線径は特に限定されず、例えば、100～600 μ mであってよい。本発明のAl配線材がAlボンディングリボンである場合、その矩形若しくは略矩形の断面の寸法（W×T）は、特に限定されず、例

例えば、 W は $100 \sim 3000 \mu m$ であってよく、 T は $50 \sim 600 \mu m$ であってよい。以下、硬質部と軟質部の寸法を説明するにあたって、 A Ⅰボンディングワイヤに関連して各寸法 D 、 d_{1sc} 、 t_{1hc} 、 d_{2hc} 、 t_{2sc} 、 d 及び t の好適範囲を示すが、 A Ⅰ配線材が A Ⅰボンディングリボンである場合は、その矩形若しくは略矩形の断面の寸法 T が D に該当するとして、各寸法を適用すればよい。

[0026] 本発明の A Ⅰ配線材において、硬質部と軟質部の配置は、一方が他方を覆うように設けられる限り特に限定されない。例えば、本発明の A Ⅰ配線材は、軟質部としての A Ⅰ芯材と、硬質部としての A Ⅰ被覆層とを含んでよい。以下、斯かる実施形態を「態様1」という。本発明の A Ⅰ配線材はまた、硬質部としての A Ⅰ芯材と、軟質部としての A Ⅰ被覆層とを含んでよい。以下、斯かる実施形態を「態様2」という。

[0027] ー態様1ー

態様1に係る A Ⅰ配線材は、軟質部としての A Ⅰ芯材と、該 A Ⅰ芯材の表面に形成された硬質部としての A Ⅰ被覆層とを含む。

[0028] 態様1に係る A Ⅰ配線材では、その表面に硬質な A Ⅰ被覆層を含むことにより、装置作動時の環境下においてボンドクラックの発生を減じることができる。また、軟質な A Ⅰ芯材を有するため、被接続部材への接続時にチップダメージを抑制することができる。また、軟質な A Ⅰ芯材に基づいて、接続部近傍のループ立ち上がり部における軟質さを確保できるため、装置作動時の環境下においてヒールクラックの進展も減じることができる。

[0029] 態様1に係る A Ⅰ配線材において、硬質部と軟質部は、先述のとおりである。チップダメージの抑制と熱衝撃耐性とを共に高いレベルで達成し得る観点から、 A Ⅰ芯材のビッカース硬度を H_{1s} (H_v)、 A Ⅰ被覆層のビッカース硬度を H_{1h} (H_v) としたとき、 $1.2 \leq H_{1h}/H_{1s}$ を満たすことが好ましい。 H_{1h}/H_{1s} のより好適な範囲は、 H_h/H_s について先述したとおりである。

[0030] チップダメージを抑制すると共に、ヒールクラックの進展を抑制して良好

な熱衝撃耐性を実現する観点から、Al 芯材の線径 d_{1sc} (μm) は、Al 配線材の線径を D (μm) としたとき、好ましくは $0.5D$ 以上、より好ましくは $0.52D$ 以上、さらに好ましくは $0.54D$ 以上、 $0.56D$ 以上、 $0.58D$ 以上又は $0.6D$ 以上である。該線径 d_{1sc} (μm) の上限は、ボンドクラックの発生を抑制して良好な熱衝撃耐性を実現する観点から、好ましくは $0.95D$ 以下、より好ましくは $0.93D$ 以下、さらに好ましくは $0.92D$ 以下、 $0.9D$ 以下、 $0.88D$ 以下、 $0.86D$ 以下又は $0.85D$ 以下である。特に Al 芯材の線径 d_{1sc} (μm) が、 $0.52D$ 以上であり且つ $0.93D$ 以下であると、チップダメージを抑制し得ると共に熱衝撃耐性に一際優れる Al 配線材を実現し得るため好適である。

[0031] したがって好適な一実施形態において、Al 配線材の線径を D (μm) としたとき、Al 芯材の線径 d_{1sc} (μm) は、 $0.5D \leq d_{1sc} \leq 0.95D$ の関係を満たし、より好適には $0.52D \leq d_{1sc} \leq 0.93D$ の関係を満たす。

[0032] ボンドクラックの発生を抑制して良好な熱衝撃耐性を実現する観点から、Al 被覆層の厚さ t_{1hc} (μm) は、Al 配線材の線径を D (μm) としたとき、好ましくは $0.02D$ 以上、より好ましくは $0.03D$ 以上、さらに好ましくは $0.04D$ 以上、 $0.05D$ 以上、 $0.06D$ 以上、 0.08 以上又は $0.1D$ 以上である。該厚さ t_{1hc} (μm) の上限は、チップダメージを抑制すると共に、ヒールクラックの進展を抑制して良好な熱衝撃耐性を実現する観点から、好ましくは $0.25D$ 以下、より好ましくは $0.24D$ 以下、さらに好ましくは $0.23D$ 以下、 $0.22D$ 以下又は $0.2D$ 以下である。特に Al 被覆層の厚さ t_{1hc} (μm) が、 $0.03D$ 以上であり且つ $0.24D$ 以下であると、チップダメージを抑制し得ると共に熱衝撃耐性に一際優れる Al 配線材を実現し得るため好適である。

[0033] したがって好適な一実施形態において、Al 配線材の線径を D (μm) としたとき、Al 被覆層の厚さ t_{1hc} (μm) は、 $0.02D \leq t_{1hc} \leq 0.25D$ の関係を満たし、より好適には $0.03D \leq t_{1hc} \leq 0.24D$ の関係を

満たす。

- [0034] 態様1に係るAⅠ配線材において、軟質部（AⅠ芯材）中のAⅠ含有量と硬質部（AⅠ被覆層）中のAⅠ含有量の好適範囲は先述のとおりであるが、中でも、本発明の効果をより享受し得る観点から、AⅠ芯材中のAⅠ含有量を $\times 1$ （質量％）、AⅠ被覆層中のAⅠ含有量を $\times 2$ （質量％）としたとき、 $95 \leq \times 2 < \times 1$ の関係を満たすことが好ましい。 $\times 1$ 及び $\times 2$ は、より好ましくは $96 \leq \times 2 < \times 1$ 、さらに好ましくは $96.5 \leq \times 2 < \times 1$ の関係を満たす。特に $\times 1$ は、好ましくは $99.5 \leq \times 1$ 、より好ましくは $99.6 \leq \times 1$ 、さらに好ましくは $99.8 \leq \times 1$ の条件を満たすことが好ましく、 $\times 1$ の上限は先述のとおり例えば 99.9999 （質量％）とし得る。
- [0035] 図1を参照して、態様1に係るAⅠ配線材をさらに説明する。図1には、態様1に係るAⅠ配線材の一例について、概略断面図（C断面の概略図）を示す。図1に示すAⅠ配線材100は、軟質部としてのAⅠ芯材11と、該AⅠ芯材11の表面に形成された硬質部としてのAⅠ被覆層12とを含む。AⅠ芯材及びAⅠ被覆層については先述のとおりであり、それらの寸法 d_{1sc} 及び t_{1hc} やAⅠ含有量、AⅠ配線材の線径Dについても先述のとおりである。
- [0036] 態様1に係るAⅠ配線材について、AⅠ芯材とAⅠ被覆層の存在やそれらの寸法を判断・決定するに際しては、AⅠ配線材のC断面について、AⅠ配線材の表面側から中心に向かって一定間隔にてビッカース硬度を測定する。AⅠ配線材のC断面を露出させる方法としては、機械研磨を利用することができる。
- [0037] AⅠ配線材のC断面についてビッカース硬度を測定する際、表面側から中心までを結ぶ直線上において、一定間隔にてビッカース硬度を測定する。ここで、ビッカース硬度を測定するにあたり、測定点間隔が狭いと隣接測定点の圧痕に起因した硬度の誤認識を生ずる場合がある。よって、ビッカース硬度の測定点は、測定時に生じる圧痕サイズから想定される妥当な間隔（すなわち、隣接測定点の圧痕に起因した硬度の誤認識を抑制するのに十分な間隔

）をあけて決定する必要がある。例えば、A I 配線材のC断面について、表面側から中心までを結ぶ複数の直線を決定し、各直線上において一定間隔にてビッカース硬度を測定することにより、測定点間隔を十分に確保しつつ、細かい間隔でビッカース硬度の情報を得ることが可能である。

[0038] 詳細には、A I 配線材のC断面について、表面側から中心までを結ぶX本の直線（直線 L_1 、 L_2 、 L_3 、 $\dots$ 、 L_X ）を決定したとき、各直線について、A I 配線材の表面からの距離が以下の地点で、それぞれビッカース硬度を測定すればよい。

直線 L_1 ： $(Xn+1)a$ の各地点

直線 L_2 ： $(Xn+2)a$ の各地点

直線 L_3 ： $(Xn+3)a$ の各地点

$\dots$

直線 L_X ： $(Xn+X)a$ の各地点

ここで、Xは決定した直線の本数、nは0以上の整数、aは取得したいビッカース硬度プロファイルのプロット間隔（ μm ）を表す。直線の本数Xは、 $X \times a$ の値が、測定時に生じる圧痕サイズから想定される妥当な間隔（すなわち、隣接測定点の圧痕に起因した硬度の誤認識を抑制するのに十分な間隔）となるように適切に決定する。

[0039] 図4では、互いに傾きが 60° 異なる6本の直線A、B、C、D、E及びFを決定しており、例えば、直線Aにおいて、A I 配線材の表面からの距離が $3 \mu m$ 、 $21 \mu m$ 、 $39 \mu m$ 、 $57 \mu m$ 、 $\dots$ というように、表面からの距離が $(6n+1) \times 3 (\mu m)$ の各地点でビッカース硬度を測定し、直線Bにおいては $(6n+2) \times 3 (\mu m)$ の各地点で、直線Cにおいては $(6n+3) \times 3 (\mu m)$ の各地点で、直線Dにおいては $(6n+4) \times 3 (\mu m)$ の各地点で、直線Eにおいては $(6n+5) (\mu m)$ の各地点で、直線Fにおいては $(6n+6) \times 3 (\mu m)$ の各地点で、それぞれビッカース硬度を測定すればよい。そして直線A、B、C、D、E及びFの各々について得られたビッカース硬度のプロファイルを統合して一つの硬度プロファイル

を形成する。これにより、AⅠ配線材の表面側から中心に向けて $3\mu\text{m}$ の間隔でビッカース硬度の情報を得ることが可能である。C断面において複数の直線を決定するにあたって、互いに傾きが同角度で異なる直線を決定する必要はなく、AⅠ配線材の表面側から中心までを結ぶと共にビッカース硬度の測定点のピッチを十分に確保し得る限り、互いに傾きが異なる角度で相違する複数の直線を決定してもよい。また、AⅠ配線材の長手方向に互いに 10mm 以上離間した3つ以上のC断面について硬度プロファイルを取得することが好ましい。

[0040] 態様1に係るAⅠ配線材について求められた硬度プロファイルに関し、その傾向を、図5を参照して以下に説明する。図5は、態様1に係るAⅠ配線材の硬度プロファイルの一例である。AⅠ配線材の表面から一定の深さ位置（距離）までは、ビッカース硬度がほぼ一定の値を示す平坦領域（プラトー領域）が存在する。さらにAⅠ配線材の中心に向けて進むと、ビッカース硬度が低下した後、ビッカース硬度がほぼ一定の値を示す平坦領域が存在する。

[0041] 本発明において、態様1に係るAⅠ配線材の「AⅠ芯材のビッカース硬度 H_{1s} （HV）」、「AⅠ被覆層のビッカース硬度 H_{1h} （HV）」、「AⅠ被覆層の厚さ t_{1hc} （ μm ）」及び「AⅠ芯材の線径 d_{1sc} （ μm ）」は、得られた硬度プロファイルに基づき、後述の「ビッカース硬度の測定」欄における「ービッカース硬度に基づく硬質部と軟質部の判定ー」に記載の方法により求めることができる。

[0042] ビッカース硬度は、AⅠ配線材を構成するAⅠ材料の組成や、AⅠ配線材の製造時の加工度、熱処理等を調整・操作することにより、調整することができる。

[0043] 以下、軟質部としてのAⅠ芯材と硬質部としてのAⅠ被覆層とを含む態様1に係るAⅠ配線材を実現する観点から特に好適なAⅠ配線材の組成について説明する。

[0044] すなわち、一実施形態において、AⅠ配線材は、AⅠ芯材と、該AⅠ芯材

の表面に形成されたA l被覆層とを含み、A l被覆層が、Mg、Sc、Y、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Cr、Mo、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Ag、Zn及びSiからなる群から選択される1種以上の元素（以下、「第1群元素」ともいう。）を総計で0.2～3質量%含有し、A l芯材が、元素周期表第10族の金属元素（以下、「第2群元素」ともいう。）を総計で0～500質量ppm含有することを特徴とする。以下、斯かる実施形態を「態様1'」ともいう。

[0045] なお、A l芯材が第2群元素を総計で0～500質量ppm含有するとは、A l芯材が第2群元素を含有しない場合と、A l芯材が第2群元素を500質量ppm以下の範囲で含有する場合の双方を包含する。

[0046] 第2群元素を総計で0～500質量ppm含有するA l又はA l合金は先述の軟質部を形成し、また、第1群元素を総計で0.2～3質量%含有するA l合金は先述の硬質部を形成する。したがって、上記の組成を有するA l配線材は、軟質部としてのA l芯材と、硬質部としてのA l被覆層とを含む態様1に係るA l配線材を実現し得る。

[0047] 態様1'に係るA l配線材において、A l芯材の線径 d (μm)の好適な範囲は、態様1に係るA l配線材においてA l芯材の線径 d_{1sc} (μm)について説明した好適な範囲と同じである。したがって好適な一実施形態において、A l配線材の線径を D (μm)としたとき、A l芯材の線径 d (μm)は、 $0.5D \leq d \leq 0.95D$ の関係を満たし、より好適には $0.52D \leq d \leq 0.93D$ の関係を満たす。

[0048] 態様1'に係るA l配線材において、A l被覆層の厚さ t (μm)の好適な範囲は、態様1に係るA l配線材においてA l被覆層の厚さ t_{1hc} (μm)について説明した好適な範囲と同じである。したがって好適な一実施形態において、A l配線材の線径を D (μm)としたとき、A l被覆層の厚さ t (μm)は、 $0.02D \leq t \leq 0.25D$ の関係を満たし、より好適には $0.03D \leq t \leq 0.24D$ の関係を満たす。

[0049] 態様1'に係るA l配線材において、A l芯材中のA l含有量とA l被覆

層中のAⅠ含有量の好適範囲は、それぞれ硬質部と軟質部について先述したとおりであるが、中でも、本発明の効果をより享受し得る観点から、AⅠ芯材中のAⅠ含有量を $\times 1$ （質量％）、AⅠ被覆層中のAⅠ含有量を $\times 2$ （質量％）としたとき、 $95 \leq \times 2 < \times 1$ の関係を満たすことが好ましい。 $\times 1$ 及び $\times 2$ の好適条件は、態様1に係るAⅠ配線材について先述したとおりである。

[0050] 好適な一実施形態において、AⅠ芯材は、第2群元素を総計で0～500質量ppm含有し、残部はAⅠと不可避不純物からなる。なお、AⅠ芯材についていう用語「不可避不純物」には、AⅠ被覆層を構成する元素（例えば、第1群元素）も包含される。

[0051] 好適な一実施形態において、AⅠ被覆層は、第1群元素を総計で0.2～3質量％含有し、残部はAⅠと不可避不純物からなる。なお、AⅠ被覆層についていう用語「不可避不純物」には、AⅠ芯材を構成する元素（例えば、第2群元素）も包含される。

[0052] AⅠ芯材との組み合わせにおいて、チップダメージを抑制し得ると共に熱衝撃耐性に一際優れるAⅠ配線材を実現し得る観点から、AⅠ被覆層に含まれる第1群元素は、Mg、Sc、Y、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Cr、Mo、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Ag、Zn及びSiからなる群から選択され、中でも、本発明の効果をより享受し得る観点から、AⅠ被覆層は、第1群元素として、Sc、Zr、Fe、Ni、Cu及びSiからなる群から選択される1種以上を含むことがより好ましい。

[0053] AⅠ被覆層中の第1群元素の総計濃度（ c_1 ）は、ボンドクラックの発生を抑制して良好な熱衝撃耐性を実現する観点から、好ましくは0.2質量％以上であり、より好ましくは0.4質量％以上、さらに好ましくは0.5質量％以上、0.6質量％以上、0.8質量％以上又は1質量％以上である。該総計濃度の上限は、チップダメージを抑制すると共に、ヒールクラックの進展を抑制して良好な熱衝撃耐性を実現する観点から、好ましくは3質量％以下であり、より好ましくは2.8質量％以下、2.6質量％以下又は2.5

質量%以下である。

[0054] A I 芯材中の第2群元素の総計濃度 (c_2) は、チップダメージを抑制すると共に、ヒールクラックの進展を抑制して良好な熱衝撃耐性を実現する観点から、好ましくは500質量ppm以下、より好ましくは480質量ppm以下、460質量ppm以下、450質量ppm以下、440質量ppm以下、420質量ppm以下又は400質量ppm以下である。該総計濃度の下限は、特に限定されず、0質量ppmであってもよい。A I 芯材が第2群元素を含有する場合、A I 配線材の耐食性を向上させることができるため有利である。本発明のA I 配線材において、A I 芯材は、第2群元素として、Ni、Pd、Ptの1種以上を含有してよく、例えば、NiとPd、NiとPt、PdとPtのように2元素を組み合わせる含有してもよく、Ni、Pd及びPtの3元素を組み合わせる含有してもよく、何れか1種のみを含有してもよい。

[0055] 図3を参照して、態様1'に係るA I 配線材をさらに説明する。図3には、態様1'に係るA I 配線材の一例について、概略断面図(C断面の概略図)を示す。図3に示すA I 配線材300は、A I 芯材31と、A I 被覆層32とを含む。A I 芯材及びA I 被覆層については先述のとおりであり、それらの寸法d及びtやA I 含有量等の組成、A I 配線材の線径Dについても先述のとおりである。

[0056] 態様1'に係るA I 配線材について、A I 芯材とA I 被覆層の存在やそれらの寸法を判断・決定するに際しては、A I 配線材のC断面について、A I 配線材の表面側から中心に向かって第1群元素に着目した濃度分析を行う。濃度分析に用いる分析装置は、エネルギー分散型X線分析(EDS)、電子線マイクロアナライザ(EPMA)、二次イオン質量分析(SIMS)等を利用することができる。例えば、図4に示す直線Aについて線分析することにより、A I 配線材の表面から中心までの分析対象元素(第1群元素)の濃度プロファイルを得ることができる。また、A I 配線材の長手方向に互いに10mm以上離間した3つ以上のC断面について濃度プロファイルを取得す

ることが好ましい。

[0057] 本発明において、態様1'に係るAⅠ配線材の「AⅠ被覆層中の第1群元素の総計濃度 c_1 （質量％）」、「AⅠ芯材の線径 d （ μm ）」及び「AⅠ被覆層の厚さ t （ μm ）」は、得られた濃度プロファイルに基づき、後述の「元素含有量の測定」欄における「－第1群元素の総計濃度 c_1 に基づくAⅠ芯材とAⅠ被覆層の判定－」に記載の方法により求めることができる。また、「AⅠ芯材中の第2群元素の総計濃度 c_2 （質量ppm）」は、後述の「元素含有量の測定」欄における「－第2群元素の総計濃度 c_2 の測定－」に記載の方法により測定することができる。

[0058] ー態様2ー

態様2に係るAⅠ配線材は、硬質部としてのAⅠ芯材と、該AⅠ芯材の表面に形成された軟質部としてのAⅠ被覆層とを含む。

[0059] 態様2に係るAⅠ配線材では、その表面に軟質なAⅠ被覆層を含むことにより、接続部近傍のループ立ち上がり部における軟質さを確保できるため、装置作動時の環境下においてヒールクラックの発生を減じることができる。また、軟質なAⅠ被覆層を有するため、被接続部材への接続時にチップダメージを抑制することができる。また、硬質なAⅠ芯材に基づいて、装置作動時の環境下においてボンドクラックが発生しても、該クラックが硬質なAⅠ芯材に到達した段階で該クラックの進展を減じることができる。

[0060] 態様2に係るAⅠ配線材において、硬質部と軟質部は、先述のとおりである。チップダメージの抑制と熱衝撃耐性とを共に高いレベルで達成し得る観点から、AⅠ芯材のビッカース硬度を H_{2h} （HV）、AⅠ被覆層のビッカース硬度を H_{2s} （HV）としたとき、 $1.2 \leq H_{2h}/H_{2s}$ を満たすことが好ましい。 H_{2h}/H_{2s} のより好適な範囲は、 H_h/H_s について先述したとおりである。

[0061] ボンドクラックの進展を抑制して良好な熱衝撃耐性を実現する観点から、AⅠ芯材の線径 d_{2hc} （ μm ）は、AⅠ配線材の線径を D （ μm ）としたとき、好ましくは $0.25D$ 以上、より好ましくは $0.3D$ 以上、さらに好まし

くは $0.32D$ 以上、 $0.34D$ 以上又は $0.35D$ 以上である。該線径 d_{2hc} (μm) の上限は、チップダメージを抑制すると共に、ヒールクラックの発生を抑制して良好な熱衝撃耐性を実現する観点から、好ましくは $0.7D$ 以下、より好ましくは $0.65D$ 以下、さらに好ましくは $0.64D$ 以下、 $0.62D$ 以下又は $0.6D$ 以下である。特にAⅠ芯材の線径 d_{2hc} (μm) が、 $0.3D$ 以上であり且つ $0.65D$ 以下であると、チップダメージを抑制し得ると共に熱衝撃耐性に一際優れるAⅠ配線材を実現し得るため好適である。

[0062] したがって好適な一実施形態において、AⅠ配線材の線径を D (μm) としたとき、AⅠ芯材の線径 d_{2hc} (μm) は、 $0.25D \leq d_{2hc} \leq 0.7D$ の関係を満たし、より好適には $0.3D \leq d_{2hc} \leq 0.65D$ の関係を満たす。

[0063] チップダメージを抑制すると共に、ヒールクラックの発生を抑制して良好な熱衝撃耐性を実現する観点から、AⅠ被覆層の厚さ t_{2sc} (μm) は、AⅠ配線材の線径を D (μm) としたとき、好ましくは $0.16D$ 以上、より好ましくは $0.18D$ 以上、さらに好ましくは $0.2D$ 以上である。該厚さ t_{2sc} (μm) の上限は、ボンドクラックの進展を抑制して良好な熱衝撃耐性を実現する観点から、好ましくは $0.37D$ 以下、より好ましくは $0.35D$ 以下、さらに好ましくは $0.34D$ 以下、 $0.32D$ 以下又は $0.3D$ 以下である。特にAⅠ被覆層の厚さ t_{2sc} (μm) が、 $0.18D$ 以上であり且つ $0.35D$ 以下であると、チップダメージを抑制し得ると共に熱衝撃耐性に一際優れるAⅠ配線材を実現し得るため好適である。

[0064] したがって好適な一実施形態において、AⅠ配線材の線径を D (μm) としたとき、AⅠ被覆層の厚さ t_{2sc} (μm) は、 $0.16D \leq t_{2sc} \leq 0.37D$ の関係を満たし、より好適には $0.18D \leq t_{2sc} \leq 0.35D$ の関係を満たす。

[0065] 態様2に係るAⅠ配線材において、硬質部 (AⅠ芯材) 中のAⅠ含有量と軟質部 (AⅠ被覆層) 中のAⅠ含有量の好適範囲は先述のとおりであるが、

中でも、本発明の効果をより享受し得る観点から、AⅠ芯材中のAⅠ含有量を y_1 （質量％）、AⅠ被覆層中のAⅠ含有量を y_2 （質量％）としたとき、 $9.5 \leq y_1 < y_2$ の関係を満たすことが好ましい。 y_1 及び y_2 は、より好ましくは $9.6 \leq y_1 < y_2$ 、さらに好ましくは $9.6.5 \leq y_1 < y_2$ の関係を満たす。特に y_2 は、好ましくは $9.9.5 \leq y_2$ 、より好ましくは $9.9.6 \leq y_2$ 、さらに好ましくは $9.9.8 \leq y_2$ の条件を満たすことが好ましく、 y_2 の上限は先述のとおり例えば $9.9.9999$ （質量％）とし得る。

[0066] 図2を参照して、態様2に係るAⅠ配線材をさらに説明する。図2には、態様2に係るAⅠ配線材の一例について、概略断面図（C断面の概略図）を示す。図2に示すAⅠ配線材200は、硬質部としてのAⅠ芯材21と、該AⅠ芯材21の表面に形成された軟質部としてのAⅠ被覆層22とを含む。AⅠ芯材及びAⅠ被覆層については先述のとおりであり、それらの寸法 d_{2hc} 及び t_{2sc} やAⅠ含有量、AⅠ配線材の線径Dについても先述のとおりである。

[0067] 態様2に係るAⅠ配線材について、AⅠ芯材とAⅠ被覆層の存在やそれらの寸法を判断・決定するに際しては、ビッカース硬度を測定する。ビッカース硬度は、態様1に係るAⅠ配線材について説明したものと同様の方法にて測定することができる。

[0068] 本発明において、態様2に係るAⅠ配線材の「AⅠ被覆層のビッカース硬度 H_{2s} （HV）」、「AⅠ芯材のビッカース硬度 H_{2h} （HV）」、「AⅠ被覆層の厚さ t_{2sc} （ μm ）」及び「AⅠ芯材の線径 d_{2hc} （ μm ）」は、得られた硬度プロファイルに基づき、後述の「ビッカース硬度の測定」欄における「ービッカース硬度に基づく硬質部と軟質部の判定ー」に記載の方法により求めることができる。

[0069] 以下、硬質部としてのAⅠ芯材と軟質部としてのAⅠ被覆層とを含む態様2に係るAⅠ配線材を実現する観点から特に好適なAⅠ配線材の組成について説明する。

[0070] すなわち、一実施形態において、AⅠ配線材は、AⅠ芯材と、該AⅠ芯材

の表面に形成されたAl被覆層とを含み、Al芯材が、Mg、Sc、Y、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Cr、Mo、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Ag、Zn及びSiからなる群から選択される1種以上の元素（「第1群元素」）を総計で0.2～3質量%含有し、Al被覆層が、元素周期表第10族の金属元素（「第2群元素」）を総計で0～500質量ppm含有することを特徴とする。以下、斯かる実施形態を「態様2'」ともいう。

[0071] なお、Al被覆層が第2群元素を総計で0～500質量ppm含有するとは、Al被覆層が第2群元素を含有しない場合と、Al被覆層が第2群元素を500質量ppm以下の範囲で含有する場合の双方を包含する。

[0072] 第1群元素を総計で0.2～3質量%含有するAl合金は先述の硬質部を形成し、また、第2群元素を総計で0～500質量ppm含有するAl又はAl合金は先述の軟質部を形成する。したがって、上記の組成を有するAl配線材は、硬質部としてのAl芯材と、軟質部としてのAl被覆層とを含む態様2に係るAl配線材を実現し得る。

[0073] 態様2'に係るAl配線材において、Al芯材の線径 d (μm)の好適な範囲は、態様2に係るAl配線材においてAl芯材の線径 d_{2hc} (μm)について説明した好適な範囲と同じである。したがって好適な一実施形態において、Al配線材の線径を D (μm)としたとき、Al芯材の線径 d (μm)は、 $0.25D \leq d \leq 0.7D$ の関係を満たし、より好適には $0.3D \leq d \leq 0.65D$ の関係を満たす。

[0074] 態様2'に係るAl配線材において、Al被覆層の厚さ t (μm)の好適な範囲は、態様2に係るAl配線材においてAl被覆層の厚さ t_{2sc} (μm)について説明した好適な範囲と同じである。したがって好適な一実施形態において、Al配線材の線径を D (μm)としたとき、Al被覆層の厚さ t (μm)は、 $0.16D \leq t \leq 0.37D$ の関係を満たし、より好適には $0.18D \leq t \leq 0.35D$ の関係を満たす。

[0075] 態様2'に係るAl配線材において、Al芯材中のAl含有量とAl被覆層中のAl含有量の好適範囲は、それぞれ硬質部と軟質部について先述した

とおりであるが、中でも、本発明の効果をより享受し得る観点から、A I 芯材中のA I 含有量を y_1 （質量％）、A I 被覆層中のA I 含有量を y_2 （質量％）としたとき、 $95 \leq y_1 < y_2$ の関係を満たすことが好ましい。 y_1 及び y_2 の好適条件は、態様2に係るA I 配線材について先述したとおりである。

[0076] 好適な一実施形態において、A I 芯材は、第1群元素を総計で0.2～3質量％含有し、残部はA I と不可避不純物からなる。なお、A I 芯材についていう用語「不可避不純物」には、A I 被覆層を構成する元素（例えば、第2群元素）も包含される。

[0077] 好適な一実施形態において、A I 被覆層は、第2群元素を総計で0～500質量ppm含有し、残部はA I と不可避不純物からなる。なお、A I 被覆層についていう用語「不可避不純物」には、A I 芯材を構成する元素（例えば、第1群元素）も包含される。

[0078] A I 被覆層との組み合わせにおいて、チップダメージを著しく抑制し得ると共に熱衝撃耐性に一際優れるA I 配線材を実現し得る観点から、A I 芯材に含まれる第1群元素は、Mg、Sc、Y、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Cr、Mo、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Ag、Zn及びSiからなる群から選択され、中でも、本発明の効果をより享受し得る観点から、A I 芯材は、第1群元素として、Sc、Zr、Fe、Ni、Cu及びSiからなる群から選択される1種以上を含むことがより好ましい。

[0079] A I 芯材中の第1群元素の総計濃度（ c_1 ）は、ボンドクラックの進展を抑制して良好な熱衝撃耐性を実現する観点から、好ましくは0.2質量％以上であり、より好ましくは0.4質量％以上、さらに好ましくは0.5質量％以上、0.6質量％以上、0.8質量％以上又は1質量％以上である。該総計濃度の上限は、チップダメージを抑制すると共に、ヒールクラックの発生を抑制して良好な熱衝撃耐性を実現する観点から、好ましくは3質量％以下であり、より好ましくは2.8質量％以下、2.6質量％以下又は2.5質量％以下である。

- [0080] A I 被覆層中の第2群元素の総計濃度 (c_2) は、チップダメージを抑制すると共に、ヒールクラックの発生を抑制して良好な熱衝撃耐性を実現する観点から、好ましくは500質量ppm以下、より好ましくは480質量ppm以下、460質量ppm以下、450質量ppm以下、440質量ppm以下、420質量ppm以下又は400質量ppm以下である。該総計濃度の下限は、特に限定されず、0質量ppmであってもよい。A I 被覆層が第2群元素を含有する場合、A I 配線材の耐食性を向上させることができるため有利である。本発明のA I 配線材において、A I 被覆層は、第2群元素として、Ni、Pd、Ptの1種以上を含有してよく、例えば、NiとPd、NiとPt、PdとPtのように2元素を組み合わせで含有してもよく、Ni、Pd及びPtの3元素を組み合わせで含有してもよく、何れか1種のみを含有してもよい。
- [0081] 図3を参照して、態様2'に係るA I 配線材をさらに説明する。図3には、態様2'に係るA I 配線材の一例について、概略断面図（C断面の概略図）を示す。図3に示すA I 配線材400は、A I 芯材41と、A I 被覆層42とを含む。A I 芯材及びA I 被覆層については先述のとおりであり、それらの寸法d及びtやA I 含有量等の組成、A I 配線材の線径Dについても先述のとおりである。
- [0082] 態様2'に係るA I 配線材について、A I 芯材とA I 被覆層の存在やそれらの寸法を判断・決定するに際しては、第1群元素に着目した濃度分析を行う。濃度分析は、態様1'に係るA I 配線材について説明したものと同様の方法にて行うことができる。
- [0083] 本発明において、態様2'に係るA I 配線材の「A I 芯材中の第1群元素の総計濃度 c_1 （質量%）」、「A I 芯材の線径d（ μm ）」及び「A I 被覆層の厚さt（ μm ）」は、得られた濃度プロファイルに基づき、後述の「元素含有量の測定」欄における「第1群元素の総計濃度 c_1 に基づくA I 芯材とA I 被覆層の判定」に記載の方法により求めることができる。また、「A I 被覆層中の第2群元素の総計濃度 c_2 （質量ppm）」は、後述の「元素

含有量の測定] 欄における「－第2群元素の総計濃度 c 2 の測定－」に記載の方法により測定することができる。

[0084] － A I 配線材の製造方法－

本発明の A I 配線材の製造方法は、硬質部と軟質部を含む A I 配線材を製造し得る限り特に限定されない。以下、A I ボンディングワイヤの製造に即して一例を説明する。

[0085] まず、A I 芯材の組成に応じて、A I 原料（4 N 以上の純度の A I 原料）と、添加元素原料とを出発原料として秤量した後、これを熔融混合することで、所定の成分を含有し、残部が A I 及び不可避不純物であるインゴットを得る。または、各添加元素の原料としては、添加元素を高濃度に含む母合金を用いてもよい。このインゴットを最終的に必要とする A I 芯材の直径となるまでダイスを用いて伸線する。なお、太い線径においては押出し加工でも可能である。

[0086] A I 芯材の表面に A I 被覆層を形成する手法としては、蒸着法、クラッド法、複合押出法等が利用できる。A I 芯材の表面に A I 被覆層を複合・被着する段階は、特に限定されず、A I 芯材の伸線加工の前（例えば芯材用インゴットを押出し成形した段階）に行ってもよく、A I 芯材の伸線加工の途中で行ってもよく、A I 芯材を最終線径まで伸線した後で行ってもよい。例えば、芯材用インゴットを円柱状に、被覆層用インゴットを円筒状にそれぞれ押出し成形し、次いでこれらを組み合わせて複合押出し加工を行うことで円柱状の複合線材を作製し、最終線径まで伸線加工することで本発明の A I 配線材を製造してよい。

[0087] インゴットの状態、あるいは、加工の途中若しくは加工終了後に、各添加元素を固溶させて、均等に分布させるため、溶体化熱処理を行ってもよい。該溶体化熱処理は、特に複合・被着する前の段階で別々に行ってもよい。溶体化熱処理では、固溶度が高い高温で添加元素を A I 内に固溶させ、その固溶した元素が析出することを抑えるために、水冷、空冷などにより冷却速度を速くして常温に冷却する。溶体化熱処理の条件は、例えば、500～64

0℃の温度範囲で0.5時間～3時間で加熱した後に、水冷、空冷などで冷却することができる。また、AⅠ芯材とAⅠ被覆層とを複合・被着した後に溶体化熱処理を行う場合は、得られるAⅠ配線材において軟質部と硬質部の区別が拡散により曖昧とならない条件・範囲にて行う。

[0088] 溶体化熱処理を行う場合にあっては、この溶体化熱処理の後に時効熱処理を行ってもよい。該時効熱処理は、特に複合・被着する前の段階で別々に行ってもよい。時効熱処理の結果として、第1群元素等のドーパントの固溶と析出の状態を制御することができ、ひいてはAⅠ配線材の硬度を制御することができる。時効熱処理の条件は、例えば、200～400℃の温度範囲で0.5時間～12時間としてよい。また、AⅠ芯材とAⅠ被覆層とを複合・被着した後に時効熱処理を行う場合は、得られるAⅠ配線材において軟質部と硬質部の区別が拡散により曖昧とならない条件・範囲にて行う。

[0089] 加工の途中あるいは加工終了後において、調質熱処理を施してよい。調質熱処理により、加工歪の除去、再結晶組織の形成などが起こり、また析出物を形成させることもできる。この調質熱処理は、加熱炉内にてAⅠ配線材を連続掃引しながら連続的に熱処理することが好ましい。この熱処理条件としては、200～600℃の温度範囲で1秒間～2分間の短時間で加熱することなどで例示される。調質熱処理で析出を進行させることも可能であるため、必要な析出の程度に応じて、調質熱処理が析出熱処理を同時に兼ねることができる。

[0090] [半導体装置]

本発明のAⅠ配線材を用いて、半導体チップ上の電極と、リードフレームや回路基板上の電極とを接続することによって、半導体装置を製造することができる。

[0091] 本発明の半導体装置は、本発明のAⅠ配線材を含む。本発明のAⅠ配線材は、チップダメージの抑制と、熱衝撃耐性とを両立したものであり、該AⅠ配線材を含む半導体装置は、装置の作動サイクルに伴う温度変化が著しい場合であっても、優れた作動信頼性を実現し得る。

- [0092] 一実施形態において、本発明の半導体装置は、回路基板、半導体チップ、及び回路基板と半導体チップとを導通させるためのA I配線材を含み、該A I配線材が本発明のA I配線材であることを特徴とする。
- [0093] 本発明の半導体装置において、回路基板及び半導体チップは特に限定されず、半導体装置を構成するために使用し得る公知の回路基板及び半導体チップを用いてよい。あるいはまた、回路基板に代えてリードフレームを用いてもよい。例えば、特開2002-246542号公報に記載される半導体装置のように、リードフレームと、該リードフレームに実装された半導体チップとを含む半導体装置の構成としてよい。
- [0094] 半導体装置としては、電気製品（例えば、コンピューター、携帯電話、デジタルカメラ、テレビ、エアコン、太陽光発電システム等）及び乗物（例えば、自動二輪車、自動車、電車、船舶及び航空機等）等に応用される各種半導体装置が挙げられ、中でも電力用半導体装置（パワー半導体装置）が好適である。

実施例

- [0095] （サンプルの作製）

まずサンプルの作製方法について説明する。A I配線材の原材料となるA I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。第1群元素（Mg、Sc、Y、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Cr、Mo、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Ag、Zn、Si）と、第2群元素（Ni、Pd、Pt）は、純度が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。これらの原材料を、表1及び表2に示すA I芯材の組成が得られるように調合・溶融することでインゴットを鑄造した。それぞれのインゴットを用いて、所定の被覆層厚さ、芯材線径となるように、被覆層用インゴットは円筒状に、また、芯材用インゴットは円柱状にそれぞれ押出し成形した。次いで、これらを組み合わせて複合押出し加工を行うことで線径9.5mmの円柱状の複合線材を作製した。ここで、一部のサンプルに関しては、複合する前の段階で別々に、最終的な硬度調節を目的とした溶体化熱処

理と時効熱処理を行った後、円柱状の複合線材を作製した。溶体化熱処理は、 $550 \sim 620^{\circ}\text{C}$ の温度範囲で0.5時間～1時間で加熱した後に、水冷にて冷却した。時効熱処理は、溶体化熱処理後に $250 \sim 350^{\circ}\text{C}$ の温度範囲で0.5時間～3時間加熱して行った。得られた円柱状の複合線材について、最終線径 $300\text{ }\mu\text{m}$ となるまでダイス伸線加工を行った。所定の機械特性、ビッカース硬度が得られるように、(1) $0.9 \sim 1.1\text{ mm}$ 、(2) $450 \sim 550\text{ }\mu\text{m}$ 、及び(3) $300\text{ }\mu\text{m}$ (最終線径)の線径で調質熱処理を行った。調質熱処理は、Ar雰囲気下、処理温度 $450 \sim 600^{\circ}\text{C}$ 、処理時間5秒間以上1分間未満の条件で実施した。

[0096] [ビッカース硬度の測定]

ー硬度プロファイルの取得ー

A I 配線材のビッカース硬度は、マイクロビッカース硬度計((株)ミツトヨ製「HM-200」)を用いて測定した。A I 配線材のC断面について、図4に示すように、互いに傾きが 60° 異なる6本の直線A、B、C、D、E及びFを決定し、直線Aにおいて、A I 配線材の表面からの距離が $(6n+1) \times 3\text{ }\mu\text{m}$ (ここで、 n は0以上の整数を表す。以下同様である。)の各地点でビッカース硬度を測定した。また、直線Bにおいて $(6n+2) \times 3\text{ }\mu\text{m}$ の各地点で、直線Cにおいて $(6n+3) \times 3\text{ }\mu\text{m}$ の各地点で、直線Dにおいて $(6n+4) \times 3\text{ }\mu\text{m}$ の各地点で、直線Eにおいて $(6n+5) \times 3\text{ }\mu\text{m}$ の各地点で、直線Fにおいて $(6n+6) \times 3$ の各地点で、それぞれビッカース硬度を測定した。そして直線A、B、C、D、E及びFの各々について得られたビッカース硬度のプロファイルを統合して一つの硬度プロファイルを形成した。これにより、A I 配線材の表面から中心に向けて $3\text{ }\mu\text{m}$ の間隔でビッカース硬度の情報を与える硬度プロファイルを得た。各A I 配線材について、該A I 配線材の長手方向に互いに 10 mm 以上離間した3つのC断面について、上記測定を行い、硬度プロファイルを得た(1サンプル当たりの硬度プロファイル数3)。なお、A I 被覆層が薄い場合、ひいては得られた硬度プロファイルにおいてA I 配線材表

面側の平坦領域（プラトー領域）が薄い場合は、より狭い間隔（ $2\text{ }\mu\text{m}$ など）でビッカース硬度の情報を得るなど、ビッカース硬度の情報を得る間隔は適宜変更した。

[0097] ービッカース硬度に基づく硬質部と軟質部の判定ー

（１）態様１に係るＡＩ配線材について、軟質部（ＡＩ芯材）のビッカース硬度は、得られた硬度プロファイルにおいてＡＩ配線材中心側の平坦領域（プラトー領域）のビッカース硬度を３点平均（単純算術平均；以下、「平均」、「平均値」について同様）して求めた。また、硬質部（ＡＩ被覆層）のビッカース硬度は、得られた硬度プロファイルにおいてＡＩ配線材表面側の平坦領域（プラトー領域）のビッカース硬度を３点平均して求めた。硬度プロファイルにおいて、ビッカース硬度が〔（ＡＩ芯材のビッカース硬度）＋（ＡＩ被覆層のビッカース硬度）〕／２である位置を、ＡＩ芯材とＡＩ被覆層との境界と判定し、該境界から表面までをＡＩ被覆層の厚さ（ μm ）とした。ＡＩ芯材の線径（ μm ）は、式：（ＡＩ配線材の線径）－ $2\times$ （ＡＩ被覆層の厚さ）により求めた。

３つのＣ断面に係る硬度プロファイルについて、上記の手順に従ってＡＩ芯材のビッカース硬度、ＡＩ被覆層のビッカース硬度、ＡＩ芯材の線径、ＡＩ被覆層の厚さを求めた。そして、３つの硬度プロファイルで求めたＡＩ芯材のビッカース硬度の平均値を「ＡＩ芯材のビッカース硬度 H_{1s} （ Hv ）」として表２の「硬度 H_{1s} （ Hv ）」欄に示した。同様に、ＡＩ被覆層のビッカース硬度の平均値を「ＡＩ被覆層のビッカース硬度 H_{1h} （ Hv ）」として、ＡＩ被覆層の厚さの平均値を「ＡＩ被覆層の厚さ t_{1hc} （ μm ）」として、ＡＩ芯材の線径の平均値を「ＡＩ芯材の線径 d_{1sc} （ μm ）」として、それぞれ表２の「硬度 H_{1h} （ Hv ）」、「厚さ t_{1hc} （ μm ）」、「線径 d_{1sc} （ μm ）」の欄に示した。

[0098] （２）態様２に係るＡＩ配線材について、硬質部（ＡＩ芯材）のビッカース硬度は、得られた硬度プロファイルにおいてＡＩ配線材中心側の平坦領域（プラトー領域）のビッカース硬度を３点平均して求めた。また、軟質部（

A I 被覆層) のビッカース硬度は、得られた硬度プロファイルにおいて A I 配線材表面側の平坦領域 (プラトー領域) のビッカース硬度を 3 点平均して求めた。硬度プロファイルにおいて、ビッカース硬度が $[(A I \text{ 芯材のビッカース硬度}) + (A I \text{ 被覆層のビッカース硬度})] / 2$ である位置を、A I 芯材と A I 被覆層との境界と判定し、該境界から表面までを A I 被覆層の厚さ (μm) とした。A I 芯材の線径 (μm) は、式: $(A I \text{ 配線材の線径}) - 2 \times (A I \text{ 被覆層の厚さ})$ により求めた。

3 つの C 断面に係る硬度プロファイルについて、上記の手順に従って A I 芯材のビッカース硬度、A I 被覆層のビッカース硬度、A I 芯材の線径、A I 被覆層の厚さを求めた。そして、3 つの硬度プロファイルで求めた各値の平均値を「A I 芯材のビッカース硬度 H_{2h} (H v)」、「A I 被覆層のビッカース硬度 H_{2s} (H v)」、「A I 被覆層の厚さ t_{2sc} (μm)」、「A I 芯材の線径 d_{2hc} (μm)」として、それぞれ表 2 の「硬度 H_{2h} (H v)」、「硬度 H_{2s} (H v)」、「厚さ t_{2sc} (μm)」、「線径 d_{2hc} (μm)」の欄に示した。

[0099] [元素含有量の測定]

—濃度プロファイルの取得—

A I 配線材中の A I と第 1 群元素の含有量は、電子線マイクロアナライザ (EPMA) を用いて測定した。A I 配線材の C 断面について、図 4 に示す直線 A のように、A I 配線材の表面から中心を通過する直線を決定し、該直線について線分析することにより (測定間隔 $0.3 \sim 1.0 \mu m$)、A I 配線材の表面から中心に向けて A I と第 1 群元素の各元素の濃度プロファイルを得た。そして、第 1 群元素の各元素の濃度プロファイルを足し合わせて第 1 群元素の総計濃度に係るプロファイル (以下、「第 1 群元素の総計濃度プロファイル」ともいう。) を形成した。これにより、A I 配線材の表面から中心に向けて所定の間隔で第 1 群元素の総計濃度の情報を与える濃度プロファイルを得た。各 A I 配線材について、該 A I 配線材の長手方向に互いに $10 mm$ 以上離間した 3 つの C 断面について、上記測定を行い、濃度プロファ

イルを得た（1サンプル当たりの濃度プロファイル数3）。

[0100] ー第1群元素の総計濃度 c_1 に基づくAⅠ芯材とAⅠ被覆層の判定ー

（1）態様1'に係るAⅠ配線材について、AⅠ被覆層における第1群元素の総計濃度 c （質量%）は、得られた第1群元素の総計濃度プロファイルにおいて、濃度勾配が小さく平坦なAⅠ配線材の表面近傍の領域における第1群元素の総計濃度を3点平均して求めた。該濃度プロファイルにおいて、第1群元素の総計濃度が $0.5c$ （質量%）の位置を、硬質AⅠ被覆層と軟質AⅠ芯材との境界と判定し、該境界から表面までをAⅠ被覆層の厚さ（ μm ）とした。AⅠ芯材の線径（ μm ）は、式：（AⅠ配線材の線径） $-2\times$ （AⅠ被覆層の厚さ）により求めた。

3つのC断面に係る第1群元素の総計濃度プロファイルについて、上記の手順に従ってAⅠ被覆層における第1群元素の総計濃度 c 、AⅠ芯材の線径、AⅠ被覆層の厚さを求めた。そして、3つの濃度プロファイルで求めた各値の平均値を「AⅠ被覆層における第1群元素の総計濃度 c_1 （質量%）」、「AⅠ芯材の線径 d （ μm ）」、「AⅠ被覆層の厚さ t （ μm ）」とした。

なお、態様1'に係るAⅠ配線材において、AⅠ被覆層における第1群元素としてNiを含むと共に、AⅠ芯材における第2群元素としてNiを含む場合、すなわち、AⅠ被覆層及びAⅠ芯材の双方にNiを含む場合がある（本発明例1-20、1-36）。この場合においても、AⅠ被覆層における第1群元素の総計濃度 c に着目した上記の判定手法（ $0.5c$ の位置を境界と判定）により、AⅠ芯材の線径とAⅠ被覆層の厚さを適正に求めることができることを確認した。すなわち、本発明例1-1～1-36の全てについて、AⅠ被覆層における第1群元素の総計濃度 c に着目した上記の判定手法により求めたAⅠ芯材の線径 d （ μm ）とAⅠ被覆層の厚さ t （ μm ）は、硬度プロファイルに基づき求めたAⅠ芯材の線径 d_{1sc} （ μm ）とAⅠ被覆層の厚さ t_{1hc} （ μm ）とほぼ一致することを確認した。

[0101] （2）態様2'に係るAⅠ配線材について、AⅠ芯材における第1群元素の総計濃度 c （質量%）は、得られた第1群元素の総計濃度プロファイルに

において、濃度勾配が小さく平坦なAⅠ配線材の中心近傍の領域における第1群元素の総計濃度を3点平均して求めた。該濃度プロファイルにおいて、第1群元素の総計濃度が0.5c(質量%)の位置を、AⅠ被覆層とAⅠ芯材との境界と判定し、該境界から表面までをAⅠ被覆層の厚さ(μm)とした。AⅠ芯材の線径(μm)は、式： $(\text{AⅠ配線材の線径}) - 2 \times (\text{AⅠ被覆層の厚さ})$ により求めた。

3つのC断面に係る第1群元素の総計濃度プロファイルについて、上記の手順に従ってAⅠ芯材における第1群元素の総計濃度c、AⅠ芯材の線径、AⅠ被覆層の厚さを求めた。そして、3つの濃度プロファイルで求めた各値の平均値を「AⅠ芯材における第1群元素の総計濃度 c_1 (質量%)」、「AⅠ芯材の線径 d (μm)」、「AⅠ被覆層の厚さ t (μm)」とした。

なお、態様2'に係るAⅠ配線材において、AⅠ芯材における第1群元素としてNiを含むと共に、AⅠ被覆層における第2群元素としてNiを含む場合、すなわち、AⅠ芯材及びAⅠ被覆層の双方にNiを含む場合がある(本発明例2-5)。この場合においても、AⅠ芯材における第1群元素の総計濃度cに着目した上記の判定手法(0.5cの位置を境界と判定)により、AⅠ芯材の線径とAⅠ被覆層の厚さを適正に求めることができることを確認した。すなわち、本発明例2-1~2-36の全てについて、AⅠ芯材における第1群元素の総計濃度cに着目した上記の判定手法により求めたAⅠ芯材の線径 d (μm)とAⅠ被覆層の厚さ t (μm)は、硬度プロファイルに基づき求めたAⅠ芯材の線径 d_{2hc} (μm)とAⅠ被覆層の厚さ t_{2sc} (μm)とほぼ一致することを確認した。

[0102] ー第2群元素の総計濃度 c_2 の測定ー

AⅠ配線材中の第2群元素の含有量は、レーザーアブレーションICP質量分析(LA-ICP-MS)を用いて以下のとおり測定した。

[0103] (1) 態様1'に係るAⅠ配線材において、AⅠ芯材中の第2群元素の含有量は、AⅠ配線材のC断面を測定面として、AⅠ配線材の中心につきLA-ICP-MSにより測定した。そして第2群元素の各元素の含有量を足し

合わせて第2群元素の総計濃度を求めた。各AⅠ配線材について、該AⅠ配線材の長手方向に互いに10mm以上離間した3箇所のC断面について上記測定を行い、求めた各値の平均値を「AⅠ芯材における第2群元素の総計濃度（質量ppm）」とした。

[0104] (2) 態様2'に係るAⅠ配線材において、AⅠ被覆層中の第2群元素の含有量は、AⅠ配線材の表面を測定面としてLA-ICP-MSにより測定した。そして第2群元素の各元素の含有量を足し合わせて第2群元素の総計濃度を求めた。各AⅠ配線材について、該AⅠ配線材の長手方向に互いに10mm以上離間した3箇所の表面について上記測定を行い、求めた各値の平均値を「AⅠ被覆層における第2群元素の総計濃度（質量ppm）」とした。

[0105] 半導体装置において、半導体チップの電極はAⅠ-Cuパッドであり、外部端子はAgを用いた。半導体チップの電極とAⅠ配線材との間の第1接続部、外部端子とAⅠ配線材との間の第2接続部ともに、ウェッジ接合とした。

[0106] <チップダメージの評価>

半導体装置におけるチップダメージは、パッド表面の金属を酸にて溶かし、パッド下を顕微鏡にて観察して評価した（評価数N=50）。クラック及びボンディングの痕跡等も観られない良好な場合を「◎」とし、クラックは無いもののボンディングの痕跡が確認される箇所があるもの（評価数50中、3箇所以下）を「○」とし、それ以外を「×」として、表1、表2の「チップダメージ」欄に記載した。

[0107] <熱衝撃耐性の評価>

熱衝撃耐性は、パワーサイクル試験によって行った。パワーサイクル試験は、AⅠ配線材が接続された半導体装置について、加熱と冷却を交互に繰り返す。加熱は、半導体装置におけるAⅠ配線材の接続部の温度が120℃になるまで2秒間かけて加熱し、その後、接続部の温度が30℃になるまで20秒間かけて冷却する。この加熱・冷却のサイクルを10万回繰り返す。

- [0108] 上記パワーサイクル試験の後、第1接続部の接合シエア強度を測定し、接続部信頼性の評価を行った。シエア強度測定は初期（パワーサイクル試験前）の接続部のシエア強度との比較として行った。初期の接続強度の90%以上を「◎」とし、80%以上を「○」とし、60%以上を「△」とし、60%未満を「×」として、表1、表2の「熱衝撃試験」欄に記載した。
- [0109] AⅠ配線材の構成と評価結果を下表1、2に示す。表1に示す実施例は、硬質部としてのAⅠ芯材と、軟質部としてのAⅠ被覆層とを含むAⅠ配線材に関し、表2に示す実施例は、軟質部としてのAⅠ芯材と、硬質部としてのAⅠ被覆層とを含むAⅠ配線材に関する。
- [0110]

[表1]

No.	Al芯材				Al被覆層										H ₁₀₀ /H ₅₀	熱衝撃試験	チップダメージ	
	成分含有量 (質量ppm)		硬さH ₁₀ (HV)	線径d _{inc} (μm)	d _{inc} /D	成分含有量(質量%)							硬さH ₁₀ (HV)	厚さt _{inc} (μm)				t _{inc} /D
	Ni	Pd				Si	Sc	Fe	Ni	Cu	Zr	その他						
1-1	3		17	151	0.50		1.0						42	74	0.25	2.5	◎	
1-2			17	155	0.52						2.1		54	72	0.24	3.2	◎	
1-3	4		18	160	0.53							Mg : 3.0%	50	70	0.23	2.8	◎	
1-4		1	17	223	0.74				1.1				32	38	0.13	1.9	◎	
1-5			18	227	0.76							Ti : 2.2%	35	37	0.12	1.9	◎	
1-6	1		17	228	0.76	2.9							50	36	0.12	2.9	◎	
1-7			19	278	0.93						1.1		38	11	0.04	2.1	◎	
1-8		3	17	285	0.95		2.1						58	8	0.03	3.5	◎	
1-9	5		17	275	0.92							V : 2.9%	42	12	0.04	2.5	◎	
1-10	51		19	150	0.50			1.8				Cr : 1.2%	29	75	0.25	1.5	◎	
1-11		39	18	151	0.50								35	74	0.25	1.9	◎	
1-12	67		19	156	0.52		3.0						54	72	0.24	2.8	◎	
1-13		44	18	221	0.74				1.1				30	39	0.13	1.7	◎	
1-14			17	229	0.76							Mn : 1.8%	41	35	0.12	2.4	◎	
1-15		57	18	228	0.76				2.7				61	36	0.12	3.4	◎	
1-16	47		19	275	0.92							Co : 1.0%	31	13	0.04	1.6	◎	
1-17			17	279	0.93						3.0	Zn : 1.8%	34	10	0.03	2.0	◎	
1-18	50		20	277	0.92								77	11	0.04	3.9	◎	
1-19	474		21	152	0.51							Y : 1.0%	29	74	0.25	1.4	◎	
1-20	490		21	155	0.52				2.2				43	72	0.24	2.0	◎	
1-21		469	19	216	0.72							Nb : 2.9%	42	72	0.24	2.1	◎	
1-22	475		21	229	0.76	2.0						Mo : 1.1%	30	42	0.14	1.6	◎	
1-23	500		22	226	0.75								42	35	0.12	2.0	◎	
1-24			21	267	0.89		1.1					Ag : 2.7%	38	37	0.12	1.8	◎	
1-25	496		21	268	0.89					1.7			44	16	0.05	1.4	◎	
1-26			20	271	0.90							Hf : 3.0%	43	15	0.05	2.2	◎	
1-27	3		17	156	0.52			0.2					26	72	0.24	1.5	◎	
1-28			18	155	0.52					0.3			25	72	0.24	1.4	◎	
1-29			16	160	0.53							Mn : 0.2%	24	70	0.23	1.5	◎	
1-30		44	19	223	0.74	0.4							28	38	0.13	1.5	◎	
1-31			18	227	0.76								27	37	0.12	1.5	◎	
1-32			19	228	0.76			0.3					30	36	0.12	1.8	◎	
1-33	57	471	20	278	0.93		0.2						25	11	0.04	1.3	◎	
1-34			21	280	0.93								29	10	0.03	1.4	◎	
1-35		480	22	275	0.92				0.7				31	12	0.04	1.4	◎	
1-36			21	151	0.50				0.1				23	74	0.25	1.1	×	
2		50	22	155	0.52						3.1		80	72	0.24	3.6	×	
3	515		26	160	0.53		2.7						55	70	0.23	2.1	◎	
4			27	148	0.48			2.2					55	76	0.25	3.2	×	
5	123		19	238	0.96	1.0							32	6	0.02	1.7	×	
6		48	20	300	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	×	

[0111]

[表2]

	No.	Al芯材							Al箔層							H _B /H ₀	断面試験	チップ ダメージ		
		成分含有量(質量%)							成分含有量 (質量ppm)			硬度H _e (HV)		厚さt _{acc} (μm)	t _{acc} /D					
		Si	So	Fe	Ni	Cu	Zr	その他	N	Pd	Pt									
本発明 の 例	2-1	1.1							32	80	0.27	3		17	110	0.37	1.9	○	◎	
	2-2		1.0						43	89	0.30	56		19	106	0.35	2.3	○	◎	
	2-3							Cr : 1.1%	30	82	0.27		487		21	109	0.36	1.4	○	◎
	2-4			1.1					31	141	0.47			5	18	80	0.27	1.7	◎	◎
	2-5				1.2				33	138	0.46	60			18	81	0.27	1.8	◎	◎
	2-6					1.0			32	145	0.48		500	22	78	0.26	1.5	◎	◎	◎
	2-7							Mg : 1.2%	33	197	0.66			17	52	0.17	1.9	◎	◎	◎
	2-8							Ti : 1.0%	28	199	0.66	244		20	51	0.17	1.4	◎	◎	◎
	2-9						1.1		40	209	0.70	477		20	46	0.15	2.0	◎	◎	◎
	2-10							V : 1.9%	35	85	0.28		1	18	108	0.36	1.9	◎	◎	◎
	2-11							Mn : 2.0%	41	83	0.28	47		18	109	0.36	2.3	◎	◎	◎
	2-12		1.9						64	80	0.27	498		21	110	0.37	3.0	◎	◎	◎
	2-13						2.2		60	144	0.48		4	17	78	0.26	3.5	◎	◎	◎
	2-14							Co : 1.9%	35	135	0.45	87		18	82	0.27	1.9	◎	◎	◎
	2-15					1.8			40	142	0.47	478		22	79	0.26	1.8	◎	◎	◎
	2-16		2.2						41	194	0.65			17	53	0.18	2.4	◎	◎	◎
	2-17							Zn : 2.0%	42	193	0.64	55		19	53	0.18	2.2	◎	◎	◎
	2-18							Y : 2.1%	37	200	0.67	487		21	50	0.17	1.8	◎	◎	◎
	2-19							Nb : 2.9%	44	81	0.27	5		17	109	0.36	2.6	◎	◎	◎
	2-20			2.8					77	85	0.28		67	20	107	0.36	3.9	◎	◎	◎
2-21							Mo : 3.0%	41	84	0.28	480		21	108	0.36	2.0	◎	◎	◎	
2-22								55	140	0.47		2	19	80	0.27	2.9	◎	◎	◎	
2-23							Ag : 2.7%	43	141	0.47	61		18	80	0.27	2.4	◎	◎	◎	
2-24				2.9				50	144	0.48		465	22	78	0.26	2.3	◎	◎	◎	
2-25						3.0		78	197	0.66		3	17	52	0.17	4.6	◎	◎	◎	
2-26							Hf : 2.9%	44	198	0.66	49		19	51	0.17	2.3	◎	◎	◎	
2-27		2.9						53	193	0.64	472		21	53	0.18	2.5	◎	◎	◎	
2-28							Ti : 0.2%	27	85	0.28	7		19	108	0.36	1.4	◎	◎	◎	
2-29			0.4					28	83	0.28		54	19	109	0.36	1.5	◎	◎	◎	
2-30							Cr : 0.5%	27	76	0.25	471		21	112	0.37	1.3	◎	◎	◎	
2-31		0.6						23	144	0.48			16	78	0.26	1.4	◎	◎	◎	
2-32			0.2					30	135	0.45	60		19	82	0.27	1.6	◎	◎	◎	
2-33					0.3			26	142	0.47	500		21	79	0.26	1.2	◎	◎	◎	
2-34						0.2		29	192	0.64		4	18	54	0.18	1.6	◎	◎	◎	
2-35							Mo : 0.4%	26	193	0.64	71		19	53	0.18	1.4	◎	◎	◎	
2-36							Ag : 0.6%	26	200	0.67		466	21	50	0.17	1.2	◎	◎	◎	
比較 例	1						0.1	25	85	0.28			22	108	0.36	1.1	×	◎	◎	
	2					3.2		79	199	0.66	47		20	51	0.17	4.0	×	◎	◎	
	3		3.0					80	194	0.65		503	25	53	0.18	3.2	×	◎	◎	
	4				2.4			42	73	0.24			27	17	113	0.38	2.5	×	◎	
	5							Cr : 2.9%	66	212	0.71	446		24	44	0.15	2.8	×	◎	
	6	2.8						53	300	1.00	-	-	-	-	-	-	×	◎	◎	

(表2)

本
発
明
例

請求の範囲

- [請求項1] A I 芯材と、該 A I 芯材の表面に形成された A I 被覆層とを含み、
A I 芯材のビッカース硬度を H_{1s} (Hv)、A I 被覆層のビッカース硬度を H_{1h} (Hv) としたとき、 $1.2 \leq H_{1h}/H_{1s}$ を満たす、A I 配線材。
- [請求項2] A I 配線材の線径を D (μm) としたとき、A I 芯材の線径 d_{1sc} (μm) が、
 $0.5D \leq d_{1sc} \leq 0.95D$
を満たす、請求項1に記載の A I 配線材。
- [請求項3] A I 芯材中の A I 含有量を $x1$ (質量%)、A I 被覆層中の A I 含有量を $x2$ (質量%) としたとき、 $95 \leq x2 < x1$ の関係を満たす、請求項1又は2に記載の A I 配線材。
- [請求項4] A I 芯材と、該 A I 芯材の表面に形成された A I 被覆層とを含み、
A I 芯材のビッカース硬度を H_{2h} (Hv)、A I 被覆層のビッカース硬度を H_{2s} (Hv) としたとき、 $1.2 \leq H_{2h}/H_{2s}$ を満たす、A I 配線材。
- [請求項5] A I 配線材の線径を D (μm) としたとき、A I 芯材の線径 d_{2hc} (μm) が、
 $0.25D \leq d_{2hc} \leq 0.7D$
を満たす、請求項4に記載の A I 配線材。
- [請求項6] A I 芯材中の A I 含有量を $y1$ (質量%)、A I 被覆層中の A I 含有量を $y2$ (質量%) としたとき、 $95 \leq y1 < y2$ の関係を満たす、請求項4又は5に記載の A I 配線材。
- [請求項7] A I 芯材と、該 A I 芯材の表面に形成された A I 被覆層とを含み、
A I 被覆層が、Mg、Sc、Y、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Cr、Mo、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Ag、Zn及びSiからなる群から選択される1種以上の元素(以下、「第1群元素」という。)を総計で0.2～3質量%含有し、

A I 芯材が、元素周期表第 10 族の金属元素を総計で 0 ～ 500 質量 ppm 含有する、A I 配線材。

[請求項 8] A I 配線材の線径を D (μm) としたとき、A I 芯材の線径 d (μm) が、

$$0.5D \leq d \leq 0.95D$$

を満たす、請求項 7 に記載の A I 配線材。

[請求項 9] A I 芯材と、該 A I 芯材の表面に形成された A I 被覆層とを含み、
A I 芯材が、Mg、Sc、Y、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Cr、Mo、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Ag、Zn 及び Si からなる群から選択される 1 種以上の元素（以下、「第 1 群元素」という。）を総計で 0.2 ～ 3 質量% 含有し、

A I 被覆層が、元素周期表第 10 族の金属元素を総計で 0 ～ 500 質量 ppm 含有する、A I 配線材。

[請求項 10] A I 配線材の線径を D (μm) としたとき、A I 芯材の線径 d (μm) が、

$$0.25D \leq d \leq 0.7D$$

を満たす、請求項 9 に記載の A I 配線材。

[請求項 11] 第 1 群元素が、Sc、Zr、Fe、Ni、Cu 及び Si からなる群から選択される、請求項 7 ～ 10 の何れか 1 項に記載の A I 配線材。

[請求項 12] A I 配線材の線径が 100 ～ 600 μm である、請求項 1 ～ 11 の何れか 1 項に記載の A I 配線材。

[請求項 13] ボンディングワイヤである、請求項 1 ～ 12 の何れか 1 項に記載の A I 配線材。

[請求項 14] 請求項 1 ～ 13 の何れか 1 項に記載の A I 配線材を含む半導体装置。
。