



(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 202526049 A

(43) 公開日：中華民國 114 (2025) 年 07 月 01 日

(21) 申請案號：113128494 (22) 申請日：中華民國 113 (2024) 年 07 月 31 日

(51) Int. Cl. : C22C21/00 (2006.01) C22F1/00 (2006.01)
C22F1/04 (2006.01) H01B1/02 (2006.01)
H01B5/02 (2006.01) H01L21/60 (2006.01)

(30) 優先權：2023/07/31 日本 2023-124294

(71) 申請人：日商田中電子工業股份有限公司 (日本) TANAKA DENSHI KOGYO K.K. (JP)
日本

(72) 發明人：杉山利彦 SUGIYAMA, TOSHIHIKO (JP)；三上道孝 MIKAMI, MICHITAKA (JP)；陳煒 CHEN, WEI (JP)；千葉淳 CHIBA, JUN (JP)；三苦修一 MITOMA, SHUICHI (JP)；彌永幸弘 IYONAGA, YUKIHIRO (JP)；市川司 ICHIKAWA, TSUKASA (JP)

(74) 代理人：謝佩玲；王耀華；陳昭佑

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：8 項 圖式數：8 共 63 頁

(54) 名稱

鋁配線材及其製造方法

(57) 摘要

本發明提供一種在溫度循環下接合之長期可靠性優異、對楔形工具之追隨性優異且耐振動性優異之鋁配線材及其製造方法。本發明之鋁配線材由純度小於 99.9 質量%之鋁構成，於該鋁配線材之與長度方向垂直之截面中，角度差為 10° 以下之結晶方位 < 112 > 的方位比率為 45% 以下，長寬比為 4 以上之析出粒子之數相對於析出粒子之總數之比為 0.5% 以上 16% 以下，負荷應力比為 0.4 以上 0.9 以下，耐力比超過 1.0 且為 2.3 以下，相對於總量，合計含有 0.01 質量% 以上 1 質量% 以下之鐵及矽中之至少一種元素，且，合計含有 50 質量 ppm 以上 800 質量 ppm 以下之鎳及鈮中之至少一種元素。

【發明摘要】

【中文發明名稱】 鋁配線材及其製造方法

【中文】

本發明提供一種在溫度循環下接合之長期可靠性優異、對楔形工具之追隨性優異且耐振動性優異之鋁配線材及其製造方法。本發明之鋁配線材由純度小於99.9質量%之鋁構成，於該鋁配線材之與長度方向垂直之截面中，角度差為 10° 以下之結晶方位 $\langle 112 \rangle$ 的方位比率為45%以下，長寬比為4以上之析出粒子之數相對於析出粒子之總數之比為0.5%以上16%以下，負荷應力比為0.4以上0.9以下，耐力比超過1.0且為2.3以下，相對於總量，合計含有0.01質量%以上1質量%以下之鐵及矽中之至少一種元素，且，合計含有50質量ppm以上800質量ppm以下之鎳及鈮中之至少一種元素。

【指定代表圖】 無

【發明說明書】

【中文發明名稱】 鋁配線材及其製造方法

【技術領域】

【0001】 本發明係關於一種鋁配線材，尤其係關於一種高溫下之接合可靠性優異、焊接時之追隨性優異且高抗振動強度之導電用鋁配線材及其製造方法。

【先前技術】

【0002】 先前，鋁配線材被用作連接鋰離子電池之電極與匯流排之配線材、功率半導體之焊接配線材。

【0003】 鋰離子電池被用作油電混合車(HV)、插電式油電混合車(PHV, PHEV)、電動汽車之驅動電池(電源)。油電混合車或插電式油電混合車係將汽油引擎及電動馬達作為驅動力。電動汽車係僅將電動馬達作為驅動力。油電混合車或電動汽車藉由充電至鋰離子電池之電力驅動電動馬達來行駛。作為驅動電池，除鋰離子電池外，亦有鉛蓄電池、鎳氫電池，但由於鋰離子電池輕便、小型、輸出高且壽命長，故在重視燃料效率之電動汽車上的應用正在擴大。

【0004】 圓筒形電池因小型、形狀穩定且易於更換，而常被用作電動汽車之驅動電池用之鋰電池。圓筒形電池具有將電解液等封入圓筒狀之金屬殼體之構造。使用了圓筒形電池之電池組例如由連接有引線構件(匯流排)之外裝殼體、收容於該外裝殼體之複數個圓筒形電池、以及連接圓筒形電池之電極與引線構件之配線材所構成。由鋁合金構成之鋁配線材由於在導電性及成本方面有利，故被廣泛用作該圓筒形電池之配線材。

【0005】 功率半導體亦被稱作功率晶片、功率半導體、功率器件，功率元件、電力用半導體元件等。功率半導體係由功率晶片、連接功率晶片彼此之焊接配線材、連接功率晶片與外部電極之焊接配線材所構成。功率半導體發揮著驅動馬達或給電池充電、為了微控制器或大規模積體電路(LSI)之動作而供給電力之作用。於汽車等運輸領域中使用之主要的功率晶片係適合大電力之絕緣閘極雙極電晶體(IGBT)或金屬氧化物半導體場效電晶體(MOSFET)。於功率半導體用之焊接配線材中，為了承載大電流，通常使用線徑(直徑)為40 μm以上700 μm以下之比較粗的鋁配線材。另外，將組合了複數個功率半導體之電源用之電路集成到一個封裝中而成者稱作「功率模組」。

【0006】 於接合匯流排與配線材或接合功率半導體之焊接配線材時，一般採用如下方法：用被稱作楔形工具(有時亦簡稱為「工具」)之把持具把持配線材之前端，一邊對配線材施加超音波，一邊將配線材連同楔形工具一起壓抵至引線構件或電極，壓擠使其變形，藉此將引線構件或電極與配線材接合。

【0007】 且說，電動汽車用於寒冷地區、熱帶、高濕度或鹽分多之地區等多種外部環境中。例如，電動汽車在寒冷地區或熱帶行駛時，會長時間暴露於低溫或高溫之環境中或該等環境的溫度變化中。為了保證電動汽車之安全性，要求搭載於電動汽車之功率模組、驅動電池、與該等構件接合之鋁配線材亦適合於可設想為上述般之電動汽車之使用環境的所有環境中。

【0008】 而且，除外部環境之溫度變化外，電動汽車之功率模組及驅動電池亦會受到電流引起之加熱與冷卻之溫度變化的影響。電動汽車重複停止時停止通電和運轉開始時開始通電之循環。藉此，功率晶片因通電而發熱並達到高溫，且因通電之停止而急遽冷卻。與功率晶片或驅動電池接合之鋁配線材亦暴

露於發熱與冷卻之溫度循環中。當電動汽車長時間運轉時，會頻繁地重複加速與制動，該加熱與冷卻之溫度循環亦頻繁重複。於該過程中，例如由功率晶片與鋁配線材之熱膨脹率差而產生熱應力，藉此，有時會給功率晶片與鋁配線材之接合部或鋁配線材帶來金屬疲勞。結果，接合部之剝離或斷裂之可能性、鋁配線材產生裂紋之可能性提高。因此，需要一種即使在重複這種加熱與冷卻之溫度循環時亦發揮接合之長期可靠性的鋁配線材。

【0009】 而且，作為功率半導體的一種之功率電晶體用於逆變器。逆變器搭載於空氣調節器(空調)、冰箱、洗衣機等節省能源(以下亦稱為「節能」)家電製品中。功率電晶體藉由進行電流之接通斷開之切換(開關)，控制逆變器驅動家電製品之馬達之轉速。藉由使用逆變器，可減少馬達之無用動作，實現節能，並且例如在空調中穩定地維持室溫。功率電晶體之開關動作中，亦與上述同樣地重複進行由通電及其停止引起之配線材之加熱、冷卻之溫度循環。

【0010】 先前，於高溫狀態下，為了防止功率模組之破壞或故障，研究了避免晶片損傷之技術、提高焊接線之強度之技術、提高接合部之長期可靠性之技術等(例如，參照專利文獻1至專利文獻5)。

【0011】 而且，隨著家電製品之小型化，亦嘗試了功率半導體之小型化、薄型化、高密度化。因此，鋁配線材之接合空間變小，結果，鋁配線材之屈曲變大。因此，要求鋁配線材具有對這種屈曲之追隨性。於使用對屈曲之追隨性差之鋁配線材之情形下，當藉由楔形工具以預設角度(例如45°)橫向彎曲時，配線材可能無法追隨楔形工具之橫向彎曲之動作，其一部分可能從楔形工具之鱷魚嘴上脫落。若在部分導線脫落之狀態下進行第二接合，則接合位置可能會偏離預定位置而與其他電極接觸，從而可能導致短路故障。而且，若導線從工具脫落，

第 3 頁，共 51 頁(發明說明書)

則楔形工具之前端可能會與元件接觸而損壞半導體元件。尤其，先前之以長期可靠性為目標之配線材通常具有拉伸強度、耐力及硬度(以下將該等特性統稱為「強度」)高之傾向，另一方面，強度越高之配線材的追隨性往往越差。因此，亦嘗試了兼顧長期可靠性與導線之追隨性(例如，參照專利文獻5)。

【0012】 專利文獻1所記載之發明係「一種半導體裝置之超音波焊接用鋁合金細線，由鐵(Fe)為0.2質量%至2.0質量%及剩餘量為純度99.99質量%以上之鋁(Al)構成，其特徵在於：該鋁合金細線之鋁(Al)基質中固溶有0.01%至0.05%之鐵(Fe)，且該鋁合金細線之截面中之拉線基質組織為數 μm 級之均質的微細再結晶組織，於該組織之界面及內面，鐵(Fe)•鋁(Al)之金屬間化合物粒子均勻地晶化」。專利文獻1中記載了：藉由於調質熱處理前追加溶體化、急冷處理這一工序，將鋁(Al)基質中固溶之鐵(Fe)量提高至650°C時之固溶極限0.052%，並藉由隨後的通常之冷間連續拉線加工及隨後的調質熱處理，可使Al-Fe合金線之結晶粒徑微細化，藉由使Al高純度化，焊接時會表現出動態再結晶，從而避免晶片損傷(參照該說明書0013段落)。

【0013】 專利文獻2所記載之發明係「一種鋁合金細線，其用於與由鐵(Fe)%、矽(Si)及剩餘量為高純度之鋁(Al)合金所構成之半導體元件之鋁焊盤進行超音波焊接，該鋁合金細線係由鐵(Fe)為0.01質量%至0.2質量%、矽(Si)為1質量ppm至20質量ppm及剩餘量為純度99.997質量%以上之鋁(Al)所構成之合金，係Fe之固容量為0.01%至0.06%、Fe之析出量為Fe固容量之7倍以下、且平均結晶粒徑為6 μm 至12 μm 之微細組織」。專利文獻2中記載了：藉由將Fe之析出量與Fe固容量之比率保持在一定範圍內，使再結晶溫度穩定化，進而，藉由添加微量Si來提高強度，結果使熱衝擊試驗結果穩定化(參照該說明書0012段落)。

【0014】 專利文獻3所記載之發明係「其特徵在於：由Al或Al合金構成，與配線材軸垂直之方向上的截面中之平均結晶粒徑為0.01 μm 至50 μm ，對與配線材軸垂直之方向上的截面測定結晶方位，結果，配線材長度方向之結晶方位中，相對於配線材長度方向之角度差為 15° 以下之結晶方位<111>的方位比率為30%至90%」。專利文獻3中記載了：即使在高溫環境下長時間持續使用半導體裝置，亦可確保高溫長時間作動後之半導體裝置中的接合部之可靠性(參照該說明書0012段落)。

【0015】 專利文獻4所記載之發明係「其特徵在於：以質量%計，含有0.02%至1%之Fe，進而合計含有0.05%至0.5%之Mn、Cr中之至少1種以上，剩餘量由Al及不可避免雜質構成，Fe、Mn、Cr之合計固容量為0.01%至1%」。專利文獻4中記載了：除含有Fe外，亦含有規定量的Mn、Cr中之一種或兩種，於溶體化熱處理及隨後的急冷處理中，使Fe、Mn、Cr之合計固容量為0.01%至1%，藉此，即使導線之再結晶溫度上升，於高溫環境下長時間持續使用半導體裝置，亦可充分地抑制焊接線之再結晶進程，可防止導線之強度降低(參照該說明書0014段落)。而且，記載了：在焊接線之與長度方向垂直之截面(C截面)中，結晶<111>方位與導線長度方向之角度差為 15° 以內之結晶之面積比率(<111>方位面積率)較佳為30%至90%，拉線時調質熱處理引起之再結晶適度進行，從而使導線軟化，可防止焊接時晶片破裂的發生、及接合部之接合性下降等(參照該說明書0026段落)。

【0016】 專利文獻5所記載之發明係「一種鋁導線，係由鋁純度為99質量%以上之鋁合金構成，其特徵在於：相對於上述鋁合金之總量，合計含有0.01質量%以上1質量%以下之鐵及矽，上述鋁導線之與導線軸垂直之方向之橫截面中

第 5 頁，共 51 頁(發明說明書)

之(111)之配向指數為1以上，且(200)之配向指數為1以下，析出粒子之面積率為0.02%以上2%以下」。專利文獻5中記載了：藉由含有規定量之鐵及矽，與導線軸垂直之方向上之橫截面中的(111)之配向指數為1以上，且(200)之配向指數為1以下，而實現了功率循環試驗中之長壽命(參照該說明書0044段落)，進而，藉由將析出粒子之面積率設為0.02%以上2%以下，可防止在功率半導體用之焊接線接合時焊接線從楔形工具上脫落(參照該說明書0050段落)。

[先行技術文獻]

[專利文獻]

【0017】

[專利文獻1]日本特開2013-258324號公報

[專利文獻2]日本特開2014-129578號公報

[專利文獻3]國際公開2020/184655號公報

[專利文獻4]日本特開2020-059886號公報

[專利文獻5]國際公開2022/163606號公報

【發明內容】

[發明欲解決之課題]

【0018】 作為如上述般之小型功率半導體之一例，先前已知有厚度為65 μm 之功率半導體或厚度達到50 μm 之IGBT。而且，不僅進行了功率半導體之小型化的嘗試，亦進行了半導體封裝之小型化且薄型化的嘗試。這是因為，藉由使半導體封裝小型化、薄型化，將使得例如電動汽車輕量化，結果，預計燃料效率

會提高。具體而言，2000年代已普及高度(厚度)20~40 mm左右之IGBT封裝，2014年也使用了高度14 mm之IGBT封裝，進而近年來，高度5 mm之下一代型通用封裝亦已問世。另外，半導體封裝包含功率半導體、焊接配線材、及視需要將該等構件密封之樹脂。

【0019】 而且，高性能化及多功能化之電動汽車及家電製品的開發亦正取得進展。為了實現高性能及多功能而需要高驅動力，因此要向功率半導體供給更大的電流。因此，於以高性能化或多功能化為目標之功率半導體中，通常使用更粗之鋁配線材，以便輕鬆承載大電流。例如，先前使用線徑300 μm 左右之鋁配線材，亦有些製品甚至使用線徑500 μm 左右之鋁配線材。

【0020】 從電動汽車及家電製品之節省能源之觀點來看，降低半導體封裝中之配線電阻亦較為重要。為了降低配線電阻，亦即鋁配線材之電阻所消耗之電力，有效的是降低環路之高度(低環路)且縮短環路長度(短環路)來接合，從而減少配線材之長度。另外，此處之環路高度是指從配線材之接合部之最低部位到環路之最高部位之間的高度，環路長度是指第一接合部與第二接合部之兩端之間的直線距離。

【0021】 而且，如上述般，先前之以長期可靠性為目標之配線材傾向於具有更高強度，另一方面，強度越高之配線材之耐振動性越差。這是因為，若藉由減少鋁配線材之合金成分來提高配線材之伸長率，則耐振動性會提高，但斷裂強度會降低，接合之長期可靠性亦會降低。尤其近年來，對接合之長期可靠性要求越來越高，鋁配線材之強度變高，因此兼顧耐振動性變得越來越困難。同樣，接合之長期可靠性與對楔形工具之追隨性之兼顧的困難性亦顯著提高。此處，圖1中示出了由對楔形工具之追隨性不充分之配線材引起之工具脫落之焊接例

(焊接例1)、及未引起工具脫落之焊接例(焊接例2)的放大拍攝第一接合部及第二接合部之照片。圖1之左側上下之照片係由發生了楔形工具脫落之配線材形成之第一接合部與第二接合部。圖1之右側上下之照片係由未發生楔形工具脫落之配線材形成之正常的第一接合部與第二接合部。例如，於焊接例1之接合材料中，追隨性不充分，導致第一接合部中出現因工具脫落而導致之未接合。

【0022】 電動汽車有時會在路面養護不足、平坦性差之地區等多種環境中行駛。例如，當電動汽車行駛在平坦性差之區域時，不僅汽車之車身而且搭載於電動汽車之各種零件及裝置均會不斷受到由於路面的起伏而產生之振動的影響。因此，對於使用了耐振動性不充分之鋁配線材之功率半導體而言，會擔心這種電動汽車在行駛中發生故障。進而，於電動汽車之行駛中，功率半導體亦會受到溫度循環之影響。因此，為了確保安全性，對搭載於電動汽車之鋁配線材亦要求高耐振動性及接合之長期可靠性。

【0023】 本發明者們經過不斷努力，開發出一種能夠實現小型、薄型、高驅動力及節省能源之鋁配線材，旨在將其應用到更高性能、高功能之製品。結果發現，當以小接合空間將鋁配線材接合於功率晶片時，鋁配線材在頸部(與半導體接合之配線材之立起部)之由彎曲引起的應力會隨著配線材之粗細程度變粗而增大。

【0024】 而且，還發現：在暴露於電流引起之加熱與冷卻之溫度循環的功率半導體封裝中，會各別地發生由溫度循環引起之接合部之斷裂，尤其頸部之下側(與晶片接合之側)之裂紋、頸部之彎曲應力引起之上側之裂紋，根據這些裂紋之產生方式，可能導致配線材斷裂。

【0025】 還發現：在近年來之小型、薄型化之半導體封裝中，由於彎曲引起之應力增大，容易因振動而在頸部，尤其上側(與晶片接合之相反側)產生裂紋，從而導致配線材斷裂。此處，參照圖5至圖8對配線材之上側裂紋進行說明。圖5係表示觀察上側裂紋時之鋁配線材之觀察區域R之圖。圖5中，鋁配線材51第二接合(楔形焊接)於TEG(Test Element Group)晶片52表面之鋁焊墊53上。圖6係將鋁配線材以低環路楔形焊接於TEG晶片上後，進行樹脂密封，重複一定次數的利用電流進行之加熱、冷卻、進而施加振動，然後，用SEM-BEI(掃描電子顯微鏡反射電子像)拍攝該鋁配線材之頸立起部分所得之照片中的相當於觀察區域R之部分之照片。圖7係將圖6之一部分放大之照片。從圖6及圖7可知，頸立起部分之配線材之上側所示之區域P內存在小龜裂。與此相對，圖8係在觀察區域R中未觀察到裂紋之鋁配線材的照片。於近年來之小型、薄型化之半導體封裝中，如圖6及圖7所示般之微細龜裂可能會在頸部之上側產生。進而，亦可能在頸部之下側產生裂紋。當頸部之下側與上側之兩者之裂紋發展時，由於兩者之裂紋的協同效應而加速了裂紋之發展，從而可能增加頸部斷裂之風險。

【0026】 本發明係為了解決上述課題而完成，其目的在於提供一種溫度循環下之接合之長期可靠性優異、對楔形工具之追隨性優異且耐振動性優異之鋁配線材。而且，本發明之目的在於提供一種接合之長期可靠性優異、對彎曲之追隨性優異且耐振動性優異之鋁配線材之製造方法。

[解決問題之技術手段]

【0027】 本發明之實施方式如下。

[1] 一種鋁配線材，其係由純度小於 99.9 質量%之鋁構成，其特徵在於：

第 9 頁，共 51 頁(發明說明書)

於上述鋁配線材之與長度方向垂直之截面中，

相對於長度方向之角度差為 10° 以下之結晶方位 $\langle 112 \rangle$ 的方位比率為45%以下，

上述截面中之長寬比為4以上之析出粒子之數相對於析出粒子之總數之比為0.5%以上16%以下，

由下述(1)定義之負荷應力比為0.4以上0.9以下，

負荷應力比=疲勞極限/拉伸強度(1)

由下述(2)定義之耐力比超過1.0且為2.3以下，

耐力比=最大應力/0.2%耐力(2)

上述鋁配線材中，相對於該鋁配線材之總量，合計含有0.01質量%以上1質量%以下之鐵(Fe)及矽(Si)中之至少一種元素，且，合計含有50質量ppm以上800質量ppm以下之鎵(Ga)及釩(V)中之至少一種元素。

- [2] 如 [1] 所記載之鋁配線材，上述鋁配線材之與長度方向垂直之截面中之平均結晶粒徑為 $40 \mu\text{m}$ 以下。
- [3] 如 [1] 或 [2] 所記載之鋁配線材，上述鋁配線材進而含有選自鎂(Mg)、銅(Cu)、鎳(Ni)、鋅(Zn)、鉻(Cr)、錳(Mn)、鈦(Ti)、鋯(Zr)、鎢(W)及釷(Th)中之 1 種以上的元素。
- [4] 如 [1] 至 [3] 中任一項所記載之鋁配線材，上述鋁配線材之線徑為 $15 \mu\text{m}$ 以上 $700 \mu\text{m}$ 以下。
- [5] 如 [1] 至 [4] 中任一項所記載之鋁配線材，上述鋁配線材之與長度方向垂直之截面為圓形、長圓形或橢圓形。

- [6] 如 [1] 至 [5] 中任一項所記載之鋁配線材，上述鋁配線材中之鋁含量相對於鋁配線材之總量為 99 質量%以上且小於 99.9 質量%。

【0028】

- [7] 一種鋁配線材之製造方法，其具有下述工序：

準備純度小於99.9質量%之鋁合金，該鋁合金中，相對於總量，合計含有0.01質量%以上1質量%以下之鐵(Fe)及矽(Si)中之至少一種元素，且，合計含有50質量ppm以上800質量ppm以下之鎵(Ga)及釩(V)中之至少一種元素；以及

對上述鋁合金進行拉線加工；

於上述鋁配線材之與長度方向垂直之截面中，

相對於鋁配線材之長度方向之角度差為 10° 以下之結晶方位 $\langle 112 \rangle$ 的方位比率為45%以下，

鋁配線材之長寬比為4以上之析出粒子之數相對於析出粒子之總數之比為0.5%以上16%以下，

由下述(1)定義之負荷應力比為0.4以上0.9以下，

負荷應力比=疲勞極限/拉伸強度(1)

由下述(2)定義之耐力比超過1.0且為2.3以下，

耐力比=最大應力/0.2%耐力(2)。

- [8] 一種鋁配線材之製造方法，其具有如下工序：

準備純度小於99.9質量%之鋁合金，該鋁合金中，相對於總量，合計含有0.01質量%以上1質量%以下之鐵(Fe)及矽(Si)中之至少一種

元素，且，合計含有50質量ppm以上800質量ppm以下之鎵(Ga)及釩(V)中之至少一種元素；以及

於每個模具之縮面率(加工率)為5%以上40%以下之條件下對上述鋁合金進行拉線加工；

於上述鋁配線材之與長度方向垂直之截面中，

相對於長度方向之角度差為 10° 以下之結晶方位 $\langle 112 \rangle$ 的方位比率為45%以下，

上述長寬比為4以上之析出粒子之數相對於析出粒子之總數之比為0.5%以上16%以下，

由下述(1)定義之負荷應力比為0.4以上0.9以下，

負荷應力比=疲勞極限/拉伸強度(1)

由下述(2)定義之耐力比超過1.0且為2.3以下，

耐力比=最大應力/0.2%耐力(2)。

【0029】 另外，本說明書中「 \sim 」(至)之符號表示包含其前後之數值之數值範圍。

[發明效果]

【0030】 根據本發明，可提供在溫度循環下接合之長期可靠性優異、對楔形工具之追隨性優異且耐振動性優異之鋁配線材。而且，根據本發明，可提供接合之長期可靠性優異、對彎曲之追隨性優異且耐振動性優異之鋁配線材之製造方法。藉此，有助於使用鋁配線材之功率半導體等之小型化。

【圖式簡單說明】**【0031】**

〔圖 1〕係將發生了楔形工具脫落之配線材所形成之接合部放大而拍攝所得之照片(左側)與未發生楔形工具脫落之配線材之正常的接合部之照片(右側)。

〔圖 2〕係 S-N 曲線之圖表。

〔圖 3〕(a)~(g)係示意性地表示鋁配線材之截面形狀之一例之圖。

〔圖 4〕係示意性地表示用於在樹脂密封之狀態下評估功率循環壽命及振動疲勞之評估用之模擬功率半導體裝置的圖。

〔圖 5〕係表示觀察上側裂紋時之鋁配線材之觀察區域 R 之圖。

〔圖 6〕係上側產生裂紋之鋁配線材之照片。

〔圖 7〕係圖 6 之一部分的放大照片

〔圖 8〕係上側未產生裂紋之鋁配線材之照片。

【實施方式】

【0032】 以下，對本發明之實施方式之鋁配線材進行說明。

實施方式之鋁配線材係由純度小於99.9質量%之鋁構成，於鋁配線材之與長度方向垂直之截面中，相對於長度方向之角度差為 10° 以下之結晶方位 $\langle 112 \rangle$ 的方位比率為45%以下。

【0033】 本發明者們於不同組成之鋁及製造條件下試製複數個配線材樣品，對這些樣品如後述般評估接合之長期可靠性(以下，亦稱作「功率循環壽命」)，並且仔細觀察了配線材樣品之與長度方向垂直之截面組織。結果發現：特定之結晶方位之存在比率與功率循環壽命存在相關性。亦即發現：於配線材之與長

度方向垂直之截面中之結晶方位中，相對於長度方向之角度差為 10° 以下之結晶方位 $\langle 112 \rangle$ 的存在比率處於規定範圍內之情形下，功率循環壽命特別優異。

【0034】 於半導體封裝之包括導電用途在內的鋁配線材之製造工序中，廣泛地進行了結晶方位 $\langle 111 \rangle$ 之比率控制。藉由控制結晶方位 $\langle 111 \rangle$ 之比率，可實現了加工性良好且軟質之線材製品的實際應用。然而清楚的是，於近年來之小型、薄型化之半導體封裝之用於導電之鋁配線材中，僅僅藉由控制結晶方位 $\langle 111 \rangle$ 之比率，無法解決如上述般之兼顧在溫度循環下提高接合之長期可靠性、提高對楔形工具之追隨性及提高耐振動性之課題。因此，本發明者們認為：為了解決上述般之課題，重要的是使金屬組織之性質上變形抗力較 $\langle 111 \rangle$ 方位高之特定方位混合存在，且使其比率最佳化。並且發現：在該特定方位中，尤其藉由將 $\langle 112 \rangle$ 方位之存在比率控制在某範圍內，能夠解決上述般之課題。亦即，藉由將結晶方位 $\langle 112 \rangle$ 之比率範圍維持在一定範圍內，綜合地調整配線材之其他特性，用該等特性的協同效應使得在維持耐振動性與對楔形工具之追隨性的同時，特別達成了功率循環之長壽命化。

【0035】 具體而言，本實施方式之鋁配線材中，與長度方向垂直之截面中之結晶方位中，相對於長度方向之角度差為 10° 以下之結晶方位 $\langle 112 \rangle$ 的存在比率為45%以下，由此可達成優異的功率循環壽命，而且可兼顧後述之高耐振動性。從這些觀點考慮，結晶方位 $\langle 112 \rangle$ 之存在比率較佳為10%以上40%以下，更佳為15%以上35%以下。

(功率循環壽命之評估)

【0036】 功率循環試驗是指重複如下循環之試驗：使鋁配線材通電以使接合有鋁配線材之功率晶片表面溫度達到 150°C ，然後停止通電，並冷卻至表面

溫度為25°C為止。亦即，是指如下試驗：重複進行溫度差為125°C之急冷卻與急加熱之循環，直至功率晶片之動作中出現問題為止，評估這一過程中之循環動作次數。將無法通電時之循環次數判定為功率循環試驗之樣品壽命(功率循環壽命)。功率循環壽命越長，接合之長期可靠性越優異。

【0037】 接下來，本發明者們對與上述同樣試製之配線材樣品之與長度方向垂直之截面的金屬組織進行了仔細觀察。結果發現：以鋁為基底之基質上之析出粒子的形狀(在近似橢圓下觀察時的長軸與短軸之長寬比)、與析出粒子之長寬比分布會因配線材樣品之組成或製造條件而有所不同。

【0038】 發明者們推定，這些與長度方向垂直之截面中的析出粒子中，具有特定之長寬比之析出粒子的存在與配線材之追隨性有關。基於該推定，使用圖像處理軟體來分析由SEM-BEI(掃描電子顯微鏡反射電子像)拍攝到之析出粒子之照片，並定量評估圖像上之析出粒子。關於定量評估之方法將在後面詳細敘述，還發現在配線材之與長度方向垂直之截面所觀察到之析出粒子的長寬比及長寬比之分布與配線材之追隨性有關。

【0039】 本實施方式之鋁配線材中，與長度方向垂直之截面中之長寬比為4以上之析出粒子之數相對於析出粒子之總數之比為0.5%以上16%以下。從提高追隨性之方面考慮，長寬比為4以上之析出粒子之數之比較佳為0.7%以上12%以下，更佳為1%以上8%以下。

【0040】 析出粒子係大小(粒子之最大長度)為約30 μm 以下之具有塊狀、環狀、板狀、針狀、大致球狀、不定形狀等之粒子。認為這些粒子包括製造過程中晶化之粒子、析出之粒子、及鋁原材料中所含之粒子。而且，認為析出粒子包

含鋁與鐵之合金、金屬間化合物、鋁與鐵與矽之合金、金屬間化合物、矽單體之析出物中的任一種或兩種以上。

【0041】 析出粒子之數及該析出粒子之長寬比之分布可藉由配線材之組成(鐵及矽之含有比例)或熱處理溫度、時間、熱處理之時機、拉線加工條件等來加以控制。於選擇測定部位時，較佳為確保測定資料之客觀性。作為該方法，較佳為從測定對象之配線材中，相對於配線材之長度方向，例如以3m至5m之間隔取得測定用之試樣以供測定，但在配線材較短之情形等難以按照該間隔取得之情形下，只要能確保測定資料之客觀性，則亦可採用更短之間隔。

【0042】 析出粒子之數及該析出粒子之長寬比之分布可如以下般進行觀察。觀察試樣藉由嵌入式研磨而露出觀察面，然後藉由拋光研磨、銑削處理而成為試樣表面之凹凸及污染已被除去(表面極大地淨化)之狀態。析出粒子係藉由FE-SEM(場發射型掃描電子顯微鏡，日立高新技術製造的SU8220)在1,000倍倍率下特定出，然後將加速電壓設定為5kV，作動距離(W.D.)設定為10 mm，用反射電子像(BED-C)進行觀察。具體而言，在400倍倍率下觀察截面之大範圍的析出粒子，並在1,000倍倍率下從中觀察粒子分布之平均1處至3處。另外，於1,000倍倍率下難以特定出平均部位之情形下，於1,000倍倍率下觀察3處左右即可。於這樣觀察複數個部位之情形下，將觀察部位之平均值作為長寬比之值即可。而且，若想要對整個試樣進行觀察，則可在400倍下進行觀察，但對於細小粒子之試樣而言，理想的是以1,000倍進行觀察而非400倍。就該點而言，觀察倍率由測定者根據線徑與粒子尺寸適當選擇即可，但從測定精度之觀點來看，以1,000倍進行觀察可獲得更準確的值。亦即，觀察析出粒子時，較佳為在倍率400倍以上1,000倍以下進行，該範圍內倍率越高越好。而且，於該FE-SEM觀察所獲得之圖像中，

第 16 頁，共 51 頁(發明說明書)

調整後拍攝以使得析出粒子與鋁基底之顯示效果變得清晰。進而，使用該裝置附帶之EDX(BRUKER製造的Flat QUAD)，藉由映射及若干處的點分析來確認由倍率1,000倍之FE-SEM圖像檢測出的析出粒子是與鋁基底不同之元素(或合金)，相同對比度(亮度)之部分被視為相同元素(或合金)組成。於對鋁配線材之與導線軸垂直之橫截面進行FE-SEM觀察而得到之圖像資料(TIFF檔案，資料尺寸為1M以上，1280×1024像素以上)中，由於鋁配線材其他區域的組成不同，例如原子量(密度)小於鋁之析出粒子會顯示為高亮度值之像素。該情形下，析出粒子以外之區域(鋁基質)中，亮度值顯示得較低。為了更容易判別析出粒子，而將該FE-SEM圖像的亮度值標準化為0至1之範圍。然後，使用柱狀圖等來決定能夠分離析出粒子其他區域之亮度值的閾值(例如0.95)，並以閾值為界而二值化為1與0。藉此，亮度值為0之區域顯示為黑色，亮度值為1之區域顯示為白色。使用圖像分析程式(例如，基於MATLAB語言之圖像分析程式)測量該被二值化為1與0之處理圖像中的作為析出粒子而觀察到之區域(亮度值為1之區域)之數、及該各區域之長寬比。由所算出之析出粒子之數與各析出粒子之長寬比(長寬比之分布)，算出長寬比為4以上之析出粒子之數相對於析出粒子之總數之比。將作為析出粒子觀察到之區域近似為橢圓，並算出該橢圓之長軸/短軸之值作為析出粒子的長寬比。析出粒子之橢圓近似可使用析出粒子之中心座標與析出粒子之區域之外周之各點的座標，藉由最小平方法來進行。另外，當無論如何都難以藉由FE-SEM特定析出粒子之情形下，亦可使用EDX映射像進行二值化，但理想的是仍使用FE-SEM特定出析出粒子。

【0043】 進而可知，因本實施方式之鋁配線材之結晶組織中之結晶粒微細，結晶組織之彈性增加，加上上述<112>之方位比率之存在率，可進一步提高

第 17 頁，共 51 頁(發明說明書)

楔形工具追隨性。具體而言，本實施方式之鋁配線材中，與長度方向垂直之截面中之平均結晶粒徑較佳為40 μm以下，該情形下更容易獲得楔形工具追隨性。平均結晶粒徑較佳為30 μm以下，更佳為20 μm以下。平均結晶粒徑通常為1 μm以上。

【0044】 鋁配線材之截面之結晶組織之測定及分析中，可使用電子背向散射圖形(Electron Backscatter diffraction pattern，以下稱作「EBSP」)法。藉由EBSP法，即使是如半導體焊接用配線材般之細線，亦能夠精度優良、再現性充分地測定其截面之結晶組織。

【0045】 於EBSP法中，通常試樣之表面之凹凸或曲面大時，難以高精度地測定結晶方位。因此，為了用EBSP觀察配線材截面，光滑地處理截面之表面是有用的。作為光滑處理截面之表面之方法，有機械研磨、化學研磨、FIB加工法等。根據這些方法，可除去截面之表面之殘留應變，獲得光滑的表面。

【0046】 若如上述般適當地進行試樣之預處理，則能夠用EBSP法對配線材截面之結晶方位進行高精度之測定、分析。藉由在至少3處以上，若可能的話在10處以上之不同部位進行結晶方位之測定，可獲得考慮了偏差之平均值。

(負荷應力比)

【0047】 本實施方式之鋁配線材由下述(1)定義之負荷應力比為0.4以上0.9以下。

負荷應力比=疲勞極限/拉伸強度...(1)

【0048】 已知汽車行駛或人步行時的振動會在X、Y、Z三個軸方向上隨機發生，而且振動頻率通常在40 Hz以下。例如，搭載於電動汽車之鋁配線材在長期過程中，會受到上述應力之影響，從而於3軸方向上被拉伸、壓縮、彎曲。發

第 18 頁，共 51 頁(發明說明書)

明者們對如何評估這種具有複雜方向性之振動負荷下的性能之方法進行了研究。結果發現，上述般之耐振動性與上述式(1)所示之負荷應力比存在相關性。

【0049】 一般而言，鋼材在受到一定振幅的重複應力時，會在某個重複次數後因疲勞而導致破壞。將該重複應力之大小設為Y軸、將重複次數設為X軸且用雙軸圖表表示的是圖2所示之S-N曲線。若重複應力降低，則S-N曲線在 10^6 到 10^7 附近會變為水平，這意味著即使受到無限次的重複應力之負荷亦不會發生破壞。此時之重複應力值被稱為疲勞極限(fatigue limit)。另一方面，如圖2所示，鋁等非鐵金屬中之S-N曲線沒有成為水平的部位，不存在疲勞極限。因此，將某個重複次數下的強度視為疲勞極限。例如，直至 10^7 才破壞之重複應力被稱為 10^7 時間強度。另外，根據慣例，有時亦將 10^7 至 10^8 左右的重複次數時之應力振幅稱為疲勞極限，因此，本實施方式中，將 10^7 時間強度設為疲勞極限。

【0050】 疲勞極限通常表示為最大負荷應力(MPa)。關於本申請案發明之疲勞極限，可藉由利用拉伸疲勞試驗專用試驗機(Instron公司製造的ElectroPlusE3000，以下稱為「測定裝置」)，按照JIS Z 2273：1978之宗旨，進行室溫(例如 25°C)下的拉伸疲勞試驗來如以下般測定。將評估對象之鋁配線材切割較長度100 mm稍長之長度，獲得測定長度為100 mm之評估樣品。另外，為了算出後述最大負荷應力之值，預先藉由拉伸試驗獲得該評估對象之鋁配線材之0.2%耐力之值。然後，將評估樣品固定於測定裝置上，最大負荷應力下的負荷及最小負荷應力下的卸荷以5 Hz(1秒5次)之速度且最大超過 10^7 之次數重複進行(拉伸疲勞試驗)。另外，此處之最大負荷應力為0.2%耐力之90%之值及小於90%之任意值，最小負荷應力為10 MPa(固定值)。以0.2%耐力之90%之值為最大值，按照從大到小的順序設定上述小於90%之任意值，在次數不同之3點以上的重複

第 19 頁，共 51 頁(發明說明書)

荷載次數下重複上述負荷與卸荷。將結果繪製在半對數之圖表上來作成S-N曲線，其中重複荷載次數設為x軸，最大負荷應力 σ 設為y軸，且以x軸為對數(對數之底為10)。另外，於拉伸疲勞試驗中調整試驗條件，使得繪製在圖表上之重複荷載次數間隔，在x軸方向上，以對數顯示時為1以上，以實數顯示時為 10^1 以上。用最小平方法從所繪製之點求出近似直線，並根據該近似直線求出在重複荷載次數為 10^7 時尚未導致斷裂之最大負荷應力。當該重複荷載次數達到 10^7 時，尚未導致斷裂之最大負荷應力被視為疲勞極限(MPa)。

而且，若 10^7 以上的重複荷載次數的評估很困難，例如，可在重複荷載次數為 10^3 以上至 10^6 以下時尚未導致斷裂時，將最大負荷應力在S-N曲線之半對數圖表中繪製3點以上，用最小平方法從所繪製之點求出近似直線，並根據該近似直線估算出重複荷載次數為 10^7 時的疲勞極限。該情形下，亦調整試驗條件，使得所繪製之點在x軸方向上的間隔，以對數顯示時為1以上，以實數顯示時為 10^1 以上。而且，為了更準確地進行該拉伸疲勞試驗，重要的是滿足如下三個條件。

- (i) 測定長度(被拉伸部分)之兩端固定，在試驗中不移動
- (ii) 測定長度之兩端相互沿單軸方向筆直地拉伸
- (iii) 拉伸試驗所致之斷裂部位不是夾具部分

【0051】 接下來，對拉伸強度進行說明。拉伸強度係藉由將利用拉伸實驗裝置拉伸評估樣品之兩端時之最大荷載(Kgf)除以配線材之截面積而得。該最大荷載係於拉伸實驗裝置中，將拉伸力轉換為電氣信號並自動計算得出。另外，如上述式(1)所示，負荷應力比作為疲勞極限/拉伸強度之值而求出，亦可作為拉伸疲勞試驗中之最大荷載/拉伸試驗中之最大荷載之值而求出。

【0052】 本實施方式之鋁配線材之負荷應力比為0.4以上0.9以下，由此可顯著抑制與半導體晶片接合之配線材之頸部因振動引起的破壞，結果，可提高耐振動性。負荷應力比較佳為0.5以上0.9以下，更佳為0.6以上0.9以下，進而較佳為0.7以上0.9以下。若負荷應力比在該範圍內，則可提高耐振動性之效應。

(耐力比)

【0053】 本實施方式之鋁配線材由下述(2)定義之耐力比超過1.0且為2.3以下。

耐力比=最大應力/0.2%耐力(應力)...(2)

【0054】 設為上述負荷應力比之範圍後，藉由使鋁配線材之耐力比超過1.0且為2.3以下，鋁配線材之韌性增加，可進一步提高耐振動性。耐力比較佳為1.2以上2.1以下，更佳為1.4以上1.9以下。

【0055】 耐力比係將最大應力(MPa)除以0.2%耐力(應力)(MPa)所得之值。首先，藉由上述拉伸試驗，求出配線材之最大荷載(kgf)及0.2%應變荷載(kgf)。藉由將最大荷載除以配線材之截面積而獲得最大應力(MPa)。而且，藉由將0.2%應變荷載除以配線材之截面積而獲得0.2%耐力(應力)(MPa)。亦即，最大應力=最大荷載/截面積，0.2%耐力(應力)=0.2%應變荷載/截面積。將這些適用於上述式(2)，可算出耐力比。而且，耐力比亦可作為拉伸試驗之最大荷載/0.2%應變荷載之值算出。

(耐振動性之評估)

【0056】 使用超音波焊接裝置(超音波工業製造的打線機REBO7)，將配線材樣品以環路之高度為1 mm、長度為7 mm之方式在2塊鋁板上分別接合第一接合部與第二接合部，獲得評估樣品。使用該評估樣品，藉由基於JIS標準製作之

第 21 頁，共 51 頁(發明說明書)

振動疲勞專用試驗機(例如，AS ONE公司製造的CV-101M)進行振動疲勞試驗，以評估耐振動性。振動疲勞試驗中，對各樣品以頻率50 Hz、加速度1G、振幅0.099 mm施加振動，直至斷裂為止。振動疲勞試驗中，直至斷裂為止之總振動次數越多，耐振動性越優異。

【0057】 如上述般，例如，電動汽車有時會在路面養護不足、平坦性差之地區等行駛，從而要求搭載於電動汽車之功率半導體不會因振動而引起故障。本實施方式之鋁配線材因具有上述構成，而耐振動性優異，因此可抑制長期受到振動時之故障。而且，上述般之振動在電流引起之溫度循環下施加至功率半導體，但本實施方式之鋁配線材因具有上述構成，即使在溫度循環與振動複合施加之情形下，發生斷裂等故障亦顯著減少。因此，當用於電動汽車之情形下，可實現高安全性。

【0058】 作為鋁配線材之接合方法之超音波接合，係藉由一邊對鋁配線材施加荷載一邊施加超音波，破壞接合面之氧化膜等，並且一邊使配線材變形一邊進行接合。因此，例如作為接合對象之匯流排或電極之表面之氧化膜等越厚，為了去除這些氧化膜，施加至鋁配線材之超音波需要更高荷載及更高能量。然而，當在高荷載及高能量下施加超音波時，由於其振動，尤其在接合部邊界附近可能會導致配線材之強度降低，結果容易導致接合之長期可靠性降低。然而，本實施方式之鋁配線材中，可如上述般實現優異之耐振動性與功率循環壽命，因此即使為高荷載及高能量下超音波接合之鋁配線材，亦可維持接合之長期可靠性。

【0059】 而且，低環路接合與高環路接合相比，由於其對振動之耐受性較低，故先前藉由維持規定之環路高度來抑制鋁配線材及其接合部之故障。根據
第 22 頁，共 51 頁(發明說明書)

本實施方式之鋁配線材，由於具有優異的耐振動性，故能夠以更低的環路高度接合，因此可有助於功率半導體之小型化。另外，IGBT或MOSFET等中，一般而言，配線材或半導體晶片被樹脂密封。然而，密封樹脂與配線材或半導體晶片並不是完全密接，樹脂與配線材或半導體晶片之間整體上產生間隙。因該間隙，即使在被樹脂密封之功率半導體中，亦與未被樹脂密封之功率半導體同樣地要求耐振動性。溫度循環中產生熱疲勞之配線材中，即使在樹脂與配線材之間之微小空隙中產生之短振幅的振動亦可能成為故障之原因。然而，根據本實施方式之鋁配線材，由於功率循環壽命長且耐振動性優異，故即使在被樹脂密封之功率半導體中亦可抑制溫度循環或振動引起之斷裂。

【0060】 構成本實施方式之鋁配線材之鋁，相對於其總量，合計含有0.01質量%以上1質量%以下之鐵(Fe)及矽(Si)中之至少一種元素，且，合計含有50質量ppm以上800質量ppm以下之鎵(Ga)及釩(V)中之至少一種元素。

【0061】 本實施方式之鋁配線材藉由含有這些元素，利用製造條件之調整獲得上述析出粒子之分布。因此，可藉由本實施方式之鋁配線材獲得優異之耐振動性及接合之長期可靠性。鐵、矽、鎵、釩可預先包含在鋁配線材之原料中，亦可在鋁配線材之製造過程中添加。

【0062】 本實施方式之鋁配線材中，因鐵與矽中之至少一種元素之合計量為0.01質量%以上，可獲得更長之功率循環壽命。由於鐵及矽之量容易達成長壽命，故合計較佳為0.02質量%以上，更佳為0.05質量%以上，進而較佳為0.1質量%以上，進而更佳為0.13質量%以上。而且，從達成長功率循環壽命且維持導電性之觀點考慮，鐵及矽之量合計更佳為0.9質量%以下，進而較佳為0.8質量%以下。

【0063】 本實施方式之鋁配線材中，相對於鋁合金之總量，鐵之量較佳為0.01質量%以上，更佳為0.03質量%以上，進而較佳為0.05質量%以上，尤佳為0.1質量%以上，進而更佳為0.13質量%以上。而且，相對於配線材之總量，鐵之量較佳為0.95質量%以下，更佳為0.9質量%以下。而且，相對於鋁合金之總量，矽之量較佳為0.01質量%以上，更佳為0.05質量%以上。矽之量較佳為0.5質量%以下，更佳為0.4質量%以下。藉由組合上述鐵與矽之較佳範圍，利用鐵與矽之協同效應，更容易獲得接合之長期可靠性。

【0064】 本實施方式之鋁配線材中，鎳與鈦中的至少1種之含量之上限無特別限定，但為1000質量ppm左右。鎳與鈦之合計量較佳為800質量ppm以下，藉此，容易抑制通電時之鋁配線材之最高到達溫度。相對於配線材之總量，鎳與鈦之含量可為100質量ppm以上，亦可為150質量ppm以上。相對於配線材之總量，鎳與鈦之含量可為700質量ppm以下，亦可為600質量ppm以下。關於鎳與鈦之含量，於配線材中僅含有鎳與鈦中之任一者之情形下，只要其中一者之量在上述範圍內即可，於含有鎳與鈦之兩者之情形下，鎳與鈦之合計量在上述範圍內即可。

【0065】 例如，使用純度99.99質量%之鋁配線材之情形下的通電時之最高到達溫度為150°C時，只要鎳與鈦之含量為1000質量ppm以下，則可將最高到達溫度抑制在160°C以下。亦即，以純度99.99質量%之鋁配線材為基準，可將通電時之發熱上升溫度抑制在10°C左右以內。

【0066】 本實施方式之鋁配線材除了含有鐵、矽、鎳、鈦以外，亦可含有鎂(Mg)、銅(Cu)、鎳(Ni)、鋅(Zn)、鉻(Cr)、錳(Mn)、鈦(Ti)、鋯(Zr)、鎢(W)、釷(Sc)之微量元素中的1種或2種以上。本實施方式之鋁配線材亦可含有上述微量元

素以外之不可避免雜質。相對於配線材整體，微量元素之含量合計為0.1質量%以下之量。而且，相對於鋁合金之總量，微量元素之含量例如為0.0001質量%以上。這些微量元素可預先包含在鋁配線材之原料中，亦可為鋁原料之不可避免雜質，還可在鋁配線材之製造過程中添加。上述微量元素較佳為0.005質量%以上，更佳為0.01質量%以上，進而較佳為0.015質量%以上。

【0067】 本實施方式之鋁配線材中含有之元素的含有比例一般藉由感應耦合電漿(ICP)發光分光分析等化學分析來測定，但並不限於此。例如，亦可藉由二次離子質量分析(SIMS)、輝光放電質量分析法(GDMS)或能量色散型X射線分光法之分析(EDX)進行同樣測定。

【0068】 本實施方式之鋁配線材較佳為由鋁之純度(鋁相對於鋁配線材總量之量)為99質量%以上之鋁合金構成。藉此，具有充分之導電率，並且可實現更良好之耐振動性及接合之長期可靠性。鋁配線材之鋁之純度較佳為99.9質量%以下。因鋁之純度為99.9質量%以下，而可含有充分量之鐵、矽、鎳及鈦或微量元素，因此有助於提高長期可靠性。鋁合金之純度更佳為小於99.9質量%，進而較佳為99.8質量%以下。

【0069】 本實施方式之鋁配線材之線徑通常為15 μm 以上700 μm 以下，較佳為70 μm 以上600 μm 以下，更佳為100 μm 以上500 μm 以下。若截面形狀為正圓，則鋁配線材之線徑為直徑，若為其他形狀(下述所示般之截面為圓形、橢圓形、長圓形、多邊形、類似多邊形之形狀)，則以長軸之長度為直徑。然而，於截面為多邊形、類似多邊形之形狀之情形下，亦可測定其長度作為寬度或厚度。圖2中示意性地示出鋁配線材之截面形狀之一例。如圖3中所示，鋁配線材之截面形狀除圓形狀(圖3之(a))以外，亦可為橢圓形狀(例如，圖3之(b))或長圓形狀(例

如，圖3之(c))、四邊形(例如，圖3之(e))、三角形(例如，圖3之(d))或類似多邊形之形狀(例如，圖3之(f)、(g))等。於鋁配線材之截面為橢圓形狀或長圓形狀之情形下，長軸之長度較佳為0.3 mm以上4 mm以下，更佳為0.5 mm以上3 mm以下，短軸之長度較佳為0.05 mm以上0.5 mm以下，更佳為0.1 mm以上0.5 mm以下。於鋁配線材之截面為四邊形之情形下，長邊之長度較佳為0.3 mm以上4 mm以下，更佳為0.5 mm以上3 mm以下，短邊之長度通常較佳為0.05 mm以上0.5 mm以下，更佳為0.1 mm以上0.5 mm以下。另外，將截面為多邊形或類似多邊形之形狀、或者扁平橢圓形(將橢圓形沿單軸方向壓縮之形狀)之形狀的配線材稱為帶狀線，將截面為圓形、橢圓形、長圓形之配線材稱為導線。

(鋁配線材之製造方法)

【0070】 接下來，說明實施方式之鋁配線材之製造方法之一例。另外，鋁配線材之製造方法並不限定於以下所示之製造方法。理想的是鑒於要製造之鋁配線材之重量及熱處理爐之處理能力，適當調整條件。

【0071】 於99質量%以上之高純度之鋁中同時熔解鐵及矽，以製作鋁熔體。作為原料之高純度鋁之純度可為99.9質量%以上，亦可為99.99質量%以上。熔解中使用了電弧加熱爐、高頻加熱爐、電阻加熱爐、連續鑄造爐等加熱爐。雖然在大氣熔解中無問題，但為了防止來自大氣中之氧或氫之混入，亦可將加熱爐之鋁熔體保持在真空或氬、氮等惰性氣體氛圍中進行熔解。而且，於鋁熔解時，較佳為進行夾雜物除去工序，即，於熔體中通入氬(Ar)氣或氮氣等惰性氣體進行氣泡處理後，利用過濾器進行過濾處理。夾雜物除去工序中，因惰性氣體之氣泡處理，可使二氧化矽(SiO₂)或氧化鋁(Al₂O₃)等夾雜物凝聚在鋁熔體表面，然後藉由後續的過濾處理從鋁熔體中除去夾雜物。藉由除去夾雜物，可更容易地

將負荷應力比調節為0.4以上。於夾雜物除去工序中，若使用氬(Ar)氣，則可在提高負荷應力比之同時，更容易地將耐力比及<112>方位比率調整到上位範圍，從而在溫度循環下進一步提高接合之長期可靠性與耐振動性。

【0072】 而且，於夾雜物除去工序中，氣泡處理之氣體流量越大，氣泡處理之時間越長，夾雜物之除去效應就越高，因此容易將負荷應力比調節至0.4以上。與此相對，若氣體流量過大或氣泡處理時間過長，於夾雜物之除去效應達到飽和後，反而會變得無效而浪費。另外，作為氣泡處理之方法，從抑制鋁熔體中溶出雜質之觀點考慮，較佳為使用高溫下之耐腐蝕性優異之鋼製管，並經該管通入惰性氣體來進行氣泡處理。作為過濾處理方法，可採用使鋁熔體流經孔隙率為0.8至0.9左右之陶瓷泡沫製過濾器之方法。

【0073】 表1係表示在進行了夾雜物除去工序之情形下(有氣泡處理)及不進行夾雜物除去工序之情形下(無氣泡處理)，在其他製造條件相同之情形下，最終線徑之鋁配線材之負荷應力比、耐力比、<112>方位比率之差異之表。表1所示之實驗例中，對鐵(Fe)為0.15質量%、Si(矽)為0.03質量%、Ga(鎵)為0.009質量%且釩(V)為0.012質量%而剩餘量為鋁及不可避免雜質之組成A，鐵(Fe)為0.8質量%、Si(矽)為0.2質量%、Ga(鎵)為0.03質量%且釩(V)為0.03質量%而剩餘量為鋁及不可避免雜質之組成B，比較有無氣泡處理所造成之影響。如表1所示可知，於鋁熔體中進行了夾雜物除去工序之情形下，與不進行夾雜物除去工序之情形相比，更容易將負荷應力比、耐力比、<112>方位比率調整到本實施方式之範圍內。

【0074】

[表1]

	組成A ^{*1}			組成B ^{*2}		
	負荷應力比	耐力比	<112>方位比率	負荷應力比	耐力比	<112>方位比率
有氣泡處理	0.76	1.65	16%	0.81	1.72	20%
無氣泡處理	0.45	2.23	42%	0.55	2.11	39%

※1：Al=0、1.5%Fe=0、0.3%Si=0、0.09%Ga=0、0.12%V

※2：Al=0、8%Fe=0、2%Si=0、0.3%Ga=0、0.3%V

(00/5) 溶解後之鋁材料可從加熱爐連續鑄造為規定之直徑，使其凝固而製成鑄錠，然後將該鑄錠放置在擠出機中擠出成形加工成規定線徑。實施方式之鋁配線材之製造方法中，較佳為進行防割傷處理工序，即，對擠出成形加工成規定線徑的原線材進行防割傷處理。藉由經過防割傷處理工序，可容易地將耐力比調節為超過1.0且為2.3以下。防割傷處理可藉由在原線材之表面塗佈以界面活性劑為主成分之處理液來進行。藉由使用界面活性劑，與使用油性之處理液相比，不僅不易引起原線材之表面腐蝕，且可抑制隨後的熱處理工序中之鋁配線材表面處之界面活性劑的燒付或高溫腐蝕，因此容易將耐力比調整到上述範圍。而且，藉由經過防割傷處理工序，可在將耐力比調整到上述範圍的同時，更容易兼顧到<112>方位比率調整為45%以下且負荷應力比調整到0.4以上0.9以下之範圍。另外，作為防割傷處理工序之處理液中含有之界面活性劑，可列舉乙醇、甲醇、丁醇、正丙醇、苯酚、乙二醇、十三醇、甘油等醇系溶劑等，於隨後的拉線工序中使用界面活性劑作為潤滑劑之情形下，較佳為使用與該拉線工序相同種類之界面活性劑。而且，防割傷處理工序中使用之界面活性劑之濃度無特別限定，但從容易將耐力比調節至超過1.0且為2.3以下之方面考慮，於隨後的拉線工序中使用界面活性劑時，較佳為濃度與該拉線工序之界面活性劑相同。

【0076】 將在上述工序中獲得之線材拉線加工成線徑5.0 mm之中間線材。中間線材之線徑通常為最終線徑之7倍至330倍左右。

接下來，亦可對拉線加工後之配線材(中間線材)進行均質化處理(均質化處理工序)。均質化處理中，於大氣爐中對中間線材實施400°C至500°C下加熱30分鐘至240分鐘左右之熱處理，然後急冷。藉由經過均質化處理工序，尤其在鋁配線材中之鋁以外之元素的量少之情形下，容易兼顧上述規定之結晶方位<112>之方位比率與負荷應力比之值。均質化處理工序中之急冷並無特別限定，可利用將加熱後之中間線材浸漬於浸漬槽等中所貯存的冷水中之方法、或對加熱後之中間線材用噴淋等沖洗冷水之方法等來進行。藉由進行低溫且短時間之均質化處理，較之溶體化處理更能夠使鋁以外之元素均質地分散於鋁基質中，因此可更容易地兼顧上述規定之結晶方位<112>之方位比率與負荷應力比之值，同時提高接合之長期可靠性與耐振動性，並獲得對彎曲之充分的追隨性。

另外，本實施方式之鋁配線材之製造方法中，除上述均質化處理外，亦可進行用於使鋁以外之元素固溶於鋁基質中之溶體化處理。而且，對於均質化處理後之中間線材，亦可在拉線加工前實施中間熱處理。中間熱處理中，例如將均質化處理後之中間線材在240°C至300°C下加熱30分鐘至140分鐘左右，然後空氣冷卻。藉由中間熱處理，可進行<112>方位比率及負荷應力比、耐力比之微調整。中間熱處理中之中間線材之加熱有如下兩種方式：一種是在加熱至規定溫度之加熱氛圍內使線材通過而進行熱處理之走間熱處理，一種是在密閉式爐內加熱線材而進行之批次式熱處理。

【0077】 中間線材在視需要實施均質化處理、溶體化處理、中間熱處理後，進行拉線加工直至最終線徑。拉線加工中，依次使配線材通過複數個超硬模

具或金剛石模具，逐步縮小配線材之線徑。為了使<112>的方位比率為45%以下，每個模具之縮面率(加工率)宜設為5%以上40%以下。

而且，拉線加工較佳為一邊冷卻模具一邊進行。藉由冷卻模具，可抑制因模具與配線材之摩擦而配線材之溫度上升，藉此，容易將鋁配線材之<112>方位比率調整為45%以下，並且鋁配線材整體可獲得均質之<112>方位比率。作為模具冷卻方法，向模具入口噴射含有冷水之冷卻液之方法是有效的。而且，於冷卻模具之同時，亦可使以界面活性劑為主成分之潤滑劑流入模具內，藉此，可容易地將負荷應力比調節至上述範圍。根據向模具入口噴射冷卻液來冷卻模具之方法，由於可將潤滑劑混合到冷卻液中供給，因此可有效地使潤滑劑流入模具內。另外，模具冷卻方面，例如當冷卻液之溫度為20°C以下且被噴霧之冷卻液之流量大時，冷卻效果會更好，<112>之方位比率更容易均質化。與此相對，若冷卻液之流量過多，則冷卻效果會受到限制，從而容易導致浪費。

【0078】 對拉線至最終線徑之配線材實施最終熱處理。最終熱處理中，主要殘留於配線材內部之金屬組織之應變被除去，藉此可調整配線材之機械特性等。

【0079】 作為最終熱處理之方法，有如下兩種方式：一種是在加熱至規定溫度之加熱氛圍內使配線材通過而進行熱處理之走間熱處理，一種是在密閉式爐內加熱配線材而進行之批次式熱處理。本實施方式中之最終熱處理較佳為藉由批次式熱處理來進行，例如在150°C以上400°C以下進行約30分鐘以上60分鐘以下。藉由在上述條件下進行最終熱處理，可將長寬比為4以上之析出粒子之數之比調整為0.5以上5以下。具體而言，最終熱處理溫度越高且最終熱處理時間越

長，長寬比為4以上之析出粒子之數之比往往會越大，最終熱處理溫度越低且最終熱處理時間越短，長寬比為4以上之析出粒子之數之比往往會越小。

【0080】 較佳為將實施了最終熱處理之配線材隨後進行空氣冷卻。利用空氣冷卻，容易將鋁配線材之<112>方位比率均質地調節為45%以下。這是因為，相較於空氣冷卻，水冷的冷卻效果更高，但與水冷相比，空氣冷卻不會在鋁配線材表面發生污染或缺陷，在實現了上述耐力比及負荷應力比的同時，容易均質且精密地控制為45%以下之<112>方位比率。作為空氣冷卻方法，例如有在室溫下放置最終熱處理後之鋁配線材來進行緩冷之方法、或向鋁配線材表面噴射冷風之方法。其中，較佳為向鋁配線材表面噴射空氣或冷風之方法，這是因為容易將<112>方位比率均質且穩定地調整至上述所期望之範圍。於利用向鋁配線材表面噴射空氣或冷風之方法進行空氣冷卻之情形下，空氣或冷風之溫度越低且噴射之風速越大，冷卻效果就越高，容易穩定地獲得上述範圍之<112>方位比率。

【0081】 上述說明之實施方式之鋁配線材之製造方法中，根據鋁配線材中之鋁以外的元素之量及種類，利用上述方法調整熔體中之夾雜物除去工序、原線材中之均質化處理、拉線加工中之模具冷卻、最終熱處理及最終熱處理後之空氣冷卻中之各個條件，藉此將<112>方位比率、平均結晶粒徑、負荷應力比、耐力比及長寬比為4以上之析出粒子之數之比調整至較佳範圍。

(鋁配線材之用途)

【0082】 本實施方式之鋁配線材可用於先前由鐵系材料、銅系材料及鋁系材料所構成之配線材被應用之所有用途中。具體而言，本實施方式之鋁配線材可適合用作功率半導體用之導電構件、電線或電纜等導電構件、電池用構件、發電機或馬達中使用之繞組等。功率半導體用之導電構件係半導體用之焊接線

或焊接帶等。電池用構件係集電體用之網格材料或網狀材料、匯流排及電池接合用之焊接配線材等。

[實施例]

【0083】 接下來，對實施例進行說明。本發明不限於以下之實施例。

【0084】 如以下般製作實施例之鋁配線材。準備純度為99.9質量%以上之高純度之鋁錠，對各實施例之配線材以成為表2所示之組成之方式添加鐵及矽、鎳及鈮，而製作鋁合金。各組成之鋁合金在大氣下熔解。於鋁合金熔解時，鋁合金之熔體中經鋼製管通入氬(Ar)氣並進行氣泡處理後，藉由孔隙率0.85之陶瓷泡沫製之過濾器來過濾熔體表面析出之夾雜物。此時之氬(Ar)氣之流量為7L/分鐘，過濾時之熔體通量為22 kg/分鐘。然後，進行連續鑄造、擠出成形加工而獲得線材。於藉由擠出成形加工而獲得之線材表面塗佈作為界面活性劑之乙醇之水溶液，進行防劃傷處理。將藉此獲得之線材拉線加工至中間線徑5 mm。然後，對該拉線中途之中間線材，於240°C至300°C下進行30分鐘至140分鐘左右的中間熱處理。將中間熱處理後之中間線材在空中冷卻。對中間熱處理前後之中間線材實施基於冷間模具拉拔進行的拉線加工。拉線加工中，每個金剛石模具之縮面率(加工率)設為5%以上40%以下。而且，於基於模具拉拔進行的拉線加工中，向金剛石模具流入含有與上述界面活性劑相同種類之界面活性劑之潤滑液，使其濃度與防劃傷處理時之處理液相同，從而冷卻金剛石模具。實施例之鋁配線材之製作中，將加工成最終線徑前的總加工率設為99.36%，拉線加工至最終線徑(400 μm)。進而，對加工至最終線徑之鋁配線材，利用批次式爐或鹽浴在150°C至400°C之間實施30分鐘至60分鐘的最終熱處理。在對結束了最終熱處理之鋁配

線材噴射冷風進行空氣冷卻後，再利用換捲機將已空氣冷卻之鋁配線材每約300m換捲在捲筒上。藉此，獲得了截面為圓形狀之鋁配線材。

【0085】 如以下般製作比較例之鋁配線材。與實施例同樣地，準備純度99.9質量%以上之鋁錠，添加Fe、Si、Ga、V等以使其成為表2所示之組成，將中間線徑或最終線徑下之熱處理溫度或時間、從各線徑到下一線徑之加工率、中間熱處理後之冷卻速度、各模具之縮面率等製造條件改變到上述實施例之範圍外，製作各比較例之鋁配線材。

(配線材截面之結晶方位及平均結晶粒徑之測定)

【0086】 實施例及比較例之鋁配線材截面之結晶方位如以下般進行測定。將鋁配線材切成數釐米長度，準備複數個評估樣品。於考慮到評估樣品不會發生伸長或鬆弛的情況下，將其筆直且平坦地貼附於金屬(鍍Ag框架)板上。然後，將評估樣品連同金屬板一起放入圓筒狀之模具(模)中，使金屬板成為圓筒之底面，接下來使埋入樹脂流入模具內，然後添加硬化劑使樹脂硬化。接著，用研磨器對硬化後之含有評估樣品之圓筒狀之樹脂進行粗研磨，以使配線材長度方向之垂直截面(以下，亦稱為橫截面)露出。然後，藉由最終研磨進行切斷面之精加工，繼而藉由離子銑削除去研磨面之殘留應變，獲得光滑之表面。另外，對離子銑削裝置進行微調，以使配線材切斷面與配線材長度方向垂直。

【0087】 於場發射形掃描電子顯微鏡(FE-SEM，日本電子製造的JSM-7800F)之試樣台上，以使評估樣品之配線材之橫截面(即，評估樣品之研磨面)與試樣台平行的方式進行貼附，藉由FE-SEM設定200倍之觀察倍率、加速電壓15keV、測定區域約420×420 μm、測定間隔(Step Size)1.2 μm，來測定橫截面之

結晶方位及平均結晶粒徑。使用結晶方位分析專用軟體(TSL製造的OIM analysis，以下亦稱為專用軟體)分析如此獲得之結晶方位。

【0088】 設定專用軟體之結晶粒之判別條件，分析了所測定出之試樣之結晶方位比率，亦即各結晶方位之存在比例。專用軟體之結晶粒之判別條件通常可根據分析目的來設定，但由於這對結晶方位比率之分析結果幾乎沒有影響，故在本實施例及比較例中，設定為當方位差為 10° 以下且有2個以上之像素連接時，識別為1個結晶粒，並求出其中 $\langle 112 \rangle$ 方位之結晶粒之比例。

【0089】 而且，EBSP測定資料之分析中，由於測定面之由粗糙度、研磨等造成之殘留應變、污染、氧化膜之存在等，可能存在無法測定結晶方位之區域。因此，設定可靠度並以該可靠度為基準，將測定區域內僅已確定之結晶方位之面積作為總體，藉由專用軟體自動算出各方位比率。即，排除了無法測定結晶方位之部位及雖然可測定結晶方位但測定結果之可靠度低之部位等，而求出方位比率(負荷應力比之測定)。此處，有時在專用軟體中準備參數，且可靠度可使用該參數來設定。具體而言，可使用Confidential Index(CI值，機密指數)、Image Quality(IQ值，影像品質)等幾種參數，根據試樣之狀態、分析目的等來選擇是否滿足可靠度之判定基準。

例如，將CI值設定為0.1以上，並排除CI值小於0.1之部位。進而，使用專用軟體中包含之清理處理，將測定可靠度低之像素之方位資料等用其周邊之正常測定出之像素之資料進行置換，從而補充了測定可靠度低之部分的測定結果。該方法在測定可靠度低之像素分散存在時，對其除去是有效的。然而，若清理處理過度，則所呈現出之圖像的雜訊會變大，因此例如在方位差為 10° 以下且有2個

以上之像素相連時，識別為一個結晶粒，實施1次晶粒膨脹(Grain Dilation)法，並進而實施1次晶粒CI標準化(Grain CI Standardization)法。

【0090】 將藉由上述求出之實施例及比較例之各鋁配線材之與長度方向垂直之截面中的相對於長度方向之角度差為 10° 以下之 $\langle 112 \rangle$ 方位比率、平均結晶粒徑示於下述表2。

(析出粒子之長寬比與長寬比之分布之測定)

【0091】 對於最終線徑 $400\ \mu\text{m}$ 之調質熱處理後之導線，用上述取樣方法獲取樣品，對於析出粒子之粒徑，用FE-SEM(場發射型掃描電子顯微鏡，日本電子製造的JSM-7800F)在400倍倍率下觀察與導線軸垂直之截面(橫截面)，即截面之大範圍的析出粒子，並在1,000倍倍率下從中觀察粒子分布之平均1處至3處。SEM攝影條件中，係將加速電壓設定為 5kV ，作動距離(W.D.)設定為 $10\ \text{mm}$ ，選擇反射電子像(BED-C)來實施。圖像分析中，將拍攝到之SEM圖像之亮度值標準化為0至1之範圍，然後將閾值二值化為0.95，將亮度值高於閾值之區域作為析出粒子。

【0092】 而且，圖像分析中，將圖像上被識別為粒子之區域中的8鄰域內相鄰之像素判定為一個粒子。8鄰域是指以被識別為粒子之規定區域為中心，上下左右及在這四個方向旋轉 45° 之8個方向，在該8個方向中任一個方向上接觸之區域均被定義為1個粒子。另外，若僅在被識別為粒子的規定區域內，8個方向中之任一個方向上都沒有接觸之區域，則不會被判定為粒子。

【0093】 接下來，對與導線軸方向垂直之截面整體之析出粒子之長寬比(將析出粒子之形狀近似為外接於析出粒子之橢圓時的長軸與短軸之比(長軸/短軸)和數進行了測量，並用百分率表示長寬比為4以上之析出粒子之數相對於析

第 35 頁，共 51 頁(發明說明書)

出粒子之總數之比。該數之比在導線之前端部、後端部及中間部中之任一部位幾乎一致。將各實施例中之該數之比示於表2。另外，將實施例3及比較例9之析出粒子之總數與長寬比為4以上之析出粒子之數之比示於表4。

(負荷應力比之測定)

【0094】 負荷應力比藉由以下方法求出。將實施例及比較例之各鋁配線材設為測定長度100 mm，獲得評估樣品。使用該評估樣品，於15°C至28°C之室溫下，藉由拉伸疲勞試驗專用試驗機(Instron公司製造的ElectroPlusE3000)進行拉伸疲勞試驗，從而測定疲勞極限(MPa)。對評估樣品之兩端進行拉伸，最大負荷應力下之負荷及最小負荷應力下之卸荷以5 Hz(1秒5次)之速度且以超過 10^7 之重複次數為最大次數進行重複，將3點以上之不同重複荷載次數下之最大負荷應力繪製在S-N曲線之半對數圖表上，並用最小平方法從所繪製之點求出近似直線，並根據該近似直線求出在 10^7 重複時之疲勞極限(MPa)。

【0095】 而且，將實施例及比較例之各鋁配線材切割成略長於100 mm之長度，另行獲得評估樣品。於15°C至28°C之室溫下，藉由拉伸試驗測定拉伸強度，亦即最大荷載(Kgf)。拉伸試驗中之最大荷載可藉由拉伸實驗裝置測定。最大荷載係藉由拉伸實驗裝置(例如，株式會社島津製作所製造的Autograph，型號：AGS-5kNX)，將測定長度設為100 mm，以速度20 mm/min用額定100N的測力器對評估樣品之鋁配線材持續進行拉伸，算出直至斷裂為止的最大值。最大荷載是指對以上述速度拉伸之配線材施加之力，通常藉由測力器將拉伸力轉換為電氣信號而自動算出。最大荷載係考慮到測定結果之偏差，求出3個平均值。藉由將最大荷載除以配線材之截面積來求出拉伸強度(MPa)。

【0096】 根據藉由上述測定出之疲勞極限及拉伸強度，並用以下之式計算出負荷應力比。

$$\text{負荷應力比} = \text{疲勞極限} / \text{拉伸強度}$$

將藉由上述求出之實施例及比較例之各鋁配線材之負荷應力比示於下述表2。

(耐力比之測定)

【0097】 關於耐力比，將實施例及比較例之各鋁配線材切割成略長於100 mm之長度，獲得耐力比測定用之評估樣品。藉由拉伸試驗，於與上述相同之條件下，求出各樣品之最大荷載(Kgf)及0.2%應變荷載(Kgf)，並分別除以各樣品之截面積，由以下之式計算出耐力比。

$$\text{耐力比} = \text{最大應力} / 0.2\% \text{耐力(應力)}$$

將藉由上述求出之實施例及比較例之各鋁配線材之耐力比示於下述表2。

(元素濃度之測定)

【0098】 實施例及比較例之各鋁配線材中之元素之濃度如以下般測定。所製造之配線材約0.5g溶解。藉由高頻感應耦合電漿發光分光分析法(株式會社島津製作所製造的ICPE-9000)求出溶液中之各元素之濃度。另外，此處測定出之鋁以外之元素為鐵(Fe)、矽(Si)、鎵(Ga)、釩(V)、鎂(Mg)、銅(Cu)、鎳(Ni)、鋅(Zn)、鉻(Cr)、錳(Mn)、鈦(Ti)、鋯(Zr)、鎢(W)及釷(Sc)，下述表2中示出該等元素的含量。下述表中，縮寫「mass」表示質量。

【0099】 將上述獲得之實施例及比較例之鋁配線材之組成示於表2。接下來，對上述獲得之鋁配線材進行如下之性能評估。

(功率循環試驗)

【0100】 對於實施例及比較例之各鋁配線材，使用超音波焊接裝置(超音波工業製造的打線機REBO7)將鋁配線材接合到功率晶片之鋁合金電極上。對於各鋁配線材，分別設定接合時之超音波能量與加壓力，以使接合部分之配線材之長度方向長度為500 μm 。於接合鋁配線材後，對功率晶片設定功率晶片之最大溫度($T_{j\max}$)為150°C、最低溫度($T_{j\min}$)為25°C，亦即最大溫度與最低溫度之溫度差(ΔT_j)=125°C之電流、通電時間、冷卻時間，實施功率循環試驗。此時之通電時間約為7秒，通電停止時間約為13秒，每一循環約為20秒。

【0101】 將無法再通電時之循環數定義為功率循環試驗中之壽命(功率循環壽命)。將功率循環壽命為6萬次循環以上之樣品判定為「S」(優)，即目標以上之壽命。將功率循環壽命為4萬次循環以上且小於6萬次循環判定為「A」(良)，即目標等級。將功率循環壽命為2萬次循環以上且小於4萬次循環之樣品判定為「B」(可)，即合格。將功率循環壽命小於2萬次循環之樣品判定為「C」(不合格)。將各實施例及比較例中之鋁配線材之功率循環試驗(熱循環)之評估示於表3。

(耐振動性)

【0102】 對實施例及比較例之各鋁配線材，使用超音波焊接裝置(超音波工業製造的打線機REBO7)，以環路之高度1 mm、長度7 mm之方式，在2塊鋁板上分別接合第一接合部與第二接合部，從而獲得評估樣品。環路之長度為第一接合部與第二接合部之兩端間的直線距離。使用該評估樣品，藉由基於JIS標準而製作之振動疲勞專用試驗機(AS ONE公司製造的CV-101M)進行振動疲勞試驗，作為耐振動性之評估。振動疲勞試驗對各評估樣品，於頻率50 Hz、加速度1G、振幅0.099 mm下施加振動直至斷裂為止。振動疲勞試驗中，將直至斷裂為止之總振動次數超過5萬之評估樣品判定為「S」，即目標以上。將直至斷裂為止

之總振動次數為1萬以上且小於5萬之樣品判定為「A」，即目標等級。將直至斷裂為止之總振動次數為5千以上且小於1萬之樣品判定為「B」，即合格。將直至斷裂為止之總振動次數小於5千之樣品標記為「C」，即不合格。將各實施例及比較例中之鋁配線材之振動疲勞試驗之評估示於表3。

(工具脫落評估)

【0103】 接下來，使用線徑為400 μm 之鋁配線材之評估樣品，用超音波焊接裝置(K&S製打線機ASTERION)，將第一接合部與第二接合部以彼此的距離為5 mm之方式接合於2塊鋁板上。第二接合部以相對於配線材軸方向沿水平方向橫向彎曲45°為目標，將評估樣品彎曲後進行接合。接合條件設定為使超音波能量與加壓力對評估樣品而言分別達到最佳條件。另外，焊接工具使用的是Kulicke&Soffa公司製造的型號：127591-16，其夾持配線材之鱷魚嘴之尺寸為：開口(內徑)為0.5 mm，深度(高度)為0.2 mm，長度(進深)為1.0 mm。

【0104】 藉由觀察第二接合部之配線材之狀態來判定是否發生了工具脫落之故障。使用評估樣品進行30次焊接(將第一接合與第二接合之組合作為1次)，若配線材未接合，或若如圖3之左下所示有任一部位出現了與工具碰撞造成的接觸痕跡，則判定為「x」，即不合格。若如圖3之右下所示正常接合，則判定為「o」，即合格。將這些結果示於表3。

【0105】 另外，對實施例1及比較例11之配線材，進行了如下述般的高濕度環境下之耐腐蝕試驗。使用超加速壽命試驗裝置，於121°C、100%RH(飽和)之條件下進行了長達1000小時之試驗。腐蝕層厚度測定係於使用截面銑削裝置製作出導線截面後，用FE-SEM觀察腐蝕層。結果，腐蝕層厚度均為5 μm ，確認這一水平不會對配線材之使用造成問題。

(綜合評估)

【0106】 若上述3個評估只有「S」及「○」，則綜合評估判定為「優」，表示優秀。若上述3個評估只有「S」、「A」或「○」，則綜合評估判定為「良」，表示良好。其他評估組合中，若沒有「C」或「×」之評估，則綜合評估判定為「可」，表示合格。若樣品中有一個為「C」或「×」評估，則綜合評估判定為「不可」，表示不合格。將這些結果記錄於表3。

(樹脂密封之晶片之功率循環及振動疲勞試驗)

【0107】 為了評估樹脂密封之狀態下的功率循環壽命及振動疲勞，而製作評估用之模擬功率半導體裝置。圖4示意性地表示評估用之模擬功率半導體裝置200。如圖4所示，用黏晶將2個階梯狀之鋁製端子202、203及IGBT晶片204固定於長45 mm、寬40 mm、厚2 mm之碳化鎢製之金屬板201上。另外，於一鋁製端子203之背面配置金屬製間隔件，並使其適當隆起。隨後，根據實施例及比較例之鋁配線材，將IGBT晶片204與端子203焊接，以環路頂到端子203表面之高度為1 mm，IGBT晶片204表面到環路頂之高度為10 mm，配線材接合部分之兩端面之距離，亦即配線材之長度最短者為7 mm，最長者為20 mm之方式形成環路。然後，用市售之樹脂製封堵劑在IGBT晶片周圍形成了壁，並用矽膠系之密封樹脂205填滿了壁內側之IGBT晶片及配線材之焊接部分。

【0108】 用上述方法製作之模擬功率半導體裝置中，執行功率循環試驗及振動疲勞試驗作為熱振動疲勞試驗。亦即，為了再現與實際器件中熱應力及振動所引起之應力接近之負荷，將上述功率循環試驗之4,320次循環(20秒×4320次=24小時)及隨後的半導體裝置自身之振動試驗(24小時)視為本試驗中之1個循

環，並對每1循環進行通電試驗。另外，根據上述振動疲勞試驗之條件來實施該振動試驗。

【0109】 將無法通電時之循環數定義為該試驗中之壽命，將壽命達到12循環以上之樣品標記為「優」，即目標以上之壽命，將8循環以上且小於12循環之樣品標記為「良」，即目標等級，將4循環以上且小於8循環之樣品標記為「可」，即合格，將小於4循環之樣品標記為「不可」，即不合格。將各實施例及比較例中之鋁配線材之熱振動疲勞試驗之評估示於表5中。另外，比較例9、10及11由於工具脫落評估為不合格，故未進行評估。將結果示於表5。另外，表5中，省略了配線材之組成之一部分記載。

(經軋製之配線材之評估)

【0110】 進而，使用表6所示之組成之鋁，將與實施例1相同加工條件下製作之樣品，以使長邊之長度為2 mm且短邊之長度為0.2 mm之方式軋製成帶狀。使用所獲得之帶狀之配線材，與實施例1同樣地在2塊鋁板之間進行環路接合。此時，帶狀之配線材在第二接合時，係以將配線材相對於配線材軸方向沿水平橫向彎曲20°作為目標來進行接合，除此以外，在與實施例1相同條件下進行了接合及評估。將結果示於表6。而且，與實施例1同樣地作成表7所示之組成之鋁配線材，以使長邊之長度為2 mm且短邊之長度為0.2 mm的方式將所獲得之樣品軋製成帶狀。使用所獲得之帶狀之配線材進行了上述「樹脂密封之晶片之熱振動疲勞試驗」。將結果示於表7。

【0111】

[表2]

No.	組成														
	Al	Fe	Si	Ga	V	Mg	Cu	Ni	Zn	Cr	Mn	Ti	Zr	W	Sc
	質量%					質量ppm									
1	99.05	0.47	0.47	27	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	99.05	0.47	0.47	27	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	99.05	0.47	0.47	27	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	99.05	0.47	0.47	27	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	99.09	0.45	0.45	25	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	99.09	0.45	0.45	25	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	99.09	0.45	0.45	25	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	99.09	0.45	0.45	25	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	99.45	0.27	0.27	26	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	99.45	0.27	0.27	26	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	99.45	0.27	0.27	26	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	99.45	0.27	0.27	26	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	99.79	0.06	0.06	372	375	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	99.79	0.06	0.06	372	375	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	99.79	0.06	0.06	372	375	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	99.79	0.06	0.06	372	375	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	99.89	0.05	0.05	26	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	99.89	0.05	0.05	26	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	99.89	0.05	0.05	26	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	99.89	0.05	0.05	26	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	99	0.92	0	27	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	99.5	0	0.43	25	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	99.7	0.1	0.1	779	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	99.7	0.1	0.1	0	763	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	99.78	0.1	0.1	25	26	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	99.78	0.1	0.1	24	26	0	52	0	0	0	0	0	0	0	0
27	99.78	0.1	0.1	25	27	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0
28	99.78	0.1	0.1	24	26	0	0	0	51	0	0	0	0	0	0
29	99.78	0.1	0.1	27	25	0	0	0	0	51	0	0	0	0	0
30	99.78	0.1	0.1	25	26	0	0	0	0	0	54	0	0	0	0
31	99.78	0.1	0.1	27	25	0	0	0	0	0	0	52	0	0	0
32	99.78	0.1	0.1	27	25	0	0	0	0	0	0	0	51	0	0
33	99.78	0.1	0.1	25	28	0	0	0	0	0	0	0	0	53	0
34	99.78	0.1	0.1	24	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51
35	99.78	0.1	0.1	23	28	102	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	99.78	0.1	0.1	27	24	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
37	99.78	0.1	0.1	26	26	0	0	101	0	0	0	0	0	0	0
38	99.78	0.1	0.1	27	24	0	0	0	103	0	0	0	0	0	0
39	99.78	0.1	0.1	25	27	0	0	0	0	101	0	0	0	0	0
40	99.78	0.1	0.1	24	27	0	0	0	0	0	101	0	0	0	0
41	99.78	0.1	0.1	26	26	0	0	0	0	0	0	104	0	0	0
42	99.78	0.1	0.1	25	26	0	0	0	0	0	0	0	101	0	0
43	99.78	0.1	0.1	24	29	0	0	0	0	0	0	0	0	102	0
44	99.78	0.1	0.1	25	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	103
45	99.77	0.1	0.1	23	27	153	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	99.77	0.1	0.1	23	27	0	152	0	0	0	0	0	0	0	0
47	99.77	0.1	0.1	24	27	0	0	151	0	0	0	0	0	0	0
48	99.77	0.1	0.1	25	26	0	0	0	154	0	0	0	0	0	0
49	99.77	0.1	0.1	28	25	0	0	0	0	155	0	0	0	0	0
50	99.77	0.1	0.1	26	25	0	0	0	0	0	151	0	0	0	0
51	99.77	0.1	0.1	27	25	0	0	0	0	0	0	153	0	0	0
52	99.77	0.1	0.1	27	24	0	0	0	0	0	0	0	151	0	0
53	99.77	0.1	0.1	24	28	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0
54	99.77	0.1	0.1	23	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	151
55	99.89	0.005	0.005	395	389	106	10	32	21	5	3	7	0	0	0
1	99.45	0.27	0.27	26	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	99.79	0.06	0.06	372	375	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	99.45	0.27	0.27	26	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	99.79	0.06	0.06	372	375	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	99.05	0.47	0.47	27	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	99.79	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	99.94	0.004	0.004	22	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	99.97	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	96.74	0.6	0.7	0	0	0	2021	0	1043	0	15011	0	0	0	0
10	99.19	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	99.99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	99.05	0.47	0.47	27	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	98.97	0.47	0.47	432	427	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	99.05	0.47	0.47	27	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	99.05	0.47	0.47	27	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	99.05	0.47	0.47	27	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	99.05	0.47	0.47	27	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	99.05	0.47	0.47	27	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	99.05	0.47	0.47	27	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	99.77	0.1	0.1	27	26	0	0	0	0	0	0	0	151	0	0
21	99.88	0.004	0.005	26	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	99.88	0.5	0.6	26	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	99.05	0.47	0.47	25	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

實施例

比較例

【0112】

[表3]

No.	組成					特性					評估			綜合 評價		
	Al	Fe	Si	Ge	V	Mg, Cu, Ni, Zn, Cr, Mn, Ti, Zr, W, Sc 之合計	<112>	負荷 應力比	耐刀比	長寬比為4以上 之粒子個數比率 (*400)	長寬比為4以上 之粒子個數比率 (*1000)	平均 結晶粒徑	功率循環		振動疲勞	自脫落
	質量%					質量ppm	百分率%	-	-	百分率%	百分率%	μm				
1	99.05	0.47	0.47	27	25	0	8	0.43	1.96	1.91	7.24	22	A	B	○	可
2	99.05	0.47	0.47	27	25	0	22	0.54	1.93	3.51	9.91	36	S	A	○	良
3	99.05	0.47	0.47	27	25	0	33	0.63	1.5	1.54	5.34	40	S	A	○	良
4	99.05	0.47	0.47	27	25	0	41	0.7	1.91	2.84	7.65	38	A	S	○	可
5	99.09	0.45	0.45	25	26	0	10	0.45	1.46	4.73	15.93	45	A	B	○	可
6	99.09	0.45	0.45	25	26	0	24	0.59	1.9	1.48	4.03	32	S	S	○	優
7	99.09	0.45	0.45	25	26	0	31	0.6	1.45	3.27	12.49	23	S	S	○	優
8	99.09	0.45	0.45	25	26	0	39	0.74	1.59	1.34	4.06	17	S	S	○	優
9	99.45	0.27	0.27	26	27	0	11	0.48	1.11	3.25	11.72	24	S	B	○	可
10	99.45	0.27	0.27	26	27	0	25	0.52	1.39	4.32	15.8	43	S	B	○	可
11	99.45	0.27	0.27	26	27	0	32	0.64	1.47	2.62	7.12	37	S	S	○	優
12	99.45	0.27	0.27	26	27	0	43	0.73	1.21	1.99	5.37	42	B	A	○	可
13	99.79	0.06	0.06	372	375	0	9	0.45	1.12	3.32	12.77	22	A	B	○	可
14	99.79	0.06	0.06	372	375	0	21	0.55	2.03	4.32	15.55	34	S	A	○	良
15	99.79	0.06	0.06	372	375	0	35	0.69	1.95	4.44	15.19	30	S	A	○	良
16	99.79	0.06	0.06	372	375	0	42	0.85	1.15	2.97	10.36	30	A	S	○	良
17	99.89	0.05	0.05	26	28	0	9	0.48	1.09	0.88	2.68	29	A	B	○	可
18	99.89	0.05	0.05	26	28	0	18	0.59	1.49	1.67	6.3	36	S	S	○	優
19	99.89	0.05	0.05	26	28	0	32	0.62	1.33	0.85	2.24	39	S	A	○	良
20	99.89	0.05	0.05	26	28	0	43	0.73	1.25	2.01	6.24	19	A	S	○	良
21	99.92	0	0	27	24	0	22	0.41	1.27	1.14	3.93	17	S	B	○	可
22	99.5	0	0.43	25	28	0	17	0.59	2.12	3.31	10.68	27	S	A	○	良
23	99.7	0.1	0.1	779	0	0	11	0.69	1.31	0.83	2.13	37	S	A	○	良
24	99.7	0.1	0.1	0	763	0	13	0.79	2	3.48	11.84	34	S	S	○	良
25	99.78	0.1	0.1	25	26	51	7	0.41	1.08	1.67	5.42	29	A	B	○	可
26	99.78	0.1	0.1	24	26	52	19	0.55	1.6	1.21	3.86	21	S	S	○	優
27	99.78	0.1	0.1	25	27	50	31	0.65	1.64	1.14	3.35	17	S	S	○	優
28	99.78	0.1	0.1	24	26	51	42	0.71	1.78	3.78	13.06	29	A	S	○	良
29	99.78	0.1	0.1	27	25	51	12	0.4	1.58	3.54	10.32	40	S	B	○	可
30	99.78	0.1	0.1	25	26	54	17	0.52	1.72	2.21	7.95	44	S	A	○	良
31	99.78	0.1	0.1	27	25	52	28	0.62	1.93	1.65	5.4	15	S	A	○	良
32	99.78	0.1	0.1	27	25	51	30	0.67	2.03	3.71	10.79	17	S	A	○	良
33	99.78	0.1	0.1	25	28	53	38	0.74	1.46	0.78	2.91	44	A	A	○	良
34	99.78	0.1	0.1	24	27	51	9	0.44	1.64	1.51	5.03	24	S	A	○	良
35	99.78	0.1	0.1	23	28	102	18	0.55	1.07	1.1	3.58	14	S	A	○	良
36	99.78	0.1	0.1	27	24	100	32	0.62	1.92	4.07	12.67	8	S	A	○	良
37	99.78	0.1	0.1	26	26	101	40	0.72	1.35	2.23	7.84	34	S	S	○	良
38	99.78	0.1	0.1	27	24	103	11	0.42	1.1	2.28	7.62	37	S	B	○	良
39	99.78	0.1	0.1	25	27	101	22	0.57	1.68	1.6	4.21	24	S	S	○	優
40	99.78	0.1	0.1	24	27	101	33	0.63	1.61	2.83	9.66	27	S	S	○	優
41	99.78	0.1	0.1	26	26	104	43	0.81	1.4	3.19	12.43	18	A	S	○	良
42	99.78	0.1	0.1	25	26	101	30	0.63	1.95	4.12	13.69	12	S	A	○	良
43	99.78	0.1	0.1	24	29	102	7	0.47	1.13	2.58	6.63	20	A	B	○	良
44	99.78	0.1	0.1	25	27	103	20	0.52	2.21	0.9	3.05	16	S	A	○	良
45	99.77	0.1	0.1	23	27	153	31	0.65	1.56	3.47	9.49	32	S	S	○	優
46	99.77	0.1	0.1	23	27	152	38	0.78	1.92	2.19	7.25	35	S	S	○	良
47	99.77	0.1	0.1	24	27	151	13	0.48	1.87	4.43	14.49	16	S	A	○	良
48	99.77	0.1	0.1	25	26	154	23	0.53	1.59	1.98	5.75	31	S	S	○	優
49	99.77	0.1	0.1	28	25	155	30	0.63	1.05	4.96	15.71	37	S	A	○	良
50	99.77	0.1	0.1	26	25	151	40	0.75	2.07	2.06	7.8	24	S	S	○	優
51	99.77	0.1	0.1	27	25	153	11	0.41	1.15	4.29	15.34	14	S	B	○	良
52	99.77	0.1	0.1	27	24	151	12	0.48	1.82	4.51	12.26	12	S	A	○	良
53	99.77	0.1	0.1	24	28	150	21	0.51	1.55	3.69	12.58	10	S	S	○	優
54	99.77	0.1	0.1	23	27	151	29	0.66	1.88	0.51	1.93	33	S	S	○	優
55	99.89	0.01	0.005	395	389	184	43	0.63	1.31	3.75	12.77	31	A	A	○	可
1	99.45	0.27	0.27	26	27	0	48	0.72	1.92	2.44	6.68	32	C	S	○	不可
2	99.79	0.06	0.06	372	375	0	58	0.81	1.93	0.62	2.21	42	C	A	○	不可
3	99.45	0.27	0.27	26	27	0	7	0.39	1.13	3.38	9.11	43	B	C	○	不可
4	99.79	0.06	0.06	372	375	0	6	0.37	1.11	1.6	4.47	29	S	C	○	不可
5	99.05	0.47	0.47	27	25	0	7	0.93	1.14	2.37	9	18	A	C	○	不可
6	99.79	0.1	0.1	0	0	0	41	0.54	1.92	0.51	1.42	43	B	B	○	不可
7	99.94	0	0.004	22	23	0	44	0.42	1.27	0.45	0.48	39	C	B	x	不可
8	99.97	0.01	0.01	0	0	0	22	0.56	1.55	0.31	0.43	66	S	A	x	不可
9	96.74	0.6	0.7	0	0	18075	25	0.69	1.6	0.1	0.33	5	S	S	x	不可
10	99.19	0.8	0	0	0	0	18	0.6	1.65	5.01	16.21	10	S	S	x	不可
11	99.99	0	0	0	0	0	21	0.53	1.3	0.01	0.03	82	S	B	x	不可
12	99.05	0.47	0.47	27	25	0	20	0.39	2.32	2.23	6.95	18	S	C	○	不可
13	98.97	0.47	0.47	432	427	0	12	0.91	1.91	3.62	9.71	24	S	C	○	不可
14	99.05	0.47	0.47	27	25	0	46	0.42	1.41	3.71	10.9	31	C	A	○	不可
15	99.05	0.47	0.47	27	25	0	2	0.91	1.89	4.47	15.66	33	A	C	○	不可
16	99.05	0.47	0.47	27	25	0	14	0.39	1.46	3.45	11.67	7	S	C	○	不可
17	99.05	0.47	0.47	27	25	0	17	0.44	2.31	1.41	5.2	28	S	C	○	不可
18	99.05	0.47	0.47	27	25	0	18	0.58	1.84	0.28	0.48	14	S	S	x	不可
19	99.05	0.47	0.47	27	25	0	21	0.61	1.54	5.03	16.32	28	S	S	x	不可
20	99.77	0.1	0.1	27	26	151	11	0.52	2.01	0.26	0.47	14	S	A	x	不可
21	99.88	0	0.005	26	25	0	46	0.72	1.57	3.27	9.28	42	C	S	○	不可
22	99.88	0.5	0.6	26	25	0	5	0.92	1.92	1.71	5.62	16	S	C	○	不可
23	99.05	0.47	0.47	25	23	0	47	0.81	1.62	2.58	8.38	41	C	S	○	不可

[(0113)]

[表4]

	粒子總數	長寬比為4以上之粒子個數之比率
實施例3	297個	4.2%
比較例9	2,754個	0.3%

[(0114)]

[表5]

No.	組成						特性				評估
	Al	Fe	Si	Ga	V	Mg, Cu, Ni, Zn, Cr, Mn, Ti, Zr, W, Se之合計	<112>	負荷應力比	耐力比	平均 結晶粒徑	
	質量%				質量ppm		百分率%	-	-	μm	
1	99.05	0.47	0.47	27	25	0	8	0.43	1.96	22	可
2	99.05	0.47	0.47	27	25	0	22	0.54	1.93	36	良
3	99.05	0.47	0.47	27	25	0	33	0.63	1.5	40	良
4	99.05	0.47	0.47	27	25	0	41	0.7	1.91	38	可
5	99.09	0.45	0.45	25	26	0	10	0.45	1.46	45	可
6	99.09	0.45	0.45	25	26	0	24	0.59	1.9	32	優
7	99.09	0.45	0.45	25	26	0	31	0.6	1.45	23	優
8	99.09	0.45	0.45	25	26	0	39	0.74	1.59	17	優
9	99.45	0.27	0.27	26	27	0	11	0.48	1.11	24	可
10	99.45	0.27	0.27	26	27	0	25	0.52	1.39	43	可
11	99.45	0.27	0.27	26	27	0	32	0.64	1.47	37	優
12	99.45	0.27	0.27	26	27	0	43	0.73	1.21	42	可
13	99.79	0.06	0.06	372	375	0	9	0.45	1.12	22	可
14	99.79	0.06	0.06	372	375	0	21	0.55	2.03	34	良
15	99.79	0.06	0.06	372	375	0	35	0.69	1.95	30	良
16	99.79	0.06	0.06	372	375	0	42	0.85	1.15	30	良
17	99.89	0.05	0.05	26	28	0	9	0.48	1.09	29	可
18	99.89	0.05	0.05	26	28	0	18	0.59	1.49	36	優
19	99.89	0.05	0.05	26	28	0	32	0.62	1.33	39	良
20	99.89	0.05	0.05	26	28	0	43	0.73	1.25	19	良
21	99	0.92	0	27	24	0	22	0.41	1.27	17	可
22	99.5	0	0.43	25	28	0	17	0.59	2.12	27	良
23	99.7	0.1	0.1	779	0	0	11	0.69	1.31	37	良
24	99.7	0.1	0.1	0	763	0	13	0.79	2	34	良
25	99.78	0.1	0.1	25	26	51	7	0.41	1.08	29	可
26	99.78	0.1	0.1	24	26	52	19	0.55	1.6	21	優
27	99.78	0.1	0.1	25	27	50	31	0.65	1.64	17	優
28	99.78	0.1	0.1	24	26	51	42	0.71	1.78	29	良
29	99.78	0.1	0.1	27	25	51	12	0.4	1.58	40	可
30	99.78	0.1	0.1	25	26	54	17	0.52	1.72	44	良
31	99.78	0.1	0.1	27	25	52	28	0.62	1.93	15	良
32	99.78	0.1	0.1	27	25	51	30	0.67	2.03	17	良
33	99.78	0.1	0.1	25	28	53	38	0.74	1.46	44	良
34	99.78	0.1	0.1	24	27	51	9	0.44	1.64	24	良
35	99.78	0.1	0.1	23	28	102	18	0.55	1.07	14	良
36	99.78	0.1	0.1	27	24	100	32	0.62	1.92	8	良
37	99.78	0.1	0.1	26	26	101	40	0.72	1.35	34	良
38	99.78	0.1	0.1	27	24	103	11	0.42	1.1	37	可
39	99.78	0.1	0.1	25	27	101	22	0.57	1.68	24	優
40	99.78	0.1	0.1	24	27	101	33	0.63	1.61	27	優
41	99.78	0.1	0.1	26	26	104	43	0.81	1.4	18	良
42	99.78	0.1	0.1	25	26	101	30	0.63	1.95	12	良
43	99.78	0.1	0.1	24	29	102	7	0.47	1.13	20	可
44	99.78	0.1	0.1	25	27	103	20	0.52	2.21	16	良
45	99.77	0.1	0.1	23	27	153	31	0.65	1.56	32	優
46	99.77	0.1	0.1	23	27	152	38	0.78	1.92	35	良
47	99.77	0.1	0.1	24	27	151	13	0.48	1.87	16	良
48	99.77	0.1	0.1	25	26	154	23	0.53	1.59	31	優
49	99.77	0.1	0.1	28	25	155	30	0.63	1.05	37	良
50	99.77	0.1	0.1	26	25	151	40	0.75	2.07	24	優
51	99.77	0.1	0.1	27	25	153	11	0.41	1.15	14	可
52	99.77	0.1	0.1	27	24	151	12	0.48	1.82	12	良
53	99.77	0.1	0.1	24	28	150	21	0.51	1.55	10	優
54	99.77	0.1	0.1	23	27	151	29	0.66	1.88	33	優
55	99.89	0.005	0.005	395	389	184	43	0.63	1.31	31	可
1	99.45	0.27	0.27	26	27	0	48	0.72	1.92	32	不可
2	99.79	0.06	0.06	372	375	0	58	0.81	1.93	42	不可
3	99.45	0.27	0.27	26	27	0	7	0.39	1.13	43	不可
4	99.79	0.06	0.06	372	375	0	6	0.37	1.11	29	不可
5	99.05	0.47	0.47	27	25	0	7	0.93	1.14	18	不可
6	99.79	0.1	0.1	0	0	0	41	0.54	1.92	43	不可
7	99.94	0.004	0.004	22	23	0	44	0.42	1.27	39	不可
8	99.97	0.01	0.01	0	0	0	22	0.56	1.55	66	不可
9	96.74	0.6	0.7	0	0	18075	25	0.69	1.6	5	未評估
10	99.19	0.8	0	0	0	0	18	0.6	1.65	10	未評估
11	99.99	0	0	0	0	0	21	0.53	1.3	82	未評估
12	99.05	0.47	0.47	27	25	0	20	0.39	2.32	18	不可
13	98.97	0.47	0.47	432	427	0	12	0.91	1.91	24	不可
14	99.05	0.47	0.47	27	25	0	46	0.42	1.41	31	不可
15	99.05	0.47	0.47	27	25	0	7	0.77	1.94	43	不可
16	99.05	0.47	0.47	27	25	0	2	0.91	1.89	33	不可
17	99.05	0.47	0.47	27	25	0	14	0.39	1.46	7	不可
18	99.05	0.47	0.47	27	25	0	17	0.44	2.31	28	不可
19	99.05	0.47	0.47	27	25	0	18	0.58	1.84	14	未評估
20	99.05	0.47	0.47	27	25	0	21	0.61	1.54	28	未評估
21	99.77	0.1	0.1	27	26	151	11	0.52	2.01	14	未評估
22	99.88	0.004	0.005	26	25	0	46	0.72	1.57	42	不可
23	99.88	0.5	0.6	26	25	0	5	0.92	1.92	16	不可
24	99.05	0.47	0.47	25	23	0	47	0.81	1.62	41	不可

【0115】

[表6]

【0116】

[表7]

No.	組成																特性				
	Al	Fe	Si	Ca	Mg	Y	Yb	Yt	Yr	Zr	Ti	Zr	Y	Si	Ca	Fe	Al	荷重比	平均結晶粒徑	熱膨脹係數	
	質量%																°	μm			
56	99.79	0.05	0.08	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0.02		0.02
57	99.7	0.1	0.1	0.02	0.02	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0.02	0.02	良
58	99.7	0.1	0.1	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0.02	0.02	良

【0117】 從以上內容可知，根據實施例之鋁配線材，可同時實現耐振動性之提高、耐熱強度之提高及追隨性之提高。

藉由實施例之功率半導體用鋁配線材，可對功率電子產業、汽車產業、電氣鐵路、電力產業等的發展作出較大貢獻。

【符號說明】

【0118】

51：鋁配線材

52：TEG晶片

53：鋁焊墊

200：功率半導體裝置

201：金屬板

202：鋁製端子

203：鋁製端子

204：IGBT晶片

205：密封樹脂

P：區域

R：區域

【發明申請專利範圍】

【請求項1】一種鋁配線材，其係由純度小於99.9質量%之鋁構成，其特徵在於：

於上述鋁配線材之與長度方向垂直之截面中，

相對於長度方向之角度差為 10° 以下之結晶方位 $\langle 112 \rangle$ 的方位比率為45%以下，

上述截面中之長寬比為4以上之析出粒子之數相對於析出粒子之總數之比為0.5%以上16%以下，

由下述(1)定義之負荷應力比為0.4以上0.9以下，

負荷應力比=疲勞極限/拉伸強度(1)

由下述(2)定義之耐力比超過1.0且為2.3以下，

耐力比=最大應力/0.2%耐力(2)

上述鋁配線材中，相對於該鋁配線材之總量，合計含有0.01質量%以上1質量%以下之鐵(Fe)及矽(Si)中之至少一種元素，且，合計含有50質量ppm以上800質量ppm以下之鎵(Ga)及釩(V)中之至少一種元素。

【請求項2】如請求項1之鋁配線材，其中上述鋁配線材之與長度方向垂直之截面中之平均結晶粒徑為 $40\ \mu\text{m}$ 以下。

【請求項3】如請求項1或2之鋁配線材，其中

上述鋁配線材進而含有選自鎂(Mg)、銅(Cu)、鎳(Ni)、鋅(Zn)、鉻(Cr)、錳(Mn)、鈦(Ti)、鋯(Zr)、鎢(W)及釷(Sc)中之1種以上的元素。

【請求項4】如請求項1或2之鋁配線材，其中上述鋁配線材之線徑為 $15\ \mu\text{m}$ 以上 $700\ \mu\text{m}$ 以下。

【請求項5】如請求項1或2之鋁配線材，其中上述鋁配線材之與長度方向垂直之截面為圓形、長圓形、橢圓形或扁平橢圓形狀。

【請求項6】如請求項1或2之鋁配線材，其中上述鋁配線材中之鋁含量相對於鋁配線材之總量為99質量%以上且小於99.9質量%。

【請求項7】一種鋁配線材之製造方法，其具有下述工序：準備純度小於99.9質量%之鋁合金，該鋁合金中，相對於總量，合計含有0.01質量%以上1質量%以下之鐵(Fe)及矽(Si)中之至少一種元素，且，合計含有50質量ppm以上800質量ppm以下之鎵(Ga)及釩(V)中之至少一種元素；以及

對上述鋁合金進行拉線加工；

於上述鋁配線材之與長度方向垂直之截面中，

相對於鋁配線材之長度方向之角度差為 10° 以下之結晶方位 $\langle 112 \rangle$ 的方位比率為45%以下，

鋁配線材之長寬比為4以上之析出粒子之數相對於析出粒子之總數之比為0.5%以上16%以下，

由下述(1)定義之負荷應力比為0.4以上0.9以下，

負荷應力比=疲勞極限/拉伸強度(1)

由下述(2)定義之耐力比超過1.0且為2.3以下，

耐力比=最大應力/0.2%耐力(2)。

【請求項8】一種鋁配線材之製造方法，其具有如下工序：

決準備純度小於99.9質量%之鋁合金，該鋁合金中，相對於總量，合計含有0.01質量%以上1質量%以下之鐵(Fe)及矽(Si)中之至少一種元素，且，合計含有50質量ppm以上800質量ppm以下之鎵(Ga)及釩(V)中之至少一種元素；以及

第 2 頁，共 3 頁(發明申請專利範圍)

於每個模具之縮面率(加工率)為5%以上40%以下之條件下對上述鋁合金進行拉線加工；

於上述鋁配線材之與長度方向垂直之截面中，

相對於上述鋁配線材之長度方向之角度差為 10° 以下之結晶方位 $\langle 112 \rangle$ 的方位比率為45%以下，

上述鋁配線材之長寬比為4以上之析出粒子之數相對於析出粒子之總數之比為0.5%以上16%以下，

由下述(1)定義之負荷應力比為0.4以上0.9以下，

負荷應力比=疲勞極限/拉伸強度(1)

由下述(2)定義之耐力比超過1.0且為2.3以下，

耐力比=最大應力/0.2%耐力(2)。

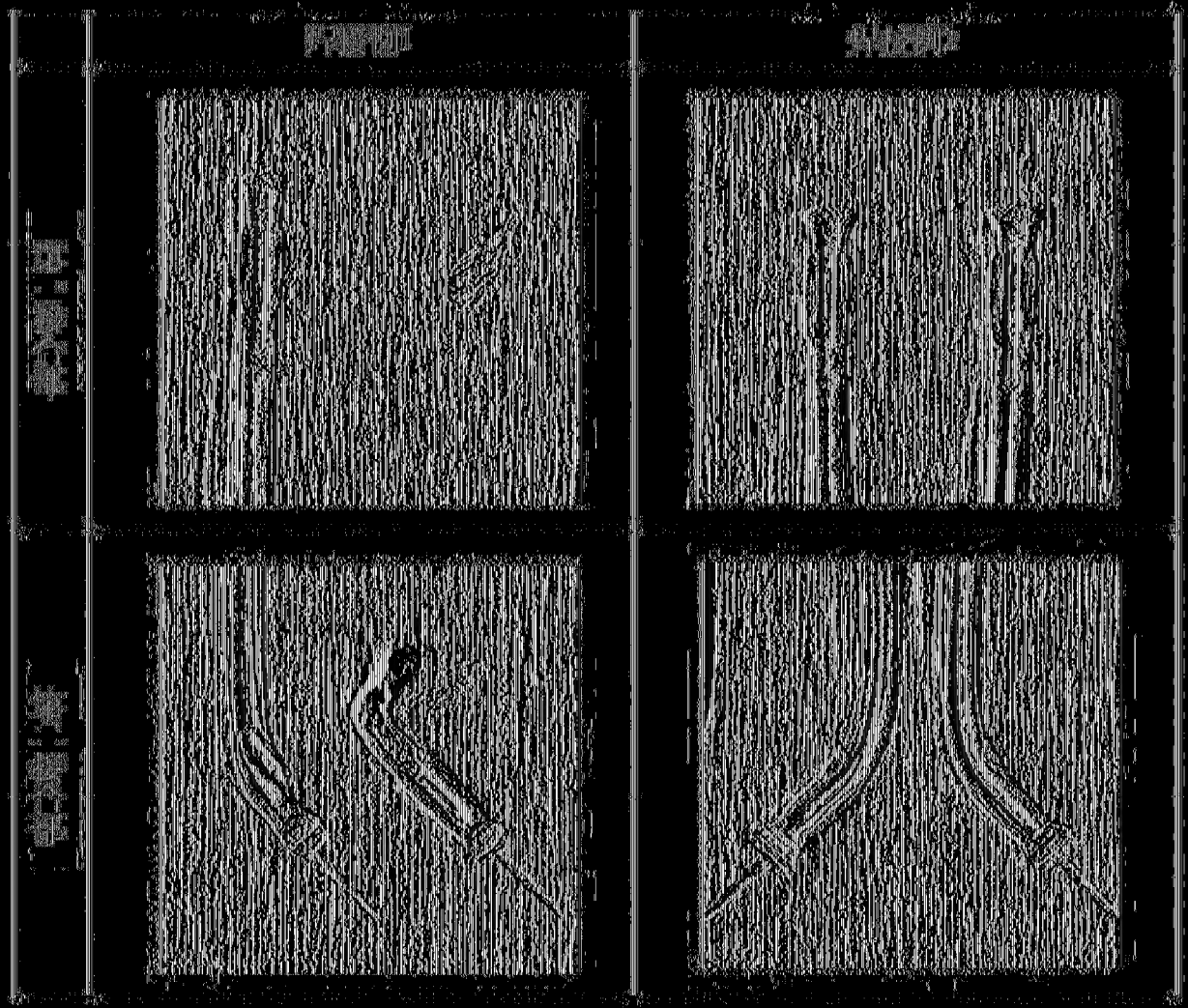


圖 1

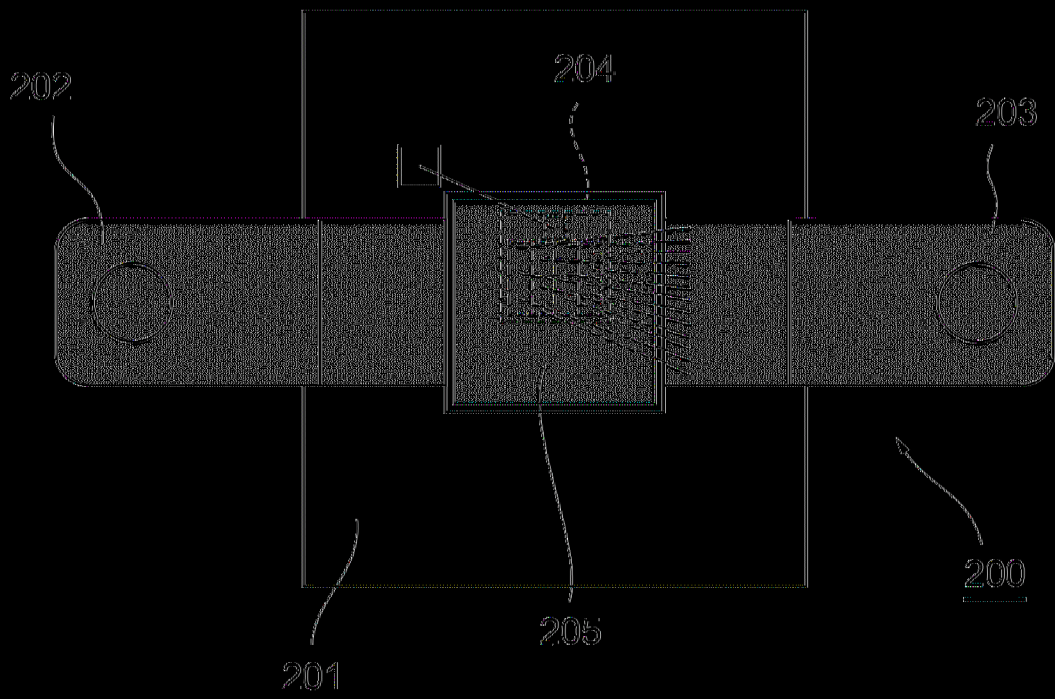


圖 4

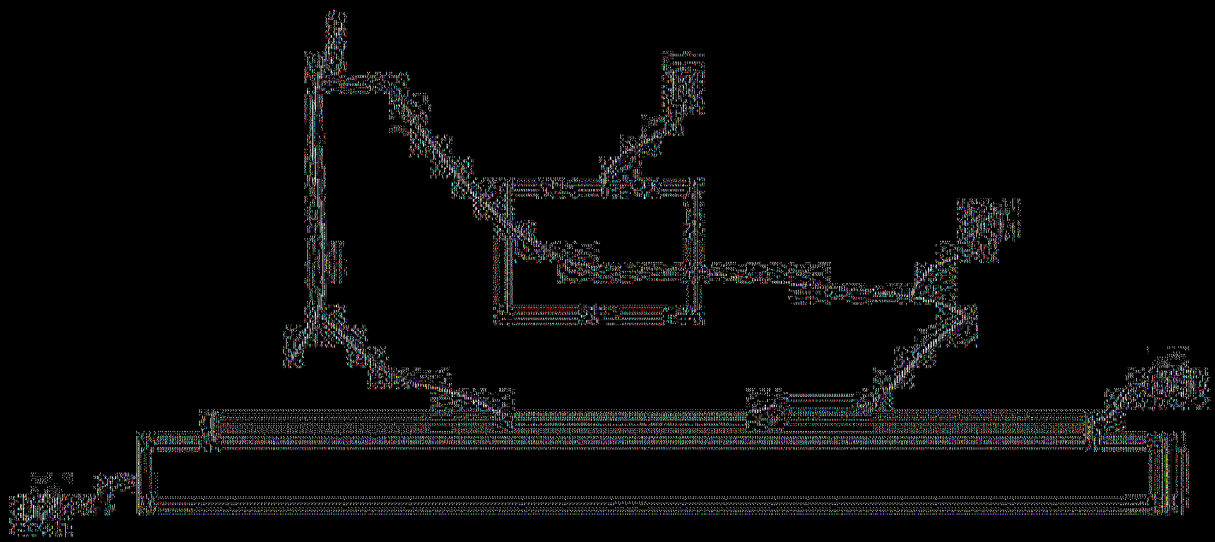
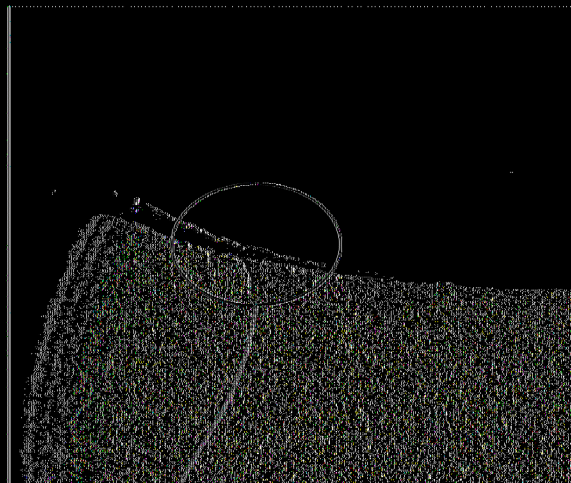


圖 5



P

圖 6

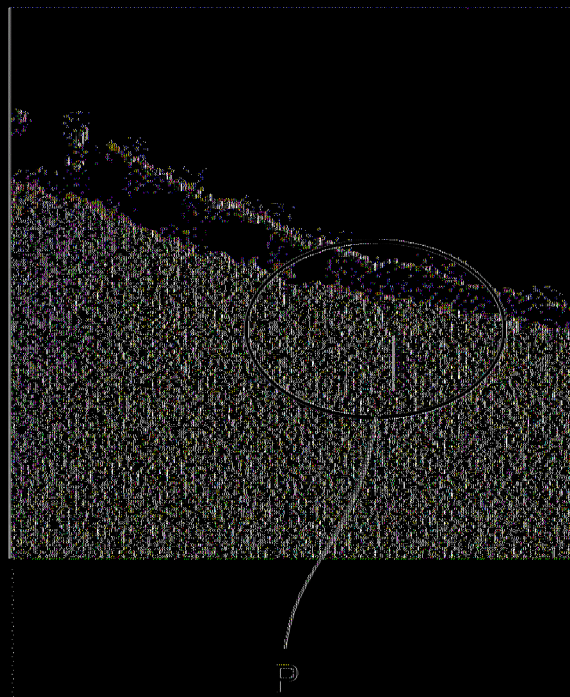


圖 7

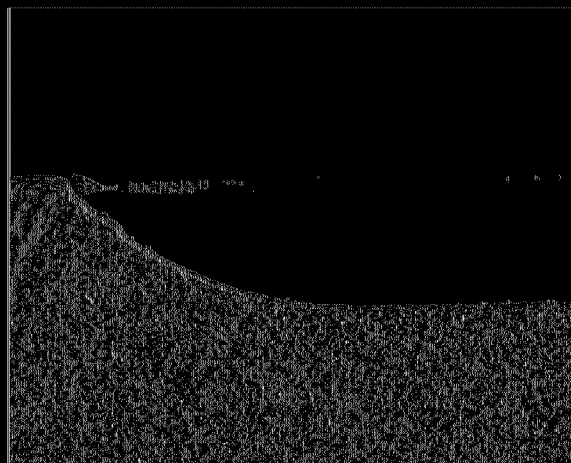


圖 8