

第三章、實驗方法、步驟與結果

在本章節中將就本實驗的各實驗方法與步驟逐一做說明，首先會說明單顆錫鉛的結構，然後介紹本研究中凱文錫結構的線路設計，並說明如何利用凱文錫結構做量測，與簡述對應的有限元素模型。

3-1. 試片製備

實驗的試片，是由米輯科技所提供的錫鉛覆晶封裝試片，試片結構如（圖 15、圖 16）。所使用的 UBM（under-bump metallization）種類為 Ti / Cu / Cu / Ni，厚度分別為 0.5 μm / 0.5 μm / 5 μm / 3 μm ，其中 Ti 與 0.5 μm 厚的 Cu 層是利用電子槍蒸鍍而成，5 μm 厚的 Cu 與 3 μm 厚的 Ni 則是電鍍而成。以黃光顯影的方式定義出開口大小，再用濕式蝕刻法，定出 UBM opening 為 110 μm ，直徑 125 μm ，而 contact opening 為 85 μm 。其中鋁導線寬為 100 μm 厚 1.5 μm ，錫鉛接點間 pitch 為 1mm。

錫鉛料是以錫鉛錫，先利用電鍍將錫鉛固定在 UBM 所在，再以加熱爐加熱到 220 $^{\circ}\text{C}$ 約 1 分鐘。基板的部份，使用 FR5 基板，而其接著的銅墊層之上為 5 μm 的無電鍍鎳、1 μm 金，下方銅墊層的直徑為 280 μm ，因為基板端的墊層直徑相當大，所以錫鉛高度相對較低，僅有 25 μm 。

因爲以往的模擬結果顯示電流集中效應會發生在電子流進入銲錫後約 20 μm 的深度，所以在矮的銲錫（25 μm ）當中，由電子流造成的電遷移行爲應該會與高的銲錫相同。

3-2. 實驗方法

3-2-1. 凱文結構在本實驗中的應用

（圖 17）所示爲本研究所指之凱文銲錫結構俯視圖，研究中將利用此結構觀測銲錫受電遷移影響時的變化。結構中共包含四顆銲錫球，此四顆銲錫球由一條 3150 μm 長的鋁導線連接四個鋁墊層，並標示爲 b1 到 b4 如圖，鋁導線厚 1.5 μm 、寬 100 μm ，銲錫球與銲錫球的間隔爲 1 mm，此外如圖所示，在 FR4 基板上還有六條銅導線連接到此四顆銲錫球上，並標示爲 n1 到 n6 銅導線厚 30 μm 、寬 100 μm ，b1 到 b4 依序連接了 1、2、2、1 條銅導線，導線的走向分別如圖所示。利用六條鋁導線不同的連接方式可以分別量測到 b2、b3 的單顆銲錫電阻與中間的鋁導線電阻，不過在本研究中將著重在 b3 的電性觀測。

如圖 17（b）標註箭頭方向所示，在此研究中，由 n3 及 n4 通入電流，電子流在 b2 中從基板端流向晶片端，在 b3 中則相反方向。銲錫 b2 的電壓降可以由 n1 與 n2 量測得到，而銲錫 b3 的電壓降則可利用 n5

及 n_6 量測得到，利用這樣的量測方式即可在發生電遷移的同時量測到兩個不同方向的銲錫電阻，因為電流集中效應，在以往的研究中大多顯示孔洞生成在銲錫球的晶片端，所以在本研究會將大部分的重心放在 b_3 的電阻以及微結構變化上。

3-2-2. 銲錫電阻變化的量測

本研究中使用的電源供應器與量測儀器為電流源 Keithley[26] 2400 與資料交換器 (Data switch) Agilent [27] E34970A 配合有二十個獨立頻道的 Agilent E34901A 模組，這兩組儀器在量測時間小於 90 天、100 mV 的量測範圍下，電壓的量測精確度範圍約為 $5\mu\text{V}$ 。研究中所量測到的銲錫電阻值大小約在 0.5 mV，亦即 $500\mu\text{V}$ ；而在破壞產生之初始階段的銲錫電阻變化約為 $20\mu\text{V}$ ，故此兩者儀器在本研究所需的量測範圍內可提供足夠的精確度。且上述兩儀器皆符合通用儀器通訊協定，同時支援序列埠與 GPIB 控制介面，配合上適當的軟體便可利用在遠端對量測做穩定、長期、精確的連續控制，在本研究中即利用美國國家儀器公司[28] 所開發的圖形化儀器控制軟體 LabVIEW，作為資料擷取及儀器控制的工具。

利用在前文中所提及的覆晶錫鉛銲錫試片，分別在 $150\text{ }^\circ\text{C}$ 通入 0.8、0.9 A 的電流，加熱的方式是將試片平貼於加熱墊表面，並用耐熱膠帶

固定，靜置試片直到試片溫度到達平衡才開始量測，電流流經的迴路與量測的位置則如 3-2-1.所述。利用 UBM 半徑為 $60\mu\text{m}$ 為考量， 0.8 、 0.9 A 所對應的電流密度為 1.23×10^4 、 1.38×10^4 A/cm²，同時量測 b3 的鍍錫電阻與整個回路上的總電阻，在 b3 鍍錫電阻上升到 b3 初始電阻的 1.03 、 1.1 、 1.2 、 1.5 、 10 倍與斷路時停止通電，取下試片，並分別定義為階段 1~5 與最後破壞階段（Stage 1~Stage 5 and Stage final），此外再定義未通電時的狀態為階段 0（Stage 0）。

電阻與時間紀錄曲線的垂直與水平軸分別表示為正規化電阻（Normalized resistance）與正規化時間（Normalized time），正規化電阻表示量測時的電阻值與初始電阻值的比值，正規化時間則是表示該量測時間與 Stage final 時間平均值的比值，之所以將電阻值與時間表示為正規化電阻與正規化時間，而不直接用量測值直接表示，是因為本研究將著重在利用鍍錫電阻的「變化」來觀察孔洞生成的情形，而將量測值正規化正可符合我們此處著重在變化量的需求。

各階段實際的量測時間表列如（表 1），鍍錫電阻的曲線與總電阻則僅表示出最具代表性的 Stage final 如（圖 19）。

3-2-3. 試片破壞模式的觀測

將各個不同階段的試片依序沿（圖 18）所示方向，以不同號數的

SiC 砂紙 120、600、1200、2500、4000 做研磨，再用 Al_2O_3 顆粒 $1\ \mu\text{m}$ 、 $0.3\ \mu\text{m}$ 、 $0.05\ \mu\text{m}$ 作研磨拋光，藉由光學顯微鏡(OM)、電子顯微鏡(SEM)來觀察其破壞後剖面的影像。同時配合『X 光能量分佈圖譜』(EDX)來鑑定其特定區域的組成，試片剖面觀測的結果。

3-3. 模擬流程

為比較與深入了解孔洞生成時銲錫電阻的變化，研究中建立三維的數值分析模型，本節將討論利用 ANSYS 模擬的大致實驗流程。ANSYS 的模擬分為三個步驟：前處理、求解、後處理。前處理為建立物體、定義材料、網格化，求解為施加邊界條件、初始條件、求解，後處理為顯示結果。

3-3-1. 前處理

前處理為建立物體、定義材料、網格化。由於覆晶銲錫本身為軸對稱，因此可利用旋轉 2D 覆晶銲錫剖面建立覆晶銲錫。網格化 (mesh) 是用來切割物體、建立元素與節點，進行網格化常常會遭遇到的很多問題，最主要是歸因於元素形狀不良。

模擬中所使用的電阻率如下表一，使用的元素為八節點的六面體耦合場元素。對 2D、3D 模型而言，元素形狀分別最好為簡單的四邊形、

六面體，這樣可以得到較準確的解。2D 建立四邊形是相當簡單的事，但 3D 建立六面體則有許多限制，只有當物體本身形狀十分簡單時，才有辦法直接分割為六面體。覆晶銲錫本身是對稱而形狀簡單，但是加上金屬導線一起可慮後情況大不相同，這時覆晶銲錫的形狀會變得複雜而不能直接分割，因此研究中利用 ANSYS 本身支援的 APDL 功能，配合所需的孔洞形狀將銲錫接點做仔細的分割。

此外，介金屬化合物 Ni_3Sn_4 一般常見的形狀為針狀，在經過各種熱處理後才會逐漸改變為平板狀，可是在 ANSYS 中如欲建立起對應的針狀介金屬化合物是非常複雜的工作，故在本研究中將介金屬化合物的形狀簡化為平板狀以方便建模。

各材料所輸入之材料性質表列如表(表 2)，前處理過程簡述如下(圖 21)：

1. 建立 2D 覆晶銲錫剖面
2. 取一半剖面以中心對稱軸為軸旋轉 90°
3. 利用 APDL 配合孔洞形狀規劃出欲切割的平面
4. 加上金屬導線
5. 對導線方向做鏡射
6. 定義材料參數、元素特性 (圖 22)
7. 網格化 (mesh)

由有限元素分析法的基本原理可以得知，模擬分析在元素數目越多的時候其結果的收斂性越強，也就是說可以得到越準確的結果，而在元素無限小，或是說元素數目無限多的時候可以得到幾乎完全正確的值，這在過去的研究中已經得到驗證。但是這種情況在實際情況中不太可能達到，在 ANSYS 中可以接受的元素數量受到電腦記憶體的限制，有其上限的存在，因此在本實驗中，爲了要使不同的模型可以做相互比較，在切割模型時做了一個設定，就是在不同的模型中每個對應邊上的切割數都要一樣，做這樣的設定最主要是因爲這樣才能使不一樣厚度的模型得到一樣的收斂性，也就是有一樣的準確度。

3-3-2. 求解

求解爲施加邊界條件、初始條件、解。可以施加的邊界條件與初始條件，如：電位、流入或流出電流、溫度、熱對流、應力、等。本研究中所施加的邊界條件只有電流與電壓，將電流的流流入施加在上導線的入口，下導線的出口則設定邊界條件爲電壓等於零。因爲只觀察電流分佈，並忽略熱會造成電阻係數的改變，所以使用不計算熱的元素種類（element type），不須施加熱對流，此外，由於本實驗只考慮穩態（steady state）的電流分佈結果，並沒有施加初始條件，施加的電流值皆爲 0.8 安培。

考量到本研究中所做的分析，屬於元素數量較少、非偶合場、大量

重複(多階段)的分析類型，故此處的求解模組選用 ANSYS 內建的 JCG 模組，以提高求解速度。在運算結束後，不斷比對數值，並更改元素切割的粗細，直到確定數值收斂後才將模型與實際實驗數據做比較。

3-3-3. 後處理

後處理為觀察結果，分為列表 (list) 與繪圖 (plot) 兩種方式。觀察的方式分為兩種，(1) 觀察節點 (node) 的結果，如節點上的溫度、電位、電場。(2) 觀察元素 (element) 上的結果，如電流密度。這兩種方式都可以用列表或繪圖的方式觀察結果，模擬之結果僅表示出最具代表性的一組，(圖 23) 所示為孔洞衛生成之階段 0，各不同階段的對應有限元素模型如 (圖 24) 所示。

在本研究中，除了直接觀察電流密度與電位分布外，為配合鉍錫電阻的量測，在分析結束後，取與實際試片相對應位置的電位差，與輸入的總電流值相除求得模擬的鉍錫電阻 (圖 25)，在將求得的值與實驗量測的值做比對。

此外，為分析不同量測變化率的大小，分別由上下金屬墊層的不同位置算出鉍錫電阻，藉此來找出最適宜觀測變化的量測方式，可最為日後量測鉍錫電阻的參考。考慮到導線寬度與金屬墊層大小，觀察的位置僅取與電子流入口夾 45° 、 90° 、 180° 處 (如圖 26)， 180° 處也正好是本

研究中所量測的位置，各角度量測的值表示如（如圖 27）。



階段	正規化電阻	實際量測時間 (小時)	正規化時間
1	1.03	29.8	3.94×10^{-2}
2	1.10	101.5	13.4×10^{-2}
3	1.20	140.0	18.5×10^{-2}
4	1.50	155.3	20.5×10^{-2}
5	10.00	383.0	50.6×10^{-2}
final	斷路	756.6	—

表 1 階段之實際量測時間與正規化時間

Materials	Al	Cu	Ni	Ni_3Sn_4	Eutectic SnPb	Electroless Ni
Resistivity	3.2	1.7	6.8	28.5	14.6	$70 \mu\Omega \square \text{cm}$

表 2 擬運算中所輸入之電阻率

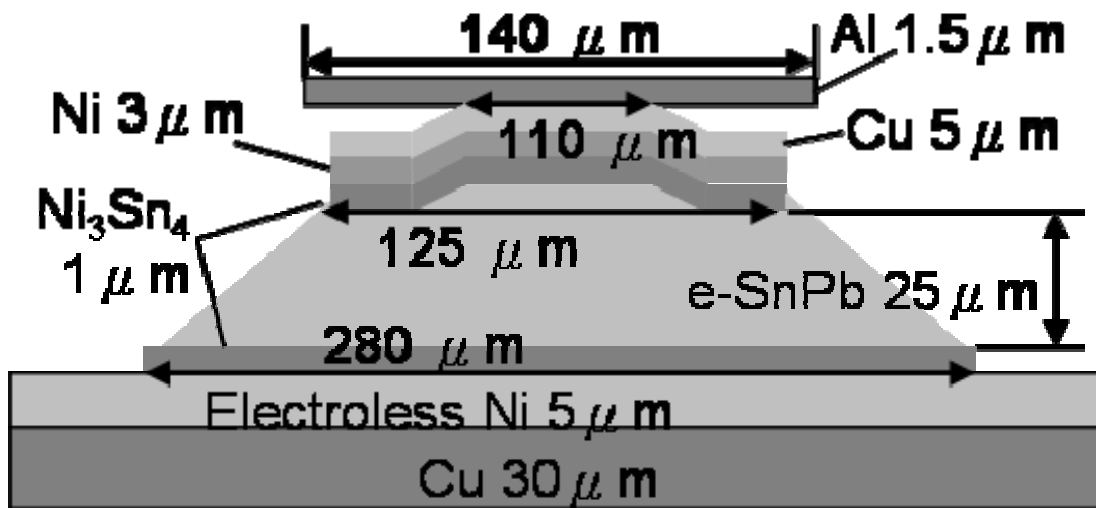


圖 15 銲錫接點剖面示意圖

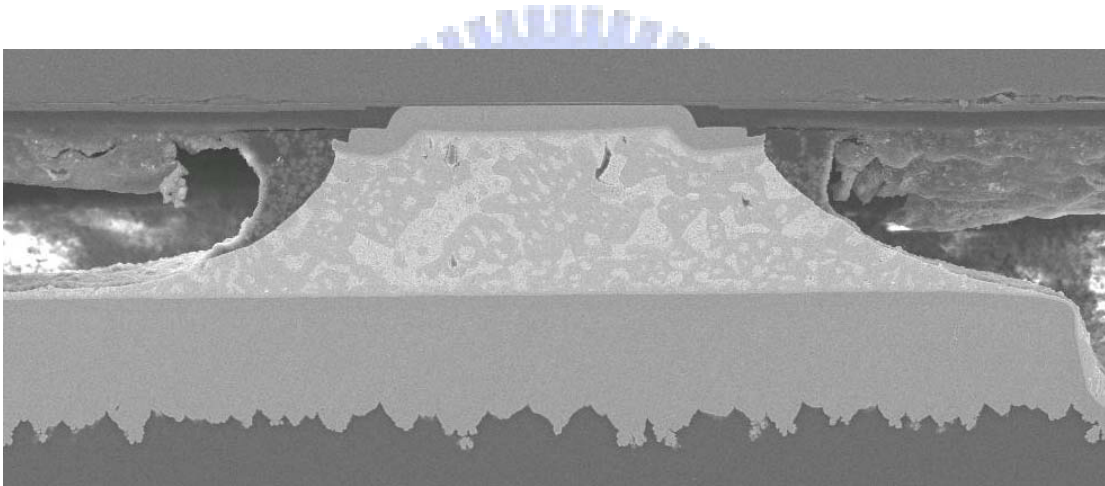


圖 16 銲錫接點 SEM 影像

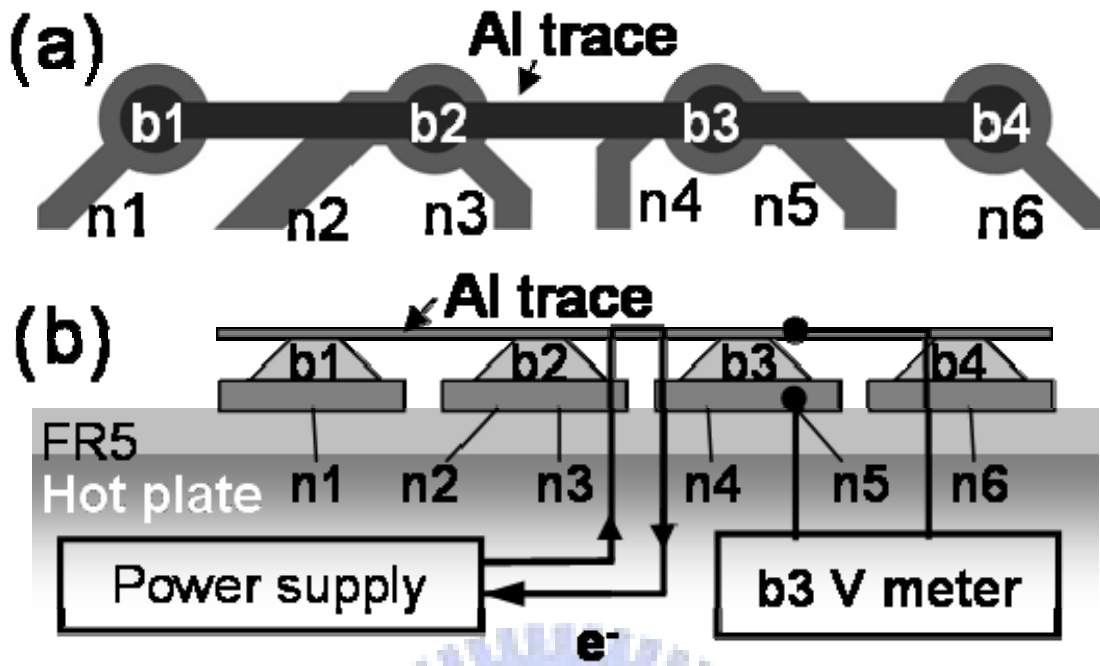


圖 17 (a) 凱文鐳錫結構俯視圖
(b) 凱文鐳錫結構剖面側視圖

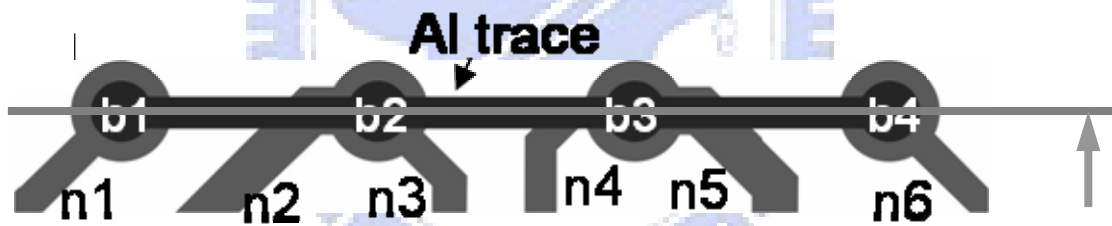


圖 18 試片研磨方向示意圖

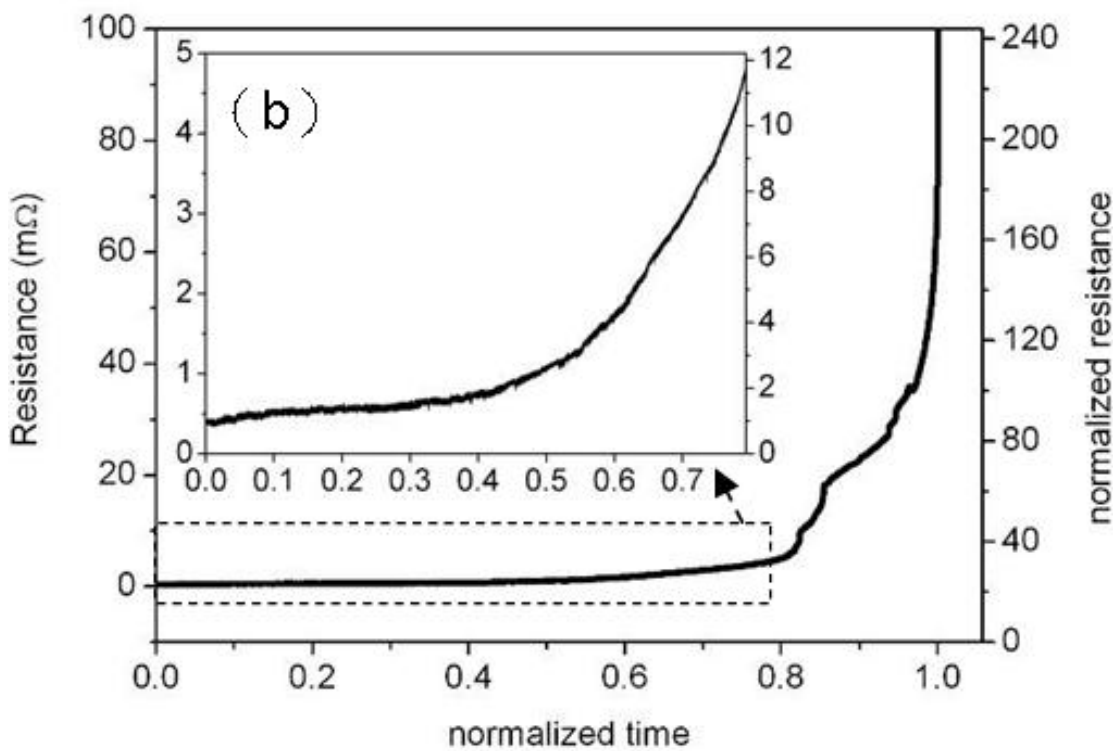
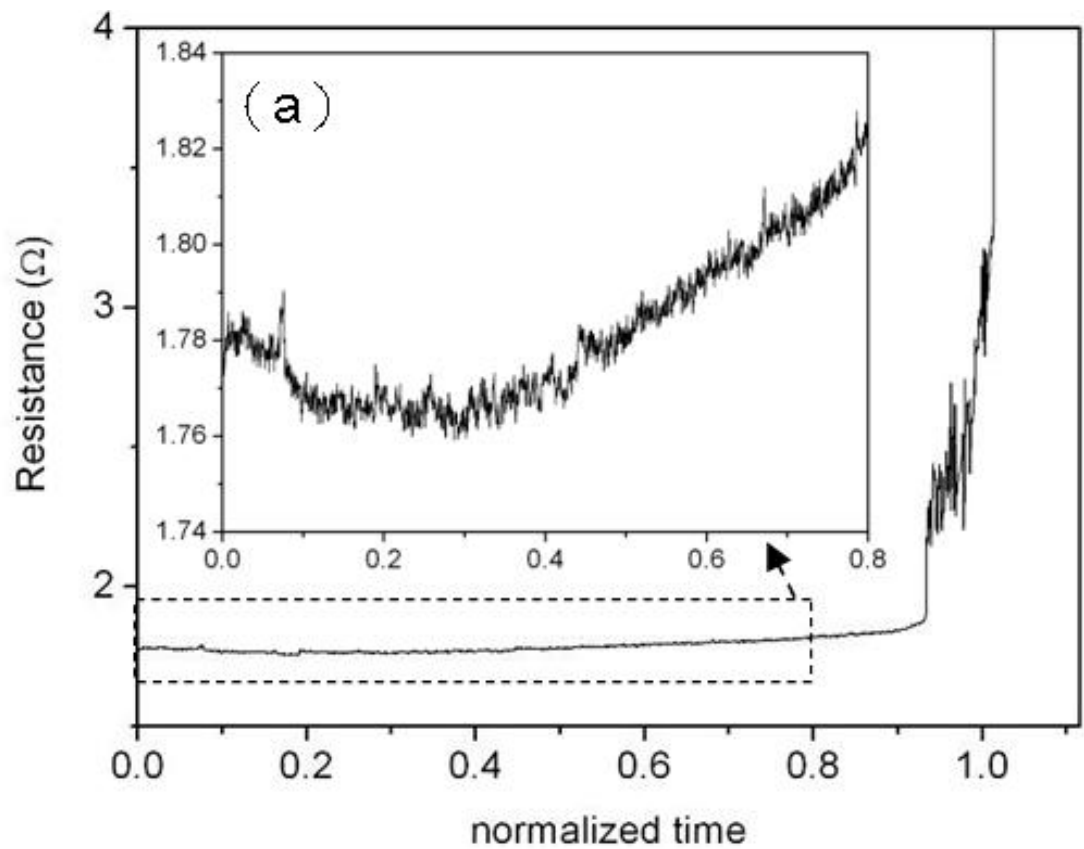


圖 19 (a) 總電阻對正規化時間曲線

(b) 銲錫電阻對正規化時間曲線

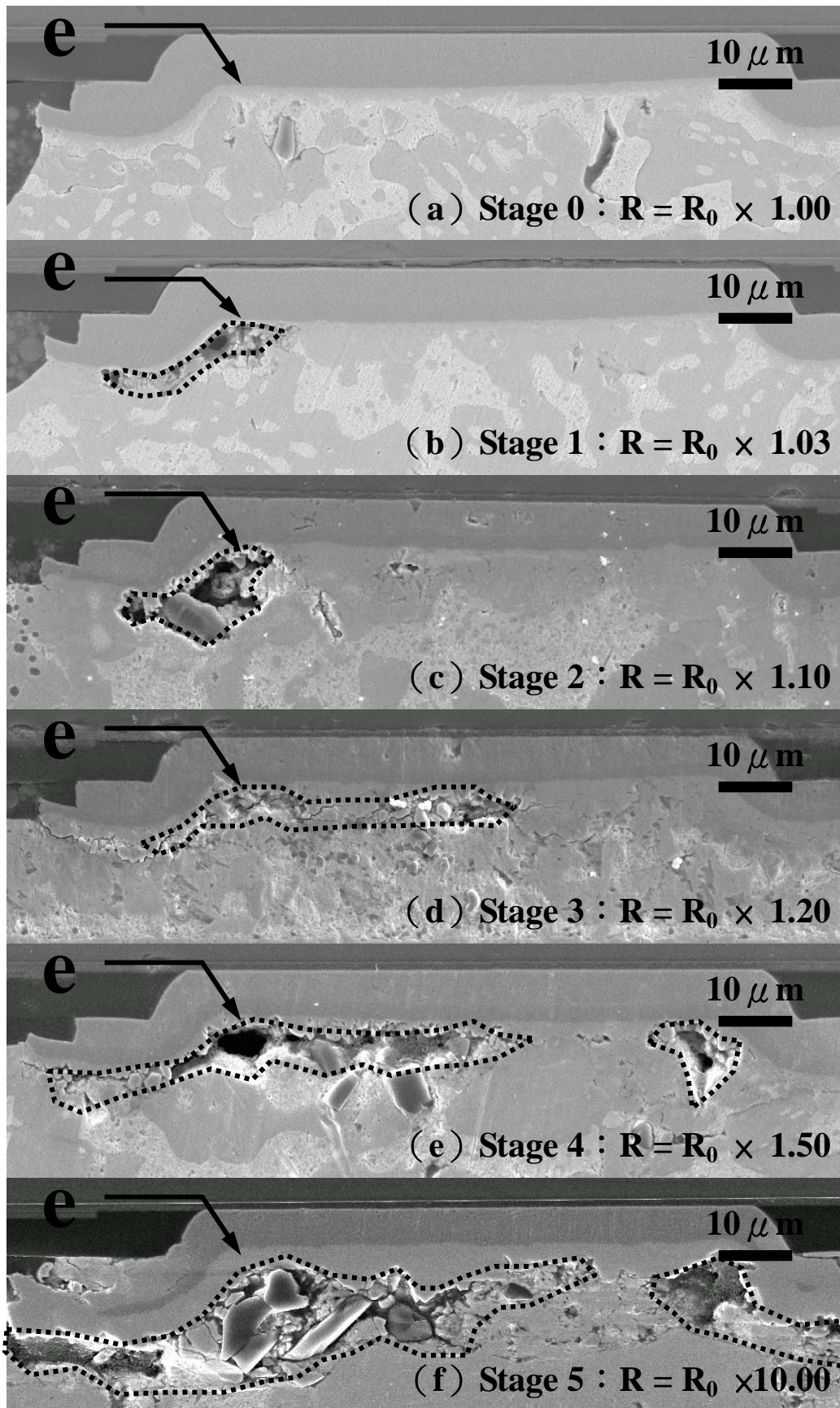


圖 20 150°C 通 0.8 A 電流 (a) 未通電前 (b) 29.8 hr (c) 101.5hr

(d) 140 hr (e) 155.3 hr (f) 383.0 hr

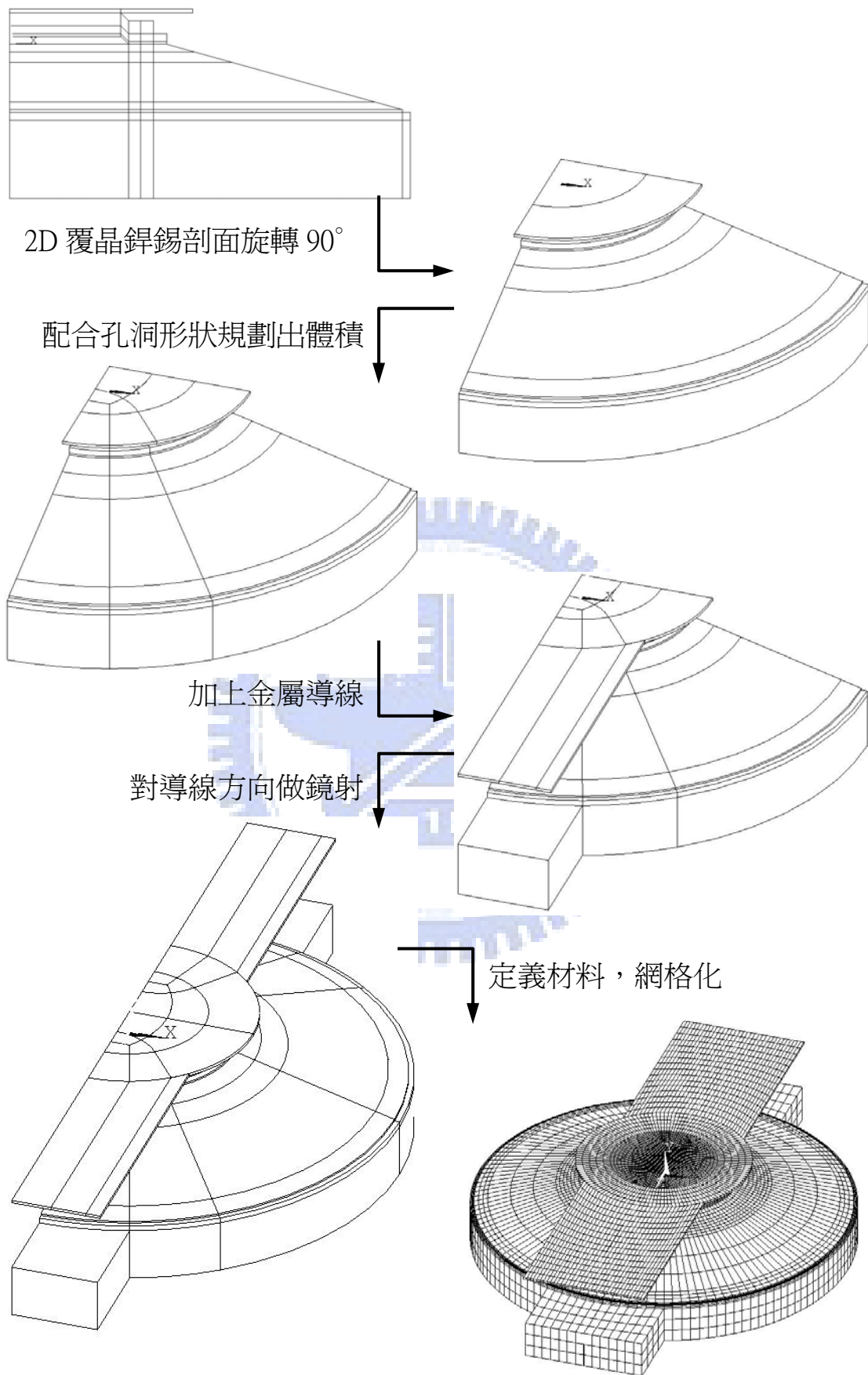


圖 21 前處理流程示意圖

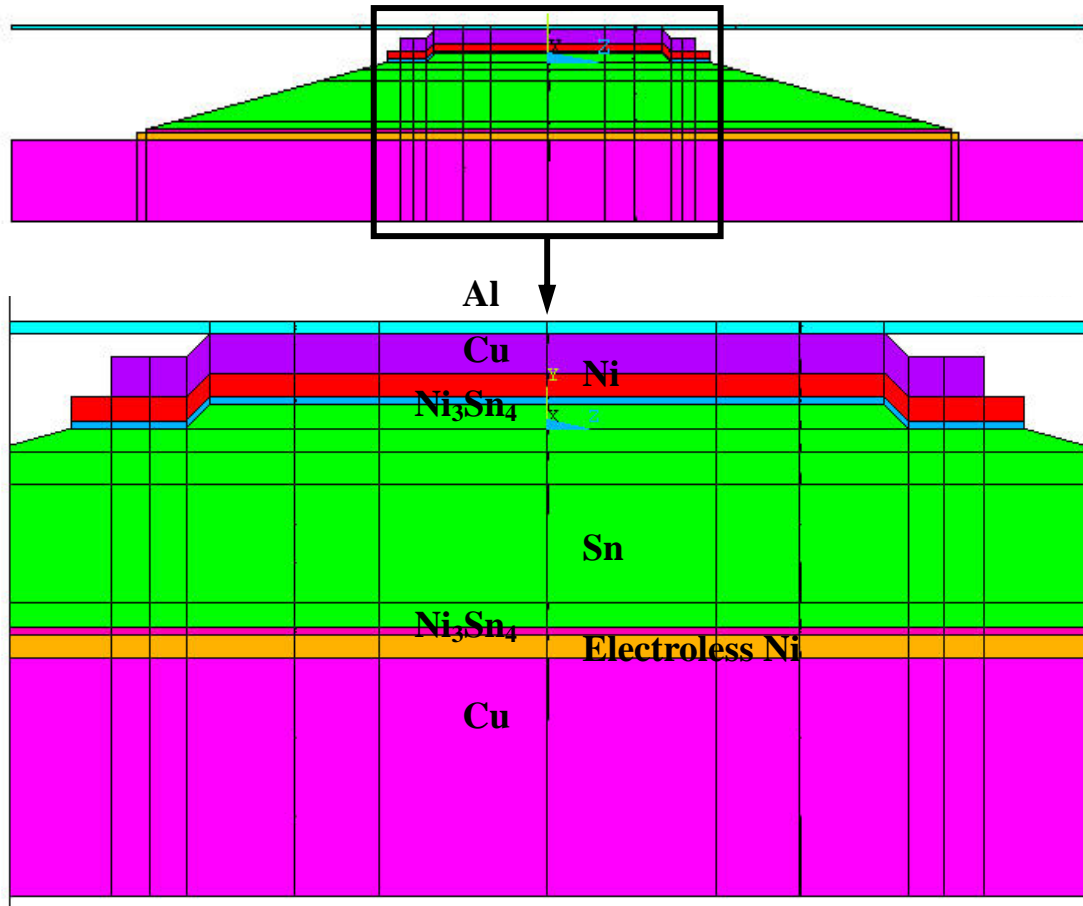


圖 22 材料性質分布示意圖

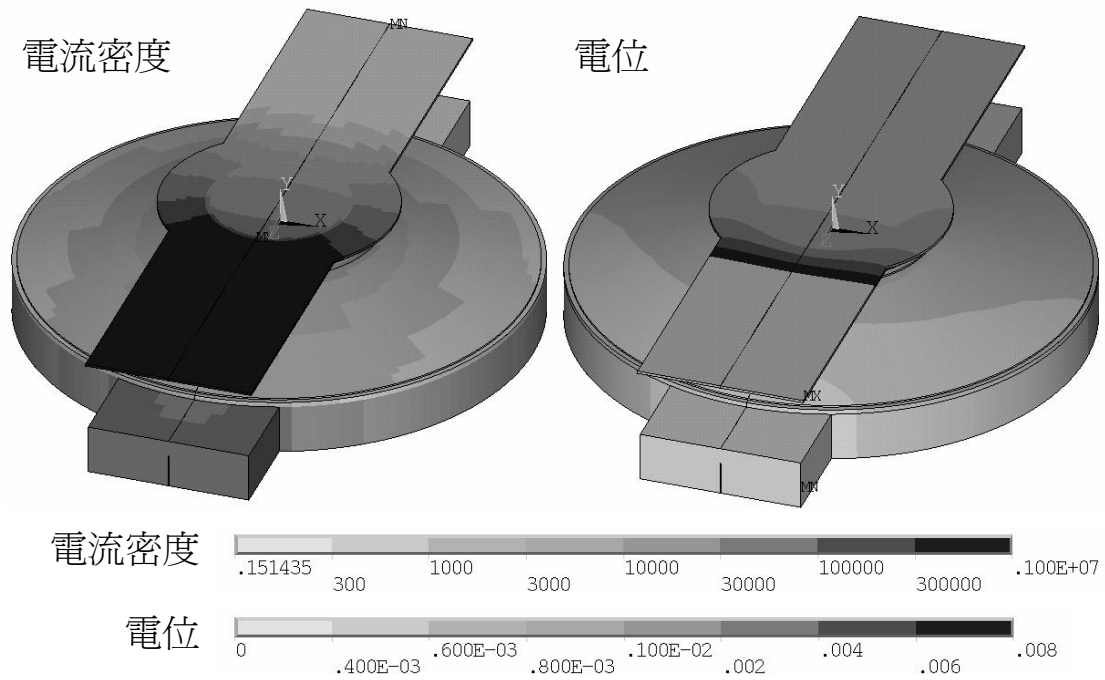


圖 23 模擬之電流密度與電位分布

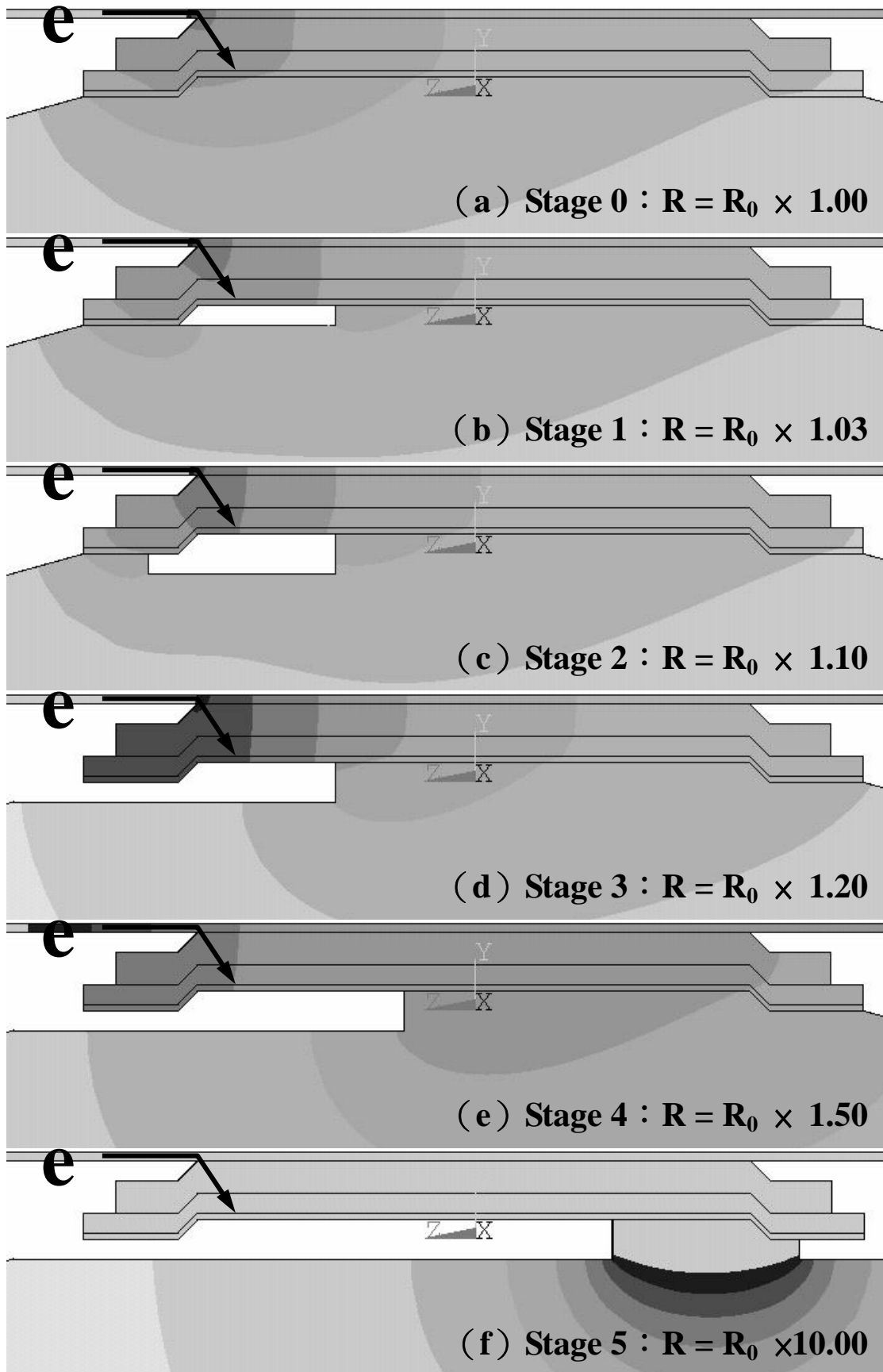


圖 24. 對應實驗的各階段 (a) Stage 0 (b) Stage 1 (c) Stage 2 (d)

Stage 3 (e) Stage 4 (f) Stage 5

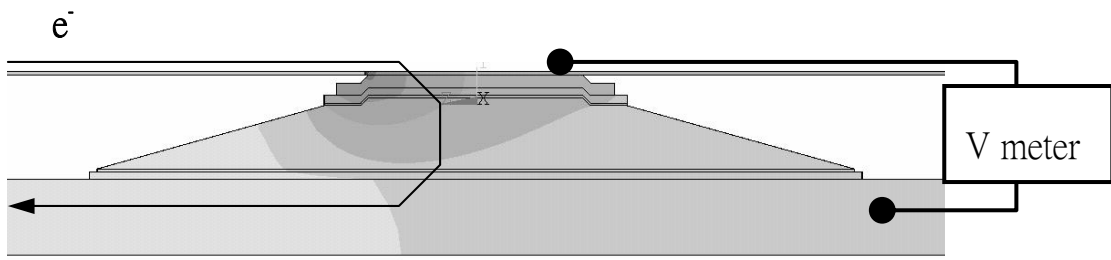


圖 25 銲錫電阻量測方式示意圖

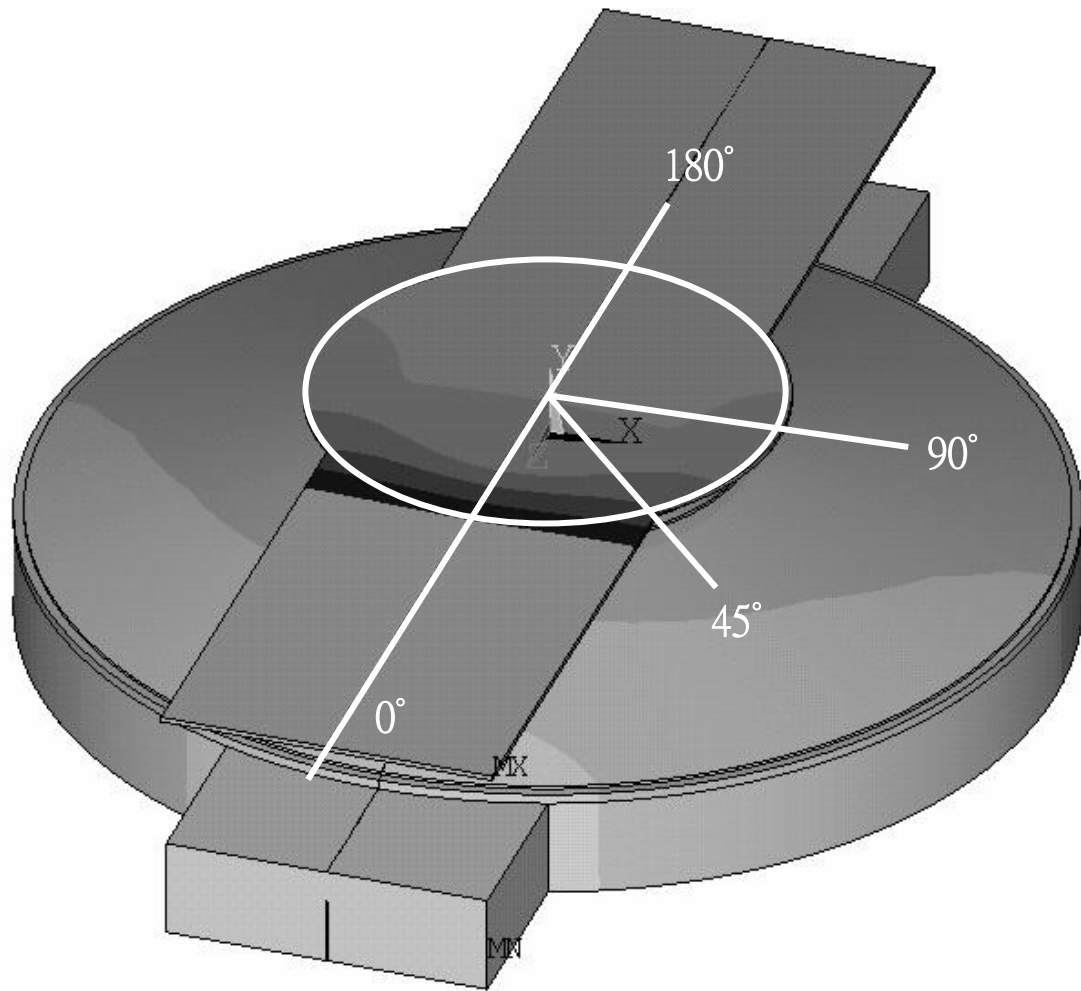


圖 26 不同位置的銲錫電阻量測方式示意圖

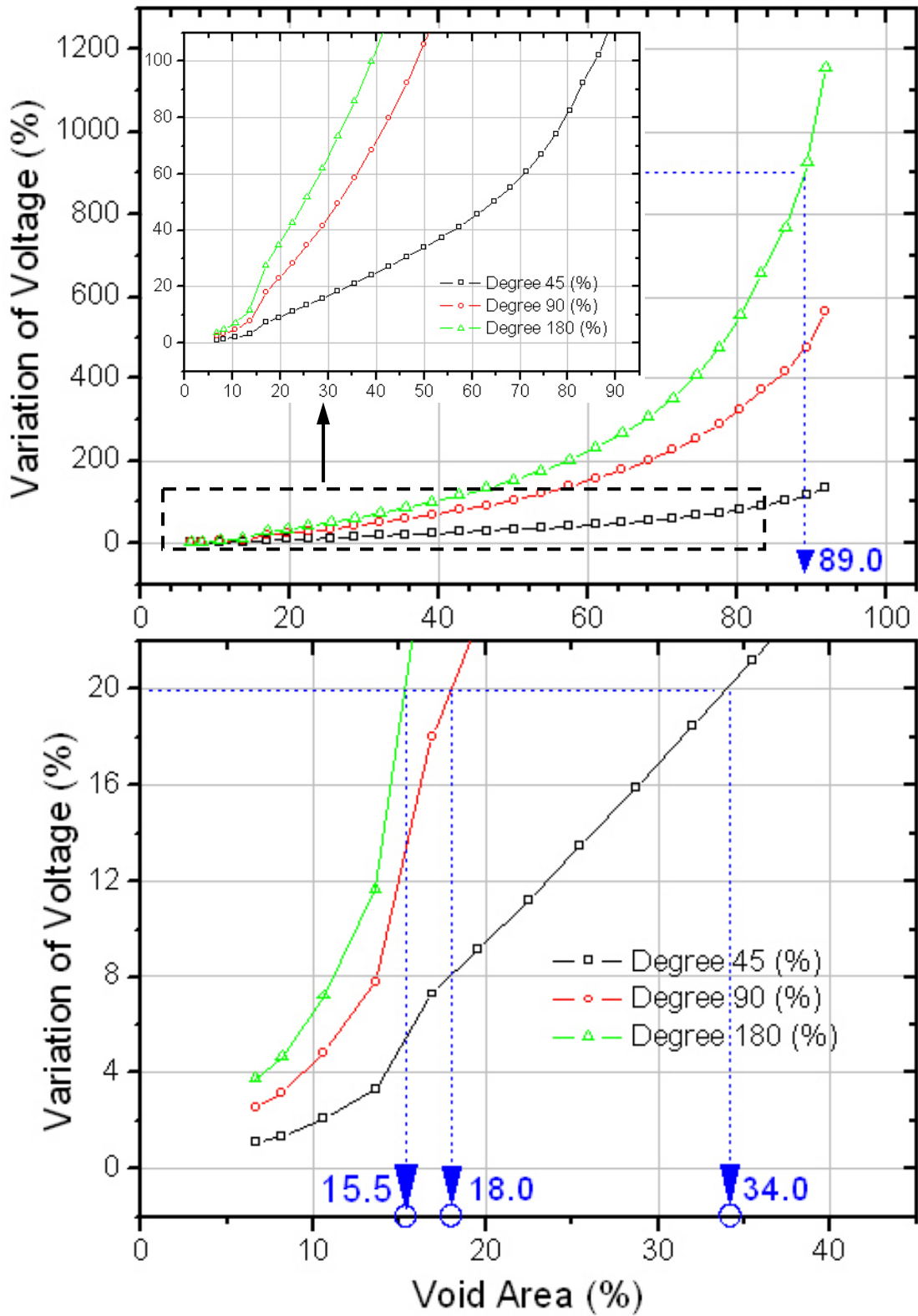


圖 27 不同角度量測得之銲錫電阻