明　細　書

発明の名称 ： 半導体装置用Ａｌボンディングワイヤ

技術分野

[0001] 本発明は、半導体装置用ＡｌボンディングワイヤＩ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（Ａｌ）を材質とするボンディングワイヤが用いられており、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、Φ３００μｍのＡｌボンディングワイヤを用いる例が示されている。ＡｌボンディングワイヤＩ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。

[0003] ＡｌボンディングワイヤＩの接合方法として、半導体チップ上の電極との１ｓｔ接合と、リードフレームや基板上の電極との２ｎｄ接合のいずれもウェッジ接合が用いられている。ウェッジ接合とは、金属製の治具を介してボンディングワイヤＩに超音波と荷重を印加し、ボンディングワイヤＩ材料と電極材料の表面酸化膜を破壊して新生面を露出させ、固相拡散接合を行う方法である。最先端のパワー半導体装置では、定格電流の増加にともないボンディングワイヤＩの本数が増加している。接合を行う際にボンディングワイヤＩが電極から剥離する等の接合不良が発生すると、製品の不具合や製造歩留低下に繋がるため、各接合部において安定して良好な接合強度を得ることが求められている。こうした要求に対し、ボンディングワイヤＩとして高純度のＡｌのみからなる材料を用いた場合、ボンディングワイヤＩが軟質であることから、２ｎｄ接合時にボンディングワイヤＩや基板材料の表面酸化膜が十分に破壊できない場合があり、安定して良好な接合強度を得ることが困難であった。

[0004] Ａｌに特定の元素を添加した材料からなるボンディングワイヤＩが提案され

ている。特許文献２には、ニッケル（Ｎｉ）、珪素（シリコン）（Ｓｉ）及びリン（Ｐ）のうちの１種以上を合計で８００重量ｐｐｍ以下含有するＡｌボンディングワイヤが良好な接合強度を呈することが開示されている。特許文献３には、Ａｌに０．０５～１重量％のスカンジウム（Ｓｃ）を添加し析出強化を利用することによって機械的強度を向上したボンディングワイヤが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開２００２－３１４０３８号公報

特許文献2：特開２０１６－１５２３１６号公報

特許文献3：特表２０１６－５１１５２９号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] パワー半導体装置に使用するＡｌボンディングワイヤには、効率的に電流を流すために電気伝導性が良いこと、長時間の使用にも耐え得るために接合部の長期信頼性が高いこと、１ｓｔ接合部において良好な接合性をもたらすこと等を満足したうえで、２ｎｄ接合部において良好な接合強度を安定してもたらすことが求められる。

[0007] ２ｎｄ接合において、接合相手となる基板には、Ｃｕ基板、Ａｌ基板、Ａｌ合金の表面にＮｉを成膜した基板等が用いられており、これらの基板のうち、特にＡｌ合金の表面にＮｉを成膜した基板が多く用いられている。Ａｌ合金の表面にＮｉを成膜した基板にはＮｉの表面に強固な酸化Ｎｉ皮膜が形成されており、この基板に対して高純度のＡｌのみからなるボンディングワイヤを接合すると、一部の接合部で十分な接合強度が得られず、接合中にＡｌボンディングワイヤが基板から剥離する等の接合不良が発生する課題があった。したがって、Ａｌ合金の表面にＮｉを成膜した基板に対して、良好な接合強度を安定してもたらすことができるＡｌボンディングワイヤの開発が

求められている。

[0008] 上述のとおり、ＡｌにＭｇ他元素を添加し高強度化されたＡｌボンディングワイヤについては幾つか報告されているものの、他元素を添加するだけでは、２ｎｄ接合部において、良好な接合強度を安定して得ることは困難であった。

[0009] 本発明は、２ｎｄ接合部において良好な接合強度を安定してもたらす半導体装置用Ａｌボンディングワイヤ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

[0010] 本発明者らは、上記課題につき鋭意検討した結果、Ｓｃ、Ｚｒ、Ｍｇの１種以上を総計で０．０１質量％以上０．８質量％未満含有すると共に、そのワイヤ軸方向に平行な断面において、ワイヤ軸方向に対して角度差が１５度以下である＜１００＞結晶方位の方位比率が特定範囲にあるＡｌボンディングワイヤが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。

[0011] すなわち、本発明は以下の内容を含む。

［１］ Ｓｃ、Ｚｒ、Ｍｇの１種以上を総計で０．０１質量％以上０．８質量％未満含む半導体装置用Ａｌボンディングワイヤであって、前記ボンディングワイヤのワイヤ軸を含むワイヤ軸方向に平行な断面の結晶方位を測定した結果、ワイヤ軸方向に対して角度差が１５度以下である＜１００＞結晶方位の方位比率が３０％以上９０％以下である、半導体装置用Ａｌボンディングワイヤ。

［２］ さらにＰｄ、Ｐｔの１種以上を総計で３質量ｐｐｍ以上５００質量ｐｐｍ以下含む、［１］に記載の半導体装置用Ａｌボンディングワイヤ。

［３］ さらにＮｉを３質量ｐｐｍ以上１００質量ｐｐｍ以下含む、［１］又は［２］に記載の半導体装置用Ａｌボンディングワイヤ。

［４］ さらにＦｅ、Ｓｉの１種以上を総計で３質量ｐｐｍ以上７５０質量ｐｐｍ以下含む、［１］～［３］の何れかに記載の半導体装置用Ａｌボンディングワイヤ。

［５］　ＡＩの含有量が９８質量％以上である、［１］～［４］の何れかに記載の半導体装置用ＡＩボンディングワイヤ。

［６］　残部がＡＩ及び不可避不純物からなる、［１］～［５］の何れかに記載の半導体装置用ＡＩボンディングワイヤ。

［７］　［１］～［６］の何れかに記載の半導体装置用ＡＩボンディングワイヤを含む半導体装置。

発明の効果

[0012]　本発明によれば、２ｎｄ接合部において良好な接合強度を安定してもたらす半導体装置用ＡＩボンディングワイヤを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0013] [図1]図１は、ＡＩボンディングワイヤについて＜１００＞結晶方位の方位比率を測定する際の測定対象面（検査面）を説明するための概略図である。

発明を実施するための形態

[0014]　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。

[0015]　［半導体装置用ＡＩボンディングワイヤ］

本発明の半導体装置用ＡＩボンディングワイヤは、Ｓｃ、Ｚｒ、Ｍｇの１種以上を総計で０．０１質量％以上０．８質量％未満含む半導体装置用ＡＩボンディングワイヤであって、該ボンディングワイヤのワイヤ軸を含むワイヤ軸方向に平行な断面の結晶方位を測定した結果、ワイヤ軸方向に対して角度差が１５度以下である＜１００＞結晶方位の方位比率が３０％以上９０％以下であることを特徴とする。

[0016]　先述のとおり、２ｎｄ接合において、ＡＩ合金の表面にＮｉを成膜した基板など、表面に強固な酸化皮膜が形成されている基板に対して高純度のＡＩのみからなるボンディングワイヤを接合すると、一部の接合部で十分な接合強度が得られず接合強度にばらつきが生じ、接合中にＡＩボンディングワイ

ヤが基板から剥離する等の接合不良が発生する課題があった。ＡＩに他元素を添加し高強度化されたＡＩボンディングワイヤについて幾つか報告されているものの、他元素を添加するだけでは、斯かる課題を解消することは困難であった。

[0017] 本発明者らは、上記課題を解消すべく鋭意検討した結果、Ｓｃ、Ｚｒ、Ｍｇの１種以上を総計で０．０１質量％以上０．８質量％未満含有すると共に、そのワイヤ軸方向に平行な断面において、ワイヤ軸方向に対して角度差が１５度以下である＜１００＞結晶方位の方位比率が３０％以上９０％以下であるＡＩボンディングワイヤが、２ｎｄ接合部において接合強度を向上させつつ、そのばらつきを低減させ得ることを見出した。本発明の半導体装置用ＡＩボンディングワイヤ（以下、単に「ボンディングワイヤ」、「ワイヤ」ともいう。）は、最先端のパワー半導体装置で要求される２ｎｄ接合部の接合強度およびその安定性を実現することに著しく寄与するものである。

[0018] 本発明のボンディングワイヤが２ｎｄ接合部における良好な接合強度を安定してもたらすことができる理由に関しては、以下のとおり推察される。Ｓｃ、Ｚｒ、Ｍｇの１種以上を総計で０．０１質量％以上含むことでワイヤが硬質化し機械的強度が高まる。斯かる機械的強度の向上により、２ｎｄ接合工程でのワイヤ表面や電極表面の酸化膜の破壊が可能となり且つ促進される。他方、ボンディングワイヤのワイヤ軸方向に平行な断面において、ワイヤ軸方向に対して角度差が１５度以下である＜１００＞結晶方位の方位比率を３０％以上に制御することで、結晶方位のばらつきに起因したワイヤ長手方向における機械的強度のばらつきの影響が緩和される傾向にある。本発明のボンディングワイヤでは、このような機械的強度の向上効果と、ワイヤ長手方向における機械的強度のばらつきの影響の緩和効果とが相乗的に作用し得るため、２ｎｄ接合部における良好な接合強度を安定してもたらすことができるものと推察している。

[0019] ２ｎｄ接合工程においてワイヤ表面および電極表面の酸化膜を十分破壊し、良好な接合強度を得る観点から、本発明のボンディングワイヤにおけるＳ

ｃ、Ｚｒ、Ｍｇの１種以上の総計濃度は、０．０１質量％以上であり、好ましくは０．０２質量％以上、より好ましくは０．０４質量％以上又は０．０５質量％以上、さらに好ましくは０．０６質量％以上、０．０８質量％以上、０．１質量％以上、０．１２質量％以上、０．１４質量％以上又は０．１５質量％以上である。他方、ボンディングワイヤの硬度が過大となると、一般的に用いる超音波、荷重の条件では２ｎｄ接合時のワイヤ変形量が不十分となり良好な接合強度が得られ難い。一般的な条件にて２ｎｄ接合する場合に良好な接合強度を得る観点から、本発明のボンディングワイヤにおけるＳｃ、Ｚｒ、Ｍｇの１種以上の総計濃度は、０．８質量％未満であり、好ましくは０．７９質量％以下、より好ましくは０．７８質量％以下、０．７６質量％以下又は０．７５質量％以下、さらに好ましくは０．７質量％以下、０．６５質量％以下、０．６質量％以下、０．５５質量％以下又は０．５質量％以下である。

[0020] ボンディングワイヤに含まれる元素の濃度分析には、ＩＣＰ（Ｉｎｄｕｃｔｉｖｅｌｙ Ｃｏｕｐｌｅｄ Ｐｌａｓｍａ）発光分光分析装置、またはＩＣＰ質量分析装置を利用することができる。ボンディングワイヤの表面に酸素や炭素等の大気中からの汚染物由来の元素が吸着している場合には、分析を行う前に酸やアルカリにより洗浄を行うことが有効である。

[0021] 結晶方位に起因した機械的特性の異方性の影響を低減し２ｎｄ接合時のワイヤ変形量のばらつきを軽減して接合強度の安定性を改善する観点から、ボンディングワイヤのワイヤ軸を含むワイヤ軸方向に平行な断面の結晶方位を測定した結果、ワイヤ軸方向に対して角度差が１５度以下である＜１００＞結晶方位の方位比率は、３０％以上であり、好ましくは４０％以上、より好ましくは５０％以上、さらに好ましくは５５％以上又は６０％以上である。他方、該＜１００＞結晶方位の方位比率が高すぎると２ｎｄ接合部における接合強度が不十分となる傾向にあることを見出した。よって、該＜１００＞結晶方位の方位比率は、９０％以下であり、好ましくは８８％以下、より好ましくは８６％以下、８５％以下、８４％以下、８２％以下又は８０％以下

である。

[0022] 本発明におけるボンディングワイヤのワイヤ軸を含むワイヤ軸方向に平行な断面の結晶方位の測定方法について説明する。結晶方位を測定する手法には、後方散乱電子線回折（ＥＢＳＤ：Ｅｌｅｃｔｒｏｎ ＢａｃｋＳｃａｔｔｅｒｅｄ Ｄｉｆｆｒａｃｔｉｏｎ）法を利用することができる。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。ワイヤ軸を含み、ワイヤ軸方向に平行な断面（ボンディングワイヤ長手方向に平行な断面）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。本発明において、ボンディングワイヤのワイヤ軸、及び、該ワイヤ軸を含みワイヤ軸方向に平行な断面とは、後記「（＜１００＞結晶方位の方位比率の測定）」欄にて図１を参照しつつ説明するとおりである。

[0023] 本発明において、＜１００＞結晶方位の方位比率は、測定面積を母集団としたときの＜１００＞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＜１００＞結晶方位の面積割合を、＜１００＞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。

[0024] 本発明において、＜１００＞結晶方位の方位比率は、５箇所以上を測定して得られた方位比率の各値の算術平均とした。測定領域の選択にあたっては、測定対象のボンディングワイヤから、測定用の試料を、ワイヤ軸方向に対して１ｍ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。また本発明において、ＥＢＳＤ法による結晶方位の測定領域は、ワイヤ軸方向の長さが３００μｍ以上６００μｍ未満、ワイヤ軸方向と垂直な方向の長さはワイヤ全体が入るようにした。

[0025] －Ｐｄ、Ｐｔの添加－

ボンディングワイヤの製造工程では伸線加工を行う。この伸線加工において、ボンディングワイヤの表面にキズが発生する場合がある。ボンディングワイヤ表面のキズは、伸線工程でワイヤがダイスを通過する際に、ワイヤとダイスの接触界面で生じる摩擦力によって、ワイヤ表面の一部が削れることが原因で発生する。ＡＩボンディングワイヤ表面のキズは、製品の外観を損なうのは勿論のこと、ウェッジ接合性を低下させる原因となり得る。したがって、ＡＩボンディングワイヤの製造に際して、ワイヤ表面のキズを低減し、表面性状を向上させることが求められている。

[0026] 本発明者らは、Ｓｃ、Ｚｒ、Ｍｇの１種以上を総計で０．０１質量％以上０．８質量％未満含み、そのワイヤ軸を含むワイヤ軸方向に平行な断面において、ワイヤ軸方向に対して角度差が１５度以下である＜１００＞結晶方位の方位比率が３０％以上９０％以下であるＡＩボンディングワイヤについて検討を進める過程で、さらにＰｄ、Ｐｔの１種以上を総計で３質量ｐｐｍ以上５００質量ｐｐｍ以下含むことにより、ワイヤ表面のキズを低減でき、ワイヤ表面性状を改善し得ることを見出した。

[0027] 本発明のボンディングワイヤにおいてＰｄ、Ｐｔを所定量添加することによりワイヤ表面のキズを低減できる理由に関しては、以下のとおり推察される。すなわち、Ｓｃ、Ｚｒ、Ｍｇの１種以上を所定量含むことによりワイヤ表面を硬質化する効果が、Ｐｄ、Ｐｔの１種以上を総計で３質量ｐｐｍ以上５００質量ｐｐｍ以下添加することにより相乗的に高められ、さらにワイヤ軸方向に平行な断面の＜１００＞結晶方位の方位比率が３０％以上９０％以下であることによりワイヤ長手方向における機械的強度のばらつきを低減して伸線加工中のワイヤとダイスの界面の摩擦力のばらつきを低減する効果も追加で作用したためと考えられる。Ｓｃ、Ｚｒ、Ｍｇの１種以上とＰｄ、Ｐ

ｔの１種以上を共に含有する際にワイヤ表面が著しく硬質化する理由は明らかではないが、ワイヤ表面近傍でＳｃ、Ｚｒ、ＭｇがＰｄ、Ｐｔと析出相を形成し、析出強化により硬質化されたことが考えられる。

[0028] Ｓｃ、Ｚｒ、Ｍｇの１種以上との組み合わせにおいてワイヤ表面を十分に硬質化しワイヤ表面性状を改善する観点から、本発明のボンディングワイヤに含まれるＰｄ、Ｐｔの１種以上の総計濃度は、好ましくは３質量ｐｐｍ以上であり、より好ましくは５質量ｐｐｍ以上、さらに好ましくは１０質量ｐｐｍ以上、１２質量ｐｐｍ以上、１４質量ｐｐｍ以上、１５質量ｐｐｍ以上、１６質量ｐｐｍ以上、１８質量ｐｐｍ以上又は２０質量ｐｐｍ以上である。他方、Ｐｄ、Ｐｔの含有量が過大であると、ワイヤ表面が過度に硬質化してダイスとワイヤの界面の摩擦力が増加し、ワイヤ表面性状の十分な改善効果が得られない。よって、本発明のボンディングワイヤに含まれるＰｄ、Ｐｔの１種以上の総計濃度は、好ましくは５００質量ｐｐｍ以下であり、より好ましくは４５０質量ｐｐｍ以下、さらに好ましくは４００質量ｐｐｍ以下、３５０質量ｐｐｍ以下、３００質量ｐｐｍ以下、２５０質量ｐｐｍ以下又は２００質量ｐｐｍ以下である。

[0029] －Ｎｉ－

本発明のボンディングワイヤは、さらにＮｉを３質量ｐｐｍ以上１００質量ｐｐｍ以下含んでもよい。

[0030] さらにＮｉを３質量ｐｐｍ以上１００質量ｐｐｍ以下含むことにより、２ｎｄ接合部における接合強度の安定性をさらに改善できることを本発明者らは見出した。この理由は、Ｓｃ、Ｚｒ、Ｍｇの１種以上を所定量含むことによりワイヤが硬質化する効果と、Ｎｉを３質量ｐｐｍ以上１００質量ｐｐｍ未満含むことにより、ワイヤを構成する結晶粒が微細化し、かつ等軸形状の結晶粒の比率が増加することでワイヤ長手方向における機械的強度のばらつきが低減する効果が相乗的に作用したためと考えられる。

[0031] ２ｎｄ接合部における接合強度の安定性をさらに改善する観点から、本発明のボンディングワイヤに含まれるＮｉの濃度は、好ましくは３質量ｐｐｍ

以上であり、より好ましくは５質量ｐｐｍ以上、さらに好ましくは１０質量ｐｐｍ以上、１５質量ｐｐｍ以上、２０質量ｐｐｍ以上又は２５質量ｐｐｍ以上である。また、該Ｎｉの濃度の上限は、好ましくは１００質量ｐｐｍ以下であり、より好ましくは９０質量ｐｐｍ以下、さらに好ましくは８０質量ｐｐｍ以下、７０質量ｐｐｍ以下又は６０質量ｐｐｍ以下である。

[0032] －Ｆｅ、Ｓｉ－

本発明のボンディングワイヤは、さらにＦｅ、Ｓｉの１種以上を総計で３質量ｐｐｍ以上７５０質量ｐｐｍ以下含んでもよい。

[0033] 特にＰｄ、Ｐｔの１種以上を総計で３質量ｐｐｍ以上５００質量ｐｐｍ以下含む場合に、さらにＦｅ、Ｓｉの１種以上を総計で３質量ｐｐｍ以上７５０質量ｐｐｍ以下含むことにより、ワイヤ表面性状をさらに改善できる。これは、Ｓｃ、Ｚｒ、Ｍｇの１種以上とＰｄ、Ｐｔの１種以上を共に含有する際にワイヤ表面が著しく硬質化する効果と、Ｆｅ、Ｓｉの１種以上を総計で３質量ｐｐｍ以上７５０質量ｐｐｍ以下含むことによりワイヤ表面の結晶粒が微細化した効果が相乗的に作用したためと考えられる。

[0034] ワイヤ表面性状をさらに改善する観点から、本発明のボンディングワイヤに含まれるＦｅ、Ｓｉの１種以上の総計濃度は、好ましくは３質量ｐｐｍ以上、より好ましくは５質量ｐｐｍ以上、さらに好ましくは６質量ｐｐｍ以上、８質量ｐｐｍ以上、１０質量ｐｐｍ以上、１２質量ｐｐｍ以上、１４質量ｐｐｍ以上又は１５質量ｐｐｍ以上である。他方、Ｆｅ、Ｓｉの含有量が過大であると、ワイヤ表面が過度に硬質化してダイスとワイヤの界面の摩擦力が増加し、ワイヤ表面性状の十分な改善効果が得られない。よって、本発明のボンディングワイヤに含まれるＦｅ、Ｓｉの１種以上の総計濃度は、好ましくは７５０質量ｐｐｍ以下であり、より好ましくは７００質量ｐｐｍ以下、さらに好ましくは６００質量ｐｐｍ以下、５００質量ｐｐｍ以下、４００質量ｐｐｍ以下、３００質量ｐｐｍ以下、２５０質量ｐｐｍ以下又は２００質量ｐｐｍ以下である。

[0035] 本発明のボンディングワイヤの残部は、Ａｌを含む。ボンディングワイヤ

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、本発明のボンディングワイヤの残部は、Ａｌ以外の元素を含有してよい。本発明のボンディングワイヤにおいて、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、本発明のボンディングワイヤの残部は、Ａｌ及び不可避不純物からなる。

[0036] 好適な一実施形態において、本発明のボンディングワイヤは、該ワイヤの外周に、Ａｌ以外の金属を主成分とする被覆を有していない。ここで、「Ａｌ以外の金属を主成分とする被覆」とは、Ａｌ以外の金属の含有量が５０質量％以上である被覆をいう。

[0037] 本発明のボンディングワイヤは、良好な電気伝導性、接合部の長期信頼性、１ｓｔ接合部における良好な接合性等を満足したうえで、２ｎｄ接合部において良好な接合強度を安定してもたらすことができる。したがって本発明のボンディングワイヤは、半導体装置用、特にパワー半導体装置用のＡｌボンディングワイヤとして好適に使用することができる。

[0038] 本発明のボンディングワイヤの線径は特に限定されず、例えば、５０～６００μｍであってよい。

[0039] （ボンディングワイヤの製造方法）

本発明のボンディングワイヤの製造方法の一例を説明する。原材料となるＡｌおよび合金元素は純度が高い方が好ましい。Ａｌは純度が９９．９９質量％以上で残部が不可避不純物から構成されるものが好ましい。合金元素として使用するＳｃ、Ｚｒ、Ｍｇ、Ｐｄ、Ｐｔ、Ｎｉ、Ｆｅ、Ｓｉ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が好ましい。

ボンディングワイヤに用いるＡｌ合金は、円柱形状のインゴットが得られるように加工した黒鉛やアルミナ製のるつぼに、Ａｌ原料と合金元素の原料を装填し、電気炉や高周波加熱炉を用いて溶解することにより製造することができる。円柱状のインゴットの直径はその後の加工工程における加工性を考慮してΦ８ｍｍ未満とすることが好ましい。溶解時の炉内の雰囲気は、ワイヤを構成するＡｌやその他の元素が過剰に酸化されることを防ぐため、不活性雰囲気あるいは還元雰囲気とすることが好ましい。溶解時の溶湯の最高到達温度はるつぼから溶湯中への不純物元素の混入を防ぐために７００℃以上１０８０℃未満の範囲とすることが好ましい。溶解後の冷却方法は水冷、油冷、炉冷などを用いることができる。

[0040] 溶解によって得られた円柱状のインゴットに対し、ダイスを用いた伸線加工を行うことで、目的とする線径のワイヤを製造することができる。伸線加工時には、ワイヤとダイスの接触界面における潤滑性を確保するため、潤滑液を用いることが有効である。伸線加工時のダイス１個あたりの減面率は、１０．５％以上１２．５％未満の範囲とすることが好ましい。ここで、ダイス１個あたりの減面率をＰ１とすると、Ｐ１は以下の式で表される。

[0041] $P1 = \{ (R_2^2 - R_1^2) / R_2^2 \} \times 100$

式中、R_2は加工前のワイヤの直径（ｍｍ）、R_1は加工後のワイヤの直径（ｍｍ）を表す。

[0042] 伸線加工時のワイヤ送り速度は２０ｍ／分以上３００ｍ／分未満とすることが好ましい。伸線加工後のワイヤは、最終的に破断伸びが１２％以上２５％未満となるよう最終熱処理を行うことが好ましい。最終熱処理はバッチ式の炉で一定時間加熱する方法や管状炉内にワイヤを連続的に掃引しながら行う方法で実施することができる。最終熱処理中の雰囲気は不活性雰囲気あるいは還元雰囲気とすることが好ましい。最終熱処理の熱処理温度は、５７０℃以上６１０℃未満、熱処理時間は０．３秒以上３．５秒未満の範囲とすることが好ましい。

[0043] ボンディングワイヤのワイヤ軸を含むワイヤ軸方向に平行な断面の結晶方

位を測定した結果、ワイヤ軸方向に対して角度差が１５度以下である＜１００＞結晶方位の方位比率を３０％以上９０％以下に制御するためには、最終線径に到達する前の線径（以下、「中間線径」という。）で中間熱処理を行うことが有効である。上記＜１００＞結晶方位の方位比率を３０％以上９０％以下の範囲に制御するための中間熱処理方法とその条件の一例を以下に示す。

[0044] 中間熱処理はワイヤを連続的に掃引する方法を用いることができる。この方法を用いた場合、最終線径に到達する前の線径で、５５０℃以上６００℃未満の温度範囲で中間熱処理を複数回行うことが有効である。中間熱処理を行う回数は、最終線径の１．２～２．０倍、２．２～３．０倍、３．５～５．５倍の線径で、それぞれ１回ずつ実施することが有効である。中間熱処理時の熱処理時間は０．１秒以上３．２秒未満とすることが有効である。中間熱処理の雰囲気は、不活性雰囲気あるいは還元雰囲気とすることが好ましい。

[0045] この手法が上記＜１００＞結晶方位の方位比率を３０％以上９０％以下に制御することに対して有効である理由について説明する。上記＜１００＞結晶方位を有する結晶粒は、中間熱処理あるいは最終熱処理工程で、再結晶が起こり、結晶粒が成長する過程で形成される。したがって、中間熱処理工程を所定の線径で実施することで結晶粒の成長を制御することが重要である。ここで、結晶粒の成長は、伸線加工により材料に蓄積されたひずみエネルギーを駆動力として成長するため、所定の線径で実施する必要がある。また、結晶粒の成長速度は熱処理温度が高いほど速くなるため、熱処理温度や熱処理時間の制御が重要となる。本発明では、中間熱処理工程を所定の線径で実施することで結晶粒の成長を制御することでき、最終熱処理工程を経て製造されたワイヤの＜１００＞結晶方位の方位比率を目的とする範囲に制御できると考えられる。

[0046] ［半導体装置］

本発明のボンディングワイヤを用いて、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。

[0047] 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ボンディングワイヤを含み、該ボンディングワイヤが本発明のボンディングワイヤであることを特徴とする。

[0048] 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。

[0049] 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

[0050] 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。

[0051] （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Ａｌは純度が４Ｎ（９９．９９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Ｓｃ、Ｚｒ、Ｍｇ、Ｐｄ、Ｐｔ、Ｎｉ、Ｆｅ、Ｓｉ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。ボンディングワイヤに用いるＡｌ合金は、黒鉛るつぼにＡｌ原料と合金元素の原料を装填し、高周波加熱炉を用いて溶解することにより製造した。溶解時の炉内の雰囲気はＡｒ雰囲気とし、溶解時の溶湯の最高到

達温度は７５０℃とした。溶解後の冷却方法は炉冷とした。

[0052] 溶解によりΦ６ｍｍの円柱状のインゴットを得、該インゴットに対し、ダイスを用いて伸線加工と中間熱処理を行いΦ３００μｍのワイヤを作製した。伸線加工時には市販の潤滑液を用いた。伸線加工時のダイス１個あたりの減面率は１１．０％とした。中間熱処理の条件は５８０℃で、０．１秒以上３．２秒未満とした。中間熱処理は最終線径の１．２～２．０倍、２．２～３．０倍、３．５～５．５倍の線径で、それぞれ１回ずつ実施した。伸線加工時のワイヤ送り速度は２５ｍ／分とした。伸線加工後のワイヤは、最終的に破断伸びが１２％以上２５％未満となるよう最終熱処理を実施した。最終熱処理はワイヤを連続的に掃引しながら行った。最終熱処理中の雰囲気はＡｒ雰囲気とした。最終熱処理の熱処理温度は、５７０℃以上６１０℃未満、熱処理時間は０．３秒以上３．５秒未満とした。なお、比較例７、９、１１のワイヤを製造するにあたっては、中間熱処理温度は５４０℃、熱処理時間は０．２秒とした。中間熱処理は４５０μｍ、７５０μｍ、１５００μｍの線径で、それぞれ１回ずつ実施した。また、比較例８、１０、１２のワイヤを製造するにあたっては、中間熱処理温度は６２０℃、熱処理時間３．０秒とした。中間熱処理は４５０μｍ、７５０μｍ、１５００μｍの線径で、それぞれ１回ずつ実施した。

[0053] （元素含有量の測定）

ボンディングワイヤ中の元素の含有量は、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。

[0054] （＜１００＞結晶方位の方位比率の測定）

ボンディングワイヤのワイヤ軸を含み、ワイヤ軸方向に平行な断面を検査面とし、＜１００＞結晶方位の方位比率を測定した。本発明において、ワイヤ軸とは、図１に示す軸Ａ、すなわちボンディングワイヤの中心軸を意味する。また、ワイヤ軸方向に平行な断面とは、図１に示す平面Ｂ、すなわちボ

ンディングワイヤの中心軸を含み、ワイヤ軸方向（ワイヤ長手方向）に平行な断面を意味する。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＜１００＞結晶方位の方位比率を算出した。ワイヤ軸方向に対して１ｍ以上の間隔で５箇所の測定領域を選択し、得られた方位比率の各値を算術平均して、＜１００＞結晶方位の方位比率をとした。

[0055] （ボンディングワイヤの評価方法）

ボンディングワイヤの評価方法について説明する。評価に用いたボンディングワイヤの線径はΦ３００μｍとした。半導体素子はＳｉ製のものを用い、半導体素子上の電極には、組成がＡｌ－１％Ｓｉ－０．５％Ｃｕの合金を厚さ５μｍで成膜したものを用いた。基板にはＡｌ合金にＮｉを１５μｍ成膜したものを用いた。ボンディングワイヤの接合には市販のワイヤボンダー（超音波工業社製）を用いた。

[0056] （２ｎｄ接合部における接合強度の評価方法）

無作為に選択した５０か所の２ｎｄ接合部に対してシェア試験を行い、接合強度を取得し、算術平均接合強度（Ｆ）および母標準偏差（σ）を算出した。Ｆが９００ｇｆ未満であれば実用上問題があると判断し０点、Ｆが９００ｇｆ以上であれば実用上問題ないと判断し１点とした。評価結果は「２ｎｄ接合部における接合強度（Ｆ）」の欄に記載した。０点が不合格であり、１点は合格である。続いて、σが８０ｇｆ以上の場合は実用上問題があると判断し０点、σが６０ｇｆ以上８０ｇｆ未満であれば実用上問題ないと判断し１点、σが５０ｇｆ以上６０ｇｆ未満であれば良好と判断し２点、σが４０ｇｆ以上５０ｇｆ未満であれば優れていると判断し３点、σが４０ｇｆ未満であれば特に優れていると判断し４点とした。評価結果は「２ｎｄ接合部における接合強度の安定性（σ）」の欄に記載した。０点が不合格であり、１点以上が合格である。

[0057] （ワイヤ表面性状の評価方法）

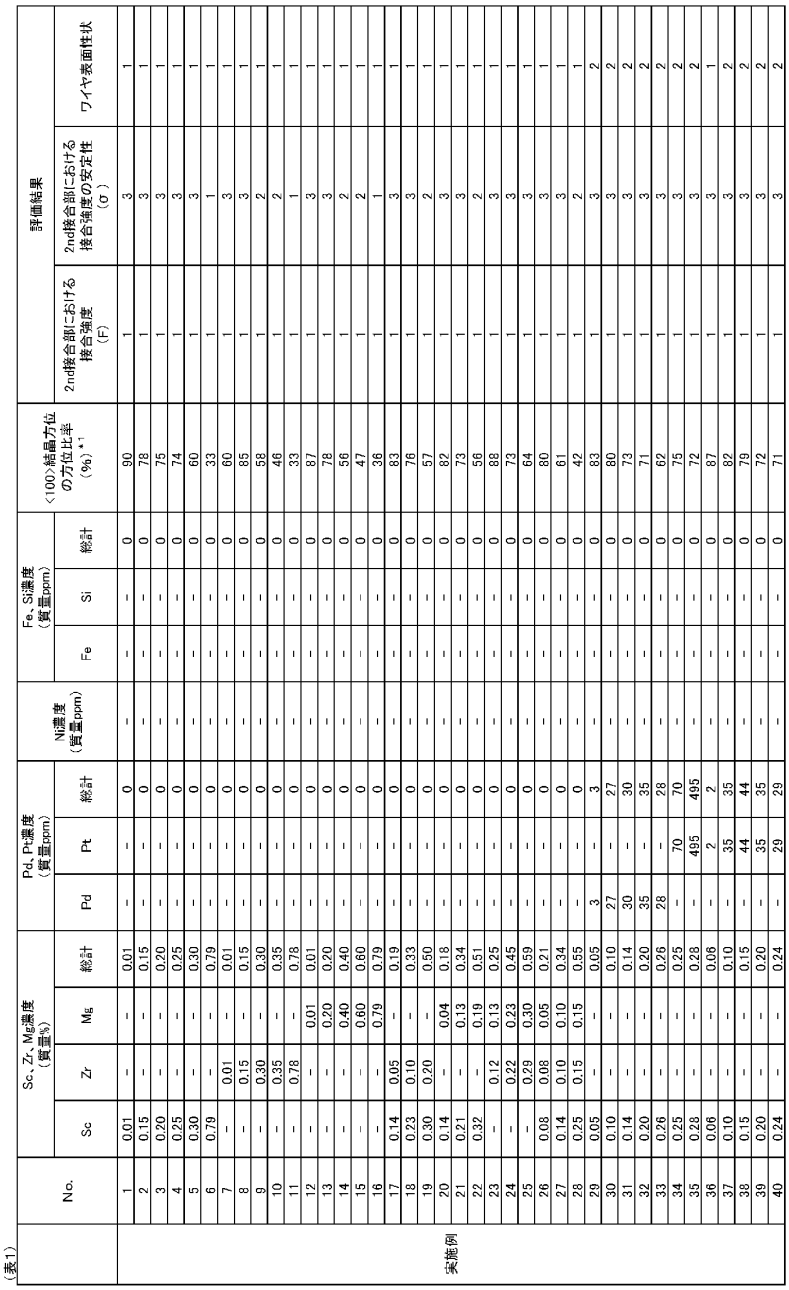
ワイヤからワイヤ長手方向に対して３０ｃｍ間隔で長さ約１ｃｍのサンプ

ルを１０本採取した。採取したサンプルのワイヤ表面をＳＥＭによって１００倍の倍率で観察し、キズの発生有無を調査した。観察した１０本のサンプルのうち、ワイヤ表面にキズが認められたサンプルが３本以上あれば実用上問題があると判断し０点、ワイヤ表面のキズが認められたサンプルが２本であれば実用上問題ないと判断し１点、ワイヤ表面のキズが認められたサンプルが１本であれば優れていると判断し２点、全てのサンプルでワイヤ表面のキズが認められなかった場合は特に優れていると判断し３点とした。評価結果は「ワイヤ表面性状」の欄に記載した。０点が不合格であり、１点以上が合格である。

[0058] 実施例及び比較例の評価結果を表１、表２に示す。

[0059]

[表1]



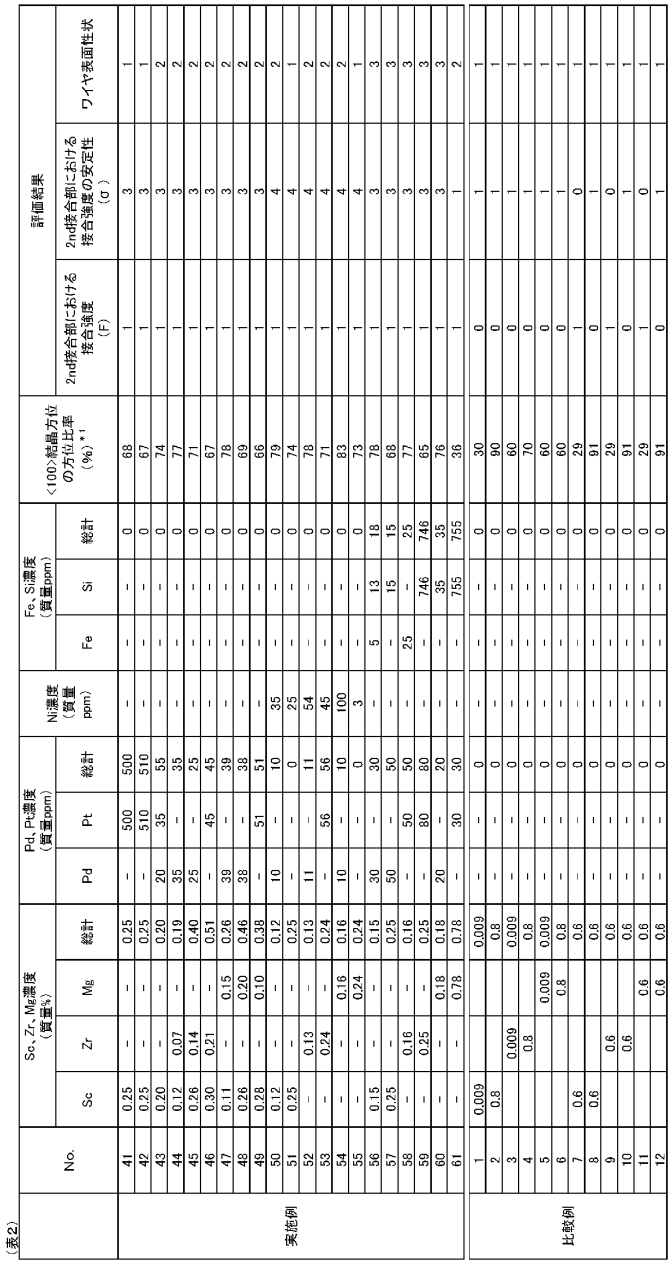
（表1）

	No.	Sc, Zr, Mg濃度（質量%）				Pd, Pt濃度（質量ppm）			Ni濃度（質量ppm）	Fe, Si濃度（質量ppm）			<100>結晶方位の方位比率（%）*1	評価結果		
		Sc	Zr	Mg	総計	Pd	Pt	総計		Fe	Si	総計		2nd接合部における接合強度（F）	2nd接合部における接合強度の安定性（σ）	ワイヤ表面性状
実施例	1	0.01	–	–	0.01	–	–	0	–	–	–	0	90	1	3	1
	2	0.15	–	–	0.15	–	–	0	–	–	–	0	78	1	3	1
	3	0.20	–	–	0.20	–	–	0	–	–	–	0	75	1	3	1
	4	0.25	–	–	0.25	–	–	0	–	–	–	0	74	1	3	1
	5	0.30	–	–	0.30	–	–	0	–	–	–	0	60	1	3	1
	6	0.79	–	–	0.79	–	–	0	–	–	–	0	33	1	1	1
	7	–	0.01	–	0.01	–	–	0	–	–	–	0	60	1	3	1
	8	–	0.15	–	0.15	–	–	0	–	–	–	0	85	1	3	1
	9	–	0.30	–	0.30	–	–	0	–	–	–	0	58	1	2	1
	10	–	0.35	–	0.35	–	–	0	–	–	–	0	46	1	2	1
	11	–	0.78	–	0.78	–	–	0	–	–	–	0	33	1	1	1
	12	–	–	0.01	0.01	–	–	0	–	–	–	0	87	1	3	1
	13	–	–	0.20	0.20	–	–	0	–	–	–	0	78	1	3	1
	14	–	–	0.40	0.40	–	–	0	–	–	–	0	56	1	2	1
	15	–	–	0.60	0.60	–	–	0	–	–	–	0	47	1	2	1
	16	–	–	0.79	0.79	–	–	0	–	–	–	0	36	1	1	1
	17	0.14	0.05	–	0.19	–	–	0	–	–	–	0	83	1	3	1
	18	0.23	0.10	–	0.33	–	–	0	–	–	–	0	76	1	3	1
	19	0.30	0.20	–	0.50	–	–	0	–	–	–	0	57	1	2	1
	20	0.14	–	0.04	0.18	–	–	0	–	–	–	0	82	1	3	1
	21	0.21	–	0.13	0.34	–	–	0	–	–	–	0	73	1	3	1
	22	0.32	–	0.19	0.51	–	–	0	–	–	–	0	56	1	2	1
	23	–	0.12	0.13	0.25	–	–	0	–	–	–	0	88	1	3	1
	24	–	0.22	0.23	0.45	–	–	0	–	–	–	0	73	1	3	1
	25	–	0.29	0.30	0.59	–	–	0	–	–	–	0	64	1	3	1
	26	0.08	0.08	0.05	0.21	–	–	0	–	–	–	0	80	1	3	1
	27	0.14	0.10	0.10	0.34	–	–	0	–	–	–	0	61	1	3	1
	28	0.25	0.15	0.15	0.55	–	–	0	–	–	–	0	42	1	2	1
	29	0.05	–	–	0.05	3	–	3	–	–	–	0	83	1	3	2
	30	0.10	–	–	0.10	27	–	27	–	–	–	0	80	1	3	2
	31	0.14	–	–	0.14	30	–	30	–	–	–	0	73	1	3	2
	32	0.20	–	–	0.20	35	–	35	–	–	–	0	71	1	3	2
	33	0.26	–	–	0.26	28	–	28	–	–	–	0	62	1	3	2
	34	0.25	–	–	0.25	–	70	70	–	–	–	0	75	1	3	2
	35	0.28	–	–	0.28	–	495	495	–	–	–	0	72	1	3	2
	36	0.06	–	–	0.06	–	2	2	–	–	–	0	87	1	3	1
	37	0.10	–	–	0.10	–	35	35	–	–	–	0	82	1	3	2
	38	0.15	–	–	0.15	–	44	44	–	–	–	0	79	1	3	2
	39	0.20	–	–	0.20	–	35	35	–	–	–	0	72	1	3	2
	40	0.24	–	–	0.24	–	29	29	–	–	–	0	71	1	3	2

*1 ボンディングワイヤのワイヤ軸を含むワイヤ軸方向に平行な断面の結晶方位を測定した結果、ワイヤ軸方向に対して角度差が15度以下である<100>結晶方位の方位比率（%）

[0060]

[表2]



（表2）

	No.	Sc、Zr、Mg濃度（質量%）				Pd、Pt濃度（質量ppm）			Ni濃度（質量ppm）	Fe、Si濃度（質量ppm）			<100>結晶方位の方位比率（%）*1	評価結果		
		Sc	Zr	Mg	総計	Pd	Pt	総計		Fe	Si	総計		2nd接合部における接合強度（F）	2nd接合部における接合強度の安定性（σ）	ワイヤ表面性状
実施例	41	0.25	–	–	0.25	–	500	500	–	–	–	0	68	1	3	1
	42	0.25	–	–	0.25	–	510	510	–	–	–	0	67	1	3	1
	43	0.20	–	–	0.20	20	35	55	–	–	–	0	74	1	3	2
	44	0.12	0.07	–	0.19	35	–	35	–	–	–	0	77	1	3	2
	45	0.26	0.14	–	0.40	25	–	25	–	–	–	0	71	1	3	2
	46	0.30	0.21	–	0.51	–	45	45	–	–	–	0	67	1	3	2
	47	0.11	–	0.15	0.26	39	–	39	–	–	–	0	78	1	3	2
	48	0.26	–	0.20	0.46	38	–	38	–	–	–	0	69	1	3	2
	49	0.28	–	0.10	0.38	–	51	51	–	–	–	0	66	1	3	2
	50	0.12	–	–	0.12	10	–	10	35	–	–	0	79	1	4	2
	51	0.25	–	–	0.25	–	–	0	25	–	–	0	74	1	4	1
	52	–	0.13	–	0.13	11	–	11	54	–	–	0	78	1	4	2
	53	–	0.24	–	0.24	–	56	56	45	–	–	0	71	1	4	2
	54	–	–	0.16	0.16	10	–	10	100	–	–	0	83	1	4	2
	55	–	–	0.24	0.24	–	–	0	3	–	–	0	73	1	4	1
	56	0.15	–	–	0.15	30	–	30	–	5	13	18	78	1	3	3
	57	0.25	–	–	0.25	50	–	50	–	–	15	15	68	1	3	3
	58	–	0.16	–	0.16	–	50	50	–	25	–	25	77	1	3	3
	59	–	0.25	–	0.25	–	80	80	–	–	746	746	65	1	3	3
	60	–	–	0.18	0.18	20	–	20	–	–	35	35	76	1	3	3
	61	–	–	0.78	0.78	–	30	30	–	–	755	755	36	1	1	2
比較例	1	0.009			0.009	–	–	0	–	–	–	0	30	0	1	1
	2	0.8			0.8	–	–	0	–	–	–	0	90	0	1	1
	3		0.009		0.009	–	–	0	–	–	–	0	60	0	1	1
	4		0.8		0.8	–	–	0	–	–	–	0	70	0	1	1
	5			0.009	0.009	–	–	0	–	–	–	0	60	0	1	1
	6			0.8	0.8	–	–	0	–	–	–	0	60	0	1	1
	7	0.6			0.6	–	–	0	–	–	–	0	29	1	0	1
	8	0.6			0.6	–	–	0	–	–	–	0	91	0	1	1
	9		0.6		0.6	–	–	0	–	–	–	0	29	1	0	1
	10		0.6		0.6	–	–	0	–	–	–	0	91	0	1	1
	11			0.6	0.6	–	–	0	–	–	–	0	29	1	0	1
	12			0.6	0.6	–	–	0	–	–	–	0	91	0	1	1

*1：ボンディングワイヤのワイヤ軸を含むワイヤ軸方向に平行な断面の結晶方位を測定した結果、ワイヤ軸方向に対して角度差が15度以下である＜100＞結晶方位の方位比率（%）

[0061] 実施例Ｎｏ．１～６１のワイヤはいずれも、Ｓｃ、Ｚｒ、Ｍｇの１種以上を総計で０．０１質量%以上０．８質量%未満含むと共に、そのワイヤ軸を含むワイヤ軸方向に平行な断面において、ワイヤ軸方向に対して角度差が１５度以下である＜１００＞結晶方位の方位比率が３０%以上９０%以下であ

り、２ｎｄ接合部における接合強度およびその安定性が良好であることを確認した。

加えて、Ｐｄ、Ｐｔの１種以上を総計で３質量ｐｐｍ以上５００質量ｐｐｍ以下含む実施例Ｎｏ．２９～３５、３７～４１、４３～５０、５２～５４、５６～６１のワイヤは、ワイヤ表面のキズを低減でき、ワイヤ表面性状が改善されることを確認した。

また、Ｎｉを３質量ｐｐｍ以上１００質量ｐｐｍ以下含む実施例Ｎｏ．５０～５５のワイヤは、２ｎｄ接合部における接合強度の安定性をさらに改善できることを確認した。

さらに、Ｆｅ、Ｓｉの１種以上を総計で３質量ｐｐｍ以上７５０質量ｐｐｍ以下含む実施例Ｎｏ．５６～６０のワイヤは、ワイヤ表面のキズをさらに低減でき、ワイヤ表面性状がさらに改善されることを確認した。

他方、比較例Ｎｏ．１～１２のワイヤは、Ｓｃ、Ｚｒ、Ｍｇの１種以上の総計濃度、あるいは、＜１００＞結晶方位の方位比率が本発明範囲外であり、２ｎｄ接合部における接合強度を安定してもらすことはできないことを確認した。

請求の範囲

[請求項1] Ｓｃ、Ｚｒ、Ｍｇの１種以上を総計で０．０１質量％以上０．８質量％未満含む半導体装置用Ａｌボンディングワイヤであって、前記ボンディングワイヤのワイヤ軸を含むワイヤ軸方向に平行な断面の結晶方位を測定した結果、ワイヤ軸方向に対して角度差が１５度以下である＜１００＞結晶方位の方位比率が３０％以上９０％以下である、半導体装置用ＡｌボンディングワイヤＯ

[請求項2] さらにＰｄ、Ｐｔの１種以上を総計で３質量ｐｐｍ以上５００質量ｐｐｍ以下含む、請求項１に記載の半導体装置用ＡｌボンディングワイヤＯ

[請求項3] さらにＮｉを３質量ｐｐｍ以上１００質量ｐｐｍ以下含む、請求項１又は２に記載の半導体装置用ＡｌボンディングワイヤＯ

[請求項4] さらにＦｅ、Ｓｉの１種以上を総計で３質量ｐｐｍ以上７５０質量ｐｐｍ以下含む、請求項１～３の何れか１項に記載の半導体装置用ＡｌボンディングワイヤＯ

[請求項5] Ａｌの含有量が９８質量％以上である、請求項１～４の何れか１項に記載の半導体装置用ＡｌボンディングワイヤＯ

[請求項6] 残部がＡｌ及び不可避不純物からなる、請求項１～５の何れか１項に記載の半導体装置用ＡｌボンディングワイヤＯ

[請求項7] 請求項１～６の何れか１項に記載の半導体装置用ＡｌボンディングワイヤＯを含む半導体装置Ｏ