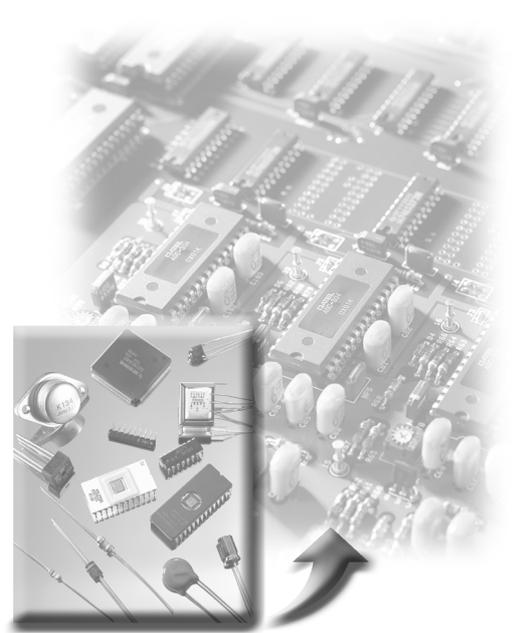


# 切割、黏晶與 鐸線接合



**電**子構裝製程是從一片已完成了積體電路製作的晶圓開始。如果以  $0.35\ \mu\text{m}$  的製程技術來製作 16 M DRAM，以 8 吋的晶圓為例，在一片晶圓上約有 600 個 16 M DRAM 的晶片或晶粒 (die 或 chip)。在晶圓切割 (wafer dicing & wafer saw) 成許多單一晶片前，晶圓首先需研磨 (grinding) 成所需之晶圓厚度，一般晶圓厚度為 28 mils ( $10^{-3}$  inches)，而第一層次電子構裝單一晶片所需之厚度一般為 12~16 mils (除了堆疊式晶片尺寸封裝之晶片厚度要求達 4~6 mils)。在晶圓研磨製程中，先於晶圓正面貼上紫外線曝照式膠帶 (UV tape)，再以機械式進行晶圓研磨晶圓背面，伺研磨至所需之晶圓厚度，以紫外線曝照於紫外線曝照式背膠帶上使其有交聯作用而使紫外線曝照式膠帶容易由晶圓正面剝離取出。在晶圓研磨製程後而於晶圓切割製程前需要作晶圓貼片 (wafer mount)，以便讓晶圓固定於鐵圈 (ring) 上，使得在後續之晶圓切割之作業，可有效地保護晶圓。晶圓貼片製程中，先將晶圓加溫至  $65^{\circ}\text{C}$ ，再將晶圓背面以藍色膠帶 (blue tape) 貼合於鐵圈上。而在晶圓切割製程中以切割刀先作短邊切割再作長邊切割，於切割完後以去離子水洗淨及離心甩乾晶圓上之許多晶片。晶圓貼片的部份是在無製作線路的晶圓的面。晶圓貼片的功用是固定晶圓切割後細小的晶片，以防止晶片的四散，造成製程上的困難。而在後續的黏晶製程中，在晶圓貼片上的晶片又必需能很容易的被取出進行黏晶。所以晶圓貼片之背膠的性質除了潔淨度的要求外，黏性亦必需適中。此背膠是固定微撐開於一金屬環或塑膠環上，晶圓再黏貼於其上。稍加撐開的原

因讓將切割後的晶片，得以稍微分開，方便黏晶的製程。

切割的進行是以鑽石鋸沿著晶圓上，於積體電路製作中已預留的切割道，進行切割。切割的深度是將晶片完全切開，但尚未破壞背膠。切割之寬度則主要由鑽石鋸片之寬度而定，對 50 到 76  $\mu\text{m}$  寬切割道之產品，一般建議之鋸片寬度在 20 到 30  $\mu\text{m}$  間。在切割之過程中，會有熱量之產生，而且不斷的會有細屑產生，爲了冷卻與避免污染，所以必需不斷的有冷卻液噴灑。冷卻液之流量需力求穩定，因流量之改變會影響到切割過程中鋸片與晶片中之接觸力大小。因爲切割之動作對晶片之品質並無加強之效果，所謂切割之品質是指產品之良率而言。在切割過程不良產品之產生，主要來自切割位置之不正確（超過切割道）、嚴重之缺損 (chipping) 以及潔淨度不合要求。缺損可能發生在晶圓之正面（有積體電路之面）(top-side chipping, TSC)，亦可能發生在晶圓之背面 (back-side chipping, BSC)。

一般之鋸片之轉速在每分鐘 30,000 到 60,000 轉之間，其線性之切割速率在每秒 83 到 175 公尺之間。切割製程所需考慮的製程參數有鋸片之選擇、鋸片之轉速、機臺之穩定性、晶片之進料速度、晶圓之厚度、晶片之表面狀態與冷卻劑之選用等。良好之切割製程是指在高產出速率下，產品仍能有高的良率之情形，當然鋸片沒有異常之磨損也是考慮之因素之一。鋸片主要是由鑽石粉與黏結劑，夾於金屬片中。選擇鋸片時，除了需考慮鋸片之大小外，鑽石粉之含量與顆粒大小，亦是需考慮之條件。一般而言，切割較硬之基材，需要較細顆粒與較高鑽石含量之鋸片；反之若切割較軟之材料，則可使用較粗顆粒與較低鑽石含量之鋸片。於使用前，鋸片通常需要預磨 (dressing)，以便將中間之鑽石粉露出，才能發揮切割之效果。預磨不足，常常容易引起缺損之問題。

完成切割後的晶圓，一顆顆獨立的晶片，仍依原來的的位置黏於背膠上，等待著構裝。晶片從晶圓上分離，所進行的第一道製程便是黏晶。黏晶的製程是將晶片從晶圓上獨立取出，將晶片黏著固定於基材的晶片座 (die pad) 上，晶片上有線路的面朝上，另一面則與基材相連。基材依構裝型式不同而有差別，如在陶瓷構裝中爲陶瓷基板，在晶片上板 (chip on board, COB) 技術中爲印刷電路板，但最常見的則爲塑膠構裝中的導線架。黏著固定所使用的黏著材料亦有多種不同，最常見的是塑膠構裝中的

銀膠 (silver-filled adhesive)。

以最常見之塑膠構裝為例，黏晶之製程流程如下。將一疊一疊之導線架，放入料匣中，置放於黏晶機 (die bonder) 之上架區。黏晶機之自動手臂將導線架，從進料區移至點膠機 (dispenser) 之操作區，銀膠依需要之量點在晶片座上。利用黏晶機上的真空吸嘴，通常加上頂針之推頂，將晶粒從背膠上吸起。再經精確的對位與辨認系統，將晶粒準確的置放於晶片座上。而通常在一片晶圓上，會存在著若干不合格與有缺陷的不良品。這種不良的晶片，通常在先前的測試中發現並與以標示，黏晶機一般具備辨識此標示的功能。黏晶機的功能需快速精確，而辨識與定位的能力，通常則是其是否能快速精確的關鍵。在導線架上之晶粒座上皆已置放了正確之晶粒後，此導線架被移至下架區之料匣中。當料匣滿後，將料匣移至熟化區，主要是將銀膠熟化 (curing)。

黏晶的目的除了將晶片固定於基材外，提供散熱的路徑是最重要的功能。黏晶的黏著材料包括了金 - 矽共晶 (Au-Si eutectic) 鐳料、錫 - 鉛鐳料 (Pb-Sn solder) 與最常見的銀膠等。雖然金的熔點在  $1064.5^{\circ}\text{C}$ ，矽的熔點更是高達  $1414^{\circ}\text{C}$ ，但是金 - 矽的共晶溫度則僅為  $363^{\circ}\text{C}$ ，其共晶的組成為 Au-3.2 wt% Si。以金 - 矽共晶作為黏著材，通常是在晶片背部與基材上的晶片座上鍍有一層金的薄層，或者更直接加上如組成為 Au-2 wt% Si 的金 - 矽合金預形體 (preform)。在黏晶的製程中，將晶片與基材加熱至共晶溫度之上，如  $425^{\circ}\text{C}$ 。金與矽在接觸的部份發生原子的擴散與反應，因金與矽彼此固態的溶解度 (solubility) 很小，很容易就達成飽和，於界面產生共晶的液相。與焊接的製程相似，此於界面生成的液相，將晶片與基材的連接面完全潤溼反應，於冷卻後達成黏晶的功能。錫 - 鉛鐳料是最常見的軟焊材料，是熔點頗低的合金，亦可用於黏晶的製程。考慮到後續的製程溫度必需低於此鐳料的溫度，黏晶製程通常選擇錫 - 鉛鐳料中熔點較高的 Sn-95 wt% Pb 合金。此合金的固液相線溫度 (solidus and liquidus temperatures) 分別為  $308^{\circ}\text{C}$  與  $312^{\circ}\text{C}$ ，遠高於熟知的錫 - 鉛共晶鐳料的  $183^{\circ}\text{C}$ 。

混合銀粉與熱固型 (thermoset) 高分子的銀膠，是塑膠構裝中最常見的黏晶材料。銀粉的重量分率在 70% 到 80% 之間，加入銀粉的主要功能

在提供高分子基材所缺乏的導熱性與導電性。而銀膠中的熱固型高分子，包含了環氧樹脂 (epoxy) 與聚亞醯胺 (polyimide)，其中又以環氧樹脂基的銀膠佔了絕大部份的市場。銀膠在使用時為膠態，在晶片黏上後進行烘烤固化，將晶片與基材黏在一起。環氧樹脂基銀膠的熟化溫度 (curing temperature)，一般設計在 150°C 到 180°C 之間，聚亞醯胺則需要較高之熟化溫度與較長之熟化時間。與流動性極佳的熔融金屬不同，一般的高分子材料具有相當高的黏度。對於銀膠使用時流變性質的調整，通常需於高分子的配方內添加稀釋劑。因為稀釋劑之添加，而為了避免熟化製程中，氣體逸出造成黏晶不良或對其它製程上造成影響，主要都以能於熟化製程中反應消耗的反應性稀釋劑為主。在工業生產中，微電子級之銀粉主要是先由硝酸銀 (nitrate) 的溶液中沉澱而來。以此方法所製備的銀粉，大小在 0.5  $\mu\text{m}$  到 10  $\mu\text{m}$  中，形狀則十分不規則。此銀粉再經機械之磨壓，展延成為不規則形狀之銀粉。在磨壓的過程中，必需有潤滑劑，因此在磨壓後，尚需清洗、篩選與乾燥，始能得最後之產品。

製作黏晶的材料與矽晶片及基材直接相連，然而三種不同材料間因其熱膨脹係數 (coefficient of thermal expansion) 不同，界面將產生熱應力 (thermal stress)。而過大的熱應力，甚至可能造成晶片的破壞或連接界面的分離，所以銀膠中樹脂的選擇除了黏著的能力外尚需考量較低的熱應力。黏晶的優劣對產品可靠度的影響，主要包括有樹脂中離子的含量 (ionic impurity)、銀的遷移 (silver migration) 及空洞 (void)。環氧樹脂中若含了過多的氯、鈉等離子，將引起金屬的腐蝕造成破壞。離子的含量多寡主要是取決於銀膠的配方，然而銀遷移及空洞的發生則與配方及製程都有關係。銀遷移的現象是產品於電流的作用下，其黏晶所用銀膠中的銀，從晶片的背後滲出表面，形成短路。雖然銀遷移與積體電路中鉛導線的電遷移 (electromigration) 破壞，均是因電流所引起。但是二者的機制並不相同，銀遷移的現象是一種電化學的現象，與其周遭環境中的溼氣有很密切的關係。同時過量的銀膠，也比較容易促使銀遷移的現象發生。空洞的產生主要是因氣體的包入，而氣體的存在又可由銀膠中樹脂所產生，或由針筒點膠 (syringe dispensing) 製程中所捲入。孔洞的存在將引起導熱的不良，與容易吸收濕氣，進而引起產品的破壞。去除黏晶中孔洞形成的方法，主要

則包括了使用不含溶劑的樹脂與點膠製程中注意排氣的設計。在點膠製程中亦會見到，於膠之週遭出現一個圓環狀之污點之樹脂滲出 (resin bleed) 現象。此一現象通常問題不在於樹脂本身，而是在於膠中所含之溶劑與稀釋劑。

在黏晶製程中主要的品質要求重點有：

1. 黏晶膠厚度：0.6 mil 至 1.8 mil。
2. 黏晶膠覆蓋面積：大於晶片面積之 90%。
3. 樹脂流出 (resin bleed)：小於 30 mil。
4. 黏晶膠氣洞 (void)：小於 10%。
5. 黏晶膠攀爬：小於 3/4 晶片厚度。
6. 晶片黏著強度 (die attach strength)：大於 5 kg。

黏晶用之黏晶膠通常包含有樹脂系統及填充物，樹脂系統則包含有樹脂 (resin)、烘烤試劑 (curing agent)、柔軟劑 (flexibilizer)、稀釋劑 (diluent) 及加速劑 (accelerator)，填充物一般包括金屬填充物、陶瓷填充物及高分子填充物。一般而言黏晶膠分為導電性黏晶膠及非導電性黏晶膠，導電性黏晶膠通常加入導電性填充物如銀金屬粉粒作為導電媒介，而非導電性黏晶膠則加入非導電性填充物如陶瓷填充物——二氧化矽 (silica) 或氮化硼 (boron nitride) 等陶瓷粉粒或高分子填充物——聚四氟乙烯 (teflon) 高分子粉粒。目前塑膠密封構裝所使用之黏晶膠以導電性黏晶膠為主，尤其是以加入導電性填充物如銀金屬粉粒為大宗，導電性黏晶膠 - 銀膠之重要特性包含有：

1. 固態含量 (solid content)：量測黏晶膠材料之固態含量 (wt%)。
2. 黏度 (viscosity)：量測黏晶膠材料之黏度 (CPs)。
3. 工作壽命 (working life)：量測黏晶膠材料於室溫下之使用壽命 (小時)。
4. 架上壽命 (shelf life)：量測黏晶膠材料於架上放置壽命 (-40°C 下之壽命：月)。
5. 搖變指數 (thixotropic index, TI)：用來顯示黏晶膠之點膠性，定義在剪切率 (shear rate) 0.5 rpm 下之黏度相對於剪切率 5 rpm 之黏度的比值，TI 大於 5 表示膠有良好之點膠性，TI 小於 4.5 表示膠有可能產生

膠尾巴 (tailing) 而使得晶片可能造成短路。

6. 比重 (specific gravity)：量測黏晶膠材料在相同體積下，相對於水之重量比。
7. 體積電阻 (volume resistivity)：量測黏晶膠材料平行電流之電位降相對於電流密度之比值。
8. 曲率半徑 (radius of curvature, ROC)：量測晶片經黏晶並烘烤後之曲率半徑。
9. 晶片剪切強度 (die shear strength)：量測晶片經黏晶並烘烤後之密著強度。
10. 離子污染物 (ion contamination) 含量：量測如  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  及  $\text{F}^-$  等離子污染物之含量。
11. 整體熱傳導係數 (bulk thermal conductivity)：量測黏晶膠之傳熱能力。
12. 吸濕率 (moisture absorption rate)：量測黏晶膠之吸水性。
13. 重量損失 (weight loss)：量測黏晶膠於特定溫度範圍之重量損失。
14. 楊氏模數 (Young's modulus)：量測黏晶膠於烘烤後之楊氏模數。
15. 玻璃轉換溫度 (glass transition temperature)：量測黏晶膠於烘烤後之玻璃轉換溫度。
16. 熱膨脹係數 (coefficient of thermal expansion)：量測黏晶膠於烘烤後之熱膨脹係數。

對於不同之電子元件經由不同電子構裝，而其對於黏晶膠之物理特性要求將可能有所不同。

晶片經黏晶的製程後，固定於通常為導線架的基材上。接續的製程是形成電的通路，最常見的方法是**鐳線接合 (wire bonding)**。如圖 5.1 所示，鐳線接合是以一條細金屬線，將積體電路上預留的金屬墊 (metal pad) 與基材 (導線架) 上對應的接點連接起來。鐳線接合技術源起於 1950 年代，如今已成為最主要的電路連接方法，佔了積體電路產品連接之九成以上。到了“2003”年時，鐳線接合的接點將會增加到九兆個以上。除了鐳線接合外，**覆晶接合 (flip chip bonding)** 亦是一種日漸受到重視的接合方法。鐳線接合所用的金屬線，主要有鋁線與金線，鋁線主要又有 Al-Si 合金線 (Al-1 wt% Si) 與高純度鋁線。金線的直徑約在  $20\ \mu\text{m}$  到  $100\ \mu\text{m}$  之

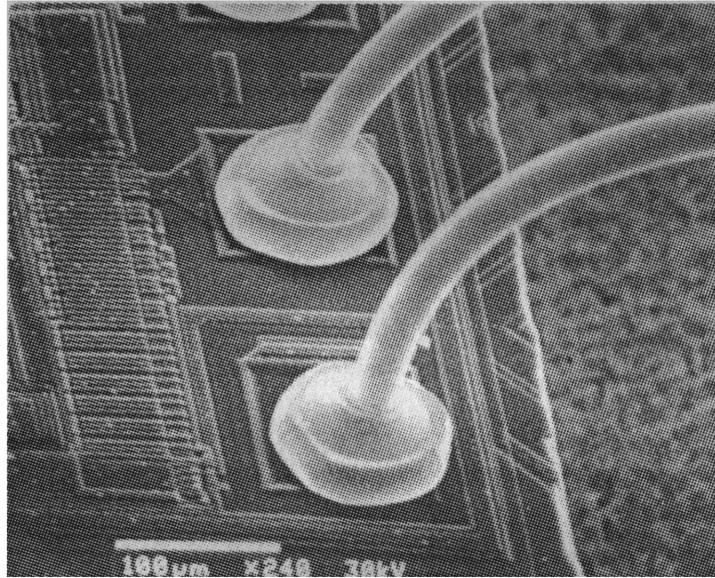


圖 5.1 (Courtesy of McGraw-Hill)

間，是經配料、熔解、抽線、熱處理等步驟製成。Al-Si 合金線的直徑約在  $25\ \mu\text{m}$  到  $50\ \mu\text{m}$  之間，純鋁線的直徑約在  $100\ \mu\text{m}$  到  $500\ \mu\text{m}$  之間。大部份的塑膠構裝鐳線接合所用的金屬線為金線，Al-Si 合金線主要用於陶瓷或金屬等氣密性較佳的構裝，純鋁線則主要用於功率電晶體等產品。

鐳線接合所用的接合方法，主要又可區分為熱壓接著法 (thermocombression bonding, T/C)、超音波接著法 (ultrasonic bonding, U/S) 與超音波並用熱壓接著法 (thermosonic bonding, T/S)。如圖 5.2 所示，於夾具嘴端的金線經放電熔融燒斷後，因表面張力之故，於金線的頂端形成圓球。鐳線機 (wire bonder) 的夾具，夾著金線將此圓球熱壓於矽晶片上的鋁金屬墊，形成接點。以  $25\ \mu\text{m}$  的金線為例，壓力約為 50~250 g 重，溫度則約為  $150^\circ\text{C}$  到  $200^\circ\text{C}$ 。超音波之使用可以增加金線與金屬墊之差排密度，提高接著面之擴散速率，使得接著之時間與溫度可以降低。一般常用的超音波頻率在 60 kHz，但是對細墊寬之鐳線，則通常選擇較高如 120 kHz 之頻率。鐳線時所用壓力之大小，亦是十分重要。力量太小則無法形成接點，但力量太大則可能將矽晶圓中之鋁墊「挖起」，造成不良之產品。完成金線與晶粒的接合後，夾具上移，將金線形成一定之弧圈 (loop) 後，夾具再度夾著金線熱壓於導線架上對應的接點，形成通路。此時夾具再度上

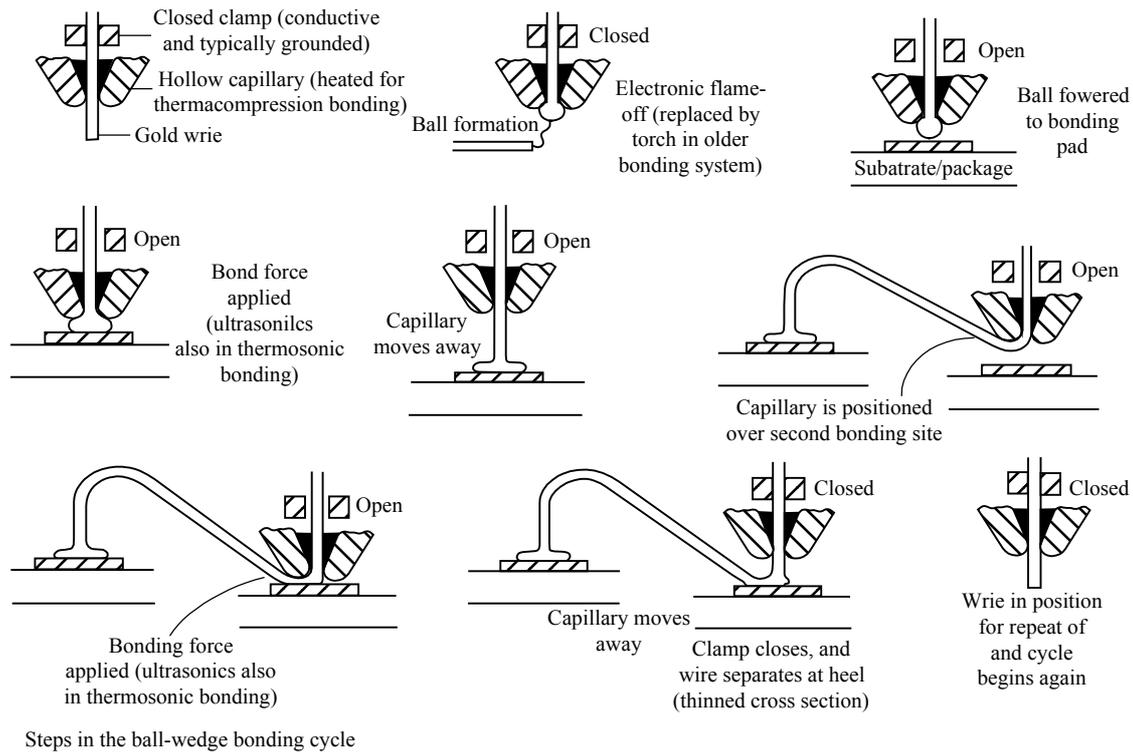


圖 5.2 (Courtesy of ASM)

移，夾具嘴端放電熔融燒斷金線，整個程序重複以進行下一個接點的連接。隨著技術之不斷改進，鉚線機之設備也不斷提升，目前之鉚線速率在每秒十條線，墊寬約在  $60\ \mu\text{m}$ ，可移動之距離在  $16 \times 13\ \text{in.}$  左右。如果需要處理的是細墊寬之鉚線製程，則所用之金線需較平常之標準  $25\ \mu\text{m}$  之金線為細。

鉚線之產品最常進行之測試，是拉力測試 (pull test) 與球剪切測試 (ball shear test)，力量之大小則與金線之大小相關。金線弧圈的形狀、高度及長短與整個構裝產品的大小相關。對一樣的金線，不同的弧圈也會有不同的接點拉力與耐衝擊性。弧圈太長的金線容易於後續的轉注成型 (transfer molding) 中，受到封裝材流動的牽引而移動，稱為金線偏移 (wire sweep)。尤其是在高腳數的產品中，金線偏移甚至可能造成產品的短路。除了封裝材與轉注成型操作參數的影響外，金線弧圈的高度、長度、金線表面的平滑度，及金線在轉模成型操作溫度時的機械強度與線漂移現象有

密切的關係。在近來之一些晶片尺寸構裝 (chip scale packaging, CSP) 與薄形構裝中，常常需要很短之弧圈。但弧圈太短則於接點產生較大之應力，可能造成接點之缺陷。金線與鋁墊之界面，在一些情況下會有金 - 鋁之介金屬相生成，如紫色的  $\text{AuAl}_2$  與白色的  $\text{Au}_5\text{Al}_2$ 。介金屬相因為硬脆，所以介金屬相之過度成長，通常是接點品質劣化之表徵。

如前所述金線與鋁線是最常用的鐳線，然而純金與純鋁都太過柔軟，因此都必需加入一定之合金元素。金線之合金元素主要為鈹與銅，其添加量通常分別為 5~10 ppm 及 30~100 ppm。鋁線之合金元素主要為矽，通常為 1% 矽之合金，但亦有 0.5% 到 1% 之鋁 - 鎂合金線。雖然 Al-1% Si 是常見的鋁線，然而在室溫下矽於鋁中之溶解度僅約 0.02%，也就是說矽會傾向於鋁合金中析出。因此鋁 - 矽線之製造商，必需很仔細的控制矽的析出。大量的矽析出會影響到鐳線的接合能力，降低接點的品質。鎂在室溫下於鋁中的溶解度約 2%，所以鋁 - 鎂線通常不會有析出的問題。線的粗細是重要之鐳線性質，一般鐳線之生產廠家，通常依據 ASTM 標準 F205 來測試。即是先將一定長度之鐳線測重，其鐳線之直徑，可在已知密度下計算求得。然而這樣的計算，必需假設鐳線為完美之圓線，以及線材中沒有空孔與異物。破壞強度 (break strength, BS) 與延展性 (elongation, EL) 是主要用來描述鐳線機械性質之指標。BS 與 EL 分別是於室溫下，依據 ASTM 標準測試方法如 F219，於鐳線拉斷時之拉力與延展性。一般而言，25  $\mu\text{m}$  之 Al-1% Si 線具 15 g 之 BS 與 1.5% 之 EL，而 25  $\mu\text{m}$  之金線則具 7 g 之 BS 與 4.0% 之 EL。



## 參考文獻

1. "Electronic Materials Handbook, Vol. 1: Packaging", ASM International, Materials Park, Ohio, 1989.
2. I. Weisshaus, D. Shi and U. Efrat, Advanced Packaging, January 2000, pp.60-63.
3. D. Shi and I. Weisshaus, Advanced Packaging, January 2001, pp.51-54.
4. 呂文鎔，機械月刊，第二十三卷第十一期，1997，pp.284-295。

5. J. Coderre and R. Peter, *Advanced Packaging*, February 2000, pp.76-80.
6. K. McNeilly and R. Pernice, *Advanced Packaging*, June/July 1999, pp.42-46.
7. 陳允潔，*工業材料*，第 99 期，pp.113-120，1995。
8. W. Gisler and K. Connell, *Advanced Packaging*, February 2000, pp.48-54.
9. “*Microelectronics Packaging Handbook*”, eds. R. R. Tummala and E. J. Rymaszewski, Van Nostrand Reinhold, New York, 1989.
10. B. L. Gehman, *IEEE Components, Hybrids, and Manufacturing technology*, Vol. 3 (3), 1980, pp.375-383.
11. 魏慧玲，田中貴金屬，Private communication，1997。
12. L. Levine, *Advanced Packaging*, April 2000, pp.47-52.
13. D. P. Seraphim, R. C. Lasky, C.-Y. Li, *Principles of Electronic Packaging*, McGraw-Hill, 1993.



## 本章習題

1. 最常用的黏晶材料為何？
2. 黏晶材料的性質要求為何？
3. 黏晶製程中重要之品質要求為何？
4. 何謂熟化？
5. 何謂鐳線接合？