

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] 産業機器や電子部品において電氣的接続、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 l）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 l 線（円形）、A l 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によって接続している。パワー半導体装置においては、その材質として主にA l 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、 $300\mu\text{m}\phi$ のA l ボンディングワイヤを用いる例が示されている。A l ボンディングワイヤやA l 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、半導体チップ上の電極との第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] 上述したA l 線、A l 条、A l ボンディングワイヤ、A l ボンディングリボンなどを総称して、以下、A l 配線材という。

[0005] A l 配線材を用いたパワー半導体装置は、自動車用の制御機器、エアコンや太陽光発電システムなどの電子機器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、装置の作動時に、配線材と被接続部材との接合部は高温にさらされる。また、高電圧のO N／O F F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開示されている。特許文献3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重量ppm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ppm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6～12μm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

- [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。半導体装置などの電子部品に使用されるA l配線材では、半導体装置の小型化、高出力化を両立するために、複数の細径のA l配線材を同じ電極部に接合するといった厳しい要求がある。一方、高出力のパワーデバイス用途あるいはC u配線材を軽量化する代替用途な

どには、太径のＡＩ配線材が用いられる。太径のＡＩ配線材を接合する際は、その変形、接合でのばらつきが問題になることが多い。また、半導体チップ上の電極の材質には、ＡＩ、ニッケルパラジウム（Ｎｉ－Ｐｄ）、Ｃｕなどが主に用いられており、該電極部の膜厚が厚くなると、接合界面の強度を確保することが難しい場合が増えている。こうした、多様なＡＩ配線材の線径、電極の材質や膜厚などに適応するために、接合性の改善が求められる。

[0009] また、自動車向けのパワーデバイスの用途拡大などにより、ＡＩ配線材には、初期接合性と高温環境下での接合部の接合信頼性を向上することが求められている。半導体装置において、ＡＩ配線材は半導体チップ上の電極に接合され、ＡＩ配線材と電極との接合部の接合強度を高めることが重要である。ＡＩ配線材と電極との接合部の接合強度の評価には、接合部をせん断的に破断させるシエア試験で測定される接合強度（以下、「シエア強度」という。）が一般的に用いられる。シエア強度が高いことは望ましいが、シエア強度が高くても、高温環境下で剥離不良が生じ接合信頼性に劣る場合があることが確認されている。接合部をせん断的に破壊して測定されるシエア強度は、見掛けの接合強度の指標としては有効であるが、接合面積の比較的大きいＡＩ配線材の接合部に関しては、接合界面の状態をシエア強度により正確に把握することは難しい。

[0010] このようにＡＩ配線材の接合性に関して、通常の規準であるシエア強度を高めるだけでは、高温環境下で剥離不良が生じ接合信頼性に劣る場合がある。例えば、ＡＩ配線材にＮｉを添加することにより、高いシエア強度を呈する接合部が得られることが知られているが（特許文献３）、斯かる技術においても高温環境下で剥離不良が生じ接合信頼性に劣る場合がある。

[0011] そこで本発明者らは接合挙動と剥離不良との関係を調べた結果、接合部の界面に接合が不十分な領域が存在することが剥離不良の原因の一つであることを明らかにした。すなわち、剥離不良が発生するケースでは、シエア試験後の電極側の破断面を観察すると、接合部の一部に金属接合が得られていない未接合領域（以下、「中抜け」ともいう。）の発生頻度が高いことを見出

した。接合部に中抜けが増えることは、生産性を低下させる要因となることに加えて、半導体装置の作動時の温度変化により、未接合領域を起点にして亀裂が発生したり、さらに進行すると接合部が剥離したりするなど不良を誘発する。この点、接合時の中抜けの発生を低減すべく、接合時に加える荷重と超音波出力を増加させる方法が考えられるものの、斯かる方法では、半導体チップにクラックなどの損傷（以下、「チップ損傷」という。）を与えることが問題となる。

[0012] 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合部の接合信頼性を達成、改善することは難しくなっている。高温環境下での接合部の接合信頼性を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。急速な加熱と冷却の繰り返しにより、Al配線材の接合部での接合強度が低下したり、接合界面近傍で亀裂や剥離などの不良が発生したりすることが問題となる。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配線材の接合部で亀裂や剥離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。

[0013] 以上のとおり、Al配線材の接合性に関して、シェア強度を高めることに加えて、接合時の中抜けを減じて高温環境下での接合部の接合信頼性を向上させることが、自動車向けのパワーデバイスなどの機能、品質、信頼性などを高めるにあたり有益である。

[0014] 本発明は、半導体装置の作動時の高温環境下において接合部の接合信頼性が十分に得られるAl配線材を提供することを目的とする。

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Al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] Pd、Ptの1種以上を含有し、Pd、Ptの含有量をそれぞれ $x1a$ [質量ppm]、 $x1b$ [質量ppm]としたとき、

$3 \leq x1a \leq 90$ 又は $10 \leq x1b \leq 250$ を満たし、かつ

$3 \leq (x1a + x1b) \leq 300$ を満たし、

残部はAlを含む、Al配線材であって、

Al配線材の長手方向に垂直な断面における平均結晶粒径が $3 \sim 35 \mu m$ である、Al配線材。

[2] Al配線材の長手方向に垂直な断面において、該Al配線材の長手方向に対して角度差が 15° 以下である結晶方位 $\langle 111 \rangle$ の方位比率が0.5%以上35%以下である、[1]に記載のAl配線材。

[3] 引張強度が25MPa以上95MPa以下である、[1]又は[2]に記載のAl配線材。

[4] さらにMg、Mn、Cuの1種以上を含有し、その含有量の総計を $x2$ [質量ppm]としたとき、

$200 \leq x2 \leq 6000$ を満たす、[1]～[3]の何れかに記載のAl配線材。

[5] さらにFe、Si、Niの1種以上を含有し、その含有量の総計を $x3$ [重量ppm]としたとき、

$10 \leq x3 \leq 2000$ を満たす、[1]～[4]の何れかに記載のAl配線材。

[6] Alの含有量が98質量%以上である、[1]～[5]の何れかに記載のAl配線材。

[7] 残部がAlと不可避不純物からなる、[1]～[6]の何れかに記載のAl配線材。

[8] [1]～[7]の何れかに記載のAl配線材を含む半導体装置。

発明の効果

[0016] 本発明によれば、半導体装置の作動時の高温環境下において接合部の接合信頼性が十分に得られるAl配線材を提供する。

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。ただし、本発明は、下記実施形態及び例示物に限定されるものではなく、本発明の請求の範囲及びその均等の範囲を逸脱しない範囲において任意に変更して実施され得る。

[0018] [A I 配線材]

本発明のA I 配線材は、Pd、Ptの1種以上を含有し、Pd、Ptの含有量をそれぞれ $x1a$ [質量ppm]、 $x1b$ [質量ppm]としたとき、 $3 \leq x1a \leq 90$ 又は $10 \leq x1b \leq 250$ を満たし、かつ $3 \leq (x1a + x1b) \leq 300$ を満たし、残部はA Iを含み、A I 配線材の長手方向に垂直な断面における平均結晶粒径が $3 \sim 35 \mu m$ であることを特徴とする。

[0019] 先述のとおり、A I 配線材では、接合直後（以下、「初期接合」という。）における接合性の向上とチップ損傷の低減を両立すること、さらに接合後には半導体装置の作動時の高温環境下において接合部の接合信頼性（以下、「接合部の高温信頼性」ともいう。）を向上することを同時に達成することが求められる。接合性に関しては、シェア強度を高めることに加えて、接合部での未接合領域（「中抜け」）を低減することが重要である。

[0020] Pd、Ptの1種以上（以下、「第1群元素」ともいう。）を所定量含有すると共に、平均結晶粒径を特定範囲とした本発明のA I 配線材では、荷重、超音波を印加して該A I 配線材を電極に接合する際に、接合界面での拡散を促進することで、接合界面での未接合領域の発生を抑えて、接合界面全体に良好な接合を得ることができる。未接合領域を低減することにより、接合界面の面積に占める、金属結合が得られており接合に直接寄与している領域の面積の割合（以下、「接合有効面積比率」又は「EBR」という。Effective Bonded area Ratio: EBR）を高めることができる。接合有効面積比率（EBR）の試算に用いる接合有効面積は、接合界面領域から未接合領域を除いた領域として容易に算出することができる。EBRを高めることで、接合部の高温信頼性を向上する高い効果が得ら

れることを本発明者らは見出している。

[0021] すなわち、AⅠ配線材における第1群元素の含有量と結晶粒径を本発明の範囲とすることにより、EBRを向上させる高い効果が得られる。EBRの向上により初期接合における接合性を改善することで、結果として接合部の高温信頼性を高めることができる。

[0022] 第1群元素を所定量含有する効果について、AⅠ配線材の表面のAⅠ酸化膜の成長を抑え、またAⅠ酸化膜が形成されても接合時の超音波振動により該AⅠ酸化膜を破壊し易くなり、AⅠ配線材から電極側へのAⅠの拡散が促進され则认为られる。また、AⅠ配線材の結晶粒径を特定範囲とする効果について、接合時の変形の抵抗となる結晶粒界が減少し、超音波が接合界面に伝達する効率が高められるため、AⅠ配線材および電極の酸化膜の破壊が促進され则认为られる。本発明のAⅠ配線材においては、第1群元素を所定量含有する効果と、結晶粒径を特定範囲とする効果とが相乗的に作用し、接合部の高温信頼性を著しく向上させることができる。

[0023] 第1群元素の含有と、AⅠ配線材の長手方向に垂直な断面（以下、「C断面」という。）における平均結晶粒径の制御を組み合わせ、高い相乗効果を得ることにより、EBRを増加させて初期接合の接合性を改善することが容易となる。第1群元素を含有するAⅠ配線材でも、C断面の平均結晶粒径が本願所定の範囲より小さい場合には、接合時に酸化膜の破壊が不十分であり、EBRを向上させる効果が小さいことが確認された。結晶粒径が大きく、引張強度の低いAⅠ配線材であっても、素材が高純度AⅠ、あるいは従来のNiを含有するAⅠ配線材では、接合界面の面積を増やすことはできるが、未接合領域が残ってしまうため、EBRを向上させる効果は小さいことが確認された。

[0024] 第1群元素の効果を引き出すには、AⅠ配線材のC断面における平均結晶粒径を制御することが重要である。AⅠ配線材の接合時、キャピラリによりAⅠ配線材に荷重、超音波振動を加えることで、円状のC断面が大きく変形して、接合後には楕円状、台形状、三角形などに変化する。その形

状が変化する過程で、電極との接合が進行する。本発明者らは、C断面の平均結晶粒径が、C断面の形状変化およびEBRと関係することを見出している。すなわち、AⅠ配線材の長手方向に平行な断面の組織および結晶粒径の制御よりも、C断面の平均結晶粒径と第1群元素の含有とを組み合わせることで制御することが、本発明の効果を奏する上で重要である。

[0025] 以上のとおり、AⅠ配線材において、第1群元素の含有とC断面における結晶粒径を同時に制御することで、EBRを高める顕著な効果が得られる。これにより、AⅠ配線材を常温で接合する場合であってもEBRを高めることができ、熱に弱い樹脂基板などを使用することが可能となる。あるいはまた、接合時に加える荷重、超音波出力を低減してもEBRを高めることができ、チップ損傷が発生しやすい半導体チップ、例えば電極膜が薄い半導体チップなどを使用しても、歩留まり、生産性を高めることが可能となるなどの利点を得られる。

[0026] 半導体チップ上の電極との接合部におけるEBRは、接合界面の面積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、AⅠ配線材と半導体チップ上の電極との接合部におけるEBRは、以下の手順により求めることができる。まず接合部のシェア試験を行い、その破断した被接合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、接合界面の面積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領域の面積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。EBR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、 $EBR = M2/M1 = (M1 - M3)/M1$ である。

[0027] 本発明のAⅠ配線材は、第1群元素として、Pd、Ptの1種以上を含有し、Pd、Ptの含有量をそれぞれx1a[質量ppm]、x1b[質量ppm]としたとき、 $3 \leq x1a \leq 90$ 又は $10 \leq x1b \leq 250$ を満たし、かつ $3 \leq (x1a + x1b) \leq 300$ を満たす。以下、x1a、x1bの好適範囲を示すが、その総計値、すなわち($x1a + x1b$)が上記所定の範

囲にある限り、 $x1a$ の好適範囲のみ満たしてもよく、 $x1b$ の好適範囲のみ満たしてもよく、 $x1a$ の好適範囲と $x1b$ の好適範囲の両方を満たしてもよい。

[0028] EBRを高め、ひいては接合部の高温信頼性を向上させる観点から、AⅠ配線材中のPdの含有量、すなわち、 $x1a$ は、3質量ppm以上である。 $x1a$ が3質量ppm未満であると、EBRを高める効果、ひいては接合部の高温信頼性を向上させる効果が十分でない。 $x1a$ は、好ましくは4質量ppm以上、5質量ppm以上又は6質量ppm以上、より好ましくは6質量ppm超、8質量ppm以上、10質量ppm以上、15質量ppm以上又は20質量ppm以上である。 $x1b$ との関係で($x1a+x1b$)の値が本発明の範囲内にあることを条件として、 $x1a$ が6質量ppm超であると、EBRをよりいっそう高める効果が得られる。

[0029] 接合時にAⅠ配線材を均一に変形させて接合部の高温信頼性を向上させる観点から、 $x1a$ は、90質量ppm以下である。 $x1a$ が90質量ppm超であると、接合時にAⅠ配線材の変形が不均一となり、EBRが減少する傾向にある。 $x1a$ は、好ましくは85質量ppm以下、80質量ppm以下、75質量ppm以下又は70質量ppm以下、より好ましくは70質量ppm未満、68質量ppm以下、66質量ppm以下又は65質量ppm以下である。 $x1b$ との関係で($x1a+x1b$)の値が本発明の範囲内にあることを条件として、 $x1a$ が70質量ppm未満であると、EBRをよりいっそう高める効果が得られる。

[0030] したがって好適な一実施形態において、AⅠ配線材中のPdの含有量、すなわち $x1a$ は、 $3 \leq x1a \leq 90$ を満たし、より好適には $6 < x1a < 70$ を満たす。

[0031] EBRを高め、ひいては接合部の高温信頼性を向上させる観点から、AⅠ配線材中のPtの含有量、すなわち、 $x1b$ は、10質量ppm以上である。 $x1b$ が10質量ppm未満であると、EBRを高める効果、ひいては接合部の高温信頼性を向上させる効果が十分でない。 $x1b$ は、好ましくは1

2質量ppm以上、14質量ppm以上、16質量ppm以上、18質量ppm以上又は20質量ppm以上、より好ましくは20質量ppm超、25質量ppm以上、30質量ppm以上、35質量ppm以上又は40質量ppm以上である。 $x1a$ との関係で $(x1a + x1b)$ の値が本発明の範囲内にあることを条件として、 $x1b$ が20質量ppm超であると、EBRをよりいっそう高める効果が得られる。

[0032] 接合時にAⅠ配線材を均一に変形させて接合部の高温信頼性を向上させる観点から、 $x1b$ は、250質量ppm以下である。 $x1b$ が250質量ppm超であると、接合時にAⅠ配線材の変形が不均一となり、EBRが減少する傾向にある。 $x1b$ は、好ましくは240質量ppm以下、230質量ppm以下、220質量ppm以下、210質量ppm以下又は200質量ppm以下、より好ましくは200質量ppm未満、190質量ppm以下、180質量ppm以下、160質量ppm以下又は150質量ppm以下である。 $x1a$ との関係で $(x1a + x1b)$ の値が本発明の範囲内にあることを条件として、 $x1b$ が200質量ppm未満であると、EBRをよりいっそう高める効果が得られる。

[0033] したがって好適な一実施形態において、AⅠ配線材中のPtの含有量、すなわち $x1b$ は、 $10 \leq x1b \leq 250$ を満たし、より好適には $20 < x1b < 200$ を満たす。

[0034] EBRを高め、ひいては接合部の高温信頼性を向上させる観点から、AⅠ配線材中のPd、Ptの含有量の総計、すなわち、 $(x1a + x1b)$ は、3質量ppm以上である。 $(x1a + x1b)$ が3質量ppm未満であると、EBRを高める効果、ひいては接合部の高温信頼性を向上させる効果が十分でない。 $(x1a + x1b)$ は、好ましくは5質量ppm以上又は6質量ppm以上、より好ましくは6質量ppm超、8質量ppm以上、10質量ppm以上、15質量ppm以上又は20質量ppm以上である。 $(x1a + x1b)$ の上限は、 $x1a$ 、 $x1b$ が上記範囲を満たすことを条件として、300質量ppm以下であり、好ましくは290質量ppm以下、280

質量ppm以下又は270質量ppm以下、より好ましくは270質量ppm未満、260質量ppm以下又は250質量ppm以下である。

[0035] Ptに比しPdの方が接合界面での酸化膜の破壊、拡散などを促進する効果が高いことを確認している。その結果、EBRを高めるにあたってPdの含有量×1aの好適範囲はPtの含有量×1bの好適範囲よりも低いことを確認している。またPdの含有量×1aが90質量ppmを超えると、Al配線材の表面の酸化膜、組織などにばらつきが生じて不均一変形が起こり易く、その結果、EBRが減少するものと推察される。

[0036] 本発明のAl配線材において、該Al配線材のC断面における平均結晶粒径は3～35μmである。平均結晶粒径が3μm未満では、接合時に未接合領域が増える傾向にあり、EBRを高める効果が小さい。C断面における平均結晶粒径は、好ましくは3.5μm以上、4μm以上、4.5μm以上、5μm以上、6μm以上又は7μm以上、より好ましくは8μm以上、8.5μm以上又は9μm以上である。他方、C断面における平均結晶粒径が35μm超であると、粗大な結晶粒の異常変形などにより、接合形状、面積が不安定となることで、EBRが減少することが確認された。該平均結晶粒径の上限は、好ましくは34μm以下、33μm以下、32μm以下又は31μm以下、より好ましくは30μm以下、28μm以下、26μm以下又は25μm以下である。C断面における平均結晶粒径が8～30μmの範囲にあると、量産時に安定してAl配線材を製造することが容易となる。

[0037] したがって好適な一実施形態において、Al配線材のC断面における平均結晶粒径は3～35μmであり、より好適には8～30μmである。

[0038] Al配線材の製造にあたり、伸線の途中過程と、最終線径の近傍でそれぞれ調質熱処理を行うことにより、Al配線材のC断面における平均結晶粒径を上記好適範囲とし易い傾向にある。

[0039] 本発明において、Al配線材のC断面における平均結晶粒径は、後方散乱電子線回折（EBSD:Electron Back Scattered Diffraction）法を用いて各結晶粒の円相当直径を求め、それを

算術平均して得た。本発明において、C断面における平均結晶粒径は、5箇所以上のC断面を測定して得られた各値の算術平均値とした。測定面（C断面）の選択にあたっては、測定対象のAⅠ配線材から、測定用の試料を、AⅠ配線材の長手方向に対して1 m以上の間隔で5つ以上取得するなどして、測定データの客観性を担保することが好ましい。

[0040] $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の方位比率

本発明のAⅠ配線材において、AⅠ配線材の長手方向に垂直な断面（C断面）における $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の方位比率を特定範囲とすることにより、EBRをさらに高めることができる。

[0041] 詳細には、AⅠ配線材のC断面について結晶方位を測定した結果において、該AⅠ配線材の長手方向の結晶方位のうち、AⅠ配線材の長手方向に対して角度差が 15° 以下である $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の方位比率が0.5～35%であることが好ましい。 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の方位比率を低く抑える組織制御により、EBRをさらに高めることができ、特に、太径のAⅠ配線材でもEBRを向上する高い効果が得られる。

[0042] $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の方位比率は、EBSD法を用いて測定することができる。EBSD法に用いる装置は、走査型電子顕微鏡とそれに備え付けた検出器によって構成される。EBSD法は、試料に電子線を照射したときに発生する反射電子の回折パターンを検出器上に投影し、その回折パターンを解析することによって、各測定点の結晶方位を決定する手法である。EBSD法によって得られたデータの解析には専用ソフト（株式会社TSLソリューションズ製 OIM analysis等）を用いることができる。AⅠ配線材のC断面を検査面とし、装置に付属している解析ソフトを利用することにより、特定の結晶方位の方位比率を算出できる。

[0043] 本発明において、 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の方位比率は、測定面積を母集団としたときの $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の面積割合と定義する。方位比率の算出にあたっては、測定エリア内で、ある信頼度を基準に同定できた結晶方位のみの面積を母集団として算出した $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の面積割合を、 $\langle 111 \rangle$

結晶方位の方位比率とした。方位比率を求める過程では、結晶方位が測定できない部位、あるいは測定できても方位解析の信頼度が低い部位等は除外して計算した。

[0044] 本発明において、C断面における $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の方位比率は、5箇所以上のC断面を測定して得られた方位比率の各値の算術平均値とした。測定面（C断面）の選択にあたっては、上記のとおり、測定対象のAⅠ配線材から、測定用の試料を、AⅠ配線材の長手方向に対して1 m以上の間隔で取得するなどして、測定データの客観性を担保することが好ましい。

[0045] AⅠ配線材の線径が太くなるほど、接合時に印加する荷重・超音波が接合界面の中央部には伝わりにくくなり、未接合領域（中抜き）の面積は増大する傾向にある。この点、 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の方位比率を低減することで、太径のAⅠ配線材でも超音波振動の伝達効率が改善されて、EBRを高めることができる。この結晶方位の効果は、線径が $250\text{ }\mu\text{m}$ 以上である場合により享受することができ、線径が $300\text{ }\mu\text{m}$ 以上又は $350\text{ }\mu\text{m}$ 以上である場合によりいっそう享受することができる。

[0046] AⅠ配線材のC断面において、該AⅠ配線材の長手方向に対して角度差が 15° 以下である $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の方位比率が0.5%以上35%以下であることが好ましい。ここで、 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の方位比率が35%超であると、AⅠ配線材が太径である場合にEBRを高める効果が減少する傾向にある。該 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の方位比率は、好ましくは35%未満、34%以下、32%以下又は30%以下、より好ましくは30%未満、28%以下、26%以下、24%以下、22%以下又は20%以下である。他方、 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の方位比率を0.5%未満に安定して制御することは困難である。 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の方位比率の下限は、好ましくは0.6%以上、0.8%以上、1%以上、1.5%以上、2%以上又は2.5%以上、より好ましくは3%以上、3.5%以上又は4%以上である。 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の方位比率が3%以上30%未満であると、EBRを高める効果をよりいっそう向上させることができる。

[0047] したがって好適な一実施形態において、AⅠ配線材のC断面において、該AⅠ配線材の長手方向に対して角度差が 15° 以下である $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の方位比率は、0.5%以上35%以下であることが好適であり、より好適には3%以上30%未満である。

[0048] ー引張強度ー

本発明のAⅠ配線材は、引張強度が25MPa以上95MPa以下の範囲にあることが好ましい。第1群元素を所定量含有すると共にC断面における平均結晶粒径が特定範囲にある本発明のAⅠ配線材において、さらに引張強度を上記好適範囲にすることにより、接合部の高温信頼性をより向上させることができる。

[0049] 高温信頼性は、パワーサイクル試験を行った後に、AⅠ配線材の接合強度あるいは電気特性の変化を調べることで評価することができる。第1群元素を所定量含有すると共にC断面における平均結晶粒径が特定範囲にある本発明のAⅠ配線材を用いることで、接合時の未接合領域（中抜け）の発生を低減することができ、初期接合でのEBRを高めることができる。加えて、引張強度が上記範囲にあることにより、AⅠ配線材の接合部近傍における亀裂（クラック）の進展を抑制し得るため、接合部の高温信頼性をより向上させることができるものと推察される。すなわち、第1群元素を所定量含有すると共にC断面における平均結晶粒径を特定範囲とすることにより接合時に発生する未接合領域が減少し、さらに引張強度が上記範囲にあることで、AⅠ配線材の変形あるいは酸化膜の破壊が促進されて、接合界面での電極との良好な金属接合が得られるため、パワーサイクル試験での亀裂の進展が抑制されるものと考えられる。

[0050] 本発明のAⅠ配線材において、引張強度は25MPa以上95MPa以下の範囲にあることが好ましい。引張強度が95MPa超であると、AⅠ配線材が硬く、パワーサイクル試験において亀裂の進展を抑制する効果が十分に得られない。AⅠ配線材の引張強度は、好ましくは95MPa未満、94MPa以下、92MPa以下、90MPa以下、88MPa以下又は86MPa

a 以下、より好ましくは 85 MPa 以下、84 MPa 以下、82 MPa 以下又は 80 MPa 以下である。他方、引張強度が 25 MPa 未満では、A I 配線材が軟らかく、A I 配線材の製造時に線径が細くなることで製造歩留まりが低下する傾向にある。A I 配線材の引張強度は、好ましくは 26 MPa 以上又は 28 MPa 以上、より好ましくは 30 MPa 以上、32 MPa 以上、34 MPa 以上、36 MPa 以上、38 MPa 以上又は 40 MPa 以上である。A I 配線材の引張強度が 30 MPa 以上 85 MPa 以下であると、EBR をよりいっそう高める効果が得られ有益である。

[0051] したがって好適な一実施形態において、A I 配線材の引張強度は、25 MPa 以上 95 MPa 以下であることが好適であり、より好適には 30 MPa 以上 85 MPa 以下である。

[0052] —Mg、Mn、Cu（第2群元素）—

本発明の A I 配線材は、Mg、Mn、Cu の 1 種以上をさらに含有してよい。

[0053] 第 1 群元素を所定量含有すると共に C 断面における平均結晶粒径が特定範囲にある本発明の A I 配線材において、さらに Mg、Mn、Cu の 1 種以上（「第 2 群元素」ともいう。）を含有することにより、接合部の高温信頼性をより改善することができる。例えば、第 2 群元素をさらに含有することにより、本発明の A I 配線材は、パワーサイクル試験において、不良が発生するまでのサイクル回数が 1.5 倍以上に向上し得る。

[0054] パワーサイクル試験におけるサイクル回数が増え、加熱時間が増加すると同様の作用により、A I 配線材の内部での回復・再結晶が進行して組織が変化することにより、クラックが進展しやすくなる。これに対して、第 2 群元素を所定量含有することで回復・再結晶の進行を遅らせることができ、第 1 群元素の含有と結晶粒径の制御による EBR の向上効果と相俟って、パワーサイクル試験において不良が発生するまでのサイクル回数を増大させることができるものと考えられる。この点、第 2 群元素だけの添加では、接合部の高温信頼性を向上させる効果を得るのは難しいことを確認している。

第1群元素を所定量含有すると共にC断面における平均結晶粒径が特定範囲にある本発明のAⅠ配線材において、さらに第2群元素を所定量含有することにより、接合部の高温信頼性をよりいっそう改善するという相乗作用が実現される。

[0055] 本発明のAⅠ配線材において、第2群元素の含有量の総計を $\times 2$ [質量ppm]としたとき、 $200 \leq \times 2 \leq 6000$ を満たすことが好ましい。第2群元素の含有量の総計、すなわち $\times 2$ が、200質量ppm未満では、接合部の高温信頼性をよりいっそう改善するという効果が十分に得られない。 $\times 2$ は、好ましくは220質量ppm以上、240質量ppm以上、250質量ppm以上、260質量ppm以上又は280質量ppm以上、より好ましくは300質量ppm以上、320質量ppm以上、340質量ppm以上、360質量ppm以上、380質量ppm以上又は400質量ppm以上である。他方、 $\times 2$ が6000質量ppm超であると、AⅠ配線材の接合時にチップ損傷が発生し易い傾向にある。 $\times 2$ は、好ましくは5800質量ppm以下、5600質量ppm以下、5400質量ppm以下又は5200質量ppm以下、より好ましくは5000質量ppm以下、4800質量ppm以下、4600質量ppm以下、4400質量ppm以下、4200質量ppm以下又は4000質量ppm以下である。 $\times 2$ が300質量ppm以上5000質量ppm以下であると、接合部の高温信頼性を一際向上させることができ有益である。

[0056] 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 $\times 2$ [質量ppm]は、 $200 \leq \times 2 \leq 6000$ を満たすことが好適であり、より好適には $300 \leq \times 2 \leq 5000$ を満たす。

[0057] —Fe、Si、Ni（第3群元素）—

本発明のAⅠ配線材は、Fe、Si、Niの1種以上をさらに含有してよい。

[0058] 第1群元素を所定量含有すると共にC断面における平均結晶粒径が特定範囲にある本発明のAⅠ配線材において、さらにFe、Si、Niの1種以上

(「第3群元素」ともいう。)を含有することにより、AⅠ配線材が細径である場合に接合部の高温信頼性をよりいっそう向上させることができる。また、第3群元素を含有することにより、AⅠ配線材の製造にあたり、高速伸線工程における生産性を向上することが可能であり、量産適応性を高めることができる。第3群元素を含有することによる上記効果をより享受し得るAⅠ配線材の線径は、好ましくは $200\mu\text{m}$ 以下であり、さらに $120\mu\text{m}$ 以下の場合により高い効果を享受し得る。

[0059] AⅠ配線材が細径であると、接合時の荷重により早期にAⅠ配線材の変形が進行し易く、接合端部に相当するネック部での応力集中が起こり、ネック部からのクラックが促進される傾向がある。これに対し、第3群元素を含有することにより、AⅠ配線材が細径である場合でもネック部の変形を軽減したり、応力集中を低減したりする効果により、接合部の高温信頼性が向上するものと考えられる。この点、第3群元素の添加だけでは、接合部の高温信頼性をよりいっそう向上させるという効果は十分に得られないことを確認した。第1群元素を所定量含有すると共にC断面における平均結晶粒径が特定範囲にある本発明のAⅠ配線材においては、接合界面での未接合領域が低減されることによってネック部（もともと接合が難しい）での接合が促進されており、さらに第3群元素を含有することにより接合部の高温信頼性をよりいっそう改善するという相乗作用が実現される。

[0060] 本発明のAⅠ配線材において、第3群元素の含有量の総計を $\times 3$ [質量ppm]としたとき、 $10 \leq \times 3 \leq 2000$ を満たすことが好ましい。第3群元素の含有量の総計、すなわち $\times 3$ が、10質量ppm未満では、AⅠ配線材が細径である場合に接合部の高温信頼性をよりいっそう向上させるという効果が十分に得られない。 $\times 3$ は、好ましくは12質量ppm以上、14質量ppm以上、16質量ppm以上又は18質量ppm以上、より好ましくは20質量ppm以上、22質量ppm以上、24質量ppm以上、26質量ppm以上、28質量ppm以上又は30質量ppm以上である。他方、 $\times 3$ が2000質量ppm超であると、高速伸線工程における生産性を向上

する効果が十分に得られない傾向にある。x 3 は、好ましくは 1800 質量 ppm 以下又は 1600 質量 ppm 以下、より好ましくは 1500 質量 ppm 以下、1400 質量 ppm 以下、1200 質量 ppm 以下又は 1000 質量 ppm 以下である。x 3 が 20 質量 ppm 以上 1500 質量 ppm 以下であると、特に 20 質量 ppm 以上 1000 質量 ppm 以下であると、Al 配線材が細径である場合に接合部の高温信頼性をよりいっそう向上させることができ有益である。

[0061] したがって好適な一実施形態において、Al 配線材中の第 3 群元素の含有量の総計 x 3 [質量 ppm] は、 $10 \leq x 3 \leq 2000$ を満たすことが好適であり、より好適には $20 \leq x 3 \leq 1500$ 、さらに好適には $20 \leq x 3 \leq 1000$ を満たす。

[0062] 《高温信頼性の評価》

本発明において、接合部の高温信頼性の評価は、パワーサイクル試験によって行う。パワーサイクル試験は、Al 配線材が接合された半導体装置について、急速な加熱と冷却を繰り返す試験である。加熱は、半導体装置における Al 配線材の接合部の温度が 140℃ になるまで 2 秒間かけて加熱し、その後、接合部の温度が 30℃ になるまで 25 秒間かけて冷却する。この加熱・冷却のサイクルを 5 万回または 10 万回繰り返す。

[0063] 上記パワーサイクル試験後に、半導体チップ上の電極との第 1 接続部における接合部のシェア強度を測定し、高温信頼性を評価する。第 1 群元素を所定量含有すると共に C 断面における平均結晶粒径が特定範囲にある本発明の Al 配線材においては、上記サイクルを 5 万回または 10 万回繰り返した場合にも、接合部は良好なシェア強度を呈し、優れた高温信頼性を実現できる。

[0064] 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 4N (Al : 99.99 質量%以上) の Al を使用することができる。さらに不純物量の少ない 5N (Al : 99.999 質量%以上) 以上の Al 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配線材において、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95質量%以上、96質量%以上、又は97質量%以上であり、より好ましくは98質量%以上、98.5質量%以上、98.6質量%以上、98.8質量%以上、又は99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。

[0065] 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。

[0066] 本発明のAⅠ配線材は、高温信頼性が良好な接合部をもたらすことができる。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、高温信頼性が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）。

[0067] 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

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、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 ($w \times t$) 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。

[0068] (Al配線材の製造方法)

本発明のAl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。ある程度線径が細くなると、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て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。

[0069] 各添加元素の含有量が特定範囲となるように、Al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、Al配線材を形成する。

[0070] Al配線材のC断面における平均結晶粒径を3～35 μm の範囲に調整するには、伸線途中での中間熱処理を利用することが有効である。線径が1 mm以上の太線をバッチ式により熱処理を行う場合、中間熱処理は、例えば、200～500℃の温度範囲で0.2分間～1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30分間、350℃で1分間などの条件が挙げられる。あるいは、線径が500 μm から2000 μm の範囲の比較的細径で連続的に熱処理を行う場合、例えば、300～600℃の温度範囲で0.5秒間～3秒間加熱してよい。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、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配線材を試作して、C断面における平均結晶粒径を測定しておけば、所望する特性を容易に得ることができる。

[0071] A I 配線材の引張強度を25 MPa以上95 MPa以下の範囲に調整するには、伸線加工により材料内に導入されたひずみ量を軽減するために、最終線径およびその近傍の線径において調質熱処理を高温または長時間行うことが有効である。調質熱処理の条件としては、例えば、450～620℃の比較的高い温度範囲で0.1秒間～5分間加熱することが挙げられる。具体的には例えば、580℃で0.2秒間の加熱、または450℃で5秒間の加熱などの条件が挙げられる。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A I 配線材の引張強度を確認し、所望の引張強度が得られるように熱処理温度を決定すればよい。中間熱処理と組み合わせて、調質熱処理の条件を調整することで、引張強度の制御が容易となる。

[0072] A I 配線材のC断面において、 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位の方位比率を0.5～35%の範囲に調整するには、伸線加工により形成される加工集合組織、および、中間熱処理における転位の回復、再結晶粒の成長を適度に制御することが有効である。例えば、線径が500 μm から3000 μm の範囲において、伸線ダイスの減面率の平均値を5～15%の範囲としたり、あるいは中間熱処理の条件について、線径が500 μm から2000 μm の範囲で、300～600℃の温度範囲で0.5秒間～3秒間加熱したりすることが有効である。最終線径またはその近傍で行う調質熱処理を400～600℃の温度範囲で0.1秒間～3分間加熱することにより行うことも有効であり、具体的には例えば、550℃で0.4秒間の加熱、または400℃で5秒間の加熱などの調質熱処理条件を挙げることができる。

[0073] [半導体装置]

本発明のA I 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。

[0074] 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。

[0075] 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。

[0076] 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）等に供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

[0077] 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。

[0078] （サンプル）

まずサンプルの作製方法について説明する。原材料となるA Iは純度が5 N（99.9999質量%以上）で、残部が不可避不純物から構成されるものを用いた。合金元素として用いるPd、Pt、Mg、Mn、Cu、Fe、Si、Niは、純度が99.9質量%以上で残部が不可避不純物から構成されるものを用いた。これらを原料として熔融し、表1に示す組成のA Iインゴットを作製した。該インゴットを押し出し加工、スエーシング加工した後、さらに伸線加工を行った。線径が500 μ mから2000 μ mの範囲で用いた伸線ダイスの減面率について、平均値は5～15%の範囲であった。線径が1 mmから2 mmの範囲において、400～600℃の温度範囲で1秒

間～3秒間の加熱条件にて中間熱処理を行った。その後、最終線径を100、300、500 μ mとしてダイス伸線加工を行った。伸線加工終了後に、450～600℃の温度範囲で0.2秒間～3秒間の条件において調質熱処理を行い、A1配線材を得た。

[0079] [元素含有量の測定]

A1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。

[0080] [C断面における平均結晶粒径の測定]

A1配線材のC断面を測定面とし、平均結晶粒径を測定した。測定には、EBSD法を用いた。詳細には、C断面の全体について各結晶粒の面積を測定し、各結晶粒の面積に基づき円相当直径を求め、それを算術平均して平均結晶粒径を得た。A1配線材の長手方向に対して1m以上の間隔で5箇所の測定面（C断面）を選択し、得られた平均結晶粒径の各値を算術平均して、C断面における平均結晶粒径とした。

[0081] [C断面における<111>結晶方位の方位比率の測定]

A1配線材のC断面を測定面とし、<111>結晶方位の方位比率を測定した。測定には、EBSD法を用い、装置に付属している解析ソフトを利用することにより、前述の手順で<111>結晶方位の方位比率を算出した。A1配線材の長手方向に対して1m以上の間隔で5箇所の測定面（C断面）を選択し、得られた方位比率の各値を算術平均して、C断面における<111>結晶方位の方位比率とした。

[0082] [引張強度の測定]

A1配線材の引張強度は、A1配線材の引張試験を行い、引張試験における最大応力を引張強度として測定した。引張強度の測定は、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の条件で実施した。測定は5回実施し、得られた引

張強度の各値を算術平均して、A l 配線材の引張強度とした。

[0083] <接続>

半導体装置において、半導体チップの電極はA l -C uパッド（厚さ $2\mu\text{m}$ ）であり、外部端子はN i 被覆したC u 製リードフレームを用いた。半導体チップの電極とA l 配線材との間の第1 接続部、外部端子とA l 配線材との間の第2 接続部ともに、ウェッジ接合とした。通常の信頼性試験での試料加熱を模擬する加速評価として、接続の後に、 300°C 、30 分間の時効熱処理を行った。

[0084] <接合性の評価>

－有効接合面積比率（E B R）－

A l 配線材の接合部におけるE B Rの算出について説明する。E B Rは、線径 $300\mu\text{m}$ 、 $500\mu\text{m}$ のA l 配線材について評価し、第1 接続部の接合界面の面積M 1 に占める金属接合が得られている面積M 2 の割合（ $M 2 / M 1$ ）として求めた。詳細には、接合部のシェア試験を行い、その破断した被接合電極を光学顕微鏡またはS E Mで観察した。そして、画像解析により、接合界面の面積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領域の面積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。得られた面積M 1 とM 2 を用い、M 1 に占めるM 2 の割合（ $M 2 / M 1$ ）としてE B Rを算出した。その計算式は、具体的には、 $E B R = M 2 / M 1 = (M 1 - M 3) / M 1$ である。20箇所の接合部について観察を行い、得られたE B Rの各値を算術平均して、有効接合面積比率（E B R）を求めた。該E B Rの値が、0.9 以上であれば優れた接合が得られているため「◎」とし、0.8 以上0.9 未満であれば良好であるため「○」とし、0.7 以上0.8 未満であれば実用上は問題ないため「□」とし、0.6 以上0.7 未満であれば通常の使用では問題ないが注意が必要であるため「△」とし、0.6 未満では接合性に劣るため「×」として、表1 の「E B R」欄に記載した。

[0085] －チップ損傷の評価－

半導体装置におけるチップ損傷は、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「チップ損傷」欄に記載した。

[0086] <接合部の高温信頼性の評価>

接合部の高温信頼性は、線径 $300\mu\text{m}$ 、 $100\mu\text{m}$ のAⅠ配線材についてパワーサイクル試験を行うことにより評価した。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した。加熱は最高温度が約 140°C になるまで2秒間かけて加熱し、その後、接合部の温度が 30°C になるまで25秒間かけて冷却した。線径 $300\mu\text{m}$ のAⅠ配線材については、この加熱・冷却のサイクルを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。また、線径 $100\mu\text{m}$ のAⅠ配線材については、この加熱・冷却のサイクルを5万回繰り返したものと10万回繰り返したものについて評価した。

[0087] 上記パワーサイクル試験の後、第1接続部について接合部のシェア強度を測定し、接合部の高温信頼性を評価した。初期接合の接合部のシェア強度 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、0.7以上0.8未満であれば実用上は問題ないため「□」とし、0.6以上0.7未満であれば通常の使用では問題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の「高温信頼性」欄に記載した。

[0088] 実施例及び比較例の評価結果を表1に示す。

[0089]

[表1]

No.	第1群元素 (質量ppm)		第2群元素 (質量ppm)					第3群元素 (質量ppm)					平均結晶 粒径 (μm)	引張強度 (MPa)	<111>結晶方位 の方位比率 (%) ^{※1}	EBR		高温信頼性			チップ損傷
	Pd	Pt	Mg	Mn	Cu	総計	Fe	Si	Ni	総計	300 μm	500 μm				300 μm	5万回	10万回	100 μm		
1	3	3				3					8.5	45	5	○	○	○	○	○	○	○	
2	6	6				6				15	34.8	25	0.6	○	○	○	○	○	○	○	
3	15	13				15					29.3	33	8	○	○	○	○	○	○	○	
4	30	30					60			8	11.4	45	4	○	○	○	○	○	○	○	
5	70	70								10	70	35	7	○	○	○	○	○	○	○	
6	40	40	200			200					22.0	43	10	○	○	○	○	○	○	○	
7	50	50	500			1500					11.4	61	18	○	○	○	○	○	○	○	
8	70	70	4000			2000					4.5	88	30	○	○	○	○	○	○	○	
9	20	20	2000	1500		1000	20		20	40	11.6	48	15	○	○	○	○	○	○	○	
10	80	80								800	7.4	62	33	○	○	○	○	○	○	○	
11	85	85									7.3	51	11	○	○	○	○	○	○	○	
12	90	90									3.0	95	25	○	○	○	○	○	○	○	
13		10								20	13.2	23	8	○	○	○	○	○	○	○	
14		30					300				6.2	35	15	○	○	○	○	○	○	○	
15		50								300	16.7	43	2	○	○	○	○	○	○	○	
16		70					150	200		350	4.8	85	11	○	○	○	○	○	○	○	
17		40	40	300		300					17.5	37	20	○	○	○	○	○	○	○	
18		50	50	500		1500					12.2	48	25	○	○	○	○	○	○	○	
19		60	60	1000		800					11.5	62	29	○	○	○	○	○	○	○	
20		100	100	1500		2000	20		20	40	7.7	79	26	○	○	○	○	○	○	○	
21		30	30	2000		2200		1500		1500	8.3	97	34	○	○	○	○	○	○	○	
22		200	200								7.3	88	30	○	○	○	○	○	○	○	
23		250	250					120		120	6.2	64	23	○	○	○	○	○	○	○	
24	10	10	20						50	50	18.8	30	3	○	○	○	○	○	○	○	
25	20	20	40	2000		1000	100	200		300	9.5	47	4	○	○	○	○	○	○	○	
26	40	30	70								22.3	25	0.5	○	○	○	○	○	○	○	
27	50	40	90	800	500		1300	1000	30	2230	4.1	90	37	○	○	○	○	○	○	○	
28	85	80	165	1000		2000		200		200	8.3	69	15	○	○	○	○	○	○	○	
29	40	70	110						100	100	7.7	55	23	○	○	○	○	○	○	○	
30	70	180	250			800	200			200	5.3	75	26	○	○	○	○	○	○	○	
比較例	1										15.2	27	3	x	x	x	x	x	x	x	
	2										19.3	30	5	x	x	x	x	x	x	x	
	3										17.7	45	8	x	x	x	x	x	x	x	
	4	92									5.1	75	14	x	x	x	x	x	x	x	
	5	80	230								4.8	82	25	x	x	x	x	x	x	x	
	6	70	30	100							2.8	90	30	x	x	x	x	x	x	x	
	7	20	20								35.5	27	0.5	x	x	x	x	x	x	x	
A配線材料のC面において、A配線材料の長さ方向に対して角度差が15°以下である結晶方位<111>の方位比率(%)																					

※1: Al配線材のC断面において、Al配線材の長手方向に対して角度差が15°以下である結晶方位<111>の方位比率(%)

[0090] 実施例No. 1～30のAl配線材はいずれも、Pd、Ptの含有量およびC断面における平均結晶粒径が本発明の範囲内にあり、EBR（300 μm ）の評価が○または◎であり、高温信頼性も良好な結果を示した。

実施例No. 1～26、28～30は、C断面における<111>結晶方

位の方角比率が好適範囲内にあり、E B R (500 μ m) の評価が○または◎であり、高温信頼性も良好な結果を示した。

実施例No. 1～12、14～20、22～30は、引張強度が好適範囲内にあり、線径300 μ m、サイクル数5万回の高温信頼性の評価が○または◎であり、高温信頼性がよりいっそう良好であった。

比較例No. 1～5は、Pd、Ptの含有量が本発明の範囲を外れており、また比較例No. 6、7は、平均結晶粒径が本発明範囲を外れていることで、E B Rの評価が×であり、高温信頼性も不良であった。

請求の範囲

- [請求項1] Pd、Ptの1種以上を含有し、Pd、Ptの含有量をそれぞれ $x1a$ [質量ppm]、 $x1b$ [質量ppm]としたとき、
 $3 \leq x1a \leq 90$ 又は $10 \leq x1b \leq 250$ を満たし、かつ
 $3 \leq (x1a + x1b) \leq 300$ を満たし、
残部はAlを含む、Al配線材であって、
Al配線材の長手方向に垂直な断面における平均結晶粒径が $3 \sim 35 \mu m$ である、Al配線材。
- [請求項2] Al配線材の長手方向に垂直な断面において、該Al配線材の長手方向に対して角度差が 15° 以下である結晶方位 $\langle 111 \rangle$ の方位比率が0.5%以上35%以下である、請求項1に記載のAl配線材。
- [請求項3] 引張強度が25MPa以上95MPa以下である、請求項1又は2に記載のAl配線材。
- [請求項4] さらにMg、Mn、Cuの1種以上を含有し、その含有量の総計を $x2$ [質量ppm]としたとき、
 $200 \leq x2 \leq 6000$ を満たす、請求項1～3の何れか1項に記載のAl配線材。
- [請求項5] さらにFe、Si、Niの1種以上を含有し、その含有量の総計を $x3$ [重量ppm]としたとき、
 $10 \leq x3 \leq 2000$ を満たす、請求項1～4の何れか1項に記載のAl配線材。
- [請求項6] Alの含有量が98質量%以上である、請求項1～5の何れか1項に記載のAl配線材。
- [請求項7] 残部がAlと不可避不純物からなる、請求項1～6の何れか1項に記載のAl配線材。
- [請求項8] 請求項1～7の何れか1項に記載のAl配線材を含む半導体装置。