



(12)

## Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: 11 2014 003 203.4  
(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/JP2014/058852  
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 2015/004956  
(86) PCT-Anmelddatag: 27.03.2014  
(87) PCT-Veröffentlichungstag: 15.01.2015  
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung  
in deutscher Übersetzung: 07.04.2016  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 01.08.2019

(51) Int Cl.: **H01L 21/52 (2006.01)**  
**H01L 21/58 (2006.01)**  
**H01L 21/60 (2006.01)**  
**B23K 20/00 (2006.01)**  
**B23K 35/14 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:  
**2013-144181 10.07.2013 JP**

(73) Patentinhaber:  
**Mitsubishi Electric Corporation, Tokyo, JP**

(74) Vertreter:  
**Meissner Bolte Patentanwälte Rechtsanwälte  
Partnerschaft mbB, 80538 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Yamazaki, Koji, Tokyo, JP; Araki, Takeshi, Tokyo, JP**

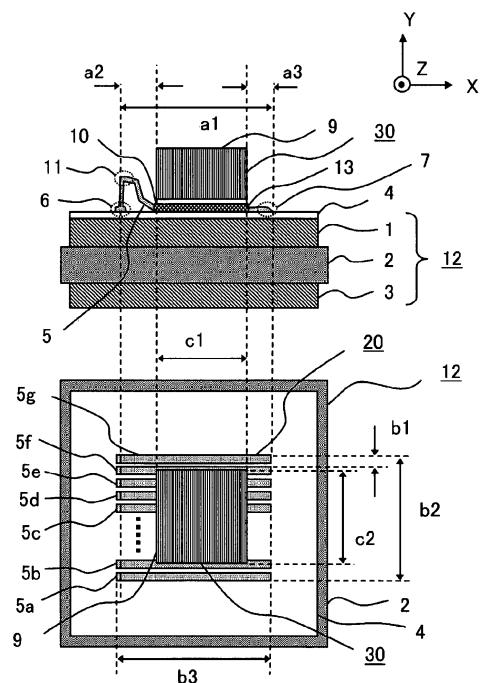
(56) Ermittelter Stand der Technik:

<b>US</b>	<b>2002 / 0 190 388</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2009 / 0 236 725</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2012 / 0 112 201</b>	<b>A1</b>

(54) Bezeichnung: **Halbleitereinheit und Verfahren zur Herstellung derselben**

(57) Hauptanspruch: Halbleitereinheit (30), bei der ein Halbleiterelement (9) an eine Montageplatte oder eine Leiterplatte (12) gebondet ist, wobei die Halbleitereinheit (30) Folgendes aufweist:

- eine Legierungsschicht (13), die sandwichartig zwischen einer ersten Ag-Schicht (4), die auf der Montageplatte (12) ausgebildet ist, und einer zweiten Ag-Schicht (10) eingefügt ist, die auf dem Halbleiterelement (9) ausgebildet ist; wobei die Legierungsschicht (13) eine intermetallische Verbindung aus Ag<sub>3</sub>Sn enthält, die durch Ag-Komponenten der ersten Ag-Schicht (4) und der zweiten Ag-Schicht (10) sowie Sn gebildet ist, und eine Vielzahl von Drähten (5), die Ag enthalten, so angeordnet ist, dass sie sich von einem nach außen gewandten Randbereich der Legierungsschicht (13) aus erstrecken.



**Beschreibung****TECHNISCHES GEBIET**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine Halbleitereinheit sowie auf ein Verfahren zur Herstellung einer Halbleitereinheit und bezieht sich insbesondere auf ein Metall-Bonden zwischen einer Montageplatte zum Montieren eines Halbleiterelements und dem Halbleiterelement etc. sowie auf ein Metall-Bonden zwischen einem Halbleiterelement und einem Leiteranschluss etc.

**STAND DER TECHNIK**

**[0002]** In den letzten Jahren gibt es zunehmend steigende Anforderungen bezüglich der Zuverlässigkeit bei Halbleitereinheiten, und es gibt insbesondere stark zunehmende Anforderungen, um die Zuverlässigkeit für einen Bond-Bereich zwischen einem Halbleiterelement und einer Leiterplatte mit einem großen Unterschied der thermischen Ausdehnungskoeffizienten dazwischen zu verbessern. Bislang wurden häufig Halbleiterelemente verwendet, deren Grundmaterialien Silicium (Si) und Galliumarsenid (GaAs) sind, und ihre Betriebstemperaturen betragen etwa 100 °C bis 125 °C.

**[0003]** Als Lotmaterialien für das Bonden der Halbleiterelemente an Elektroden von elektronischen Schaltkreisen wird 95Pb-5Sn (Massenprozent) für Si-Einheiten, 80Au-20Sn (Massenprozent) für Galliumarsenid-Einheiten und dergleichen unter folgenden Gesichtspunkten verwendet: Rissbeständigkeit gegenüber wiederholten thermischen Spannungen aufgrund von Unterschieden der thermischen Ausdehnungen zwischen einem Halbleiterelement und einer Leiterplatte; hoher Schmelzpunkt, um ein mehrstufiges Lot-Bonden zum Zeitpunkt des Zusammenbaus zu realisieren; und ferner Kontaminations-Toleranz der Einheiten. Unter dem Aspekt des Reduzierens der Umgebungsbelastung ist 95Pb-5Sn, das eine große Menge an schädlichem Blei (Pb) enthält, jedoch problematisch, und unter dem Gesichtspunkt von Kosten und Reserven an Edelmetallen besteht ferner eine starke Nachfrage nach einem Ersatz für 80Au-20Sn.

**[0004]** Auf der anderen Seite befanden sich unter dem Aspekt einer Energieeinsparung Einheiten, deren Grundmaterialien Siliciumcarbid (SiC) und Galliumnitrid (GaN) sind, als Einheiten der nächsten Generation in aktiver Entwicklung. Unter dem Aspekt der Reduktion von Energieverlusten ist es erforderlich, dass sie Betriebstemperaturen von 175 °C oder mehr aufweisen, und es besteht die Erwartung, dass die Temperatur in Zukunft 300 °C betragen wird.

**[0005]** Um mit den vorstehenden Anforderungen fertig zu werden, ist ein Hochtemperatur-Lotmaterial (eine Hochtemperatur-Lotlegierung) erforderlich, das bzw. die eine überragende thermische Beständigkeit sowie einen hohen Schmelzpunkt aufweist.

**[0006]** Eine derartige Lotlegierung war bislang eine Lotlegierung auf der Basis von Pb mit einer Schmelztemperatur von ungefähr 300 °C. Deren Beispiele schließen Pb-10Sn (Massenprozent), Pb-5Sn (Massenprozent), Pb-2Ag-8Sn (Massenprozent), Pb-5Ag (Massenprozent) und dergleichen ein, und demzufolge ist Pb vorwiegend als Hauptkomponente angegeben.

**[0007]** Die Solidustemperatur von Pb-10Sn beträgt 268 °C, und seine Liquidustemperatur beträgt 302 °C. Die Solidustemperatur von Pb-5Sn beträgt 307 °C, und seine Liquidustemperatur beträgt 313 °C. Die Solidustemperatur von Pb-2Ag-8Sn beträgt 275 °C, und seine Liquidustemperatur beträgt 346 °C. Die Solidustemperatur von Pb-5Ag beträgt 304 °C, und seine Liquidustemperatur beträgt 365 °C.

**[0008]** Währenddessen wurde unter dem Aspekt des Umweltschutzes neuerdings allgemein in der Löttechnologie gefordert, eine Pb-freie Lotlegierung anstelle der Lotlegierung mit Pb-Reihen zu verwenden. Selbstverständlich wurde in Bezug auf das vorstehend erwähnte Hochtemperatur-Lot mit Pb-Sn-Reihen, die für herkömmliche Halbleitereinheiten verwendet wurden, ebenfalls gefordert, stattdessen eine Pb-freie Lotlegierung zu verwenden.

**[0009]** Während bislang eine Vielzahl von Pb-freien Lotlegierungen vorgeschlagen worden ist, bestehen sie jedoch vorwiegend aus Sn, so dass es keine Hochtemperatur-Lotlegierung gibt, deren Solidustemperatur 260 °C oder mehr beträgt. Bei einer Lotlegierung mit einer Sn-Ag-Reihe, deren Solidustemperatur (eutektische Temperatur) 221 °C beträgt, steigt zum Beispiel die Liquidustemperatur mit zunehmendem Anteil von Ag an, die Solidustemperatur steigt jedoch nicht an.

**[0010]** Wenn bei einer Lotlegierung mit einer Sn-Sb-Reihe, deren Solidustemperatur 227 °C beträgt, Sb extrem erhöht wird, um die Solidustemperatur zu erhöhen, wird auch die Liquidustemperatur extrem höher. Ferner ist sie auch dann nicht in der Lage, derartige Eigenschaften zu ändern, wenn ein weiteres Element zu diesen hinzugefügt wird. So wird üblicherweise angenommen, dass es keine Pb-freie Lotlegierung gibt, die selbst bei 300 °C nicht schmilzt und somit als Lot einsetzbar ist.

**[0011]** Aus diesem Grund stand eine Bond-Technologie ohne Verwendung einer Hochtemperatur-Lotlegierung zur Diskussion. Was bislang als Bond-Technologie ohne Verwendung einer Hochtemperatur-Lotlegierung in Betracht gezogen wurde, sind Bond-Verfahren mit der Verwendung einer intermetallischen Verbindung, die eine Schmelztemperatur aufweist, die höher als jene des Pb-freien Lots ist, das überwiegend aus Sn besteht.

**[0012]** Bei diesen ist insbesondere ein Bond-Verfahren mit einer intermetallischen Verbindung aus Ag und Sn (Ag<sub>3</sub>Sn) erfolgversprechend, bei der Ag verwendet wird, das rasch in Sn hinein diffundiert, um dadurch die intermetallische Verbindung bei einer relativ niedrigen Temperatur zu bilden.

**[0013]** Im Patentdokument 1 ist zum Beispiel ein Komposit-Lot beschrieben, das Pb-frei ist und bei einem temperatur-hierarchischen Bonden für ein Lot-Bonden auf der Hochtemperaturseite verwendet werden kann. Im Patentdokument 1 weist das Komposit-Lot eine Konfiguration auf, bei der ein Metallnetz, das aus Cu besteht, sandwichartig zwischen zwei Lot-Folien angeordnet und unter Druck gebondet wird, und es ist eine solche Situation gezeigt, dass dann, wenn das Metallnetz und die Lot-Folien so gestapelt und einer Pressformung unterzogen werden, das Sn der Lot-Folien in Öffnungen des Metallnetzes eindringt, so dass nach einem Erwärmen eine intermetallische Verbindung aus Cu und Sn (Cu<sub>3</sub>Sn, Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>) gebildet wird, um dadurch eine Verbesserung der thermischen Beständigkeit zu erzielen.

**[0014]** Ferner ist im Patentdokument 1 gezeigt, dass ein Netz aus Ag als Alternative für Cu in ähnlicher Weise ein wichtiger Kandidat ist und eine Ag<sub>3</sub>Sn-Verbindung, die eine intermetallische Verbindung mit einem hohen Schmelzpunkt ist, eine Verbindung ermöglicht, die selbst bei 280 °C nicht schmilzt. Es ist außerdem gezeigt, dass eine Cu-Sn-Reihe (zum Beispiel Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>) als eine weitere Legierungsreihe, die hart ist und einen niedrigen Schmelzpunkt wie die vorstehende aufweist, in einer ähnlichen Weise geeignet sein kann.

**[0015]** Als ein weiteres Beispiel ist im Patentdokument 2 ein Bond-Flächenkörper beschrieben, um einen Chip (ein Halbleiterelement) und ein Substrat zusammen zu bonden. Der Bond-Flächenkörper im Patentdokument 2 weist einen Ag-Flächenkörper mit geformten Nuten oder einen gitterartigen Flächenkörper mit einem Kett- und Schuss-Wirken von Ag-Drähten auf.

**[0016]** Auf der Oberfläche des Ag-Flächenkörpers wird eine Sn-Plattierung mit einer Dicke von 0,3 bis 2,0 µm angebracht, so dass dieser bei einer Einwirkung von Pressen und Erwärmung aufgrund eines Schmelzvorgangs oder einer Diffusion zum Zeitpunkt des Erwärmens sukzessive Ag aus dem Ag-Flächenkörper als einem Kern zugeführt wird.

**[0017]** Somit hat sich gezeigt, dass der Bond-Flächenkörper im Patentdokument 2 in der Lage ist, den Schmelzpunkt einer schlussendlich gebildeten Ag-Sn-Schicht auf 470 °C oder mehr anzuheben, um dadurch einen thermisch äußerst beständigen Bond-Bereich zu liefern. Des Weiteren ist gezeigt, dass der Ag-Flächenkörper, der Zwischenräume in Nuten aufweist, so weich ist, dass er thermische Verformungen aufnimmt, um dadurch die Zuverlässigkeit zu verbessern.

**[0018]** Die US 2009/0236725 A1 betrifft eine Lot-Vorform mit Partikeln aus Ag in einem Sn-haltigen Lot und die Bildung intermetallischer Phasen.

**[0019]** Die US 2012/0112201A1 betrifft Verbindungen von Chips und DBC-Substraten mit Ag/Sn/Ag-Verbindungsschichten und das Bilden von intermetallischen Phasen.

**[0020]** Die US 2002/0190388 A1 betrifft eine Verbindungsstruktur zum Bonden von zwei Strukturen. Dazu wird ein Drahtgewebe aus Cu-Drähten, das mit einem PbSn-Lot durchdrungen ist, angegeben.

## LITERATURLISTE

## PATENTDOKUMENTE

Patentdokument 1: Japanische Patentanmeldungs-Offenlegungsschrift JP 2004-174522 A (Absätze [0024] bis [0053], [0069]; **Fig. 1**, und **Fig. 8**)

Patentdokument 2: Japanische Patentanmeldungs-Offenlegungsschrift JP 2012-004594 A (Absätze [0058] bis [0060]; **Fig. 13**, und **Fig. 14**)

## KURZBESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

## MIT DER ERFINDUNG ZU LÖSENDE PROBLEME

**[0021]** In einem Fall, in dem ein Ag-Netz in dem Komposit-Lot gemäß Patentdokument 1 verwendet wird, interdiffundiert Ag jedoch mit Sn zur Bildung von Ag<sub>3</sub>Sn mit einem hohen Schmelzpunkt zum Zeitpunkt des Schmelzens von Sn lediglich an den Stellen, an denen das Ag-Netz existiert, so dass Sn räumlich in vier Richtungen von diesem Ag<sub>3</sub>Sn umgeben ist, und ferner schmilzt dessen Teil zum Zeitpunkt des Schmelzens von Sn, während Luft mitgenommen wird. Dies resultiert in Hohlräumen, die im Inneren in keinem geringen Ausmaß existieren.

**[0022]** Darüber hinaus entsteht eine Volumenkontraktion, wenn Ag<sub>3</sub>Sn gebildet wird, so dass es schwierig ist, diese Hohlräume vollständig zu eliminieren. Wenn die Hohlräume in dem geschmolzenen Sn in vier Richtungen von Ag<sub>3</sub>Sn umgeben sind, das einen hohen Schmelzpunkt aufweist, werden sie immobil, als ob sie von Wänden eingeschlossen wären, so dass die Hohlräume auch dann nicht vollständig verschwinden, wenn eine Leiterplatte und ein Halbleiterelement etc. in einem Vakuum zusammen gebondet werden, so dass ein Bond-Bereich mit vielen Hohlräumen gebildet wird.

**[0023]** Das gleiche gilt auch für das Patentdokument 2, das heißt, wenn Hohlräume in vier Richtungen von Ag<sub>3</sub>Sn umgeben sind, das einen hohen Schmelzpunkt aufweist, werden keine Routen geschaffen, durch welche die Hohlräume verschwinden, so dass es wahrscheinlich ist, dass viele Hohlräume vorhanden sein werden.

**[0024]** Andererseits ist ein solches Verfahren vorstellbar, bei dem zur Bildung einer intermetallischen Verbindung mit einem hohen Schmelzpunkt in einem Bond-Bereich zwischen einer Leiterplatte und einem Halbleiterelement etc. anstelle der Verwendung eines Ag-Netzes feine Ag-Partikel verteilt sind; selbst wenn jedoch die Ag-Partikel vormals gleichmäßig verteilt waren, fließt Sn jedoch zum Zeitpunkt des Schmelzens in keinem geringen Ausmaß, so dass es wahrscheinlich ist, dass die Ag-Partikel verlagert werden, wobei der Bond-Bereich ungleichmäßig wird. Dies macht es schwierig, für eine thermische Widerstandsfähigkeit des Bond-Bereichs zu sorgen, da Ag<sub>3</sub>Sn teilweise in dem Bond-Bereich gebildet wird, während in dem Bond-Bereich teilweise ein Bereich entsteht, der nur aus Sn besteht.

**[0025]** Die vorliegende Erfindung wurde konzipiert, um die Probleme zu lösen, wie sie vorstehend beschrieben sind, und ihre Aufgabe besteht darin, eine Halbleitereinheit und ein Verfahren zur Herstellung einer Halbleitereinheit anzugeben, die dazu dienen, in einem Bond-Bereich, in dem ein Bonden zwischen Bond-Objekten durchgeführt wird, eine intermetallische Verbindung mit einem hohen Schmelzpunkt in einem Zustand mit reduzierten Hohlräumen zu bilden.

## MITTEL ZUM LÖSEN DER PROBLEME

**[0026]** Die Aufgabe wird gemäß der Erfindung mit einer Halbleitereinheit bzw. einem Verfahren zur Herstellung einer Halbleitereinheit gemäß den unabhängigen Patentansprüchen 1 und 6 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Halbleitereinheit und des Verfahrens sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

**[0027]** Insbesondere zeichnet sich eine Halbleitereinheit der vorliegenden Erfindung dadurch aus, dass sie eine Legierungsschicht aufweist, die sandwichartig zwischen einer ersten Ag-Schicht, die auf einer Montageplatte ausgebildet ist, und einer zweiten Ag-Schicht eingefügt ist, die auf einem Halbleiterelement ausgebildet ist, wobei die Legierungsschicht eine intermetallische Verbindung aus Ag<sub>3</sub>Sn enthält, die von Ag-Komponenten der ersten Ag-Schicht und der zweiten Ag-Schicht sowie Sn gebildet wird, und eine Vielzahl von Drähten, die Ag enthalten, so angeordnet ist, dass sie sich von einem nach außen gewandten Randbereich der Legierungsschicht aus erstrecken.

## AUSWIRKUNG DER ERFINDUNG

**[0028]** Gemäß der Erfindung weist die Halbleitereinheit eine Struktur auf, bei der die Vielzahl von Drähten, die Ag enthalten, derart mit der Legierungsschicht verbunden ist, welche die intermetallische Legierung aus Ag3Sn enthält, dass in Bezug auf Hohlräume, die zum Zeitpunkt des Bildens der Legierungsschicht in keinem geringen Ausmaß erzeugt worden wären, Routen zwischen den Drähten geschaffen werden, mit deren Hilfe die Hohlräume beseitigt werden. Somit ist es möglich, die intermetallische Verbindung mit einem hohen Schmelzpunkt in einem Zustand mit reduzierten Hohlräumen in dem Bond-Bereich zu bilden, in dem ein Bonden zwischen den Bond-Objekten durchgeführt wird.

## Figurenliste

**[0029]** Die Zeichnungen zeigen in

- Fig. 1A** eine Schnittansicht einer Halbleitereinheit gemäß Ausführungsform 1 der Erfindung;
- Fig. 1B** eine Draufsicht einer Halbleitereinheit gemäß Ausführungsform 1 der Erfindung;
- Fig. 2** ein Diagramm, das eine Legierungsschicht der Erfindung darstellt;
- Fig. 3** eine Tabelle, die grundlegende Eigenschaften einer intermetallischen Verbindung aus Ag3Sn zeigt;
- Fig. 4A** ein Diagramm, das ein Verfahren zur Herstellung einer Halbleitereinheit gemäß Ausführungsform 1 der Erfindung darstellt;
- Fig. 4B** ein Diagramm, das ein Verfahren zur Herstellung einer Halbleitereinheit gemäß Ausführungsform 1 der Erfindung darstellt;
- Fig. 5** ein Diagramm, das Positionen eines Halbleiterelements und eines Drahts gemäß Ausführungsform 1 der Erfindung darstellt;
- Fig. 6** ein Diagramm, das weitere Positionen des Halbleiterelements und des Drahts gemäß Ausführungsform 1 der Erfindung darstellt;
- Fig. 7** ein Diagramm, das Positionen eines Halbleiterelements und eines Drahts gemäß einem Vergleichsbeispiel darstellt;
- Fig. 8** ein Diagramm, das weitere Positionen des Halbleiterelements und des Drahts gemäß dem Vergleichsbeispiel darstellt;
- Fig. 9** ein Diagramm, das ein Schnittbild und ein Resultat der Analyse einer Zusammensetzung eines typischen Bond-Bereichs zeigt, der in einem Beispiel der Erfindung gezeigt ist;
- Fig. 10** eine Tabelle, die Eigenschaften in Beispielen der Erfindung und in Vergleichsbeispielen zeigt;
- Fig. 11** eine Tabelle, die Eigenschaften in weiteren Beispielen der Erfindung und in weiteren Vergleichsbeispielen zeigt;
- Fig. 12** eine Tabelle, die eine Dicke der intermetallischen Verbindung aus Ag3Sn der Erfindung bei jeder Temperatur und zu jedem Zeitpunkt zeigt;
- Fig. 13** ein Diagramm, das eine Anordnung von Drähten gemäß Ausführungsform 2 der Erfindung zeigt;
- Fig. 14** ein Diagramm, das Positionen eines Halbleiterelements und von Drähten gemäß Ausführungsform 2 der Erfindung darstellt;
- Fig. 15** eine Schnittansicht einer Halbleitereinheit gemäß Ausführungsform 2 der Erfindung.

## AUSFÜHRUNGSFORMEN DER ERFINDUNG

## AUSFÜHRUNGSFORM 1

**[0030]** **Fig. 1A** und **Fig. 1B** zeigen eine Schnittansicht bzw. eine Draufsicht einer Halbleitereinheit gemäß Ausführungsform 1 der Erfindung. **Fig. 1A** ist die Schnittansicht der Halbletereinheit, und **Fig. 1B** ist die Draufsicht der Halbletereinheit. Eine Halbletereinheit **30** weist eine Legierungsschicht **13** auf, die sandwichartig zwischen einer Ag-Schicht **10**, die auf einem Halbleiterelement **9** ausgebildet ist, das Silicium (Si) oder ein Halbleitermaterial mit einer breiten Bandlücke, wie beispielsweise Siliciumcarbid (SiC) oder dergleichen, als ein Basismaterial verwendet, und einer Ag-Schicht **4** eingefügt ist, die auf einer Leiterplatte **12** ausgebildet ist. Datei enthält die Legierungsschicht **13** eine intermetallische Verbindung aus Ag3Sn, die durch Ag-Kompo-

nenten der Ag-Schicht **4** und der Ag-Schicht **10** sowie Sn gebildet wird, und die Vielzahl von Drähten **5**, die Ag enthalten, ist so angeordnet, dass sie sich von dem nach außen gewandten Randbereich der Legierungsschicht **13** aus erstreckt.

**[0031]** Die Leiterplatte **12** als Montageplatte zum Montieren des Halbleiterelements **9** ist eine DBC-Platte (DBC, Direct Bonded Copper) und weist ein isolierendes Element **2**, eine obere Elektrode **1**, die auf der Oberseite des isolierenden Elements **2** ausgebildet ist, sowie eine untere Elektrode **3** auf, die auf der Unterseite des isolierenden Elements **2** ausgebildet ist. Die Legierungsschicht **13** besteht aus einer intermetallischen Verbindung, zum Beispiel Ag3Sn. Um die Legierungsschicht **13** zu bilden, ist eine Drahtstruktur **20**, in der die Vielzahl von Drähten **5** angeordnet ist, auf der Ag-Schicht **4** der Leiterplatte **12** ausgebildet. Die Vielzahl von Drähten **5** ist so angeordnet, dass sie sich in der gleichen Richtung von dem nach außen gerichteten Randbereich der Legierungsschicht **13** aus erstrecken.

**[0032]** Die Drahtstruktur **20** ist auf einem Gebiet ausgebildet, das breiter als eine Breite **c1** in **X**-Richtung und eine Breite **c2** in **Z**-Richtung des Halbleiterelements **9** ist. Die Drahtstruktur **20** weist eine Breite **b3** in **X**-Richtung und eine Breite **b2** in **Z**-Richtung auf. In **Fig. 1B** sind sieben Drähte **5a**, **5b**, **5c**, **5d**, **5e**, **5f** und **5g** unter der Vielzahl von Drähten **5** explizit dargestellt. Ein Rastermaß, in dem die Vielzahl von Drähten **5** angeordnet ist, wird mit **b1** bezeichnet. Es ist anzumerken, dass die Ziffer **5** in Bezug auf die Bezugszeichen für die Drähte kollektiv verwendet wird und die Bezugszeichen **5a** bis **5g** verwendet werden, wenn die Drähte individuell beschrieben werden.

**[0033]** Jeder der Drähte **5**, welche die Drahtstruktur **20** bilden, ist mit einem Biegungsbereich **11** auf der linken Seite in **Fig. 1A** und **Fig. 1B** ausgebildet. Mit dem Draht **5** ist eine Bond-Kugel **6** an einer Position ausgebildet, die sich um genau eine Länge **a2** nach links außen beabstandet von der Montageposition des Halbleiterelements **9** befindet, und ein Stitch-Bond **7** ist an einer Position ausgebildet, die sich um genau eine Länge **a3** nach rechts außen beabstandet von der Montageposition des Halbleiterelements **9** befindet.

**[0034]** Es ist anzumerken, dass obwohl sich der Biegungsbereich **11** auf einer beliebigen Höhe befinden kann, sich der Biegungsbereich **11** schlussendlich an einer höchsten Position befindet, wenn die Schlingenbildung ausgeführt ist. Eine Länge **a1** ist eine Länge, die aus dem Addieren der Länge **a2** und der Länge **a3** zu der Länge **c1** des Halbleiterelements **9** in der **X**-Richtung resultiert. Die Bond-Kugel **6** ist größer als die Drahtabmessung bzw. die Drahtstärke des Drahts **5**, und der Abstand von dem linken äußeren Ende der Bond-Kugel **6** bis zu dem rechten äußeren Ende des Stitch-Bonds **7** beträgt **b3**.

**[0035]** Als nächstes wird theoretisch aufgezeigt, dass gemäß dem Bond-Verfahren der Erfindung die intermetallische Verbindung aus Ag3Sn gebildet wird und Sn nicht in der Legierungsschicht **13** verbleibt, wenn die Legierungsschicht **13** in dem Bond-Bereich gebildet wird, in dem das Halbleiterelement **9** und die Leiterplatte **12** zusammen gebondet werden. Um zu vermeiden, dass Sn innerhalb des Bond-Bereichs verbleibt, sind bei der Herstellungsbedingung optimale Werte anzugeben. Was in den Patentdokumenten 1 und 2 gezeigt ist, ist letztlich lediglich, dass Ag3Sn gebildet wird, und somit ist nicht theoretisch aufgezeigt, dass Sn nicht innerhalb des Bond-Bereichs verbleibt. Es sind nämlich die beschränkten Bereiche von Werten, die in den Patentdokumenten 1 und 2 genannt sind, als Basis für ein Aufzeigen, dass Sn nicht verbleibt, nicht ausreichend.

**[0036]** **Fig. 2** ist ein Diagramm, das die Legierungsschicht der Erfindung darstellt, und **Fig. 3** ist eine Tabelle, die grundlegende Eigenschaften der intermetallischen Verbindung aus Ag3Sn zeigt. Als erstes werden unter Verwendung von **Fig. 3** die grundlegenden Eigenschaften von Ag, Sn und Ag3Sn beschrieben. In **Fig. 3** sind in einer Ag-Spalte Werte für Ag in Ag3Sn gezeigt, in einer Sn-Spalte sind Werte für Sn in Ag3Sn gezeigt, und in einer Gesamtspalte sind Werte für Ag3Sn gezeigt.

**[0037]** Das Verhältnis der Zusammensetzung von Ag und Sn in Ag3Sn beträgt 3:1 Atomprozent (At. %), so dass Ag 75 At. %: Sn 25 At. % gegeben ist. Um dies in Massenprozent (Gew. %) umzuwandeln, wird eine Berechnung auf der Basis durchgeführt, dass das Atomgewicht von Ag 108 g/mol beträgt und das Atomgewicht von Sn 119 g/mol beträgt, so dass Ag 73 Gew. %: Sn 27 Gew. % gegeben ist.

**[0038]** Um dies weiter in Volumenprozent (Vol. %) umzuwandeln, wird eine Berechnung auf der Basis durchgeführt, dass die Dichte von Ag 10,5 g/cm<sup>3</sup> beträgt und die Dichte von Sn 7,4 g/cm<sup>3</sup> beträgt, so dass Ag 66 Vol. % : Sn 34 Vol. % gegeben ist. Selbst wenn nämlich Sn endlos um Ag herum vorhanden ist, beträgt dessen Anteil, der zu Ag3Sn wird, etwa die Hälfte des Volumens von Ag ( $34/66 = 0,52 \approx 0,5$ ), und Sn, bei dem es sich nicht um jenen Anteil handelt, diffundiert nicht und verbleibt. Von einem anderen Gesichtspunkt aus resultiert

dies, wenn Ag zu Ag<sub>3</sub>Sn wird, in einer Zunahme des Volumens lediglich um etwa das 0,5-fache von dem Volumen von Ag (das Volumen wird zum 1,5-fachen).

**[0039]** Unter Verwendung eines schematischen Modells in Bezug auf den Bond-Bereich gemäß der Erfindung, in dem das Halbleiterelement **9** und die Leiterplatte **12** zusammen gebondet werden, wird aufgezeigt, dass Sn nicht innerhalb des Bond-Bereichs verbleibt. Die aus Ag bestehenden Drähte **5c** und **5d** (als Ag-Drähte bezeichnet, falls zutreffend) sind innerhalb einer Sn-Schicht **8** angeordnet, die Ag-Schicht **10** ist auf der Oberseite der Sn-Schicht **8** angeordnet, und die Ag-Schicht **4** ist auf der Unterseite der Sn-Schicht **8** angeordnet.

**[0040]** Dieses Modell zeigt schematisch eine solche Konfiguration, in der Folgendes gilt: eine Ag-Plattierung wird an den Bond-Objekten der Erfindung (Halbleiterelement **9**, obere Elektrode **1**) angebracht; Ag-Drähte werden in einer Ebene nur in einer Richtung verteilt und so gebondet, dass sie zum Zeitpunkt des Schmelzens des Lots nicht herausfließen; und Ag<sub>3</sub>Sn (Schmelzpunkt beträgt etwa 470 °C) wird durch Schmelzen von Sn von der Oberseite der Drähte gebildet.

**[0041]** Die Ag-Schichten **10**, **4**, die jeweils eine Dicke von  $z$  aufweisen, sind auf der Oberseite und der Unterseite der Sn-Schicht **8** platziert, in der die Ag-Drähte **5c**, **5d** eingeschlossen sind, die einen Drahtdurchmesser von  $x$  aufweisen, und die Ag-Drähte **5c**, **5d** sind Seite an Seite mit einem Abstand eines gegebenen Rastermaßes  $y$  angeordnet.

**[0042]** In **Fig. 2** gilt Folgendes: ein Punkt „a“ ist ein Kontaktspunkt zwischen einem Kreis des Ag-Drahts **5c** und der Ag-Schicht **10**, und ein Punkt „c“ ist ein Kontaktspunkt zwischen dem Kreis des Ag-Drahts **5c** und der Ag-Schicht **4**. In **Fig. 2** ist ein Punkt „b“ ein Kontaktspunkt zwischen einem Kreis des Ag-Drahts **5d** und der Ag-Schicht **10**, und ein Punkt „d“ ist ein Kontaktspunkt zwischen dem Kreis des Ag-Drahts **5d** und der Ag-Schicht **4**.

**[0043]** Das Rastermaß für die Ag-Drähte **5** ist in einem gewissen Maß durch die Draht-Bond-Vorrichtung beschränkt, so dass das Rastermaß  $y$  relativ zu der Drahtabmessung  $x$  (Drahtdurchmesser  $x$ ) auf ungefähr  $y = 2,5x$  begrenzt ist. Ein derartiger vorrichtungsbezogener Grenzwert des Rastermaßes  $y$  ist hier als eine Formel (1) definiert. Somit ist für das Rastermaß  $y$  eine Bedingung erforderlich, die durch die Formel (2) angegeben ist. Wenn das Rastermaß geringer als dieser Wert gemacht wird, stellt die Draht-Bond-Vorrichtung einen Kontakt zu dem Draht her, der zu diesem benachbart ist. Zum Beispiel ist im Fall eines Ag-Drahts von Ø gleich 12 µm das Rastermaß mit 30 µm gegeben, und im Fall eines Ag-Drahts von Ø gleich 20 µm ist das Rastermaß 50 µm gegeben.

$$y = 2,5x \quad (1)$$

$$y \geq 2,5x \quad (2).$$

**[0044]** Es ist erforderlich, dass Ag<sub>3</sub>Sn in einem Bereich **A1** innerhalb der Sn-Schicht **8**, der von den Punkten a, b, c und d umgeben ist, wie in **Fig. 2** gezeigt, durch Diffusion von umgebendem Ag in diesen Bereich gebildet wird. Im Hinblick auf das Resultat, dass dann, wenn Ag in die Sn-Schicht **8** hinein wandert, um zu Ag<sub>3</sub>Sn zu werden, dies eine Zunahme des Volumens von nur dem 0,5-fachen von dem Volumen von Ag ergibt, wie vorstehend erwähnt, wird die folgende Relationsformel in Bezug auf einen begrenzten Wert erstellt, der Ag<sub>3</sub>Sn unterliegt.

$$\text{Ag zugeführte Menge} \times 0,5 \geq \text{von a, b, c, d umgebener Bereich A1} \quad (3).$$

**[0045]** Eine Berechnungsformel, die diese Formel (3) spezifisch auf den Querschnitt in **Fig. 2** anwendet, lässt sich wie folgt darstellen.

$$0,5 \times (2yz + \pi(x/2)^2) \geq (xy - \pi(x/2)^2) \quad (4).$$

**[0046]** Hierbei entspricht „ $2yz$ “ auf der linken Seite einem Gesamtgebiet eines Bereichs **A2** und eines Bereichs **A3**, und „ $\pi(x/2)^2$ “ auf der linken Seite entspricht einem Gesamtgebiet eines halbkreisförmigen Bereichs **A4** und eines halbkreisförmigen Bereichs **A5**. Die rechte Seite entspricht einem Gebiet des Bereichs **A1**.

**[0047]** Ein Umformen der Formel (4) liefert eine Formel (6) mittels einer Formel (5).

$$yz + 1/8\pi x^2 \geq xy - 2/8\pi x^2 \quad (5)$$

$$yz + 3/8\pi x^2 \geq xy \quad (6).$$

**[0048]** Wenn hierbei die Formel (1), die maßgeblich für den vorstehend erwähnten vorrichtungsbezogenen Grenzwert des Rastermaßes  $y$  ist, auf die Formel (6) angewendet wird, so wird eine Formel (11) durch die Formeln (7) bis (10) erzielt.

$$2,5xz + 3/8\pi x^2 \geq 2,5x^2 \quad (7)$$

$$2,5z + 3/8\pi x \geq 2,5x \quad (8)$$

$$2,5z \geq (2,5 - 3/8\pi)x \quad (9)$$

$$z \geq ((2,5 - 3/8\pi)2,5)x \quad (10)$$

$$z \geq 0,53x \quad (11).$$

**[0049]** Wenn die Formel (1), die maßgeblich für den vorstehend erwähnten vorrichtungsbezogenen Grenzwert des Rastermaßes  $y$  ist, auf die Formel (11) angewendet wird, so wird eine Formel (12) geliefert.

$$z \geq 0,21y \quad (12).$$

**[0050]** Um die vorstehenden Resultate zusammenzufassen, werden die folgenden drei Formeln für den Durchmesser  $x$  des Ag-Drahts, das Rastermaß  $y$  und die Dicke  $z$  der Ag-Schicht erstellt.

$$y = 2,5x \quad (1)$$

$$z \geq 0,53x \quad (11)$$

$$z \geq 0,21y \quad (12).$$

**[0051]** Des Weiteren ist es möglich, eine erforderliche Menge an Sn zu berechnen. In Anbetracht der Zuführungsmethode, mit der Sn von der folienartigen Sn-Schicht **8** zugeführt wird, wird die erforderliche Dicke  $t$  der Sn-Schicht **8** wie folgt berechnet.

$$t \approx (xy - \pi(x/2)^2) / y \quad (13).$$

**[0052]** Ein Anwenden der Formel (1) auf die Formel (13), um  $y$  oder  $x$  zu eliminieren, liefert eine Formel (14) und eine Formel (15).

$$t \approx 0,68x \quad (14)$$

$$t \approx 0,27y \quad (15).$$

Tatsächlich entweicht Sn auch nach außen, und Sn ist somit notwendigerweise mit einer Dicke bereitzustellen, die etwas dicker als diejenige gemäß der Formel (14) und der Formel (15) ist.

**[0053]** Basierend auf den vorstehenden Resultaten werden Proben hergestellt, bei denen die Abmessung **x** des Ag-Drahts, das Rastermaß **y** und die Dicke **z** der Sn-Schicht variiert werden. Ein spezielles Verfahren zum Herstellen der Proben wird unter Bezugnahme auf **Fig. 1A**, **Fig. 1B** sowie **Fig. 4A**, **Fig. 4B** beschrieben.

**[0054]** Als erstes wurde eine kommerziell erhältliche DBC-Platte mit einer Abmessung von 30 mm × 30 mm und einer Dicke von 1,12 mm als Leiterplatte **12** bereitgestellt. Die Dicken der aus Cu bestehenden oberen Elektrode **1**, des aus Si3N4 bestehenden isolierenden Elements **2** und der aus Cu bestehenden unteren Elektrode **3** betrugen 0,4 mm, 0,32 mm beziehungsweise 0,4 mm. Was die Ag-Schicht **4** für die Leiterplatte **12** betrifft, wurde eine Ag-Plattierung mit bis zu 6,5 µm darauf angebracht. Solche DBC-Platten sind zum Beispiel von Denki Kagaku Kogyo Kabushiki Kaisha, Japan erhältlich.

**[0055]** Die Ag-Plattierung kann zum Beispiel bei Taiyo Manufacturing Co., Ltd, Japan ausgeführt werden. Danach wurde eine kommerziell erhältliche Sn-Folie mit einer Abmessung von 100 mm × 100 mm, einer Dicke von 9 µm und einer Reinheit von 99,5 Gew. % als Sn-Schicht **8** angebracht. Solche Sn-Folien sind zum Beispiel von Fukuda Metal Foil & Powder Co., Ltd, Japan erhältlich. Danach wurde ein SiC-Element mit einer Abmessung von 7 mm × 7 mm und einer Dicke von 0,25 mm als das Halbleiterelement **9** angebracht. Auf die Rückseite des SiC-Elements wurden 6,5 µm Ag metallisiert, um die Ag-Schicht **10** zu bilden. Derartige SiC-Elemente sind zum Beispiel von Nippon Steel & Sumitomo Metal Corporation, Japan erhältlich.

**[0056]** Dann wurde ein Ag-Draht **5** mit Ø gleich 12 µm, einer Wickellänge von 100 m und einer Reinheit von 99,99 Gew.-% angebracht. Ein solcher Ag-Draht ist zum Beispiel von Noge Electric Industries Co., Ltd, Japan erhältlich. Der Ag-Draht wurde unter Verwendung einer kommerziell erhältlichen Draht-Bond-Vorrichtung an die Ag-Schicht **4** auf der Leiterplatte **12** gebondet. Die Draht-Bond-Vorrichtung kann zum Beispiel FB-**910** von Kaijo Corporation, Japan oder UTC-**5000** von Shinkawa Ltd, Japan sein.

**[0057]** Es werden Details des Draht-Bondens (Draht-Verbindungs-Schritt) beschrieben. Während Stickstoff-Gas, das 5% Wasserstoff enthält, auf ein Ende des Drahts **5** geblasen wird, so wird dort durch eine Entladung unter entsprechenden Entladungsbedingungen (Entladungsstrom, Zeitspanne, geblasene Gasmenge), unter denen eine richtige sphärische Kugel stabil gebildet werden kann, als erstes eine Kugel gebildet, die ungefähr 1,5-Mal bis 1,8-Mal größer als die Abmessung des Drahts ist, und dann wird die Bond-Kugel **6** durch die Anwendung einer Ultraschallwelle und eines Drucks auf der Ag-Schicht **4** auf der Leiterplatte **12** an einer Position gebildet, die sich um  $a_2 = 2$  mm nach außen beabstandet von der Montageposition des Halbleiterelements **9** befindet.

**[0058]** Wenn zu diesem Zeitpunkt eine richtige sphärische Kugel nicht stabil gebildet wird, so dass eine Exzentrizität verursacht wird, so wird das Bonden nicht ordnungsgemäß durchgeführt, da der Druck zum Zeitpunkt des Bondens nicht gleichmäßig darauf angewendet wird. Somit sollte achtgegeben werden, um damit fertig zu werden. Im Fall einer Exzentrizität ist ferner das Rastermaß nicht stabil gegeben, da ein Bonden nicht an einer angestrebten Position durchgeführt werden kann. Somit muss darauf geachtet werden, dass dies berücksichtigt wird.

**[0059]** Nach dem Bilden des Biegungsbereichs **11** wird der Draht **5** dann bis zu der Länge  $a_1 = 10$  mm ausgedehnt, die länger als die Elementabmessung  $c_1 = 7$  mm des Halbleiterelements **9** ist, und dann wird der Stitch-Bond **7** durch die Anwendung einer Ultraschallwelle und eines Drucks an einer Position gebildet, die sich um  $a_3 = 1$  mm beabstandet von der Montageposition des Halbleiterelements **9** befindet.

**[0060]** Es ist anzumerken, dass sich, obwohl sich der Biegungsbereich **11** auf einer beliebigen Höhe befinden kann, der Biegungsbereich **11** schlussendlich an einer höchsten Position befindet, wenn die Schlingenbildung ausgeführt ist, so dass die Schlingenhöhe **d1** so eingestellt ist, dass sie 50 µm beträgt, was bei der kommerziell erhältlichen Vorrichtung eine Grenze darstellt.

**[0061]** Des Weiteren ist eine beliebige Schlingenhöhe **d2** an der Montageposition des Elements so eingestellt, dass sie 80% oder weniger von **d1** beträgt. Dies liegt daran, dass ein Draht **16**, wenn eine maximale Schlingenhöhe innerhalb der Montageposition vorliegt, wie in **Fig. 7** und **Fig. 8** gezeigt, zerbricht, wenn er sich selbst überlappt, wenn zum Zeitpunkt des folgenden Bondens ein Druck darauf angewendet wird, und dies ist nicht erstrebenswert. **Fig. 7** und **Fig. 8** sind Diagramme, die jeweils die Positionen des Halbleiterelements und des Drahts gemäß einem Vergleichsbeispiel darstellen. **Fig. 7** zeigt einen Zustand, bevor das Halbleiterelement **9** einen Kontakt mit dem Draht **16** herstellt, und **Fig. 8** zeigt einen Zustand, in dem das Halbleiterelement **9** gegen den Draht **16** drückt.

**[0062]** Es wurde experimentell bestätigt, dass die Montageposition außerhalb von der maximalen Schlingenhöhe zu halten ist, damit der Draht nicht mit sich selbst überlappt, und wenn sie sich in einem Bereich mit einer Höhe befindet, die zumindest auf 80% der maximalen Schlingenhöhe verringert ist, dann ist es möglich, ein Überlappen zu unterbinden, wie in **Fig. 5** und **Fig. 6** gezeigt.

**[0063]** **Fig. 5** und **Fig. 6** sind Schaubilder, die jeweils die Positionen des Halbleiterelements und des Drahts gemäß Ausführungsform 1 der Erfindung darstellen. **Fig. 5** zeigt einen Zustand, bevor das Halbleiterelement **9** einen Kontakt mit dem Draht **5** herstellt, und **Fig. 6** zeigt einen Zustand, in dem das Halbleiterelement **9** gegen den Draht **5** drückt.

**[0064]** Der vorstehend beschriebene Draht-Verbindungs-Schritt wurde bei dem Rastermaß **b1** = 30 µm in der Y-Richtung und über einem Gebiet bis zur Länge **b2** wiederholt, die länger als die Elementabmessung **c2** ist. Im Ergebnis wurden die Ag-Drähte auf der Ag-Schicht **4** auf der Leiterplatte **12** im ganzen Bereich (Gebiet durch **a1** und **b2**) verteilt, das breiter als die Elementabmessung (ein Chip-Bond-Bereich **15**) des Halbleiterelements **9** ist, um dadurch die Drahtstruktur **20** zu bilden (Draht-Struktur-Bildungs-Schritt).

**[0065]** Eine Struktur, bei der die Drahtstruktur **20** auf der Ag-Schicht **4** auf der Leiterplatte **12** ausgebildet ist, wird als eine Leiterplatte **21** mit angebrachten Drähten bezeichnet. Der Chip-Bond-Bereich **15** ist ein Bereich, der gleich dem Gebiet der Montageoberfläche des Halbleiterelements **9** ist.

**[0066]** Dann wurden auf der Leiterplatte **21** mit angebrachten Drähten mit den überall verteilten Ag-Drähten **5** und auf den Bereichen der Drähte **5** mit der Höhe von 80% oder weniger der maximalen Schlingenhöhe **d1** sukzessive die Sn-Schicht **8** und das Halbleiterelement **9** montiert, auf dem die Ag-Schicht **10** gebildet wurde (Halbleiterelement-Montage-Schritt). Dieses Zwischenprodukt wurde einer Wärmebehandlung in einer durch Ameisensäure erzeugten Reduktions-Atmosphäre bei 180 °C während 10 Minuten unterzogen, um dadurch Oxidationsschichten auf den Oberflächen der jeweiligen Elemente zu entfernen. Danach wurde es einem Absaugen unterzogen, gefolgt von einer Wärmebehandlung bei 300 °C für eine Dauer von 10 Minuten, während ein Druck von 1 MPa darauf angewendet wurde, wobei eine vereinfachte Druckschablone verwendet wurde (Legierungsschicht-Bildungs-Schritt).

**[0067]** Es folgt eine Beschreibung hinsichtlich des angewendeten Drucks. In diesem Fall wurde ein Druck von 1 MPa angewendet. Da die Abmessungen des Halbleiterelements **9** Werte von 7 mm × 7 mm besaß und das Bond-Gebiet somit 49 mm<sup>2</sup> beträgt, reicht es aus, eine Last von 4,9 kgf ≈ 5 kg anzuwenden, um 1 MPa, nämlich eine Last von 49 N darauf anzuwenden. Für dieses Maß an Last ist eine großtechnische Anlage, wie beispielsweise eine Pressmaschine, nicht erforderlich, und sie ist unter Verwendung einer vereinfachten Schablone ohne Weiteres erzielbar, in der eine Feder mit einem Anschlag angebracht ist. Es ist anzumerken, dass ein Design bzw. ein Erwerben der Feder zum Beispiel bei der Firma von Tokaibane Mfg. Co., Ltd, Japan möglich ist. Die Druckschablone, die eine solche Feder verwendet, kann zum Beispiel von Kishida Engineering Co. Ltd, Japan hergestellt werden.

**[0068]** Dann wird das Zwischenprodukt nach der Beendigung des Bondens abgekühlt und danach herausgenommen, und der Querschnitt des Bond-Bereichs wurde unter Verwendung eines Rasterelektronenmikroskops (REM) beobachtet. Im Ergebnis wurde bestätigt, dass der Bond-Bereich nur aus Ag und Ag<sub>3</sub>Sn gebildet war und sich keine Phase nur mit Sn darin befand. Das Schnittbild und das Resultat der Analyse der Zusammensetzung eines typischen Bond-Bereichs sind in **Fig. 9** gezeigt. In **Fig. 9** sind ein Schnittbild **41** des Bond-Bereichs, eine Verteilung **42** des Elements Ag sowie eine Verteilung **43** des Elements Sn gezeigt.

**[0069]** Das Schnittbild **41** des Bond-Bereichs zeigt deutlich Grenzen zwischen dem Halbleiterelement **9**, der Legierungsschicht **13** und der oberen Elektrode **1** in dem REM-Schnittbild des Bond-Bereichs, der die Legierungsschicht **13** einschließt. Ein Maßstab **45** zeigt eine Länge von 10 µm an. Die Bezeichnungen **L1**, **L2**, **L3** und **L4** zeigen Bereiche von Detektionsniveaus in vier Stufen für das Element Ag oder das Element Sn an, und **L1** bis **L4** entsprechen in dieser Reihenfolge den Bereichen, die hinsichtlich der Detektionsmenge von geringer bis höher sortiert sind.

**[0070]** In der Verteilung **42** des Elements Ag ist der Bereich **L4** eine Phase nur mit Ag, und der Bereich **L3** ist eine Ag<sub>3</sub>Sn-Phase, in der Ag<sub>3</sub>Sn gebildet wird. Die Phase nur mit Ag entspricht dem Bereich **L1** in der Verteilung **43** des Elements Sn, in dem kein Element Sn detektiert wird. Die Ag<sub>3</sub>Sn-Phase entspricht dem Bereich **L2** in der Verteilung **43** des Elements Sn. Es ist anzumerken, dass in der Verteilung **42** des Elements Ag ein dünner Bereich **L3** jeweils in dem oberen und dem unteren Zwischenraum vorhanden war, die jeweils

zwischen dem Bereich **L1** und dem Bereich **L4** platziert waren; um die Figur jedoch nicht kompliziert zu machen, ist er hier weggelassen.

**[0071]** Wenn der Bond-Bereich unter Verwendung eines Transmissions-Röntgengerätes beobachtet wurde und durch Binarisierung des Transmissions-Röntgenbildes eine Hohlraum-Rate berechnet wurde, war indessen die Hohlraum-Rate mit 4% ausgezeichnet im Vergleich zu einer Soll-Hohlraum-Rate von 10% oder weniger. Die so hergestellte Probe ist als Beispiel 1 definiert.

**[0072]** Dann wurden unter Verwendung der gleichen Prozesse wie den vorstehend beschriebenen neun Proben hergestellt, bei denen die Drahtabmessung (also der Drahtdurchmesser) **x** des Ag-Drahts **5** von 12 µm bis 50 µm variiert wurde und das Rastermaß **y** variiert wurde, wie in **Fig. 10** gezeigt. Die jeweiligen Proben sind als Beispiele 2 bis 10 definiert. **Fig. 10** ist eine Tabelle, die Eigenschaften von Beispielen gemäß der Erfindung und von Vergleichsbeispielen zeigt.

**[0073]** Bei den Beispielen 2 bis 10 ist das Rastermaß **y** in Bezug auf jede Drahtabmessung als 2,5x gegeben, was aus der Formel (1) berechnet wurde, und die Ag-Schicht **10** des Halbleiterelements **9** und die Ag-Schicht **4** der Leiterplatte **21** mit angebrachten Drähten sind jeweils mit der Dicke **z** angegeben, die innerhalb der Bereiche liegt, die aus den Formeln (11) und (12) berechnet worden sind.

**[0074]** Für jedes der Beispiele 2 bis 10 wurde unter Verwendung des REM ein legierungsbildender Zustand beobachtet, und die Hohlraum-Rate wurde aus dem Transmissions-Röntgenbild berechnet. Im Ergebnis war der legierungsbildende Zustand in den Beispielen 2 bis 10 ausgezeichnet, wie in **Fig. 10** gezeigt, und die Hohlraum-Rate betrug 4% oder weniger und war somit ausgezeichnet.

**[0075]** In **Fig. 10** sind Herstellungsbedingungen der jeweiligen Proben und als Resultate der Beobachtung jeder legierungsgebildende Zustand und jede Hohlraum-Rate angegeben. Bei „Richtung der Drahtausdehnung“ ist gezeigt, ob eine einzige Richtung oder Mehrfach-Richtungen von zwei oder mehr Richtungen vorliegen. Bei „erforderliche Plattierungsdicke“ ist eine Dicke **z** von jeder der Ag-Schichten **4** und **10** gezeigt, welche die Formel (11) und die Formel (12) erfüllt.

**[0076]** Bei „tatsächliche Plattierungsdicke **z**“ ist eine Dicke von jeder der Ag-Schichten **4** und **10** in jeder Probe gezeigt. Bei „Kompatibilität mit der theoretischen Formel“ ist gezeigt, ob die Formel (2), die Formel (11) und die Formel (12) als theoretische Formeln erfüllt sind (Angabe „OK“) oder nicht (Angabe „NG“). Bei „erforderliche Dicke der Sn-Folie“ ist eine Dicke **t** der Sn-Schicht **8** gezeigt, welche die Formel (14) und die Formel (15) erfüllt. Bei „tatsächliche Dicke **t** der Sn-Folie“ ist eine Dicke der Sn-Schicht **8** in jeder Probe gezeigt.

**[0077]** Bei „Legierungsbildung“ ist gezeigt, ob die Legierungsschicht **13** in dem Bond-Bereich ausgezeichnet ist oder nicht. Eine Angabe „OK“ ist gegeben, wenn die Legierungsbildung ausgezeichnet ist, was zeigt, dass der Bond-Bereich nur aus Ag und Ag3Sn gebildet ist und keine Phase nur mit Sn vorliegt. Eine Angabe „NG“ ist gegeben, wenn die Legierungsbildung nicht ausgezeichnet ist.

**[0078]** Wenn die Dicke der Sn-Schicht **8** die erforderliche Dicke aufwies oder dicker war und die Bedingungen erfüllt waren, die durch die Formel (1), die Formel (11) und die Formel (12) dargestellt sind, war jeder legierungsgebildende Zustand und jede Hohlraum-Rate ausgezeichnet, wie in den Beispielen 1 bis 10 in **Fig. 10** gezeigt.

**[0079]** Als nächstes wird eine Beschreibung hinsichtlich der Vergleichsbeispiele **1** bis **4** vorgenommen, die in **Fig. 10** gezeigt sind. Unter Verwendung der gleichen Prozesse wie den vorstehend beschriebenen wurden vier Proben hergestellt, bei denen die Drahtabmessung **x** des Ag-Drahts **5** von 12 µm bis 50 µm variiert wurde und das Rastermaß **y** von 30 µm bis 125 µm variiert wurde, was aus der Formel (1) berechnet wurde. In den Vergleichsbeispielen **1** bis **4** ist das Rastermaß **y** in Bezug auf jede Drahtabmessung mit 2,5x gegeben, was mit der Formel (1) berechnet worden ist, und die Ag-Schicht **10** des Halbleiterelements **9** und die Ag-Schicht **4** der Leiterplatte **21** mit angebrachten Drähten sind jeweils mit der Dicke **z** angegeben, die außerhalb der Bereiche liegt, die mit den Formeln (11) und (12) berechnet worden sind.

**[0080]** Für jedes der Vergleichsbeispiele **1** bis **4** wurde unter Verwendung des REM ein legierungsgebildender Zustand beobachtet, und die Hohlraum-Rate wurde aus dem Transmissions-Röntgenbild berechnet. Im Ergebnis war die Hohlraum-Rate in den Vergleichsbeispielen **1** bis **4**, wie in **Fig. 10** gezeigt, ausgezeichnet, da geringer als der Sollwert von 10%; der legierungsgebildende Zustand war jedoch nicht ausgezeichnet (NG), da eine Phase nur mit Sn teilweise verblieb.

**[0081]** Als nächstes wird eine Beschreibung hinsichtlich der Beispiele 11 bis 14 vorgenommen, die in **Fig. 11** gezeigt sind. **Fig. 11** ist eine Tabelle, die Eigenschaften in diesen Beispielen der Erfindung und in Vergleichsbeispielen zeigt. Unter Verwendung der gleichen Prozesse wie den vorstehend beschriebenen wurden vier Proben hergestellt, bei denen die Drahtabmessung x des Ag-Drahts **5** von 12 µm bis 50 µm variiert wurde und das Rastermaß y von 40 µm bis 140 µm variiert wurde, was die Formel (2) erfüllt.

**[0082]** In den Beispielen 11 bis 14 ist das Rastermaß y in Bezug auf jede Drahtabmessung als ein Wert gegeben, der größer als 2,5x ist und somit die Formel (2) erfüllt, und die Ag-Schicht **10** des Halbleiterelements **9** sowie die Ag-Schicht **4** der Leiterplatte **21** mit angebrachten Drähten ist jeweils mit der Dicke z angegeben, die innerhalb der Bereiche liegt, die mit den Formeln (11) und (12) berechnet worden sind.

**[0083]** Für jedes der Beispiele 11 bis 14 wurde unter Verwendung des REM ein legierungsbildender Zustand beobachtet, und die Hohlraum-Rate wurde aus dem Transmissions-Röntgenbild berechnet. Im Ergebnis war der legierungsbildende Zustand in den Beispielen 11 bis 14 ausgezeichnet, wie in **Fig. 11** gezeigt, und die Hohlraumrate betrug 4% oder weniger und war somit ausgezeichnet.

**[0084]** Als nächstes wird eine Beschreibung hinsichtlich der Vergleichsbeispiele **5** und **6** vorgenommen, die den Patentdokumenten **1** und **2** entsprechen. Bisher wurden Auswertungen hinsichtlich eines dargebotenen Zustands der Erfindung durchgeführt, bei dem die Ag-Drähte **5** in einer Richtung verteilt sind. Andererseits wurde eine solche Probe hergestellt, bei der die Ag-Drähte **5** in zwei Richtungen verteilt waren (**X**-Richtung, **Y**-Richtung). Zunächst war die Anwendung der gleichen Prozesse wie den vorstehend beschriebenen auch die gleiche wie beim Beispiel 7, wobei die Drahtabmessung x mit 30 µm vorgegeben war, und das Rastermaß y war mit 75 µm vorgegeben, und die Dicke z der Ag-Schichten **4** und **10** war mit 16,5 µm vorgegeben, und dann wurden die Drähte **5** in **X**-Richtung verteilt.

**[0085]** Danach wurde die Leiterplatte **12** um 90° gedreht, und die anderen Drähte **5** wurden in **Y**-Richtung weiter darauf gebondet, während sie geeignet justiert wurden, um keinen Kontakt zwischen Drähten zu verursachen. Dann wurden auf den Bereichen der Drähte **5** bei der Höhe von 80% oder weniger der maximalen Schlingenhöhe **d1** sukzessive die Sn-Schicht **8** und das Halbleiterelement **9** montiert, auf dem die Ag-Schicht **10** ausgebildet war (Halbleiterelement-Montage-Schritt).

**[0086]** Dieses Zwischenprodukt wurde den gleichen Prozessen wie denen bei den Beispielen 1 bis 14 unterzogen, um dadurch jedes der Vergleichsbeispiele **5** und **6** herzustellen. Der Unterschied zwischen dem Vergleichsbeispiel **5** und dem Vergleichsbeispiel **6** liegt in der Dicke der Sn-Schicht **8**, und die Dicke betrug 50 µm im Fall des Vergleichsbeispiels **5** und 40 µm im Fall des Vergleichsbeispiels **6**.

**[0087]** Für jedes der Vergleichsbeispiele **5** und **6** wurde bei Verwendung des REM ein legierungsbildender Zustand beobachtet, und die Hohlraum-Rate wurde aus dem Transmissions-Röntgenbild berechnet. Im Ergebnis war in dem Vergleichsbeispiel **5**, bei dem die Dicke der Sn-Schicht **8** einen Wert von 50 µm besaß, eine Phase nur mit Sn vorhanden, und somit war der legierungsbildende Zustand nicht ausgezeichnet; und darüber hinaus betrug die Hohlraum-Rate 15% und konnte die Soll-Bedingung von 10% oder weniger nicht erreichen. Im Vergleichsbeispiel **6**, bei dem die Dicke der Sn-Schicht **8** 40 µm betrug, ist der legierungsbildende Zustand ausgezeichnet; die Hohlraum-Rate war jedoch sehr viel schlechter, so dass sie 20% betrug, da die Menge an Sn nicht ausreichend war und die Hohlräume nicht vollständig verschwanden.

**[0088]** Bei der Halbleitereinheit **30** gemäß Ausführungsform **1** wird eine intermetallische Ag-Sn-Verbindung aus Ag<sub>3</sub>Sn (der Schmelzpunkt beträgt etwa 470 °C), die sogar bei 300 °C nicht schmilzt, in dem Bond-Bereich zwischen der Leiterplatte **12** und dem Halbleiterelement **9** etc. gebildet, und zwar in einem Bond-Bereich, in dem ein Bonden zwischen den Bond-Objekten derart durchgeführt wird, dass die Legierungsschicht **13** gebildet werden kann, die einen hohen Schmelzpunkt aufweist.

**[0089]** Bei der Halbleitereinheit **30** gemäß Ausführungsform **1** sind die Ag-Schichten **4**, **10** auf den Bond-Objekten ausgebildet, wie beispielsweise auf der Leiterplatte **12**, dem Halbleiterelement **9** und dergleichen, und auf der Ag-Schicht **4** der Leiterplatte **12**, die eines der Bond-Objekte ist, ist eine Vielzahl von Ag-Drähten **5** auf einer Ebene lediglich in einer Richtung verteilt, so dass die Drahtstruktur **20** gebildet wird, die derart gebondet wird, dass verhindert wird, dass ihre Ag-Drähte **5** zum Zeitpunkt des Bondens heraus fließen.

**[0090]** Die Halbleitereinheit **30** gemäß Ausführungsform **1** ist dadurch charakterisiert, dass sie eine Legierungsschicht **13**, die aus der intermetallischen Verbindung aus Ag<sub>3</sub>Sn besteht (der Schmelzpunkt beträgt un-

gefähr 470 °C), und Ag aufweist, die durch Schmelzen von Sn auf der Leiterplatte **21** mit angebrachten Drähten erhalten wird, in der die Drahtstruktur **20** auf der Ag-Schicht **4** auf der Leiterplatte **12** ausgebildet ist.

**[0091]** Bei der Halbleitereinheit **30** gemäß Ausführungsform **1** ist es möglich, eine intermetallische Verbindung aus Ag<sub>3</sub>Sn mit einem hohen Schmelzpunkt in einem Zustand mit reduzierten Hohlräumen in dem Bond-Bereich zwischen der Leiterplatte **12** und dem Halbleiterelement **9** etc. zu bilden, und zwar in dem Bond-Bereich, in dem ein Bonden zwischen den Bond-Objekten durchgeführt wird.

**[0092]** Bei der Halbleitereinheit **30** gemäß Ausführungsform **1** sind die Ag-Drähte **5** in einer Richtung verteilt, so dass in Bezug auf Hohlräume, die in keinem geringen Ausmaß erzeugt worden wären, wenn Sn geschmolzen wurde, um die intermetallische Verbindung Ag<sub>3</sub>Sn zu bilden, die Routen geschaffen wurden, durch welche die Hohlräume verschwinden. So wird es möglich, die Hohlräume im Vergleich zu dem Fall eines Drahtnetzes zu reduzieren, bei dem Ag-Drähte in der X-Richtung und der Y-Richtung verteilt sind.

**[0093]** Da die Ag-Drähte **5** verwendet werden, wird ferner dem Bond-Bereich zwischen der Leiterplatte **12** und dem Halbleiterelement **9** etc. eine ausreichende Menge an Ag von den Drähten **5** und den Ag-Schichten zugeführt, so dass es möglich ist, die intermetallische Verbindung aus Ag<sub>3</sub>Sn mit einer ausreichenden Dicke zu bilden und somit eine Bond-Dicke, und zwar die Dicke der Legierungsschicht **13**, gleichmäßig zu machen.

**[0094]** Da bei der Halbleitereinheit **30** gemäß Ausführungsform **1** in dem Bond-Bereich zwischen der Leiterplatte **12** und dem Halbleiterelement **9** etc. kein Bereich mit einer äußerst geringen Bond-Dicke entsteht, liegt ein Effekt dahingehend vor, dass das Entstehen eines Risses bei dem Bond-Bereich unterbunden wird.

**[0095]** Es ist anzumerken, dass die Atmosphäre zum Zeitpunkt des Bondens nicht auf die von Ameisensäure beschränkt ist und es auch eine Atmosphäre aus Essigsäure, Zitronensäure, Toluolsäure oder Wasserstoff sein kann. Bei den momentan beschriebenen Experimenten war die Abmessung des Ag-Drahts (Drahtdurchmesser x) mit 12 µm bis 50 µm gegeben. Es wurde angenommen, dass ihre Grenze in der herkömmlichen Draht-Bond-Vorrichtung bei ungefähr 50 µm liegt; wenn die Bond-Vorrichtung jedoch so angepasst werden kann, dass sie in der Lage ist, einen Draht zu bonden, der stärker als 50 µm ist, dann ist die Abmessung des Ag-Drahts nicht auf 12 µm bis 50 µm beschränkt.

**[0096]** Wenn jedoch die Drahtabmessung größer als 50 µm gemacht wird, dann wird das Rastermaß y notwendigerweise größer, und somit nimmt das Volumen zu, das von Ag<sub>3</sub>Sn zu bedecken ist, so dass es erforderlich ist, dass die Ag-Schichten **4** und **10** viel dicker sind. Dies verursacht eine Zunahme der Kosten und ist somit nicht erstrebenswert. Des Weiteren erhöht dies die Herstellungskosten und verlängert die Taktzeit, da die Temperatur und die Zeit für ein Bilden von Ag<sub>3</sub>Sn höher und länger sein müssen, was somit nicht erstrebenswert ist.

**[0097]** Wenn im Gegensatz dazu die Abmessung des Ag-Drahts kleiner als 12 µm ist, dann ist es schwierig, die Drähte stabil auszudehnen, womit eine Möglichkeit geschaffen wird, dass der Draht zum Zeitpunkt des Ausdehnens der Drähte oder des Draht-Bondens bricht, und somit ist dies nicht erstrebenswert. Dementsprechend haben die Abmessungen des Ag-Drahts bevorzugt Werte von 12 µm bis 50 µm.

**[0098]** Der Druck, der zum Zeitpunkt des Bondens anzuwenden ist, muss nur den schwelbenden Draht **5** ordnungsgemäß herunterdrücken, und ähnliche Effekte können bei 0,1 MPa oder mehr erzielt werden. Wenn der angewendete Druck geringer als 0,1 MPa ist, dann ist es schwierig, eine Last ordnungsgemäß anzuwenden, so dass die Bond-Dicke instabil wird. Wenn indessen ein Anwendungsdruck von etwa 1 MPa nach dem Bonden des Ag-Drahts, jedoch vor dem Bonden in der reduktiven Atmosphäre bereits einmal angewendet worden ist, wird die Form jedes Ag-Drahts zum Zeitpunkt des Bondens stabiler, und somit ist dies erstrebenswert.

**[0099]** Die Temperatur und die Zeitdauer zum Zeitpunkt des Bondens sind beliebige Bedingungen, die angewendet werden, bis Ag und Sn ihre Interdiffusion beenden. Die Wachstumsraten von Ag<sub>3</sub>Sn wurden aus Experimenten ermittelt, deren Resultate in **Fig. 12** gezeigt sind. **Fig. 12** ist eine Tabelle, welche die Dicke bei jeder Temperatur und jeder Zeitdauer der intermetallischen Verbindung aus Ag<sub>3</sub>Sn der Erfindung zeigt.

**[0100]** Proben wurden jeweils hergestellt, indem ein 300 µm dickes Sn-Kügelchen auf einer 1 mm dicken Ag-Platte von 10 mm × 10 mm Abmessungen angebracht wurde und diese einer Wärmebehandlung unter beliebigen Bedingungen hinsichtlich Temperatur und Zeitdauer in der durch Ameisensäure reduktiven Atmosphäre unterzogen wurden. Danach wurde unter Verwendung des REM eine Beobachtung des Querschnitts ausgeführt, um die Dicke von Ag<sub>3</sub>Sn zu untersuchen. Die Resultate sind in **Fig. 12** gezeigt, und die unter den

Bedingungen von 250 °C und 1 Minute wärmebehandelten Proben wiesen im Durchschnitt sogar eine Dicke von 3,8 µm auf.

**[0101]** Für Referenzzwecke wurde ein 300 µm dickes Sn-Kügelchen auf einer 1 mm dicken Cu-Platte mit Abmessungen von 10 mm × 10 mm angebracht, und sie wurden unter beliebigen Bedingungen in der durch Ameisensäure erzeugten Reduktions-Atmosphäre einer Wärmebehandlung unterzogen, und danach wurde unter Verwendung des REM eine Beobachtung des Querschnitts ausgeführt, um die Dicke einer Legierungsschicht aus Cu und Sn zu untersuchen. Daraus ergab sich die Bestätigung, dass die Dicke etwa 0,7 µm betrug und somit die Diffusion von Ag 5-Mal bis 6-Mal schneller ist.

**[0102]** Bei den vorstehend beschriebenen Fällen wurde eine Schicht mit 100% Sn als folienartige Sn-Schicht 8 verwendet; dies ist jedoch nicht einschränkend. Zum Beispiel kann in Sn zumindest eine von den Substanzen Ag, Cu, Sb, Bi, In, Zn, Mg, Si, P, Ga, Ni, Co und Ge enthalten sein.

**[0103]** Als ein Material für die Drähte 5 ist Ag bevorzugt; aber abgesehen von Ag kann ein ähnlicher Effekt auch mit Ni, Cu, Fe oder Au erzielt werden. Wenn das Material der Drähte 5 ein anderes als Ag ist, werden anstelle der Ag-Schicht 4 und der Ag-Schicht 10 Schichten aus einem Material verwendet, die dem der Drähte 5 entsprechen. Ferner kann bei dem Ag der Drähte 5 zumindest eine Substanz von Pd, Ni, Cu, Fe, Au, Pt, Al, Sn, Sb, Ti und P hinzugefügt werden.

**[0104]** Des Weiteren ist der Bond-Bereich nicht auf einen Bond-Bereich zwischen einem Halbleiterelement 9 und einer Leiterplatte 12 beschränkt und kann als ein Bond-Bereich zum Beispiel zwischen der Leiterplatte 12 und einer Wärmeabführungsplatte, die darunter angeordnet ist, oder dem Halbleiterelement 9 und einem Leiterrahmen verwendet werden.

**[0105]** Wenngleich das Halbleiterelement 9 ein übliches Element aus einem Silicium-Wafer als einem Basis- element sein kann, kann gemäß der Erfindung ein sogenanntes Halbleitermaterial mit einer breiten Bandlücke angewendet werden, das eine breitere Bandlücke als Silicium aufweist, wie beispielsweise Siliciumcarbid (SiC), ein Material aus einer Galliumnitrid (GaN)-Reihe oder Diamant. Während es nicht erforderlich ist, den Typ der Einheit des Halbleiterelements 9 zu beschränken, kann ein Schaltelement, wie beispielsweise ein IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor, Bipolartransistor mit isoliertem Gate) und ein MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field-Effect-Transistor, Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistor), oder ein Gleichrichterelement montiert werden, wie beispielsweise eine Diode.

**[0106]** Wenn zum Beispiel Siliciumcarbid (SiC), ein Material mit einer Galliumnitrid (GaN)-Reihe oder Diamant für das Halbleiterelement 9 verwendet wird, das als ein Schaltelement oder ein Gleichrichterelement dient, wird es möglich, die Effizienz eines Leistungsmoduls zu verbessern, da sein Leistungsverlust geringer als bei einem herkömmlicherweise verwendeten Element ist, das aus Silicium (Si) gebildet ist.

**[0107]** Da ferner seine Spannungsfestigkeitseigenschaft groß ist und seine zulässige Stromdichte ebenfalls hoch ist, wird es möglich, ein entsprechendes Leistungsmodul zu verkleinern. Des Weiteren ist die Wärmebeständigkeit des Halbleiterelements mit breiter Bandlücke hoch und ermöglicht somit einen Betrieb bei hoher Temperatur, so dass dies ein Verkleinern von Wärmeabführungs-Rippen und eine Substitution eines wasser- gekühlten Teils durch einen luftgekühlten Typ ermöglicht. Somit wird es möglich, ein mit einer Wärmeabführungs-Rippe versehenes Leistungsmodul weiter zu verkleinern.

**[0108]** Wie vorstehend beschrieben, ist bei der Halbleitereinheit 30 gemäß Ausführungsform 1 dieses dadurch charakterisiert, dass sie eine Legierungsschicht 13 aufweist, die sandwichartig zwischen der ersten Ag-Schicht 4, die auf der Montageplatte (der Leiterplatte 12) ausgebildet ist, und der zweiten Ag-Schicht 10 eingefügt ist, die auf dem Halbleiterelement 9 ausgebildet ist, wobei die Legierungsschicht 13 eine intermetallische Verbindung aus Ag3Sn enthält, die durch Ag-Komponenten der ersten Ag-Schicht und der zweiten Ag-Schicht sowie Sn gebildet wird, und dass sie eine Vielzahl von Drähten 5 aufweist, die Ag enthalten und die so angeordnet ist, dass sie sich von dem nach außen gewandten Randbereich der Legierungsschicht 13 aus erstrecken.

**[0109]** Und zwar weist sie eine Struktur auf, bei der die Vielzahl von Drähten 5, die Ag enthalten, mit der Legierungsschicht 13 verbunden ist, welche die intermetallische Verbindung aus Ag3Sn enthält, so dass in Bezug auf Hohlräume, die zum Zeitpunkt des Bildens der Legierungsschicht 13 in keinem geringen Ausmaß erzeugt worden wären, Routen zwischen den Drähten 5 geschaffen werden, mit welchen die Hohlräume verschwinden. Somit ist es möglich, eine intermetallische Verbindung mit einem hohen Schmelzpunkt in einem

Zustand mit reduzierten Hohlräumen in dem Bond-Bereich zu bilden, in dem ein Bonden zwischen den Bond-Objekten durchgeführt wird.

**[0110]** Des Weiteren ist das Verfahren zur Herstellung der Halbleitereinheit **30** gemäß Ausführungsform **1** dadurch charakterisiert, dass es Folgendes aufweist: einen Drahtstruktur-Bildungs-Schritt zum Bilden der Drahtstruktur **20**, bei der die Vielzahl von Drähten **5**, die Ag enthalten, in parallelen oder in radialen Richtungen auf der ersten Ag-Schicht **4** angeordnet wird, die auf der Montageplatte (der Leiterplatte **12**) ausgebildet ist; einen Halbleiterelement-Montage-Schritt, um auf der Drahtstruktur **20** durch die Sn-Schicht **8** das Halbleiterelement **9** zu montieren, dessen Montageoberfläche ein Gebiet aufweist, das kleiner als das umrissene Gebiet der Drahtstruktur **20** ist und in dem die zweite Ag-Schicht **10** auf der Montageoberfläche ausgebildet ist; und einen Legierungsschicht-Bildungs-Schritt zum Durchführen einer Wärmebehandlung nach dem Halbleiterelement-Montage-Schritt, um so die Legierungsschicht **13**, die eine intermetallische Verbindung aus Ag3Sn enthält, in dem Bond-Bereich zu bilden, in dem die Montageplatte (die Leiterplatte **12**) und das Halbleiterelement **9** zusammen gebondet werden.

**[0111]** Somit können in Bezug auf Hohlräume, die bei dem Legierungsschicht-Bildungs-Schritt in keinem geringen Ausmaß erzeugt werden, Routen geschaffen werden, durch welche die Hohlräume beseitigt werden. Somit ist es möglich, in dem Bond-Bereich, in dem ein Bonden zwischen den Bond-Objekten durchgeführt wird, eine intermetallische Verbindung mit einem hohen Schmelzpunkt in einem Zustand mit reduzierten Hohlräumen zu bilden.

## AUSFÜHRUNGSFORM 2

**[0112]** Die angeordnete Form der Ag-Drähte **5** ist nicht auf die in Ausführungsform **1** gezeigte angeordnete Form beschränkt und kann zum Beispiel eine solche angeordnete Form sein, bei der die Drähte radial angeordnet sind, wie in **Fig. 13** gezeigt. **Fig. 13** ist ein Diagramm, das die Anordnung der Drähte gemäß Ausführungsform **2** der Erfindung zeigt.

**[0113]** Die Drahtstruktur **20**, die in **Fig. 13** gezeigt ist, bietet ein Beispiel, bei dem Bereiche, die durch vier Drähte 5a1, 5a2, 5a3, 5a4 unterteilt sind, hinsichtlich der Form gleich sind. Der Einfachheit halber ist ein Bereich, der zwischen dem Draht 5a1 und dem Draht 5a2 gezeigt ist, als „ein erster Bereich“ bezeichnet, derjenige zwischen dem Draht 5a2 und dem Draht 5a3 ist als „ein zweiter Bereich“ bezeichnet, derjenige zwischen dem Draht 5a3 und dem Draht 5a4 ist als „ein dritter Bereich“ bezeichnet und derjenige zwischen dem Draht 5a4 und dem Draht 5a1 ist als „ein vierter Bereich“ bezeichnet.

**[0114]** Der Draht 5a1 und der Draht 5a3 sind kollinear angeordnet, und der Draht 5a2 und der Draht 5a4 sind kollinear angeordnet. Der Draht 5a2 ist senkrecht zu dem Draht 5a1 und dem Draht 5a3 angeordnet, und der Draht 5a4 ist ebenfalls senkrecht zu dem Draht 5a1 und dem Draht 5a3 angeordnet. In dem ersten Bereich ist ein Draht 5b1 derart angeordnet, dass seine Winkel in Bezug auf den Draht 5a1 und den Draht 5a2 die gleichen sind.

**[0115]** In ähnlicher Weise ist ein Draht 5b2 in dem zweiten Bereich derart angeordnet, dass seine Winkel in Bezug auf den Draht 5a2 und den Draht 5a3 gleich sind; in dem dritten Bereich ist ein Draht 5b3 derart angeordnet, dass seine Winkel in Bezug auf den Draht 5a3 und den Draht 5a4 gleich sind; und in dem vierten Bereich ist ein Draht 5b4 derart angeordnet, dass seine Winkel in Bezug auf den Draht 5a4 und den Draht 5a1 gleich sind.

**[0116]** Es folgt eine Beschreibung hinsichtlich der Anordnung der anderen Drähte, wobei der erste Bereich als ein Beispiel angeführt wird. Ein Draht 5c1 ist derart angeordnet, dass seine Winkel in Bezug auf den Draht 5a1 und den Draht 5b1 gleich sind. In ähnlicher Weise ist ein Draht 5c2 derart angeordnet, dass seine Winkel in Bezug auf den Draht 5b1 und den Draht 5a2 gleich sind. Ein Draht 5d1 ist zwischen dem Draht 5a1 und dem Draht 5c1 angeordnet, und ein Draht 5d2 ist zwischen dem Draht 5c2 und dem Draht 5a2 angeordnet.

**[0117]** Ein Draht 5e1 ist zwischen dem Draht 5c1 und dem Draht 5b1 angeordnet, und ein Draht 5e2 ist zwischen dem Draht 5b1 und dem Draht 5c2 angeordnet. Bei der Drahtstruktur **20**, die in **Fig. 13** gezeigt ist, wird die Form eines Außenumfangs, die durch die Anzahl von zweiunddreißig Drähten **5** entsteht, als eine abgerundete viereckige Form gegeben.

**[0118]** **Fig. 14** ist ein Diagramm, das die Positionen des Halbleiterelements und der Drähte gemäß Ausführungsform 2 der Erfindung darstellt, und **Fig. 15** ist eine Schnittansicht der Halbleitereinheit gemäß Ausführ-

rungsform 2 der Erfindung. In **Fig. 14** und **Fig. 15** sind Querschnitte gezeigt, wenn ein Schnitt bei dem Draht 5a1 und dem Draht 5a3 durchgeführt wird. **Fig. 14** zeigt einen Zustand, bevor das Halbleiterelement 9 einen Kontakt mit den Drähten 5 der Leiterplatte 21 mit angebrachten Drähten herstellt. Es ist anzumerken, dass die Drähte 5 in **Fig. 14** und **Fig. 15**, mit Ausnahme des Drahts 5a1 und des Drahts Sa3, in der Darstellung weggelassen sind.

**[0119]** Für die Halbleitereinheit 30 gemäß Ausführungsform 2 besteht bei dem Draht-Verbindungs-Schritt in dem Drahtstruktur-Bildungs-Schritt ein Unterschied dahingehend, dass die Drähte 5 von außen in Richtung zu der Mitte drahtgebondet werden; die anderen Schritte sind jedoch die gleichen. Bei dem Halbleiterelement-Montage-Schritt wird das Halbleiterelement 9 wie bei der Ausführungsform 1 an einer Stelle des Drahts 5 montiert, an der seine Schlingenhöhe d2 einen Wert von 80% oder weniger von d1 an der Montageposition des Elements besitzt. Bei der Halbleitereinheit 30 ist die Vielzahl von Drähten 5 so angeordnet, dass sie sich radial von dem nach außen gewandten Randbereich der Legierungsschicht 13 aus erstrecken.

**[0120]** Bei der Drahtstruktur 20 gemäß Ausführungsform 2 verschwinden Hohlräume, die zu dem Zeitpunkt, in dem Sn geschmolzen wird, um die intermetallische Verbindung aus Ag3Sn zu bilden, in keinem geringen Ausmaß erzeugt werden, von der Mitte in Richtung zu dem äußeren Randbereich hin.

**[0121]** Selbst bei einer Konfiguration, wie sie in **Fig. 13** gezeigt ist, werden in Bezug auf die Hohlräume, die zu dem Zeitpunkt, zu dem Sn geschmolzen wird, um die intermetallische Verbindung aus Ag3Sn zu bilden, in keinem geringen Ausmaß erzeugt werden, Routen geschaffen, durch welche die Hohlräume verschwinden, so dass in ähnlicher Weise wie bei der Ausführungsform 1 ein ausgezeichnetes Bonden erzielt wird, und zwar mit einer reduzierten Anzahl von Hohlräumen.

**[0122]** Es ist anzumerken, dass bei den Konfigurationen in **Fig. 13** bis **Fig. 15** veranschaulicht ist, dass jeder Stitch-Bond 7 nahezu in der Mitte der Drahtstruktur 20 platziert ist; dies ist jedoch nicht beschränkend, und es ist lediglich erforderlich, dass der Stitch-Bond 7 innerhalb der Drahtstruktur 20 platziert wird.

**[0123]** Es ist anzumerken, dass im Rahmen der vorliegenden Erfindung auch Kombinationen der jeweiligen Ausführungsformen und geeignete Modifikation der angegebenen Ausführungsformen sowie Weglassungen von Merkmalen liegen, ohne den Schutzmfang der Erfindung zu verlassen.

#### Bezugszeichenliste

4	Ag-Schicht
5, 5a	Drähte
5b, 5c	Drähte
5d, 5e	Drähte
5f, 5g	Drähte
5a1, 5a2	Drähte
5a3, 5a4	Drähte
5b1, 5b2	Drähte
5b3, 5b4	Drähte
5c1, 5c2	Drähte
5d1, 5d2	Drähte
5e1, 5e2	Drähte
8	Sn-Schicht
9	Halbleiterelement
10	Ag-Schicht
11	Biegungsbereich
12	Leiterplatte

- 13 Legierungsschicht
- 20 Drahtstruktur
- 30 Halbleitereinheit

### Patentansprüche

1. Halbleitereinheit (30), bei der ein Halbleiterelement (9) an eine Montageplatte oder eine Leiterplatte (12) gebondet ist, wobei die Halbleitereinheit (30) Folgendes aufweist:
  - eine Legierungsschicht (13), die sandwichartig zwischen einer ersten Ag-Schicht (4), die auf der Montageplatte (12) ausgebildet ist, und einer zweiten Ag-Schicht (10) eingefügt ist, die auf dem Halbleiterelement (9) ausgebildet ist; wobei die Legierungsschicht (13) eine intermetallische Verbindung aus Ag<sub>3</sub>Sn enthält, die durch Ag-Komponenten der ersten Ag-Schicht (4) und der zweiten Ag-Schicht (10) sowie Sn gebildet ist, und eine Vielzahl von Drähten (5), die Ag enthält, so angeordnet ist, dass sie sich von einem nach außen gewandten Randbereich der Legierungsschicht (13) aus erstrecken.
2. Halbleitereinheit (30) nach Anspruch 1, wobei die Drähte (5) so angeordnet sind, dass sie sich in der gleichen Richtung erstrecken
3. Halbleitereinheit (30) nach Anspruch 1, wobei die Drähte (5) so angeordnet sind, dass sie sich von dem nach außen gewandten Randbereich der Legierungsschicht (13) aus radial erstrecken.
4. Halbleitereinheit (30) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei in den Drähten (5), abgesehen von Ag, zumindest eine von den Substanzen Pd, Ni, Cu, Fe, Au, Pt, Al, Sn, Sb, Ti und P hinzugefügt ist.
5. Halbleitereinheit (30) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das Halbleiterelement (9) aus einem Halbleitermaterial mit einer breiten Bandlücke gebildet ist, das eines von Siliciumcarbid, einem Material aus einer Galliumnitrid-Reihe und Diamant ist.
6. Verfahren zur Herstellung einer Halbleitereinheit, um eine Halbleitereinheit (30) herzustellen, bei der ein Halbleiterelement (9) an eine Montageplatte oder eine Leiterplatte (12) gebondet wird, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:
  - einen Drahtstruktur-Bildungs-Schritt, um eine Drahtstruktur (20) zu bilden, bei der eine Vielzahl von Drähten (5), die Ag enthalten, parallel zueinander oder radial auf einer ersten Ag-Schicht (4) angeordnet wird, die auf der Montageplatte oder der Leiterplatte (12) gebildet wird;
  - einen Halbleiterelement-Montage-Schritt, um auf der Drahtstruktur (20) mittels einer Sn-Schicht (8) das Halbleiterelement (9) zu montieren, dessen Montageoberfläche ein Gebiet aufweist, das kleiner als ein umrissenes Gebiet der Drahtstruktur (20) ist und in dem eine zweite Ag-Schicht (10) auf der Montageoberfläche gebildet wird; und
  - einen Legierungsschicht-Bildungs-Schritt, um nach dem Halbleiterelement-Montage-Schritt eine Wärmebehandlung durchzuführen, um so eine Legierungsschicht (13), die eine intermetallische Verbindung aus Ag<sub>3</sub>Sn enthält, in einem Bond-Bereich zu bilden, in dem die Montageplatte oder die Leiterplatte (12) und das Halbleiterelement (9) zusammen gebondet werden.
7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei die Drahtstruktur (20) in dem Drahtstruktur-Bildungs-Schritt derart gebildet wird, dass sie an der Seite ihres äußeren Randbereichs einen Biegungsbereich (11) aufweist, der eine maximale Höhe der Drahtstruktur (20) liefert; und wobei das Halbleiterelement (9) in dem Halbleiterelement-Montage-Schritt auf einem Bereich der Drahtstruktur (20) bei einer Höhe montiert wird, die niedriger als 80% der maximalen Höhe ist.
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, wobei der Drahtstruktur-Bildungs-Schritt einen Draht-Verbindungs-Schritt aufweist, um die Drähte (5) derart mit der ersten Ag-Schicht (4) zu verbinden, dass die Drähte parallel zueinander sind.
9. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, wobei der Drahtstruktur-Bildungs-Schritt einen Draht-Verbindungs-Schritt aufweist, um die Drähte (5) mit der ersten Ag-Schicht (4) zu verbinden, während sich die Drähte (5) von einer äußeren Seite zu einer inneren Seite der Drahtstruktur (20) erstrecken.

10. Verfahren nach Anspruch 8, wobei, wenn die Dicke von jeder von der ersten Ag-Schicht (4) und der zweiten Ag-Schicht (10) mit z angegeben ist, der Drahtdurchmesser der Drähte (5) mit x angegeben ist und das Rastermaß, mit dem die Drähte (5) angeordnet sind, mit y angegeben ist, die folgenden Relationen erfüllt sind:  
 $y = 2,5x$ ,  $z \geq 0,53x$ ,  $z \geq 0,21y$ .

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei, wenn eine Dicke der Sn-Schicht (8) mit t angegeben ist, die folgenden Relationen erfüllt sind:  
 $t \geq 0,68x$ ,  $t \geq 0,27y$ .

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 11, wobei der Drahtdurchmesser der Drähte (5) einen Wert von 12  $\mu\text{m}$  oder mehr, jedoch 50  $\mu\text{m}$  oder weniger besitzt.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 11, wobei die Dicke von jeder von der ersten Ag-Schicht (4) und der zweiten Ag-Schicht (10) einen Wert von 6,3  $\mu\text{m}$  oder mehr, jedoch 26,3  $\mu\text{m}$  oder weniger besitzt.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 8, 10 und 11, wobei das Rastermaß, mit dem die Drähte (5) angeordnet sind, 30  $\mu\text{m}$  oder mehr, jedoch 125  $\mu\text{m}$  oder weniger beträgt.

15. Verfahren nach Anspruch 11, wobei die Dicke der Sn-Schicht (8) einen Wert von 9  $\mu\text{m}$  oder mehr, jedoch 35  $\mu\text{m}$  oder weniger besitzt.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 15, wobei in der Sn-Schicht, abgesehen von Sn, zumindest eine von den Substanzen Ag, Cu, Sb, Bi, In, Zn, Mg, Si, P, Ga, Ni, Co und Ge enthalten ist.

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

FIG. 1A

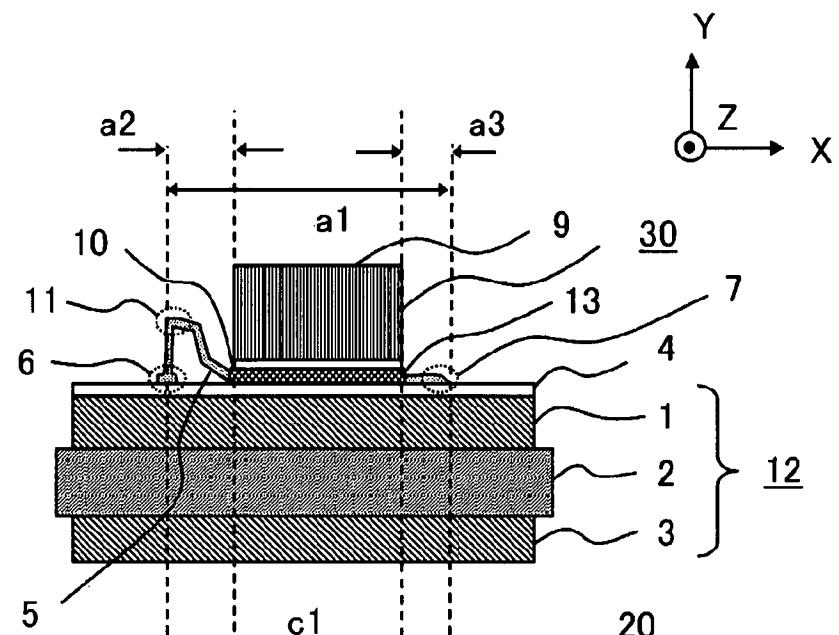


FIG. 1B

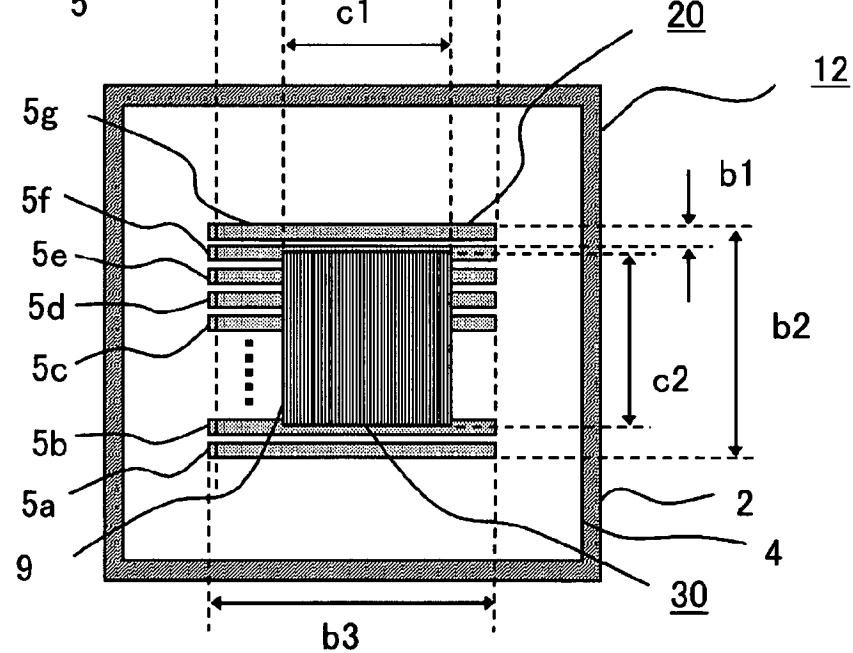


FIG. 2

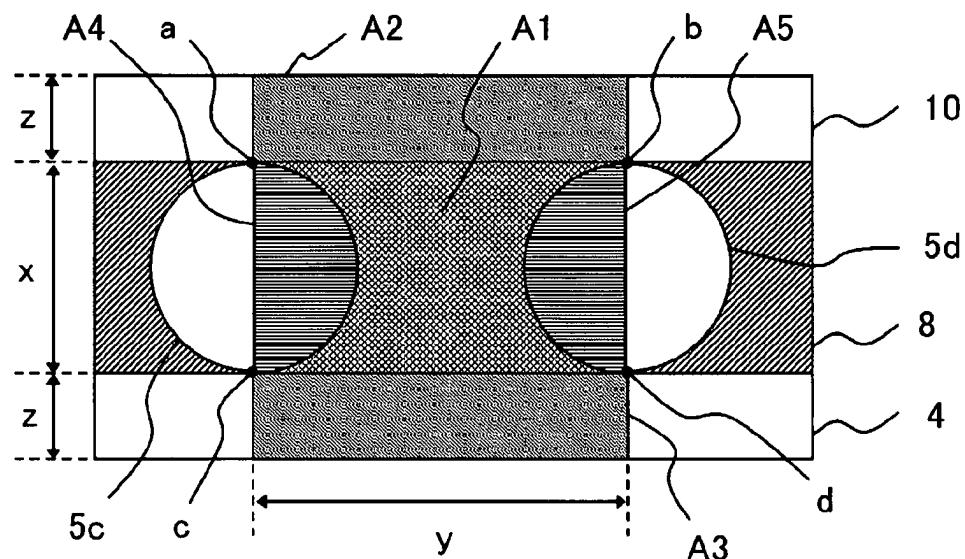


FIG. 3

		Ag	Sn	GESAMT
ATOMPROZENT (At.%)	VERHÄLTNIS	3	1	4
	PROZENT [%]	75%	25%	100%
MASSENPROZENT (Gew.%)	VERHÄLTNIS	81	30	111
	PROZENT [%]	73%	27%	100%
VOLUMENPROZENT (Vol.%)	VERHÄLTNIS	0.070	0.036	0.106
	PROZENT [%]	66%	34%	100%
DICHTE	g/cm <sup>3</sup>	10.5	7.4	-
ATOMGEWICHT	g/mol	108	119	-

FIG. 4A

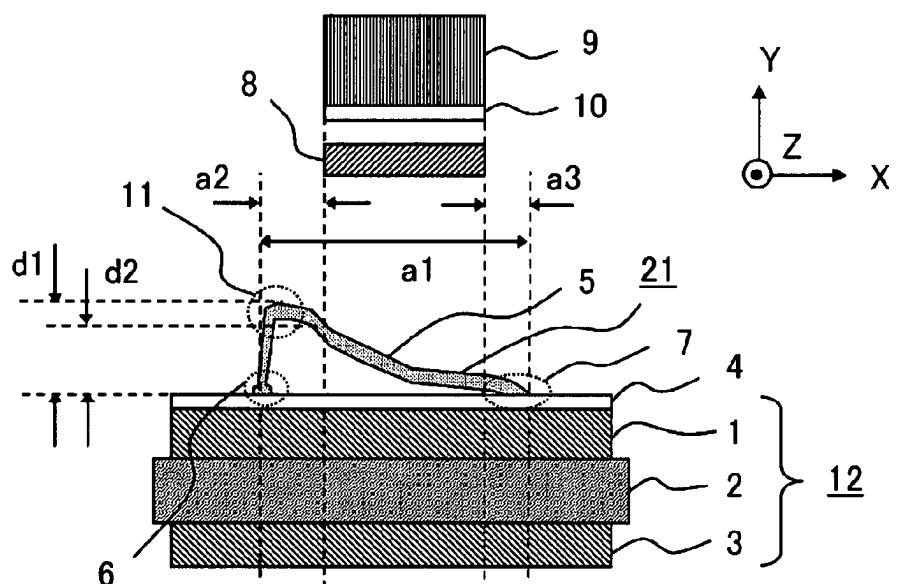


FIG. 4B

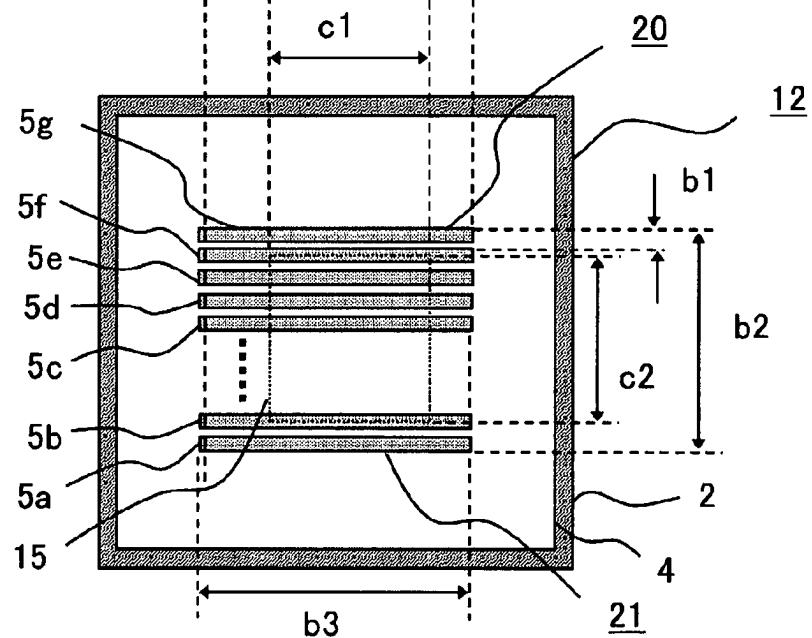


FIG. 5

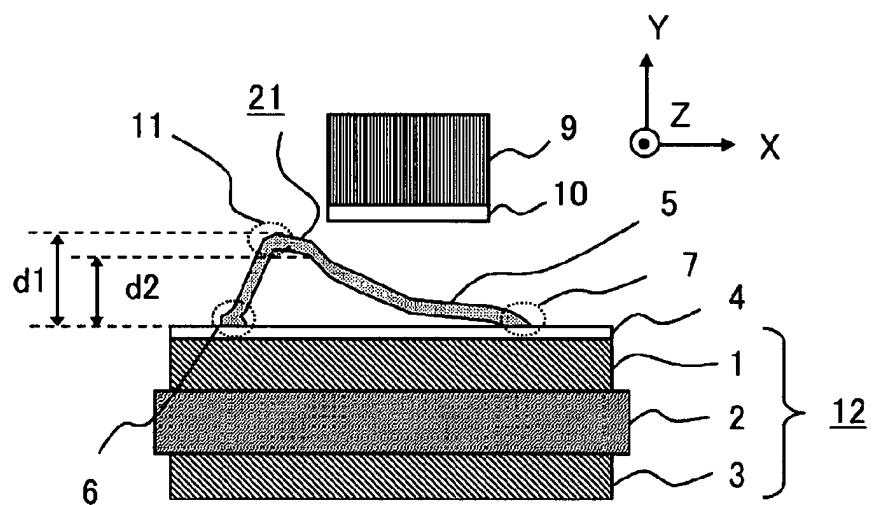


FIG. 6

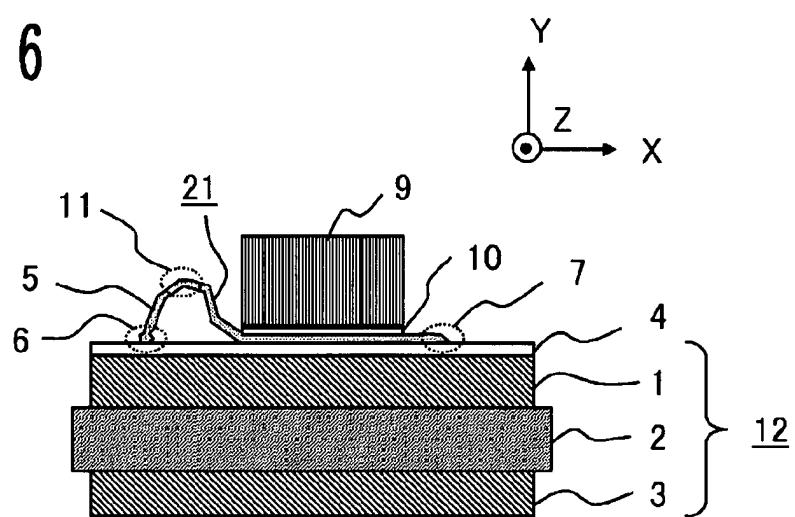


FIG. 7

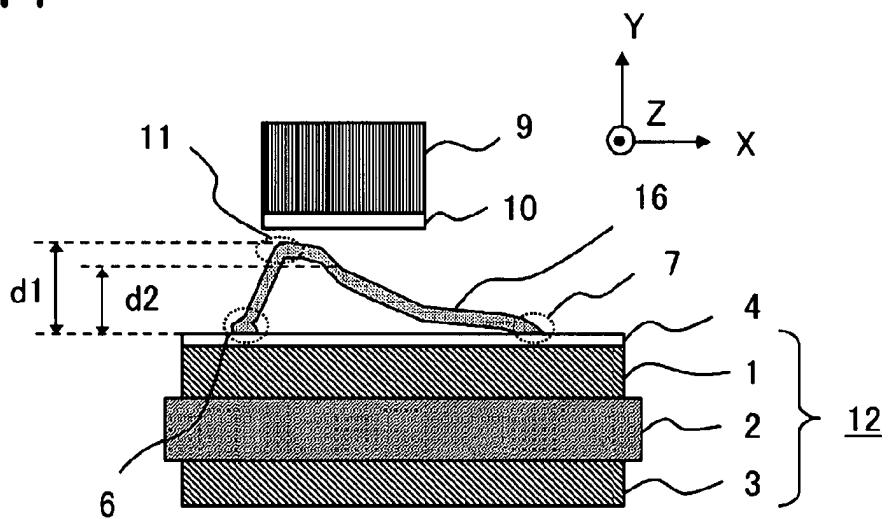


FIG. 8

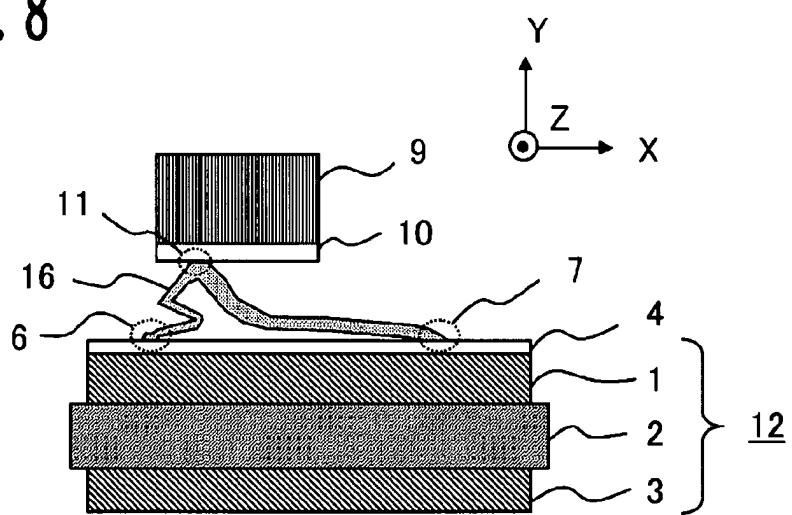


FIG. 9

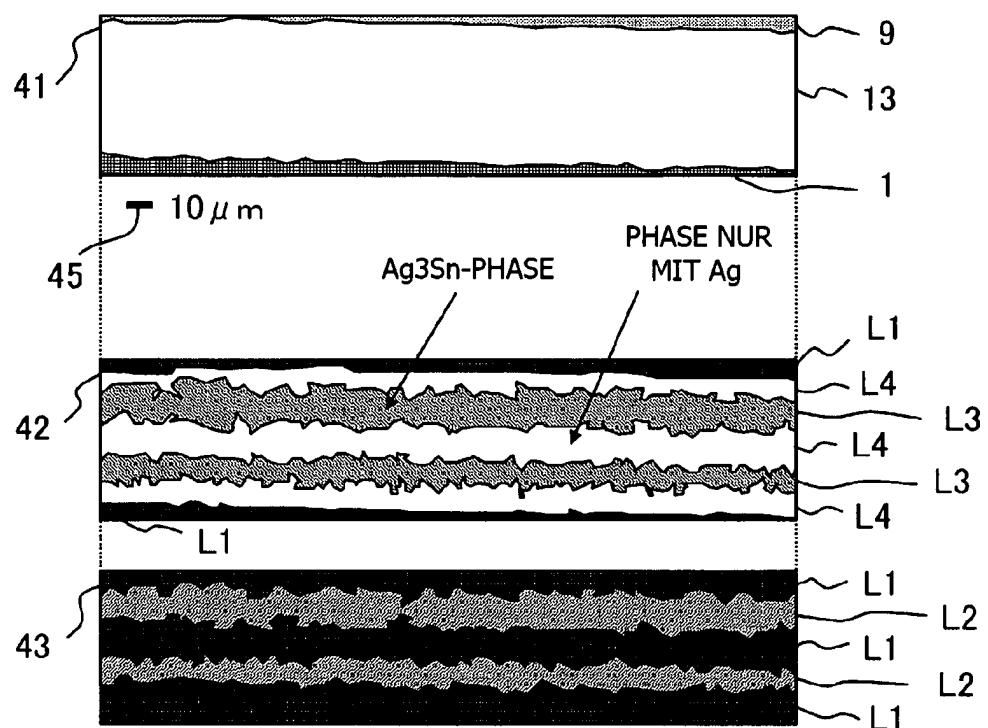


FIG. 10

	RICHTUNG DER DRAHTAUS- DEHNUNG	DRAHT- STÄRKE $x$ [ $\mu\text{m}$ ]	RASTER- MASS $y$ [ $\mu\text{m}$ ]	ERFORDER- LICHE PLATTE- RUNGS- DICKE [ $\mu\text{m}$ ]	TATSÄCH- LICHE PLATTE- RUNGS- DICKE z [ $\mu\text{m}$ ]	KOMPATIBILITÄT MIT THEORETISCHER FORMEL	ERFORDER- LICHE DICKE DER Sn-FOLIE [ $\mu\text{m}$ ]	TATSÄCH- LICHE DICKE DER Sn-FOLIE t [ $\mu\text{m}$ ]	LEGIERUNGS- BILDUNG	HOHL- RAUM- RATE
BEISPIEL 1	1 RICHTUNG	12.0	30.0	6.3	6.5	OK	8.2	9.0	OK	4
BEISPIEL 2	1 RICHTUNG	15.0	37.5	7.9	8.0	OK	10.3	11.0	OK	4
BEISPIEL 3	1 RICHTUNG	18.0	45.0	9.5	10.0	OK	12.3	13.0	OK	4
BEISPIEL 4	1 RICHTUNG	20.0	50.0	10.5	11.0	OK	13.7	14.0	OK	3
BEISPIEL 5	1 RICHTUNG	23.0	57.5	12.1	12.5	OK	15.8	15.5	OK	2
BEISPIEL 6	1 RICHTUNG	25.0	62.5	13.1	14.0	OK	17.1	17.5	OK	3
BEISPIEL 7	1 RICHTUNG	30.0	75.0	15.8	16.5	OK	20.6	21.0	OK	3
BEISPIEL 8	1 RICHTUNG	35.0	87.5	18.4	19.0	OK	24.0	25.0	OK	2
BEISPIEL 9	1 RICHTUNG	40.0	100.0	21.0	21.0	OK	27.4	28.0	OK	2
BEISPIEL 10	1 RICHTUNG	50.0	125.0	26.3	27.0	OK	34.3	35.0	OK	0
VERGLEICHS- BEISPIEL 1	1 RICHTUNG	12.0	30.0	6.3	6.0	NG	8.2	9.0	NG	2
VERGLEICHS- BEISPIEL 2	1 RICHTUNG	20.0	50.0	10.5	9.0	NG	13.7	14.0	NG	4
VERGLEICHS- BEISPIEL 3	1 RICHTUNG	30.0	75.0	15.8	14.0	NG	20.6	21.0	NG	2
VERGLEICHS- BEISPIEL 4	1 RICHTUNG	50.0	125.0	26.3	25.0	NG	34.3	35.0	NG	2

FIG. 11

	RICHTUNG DER DRAHTAUSDEHNUNG	DRAHTSTÄRKE x [µm]	RASTERMASS y [µm]	ERFORDERLICHE PLATTIERUNGS-DICKE [µm]	TATSÄCHLICHE PLATTIERUNGS-DICKE z [µm]	KOMPATIBILITÄT MIT THEORETISCHER FORMEL	ERFORDERLICHE DICKE DER Sn-FOLIE [µm]	TATSÄCHLICHE DICKE DER Sn-FOLIE t [µm]	LEGIERUNGS-BILDUNG	HOHLRAUM-RATE
BEISPIEL 11	1 RICHTUNG	12.0	40.0	8.4	9.0	OK	9.2	10.0	OK	3
BEISPIEL 12	1 RICHTUNG	20.0	60.0	12.6	13.0	OK	14.8	16.0	OK	4
BEISPIEL 13	1 RICHTUNG	30.0	80.0	16.8	17.0	OK	21.2	22.0	OK	2
BEISPIEL 14	1 RICHTUNG	50.0	140.0	29.4	31.0	OK	36.0	37.0	OK	1
VERGLEICHS-BEISPIEL 5	2 RICHTUNGEN	30.0	75.0	-	16.5	-	-	50.0	NG	15
VERGLEICHS-BEISPIEL 6	2 RICHTUNGEN	30.0	75.0	-	16.5	-	-	40.0	OK	20

FIG. 12

	1 MINUTE	3 MINUTEN	5 MINUTEN	10 MINUTEN
250°C	3.8	7.0	8.5	12.7
300°C	10.8	16.8	21.3	32.5
350°C	14.0	24.2	31.3	42.0
400°C	31.5	53.0	71.6	102.1

FIG. 13

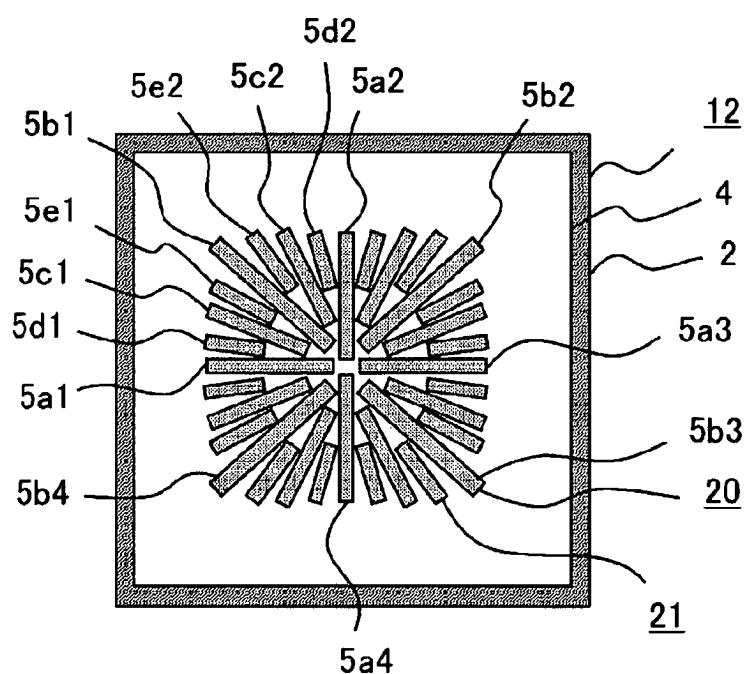


FIG. 14

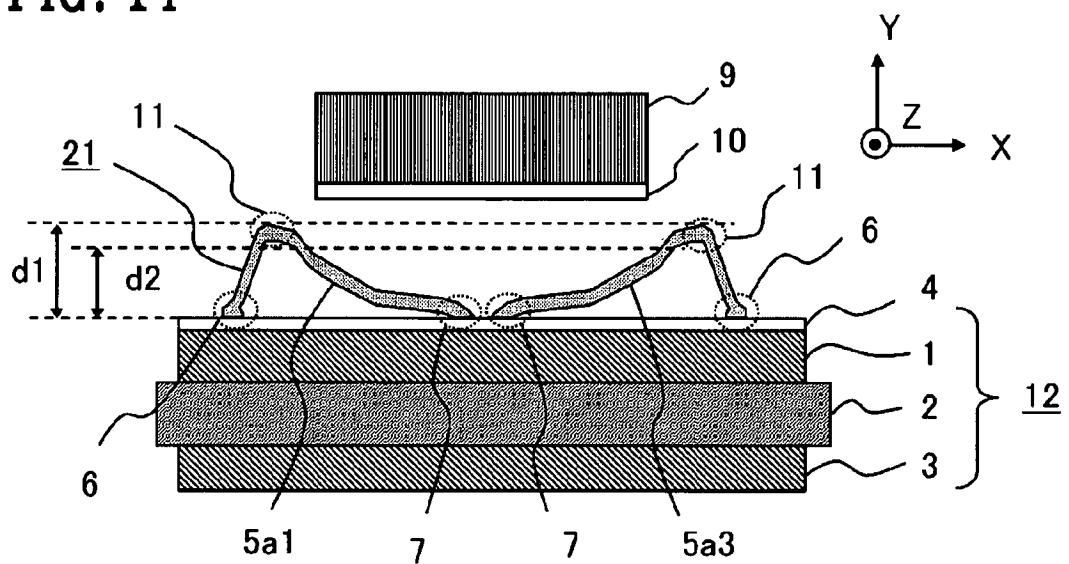


FIG. 15

