



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 202432852 A

(43)公開日：中華民國 113 (2024) 年 08 月 16 日

(21)申請案號：112146769

(22)申請日：中華民國 112 (2023) 年 12 月 01 日

(51)Int. Cl.：

C22C21/02 (2006.01)

C22F1/043 (2006.01)

(30)優先權：2022/12/05

日本

2022-194009

2023/06/30

世界智慧財產權組織

PCT/JP2023/024324

(71)申請人：日商日鐵化學材料股份有限公司(日本)NIPPON STEEL CHEMICAL &amp; MATERIAL CO., LTD. (JP)

日本

日商日鐵新材料股份有限公司(日本)NIPPON MICROMETAL CORPORATION

(JP)

日本

(72)發明人：宇野智裕 UNO, TOMOHIRO (JP)；小田大造 ODA, DAIZO (JP)；江藤基稀 ETO, MOTOKI (JP)；須藤裕弥 SUTO, YUYA (JP)

(74)代理人：陳長文

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：5 項 圖式數：3 共 41 頁

(54)名稱

Al 連接材料

(57)摘要

本發明提供一種能夠於製造時抑制內部裂痕之產生並且呈現出優異之溫度循環可靠性之 Al 連接材料。本發明之 Al 連接材料含有 3.0 質量%以上 12.0 質量%以下之 Si，且含有總計 5 質量 ppm 以上 800 質量 ppm 以下之 Sr、Na、Eu、Ca 之任意一種以上。

## 【發明摘要】

### 【中文發明名稱】

Al連接材料

### 【中文】

本發明提供一種能夠於製造時抑制內部裂痕之產生並且呈現出優異之溫度循環可靠性之Al連接材料。本發明之Al連接材料含有3.0質量%以上12.0質量%以下之Si，且含有總計5質量ppm以上800質量ppm以下之Sr、Na、Eu、Ca之任意一種以上。

### 【指定代表圖】

無

### 【代表圖之符號簡單說明】

無

## 【發明說明書】

### 【中文發明名稱】

Al連接材料

### 【技術領域】

#### 【0001】

本發明係關於一種Al連接材料。

### 【先前技術】

#### 【0002】

半導體裝置中，藉由接合線(線材)或接合帶(條材)將形成於半導體晶片上之電極與引線框架或基板上之電極之間連接。功率半導體裝置中主要使用以鋁(Al)作為材質之接合線或接合帶。Al接合線之線徑主要為100  $\mu\text{m}$  ~ 600  $\mu\text{m}$ 之範圍，Al接合帶之寬度主要為100  $\mu\text{m}$  ~ 3000  $\mu\text{m}$ 之範圍，厚度主要為50  $\mu\text{m}$  ~ 600  $\mu\text{m}$ 之範圍。此處，亦將Al接合線或Al接合帶統稱為Al連接材料。

#### 【0003】

於功率半導體裝置中，多數情況下使用矽(Si)作為半導體晶片之材料，又，使用Al-Si合金或Al-Cu合金作為形成於半導體晶片上之電極之材料。又，使用了Al連接材料之功率半導體裝置多數情況下被用作空調或太陽能發電系統等大功率機器、車載用半導體裝置。

#### 【0004】

關於Al連接材料之接合方法，存在與半導體晶片上之電極之第一接合及與引線框架或基板上之電極之第二接合，均使用了楔型接合。所謂楔型接合，係指經由金屬製治具(工具)對Al連接材料施加超音波振動及荷

重，破壞Al連接材料與電極材料之表面氧化膜而使新生面露出，進行固相擴散接合的方法。該連接方法之特徵在於不使連接材料熔融而以固相狀態連接，係與使連接材料熔融之熔接技術不同之接合技術。

#### 【0005】

對於下一代功率半導體裝置，要求與通用功率半導體裝置相比持續長時間穩定地動作。功率半導體裝置係反覆進行電流之接通、斷開而動作。當經由Al連接材料對Si製半導體晶片供給電流時，第一接合部之溫度上升。另一方面，當停止供給電流時，第一接合部之溫度降低。如此，於功率半導體進行動作時，第一接合部反覆升溫、降溫。如此，對第一接合部反覆施加因Al連接材料與半導體晶片之熱膨脹差所產生之熱應力。於使用僅由高純度Al所構成之連接材料之情形時，Al連接材料由於熱應力而在相對較短時間內被破壞，難以滿足下一代功率半導體裝置所要求之性能。因此，對於下一代功率半導體，要求伴隨第一接合部之升溫、降溫之接合部壽命(以下，亦稱為「溫度循環可靠性」)之提高。

#### 【0006】

針對溫度循環可靠性之要求，提出有著眼於提高機械強度之Al連接材料。作為提高Al連接材料之機械特性之方法，提出有於Al中添加特定元素之方法。

#### 【0007】

專利文獻1中揭示有包含Al合金之接合線，上述Al合金至少含有鎂(Mg)及矽(Si)，且Mg及Si之合計含量為0.03質量%以上0.3質量%以下。本專利文獻中揭示有：藉由基於Mg或Si之固溶強化所獲得之高強度化之效果或基於所析出之矽化鎂(Mg<sub>2</sub>Si)所獲得之龜裂進展抑制效果，延緩了

70°C至120°C之溫度範圍內之冷溫度循環試驗中第一接合部之接合強度之降低。

#### 【0008】

專利文獻2中揭示有一種接合線，其特徵在於：包含如下合金，該合金含有0.01~0.2質量%之鐵(Fe)、1~20質量ppm之矽(Si)，剩餘部分為純度99.997質量%以上之Al，Fe之固容量為0.01~0.06%，Fe之析出量為Fe之固容量之7倍以下，且該接合線係平均結晶粒徑為6~12 μm之微細組織。本專利文獻中揭示有：藉由使Fe與Al之金屬間化合物粒子均勻地分散於Al中而提高基體之機械強度，進而使再結晶粒微細化，從而能夠抑制-50°C至200°C之溫度範圍內之熱衝擊試驗中第一接合部之接合強度之降低。

#### 【0009】

專利文獻3中揭示有一種接合線，其係使含有0.1~5質量%之矽(Si)且剩餘部分包含Al及雜質之Al-Si合金熔融，將其噴出急冷並成形為細線而成。本專利文獻中揭示有：藉由將熔融之Al-Si合金進行急冷，使Si微細且均勻地分散，從而提高機械強度。

[先前技術文獻]

[專利文獻]

#### 【0010】

[專利文獻1]日本專利特開2014-131010號公報

[專利文獻2]日本專利特開2014-129578號公報

[專利文獻3]日本專利特開昭59-57440號公報

#### 【發明內容】

[發明所欲解決之問題]

**【0011】**

如上所述，對於下一代功率半導體裝置，要求與通用功率半導體裝置相比能夠耐受更長時間之使用。於功率半導體裝置進行動作時，第一接合部之溫度係反覆進行升溫、降溫。其結果為，由於Al連接材料之線膨脹係數大於半導體晶片，故於第一接合部中產生因兩者之線膨脹係數差所引起之熱應力，有時最終導致Al連接材料發生疲勞破壞。作為對伴隨該第一接合部之升溫、降溫之接合部之壽命(溫度循環可靠性)進行加速評價之試驗之一，有溫度循環試驗。對於下一代功率半導體中使用之Al連接材料，要求於溫度循環試驗中表現出優異之溫度循環可靠性。然而，於使用如專利文獻1~3所揭示之藉由添加Si等而高強度化之Al連接材料之情形時，確認到存在如下問題：於假定在下一代功率半導體裝置中使用之溫度循環試驗中，於強度低於Al連接材料之Al合金電極內，龜裂以相對較快之速度進展，而難以穩定地獲得良好之溫度循環可靠性。

**【0012】**

又，關於含有高濃度之合金元素之Al合金，由於硬質化而產生加工性之降低、製造良率之變差、品質之降低等，阻礙實用化。關於藉由添加Si等而高強度化之Al連接材料，發現存在拉線加工時於Al連接材料內產生裂痕(以下，稱為「內部裂痕」)之情形。認為其原因在於粗大之Si晶化物之形成、Al相之不均勻之塑性變形等。內部裂痕有時會誘發溫度循環可靠性之降低、施加大電流時之熔融斷裂等不良，因此要求抑制內部裂痕之產生。

**【0013】**

本發明之目的在於提供一種能夠於製造時抑制內部裂痕之產生並且呈現出優異之溫度循環可靠性之Al連接材料。

[解決問題之技術手段]

**【0014】**

本發明人等針對上述問題努力研究，結果發現，含有3.0質量%以上12.0質量%以下之Si，且含有總計5質量ppm以上800質量ppm以下之Sr、Na、Eu、Ca之任意一種以上的Al連接材料能夠解決上述問題，藉由基於上述知識見解進一步反覆研究，從而完成了本發明。

**【0015】**

即，本發明包含以下內容。

< 1 >

一種Al連接材料，其含有3.0質量%以上12.0質量%以下之Si，且含有總計5質量ppm以上800質量ppm以下之Sr、Na、Eu、Ca之任意一種以上。

< 2 >

如< 1 >中記載之Al連接材料，其中於測定該Al連接材料之L剖面(包含中心軸之中心軸方向之剖面)中之Si相之結晶方位時，角度差相對於中心軸方向為15°以下之< 111 >結晶方位與< 110 >結晶方位之方位比率之總計為20%以上70%以下。

< 3 >

如< 1 >或< 2 >中記載之Al連接材料，其L剖面中之Si相之平均徑為0.8 μm以上4 μm以下。

< 4 >

如<1>至<3>中任一項記載之Al連接材料，其進而含有總計10質量ppm以上500質量ppm以下之Ti、B、Zr之任意一種以上。

<5>

如<1>至<4>中任一項記載之Al連接材料，其進而含有總計5質量ppm以上500質量ppm以下之Ni、Y、Yb、Sc之任意一種以上。

[發明之效果]

#### 【0016】

根據本發明，可提供一種能夠於製造時抑制內部裂痕之產生並且呈現出優異之溫度循環可靠性之Al連接材料。

#### 【圖式簡單說明】

#### 【0017】

圖1係用以說明對Al連接材料測定Si相之結晶方位、平均徑時之測定對象面(檢查面)之概略圖。測定對象面係Al連接材料之包含中心軸之中心軸方向之剖面(L剖面)。

圖2係用以說明第一接合部之空洞缺陷之概略圖。

圖3係藉由軟X射線透過裝置觀察到之Al連接材料之內部裂痕之一例。

#### 【實施方式】

#### 【0018】

以下，對本發明基於其適宜之實施方式進行詳細說明。說明時有時亦參照圖式，但各圖式只不過是在能夠理解發明之程度上概略性地示出構成要素之形狀、大小及配置。本發明並不限定於下述實施方式及例示物，可於不脫離本發明之申請專利範圍及其均等之範圍之範圍內任意地變更而

實施。

### 【0019】

[Al連接材料]

本發明之Al連接材料之特徵在於：含有3.0質量%以上12.0質量%以下之Si，且含有總計5質量ppm以上800質量ppm以下之Sr、Na、Eu、Ca之任意一種以上。

### 【0020】

如上所述，於溫度循環試驗(TCT)中，於使用僅由高純度Al所構成之連接材料之情形時，龜裂在該連接材料之內部以相對較快之速度進展，難以獲得良好之溫度循環可靠性。另一方面，確認到：於使用藉由添加Si等而高強度化之Al連接材料之情形時，龜裂在強度相對較低之Al合金電極內進展，因此難以獲得下一代功率半導體裝置所要求之溫度循環可靠性。進而，關於藉由添加Si等而高強度化之Al連接材料，有於其製造時產生內部裂痕之情形。

### 【0021】

本發明人等為了解決上述問題而努力研究，結果發現，根據含有3.0質量%以上12.0質量%以下之Si且含有總計5質量ppm以上800質量ppm以下之Sr、Na、Eu、Ca之任意一種以上的Al連接材料，能夠於其製造時抑制內部裂痕之產生，並且能夠帶來優異之溫度循環可靠性。該本發明之Al連接材料非常有助於實現下一代功率半導體裝置所要求之溫度循環可靠性。

### 【0022】

本發明之Al連接材料含有3.0質量%以上12.0質量%以下之Si，包含

Al中固溶有Si之Al相及Si晶化或析出而形成之Si相。此處，Al相亦可除Si以外還固溶有其他添加元素。又，Si相係Si晶化物與Si析出物之總稱，Si晶化物係於凝固中由溶解液形成，尺寸為1~20 μm左右而較為粗大，與此相對，Si析出物係由固體狀態形成，尺寸為0.1~數 μm左右而較小。

#### 【0023】

關於本發明之Al連接材料能夠抑制製造時之內部裂痕之產生並且能夠帶來優異之溫度循環可靠性之原因，推測如下。

#### 【0024】

關於溫度循環可靠性，認為Si相之線膨脹係數小於Al，有助於縮小Al連接材料與半導體晶片之線膨脹係數差，進而能夠減少所產生之熱應力，又，粒子狀之Si相能夠抑制在接合界面處所產生之裂痕向Al連接材料內部之生長。

#### 【0025】

又，關於內部裂痕，認為於包含粗大之Si晶化物之Si相之表面，產生與Al相之密接性之降低或與Al相之剝離，成為裂痕之起點。關於該點，認為若含有高濃度之Si並且含有規定量之Sr、Na、Eu、Ca之任意一種以上(以下，亦稱為「第1元素群」)，則能夠獲得提高Si相與Al相之界面之密接性之效果，抑制內部裂痕之產生。認為其原因在於，第1元素群之一部分於Si相之表面濃化而使密接性提高，或藉由添加第1元素群，Si相之形狀接近於粒狀、球形而使密接性提高等。

#### 【0026】

如上所述，關於本發明之Al連接材料，有助於抑制內部裂痕及提高溫度循環可靠性之因素被適當控制，故推測能夠如上所述抑制製造時之內

部裂痕之產生並且帶來優異之溫度循環可靠性。

### 【0027】

-Si濃度-

藉由使Si濃度為3.0質量%以上12.0質量%以下之範圍，有助於減少接合部之熱應變，提高溫度循環特性。若未達3.0質量%，則改善效果較小，若超過12.0質量%，則存在因硬質化導致初期接合強度降低、半導體晶片損傷等問題。就獲得良好之溫度循環可靠性之觀點而言，本發明之Al連接材料中之Si濃度為3.0質量%以上，較佳為3.5質量%以上，更佳為3.6質量%以上、3.8質量%以上、4.0質量%以上、4.2質量%以上、4.4質量%以上、4.5質量%以上、4.6質量%以上、4.8質量%以上或5.0質量%以上。另一方面，若Al連接材料之硬度過大，則於一般使用之超音波振動、荷重之接合條件下，容易在第一接合時產生半導體晶片之損傷。就於一般之接合條件下進行第一接合之情形時獲得良好之接合強度之觀點而言，本發明之Al連接材料中之Si濃度為12.0質量%以下，較佳為11.5質量%以下或11.0質量%以下，更佳為10.8質量%以下、10.6質量%以下、10.5質量%以下、10.4質量%以下、10.2質量%以下或10.0質量%以下。

### 【0028】

關於本發明之Al連接材料中所含之元素之濃度分析，例如可利用ICP(Inductively Coupled Plasma，電感耦合電漿)發射光譜分析裝置或ICP質譜分析裝置。於在Al連接材料之表面吸附有氧或碳等源於來自大氣中之污染物之元素之情形時，有效的是於進行分析之前根據所吸附之物質而利用酸或鹼進行洗淨。

### 【0029】

-第1元素群之濃度-

就能夠抑制製造時之內部裂痕之產生並且獲得良好之溫度循環可靠性之觀點而言，本發明之Al連接材料中之第1元素群之總計濃度為5質量ppm以上，較佳為10質量ppm以上，更佳為20質量ppm以上、30質量ppm以上、40質量ppm以上或50質量ppm以上，進而較佳為60質量ppm以上、80質量ppm以上或100質量ppm以上，其上限為800質量ppm以下，較佳為750質量ppm以下或700質量ppm以下，更佳為650質量ppm以下或600質量ppm以下，進而較佳為580質量ppm以下、560質量ppm以下或550質量ppm以下。若第1元素群之總計濃度處於上述適宜範圍，則就容易抑制半導體晶片之損傷並且達成良好之第一接合強度之觀點而言亦有益。

【0030】

-L剖面中之Si相之結晶方位-

就獲得更進一步良好之溫度循環可靠性之觀點、減少拉線加工中之斷線之發生頻度之觀點而言，於測定Al連接材料之L剖面中之Si相之結晶方位時，角度差相對於中心軸方向為 $15^\circ$ 以下之 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位與 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位之方位比率之總計(以下，亦稱為「Si相之 $\langle 111 \rangle + \langle 110 \rangle$ 總計比率」)較佳為處於20%以上70%以下之範圍。本發明中，所謂Al連接材料之L剖面、即Al連接材料之包含中心軸之中心軸方向之剖面，如後述「(Si相之結晶方位之測定方法)」一欄中參照圖1所說明。

【0031】

若除控制上述Al合金組成以外，還使Si相之 $\langle 111 \rangle + \langle 110 \rangle$ 總計比率處於上述範圍，則能夠獲得至發生接合強度降低之不良為止之試驗次數延長、適應溫度循環試驗中之溫度差之擴大等效果，達成更進一步良好

之溫度循環可靠性。認為其原因在於，藉由使Si相之 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位與 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位保持一致，可基於Si相與Al相之界面之密接性提高之作用、減少Al連接材料之中心軸方向之變形之作用等，表現出抑制因溫度循環試驗中之熱應變所引起之接合部之裂痕進展等不良的效果。又，以3.0質量%以上12.0質量%以下之高濃度含有Si之Al合金有於拉線步驟中發生斷線之頻度增加之傾向。認為原因之一在於，凝固時晶化之Si相之粒子於拉線加工中引起應力集中，而誘發斷線。關於該點，推測若含有規定量之第1元素群並且將Si相之 $\langle 111 \rangle + \langle 110 \rangle$ 總計比率調整為上述適宜範圍，則可藉由緩和拉線中之應力集中之作用等而減少斷線。就獲得更優異之溫度循環可靠性並且減少拉線加工中之斷線之發生頻度之觀點而言，Si相之 $\langle 111 \rangle + \langle 110 \rangle$ 總計比率更佳為25%以上，進而較佳為26%以上、28%以上或30%以上，其上限更佳為65%以下，進而較佳為60%以下、58%以下、56%以下、55%以下、54%以下、52%以下或50%以下。

### 【0032】

測定Al連接材料之L剖面中之Si相之 $\langle 111 \rangle + \langle 110 \rangle$ 總計比率時，可使用將藉由SEM-EDS(Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectrometer，掃描式電子顯微鏡-能量分散型光譜儀)所獲得之Al濃度及Si濃度之資訊與藉由背向散射電子束繞射法(EBSD)所獲得之結晶方位之資訊進行組合之方法。詳細而言，於以Al連接材料之L剖面作為檢查面之測定區域中，同時進行使用EDS之Al及Si之濃度測定與使用EBSD之結晶方位解析。繼而，利用裝置附帶之解析軟體，自EDS之測定結果分離、提取Al相與Si相。具體而言，適宜利用FE-SEM裝置附帶之解析軟體OIM Data Collection或OIM Anaysis(兩者均為TSL Solution製造)

之功能即化學輔助掃描(Chi Scan)功能。然後，針對特定為Si相之區域，可藉由利用裝置附帶之解析軟體而算出Si相之 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位與 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位之方位比率。於計算該方位比率時，使用部分比率(Partial Ratio)，該部分比率係僅將測定區域內能以某可靠度為基準而鑑定出之結晶方位之面積作為母體而算出。因此，於一實施方式中，本發明之Al連接材料之L剖面中之Si相之結晶方位之方位比率係按照以下(1)至(3)之程序而算出。

(1)於以Al連接材料之L剖面作為檢查面之測定區域中，同時進行使用EDS之Al及Si之濃度測定與使用EBSD之結晶方位測定。

(2)利用化學輔助掃描功能分離、提取Al與Si。具體而言，根據Si之EDS之測定結果設定相當於Si之閾值之容差(Tolerance)，藉此可分離並識別Al與Si。可自材料檔案中使用Al與Si之結晶資訊對結晶方位進行解析。

(3)對特定為Si相之區域進行結晶方位之解析，算出Si相之 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位之方位比率與 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位之方位比率。

### 【0033】

於上述(2)之程序中，容差(%)之設定可於20~40%之範圍內選定，於Al連接材料之L剖面之標準解析中，較佳為以約30%進行比較。對調整該容差之程序進行補充說明。較佳為選定或確認容差之數值，使得與自將EDS分析之Si元素濃度二維地顯示之EDS圖識別之Si相之形狀、大小相比，利用化學輔助掃描功能提取、識別之Si相之形狀、大小為同等程度。

### 【0034】

本發明中，L剖面中之Si相之 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位之方位比率與 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位之方位比率設為測定3個部位以上所獲得之各值之平均值。於選

擇測定區域時，就確保測定資料之客觀性之觀點而言，較佳為自測定對象之Al連接材料，相對該Al連接材料之中心軸方向以50 cm以上之間隔獲取測定用試樣，供於測定。又，本發明中，利用EBSD法之結晶方位之測定區域較理想為Al連接材料之中心軸方向之長度為300  $\mu\text{m}$ 以上且未達800  $\mu\text{m}$ ，於Al連接材料之與中心軸垂直之方向上包含Al連接材料整體，但於尺寸較大而無法測定整體之情形時，可於未達600  $\mu\text{m}$ 之範圍內調整。

### 【0035】

-L剖面中之Si相之平均徑-

本發明之Al連接材料較佳為其L剖面中之Si相之平均徑為0.8  $\mu\text{m}$ 以上4  $\mu\text{m}$ 以下。

### 【0036】

關於藉由添加Si等而高強度化之Al連接材料，容易於第一接合時損傷半導體晶片，若為了減少該損傷而調整超音波振動或荷重，則有發生於Al連接材料與電極之接合區域之中央附近形成金屬接合不充分之部位之現象(以下，亦稱為「空洞」)的情形。產生空洞之部分由於金屬接合不充分，故成為接合強度之降低、或溫度循環試驗中之不良之起點。

### 【0037】

若L剖面中之Si相之平均徑為0.8  $\mu\text{m}$ 以上4  $\mu\text{m}$ 以下之範圍，則能夠抑制第一接合部之空洞。藉由控制Si相之平均徑，能夠獲得促進有助於接合之Al相之變形、或提高超音波振動向接合區域之中央部之傳輸效率等效果，從而抑制空洞。

### 【0038】

就能夠進一步抑制第一接合部之空洞之觀點而言，本發明之Al連接

材料之L剖面中之Si相之平均徑更佳為3.5  $\mu\text{m}$ 以下，進而較佳為3.4  $\mu\text{m}$ 以下、3.2  $\mu\text{m}$ 以下或3  $\mu\text{m}$ 以下，其下限更佳為1  $\mu\text{m}$ 以上，進而較佳為1.2  $\mu\text{m}$ 以上。

### 【0039】

對Al連接材料之L剖面中之Si相之平均徑的測定方法進行說明。測定L剖面中之Si相之平均徑時，可與上述Si相之 $\langle 111 \rangle + \langle 110 \rangle$ 總計比率之測定同樣地，使用將藉由SEM-EDS所獲得之Al濃度及Si濃度之資訊與藉由EBSD所獲得之結晶方位之資訊進行組合之方法。詳細之程序可設為與上文中關於Si相之 $\langle 111 \rangle + \langle 110 \rangle$ 總計比率之測定敘述之內容相同，即，針對特定為Si相之區域，可藉由利用裝置附帶之解析軟體而進行結晶方位之解析。若測定點間之方位差為 $15^\circ$ 以上，則判斷為晶界，算出圓當量直徑。將各Si相之圓當量直徑之平均值定義為Si相之平均徑。於求取Si相之平均徑之過程中，將無法測定結晶方位之部位，或即便能測定，方位解析之可靠度亦較低之部位排除在外而進行計算。因此，於一實施方式中，本發明之Al連接材料之L剖面中之Si相之平均徑係按照以下(1)至(3)之程序而算出。

(1)將Al連接材料之L剖面作為檢查面，同時進行使用EDS之Al及Si之濃度測定與使用EBSD之結晶方位測定。

(2)利用化學輔助掃描功能分離、提取Al與Si。具體而言，根據Si之EDS之測定結果設定相當於Si之閾值之容差，藉此可分離並識別Al與Si。可自材料檔案中使用Al與Si之結晶資訊對結晶方位進行解析。

(3)對特定為Si相之區域進行結晶方位之解析，若測定點間之方位差為 $15^\circ$ 以上，則判斷為晶界，求出各晶粒之圓當量直徑。然後，對各晶粒

之圓當量直徑進行平均計算而算出Si相之平均徑。此處，關於平均計算，採用藉由裝置附帶軟體中可選擇之面積平均(Area average)所求出之平均值。藉由採用由面積平均所求出之平均值，能夠精度良好地測定、判定對於可抑制第一接合部之空洞而言適宜之Si相之平均徑相關之條件成功與否。面積平均之計算係由將各粒子面積於所有粒子之面積中所占之比率乘以各粒子面積值所得之值之平均而算出，由軟體自動運算。

#### 【0040】

本發明中，於計算L剖面中之Si相之平均徑時，僅以直徑(圓當量直徑)為0.5  $\mu\text{m}$ 以上之Si相作為對象。藉此，能夠精度良好地判定對於可抑制第一接合部之空洞而言適宜之L剖面中之Si相之平均徑相關之必要條件成功與否。

#### 【0041】

於測定L剖面中之Si相之平均徑時，上述(2)之程序中之容差之設定範圍、測定用試樣之獲取方法或利用EBSD法之結晶方位之測定區域係與上文中關於Si相之 $\langle 111 \rangle + \langle 110 \rangle$ 總計比率之測定所敘述之內容相同。

#### 【0042】

再者，測定Si相之平均徑之方法除上述以外，還有包括根據L剖面之觀察圖像進行二值化處理之若干方法，但於本發明中，如上所述，使用將藉由SEM-EDS所獲得之Al濃度及Si濃度之資訊與藉由EBSD所獲得之結晶方位之資訊進行組合之方法，其原因在於：具備多種測定功能，藉由1次測定便求出上述Si相之 $\langle 111 \rangle + \langle 110 \rangle$ 總計比率、Si相之平均徑等複數種特性；能夠進行自動解析；裝置解析技術已普及而容易測定等。

#### 【0043】

-L剖面中之Al相之平均徑-

本發明之Al連接材料較佳為其L剖面中之Al相之平均徑為5  $\mu\text{m}$ 以上40  $\mu\text{m}$ 以下。

#### 【0044】

藉由使L剖面中之Al相之平均徑為5  $\mu\text{m}$ 以上40  $\mu\text{m}$ 以下之範圍，可獲得能夠減少第二接合中之接合強度之不均之較高效果。即，認為其原因在於以下兩種效果協同地發揮作用，即：藉由含有規定濃度之Si且含有規定量之作為第1元素群之Sr、Na、Eu、Ca之任意一種以上而促進超音波振動下之Al連接材料之變形的效果；及藉由將Al相之平均徑設為5  $\mu\text{m}$ 以上40  $\mu\text{m}$ 以下而使相對於Al連接材料之中心軸平行及垂直之兩個方向上之Al連接材料之變形均勻化的效果。

#### 【0045】

測定Al連接材料之L剖面中之Al相之平均徑時，可與Si相之平均徑之測定同樣地，使用將藉由SEM-EDS所獲得之Al濃度及Si濃度之資訊與藉由EBSD所獲得之結晶方位之資訊進行組合之方法。因此，於一實施方式中，本發明之Al連接材料之L剖面中之Al相之平均徑係於實施上述(1)及(2)之程序後，按照以下(3)之程序而算出。

(3)對特定為Al相之區域進行結晶方位之解析，若測定點間之方位差為 $15^\circ$ 以上，則判斷為晶界，求出各晶粒之圓當量直徑。然後，對各晶粒之圓當量直徑進行平均計算，算出Al相之平均徑。關於平均計算，係與Si相之平均徑之測定同樣地，採用藉由裝置附帶軟體中可選擇之面積平均所求出之平均值。

#### 【0046】

於計算L剖面中之Al相之平均徑時，僅以直徑(圓當量直徑)為0.5 μm以上之Al相作為對象。又，於測定L剖面中之Al相之平均徑時，上述(2)之程序中之容差之設定範圍、測定用試樣之獲取方法或利用EBSD法之結晶方位之測定區域係與上文中關於Si相之 $\langle 111 \rangle + \langle 110 \rangle$ 總計比率之測定所敘述之內容相同。

#### 【0047】

-Ti、B、Zr之添加-

本發明之Al連接材料亦可進而含有總計10質量ppm以上500質量ppm以下之Ti、B、Zr之任意一種以上(以下，亦稱為「第2元素群」)。

#### 【0048】

於施加超音波振動及荷重而接合Al連接材料之情形時，重要的是對其接合形狀進行管理。Al連接材料之接合形狀可於進行接合部之剪切強度試驗時，於斷裂部之壓痕中，根據Al連接材料之中心軸方向上之壓痕長度(以下，稱為「接合長度」)進行評價。減少該接合長度之不均而使其穩定化進而有助於提高溫度循環可靠性。關於該點，當為藉由添加Si等而高強度化之Al連接材料時，為了提高接合性，有效的是於接合時間之初期在超音波輸出較大之條件下進行接合。但是，若於此種接合條件下在變形初期施加較強之超音波振動，則有接合工具與Al連接材料之間之滑動變得不穩定，接合長度之不均增加之虞。

#### 【0049】

本發明人等在對含有3.0質量%以上12.0質量%以下之Si且含有規定量之第1元素群之Al連接材料進行研究之過程中發現，藉由進而含有總計10質量ppm以上500質量ppm以下之第2元素群，能夠於施加超音波振動及

荷重而接合Al連接材料時減少Al連接材料之接合長度之不均。認為，由於第2元素群於Al連接材料之表面濃化，或對Al連接材料之表面之氧化膜產生影響，故表現出控制Al連接材料之表面之摩擦、結晶組織、硬度等之作用。

#### 【0050】

就減少接合時之接合長度之不均，更良好地實現下一代功率半導體裝置所要求之溫度循環可靠性之觀點而言，本發明之Al連接材料中之第2元素群之總計濃度更佳為20質量ppm以上，進而較佳為30質量ppm以上、40質量ppm以上或50質量ppm以上，就容易抑制半導體晶片之損傷並且達成良好之第一接合強度之觀點而言，其上限較佳為450質量ppm以下，更佳為440質量ppm以下、420質量ppm以下或400質量ppm以下。

#### 【0051】

-Ni、Y、Yb、Sc之添加-

本發明之Al連接材料亦可進而含有總計5質量ppm以上500質量ppm以下之Ni、Y、Yb、Sc之任意一種以上(以下，亦稱為「第3元素群」)。

#### 【0052】

藉由進而含有總計5質量ppm以上500質量ppm以下之Ni、Y、Yb、Sc之任意一種以上，能夠抑制Al連接材料表面之劃傷、刮削之產生而形成平滑之表面。以3.0質量%以上12.0質量%以下之高濃度含有Si之Al合金由於產生表面之硬質化、或存在於表面之Si相及Al氧化物之脫落等，故有時於拉線加工中產生表面之劃傷、刮削，成為表面凹凸較大之Al連接材料。推測：藉由添加第3元素群，可促進Al連接材料表面之Al氧化物之穩定化、Al連接材料與模具之摩擦之減少等，藉此能夠減少拉線加工中之劃

傷、刮削。認為，藉由與第1元素群組合而添加第3元素群，能夠提高抑制Al連接材料表面之劃傷、刮削之產生而形成平滑之表面之效果。

#### 【0053】

就抑制表面之劃傷、刮削之產生而形成具有平滑表面之Al連接材料之觀點而言，本發明之Al連接材料中之第3元素群之總計濃度更佳為10質量ppm以上，進而較佳為20質量ppm以上、30質量ppm以上、40質量ppm以上或50質量ppm以上，就容易抑制半導體晶片之損傷並且達成良好之第一接合強度之觀點而言，其上限更佳為450質量ppm以下，進而較佳為440質量ppm以下、420質量ppm以下或400質量ppm以下。

#### 【0054】

作為製造本發明之Al連接材料時之鋁原料，適宜使用純度為4N(Al：99.99質量%以上)之Al，進而更適宜使用雜質量較少之5N(Al：99.999質量%以上)以上之Al。

#### 【0055】

於不阻礙本發明之效果之範圍內，本發明之Al連接材料亦可進而含有除Al、Si、第1元素群、第2元素群及第3元素群以外之元素(以下，亦稱為「其他元素」)。Al連接材料中之其他元素之總計濃度於不阻礙本發明之效果之範圍內並無特別限定。該其他元素之總計濃度例如可為0.5質量%以下、0.4質量%以下、0.3質量%以下、0.2質量%以下、0.15質量%以下、0.1質量%以下、0.08質量%以下、0.06質量%以下、0.05質量%以下、0.04質量%以下、0.03質量%以下、0.025質量%以下、0.02質量%以下、0.018質量%以下、0.016質量%以下、0.015質量%以下、0.014質量%以下、0.012質量%以下或0.01質量%以下。其他元素之總計濃度之下限並

無特別限定，可為0質量%。

#### 【0056】

一實施方式中，本發明之A1連接材料之剩餘部分包含A1及不可避免之雜質。因此，於適宜之一實施方式中，本發明之A1連接材料包含A1、Si、第1元素群之任意一種以上、及不可避免之雜質。於其他適宜之一實施方式中，本發明之A1連接材料包含A1、Si、第1元素群之任意一種以上、第2元素群之任意一種以上、及不可避免之雜質。於進而其他適宜之一實施方式中，本發明之A1連接材料包含A1、Si、第1元素群之任意一種以上、第3元素群之任意一種以上、及不可避免之雜質。於進而其他適宜之一實施方式中，本發明之A1連接材料包含A1、Si、第1元素群之任意一種以上、第2元素群之任意一種以上、第3元素群之任意一種以上、及不可避免之雜質。

#### 【0057】

於適宜之一實施方式中，本發明之A1連接材料於該A1連接材料之外周不具有以除A1以外之金屬作為主成分之被覆。此處，「以除A1以外之金屬作為主成分之被覆」係指除A1以外之金屬之含量為50質量%以上之被覆。

#### 【0058】

本發明之A1連接材料可為A1接合線，亦可為A1接合帶。於本發明之A1連接材料為A1接合線之情形時，其線徑並無特別限定，例如可為100～600  $\mu\text{m}$ 之範圍。於本發明之A1連接材料為A1接合帶之情形時，其矩形或大致矩形之剖面之尺寸(W×T)並無特別限定，例如W可為100～3000  $\mu\text{m}$ ，T可為50～600  $\mu\text{m}$ 。

**【0059】**

本發明之Al連接材料能夠於製造時抑制內部裂痕之產生並且能夠帶來優異之溫度循環可靠性。因此，本發明之Al連接材料可適宜地用作半導體裝置用之Al連接材料、尤其是功率半導體裝置用之Al連接材料。

**【0060】**

-Al連接材料之製造方法-

對本發明之Al連接材料之製造方法之一例進行說明。以下，基於線徑200~400  $\mu\text{m}$ 之Al接合線之製造說明一例。

**【0061】**

作為原材料之Al及合金元素以純度較高為佳。Al較佳為純度99.99質量%以上且剩餘部分包含不可避免之雜質者。作為合金元素使用之Si、第1元素群、第2元素群及第3元素群較佳為純度為99.9質量%以上且剩餘部分包含不可避免之雜質者。接合線所使用之Al合金可藉由在以能獲得圓柱形狀之錠之方式加工之石墨或氧化鋁製之坩鍋中裝填Al原料及合金元素之原料，使用電爐或高頻加熱爐進行熔解而製造。考慮到其後之加工步驟中之加工性，圓柱狀之錠之直徑較佳為設為 $\Phi 6$  mm以上且未達8mm。為了防止構成接合線之Al或其他元素被過度氧化，熔解時之爐內氛圍較佳為設為惰性氛圍或還原氛圍。考慮到既要確保熔液之流動性又要容易控制凝固時之Si相之形狀、尺寸等，熔解時之熔液之最高到達溫度較佳為設為800°C以上且未達1050°C之範圍。熔解後之冷卻方法可使用水冷、爐內冷卻、空氣冷卻等。

**【0062】**

於對藉由熔解所獲得之圓柱狀之錠進行在高溫下加熱之熔體化處理

之後，反覆進行使用模具之拉線加工，藉此可製造目標線徑之接合線。拉線加工後之接合線可藉由使用電爐進行最終熱處理而用作Al合金接合線。

#### 【0063】

為了控制L剖面中之Si相之結晶方位、粒徑，有效的是控制熔體化處理、均質化處理、最終熱處理等熱處理條件、及拉線加工條件等。拉線加工時，為了確保接合線與模具之接觸界面之潤滑性，有效的是使用潤滑液。

#### 【0064】

關於含有第1元素群(Sr、Na、Eu、Ca)之本發明之Al連接材料，有容易控制Si相之粒徑之傾向。由於第1元素群會影響Si相之形態，故製造條件之適當範圍有時根據第1元素群之種類或濃度而不同。

#### 【0065】

以下示出用以將L剖面中之Si相之 $\langle 111 \rangle + \langle 110 \rangle$ 總計比率控制於20%以上70%以下之範圍的製造條件之一例。

#### 【0066】

為了調整Si相之結晶方位，有效的是對錠進行2個階段之熱處理並且控制拉線加工之縮面率。

#### 【0067】

熔體化處理之溫度範圍設為400°C以上且未達550°C、時間設為1小時以上且未達6小時較為有效。於該熔體化處理後，在250°C以上且未達350°C、2小時以上且未達10小時之時間範圍內進行均質化處理較為有效。藉此，藉由促進凝固過程中晶化之Si相之分斷及生長，能夠促進關於Si相之結晶方位之 $\langle 111 \rangle$ 及 $\langle 110 \rangle$ 之配向。

**【0068】**

關於拉線加工條件，將拉線加工時使用之每1個模具之接合線縮面率設為10%以上且未達30%之範圍較為有效。此處，若將每1個模具之接合線縮面率設為P1，則P1由以下之式表示。

**【0069】**

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

式中， $R_2$ 表示加工前之接合線之直徑(mm)， $R_1$ 表示加工後之接合線之直徑(mm)。

**【0070】**

與通常之拉線加工條件相比，將接合線縮面率於上述較高之範圍(高縮面率)內進行調整，藉此於模具加工時使接合線整體大幅變形，加工應變增加至接合線內部，於Si相沿接合線中心軸方向排列之同時，調整Si相內之加工應變。藉由在此種拉線加工之狀態下實施其後之熱處理，能夠提高原子之密排性較高之 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位與 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位之方位比率。

**【0071】**

為了將L剖面中之Si相之平均徑調整為 $0.8 \mu\text{m}$ 以上 $4 \mu\text{m}$ 以下之範圍，有效的是將熔解時之溫度調整於 $800^\circ\text{C}$ 以上且未達 $1000^\circ\text{C}$ ，將澆鑄溫度調整於 $700^\circ\text{C}$ 以上且未達 $780^\circ\text{C}$ 之範圍內，且將熔體化處理之溫度控制於 $400^\circ\text{C}$ 以上且未達 $550^\circ\text{C}$ ，將時間控制於1小時以上且未達6小時之範圍內。澆鑄溫度係指將熔解之熔液澆鑄至鑄模等時之溫度，相當於凝固起始溫度。若澆鑄溫度較高，則有凝固時晶化之Si相粗大化、柱狀化之傾向，有Si相之平均徑增加之傾向。若熔體化處理之溫度較高，則柱狀之Si相被

分斷而粒狀化，由此有Si相之平均徑減少之傾向。為了進一步減小Si相之平均徑，有效的是提高凝固時之冷卻速度，例如進行水冷亦較為有效。

#### 【0072】

為了將L剖面中之Al相之平均徑控制於5  $\mu\text{m}$ 以上40  $\mu\text{m}$ 以下之範圍，有效的是調整最終線徑之熱處理之溫度、時間而控制由Al相之再結晶所產生之晶粒之生長。

#### 【0073】

如上所述，上述內容係作為Al連接材料之代表例，基於作為線材之Al接合線之製造說明一例。關於作為條材之Al接合帶，亦可基本上按照相同之程序來製造。熱處理之溫度及時間可使用與上述大致同等之條件。又，於對Al接合帶進行壓延加工來製造之情形時，只要將模具之縮面率替換為軋縮率來調整即可。

#### 【0074】

##### [半導體裝置]

藉由使用本發明之Al連接材料將半導體晶片上之電極與引線框架或基板上之外部電極進行連接，能夠製造半導體裝置。如上所述，與半導體晶片上之電極之第一接合、及與引線框架或基板上之電極之第二接合均可使用楔型接合。

#### 【0075】

於一實施方式中，本發明之半導體裝置之特徵在於：包含電路基板、半導體晶片、及用以使電路基板與半導體晶片導通之Al連接材料，該Al連接材料為本發明之Al連接材料。

#### 【0076】

本發明之半導體裝置中，電路基板及半導體晶片並無特別限定，可使用能用以構成半導體裝置之公知之電路基板及半導體晶片。或者，又，亦可使用引線框架代替電路基板。例如，可設為如日本專利特開2020-150116號公報中記載之半導體裝置般包含引線框架及安裝於該引線框架之半導體晶片之半導體裝置之構成。

### 【0077】

作為半導體裝置，可例舉供於電氣製品(例如電腦、行動電話、數位相機、電視、空調、太陽能發電系統等)及交通工具(例如機車、汽車、電車、船舶及航空器等)等之各種半導體裝置，其中適宜為功率用半導體裝置(功率半導體裝置)。

### [實施例]

### 【0078】

以下，例示實施例對本發明具體進行說明。但本發明並不限定於以下所示之實施例。

### 【0079】

### (樣品)

對樣品之製作方法進行說明。作為原材料之Al係使用純度為4N(99.99質量%以上)且剩餘部分包含不可避免之雜質者。作為合金元素使用之Si、第1元素群(Sr、Na、Eu、Ca)、第2元素群(Ti、B、Zr)、第3元素群(Ni、Y、Yb、Sc)係使用純度為99.99質量%以上且剩餘部分包含不可避免之雜質者。Al連接材料所使用之Al合金係藉由在氧化鋁坩堝中裝填Al原料及合金元素之原料，使用高頻加熱爐進行熔解而製造。熔解時之爐內氛圍設為Ar氛圍，熔解時之熔液之最高到達溫度設為800°C以上且

未達1000°C，澆鑄溫度設為700°C以上且未達780°C。熔解後之冷卻方法設為於大氣中進行冷卻之空氣冷卻或於水中進行冷卻之水冷。

#### 【0080】

藉由熔解而獲得 $\Phi 6$  mm之圓柱狀之錠，對該錠進行熔體化處理及均質化處理之後，進行使用模具之拉線加工及中間熱處理，製作 $\Phi 300$   $\mu\text{m}$ 之Al連接材料(Al接合線)。熔體化處理之溫度範圍設為400°C以上且未達550°C，時間設為1小時以上且未達4小時。熔體化處理結束後，於冷卻中途連續地實施均質化處理。均質化處理之溫度範圍設為250°C以上且未達350°C，時間設為4小時以上且未達10小時。均質化處理後之冷卻方法設為於大氣中進行冷卻之空氣冷卻。

#### 【0081】

拉線加工時，使用市售之潤滑液，拉線加工時之每1個模具之接合線縮面率設為14%以上且未達30%。最終熱處理之溫度範圍設為250°C以上且未達350°C，最終熱處理之時間設為4小時以上且未達18小時。

#### 【0082】

(元素含量之測定方法)

Al連接材料中所含之元素之濃度分析係使用ICP-OES(Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer，電感耦合電漿原子發射光譜儀)(Hitachi High-Tech Science 股份有限公司製造之「PS3520UVDDII」)或ICP-MS(Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer，電感耦合電漿質譜儀)(安捷倫科技股份有限公司製造之「Agilent 7700x ICP-MS」)作為分析裝置進行測定。

#### 【0083】

(Si相之結晶方位之測定方法)

將A1連接材料之L剖面(包含中心軸之中心軸方向之剖面)作為檢查面，測定Si相之結晶方位。本發明中，A1連接材料之中心軸、包含該中心軸之中心軸方向之剖面(L剖面)如圖1所示。圖1中示出A1連接材料為具有圓形之剖面形狀之A1接合線之情形，但於A1連接材料為具有寬度W、厚度T之矩形或大致矩形之剖面形狀之A1接合帶之情形時，中心軸係指通過寬度W之中心且通過厚度T之中心之軸，且L剖面係指包含中心軸之中心軸方向之剖面且厚度T之方向上之剖面。於為了使A1連接材料之L剖面露出而進行剖面加工時，存在自A1連接材料之中心軸偏移之情況。此時，若與L剖面之中心軸垂直之方向之長度為A1連接材料之線徑(於帶之情形時為厚度T)之90%以上，則可視為包含中心軸之剖面。

#### 【0084】

又，測定係使用FE-SEM(日立高新技術公司製造之SU-70)，解析軟體係使用TSL Solutions公司製造之APEX(資料收集用)、OIM Data Collection(化學輔助掃描用)、OIM Anaysis(資料解析用)。相對A1連接材料之中心軸方向以50 cm以上之間隔隨機選擇3個部位之測定區域，對3個部位之區域進行測定。測定區域係以於A1連接材料之中心軸方向上為300  $\mu\text{m}$ 以上且未達800  $\mu\text{m}$ 、於與該中心軸垂直之方向上包含A1連接材料整體之方式決定。又，關於EDS及EBSD測定之主要條件，加速電壓設為15 kV，測定倍率設為350倍，掃描速度設為30~120點/秒，測定間隔設為0.1~0.3  $\mu\text{m}$ 之範圍。此處，於掃描速度較快之情形時，可縮短測定時間，但有EDS之測定精度降低之虞。較理想為於上述範圍內選定適當之掃描速度。

**【0085】**

測定Al連接材料之L剖面中之Si相之結晶方位之方位比率時，使用將藉由SEM-EDS所獲得之Al濃度及Si濃度之資訊與藉由EBSD所獲得之結晶方位之資訊進行組合之方法。詳細而言，依照以下(1)至(3)之程序實施測定。

(1)於以Al連接材料之L剖面作為檢查面之測定區域中，同時進行使用EDS之Al及Si之濃度測定與使用EBSD之結晶方位測定。

(2)利用作為EBSD解析軟體之功能之化學輔助掃描功能，分離、提取Al與Si。具體而言，根據Si之EDS測定結果，設定相當於Si之閾值之容差，藉此分離並識別Al與Si。自材料檔案中使用Al與Si之結晶資訊，供於結晶方位之解析。此處，容差之條件主要設定為30%，可視需要進行調整。

(3)對特定為Si相之區域進行結晶方位之解析，算出Si相之 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位之方位比率與 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位之方位比率。結晶方位之方位比率係使用部分比率(Partial Ratio)。

**【0086】**

Si相之 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位之方位比率與 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位之方位比率設為針對3個部位之測定區域按照上述(1)至(3)之程序所獲得之各值之平均值。

**【0087】**

(Si相之平均徑之測定方法)

測定Al連接材料之L剖面中之Si相之平均徑時，與Si相之結晶方位之測定同樣地，使用將藉由SEM-EDS所獲得之Al濃度及Si濃度之資訊與藉

由EBSD所獲得之結晶方位之資訊進行組合之方法。詳細而言，於實施上述(1)及(2)之程序後，依照以下(3)之程序實施測定。

(3)對特定為Si相之區域進行結晶方位之解析，若測定點間之方位差為 $15^\circ$ 以上，則判斷為晶界，求出各晶粒之圓當量直徑。然後，對各晶粒之圓當量直徑進行平均計算，算出Si相之平均徑。此處，平均計算係使用藉由面積平均所求出之平均值。又，於計算L剖面中之Si相之平均徑時，僅以直徑(圓當量直徑)為 $0.5\ \mu\text{m}$ 以上之Si相作為對象。

### 【0088】

Si相之平均徑設為針對3個部位之測定區域按照上述(1)至(3)之程序所獲得之各值之平均值。又，依照同樣之程序，亦測定Al連接材料之L剖面中之Al相之平均徑。

### 【0089】

(Al連接材料之評價方法)

對Al連接材料之評價方法進行說明。評價所使用之Al連接材料(Al接合線)之線徑設為 $\Phi 300\ \mu\text{m}$ 。半導體晶片係使用Si製晶片，半導體晶片上之電極係使用以厚度 $4\ \mu\text{m}$ 形成組成為Al-0.5%Cu之合金膜者。基板係使用在Al合金上形成 $15\ \mu\text{m}$ 之Ni膜者。Al連接材料之接合係使用市售之打線接合機(超音波工業公司製造)，第一接合及第二接合均設為楔型接合。

### 【0090】

(溫度循環可靠性之評價方法)

溫度循環試驗之評價係使用市售之冷熱衝擊試驗裝置。溫度循環試驗中，藉由使試樣室於低溫槽與高溫槽之間移動而反覆進行升溫、降溫。將低溫槽之溫度設為 $-40^\circ\text{C}$ ，將高溫槽之溫度設為 $175^\circ\text{C}$ 。自試樣室位於高

溫槽之狀態下開始試驗，將移動至低溫槽並返回至高溫槽設為1次循環。試樣室停留於低溫槽及高溫槽之時間分別設為20分鐘。進行溫度循環試驗之樣品設為於基板搭載有半導體晶片之結構，將半導體晶片上之電極與基板上之電極間以Al連接材料連接。試驗開始後，每250次循環取出樣品一次，進行第一接合部之剪切試驗。溫度循環可靠性之評價所使用之第一接合部之剪切強度之值係使用隨機提取之5個部位之第一接合部之剪切強度之平均值。將剪切強度相對於溫度循環試驗前之值降低至70%以下之時間點之循環數作為接合部壽命，若接合部壽命未達500次循環，則判斷為於實際應用中存在問題，記為「0」，若接合部壽命為500次循環以上且未達750次循環，則判斷為於實際應用中無問題，記為「1」，若接合部壽命為750次循環以上且未達1000次循環，則判斷為優異，記為「2」，若接合部壽命為1000次循環以上，則判斷為特別優異，記為「3」。「0」為不合格，「1」、「2」、「3」為合格。評價結果記載於表中之「溫度循環可靠性」一欄中。

### 【0091】

(內部裂痕之評價方法)

對Al連接材料之內部裂痕之評價方法進行說明。針對所製造之Al連接材料，藉由使用軟X射線投影檢查裝置(Matsusada Precision製造， $\mu$ B2600)之觀察(以下稱為X射線觀察)進行評價。X射線觀察之測定條件可根據Al連接材料之線徑適當決定，但於本實施例中所製造之線徑300  $\mu$ m之Al連接材料之情形時，於50~80 kV之範圍內調整電壓，於60~90  $\mu$ A之範圍內調整電流。相對Al連接材料之中心軸方向以1 m以上之間隔隨機選擇3個部位，於3個部位分別選擇3根約8 cm長度之試樣，合計9根，將

其等作為測定試樣。圖3中示出對線徑300  $\mu\text{m}$ 之A1連接材料進行X射線觀察之一例，觀察到內部裂痕。若內部裂痕之長度為0.3mm以上，則判斷為存在問題之缺陷，評分為「2」，若為0.1 mm以上且未達0.3mm，則判斷為應注意，評分為「0.5」。將測定部位之合計評分設定為「裂痕指標」。關於測定試樣整體之裂痕指標，若為零，則判斷為良好，評價為「3」，若為0.1～2.0之範圍，則判斷為於實際應用中無問題，評價為「2」，若為2.0～5.0之範圍，則判斷為需要改善，評價為「1」，若超過6.0，則判斷為難以實際應用，評價為「0」。評價結果記載於表中之「內部裂痕」一欄中。

### 【0092】

(加工中之斷線之評價方法)

對加工中之斷線之評價方法進行說明。自線徑6 mm $\phi$ 實施拉線加工至線徑0.3 mm $\phi$ ，確認斷線之次數。作為拉線加工條件之輸送速度、縮面率等係自上述條件中選定，針對每個接合線調整、變更適當之製造條件。進行拉線之A1連接材料之長度為100～200 m之範圍，以100 m為單位進行換算而算出斷線次數。若斷線次數為0次，則判斷為良好，評價為「3」，若為1次，則判斷為改良製造條件即可應對，評價為「2」，若為2～4次，則視為存在生產性之降低之問題，評價為「1」，若為5次以上，則判斷為難以實際應用，評價為「0」。評價結果記載於表中之「加工中之斷線」一欄中。

### 【0093】

(第一接合部之空洞之評價方法)

對第一接合部之空洞缺陷之評價方法進行說明。於進行上述第一接

合部之剪切強度試驗後，利用光學顯微鏡或SEM對電極側之斷裂面之壓痕進行觀察，將於斷裂區域內未獲得金屬接合之部位判定為空洞。產生空洞之部位係即便電極發生變形亦不會接合之部位，接合可識別為進行了金屬接合之區域。剪切強度試驗係於上述條件下進行，觀察10個部位之第一接合部之斷裂面。然後，求出空洞區域之接合寬度方向之長度之總計(K)相對於Al連接材料之與中心軸垂直之方向(接合寬度方向)之接合長度(J)所占之比率，作為空洞比率(K/J)(圖2)。於10個部位之斷裂面中確認空洞比率，將其最大值定義為「空洞缺陷率」。若空洞缺陷率未達5%，則判斷為良好，記為「3」，若為5%以上且未達15%，則判斷為於實際應用中無問題，記為「2」，若為15%以上且未達25%，則判斷為需要改善，記為「1」，若超過25%，則判斷為阻礙量產，評價為「0」。評價結果記載於表中之「第一接合部之空洞」一欄中。

#### 【0094】

(接合長度之穩定性之評價方法)

對接合長度之穩定性之評價方法進行說明。於進行上述第一接合部之剪切強度試驗後，根據電極側之斷裂面之壓痕之壓痕長度(接合長度)進行評價。詳細而言，關於斷裂面之壓痕，測定Al連接材料之中心軸方向之接合部長度( $\mu\text{m}$ )，算出母標準偏差( $\sigma$ )。於 $\sigma$ 為15以上之情形時，判斷為於實際應用中存在問題，評價為「1」，若 $\sigma$ 為5以上且未達15，則判斷為良好，評價為「2」，若 $\sigma$ 未達5，則判斷為優異，評價為「3」。「1」為不合格，「2」、「3」為合格。評價結果記載於表中之「接合長度之穩定性」一欄中。

#### 【0095】

(表面之劃傷、刮削之評價方法)

關於A1連接材料之表面性狀，著眼於劃傷、刮削進行評價。A1連接材料之線徑設為0.3 mm $\phi$ 。相對A1連接材料之中心軸方向以1 m以上之間隔隨機選擇3個部位之測定區域，於3個部位分別採集3條約2 cm之長度，合計9條，對上述試樣進行觀察。以SEM之50~500倍之範圍之倍率對表面進行觀察。將50  $\mu\text{m}$ 以上之長度之劃傷、30  $\mu\text{m}$ 以上之長度之刮削判斷為不良。對劃傷、刮削之部位進行計數，若為0個部位，則為良好，判斷為合格，評價為「3」，若為2個部位以下，則判斷為於實際應用中無問題，評價為「2」，若為3~7個部位，則判斷為表面性狀不良，評價為「1」，若為8個部位以上，則判斷為難以實際應用，評價為「0」。評價結果記載於表中之「表面性狀」一欄中。

#### 【0096】

將實施例及比較例之評價結果示於表1~表3。

【0097】

[表1]

(表1)

No.	含有元素及含有濃度													Si相之 <111 > + <110 >總 計比率(%)	Si相 之平均 徑(μm)	評價結果							
	Si (質 量 %)	Sr (質 量 ppm)	Na (質 量 ppm)	Eu (質 量 ppm)	Ca (質 量 ppm)	Ti (質 量 ppm)	B (質 量 ppm)	Zr (質 量 ppm)	Ni (質 量 ppm)	Y (質 量 ppm)	Yb (質 量 ppm)	Sc (質 量 ppm)	第1 元素 群總 計(質 量 ppm)			第2 元素 群總 計(質 量 ppm)	第3 元素 群總 計(質 量 ppm)	溫度 循環 可靠 性	內 部 裂 痕	加 工 中 之 斷 線	第 一 接 合 部 之 空 洞	接 合 長 度 之 穩 定 性	表 面 性 狀
1	3.0	5											5	0	0	38	0.9	2	2	3	3	2	1
2	5.3	100											100	0	0	45	2.6	3	3	3	3	2	1
3	8.0	600											600	0	0	39	2.9	3	3	3	3	2	2
4	3.8		150										150	0	0	18	2.7	2	3	1	3	2	2
5	6.1		500										500	0	0	42	2.2	3	3	3	3	2	2
6	4.0			50									50	0	0	43	2.5	3	3	3	3	2	2
7	7.3			400									400	0	0	63	4.0	3	3	3	3	2	2
8	10.0			700									700	0	0	34	3.5	3	3	3	3	2	2
9	7.2				100								100	0	0	20	3.2	3	3	2	3	2	2
10	6.5				800								800	0	0	65	2.4	3	2	3	3	2	2
11	7.0	3		2									5	0	0	47	3.2	2	2	3	3	2	2
12	8.8	20		10	100								130	0	0	42	4.1	3	3	3	2	2	2
13	4.4		50	100	30								180	0	0	55	2.2	3	3	3	3	2	2
14	6.8	100	100										200	0	0	42	2.4	3	3	3	3	2	2
15	3.1	200	100	100									400	0	0	40	0.7	2	3	3	2	2	2
16	4.4	300			200								500	0	0	37	0.8	3	3	3	3	2	2
17	9.1		100	300									400	0	0	32	4.0	3	3	3	3	2	2
18	11.0	200	100	200	150								650	0	0	25	3.8	3	2	3	3	2	2
19	12.0	100	200		50								350	0	0	32	3.3	3	3	3	3	2	2

【0098】

[表2]

(表2)

No.	含有元素及含有濃度														Si相之 <111> +<110> >總計 比率(%)	Si相 之平均 徑(μm)	評價結果						
	Si (質量 %)	Sr (質量 ppm)	Na (質量 ppm)	Eu (質量 ppm)	Ca (質量 ppm)	Ti (質量 ppm)	B (質量 ppm)	Zr (質量 ppm)	Ni (質量 ppm)	Y (質量 ppm)	Yb (質量 ppm)	Sc (質量 ppm)	第1元 素群總 計 (質量 ppm)	第2元 素群總 計 (質量 ppm)			第3元 素群總 計 (質量 ppm)	溫度 循環 可靠 性	內 部 裂 痕	加 工 中 之 斷 線	第 一 接 合 部 之 空 洞	接 合 長 度 之 穩 定 性	表 面 性 狀
20	6.5	300				10							300	10	0	44	2.4	3	3	3	3	3	2
21	6.8		100			400							100	400	0	54	2.2	3	3	3	3	3	2
22	7.0			350			50						350	50	0	32	3.1	3	3	3	3	3	2
23	10.0	100	150					100					250	100	0	22	3.0	3	3	2	3	3	2
24	3.9		100		100	2	3	3					200	8	0	45	1.9	2	3	3	3	2	2
25	5.4	200		400	100			200					700	200	0	18	2.4	3	3	1	3	3	2
26	7.0	100			200	200		170					300	370	0	37	3.1	3	3	3	3	3	2
27	6.0	150		250		100	200	200					400	500	0	47	2.8	3	3	3	3	3	2
28	8.6		100	200		400		200					300	600	0	53	4.2	3	3	3	2	2	2
29	4.2	100	100		200				50				400	0	50	48	1.5	3	3	3	3	2	3
30	7.0	100		400					350				500	0	350	41	3.2	3	3	3	3	2	3
31	5.5	300								5			300	0	5	25	2.2	3	3	3	3	2	3
32	6.5			350	300				200				650	0	200	55	2.5	2	2	3	3	2	3
33	9.0	200									5		200	0	5	45	2.3	3	3	3	3	2	3
34	5.5		100								100		100	0	100	70	2.2	3	3	3	3	2	3
35	6.2			300	200							100	500	0	100	48	2.2	3	3	3	3	2	3
36	6.0			300								500	300	0	500	46	2.8	3	3	3	3	2	3
37	4.4	7							2	2			7	0	4	37	1.2	2	2	3	3	2	2
38	8.2	300	200	100	200				100			200	800	0	300	73	3.2	3	2	2	3	2	3
39	7.0			400					30	170	300	400	400	0	500	65	2.8	3	3	3	3	2	3
40	6.0			300	100				200		100	300	400	0	600	42	2.4	3	3	3	3	2	2
41	11.0	300				200			50		20		300	200	70	27	2.2	3	3	3	3	3	3
42	7.1			400			20	50		20	50		400	70	70	42	2.3	3	3	3	3	3	3
43	6.5		100	100	300	100			30		100	100	500	100	230	37	2.2	3	3	3	3	3	3
44	5.0	100				50		200	50	5			100	250	55	52	1.8	3	3	3	3	3	3
45	10.5	200	50		50	50	50	400		10	5		300	500	15	38	2.3	3	3	3	3	3	3
46	5.8			450			20	80	100			300	450	100	400	36	1.8	3	3	3	3	3	3
47	7.7	300		100	100	50		300	100	100	100	200	500	350	500	27	2.3	3	3	3	3	3	3

【0099】

[表3]

(表3)

	No.	含有元素及含有濃度														評價結果								
		Si (質量%)	Sr (質量ppm)	Na (質量ppm)	Eu (質量ppm)	Ca (質量ppm)	Ti (質量ppm)	B (質量ppm)	Zr (質量ppm)	Ni (質量ppm)	Y (質量ppm)	Yb (質量ppm)	Sc (質量ppm)	第1元素群 總計 (質量ppm)	第2元素群 總計 (質量ppm)	第3元素群 總計 (質量ppm)	Si相之 <111 >+< 110> 總計比 率(%)	Si相 之平均 徑 ( $\mu\text{m}$ )	溫度 循環 可靠 性	內部 裂痕	加工 中之 斷線	第一 接合 部之 空洞	接合 長度 之穩 定性	表面 性狀
比較 例	1	0.0												0	0	0	-	-	0	3	2	3	3	2
	2	2.5												0	0	0	15	0.5	0	2	2	2	2	2
	3	8.0	2			2								4	0	0	25	3.7	1	0	1	1	1	1
	4	7.0		2	2									4	0	0	32	1.8	1	0	1	1	1	1
	5	12.5	100			100								200	0	0	45	3.3	1	1	0	1	1	1
	6	6.0	500	400										900	0	0	38	2.2	1	1	1	1	1	2
	7	5.5		300	200	350								850	0	0	27	4.0	1	1	1	1	1	2

**【0100】**

確認到：實施例No.1～47之Al連接材料均含有3.0質量%以上12.0質量%以下之Si，並且含有總計5質量ppm以上800質量ppm以下之第1元素群(Sr、Na、Eu、Ca)之一種以上，能夠於製造時抑制內部裂痕之產生，並且呈現出良好之溫度循環可靠性。

此外，確認到：L剖面中之Si相之 $\langle 111 \rangle + \langle 110 \rangle$ 總計比率為20%以上70%以下的實施例No.1～3、5～24、26～37、39～47之Al連接材料有獲得更進一步良好之溫度循環可靠性之傾向，並且能夠減少加工中之斷線之發生頻度。

確認到：L剖面中之Si相之平均徑為0.8  $\mu\text{m}$ 以上4  $\mu\text{m}$ 以下之實施例No.1～11、13、14、16～27、29～47之Al連接材料能夠抑制第一接合部之空洞。又，確認到：L剖面中之Al相之平均徑為5  $\mu\text{m}$ 以上40  $\mu\text{m}$ 以下的Al連接材料於第二接合部之接合強度穩定性方面容易達成更良好之結果。

進而，確認到：含有總計10質量ppm以上500質量ppm以下之第2元素群(Ti、B、Zr)之一種以上的實施例No.20～23、25～27、41～47之Al連接材料能夠減少接合時之接合長度之不均，使接合長度穩定化。

確認到：含有總計5質量ppm以上500質量ppm以下之第3元素群(Ni、Y、Yb、Sc)之一種以上的實施例No.29～36、38、39、41～47之Al連接材料會抑制表面之劃傷、刮削之產生而具有平滑之表面。

另一方面，確認到：比較例No.1～7之Al連接材料之Si濃度、第1元素群之濃度之任一者在本發明範圍外，無法充分地獲得抑制製造時之內部裂痕之產生之效果及溫度循環可靠性之任一者。

**【符號說明】**

**【0101】**

J:A1連接材料之與中心軸垂直之方向(接合寬度方向)之接合長度

K:空洞區域之接合寬度方向之長度之總計

## 【發明申請專利範圍】

### 【請求項1】

一種Al連接材料，其含有3.0質量%以上12.0質量%以下之Si，且含有總計5質量ppm以上800質量ppm以下之Sr、Na、Eu、Ca之任意一種以上。

### 【請求項2】

如請求項1之Al連接材料，其中於測定該Al連接材料之L剖面(包含中心軸之中心軸方向之剖面)中之Si相之結晶方位時，角度差相對於中心軸方向為 $15^\circ$ 以下之 $\langle 111 \rangle$ 結晶方位與 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位之方位比率之總計為20%以上70%以下。

### 【請求項3】

如請求項1之Al連接材料，其L剖面中之Si相之平均徑為 $0.8 \mu\text{m}$ 以上 $4 \mu\text{m}$ 以下。

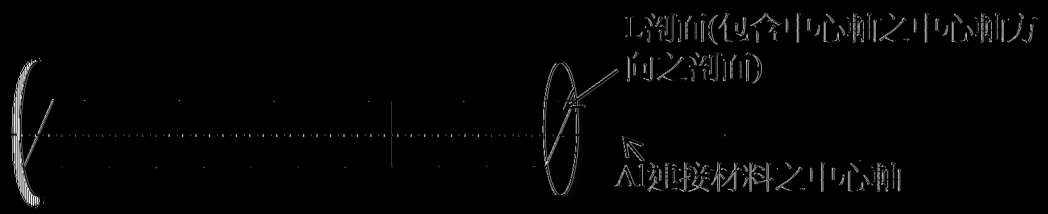
### 【請求項4】

如請求項1之Al連接材料，其進而含有總計10質量ppm以上500質量ppm以下之Ti、B、Zr之任意一種以上。

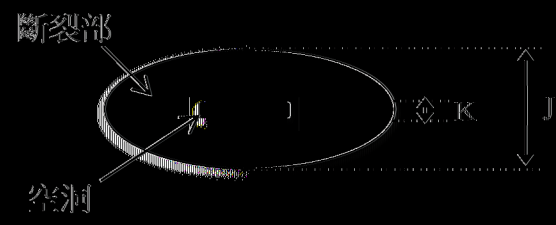
### 【請求項5】

如請求項1至4中任一項之Al連接材料，其進而含有總計5質量ppm以上500質量ppm以下之Ni、Y、Yb、Sc之任意一種以上。

(發明圖式)



(圖1)



(圖2)



(圖3)