

明 細 書

発明の名称： A I 配線材

技術分野

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

背景技術

[0002] 産業機器や電子部品において電氣的接続及び／又は機械的接続に用いられる線状の材料では、自動車の電子化の需要に伴い、従来の銅（C u）よりも軽量、低コストのためにアルミニウム（A I）の使用が増えている。搬送機器、ロボットなどの産業機器に使用されるA I線（円形）、A I条（平形、楕円）では、使用目的に応じて破断強度、伸びなどの機械的特性や、電気伝導性、熱伝導性などが要求される。

[0003] 半導体装置では、半導体チップ上に形成された電極と、リードフレームや回路基板（単に「基板」ともいう。）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によって接続しており、パワー半導体装置においては、その材質として主にA Iが用いられている。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 μ m ϕ のA Iボンディングワイヤを用いる例が示されている。A IボンディングワイヤやA Iボンディングリボン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。

[0004] 上述のA I線、A I条、A Iボンディングワイヤ、A Iボンディングリボンなどを総称して、以下、A I配線材という。

[0005] A I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℃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。

- [0006] 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 (S c) 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、また、特許文献 3 には、A l に 0.15～0.5 質量%の S c を添加し強制固溶した A l ボンディングワイヤであって、接続後に時効熱処理により析出硬化されるワイヤが開示されている。特許文献 4 には、ニッケル (N i)、珪素 (シリコン) (S i) 及びリン (P) のうちの 1 種以上を合計で 800 質量 p p m 以下含有する A l 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。特許文献 5 には、0.01～0.2 質量%の鉄 (F e) と 1～20 質量 p p m の S i を含有し、F e の固溶量が 0.01～0.06 質量%であり、F e の析出量が固溶量の 7 倍以下であり、かつ、平均結晶粒径が 6～12 μ m である A l ボンディングワイヤが開示されており、当該ワイヤが良好な接合信頼性を呈することが記載されている。

先行技術文献

特許文献

- [0007] 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 2014－47417 号公報
特許文献 4：特開 2016－152316 号公報
特許文献 5：特開 2014－129578 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0008] 産業機器や電子部品の高機能化、適用範囲の拡大に伴い、A l 配線材に求められる要求は厳しくなっている。搬送機器、ロボットなどの産業機器に使

用されるＡＩ配線材に関しては、高温環境あるいは繰り返し曲げ変形への適応が求められる。最近では、自動車関連用途において高温環境で使用される間にワイヤの強度が劣化して、変形異常やクラックが発生し、それが進むと断線に到る場合がある。よって、高温環境におけるＡＩ配線材の強度低下を抑えて、高温信頼性を向上することが課題とされているが、これは、配線材の強度を単に増加させるだけでは、十分な高温信頼性を得ることは難しいことに加え、設置使用時の作業性、接合性などが低下することも懸念される。

[0009] また半導体などの電子部品に使用されるＡＩ配線材では、自動車向けのパワーデバイスの用途拡大により、初期接合性と接合部の高温信頼性を向上することが求められる。半導体におけるＡＩ配線材の接続は２か所あり、半導体チップ上電極との接続（以下、「第１接続」と称す。）と、リードフレームや基板上の外部電極との接続（以下、「第２接続」と称す。）である。パワーデバイスでは、作動時の温度変化に伴う衝撃的な熱応力が生じ（以下、「熱衝撃」と称す。）、ＡＩ配線材と半導体チップ上電極の接続部である第１接続部で損傷する場合がある。具体的には、ＡＩ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、「ボンドクラック」と称す。）。ＡＩ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、「ヒールクラック」と称す。）。装置作動時の環境下における腐食により、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ＡＩ配線材の接続部の剥離などが起こり、接続部の高温信頼性は損なわれる。この点、ＡＩ配線材に他元素を添加して結晶粒の粗大化を抑制し高強度化する方法が考えられるものの、斯かる方法では、ＡＩ配線材中の他元素の含有量が高まるにつれて、ＡＩ配線材の製造時に断線や傷が生じ歩留まりが低下したり、ＡＩ配線材を接続する際に被接続部材が損傷したり（以下、「チップダメージ」と称す。）する場合がある。

[0010] このように、ＡＩ配線材には、常温強度の上昇を抑えて変形、接合の作業性を維持、改善しつつ、高温信頼性を向上することが求められている。

[0011] 他方、AⅠ配線材にScを添加することにより、高温信頼性を改善することが知られている（特許文献2、3）。しかし斯かる技術においても常温強度上昇の影響を受けると共に、Scは高価であるため材料費が高くなること、またScの析出を利用して高温信頼性を高めるためには、製造時あるいは接続後の補足的な加熱処理等の条件を狭い範囲で管理することが必要であり、実用化の障害となる。

[0012] 配線材製造時の熱処理あるいは接続後の補足的な加熱処理に関して、低温あるいは短時間の処理により性能向上が達成されれば、配線材の生産性の向上、被接続部材への熱影響などを低く抑えることができ、多くの要求性能を総合的に満足することが可能となる。

[0013] 本発明は、常温強度の上昇を抑えると共に、良好な高温信頼性を示す新規な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

[0014] 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。

すなわち、本発明は以下の内容を含む。

[1] Er、Yb及びGdからなる群から選択される1種以上を含有し、その含有量の総計をx1〔質量％〕としたとき、

$0.001 \leq x1 \leq 0.6$ であり、残部はAⅠを含む、AⅠ配線材。

[2] さらにSc及びZrからなる群から選択される1種以上を含有し、その含有量の総計をx2〔質量％〕としたとき、

$0.005 \leq x2 \leq 0.6$ である、[1]に記載のAⅠ配線材。

[3] さらにSi、Fe、Ni、Ce、Y及びZnからなる群から選択される1種以上を含有し、その含有量の総計をx3〔質量％〕としたとき、

$0.001 \leq x3 \leq 1$ である、[1]又は[2]に記載のAⅠ配線材。

[4] ボンディングワイヤである、[1]～[3]の何れかに記載のAⅠ配線材。

〔５〕〔１〕～〔４〕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

[0015] 本発明によれば、常温強度の上昇を抑えると共に、良好な高温信頼性を示す新規なＡＩ配線材を提供することができる。斯かる新規なＡＩ配線材は、常温強度の上昇が抑えられており装置への設置・接続時の作業性、生産性を高めることができると共に、配線材製造時の熱処理あるいは接続後の補足的な加熱処理に関して、低温あるいは短時間の処理により、又は該加熱処理を必要とすることなく、高温環境での使用時に強度を維持・改善し良好な高温信頼性を呈することができる。

発明を実施するための形態

[0016] 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。

[0017] [ＡＩ配線材]

本発明のＡＩ配線材は、Ｅｒ、Ｙｂ及びＧｄからなる群から選択される１種以上を含有し、その含有量の総計を $\times 1$ 〔質量％〕としたとき、 $0.001 \leq \times 1 \leq 0.6$ を満たすことを特徴とする。

[0018] ＡＩ配線材中にＥｒ、Ｙｂ、Ｇｄからなる群から選択される１種以上（以下、「第１群元素」ともいう。）を少量添加することで、ＡＩ配線材の高温信頼性を高めることができ、しかもＡＩ配線材の常温強度の上昇を抑えて変形、接合の作業性能を改善することができる。斯かる高温信頼性に関して、高温加熱後のＡＩ配線材の強度が加熱前に比し維持されるかあるいは高まることにより確認できる。また常温強度に関して、ＡＩ配線材の硬度の上昇が抑えられること、接続時の被接続部材（半導体チップなど）への損傷が抑えられること、初期接合性が良好であることなどで確認できる。

[0019] 第１群元素を添加したＡＩ配線材の特性評価の事例として、 $300 \sim 500^{\circ}\text{C}$ の高温で長時間加熱した際の破断強度を高めることができる。過酷な高温環境での使用時に達成される効果として、例えば、 350°C で４時間加熱した後であっても、ＡＩ配線材の破断強度の劣化を抑えて、むしろ破断強度が高まることなどが挙げられる。

- [0020] 第1群元素を含有したAl合金を線材に仕上げることで、これらの元素の添加による高温信頼性の改善効果が、バルク、板などの部材で得られる改善効果に比し高いことを見出した。伸線加工での集合組織の形成、細線での加熱、冷却の熱処理による再結晶現象の進行などを利用することで、Al合金内のEr、Yb、Gdの析出および固溶の状態が高温信頼性に有利に作用するものと考えられる。
- [0021] Er、Yb、Gdの特徴として、Al内での原子の拡散速度が速いこと、Al内に固溶できる最大濃度（最大固溶度）が低いことが挙げられ、加熱中に析出が促進されて高温信頼性の向上に有利に作用するものと考えられる。すなわち、Er、Yb、Gdの添加では、少量添加する場合でも析出物の核を効率的に形成することができること、さらに析出速度が速いことで、低温・短時間の加熱処理であっても強度を改善し得るものと考ええる。
- [0022] 第1群元素を含有したAl合金を加熱することで、第1群元素とAlとの金属間化合物である Al_3Er 、 Al_3Yb 、 Al_3Gd などの安定した析出物を形成することができる。これらの析出物は、析出物の界面でのAlとの整合性が良いことから、転位および粒界の移動が抑制され、高温環境での強度、硬度、延性などを高める効果が高いものと考ええる。
- [0023] 第1群元素を添加することで析出物形成の効率を高めて、析出物のサイズ、密度などを制御することが容易となる。それにより従来のSc添加などの場合と比べて、低温・短時間の加熱処理であっても強度を改善し得ることをはじめ、高温環境での強度を増加する添加効果が優位に高いことなどにより、高温強度の向上に大きく寄与することが可能である。こうした格別顕著な機能を比較的安価な素材により実現できることも実用上の利点である。
- [0024] 第1群元素であるEr、Yb、Gdに関しては、上記の添加効果を同様に奏することができる。さらに各元素の特徴を利用することで、要求に合わせた適正化もできる。例えば、Erについては、Al-Er系は共晶型であり、析出に必要な過飽和な固溶状態を保つことが比較的容易であること、また固溶強化も利用して高強度化を助長できる。Ybについては、第1群元

素では唯一の面心立方構造の元素であり、AⅠ内での拡散速度も最も速いため、析出のための加熱時間をより短くすることに有利である。Gdは、固溶状態での強度上昇を抑える傾向が強いため、AⅠ配線材の変形、接合の作業性能を高めるなど常温での作業性を優先した用途により向いている。

[0025] 用途、要求特性に応じて、第1群元素の1種または複数種を選定して使い分けることができる。例えばErとYbを共存させると、含有量を減らして析出速度を速める効果を増進することに有利であり、またErとGdを共存させると、常温での変形、接合の作業性能と、高温環境での使用時に強度を維持・改善する性能を同時に高めることに有利である。第1群元素の組み合わせはこれらに限られず、YbとGdを組み合わせてもよく、3元素を全て組み合わせてもよい。

[0026] 本発明のAⅠ配線材は、第1群元素として、Er、Yb及びGdからなる群から選択される1種以上を総計で0.001～0.6質量%の範囲にて含有する。すなわち、AⅠ配線材中の第1群元素の含有量の総計を x_1 〔質量%〕としたとき、 $0.001 \leq x_1 \leq 0.6$ を満たす。

[0027] 高温環境で使用する際の強度を高め、高温信頼性が良好なAⅠ配線材を得る観点から、AⅠ配線材中の第1群元素の含有量の総計、すなわち x_1 は、0.001質量%以上であり、好ましくは0.002質量%以上、0.003質量%以上又は0.005質量%以上、より好ましくは0.01質量%以上、0.02質量%以上、0.03質量%以上、0.05質量%以上、0.07質量%以上、0.09質量%以上又は0.1質量%以上である。 x_1 が0.01質量%以上であると、高温信頼性がより一層良好なAⅠ配線材を実現できることを確認している。

[0028] AⅠ配線材中の第1群元素の含有量の総計、すなわち x_1 の上限は、常温強度の上昇を抑えて変形、接合の作業性能の良好なAⅠ配線材を得る観点から、0.6質量%以下であり、好ましくは0.55質量%以下、より好ましくは0.5質量%以下である。 x_1 が0.5質量%以下であると、常温での作業性能がより一層良好なAⅠ配線材を実現できることを確認している。

[0029] したがって、好適な一実施形態において、AⅠ配線材中の第1群元素の含有量の総計、すなわち x_1 は、 $0.001 \leq x_1 \leq 0.6$ を満たし、より好適には $0.01 \leq x_1 \leq 0.5$ を満たす。

[0030] −Sc、Zr（第2群元素）−

本発明のAⅠ配線材は、さらにSc及びZrからなる群から選択される1種以上を含有してよい。

[0031] 第1群元素に加えて、Sc及びZrからなる群から選択される1種以上（「第2群元素」ともいう。）を含有することにより、常温強度の上昇を抑えて変形、接合などの常温での作業性能を維持しつつ、高温環境で使用する際の強度をさらに高め、高温信頼性がより一層良好なAⅠ配線材を実現することができる。その効果の一例として、第2群元素と第1群元素とを複合添加したAⅠ配線材では、より高い温度域での強度を改善することができ、さらに電子機器の高出力動作時の高温と低温を繰り返す熱履歴における接続部の高温信頼性をさらに改善することが可能である。

[0032] 第2群元素と第1群元素とを複合添加したAⅠ配線材の特性評価の事例を以下に挙げる。過酷な高温環境での使用時に達成される効果として、第一の事例では、例えば、400℃の高温で加熱した後であっても、AⅠ配線材の破断強度の劣化を抑えて、むしろ破断強度を高めることができる。これは、第1群元素の単独添加の場合に比し、50℃以上高い温度でも優れた信頼性を実現し得る可能性を示している。

[0033] 第二の事例では、第2群元素と第1群元素を複合添加したAⅠ配線材では、被接続部材との接続部の高温信頼性がより一層向上する。特に温度の上昇、降下を繰り返す熱衝撃に対しても、高い接合強度を保持して、長寿命を実現することができる。ここで、熱衝撃を加速評価する手法の一つとして、パワーサイクル試験が実施される。これは電圧のON/OFFを繰り返すことで急速な加熱と冷却を繰り返す試験である。この熱衝撃により、被接続部材との接続部の接合強度が低下したり、より悪化したりすると、接続界面近傍にクラックが進展して剥離することなどが問題となる。急速な加熱と冷却に

より、Al配線材の接続部に発生する熱歪みに対して、従来のAl配線材で問題となる配線材内部の結晶粒が成長して粗大化する現象を抑制することで、接続部の高温信頼性を向上することが可能である。この接続部の高温信頼性に関しては、第1群元素を単独添加した場合でも改善し得ることを確認しているが、さらに第2群元素を複合添加することにより、より顕著な改善効果を得ることができる。

[0034] 第1群元素と第2群元素を複合添加することにより、元素の固溶に加えて、第2群元素、第1群元素の1種または2種とAlからなる金属間化合物の析出物が形成され、この析出物が、高温環境での配線材および接続部における結晶粒界の移動や結晶粒の粗大化を抑えるため上記の顕著な効果を実現できるものとする。3元系の金属間化合物が代表的であり、例えば、 $Al_3(Er, Sc)$ 、 $Al_3(Yb, Sc)$ 、 $Al_3(Er, Zr)$ 、 $Al_3(Gd, Zr)$ などが挙げられる。また一部には2元系析出物も形成され、例えば、 Al_3Er 、 Al_3Sc などが挙げられる。ここで $Al_3(Er, Sc)$ などの組成の表記について、 $Al_3(Er_x, Sc_{1-x})$ （式中、 x は $0 < x < 1$ を満たす）と表示することもできるが、本明細書では簡便な表記である $Al_3(Er, Sc)$ を用いる。また析出物の組成は上記に限られない。

[0035] 3元系析出物の元素分布に関して、内部（コア）と外殻（シェル）が異なる元素で構成された複合構造（コア・シェル構造）であることも高温特性の改善に有効に作用する。第1群元素と第2群元素を複合添加したAl配線材について、析出物の内部には主に第1群元素、外殻には第2群元素が濃化する傾向があることを、析出物のTEM解析などにより確認している。例えば、 $Al-Er-Sc$ の3元系析出物では、内部にEr、外殻にScが濃化した構造であり、 $Al-Yb-Zr$ の3元系析出物では、内部にYb、外殻にZrが濃化した構造が形成される傾向にある。これは、拡散速度の速い第1群元素が早く凝集してAlとのコア析出物を形成して、それを核として周辺に第2群元素が析出してシェルを形成することによると考えられる。析出物の組成を解析する手法としては、透過型電子顕微鏡（TEM）の組成分析（

E D S 分析) などを利用することができる。

[0036] このコア・シェル構造の利点として、第1群元素とAⅠからなるコア部が粗大化するような高い温度域でも、シェル部が析出物の成長を抑えることで、微細な析出物を維持することができる。これにより、相当高い温度域でも、AⅠ配線材の信頼性を維持できるという顕著な効果が得られる。これが第1群元素と第2群元素を複合添加した際に上記の格別顕著な効果が達成される要因でもある。コア・シェル構造の析出物の形成に関して、バルクなど大型部材では試料内部に安定して分布させることは難しいことが障害となるが、2次元の線材であるAⅠ配線材では、コア・シェル構造の析出物を均一に分布させることが比較的容易であることを見出した。すなわち、第1群元素と第2群元素を複合添加したAⅠ配線材であれば、高温特性を高める製品として量産化にも有利である。こうした析出物の構造、組成を解析する手法としては、3次元アトムプローブ (3 Dimensional Atom Probe: 3DAP) 法などを使用することができる。析出物内の元素の濃度分布により構造を解析できる。

[0037] 第1群元素と第2群元素 (及び後述する第3群元素) など複数の元素を同時に添加する複合添加には経済的メリットもあり、高価であるScの含有量を減じることができること、より少量の第2群元素で要求を満足できることにより、結果として第1群元素の使用量も減じて原料費を低減することが可能である。また高温信頼性を改善するための熱処理条件に関し、複合添加により低温、短時間で析出物を形成することができるため、生産性が向上するとの利点も享受できる。

[0038] 本発明のAⅠ配線材は、第2群元素として、Sc、Zrからなる群から選択される1種以上を総計で0.005~0.6質量%の範囲にて含有することが好ましい。すなわち、AⅠ配線材中の第2群元素の含有量の総計を $\times 2$ [質量%] としたとき、 $0.005 \leq \times 2 \leq 0.6$ を満たすことが好ましい。

[0039] 高温環境で使用する際の強度をさらに高め、高温信頼性がより一層良好な

A I 配線材を得る観点から、A I 配線材中の第2群元素の含有量の総計、すなわち $\times 2$ は、好ましくは0.005質量%以上であり、より好ましくは0.006質量%以上、0.008質量%以上又は0.009質量%以上、さらに好ましくは0.01質量%以上、0.02質量%以上、0.03質量%以上、0.05質量%以上又は0.1質量%以上である。 $\times 2$ が0.01質量%以上であると、高温信頼性が一際良好なA I 配線材を実現できることを確認している。

[0040] A I 配線材中の第2群元素の含有量の総計、すなわち $\times 2$ の上限は、常温強度の上昇を抑えて変形、接合などの常温での作業性能の良好なA I 配線材を得る観点から、好ましくは0.6質量%以下であり、より好ましくは0.55質量%以下、さらに好ましくは0.5質量%以下である。 $\times 2$ が0.5質量%以下であると、常温での作業性能がより一層良好なA I 配線材を実現できることを確認している。第1群元素を添加する本発明のA I 配線材においては、第2群元素の含有量を抑えることができ、 $\times 2$ は、0.45質量%以下、0.4質量%以下、0.35質量%以下、0.3質量%以下、0.25質量%以下、0.2質量%以下、0.15質量%以下又は0.15質量%未満と低くてよい。

[0041] したがって好適な一実施形態において、A I 配線材中の第2群元素の含有量の総計、すなわち $\times 2$ は、 $0.005 \leq \times 2 \leq 0.6$ を満たし、より好適には $0.01 \leq \times 2 \leq 0.5$ を満たす。

[0042] —Si、Fe、Ni、Ce、Y、Zn（第3群元素）—

本発明のA I 配線材は、さらにSi、Fe、Ni、Ce、Y及びZnからなる群から選択される1種以上を含有してよい。

[0043] 第1群元素に加えて、Si、Fe、Ni、Ce、Y及びZnからなる群から選択される1種以上（「第3群元素」ともいう。）を含有することにより、A I 配線材とリードフレームや基板上の外部電極との接続である第2接続において高温信頼性を向上させることができ、または高温でのA I 配線材の曲げ変形性を改善することができる。第3群元素と第1群元素を複合添加す

ることにより、第1群元素を単独添加する場合に比し、Alより高融点、硬質である素材からなる外部電極との第2接続において、200℃以上の高温環境でも接合強度の劣化を抑制するにあたってより高い効果が得られる。

[0044] リードフレームや基板上の外部電極としては、特に限定はされないが、例えば、Ni、Ag、Pdなどで被覆されたCu基合金、Fe基合金が挙げられる。第2接続では、外部電極のサイズ、厚さが比較的大きいため、チップ側の第1接続よりは信頼性を比較的確保しやすい。それでも厳しい使用条件では、高温環境あるいは高電圧印加時の動作発熱などにより、接続界面に空隙やクラックが生じることが問題となる。今後、Al配線材の細線化が進めば、外部電極との接続部の高温信頼性が問題となる。これは被接続部材が硬質、高融点であることで、接続時にAl配線材の変形が主として起こり、接続界面での金属接合を得ることが難しいこと、界面での拡散速度が遅れることなどが関係している。

[0045] 第3群元素であるSi、Fe、Ni、Ce、Y及びZnは、Al内では固溶状態で存在する量が第1群元素よりも多いため、固溶強化、あるいは加工・再結晶組織などに影響することで高温信頼性の更なる向上に寄与できる。第3群元素の固溶および第1群元素の析出を組み合わせることで、硬質の被接続部材との接続部における金属新生面を露出して、相互拡散を促進することができる。また、Al配線材を加熱処理することで、Al、第3群元素、第1群元素で構成される3元合金析出物が形成されることで、超音波を印加する接続においてAl配線材の均一変形を促進することができる。こうした固溶と析出の相乗作用および3元系の金属間化合物の形成などにより、結果として外部電極との接続部における高温信頼性が向上するものと考えられる。3元系の金属間化合物の組成としては、例えば、 $Al_3(Er, Si)$ 、 $Al_3(Yb, Si)$ 、 $Al_3(Er, Ni)$ 、 $Al_3(Gd, Si)$ などが挙げられるが、これらに限定されない。

[0046] 本発明のAl配線材は、第3群元素として、Si、Fe、Ni、Ce、Y及びZnからなる群から選択される1種以上を総計で0.001～1質量%

の範囲にて含有することが好ましい。すなわち、AⅠ配線材中の第3群元素の含有量の総計を $\times 3$ 〔質量%〕としたとき、 $0.001 \leq \times 2 \leq 1$ を満たすことが好ましい。

[0047] 第2接続部の高温信頼性が良好なAⅠ配線材を得る観点から、AⅠ配線材中の第3群元素の含有量の総計、すなわち $\times 3$ は、好ましくは0.001質量%以上であり、より好ましくは0.002質量%以上、さらに好ましくは0.003質量%以上、0.005質量%以上、0.006質量%以上、0.008質量%以上、0.009質量%以上又は0.01質量%以上である。 $\times 3$ が0.003質量%以上であると、第2接続部の高温信頼性が一際良好なAⅠ配線材を実現できることを確認している。

[0048] AⅠ配線材中の第3群元素の含有量の総計、すなわち $\times 3$ の上限は、常温強度の上昇を抑えて変形、接合などの常温での作業性能の良好なAⅠ配線材を得る観点から、好ましくは1質量%以下であり、より好ましくは0.9質量%以下、さらに好ましくは0.8質量%以下である。 $\times 3$ が0.8質量%以下であると、常温での作業性能がより一層良好なAⅠ配線材を実現できることを確認している。

[0049] したがって好適な一実施形態において、AⅠ配線材中の第3群元素の含有量の総計、すなわち $\times 3$ は、 $0.001 \leq \times 3 \leq 1$ を満たし、より好適には $0.003 \leq \times 3 \leq 0.8$ を満たす。

[0050] 本発明のAⅠ配線材の残部は、AⅠを含む。AⅠ配線材を製造する際のアルミニウム原料としては、純度が4N（AⅠ：99.99質量%以上）の工業的な純AⅠを使用することができる。さらに不純物量の少ない5N（AⅠ：99.999質量%以上）以上のアルミニウムを用いることがより好適である。本発明の効果を阻害しない範囲において、本発明のAⅠ配線材の残部は、AⅠ以外の元素を含有してよい。本発明のAⅠ配線材の残部におけるAⅠの含有量は、本発明の効果を阻害しない限りにおいて特に限定されないが、好ましくは98質量%以上、98.5質量%以上、99質量%以上、99.5質量%以上、99.6質量%以上、99.7質量%以上、99.8質量

%以上、又は99.9質量%以上である。好適な一実施形態において、本発明のAⅠ配線材の残部は、AⅠ及び不可避不純物からなる。

[0051] AⅠ配線材中の第1群元素、第2群元素、第3群元素等の含有量は、後述の「元素含有量の測定」に記載の方法により測定することができる。

[0052] 本発明のAⅠ配線材は、該AⅠ配線材の外周に、AⅠ以外の元素を主成分とする被覆を有していてもよく該被覆を有していなくてもよい。好適な一実施形態において、本発明のAⅠ配線材は、該AⅠ配線材の外周に、AⅠ以外の金属を主成分とする被覆を有していない。ここで、「AⅠ以外の金属を主成分とする被覆」とは、AⅠ以外の金属の含有量が50質量%以上である被覆をいう。

[0053] 本発明のAⅠ配線材は、常温強度の上昇が抑えられており装置への設置・接続時の作業性、生産性を高めることができると共に、配線材製造時の熱処理あるいは接続後の補足的な加熱処理に関して、低温あるいは短時間の処理により、又は該加熱処理を必要とすることなく、高温環境での使用時に強度を維持・改善し良好な高温信頼性を呈することができる。したがって本発明のAⅠ配線材は、被接続部材との接続に際して、常温での作業性能と高温信頼性が共に要求される広範な用途に使用可能であり、例えば、搬送機器、ロボットなどの産業機器において被接続部材との接続に好適に使用することができる（産業機器用AⅠ配線材）、また、パワー半導体装置をはじめとする各種半導体装置において被接続部材との接続に好適に使用することができる（半導体装置用AⅠ配線材）。

[0054] 本発明のAⅠ配線材は、その具体的使用態様に応じて任意の寸法を有してよい。本発明のAⅠ配線材が、搬送機器、ロボットなどの産業機器に使用されるAⅠ線である場合、その線径は特に限定されず、例えば、直径は500 μ m～10mmであってよい。また、斯かるAⅠ線を複数用いた、より線であってよい。AⅠ条である場合、その矩形若しくは略矩形の断面の寸法（ $w \times t$ ）は、特に限定されず、例えば、 w は500 μ m～10mmであってよく、 t は50 μ m～2mmであってよい。また、本発明のAⅠ配線材が、

パワー半導体装置をはじめとする各種半導体装置に使用されるA I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、直径は50～600 μm であってよい。また、A I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($w \times t$)は、特に限定されず、例えば、 w は100～3000 μm であってよく、 t は50～600 μm であってよい。

[0055] 本発明のA I配線材の製造方法は特に限定されず、例えば、押し出し加工、スエーピング加工、伸線加工、圧延加工等の公知の加工方法を用いて製造してよい。ある程度線径が細い場合、ダイヤモンドダイスを用いた伸線加工を施すことが好ましい。伸線を室温で行う冷間加工が、製造装置など比較的簡単な構成であり、作業性に優れている。また伸線時の抵抗を下げ生産性を高める場合には、加熱して伸線する熱間加工を用いてもよい。

[0056] 各添加元素の含有量が特定範囲となるように、A Iおよび各添加元素の純金属を出発原料として秤量した後、これを混合して溶融凝固することでインゴットを作製する。または、各添加元素の原料としては、添加元素を高濃度を含む母合金を用いてもよい。このインゴットを作る溶解過程では、バッチ式、連続鋳造式が使用できる。連続鋳造式は生産性が優れているが、バッチ式は凝固の冷却温度条件を変更することが容易である。このインゴットを最終寸法となるまで加工して、A I配線材を形成する。

[0057] 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、溶体化熱処理を行うことが好ましい。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、550～640 $^{\circ}\text{C}$ の温度範囲で1時間～20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。バッチ式でインゴットの冷却速度が速い場合には、添加元素の多くは固溶しているため溶体化熱処理の時間を短くすることが可能である。または溶解度が高い高温域で熱処理することで、インゴッ

トの凝固時に発生した析出物を再溶解させて、添加元素が均一に分布した状態を得ることができる。従って凝固時の冷却速度を高めることで溶体化熱処理を代用することができる。例えば、連続鋳造方式であれば、バッチ溶解法の凝固よりは凝固速度を速くすることができるため、A I 内で添加元素を固溶させることが比較的容易であり、溶体化熱処理を実施しないことも可能である。

[0058] 溶体化熱処理されたA I 合金において析出を促進するために、析出熱処理を施すことが好ましい。析出熱処理を行う場合、溶体化熱処理の直後、あるいはその後の加工工程の途中若しくは加工後に行うことができる。太径の状態ではバッチ式により析出熱処理を行う場合、析出熱処理は、例えば、200～450℃の温度範囲で10分間～5時間加熱することにより行ってよい。具体的には例えば、250℃で3時間の低温条件、350℃で30分間の高温条件などが挙げられる。あるいは、加工された細径の状態では連続的に析出熱処理を行う場合、析出熱処理は、例えば、炉内をワイヤが連続移動しながら400～600℃の温度範囲で1秒間～5分間加熱することにより行ってよい。具体的には例えば、析出の進行を抑える場合には400℃で5秒間、析出物の形成を促進する場合には500℃で1分間加熱することなどが挙げられる。こうした熱処理条件を参考に温度・時間を決定してよい。より詳細に条件を適正化したい場合は、こうした熱処理条件を参考に、等温熱処理または等時熱処理を行うことで、温度、時間などを容易に適正化できる。例えば、幾つかの時間条件で等温熱処理したA I 配線材を試作して、機械的特性を測定しておけば、所望する特性を容易に再現することができる。

[0059] A I 配線材を加工する途中あるいは最終の線径において、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、また上記析出熱処理と合わせて析出物を成長させることもできる。この調質熱処理は、加熱炉内にてA I 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、400～600℃の温度範囲で0.1秒間～3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は、調質熱処理が析出熱処理を同時に兼ねることができる。

[0060] 半導体装置において、本発明のAⅠ配線材と被接続部材との接続は、半導体チップ上の電極との第1接続と、リードフレームや基板上の外部電極との第2接続のいずれも、ウェッジ接合により実施する。被接続部材との接続後に、AⅠ配線材を含む半導体装置の実装熱処理を行うことが好ましい。実装熱処理により、AⅠ配線材中に金属間化合物である析出物を形成することで、析出強化により強度をさらに増大させることが可能である。本発明のAⅠ配線材において、形成される析出物の組成、様態については先述のとおりである。

[0061] 実装熱処理の条件としては、金属間化合物を形成し得る限り特に限定されないが、例えば、200～400℃の温度範囲で10～60分間加熱することが好適である。実装熱処理時の雰囲気は大気でもよいが、部材の酸化を抑えるために窒素、アルゴンなどの不活性雰囲気で行ってもよい。

[0062] 本発明は、半導体装置の製造方法も提供する。好適な一実施形態において、本発明の半導体装置の製造方法は、

(A) 半導体チップ上の電極と、リードフレーム又は基板上の電極とを、本発明のAⅠ配線材により接続する工程、及び

(B) AⅠ配線材による接続の後、実装熱処理を行う工程
を包含する。

[0063] 工程(A)で用いる半導体チップ、リードフレーム又は基板は、後述のとおり、半導体装置を構成するために使用し得る公知のものを好んでよい。また、工程(A)で用いる本発明のAⅠ配線材の詳細・好適な態様は、先述のとおりである。工程(A)において、半導体チップ上の電極との第1接続と、リードフレーム又は基板上の電極との第2接続のいずれも、ウェッジ接合により実施してよい。また、工程(B)において、AⅠ配線材中に上述した金属間化合物の微細な析出相を形成することができる。

[0064] [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、リードフレームや基板上の外部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。

[0065] 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、常温強度の上昇が抑えられており装置への設置・接続時の作業性、生産性を高めることができると共に、配線材製造時の熱処理あるいは接続後の補足的な加熱処理に関して、低温あるいは短時間の処理により、又は該加熱処理を必要とすることなく、高温環境での使用時に強度を維持・改善し良好な高温信頼性を呈することができる。したがって、該AⅠ配線材を含む半導体装置は、高温の作動環境下においても、長期にわたって良好な作動信頼性を実現し得ることをはじめ、被接続部材への熱影響などを低く抑えることができ、多くの要求性能を総合的に満足することが可能となる。

[0066] 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AⅠ配線材を含み、該AⅠ配線材が本発明のAⅠ配線材であることを特徴とする。ここで、本発明の半導体装置についていう「本発明のAⅠ配線材」とは、第1群元素、及び必要に応じて第2群元素、第3群元素を先述の好適な濃度範囲にて含有することを特徴とする。

[0067] 本発明の半導体装置においては、高温環境下において長時間作動させた場合であっても、AⅠと分離した析出物（例えば、先述の2元系や3元系の金属間化合物からなる析出物）を微細な相のまま維持することが可能である。

[0068] 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2020-150116号公報や特開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。

[0069] 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

[0070] 以下、本発明について、実施例を示して具体的に説明する。ただし、本発明は、以下に示す実施例に限定されるものではない。

[0071] (サンプル)

まずサンプルの作製方法について説明する。純度5N（99.999質量%以上）のAlと、純度99.9質量%以上のEr、Yb、Gd、Sc、Zr、Si、Fe、Ni、Ce、Y、Znを原料として溶融し、表1及び表2に示す組成のAlインゴットを作製した。次いで、溶体化熱処理を550～640℃の範囲で5時間行い、急冷（水冷）した。該インゴットを押し出し加工、スエーピング加工した後、さらに伸線加工を行った。一部の試料では、線径が2mmの段階で、析出熱処理を350～600℃の範囲で1～60分間行った。その後、最終線径を300μmとしてダイス伸線加工を行い、伸線加工終了後に2秒間の熱処理時間において調質熱処理を行い、Al配線材を得た。

[0072] [元素含有量の測定]

Al配線材中の添加元素の含有量は、分析装置として、ICP-OES（（株）日立ハイテクサイエンス製「PS3520UVDDII」）又はICP-MS（アジレント・テクノロジーズ（株）製「Agilent 7700x ICP-MS」）を用いて測定した。

[0073] [ワイヤの機械的特性]

－加熱後の強度変化－

ワイヤの加熱後の強度変化について、加熱処理の前と後で引張試験を行い、ワイヤの破断強度の変化で評価した。破断強度の測定は、Instron

製引張試験機を用いて、標点間距離100mm、引張速度10mm/分、ロードセル定格荷重1kNの条件で引張試験を実施した。測定は5回の平均値を用いた。加熱処理は、ワイヤを、窒素雰囲気下、350℃で4時間あるいは400℃で1時間実施した。加熱処理の前と後のワイヤ強度をそれぞれF1、F2として、その比率F2/F1で評価した。F2/F1の値について、1.2以上であればワイヤの高温信頼性の向上が顕著であるため「◎」とし、1.0以上1.2未満であれば通常の高温環境では良好であるため「○」とし、0.7以上1.0未満であれば通常の使用では問題はないが高温環境での使用には注意が必要であるため「△」とし、0.7未満では高温信頼性が劣るため「×」として、表1及び表2の「加熱後の強度変化」欄に記載した。

[0074] ー硬度の測定ー

A1配線材の長手軸線部のビッカース硬度Hvは、マイクロビッカース硬度計を用いて測定を行った。A1配線材の長手軸線を含む、長手方向に平行な断面（L断面）を測定対象面として、長手軸線部（すなわち、A1配線材の中心位置）における硬度を測定した。5箇所の測定値の平均を、そのサンプルのビッカース硬度として採用した。ビッカース硬度Hvが20以上35未満の範囲では軟質であることから「○」とし、35以上45未満の範囲では「△」とし、45以上の範囲では硬いことで変形性が懸念されることから「×」として、表1及び表2の「硬度Hv」欄に記載した。

[0075] <接続>

半導体装置において、半導体チップの電極はAl-Cuパッド（厚さ2μm）であり、外部端子はNi被覆したCu製リードフレームを用いた。半導体チップの電極とA1配線材との間の第1接続部、外部端子とA1配線材との間の第2接続部ともに、ウェッジ接合とした。一部の実施例、比較例については、接続の後に、300℃、30分間の実装熱処理（時効熱処理）を行った。

[0076] <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及び表2の「チップダメージ」欄に記載した。

[0077] <高温信頼性の評価>

－第1接続部－

第1接続部に関する高温信頼性の評価は、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、A1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した。加熱は中温条件と高温条件の2種類を実施した。中温条件では、半導体装置におけるA1配線材の接続部の最高温度が約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秒間かけて冷却した。この加熱・冷却のサイクルを10万回繰り返した。高温条件では、最高温度が約140℃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25秒間かけて冷却した。この加熱・冷却のサイクルを10万回繰り返した。

[0078] －第2接続部－

第2接続部に関する高温信頼性の評価は、温度サイクル試験（Temperature Cycle Test、以下、TCTと称す）によって行った。TCTは、A1配線材が接続された半導体装置を、温度サイクル試験装置の炉内に配置して、高温と低温を連続的に繰り返し行う試験である。高温の温度は125℃、低温の温度は-40℃に設定した。この高温・低温のサイクルを1000回繰り返した。

[0079] 上記パワーサイクル試験の後の第1接続部の接合シェア強度と、上記温度サイクル試験の後の第2接続部の接合シェア強度をそれぞれ測定し、接続部の高温信頼性の評価を行った。初期の接続部のシェア強度 S_1 に対する、パワーサイクル試験または温度サイクル試験の後のシェア強度 S_2 の比率であ

るS 2／S 1で評価した。S 2／S 1の値について、0. 9以上であれば優れた信頼性であるため「◎」とし、0. 8以上0. 9未満であれば良好であるため「○」とし、0. 6以上0. 8未満であれば通常の使用では問題はないが注意が必要であるため「△」とし、0. 6未満では高温信頼性が劣るため「×」として、表1及び表2の「高温信頼性」欄に記載した。

[0080] A 1配線材の製造条件、評価結果を表1及び表2に示す。

[0081] [表1]

(表1)

第1群元素

第2群元素

第3群元素

第4群元素

第5群元素

第6群元素

第7群元素

第8群元素

第9群元素

第10群元素

第11群元素

第12群元素

第13群元素

第14群元素

第15群元素

第16群元素

第17群元素

第18群元素

第19群元素

第20群元素

第21群元素

第22群元素

第23群元素

第24群元素

第25群元素

第26群元素

第27群元素

第28群元素

Er

Yb

Gd

Sc

Zr

Si

Fe

Ni

Ce

Y

Zn

0.002

0.01

0.02

0.08

0.1

0.15

0.2

0.2

0.2

0.5

0.05

0.001

0.01

0.02

0.08

0.1

0.2

0.4

0.1

0.1

0.2

0.3

0.008

0.2

0.2

0.2

0.1

0.1

0.4

0.6

0.005

0.1

0.005

0.05

0.1

0.2

0.1

0.003

0.005

0.002

0.2

0.007

0.1

0.5

0.005

0.4

0.6

0.1

0.1

0.2

0.3

0.008

0.2

0.2

0.2

0.1

0.1

0.4

0.6

350℃

400℃

硬度

Hv

△

○

◎

◎

◎

◎

◎

◎

◎

◎

◎

◎

◎

◎

◎

◎

◎

◎

◎

◎

◎

◎

◎

◎

◎

◎

◎

◎

◎

◎

中温

高温

チップ

ダメージ

第1試験部

第2試験部

実装

後処理

[0082] [表2]

(表2)	Al配線材中の添加元素												熱処理条件				機械的特性				高温信頼性		実装 熱処理																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	第1群元素 (質量%)			第2群元素 (質量%)			第3群元素 (質量%)						溶体化 熱処理 (℃)	析出 熱処理 (℃)	加熱後の強度変化			硬度	チップ ダメージ	第1接続部 中温	第2接続部 高温																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
	Er	Yb	Gd	Sc	Zr	Si	Fe	Ni	Ce	Y	Zn	350℃			400℃	Hv																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	29	0.002	0.001		0.01	0.02	0.002						620	400	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

[0083] 実施例1～40のAl配線材は、Er、Yb、Gdの含有量の総計×1が本発明範囲内にあり、配線材製造時及び接続後の熱処理の有無やその温度・時間によらず、350℃加熱後の強度変化、チップダメージ、硬度、中温条件の第1接続部の高温信頼性のいずれも良好な結果であった。

実施例2、3、6～10、12、13、15～18、20、21、24～

27、29、31、33～40のAl配線材では、さらにSc、Zrの含有量が本発明の好適範囲内にあり、400℃加熱後の強度変化が○または◎であり、中温条件及び高温条件共に第1接続部の高温信頼性が○または◎であり、良好な結果であった。

実施例2～10、12、14～17、19～21、23、24、26～32、34～37、39、40のAl配線材では、さらにSi、Fe、Ni、Ce、Y、Znの含有量が本発明の好適範囲内にあり、第2接続部の高温信頼性も良好な結果であった。

比較例1～3、6～8のAl配線材は、Er、Yb、Gdの含有量が本発明範囲の下限を外れ、350℃加熱後の強度変化が×であった。比較例4、5のAl配線材は、Er、Yb、Gdの含有量が本発明範囲の上限を外れ、チップダメージ、硬度が×であった。

請求の範囲

- [請求項1] E r、Y b 及び G d からなる群から選択される 1 種以上を含有し、その含有量の総計を x_1 [質量%] としたとき、
 $0.001 \leq x_1 \leq 0.6$ であり、残部は A l を含む、A l 配線材。
。
- [請求項2] さらに S c 及び Z r からなる群から選択される 1 種以上を含有し、その含有量の総計を x_2 [質量%] としたとき、
 $0.005 \leq x_2 \leq 0.6$ である、請求項 1 に記載の A l 配線材。
- [請求項3] さらに S i、F e、N i、C e、Y 及び Z n からなる群から選択される 1 種以上を含有し、その含有量の総計を x_3 [質量%] としたとき、
 $0.001 \leq x_3 \leq 1$ である、請求項 1 又は 2 に記載の A l 配線材。
。
- [請求項4] ボンディングワイヤである、請求項 1 ～ 3 の何れか 1 項に記載の A l 配線材。
- [請求項5] 請求項 1 ～ 4 の何れか 1 項に記載の A l 配線材を含む半導体装置。