

# 發明專利說明書

10年11月20日修正替換頁

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

公告本

※ 申請案號：97101599

※ 申請日期：97.1.15

※IPC 分類：H01L 21/60 (2006.01)

## 一、發明名稱：(中文/英文)

接合線之接面構造及其形成方法

## 二、申請人：(共2人)

姓名或名稱：(中文/英文)

1. 新日鐵住金高新材料股份有限公司/

NIPPON STEEL &amp; SUMIKIN MATERIALS CO., LTD.

2. 日鐵住金新材料股份有限公司/NIPPON MICROMETAL  
CORPORATION

代表人：(中文/英文)

1. 山田健司

2. 井上俊男

住居所或營業所地址：(中文/英文)

1. 日本國東京都千代田區外神田四丁目14番1號

2. 日本國埼玉縣入間市大字狹山原158番地1

國籍：(中文/英文)

1.~2. 日本/JAPAN

## 三、發明人：(共5人)

姓名：(中文/英文)

1. 宇野智裕/TOMOHIRO UNO

2. 寺嶋晋一/SHINICHI TERASHIMA

3. 木村圭一/KEIICHI KIMURA

4. 山田隆/TAKASHI YAMADA

5. 西林景仁/KAGEHITO NISHIBAYASHI

國籍：(中文/英文)

1.~5. 日本/JAPAN

#### 四、聲明事項：

主張專利法第二十二條第二項  第一款或  第二款規定之事實，其事實發生日為： 年 月 日。

申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號 順序註記】

有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

1. 日本、2007/01/15、2007-006446

2. 日本、2008/01/15、PCT/JP2008/050314

無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

主張專利法第三十條生物材料：

須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

## 五、中文發明摘要：

提供一種解決複數層銅接合線之實用化之先前技術之問題而改善球部之形成性、接合性，提高楔形連接之接合強度且具有良好之工業生產性的接合線之接面構造及其形成方法。

接合線係以銅作為主成分，在球接合部，形成銅以外之導電性金屬之高濃度之濃化層。在球接合部之表面附近或者是球接合部之界面，形成濃化層。在導電性金屬之濃度成為 0.05~20 莫爾%之區域之厚度係 0.1  $\mu\text{m}$  以上，濃化層之導電性金屬之濃度係最好是濃化層以外之球接合部之導電性金屬之平均濃度之 5 倍以上。

## 六、英文發明摘要：

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第(1)圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

a～火炬角度；

L～距離；

1～連結線；

2～放電火炬；

3～氣體噴嘴；

4～屏蔽用氣體配管；

5～箭號。

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無。

## 九、發明說明：

### 【發明所屬之技術領域】

本發明係關於一種用以將半導體元件上之電極和引線框架、基板、帶等之電路配線基板予以配線之所使用之接合線之接面構造及其形成方法。

### 【先前技術】

現在，作為接合半導體元件上之電極和外部端子間之接合線係主要使用線徑  $20\sim 50\mu\text{m}$  程度之細線(接合線)。在接合線之接合，一般是超音波併用熱壓接方式，將通用接合裝置或者是接合線通過其內部而使用於連接之毛細管治具等予以採用。藉由電弧加熱而對於線前端，來進行加熱熔融，在藉由表面張力而形成球之後，在  $150\sim 300^\circ\text{C}$  之範圍內來進行加熱之半導體元件之電極上，壓接及接合該球部，然後，在外部引線側，藉由超音波壓接而直接地將接合線予以接合。

在近年來，半導體構裝之構造·材料·連接技術等係急速地進行多樣化，例如在構裝構造，除了加入現行之引線框架之 QFP(Quad Flat Packaging(四側面腳端表面安裝型封裝體))之外，還將使用基板和聚醯亞胺帶等之 BGA(Ball Grid Array(球柵陣列封裝))、CSP(Chip Scale Packaging(晶方尺寸構裝))等之新形態予以實用化，要求更加地提高環圈性、接合性和量產使用性等之接合線。即使是此種接合線之連接技術，也除了現在主流之球/楔形接

合之外，還在適合於窄間距化之球/楔形接合，於 2 個部位，直接地將接合線予以接合，因此，要求提高細線之接合性。

成為接合線之接合對象之材質係也進行多樣化，在矽基板上之配線、電極材料，除了習知之 Al 合金以外，還將適合於更加微細配線之 Cu 予以實用化。此外，大多是在引線框架上，施行 Ag 電鍍、Pd 電鍍等，並且，在樹脂基板、帶等之上，施行 Cu 配線，在其上面，施行金等之貴金屬元素及其合金膜之狀態。要求配合於像這樣各種之接合對象而提高接合線之接合性及接合部可靠性。

接合線之素材係直到目前為止，主要使用高純度 4N 系（純度 > 99.99 質量%）之金。但是，金係昂貴，因此，要求材料費便宜之其他種金屬之接合線。

在來自接合線技術之要求，重要的是在形成球時，形成真球性良好之球，在其球部和電極之接合部，得到充分之接合強度。此外，也為了對應於接合溫度之低溫化、接合線之細線化等，因此，也需要在電路配線基板上之配線部對於接合線來進行楔形連接之部位之接合強度及抗拉強度等。

在高速地注入高黏性之熱硬化性環氧樹脂之樹脂封裝製程，接合線發生變形而接觸到鄰接線係成為問題，並且，要求在窄間距化、長線化及細線化也進行中，即使是減少在樹脂封裝時之線變形，也抑制樹脂封裝時之線變形。能夠藉由線強度之增加而控制某種程度之此種變形，環圈控

制係變得困難，在無法將降低在接合時之強度等之問題予以解決時，不容易進行實用化。

作為滿足此種要求之線特性係希望在接合製程之環圈控制變得容易，並且，也提高對於電極部及引線部之接合性，將抑制在接合以後之樹脂封裝製程之過剩之線變形等之綜合特性予以滿足。

為了材料費便宜，電傳導性良好，也提高球接合及楔形接合等，因此，開發以銅作為素材之接合線（在以下，稱為銅接合線。），揭示於專利文獻 1 等。但是，在銅接合線，由於線表面之氧化而降低接合強度或者是容易引起在樹脂封裝時之線表面之腐蝕等係成為問題。這個係也成為無法進行銅接合線之實用化之原因。

在銅接合線，於熔融線前端而形成球部之時，為了抑制氧化，因此，將氮氣或者是含有氫之氮氣，吹附於線前端，同時，進行接合。現在，作為在銅接合線之球形成時之氣氛氣體係一般使用含有氫 5% 之氮氣。在專利文獻 2，揭示在銅線連接於銅或銅合金之引線框架之際，連接於  $5\%H_2 + N_2$  氣氛。此外，在非專利文獻 1，報告可以在銅接合線之球形成，於  $5\%H_2 + N_2$  氣體，抑制球表面之氧化，因此，更加希望  $N_2$  氣體。

作為防止銅接合線之表面氧化之方法係在專利文獻 3，提議藉由金、銀、白金、鈮、鎳、鈷、鉻、鈦等之貴金屬或者是耐腐蝕性金屬而被覆銅之接合線。此外，由球形形成性、電鍍液之惡化防止等之方面來看的話，則在專利文

獻 4，提議：進行以銅作為主成分之芯材、形成於該芯材上且由銅以外之金屬所構成之異種金屬層、以及形成於該異種金屬層上且熔點高於銅之耐氧化性金屬所構成之被覆層之構造的接合線。

專利文獻 1：日本特開昭 61-99645 號公報

專利文獻 2：日本特開昭 63-24660 號公報

專利文獻 3：日本特開昭 62-97360 號公報

專利文獻 4：日本特開 2004-6740 號公報

非專利文獻 1：“Copper Ball Bonding for Fine Pitch, High I/O Devices(窄間距之銅球接合；高度輸出入元件)”：P.Devlin, Lee Levine, 38th International Symposium on Microelectronics(第 38 屆微電子國際研討會)(2005), P.320-324.

### 【發明內容】

### 【發明所欲解決的課題】

在銅接合線之實用，於高溫、高濕度等之實際使用環境下之銅接合線和電極之接合部，增加電阻或者是降低接合強度等之降低長期可靠性係成為問題。此種不良係頻繁地發生在和對於經常使用於通常半導體之 Al 電極間之接合部來進行樹脂封裝之狀態下。認為在 Cu 和 Al 之接合部之腐蝕反應、空隙之產生等係一種要因。在習知之 IC 使用環境，並不太清楚銅接合線之接合可靠性之問題，在最近之功率 IC、車載用 IC 等之嚴酷環境，成為問題。此外，

在銅接合線，比較於習知之金接合線，擔心容易氧化線表面，容易引起球接合部之形狀不良以及接合強度之降低等。

作為防止銅接合線之表面氧化之裝置係可以在線表面，被覆貴金屬或耐氧化性金屬。在本發明人們考慮半導體構裝之高密度化、小型化和薄型化等之需求而進行評價之時，在藉由習知之線接合方法而使用以不同於銅之金屬來覆蓋銅接合線表面之複數層構造之銅接合線(在以下，記載為複數層銅線。)-之際，確認殘留許多之實用上之問題。

在習知之單層構造之銅接合線(在以下，記載為單層銅線。)-，為了抑制銅之氧化，因此，將吹附球形成用氣體同時形成球而其球部連接於電極上之方法予以使用。在球形成用氣體，大多使用以氦作為主體之氣體，在最近，含有氦5%之氦氣係最多使用作為標準氣體。在使用該接合方法而適用於複數層銅線時，引起關連到球接合性之意外，成為比起使用單層銅線或者是現在主流之金接合線之狀態還更加降低半導體之使用性能之原因。

在複數層銅線之前端來形成球之狀態下，容易引起球接合部之形狀不良以及接合強度之降低等係成為實用上之問題。在具體之不良事例，有偏離於真球之扁平球之形成、發生球對於接合線呈傾斜而形成之芯偏離等或者是殘留並無熔融於球內部之線或者是生成氣泡(氣孔)係成為問題之狀態發生。在像這樣不正常之球部接合於電極上之時，因為產生偏離於線中心而使得球變形之偏芯變形以及成為偏離於真圓之形狀不良之橢圓變形和花瓣變形等，而成為引

起由電極面開始突出接合部之突出、接合強度之降低、晶片之損傷、生產管理上之意外等之問題之原因。也有此種初期接合之不良係激發前述長期可靠性之降低之狀態發生。

不僅是針對這種球之接合性之問題，並且，為了將使用實績少之複數層銅線予以實用化，因此，需要僅替換現行之銅接合之性能之優勢性。要求比起單層銅線，還更加改善例如楔形接合之接合強度之上升、接合良品率之提升等或者是能夠提高銅接合線之保管壽命之表面氧化之減低等。

今後，為了推進行銅接合線之實用化，因此，充分地適用於功率 IC 用途之金線不太使用之  $50\mu\text{m}$  直徑以上之粗線，另一方面，也充分地適用於活用銅之高導電性之  $20\mu\text{m}$  直徑以下之細線，在特性上，必須適用於粗線之接合性提升、窄間距之小球接合、低溫接合、層積晶片連接之逆接合等之更加嚴格之要求。

於是，在本發明，其目的係提供一種解決前述銅接合線之實用化之先前技術之問題而改善球部之形成性、接合性，提高楔形連接之接合強度，也具有良好之工業生產性的接合線之接面構造及其形成方法。

#### 【用以解決課題的手段】

本發明之申請專利範圍第 1 項所記載之接合線之接面構造，係透過球接合部而連接於半導體元件之電極的接合線之接面構造，其特徵在於：前述接合線係以銅作為主成

分，在前述球接合部，形成銅以外之導電性金屬之高濃度之濃化層。

本發明之申請專利範圍第 2 項所記載之接合線之接面構造，在申請專利範圍第 1 項，其特徵在於：前述濃化層係形成在前述球接合部之界面附近。

本發明之申請專利範圍第 3 項所記載之接合線之接面構造，在申請專利範圍第 2 項，其特徵在於：前述濃化層係前述導電性金屬之濃度 0.05~20 莫爾%之區域之厚度成為 0.1  $\mu\text{m}$  以上。

本發明之申請專利範圍第 4 項所記載之接合線之接面構造，在申請專利範圍第 1 項，其特徵在於：前述濃化層係形成在前述球接合部之表面。

本發明之申請專利範圍第 5 項所記載之接合線之接面構造，在申請專利範圍第 4 項，其特徵在於：前述導電性金屬之濃度成為 0.05~10 莫爾%之區域之厚度係 0.1  $\mu\text{m}$  以上。

本發明之申請專利範圍第 6 項所記載之接合線之接面構造，在申請專利範圍第 1 至 5 項中任一項，其特徵在於：前述濃化層之前述導電性金屬之濃度係前述濃化層以外之前述球接合部之前述導電性金屬之平均濃度之 5 倍以上。

本發明之申請專利範圍第 7 項所記載之接合線之接面構造，在申請專利範圍第 1 至 6 項中任一項，其特徵在於：前述接合線係由以銅作為主成分之芯材和以前述導電性金屬作為主成分而被覆前述芯材之外皮層所構成。

本發明之申請專利範圍第 8 項所記載之接合線之接面構造，在申請專利範圍第 1 至 7 項中任一項，其特徵在於：前述導電性金屬係鈮或白金。

本發明之申請專利範圍第 9 項所記載之接合線之接面構造，在申請專利範圍第 7 或 8 項，其特徵在於：前述外皮層之厚度係  $0.002 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。

本發明之申請專利範圍第 10 項所記載之接合線之接面構造，在申請專利範圍第 7 至 9 項中任一項，其特徵在於：在前述芯材和前述外皮層之間，將銅和前述導電性金屬具有濃度斜率之控散層予以具備。

本發明之申請專利範圍第 11 項所記載之接合線之接面構造，在申請專利範圍第 1 至 10 項中任一項，其特徵在於：在前述球接合部之內部，並無包含直徑  $10 \mu\text{m}$  以上之氣泡。

本發明之申請專利範圍第 12 項所記載之接合線之接面構造，在申請專利範圍第 1 至 11 項中任一項，其特徵在於：在前述球接合部之表面，並無包含直徑  $10 \mu\text{m}$  以上之氣泡痕。

本發明之申請專利範圍第 13 項所記載之接合線之接面構造之形成方法，係如申請專利範圍第 1 至 12 項中任一項所記載之接合線之接面構造之形成方法，其特徵在於：藉由在接合線和放電火炬之間，形成電弧放電，而熔融前述接合線之前端，形成前述球接合部。

本發明之申請專利範圍第 14 項所記載之接合線之接

面構造之形成方法，在申請專利範圍第 13 項，其特徵在於：將連結相對於前述接合線長邊方向之前述接合線之前端和前述放電火炬之前端之線之所形成之角度保持在 60 度以內，同時，形成前述球接合部。

本發明之申請專利範圍第 15 項所記載之接合線之接面構造之形成方法，在申請專利範圍第 13 項，其特徵在於：在前述接合線之前端附近，由 2 個方向以上或者是呈環圈狀地吹附惰性氣體或還原性氣體，同時，形成前述球接合部。

本發明之申請專利範圍第 16 項所記載之接合線之接面構造之形成方法，在申請專利範圍第 13 項，其特徵在於：在含有氫 0.02~20%之氫氣氛下，形成前述球接合部。

本發明之申請專利範圍第 17 項所記載之接合線之接面構造之形成方法，在申請專利範圍第 13 項，其特徵在於：在含有氫 5~50%之氫氣氛下，形成前述球接合部。

本發明之申請專利範圍第 18 項所記載之接合線之接面構造之形成方法，在申請專利範圍第 14 項，其特徵在於：在含有氫 0.02~20%之氫氣氛下，形成前述球接合部。

本發明之申請專利範圍第 19 項所記載之接合線之接面構造之形成方法，在申請專利範圍第 14 項，其特徵在於：在含有氫 5~50%之氫氣氛下，形成前述球接合部。

本發明之申請專利範圍第 20 項所記載之接合線之接面構造之形成方法，在申請專利範圍第 13 至 19 項中任一項，其特徵在於：在前述接合線之前端附近，以 0.00005

~0.005m<sup>3</sup>/分鐘之流量，來吹附惰性氣體或還原性氣體，同時，形成前述球接合部。

本發明之申請專利範圍第 21 項所記載之接合線之接面構造，在申請專利範圍第 2 項，其特徵在於：形成於前述球接合部之界面之前述濃化層之至少一部分係形成在以前述電極之主成分和銅作為主成分之前述擴散層或者是前述金屬間化合物中之至少任何一個內部。

本發明之申請專利範圍第 22 項所記載之接合線之接面構造，在申請專利範圍第 21 項，其特徵在於：前述濃化層之至少一部分係形成在前述擴散層或者是前述金屬間化合物中之至少任何一個內部，前述導電性金屬之濃度成為 0.5~30 莫爾%之區域之厚度係 0.01  $\mu$ m 以上。

本發明之申請專利範圍第 23 項所記載之接合線之接面構造，在申請專利範圍第 2 項，其特徵在於：前述濃化層係在 175°C 加熱前述球接合部 200 小時之後，形成於前述球接合部之界面，作為前述導電性金屬之濃度成為 1 莫爾%以上之區域之厚度係 0.2  $\mu$ m 以上。

#### 【發明之效果】

在本發明，能夠提供一種可以藉由在高溫保管之接合可靠性呈良好，並且材料費更加便宜於金，也改善球接合性、線接合性等，而也適用於窄間距用細線化、功率系 IC 用途之粗徑化的接合線之接面構造及其形成方法。

#### 【實施方式】

作為改善銅系接合線之在高溫之接合可靠性之對策係發現在接合部之界面或表面來有效地形成導電性金屬之濃化層(分別記載為界面濃化層、表面濃化層)。作為形成這些濃化層之一種材料係確認藉由以銅作為主成分之芯材和含有銅以外之導電性金屬之外皮層之所構成之複數層銅線(在以下，記載為複數層銅線。)變得有效。將複數層銅線之外皮層之組成、膜厚、複數層之構造等予以適當化係變得重要。此外，為了綜合地提高複數層銅線之可靠性，因此，必須在球接合部之內部及表面，抑制氣泡、氣泡痕等，所謂現行主流之單層構造之銅接合線(在以下，記載為單層銅線。)係不同之氣體氣氛、放電條件等之適當化，變得有效。在以下，說明本發明之細節。

前述所謂濃化層係濃度比起球接合部之中心部之導電性金屬之濃度還相對地比較高之區域。最好是如果包含於濃化層之導電性金屬之濃度比起球接合部之中心部之濃度還成為 1.2 倍以上的話，則得到作為濃化層之特徵。更加理想是如果該比率成為 2 倍以上的話，則容易更加提高藉由濃化層所造成之改善效果。球接合部之界面或表面之濃化層之形態係大多是形成為層狀之狀態，因此，在本案，稱為濃化層。就濃化層之形態而言，不一定僅限定在連續之層狀，也包含呈非連續(斷續)地形成濃化層之一部分之狀態。

在以銅作為主成分之接合線之接合構造，最好是在藉由該接合線而形成之球接合部，在和電極間之界面附近，

具有成為銅以外之導電性金屬之濃度高於這個以外之部分之濃化層之界面濃化層。在此之所謂界面係接合著球和電極之球接合部之境界附近。在高溫加熱銅接合線和鋁電極之接合部時，於接合界面，形成 Cu-Al 系金屬間化合物。隨著該金屬間化合物之成長而產生空隙或者是因為由封裝樹脂所釋出之氣體或離子等而腐蝕金屬間化合物係造成可靠性之降低。藉由在連接球和電極之界面附近，形成導電性金屬之界面濃化層，而控制在接合界面之 Cu 原子和 Al 原子之擴散，在接合界面之整體，均勻地成長金屬間化合物，同時，抑制腐蝕之進展和空隙之成長，來提高接合部之長期可靠性。此種界面濃化層之作用係不限定於鋁電極，電極材料係即使是 Au、Ag、Pd、Ni 等，也同樣地得到提高接合可靠性之效果。

界面濃化層之銅以外之導電性金屬之濃度成為 0.05~20 莫爾%之區域之厚度係最好是  $0.1\ \mu\text{m}$  以上。這個係擔心在未滿 0.05 莫爾%，可靠性之改善效果變小，在超過 20 莫爾%時，球部硬化而造成晶片之損傷。最好是如果成為 0.2~10 莫爾%的話，則在成為半導體之代表性之加速加熱之  $150^\circ\text{C}$  加熱試驗，提高長期可靠性，得到更加高之效果。此外，最好是如果成為 0.1~5 莫爾%的話，則即使是低溫，也能夠提高初期之接合強度，因此，有利於 BGA、CSP 等之基板之連接。因為如果是前述濃度範圍之區域之厚度成為  $0.1\ \mu\text{m}$  以上的話，則得到前述之作用效果，在未滿  $0.1\ \mu\text{m}$ ，無法穩定改善之效果之緣故。

如果是界面濃化層之厚度成為  $0.2\ \mu\text{m}$  以上的話，則將提高長期可靠性之效果予以提升，更加理想是如果成為  $0.5\ \mu\text{m}$  以上的話，則得到延長在高溫之球接合部之壽命之更加高之效果。界面濃化層之厚度之上限係球接合部之壓接高度之 60% 以下，此外，如果是表面濃化層之厚度之上限成為球直徑之 40% 以下的話，則並無對於接合性等，造成不良影響，確保良好之接合性。

在球接合部和電極之界面，大多是藉由電極之主成分和銅呈相互地擴散而形成擴散層或金屬間化合物之狀態。即使是在球接合部來形成擴散層或金屬間化合物之狀態，也藉由形成界面濃化層，而將提高在高溫之接合可靠性之效果予以提升。特別是形成於球接合部界面之界面濃化層之至少一部分係最好是形成在以電極之主成分和銅作為主成分之擴散層或者是金屬間化合物中之至少任何一個內部之接合線之接合構造。形成於前述擴散層或金屬間化合物之內部之導電性金屬層之界面濃化層（在以下，進行總稱而稱為化合物濃化層。）係可以藉由將控制在接合界面之銅和電極之主成分之相互擴散之功能予以發揮，而提高在可靠性試驗之耐熱性  $10^\circ\text{C}$  以上。由於成為前述不良機構之金屬間化合物之腐蝕等而產生降低接合強度或者是增加電阻之不良。認為化合物濃化層係有效於延長不良之產生時間，在其功能之一種，將遮斷由樹脂產生之氣體或離子等移動至球接合部之界面之障蔽功能予以發揮。在接合部之界面附近，在導電性金屬濃化之區域限定於擴散層或金屬間化

合物之狀態下，也就是說，即使是在導電性金屬主要集中於前述化合物濃化層之狀態下，也得到充分之高溫可靠性。此外，藉由濃化於擴散層或金屬間化合物之化合物濃化層和形成在接近於接合界面之銅球之濃化區域呈共存，而更進一步地提高接合可靠性之改善效果。

此外，藉由前述濃化層之至少一部分形成在擴散層或金屬間化合物之至少任何一個內部，前述導電性金屬之濃度 0.5~30 莫爾%之區域之厚度成為  $0.01\ \mu\text{m}$  以上，而得到抑制由於加熱所造成之金屬間化合物之腐蝕等來提高接合可靠性之效果。如果是化合物濃化層之前述導電性金屬之濃度成為 0.5 莫爾%以上的話，則具有抑制腐蝕之充分之障蔽作用。另一方面，化合物濃化層之前述導電性金屬之濃度超過 30 莫爾%，因此，必須成為顯著地提高包含於銅接合線之導電性金屬之濃度等之特殊材料，接合性降低等之弊端也變多，有無法滿足接合線之要求特性之狀態發生。最好是藉由前述濃度範圍 2~20 莫爾%之區域之厚度成為  $0.01\ \mu\text{m}$  以上，而將提高接合可靠性之效果還予以提升。因為如果前述濃度範圍之區域之厚度成為  $0.01\ \mu\text{m}$  以上的話，則得到前述充分之作用效果，在未滿  $0.01\ \mu\text{m}$ ，無法穩定改善可靠性之效果之緣故。

最好是藉由含有濃化層之擴散層或金屬間化合物之位置，形成在接近於銅球之側，而也使得減低對於電極正下方之損傷之效果變大。這個係因為形成在遠離於銅球之晶片側之界面之擴散層或金屬間化合物，含有濃化層，而由

於熱膨脹差及殘留變形等，在電極之正下方，發生裂縫、界面剝離等之不良，相對地，在接近於銅球之側之擴散層或金屬間化合物之內部呈濃化之狀態下，能夠減輕對於電極正下方之不良影響之緣故。

前述之所謂擴散層係大多是主要藉由電極之主成分和銅來構成之不規則合金而具有濃度斜率之狀態。包含於前述擴散層之電極之主成分之濃度係最好是 1~30 莫爾%之範圍。該理由係因為如果是未滿 1 莫爾%的話，則即使是濃化層形成於擴散層內，也使得提高前述接合可靠性之效果變小，另一方面，超過 30 莫爾%而進行固溶之擴散層之形成係成為不穩定之狀態之緣故。也最好是在擴散層之內部，具有濃度斜率。這個係因為可以藉由濃度斜率緩和熱應力之集中，而也忍受封裝樹脂之熱膨脹等之外力，球接合部可以維持充分之接合強度之緣故。例如在電極成為鋁合金 (Al-Si、Al-Cu、Al-Si-Cu) 之狀態下，所謂擴散層係最好是在 3~22 莫爾%Al 之區域而含有之 Al 和 Cu 及導電性金屬。含有 3~22 莫爾%Al 之 Cu-Al 系擴散層係因為能夠比較容易地成長，即使是濃化導電性金屬，也變得穩定，使得提高接合可靠性之效果也變高之緣故。

前述之所謂金屬間化合物係主要藉由電極之主成分和銅來構成之規則合金，具有該規則性之方面係不同於擴散層。以平衡狀態圖來知道存在之金屬間化合物中之任何一種相係幾乎即使是球接合部也形成之狀態。分類成為：以電極之主成分和銅作為主成分之 2 元系金屬間化合物相來

含有導電性金屬之狀態或者是形成電極之主成分和銅及導電性金屬之 3 元系金屬間化合物相之狀態，任何一種也得到良好之接合可靠性。特別如果是濃化層形成於金屬間化合物之內部的話，則可以得到提升接合可靠性之高效果，即使是在其中，也使得提升在成為高溫高濕度加熱之 PCT 試驗 (Pressure Cocker Test: 蒸氣鍋測試) 之可靠性之效果變高，例如也可以延長在 PCT 試驗之壽命，成為 1.2 倍以上。改善機構之細節係還不清楚，但是，認為形成於金屬間化合物內部之濃化層係藉由防止水分侵入至球接合部，或者是對於在接合界面之擴散及金屬間化合物之成長，造成影響，而提高 PCT 試驗之可靠性。此外，即使是在濃化層限定於金屬間化合物內部之狀態下，也可以在高溫加熱和 PCT 試驗兩者，皆得到高度之可靠性。

作為具體之事例係最好是例如在電極成為鋁合金 (Al-Si、Al-Cu、Al-Si-Cu) 來作為最普通之材質之狀態下，作為金屬間化合物相，在 2 元系金屬間化合物相，來成為  $\text{CuAl}_2$ 、 $\text{CuAl}$ 、 $\text{Cu}_9\text{Al}_4$  相，藉由在這些金屬間化合物之至少任何一種相之內部，濃化導電性金屬，而提高接合可靠性。此外，在前述鋁合金之電極上之球接合部，在形成鋁和銅及該導電性金屬之 3 元系金屬間化合物相之狀態下，藉由在該 3 元系金屬間化合物相之內部，濃化導電性金屬，而還更加地提高在 PCT 試驗等之接合可靠性。最好是藉由前述導電性金屬之濃度成為 1~20 莫爾%，而得到提升在 PCT 試驗之接合可靠性之高效果。

就這些濃度解析方法而言，可以利用在接合剖面來使用 EPMA(電子線微分析法)、EDX(能量分散型 X 射線分析法)、AES(奧格電子分析)等而進行點分析或線分析之方法。分析面積係最好是以在直徑  $0.1\ \mu\text{m}$  以上之區域內之平均濃度，來進行顯示，更加理想如果是在  $1\ \mu\text{m}$  以上之區域內之平均濃度的話，則提高分析精度。在濃化之場所並無特定之狀態等，最好是接合界面附近之線分析。在界面濃化層之位置變得明確之狀態下，點分析係簡便之方法。為了以點分析來評價有無濃化，因此，最好是在濃化區域和球接合部之內部，由接合界面開始充分地離開之區域之至少 2 個部位，進行分析。

線分析係在基本上，必須將夾住接合界面附近之區域予以分析，關於線分析之起點和終點而言，分成為生成擴散層或金屬間化合物之狀態以及並無生成擴散層或金屬間化合物之狀態而進行說明。在生成擴散層或金屬間化合物之狀態下，於夾住該擴散層或金屬間化合物之全部層之區域，進行線分析，其始點和終點係最好是由擴散層及金屬間化合物之全部層之兩端開始，離開於球側及電極側至少  $2\ \mu\text{m}$  以上。另一方面，在並無生成擴散層或金屬間化合物或者是無法明確化其存在之狀態下，最好是由球接合部之初期之接合界面開始而離開於球側及電極側至少  $2\ \mu\text{m}$  以上之處，來作為線分析之始點或終點。可以藉由此種之線分析之方法而比較容易確認形成於球接合部之界面之濃化層。

前述界面濃化層之分析係可以進行於出貨之半導體之最終製品或者是裝設於電子機器而實際使用之半導體之任何一種。也就是說，濃化層之濃度或厚度係即使是使用前者之出貨之階段或者是使用之階段之任何一種半導體而進行接合部之觀察，如果是本發明之範圍內的話，也達到其作用效果。

此外，可以藉由在球接合部之表面，形成表面濃化層，而防止接合部之氧化。也就是說，最好是在連接以銅作為主成分之接合線和電極之接合線之接合構造，於藉由該接合線所形成之球接合部之表面，具有成為銅以外之導電性金屬之濃度高於這個以外之部分之濃化層的表面濃化層。藉由表面濃化層之形成，而發揮抑制氧侵入至樹脂封裝後之銅球部之侵入及水分之吸附等之保護功能，抑制在球表面之氧化膜之成長或銅之腐蝕等。此外，在其他之實用效果，即使是在接合中之高溫台座上之加熱、封裝製程及其後面之熱處理等，來進行加熱，也提高由於接合部表面之氧化抑制所造成之接合可靠性。

在球接合部表面之表面濃化層，最好是銅以外之導電性金屬之濃度成為 0.05~10 莫爾%之範圍之區域係 0.1  $\mu\text{m}$  以上。如果是表面濃化層成為該濃度範圍的話，則即使是 PCT 試驗等之高溫高濕度環境，也得到提升接合部可靠性之充分之效果。因為在未滿 0.05 莫爾%，抑制氧化之效果變小，在超過 10 莫爾%時，降低和電極間之初期之接合強度之緣故。最好如果是 0.2~4 莫爾%的話，則可以藉由抑

制球接合部之花辦變形而提高真圓性。最好如果是 0.3~4 莫爾%的話，則將還更加地提高在高溫高濕度環境之可靠性之效果予以提升。如果是前述濃度範圍之區域成為 0.1  $\mu\text{m}$  以上的話，則能夠提高可靠性。此外，如果是表面濃化層之厚度成為 0.5  $\mu\text{m}$  以上的話，則將提高可靠性之作用予以提升，更加理想是如果成為 1  $\mu\text{m}$  以上的話，則得到減輕球表面氧化之更加高之效果。

球接合部之表面濃化層之確認係可以藉由利用 EPMA、EDX、奧格電子分光分析等而分析球表面，來進行評價。在有球接合部表面之濃度分布之狀態下，可以藉由相同接合部之表面之 2 個部位以上之濃度，來進行判定。在奧格電子分光分析，濺鍍表面同時分析於深度方向係有效於前述之組成、膜厚之評價。

在以上，利用在濃化層內之濃度值，但是，在注目之導電性金屬之濃化層內之濃度相對於球內部之濃度之比例係成為顯示濃化程度之重要尺度。也就是說，形成於球接合部和電極之界面附近之界面濃化層或者是在形成於球接合部表面之表面濃化層之所含有之銅以外之導電性金屬之濃度係最好是相對於球接合部之內部之濃化層以外之該導電性金屬之平均濃度之濃度比成為 5 倍以上之半導體元件。可以藉由該濃度比成為 5 倍以上而同時滿足接合部之長期可靠性和楔形接合性之提升。更加理想是如果該濃度比成為 10 倍以上的話，則提高同時成立接合部之長期可靠性和晶片損傷之減低之效果。表面濃化層係可以進行球表

面之濃度測定，在球內部之濃度，例如可以利用在球接合部之研磨剖面之 3 個部位以上之所測定之濃度之平均值。

作為在界面濃化層或表面濃化層呈濃化之導電性金屬係 Pd、Pt、Au、Ag、Rh、P、Sn 等變得有效。如果是這些導電性金屬的話，則並無損害在接合部之金屬間化合物之成長，得到提高可靠性之高效果。更加理想是如果濃化層之主成分成為 Pd、Pt、Rh 之至少 1 種和銅之合金的話，則提高接合可靠性之改善效果係變得顯著。更加最好是如果主成分成為 Pd 和銅之合金的話，則將也提高在更加嚴格之高溫環境之長期可靠性之效果予以提升。作為具體例係如果是在銅中濃化 Pd 之界面濃化層之厚度成為  $0.5 \mu\text{m}$  以上的話，則即使是成為車載 IC 用途之嚴格評價之在  $175^\circ\text{C}$  之加熱評價，也可以提高可靠性。

就具有前述之界面濃化層或表面濃化層之接合構造而言，可以是藉由形成環圈之通常之線接合方法而形成之球接合部或者是藉由柱凸點(stud-bump)法而形成之球接合部之任何一種。兩者之不同係是否形成環圈，同時球接合部之構造及要求之可靠性等係幾乎相同。

關於半導體之接合部之長期可靠性而言，確認不良之發生係在半導體實際長期間地使用時，大多是在製造之即刻後，不容易檢測出不良之狀態。於是，在半導體之可靠性試驗，一般係為了縮短評價而進行加速評價試驗。具體地說，廣泛地實施高溫加熱試驗、高溫高濕度試驗(PCT)、熱循環試驗(TCT)等，在各個試驗，將可靠性之要求基準等

予以規格化。在半導體，即使是在製造之即刻後，並無問題發生，也大多是在可靠性試驗來確認不良之狀態。因此，大多是在加速評價試驗之優劣來使用於判定之指標之狀態，即使是就接合部之可靠性而言，也可以在進行加速加熱後，來進行評價。

在進行加速加熱處理後，調查接合部，前述之觀察界面濃化層之方法係更加有效率而成為有效之評價法。決定是否可以形成濃化層係根本就是接合線來接合在電極之階段之界面構造，然後之加速加熱處理之功能係僅是使得界面濃化層變厚而提高觀察之效率、精度。在進行加速加熱處理後而觀察界面濃化層之方法，界面濃化層之評價及解析變得容易係成為優點。

在  $175^{\circ}\text{C}$  加熱球接合部 200 小時之後，形成於球接合部界面之濃化層係最好是作為導電性金屬之濃度 1 莫爾% 以上之區域之厚度成為  $0.2\ \mu\text{m}$  以上之接合線之接合構造。因為藉由在  $175^{\circ}\text{C}$  加熱 200 小時而增厚濃化層，如果是 1 莫爾% 以上的話，則濃度之測定係比較容易，如果成為 1 莫爾% 以上之區域之厚度係  $0.2\ \mu\text{m}$  以上的話，則得到良好之接合可靠性之緣故。認為前述之接合線之接合部係導電性金屬之濃度  $0.05\sim 20$  莫爾% 之區域之厚度成為  $0.1\ \mu\text{m}$  以上，相當於  $175^{\circ}\text{C}$  加熱該接合線之接合部 200 小時之際之所觀察到之濃化層。

在此，加速加熱處理之目的係增厚界面濃化層，加熱溫度、時間係並無限定在前面之敘述。濃化層係擴散反應

速率之控制，因此，濃化層之厚度係比例於加熱時間之平方根，所以，即使是改變加熱時間，也可以算出前述濃化層之厚度。例如如果是前述之加熱時間成為 2 倍之 400 小時的話，則濃化層之厚度係最好是  $2^{1/2}$  倍而成為  $0.28 \mu\text{m}$  以上。此外，具有可以藉由提高加熱溫度而縮短評價時間之優點，因此， $250^\circ\text{C}$  加熱係也有效。在  $200^\circ\text{C}$  換算前述之加熱條件和擴散層之關係時，確認在  $200^\circ\text{C}$  加熱 100 小時之後，將導電性金屬之濃度成為 2 莫爾%以上之區域之厚度，取代成為  $0.4 \mu\text{m}$  以上。

作為形成前述濃化層之材料係最好是藉由以銅作為主成分之芯材以及在該芯材上具有以成分不同於芯材之導電性金屬來作為主成分之外皮層之複數層銅線而進行連接。即使是添加導電性金屬而進行合金化之單層銅線，也可以提高接合可靠性，但是，還藉由使用複數層銅線而將提高接合可靠性之效果予以更進一步地提升，此外，也得到抑制線表面之氧化之效果。為了在單層銅線，形成前述之界面濃化層或表面濃化層，因此，如果增加線中之合金元素之添加濃度的話，則大多是球部硬化而在接合時來造成晶片損傷係成為問題之狀態。相對於這個，在複數層銅線，也具有可以藉由將外皮層之厚度、組成、構造等予以適當化而綜合地提高接合線性能之優點。

構成外皮層之導電性金屬係藉由以 Au、Pt、Pd、Rh 等之貴金屬元素，來作為主成分，而得到抑制線表面氧化之效果。提高接合線及環圈形狀等之綜合特性，因此，確認

在綜合地評價接合線之使用性能之時，即使是在其中，構成外皮層之導電性金屬也成為 Pd、Pt 之至少 1 種係有利於特性之提升。

可以藉由將構成前述外皮層之主要之導電性金屬成為 Pd、Pt 之至少 1 種之接合線予以使用，而得到提高接合可靠性之顯著之效果，同時，綜合地滿足球接合性、楔形接合性及接合線之長壽命化等。也就是說，最好是使用以銅作為主成分之芯材以及在該芯材上具有以 Pd、Pt 之至少 1 種來作為主成分之外皮層之接合線而成為具有接合界面之界面濃化層或者是球表面之表面濃化層之接合部的半導體元件。在此之所謂主成分係相當於濃度 20 莫爾%以上之狀態。更加理想是 Pd 比較可以得到更加良好之楔形接合性，能夠增加楔形接合部之初期之接合強度至比起單層銅線之 1.5~3 倍為止。

最好是如果外皮層表面之銅以外之導電性金屬之濃度成為 30 莫爾%以上的話，則能夠穩定量產之球形成時之放電，提高初期球之真球性。更加理想是如果成為 60 莫爾%以上的話，則確認減少初期球之表面凹凸而得到平滑之表面性狀之效果。

外皮層之厚度係最好是  $0.002 \sim 0.8 \mu\text{m}$  之範圍，這個係由於得到良好之楔形接合性，也提高球接合性之提升效果之緣故。擔心在厚度未滿  $0.002 \mu\text{m}$ ，無法得到比起單層銅線也還提高銅接合線之氧化抑制、接合性等之效果，此外，成為過度薄而不容易正確地控制膜厚，在超過  $0.8 \mu\text{m}$ ，

球部硬化而造成晶片之損傷。更加理想是如果外皮層之厚度成為  $0.01 \sim 0.5 \mu\text{m}$  之範圍的話，則將增加楔形接合強度之效果予以增進，也得到增長由於線削除等之減低之所造成之毛細管壽命之效果。更加最好是如果外皮層之厚度成為  $0.01 \sim 0.2 \mu\text{m}$  之範圍的話，則提高楔形接合性，並且，還將減低球接合部之晶片損傷之效果予以更加地提高。此種膜厚和特性之關係在構成外皮層之導電性金屬成為 Pd、Pt 之至少 1 種之狀態下，變得更加地顯著。

藉由在芯材和外皮層之間，形成具有濃度斜率之擴散層，而期待將不容易同時成立之環圈控制性和楔形接合性予以同時提高之效果。也就是說，最好是芯材之主成分成為銅，構成外皮層之導電性金屬成為 Pd、Pt 中之至少 1 種，使用在芯材和外皮層之間來將 Pd、Pt 中之至少 1 種和銅具有濃度斜率之擴散層予以含有之接合線，成為具有接合界面之界面濃化層或球表面之表面濃化層之接合部之半導體元件。

外皮層係由含有銅和導電性金屬之合金所構成，此外，在外皮層之內部，包含導電性金屬和銅具有濃度斜率之擴散層係變得有效。也就是說，最好是在外皮層之內、在線徑方向具有導電性金屬和銅之濃度斜率之擴散層之厚度成為  $0.001 \sim 0.5 \mu\text{m}$  的接合線。可以藉由具有濃度斜率，而使得導電性金屬，比起在外皮層之整體成為均勻濃度之狀態，還更加同時地提高芯材和外皮層之密合性以及承受複雜之塑性變形之環圈時之控制性。

在此，藉由擴散層到達至表面為止，外皮層全部形成於擴散層，而更加地提高抑制環圈偏差之效果。該擴散層形成至表面為止係也有效於前述外皮層表面之 Pd 濃度之調整。

外皮層內之濃度斜率係最好是濃度對於深度方向之濃度變化之程度成為每  $1\ \mu\text{m}$  之 10 莫爾%以上。最好如果是每  $0.1\ \mu\text{m}$  之 10 莫爾%以上的話，則並無損害外皮層和芯材之不同特性而能夠期待相互利用之高效果。就具有濃度斜率之外皮層和芯材之境界而言，最好是以相當於濃度斜率之兩端之濃度值之差異部分之中間濃度之部位，來作為境界。

導電性金屬之濃度斜率之區域係不一定是外皮層之整體，也可以是部分。此外，在具有複數種之導電性金屬之狀態下，如果至少 1 種以上之導電性金屬具有濃度斜率的話，則得到接合性及環圈控制等之特性提升，也有可以藉由包含之導電性金屬而使得濃度斜率之舉動呈不同，來比起單獨之導電性金屬之狀態，還更加提升特性之情況發生。

濃度斜率係如果是由表面開始朝向至深度方向而降低濃度之傾向的話，則有利於外皮層和芯材之間之密合性之提升等。就該濃度斜率之形成法而言，最好是藉由導電性金屬元素和銅元素之擴散而形成之區域。這個係因為如果是藉由擴散而形成之層的話，則大多是局部之剝離、裂縫等之不良發生之可能性變低以及連續之濃度變化之形成等變得容易之類之優點之緣故。

由生產性及品質穩定性等之方面來看的話，則最好是

外皮層內之濃度斜率係連續地變化。也就是說，濃度斜率之傾斜之程度係不需要在外皮層內，絕對成為一定，也可以連續地變化。例如在外皮層和芯材之界面或者是在最表面附近等之濃度變化之傾斜係即使是在不同於外皮層之內部或濃度變化於指數函數之狀態，也得到良好之特性。

就外皮層之濃度分析而言，由接合線之表面開始藉由濺鍍等而下挖於深度方向同時進行分析之方法或者是在線剖面之線分析或點分析等係變得有效。前者係有效於外皮層變薄之狀態，但是，在變厚時，花費過量之測定時間。在後者剖面之分析係有效於外皮層變厚之狀態，此外，在剖面整體之濃度分布或者是在數個部位之再現性之確認等比較容易係成為優點，但是，在外皮層變薄之狀態下，降低精度。也可以對於接合線，進行傾斜研磨，擴大擴散層之厚度而進行測定。在剖面，線分析係比較簡便，但是，在企圖提高分析之精度時，使得線分析之分析間隔變窄或者是將集中於界面附近之企圖觀察之區域之點分析予以進行係也變得有效。可以在使用於這些濃度分析之解析裝置，利用 EPMA、EDX、奧格電子分光分析法、穿透型電子顯微鏡(TEM)等。此外，也可以在平均組成之調查等，由表面部開始，呈階段性地溶解於酸等，由包含於該溶液中濃度，來求出溶解部位之組成等。

在製造本發明之接合線時，需要：形成芯材和外皮層之製程、以及銅元素之外皮層內之濃度斜率以及露出至最表面之熱處理製程。

在外皮層形成於銅芯材表面之方法，有電鍍法、蒸鍍法及熔融法等。在電鍍法，即使是電解電鍍、無電解電鍍法之任何一種，也可以進行製造在稱為預鍍(strike)電鍍或閃鍍(flash)電鍍之電解電鍍，電鍍速度變快，和底層間之密合性也變得良好。使用於無電解電鍍之溶液係分類成為置換型和還原型，在膜變薄之狀態下，即使僅是置換型電鍍，也變得充分，但是，在形成厚膜之狀態下，於置換型電鍍之後，呈階段性地施行還原型電鍍，變得有效。無電解法係裝置等變得簡便，變得容易，但是，比起電解法，還需要更多之時間。

在蒸鍍法，可以利用濺鍍法、離子植入法、真空蒸鍍等之物理吸附、以及電漿 CVD 等之化學吸附。皆成為乾式，不需要在形成膜後之洗淨，不用擔心在洗淨時之表面污染等。

就施行電鍍或蒸鍍之階段而言，以目標之線徑來形成導電性金屬膜之方法、以及在膜形成於粗徑之芯材後而進行複數次之延伸線直到目標之線徑為止之方法之任何一種係也變得有效。在前者之最終徑之膜形成，製造及品管等係變得簡便，在後者之膜形成和延伸線之組合，有利於提高膜和芯材之密合性。作為各個形成法之具體例係可以在目標線徑之銅線、於電解電鍍溶液中來連續地掃引線同時形成膜之方法、或者是在電解或無電解之電鍍浴中來浸漬粗銅線而形成膜之後、對於線來進行延伸線而到達至最終徑之方法等。

作為使用藉由前述方法所形成之外皮層和芯材而在外皮層中之銅之濃度斜率及最表面來露出銅之製程係藉由加熱所造成之擴散熱處理，變得有效。這個係用以在外皮層和芯材之界面，助長銅和導電性金屬之相互擴散之熱處理。連續地掃引線同時進行熱處理之方法係具有良好之生產性及品質穩定性。但是，在僅單純地加熱線，並非能夠控制外皮層之表面及在內部之銅分布。即使是仍然直接地適用在通常之線製造之所採用之加工變形除去退火，也將由於外皮層和芯材之密合性之降低而使得環圈控制變得不穩定或者是在毛細管之內部來堆積線剷除屑而產生堵塞或者是還氧化露出於表面之銅而降低接合強度等之問題予以完全地解決係變得困難。於是，熱處理之溫度、速度及時間等之控制係變得重要。

作為理想之熱處理法係連續地掃引線同時進行熱處理並且使得作為一般熱處理之爐內溫度並非一定而且藉由在爐內來附加溫度傾斜而將具有作為本發明特徵之外皮層和芯材之接合線予以量產，變得容易。在具體之事例，有局部地導入溫度傾斜之方法以及在爐內來改變溫度之方法等。在抑制接合線之表面氧化之狀態下， $N_2$  或  $Ar$  等之惰性氣體流入至爐內同時進行加熱係也變得有效。

具有此種溫度傾斜或溫度分布之熱處理係最好是在生產性之方面，以最終線徑來施行，但是，另一方面，也得到：藉由在熱處理後，施行延伸線，而除去表面之氧化膜，提高在低溫之接合性，或者是還藉由併用延伸線和變形除

去退火，而減低在毛細管內部之線削除之效果等。

此外，在熔融法，成為熔融外皮層或芯材之任何一種而鑄入之方法，具有：藉由在以 1~50mm 程度之粗徑來連接外皮層或芯材之後，進行延伸線而使得生產性變得良好；以及，比起電鍍、蒸鍍法，還使得外皮層之合金成分設計變得更加容易，強度、接合性等之特性改善也變得容易等之優點。在具體之製程，分成為：在預先製作之芯線之周圍，鑄入熔融之導電性金屬而形成外皮層之方法；以及，藉由使用預先製作之導電性金屬之中空圓柱，在其中央部，鑄入熔融之銅或銅合金，而形成芯線之方法。最好是後者之在中空圓柱之內部來鑄入導電性金屬係比較容易在外皮層中，穩定地形成銅之濃度斜率等。在此，如果是在預先製作之外皮層中含有少量之銅的話，則容易控制在外皮層表面之銅濃度。此外，在熔融法，也可以省略用在外皮層擴散 Cu 之熱處理作業，但是，為了調整外皮層內之 Cu 之分布，因此，藉由施行熱處理而也預測更進一步之特性改善。

此外，在利用此種熔融金屬之狀態下，也可以藉由連續鑄造而製造芯線和外皮層之至少一種。也可以藉由該連續鑄造法，而比起前述之鑄入之方法，還更加簡化製程，並且，線徑變細，提高生產性。

前述之形成於球接合部界面之界面濃化層之至少一部分係作為將形成在以電極之主成分和銅作為主成分之擴散層或者是金屬間化合物之至少任何一個內部之接合線之接

合構造予以形成之裝置，有效於藉由具有以銅作為主成分之芯材和以導電性金屬作為主成分之外皮層的前述複數層銅線而進行連接。這個係因為如果是複數層銅線的話，則容易藉由調整外皮層之成分、厚度、濃度斜率、組成等而控制在接合界面之濃化層之分布厚度等之緣故。例如為了使得界面濃化層形成於金屬間化合物之內部，因此，大多是增加外皮層之厚度，或者是提高導電性金屬之比率，並且，將形成外皮層和芯材之間之界面之擴散層之組成予以控制等之有效狀態。此外，作為助長金屬間化合物內部之界面濃化層之形成之連接技術係有效地在球形成時之氣氛氣體，使用氮氣。認為這個係因為在用以形成球之電弧放電，抑制球表面之氧化並且促進導電性金屬對於球表面之偏析係關係到促進成長於接合部之金屬間化合物內部之濃化層之形成

還藉由精查複數層銅線之接合可靠性，而確認應該解決之問題係容易引起球接合部之偏芯變形以及產生氣泡和氣泡痕，判明在各種不良之不同之改善方法係變得有效。發現：為了偏芯之減低，因此，放電條件之適當性係變得有效；為了控制接合部之氣泡及氣泡痕之產生，因此，在形成球時之氣氛氣體之選定係變得有效。在後面，敘述各個之不良現象及改善方法。即使是任何一種單層銅線，也認定效果，但是，特別是藉由適用於複數層銅線而提高作用效果。

最好是接合線之前端和放電火炬之前端所形成之角度

成為由線長邊方向開始 60 度以內並且在其放電火炬和線前端之間來形成電弧放電而形成球部的接合線之接合構造之形成方法。在圖 1，顯示形成球之製程之接合線裝置之一部分，在線 1 和放電火炬 2 之間，產生電弧放電，熔融線前端而形成球。為了抑制在銅熔融時之氧化，因此，由氣體噴嘴 4 開始，沿著箭號方向，來吹附惰性氣體或還原性氣體，在線 1 和放電火炬 2 之周圍，形成氣體氣氛。在此，前述之角度係相當於圖 1 之角度  $a$ ，成為連結線 1 之前端和放電火炬 2 之前端之直線以及線長邊方向之所形成之角度（在以下，記載為火炬角度。）。

為了抑制球接合部之偏芯，因此，必須減低球對於接合線呈傾斜而形成之芯偏離不良。發現為了減低芯偏離不良，因此，電弧放電相對於接合線之長邊方向之入射角係變得重要，發現支配這個係接合線和放電火炬之位置關係。因為在火炬角度  $a$  超過 60 度時，由於僅在接合線之單側，產生放電等，所以，引起芯偏離之緣故。更加理想是如果該角度成為 40 度以內的話，則能夠更加地減低接合部之偏芯之發生率。更加最好是就接合線之前端和放電火炬之前端之距離  $L$  而言，如果是 0.5~2.5mm 之範圍的話，則得到改善芯偏離之更高之效果，容易確保穩定之量產性。在此，因為在距離  $L$  未滿 0.5mm，於降下毛細管時，有接觸到放電火炬之危險性發生，在超過 2.5mm，電弧放電變得不穩定，球尺寸容易發生偏差之緣故。

為了抑制小球形成之偏芯不良，因此，電弧放電方向

和氣體吹附方向相對於接合線之位置關係，有效於芯偏離之控制。具體地說，在由接合裝置之上方開始之投影面，連結線前端和放電火炬之前端之直線以及連結線前端和屏蔽用氣體配管之前端之直線之所形成之角度（在以下，記載為氣體吹附角度。）係最好是 40~150 度之範圍。在藉著圖示由裝置上方開始之投影面之圖 2 而進行說明時，線 1 係藉由點而進行表示，連結線 1 和放電火炬 2 之前端之直線以及連結線 1 和屏蔽用氣體配管 4 之前端之直線之所形成之角度 b 係相當於前述之氣體吹附角度。在屏蔽用氣體配管成為 2 條以上之狀態下，即使是 1 條，如果滿足前述之氣體吹附角度的話，也得到期待之效果。如果氣體吹附角度成為 40~150 度之範圍的話，則即使是在例如將球徑相對於線徑之比率成為 1.5 倍以下之小球予以形成時，也減低芯偏離球之產生，結果，更加地提高抑制在接合部之偏芯之效果。在前述角度未滿 40 度，球之表面氧化係成為問題，在超過 150 度，擔心降低真球性。最好如果是 60~130 度之範圍的話，則得到抑制芯偏離和偏芯之更加高之效果。

更加最好是將以銅作為主成分之芯材以及在該芯材上具有以成分不同於芯材之導電性金屬來作為主成分之外皮層之接合線予以連接之方法，最好是在由接合裝置之上方開始之投影面，連結線前端和放電火炬之前端之直線以及連結線前端和屏蔽用氣體配管之前端之直線之所形成之角度（氣體吹附角度）成為 45~150 度之範圍之線接合方法。因為就這種氣體吹附角度之效果而言，比起單層銅線，還

在偏芯發生頻率變多之複數層銅線，得到格外之作用效果之緣故。

此外，為了改善小球形成之尺寸穩定性，因此，最好是由 2 個方向以上或者是呈環圈狀地吹附惰性氣體或還原性氣體至線前端，同時，接合形成之球部。藉由氣體之吹附成為 2 個方向以上、或者是呈環圈狀地配置氣體噴出口而包圍線前端，來穩定放電之方向性，將減低初期球徑之偏差之效果予以提高。在球徑相對於線徑之比率成為 1.5 倍以下之球之形成，也有在來自 1 個方向之吹附而不容易形成穩定之球之狀態發生，相對地，在 2 個方向以上或環圈狀之吹附，能夠穩定球徑。更加理想是藉由在 2 個方向之吹附之狀態下，吹附方向之角度成為 40~180 度之範圍，而得到穩定小球之尺寸及真球性等之更加高之效果。

成為抑制前述偏芯之對策之接合線和放電火炬間之位置關係、以及氣體吹附方向等之改善效果係即使是任何一種氣體種，也變得有效。具體地說，確認即使是氦氣、氫和氦之混合氣體、Ar 氣體、氫和 Ar 之混合等，也得到相同之效果，例如即使是 5%氫和氦之混合氣體，也成為充分之效果。

就球形成之惰性氣體或還原性氣體之氣氛而言，最好是在線前端附近，吹附  $0.00005 \sim 0.005 \text{m}^3/\text{分鐘}$  之流量之氣體，同時，熔融接合線來形成球。在直到熔融線前端而進行凝固為止之間，必須成為前述之氣體氣氛，藉由在線前端附近，吹附  $0.00005 \sim 0.005 \text{m}^3/\text{分鐘}$  之流量而確保在量產

之穩定之連續接合性。在此，因為在氣體流量未滿  $0.00005\text{m}^3/\text{分鐘}$ ，混合周圍之大氣而在連續球接合時來產生未接合等係成為問題，在  $0.005\text{m}^3/\text{分鐘}$  以上之高速流量，有由於電弧中斷等而無法形成球或者是產生極端小之球等之狀態發生之緣故。更加理想是如果流量成為  $0.0001\sim 0.002\text{m}^3/\text{分鐘}$  之範圍的話，則有效於通常之初期球徑之連續接合性等之良品率之提升。更加最好是如果成為  $0.0001\sim 0.001\text{m}^3/\text{分鐘}$  之範圍的話，則藉由減低球徑之偏差而得到穩定球接合部之尺寸之高效果。

因為在球接合部之表面產生氣泡痕或者是在球內部產生氣泡，而結果造成球形狀不良或接合強度之降低。氣泡、氣泡痕之抑制係有效於複數層銅線之接合可靠性之提升。在複數層銅線，比起習知之單層銅線，還在球形成時，大幅度地提高氣泡、氣泡痕等之不良發生之頻率。認為這個係由於成為芯材主成分之銅和成為外皮層主成分之導電性金屬、其熔點、熔解熱、氧化性及潤濕性等之許多特性呈不銅，所以，藉由在熔融複數層銅線之時，對於電弧放電之擴散、熔融狀態、凝固舉動及兩金屬之合金化等，複雜地造成影響，而使得球形成舉動呈大幅度地不同於單層銅線，因此，產生氣泡、氣泡痕。

最好是成為在複數層銅線之球接合部之表面並無包含  $10\mu\text{m}$  以上之氣泡痕或者是在球接合部之內部並無包含  $10\mu\text{m}$  以上之氣泡之接合部的半導體元件。這個係因為如果球接合部表面之氣泡痕成為  $10\mu\text{m}$  以上的話，則惡化球形

狀，在樹脂封裝時，因為氣泡痕而降低和樹脂間之密合性之緣故。此外，因為如果是球接合部內部之氣泡成為  $10\ \mu\text{m}$  以上的話，則降低和電極材料間之接合強度，成為降低在 IC 動作時之長期可靠性之原因之緣故。最好是如果抑制氣泡痕或氣泡之尺寸至  $6\ \mu\text{m}$  以下的話，則更加地提高各種之可靠性之提升效果。

氣泡痕之評價係可以藉由以光學顯微鏡(在以下，稱為光學顯微鏡。)、SEM(掃描型電子顯微鏡)等，來觀察球接合部，而進行確認，可以藉由在氣泡之評價，於晶片或電極表面，沿著垂直方向或水平方向，來對於球接合部，進行剖面研磨，以光學顯微鏡、SEM 等，來觀察其研磨剖面，而進行確認。最好是觀察 50 個以上之接合部，來判定前述之氣泡、氣泡痕。

發現為了抑制接合部之氣泡及氣泡痕之產生，因此，在球形成時之氣氛氣體之適當化係變得有效。也就是說，最好是在以  $0.02\sim 20\%$  之範圍來含有氬之 Ar 氣體之氣氛而將熔融複數層銅線之前端之所形成之球部予以接合之線接合方法。

藉由使用以  $0.02\sim 20\%$  之範圍來含有氬之 Ar 氣體，來使得電弧放電變得穩定，藉由也抑制氣體之不良影響，而使得球之真球性變得良好，也抑制球內部之氣泡及球接合部表面之氣泡痕之產生，得到同等於單層銅線及金線之同樣良好之球接合形狀和接合強度。認為氬係有效地作用於電弧放電之穩定化及氧化抑制等。在許多使用於單層銅線

之氫和氬之混合氣體中而形成球時，產生球內部之氣泡及球接合部表面之氣泡痕，因此，造成球形狀不良或接合強度之降低。就前述之氫和 Ar 氣體之作用效果而言，即使是單層銅線，也具有效果，但是，在複數層銅線，還得到更加高之改善效果。氬濃度範圍之理由係因為是如果未滿 0.02% 的話，則減低氣泡、氣泡痕之產生之作用變得不充分之緣故，因為在超過 20% 時，引起球徑之偏差、球接合部之直徑之偏差等之問題之緣故。更加理想是如果氬濃度成為 0.1~10% 之範圍的話，則發生於初期球內部之氣泡變小，提高將球接合部之內部之氣泡予以微小化之效果。觀察到更加最好是如果氬濃度成為 0.3~5% 之範圍的話，則還更加地提高抑制氣泡、氣泡痕之產生之效果，即使是在接合前之初期球部，也能夠減低氣泡、氣泡痕之產生。在球形成用氣氬氣體之選定，深切地關係到線構造，氫和 Ar 之混合氣體係不一定適合於單層銅線，相對地，非常有效於複數層銅線。

為了在此種複數層銅線之氣泡、氣泡痕之抑制，因此，最為有效是氫和 Ar 之混合氣體。就氣體流量而言，得到相同於前面敘述之效果，因此，最好是在線前端附近，吹附  $0.00005 \sim 0.005 \text{ m}^3/\text{分鐘}$  之流量之以 0.02~20% 之範圍來含有氬之 Ar 氣體，同時，熔融接合線來形成球。作為氣體吹附方向係必須是由至少 1 個以上之方向，來吹附氣體。如果是來自 2 個方向以上之吹附或者是呈環圈狀地噴出氣體之方法的話，則藉由更加地提高屏蔽效果而提高量產穩定

性，並且，因為成本之減低而也可能減少氣體流量。在此，就前述之氣體流量而言，在來自 2 個方向以上之吹附之狀態下，相當於總氣體流量。

為了抑制球接合部之表面附近之氣泡痕，穩定接合形狀，因此，確認 Ar 和 氬之混合氣體係變得有效。也就是說，最好是在以 5~50%之範圍來含有 Ar 之 氬氣之氣氛，將熔融銅接合線之前端之所形成之球部予以接合之線接合方法。認為因為以球熔融之所溶解之氣體成分係在凝固時，並無釋出而剩下，以致於產生氣泡痕，但是，在 Ar 和 氬之混合氣體，在其凝固時，具有助長氣體釋出之效果。就前述之 Ar 和 氬之混合氣體之作用效果而言，即使是單層銅線，也具有效果，但是，在複數層銅線，還得到更加高之改善效果。就在複數層銅線成為問題之情況變多之球接合部之橢圓變形而言，認定在純 Ar 或純 氬，有稍微進行橢圓變形之傾向發生，相對地，在 氬和 Ar 之混合氣體，還不容易完全地抑制產生頻率之減少，但是，在 Ar 和 氬之混合氣，得到抑制橢圓變形之高效率。就 Ar 濃度而言，得知在未滿 5%，改善效果係變小，在 Ar 超過 50%時，球尺寸係變得不穩定。即使是就流量、吹附方法而言，也以前述之條件，來確認相同之效果。

如果是由銅接合線之前端和放電火炬之前端所形成之角度成為由線長邊方向開始 60 度以內並且在以 0.02~20%之範圍來含有 氬之 Ar 氣體之氣氛而在該放電火炬和線前端之間來形成電弧放電而形成球部的線接合方法的話，則

得到同時滿足芯偏離之抑制和氣泡之抑制之高效率。這個係藉由精查氣體和接合線之組合而發現氫和 Ar 之混合氣體，即使是對於激發複數層銅線之初期球之芯偏離及接合部之偏芯之不良之作用，如果調整火炬角度來成為前述範圍的話，則也可以抑制芯偏離。

更加理想是以銅作為主成分之芯材以及在前述芯材上具有以成分不同於芯材之導電性金屬來作為主成分之外皮層之接合線予以連接之方法，最好是由接合線之前端和放電火炬之前端所形成之角度成為由線長邊方向開始 60 度以內並且在以 0.02~20% 之範圍來含有氫之 Ar 氣體之氣氛而將熔融接合線前端之所形成之球部予以接合之線接合方法。因為就這種火炬角度之效果而言，比起單層銅線，還在複數層銅線，得到格外之作用效果之緣故。因為在單層銅線，原本之芯偏離之發生頻率係比較少，可以藉由放電電流·時間等而進行調整之緣故。在複數層銅線，表皮層之膜厚、組成等係不一定均等於線剖面內，因此，這個係成為增進芯偏離之原因。即使是在具有此種不均勻之表皮層之狀態下，也藉由調整火炬角度，來成為前述範圍，而得到穩定線熔融及球形成之高效率。此外，在使用氫和 Ar 之混合氣體而以複數層銅線來形成球之狀態下，顯著地增大火炬角度之改善效果。

如果是由銅接合線之前端和放電火炬之前端所形成之角度成為由線長邊方向開始 60 度以內並且在以 5~50% 之範圍來含有 Ar 之 N<sub>2</sub> 氣體之氣氛而在該放電火炬和線前端

之間來形成電弧放電而形成球部的線接合方法的話，則得到同時滿足芯偏離之抑制和接合部表面之氣泡痕之抑制之高效率。

如果是由銅接合線之前端和放電火炬之前端所形成之角度成為由線長邊方向開始 60 度以內並且在以 0.02~20% 之範圍來含有氫之氮氣之氣氛而在前述放電火炬和線前端之間來形成電弧放電而形成球部的線接合方法的話，則除了芯偏離之抑制之外，還得到同時滿足球接合部之尺寸和真圓度之穩定化之高效率。

#### 實施例

在以下，就實施例而進行說明。

作為接合線之原材料係銅使用純度大約 99.99 質量% 以上之高純度之素材，在外皮層用之 Pt、Pd、Au、Rh 之素材，準備純度 99.99 質量% 以上之原料。在單層銅線，添加既定之合金元素，進行熔解而製作錠塊。為了在複數層銅線之製作，預先準備變細至某線徑為止之高純度銅線，來作為芯材，在其線表面，形成不同金屬之外皮層，因此，進行電解電鍍法、無電解電鍍法、蒸鍍法、熔融法等。在形成濃度斜率之狀態下，施行熱處理。在以最終線徑來形成外皮層之狀態時，利用在以某線徑來形成外皮層之後，還藉由延伸線加工而變細至最終線徑為止之方法。電解電鍍液、無電解電鍍液係使用在半導體用途之市面販賣之電鍍液，蒸鍍係使用濺鍍法。預先準備直徑大約 50~200  $\mu\text{m}$  之線，藉由蒸鍍、電鍍等而被覆於其線表面，延伸線至最

終線徑之  $15\sim 75\mu\text{m}$  為止，在最後，除去加工變形，施行熱處理至延伸率 4% 程度。配合於需要而在進行模延伸線至線徑  $30\sim 100\mu\text{m}$  為止之後，於施行擴散熱處理之後，還施行延伸線加工。

在利用熔融法之狀態下，採用：在預先製作之芯線之周圍來鑄入熔融之金屬之方法以及在預先製作之中空圓柱之中央部來鑄入熔融之銅或銅合金之方法。然後，進行鍛造、壓軋壓延、模延伸線等之加工和熱處理而製造接合線。

就本發明例子之線之熱處理而言，連續地掃引線，同時進行加熱線。利用：局部地導入溫度傾斜之方式以及在爐內改變溫度之方式等。該溫度差成為  $30\sim 200^\circ\text{C}$  之範圍，將溫度分布、線掃引速度等予以適當化，調整延伸率，成為 4% 前後。在熱處理之氣氛，除了大氣以外，也由於抑制氧化之目的而利用  $\text{N}_2$ 、 $\text{Ar}$  等之惰性氣體。就比較例之熱處理製程而言，在延伸線後之 Cu 線來施行熱處理後而形成電鍍層之狀態以及在延伸線後和電鍍層之形成後而施行 2 次熱處理之狀態下，準備試料。

在複數層銅線之表面之膜厚測定，進行藉由 AES 所造成之表面分析、深度分析。線中之導電性金屬濃度係藉由 ICP 分析、ICP 質量分析等而進行測定。

在接合線之連接，使用市面販賣之自動線接合器 (ASM 製 Eagle60-AP 型)，進行球/楔形接合。藉由電弧放電，而在線前端，製作球，將這個接合在矽基板上之電極膜，將線之其他端，呈楔形地接合在引線端子上。為了抑制在

球熔融時之氧化，因此，在線之前端，吹附既定之氣氛氣體，同時，進行放電。接合線之前端和放電火炬之前端間之角度及距離係適當化於前述範圍。藉由調整其距離，來成為 1~1.5mm 之範圍，而穩定電弧放電，容易調整前述之角度及屏蔽用氣體管之安裝。

作為接合對象係使用成為矽基板上之電極膜材料之厚度 1  $\mu\text{m}$  之 Al 合金膜 (Al-1%Si-0.5%Cu 膜、Al-0.5%Cu 膜)。另一方面，在楔形接合之對象，使用在表面進行 Ag 電鍍 (厚度：1~4  $\mu\text{m}$ ) 之引線框架或者是 Au 電鍍 / Ni 電鍍 / Cu 之電極之樹脂基板。

在初期球形狀之評價，採取 20 條之球徑 / 線徑之比率成為 1.8~2.5 倍之範圍之小徑球，藉由光學顯微鏡或 SEM 而進行觀察，評價真球性、芯偏離和球表面之 3 點。在真球性之評價，如果是異常形狀之球產生 4 條以上的話，則成為不良，因此，成為 x 記號，在異形成為 1~3 條而球位置相對於接合線之芯偏離變得顯著之個數成為 3 個以上之狀態，成為  $\triangle$  記號，如果是芯偏離成為 1~3 個的話，則判斷並無實用上之大問題而成為  $\circ$  記號，在芯偏離和異形之合計成為 1 個以下之狀態下，球之成形係變得良好，因此，藉由  $\odot$  記號而進行表記。

在球表面之評價，藉由 SEM 而觀察 20 條之球部，如果在表面具有 10  $\mu\text{m}$  以上之粗大之凹凸、異物附著等之球數目成為 5 條以上的話，則成為不良，因此，成為 x 記號，在粗大之凹凸成為 1~4 條並且 5  $\mu\text{m}$  以下之氣泡等之微小凹

凸成為 5 個以上之狀態，成為△記號，雖然沒有粗大之凹凸但是判斷在微小之凹凸成為 2~4 個之範圍而並無實用上之大問題，成為○記號，在微小之凹凸成為 1 個以下之狀態下，球之表面係變得良好，因此，藉由◎記號而進行表記。

觀察初期球部之氣泡，因此，進行 10 個球之剖面研磨，在平行於線方向而通過球中心部之剖面，如果是 10  $\mu$  m 以上之氣泡成為 2 個以上的話，則成為×記號，如果是 10  $\mu$  m 以上之氣泡成為 1 個以下而 6  $\mu$  m 以上之氣泡成為 5 個以上的話，則成為△記號，如果是 6  $\mu$  m 以上之氣泡成為 2~4 個的話，則成為○記號，如果是 6  $\mu$  m 以上之氣泡成為 1 個以下的話，則藉由◎記號而進行表記。

在球接合部之接合形狀之判定，觀察 500 條之接合之球，藉由不良形態而區別成為偏芯、橢圓狀變形、花瓣狀變形，分別進行評價。除了在接合球徑/線徑之比率成為 2.3 以上、3.5 倍之範圍之通常球徑之狀態下之評價以外，僅限於偏芯之評價，即使是 1.6~2.3 倍之範圍之小徑球之狀態，也進行評價。在偏芯之評價，如果是顯著之偏芯成為 10 條以上的話，則判定成為不良而成為×記號，如果是顯著之偏芯成為 3~9 條之範圍的話，則最好是配合於需要而進行改善，因此，成為△記號，如果是顯著之偏芯成為 2 條以下而輕微之偏芯成為 4~10 條之範圍的話，則判斷在實用上並無問題，成為○記號，如果是輕微之偏芯成為 3 條以下的話，則變得良好，因此，藉由◎記號而進行表

記。即使是就橢圓狀變形、花瓣狀變形而言，也在相同之發生頻率，進行不良判定。

在球接合部之尺寸穩定性之評價，藉由平行於超音波之平行方向和超音波方向而測定 100 個之球接合部之尺寸。以接合球徑/線徑之比率成為 2.3 以上、3.5 倍之範圍之通常球徑之狀態以及 1.6~2.3 倍之範圍之小球徑之狀態之 2 種水準，來進行評價。如果是球徑之偏差成為  $3\mu\text{m}$  以上的話，則偏差變成問題，成為×記號，在偏差成為  $1\mu\text{m}$  以上、未滿  $3\mu\text{m}$  之範圍並且極端之尺寸異常成為 3 條以上之狀態，最好是配合於需要而進行改善，因此，成為△記號，如果是偏差成為  $0.5\mu\text{m}$  以上、未滿  $1\mu\text{m}$  的話，則判斷在實用上並無問題，成為○記號，如果是偏差未滿  $0.5\mu\text{m}$  的話，則尺寸非常穩定，因此，藉由◎記號而進行表記。

在球接合部表面之氣泡痕之評價，藉由光學顯微鏡而觀察 400 個之球接合部，如果是  $10\mu\text{m}$  以上之氣泡痕成為 4 個以上的話，則成為×記號，如果是  $10\mu\text{m}$  以上之氣泡痕成為 3 個以下而  $6\mu\text{m}$  以上之氣泡痕成為 10 個以上的話，則成為△記號，如果是並無  $10\mu\text{m}$  以上之氣泡痕且  $6\mu\text{m}$  以上之氣泡痕成為 3~9 個的話，則判斷在實用上並無問題，成為○記號，如果是並無  $10\mu\text{m}$  以上之氣泡痕且  $6\mu\text{m}$  以上之氣泡痕成為 2 個以下的話，則變得良好，因此，藉由◎記號而進行表記。

在球接合部之內部之氣泡之評價，於 40 個之球接合

部，沿著垂直於晶片表面之垂直方向，來進行剖面研磨，如果是  $10\mu\text{m}$  以上之氣泡成為 4 個以上的話，則成為 x 記號，如果是  $10\mu\text{m}$  以上之氣泡成為 3 個以下而  $6\mu\text{m}$  以上之氣泡成為 10 個以上的話，則成為  $\triangle$  記號，如果是並無  $10\mu\text{m}$  以上之氣泡且  $6\mu\text{m}$  以上之氣泡成為 3~9 個的話，則判斷在實用上並無問題，成為  $\circ$  記號，如果是並無  $10\mu\text{m}$  以上之氣泡且  $6\mu\text{m}$  以上之氣泡成為 2 個以下的話，則變得良好，因此，藉由  $\odot$  記號而進行表記。

在球接合部之連續接合性之評價，進行 1000 條之線連接，以球接合部之剝離次數，來進行評價。進行加速評價，因此，以若干低於量產條件，來設定荷重、超音波振動。接合球徑相對於線徑之比率越小而連續之接合變得越加困難，因此，以接合球徑/線徑之比率成為 2.3 以上、3.5 倍之範圍之通常球徑之狀態以及 1.6~2.3 倍之範圍之小球徑之狀態之 2 種水準，來進行評價。在球徑之各種水準，如果是剝離數目成為 6 次以上的話，則接合變得不充分，因此，成為 x 記號，如果是 3~5 次的話，則藉由  $\triangle$  記號而進行表記，如果是 1~2 次的話，則藉由接合條件之適當化而判斷具有實用性，成為  $\circ$  記號，如果是剝離成為零的話，則成為充分之接合強度，因此，藉由  $\odot$  記號而進行表記。

在損傷對於晶片之評價，在球部接合於電極膜上之後，藉由蝕刻而除去電極膜，藉由 SEM 而觀察對於絕緣膜或矽晶片之損傷。電極數係觀察 400 個部位。在並無認定損傷之狀態，成為  $\odot$  記號，在  $5\mu\text{m}$  以下之裂縫成為 2 個以

下之狀態，判斷是並無問題發生之水準而成為○記號，在 $5\mu\text{m}$ 以上、未滿 $20\mu\text{m}$ 之裂縫成為2個以上之狀態，判斷成為擔心之水準而成為△記號，在 $20\mu\text{m}$ 以上之裂縫或凹口破壞等成為1個以上之狀態，判斷成為擔心之水準，藉由×記號而進行記載。

在楔形接合之評價用，使用進行在 $175^{\circ}\text{C}$ 之低溫接合之試料，來作為合計1000條之接合線。作為評價基準係在因為於楔形接合部之不良而中斷2次以上之連續接合動作之狀態，楔形接合性變差，因此，藉由×記號而進行表示，在接合之中斷成為1次以下而藉由光學顯微鏡所觀察之剝離等之不良現象成為5條以上之狀態，楔形接合性變得不充分，因此，成為△記號，在即使是能夠進行連續接合也認定剝離1條之狀態，可以對應於接合條件之變更，因此，成為○記號，在連續之接合並無認定不良之狀態，楔形接合性係判斷成為良好，藉由◎記號而進行表示。

在球接合強度之評價，使用接合於 $150^{\circ}\text{C}$ 低溫之試料。進行20條之球接合部之鑄式試驗，測定其鑄式強度之平均值，將使用球接合部之面積平均值所計算之每單位面積之鑄式強度予以採用。如果是每單位面積之鑄式強度未滿 $70\text{MPa}$ 的話，則接合強度變得不充分，成為×記號，如果是70以上、未滿 $90\text{MPa}$ 之範圍的話，則能夠藉由若干之接合條件之變更而進行改善，因此，成為△記號，如果是90以上、未滿 $110\text{MPa}$ 之範圍的話，則判斷在實用上並無問題，成為○記號，如果是 $110\text{MPa}$ 以上之範圍的話，則變得良

好，因此，藉由◎記號而進行表記。

就在接合製程之環圈形狀穩定性而言，以線長度 2mm 之通用間距和 4mm 之長間距之 2 種類，來製作梯形環圈，分別藉由投影機而觀察 400 條之接合線，判定接合線之直線性及環圈高度之偏差等。在以線長度 4mm 來形成梯形環圈，為了減低高度之偏差，因此，要求更加嚴格之環圈控制。在線長度 2mm 而於直線性、環圈高度等具有 5 條以上之不良之狀態下，判斷有問題發生，則藉由×記號而進行表示，在線長度 2mm 具有 2~4 條之不良且在線長度 4mm 具有 5 條以上之不良之狀態下，判斷必須進行改善，則藉由△記號而進行表示，在線長度 2mm 具有 1 條以下之不良且在線長度 4mm 具有 2~4 條之不良之狀態下，環圈形狀係比較良好，因此，藉由○記號而進行表示，在線長度 4mm 具有 1 條以下之不良之狀態下，判斷環圈形狀變得穩定，則藉由◎記號而進行表示。在不良原因之一種，芯線和外皮層之界面之密合性變得不充分而假定在剖面之特性偏差等。

在毛細管壽命之評價，於連接 5 萬條之接合線之後，以毛細管前端之污染、摩耗等之變化而進行判定。如果表面變得潔淨的話，則成為○記號，在具有少許之附著物等之狀態下，於通常之作業，並無問題發生，因此，成為△記號，在附著物之數量或大小變得顯著之狀態下，則藉由×記號而進行表記。

就在加熱後之接合可靠性而言，於接合後，在 150℃、175℃ 和 185℃ 加熱藉由樹脂所封裝之試料 1500 小時後，

評價 40 條之接合線之電特性。150°C、175°C 和 185°C 之加熱係分別假定進行於通用 IC 用途、車載 IC 用途之加熱條件。在電阻上升至初期之 3 倍以上之接合線之比例成為 30% 以上之狀態下，變得接合不良，因此，成為×記號，在電阻上升至 3 倍以上之接合線之比例成為 5% 以上、未滿 30% 之範圍之狀態下，可以使用在可靠性要求不嚴格之 IC，因此，成為△記號，在電阻上升至 3 倍以上之接合線之比例未滿 5% 且上升至 1.5 倍以上之接合線之比例成為 10% 以上、未滿 30% 之狀態下，於實用上，並無問題發生，因此，成為○記號，如果是電阻上升至 1.5 倍以上之接合線之比例未滿 10% 的話，則變得良好，因此，藉由◎記號而進行表記。

在 PCT 試驗(蒸氣鍋測試)，於 121°C、2 大氣壓、濕度 100% 之高溫高濕度環境，加熱 200 小時或 500 小時。然後，評價 40 條之接合線之電特性。在電阻上升至初期之 3 倍以上之接合線之比例成為 30% 以上之狀態下，變得接合不良，因此，成為×記號，在電阻上升至 3 倍以上之接合線之比例成為 5% 以上、未滿 30% 之範圍之狀態下，可以使用在可靠性要求不嚴格之 IC，因此，成為△記號，在電阻上升至 3 倍以上之接合線之比例未滿 5% 且上升至 1.5 倍以上之接合線之比例成為 10% 以上、未滿 30% 之狀態下，於實用上，並無問題發生，因此，成為○記號，如果是電阻上升至 1.5 倍以上之接合線之比例未滿 10% 的話，則變得良好，因此，藉由◎記號而進行表記。

在接合線之球接合部之表面分析及接合界面之濃度分

析，主要進行藉由 EPMA、EDX、奧格電子分光分析之所造成之點分析、線分析等。在直徑  $0.1\mu\text{m}$  以上之區域，進行分析，利用最高濃度或平均濃度等。在實際之半導體之製造、使用等，於球接合後之製程、履歷等係多樣化，因此，以製程、熱履歷之數個不同試料，來進行分析。使用例如在球接合之即刻後、樹脂封裝及固化加熱後、加熱試驗等之可靠性評價後之試料。此外，在進行加速加熱處理後而觀察界面濃化層之狀態下，於  $175^{\circ}\text{C}$  加熱半導體元件 200 小時後，藉由前述之解析方法而進行調查。

在表 1~6，表記本發明之連接銅接合線之半導體元件之評價結果和比較例。分別使得表 1 及表 2 關於單層銅線，表 3 及表 4 關於複數層銅線而進行顯示。在表 5 及表 6，精查球接合部之界面附近而區別及顯示形成於擴散層或金屬間化合物之濃化層，即使是在其中，表 6 係也使用在  $175^{\circ}\text{C}$  加熱半導體元件 200 小時後之球接合部，就擴散層或金屬間化合物之形成而調查半導體元件。

申請專利範圍第 2 項或申請專利範圍第 3 項之接合線係相當於實施例 A1~A13、B1~B22，申請專利範圍第 4 項或申請專利範圍第 5 項之接合線係相當於實施例 A2~A13、B1~B22，申請專利範圍第 7 項之接合線係相當於實施例 B1~B22，申請專利範圍第 8 項之接合線係相當於實施例 B1~B8、B10~B22，申請專利範圍第 9 項之接合線係相當於實施例 B1~B9、B11~B22，申請專利範圍第 10 項之接合線係相當於實施例 B2~B22，申請專利範圍第 11 項

或申請專利範圍第 12 項之接合線係相當於實施例 A1～A13、B1～B12、B15～B22，申請專利範圍第 14 項之接合線係相當於實施例 A1～A3、A5～A9、A11～A13、B1～B5、B7～B10、B12～B18、B20～B22，申請專利範圍第 15 項之接合線係相當於實施例 A1～A3、A6、A8、A9、A11、A13、B2～B5、B7～B9、B11、B13、B15～B17、B19～B21，申請專利範圍第 16 項之接合線係相當於實施例 A2、A4、A8、A10、A13、B1、B2、B4、B6～B12、B17、B19、B20、B22，申請專利範圍第 17 項之接合線係相當於實施例 A3、A9、A11、B5、B16、B18、B21，申請專利範圍第 18 項之接合線係相當於實施例 A2、A8、A13、B1、B2、B4、B7～B10、B12、B17、B20、B22，申請專利範圍第 19 項之接合線係相當於實施例 A3、A9、A11、B5、B16、B18、B21，申請專利範圍第 20 項之接合線係相當於實施例 A1～A4、A6～A13、B1～B22，申請專利範圍第 21、22 項之接合線係相當於實施例 C1～C9，申請專利範圍第 23 項之接合線係相當於實施例 C11～C19。

[表 1]

試驗 No.	球接合界面之濃化層		球接合部表面之濃化層		單層銅線		球形形成用氣體					火炬角度 (度)
	濃化金屬和最高濃度 / 莫爾%	厚度 / $\mu\text{m}$	濃化金屬和最高濃度 / 莫爾%	添加成分和添加濃度 / 莫爾%	線徑 / $\mu\text{m}$	氣體種類	氣體流量 $\text{m}^3/\text{min}$	吹附法 A:1 方向、 B:2 方向、 C:環圈狀	2 條以上之氣體配管所形成之角度 (度)	氣體吹附角度 (度)		
											氣體種類	
A1	Pd0.5	0.3	—	Pd0.18	18	5% $\text{H}_2$ + $\text{N}_2$	0.0012	B	90	90	40	
A2	Pd2	1	Pd0.1	Pd1	50	2% $\text{H}_2$ +Ar	0.001	B	120	100	40	
A3	Pt3.5	0.5	Pt2	Pt0.4	20	20%Ar+ $\text{N}_2$	0.0005	C	—	—	50	
A4	Au0.1	0.3	Au0.05	Au0.01	75	1% $\text{H}_2$ +Ar	0.001	A	—	90	80	
A5	Ag4	1	Ag3	Ag0.3	25	5% $\text{H}_2$ + $\text{N}_2$	0.00003	A	—	120	45	
A6	Sn2	1	Sn2	Sn0.5	25	5% $\text{H}_2$ + $\text{N}_2$	0.004	B	120	50	45	
A7	P0.1	0.3	P0.2	P0.005	50	2% $\text{H}_2$ + $\text{N}_2$	0.001	A	—	60	60	
A8	Rh2	1	Rh1.5	Rh0.2	25	5% $\text{H}_2$ +Ar	0.001	C	—	—	40	
A9	Au0.5、Pd2	2	Au0.3、Pd2	Au0.01、Pd0.2	25	10%Ar+ $\text{N}_2$	0.0007	B	180	120	40	
A10	Pd0.8、P2	1	Pd0.8、P1	Pd0.1、P0.01	25	0.05% $\text{H}_2$ +Ar	0.001	A	—	170	80	
A11	Pt1、Sn1.5	0.5	Pt0.5、Sn1	Pt0.01、Sn0.1	33	30%Ar+ $\text{N}_2$	0.0005	B	90	130	60	
A12	Pd1、Ag2	0.8	Pd0.2、Ag1	Pd0.1、Ag0.1	25	7% $\text{H}_2$ + $\text{N}_2$	0.001	A	—	60	40	
A13	Rh0.7、P0.5	1	Rh0.5、P0.5	Rh0.1、P0.005	25	5% $\text{H}_2$ +Ar	0.001	B	150	90	20	
X1	—	—	—	—(純Cu)	50	5% $\text{H}_2$ + $\text{N}_2$	0.002	A	—	20	70	
X2	—	—	—	Pd0.01	25	2% $\text{H}_2$ + $\text{N}_2$	0.00002	B	20	30	70	
X3	—	—	—	Pd0.1	25	1% $\text{H}_2$ +Ar	0.007	A	—	180	50	
X4	Pd0.03	0.2	—	Au0.001	25	5% $\text{H}_2$ +Ar	0.001	B	90	70	70	
X5	—	—	Sn0.02	Sn0.01	30	5% $\text{H}_2$ +Ar	0.001	B	90	50	70	

本發明例

比較例

[表 2]

試驗 No.	接合可靠性			接合部之氣泡		初期球			球接合性					在低溫之初期接合強度	晶片損傷	楔形接合性		環圓狀	毛細管前部污染		
	150°C 加熱	175°C 加熱	PCT 試驗 (200h)	氣泡	表面之氣泡痕	氣泡、氣泡痕	表面平滑性	真球形	偏芯		花辦變形	連續接合性				小徑球接合	接合尺寸			通常溫度@ 190°C	低溫@ 150°C
									通常球徑	小徑球		通常球徑	小徑球								
A1	◎	○	△	○	○	○	○	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	△	△	○	◎		
A2	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	△	○	◎		
A3	◎	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	△	○	◎		
A4	○	△	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	△	△	○	◎		
A5	◎	○	◎	○	○	○	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	△	△	○	◎		
A6	◎	○	◎	○	○	○	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	△	△	○	◎		
A7	○	△	○	○	○	○	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	△	△	○	◎		
A8	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	△	△	○	◎		
A9	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	△	△	○	◎		
A10	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	△	△	○	◎		
A11	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	△	△	○	◎		
A12	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	△	△	○	◎		
A13	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	△	△	○	◎		
X1	x	x	x	○	○	○	○	○	○	x	x	x	x	○	x	x	x	x	○		
X2	x	x	x	○	○	○	○	○	○	x	x	x	x	○	x	x	x	x	○		
X3	x	x	x	○	○	○	○	○	○	x	x	x	x	○	x	x	x	x	○		
X4	x	x	x	○	○	○	○	○	○	x	x	x	x	○	x	x	x	x	○		
X5	x	x	x	○	○	○	○	○	○	x	x	x	x	○	x	x	x	x	○		

本發明例

比較例

[表 3]

試驗 No.	球接合界面之濃化層				球接合部表面之濃化層		複數層銅線					球形形成用氫體					火炬角度(度)														
	濃化層		厚度		濃化層		最表面之左列之金屬濃度/莫爾%		導電性金屬		層厚度		殘留		芯材料			線徑/ $\mu\text{m}$		製法(A:無電解、B:電解、C:蒸鍍、D:半熔融)		氫體種類		氫體流量 $\text{m}^3/\text{min}$		吹附法 A:1方向、 B:2方向、 C:環圈狀		2條以上之氫體配管所形成之角度(度)		氫體吹附角度(度)	
	最高濃度/莫爾%	厚度/ $\mu\text{m}$	最高濃度/莫爾%	厚度/ $\mu\text{m}$	最高濃度/莫爾%	厚度/ $\mu\text{m}$	最高濃度/莫爾%	厚度/ $\mu\text{m}$	最高濃度/莫爾%	厚度/ $\mu\text{m}$	最高濃度/莫爾%	厚度/ $\mu\text{m}$	最高濃度/莫爾%	厚度/ $\mu\text{m}$	最高濃度/莫爾%	厚度/ $\mu\text{m}$		最高濃度/莫爾%	厚度/ $\mu\text{m}$	最高濃度/莫爾%	厚度/ $\mu\text{m}$	最高濃度/莫爾%	厚度/ $\mu\text{m}$	最高濃度/莫爾%	厚度/ $\mu\text{m}$	最高濃度/莫爾%	厚度/ $\mu\text{m}$	最高濃度/莫爾%	厚度/ $\mu\text{m}$	最高濃度/莫爾%	厚度/ $\mu\text{m}$
B1	Pd	0.1	0.2	Pd	0.08	Pd	0.04	95	—	Cu	Cu	25	A	3% $\text{H}_2$ +Ar	0.001	A	—	90	45												
B2	Pd	0.2	2	Pd	0.1	Pd	0.008	50	0.005	Cu	Cu	20	B	2% $\text{H}_2$ +Ar	0.002	B	90	40													
B3	Pd	0.5	3	Pd	0.3	Pd	0.03	85	0.003	Cu	Cu	25	B	5% $\text{H}_2$ + $\text{N}_2$	0.0015	B	180	30													
B4	Pd	2	0.8	Pd	1.3	Pd	0.08	65	0.03	Cu	Cu	25	B	3% $\text{H}_2$ +Ar	0.0008	B	120	40													
B5	Pd	4	2	Pd	3	Pd	0.3	92	0.08	Cu	Cu	15	B	20%Ar+ $\text{N}_2$	0.0002	C	—	20													
B6	Pd	17	1	Pd	4.5	Pd	0.8	90	0.5	Cu	Cu	23	D	3% $\text{H}_2$ +Ar	0.0002	A	—	70													
B7	Pt	0.2	2	Pt	0.2	Pt	0.04	40	0.03	Cu	Cu	30	B	2% $\text{H}_2$ +Ar	0.0008	B	90	10													
B8	Pt	3	0.5	Pt	2	Pt	0.3	85	0.05	Cu	Cu	25	B	5% $\text{H}_2$ +Ar	0.0005	B	90(3條)	20													
B9	Au	1	1	Au	0.7	Au	0.1	73	0.03	Cu	Cu	25	C	7% $\text{H}_2$ +Ar	0.00006	B	120	40													
B10	Pd	1	0.3	Pd	0.8	Pd	0.001	45	0.001	Cu	Cu	25	A	0.2% $\text{H}_2$ +Ar	0.0002	A	—	40													
B11	Pd	0.5	4	Pd	0.4	Pd	0.15	70	0.07	Cu	Cu	25	B	0.03% $\text{H}_2$ +Ar	0.0015	B	90	80													
B12	Pd	0.3	2	Pd	0.3	Pd	0.01	20	0.01	Cu	Cu	25	A	15% $\text{H}_2$ +Ar	0.003	A	—	20													
B13	Pd	0.2	0.7	Pd	0.15	Pd	0.07	40	0.05	Cu	Cu	11	B	純 Ar	0.0005	B	140	30													
B14	Pd	0.5	1	Pd	0.4	Pd	0.1	100	0.02	Cu	Cu	33	B	純 $\text{N}_2$	0.0002	A	—	40													
B15	Pd	0.2	0.4	Pd	0.2	Pd	0.03	73	0.01	Cu	Cu	50	B	3% $\text{H}_2$ + $\text{N}_2$	0.0004	B	90	40													
B16	Pd	1	1	Pd	0.7	Pd	0.2	98	0.05	Cu	Cu	25	D	30%Ar+ $\text{N}_2$	0.001	B	180	30													
B17	Pd	0.4	2	Pd	0.4	Pd	0.02	64	0.01	Cu	Cu	25	B	2% $\text{H}_2$ +Ar	0.0025	B	120	40													
B18	Pd	2.5	1	Pd	2	Pd	0.6	37	0.5	Cu	Cu	25	B	50%Ar+ $\text{N}_2$	0.001	A	—	40													
B19	Rh	0.8	0.5	Rh	0.7	Rh	0.2	46	0.1	Cu	Cu	20	C	5% $\text{H}_2$ +Ar	0.0013	B	—	70													
B20	Pd	0.3	3	Pd	0.3	Pd	0.06	95	0.02	Cu	Cu	25	B	1% $\text{H}_2$ +Ar	0.0005	B	150	50													
B21	Pd	0.5	2	Pd	0.5	Pd	0.1	45	0.04	Cu	Cu	25	B	5%Ar+ $\text{N}_2$	0.0003	B	120	50													
B22	Pd	0.1	1	Pd	0.2	Pd	0.03	23	0.03	Cu	Cu	25	B	7% $\text{H}_2$ +Ar	0.00008	A	—	25													
Y1	—	—	—	—	—	—	0.001	70	—	Cu	Cu	25	B	5% $\text{H}_2$ +Ar	0.001	A	—	80													
Y2	Pd	0.03	0.1	—	—	—	0.002	32	0.002	Cu	Cu	25	B	純 Ar	0.001	C	—	70													
Y3	Pd	0.05	0.1	Pd	0.03	Pd	0.002	40	0.001	Cu	Cu	25	B	2% $\text{H}_2$ + $\text{N}_2$	0.001	A	—	70													
Y4	—	—	—	—	—	—	0.01	52	0.008	Cu	Cu	25	B	純 $\text{N}_2$	0.0001	B	40	70													
Y5	Pd	25	2	Pd	13	Pd	1	100	0.1	Cu	Cu	25	A	5% $\text{H}_2$ + $\text{N}_2$	0.001	A	—	45													

本發明例

比較例

[表 4]

試驗 No.	接合可靠性			接合部之氣泡			初期球			球接合性						在低溫之初期接合強度	晶片損傷	楔形接合性		環圈狀	毛細管前段污染
	150°C 加熱	175°C 加熱	PCT 試驗 (200h)	氣泡	表面之氣泡痕	氣泡、氣泡痕	表面平滑性	真球形	偏芯	橢圓變形	花瓣變形	連續通常球徑	小徑球接合	通常球徑	小徑球			通常溫度@190°C	低溫@150°C		
B1	○	○	○	◎	○	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○		
B2	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
B3	◎	◎	◎	○	○	○	◎	◎	△	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
B4	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
B5	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
B6	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
B7	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
B8	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
B9	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
B10	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
B11	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
B12	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
B13	○	○	○	△	△	△	◎	◎	△	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
B14	○	○	○	△	△	△	◎	◎	△	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
B15	◎	◎	◎	○	○	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
B16	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
B17	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
B18	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
B19	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
B20	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
B21	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
B22	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
Y1	x	x	x	○	○	○	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	
Y2	x	x	x	△	△	△	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	
Y3	x	x	x	△	△	△	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	
Y4	x	x	x	△	△	△	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	
Y5	○	○	△	△	△	△	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○	x	△	△	

本發明例

比較例

[表 5]

試驗 No.	球接合界面 之濃化層		左列之濃化金屬之濃 度成為 0.5~30 莫爾% 之濃化層之厚度/ $\mu\text{m}$		複數層銅線			球形形成用氣體					接合可靠性						
	濃化 金屬	厚度 / $\mu\text{m}$	擴散層	金屬間化合物	外皮層		芯材料	線徑 / $\mu\text{m}$	製法 (A:無電解、 B:電解、 C:蒸鍍、 D:半熔融)	氣體 種類	氣體流量 $\text{m}^3/\text{min}$	吹附法 A:1 方向、 B:2 方向、 C:環圈狀	氣體吹附 角度(度)	150°C	175°C	185°C	PCT 試驗		
					導電性 金屬	層厚度 / $\mu\text{m}$								濃度斜 率厚度 / $\mu\text{m}$	加熱	加熱	加熱	200h	500h
C1	Pd	0.1	0.05	—	Pd	0.05	0.002	Cu	25	B	5% $\text{H}_2+\text{N}_2$	0.006	A	160	◎	◎	△	◎	◎
C2	Pd	0.7	0.3	0.05	Pd	0.05	0.002	Cu	50	A	純 $\text{N}_2$	0.006	A	180	◎	◎	◎	◎	◎
C3	Pd	1	0.1	0.2	Pd	0.1	0.005	Cu	25	B	純 $\text{N}_2$	0.008	A	180	◎	◎	◎	◎	◎
C4	Pd	1.2	0.2	1	Pd	0.2	0.003	Cu	25	B	純 $\text{N}_2$	0.006	A	180	◎	◎	◎	◎	◎
C5	Pd	0.2	—	0.2	Pd	0.2	0.01	Cu	20	B	純 $\text{N}_2$	0.005	A	180	◎	◎	◎	◎	◎
C6	Pd	1.5	—	1.5	Pd	0.4	0.01	Cu	25	B	純 $\text{N}_2$	0.007	A	180	◎	◎	◎	◎	◎
C7	Pt	0.2	0.1	—	Pt	0.06	0.008	Cu	25	A	5% $\text{H}_2+\text{N}_2$	0.004	A	120	◎	◎	○	◎	◎
C8	Pt	0.8	0.2	0.6	Pt	0.9	0.01	Cu	20	B	純 $\text{N}_2$	0.005	A	180	◎	◎	○	◎	◎
C9	Rh	0.4	0.3	0.1	Rh	0.04	0.03	Cu	25	B	純 $\text{N}_2$	0.005	A	180	◎	◎	○	◎	◎
C10	Rh	0.5	—	—	Rh	0.6	0.002	Cu	50	B	3% $\text{H}_2+\text{Ar}$	0.004	A	180	◎	△	x	◎	◎

本發明例

[表 6]

試驗 No.	在 175°C 加熱 200 小時後之球接合部				複數層銅線				球形形成用氣體					接合可靠性				
	球接合界面之濃化層		左列之濃化金屬之濃度成為 1 莫爾%以上之濃化層之厚度/μm		外皮層		芯材料	線徑 / μm	製法 (A:無電解、 B:電解、 C:蒸鍍、 D:半熔融)	氣體種類	氣體流量 m <sup>3</sup> /min	吹附法 A:1 方向、 B:2 方向、 C:環圈狀	氣體吹附 角度(度)	150°C 加熱	175°C 加熱	185°C 加熱	PCT 試驗	
	濃化金屬	厚度 / μm	擴散層	金屬間化合物	導電性金屬	層厚度 / μm											濃度斜率 / μm	200h
C11	Pd	0.2	0.2	—	Pd	0.05	0.002	Cu	50	B	5%He+N <sub>2</sub>	0.008	A	180	◎	△	◎	◎
C12	Pd	1	0.8	0.2	Pd	0.1	0.002	Cu	18	B	純 N <sub>2</sub>	0.008	A	180	◎	◎	◎	◎
C13	Pd	2	0.5	0.9	Pd	0.2	0.005	Cu	25	A	純 N <sub>2</sub>	0.008	A	180	◎	◎	◎	◎
C14	Pd	2.8	0.6	2.2	Pd	0.6	0.003	Cu	25	B	純 N <sub>2</sub>	0.006	A	180	◎	◎	◎	◎
C15	Pd	0.6	—	0.6	Pd	0.2	0.006	Cu	25	B	純 N <sub>2</sub>	0.007	A	180	◎	◎	◎	◎
C16	Pd	2.2	—	2.2	Pd	0.7	0.009	Cu	33	B	純 N <sub>2</sub>	0.005	A	180	◎	◎	◎	◎
C17	Pt	1.5	1	—	Pt	0.08	0.008	Cu	25	B	純 N <sub>2</sub>	0.004	A	180	◎	◎	◎	◎
C18	Pt	3.7	2.5	1.2	Pt	1	0.01	Cu	25	A	純 N <sub>2</sub>	0.005	A	180	◎	◎	◎	◎
C19	Rh	2.6	1.3	1.3	Rh	0.6	0.005	Cu	50	B	純 N <sub>2</sub>	0.004	A	180	◎	◎	◎	◎
C20	Rh	0.9	—	—	Rh	0.2	0.002	Cu	25	B	3%He+Ar	0.005	A	120	◎	△	x	◎

本發明例

就各個申請專利範圍之請求項之代表例而說明評價結果之一部分。

在實施例 A1~A13、B1~B22，藉由在本發明之球接合部和電極之界面附近，形成導電性金屬之界面濃化層，其濃化層內之濃度成為 0.05~20 莫爾%之範圍，而即使是進行高溫加熱，也確保充分之接合可靠性。在此之接合界面附近之濃化層之厚度係 0.05  $\mu\text{m}$  以上。更加理想是在實施例 A1~A3、A5、A6、A8~A13、B2~B12、B15~B21，濃化層內之濃度成為 0.2~10 莫爾%之範圍，而且，並無認定 10  $\mu\text{m}$  以上之氣泡產生，因此，提高在 150°C 加熱後之接合可靠性。此外，在成為界面濃化層之厚度 0.5  $\mu\text{m}$  以上且並無認定 10  $\mu\text{m}$  以上之氣泡產生之接合部之狀態下之實施例 A2、A9、A10、A12、B2~B6、B11、B12、B16~B18、B20~B22，即使是在 175°C 之更加嚴格之高溫環境，也能夠提高接合可靠性。在比較例 X1~X5、Y1~Y4，成為並無形成界面濃化層或者即使是有濃化層也使得濃化層內之濃度未滿 0.05 莫爾%之狀態，因此，高溫加熱之接合可靠性係大幅度地降低。

在實施例 A2~A13、B1~B22，藉由成為在本發明之球接合部之表面來形成導電性金屬之濃化的接合部，藉由 PCT 試驗而確認在高溫高濕度環境之高可靠性。更加理想是在濃化層內之濃度成為 0.2~4 莫爾%之範圍之實施例 A3、A5~A13、B3~B5、B7~B12、B14~B22，將降低花瓣變形之效果予以提高。在比較例 X1~X5、Y1~Y4，成為並無形成

界面濃化層或者即使是有濃化層也使得濃化層內之濃度未滿 0.05 莫爾%之狀態，因此，在 PCT 試驗之接合可靠性係大幅度地降低。

在實施例 B1~B22，藉著將由本發明之以銅作為主成分之芯材和以銅以外之導電性金屬作為主體之外皮層所構成之複數層銅線予以使用，而比起成為實施例 A1~A13 之單層銅線，得到更加高之楔形接合性。此外，在實施例 B1~B6、B10~B18、B20~B22，藉由將構成外皮層之導電性金屬來成為 Pd 之複數層銅線予以使用，而在 150°C 之低溫連接，得到提高楔形接合性之高效果。

在實施例 B2~B22，藉由將本發明之在芯材和外皮層之間含有具備濃度斜率之擴散層之複數層銅線予以使用，而得到同時提高環圈控制性和楔形接合性之效果。

在實施例 B1~B9、B11~B22，藉由將本發明之外皮層之厚度成為 0.002~0.8  $\mu\text{m}$  之範圍之複數層銅線予以使用，而確認提高楔形接合性之效果。更加理想是在外皮層之厚度成為 0.01~0.5  $\mu\text{m}$  之範圍之實施例 B3~B5、B7~B9、B11~B17、B19~B22，將減少毛細管之污染等而延長使用壽命之效果予以提高。此外，在外皮層之厚度未滿 0.2  $\mu\text{m}$  之實施例 B1~B4、B7、B9~B15、B17、B20~B22，也確認減低晶片損傷之效果。

在實施例 B1~B11、B13~B21，藉由將本發明之外皮層之銅以外之導電性金屬之表面濃度成為 30 莫爾%以上之複數層銅線予以使用，而以初期球之形狀，來得到良好之

真球形。更加理想是在實施例 B1、B3~B6、B8、B9、B11、B14~B17、B20，藉由將前述之表面濃度成為 60 莫爾%以上之複數層銅線予以使用，而確認初期球表面之性狀、平滑性成為良好。

在實施例 A1~A4、A6~A13、B1~B22，藉由在本發明之電弧放電時之氣體形成，於線之前端附近，吹附  $0.00005 \sim 0.005 \text{m}^3/\text{分鐘}$  之流量，同時，將熔融接合線來形成球之球部予以接合，而確認在通常球徑之穩定之連續接合性。在氣流脫離於該範圍之比較例 X2、X3，發生在連續動作中之裝置停止之意外。更加理想是在前述流量成為  $0.0001 \sim 0.002 \text{m}^3/\text{分鐘}$  之範圍之實施例 A1~A4、A7~A13、B1~B8、B10、B11、B13~B16、B18~B21，得到提升小徑之球接合部之連續接合性之效果，更加最好是在前述流量成為  $0.0001 \sim 0.001 \text{m}^3/\text{分鐘}$  之範圍之實施例 A2~A4、A7~A13、B1、B4~B8、B10、B13~B16、B18、B20、B21、B24~B26，確認球接合部之尺寸進行穩定化。

此外，在實施例 A1~A3、A6、A8、A9、A11、A13、B4、B5、B7、B8、B13、B15、B16、B19~B21，藉由本發明之在球形成時之氣體吹附成為 2 個方向以上或環圈狀之接合方法，並且，前述流量成為  $0.0001 \sim 0.001 \text{m}^3/\text{分鐘}$  之範圍，而確認在小徑球之球接合部之尺寸進行穩定化之效果。

在實施例 A1~A3、A5~A9、A11~A13、B1~B5、B7~B10、B12~B18、B20~B22，藉由本發明之接合線之長邊方向和放電火炬前端之角度(火炬角度)成為 60 度以內之接

合方法，而得到減低在比較大之球徑之偏芯不良之高效率。此外，在實施例 A1、A2、A4~A7、A9、A11~A13、B1~B4、B6~B11、B13~B17、B19~B22，藉由本發明之氣體吹附角度成為 40~150 度之範圍，而確認減低在小徑球之偏芯不良之更加高之效果。在此，確認在屏蔽用氣體配管成為 2 條以上之狀態下，藉由至少 1 條成為前述角度而更加得到效果。

在實施例 A1~A13、B1~B12、B15~B22，藉由本發明之在接合部之內部不包含 10  $\mu$ m 以上之氣泡並且在球接合部之表面不包含 10  $\mu$ m 以上之氣泡痕的接合部，而綜合地提高和電極材料間之接合強度、IC 動作時之長期可靠性等。相對於此，在形成氣泡痕及氣泡之實施例 B13、B14，有在高溫加熱試驗、PCT 試驗等之長期可靠性稍微降低之傾向發生。

在實施例 A2、A4、A8、A10、A13、B1、B2、B4、B6~B12、B17、B19、B20、B22，藉由在本發明之以 0.02~20% 之範圍來含有氫之 Ar 氣體之氣氛，將熔融該接合線之前端之所形成之球部予以接合，而抑制在初期球部之氣泡之產生，提高球接合性。相對於此，在氣氛氣體成為以氫和 Ar 之混合氣體以外之所形成之初期球之實施例 A1、A3、A5~A7、A9、A11、A12、B3、B5、B13~B16、B18、B21，確認產生一部分之球內部或球接合部之氣泡。最好是在前述氫濃度成為 0.1~10% 之範圍之實施例 A2、A4、A8、A13、B1、B2、B4、B6~B10、B17、B19、B20、B22，提高球接合部之

內部之氣泡呈微小化之效果，作為比較係在氫濃度成為 0.03% 之 B11，改善效果變小。

在實施例 A3、A9、A11、B5、B16、B18、B21，藉由本發明之吹附 Ar 和氫之混合氣體，同時，進行接合，而得到抑制橢圓變形之不良之效果。

在實施例 A2、A8、A13、B1、B2、B4、B7~B10、B12、B17、B22，可以藉由本發明之火炬角度成為由線長邊方向開始之 60 度以內，並且，在以 0.02~20% 之範圍來含有氫之 Ar 氣體之氣氛，形成球部，而同時滿足芯偏離之抑制和氣泡之抑制。更加理想是在滿足前述火炬角度及氣體條件且成為複數層銅線之實施例 B1、B2、B4、B7~B10、B12、B17、B20、B22，得到同時滿足芯偏離之抑制和氣泡之抑制之更加高之效果。作為比較係在火炬角度超過 60 度之實施例 B6、B11、B19，確認偏芯。

在實施例 C1~C10，藉由相當於本發明之申請專利範圍第 1 項及第 4 項，而滿足各個之作用效果。即使是在其中，也在實施例 C2~C9，可以藉由形成於球接合部界面之界面濃化層之至少一部分，形成在以電極之主成分和銅來作為主成分之擴散層或金屬間化合物之至少任何一種之內部，而確認提高在高溫之接合可靠性。在分類其細節時，於實施例 C1~C6，濃化金屬係 Pd，並且，界面濃化層係形成於前述擴散層或金屬間化合物之內部，因此，確認具有提高在 185°C 之超高溫之接合可靠性之高效果。在實施例 C7~C9，濃化金屬係並非 Pd，因此，在不容易提高接合可

靠性之 175°C 高溫之可靠性，界面濃化層係形成於前述擴散層或金屬間化合物之內部，所以，確認提高接合可靠性。作為比較係在實施例 C10，界面濃化層並無形成在擴散層及金屬間化合物之內部，所以，在 185°C 之超高溫之接合可靠性係不一定充分。此外，在實施例 C2~C6、C8、C9，確認藉由界面濃化層之至少一部分形成於金屬間化合物之內部，而在 PCT 試驗，一直到 500 小時之長時間為止，並無不良發生，具有良好之高溫高濕度特性。

在實施例 C11~C19，於 175°C 加熱半導體元件 200 小時後，解析接合部，因此，可以藉由形成於球接合部界面之界面濃化層之至少一部分，形成在以電極之主成分和銅來作為主成分之擴散層或金屬間化合物之至少任何一種之內部，而確認提高在高溫之接合可靠性。在分類其細節時，於實施例 C11~C16，濃化金屬係 Pd，並且，界面濃化層係形成於前述擴散層或金屬間化合物之內部，因此，確認具有提高在 185°C 之超高溫之接合可靠性之高效果。在實施例 C17~C19，濃化金屬係並非 Pd，因此，在不容易提高接合可靠性之 175°C 高溫之可靠性，界面濃化層係形成於前述擴散層或金屬間化合物之內部，所以，確認提高接合可靠性。作為比較係在實施例 C20，於 175°C 加熱 200 小時之球接合部，界面濃化層係並無形成在擴散層及金屬間化合物之內部，所以，在 185°C 之超高溫之接合可靠性係不一定充分。此外，在實施例 C12~C16、C18、C19，確認藉由界面濃化層之至少一部分形成於金屬間化合物之內部，而

在 PCT 試驗，一直到 500 小時之長時間為止，並無不良發生，具有良好之高溫高濕度特性。

### 【圖式簡單說明】

圖 1 係接合線裝置之一部分而在接合線之前端來形成球之製程。

圖 2 係由接合線裝置之上方來觀看之投影圖而在接合線之前端來形成球之製程。

### 【主要元件符號說明】

a~ 火炬角度；

b~ 角度；

L~ 距離；

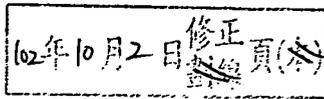
1~ 連結線；

2~ 放電火炬；

3~ 氣體噴嘴；

4~ 屏蔽用氣體配管；

5~ 箭號。



## 十、申請專利範圍：

1. 一種接合線之接面構造，透過球接合部而連接於半導體元件之電極的接合線，

其特徵在於：

前述接合線係以銅作為主成分，且包含銅以外之導電性金屬，在前述球接合部與前述電極之界面，形成前述導電性金屬之高濃度之濃化層。

2. 如申請專利範圍第 1 項之接合線之接面構造，其中，在前述球接合部與前述電極之界面形成之前述濃化層係前述導電性金屬之濃度 0.05~20 莫爾%之區域之厚度成為 0.1  $\mu\text{m}$  以上。

3. 如申請專利範圍第 1 項之接合線之接面構造，其中，前述濃化層更形成在前述球接合部之表面。

4. 如申請專利範圍第 3 項之接合線之接面構造，其中，在前述球接合部之表面形成之前述濃化層的前述導電性金屬之濃度成為 0.05~10 莫爾%之區域之厚度係 0.1  $\mu\text{m}$  以上。

5. 如申請專利範圍第 1 項之接合線之接面構造，其中，前述濃化層之前述導電性金屬之濃度係前述濃化層以外之前述球接合部之前述導電性金屬之平均濃度之 5 倍以上。

6. 如申請專利範圍第 1 項之接合線之接面構造，其中，前述接合線係由以銅作為主成分之芯材和以前述導電性金屬作為主成分而被覆前述芯材之外皮層所構成。

7. 如申請專利範圍第 1 項之接合線之接面構造，其中，前述導電性金屬係鈮或白金。

8. 如申請專利範圍第 1 項之接合線之接面構造，其中，在前述球接合部之內部，並無包含直徑  $10\ \mu\text{m}$  以上之氣泡。

9. 如申請專利範圍第 3 項之接合線之接面構造，其中，在前述球接合部之表面，並無包含直徑  $10\ \mu\text{m}$  以上之氣泡痕。

10. 一種接合線之接面構造之形成方法，形成如申請專利範圍第 1 項所記載之接合線之接面構造，

其特徵在於：

藉由在接合線和放電火炬之間，形成電弧放電，而熔融前述接合線之前端，形成前述球接合部。

11. 如申請專利範圍第 10 項之接合線之接面構造之形成方法，其中，將連結相對於前述接合線長邊方向之前述接合線之前端和前述放電火炬之前端之線之所形成之角度保持在  $60$  度以內，同時，形成前述球接合部。

12. 如申請專利範圍第 10 項之接合線之接面構造之形成方法，其中，在前述接合線之前端附近，以  $0.00005\sim 0.005\text{m}^3/\text{分鐘}$  之流量，來吹附惰性氣體或還原性氣體，同時，形成前述球接合部。

13. 如申請專利範圍第 1 項之接合線之接面構造，其中，形成於前述球接合部與前述電極之界面之前述濃化層之至少一部分係形成在以前述電極之主成分和銅作為主成

分之擴散層或者是金屬間化合物中之至少任何一個內部。

14. 如申請專利範圍第 13 項之接合線之接面構造，其中，前述濃化層之至少一部分係形成在前述擴散層或者是前述金屬間化合物中之至少任何一個內部，前述導電性金屬之濃度成為 0.5~30 莫爾%之區域之厚度係 0.01  $\mu\text{m}$  以上。

15. 如申請專利範圍第 1 項之接合線之接面構造，其中，前述濃化層係在 175°C 加熱前述球接合部 200 小時之後，形成於前述球接合部與前述電極之界面，作為前述導電性金屬之濃度成為 1 莫爾%以上之區域之厚度係 0.2  $\mu\text{m}$  以上。

16. 如申請專利範圍第 3 項之接合線之接面構造，其中，前述濃化層之前述導電性金屬之濃度係前述濃化層以外之前述球接合部之前述導電性金屬之平均濃度之 5 倍以上。

17. 如申請專利範圍第 2 項之接合線之接面構造，其中，前述接合線係由以銅作為主成分之芯材和以前述導電性金屬作為主成分而被覆前述芯材之外皮層所構成。

18. 如申請專利範圍第 3 項之接合線之接面構造，其中，前述接合線係由以銅作為主成分之芯材和以前述導電性金屬作為主成分而被覆前述芯材之外皮層所構成。

19. 如申請專利範圍第 4 項之接合線之接面構造，其中，前述接合線係由以銅作為主成分之芯材和以前述導電性金屬作為主成分而被覆前述芯材之外皮層所構成。

20. 如申請專利範圍第 3 項之接合線之接面構造，其中，前述導電性金屬係鈀或白金。

21. 如申請專利範圍第 6 項之接合線之接面構造，其中，前述導電性金屬係鈀或白金。

22. 如申請專利範圍第 17 項之接合線之接面構造，其中，前述導電性金屬係鈀或白金。

23. 如申請專利範圍第 19 項之接合線之接面構造，其中，前述導電性金屬係鈀或白金。

24. 如申請專利範圍第 17 項之接合線之接面構造，其中，前述外皮層之厚度係  $0.002 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。

25. 如申請專利範圍第 19 項之接合線之接面構造，其中，前述外皮層之厚度係  $0.002 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。

26. 如申請專利範圍第 6 項之接合線之接面構造，其中，在前述芯材和前述外皮層之間，將銅和前述導電性金屬具有濃度斜率之控散層予以具備。

27. 如申請專利範圍第 18 項之接合線之接面構造，其中，在前述芯材和前述外皮層之間，將銅和前述導電性金屬具有濃度斜率之控散層予以具備。

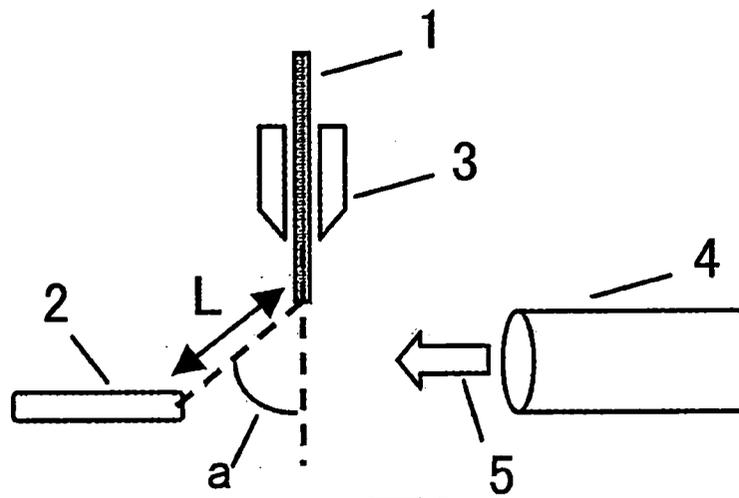


圖 1

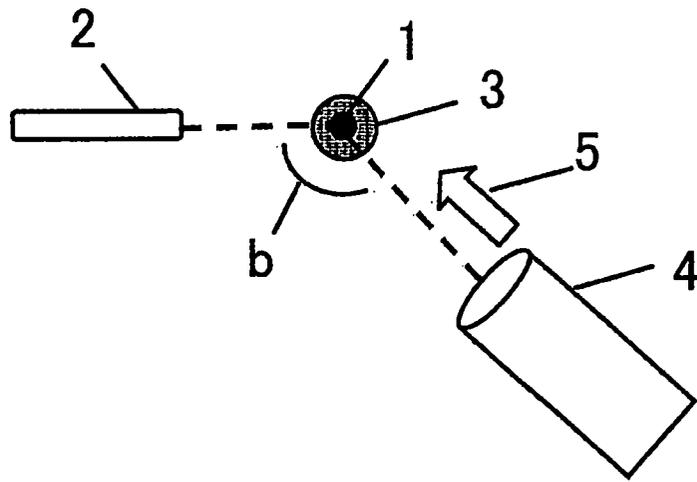


圖 2