

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140℃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、マグネシウム (M g) 及び S i の含有量の合計が 0.03 w t % 以上 0.3 w t % 以下である A l 配線材が接続部の信頼性を向上することが開示されている。

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：特許第 6272674 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 A l 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A I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A I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A I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。）、A I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、A I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。）。A I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A I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。この点、A I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、A I配線材中の他元素の含有量が高まるにつれて、A I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、A I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] さらに、SiCなどの高温用パワーデバイスで求められる高温環境下での長時間にわたる接続部の信頼性を達成、改善することは難しくなっている。例えばパワーサイクル試験における耐久性に関して、1万回のサイクルを超える厳しい条件ではAl配線材の接続部でボンドクラックなどの不良が発生することが、パワーデバイスの実用化の障害となる。
- [0011] 他元素を添加したAl配線材では、固溶、析出などを利用して性能の向上が図られており、Al配線材の製造時における熱処理や、Al配線材を接続した後に熱処理を施すことが行われる。このとき、上述の高温信頼性を高めるためには、従来のAl配線材製品よりも高温または長時間で熱処理を施すことが必要となり、これが接合性の劣化、生産性の低下、製造コストの上昇、Al配線材の被接続部材（例えば、基板および周辺部材）への熱影響につながるものが問題となる。よって、低温または短時間で熱処理しても高温信頼性を向上できるAl配線材が求められる。
- [0012] これまでにも、Al配線材の高温信頼性を向上する技術について検討がなされている。例えば、Mg、Siを含有したAl配線材では、高温信頼性が改善されることが知られている（特許文献4、5）。しかし、その改善効果は小さいことなどで実用化されていない。厳しいパワーサイクル試験では短いサイクル数の範囲では改善する場合もあるが、サイクル数が増すと接続部にクラックなどの不良が発生する。また、Scを含有したAl配線材も、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）。しかし高温信頼性を高めるためには、製造時の熱処理を高温で行う必要があるなど、適正な熱処理条件の範囲が狭く、管理することが難しいなどの問題がある。また、接続後の熱処理を行う場合に関しても、高温で比較的長い時間の熱処理を必要とし、実用化の障害となる。
- [0013] 配線材製造時の熱処理あるいは接続後の熱処理に関して、低温あるいは短時間の処理により、接続部の信頼性や接合性を向上できれば、高温環境使用時の品質、信頼性を高めることができ、自動車用電子部品、パワー半導体装置などの機能、品質、信頼性の向上に寄与する。

[0014] 本発明は、良好な高温信頼性をもたらすと共に、装置への設置・接続時の作業性や接合性の良好な、新規なA I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

[0015] 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A I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] Mg及びSiを含有し、Mgの含有量を $x1a$ [質量%]、Siの含有量を $x1b$ [質量%]としたとき、

$$0.05 \leq x1a \leq 2.5、$$

$$0.02 \leq x1b \leq 1、$$

$$0.1 \leq (x1a + x1b) \leq 3$$

であり、さらにSc、Er、Yb、Gd、Ce及びY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、

$$0.001 \leq x2 \leq 0.5$$

であり、残部はA Iを含む、A I配線材。

[2] さらにZr、Fe、Ni、Mn、Cu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、

$$0.01 \leq x3 \leq 0.5$$

である、[1]に記載のA I配線材。

[3] ボンディングワイヤである、[1]又は[2]に記載のA I配線材。

[4] [1]～[3]の何れかに記載のA I配線材を含む半導体装置。

発明の効果

[0016] 本発明によれば、良好な高温信頼性をもたらすと共に、装置への設置・接続時の作業性や接合性の良好な、新規なA I配線材を提供することができる。斯かる新規なA I配線材は、装置への設置・接続時の作業性や接合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、又は該熱処理を必要とすること

なく、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

[0017] 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。

[0018] [A I 配線材]

本発明のA I 配線材は、Mg及びSiを含有し、Mgの含有量を $x1a$ [質量%]、Siの含有量を $x1b$ [質量%]としたとき、 $0.05 \leq x1a \leq 2.5$ 、 $0.02 \leq x1b \leq 1$ 、 $0.1 \leq (x1a + x1b) \leq 3$ であることを特徴とする。本発明のA I 配線材は、さらにSc、Er、Yb、Gd、Ce及びY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、 $0.001 \leq x2 \leq 0.5$ であることを特徴とする。

[0019] A I 配線材中にMgとSi（以下、「第1群元素」ともいう。）を含有し、さらにSc、Er、Yb、Gd、Ce及びYからなる群から選択される1種以上（以下、「第2群元素」ともいう。）を含有することで、A I 配線材製造時の熱処理あるいは接続後の熱処理を低温あるいは短時間で実施しても、A I 配線材の高温信頼性を高めることができると共に、被接続部材への設置・接続時の作業性や接合性といった常温特性を高めることができる。高温信頼性と常温特性を同時に満足することにより、自動車用電子部品、パワー半導体装置等の高出力電子装置で使用する場合の高温信頼性を向上・促進することができる。また、第1群元素と第2群元素を複合添加したA I 配線材では、該A I 配線材と被接続部材（例えばA I 電極）とを常温で接続したときの接続界面において、金属接合が不十分である未接合面積を低減することができ、接合強度の増加、量産時の接続部剥離の低減という優れた効果が得られる。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改善することが可能となる。例えば、高温信頼性を評価する加速試験であるパワーサイクル試験において、接合強度の低下を抑えたり、接続部のクラック発生を抑制したりすることができる。

[0020] MgとSiを含有することで、A I 配線材製造時の熱処理あるいは接続後

の熱処理の温度が低い場合でも、A l 内での固溶およびM g - S i 系化合物の形成により、高温環境での回復・再結晶の進行を抑える効果が得られる。さらにS c、E r、Y b、G d、C e及びYからなる群から選択される1種以上を含有することで、その再結晶を抑制する効果をより高温または長時間にわたって保持することで、優れた高温信頼性を実現できる。高電圧を印加するパワーサイクル試験に関して、1万回を超える厳しい条件でもA l 配線材の接続部で再結晶粒が粗大化してクラックが発生する不良を抑えることができ、高い接合強度を維持することが可能である。また第1群元素や第2群元素の種類や添加量などを適正化することで、高温環境下での接合強度を初期よりも高めることも可能である。

[0021] こうした改善効果を発揮する要因については不明な点もあるが、低温の熱処理においてM g - S i 系の化合物、析出物、中間相の生成が起こり、該生成物の周辺においてS c、E r、Y b、G d、C e、Yの元素が集合したり、これら元素がA l と反応して析出物（ $A l_3 S c$ 、 $A l_3 E r$ 、 $A l_3 Y$ 他）を形成したりすることが考えられる。こうした添加元素が複合的に作用することで、高温環境下でA l 配線材内の転位、粒界の移動を抑制して強度を維持・増加したり、あるいは再結晶の粒成長を抑えて結晶粒を微細化したりできるものとする。

[0022] 第1群元素と第2群元素を共に含有する本発明のA l 配線材は、被接続部材への接続時に接合性を向上できる点においても優れている。すなわち、該A l 配線材であれば、接続界面で金属接合が得られている領域の割合に相当する有効接合面積比Rを高めることができる。結果として、接続時の荷重および超音波振動が弱い条件でも、接合強度を向上させることができ、チップへのダメージ軽減などに有効である。接合性はシェア測定法による接合強度でほぼ評価できるが、R値の評価は接続界面での実態をより正確に判断するのに有効である。ここで、有効接合面積比Rは、接合面積M1に占める金属接合が得られている面積M2の割合（ $M2/M1$ ）として求められる。例えば、A l 配線材と半導体チップ上電極との接続部における有効接合面積比R

は、以下の手順により求めることができる。まず接続部のシエア試験を行い、その破断した被接続電極を光学顕微鏡またはSEMで観察する。そして画像解析により、接合面積 $M1$ と、接合時に電極は変形しているが金属接合が得られていないと判断される未接合部の面積 $M3$ を求め、金属接合が得られている面積 $M2$ ($=M1 - M3$) を算出する。 R 値は、 $M1$ に占める $M2$ の割合 ($M2 / M1$) として算出でき、その計算式は、具体的には、 $R = M2 / M1 = (M1 - M3) / M1$ である。そして、 R 値が高いほど、接合性が良好であり、さらに高温信頼性の向上にも有効であることを見出した。

[0023] Mg と Si (第1群元素) を含有するだけでは、高温環境下において短時間までは信頼性を維持できる場合はあるが、長時間が経過すると信頼性がむしろ低下することが問題となる。また、 Sc 、 Er 、 Yb 、 Gd 、 Ce 、 Y (第2群元素) を含有するだけでは、高温信頼性を向上させるために高温での熱処理が必要であり、 Al 配線材の接合性が低下する問題が生じる。また Al 配線材を接続した後に熱処理を施す場合には、比較的高温、長時間が必要となり、上述したように周辺材料への影響が懸念される。

[0024] これに対して、第1群元素と第2群元素を共存させることにより、 Al 配線材の製造時の熱処理温度を低くしたり、接続後に施す熱処理温度を低くしたりする場合でも、高温信頼性と接合性を向上する高い効果が得られることを確認している。例えば、接続後に施す実装熱処理が低温である場合の高温信頼性を比較した一例を示す。 Al 電極に接合したパワー半導体を用いて、低温・短時間の条件、すなわち $200 \sim 300^{\circ}C$ で10分から2時間の範囲で実装熱処理を実施した後に、パワーサイクル試験を行って評価した。第1群元素と第2群元素を複合添加した Al 配線材では、5万サイクル、10万サイクルまで高い接合強度を維持し、良好な結果であった。他方、第1群元素を単独添加した Al 配線材では、5万サイクルまでは良好な強度を示す場合があったが、10万サイクルでは強度の低下が顕著であった。第2群元素を単独添加した Al 配線材では、5万サイクルで既に強度低下が認められた。

[0025] 第2群元素であるSc、Er、Yb、Gd、Ce、Y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、Scについては、高温環境での強度を増加させることで、装置作動時に接続部が厳しい高温環境に曝される場合や高電圧のON/OFFが高速で進行する作動環境下においても接合強度を維持あるいは増加させる効果が期待できる。Erについては、Al配線材製造時の熱処理や接続後の熱処理の温度が低い場合でも、高温信頼性を向上する効果が得られる。Ybについては、Al内での拡散速度が速いため、析出強化のための熱処理時間をより短くすることに有利である。Gdは、Al配線材の硬度を抑える傾向が強いため、常温でのAl配線材の変形性を高めることができ初期の接合性を向上するのに有利である。Ce、Yは、接合界面近傍のワイヤの加工硬化を促すことで、ワイヤの接合形状、サイズを安定化させることに有利である。また複数の元素を添加することも有効である。例えば、ScとCeやScとYbを共存させると、含有量を減らして析出効率を高めることができる。ScとErを共存させると、熱処理温度をより低下させることができる。第2群元素の組み合わせはこれらに限られず、ScとGd、ScとY、ErとYb、ErとGd、YbとGd、YbとCe、あるいはCeとYを組み合わせてもよく、これらのうち3元素を組み合わせてもよく、4元素を全て組み合わせてもよい。

[0026] 本発明のAl配線材は、第1群元素として、Mg及びSiを含有し、Mgの含有量は0.05～2.5質量%であり、Siの含有量は0.02～1質量%であり、MgとSiの含有量の総計は0.1～3質量%である。すなわち、Al配線材中のMgの含有量を $x1a$ [質量%]、Siの含有量を $x1b$ [質量%]としたとき、

$$0.05 \leq x1a \leq 2.5、$$

$$0.02 \leq x1b \leq 1、及び$$

$$0.1 \leq (x1a + x1b) \leq 3$$

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Mgの含有量、すなわち、 $x1a$ は、0.05質量%以上であり、好ましくは0.06質量%以上、0.08質量%以上又は0.09質量%以上、より好ましくは0.1質量%以上、0.15質量%以上、0.2質量%以上、0.25質量%以上又は0.3質量%以上である。 $x1b$ や($x1a + x1b$)、 $x2$ の値が本発明範囲内にあることを条件として、 $x1a$ が0.1質量%以上であると、高温特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Mgの含有量、すなわち $x1a$ の上限は、被接続部材への設置・接続時の作業性や接合性などの常温特性の良好なAⅠ配線材を得る観点から、2.5質量%以下であり、好ましくは2.4質量%以下、2.3質量%以下、2.2質量%以下又は2.1質量%以下、より好ましくは2質量%以下、1.9質量%以下、1.8質量%以下、1.6質量%以下又は1.5質量%以下である。 $x1b$ や($x1a + x1b$)、 $x2$ の値が本発明範囲内にあることを条件として、 $x1a$ が2質量%以下であると、有効接合面積比が高く、常温特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。
- [0029] したがって好適な一実施形態において、AⅠ配線材中のMgの含有量、すなわち $x1a$ は、 $0.05 \leq x1a \leq 2.5$ を満たし、より好適には $0.1 \leq x1a \leq 2$ を満たす。
- [0030] 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Siの含有量、すなわち、 $x1b$ は、0.02質量%以上であり、好ましくは0.03質量%以上又は0.04質量%以上、より好ましくは0.05質量%以上、0.06質量%以上、0.08質量%以上又は0.1質量%以上である。 $x1a$ や($x1a + x1b$)、 $x2$ の値が本発明範囲内にあることを条件として、 $x1b$ が0.05質量%以上であると、高温特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。

- [0031] A I 配線材中の S i の含有量、すなわち $x 1 b$ の上限は、被接続部材への設置・接続時の作業性や接合性などの常温特性の良好な A I 配線材を得る観点から、1 質量%以下であり、好ましくは 0.95 質量%以下、0.9 質量%以下又は 0.85 質量%以下、より好ましくは 0.8 質量%以下、0.75 質量%以下、0.7 質量%以下、0.65 質量%以下又は 0.6 質量%以下である。 $x 1 a$ や $(x 1 a + x 1 b)$ 、 $x 2$ の値が本発明範囲内にあることを条件として、 $x 1 b$ が 0.8 質量%以下であると、有効接合面積比が高く、常温特性がより一層良好な A I 配線材を実現できることを確認している。
- [0032] したがって好適な一実施形態において、A I 配線材中の S i の含有量、すなわち $x 1 b$ は、 $0.02 \leq x 1 b \leq 1$ を満たし、より好適には $0.05 \leq x 1 b \leq 0.8$ を満たす。
- [0033] 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 A I 配線材を得る観点から、A I 配線材中の Mg と S i の含有量の総計、すなわち、 $(x 1 a + x 1 b)$ は、0.1 質量%以上であり、好ましくは 0.12 質量%以上、0.14 質量%以上、0.16 質量%以上又は 0.18 質量%以上、より好ましくは 0.2 質量%以上、0.25 質量%以上、0.3 質量%以上、0.35 質量%以上又は 0.4 質量%以上である。 $x 1 a$ や $x 1 b$ 、 $x 2$ の値が本発明範囲内にあることを条件として、 $(x 1 a + x 1 b)$ が 0.2 質量%以上であると、高温特性がより一層良好な A I 配線材を実現できることを確認している。
- [0034] A I 配線材中の Mg と S i の含有量の総計、すなわち、 $(x 1 a + x 1 b)$ の上限は、被接続部材への設置・接続時の作業性や接合性などの常温特性の良好な A I 配線材を得る観点から、3 質量%以下であり、好ましくは 2.9 質量%以下、2.8 質量%以下、2.7 質量%以下又は 2.6 質量%以下、より好ましくは 2.5 質量%以下、2.4 質量%以下、2.3 質量%以下、2.2 質量%以下、2.1 質量%以下又は 2 質量%以下である。 $x 1 a$ や $x 1 b$ 、 $x 2$ の値が本発明範囲内にあることを条件として、 $(x 1 a + x 1 b)$

b) が 2.5 質量%以下であると、有効接合面積比が高く、常温特性がより一層良好な A I 配線材を実現できることを確認している。

[0035] したがって好適な一実施形態において、A I 配線材中の Mg と Si の含有量の総計、すなわち $(x1a + x1b)$ は、 $0.1 \leq (x1a + x1b) \leq 3$ を満たし、より好適には $0.2 \leq (x1a + x1b) \leq 2.5$ を満たす。

[0036] 本発明の A I 配線材は、第 2 群元素として、Sc、Er、Yb、Gd、Ce 及び Y からなる群から選択される 1 種以上を総計で 0.001 ~ 0.5 質量%の範囲で含有する。すなわち、A I 配線材中の第 2 群元素の含有量の総計を $x2$ [質量%] としたとき、 $0.001 \leq x2 \leq 0.5$ を満たす。

[0037] 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 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、 $x2$ 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 0.004 質量%以上、より好ましくは 0.005 質量%以上、0.006 質量%以上、0.008 質量%以上、0.01 質量%以上、0.015 質量%以上、0.02 質量%以上、0.025 質量%以上又は 0.03 質量%以上である。 $x1a$ や $x1b$ 、 $(x1a + x1b)$ の値が本発明範囲内にあることを条件として、 $x2$ が 0.005 質量%以上であると、高温特性がより一層良好な A I 配線材を実現できることを確認している。

[0038] A I 配線材中の第 2 群元素の含有量の総計、すなわち $x2$ の上限は、被接続部材への設置・接続時の作業性や接合性などの常温特性の良好な A I 配線材を得る観点から、0.5 質量%以下であり、好ましくは 0.48 質量%以下又は 0.46 質量%以下、より好ましくは 0.45 質量%以下、0.44 質量%以下、0.42 質量%以下、0.4 質量%以下、0.38 質量%以下、0.36 質量%以下、0.35 質量%以下、0.34 質量%以下、0.32 質量%以下又は 0.3 質量%以下である。 $x1a$ や $x1b$ 、 $(x1a + x1b)$ の値が本発明範囲内にあることを条件として、 $x2$ が 0.35 質量%以下であると、有効接合面積比が高く、常温特性がより一層良好な A I 配線

材を実現できることを確認している。

[0039] したがって好適な一実施形態において、AⅠ配線材中の第2群元素の含有量の総計、すなわち x_2 は、 $0.001 \leq x_2 \leq 0.5$ を満たし、より好適には $0.005 \leq x_2 \leq 0.35$ を満たす。

[0040] −Zr、Fe、Ni、Mn、Cu、Zn（第3群元素）−

本発明のAⅠ配線材は、さらにZr、Fe、Ni、Mn、Cu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。

[0041] 第1群元素及び第2群元素に加えて、Zr、Fe、Ni、Mn、Cu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、AⅠ配線材製造時の熱処理がより低温あるいはより短時間であっても、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配線材を実現することができる。熱処理時間を短くすることで、AⅠ配線材製造時の生産性の向上、連続操作が可能である。さらに顕著な効果として、AⅠ配線材の接続後に加熱する実装熱処理をより低温・短時間で実施する場合であっても、あるいは実装熱処理を実施しない場合であっても、高温信頼性の良好なAⅠ配線材を実現することができる。よって、実装熱処理による実装工程への負荷を軽減することでき、また被接続部材や周辺部材への熱履歴を軽減することができるため、結果として高温信頼性をより向上することが可能である。

[0042] AⅠ配線材製造時の熱処理条件に関しては、温度が $400 \sim 600^\circ\text{C}$ の範囲で、1秒間～10分間の処理時間に短縮することができる。またAⅠ配線材の接続後に加熱する実装熱処理の条件に関しては、 $175 \sim 250^\circ\text{C}$ の低温域で10～30分間の処理時間に短縮することも可能である。例えば、接続後に 175°C の低温で実装熱処理を実施した場合において、20分間程度の短時間の熱処理により、パワーサイクル試験の接合強度の低下を抑えて、良好な高温信頼性が実現されることを確認している。また実装構造、電極・基板などの材料によっては、実装熱処理を実施しない場合でも、良好な高温信頼性を得ることが可能である。

- [0043] 第1群元素及び第2群元素に加えて、第3群元素であるZr、Fe、Ni、Mn、Cu、Znを添加することで奏される相乗効果については、先述のMg-Si系の中間相の形成や金属間化合物の析出を促進すること、さらに第2群元素であるSc、Er、Yb、Gd、Ce、Yの拡散を促進して微細な析出物（ Al_3Sc 、 Al_3Er 、 Al_3Yb 、 Al_3Gd 他）の形成を促進することなどにより、高温での結晶粒の粗大化を抑制しているものと考えられる。
- [0044] 本発明のAl配線材は、第3群元素として、Zr、Fe、Ni、Mn、Cu及びZnからなる群から選択される1種以上を総計で0.01～0.5質量%の範囲にて含有することが好ましい。すなわち、Al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、 $0.01 \leq \times 3 \leq 0.5$ を満たすことが好ましい。
- [0045] Al配線材製造時の熱処理あるいは接続後の熱処理を低温あるいは短時間で実施しても、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Al配線材を得る観点から、Al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0.01質量%以上であり、より好ましくは0.02質量%以上、0.03質量%以上又は0.04質量%以上、さらに好ましくは0.05質量%以上、0.06質量%以上、0.08質量%以上又は0.1質量%以上である。 $\times 1a$ や $\times 1b$ 、 $(\times 1a + \times 1b)$ 、 $\times 2$ の値が本発明範囲内にあることを条件として、 $\times 3$ が0.05質量%以上であると、Al配線材製造時の熱処理あるいは接続後の熱処理をより低温あるいはより短時間で実施しても、高温特性が良好なAl配線材を実現できることを確認している。
- [0046] Al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、被接続部材への設置・接続時の作業性や接合性などの常温特性の良好なAl配線材を得る観点から、好ましくは0.5質量%以下であり、より好ましくは0.45質量%以下、さらに好ましくは0.4質量%以下、0.38質量%以下、0.36質量%以下、0.35質量%以下、0.34質量%以下、0.

3 2 質量%以下又は0. 3 質量%以下ある。x 1 a や x 1 b、(x 1 a + x 1 b)、x 2 の値が本発明範囲内にあることを条件として、x 3 が0. 4 質量%以下であると、有効接合面積比が高く、常温特性がより一層良好な A I 配線材を実現できることを確認している。

[0047] 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3群元素の含有量の総計、すなわちx 3 は、 $0. 01 \leq x 3 \leq 0. 5$ を満たし、より好適には $0. 05 \leq x 3 \leq 0. 4$ を満たす。

[0048] 本発明のA I 配線材の残部は、A I を含む。A I 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4 N (A I : 99. 99 質量%以上) の工業的な純A I を使用することができる。さらに不純物量の少ない5 N (A I : 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A I 配線材の残部は、A I 以外の元素を含有してよい。本発明のA I 配線材の残部におけるA I 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A I 配線材の残部は、A I 及び不可避不純物からなる。

[0049] A I 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。

[0050] 本発明のA I 配線材は、該A I 配線材の外周に、A I 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A I 配線材は、該A I 配線材の外周に、A I 以外の金属を主成分とする被覆を有していない。ここで、「A I 以外の金属を主成分とする被覆」とは、A I 以外の金属の含有量が50 質量%以上である被覆をいう。

[0051] 本発明のA I 配線材は、配線材製造時の熱処理あるいは接続後の熱処理に関して、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と共に、装置への設置・接続時の作業性、接合性といった常温特性を高めることができる。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、高温信頼性と常温特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（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）。

[0052] 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、 w は $500\mu\text{m}$ ～ 10mm であってよい。また、斯かるAⅠ線を複数用いた、より線であってもよい。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 $500\mu\text{m}$ ～ 10mm であってよく、 t は $50\mu\text{m}$ ～ 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AⅠ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 ～ $600\mu\text{m}$ であってよい。また、AⅠ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 ～ $3000\mu\text{m}$ であってよく、 t は 50 ～ $600\mu\text{m}$ であってよい。

[0053] 本発明のAⅠ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。

[0054] 各添加元素の含有量が特定範囲となるように、AⅠ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、添加元素を高濃度に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、連続鑄造式が使用できる。連続鑄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、AⅠ配線材を形成する。

[0055] 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AⅠ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、500～640℃の温度範囲で0.5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。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。添加元素を高濃度に含有する母合金を使用することで、固溶状態の制御が容易となるため、加熱時間を短く設定することもできる。また、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、連続鑄造方式であれば、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、AⅠ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。

[0056] 溶体化熱処理されたAⅠ合金において析出を促進するために、析出熱処理を施してよい。析出熱処理を行う場合、溶融凝固や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。析出物の形成が進行するため、所定の機械的特性を得るために熱処理条件を適正化することが望ましい。

[0057] 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もよい。具体的には例えば、250℃で3時間の条件、350℃で30分

間の条件などが挙げられる。あるいは、加工された細径の状態連続的に析出熱処理を行う場合、析出熱処理は、例えば、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1秒間、析出物の形成を促進する場合には500℃で40秒間加熱することなどが挙げられる。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AⅠ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。

[0058] AⅠ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、300～600℃の温度範囲で0.1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。

[0059] 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ってもよい。実装熱処理により、AⅠ配線材中に添加元素が含まれる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。

[0060] 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、175～400℃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。

[0061] 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。

[0062] 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用いてよい。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。

[0063] [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。

[0064] 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、装置への設置・接続時の作業性や接合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、又は該熱処理を必要とすることなく、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。

[0065] 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A

Ⅰ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群元素及び第2群元素、さらに必要に応じて第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。

[0066] 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、先述の添加元素が含まれる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。

[0067] 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。

[0068] 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

[0069] 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。

[0070] （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AⅠと、純度99.9質量%以上のMg、Si、Sc、Er、Yb、Gd、Ce、Y、Zr、Fe、Ni、Mn、Cu、Znを原料として溶解し、表1及び表2に示す組成のAⅠ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2 mmの段階で、析出熱処理を300～500℃の範囲で1～30分間行った。その後、最終線径を300 μm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。

[0071] [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。

[0072] <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2 μm）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Al配線材との間の第1接続部、外部端子とAl配線材との間の第2接続部ともに、ウェッジ接合とした。各実施例について、（1）200℃で30分間、又は、（2）175℃で30分間の条件で実装熱処理を行った。

[0073] <接合性の評価>

－接合強度－

半導体装置におけるAl配線材の接合強度については、第1接続部の初期（パワーサイクル試験前）のシェア強度S1を測定した（評価数N=20）。S1値が9 N以上であれば接合強度が良好であるため「○」とし、7 N以上9 N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、7 N未満であれば接合性に劣るため「×」として、表1及び表2の「接合強度」欄に記載した。

[0074] －有効接合面積比－

半導体装置におけるAl配線材の有効接合面積比（R値）は、シェア強度

S 1 を測定した第 1 接続部について、その破断した被接続電極を光学顕微鏡または SEM で観察した。そして、画像解析により、接合面積 M 1 と、接合時に電極は変形しているが金属接合が得られていないと判断される未接合面積 M 3 とを測定し、金属接合が得られている面積 M 2 ($=M 1 - M 3$) を算出した。R 値は、M 1 に占める M 2 の割合 ($M 2 / M 1$) として求めた。R 値が 0.9 以上であれば接合性が良好であるため「○」とし、0.7 以上 0.9 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、0.7 未満であれば接合性に劣るため「×」として、表 1 及び表 2 の「有効接合面積比」欄に記載した。

[0075] チップダメージ

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。

[0076] <高温信頼性の評価>

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、A 1 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 2.5 秒間かけて冷却する。この加熱・冷却のサイクルを繰り返す。200℃で 30 分間の実装熱処理を実施した半導体装置に関しては、上記サイクルを 5 万回繰り返したものと 10 万回繰り返したものの両方について評価した。175℃で 30 分間の実装熱処理を実施した半導体装置に関しては、上記サイクルを 5 万回繰り返したものについて評価した。

[0077] 上記パワーサイクル試験の後、第 1 接続部の接合シヤ強度を測定し、接続部の高温信頼性の評価を行った。初期の接続部のシヤ強度 S 1 に対する

、パワーサイクル試験後のシェア強度 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「接続部の高温信頼性」欄に記載した。

[0078] A I 配線材の製造条件、評価結果を表 1 及び表 2 に示す。

[0079]

[表1]

(表1)	第1群元素 (質量%)					第2群元素 (質量%)					第3群元素 (質量%)					A型焼口の熱処理		接線部の高温信頼性			接合性	
																溶体化 熱処理 (℃)	析出 熱処理 (℃)	5万回 実熱処理 200℃-30分	10万回 175℃-30分	5万回 同左	接合強度	有効寿命 信頼比
	Mg	Si	Mg+Si	Sc	Er	Yb	Gd	Ce	Y	Zr	Fe	Ni	Mn	Cu	Zn							
1	0.1	0.1	0.2	0.005							0.03	0.005				580	300	◎	◎	◎	◎	◎
2	0.2	0.1	0.3	0.001						0.03						620	—	◎	◎	◎	◎	◎
3	0.5	0.5	1.0	0.02						0.1						620	400	◎	◎	◎	◎	◎
4	1.2	0.7	1.9	0.3												620	420	◎	◎	◎	◎	◎
5	2.0	1.0	3.0	0.1												620	450	◎	◎	◎	◎	◎
6	0.3	0.4	0.8	0.1								0.005	0.3			600	300	◎	◎	◎	◎	◎
7	0.1	0.1	0.2	0.03								0.01			0.3	620	350	◎	◎	◎	◎	◎
8	0.1	0.08	0.18	0.003									0.01			620	350	◎	◎	◎	◎	◎
9	0.14	0.2	0.34	0.06						0.05						600	400	◎	◎	◎	◎	◎
10	0.6	0.4	1.0	0.3							0.1					—	400	400	◎	◎	◎	◎
11	1.2	0.7	1.9	0.1									0.1	0.25		600	400	◎	◎	◎	◎	◎
12	0.5	0.5	1.0	0.2									0.1			620	—	◎	◎	◎	◎	◎
13	0.12	0.05	0.17		0.08								0.3			550	450	◎	◎	◎	◎	◎
14	0.3	0.4	0.7		0.003						0.2					600	400	◎	◎	◎	◎	◎
15	1.2	0.7	1.9		0.2					0.01				0.1		600	330	◎	◎	◎	◎	◎
16	0.2	0.3	0.5		0.1						0.4					600	330	◎	◎	◎	◎	◎
17	0.1	0.1	0.2		—											—	500	◎	◎	◎	◎	◎
18	0.4	0.3	0.7		0.1					0.05						620	400	◎	◎	◎	◎	◎
19	1.2	0.7	1.9									0.02				620	300	◎	◎	◎	◎	◎
20	1.1	0.5	1.6				0.004	0.03				0.04				600	500	◎	◎	◎	◎	◎
21	0.5	0.5	1.0								0.3			0.1		600	400	◎	◎	◎	◎	◎
22	0.2	0.2	0.4					0.3					0.2		0.2	600	300	◎	◎	◎	◎	◎
23	0.4	0.2	0.6						0.05	0.08				0.3		600	350	◎	◎	◎	◎	◎
24	0.4	0.5	0.9								0.4					600	300	◎	◎	◎	◎	◎
25	0.8	0.4	1.2						0.2			0.03			0.1	600	300	◎	◎	◎	◎	◎

[0080]

[表2]

(表2)		第1群元素 (質量%)				第2群元素 (質量%)						第3群元素 (質量%)						A型融材の熱処理				接合部の高温信頼性				接合性	
		Mg		Si	Mg/Si	Sc	Er	Yb	Gd	Ce	Y	Zr	Fe	Ni	Mn	Cu	Zn	溶体化熱処理 (°C)	析出熱処理 (°C)	5万回実装熱処理 200°C-30分	10万回実装熱処理 175°C-30分	同左 175°C-30分	接合状態	有効寿命 面積比	チップ サイズ		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15											
実 施 例	26	0.05	0.05	0.1	0.03	0.02						0.05					620	400	③	③	③	○	○	○			
	27	0.15	0.02	0.17			0.001										620	300	③	③	③	○	○	○			
	28	0.4	0.5	0.9				0.2				0.4					640	450	③	③	③	○	○	○			
	29	1.0	0.8	1.8		0.2											640	400	③	③	③	○	○	△			
	30	2.5	0.5	3.0	0.03			0.02							0.3		640	400	③	③	③	○	○	○			
比 較 例	31	0.3	0.2	0.5	0.1				0.1			0.2	0.08				620	350	③	③	③	○	○	○			
	32	0.6	0.6	1.2					0.05		0.1	0.3	0.03			0.05	620	400	③	③	③	○	○	○			
	33	0.5	0.3	1.0			0.1		0.2	0.1				0.2	0.2	0.1	640	400	③	③	③	○	○	△			
	1	0.2	0.2	0.4													640	300	x	x	x	x	x	△			
	2	0.3	0.2	0.5							0.1						640	400	x	x	x	x	x	△			
比 較 例	3	0.1	0.1	0.2													640	400	x	x	x	x	x	△			
	4	0.06	0.03	0.09		0.03											640	400	x	x	x	x	x	△			
	5	0.16	0.01	0.19			0.02										640	400	x	x	x	x	x	△			
	6	2.4	0.7	3.1		0.02						0.1					640	400	△	x	x	x	x	x			
	7	1.0	1.1	2.1	0.08												640	400	△	x	x	x	x	x			
	8	0.4	0.4	0.8		0.0004											640	400	x	x	x	x	x	△			
	9	0.4	0.4	0.8		0.17	0.17		0.18		0.1	0.2					640	400	△	x	x	x	x	△			
	10				0.02												640	400	x	x	x	x	x	△			
	11					0.01											640	400	x	x	x	x	x	△			
	12					0.1	0.02										640	400	x	x	x	x	x	△			

であり、良好な結果を示した。

実施例 2～4、6～10、12、14～16、18～25、27、28、30～33 の Al 配線材は、さらに Zr、Fe、Ni、Mn、Cu、Zn の含有量が本発明の好適範囲内にあり、接続後の熱処理（実装熱処理）を 175℃と低温で 30 分間実施した場合の高温信頼性の評価が◎であり、良好な結果を示した。

比較例 1～3、8 の Al 配線材は、Sc、Er、Yb、Gd、Ce、Y の含有量が本発明範囲の下限を外れており、また比較例 4、5、10～13 の Al 配線材は、Mg、Si の含有量（x1a、x1b、x1a+x1b の少なくとも一つ以上）が本発明範囲の下限を外れており、接続部の高温信頼性が×であった。比較例 6、7 の Al 配線材は、Mg、Si の含有量（x1a、x1b、x1a+x1b の少なくとも一つ以上）が本発明範囲の上限を外れており、比較例 9 の Al 配線材は、Sc、Er、Yb、Gd、Ce、Y の含有量が本発明範囲の上限を外れており、チップダメージが×であった。

なお、実施例 1～33 に係る Al 配線材に関しては、接続後の実装熱処理を実施しない場合にも、高温信頼性及び接合性において、比較例に比し良好な結果を奏することを確認した。

請求の範囲

- [請求項1] Mg及びSiを含有し、Mgの含有量を $x1a$ 〔質量%〕、Siの含有量を $x1b$ 〔質量%〕としたとき、
 $0.05 \leq x1a \leq 2.5$ 、
 $0.02 \leq x1b \leq 1$ 、
 $0.1 \leq (x1a + x1b) \leq 3$
であり、さらにSc、Er、Yb、Gd、Ce及びY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、
 $0.001 \leq x2 \leq 0.5$
であり、残部はAlを含む、Al配線材。
- [請求項2] さらにZr、Fe、Ni、Mn、Cu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、
 $0.01 \leq x3 \leq 0.5$
である、請求項1に記載のAl配線材。
- [請求項3] ボンディングワイヤである、請求項1又は2に記載のAl配線材。
- [請求項4] 請求項1～3の何れか1項に記載のAl配線材を含む半導体装置。