



(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2021/065036**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜbkG)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2020 004 723.7**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2020/010119**

(86) PCT-Anmeldetag: **09.03.2020**

(87) PCT-Veröffentlichungstag: **08.04.2021**

(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **15.06.2022**

(51) Int Cl.: **C22C 5/06 (2006.01)**
H01L 21/60 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
2019-181763 01.10.2019 JP

(71) Anmelder:
Tanaka Denshi Kogyo K.K., Kanzaki-gun, Saga, JP

(74) Vertreter:
**HOFFMANN - EITLE Patent- und Rechtsanwälte
PartmbB, 81925 München, DE**

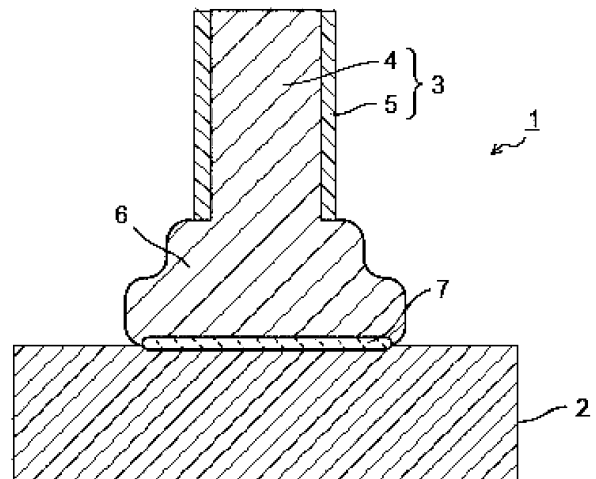
(72) Erfinder:
**Antoku, Yuki, Kanzaki-gun, Saga, JP; Sakita,
Yusuke, Kanzaki-gun, Saga, JP; Kawano, Shota,
Kanzaki-gun, Saga, JP; Hirai, Yuka, Kanzaki-gun,
Saga, JP**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Drahtbondstruktur, hierfür verwendeter Bonddraht und Halbleitervorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Ein Drahtbondstruktur 1 umfasst eine aluminiumhaltige Elektrode 2; einen Bonddraht 3; und einen komprimierten Kugelteil 6, gebondet an die Elektrode 2. Der Bonddraht 3 umfasst: ein Kernmaterial 4, enthaltend Silber als eine Hauptkomponente hiervon; und eine Beschichtungsschicht 5, enthaltend Gold als eine Hauptkomponente hiervon, und es enthält zumindest eines der Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16, ausgewählt aus Schwefel, Tellur, Selen, Arsen und Antimon, und die Goldkonzentration beträgt 2,0 Masse-% oder mehr und 7 Masse-% oder weniger, und die Gesamtkonzentration der Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16 beträgt 4 Masse-ppm oder mehr und 80 Masse-ppm oder weniger im gesamten Draht, und die Drahtbondstruktur 1 umfasst einen goldkonzentrierten Bondbereich mit einer Goldkonzentration von 5,0 Atom-% oder mehr, relativ zur Gesamtmenge von Aluminium, Silber und Gold, nahe zu einer Bond-Grenzfläche zwischen der Elektrode 2 und dem komprimierten Kugelteil 6.



Beschreibung

GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Drahtbondstruktur, einen Bonddraht, der hierfür verwendet wird, und eine Halbleitervorrichtung.

HINTERGRUND

[0002] Eine Elektrode eines Halbleiterchips und eine externe Elektrode eines Schaltkreissubstrats, wie z.B. ein Lead-Frame oder eine Leiterplatte, werden z.B. durch einen Bonddraht verbunden. Beim Drahtbonden wird z.B. ein Ende des Bonddrahts an die Elektrode des Halbleiterchips durch ein Verfahren gebondet, das als Kugelbonden (Erstbonden) bezeichnet wird, und das andere Ende des Bonddrahts wird an die externe Elektrode des Schaltkreissubstrats durch ein Verfahren gebondet, das im Allgemeinen als Wedge-Bonden (Zweitbonden) bezeichnet wird. Beim Kugelbonden wird ein Ende des Bonddrahts durch eine elektrische Entladung oder dergleichen geschmolzen und durch die Oberflächenspannung oder dergleichen zu einer sphärischen Form verfestigt, um eine Kugel zu bilden. Die verfestigte Kugel wird als freie Luftkugel (free air ball, FAB)) bezeichnet und wird mit der Elektrode des Halbleiterchips durch ein kombiniertes Ultraschall-Thermokompressions-Bondverfahren oder dergleichen verbunden, um eine Drahtbondstruktur zu bilden. Die Struktur, worin die am Bonddraht vorgesehene FAB mit der Elektrode gebondet ist, wird als Drahtbondstruktur bezeichnet. Ferner ist der Halbleiterchip, mit dem der Bonddraht verbunden ist, zusammen mit dem Bonddraht und einem Teil des Schaltkreissubstrats in ein Harz eingekapselt, und hierdurch wird eine Halbleitervorrichtung konfiguriert.

[0003] In den letzten Jahren ist es erforderlich geworden, dass Halbleitervorrichtungen einen niedrigen Energieverbrauch und eine hohe Signalverarbeitungsgeschwindigkeit aufweisen, und die in solchen Halbleitervorrichtungen verwendeten Bonddrähte müssen einen geringen elektrischen Widerstand (spezifischer Widerstand) aufweisen (der z.B. gleich oder kleiner ist als der eines 4NAu-Drahts mit einer Reinheit von 99,99 Masse-%), und sie müssen den spezifischen Widerstand für eine lange Zeitspanne sogar unter harschen Umgebungsbedingungen beibehalten, um eine hohe Zuverlässigkeit aufzuweisen. Die hohe Zuverlässigkeit bezeichnet, dass der Draht nicht korrodiert (sulfuriert oder oxidiert), sogar bei einer Umgebung von hoher Temperatur und hoher Luftfeuchtigkeit, und dass sich der elektrische Widerstand für eine lange Zeitspanne nicht erhöht. Jedoch weist ein Golddraht, der in der Vergangenheit normalerweise verwendet worden ist, hohe Materialkosten auf, und ein Kupferdraht und ein beschichteter Kupferdraht sind harte Materialien, welche ein Problem der Beschädigung des Halbleiterchips verursachen. Obwohl ein Silberdraht als Bonddraht wegen seiner niedrigen Kosten und der Weichheit geeignet ist, weist ein reiner Silberdraht ferner das Problem auf, dass er an seiner Oberfläche sulfuriert wird, wenn er für eine lange Zeitspanne in Luft belassen wird. Ein Silberlegierungs-Bonddraht, der als Mittel gegen die Sulfurierung kommerziell verfügbar gewesen ist, wird hergestellt, indem metallische Elemente, wie z.B. Palladium und Gold, zu reinem Silber zugegeben werden, was zu einem Silbergehalt von 90 bis 97 Masse-% führt. Obwohl die Maßnahme gegen die Sulfurierung geringfügig verbessert worden ist, besitzt der Silberlegierungs-Bonddraht aufgrund der Wirkung der Mengen der zugegebenen Elemente den Nachteil eines hohen spezifischen Widerstands, der die Erfordernisse von aktuellen Halbleitervorrichtungen nicht hinreichend erfüllt. Es ist ein Silberlegierungsdraht vorgeschlagen worden, bei dem die Menge von Edelmetall verringert ist und der einen spezifischen Widerstand aufweist, der zu demjenigen von Golddraht äquivalent ist, dieser besitzt nun jedoch das Problem der Korrosionsbeständigkeit, und daher bestehen einige Probleme, wie z.B. die Notwendigkeit, ein Formharz auszuwählen, das die Halbleitervorrichtung bildet, nämlich ein Harz, das keine Elemente enthält, die die hohe Zuverlässigkeit beeinträchtigen, und die Schwierigkeit, die hohen Zuverlässigkeits-Bewertungskriterien aufgrund der intermetallischen Verbindung, die an der Grenzfläche zwischen dem Bonddraht und der Elektrode gebildet wird.

[0004] Um die vorstehenden Probleme zu lösen ist vorgeschlagen worden, eine Beschichtungsschicht aus einem Element der Platingruppe, wie z.B. Palladium, Gold usw., die eine hohe Korrosionsbeständigkeit aufweisen, auf der Oberfläche des Silberdrahts zu bilden. Die Beschichtungsschicht aus dem Element der Platingruppe und Gold ist in der Lage, die Sulfurierung der Oberfläche des Silberdrahts zu inhibieren, wenn sie in einem festen Zustand verbleibt ohne zu schmelzen. Sie ist daher effektiv, wenn das Bonden ohne Schmelzen durchgeführt wird, wie z.B. wenn ein Wedge-Bonden (Zweitbonden) durchgeführt wird. Jedoch ergibt sich ein Problem, wenn an die Elektrode des Halbleiterchips gebondet wird (Erstbonden). Wie vorstehend erklärt schmilzt ein Ende des Bonddrahts durch elektrische Entladung oder dergleichen, und verfestigt sich dann zu einer sphärischen Form durch die Oberflächenspannung oder dergleichen, um eine Kugel zu

bilden. Die verfestigte Kugel wird als freie Luftkugel (free air ball, FAB)) bezeichnet und wird mit der Elektrode des Halbleiterchips durch ein kombiniertes Ultraschall-Thermokompressions-Bondverfahren oder dergleichen verbunden, um eine Drahtbondstruktur zu bilden. Im Fall des Wedge-Bondens, welches ein Bonden ohne Bildung einer Kugel ist, ist die Bondfläche kleiner und die Bondfestigkeit ist geschwächt, so dass im Allgemeinen ein Verfahren zur Erhöhung der Bondkraft durch Vergrößern der Bondfläche mit einer Kugelform eingesetzt wird. Weil der gesamte Draht, der mit dem Element der Platingruppe und Gold beschichtet ist, während der FAB-Bildung schmilzt, werden das beschichtete Element der Platingruppe und Gold nahezu gleichzeitig geschmolzen, obwohl es einen Zeitunterschied aufgrund des Unterschieds in den Schmelzpunkten oder andere Gründe gibt, und das Element der Platingruppe und Gold gelangen ins Innere der Kugel, und die Konzentration des Elements der Platingruppe und des Golds an der Oberfläche wird relativ klein. Wenn die Konzentration des korrosionsbeständigen Elements der Platingruppe und des Golds auf der Oberfläche der FAB klein werden und die FAB mit der relativ erhöhten Konzentration von Silber an eine Aluminiumelektrode eines Halbleiterchips gebondet wird, ist es wahrscheinlich, dass sich eine intermetallische Silber-Aluminium-Verbindung mit dem relativ erhöhten Silber und dem Aluminium, das die Elektrode bildet, nahe zur Bond-Grenzfläche zwischen der FAB und der Elektrode bildet. Die intermetallische Silber-Aluminium-Verbindung wird leicht durch Halogenelemente, Feuchtigkeit oder dergleichen korrodiert und verursacht eine Erhöhung des spezifischen Widerstands, was zu einem Versagen in der Stromleitung führt. Insbesondere, wenn sie in Umgebungen mit hoher Temperatur und hoher Luftfeuchtigkeit verwendet wird, wie z.B. in Automobilen, ist die an der Bond-Grenzfläche zwischen dem Bonddraht und der Elektrode gebildete intermetallische Verbindung einem höheren Korrosionsrisiko ausgesetzt. Diese Phänomene führen zu einer Erhöhung des elektrischen Widerstands (spezifischer Widerstand) und führen zu einem Versagen im Stromtransport. Es besteht daher ein Bedürfnis, eine Bondstruktur zu bilden, worin sogar unter harschen Umgebungsbedingungen, wie bei hoher Temperatur und hoher Luftfeuchtigkeit, sich der spezifische Widerstand über eine lange Zeitspanne an der Grenzfläche zwischen dem Bonddraht und der Elektrode nicht erhöht.

[0005] Z.B. offenbart die Offenlegungsschrift der japanischen Patentanmeldung Nr. 10-326803 (Patentdokument 1) einen Gold-Silber-Legierungsdraht, der Ag in einem Bereich von 11 bis 18,5 Masse-% umfasst, wobei der Rest aus Gold und unvermeidbaren Verunreinigungen aufgebaut ist, und ferner einen Gold-Silber-Legierungsdraht, der zumindest eines von Cu, Pd und Pt in einer Gesamtmenge von 0,01 bis 4 Masse-%, zumindest eines von Ca, In und Seltenerdelementen in einer Gesamtmenge von 0,0005 bis 0,05 Masse-%, oder zumindest eines von Mn und Cr in einer Gesamtmenge von 0,01 bis 0,2 Masse-% umfasst. Patentdokument 1 stellt einen Gold-Silber-Legierungsdraht bereit, der eine spezifische Menge an Silber enthält, um die Kosten zu reduzieren, während die Bond-Verlässlichkeit mit einer Aluminiumelektrode durch Silber verbessert wird. Weil jedoch die Hauptkomponente immer noch Gold ist, ist dies teurer als ein Silberdraht, ein Silber-Legierungsdraht, ein beschichteter Silberdraht oder dergleichen, und das Problem hoher Materialkosten ist nicht gelöst worden. Zusätzlich zum Kostenproblem bestehen auch Bedenken bezüglich der Erhöhung des spezifischen Widerstands.

[0006] Ferner offenbart im Hinblick auf einen konventionell beschichteten Silber-Bonddraht z.B. die Veröffentlichung der internationalen Patentanmeldung Nr. WO 2013/129253 (Patentdokument 2) einen Bonddraht, der eine Drahtbeschichtungsschicht umfasst, die eines oder mehr von Pd, Au, Zn, Pt, Ni oder Sn oder eine Legierung hiervon oder ein Oxid oder ein Nitrid von diesen Materialien auf der Oberfläche eines Ag- oder Ag-Legierungsdrahts umfasst. Patentdokument 2 offenbart, dass ein Ag- oder Ag-Legierungsdraht, der eine Beschichtungsschicht umfasst, für die Verbindung in einer Strom-Halbleitervorrichtung verwendet wird und dass ein Wedge-Bonden anstelle des Kugelbondens eingesetzt wird, um hierdurch die Bond-Verlässlichkeit zu verbessern, während die Bildung von intermetallischen Verbindungen an der Bond-Grenzfläche zwischen der Al-Elektrode und dem Ag-Draht inhibiert wird. Jedoch beruht, wie vorstehend beschrieben, Patentdokument 2 auf dem Wedge-Bonden eine Ag-Drahts und bildet keine FAB, die das Schmelzen und die Verfestigung des beschichteten Drahts erfordert, und somit wird das Eindringen der Aufbauelemente der Beschichtungsschicht in den Ag-Draht, der ein Kernmaterial ist, nicht berücksichtigt. Entsprechend berücksichtigt Patentdokument 2 die Aufbauelemente der Bond-Grenzfläche nicht, wenn die FAB an die Elektrode gebondet wird, und berücksichtigt nicht die Verbesserung der Verlässlichkeit auf Grundlage der Aufbauelemente an der Bond-Grenzfläche. Patentdokument 2 offenbart keine Konfiguration, um den Eintritt der Aufbauelemente in den Ag-Draht zu inhibieren.

[0007] Ferner offenbart die Offenlegung der japanischen Patentanmeldung Nr. 2001-196411 (Patentdokument 3) einen Bonddraht, der einen Ag-Draht und einen Au-Film, der den Ag-Draht beschichtet, umfasst, worin der Au-Film zumindest ein Element von Na, Se, Ca, Si, Ni, Be, K, C, Al, Ti, Rb, Cs, Mg, Sr, Ba, La, Y und Ce umfasst. Patentdokument 3 offenbart, dass bei dem Au-beschichteten Ag-Draht die Form einer FAB nicht achsensymmetrisch ist, und somit sind die vorstehend beschriebenen Elemente in dem Au-Film enthal-

ten, um die Konzentration der Bogenentladung an einem einzigen Punkt zu inhibieren und die Form der FAB durch Bilden eines Bogens von der gesamten Oberfläche zu stabilisieren. Jedoch berücksichtigt auch Patentdokument 3 das Eindringen von Au der Beschichtungsschicht in den Ag-Draht während der FAB-Bildung nicht, und offenbart ferner keine Konfiguration, um den Eintritt von Au in den Ag-Draht zu inhibieren. Daher legt Patentdokument 3 nicht nur nicht nahe, dass, wenn der goldbeschichtete Silberdraht verwendet wird, eine intermetallische Verbindung an der Bond-Grenzfläche zwischen der Al-Elektrode und dem Ag-Draht gebildet wird, was die Bond-Verlässlichkeit verringert, sondern offenbart auch keine Konfiguration, um die Bond-Verlässlichkeit zwischen der Al-Elektrode und dem Ag-Draht weiter zu verbessern. Ferner können die vorstehend beschriebenen Additivelemente die Eigenschaften des Drahts und die Formbarkeit der Beschichtungsschicht usw. in Abhängigkeit von ihrer Menge beeinträchtigen. Daher besteht ein Bedürfnis nach einer Technik, um den Eintritt von Au in den Ag-Draht zu inhibieren, wodurch die Verlässlichkeit der Drahtbondstruktur verbessert wird, ohne die Eigenschaften des Drahts selbst, die Formbarkeit der Beschichtungsschicht usw. negativ zu beeinträchtigen.

STAND DER TECHNIK

PATENTDOKUMENT

Patentdokument 1: Veröffentlichung des japanischen Patents Nr. 10-326803

Patentdokument 2: Veröffentlichung der internationalen Anmeldung Nr. WO 2013/129253

Patentdokument 3: Veröffentlichung der japanischen Patents Nr. 2001-96411

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0008] Das von der Erfindung zu lösende Problem ist es, eine Drahtbondstruktur, die es ermöglicht, die Bond-Verlässlichkeit zwischen einem Bonddraht und einer Aluminiumelektrode sogar unter harschen Umgebungsbedingungen für eine lange Zeitspanne beizubehalten, während eine Erhöhung des spezifischen Widerstands inhibiert wird, sogar wenn ein Bonddraht mit verringerten Materialkosten und die Aluminiumelektrode gebondet werden, einen Bonddraht, der hierfür verwendet wird, und eine Halbleitervorrichtung bereitzustellen.

[0009] Die Drahtbondstruktur der vorliegenden Erfindung umfasst: eine Elektrode, die Aluminium als eine Hauptkomponente hiervon enthält; einen Bonddraht; und einen komprimierten Kugelteil, der an einem Ende des Bonddrahts vorgesehen ist und an die Elektrode gebondet ist. In der Drahtbondstruktur der vorliegenden Erfindung ist der Bonddraht ein goldbeschichteter Silber-Bonddraht, der umfasst: ein Kernmaterial, das Silber als eine Hauptkomponente hiervon enthält; und eine Beschichtungsschicht, die auf einer Oberfläche des Kernmaterials vorgesehen ist Gold als eine Hauptkomponente hiervon umfasst, worin der goldbeschichtete Silber-Bonddraht mindestens eines der Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16 enthält, ausgewählt aus Schwefel, Tellur, Selen, Arsen und Antimon, und die Goldkonzentration 2,0 Masse-% oder mehr und 7,0 Masse-% oder weniger beträgt und die Gesamtkonzentration der Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16 4 Masse-ppm oder mehr und 80 Masse-ppm oder weniger im gesamten Draht beträgt, und worin nahe zu einer Bond-Grenzfläche zwischen der Elektrode und komprimierten Kugelteil ein Gold-konzentrierter Bondbereich mit 5,0 At-% oder mehr der Konzentration an Gold, relativ zum Gesamtgehalt an Gold, Silber und Aluminium, vorgesehen ist, und hierdurch wird das Problem gelöst.

[0010] Der erfindungsgemäße Silber-Bonddraht ist ein goldbeschichteter Silber-Bonddraht, der für die erfindungsgemäße Drahtbondstruktur zu verwenden ist, wobei der goldbeschichtete Silber-Bonddraht umfasst: ein Kernmaterial, das Silber als eine Hauptkomponente hiervon umfasst; und eine Beschichtungsschicht, die auf einer Oberfläche des Kernmaterials vorgesehen ist und Gold als eine Hauptkomponente umfasst, worin der goldbeschichtete Silber-Bonddraht mindestens eines der Elemente der Gruppe 15 und Gruppe 16 umfasst, ausgewählt aus Schwefel, Tellur, Selen, Arsen und Antimon, worin in dem goldbeschichteten Silber-Bonddraht die Goldkonzentration 2,0 Masse-% oder mehr und 7,0 Masse-% oder weniger beträgt und die Gesamtkonzentration der Element in Gruppe 15 und Gruppe 16 4 Masse-ppm oder mehr und 80 Masse-ppm oder weniger im gesamten Draht beträgt, und wenn der goldbeschichtete Silber-Bonddraht an eine Elektrode, die Aluminium als eine Hauptkomponente hiervon enthält, kugelgebondet wird, um einen komprimierten Kugelteil zu bilden, nahe zur Bond-Grenzfläche zwischen der Elektrode und dem komprimierten Kugelteil ein goldkonzentrierter Bondbereich mit 5,0 At-% oder mehr der Konzentration an Gold, relativ zum Gesamtgehalt an Gold, Silber und Aluminium, gebildet wird.

[0011] Die erfindungsgemäße Halbleitervorrichtung ist eine Halbleitervorrichtung, umfassend: einen oder eine Vielzahl von Halbleiterchips, die zumindest eine Elektrode umfassen; und einen Lead-Frame oder eine Platte, worin zumindest eines, ausgewählt aus zwischen der Elektrode des Halbleiterchips und dem Lead-Frame, zwischen der Elektrode des Halbleiterchips und einer Elektrode der Platte, und zwischen den Elektroden einer Vielzahl von Halbleiterchips, durch einen Bonddraht verbunden ist, der ein Kernmaterial, das Silber als eine Hauptkomponente hiervon enthält, und eine Beschichtungsschicht, die auf einer Oberfläche des Kernmaterials vorgesehen ist und Gold als eine Hauptkomponente hiervon enthält, umfasst, wobei in der Halbleitervorrichtung eine Bondstruktur der Elektrode und des Bonddrahts einen komprimierten Kugelteil umfasst, der vorgesehen ist, um ein Ende des Bonddrahts an die Elektrode zu bonden, und worin nahe zu einer Bond-Grenzfläche zwischen der Elektrode und dem komprimierten Kugelteil ein goldkonzentrierter Bondbereich mit 5 At-% oder mehr der Konzentration an Gold, relativ zum Gesamtgehalt von Gold, Silber und Aluminium, vorgesehen ist.

WIRKUND DER ERFINDUNG

[0012] Durch die erfindungsgemäße Drahtbondstruktur und den Bonddraht, der hierfür verwendet wird, ist es möglich, die Erhöhung des spezifischen Widerstands des Bonddrahts zu inhibieren und dann einen goldkonzentrierten Bondbereich mit 5 At-% oder mehr der Konzentration an Gold, relativ zum Gesamtgehalt von Gold, Silber und Aluminium, nahe zu einer Bond-Grenzfläche zwischen einer Elektrode und einem komprimierten Kugelteil bereitzustellen. Das Bereitstellen solch eines goldkonzentrierten Bondbereichs ermöglicht es, die Bond-Verlässlichkeit zwischen der Elektrode und dem komprimierten Kugelteil zu verbessern. Ferner ist es bei der erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung, bei der solche eine Bondstruktur eingesetzt wird, möglich, nicht nur die Bond-Verlässlichkeit zwischen der Elektrode und dem komprimierten Kugelteil durch den goldkonzentrierten Bondbereich zu verbessern, sondern auch die Zuverlässigkeit der Halbleitervorrichtung selbst.

Figurenliste

Fig. 1 ist eine Querschnittsansicht, die eine Drahtbondstruktur einer Ausführungsform zeigt.

Fig. 2 ist eine Ansicht, die ein Beispiel eines Konzentrationsprofils einer Linienanalyse zeigt, die von einem komprimierten Kugelteil in der Drahtbondstruktur in der Ausführungsform zu einer Elektrode durchgeführt wurde.

Fig. 3 ist eine Querschnittsansicht, die ein Beispiel einer Position veranschaulicht, wo ein goldkonzentrierter Bondbereich zwischen der Drahtbondstruktur in der Ausführungsform gebildet ist.

Fig. 4 ist eine Querschnittsansicht, die einen Zustand veranschaulicht, worin eine FAB an einem Ende eines goldbeschichteten Silber-Bonddrahts gebildet ist, der für die Drahtbondstruktur in der Ausführungsform verwendet wird.

Fig. 5 ist eine Querschnittsansicht, die einen Zustand einer Halbleitervorrichtung in einer Ausführungsform vor der Harzeinkapselung veranschaulicht.

Fig. 6 ist eine Querschnittsansicht, die einen Zustand der Harz-eingekapselten Halbleitervorrichtung in der Ausführungsform veranschaulicht.

Fig. 7 ist eine Querschnittsansicht, die eine Bondstruktur einer Elektrode eines Halbleiterchips in der ausführungsgemäßen Halbleitervorrichtung und einen Bonddraht auf vergrößerte Weise zeigt.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0013] Nachstehend wird eine Drahtbondstruktur einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, ein Bonddraht, der hierfür verwendet wird, und eine Halbleitervorrichtung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben werden. In jeder der Ausführungsformen werden die im Wesentlichen gleichen Aufbauteile durch dieselben Bezugszeichen bezeichnet, und auf die Beschreibung hiervon wird manchmal teilweise verzichtet. Die Zeichnungen sind schematisch, und eine Beziehung zwischen einer Dicke und einer planaren Ausdehnung, ein Dickenverhältnis und ein verringerter Maßstab der entsprechenden Teile, ein Verhältnisses und ein verringerter Maßstab zwischen einer vertikalen Größe und einer transversalen Größe, usw. können sich von dem Tatsächlichen unterscheiden.

(Drahtbondstruktur und hierfür verwendeter Bonddraht)

[0014] Fig. 1 ist eine Querschnittsansicht, die eine Drahtbondstruktur einer Ausführungsform zeigt. Eine Drahtbondstruktur 1 der Ausführungsform umfasst eine Elektrode 2, die Aluminium (Al) als dessen Hauptkomponente enthält, und einen Bonddraht 3, von dem ein Ende an die Elektrode 2 gebondet ist. Der Bonddraht 3 ist ein goldbeschichteter Silber-Bonddraht, der ein Kernmaterial (auch als Silberkernmaterial bezeichnet) 4, das Silber (Ag) als dessen Hauptkomponente enthält, und eine Beschichtungsschicht 5, die auf der Oberfläche des Kernmaterials 4 vorgesehen ist und Gold (Au) als dessen Hauptkomponente enthält, umfasst.

[0015] Die Elektrode 2 enthält Aluminium als deren Hauptkomponente. Die Konfigurationsbeispiele der Elektrode 2 umfassen eine Elektrode, die auf einem Halbleiterchip vorgesehen ist, sind jedoch nicht hierauf beschränkt. Die Elektrode 2 kann aus reinem Aluminium oder einer Aluminiumlegierung mit zu dem Aluminium zugegebenen Additivelementen sein. Um jedoch die Funktion der Aluminiumelektrode 2 nicht zu beeinträchtigen, ist die Elektrode 2 so eingerichtet, dass sie Aluminium als Hauptkomponente enthält. Im Allgemeinen wird die Elektrode 2 gebildet aus Al-0,5 % Kupfer (Cu) und Al-1,0 % Silizium (Si)-Kupfer (Cu), ist jedoch nicht hierauf beschränkt.

[0016] Die Drahtbondstruktur 1 der Ausführungsform umfasst einen komprimierten Kugelteil 6, der so vorgesehen ist, dass er ein Ende des goldbeschichteten Silber-Bonddrahts 3 an die Elektrode 2 bondet. Wie später in weiteren Einzelheiten ausgeführt wird, wird beim Durchführen des Kugelbondens das Bonden durchgeführt, in dem ein Draht durch eine Vorrichtung geführt wird, die als Kapillare bezeichnet wird, jedoch bezieht sich der komprimierte Kugelteil 6 auf den Bereich, worin eine Kugel deformiert wird und zur Form des Inneren der Kapillare bearbeitet wird, wenn sie gegen die hieran zu bondende Elektrode gepresst wird. Die FAB, die durch Schmelzen eines Endes des Bonddrahts 3 durch elektrische Entladung oder dergleichen und Verfestigen hiervon zu einer sphärischen Form durch Oberflächenspannung oder dergleichen geformt wird, wird geformt, indem sie durch ein kombiniertes Ultraschall-Thermokompressions-Bondverfahren oder dergleichen gegen die hieran zu bondende Elektrode 2 gepresst wird. Nahe zur Bond-Grenzfläche zwischen der Elektrode 2 und dem komprimierten Kugelbereich 6 ist ein goldkonzentrierter Bondbereich 7 mit 5 At-% oder mehr der Konzentration an Gold, relativ zum Gesamtgehalt von Gold, Silber und Aluminium, vorgesehen.

[0017] Der goldkonzentrierte Bondbereich 7 mit 5 At-% oder mehr an Konzentration an Gold relativ zum Gesamtgehalt von Gold, Silber und Aluminium wird nahe zur Bond-Grenzfläche vorgesehen, was es ermöglicht, die Konzentration von Gold in der Nähe der Bond-Grenzfläche zu erhöhen und die Konzentration von Silber relativ niedrig zu halten. Somit wird ermöglicht, die Bond-Verlässlichkeit zwischen der Elektrode 2 und dem komprimierten Kugelteil 6 zu erhöhen. D.h., wenn ein Silberlegierungs-Bonddraht mit einer Silberreinheit von 98 Masse-% oder mehr (nachstehend als hochreiner Silberlegierungsdraht bezeichnet) verwendet wird, um den komprimierten Kugelteil 6 zu bilden, erhöht sich die Silberkonzentration in der Nähe der Bond-Grenzfläche, und es wird leicht eine intermetallische Verbindung von Silber, welches leicht korrodiert, und Aluminium gebildet (wie z.B. Ag_3Al mit einem Verhältnis von Silber zu Aluminium von 3 zu 1). Obwohl der hochreine Silberlegierungsdraht bis zu 2 Masse-% an Edelmetallen, wie z.B. Gold und Palladium, enthält, wird die intermetallische Verbindung von Silber und Aluminium mit niedriger Korrosionsbeständigkeit, wie z.B. Ag_3Al gebildet, und somit wird die intermetallische Verbindung durch Halogen, wie z.B. Chlor (Cl), das in einem Formharz enthalten ist, oder Feuchtigkeit, die von dem Formharz absorbiert ist, korrodiert, was leicht zu einem Stromleitungsversagen zwischen der Elektrode 2 und dem komprimierten Kugelteil 6 führt. Im Gegensatz hierzu wird durch Erhöhen der Goldkonzentration in der Nähe der Bond-Grenzfläche, um die Reinheit des Silbers relativ zu verringern, die Bildung der intermetallischen Ag_3Al -Verbindung inhibiert, wodurch die Bildung einer intermetallischen Ag_2Al -Verbindung mit einem Verhältnis von Silber zu Aluminium von 2 zu 1 gefördert wird. Die intermetallische Ag_2Al -Verbindung ist der intermetallischen Ag_3Al -Verbindung bezüglich der Korrosionsbeständigkeit überlegen, was es ermöglicht, die Bond-Verlässlichkeit zwischen der Elektrode 2 und dem komprimierten Kugelteil 6 zu verbessern. Zusätzlich wirkt das in dem goldkonzentrierten Bondbereich 7 vorhandene Gold als Barriere gegenüber zeitlichen Veränderungen unter harschen Bedingungen, wie z.B. Migration und Diffusion von Silber, was es ermöglicht, die korrosionsbeständige intermetallische Ag_2Al -Verbindung beizubehalten. Ferner wird von Gold angenommen, dass es eine höher korrosionsbeständige intermetallische Gold-Aluminium-Verbindung (z.B. eine intermetallische Au_4Al -Verbindung) mit Aluminium bildet, wovon angenommen wird, dass dies ferner zu einer weiteren Verbesserung der Bond-Verlässlichkeit beiträgt. Durch Bilden des goldkonzentrierten Bondbereichs 7 nahe zur Bond-Grenzfläche zwischen der Elektrode 2 und dem komprimierten Kugelteil 6 auf diese Weise ist es möglich, die Verlässlichkeit der Halbleitervorrichtung, die unter harschen Hochtemperatur- und hohen Luftfeuchtigkeitsbedingungen eingesetzt werden soll, wie z.B. insbesondere Automobile, zu verbessern.

[0018] Im goldkonzentrierten Bondbereich 7, der nahe zur Bond-Grenzfläche zwischen der Elektrode 2 und dem komprimierten Kugelteil 6 gebildet ist, wird die Goldkonzentration auf 5 At-% oder mehr eingestellt, relativ zum Gesamtgehalt von Gold, Silber und Aluminium. Wenn die Konzentration von Gold in dem goldkonzentrierten Bondbereich 7 weniger als 5 At-% relativ zur Gesamtmenge von Gold, Silber und Aluminium beträgt, kann die korrosionsinhibierende Wirkung (Sulfurisierung oder Oxidation) von Gold nicht ausreichend erhalten werden und die Konzentration von Silber erhöht sich relativ, und somit besteht die Tendenz, dass sich die intermetallische Ag_3Al -Verbindung bildet und sich die Bond-Verlässlichkeit zwischen der Elektrode 2 und dem komprimierten Kugelteil 6 verringert. Die Goldkonzentration relativ zur Gesamtmenge von Gold, Silber und Aluminium in dem goldkonzentrierten Bondbereich 7 beträgt bevorzugt 5 Atom-% oder mehr, und ferner wünschenswerterweise 10 Atom-% oder mehr. Die Goldkonzentration wird aus dem Verhältnis der Dicke der Beschichtungsschicht 5 zum Durchmesser des Silberkernmaterials 4 bestimmt.

[0019] Der vorstehend beschriebene goldkonzentrierte Bondbereich 7 enthält bevorzugt mindestens ein Element, das ausgewählt ist aus Palladium (Pd), Platin (Pt), Germanium (Ge), Indium (In), Kupfer (Cu) und Nickel (Ni) (nachstehend als M-Element bezeichnet). Der goldkonzentrierte Bondbereich 7 enthält solch ein M-Element wie vorstehend, wodurch es ermöglicht wird, die Bond-Verlässlichkeit zwischen der Elektrode 2 und dem komprimierten Kugelteil 6 weiter zu verbessern. Das M-Element kann beispielsweise in dem Silberkernmaterial 4 enthalten sein. Das M-Element ist bevorzugt so enthalten, dass dessen Menge 0,2 At-% oder mehr und 2,0 At-% oder weniger im gesamten Draht beträgt. Wenn die Menge weniger als 0,2 At-% ist, ist es unmöglich, die Wirkung zur weiteren Verbesserung der Bondverlässlichkeit durch das M-Element hinreichend zu erhalten, und wenn sie 2,0 At-% überschreitet, kann sich ferner der spezifische Widerstand des Silberkernmaterials 4 erhöhen.

[0020] Es wird ein Verfahren zum Analysieren des goldkonzentrierten Bondbereichs im Detail unter Beziehung des Falls als Beispiel erklärt, worin eine Aluminiumelektrode als Bond-Target verwendet wird. Das Gleiche wird auf den Fall angewandt, bei denen Elektroden verwendet werden, die Aluminium und Elemente außer Aluminium enthalten. Der goldbeschichtete Silber-Bonddraht wird verwendet, um eine freie Luftkugel (free air ball) zu bilden, und die Kugel wird an die Aluminiumelektrode gebondet. Der an die Aluminiumelektrode gebondete komprimierte Kugelteil wird so geschnitten, dass eine Oberfläche parallel zur Mittellinie in der Draht-Längsrichtung freigelegt wird. Die geschnittene Oberfläche wird einer Linienanalyse von einem vorbestimmten Punkt auf der Drahtseite in einer Richtung, die im Wesentlichen vertikal zu einer Bond-Oberfläche (Tiefenrichtung) ist, unterzogen. Als Linienanalyse ist eine Feldemissions-Rasterelektronenmikroskop/energiedispersive Röntgenspektrometrieanalyse (FE-SEM/EDX) geeignet. Im Übrigen umfasst die Schnittoberfläche für diese Analyse bevorzugt die Mittellinie in der Draht-Längsrichtung oder ist so gebildet, dass sie so nahe wie möglich zur Mittellinie kommt.

[0021] Die Schneidoberfläche eines Kugelbondteils kann wie folgt hergestellt werden. Als Lead-Frame wird z.B. ein PBGA32PIN-Frame verwendet, und es wird ein im Wesentlichen quadratisch geformter Halbleiterchip auf einen Zentralbereich dieses Frames gebondet. Mit dem goldbeschichteten Silber-Bonddraht wird eine Aluminiumelektrode des Halbleiterchips mit einer externen Elektrode auf dem Frame drahtgebondet, und es wird eine Messprobe hergestellt. Der goldbeschichtete Silber-Bonddraht wird an die Aluminiumelektrode auf dem Halbleiterchip kugelgebondet (erstgebondet) und wird mit dem Lead-Frame Wedge-gebondet (zweitgebondet). Normalerweise weist ein Chip viele Elektroden auf, die in mehreren Reihen angeordnet sind, und somit werden Bonddrähte an z.B. (vier) Elektroden an einer der Reihen in gleichen Abständen gebondet, und es sind auch Bonddrähte an die anderen drei Reihen (drei Seiten) auf die gleiche Weise gebondet. Die Bonddrähte werden insgesamt an 16 Aluminiumelektroden kugelgebondet. Einschließlich des Wedge-Bondens an den Lead-Frame werden insgesamt 32 Sets von Drahtbondungen hergestellt.

[0022] Bezüglich der Bildungsbedingungen der freien Luftkugel wird z.B. in dem Fall, worin der Durchmesser des goldbeschichteten Silber-Bonddrahts 10 bis 30 μm beträgt, z.B. die Bogen-Entladebedingungen so eingestellt, dass der Entladestromwert 30 bis 90 mA beträgt und der Durchmesser der freien Luftkugel zum 1,5- bis 2,3-fachen des Durchmessers des Drahts wird. Als Bondvorrichtung kann beispielsweise ein kommerziell verfügbares Produkt, wie z.B. eine Bondvorrichtung (vollautomatischer Bonder: IConn ProCu PLUS), hergestellt von KANDS Co., Ltd., verwendet werden. Wenn solch eine Bondvorrichtung verwendet wird, wird die Vorrichtung bevorzugt so eingestellt, dass die Entladezeit 50 bis 1.000 μs beträgt, die EFO-Gap 25 bis 45 mil (etwa 635 bis 1.143 μm) beträgt und die Tail-Länge 6 bis 12 mil (etwa 152 bis 305 μm) beträgt. Wenn eine andere Bondvorrichtung als diese Bondvorrichtung verwendet wird, müssen dessen Bedingungen nur wie die Vorstehenden sein, die z.B. die Bedingungen sind, unter denen der Durchmesser der freien Luftkugel die gleiche Größe wie vorstehend aufweist.

[0023] Wenn z.B. ein Draht mit einem Durchmesser \varnothing von 20 μm eine hieran gebildete freie Luftkugel mit einem Durchmesser von 36 μm aufwies, können ferner die Kugel-Bondbedingungen (ersten Bondbedingungen) in der Bondvorrichtung so eingestellt werden, dass die Höhe von einem schmalen Bereich des komprimierten Kugelteils bis zur Bond-Grenzflächenseite etwa 10 μm beträgt, die maximale Breite in der Richtung im Wesentlichen parallel zur Bond-Oberfläche etwa 45 μm beträgt und die Kugel-Scherfestigkeit 15 gf oder mehr beträgt. Ferner betragen die zweiten Bondbedingungen z.B. eine Crimpkraft von 60 gf, eine Ultraschallleistung von 90 mAmps und eine Ultraschallbestrahlungszeit von 15 ms. Im Übrigen kann das Bonden so durchgeführt werden, dass die Schlaufenlänge von einem ersten Bondteil zu einem zweiten Bondteil 2,0 mm beträgt.

[0024] Als nächstes wird der Halbleiterchip, der insgesamt 16 Sets von Bondteilen enthält, die wie vorstehend beschreiben gebildet sind, in einer Formmaschine unter Verwendung eines Einkapselungsharzes geformt. Nachdem die Form gehärtet worden ist, wird ein geformter Teil aus dem Rahmen ausgeschnitten, und ferner wird die Umgebung von einer Reihe (einer Seite) der Kugel-Bondteile in dem geformten Teil geschnitten. Die geschnittene Form wird in einer zylindrischen Form in einer Ausrichtung platziert, in der der Querschnitt des Kugel-Bondteils poliert werden kann, und es wird hierin ein einbettendes Harz hineingegossen, um mit einem hierzu zugegebenen Härtungsmittel gehärtet zu werden. Danach wird das gehärtete zylindrische Harz, das den Halbleiterchip enthält, mit einer Abriebvorrichtung grob poliert, um so die Umgebung des Zentrums des Kugel-Bondteils so weit wie möglich freizulegen. Nachdem das Harz fast bis zur Umgebung des Querschnitts des Zentrums des Kugel-Bondteils poliert worden ist, wird eine Feineinstellung mit einer Ionenmahlvorrichtung durchgeführt, um so eine Oberfläche zu erhalten, die endgültig poliert ist und einen Kugelzentralteil umfasst (eine Oberfläche, die durch die Mittellinie des Drahtteils und parallel zur Mittellinie verläuft), der grade so freigelegt ist, dass er an der Position einer analytischen Oberfläche ist. Die Drahtbreite des Querschnitts des Drahtteils wird zur Länge des Durchmessers des Drahts, was anzeigt, dass die Schneidoberfläche zu der Oberfläche wird, die den Kugelzentralteil umfasst. Die Schneidoberfläche wird als zu analysierende Oberfläche genommen, und eine gewünschte Stelle hiervon wird von der Kugel- zur Elektroden- seite mittels FE-SEM/EDX linienanalysiert. Die Linienanalysebedingungen sind z.B. eine Beschleunigungsspannung von 6 keV, ein Messbereich \varnothing von 0,18 μm und ein Messintervall von 0,02 μm .

[0025] Um die Gegenwart oder Abwesenheit des goldkonzentrierten Bondbereichs 7 quantitativ zu messen, wird eine zu analysierende Oberfläche (polierter Querschnitt) der vorstehend beschriebenen Messprobe einer Linienanalyse von der Seite des komprimierten Kugelteils 6 hin zur Seite der Elektrode 2 durch die Bond-Grenzfläche durch energiedispersive Röntgenspektrometrie (EDX), die zu einem Feldemissions-Rasterelektronenmikroskop (FE-SEM) gehört, analysiert, und hierdurch kann der goldkonzentrierte Bondbereich 7 bestätigt werden. Die Linienanalysebedingungen werden auf eine Beschleunigungsspannung von 6 keV, eine Messlänge von 2 μm , ein Messintervall von 0,03 μm und eine Messzeit von 60 Sekunden unter Verwendung eines FE-SEM SU8220, hergestellt von Hitachi High-Technologies Corporation und XFlash(R)5060FQ, hergestellt von Bruker Corporation, eingestellt. Wenn ein Konzentrationsprofil der Linienanalyse die Gegenwart einer Stelle mit einer Goldkonzentration von 5 At-% oder mehr relativ zum Gesamtgehalt von Silber, Gold und Aluminium anzeigt, kann bestimmt werden, dass der goldkonzentrierte Bondbereich 7 gebildet worden ist.

[0026] Der goldkonzentrierte Bondbereich kann als ein vorbestimmter Bereich evaluiert werden, wenn der Goldanteil relativ zur Gesamtheitmenge von Gold, Silber und Aluminium 5,0 Atom-% oder mehr oder bevorzugt 10,0 Atom-% oder mehr nahe zu der Bond-Oberfläche beträgt, an der die freie Luftkugel in Kontakt mit der zu bondenden Elektrode kommt, nämlich ein Bereich, worin Aluminium, und Silber und Gold, koexistieren. Wenn eine vorbestimmte Stelle des Querschnitts des vorstehend beschriebenen Kugel-Bondteils mittels FE-SEM/EDX parallel zur Draht-Längsrichtung von einer willkürlichen Oberfläche des Kugel-Bondteils zu einer Oberfläche der Aluminiumelektrode Linien-analysiert wird, ist es spezifisch möglich, als goldkonzentrierten Bondbereich einen vorbestimmten Bereich zu untersuchen, worin der Anteil von Gold, relativ zur Gesamtheit von Gold, Silber und Aluminium, 5,0 Atom-% oder mehr und bevorzugt 10,0 Atom-% oder mehr an jedem Messpunkt innerhalb eines Bereichs beträgt, worin Aluminium in einer Menge von mehr als 0,5 Atom-% und 95,0 Atom-% oder weniger vorliegt. Der Grund, warum die Messung in dem Bereich durchgeführt wird, worin die Aluminiumkonzentration größer als 0,5 At-% und 95,0 At-% oder weniger beträgt, ist hier, dass an einer Stelle ohne Aluminium aufgrund von Rauscheffekten usw. bei der Analyse ein analytischer Wert nicht 0 At-% beträgt, oder dass ein analytischer Wert an der Stelle mit der Gegenwart von nur Aluminium in einigen Fällen nicht 100 At-% ist.

[0027] Fig. 2 veranschaulicht ein Beispiel der Linienanalyseergebnisse mittels EDX. In Fig. 2 bezeichnet die vertikale Achse die Konzentration von jedem Element (At-%), und die horizontale Achse bezeichnet den Mes-

sabstand (μm) in der Messprobe. Der Bereich von etwa $2,2 \mu\text{m}$ bis etwa $2,6 \mu\text{m}$ des Messabstands auf der horizontalen Achse in **Fig. 2** ist der Bereich nahe zur Bond-Grenzfläche, worin der Bereich mit $5,0 \text{ At-}\%$ oder mehr der Goldkonzentration, d.h., der goldkonzentrierte Bondbereich, vorliegt. Hier ist als Peak-Konzentration von Gold etwa $15,0 \text{ At-}\%$ veranschaulicht. Entsprechend kann für die Drahtbondstruktur 1 mit dem in **Fig. 2** veranschaulichten Konzentrationsprofil bestimmt werden, dass der goldkonzentrierte Bondbereich 7 nahe zur Bond-Grenzfläche zwischen der Elektrode 2 und dem komprimierten Kugelteil 6 vorliegt. Ferner umfasst **Fig. 2** einen Bereich mit einer niedrigen Goldkonzentration nahe zur Bond-Grenzfläche (die sich nah zu $2,4 \mu\text{m}$ auf der horizontalen Achse befindet), es wird jedoch aus dem Konzentrationsverhältnis von Silber und Aluminium nahe dem vorstehenden Bereich angenommen, dass eine intermetallische Ag_2Al -Verbindung mit starker Korrosionsbeständigkeit gebildet worden ist.

[0028] Der vorstehend beschriebene Bildungsbereich des goldkonzentrierten Bondbereichs 7 ist bevorzugt der gesamte Bereich der Bond-Grenzfläche zwischen der Elektrode 2 und dem komprimierten Kugelteil 6, ist jedoch nicht hierauf beschränkt. D.h., um die Bond-Verlässlichkeit zwischen der Elektrode 2 und dem komprimierten Kugelteil 6 zu verbessern, muss der goldkonzentrierte Bondbereich 7 nur zwischen jedem von beiden äußeren Peripheralbereichen des komprimierten Kugelteils 6 und jeder der Positionen bei zumindest $1/8$ der Maximalbreite Y des komprimierten Kugelteils 6 (durch die Linie X1 und eine Linie X2 angezeigt) gebildet sein, wie in **Fig. 3** veranschaulicht ist. Hier bezieht sich die maximale Breite Y des komprimierten Kugelteils 6 auf die Breite zwischen den beiden äußersten Endteilen des komprimierten Kugelteils 6 (angezeigt durch die Linien X) in der horizontalen Richtung rechtwinklig zur Längsrichtung in der in **Fig. 3** veranschaulichten Querschnittsansicht, worin die Bondstruktur der Elektrode 2 und der komprimierte Kugelteil 6 in der Längsrichtung des Drahts 3 geschnitten sind. Der goldkonzentrierte Bondbereich 7 braucht nur mindestens zwischen jeder von solchen beiden äußersten Endteilen (den Linien X) und jeder der Positionen bei $1/8$ (die Linie X1 und die Linie X2) von den beiden äußersten Endteilen, welches einer von acht gleichmäßig aufgeteilten Teile der Maximalbreite (eine Linie Y) des komprimierten Kugelteils 6 ist, gebildet zu sein. Der goldkonzentrierte Bondbereich 7 wird an solchen Positionen gebildet, wodurch es ermöglicht wird, die Verringerung der Bond-Verlässlichkeit zwischen der Elektrode 2 und dem komprimierten Kugelteil 6 zu inhibieren, die durch Luft, Feuchtigkeit oder dergleichen, die in die Bond-Grenzfläche eindringt, verursacht wird. Dies ist so, weil Halogenelemente und Feuchtigkeit aus dem Einkapselungsharz und so weiter hochwahrscheinlich durch kleine Lücken oder dergleichen an beiden Enden nahe zur Kugelbondoberfläche penetrieren, nämlich in der Umgebung am nächsten zum Bondteil der Kugel und der Elektrode, und somit spielt die Gegenwart des goldkonzentrierten Bondbereichs mit hoher Korrosionsbeständigkeit nahe zu beiden Enden eine sehr wichtige Rolle beim Vermeiden der Penetration von Halogenen und anderen Substanzen.

[0029] Als Ergebnis umfangreicher Untersuchungen durch die Erfinder haben sie ferner herausgefunden, dass im Hinblick auf den Bildungsbereich des goldkonzentrierten Bondbereichs 7 der goldkonzentrierte Bondbereich 7 bevorzugt so geformt wird, dass ein Belegungsanteil insgesamt 25% oder mehr beträgt, relativ zur Maximalbreite Y des komprimierten Kugelteils 6, wie vorstehend beschrieben. Der hier erwähnte Belegungsanteil des goldkonzentrierten Bondbereichs 7 bezeichnet, dass, wenn der Bildungsbereich des goldkonzentrierten Bondbereichs 7 in einer in **Fig. 3** veranschaulichten Querschnittsansicht der Bondstruktur der Elektrode 2 und des komprimierten Kugelteils 6 analysiert wird, der Bildungsbereich des goldkonzentrierten Bondbereichs 7 25% oder mehr relativ zur Maximalbreite Y des komprimierten Kugelteils 6 beträgt. Wie vorstehend erwähnt wird der goldkonzentrierte Bondbereich 7 so gebildet, dass dessen Belegungsanteil mindestens 25% beträgt, relativ zur Maximalbreite Y des komprimierten Kugelteils 6, wodurch es ermöglicht wird, die Verringerung der Bond-Verlässlichkeit zwischen der Elektrode 2 und dem komprimierten Kugelteil 6, die von Luft, Feuchtigkeit oder dergleichen, die in die Bond-Grenzfläche eindringen, zu inhibieren. Im übrigen kann der Belegungsanteil des goldkonzentrierten Bondbereichs 7 relativ zur Maximalbreite Y des komprimierten Kugelteils 6 mindestens 25% betragen, beträgt jedoch bevorzugt 40% oder mehr, und ferner bevorzugt 50% oder mehr.

[0030] Es wird ein Verfahren zum Messen des goldkonzentrierten Bondbereichs beschrieben. Es ist in der EPMA-Messung (Oberflächenanalyse) gebräuchlich, dass z.B. das Anwesenheitsanteil der zu messenden Elemente gewöhnlich als die Intensitäten der Röntgenstrahlen gemessen wird, die von den Elementen emittiert werden, wenn die zu messenden Elemente mit einem Elektronenstrahl bestrahlt werden, und auf einem EPMA-Bild werden die Intensitäten in einer Farbdarstellung (color mapping) angezeigt, die die Farben reflektiert. Anders ausgedrückt werden Punkte, in denen die zu messenden Elemente nicht vorliegen, in schwarz angezeigt, und die Elemente werden in Farbabstufungen angezeigt, wie z.B. „weiß, rot, gelb, grün, blau und schwarz“, in der Reihenfolge der sich erhöhenden Wahrscheinlichkeit ihrer Gegenwart. Wenn die Goldkonzentration $5,0 \text{ At-}\%$ oder mehr an dem Punkt der niedrigsten Intensität von Gold beträgt, nämlich an der dunkelsten Stelle (die Stelle, die blau, nahezu schwarz ist) unter den Stellen, worin die Goldintensität beobachtet

wird, welche nicht vollständig schwarz sind, können auf solch einem EPMA-Bild in der Umgebung der Bondoberfläche des EPMA-Bilds die anzuzeigenden Bereiche außer den vorstehenden, die in einer Farbe angezeigt werden, die intensiver als diejenige des vorstehenden Orts, als goldkonzentrierter Bondbereich identifiziert werden. Ferner werden die Ergebnisse der Linienanalyse und das EPMA-Bild (Oberflächenanalyse) übereinander gelegt, um visuell zu bestimmen, ob die Stellen, wo 5,0 At-% oder mehr der Goldkonzentration in der Linienanalyse beobachtet werden, und die Intensität gleich zu oder größer ist als diejenige des Messpunkts auf dem EPMA betragen, als Intensitätsunterschied (Farbe auf dem Bild) erkennbar sein soll. Hierdurch kann die Gegenwart oder Abwesenheit und der Belegungsanteil des goldkonzentrierten Bondbereichs berechnet werden. Wenn der Belegungsanteil des goldkonzentrierten Bondbereichs berechnet wird, wird übrigens die EPMA-Farbkarte verwendet, je größer das Bild vergrößert wird, desto „spärlicher“ könnte jedoch der goldkonzentrierte Bondbereich erscheinen, so dass der Belegungsanteil bevorzugt bei einer Vergrößerung berechnet wird, die es ermöglicht, zumindest den komprimierten Kugelteil in ein einzelnes Bild (Frame) einzupassen.

[0031] Bei der Drahtbondstruktur 1 der Ausführungsform bildet das Kernmaterial, das Silber als dessen Hauptkomponente enthält (Silberkernmaterial), 4 im Wesentlichen den Bonddraht 3 und dient der Funktion des Bonddrahts 3. Solch ein Kernmaterial 4 ist bevorzugt aus reinem Silber gebildet, kann jedoch in einigen Fällen aus einer Silberlegierung gebildet sein, die durch Zugeben eines Additivelements zu Silber hergestellt ist. Das Kernmaterial 4 ist jedoch so eingestellt, dass es Silber als die Hauptkomponente enthält, so dass die Funktion des Silber-Bonddrahts nicht beeinträchtigt wird. Hier bezeichnet, dass Silber als Hauptkomponente enthalten ist, dass das Kernmaterial 4 mindestens 50 Masse-% oder mehr Silber enthält. Wenn das Kernmaterial aus einer Silberlegierung gebildet ist, ist es bevorzugt, eine Silberlegierung einzusetzen, die zumindest eines oder mehr Elemente enthält, ausgewählt aus Palladium (Pd), Platin (Pt), Phosphor (P), Gold (Au), Nickel (Ni), Kupfer (Cu), Eisen (Fe), Calcium (Ca), Rhodium (Rh), Germanium (Ge), Gallium (Ga) und Indium (In), jedoch ist dies nicht auf diese Elemente beschränkt.

[0032] Das Additivelement in der Silberlegierung, die das Kernmaterial 4 bildet, ist bei der Verbesserung der Bondfähigkeit an die Elektrode, der Bond-Verlässlichkeit und der mechanischen Festigkeit wirksam. Wenn der Anteil des Additivelements jedoch zu groß wird, erhöht sich der spezifische Widerstand des Kernmaterials 4, was dazu führt, dass sich die Funktion als Silber-Bonddraht verschlechtern kann. Daher wird der Anteil des Additivelements bevorzugt so eingestellt, dass der spezifische Widerstand des goldbeschichteten Silber-Bonddrahts 3 innerhalb des Bereichs von 2,3 $\mu\Omega\text{-cm}$ oder weniger fällt, z.B., was gleich zu oder niedriger ist als der spezifische Widerstand eines Golddrahts (Reinheit 99,99 Masse-% (4N)). Sogar wenn das Kernmaterial 4 aus entweder reinem Silber oder einer Silberlegierung gebildet ist, können unvermeidbare Verunreinigungen enthalten sein, jedoch ist die Menge von Verunreinigungen bevorzugt so, dass der spezifische Widerstand des goldbeschichteten Silber-Bonddrahts 3 in den Bereich von 2,3 $\mu\Omega\text{-cm}$ oder kleiner fällt. Die Verwendung solch eines Silber-Kernmaterials 4 ermöglicht es, den Wert des spezifischen Widerstands, der für den Bonddraht 3 erforderlich ist, zu erreichen. Obwohl oft angenommen wird, dass der spezifische Widerstand einer Silberlegierung, die mehr Silber mit einem spezifischen Widerstand enthält, der niedriger ist als derjenige von Gold, niedriger ist, ist der spezifische Widerstand einer Silberlegierung aufgrund der Legierungsbildung oft größer als derjenige von reinem Gold (4N). Übrigens wird der spezifische Widerstand des Drahts bevorzugt durch eine Vier-Sonden-Methode gemessen, und wird z.B. mit einer Milliohmeter (Modell Nr. 4328A, hergestellt von Yokogawa Hewlett-Packard Company) oder dergleichen gemessen.

[0033] In dem goldbeschichteten Silber-Bonddraht 3 der Ausführungsform enthält die Beschichtungsschicht 5 Gold als deren Hauptkomponente. Hier bezeichnet, dass Gold als Hauptkomponente enthalten ist, dass die Beschichtungsschicht 5 50 Masse-% oder mehr Gold enthält. Ein größerer Goldgehalt in der Beschichtungsschicht 5 ist besser, es können 50 Masse-% oder mehr Gold in der Beschichtungsschicht enthalten sein, und ferner kann der Goldgehalt bevorzugt 80 Masse-% oder mehr und stärker bevorzugt 99 Masse-% oder mehr betragen. Der Goldgehalt in der Beschichtungsschicht 5 kann durch eine quantitative Analyse der obersten Oberfläche des Drahts unter Verwendung von Auger-Elektronenspektroskopie (AES: Auger Elektronen Spektroskopie) oder dergleichen an der Oberfläche des Bonddrahts 3 gemessen werden. Im übrigen ist der hier erwähnte Goldgehalt ein Wert relativ zum Gesamtgehalt von metallischen Elementen, die detektiert werden, und umfasst nicht Kohlenstoff, Sauerstoff oder dergleichen, die durch Adsorption oder aus anderen Gründen auf der Oberfläche vorliegen.

[0034] Der vorstehend beschriebene goldbeschichtete Silber-Bonddraht 3 weist bevorzugt einen Durchmesser von 13 μm oder mehr und 30 μm oder kleiner auf. Wenn der Durchmesser des Drahts 3 weniger als 13 μm beträgt, können sich die Festigkeit, die Leitfähigkeit oder dergleichen verschlechtern, wenn das Drahtbonds unter Verwendung des Drahtbonds 3 während der Herstellung einer Halbleitervorrichtung durchgeführt wird,

was zu einer Verringerung der Verlässlichkeit des Drahtbonds oder dergleichen führt. Wenn der Durchmesser des Drahts 3 $30\ \mu\text{m}$ übersteigt, kann die Anzahl der Bonddrähte nicht erhöht werden, und die Möglichkeit des Kontakts (Kurzschluss) mit dem benachbarten Bonddraht erhöht sich.

[0035] In dem goldbeschichteten Silber-Bonddraht 3 mit dem vorstehend beschriebenen Durchmesser beträgt entsprechend dem Durchmesser des Drahts die Dicke der Beschichtungsschicht 5 bevorzugt $50\ \text{nm}$ oder mehr und $260\ \text{nm}$ oder weniger. Die Dicke der Beschichtungsschicht 5 bezeichnet die Dicke in der Tiefenrichtung hin zum Kernmaterial, bezogen auf die vertikale Richtung, von der Oberfläche des Drahts 3 in einem Bereich, der Gold als dessen Hauptkomponente enthält. Wenn die Dicke der Beschichtungsschicht 5 weniger als $50\ \text{nm}$ beträgt, kann die Beschichtungsschicht 5, die Gold als die Hauptkomponente enthält, darin versagen, die Bond-Verlässlichkeit zwischen dem goldbeschichteten Silber-Bonddraht 3 und der Elektrode 2 ausreichend zu verbessern. Wenn die Dicke der Beschichtungsschicht 5 $260\ \text{nm}$ übersteigt, kann sich die Formbarkeit der Beschichtungsschicht 5 verschlechtern. Im übrigen wird die Dicke der Beschichtungsschicht 5 bevorzugt entsprechend dem Durchmesser des goldbeschichteten Silber-Bonddrahts 3 eingestellt.

[0036] Die Dicke der Beschichtungsschicht 5 wird auf die folgende Weise gemessen. D.h., an dem goldbeschichteten Silber-Bonddraht 3 wird eine Element-Konzentrationsanalyse von der Oberfläche in Tiefenrichtung mittels AES durchgeführt, eine Stelle, die bei $50\ \%$ positioniert ist, wenn der Maximalwert der Menge an Gold, das nahe zur Oberfläche vorliegt, auf $100\ \%$ gesetzt wird, wird als Grenzteil gesetzt, und der Bereich von dem Grenzteil bis zur Oberfläche wird als Dicke der Beschichtungsschicht 5 definiert. Die Elementverteilung von der Oberfläche des goldbeschichteten Silber-Bonddrahts 3 zur Tiefenrichtung kann durch AES-Analyse gemessen werden. Als Mittel zur Analyse der Konzentration von jedem Element in der Beschichtungsschicht 5 von der Oberfläche des Drahts 3 hin zum Silberkernmaterial 4 ist z.B. eine Konzentrationsmessung durch die AES-Analyse effektiv. Hier wurde, als ein Beispiel, unter Verwendung eines Auger-Elektronenspektrometers (Produktname: JAMP-9500F), hergestellt von JEOL Ltd., mit einer auf $10\ \text{kV}$ eingestellten Beschleunigungsspannung des primären Elektronenstrahls, einem auf $50\ \text{nA}$ eingestellten Probenstrom und einem auf etwa $4\ \mu\text{m}\varnothing$ eingestellten Strahldurchmesser die Konzentrationsmessung unter den Bedingungen einer Ar-Ionen-Sprührate von etwa $3,0\ \text{nm}/\text{min}$ als ein Wert, ausgedrückt als SiO_2 , durchgeführt.

[0037] In der Drahtbondstruktur 1 der Ausführungsform ist das Verfahren zum Bilden des goldbeschichteten Silber-Bonddrahts 7 nahe zur Bond-Grenzfläche zwischen der Elektrode 2 und dem komprimierten Kugelteil 6 nicht besonders beschränkt. Das Verfahren zum Bilden des goldbeschichteten Silber-Bonddrahts 7 kann z.B. durchgeführt werden durch Bilden eines goldkonzentrierten Bereichs (Oberflächen-goldkonzentrierter Bereich) auf der Oberfläche der FAB, wenn die FAB an einem Ende des goldbeschichteten Silber-Bonddrahts 3 gebildet wird. Die FAB mit dem auf der Oberfläche gebildeten goldkonzentrierten Bereich wird an die Elektrode 2 gebondet, um dann den komprimierten Kugelteil 6 zu bilden, und hierdurch kann der goldkonzentrierte Bondbereich 7 mit einer Goldkonzentration von $5\ \text{At}\%$ oder mehr, relativ zum Gesamtgehalt von Gold, Silber und Aluminium nahe der Bond-Grenzfläche zwischen der Elektrode 2 und dem komprimierten Kugelteil 6, gebildet werden. Das detaillierte Bildungsverfahren wird später beschrieben.

[0038] Als ein Beispiel des Verfahrens zum Bilden des goldkonzentrierten Bondbereichs 7 wird ein Verfahren zum Bilden des goldkonzentrierten Bondbereichs 7 durch Kontrollieren des Bonddrahts beschrieben. D.h., es wird ein Verfahren beschrieben, worin die FAB mit dem auf der Oberfläche gebildeten goldkonzentrierten Bereich an die Elektrode 2 gebondet wird, um dann den komprimierten Kugelteil 6 zu bilden. Um den goldbeschichteten Silber-Bonddraht 3 an die Elektrode 2 zu bonden, wird, wie in **Fig. 4** veranschaulicht, zuerst eine FAB 8 an einem Ende des goldbeschichteten Silber-Bonddrahts 3 gebildet. Bezüglich der Bildungsbedingungen der FAB 8 werden z.B. in dem Fall, dass der Durchmesser des goldbeschichteten Silber-Bonddrahts 3 $13\ \mu\text{m}$ oder mehr und $30\ \mu\text{m}$ oder weniger beträgt, die Entladebedingung in Übereinstimmung mit dem Durchmesser des Drahts so gesetzt, dass der Entladestromwert $30\ \text{mA}$ oder mehr und $120\ \text{mA}$ oder weniger beträgt und der Durchmesser der FAB 8 zum 1,5-fachen oder mehr und 2,0-fachen oder weniger des Durchmessers des Drahts wird. Als Bondvorrichtung kann ein käuflich verfügbares Produkt, wie z.B. eine Bondvorrichtung (vollautomatische Bondvorrichtung; IConn PLUS), hergestellt von Kulicke & Soffa Industries, Inc., z.B. verwendet werden. Wenn diese Bondvorrichtung verwendet wird, werden als Einstellungen der Vorrichtung bevorzugt eine Entladungszeit von $50\ \mu\text{s}$ oder mehr und $1.000\ \mu\text{s}$ oder weniger, eine EFO-Gap von $25\ \text{mil}$ oder mehr und $40\ \text{mil}$ oder weniger (etwa $635\ \mu\text{s}$ oder mehr und $1.143\ \mu\text{s}$ oder weniger) und eine Tail-Länge von $6\ \text{mil}$ oder mehr und $12\ \text{mil}$ oder weniger (etwa $152\ \mu\text{s}$ oder mehr und $305\ \mu\text{s}$ oder weniger) eingestellt. Wenn eine andere Bondvorrichtung außer dieser Bondvorrichtung verwendet wird, müssen ferner deren Bedingungen nur die gleichen sein wie vorstehend, wie z.B. eine Bedingung, unter denen der Durchmesser der FAB 8 die gleiche Größe wie vorstehend erreicht.

[0039] Diesbezüglich haben für das Problem, das im Fall der Herstellung der FAB durch Schmelzen und Verfestigen der Goldbeschichtungsschicht 5, die die Oberfläche des Silber-Bonddrahts beschichtet, das Gold auf der Oberfläche in das Innere eindringt, was zu einer Verringerung der Goldkonzentration auf der Oberfläche der Kugel und zu einer relativen Erhöhung der Konzentration von Silber und dann zur intermetallischen Ag_3Al -Verbindung, die leicht korrodiert, wenn die Kugel an die Elektrode, die Aluminium als deren Hauptkomponente enthält, gebondet wird, führt, die Erfinder umfangreich und wiederholt untersucht, ob es möglich ist, sogar, wenn die Kugel gebildet wird, das Gold auf der Oberfläche der Kugel ähnlich zu einem festen Draht zu halten, um hierdurch eine relative Verringerung der Konzentration von Silber zu erreichen und eine intermetallische Ag_2Al -Verbindung zu bilden, die korrosionsbeständig ist, wenn die Kugel an die Aluminiumelektrode gebondet wird, als auch das „edle“ Gold, welches gegenüber chemischen Reaktion extrem stabil ist, nahe zur Bond-Grenzfläche des Drahts zu halten. Sie haben insbesondere angenommen, dass, wenn einige Elemente zu der Goldbeschichtungsschicht zugegeben werden, das Gold auf der Oberfläche bleiben würde, sogar wenn sie schmelzen, und sie haben wiederholt Experimente durchgeführt, um die Goldkonzentration an der Oberfläche zu analysieren, wobei viele Arten von Elementen während der Goldplattierung und der Herstellung der FAB zugegeben wurden. Als Ergebnis haben sie letztlich herausgefunden, dass das Gold auf der Oberfläche der FAB bleibt, wenn Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16 zugegeben werden.

[0040] Normalerweise dringt im Fall der Bildung mit Gold, zu dem keine speziellen Elemente zugegeben worden sind, das Gold, das die Beschichtungsschicht 5 bildet, in das Silberkernmaterial 4 ein, wenn ein Ende des goldbeschichteten Silber-Bonddrahts 3 geschmolzen und verfestigt wird, um die FAB 8 zu bilden. Somit kann der goldkonzentrierte Bereich (Oberflächen-goldkonzentrierter Bereich) nicht auf der Oberfläche der FAB 8 gebildet werden. Anders ausgedrückt zeigt die Goldbeschichtungsschicht eine Wirkung, bevor die FAB 8 gebildet wird, aber nachdem die FAB 8 gebildet worden ist, kann der Oberflächen-goldkonzentrierte Bereich nicht mehr gebildet werden. D.h., das Wedge-Bonding kann den Effekt ausnutzen, jedoch versagt das Kugel-Bonden den Effekt hoher Zuverlässigkeit ausreichend auszuüben. Sogar wenn solch eine FAB 8 an die Elektrode 2 gebondet wird, kann der goldkonzentrierte Bondbereich 7 nicht nahe zur Bond-Grenzfläche zwischen der Elektrode 2 und dem komprimierten Kugelteil 6 mit guter Reproduzierbarkeit gebildet werden. Sogar, wenn die Dicke der Goldschicht einfach verdickt wird, ist es hier unmöglich, den Eintritt von Gold in das Silberkernmaterial zu inhibieren, weil der Dickenanteil der Goldschicht klein ist, wenn man dies mit dem Durchmesser des Silberkernmaterials vergleicht. Wenn die Goldkonzentration an der Oberfläche nach der Bildung der FAB nur durch die Dicke der Goldschicht erhöht wird, wird der Draht ferner in einen Zustand gebracht, der näher an einem Golddraht als an einem goldbeschichteten Silberdraht ist, und die Materialkosten erhöhen sich signifikant. Wenn die Dicke der Goldschicht 7 Masse-% übersteigt, ausgedrückt als Konzentration von Gold an dem gesamten Draht, erhöht sich die Kugel-Formbarkeit der FAB, nämlich die Möglichkeit einer Exzentrizität der Kugel oder dergleichen zu verursachen.

[0041] Als Ergebnis der vorstehend erwähnten umfangreichen Untersuchung haben die Erfinder eine Lösung gefunden, den Eintritt von Gold in das Silberkernmaterial 4 während der Bildung der FAB 8 zu inhibieren. Die Erfinder haben herausgefunden, dass die Inhibierung des Eintritts von Gold in das Silberkernmaterial 4 erreicht werden kann, indem mindestens ein oder mehrere Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16, ausgewählt aus Schwefel (S), Selen (Se), Tellur (Te), Arsen (As) und Antimon (Sb), in dem Gold enthalten ist, das die Beschichtungsschicht 5 bildet. Sie haben ferner herausgefunden, dass es bevorzugt ist, wenn die Gesamtmenge der Elemente der Gruppe 15 und Gruppe 16 quantitativ im gesamten Draht 4 Masse-ppm oder mehr und 80 Masse-ppm oder weniger beträgt.

[0042] Der Mechanismus, durch den die Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16 den Eintritt von Gold in das Silberkernmaterial 4 inhibieren, ist nicht vollständig aufgeklärt worden, es wird jedoch angenommen, dass im Prozess der Bildung der FAB 8 die Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16 in der Beschichtungsschicht 5 auf die Oberflächenspannung der geschmolzenen Beschichtungsschicht 5 wirken, um zur Bildung des goldkonzentrierten Bereichs beizutragen. Im Fall eines konventionellen goldbeschichteten Silber-Bonddrahts ist die Oberflächenspannung von geschmolzenem Silber kleiner als die von geschmolzenem Gold, und der durch den Unterschied in der Oberflächenspannung generierte Fluss (Marangoni-Konvektion) verläuft von der niedrigeren Oberflächenspannung zur größeren Oberflächenspannung, d.h., von dem geschmolzenen Silber (geschmolzene Kugel) zu dem geschmolzenen Gold (beschichtetes Gold in geschmolzenem Zustand), und somit wandert das geschmolzene Gold in das Innere der Kugel. Wenn hingegen die Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16 in der Beschichtungsschicht 5 vorliegen, wird die Oberflächenspannung der geschmolzenen Beschichtungsschicht 5 kleiner als diejenige von geschmolzenem Silber, und die Richtung der Marangoni-Konvektion ist umgekehrt, von dem geschmolzenen Gold zu dem geschmolzenen Silber, und somit dringt

das geschmolzene Gold nicht in die FAB 8 ein. Es wird entsprechend angenommen, dass ein Oberflächen-goldkonzentrierter Bereich 9 auf der Oberfläche der FAB 8 gebildet werden kann.

[0043] Der Zeitpunkt, zu dem die Wirkung der Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16 in der vorstehend beschriebenen Beschichtungsschicht 5 ausgeübt wird, und der Prozess zum Bilden des Oberflächen-goldkonzentrierten Bereichs werden zusammen mit dem Bildungsprozess der FAB 8 erklärt. Die FAB 8 wird auf solch eine Weise gebildet, dass nach dem Bonden des goldbeschichteten Silber-Bonddrahts 3 auf eine Leitung oder eine Erhöhung durch zweites Bonden eine vorbestimmte Länge des Drahts abgewickelt und eine Bogenentladung zwischen der Spitze des geschnittenen Bonddrahts 3 und einer Entladungslanze generiert wird, um die Spitze des Drahts zu schmelzen. Der Bonddraht wird deformiert, indem er von einer Kapillare während des zweiten Bondens zerdrückt wird, und somit ist die Beschichtungsschicht 5 in dem Bereich nicht vorhanden, worin der Bonddraht 3 und die Kapillare in Kontakt miteinander kommen, so dass das Kernmaterial 4 freigelegt wird. Im anfänglichen Stadium der Bildung der geschmolzenen Kugel weist die Kugel in einem Zustand, worin nur die Spitze des Drahts mit dem freigelegten Kernmaterial 4 geschmolzen ist, einen Teil auf, in dem die Beschichtungsschicht 5 nicht vorliegt, und somit wird der goldkonzentrierte Bereich nicht gebildet. Während das Schmelzen der anfänglichen Schmelzkugel durch Bogenentladung fortschreitet, beginnt der Teil des Drahts mit dem nicht-freigelegten Kernmaterial 4 zu schmelzen, die Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16 in der Beschichtungsschicht 5 wirken auf die Oberflächenspannung während des Schmelzens, und das geschmolzene Gold verbleibt in dem Oberflächenbereich der FAB 8, ohne in das Innere der FAB 8 einzudringen. Dann wächst die FAB von einer kleinen Kugel zu einer großen Kugel, und das Gold wird kontinuierlich von dem Bonddraht 3 zugeführt. Das geschmolzene Gold wird mit dem Kernmaterial 4, das durch die Hitze der Bogenentladung geschmolzen ist, legiert.

[0044] In dem goldbeschichteten Silber-Bonddraht 3, der die Beschichtungsschicht 5 umfasst, ist das Gold bevorzugt in einer Menge von 2 Masse-% oder mehr und 7 Masse-% oder weniger enthalten, relativ zur Gesamtmenge des Drahts 3. Wenn der Goldgehalt weniger als 2 Masse-% relativ zur Gesamtmenge des Drahts 3 beträgt, besteht das Risiko, dass er nicht hinreichend befähigt ist, die Bond-Verlässlichkeit zwischen dem komprimierten Kugelteil 6, der unter Verwendung der FAB 8 gebildet wird, die an dem goldbeschichteten Silber-Bonddraht 3, der hauptsächlich aus dem Silberkernmaterial 4 gebildet ist, gebildet wird, und der Elektrode 2 zu verbessern. Wenn der Goldgehalt relativ zur Gesamtmenge des Drahts 3 7 Masse-% übersteigt, verschlechtert sich nicht nur die Form der Kugel während des Schmelzens, sondern es werden auch die Form der FAB 8 aufgrund von Exzentrizität oder anderen Gründen und die Form und die Verlässlichkeit des komprimierten Kugelteils 6 beeinträchtigt, und die Materialkosten des goldbeschichteten Silber-Bonddrahts 3 erhöhen sich. In Abhängigkeit von dem Durchmesser des Drahts 3 oder der Dicke der Beschichtungsschicht 5 beträgt die Menge von Gold relativ zur Gesamtmenge des Drahts 3 stärker bevorzugt 3,5 Masse-% oder mehr.

[0045] Wenn die Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16 in der Beschichtungsschicht 5 vorliegen, sind die Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16 bevorzugt in einem Bereich von 4 Masse-ppm oder mehr und 80 Masse-ppm oder weniger enthalten, relativ zur Gesamtmenge des vorstehend beschriebenen goldbeschichteten Silber-Bonddrahts 3. Wenn die Menge der Elemente der Gruppe 15 und Gruppe 16 weniger als 4 Masse-ppm relativ zur Gesamtmenge des Drahts 3 beträgt, ist es nicht möglich, die Wirkung zum Konzentrieren des Golds während der Bildung der FAB 8 und die Formbarkeit des resultierenden Oberflächen-goldkonzentrierten Bereichs ausreichend zu erhalten. Wenn die Menge der Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16 80 Masse-ppm relativ zur Gesamtmenge des Drahts 3 übersteigt, werden wahrscheinlich Risse, Brüche oder dergleichen in der Beschichtungsschicht 5 auftreten, und die Bearbeitbarkeit, wie z.B. ein Drahtbrechen, und die Produktivität verringern sich während des Drahtziehens, was es somit erschwert, den goldbeschichteten Silber-Bonddraht 3 mit gewünschtem Durchmesser zu erhalten. Im Übrigen können zwei oder mehr Arten von Elementen in Gruppe 15 und Gruppe 16 in Mischung eingesetzt werden, und in diesem Fall wird die Gesamtmenge der Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16 so eingestellt, dass sie in den vorstehend beschriebenen Mengenbereich fällt.

[0046] Wenn der goldbeschichtete Silber-Bonddraht 3, der die Beschichtungsschicht 5 umfasst, die die Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16 enthält, verwendet wird, wird durch die Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16, die in der Beschichtungsschicht 5 enthalten sind, der Oberflächen-goldkonzentrierte Bereich 9 in einem Bereich der Oberfläche der FAB 8 gebildet, z.B. in einem Bereich von 10 µm oder weniger (oder 10 % oder weniger in Bezug auf den Durchmesser der FAB 8) in der Tiefenrichtung von der Oberfläche, in Abhängigkeit von dem Durchmesser der zu bildenden FAB 8. Dieser oberflächen-goldkonzentrierte Bereich 9 wird sogar nach dem Bonden der FAB 8 und der Elektrode 2 beibehalten, so dass der goldkonzentrierte Bondbereich 7 nahe zur Bond-Grenzfläche zwischen der Elektrode 2 und dem komprimierten Kugelteil 6 gebildet

werden kann. D.h., es wird möglich, die Drahtbondstruktur 1 mit dem goldkonzentrierten Bondbereich 7 zu erhalten. Im Übrigen ist das Bildungsverfahren und der Bildungsprozess des vorstehend beschriebenen goldkonzentrierten Bondbereichs 7 ein Beispiel, und sie sind nicht hierauf beschränkt.

[0047] Z.B. kann im Hinblick auf die Bedingungen des Bondens der FAB und der Elektrode 2 der goldkonzentrierte Bondbereich 7 sogar unter den folgenden Bedingungen gebildet werden. Spezifisch kann der goldkonzentrierte Bondbereich 7 auch durch Abscheiden von Gold auf der Oberfläche der Aluminiumelektrode oder durch andere Verfahren gebildet werden. Jedoch ist die Goldbeschichtung auf der Elektrode nicht empfohlen, weil sich die Kosten im Hinblick auf die Material- und Herstellungskosten extrem erhöhen. Die Drahtbondstruktur 1 der Ausführungsform ist dazu da, die Bond-Verlässlichkeit zwischen der Elektrode 2 und dem komprimierten Kugelteil 6, wie vorstehend beschrieben, zu verbessern, indem der goldkonzentrierte Bondbereich 7 nahe zur Bond-Grenzfläche zwischen der Elektrode 2 und dem komprimierten Kugelbereich 6 vorgesehen wird, und daher ist das Verfahren zum Bilden des goldkonzentrierten Bondbereichs 7 nicht besonders beschränkt.

[0048] Nachstehend ist ein Verfahren zur Berechnung des Goldgehalts und des Gehalts der Elemente der Gruppe 15 und Gruppe 16 relativ zur Gesamtmenge des goldbeschichteten Silber-Bonddrahts 3 beschrieben. Zunächst wird der Goldgehalt berechnet. Der goldbeschichtete Silber-Bonddraht 3 wird in verdünnte Salpetersäure gegeben, um das Kernmaterial 4 aufzulösen, und danach wird die gelöste Lösung gesammelt. Es wird Salzsäure zu der gelösten Lösung zugegeben, um eine Lösung mit einem konstanten Volumen mit ultrareinem Wasser herzustellen. Die Beschichtungsschicht 5 wird mit verdünntem Königswasser (aqua regia) aufgelöst, um eine Lösung mit konstantem Volumen mit ultrareinem Wasser herzustellen. Es wird eine quantitative Analyse von Gold in diesen Lösungen mit konstantem Volumen durch ICP-Emissionsspektroskopie (ICP-AES: induktiv gekoppelte Plasma-Atomemissionsspektroskopie) durchgeführt, um hierdurch den Goldgehalt zu messen.

[0049] Als nächstes wird der Gehalt der Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16 berechnet. Im Hinblick auf den Gehalt von Selen und Tellur in der Beschichtungsschicht 5 wird der Bonddraht 3 in verdünnte Salpetersäure gegeben, um das Kernmaterial 4 aufzulösen, und danach wird die Beschichtungsschicht 5 extrahiert. Nach dem Erwärmen und Zersetzen der Beschichtungsschicht 5 mit verdünntem Königswasser wird ferner eine Lösung mit konstantem Volumen mit ultrapurem Wasser hergestellt, um die Messung durchzuführen. Es wird eine quantitative Analyse von Selen, Tellur, Arsen und Antimon in dieser Lösung mit konstantem Volumen durch ICP-Massenspektrometrie (ICP-MS: induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie) durchgeführt. Zwischenzeitlich wird im Hinblick auf den Gehalt von Selen, Tellur, Arsen und Antimon in dem Kernmaterial 4 der Bonddraht 3 in verdünnte Salpetersäure gegeben, und es wird eine Messung durch ICP-MS oder ICP-AES durchgeführt, worin eine Lösung verwendet wird, die durch Auflösen des Kernmaterials 4 hergestellt wurde. Danach wird aus dem Goldgehalt und dem Gehalt von Selen, Tellur, Arsen und Antimon in der Beschichtungsschicht 5 und im Kernmaterial 4 der Goldgehalt und der Gehalt von Selen, Tellur, Arsen und Antimon in dem gesamten Bonddraht 3 berechnet. Zusätzlich zu dem Vorstehenden gibt es auch ein Verfahren zum Durchführen einer Analyse, indem ein Hydrid von Selen, Tellur, Arsen und Antimon mit einem Hydrid-Bildungsapparat durchgeführt wird, der mit dem ICP-AES verbunden ist. Ferner wird der Gehalt von Schwefel (S) in dem Kernmaterial 4 und der Beschichtungsschicht 5 unter Verwendung eines Verbrennungs-Infrarot-Absorptionsverfahren für den Bonddraht 3 gemessen. Das Gewicht des Bonddrahts 3 je Messung wird bevorzugt auf 0,5 g oder mehr eingestellt. Wenn die Probe nicht leicht schmilzt, kann ein Hilfs-Brennmaterial verwendet werden, falls dies notwendig ist.

[0050] Als nächstes wird ein Verfahren zur Herstellung des Bonddrahts beschrieben. Wenn Silber als Kernmaterial 4 verwendet wird, wird Silber von vorbestimmter Reinheit geschmolzen, und wenn eine Silberlegierung verwendet wird, wird Silber von einer vorbestimmten Reinheit zusammen mit Additivelementen geschmolzen, um hierdurch ein Material des Silberkernmaterials oder ein Material des Silberlegierungskernmaterials zu erhalten. Zum Schmelzen wird ein Heizofen verwendet, wie z.B. ein Bogen-Heizofen, ein Hochfrequenz-Heizofen, ein Widerstands-Heizofen oder ein kontinuierlicher Gussofen. Um die Einmischung von Sauerstoff und Wasserstoff aus der Atmosphäre zu vermeiden, wird der obere Teil des geschmolzenen Silbermaterials in dem Heizofen bevorzugt in einem Vakuum oder unter einer Inertgasatmosphäre, wie z.B. Argon oder Stickstoff, gehalten. Aus dem Heizofen wird die Schmelze des Kernmaterials gegossen und zu einem vorbestimmten Drahtdurchmesser verfestigt, oder die Schmelze des Kernmaterials wird in eine Form gegossen, um einen Rohbarren herzustellen, und der Rohbarren wird gewalzt und dann zu einem vorbestimmten Drahtdurchmesser gezogen, und es wird ein Silberdrahtstab (einschließlich eines reinen Silberdrahtstabs und eines Silberlegierungsdrahtstabs) erhalten.

[0051] Als Verfahren zum Bilden der Goldschicht auf der Oberfläche des Silberdrahtstabs wird ein Plattierverfahren (nasses Verfahren) oder ein Dampfabscheidungsverfahren (Trockenverfahren) eingesetzt. Das Plattierverfahren kann entweder ein elektrolytisches Plattierverfahren oder ein stromloses Plattierverfahren sein. Die elektrolytische Plattierung, wie z.B. die Streichplattierung oder die Flash-Plattierung, ist bevorzugt, weil die Plattierungsgeschwindigkeit groß ist und die Adhäsion der Goldschicht an das Silberkernmaterial gut ist, wenn die elektrolytische Plattierung auf die Goldplattierung angewandt wird. Damit ein Element der Schwefelgruppe in der Goldschicht durch das Plattierverfahren enthalten ist, wird z.B. in dem vorstehend beschriebenen elektrolytischen Plattieren in einer Gold-Plattierlösung eine Plattierlösung verwendet, die ein Plattieradditiv enthält, das zumindest eines umfasst, das ausgewählt ist aus Schwefel, Selen, Tellur, Arsen und Antimon. Durch Einstellen der Art und der Menge des Plattieradditivs zu diesem Zeitpunkt können der Gehalt der Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16 in der Beschichtungsschicht 5 eingestellt werden, und der Gehalt der Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16 in dem Draht 3 können eingestellt werden.

[0052] Als Dampfabscheidungsverfahren können die physikalische Dampfabscheidung (PVD), wie z.B. ein Sputterverfahren, ein Ionenplattierverfahren oder ein Vakuum-Dampfabscheidungsverfahren, als auch chemische Dampfabscheidung (CVD), wie thermische CVD, Plasma-CVD oder metallorganische CVD (MOCVD) eingesetzt werden. Bei diesen Verfahren ist ein Reinigen der Goldbeschichtungsschicht nach der Bildung nicht erforderlich, und somit bestehen keine Bedenken bezüglich der Oberflächenkontaminierung oder dergleichen während des Reinigens. Als ein Verfahren zum Inkludieren der Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16 in der Goldschicht durch das Dampfabscheidungsverfahren gibt es ein Verfahren zum Bilden einer Goldschicht durch Magnetron-Sputtern oder dergleichen, wobei ein Gold-Target verwendet wird, das die Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16 enthält. Sogar im Fall des Einsatzes von anderen Verfahren außer den Vorstehenden ist es nur notwendig, Ausgangsmaterialien zu verwenden, die die Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16 in einem Goldmaterial enthalten.

[0053] Der Zeitpunkt, zu dem die Goldschicht gebildet wird, ist nicht besonders beschränkt. Der Goldschicht-beschichtete Silberdrahtstab wird zu einem endgültigen Drahtdurchmesser gezogen und wird dann erforderlichenfalls wärmebehandelt, und hierdurch wird der goldbeschichtete Silber-Bonddraht 3 mit der Beschichtungsschicht 5, die auf der Oberfläche des Silberkernmaterials 4 vorgesehen ist, hergestellt. Das Drahtziehen kann im Stadium des Silberdrahtstabs durchgeführt werden, oder der Silberdrahtstab kann zu einem bestimmten Durchmesser gezogen werden, und nach der Bildung der Goldschicht kann der Drahtstab zum endgültigen Drahtdurchmesser gezogen werden. Das Drahtziehen und die Wärmebehandlung können in Schritten durchgeführt werden. Das Arbeitsverhältnis beim Drahtziehen wird in Übereinstimmung mit dem endgültigen Durchmesser des herzustellenden goldbeschichteten Silber-Bonddrahts 3, der Anwendung oder dergleichen bestimmt. Im Allgemeinen beträgt das Arbeitsverhältnis beim Drahtziehen bevorzugt 90 % oder mehr als das Arbeitsverhältnis, bis der Silberdrahtstab bis zum endgültigen Drahtdurchmesser bearbeitet worden ist. Dieses Arbeitsverhältnis kann berechnet werden als Reduktionsverhältnis der Draht-Querschnittsfläche. Das Drahtziehen wird bevorzugt so durchgeführt, dass der Durchmesser in Schritten verringert wird, indem eine Vielzahl von Diamantstempeln eingesetzt wird. In diesem Fall beträgt die Reduktion der Fläche (Arbeitsverhältnis) je 1 Diamantstempel bevorzugt 5 % oder mehr und 15 % oder weniger.

[0054] Nachdem der Goldschicht-beschichtete Silberdrahtstab zum endgültigen Drahtdurchmesser gezogen worden ist, wird bevorzugt eine letzte Wärmebehandlung durchgeführt. Die letzte Wärmebehandlung wird beim endgültigen Drahtdurchmesser unter Berücksichtigung einer spannungslösenden Wärmebehandlung zur Lösung von Spannungen einer Metallstruktur, die innerhalb des Drahts 3 verbleiben, oder der erforderlichen Drahteigenschaften durchgeführt. Bezüglich der spannungslösenden Wärmebehandlung werden die Temperatur und die Zeit bevorzugt unter Berücksichtigung der erforderlichen Drahteigenschaften eingestellt. Ferner kann eine zweckgemäße Wärmebehandlung zu jeglichem Zeitpunkt des Drahtherstellens durchgeführt werden. Beispiele solch einer Wärmebehandlung umfassen eine spannungslösende Wärmebehandlung während des Ziehprozesses des Drahts, eine Diffusionswärmebehandlung, die zur Erhöhung der Bindungsfestigkeit, nachdem die Goldschicht gebildet worden ist, beabsichtigt ist, usw. Durch Durchführen der Diffusionswärmebehandlung kann die Bindungsfestigkeit zwischen dem Kernmaterial 4 und der Beschichtungsschicht 5 verbessert werden. Als Wärmebehandlung ist eine laufende Wärmebehandlung, worin der zu wärmebehandelnde Draht durch eine Erwärmungsatmosphäre geführt wird, die auf eine vorbestimmte Erwärmungstemperatur erwärmt worden ist, bevorzugt, weil die Wärmebehandlungsbedingungen leicht eingestellt werden. Im Fall der laufenden Wärmebehandlung kann die Wärmebehandlungszeit durch die Geschwindigkeit, mit der der Draht befördert wird, und der Strecke des Drahts, die durch ein Erwärmungsgefäß verläuft, berechnet werden. Als Erwärmungsgefäß wird ein elektrischer Ofen oder dergleichen verwendet.

[0055] Als nächstes wird die FAB 8 an einem Ende des vorstehend beschriebenen goldbeschichteten Silber-Bonddrahts 3 gebildet. Die FAB 8 wird durch Generieren einer Bogenentladung zwischen der Spitze des Drahts 3 und einer Entladungslanze gebildet, um die Spitze des Drahts 3 zu schmelzen. Die an einem Ende des goldbeschichteten Silber-Bonddrahts 3 gebildete FAB 8 wird durch ein kombiniertes Ultraschall-Thermokompressions-Bondverfahren oder dergleichen an die Elektrode 2 gebondet. Die FAB 8 in Kontakt mit der Elektrode 2 wird durch Ultraschallwellen und Wärme an die Elektrode 2 gebondet, während sie durch Druck während der kombinierten Ultraschall-Thermokompressionsbehandlung deformiert wird, und hierdurch kann der komprimierte Kugelteil 6, der an die Elektrode 2 gebondet ist, gebildet werden.

(Halbleitervorrichtung)

[0056] Als nächstes wird eine Halbleitervorrichtung unter Bezugnahmen auf die **Fig. 5** bis **Fig. 7** erklärt, bei der die Drahtbondstruktur der Ausführungsform eingesetzt wird. Übrigens ist **Fig. 5** eine Querschnittsansicht, die ein Stadium der Halbleitervorrichtung in der Ausführungsform vor der Harz-Einkapselung veranschaulicht, **Fig. 6** ist eine Querschnittsansicht, die einen Zustand der Harz-eingekapselten Halbleitervorrichtung in der Ausführungsform veranschaulicht, und **Fig. 7** ist eine Querschnittsansicht, die einen Bondteil einer Elektrode eines Halbleiterchips in der Halbleitervorrichtung in der Ausführungsform und einen Bonddraht in vergrößerter Weise veranschaulicht.

[0057] Eine Halbleitervorrichtung 10 der Ausführungsform (eine Halbleitervorrichtung 10X vor der Harz-Einkapselung) umfasst, wie in **Fig. 5** und **Fig. 6** illustriert ist, eine Leiterplatte 12 einschließlich externer Elektroden 11, eine Vielzahl von Halbleiterchips 14 (14A, 14B und 14C), die jeweils mindestens eine Elektrode (Chipelektrode) 13 umfassen, die auf der Leiterplatte 12 angeordnet sind, und Bonddrähte 15, die die externe Elektrode 11 der Leiterplatte 12 und die Elektrode 13 des Halbleiterchips 14 verbinden und die Elektroden 13 einer Vielzahl der Halbleiterchips 14 verbinden. Als Leiterplatte 12 wird z.B. eine gedruckte Leiterplatte, eine keramische Leiterplatte oder dergleichen, die mit einem Verdrahtungsnetzwerk auf einer Oberfläche oder im Inneren eines isolierenden Substrats, wie z.B. einem Harzmaterial oder einem keramischen Material, versehen ist, verwendet.

[0058] **Fig. 5** und **Fig. 6** veranschaulichen jeweils die Halbleitervorrichtung 10, die eine Vielzahl der Halbleiterchips 14 umfasst, die auf der Leiterplatte 12 montiert sind, jedoch ist die Konfiguration der Halbleitervorrichtung 10 nicht hierauf beschränkt. Der Halbleiterchip kann z.B. auf einem Lead-Frame montiert sein, und in diesem Fall ist die Elektrode des Halbleiterchips über den Bonddraht 15 mit einer äußeren Leitung verbunden, die als externe Elektrode des Lead-Frames fungiert. Die Anzahl der auf der Leiterplatte oder dem Lead-Frame zu montierenden Halbleiterchips kann entweder eins oder eine Vielzahl sein. Der Bonddraht 15 wird für zumindest eines zwischen der externen Elektrode 11 der Leiterplatte 12 und der Elektrode 13 des Halbleiterchips 14, zwischen dem Lead-Frame und der Elektrode des Halbleiterchips, und zwischen der Elektrode 13 einer Vielzahl der Halbleiterchips 14 eingesetzt.

[0059] Die Halbleiterchips 14A, 14C von der Vielzahl der Halbleiterchips 14 der in **Fig. 5** und **Fig. 6** veranschaulichten Halbleitervorrichtung 10 sind auf einem Chip-Montierbereich der Leiterplatte 12 mittels eines Die-Bonding Materials 16 verbunden, das hierzwischen vorgesehen ist. Der Halbleiterchip 14B ist auf dem Halbleiterchip 14A mit dem hierzwischen vorgesehenen Die-Bonding-Material 16 montiert. Von dem Halbleiterchip 14A ist eine Elektrode 13 mit der externen Elektrode 11 der Leiterplatte 12 über den Bonddraht 15 verbunden, eine andere Elektrode 13 ist mit einer Elektrode 13 des Halbleiterchips 14B über den Bonddraht 15 verbunden, und eine andere Elektrode 13 ist mit einer Elektrode 13 des Halbleiterchips 14C über den Bonddraht 15 verbunden. Eine andere Elektrode 13 des Halbleiterchips 14B ist mit der externen Elektrode 11 der Leiterplatte 12 über den Bonddraht 15 verbunden. Eine andere Elektrode 13 des Halbleiterchips 14C ist mit der externen Elektrode 11 der Leiterplatte 12 über den Bonddraht 15 verbunden.

[0060] Der Halbleiterchip 14 umfasst eine integrierte Schaltung (IC), die aus einem Silicium (Si)-Halbleiter, eine Halbleiterverbindung oder dergleichen gebildet ist. Die Chipelektrode 13 ist aus einer Aluminiumelektrode gebildet, die zumindest eine Aluminium (Al)-Schicht oder eine Aluminiumlegierungsschicht von AlSiCu, AlCu oder dergleichen auf der obersten Oberfläche aufweist. Die Aluminiumelektrode wird z.B. gebildet, indem ein Elektrodenmaterial, wie z.B. Al oder eine Al-Legierung, so aufgebracht wird, dass es elektrisch mit einer internen Verdrahtung auf einer Oberfläche eines Silicium (Si)-Substrats verbunden ist. Der Halbleiterchip 14 führt eine Datenkommunikation mit einer externen Vorrichtung durch oder erhält Strom von einer externen Vorrichtung über die externe Elektrode 11 und den Bonddraht 15.

[0061] Die externe Elektrode 11 der Leiterplatte 12 ist über den Bonddraht 15 elektrisch mit der Elektrode 13 des Halbleiterchips 14, der auf der Leiterplatte 12 montiert ist, verbunden. In der Halbleitervorrichtung 10 in der Ausführungsform ist ein Ende des Bonddrahts 15 an die Chipelektrode 13 kugelgebondet (erstgebondet), und das andere Ende hiervon ist an die externe Elektrode 11 wedge-gebondet (zweitgebondet). Das gleiche trifft sogar auf den Fall zu, worin die Elektroden 13 einer Vielzahl der Halbleiterchips 14 durch den Bonddraht 15 verbunden sind, und ein Ende des Bonddrahts 15 ist mit der Chipelektrode 13 des Halbleiterchips 14 kugelgebondet (erstgebondet), und das andere Ende hiervon ist mit der Chipelektrode 13 eines anderen Halbleiterchips 14 wedge-gebondet (zweitgebondet). Im Übrigen umfasst die Elektrode 13 des Halbleiterchips 14 auch die Form einer Erhöhung, die vorher an ein Elektrodenpad des Halbleiterchips 14 gebondet wurde (was nicht veranschaulicht ist).

[0062] Wenn ein Ende des Bonddrahts 15 an die Chipelektrode 13 kugelgebondet wird, wird ein Ende des Bonddrahts 15 durch elektrische Entladung oder dergleichen geschmolzen, damit er sich durch die Oberflächenspannung oder dergleichen zu einer sphärischen Form verfestigt, und dadurch wird die in **Fig. 4** veranschaulichte FAB 8 gebildet. Solche eine FAB 8 wird an die Chipelektrode 13 durch ein kombiniertes Ultraschall-Thermokompressions-Bondverfahren oder dergleichen gebondet, und hierdurch wird die in **Fig. 1** veranschaulichte Drahtbondstruktur gebildet. D.h., wie in **Fig. 7** veranschaulicht ist, wird eine Drahtbondstruktur 1 gebildet, die den Bonddraht 15, die Chipelektrode 13 und den an die Chipelektrode 13 gebondeten komprimierten Kugelteil 6 umfasst. Danach wird eine einkapselnde Harzschicht 17 auf der Leiterplatte 12 so gebildet, dass sie eine Vielzahl der Halbleiterchips 14 und der Bonddrähte 15 mit Harz einkapselt, und hierdurch wird die Halbleitervorrichtung 10 hergestellt. Konkrete Beispiele der Halbleitervorrichtung 10 umfassen eine logische integrierte Schaltung (logic IC), eine analoge integrierte Schaltung (analog IC), einen diskreten Halbleiter, einen Halbleiterspeicher, einen optischen Halbleiter usw.

[0063] Als Drahtbondstruktur 1 in der Halbleitervorrichtung 10 wird die vorstehend beschriebene Drahtbondstruktur 1 in der Ausführungsform eingesetzt. D.h., nahe zur Bond-Grenzfläche zwischen dem komprimierten Kugelteil 6, der an einem Ende des Bonddrahts 15 vorgesehen ist, und der Chipelektrode 13 ist ein goldkonzentrierter Bondbereich 7 mit einer Goldkonzentration von 5 At-% oder mehr, relativ zur Gesamtmenge von Gold, Silber und Aluminium, vorgesehen, wie in **Fig. 1** veranschaulicht ist. Die Gegenwart solch eines goldkonzentrierten Bondbereichs 7 erhöht die Konzentration von Gold nahe zur Bond-Grenzfläche, und hierdurch wird die Bildung einer hochgradig brüchigen und leicht korrodierbaren intermetallischen Ag_3Al -Verbindung inhibiert, und es wird eine stabile intermetallische Ag_2Al -Verbindung gebildet, die bezüglich der Korrosionsbeständigkeit herausragend ist, und hierdurch ist es möglich, die Bond-Verlässlichkeit zwischen der Elektrode 2 und dem komprimierten Kugelteil 6 zu verbessern und ferner die Verlässlichkeit der Halbleitervorrichtung 1 zu erhöhen.

BEISPIELE

[0064] Als nächstes werden Beispiele der vorliegenden Erfindung erklärt werden. Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die folgenden Beispiele beschränkt. Die Beispiele 1 bis 26 sind Beispiele und die Beispiele 27 bis 32 sind Vergleichsbeispiele.

(Beispiele 1 bis 26)

[0065] Als Kernmaterial wurde ein durch Strangguss hergestelltes Silber- oder Silberlegierungskernmaterial vorbereitet, und es wurde so einem kontinuierlichen Drahtziehen unterzogen, dass es zu einem Intermediat-Drahtdurchmesser von 0,05 mm bis 1,0 mm gezogen wurde. Ferner wurde ein Gold-Elektroplattierbad mit einer hierzu zugegeben geeigneten Menge von jedem der Additive, wie z.B. Schwefel, Selen, Tellur, Arsen und Antimon, für einen Silberdrahtstab mit einem Intermediat-Durchmesser verwendet, und während der Silberdrahtstab kontinuierlich zugeführt wurde, wurde ein Strom mit einer Stromdichte von 0,20 A/dm² oder mehr und 2,0 A/dm² oder weniger durch den Silberdrahtstab in einem Zustand geleitet, in dem er in das Bad eingetaucht war, und dann wurde eine Goldbeschichtungsschicht gebildet. Als letztes wurde eine finale Wärmebehandlung an dem Draht durchgeführt, der auf einen endgültigen Drahtdurchmesser von \varnothing 20 μm gezogen worden war, und dann wurden die goldbeschichteten Silberbonddrähte der Beispiele 1 bis 26 hergestellt.

(Vergleichsbeispiele 27 bis 32)

[0066] Es wurden goldbeschichtete Silberbonddrähte auf die gleiche Weise wie in den Beispielen hergestellt. Die Zusammensetzungen der Bonddrähte sind zusammen in Tabelle 1 veranschaulicht.

(Gehaltsmessung)

[0067] Der Goldgehalt in dem goldbeschichteten Silber-Bonddraht (Gold stammt aus der Beschichtungsschicht und ist nicht in dem Silberkernmaterial enthalten) und die Gehaltsmengen von Palladium, Indium und Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16, welche Elemente sind, die zu dem Silberkernmaterial zugegeben wurden, wurden gemäß den vorstehend beschriebenen Verfahren gemessen (siehe

). Die Ergebnisse der Messung sind in Tabelle 1 veranschaulicht.

(Beobachtung eines Risses in der Drahtoberfläche)

[0068] Es wurde ein Lasermikroskop (Produktname: VK-X200), hergestellt von KEYENCE CORPORATION, verwendet, um die Erscheinung von der goldbeschichteten Silber-Bonddrähten mit dem Intermediat-Durchmesser und dem endgültigen Durchmesser zu untersuchen, um dann die Gegenwart oder Abwesenheit von Rissen (Rissbildung) in einem Goldbeschichtungsfilm bei starker Vergrößerung zu untersuchen. Die Gesamtprobenanzahl beträgt 10, und ein Fall, worin eine Rissbildung in dem Goldbeschichtungsfilm auftrat, um zumindest eine Freilegung des Silberkernmaterials, hauptsächlich aufgrund der Zugbelastung, die während des Drahtziehens ausgeübt wurde, zu verursachen, wurde als Versagen (X) bewertet, und ein Fall, worin nicht eine einzige Freilegung eines Silberkernmaterials ersichtlich war, wurde als ok (o) bewertet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 veranschaulicht. Im Übrigen ist die Probe mit einem Oberflächenriss in der Tabelle als nicht durchgeführt (-) angezeigt, weil die folgenden Bewertungen der Kugel-Formbarkeit und HAST usw. hieran nicht durchgeführt wurden.

(FAB-Herstellungsverfahren)

[0069] Es wurden FABs unter den vorstehend beschriebenen Bedingungen hergestellt, und jede wurde an eine Elektrode unter den vorstehend beschriebenen Bondbedingungen gebondet (siehe [0024], [0040]).

(Kugel-Formbarkeit)

[0070] Die Kugel-Formbarkeit kann durch die Zirkularität der Kugel nach dem Krimpen bewertet werden. Bezüglich des Erstbondens von 30 Teilen wurden die gebondeten Kugeln von oben beobachtet, die maximale Breite der gekrimpten Kugel und die Breite rechtwinklig hierzu wurden gemessen, und das Verhältnis der maximalen Breite zur Breite rechtwinklig hierzu (maximale Breite/rechtwinklige Breite) wurde bestimmt. Ein Fall, worin der Mittelwert von den Werten dieses Verhältnisses der vorstehenden 30 Teststücke 1,00 oder größer und weniger als 1,15 beträgt, wurde als gut (o) bewertet, und ein Fall, worin der Mittelwert 1,15 oder größer beträgt, stellte Problem dar und wurde als Versagen (X) bewertet.

(Messung des goldkonzentrierten Bondbereichs usw.)

[0071] Als nächstes wurde die Abwesenheit oder Anwesenheit des goldkonzentrierten Bondbereichs (analytischer Goldkonzentrationswert) nahe zur Bond-Grenzfläche von jeder der durch das vorstehend beschriebene Verfahren hergestellten Proben, die Anwesenheit oder Abwesenheit des goldkonzentrierten Bondbereichs zwischen der Position bei 1/8 der Gesamtlänge des komprimierten Kugelteils und dem Ende des komprimierten Kugelteils, und ob der Belegungsanteil nahe zur Bond-Grenzfläche 25 % oder mehr betrug, gemessen. Es wurden vier Sets der Bondstruktur der Elektrode und der Kugelbondung für jede Probe hergestellt. Die vorstehenden drei Untersuchungen wurden an den vier Sets durchgeführt. Die Goldkonzentration im goldkonzentrierten Bondbereich wurde ohne Berücksichtigung der Additivelemente, wie Palladium, Indium und Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16, ermittelt. D.h., die Konzentration wurde berechnet, ohne die Additivelemente im Nenner einzuschließen. Als Analysewert von Gold in dem goldkonzentrierten Bondbereich in Tabelle 1 wurde von den vier Sets der Bondstruktur der Wert des Sets mit der höchsten Goldkonzentration verwendet, und es wurden drei Punkte aus den Messpunkten der Linienanalyse in absteigender Reihenfolge der Goldkonzentration nahe zur Bond-Grenzfläche von diesem Set ausgewählt, und der Mittelwert der drei Punkte ist gezeigt. Bezüglich der Bewertung der Anwesenheit oder Abwesenheit des goldkonzentrierten Bondbereichs zwischen jedem der beiden Enden des komprimierten Teils und der vorstehenden Position bei 1/8 wurde der Fall, worin der goldkonzentrierte Bondbereich in allen Kugeln der vier Sets vorlag, als ok (o) bewertet, und der Fall, worin auch nur ein Set ohne Gegenwart des goldkonzentrierten Bondbereichs vorlag, wurde als Versagen (X) bewertet. Bezüglich des Belegungsanteils des goldkonzentrierten Bondbereichs wurde in ähnlicher Weise der Fall, worin der Belegungsanteil 25 % oder mehr in allen Bondstrukturen der vier Sets betrug, als ok (o) bewertet, und der Fall, worin auch nur ein Set mit einem Belegungsanteil von

weniger als 25 % vorlag, als Versagen (X) bewertet (siehe [0027] bis [0032] bezüglich der Details der entsprechenden Untersuchungsverfahren).

(Herstellung einer Probe für HAST-Test)

[0072] Mit dem in jedem der Beispiele erhaltenen goldbeschichteten Silber-Bonddraht wurde ein Drahtbonden auf Al-0,5 Masse-% Cu-Legierungselektroden mit einer Dicke von 2 µm auf einem 300 µm dicken Si-Chip auf einem BGA (Ball Grid Array)-Substrat mit einer kommerziell verfügbaren Bondvorrichtung (K & S ICONN) unter den gleichen Bedingungen wie bei denjenigen der vorstehend beschriebenen FAB, dem Kugelbonden und dem zweiten Bonden durchgeführt. D.h., die Bildung der FAB wurde unter Verwendung der vollautomatischen Bondvorrichtung so durchgeführt, dass ein vorbestimmter Durchmesser der Kugel in einem Bereich vom 1,5- bis zum 2,3-fachen des Durchmessers des Drahts erhalten wurde, wobei der elektronische Flame-off (EFO)-Strom auf einen vorbestimmten Wert im Bereich von 30 bis 90 mA, die Entladezeit auf einen vorbestimmten Wert im Bereich von 50 bis 1.000 µs eingestellt, die EFO-Gap auf 25 bis 45 mil (etwa 635 bis 1.143 µm) und die Tail-Länge auf 6 bis 12 mil (etwa 152 bis 305 µm) eingestellt wurde.

[0073] Bezüglich der Bedingungen des ersten Bondens wurde z.B. im Fall von Beispiel 1, worin der Durchmesser des Drahts Ø 20 µm betrug, eine FAB mit einem Kugeldurchmesser von 36 µm gebildet, und die Bildungsbedingungen wurden so eingestellt, dass die Höhe des komprimierten Kugelteils 10 µm betrug, die Maximalbreite des komprimierten Kugelteils in der Richtung parallel zur Bondoberfläche 45 µm betrug und die Scherfestigkeit der Kugel 15 gf oder mehr betrug. Bei dieser Gelegenheit wurden nur aneinander angrenzende Bondteile der Al-0,5 Masse-% Cu-Legierungselektroden auf dem Chip elektrisch verbunden, die zwei aneinander angrenzenden Drähte bildeten elektrisch eine Schaltung, und es wurden insgesamt 320 Schaltungen gebildet. Danach wurde der Si-Chip auf dem BGA-Substrat unter Verwendung einer kommerziell verfügbaren Spritzpressmaschine (GPGP-PRO-LAB80, hergestellt von Dai-ichi Seiko Co., Ltd.) in Harz eingekapselt, um ein Teststück zu erhalten. Als für die Einkapselung verwendetes Harz wurde im übrigen ein kommerziell verfügbarer, halogenfreies Harz (mit einer Chlorkonzentration von 15 ppm oder weniger, einem pH von 6 oder mehr und 7 oder weniger) verwendet. Bezüglich der Teststücke der Beispiele wurde ferner das Kugelbonden so durchgeführt, dass die Höhe des komprimierten Kugelteils 7 bis 13 µm betrug und die maximale Breite des komprimierten Kugelteils in der Richtung parallel zur Bondoberfläche das 1,2-fache der gebildeten FAB betrug.

<HAST (Highly Accelerated Temperature and Humidity Stress Test, stark beschleunigter Temperatur- und Luftfeuchtigkeits-Stresstest)>

[0074] Das Teststück wurde unter Verwendung einer HAST-Vorrichtung (PCR8D, hergestellt von HIRAYAMA Manufacturing Corporation) bei 130°C, 85,0 % RH (relative Luftfeuchtigkeit) und 2,2 Atm für 200 Stunden gelagert. Vor und nach dem Lagern wurden die elektrischen Widerstandswerte der vorstehend beschriebenen 320 Schaltungen gemessen, und ein Fall, worin im Vergleich zum Wert des elektrischen Widerstands vor dem Lagern die Erhöhungsrate des elektrischen Widerstandswerts nach dem Lagern 8 % oder weniger in allen Schaltungen betrug wurde als (S) definiert, der Fall, worin die Erhöhungsrate 8 % in auch nur einer Schaltung überstieg und die Erhöhungsrate 10 % oder weniger in den anderen Schaltungen betrug, wurde als (A) definiert, der Fall, worin die Erhöhungsrate 10 % in auch nur einer Schaltung überstieg und die Erhöhungsrate 15 % oder weniger in den anderen Schaltungen betrug wurde als (B) definiert, der Fall, worin die Erhöhungsrate 15 % in auch nur einer Schaltung überschritt und die Erhöhungsrate 20 % oder weniger in den anderen Schaltungen betrug, wurde als (C) definiert, und der Fall, worin in auch nur einer Schaltung die Erhöhungsrate 20 % überstieg, wurde als Versagen (X) definiert. Die Fälle mit einer Erhöhungsrate von 20 % oder weniger wurden von S bis C bewertet, sie wurden jedoch als in Ordnung bewertet, weil kein Problem mit dem Produkt bestand.

[0079] [Tabelle 1]

| | | Zusammensetzung des Drahts (Zusammensetzung des gesamten Drahts) (Masse-%, ppm) | | | | | | | | | |
|----------|----|---|--------------|-----------|-----------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|-------------|--|
| | | Au-Schicht, ausgedrückt als Konzentration (%) | Kernmaterial | | | Element in Gruppe 15 | | Element in Gruppe 16 | | | Gesamtmenge der Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16 (ppm) |
| | | | Ag (%) | Pd (%) | In (%) | As (ppm) | Sb (ppm) | S (ppm) | Se (ppm) | Te (ppm) | |
| Beispiel | 1 | 2,2 | Rest | | | | | 5 | | | 5 |
| | 2 | 3,0 | Rest | | | | | 61 | | | 61 |
| | 3 | 4,8 | Rest | 0,2 | | | | | | 4 | 4 |
| | 4 | 4,1 | Rest | | | | 4 | | | | 4 |
| | 5 | 4,0 | Rest | | | | | | | 9 | 9 |
| | 6 | 2,0 | Rest | | | 6 | | | | | 6 |
| | 7 | 2,7 | Rest | | | | 7 | | | | 7 |
| | 8 | 3,5 | Rest | | | | | | 6 | | 6 |
| | 9 | 5,1 | Rest | | 0,2 | | 28 | | | | 28 |
| | 10 | 5,2 | Rest | | | | | | | 18 | 18 |
| | 11 | 3,3 | Rest | 0,5 | | | 15 | | | | 15 |
| | 12 | 5,3 | Rest | | | 12 | | | | | 12 |
| | 13 | 4,5 | Rest | | 0,4 | | | | | 22 | 22 |
| | 14 | 4,4 | Rest | | | | 36 | | | | 36 |
| | 15 | 5,1 | Rest | 1,5 | | 25 | | | | | 25 |
| | 16 | 3,5 | Rest | | | 32 | | | | | 32 |
| | 17 | 3,7 | Rest | 1,8 | | | 41 | | | | 41 |
| | 18 | 5,8 | Rest | | | | | 11 | | | 11 |
| | 19 | 5,0 | Rest | | | 70 | | | | | 70 |
| | 20 | 4,3 | Rest | | | | 78 | | | | 78 |
| | 21 | 5,4 | Rest | | | | | | | 67 | 67 |
| | 22 | 4,8 | Rest | 1,1 | 0,5 | | | | 75 | | 75 |
| | 23 | 5,2 | Rest | | 0,8 | | | | | 36 | 36 |
| | 24 | 5,6 | Rest | | | | 20 | | | 25 | 45 |
| | 25 | 6,0 | Rest | | | | 43 | | | 9 | 52 |
| | 26 | 6,3 | Rest | | | 22 | | | 12 | | 34 |

[Tabelle 1] (Fortsetzung)

| | | Zusammensetzung des Drahts (Zusammensetzung des gesamten Drahts) (Masse-%, ppm) | | | | | | | | | |
|-----------|----|---|--------------|-----------|-----------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|-------------|--|
| | | Au-Schicht, ausgedrückt als Konzentration (%) | Kernmaterial | | | Element in Gruppe 15 | | Element in Gruppe 16 | | | Gesamtmenge der Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16 (ppm) |
| | | | Ag (%) | Pd (%) | In (%) | As (ppm) | Sb (ppm) | S (ppm) | Se (ppm) | Te (ppm) | |
| Vgl.-Bsp. | 27 | 1,7 | Rest | | | | | | | | 0 |
| | 28 | 7,2 | Rest | | | | | | | | 0 |
| | 29 | 2,5 | Rest | | 1,0 | 1 | | | | | 1 |
| | 30 | 5,5 | Rest | | | | | 30 | 30 | 30 | 90 |
| | 31 | 4,3 | Rest | | | | | 2 | | | 2 |
| | 32 | 6,7 | Rest | 1,0 | | | | | | | 0 |

[Tabelle 1] (Fortsetzung)

| | Drahtuntersuchung | | Zustand des goldkonzentrierten Bondbereichs | | | HAST | Gesamt- bewertung | |
|----------|----------------------|----------------------------|---|--|--|------|----------------------|---|
| | Oberflä- chenriss | Kugel- Form- barkeit | Au-Konzen- tration (At-%) | Ob ein goldkonzentrierter Bondbereich zwischen jedem der beiden Enden und der Position bei 1/8 vorliegt | Ob der Belegungs- anteil 25% oder mehr beträgt | | | |
| Beispiel | 1 | o | o | 5,2 | X | X | C | o |
| | 2 | o | o | 6,3 | o | X | B | o |
| | 3 | o | o | 10,6 | o | o | A | o |
| | 4 | o | o | 5,7 | o | X | B | o |
| | 5 | o | o | 7,5 | o | o | A | o |
| | 6 | o | o | 7,8 | X | X | C | o |
| | 7 | o | o | 6,6 | X | X | C | o |
| | 8 | o | o | 6,0 | X | o | B | o |
| | 9 | o | o | 11,8 | o | o | S | o |
| | 10 | o | o | 17,3 | o | o | S | o |
| | 11 | o | o | 10,2 | o | o | A | o |
| | 12 | o | o | 12,8 | o | o | A | o |
| | 13 | o | o | 15,5 | o | o | S | o |
| | 14 | o | o | 16,1 | o | o | S | o |
| | 15 | o | o | 7,4 | o | o | A | o |
| | 16 | o | o | 10,3 | o | X | B | o |
| | 17 | o | o | 13,5 | o | o | S | o |
| | 18 | o | o | 14,2 | o | X | B | o |
| | 19 | o | o | 8,6 | o | o | A | o |
| | 20 | o | o | 9,5 | X | o | B | o |
| | 21 | o | o | 19,8 | o | o | S | o |
| | 22 | o | o | 11,0 | o | o | A | o |
| | 23 | o | o | 12,5 | o | o | A | o |
| | 24 | o | o | 14,7 | X | o | B | o |
| | 25 | o | o | 15,0 | o | o | A | o |
| | 26 | o | o | 18,7 | o | o | A | o |

| | Drahtuntersuchung | | Zustand des goldkonzentrierten Bondbereichs | | | HAST | Gesamt- bewertung | |
|--|----------------------|----------------------------|---|--|--|------|----------------------|---|
| | Oberflä- chenriss | Kugel- Form- barkeit | Au-Konzen- tration (At-%) | Ob ein goldkonzentrierter Bondbereich zwischen jedem der beiden Enden und der Position bei 1/8 vorliegt | Ob der Belegungs- anteil 25% oder mehr beträgt | | | |
| | 27 | o | o | 1,0 | X | X | X | X |
| | 28 | o | X | - | - | - | - | X |
| | 29 | o | o | 2,0 | X | X | X | X |
| | 30 | X | - | - | - | - | - | X |
| | 31 | o | o | 3,3 | X | X | X | X |
| | 32 | o | o | 4,5 | X | X | X | X |

[0075] Wie in Tabelle 1 gezeigt kann mit dem goldbeschichteten Silber-Bonddrähten der Beispiele 1 bis 26 nahe zur Bond-Grenzflächen zwischen der Aluminium-haltigen Elektrode und dem komprimierten Kugelteil der goldkonzentrierte Bondbereich mit 5,0 At-% oder mehr als Goldkonzentration relativ zur Gesamtmenge von Aluminium, Silber und Gold, gebildet werden. Mit solch einer Bondstruktur ist die HAST-Bewertung gut, und es kann eine hochgradig verlässliche Halbleitervorrichtung bereitgestellt werden, worin der spezifische Widerstand eines Verbindungsteils sich nicht erhöht, sogar wenn er harschen Umgebungen, wie einer hohen Temperatur und hoher Luftfeuchtigkeit für eine lange Zeitpanne ausgesetzt wird. Aus der Tendenz aus Tabelle 1 ist ersichtlich, dass der goldkonzentrierte Bondbereich bevorzugt nahe zu beiden Enden der Bond-Grenzfläche vorliegt, und dass ferner der goldkonzentrierte Bondbereich 25 % oder mehr der Breite des komprimierten Kugelteils an der Bond-Grenzfläche belegt, um somit zu ergeben, dass die HAST-Bewertung gut ist. Zusätzlich ist die Zugabe von Additivelementen, wie Palladium und Indium, zu dem Kernmaterial des Drahts auch einer der Faktoren, der die HAST-Bewertung verbessert. Im Hinblick auf die Goldkonzentration im goldkonzentrierten Bondbereich besteht die Tendenz, dass eine höhere Goldkonzentration die HAST-Bewertung verbessert. Es wird angenommen, dass eine höhere Goldkonzentration eine bessere Wirkung auf die HAST-Bewertung als das Zugeben von Palladium usw. zu dem Kernmaterial hat.

[0076] Wenn andererseits die Goldschichtbeschichtung des Drahts (in Tabelle 1 als Konzentration ausgedrückt) weniger als 2,0 Masse-% ausmacht, wie in den Vergleichsbeispielen beschrieben ist, wird die Konzentration von Gold im goldkonzentrierten Bondbereich kleiner als 5 At-%, was zu einem Versagen in der HAST-Bewertung führt, und wenn die Goldbeschichtung des Drahts zu dick gemacht wird, wird hingegen (wenn die Goldschicht 7 Masse-% übersteigt, hier ausgedrückt als Konzentration) eine Exzentrik oder dergleichen während der Bildung der FAB verursacht, was zu dem Befund führt, dass sich die Kugel-Formbarkeit verschlechtert. Die Zugabemenge der Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16 ist auch wichtig. Wenn die Menge weniger als 4 Masse-ppm beträgt, wird die Goldkonzentration des goldkonzentrierten Bondbereichs kleiner als 5 At-%, was zu einem Versagen bei der HAST-Bewertung führt, und wenn die Menge 80 Masse-ppm übersteigt, tritt nun ein Rissversagen in der Oberfläche des Drahts auf. Natürlich wird auch in dem Fall,

worin die Element in Gruppe 15 und Gruppe 16 nicht zugegeben werden, die Goldkonzentration im goldkonzentrierten Bondbereich kleiner als 5 At-%, was zu einem Versagen in der HAST-Bewertung führt.

[0077] Wie vorstehend beschrieben wird bei der Drahtbondstruktur und dem hierfür verwendeten Bonddraht der vorliegenden Erfindung ein goldkonzentrierter Bondbereich mit einer Goldkonzentration von 5 At-% oder mehr, relativ zur Gesamtmenge von Gold, Silber und Aluminium, nahe zur Bond-Grenzfläche zwischen der Elektrode und dem komprimierten Kugelteil vorgesehen, während eine Erhöhung des spezifischen Widerstand des Bonddrahts inhibiert wird, wodurch es ermöglicht wird, die Bond-Verlässlichkeit zwischen der Elektrode und dem komprimierten Kugelteil zu verbessern. Mit der erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung, bei der solch eine Drahtbondstruktur eingesetzt wird, wird es ferner möglich, nicht nur die Bond-Verlässlichkeit zwischen der Elektrode und dem komprimierten Kugelteil mit dem goldkonzentrierten Bondbereich zu verbessern, sondern auch die Verlässlichkeit der Halbleitervorrichtung selbst.

Bezugszeichenliste

- 1 Drahtbondstruktur,
- 2 Elektrode,
- 3 goldbeschichteter Silber-Bonddraht,
- 4 Kernmaterial (Silberkernmaterial),
- 5 Beschichtungsschicht,
- 6 komprimierter Kugelteil,
- 7 goldkonzentrierter Bondbereich,
- 8 FAB (Kugel),
- 9 Oberflächengoldkonzentrierter Bereich,
- 10 Halbleitervorrichtung,
- 11 externe Elektrode,
- 12 Leiterplatte,
- 13 Chipelektrode,
- 14 Halbleiterchip,
- 15 Bonddraht,
- 16 Die-Bonding-Material,
- 18 einkapselnde Harzschicht

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Zitierte Patentliteratur

- JP 10326803 [0005, 0007]
- WO 2013/129253 [0006, 0007]
- JP 2001196411 [0007]
- JP 200196411 [0007]

Patentansprüche

1. Drahtbondstruktur, umfassend: eine aluminiumhaltige Elektrode; einen Bonddraht; und einen komprimierten Kugelteil, der an einem Ende des Bonddrahts vorgesehen ist und an die Elektrode gebondet ist, worin

der Bonddraht ein goldbeschichteter Silber-Bonddraht ist, der umfasst: ein Kernmaterial, enthaltend Silber als eine Hauptkomponente hiervon; und eine Beschichtungsschicht, vorgesehen auf einer Oberfläche des Kernmaterials und enthaltend Gold als eine Hauptkomponente hiervon, wobei der goldbeschichtete Silber-Bonddraht mindestens eines der Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16 enthält, ausgewählt aus Schwefel, Tellur, Selen, Arsen und Antimon, und die Goldkonzentration 2,0 Masse-% oder mehr und 7,0 Masse-% oder weniger beträgt, und die Gesamtkonzentration der Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16 4 Masse-ppm oder mehr und 80 Masse-ppm oder weniger im gesamten Draht beträgt, und die Drahtbondstruktur einen goldkonzentrierten Bondbereich mit einer Goldkonzentration 5,0 At-% oder mehr, relativ zum Gesamtgehalt von Aluminium, Silber und Gold, nahe zu einer Bond-Grenzfläche zwischen der Elektrode und dem komprimierten Kugelteil umfasst.

2. Drahtbondstruktur gemäß Anspruch 1, worin der goldkonzentrierte Bondbereich nahe zur Bond-Grenzfläche zwischen jedem von beiden Enden des komprimierten Kugelteils und den Positionen bei mindestens 1/8 der Maximalbreite des komprimierten Kugelteils gebildet ist.

3. Drahtbondstruktur gemäß Anspruch 1 oder 2, worin der Belegungsanteil des goldkonzentrierten Bondbereichs nahe zur Bond-Grenzfläche insgesamt 25 % oder mehr beträgt, bezogen auf die maximale Breite des komprimierten Kugelteils.

4. Goldbeschichteter Silber-Bonddraht, der für die Drahtbondstruktur gemäß irgendeinem von Anspruch 1 bis Anspruch 3 zu verwenden ist, wobei der goldbeschichtete Silber-Bonddraht umfasst: ein Kernmaterial, enthaltend Silber als eine Hauptkomponente hiervon; und eine Beschichtungsschicht, vorgesehen auf einer Oberfläche des Kernmaterials und enthaltend Gold als eine Hauptkomponente hiervon, worin der goldbeschichtete Kupfer-Bonddraht mindestens eines der Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16 enthält, ausgewählt aus Schwefel, Tellur, Selen, Arsen und Antimon, in dem goldbeschichteten Kupfer-Bonddraht die Goldkonzentration 2,0 Masse-% oder mehr und 7,0 Masse-% oder weniger beträgt und die Gesamtkonzentration der Elemente in Gruppe 15 und Gruppe 16 4 Masse-ppm oder mehr und 80 Masse-ppm oder weniger im gesamten Draht beträgt, und wenn der goldbeschichtete Silber-Bonddraht auf eine aluminiumhaltige Elektrode gebondet wird, um einen komprimierten Kugelteil zu bilden, nahe zu einer Bond-Grenzfläche zwischen der Elektrode und dem komprimierten Kugelteil ein goldkonzentrierter Bondbereich mit einer Goldkonzentration von 5,0 At-% oder mehr, relativ zur Gesamtmenge von Aluminium, Gold und Silber, gebildet wird.

5. Goldbeschichteter Silber-Bonddraht gemäß Anspruch 4, worin der spezifische Widerstand des goldbeschichteten Silber-Bonddrahts $2,3 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ oder weniger beträgt.

6. Goldbeschichteter Silber-Bonddraht gemäß Anspruch 4 oder Anspruch 5, worin der goldbeschichtete Silber-Bonddraht mindestens ein Element umfasst, ausgewählt aus Palladium (Pd), Platin (Pt), Gold (Au), Nickel (Ni), Kupfer (Cu), Eisen (Fe), Calcium (Ca), Rhodium (Rh), Germanium (Ge), Gallium (Ga) und Indium (In).

7. Halbleitervorrichtung, umfassend:
einen oder eine Vielzahl von Halbleiterchips, umfassend mindestens eine aluminiumhaltige Elektrode; und einen Lead-Frame oder eine Platte,
worin zumindest eines, ausgewählt aus zwischen der Elektrode des Halbleiterchips und dem Lead-Frame, zwischen der Elektrode des Halbleiterchips und einer Elektrode der Platte, und zwischen den Elektroden einer Vielzahl der Halbleiterchips, verbunden ist durch einen Bonddraht, der ein Kernmaterial, enthaltend Silber als eine Hauptkomponente hiervon, und eine Beschichtungsschicht, die auf einer Oberfläche des Kernmaterials vorgesehen ist und Gold als eine Hauptkomponente enthält, umfasst, worin eine Bondstruktur der Elektrode und des Bonddrahts einen komprimierten Kugelteil umfasst, der vorgesehen ist, um ein Ende des Bonddrahts an die Elektrode zu bonden, und nahe zu einer Bond-Grenzfläche zwischen der Elektrode und dem komprimierten Kugelteil ein goldkonzentrierter Bondbereich mit einer

Goldkonzentration von 5 At-% oder mehr, relativ zum Gesamtgehalt zu Gold, Silber und Aluminium, vorgesehen ist.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

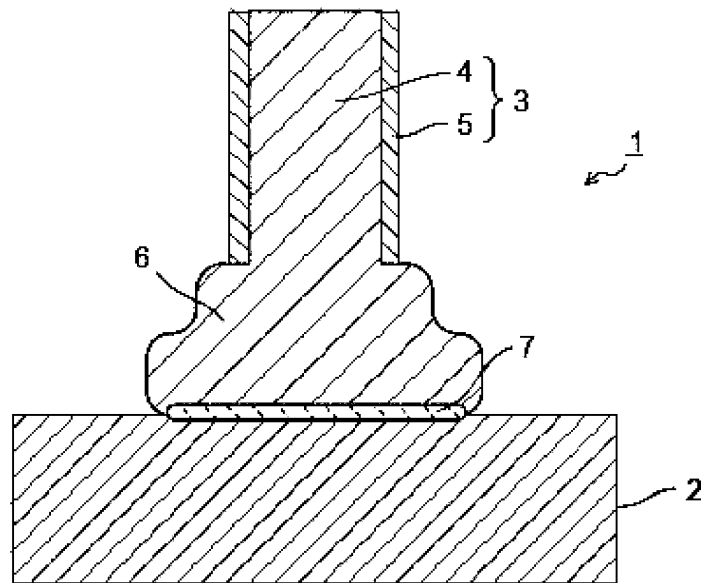


FIG. 2

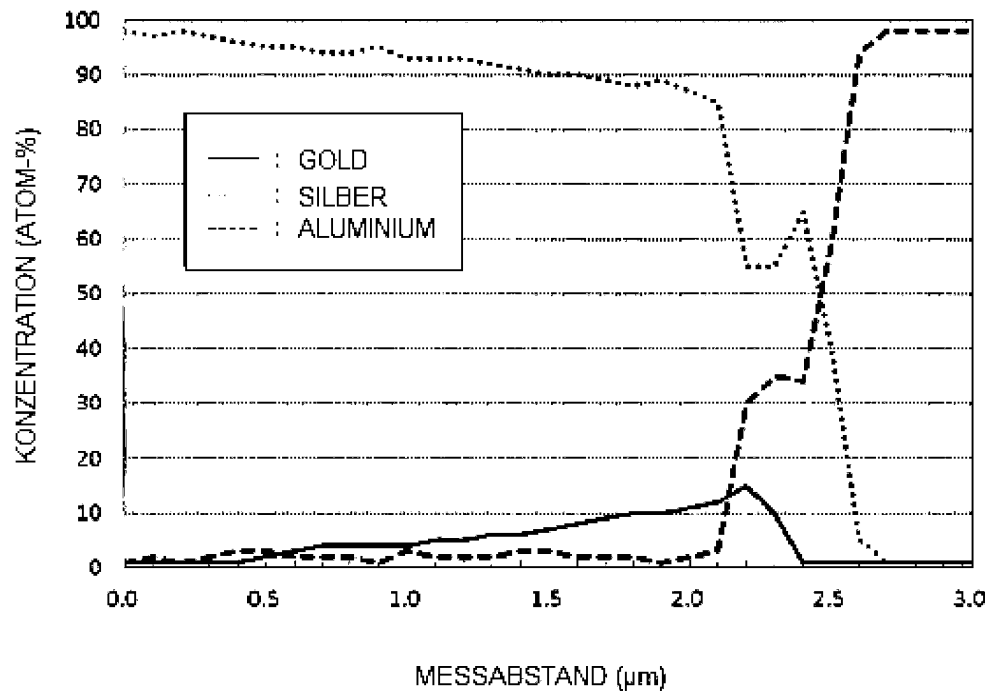


FIG. 3

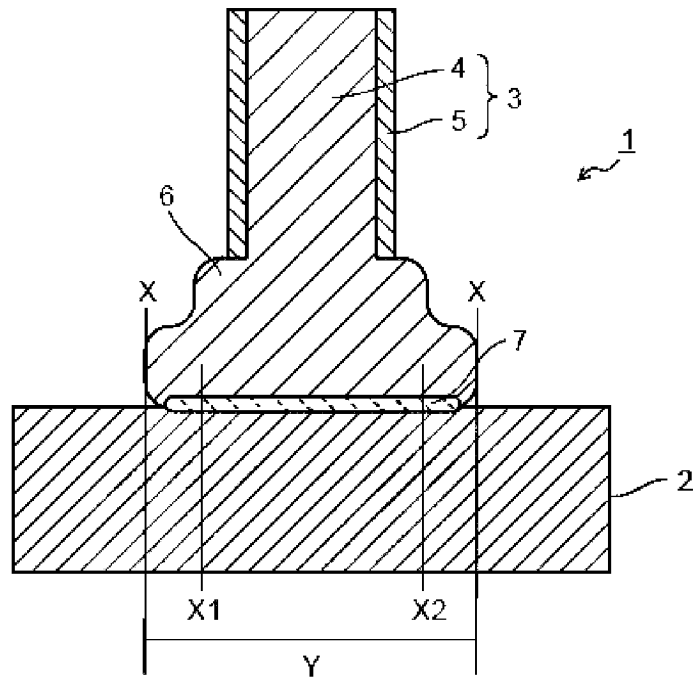


FIG. 4

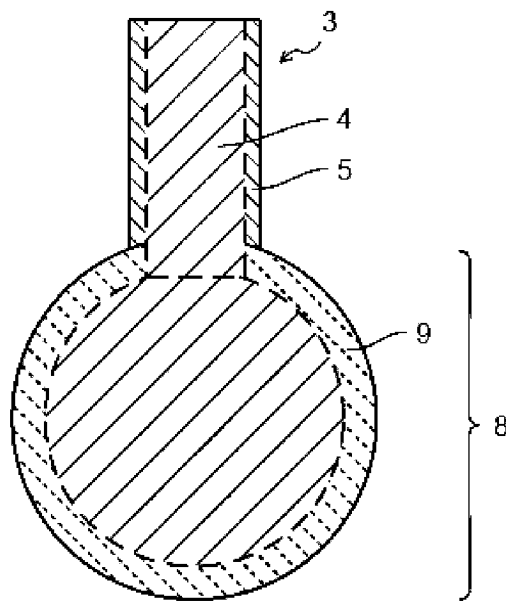


FIG. 5

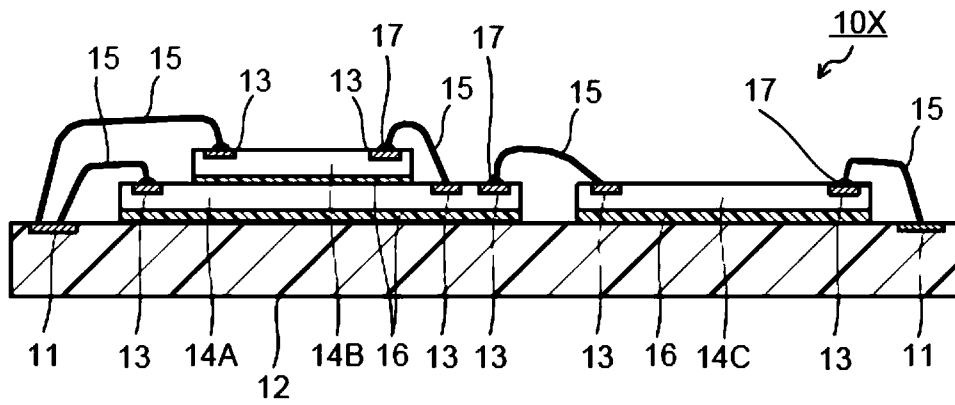


FIG. 6

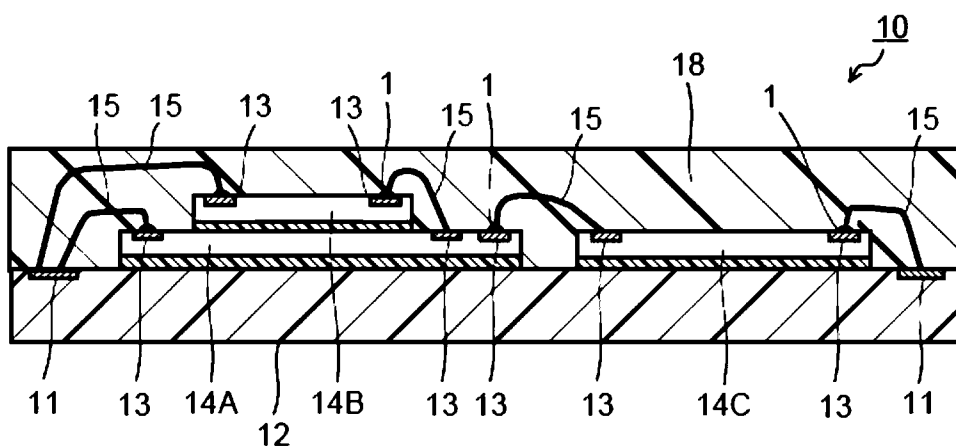


FIG. 7

