

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、配線材の接合部は 150°C 以上の高温にさらされる場合もある。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4には、0.01~0.2重量%の鉄(F e)と1~20重量p p mのS iを含有し、F eの固容量が0.01~0.06重量%であり、F eの析出量が固容量の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

- [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
特許文献4：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

- [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。）、A l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、作動サイクルに伴う温度変化に伴い、A l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、A l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 l配線材が被接続部材から剥離するなどして接合信頼性は損なわれる場合があった。
- [0007] 他方、高温環境下におけるA l配線材の軟化を抑制する方法として、A l配線材に他元素を添加して結晶粒の粗大化を抑制し、A l配線材を高強度化

させる方法が考えられる。A I 配線材について、結晶粒の粗大化を抑制するには、S c や N i 、 F e といった元素を添加することが効果的であるが、これらの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 配線材を被接続部材と接続する際に被接続部材が損傷したり（以下、斯かる現象を「チップクラック」ともいう。）する場合がある。また、これらの添加元素が A I との間で形成した金属間化合物が凝集し粗大化すると、ボンドクラックやヒールクラックの発生・進展に悪影響を及ぼす（すなわち、クラックの発生・進展を加速させる）場合もある。

[0008] A I に他元素を添加し高強度化された A I 配線材については幾つか報告されているものの、製造時の歩留まり低下を抑制しつつ、チップクラックの抑制と、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）とを両立させることには、改善の余地があった。

[0009] 本発明は、製造時の歩留まり低下を抑制しつつ、チップクラックの抑制と、熱衝撃耐性とを両立した 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

[0010] 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] 少なくとも S c と Z r を含有し、S c の含有量を x_1 [重量%]、Z r の含有量を x_2 [重量%] としたとき、

$0.01 \leq x_1 \leq 0.5$ 、及び

$0.01 \leq x_2 \leq 0.3$

を満たし、残部は A I を含む、A I 配線材。

[2] さらに N i を含有し、その含有量を x_3 [重量 ppm] としたとき、 $10 \leq x_3 \leq 500$ を満たす、[1] に記載の A I 配線材。

[3] x_1 と x_2 が $x_2 / x_1 > 0.5$ の関係を満たす、[1] 又は [2]

」に記載のAⅠ配線材。

〔4〕 AⅠ配線材の長手軸線部のビッカース硬度が40HV以下である、
〔1〕～〔3〕の何れかに記載のAⅠ配線材。

〔5〕 580～640℃にて30秒間以下の調質熱処理に付されてなる、
〔1〕～〔4〕の何れかに記載のAⅠ配線材。

〔6〕 AⅠ以外の金属を主成分とする被覆を有していない、〔1〕～〔5〕
の何れかに記載のAⅠ配線材。

〔7〕 ボンディングワイヤである、〔1〕～〔6〕の何れかに記載のAⅠ
配線材。

〔8〕 被接続部材との接続後に250～400℃にて30～60分間の時
効熱処理に付される、〔1〕～〔7〕の何れかに記載のAⅠ配線材。

〔9〕 〔1〕～〔8〕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

〔0011〕 本発明によれば、製造時の歩留まり低下を抑制しつつ、チップクラックの
抑制と、熱衝撃耐性とを両立したAⅠ配線材を提供することができる。

発明を実施するための形態

〔0012〕 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。

〔0013〕 [AⅠ配線材]

本発明のAⅠ配線材は、少なくともスカンジウム（Sc）とジルコニウム
（Zr）を含有し、Scの含有量を x_1 〔重量％〕、Zrの含有量を x_2 〔
重量％〕としたとき、 $0.01 \leq x_1 \leq 0.5$ 、及び $0.01 \leq x_2 \leq 0.3$
を満たすことを特徴とする。

〔0014〕 Scは、AⅠ配線材の再結晶温度を上昇させ、半導体装置を高温環境で使
用し続けたときにおいても、結晶粒の粗大化を抑制しAⅠ配線材の強度を維
持することに寄与する。Scの添加量が多いほど、高温環境下における結晶
粒の粗大化は抑制される傾向にあるが、先述のとおり、Scの添加量が高ま
ると、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
線材を被接続部材と接続する際にチップクラックが生じたりする場合がある

。また、ScとAlとの間で形成した金属間化合物が凝集し粗大化すると、ボンドクラックやヒールクラックの発生・進展に悪影響を及ぼす（すなわち、クラックの発生・進展を加速させる）場合もある。これに対し、Scを0.01～0.5重量%の範囲で含有すると共に、Zrを0.01～0.3重量%の範囲で含有する本発明のAl配線材は、高温環境下における結晶粒の粗大化を抑制し得るというScの効果はそのままに、Al配線材の接続以前においては適度な強度・硬度を呈し、製造時の歩留まり低下や接続時のチップクラックの発生を抑制し得る。加えて、本発明のAl配線材は、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ける使用に際しても、AlとScとの金属間化合物の凝集・粗大化を抑制し、ボンドクラックやヒールクラックの発生・進展を著しく抑制することが可能である。このように、本発明のAl配線材は、製造時の歩留まり低下を抑制しつつ、チップクラックの抑制と、熱衝撃耐性とを両立したものであり、装置の作動サイクルに伴う温度変化の著しい半導体装置の長期的な作動信頼性の向上に著しく寄与するものである。

[0015] －Sc（第1元素）－

本発明のAl配線材は、第1元素として、Scを0.01～0.5重量%の範囲にて含有する。すなわち、Al配線材中のScの含有量を $\times 1$ 〔重量%〕としたとき、 $0.01 \leq \times 1 \leq 0.5$ を満たす。

[0016] 高温環境下における結晶粒の粗大化を抑制しAl配線材の強度を維持する観点から、Al配線材中のScの含有量、すなわち $\times 1$ は、0.01重量%以上であり、好ましくは0.02重量%以上、0.03重量%以上、0.04重量%以上又は0.05重量%以上である。

[0017] Scの含有量 $\times 1$ の上限は、製造時の歩留まり低下と接続時のチップクラックを抑える観点から、0.5重量%以下であり、好ましくは0.48重量%以下、0.46重量%以下、0.45重量%以下、0.44重量%以下、0.42重量%以下又は0.4重量%以下である。

[0018] －Zr（第2元素）－

本発明のAⅠ配線材は、第2元素として、Zrを0.01~0.3重量%の範囲にて含有する。すなわち、AⅠ配線材中のZrの含有量を x_2 〔重量%〕としたとき、 $0.01 \leq x_2 \leq 0.3$ を満たす。

[0019] ZrをScと組み合わせて含有することによって、本発明のAⅠ配線材は、製造時の歩留まり低下を抑制しつつ、チップクラックの抑制と、熱衝撃耐性とを両立することができる。ここで、AⅠ配線材の強度向上のみに着目すれば、Scを単独で含有する場合やZrを単独で含有する場合であっても或る程度達成し得るが、チップクラックの抑制と熱衝撃耐性の両立は、ScとZrを組み合わせて含有させる場合において特異的に格別高いレベルにて達成される。

[0020] Scとの組み合わせにおいて特に優れた熱衝撃耐性を実現する観点から、AⅠ配線材中のZrの含有量、すなわち x_2 は、0.01重量%以上であり、好ましくは0.02重量%以上、0.03重量%以上、0.04重量%以上又は0.05重量%以上である。

[0021] Zrの含有量 x_2 の上限は、製造時の歩留まり低下と接続時のチップクラックを抑える観点から、0.3重量%以下であり、好ましくは0.28重量%以下、0.26重量%以下、0.25重量%以下、0.24重量%以下、0.22重量%以下又は0.2重量%以下である。

[0022] Scの含有量 x_1 〔重量%〕とZrの含有量 x_2 〔重量%〕の比 x_2/x_1 は、 x_1 及び x_2 の各々が上記好適範囲にある限り特に限定されず、例えば0.05以上、0.1以上、0.2以上などとし得る。とりわけ長期にわたって優れた熱衝撃耐性を呈するAⅠ配線材を実現し得る観点から、 x_1 と x_2 は、 $x_2/x_1 > 0.5$ の関係を満たすことが好ましく、より好ましくは $x_2/x_1 \geq 0.55$ 、 $x_2/x_1 \geq 0.6$ 、 $x_2/x_1 \geq 0.65$ 、 $x_2/x_1 \geq 0.7$ 、 $x_2/x_1 \geq 0.75$ 、又は $x_2/x_1 \geq 0.8$ の関係を満たす。斯かる x_2/x_1 比の上限は、 x_1 及び x_2 の各々が上記好適範囲にある限り特に限定されないが、高温環境下において所期の強度を呈するAⅠ配線材を実現し易い観点から、好ましくは10以下（すなわち、 $10 \geq$

$\times 2 / \times 1$)、8以下、6以下又は5以下とし得る。 $\times 2 / \times 1$ 比が上記の好適範囲内であると、特に $0.15 \leq \times 1$ の場合に、上記効果の恩恵をより享受することができる。

[0023] —Ni(第3元素)—

本発明のAl配線材は、さらにNiを含有してよい。ScとZrに加えて、Niを含有することにより、耐食性を向上させ得ると共に、高温環境下における結晶粒の粗大化をより一層抑制しAl配線材の強度を高いレベルにて維持することができる。

[0024] Al配線材中のNiの含有量は10～500重量ppmの範囲としてよい。すなわち、Al配線材中のNiの含有量を $\times 3$ [重量ppm]としたとき、 $10 \leq \times 3 \leq 500$ を満たしてよい。

[0025] 優れた耐食性を実現すると共に、高温環境下における結晶粒の粗大化を抑制しAl配線材の強度を維持する観点から、Al配線材中のNiの含有量、すなわち $\times 3$ は、好ましくは10重量ppm以上、より好ましくは15重量ppm以上、20重量ppm以上、25重量ppm以上又は30重量ppm以上である。

[0026] Niの含有量 $\times 3$ の上限は、製造時の歩留まり低下と接続時のチップクラックを抑える観点から、好ましくは500重量ppm以下、より好ましくは450重量ppm以下、400重量ppm以下、350重量ppm以下、300重量ppm以下、250重量ppm以下、200重量ppm以下、150重量ppm以下又は100重量ppm以下である。

[0027] 本発明のAl配線材の残部は、Alを含む。Al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5N(Al:99.999重量%以上)以上のアルミニウムを用いることが好適である。本発明の効果を阻害しない範囲において、本発明のAl配線材の残部は、Al以外の元素を含有してよい。本発明のAl配線材の残部におけるAl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重量%以上、98.5重量%以上、99重量%以上、99.5重量%以上、99.6重量%以上

上、99.7重量%以上、99.8重量%以上、又は99.9重量%以上である。好適な一実施形態において、本発明のAl配線材の残部は、Al及び不可避不純物からなる。

[0028] 製造時の歩留まり低下を抑制しつつ、チップクラックの抑制と、熱衝撃耐性とを高いレベルにて両立し得るAl配線材として、特に好適な実施形態を以下に示す。

[0029] 特に好適な一実施形態において、本発明のAl配線材は、ScとZrを含有し、Scの含有量を x_1 [重量%]、Zrの含有量を x_2 [重量%]としたとき、 $0.01 \leq x_1 < 0.15$ 、及び $0.01 \leq x_2 \leq 0.3$ を満たし、残部がAl及び不可避不純物からなることを特徴とする。以下、斯かる実施形態を「第1実施形態」ともいう。

[0030] 他の特に好適な一実施形態において、本発明のAl配線材は、ScとZrとNiを含有し、Scの含有量を x_1 [重量%]、Zrの含有量を x_2 [重量%]、Niの含有量を x_3 [重量ppm]としたとき、 $0.01 \leq x_1 < 0.15$ 、 $0.01 \leq x_2 \leq 0.3$ 、 $10 \leq x_3 \leq 500$ を満たし、残部がAl及び不可避不純物からなることを特徴とする。以下、斯かる実施形態を「第2実施形態」ともいう。

[0031] 他の特に好適な一実施形態において、本発明のAl配線材は、ScとZrを含有し、Scの含有量を x_1 [重量%]、Zrの含有量を x_2 [重量%]としたとき、 $0.15 \leq x_1 \leq 0.5$ 、及び $0.01 \leq x_2 \leq 0.3$ を満たし、残部がAl及び不可避不純物からなることを特徴とする。以下、斯かる実施形態を「第3実施形態」ともいう。

[0032] 他の特に好適な一実施形態において、本発明のAl配線材は、ScとZrとNiを含有し、Scの含有量を x_1 [重量%]、Zrの含有量を x_2 [重量%]、Niの含有量を x_3 [重量ppm]としたとき、 $0.15 \leq x_1 \leq 0.5$ 、 $0.01 \leq x_2 \leq 0.3$ 、 $10 \leq x_3 \leq 500$ を満たし、残部がAl及び不可避不純物からなることを特徴とする。以下、斯かる実施形態を「第4実施形態」ともいう。

- [0033] とりわけ長期にわたる熱衝撃耐性に優れるAⅠ配線材を実現し得る観点から、上記第3及び第4実施形態、特に第3実施形態では、S_cの含有量×1〔重量%〕とZ_rの含有量×2は、 $x2/x1 > 0.5$ の関係を満たすことが好ましい。斯かる比 $x2/x1$ の好適範囲は先述のとおりである。
- [0034] AⅠ配線材中のS_c、Z_r、Ni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。
- [0035] 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重量%以上である被覆をいう。
- [0036] 本発明のAⅠ配線材は、AⅠボンディングワイヤであってもよく、AⅠボンディングリボンであってもよい。本発明のAⅠ配線材が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、50～600μmであってよい。本発明のAⅠ配線材が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×t）は、特に限定されず、例えば、wは100～3000μmであってよく、tは50～600μmであってよい。
- [0037] 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。例えば、S_c、Z_r及び含有する場合にはNi等の含有量が上記特定範囲となるように、アルミニウム原料と、S_c、Z_r及び含有する場合にはNi等の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インゴットを得る。あるいは、S_c、Z_r、Ni等の原料としては、それら元素を含む母合金を用いてもよい。このインゴットを最終寸法となるまで加工して、AⅠ配線材を形成することができる。S_c、Z_r及び含有する場合にはNi等の含有量が上記特定範囲にある本発明のAⅠ配線材では、断線

や傷の発生を量産に問題無いレベルに抑えつつ製造（加工）することができる。

[0038] 加工の途中、あるいは加工終了後に、S c、Z r及び含有する場合にはN i等を固溶させるため、溶体化熱処理を行うと好ましい。溶体化熱処理の条件は、例えば、570～640℃で30分間～3時間としてよい。なお、先述の第1、第2実施形態において、 x_2 が $0.01 \leq x_2 \leq 0.15$ を満たす場合には、インゴット製造時にS c、Z r等を全て固溶させることができるため、溶体化熱処理は特に実施しなくてもよい。

[0039] 以下、A lボンディングワイヤの製造に即してさらに説明する。

加工終了後であって、上記溶体化熱処理を実施した場合はその後の段階で、ワイヤ軟質化のための調質熱処理を行う。加工途中で調質熱処理を付加しても良い。調質熱処理によって、ワイヤの結晶組織を、加工組織から再結晶組織に変化させる。これにより、結晶組織が再結晶組織となるため、ワイヤの軟質化を実現することができる。調質熱処理の温度条件としては、例えば、送線速度一定で炉内温度のみを変更して調質したワイヤの引張強度を確認し、該引張強度が60～140MPaの範囲となるように熱処理温度を決定すればよい。熱処理温度は、例えば、580～640℃の範囲としてよい。好適な一実施形態において、調質熱処理の時間は30秒間以下（より好ましくは25秒間以下又は20秒間以下）である。斯かる短時間の調質熱処理を行うことにより、先述の第3、第4実施形態のようにS c含有量が比較的高い場合であっても、金属間化合物の析出なしに結晶組織を再結晶組織に変化させることができる。

[0040] 本発明のA l配線材においては、好ましくは、その製造過程で溶体化処理を行うことにより、S c、Z r、含有する場合にはN i等、及びそれらの金属間化合物が析出していない。したがって、好適な一実施形態に係るA l配線材において、A l配線材中のS c及びZ rの合計含有量を100重量%としたとき、金属間化合物相として、A lと分離した相に存在するS c及びZ rの合計量は、好ましくは5重量%以下、より好ましくは4重量%以下、3

重量%以下、2重量%以下又は1重量%以下である。AⅠ配線材において金属間化合物相に存在するSc及びZrの合計量は、AⅠ配線材の電解抽出残渣の化学分析により測定することができる。

[0041] Sc及びZrが固溶され、また結晶組織を再結晶組織とすることにより、AⅠ配線材は適度な硬さを呈することとなる。本発明のAⅠ配線材において、その長手軸線部（長手方向における軸線部；すなわち、AⅠ配線材の中心部）のビッカース硬度は40HV以下である。ここで、AⅠ配線材の長手軸線とは、AⅠ配線材がAⅠボンディングワイヤである場合はその中心軸線を、また、AⅠ配線材が矩形又は略矩形の断面（ $w \times t$ ）を有するAⅠボンディングリボンである場合は w の中心かつ t の中心を満たす中心軸線を意味する。本発明のAⅠ配線材は、被接続部材への接続の時点においては、このように適度な硬さを有することから、チップクラックの発生を抑制し得る。AⅠ配線材のビッカース硬度は、後述の「ビッカース硬度の測定」に記載の方法により測定することができる。

[0042] 本発明のAⅠ配線材において、ワイヤ長手方向に垂直な断面（C断面）における平均結晶粒径は、好ましくは1～50 μm である。平均結晶粒径が1 μm 以上であれば、加工時の調質熱処理による再結晶化が適度に進行しており、AⅠ配線材の製造過程で溶体化熱処理を行って含有成分を強制固溶することと相まって、AⅠ配線材が軟化し、ボンディング時のチップクラックの発生、接合部の接合性の低下などを防止することができる。一方、平均結晶粒径が50 μm を超えると、AⅠ配線材の再結晶化が進行しすぎていることを示し、接合部の信頼性が低下する恐れがある。加工の過程で調質熱処理を行うことにより、AⅠ配線材のC断面における平均結晶粒径を1～50 μm とし易い。平均結晶粒径は、EBSD（Electron Back Scatter Diffraction Patterns）などの測定方法を用いて各結晶粒の面積を求め、各結晶粒の面積を円に見なした時の直径の平均とする。AⅠ配線材のC断面の平均結晶粒径は、後述の「C断面の平均結晶粒径の測定」に記載の方法により測定することができる。

- [0043] 本発明のAl配線材の比抵抗は、好ましくは $3.6 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 以下である。また、本発明のAl配線材を 300°C 、30分間の熱処理に付したとき、その比抵抗は、好ましくは $3.0 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ 以下である。本発明のAl配線材はこのように比抵抗が低いことから、装置作動時の発熱量を低減でき、（１）再結晶化とAl配線材の軟化、（２）クラックの発生・進展を抑えることができ、半導体装置の長期作動時においても接合信頼性を担保させ得る。Al配線材の比抵抗は、直流4端子測定法により測定することができる。例えば、抵抗計として日置電機株式会社製RM3544-01を用い、試料長さ400mm、測定電流1mAの条件にて測定することができる。測定回数は5回とし、その算術平均値を各試料の比抵抗値として求めることができる。
- [0044] 本発明のAl配線材は、Sc、Zr及び含有する場合にはNi等を上記特定量にて含有すると共に、固溶強化と配線材製造過程の熱処理による組織制御の働きによって、適度な強度を呈する。例えば、本発明のAl配線材は、 $50 \sim 130 \text{ MPa}$ の破断強度を呈し得る。Al配線材の破断強度は、後述の「機械的特性の測定」に記載の方法により測定することができる。
- [0045] 本発明のAl配線材と被接続部材との接続は、半導体チップ上電極との第1接続と、リードフレームや回路基板（単に「基板」ともいう。）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する。被接続部材との接続後に、Al配線材を含む半導体装置の時効熱処理を行うことが好ましい。時効熱処理の結果として、Al配線材中のSc及びZrはAlとの間で金属間化合物 $\text{Al}_3(\text{Sc}_x, \text{Zr}_{1-x})$ （式中、 x は $0 < x < 1$ を満たす。以下、同じである。）を形成し、該金属間化合物の微細な相が析出する。Al配線材中に斯かる微細相が形成された結果として、Al配線材が析出強化され、その強度が増大する。時効熱処理条件としては、金属間化合物 $\text{Al}_3(\text{Sc}_x, \text{Zr}_{1-x})$ の微細相を形成し得る限り特に限定されないが、例えば、 $250 \sim 400^\circ\text{C}$ 、30～60分間が好適である。なお、Al配線材にSc、Zrをそれぞれ単独で添加する場合等は、金属間化合物としてそれぞれ Al_3Sc

、 Al_3Zr が形成される。これら Al_3Sc 、 Al_3Zr の微細相も、析出強化によりAl配線材の強度を増大させる効果は奏するものの、本発明者らは、これら Al_3Sc 、 Al_3Zr の微細相に比し $\text{Al}_3(\text{Sc}_x, \text{Zr}_{1-x})$ の微細相は凝集、粗大化の速度が顕著に低く、その上、Al（母相）の結晶粒の粗大化も顕著に抑制し得ることから、長期にわたって格別優れた熱衝撃耐性を実現し得ることを見出したものである。

[0046] したがって、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Al配線材により接続する工程、及び

(B) Al配線材による接続の後、時効熱処理を行う工程を包含する。

[0047] 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を用いてよい。また、工程(A)で用いる本発明のAl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する。

[0048] 工程(B)において、Al配線材中のSc及びZrはAlとの間で金属間化合物 $\text{Al}_3(\text{Sc}_x, \text{Zr}_{1-x})$ を形成し、該金属間化合物の微細な相が析出する。

[0049] [半導体装置]

本発明のAl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。

[0050] 本発明の半導体装置は、本発明のAl配線材を含む。本発明のAl配線材は、製造時の歩留まり低下を抑制しつつ、チップクラックの抑制と、熱衝撃耐性とを両立したものであり、該Al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。

[0051] 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、Sc、Zr及び含有する場合にはNi等の含有量が先述の好適範囲にある限りにおいて、Sc、Zr及び含有する場合にはNi等の少なくとも一部がAⅠとの間で金属間化合物を形成している場合も包含することに留意されたい。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、金属間化合物相として、AⅠと分離した相に存在するSc及びZrの合計量を好適な範囲に維持することができ、金属間化合物を微細な相のまま維持することが可能である。

[0052] 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。

[0053] 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

[0054] 純度5N（99.999重量%以上）のアルミニウムと、純度99.9重量%以上のSc、Zr、Niを原料として熔融し、表1に示す組成のAⅠインゴットを得た。該インゴットを押し出し加工、スエーピング加工した後、

580℃で2時間の熱処理を施し、さらに伸線加工を行った。線径が1mmの段階で、580℃、1時間の溶体化熱処理を行い、急冷（水冷）した。その後、最終線径を200μmとしてダイス伸線加工を行い、伸線加工終了後に15秒間の熱処理時間において引張強度が120MPaとなるように調質熱処理を行い、A1配線材を得た。

[0055] [元素含有量の測定]

A1配線材中のSc、Zr及びNi等の含有量は、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。

[0056] [ビッカース硬度の測定]

A1配線材の長手軸線部のビッカース硬度は、マイクロビッカース硬度計（（株）ミットヨ製「HM-200」）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。

[0057] [C断面の平均結晶粒径の測定]

C断面の平均結晶粒径の測定は、EBSD法（測定装置 オックスフォード・インストルメンツ（株）製EBSD分析システム「AZtec HKL」）を用いて測定した。詳細には、C断面の全体について各結晶粒の面積を求め、各結晶粒の面積を円の面積に換算してその直径の平均を算出し、これを平均結晶粒径として採用した。なお、各結晶粒の面積は、隣り合う測定点間の方位差が15度以上の位置を粒界と定義して求めた。

[0058] [機械的特性の測定]

A1配線材の破断強度は、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の条件で引っ張り、測定した。測定は5回実施し、その平均値をそのサンプルの破断強度として採用した。

[0059] <断線率の評価>

断線率 [回/km] は、線径 1 mm から 200 μ m までダイス伸線加工した際の断線回数 (N [回]) と、ダイス伸線加工後の Al 配線材 (線径 200 μ m) の長さ (L [km]) とに基づき、式: N/L により算出した。

[0060] 半導体装置において、半導体チップの電極は Al-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 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。接続の後に、300℃、30 分間の時効熱処理を行った。

[0061] <チップダメージの評価>

半導体装置におけるチップクラックは、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 の「チップダメージ」欄に記載した。

[0062] <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、Al 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 Al 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。

[0063] 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、接続部信頼性の評価を行った。シヤ強度測定は初期の接続部のシヤ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 の「熱衝撃試験」欄に記載した。

[0064] 製造条件、製造結果を表 1 に示す。表 1 において、添加元素の含有量が本発明の範囲から外れる数値に下線を付している。

[0065] [表1]

(表1)

	No.	成分含有量			溶体化処理	接合後 時効処理	破断強度 (MPa)	硬度 Hv	断線率 (回数/km)	チップ ダメージ	熱衝撃試験
		Sc (wt.%)	Zr (wt.%)	Ni (wt.ppm)							
本 発 明 例	1	0.01	0.01	—	無	有	72	22	0.01	◎	○
	2	0.01	0.13	—	無	有	75	23	0.01	◎	◎
	3	0.02	0.16	—	有	有	74	21	0.01	○	◎
	4	0.02	0.22	—	有	有	74	21	0.01	○	◎
	5	0.01	0.29	—	有	有	76	24	0.01	○	◎
	6	0.14	0.01	—	無	有	79	23	0.01	◎	◎
	7	0.14	0.14	—	無	有	77	24	0.01	◎	◎
	8	0.14	0.16	—	有	有	79	25	0.01	○	◎
	9	0.13	0.21	—	有	有	76	24	0.01	○	◎
	10	0.15	0.3	—	有	有	90	28	0.01	○	◎
	11	0.17	0.09	—	有	有	82	26	0.01	○	◎
	12	0.16	0.14	—	有	有	80	26	0.01	○	◎
	13	0.17	0.17	—	有	有	74	26	0.01	○	◎
	14	0.16	0.21	—	有	有	85	29	0.01	○	◎
	15	0.16	0.3	—	有	有	80	26	0.01	○	◎
	16	0.31	0.16	—	有	有	85	27	0.01	○	◎
	17	0.33	0.2	—	有	有	84	26	0.01	○	◎
	18	0.34	0.3	—	有	有	89	26	0.01	○	◎
	19	0.39	0.23	—	有	有	91	27	0.02	○	◎
	20	0.41	0.3	—	有	有	96	29	0.02	○	◎
	21	0.49	0.23	—	有	有	101	32	0.03	○	◎
	22	0.5	0.3	—	有	有	109	33	0.03	○	◎
	23	0.01	0.01	429	無	有	120	35	0.04	◎	◎
	24	0.02	0.14	98	無	有	80	24	0.02	◎	◎
	25	0.04	0.1	43	無	有	79	23	0.01	◎	◎
	26	0.01	0.16	500	有	有	122	36	0.04	○	◎
	27	0.01	0.2	257	有	有	103	30	0.03	○	◎
	28	0.02	0.24	33	有	有	88	27	0.01	○	◎
	29	0.02	0.3	314	有	有	106	32	0.03	○	◎
	30	0.13	0.01	147	無	有	91	27	0.02	◎	◎
	31	0.14	0.14	169	無	有	94	28	0.02	◎	◎
	32	0.12	0.13	16	無	有	80	24	0.01	◎	◎
	33	0.14	0.16	227	有	有	104	31	0.03	○	◎
	34	0.14	0.2	359	有	有	120	34	0.03	○	◎
	35	0.14	0.3	37	有	有	88	26	0.02	○	◎
	36	0.15	0.08	48	無	有	85	26	0.01	◎	◎
	37	0.16	0.01	398	有	有	116	36	0.04	○	◎
	38	0.16	0.14	10	有	有	79	26	0.01	○	◎
	39	0.18	0.16	433	有	有	123	34	0.04	○	◎
	40	0.17	0.2	498	有	有	124	38	0.04	○	◎
	41	0.16	0.3	28	有	有	85	26	0.01	○	◎
	42	0.33	0.01	69	有	有	90	27	0.02	○	◎
	43	0.27	0.14	157	有	有	97	30	0.02	○	◎
	44	0.32	0.16	265	有	有	109	33	0.03	○	◎
	45	0.3	0.21	77	有	有	90	27	0.02	○	◎
	46	0.3	0.29	244	有	有	108	33	0.03	○	◎
	47	0.49	0.01	111	有	有	114	35	0.03	○	◎
	48	0.5	0.14	52	有	有	110	33	0.03	○	◎
	49	0.47	0.16	87	有	有	109	34	0.03	○	◎
	50	0.46	0.21	92	有	有	107	34	0.03	○	◎
	51	0.41	0.27	21	有	有	97	29	0.02	○	◎
	52	0.5	0.3	202	有	有	120	35	0.04	○	◎
	53	0.35	0.18	556	有	有	126	38	0.06	○	◎
比 較 例	1	0.12	—	68	無	有	82	25	0.02	◎	×
	2	—	0.07	44	無	有	75	22	0.01	◎	×
	3	0.21	0.008	154	有	有	94	28	0.02	○	×
	4	0.007	0.11	313	無	有	103	31	0.03	◎	×
	5	0.7	0.14	105	有	有	143	43	0.05	×	◎
	6	0.48	0.37	233	有	有	136	42	0.05	×	◎

[0066] 本発明例N o. 1～53はいずれも、Sc及びZrの含有量が本発明範囲内にあり、断線率、チップダメージ、熱衝撃試験のいずれも良好な結果であった。なお、本発明例N o. 1～9は第1実施形態に、本発明例N o. 10～22は第3実施形態に、本発明例N o. 23～35は第2実施形態に、本発明例N o. 36～53は第4実施形態にそれぞれ該当する。第3実施形態

に該当し且つ Z_r / S_c 重量比が 0.5 を超える本発明例 No. 10 ~ 20、22 は、熱衝撃試験において極めて良好な結果を示すことを確認した。なお、本発明例 No. 53 は、Ni の含有量が好適範囲の上限を外れており、断線率の値が他の本発明例と比較して高かった。

[0067] 比較例 No. 1、2 は、 S_c 及び Z_r の一方しか含有せず、熱衝撃試験が × であった。

比較例 No. 3、4 は、 S_c 又は Z_r の含有量が本発明範囲の下限を外れ、熱衝撃試験が × であった。

比較例 No. 5、6 は、 S_c 又は Z_r の含有量が本発明範囲の上限を外れ、チップダメージが × であった。

請求の範囲

- [請求項1] 少なくともScとZrを含有し、Scの含有量を x_1 〔重量％〕、Zrの含有量を x_2 〔重量％〕としたとき、
 $0.01 \leq x_1 \leq 0.5$ 、及び
 $0.01 \leq x_2 \leq 0.3$
を満たし、残部はAlを含む、Al配線材。
- [請求項2] さらにNiを含有し、その含有量を x_3 〔重量ppm〕としたとき、
 $10 \leq x_3 \leq 500$ を満たす、請求項1に記載のAl配線材。
- [請求項3] x_1 と x_2 が $x_2/x_1 > 0.5$ の関係を満たす、請求項1又は2に記載のAl配線材。
- [請求項4] Al配線材の長手軸線部のビッカース硬度が40Hv以下である、請求項1～3の何れか1項に記載のAl配線材。
- [請求項5] 580～640℃にて30秒間以下の調質熱処理に付されてなる、請求項1～4の何れか1項に記載のAl配線材。
- [請求項6] Al以外の金属を主成分とする被覆を有していない、請求項1～5の何れか1項に記載のAl配線材。
- [請求項7] ボンディングワイヤである、請求項1～6の何れか1項に記載のAl配線材。
- [請求項8] 被接続部材との接続後に250～400℃にて30～60分間の時効熱処理に付される、請求項1～7の何れか1項に記載のAl配線材。
- [請求項9] 請求項1～8の何れか1項に記載のAl配線材を含む半導体装置。