

國立清華大學

碩士論文

題目：底膠填充 (Underfill) 材料在不同環境及介面條件  
下之介面剪力強度與破壞模式分析

系別 動力機械工程學系 組別 固力組

學號姓名 883761 許永昱 (Yung-Yu Hsu)

指導教授 葉銘泉 博士 (Dr. Ming-Chuen Yip)

中華民國 九 十 年 六 月

## 摘要

電子產業之快速發展，電子產品除追求高速度，多功能之設計外，外形輕、薄、短、小亦為發展趨勢，有別於一般傳統封裝之覆晶（flip chip）因具備眾多優點，而於現今封裝技術中，有舉足輕重的角色；為提升覆晶之可靠度需藉由一特殊材料，稱為底膠填充（underfill），以降低於覆晶凸塊之應力與應變集中現象，但此種底膠填充材料與一般電路版之黏著強度優劣，為影響覆晶元件可靠度之重要因素。

本研究藉由實驗模擬元件所可能遭遇之環境，將熱力環境與溼度環境交互影響後，依不同之應變速率及不同的黏著介面，進行剪力試驗，得知升高溫度與濕度，介面強度皆會因材料軟化與水氣滲入，造成介面剪力強度明顯下降，且不論經歷何種環境歷程與實驗條件，試片破壞面皆發生於防焊漆與 FR-4 間，故所得之強度為防焊漆與 FR-4 之黏著強度；而比較不同之黏著介面，發現於相同環境下，底膠填充與 FR-4 面黏著之介面強度值，較防焊漆與 FR-4 之黏著強度值為高。

故可知防焊漆與 FR-4 間，較易受溫度與濕度影響其介面黏著強度，且鑑於一般電路板表面皆塗覆防焊漆，因此可知防焊漆與 FR-4 黏著面抵抗因溫度與濕度造成黏著強度下降，為提升電子元件可靠度之重要關鍵。

## 誌謝

感謝恩師 葉銘泉教授於這 2 年中，無論學業、生活、待人處事上的指導，且更付予學生自由發揮及獨立思考的空間，並給予適時的修正，使我於這 2 年學習階段，獲益良多，受益非淺。

感謝口試委員 江國寧老師及 單秋成老師於論文上所需改善的修正與建議，使我論文更趨完備，並感謝王丁、永川、家泰學長，及保松、忠霖、嘉南、智平同學、學弟們於論文上的協助。

感謝工研院電子所周意工課長與黃肇達課長於實驗所需儀器之全力支持，及製程與技巧上的建議與協助。

最後，感謝家人的支持，使我於這 2 年中無後顧之憂的完成學業，並

感謝洛軒女友各方面的支持與協助，使我能順利畢業。

# 目錄

摘要

圖表目錄

一、 前言	1
二、 文獻回顧	3
2-1 覆晶 ( Flip Chip ) 簡介	3
2-2 溫度與濕度對底膠填充材料機械性質之影響	4
2-3 材料配方對底膠填充材料機械性質之影響	5
2-4 底膠填充材料對覆晶可靠度之關係	5
2-5 底膠填充材料之介面脫層行為	6
2-6 Over Lap 部份應力分佈之彈性分析 ( Elastic Analyses )	7
2-7 Over Lap 部份應力分佈之彈性 - 塑性分析 ( Elastic - Plastic Analyses )	7
2-8. 黏著層之幾何效應	8
三、 實驗內容及程序	9
3-1 儀器簡介	9
3-1.1 Instron-8848 型微拉力萬能試驗機	
3-1.2 恆濕恆溫爐	
3-1.3 超音波清洗機	
3-1.4 烘烤用加熱平板	
3-1.5 熱風循環可程式無塵烤箱	
3-1.6 鑽石切割機	

3-2 試片製作及檢測	11
3-3 實驗方法及程序	12
3-3.1 實驗室環境下，底膠填充材料與防焊漆面黏著之介面剪力試驗	
3-3.2 實驗室環境下，底膠填充材料與純 FR-4 板材面黏著之介面剪力試驗	
3-3.3 25 /60%RH 底膠填充材料與防焊漆面黏著之介面剪力試驗	
3-3.4 25 /60%RH 底膠填充材料與純 FR-4 板材面黏著之介面剪力試驗	
3-3.5 25 /95%RH 底膠填充材料與防焊漆面黏著之介面剪力試驗	
3-3.6 25 /95%RH 底膠填充材料與純 FR-4 板材面黏著之介面剪力試驗	
3-3.7 60 /60%RH 底膠填充材料與防焊漆面黏著之介面剪力試驗	
3-3.8 60 /60%RH 底膠填充材料與純 FR-4 板材面黏著之介面剪力試驗	
3-3.9 60 /95%RH 底膠填充材料與防焊漆面黏著之介面剪力試驗	
3-3.10 60 /95%RH 底膠填充材料與純 FR-4 板材面黏著之介面剪力試驗	
四 結果與討論	16
4-1 實驗室環境下，底膠填充材料與防焊漆面黏著之介面剪力試驗	17

4-2	實驗室環境下，底膠填充材料與純 FR-4 板材面黏著之介面剪力試驗	18
4-3	25 /60%RH 底膠填充材料與防焊漆面黏著之介面剪力試驗	20
4-4	25 /60%RH 底膠填充材料與純 FR-4 板材面黏著之介面剪力試驗	21
4-5	25 /95%RH 底膠填充材料與防焊漆面黏著之介面剪力試驗	22
4-6	25 /95%RH 底膠填充材料與純 FR-4 板材面黏著之介面剪力試驗	23
4-7	60 /60%RH 底膠填充材料與防焊漆面黏著之介面剪力試驗	24
4-8	60 /60%RH 底膠填充材料與純 FR-4 板材面黏著之介面剪力試驗	25
4-9	60 /95%RH 底膠填充材料與防焊漆面黏著之介面剪力試驗	25
4-10	60 /95%RH 底膠填充材料與純 FR-4 板材面黏著之介面剪力試驗	26
4-11	綜合比較與討論	26
	五、 結論	29
	六、 參考文獻	30

## 圖表目錄

- 表 4-1 實驗室環境下、 $10\text{e-}2\text{mm/sec}$  夾頭速率、與防焊漆面黏著之實驗數據
- 表 4-2 實驗室環境下、 $10\text{e-}4\text{mm/sec}$  夾頭速率、與防焊漆面黏著之實驗數據
- 表 4-3 實驗室環境下、 $10\text{e-}2\text{mm/sec}$  夾頭速率、與 FR-4 面黏著之實驗數據
- 表 4-4 實驗室環境下、 $10\text{e-}4\text{mm/sec}$  夾頭速率、與 FR-4 面黏著之實驗數據
- 表 4-5 25 °C、60%RH、 $10\text{e-}2\text{mm/sec}$  夾頭速率、與防焊漆面黏著之實驗數據
- 表 4-6 25 °C、60%RH、 $10\text{e-}4\text{mm/sec}$  夾頭速率、與防焊漆面黏著之實驗數據
- 表 4-7 25 °C、60%RH、 $10\text{e-}2\text{mm/sec}$  夾頭速率、與 FR-4 面黏著之實驗數據
- 表 4-8 25 °C、60%RH、 $10\text{e-}4\text{mm/sec}$  夾頭速率、與 FR-4 面黏著之實驗數據
- 表 4-9 25 °C、95%RH、 $10\text{e-}2\text{mm/sec}$  夾頭速率、與防焊漆面黏著之實驗數據
- 表 4-10 25 °C、95%RH、 $10\text{e-}4\text{mm/sec}$  夾頭速率、與防焊漆面黏著之實驗數據
- 表 4-11 25 °C、95%RH、 $10\text{e-}2\text{mm/sec}$  夾頭速率、與 FR-4 面黏著之實驗數據
- 表 4-12 25 °C、95%RH、 $10\text{e-}4\text{mm/sec}$  夾頭速率、與 FR-4 面黏著之實驗數據

## 實驗數據

表 4-13 60 °、60%RH、10e-2mm/sec 夾頭速率、與防焊漆面黏著之  
實驗數據

表 4-14 60 °、60%RH、10e-4mm/sec 夾頭速率、與防焊漆面黏著之  
實驗數據

表 4-15 60 °、60%RH、10e-2mm/sec 夾頭速率、與 FR-4 面黏著之  
實驗數據

表 4-16 60 °、60%RH、10e-4mm/sec 夾頭速率、與 FR-4 面黏著之  
實驗數據

表 4-17 60 °、95%RH、10e-2mm/sec 夾頭速率、與防焊漆面黏著之  
實驗數據

表 4-18 60 °、95%RH、10e-4mm/sec 夾頭速率、與防焊漆面黏著之  
實驗數據

表 4-19 60 °、95%RH、10e-2mm/sec 夾頭速率、與 FR-4 面黏著之  
實驗數據

表 4-20 60 °、95%RH、10e-4mm/sec 夾頭速率、與 FR-4 面黏著之  
實驗數據

圖 1-1 覆晶

圖 1-2 覆晶側視圖

圖 2-1 覆晶焊點側視圖

圖 2-2 垂直邊角之 Lap Shear 圖

圖 2-3 彈性行為之 Lap Shear 應力分佈圖

圖 2-4 含 Fillet 之 Lap Shear 圖

圖 2-5 Lap Shear 之剪力破壞側視圖

圖 2-6 彈-塑性行為之 Lap Shear 應力分佈圖

- 圖 2-7      Overlap 長度與應力關係圖
- 圖 2-8      Overlap 厚度與應力關係圖
- 圖 3-1      模具側視、上視圖
- 圖 3-2      模具立體圖
- 圖 3-3      試片
- 圖 3-4      模具組立圖
- 圖 3-5      試片製作流程圖
- 圖 3-6      實驗內容樹狀圖
- 圖 4-1      實驗室環境下，不同夾頭速率 (  $10^{-2}$  mm/sec ;  $10^{-4}$  mm/sec ) ,  
不同黏著介面 ( N : 與 FR-4 面黏著 ; S : 與防焊漆面黏著 )  
之力量對位移圖
- 圖 4-2      實驗室環境 /  $10e-2$  / S 之試片斷面圖
- 圖 4-3      實驗室環境 /  $10e-4$  / S 之試片斷面圖
- 圖 4-4      實驗室環境 /  $10e-2$  / N 之試片斷面圖
- 圖 4-5      實驗室環境 /  $10e-4$  / N 之試片斷面圖
- 圖 4-6      25    , 60%RH , 不同夾頭速率 (  $10^{-2}$  mm/sec ;  $10^{-4}$  mm/sec ) ,  
不同黏著介面 ( N : 與 FR-4 面黏著 ; S : 與防焊漆面黏著 )  
之力量對位移圖
- 圖 4-7      25    / 60%RH /  $10e-2$  / S 之試片斷面圖
- 圖 4-8      25    / 60%RH /  $10e-4$  / S 之試片斷面圖
- 圖 4-9      25    / 60%RH /  $10e-2$  / N 之試片斷面圖
- 圖 4-10     25    / 60%RH /  $10e-4$  / N 之試片斷面圖
- 圖 4-11     25    , 95%RH , 不同夾頭速率 (  $10^{-2}$  mm/sec ;  $10^{-4}$  mm/sec ) ,  
不同黏著介面 ( N : 與 FR-4 面黏著 ; S : 與防焊漆面黏著 )  
之力量對位移圖

- 圖 4-12 25 / 95%RH /  $10^{-2}$  / S 之試片斷面圖
- 圖 4-13 25 / 95%RH /  $10^{-4}$  / S 之試片斷面圖
- 圖 4-14 25 / 95%RH /  $10^{-2}$  / N 之試片斷面圖
- 圖 4-15 25 / 95%RH /  $10^{-4}$  / N 之試片斷面圖
- 圖 4-16 60 , 60%RH , 不同夾頭速率 (  $10^{-2}$  mm/sec ;  $10^{-4}$  mm/sec ) ,  
不同黏著介面 ( N : 與 FR-4 面黏著 ; S : 與防焊漆面黏著 )  
之力量對位移圖
- 圖 4-17 60 / 60%RH /  $10^{-2}$  / S 之試片斷面圖
- 圖 4-18 60 / 60%RH /  $10^{-4}$  / S 之試片斷面圖
- 圖 4-19 60 / 60%RH /  $10^{-2}$  / N 之試片斷面圖
- 圖 4-20 60 / 60%RH /  $10^{-4}$  / N 之試片斷面圖
- 圖 4-21 60 , 95%RH , 不同夾頭速率 (  $10^{-2}$  mm/sec ;  $10^{-4}$  mm/sec ) ,  
不同黏著介面 ( N : 與 FR-4 面黏著 ; S : 與防焊漆面黏著 )  
之力量對位移圖
- 圖 4-22 60 / 95%RH /  $10^{-2}$  / S 之試片斷面圖
- 圖 4-23 60 / 95%RH /  $10^{-4}$  / S 之試片斷面圖
- 圖 4-24 60 / 95%RH /  $10^{-2}$  / N 之試片斷面圖
- 圖 4-25 60 / 95%RH /  $10^{-4}$  / N 之試片斷面圖
- 圖 4-26 相同夾頭速率 (  $10^{-2}$  mm/sec ) , 相同黏著介面 ( S : 與防焊漆  
面黏著 ) 不同測試環境之力量對位移圖
- 圖 4-27 相同夾頭速率 (  $10^{-2}$  mm/sec ) , 相同黏著介面 ( S : 與防焊漆  
面黏著 ) 不同測試環境之平均負載比較圖
- 圖 4-28 相同夾頭速率 (  $10^{-2}$  mm/sec ) , 相同黏著介面 ( S : 與防焊漆  
面黏著 ) 不同測試環境之平均位移比較圖
- 圖 4-29 相同夾頭速率 (  $10^{-2}$  mm/sec ) , 相同黏著介面 ( N : 與 FR-4

面黏著 ) 不同測試環境之力量對位移圖

圖 4-30 相同夾頭速率 (  $10^{-2}$  mm/sec ), 相同黏著介面 ( N : 與 FR-4

面黏著 ) 不同測試環境之平均負載比較圖

圖 4-31 相同夾頭速率 (  $10^{-2}$  mm/sec ), 相同黏著介面 ( N : 與 FR-4

面黏著 ) 不同測試環境之平均位移比較圖

圖 4-32 相同夾頭速率 (  $10^{-4}$  mm/sec ), 相同黏著介面 ( S : 與防焊漆

面黏著 ) 不同測試環境之力量對位移圖

圖 4-33 相同夾頭速率 (  $10^{-4}$  mm/sec ), 相同黏著介面 ( S : 與防焊漆

面黏著 ) 不同測試環境之平均負載比較圖

圖 4-34 相同夾頭速率 (  $10^{-4}$  mm/sec ), 相同黏著介面 ( S : 與防焊漆

面黏著 ) 不同測試環境之平均位移比較圖

圖 4-35 相同夾頭速率 (  $10^{-4}$  mm/sec ), 相同黏著介面 ( N : 與 FR-4

面黏著 ) 不同測試環境之力量對位移圖

圖 4-36 相同夾頭速率 (  $10^{-4}$  mm/sec ), 相同黏著介面 ( N : 與 FR-4

面黏著 ) 不同測試環境之平均負載比較圖

圖 4-37 相同夾頭速率 (  $10^{-4}$  mm/sec ), 相同黏著介面 ( N : 與 FR-4

面黏著 ) 不同測試環境之平均位移比較圖

# 第一章 前言

由於電子產業之快速發展，電子產品除追求高速度，多功能之設計外，外形輕、薄、短、小亦為發展趨勢，為達此目標，除追求晶片製作技術上之突破外，惟有提升電路板上之電子元件組裝密度，與縮小元件尺寸著手。

傳統封裝（DIP、SOP、QFP 等）之外引腳式設計，由於接腳平整度、封裝體易裂、I/O 數限制、細腳距限制，要求高腳數、高效能之表現而有實際上的極限，因而被先進構裝所取代，如 BGA、CSP、COB 等，以及最近相當熱門之覆晶接合（flip chip）。

覆晶接合定義為於晶片之主動面（active area）植上凸塊（bump），再以面向下之方式，焊接於基板（substrate）上（圖 1-1），與其他傳統之面向上之構裝方式比較，覆晶可提供較短之電訊傳遞路徑、較佳之雜訊控制、較高之組裝密度、較高之 I/O 數、較小之面積及良好之電氣特性，且因覆晶不需模封（molding），故晶片裸露而能得到良好之散熱特性等優點。但由於晶片與基板本身之熱膨脹係數（coefficient of thermal expansion, CTE）不匹配（Si 約 2.5 ppm/°C，FR-4 約 18.5 ppm/°C），於系統開關機之升降溫環境下，晶片與基板相聯接以傳遞訊號之凸塊，完全承受因熱膨脹係數不匹配而產生之剪應力與剪應變集中之現象，易導致凸塊破壞而使元件失效，為解決此問題，而發展出於覆晶與基板間之隙隙填充 underfill 膠（圖 1-2）。

底膠填充為以環氧（epoxy）為主之膠材，但由於其熱膨脹係數約為 70 ppm/°C，為使底膠與凸塊熱膨脹係數接近以分散應力，故以特別比例混合二氧化矽粒子（silica filler）以降低熱膨脹係數使

接近 20~30 ppm/°C，如此，藉由其將晶片與基板黏成一體，使原剪應力與剪應變集中於凸塊之現象降低，且由於底配，降低應力集中的現象，故可提高元件之可靠度，由此觀之，底膠所能承受因熱膨脹係數不同所產生之介面剪應力的能力，決定元件可靠度之優劣，因此，本研究將藉由實驗模擬元件所可能遭遇之環境，將熱力環境與溼度環境交互影響後，依不同之應變速率及不同的黏著介面，進行剪力試驗，以量測外在環境對底膠填充材料之介面黏著強度變化。

## 第二章 文獻回顧

### 2 - 1 覆晶 (Flip Chip) 簡介

覆晶一詞定義為以主動面 (active area) 朝下方式連接基板，其晶片與基板之聯接以材料與膠著方式分類[1]，包括捲帶式自動接合 (TAB)，金線連接 (wire bonding)，均向及非均向導電膠 (isotropic and anisotropic adhesive)，焊接凸塊。覆晶之最早發展是以焊接凸塊方式連接晶片與基板，此技術是由 IBM 公司其下之固態邏輯科技部門為生產其公司型號 IBM 360 之系統電腦而發展。初期使用 C4 (control-collapse-chip-connection) 技術。此技術之錫球為 5wt% Sn – 95wt% Pb 之高鉛錫球合金。此合金之熔點高達 312℃，而一般回焊之最高溫度不超過 240℃；因此，此合金於回焊過程中並不會因溫度升高而融化，基於此特性，錫球周圍之錫膏 (63Sn/37Pb) 會因回焊融化而包圍此高鉛錫球，並沿此錫球外緣向上爬升。由於此特殊性質，於回焊過程中不但錫球有自對準效應 (self-alignment) 並可控制錫球高度，以達到較好之可靠度。

覆晶藉由錫球以達成電訊傳遞之連接後，由於晶片與基板之熱膨脹係數差異極大 (Si 約 2.5ppm/℃，FR-4 約 18.5ppm/℃)，於升降溫過程中，應力集中於錫球而易造成破壞導致電訊傳遞失效，為改善此問題，於晶片與基板間之極狹小區域灌入所謂底膠填充 (underfill)，藉由其將晶片與基板相連接成一整體，使應力重新分布，可有效提高元件之可靠度 (圖 2-1)。

### 2 - 2 溫度與濕度對底膠填充材料機械性質之影響

溫度與濕度對電子構裝材料影響甚鉅。Rao 等人[2]針對溫度與

底膠填充材料其機械性質之影響進行深入研究，以不同溫度等級環境下，拉伸底膠填充材料，發現隨著溫度上升，底膠填充材料之楊氏係數（Young's modulus）呈現減少的趨勢；Yi 等人[3]亦提出濕度、溫度與壓力易對電子構裝元件因內應力而產生微裂縫或脫層，且發現塑封材料之黏彈行為受其回焊溫度與內部水氣含量之影響，破壞行為與負載大小、過程、方式有密切關係；Qian 等人[4]研究底膠填充材料於不同溫度等級、不同應變速率兩大因素交互作用下，發現底膠填充材料於高溫環境下有較低之楊氏係數（Young's modulus），且若控制於定溫下，應變速率愈快，則楊氏係數有愈高之趨勢；Darveaux 等人[5]研究溫度對塑封材料（molding compound）、液態封膠（liquid encapsulate）印刷電路板（print circuit board laminate with solder mask）及銀膠（die attach epoxy）的機械性質之影響，結果呈現一但溫度上升，彈性模數（elastic modulus）均下降之趨勢，而另外使用 LPI 防焊漆（solder mask）之印刷電路板則比使用乾膜（dry film）防焊漆之印刷電路板有較高之彈性模數及較高之熱膨脹係數；Ren 等人[6]探討於拉伸過程中，底膠填充試片厚度對實驗結果之影響，並發現厚度之尺寸效應對實驗結果並無明顯差異，但如厚度薄至某一臨界值時，則需做更進一步之討論；Lau 等人[7]利用 DSC, TMA, DMA 及 TGA 設備量測底膠填充材料機械性質，並提出以下結論：

1. 愈多填充粒子（filler）量，得到愈低之熱膨脹係數；
2. 愈小之填充粒子尺寸，得到愈低之玻璃轉換溫度（ $T_g$ ）；
3. 愈高之  $T_g$  值，得到愈低之濕度吸收量（換句話說，即愈高之填充粒子含量，即可得到愈高之濕度吸收量）；
4. 填充粒子含量愈多（即愈高之  $T_g$  值），得到愈慢之流動速率；
5. 濕度影響底膠填充材料、機械性質甚鉅，其實驗得知 20 小時之

濕度環境試驗可導致底膠填充能承受之剪應力下降約 25%。

### 2 - 3 材料配方對底膠填充材料機械性質之影響

Tay 與 Cui[8]研究不同配方之底膠填充材料對覆晶之可靠度的影響，並提出達到高可靠度之底膠填充材料需具有高黏著性，與錫球相近之熱膨脹係數及高比模數；Yao 等人[9]以四點彎曲試驗，量測底膠填充與不同基板間之黏著性，並提出於底膠填充中滲入少量之矽烷化合物可明顯加強底膠填充與各基板間之黏著力；Wang 等人[10]研究底膠填充材料中填充粒子（silica filler）含量對機械性質的影響，指出隨著填充粒子的增加，底膠填充材料之楊氏模數與極限強度亦隨之增加，但極限勁度卻減少，並以實驗驗證指出 Mori – Tanaka 方法可有效預測底膠填充材料之楊氏係數；Qu 與 Wang[11]藉由 Mori – Tanaka 方法及不同配方之底膠填充，成功推導出以估算填充物含量，即可導出底膠填充材料之楊氏係數的公式。

### 2 - 4 底膠填充材料對覆晶可靠度之關係

Wang 等人[12]提出利用 lap shear 方式並配合有限元素法及破裂力學之能量釋放率觀念，能有效增進混合模式破壞準確性；Gladkou 與 Bar-Cohen[13]亦利用 lap shear 方式量測液態封膠材料於不同溫度下所能承受之週次負載情形，發現負載週次與黏著表面材料、正向應力比，及週次頻率有明顯關係。並由實驗導出疲勞之經驗公式；Gektin[14]利用 Coffin – Manson 疲勞模式模擬無底膠填充材料之覆晶可靠度與有填充底膠填充材料之覆晶可靠度比較，指出底膠填充可顯著提升覆晶可靠度並減小錫球所承受之剪應變，而底膠填充與晶片及基板之黏著強度則明顯限制覆晶元件之使用壽命；Ren 等人[15]以

有限元素法研究覆晶錫球與底膠填充之非線性行為，提出錫球與底膠填充於特定溫度下，對覆晶翹曲（warpage）並無顯著影響，但對應力分布卻有明顯關係，並提出無論使用彈性（elastic model）或彈-塑性（elastic-plastic model）模型，應力最大值均發生於最外圍最角落之錫球；Dai 與 Ho[16]利用雲紋法技巧，實地測量升溫環境下，覆晶之變形機制，得到因熱應力所造成於錫球及底膠填充之剪應變，呈現隨著與覆晶中心點之距離增加而隨之呈線性增加之趨勢；Yao 與 Qu[17]運用四點彎曲試驗配合有限元素法，模擬底膠填充與基板間因熱脹係數不同而造成介面殘留熱應力對介面破壞勁度之影響。

## 2 - 5 底膠填充材料之介面脫層行為

於 1999 年，Lau 等人[18]研究脫層於底膠填充與基板間、脫層與底膠填充與晶片間，及無圓弧角（fillets）之底膠填充之不完美（imperfect）底膠填充於覆晶可靠度影響，利用有限元素法與推晶（die shear）實驗互相驗證，得知無圓弧角之底膠填充對覆晶可靠度比其餘兩種脫層結構能造成更大傷害；Liu 以及 Mei[19]研究填膠冷卻（encapsulation cooling），濕度吸收（moisture absorption）波焊（wave soldering）對塑封構裝元件之脫層行為；Dai 等人[20]運用雙懸臂樑（double cantilever beam, DCB）方法有效量測底膠填充與晶片及基板之黏著強度，並指出相同之底膠填充與不同基板及相同基板不同底膠填充之介面黏著強度並不相同，此測量解果可有效選擇底膠填充與基板之組合以達到最佳之黏著強度；Fan 等人[21]利用有限元素法模擬底膠填充在承受溫度循環負載後於覆晶中之脫層行為，認為應力集中因子於脫層行為中扮演重要角色；Wang 等人[22]則運用三點彎曲實驗配合有限元素法，研究覆晶於三點負載下之材料介面破壞行為，

並發現破裂行為可大致分為三階段；Lau 等人[23]針對覆晶中焊錫接點之破壞分析，發現覆晶元件破壞，主要為材料之脫層行為，而於底膠填充中，焊錫接點周圍，通常有空隙存在，此空隙如無造成脫層行為，則覆晶之四邊角落焊錫接點之應力與應變，會大致相同。

## 2 - 6 Overlap 部份應力分佈之彈性分析 (Elastic Analyses)

早期由 Volkersen、Goland 及 Reissner 所建立於 single lap shear 中重疊部份 (overlap) 之應力分佈模型[24]，此模型有許多與實際狀況有差距之假設：

1. 黏著層均為彈性行為；
2. 剪應力與側向拉伸應力 (transverse tensile stress) 於材料之厚度方向為均勻分佈；
3. 基板之應變忽略；
4. 應力只考慮二維平面 (two dimension)；
5. 只考慮垂直之邊角 (square spew)，即忽略圓弧角 (fillets) 對應力之影響 (圖 2-2)。

並得於 overlap 部份之應力分佈情形，如圖 2-3。

Adams 與 Peppiatt 於 1973 年為改善前述模型之準確性，以有限元素法建立三維模型，並考慮 45° 圓弧角對應力之影響，他們發現：

1. 最大主應力發生於 overlap 部份之邊緣，並與主軸呈現 45° 之夾角方向 (圖 2-4)；
2. 圓弧角可有效減少應力集中於 overlap 邊緣之效應；
3. 破壞於黏著層中並由圓弧角之一邊緣朝向另一邊緣延伸 (圖 2-5)。

## 2 - 7    **Overlap 部份應力分佈之彈性 - 塑性分析 (Elastic - plastic Analyses)**

之前所述分析皆考慮基板與黏著層為彈性行為材料，然而，現實環境中，黏著層通常表現彈性 - 塑性行為，Hart - Smith 運用逼近法 (iterative method) 求得如考慮塑性行為，黏著層中應力集中因子因而降低，且黏著層所能承受之破裂強度增加，而黏著層中如考慮彈性 - 塑性行為，其應力分佈如圖 2-6。

## 2 - 8    **黏著層之幾何效應**

Mylonas 與 DeBruyne 認為黏著層承受之剪應力 ( $\tau$ ) 隨著增加 overlap 之長度而降低，而破裂負載 (breaking load,  $F_f$ ) 卻會隨著 overlap 長度增加而上升到一近似常數值 (plateau) (圖 2-7)

Adams 與 Peppiatt 提出以不同之模型，建立黏著層厚度與破裂負載之關係，並以實驗發現於真實狀況下，實際之破裂負載，並不隨著黏著層厚度增加而上升，反而趨向於一定值 (圖 2-8)。

## 第三章 實驗內容與程序

本篇論文之實驗主要藉由 lap shear 方式模擬底膠填充(underfill)材料於不同溫度、濕度、應變率及不同黏著介面交互環境作用後之介面剪應力強度變化及破壞模式分析。

### 3 - 1 實驗儀器簡介

本篇論文所需使用儀器主要有 Instron-8848 微拉力萬能試驗機、恆濕恆溫爐、超音波清洗機、烘烤用加熱平板、熱風循環可程式烤箱、鑽石切割機。

#### 3 - 1.1 Instron-8848 型微拉力萬能試驗機

本實驗所使用之材料試驗機為美國 Instron 公司所生產製造之 8848 型試驗機，本試驗機系統包含 8800 型數位控制系統(digital control system)、負載單元 (load frame)、數位伺服致動系統 (digital servoelectric actuator) 三大部分。

本系統的重要性能與功能如下：

1. 負載範圍：
  - a. 軸向負載： $\pm 1$  KN
  - b. 拉伸方向：水平、垂直，使用者定義
2. 拉伸速度：
  - a. 0.001 mm/min 至 1,500 mm/min。
  - b. 精準度  $\pm 0.1\%$  設定速度。
3. 定位能力：
  - a. 精準度達  $\pm 1$  micron
  - b. 解析度達  $\pm 0.005$  micron
  - c. 軸向行程 100 mm
4. 應變精確度： $\pm 0.5\%$  之應變數據。

### 3 - 1.2 恆濕恆溫爐

本試驗機之機型為 TTH-AIT，溫度控制範圍在 0 ~ 100，濕度控制範圍在 20%RH ~ 98%RH。本機包括四大部分：加熱系統（電熱器），冷卻系統（壓縮機），機械系統與控制系統。其中可依需要單獨控制溫度或單獨控制濕度或溫度與濕度同時控制。

### 3 - 1.3 超音波清洗機

本實驗試片製作前之清洗工作，皆使用工研院電子所先進構裝技術中心構裝製程技術組，組裝製程實驗室所提供之由全拓公司所生產型號 104A 之超音波清洗機。此設備容量約為 300mm × 240mm × 150mm，且具加熱、超音波，時間控制等功能。

### 3 - 1.4 烘烤用加熱平板

本實驗試片清洗完成後，為除去剩餘之水氣與溶劑，故需由加熱平板加熱，此步驟使用工研院電子所先進構裝技術中心構裝製程技術組之組裝製程實驗室所提供由珊祥科技生產型號為 EHP300 與 PID 控制器，此加熱平板工作面積約為 280 × 280 mm，溫度控制精準度可達  $\pm 2$ ，最大工作溫度可達 120。

### 3 - 1.5 熱風循環可程式無塵烤箱

本實驗試片膠材烘烤使硬化之製作，均使用工研院電子所先進構裝技術中心，構裝製程技術組之組裝製程實驗室所提供之由志勝公司所生產型號 MOL-3 之可程式化無塵烤箱，此烤箱可操作之溫度範圍為 25 至 300。加熱方式為熱風循環，採用平水平側邊送風系統，裝置往前門方向送風，可達強烈循環效果。

### 3 - 1.6 鑽石切割機

實驗試片於烘烤完成後，需切割加工成所定義之尺寸，切割儀器均使用由工研院電子所先進構裝技術中心構裝製程技術組之組裝製程實驗室所提供汎達科技所生產型號 MINITON 之鑽石精密切割機，其轉速控制可由 100 至 420 r.p.m.；切割壓力可由 0 至 380g。需注意加工過程中進刀速率愈慢，所切出試片品質愈佳。

### 3 - 2 試片製作及檢測

為模擬最接近真實狀況 underfill 之介面黏著剪力強度特性，本實驗參考 ASTM D3165-91[25]之試片設計，其重疊部分參照美國 Flip Chip Technology 公司之 DRAM 晶片面積，而其 overlap 之 gap 高度則由自行設計之特殊治具平臺(圖 3-1、2)控制為 150 micron。Underfill 採用 DEXTER 公司產品編號為 HYSOL FP4549 之產品，此種 underfill 為環氧樹脂基底，含有 50% 之填充粒子量，玻璃轉換溫度為 140℃，於熟化後呈乳白色固體；試片之基板則使用一般印刷電路板(PCB)常用之 FR-4 板材，且板材黏著表面區分為有塗覆防焊漆 (solder mask) 與無塗覆防焊漆兩種，並於試片熟化 (curing) 製作完成後，於試片基板外側黏著鋼片以增強 FR-4 基板之剛性，為使試片變形皆控制於 overlap 部份之 underfill 中，詳細之試片尺寸如圖 3-3，試片於製具平臺之組立如圖 3-4，試片製作流程如下 (圖 3-5)：

1. 將 underfill 自 -40℃ 之冰凍櫃中取出置於室溫下解凍回溫，於室溫下放置 1 小時即可開始點膠。
2. 於 underfill 回溫同時，將 FR-4 測試板以異丙醇 (IPA) 溶液浸泡，並以超音波振盪器清洗 10 分鐘，以除去表面不純物。
3. 取出 FR-4 測試板並於無塵室中加以烘烤。以加熱平板烘烤 120 30 分鐘，除去 FR-4 測試板上所殘留之濕氣與溶劑。
4. 製作試片時，底膠填充 (underfill) 的厚度控制為一重點。為此，將

於此實驗中 FR-4 測試板置於設計控制高度之治具平臺內以達此目的。

5. 以 dispenser 將 underfill 塗於平臺內之 FR-4 測試板上，塗佈面積約為 6 mm×6 mm。
6. 將控制高度之凸塊置入治具平臺上，且將其餘測試板重疊壓合。
7. 於壓合 FR-4 測試板時有膠材外漏的情形，以拭紙沾酒精清理多餘之膠材。
8. 點膠後使 underfill 烘烤硬化之條件則依據材料廠商所要求之熟化曲線(curing profile)以 165 烘烤 30 分鐘。
9. 烤好之試片以鑽石切割機切割出所設計之長度。
10. 以數位式游標尺量測 overlap 部分之厚度，以確保厚度合乎標準，以避免影響實驗之正確性。
11. 使用 CN 膠將鋼片依試片尺寸黏著於試片基板外側。

### 3 - 3 實驗方法及程序

本研究為模擬電子元件之實際操作狀況，需先定義操作狀態之環境輪廓，並將試片置於熱力及濕度環境下進行試片前處理（precondition）過程，以模擬底膠填充材料於環境輪廓內所產生之內應力，對材料介面黏著特性所造成之劣化現象，詳細實驗內容樹狀組織如圖 3-6。實驗內容如下：

#### 3 - 3.1 實驗室環境下，底膠填充材料與防焊漆面黏著之介面剪力試驗

本試驗參考 ASTM-3156-91 之試片設計，底膠填充（underfill）與防焊漆（solder mask）面黏著，利用 Instron-8848 試驗機進行軸向剪力試驗，夾頭速度分別控制為  $10^{-2}$  mm/sec 及  $10^{-4}$  mm/sec 兩種，在

不經過任何外在溫度、濕度歷程，於實驗室環境下約 25℃，40%~50%RH 下進行試驗，除得到力量對位移之曲線圖外，並對破壞斷面進行觀察。

### 3 - 3.2 實驗室環境下，底膠填充材料與純 FR-4 板材面黏著之介面剪力試驗

本段實驗與 3-3.1 節類似，唯不同處僅在底膠填充材料與純 FR-4 板材面黏著，其餘測試條件皆相同，於此不再贅述。

### 3 - 3.3 25℃ /60 %RH 底膠填充材料與防焊漆面黏著之介面剪力試驗

本階段試驗為模擬電子元件於 25℃ /60%RH 之操作環境下，底膠填充材料所能承受與防焊漆之介面剪應力，於拉伸試驗前，需先將試片置於 25℃ /60%RH 條件之恆濕恆溫爐中 7 天，以期試片材料能與所設定之溫、濕度達到平衡，7 天後自恆濕恆溫爐中取出，並隨即進行試驗。實驗之夾頭速率分別控制為  $10^{-2}$  mm/sec，及  $10^{-4}$  mm/sec 兩種，記錄其力量對位移曲線並於拉伸結束，試片斷裂後，觀察其破壞斷面。

### 3 - 3.4 25℃ /60 %RH 底膠填充材料與純 FR-4 板材面黏著之介面剪力試驗

本階段實驗除底膠填充材料與純 FR-4 板材面黏著外，其餘實驗條件及歷程皆與 3-3.3 節相同，於此不再贅述。

### 3 - 3.5 25℃ /95 %RH 底膠填充材料與防焊漆面黏著之介面剪力試驗

## 驗

本階段實驗為模擬底膠填充材料於 25 ℃ 之潮濕環境 95%RH( 如下雨環境 ) 所耐濕度效應對底膠填充與防焊漆之介面黏著強度變化，進行實驗及分析；實驗進行之條件，亦將試片先行置放於 25 ℃ /95% RH 條件之恆濕恆溫爐中 7 天，7 天後取出並隨即分別以  $10^{-2}$  mm/sec 及  $10^{-4}$  mm/sec 兩種夾頭速率進行拉伸，記錄並觀察其破壞斷面。

### 3 - 3.6 25 ℃ /95 %RH 底膠填充材料與純 FR-4 板材面黏著之介面剪力試驗

本階段實驗除底膠填充材料與純 FR-4 板材面黏著外，其餘實驗條件及歷程皆與 3-3.5 節相同，於此不再贅述。

### 3 - 3.7 60 ℃ /60 %RH 底膠填充材料與防焊漆面黏著之介面剪力試驗

本階段實驗為模擬底膠填充材料於高溫乾燥環境下，與防焊漆之介面剪應力，是否會因在酷熱乾燥大氣下儲存後，造成底膠填充與防焊漆之介面黏著特性退化。實驗試片需放置於 60 ℃ /60%RH 條件之恆濕恆溫爐中 7 天，使其與設定環境達到平衡，並於 7 天後取出，隨即分別以  $10^{-2}$  mm/sec，及  $10^{-4}$  mm/sec 兩種夾頭速率進行介面剪力試驗，記錄其力量對位移曲線並觀察其破壞斷面。

### 3 - 3.8 60 ℃ /60 %RH 底膠填充材料與純 FR-4 板材面黏著之介面剪力試驗

本階段實驗除底膠填充材料與純 FR-4 板材面黏著外，其餘實驗條件及歷程皆與 3-3.7 節相同，於此不再贅述。

### 3 - 3.9 60 /95 %RH 底膠填充材料與防焊漆面黏著之介面剪力試驗

本階段實驗為模擬底膠填充材料於高溫、高濕之操作環境下，對防焊漆之介面剪力強度變化；實驗試片需置於 60 /95%RH 之恆濕恆溫爐中 7 天，使試片達到所設定之高溫、高濕條件，7 天後取出並隨即分別以  $10^{-2}$  mm/sec 及  $10^{-4}$  mm/sec 之夾頭速率，進行剪力試驗，記錄力量對位移曲線並觀察其破壞斷面。

### 3 - 3.10 60 /95 %RH 底膠填充材料與純 FR-4 板材面黏著之介面剪力試驗

本階段實驗除底膠填充材料與純 FR-4 板材面黏著外，其餘實驗條件及歷程皆與 3-3.9 節相同，於此不再贅述。

## 第四章 結果與討論

本研究之主要精神與目的，在於探討底膠填充材料於不同操作環

境，即自然環境中因氣溫、濕度不同造成之環境差異，對底膠填充材料與防焊漆及 FR-4 之介面黏著強度變化。且鑑於一般研究皆以推晶（die shear）之實驗方法研究底膠填充材料與晶片保護層(passivation)之黏著強度測試，鮮少著眼於底膠填充與防焊漆及 FR-4 之黏著強度試驗，故本研究藉由 lap shear 之實驗方法針對底膠填充與防焊漆及 FR-4 之介面黏著強度，配合不同之環境因子加以探討。

自然環境因子，依特性可區分為熱力環境與濕度環境。熱力環境主要包括高溫、低溫、溫度循環變化、溫度衝擊、高度壓力變化等；濕度環境主要包括濕度、雨淋、鹽霧、浸泡等。不論單獨熱力環境，濕度環境或其交互作用下，自然環境因子對材料之物理、化學等性質，皆會產生一定之影響。

高溫環境試驗是為決定材料是否會因酷熱之大氣下儲存和操作，使試片遭受破壞或使其功能退化。因高溫環境而易產生之效應包括：

1. 熱老化
2. 氧化
3. 結構變化
4. 軟化、溶解、蒸發
5. 黏度降低
6. 物理膨脹

且易因上列效應而產生之失效模式如下：

1. 結構失效
2. 機械強度喪失
3. 電性改變
4. 絕緣失效

濕度環境試驗是為探討材料耐大氣濕度環境的能力，潮濕可能對材料引發之效應包括：

1. 材料吸入水分而膨脹
2. 物理強度的喪失
3. 化學性能的改變
4. 材料之氧化反應

如將溫度與濕度兩大環境因素加以組合，則可能因高溫加速水氣的滲透率，使水氣更易穿透介面孔洞（void）而明顯降低黏著面間之介面黏著強度。如在長期高溫高濕環境中，除水氣穿透入孔洞之現象外，更可能造成腐蝕狀況發生，而使長期工作於高溫高濕環境之電子元件使用壽命縮短。

#### 4 - 1 實驗室環境下，底膠填充材料與防焊漆面黏著之介面剪力強度試驗

本階段研究實驗室環境下底膠填充材料與防焊漆面黏著之介面剪力強度試驗；實驗分別以  $10^{-2}$  mm/sec 與  $10^{-4}$  mm/sec 兩種夾頭速率進行。實驗試片所能承受之最大負載與最大位移，分別記錄於表 4-1 與表 4-2 中。表 4-1 為紀錄  $10^{-2}$  mm/sec 之夾頭速率所得之實驗結果，由表得知其中試片所能承受平均最大負載為 76.808 kgf，平均最大位移為 0.468 mm；表 4-2 為紀錄  $10^{-4}$  mm/sec 之夾頭速率所得之實驗結果，並由表可知試片可承受之平均最大負載為 83.166 kgf，平均最大位移為 0.485 mm。於此表 4-1 及表 4-2 所得之平均最大負載與平均最大位移平均值將被列為其他環境條件下結果之比較基準值。

比較表 4-1 與表 4-2 並配合圖 4-1 所示之力量對位移曲線圖結果，可知較慢之夾頭速率可得較大之最高負載、最大位移及較低之力

量對位移斜率。 $10^{-4}$  mm/sec 之夾頭速率比  $10^{-2}$  mm/sec 所得之最大負載平均值高出 6.358 kgf, 約 8.27%, 而最大位移之平均值則高出 0.017 mm, 即約 3.63%。

觀察實驗試片之破壞斷面, 由圖 4-2 及圖 4-3, 可知試片破壞斷面不論夾頭速率為快或慢, 皆發生於防焊漆與 FR-4 板材間; 此現象解釋了底膠填充與防焊漆之黏著強度明顯大於防焊漆與 FR-4 板材之黏著強度。故於試片斷裂時, 底膠填充材料連帶將防焊漆於 FR-4 面剝離。基於此現象, 吾人將表 4-1 與表 4-2 所紀錄之最大負載視為防焊漆與 FR-4 板材間於實驗室環境下之最大黏著強度。

由實驗破壞斷面圖 4-2 及圖 4-3 中發現, 雖於試片斷裂時底膠填充材料連帶將防焊漆於 FR-4 板材面剝離, 但卻分別存在於兩個斷面, 而非與防焊漆整片剝離 FR-4 板材面, 只存在其中一斷面。此現象解釋了於圖 4-1 中, 力量對位移雖呈線性關係, 但卻有力量瞬間少量下降之不連續現象。此現象由觀察上述之破壞斷面情況, 可知力量瞬間之下降量, 為防焊漆與 FR-4 板材部分剝離所產生, 即破壞剝離之瞬間力量, 此並不足以使材料產生破裂延伸 (crack propagation), 造成防焊漆與 FR-4 板材面整片剝離; 而是於剝離瞬間, 使其介面應力重新分佈 (redistribution), 並於應力重新分佈後, 介面繼續承受力量直到介面黏著強度達最大負載, 才使試片完全斷裂。

#### 4 - 2 實驗室環境下, 底膠填充材料與純 FR-4 板材面黏著之介面剪力強度試驗

本階段研究與前節之差異在於底膠填充材料與純 FR-4 面黏著, 其餘實驗條件皆與前節相同, 在不經過任何環境之前處理歷程, 於實驗室環境下試驗, 所得實驗試片之最大負載與最大位移依夾頭速率快慢分別記錄於表 4-3 及表 4-4 中。於表 4-3 中, 紀錄  $10^{-2}$  mm/sec 夾

頭速率之實驗數據，所得之平均最大負載為 77.42 kgf，平均最大位移為 0.403 mm；表 4-4 為紀錄  $10^{-4}$  mm/sec 夾頭速率之實驗數據，得到之平均最大負載為 84.817 kgf，與平均最大位移 0.509 mm。

比較表 4-3 及表 4-4，並配合圖 4-1 可知，較慢之夾頭速率可得到較大之平均負載與較大之平均位移，及較低之力量對位移斜率，但斜率大小並不明顯。 $10^{-4}$  mm/sec 之夾頭速率所得之最大負載較  $10^{-2}$  mm/sec 夾頭速率所得之最大負載平均高 7.397 kgf，約高出 9.55%；而最大位移則平均高 0.106 mm，即約 26.3%；此結果與前節黏著面為防焊漆之結果比較，可知於相同環境下，以  $10^{-2}$  mm/sec 夾頭速率，但黏著表面不同，造成底膠填充材料與純 FR-4 面黏著，所可承受之介面黏著強度高於與防焊漆面黏著平均約 0.612 kgf，而位移量則高於與防焊漆面黏著平均約 0.065 mm；在相同環境下，與  $10^{-4}$  mm/sec 之夾頭速率所得結果比較，得知底膠填充材料與純 FR-4 面黏著較與防焊漆面黏著，平均高出約 1.651 kgf 之最大負載，而最大位移亦平均高出約 0.024 mm。綜合上述結論，得到於相同條件下，夾頭速率越慢，可得到較高之最大負載與最大位移，而無論黏著面為何，在相同夾頭速率及實驗室環境下，對不同黏著介面所得之平均最大負載與平均最大位移影響均不大。

觀察試片破壞斷面圖 4-4 與圖 4-5，可知試片斷裂介面皆發生於底膠填充與純 FR-4 板材間，且破壞機制與前節類似，造成底膠填充材料破壞後分別存留於兩個斷面，而非底膠填充材料整個斷面與 FR-4 面剝離。此現象可解釋於圖 4-1 中力量對位移曲線之力量瞬間少量下降之不連續現象。

#### 4 - 3 25 /60 %RH 底膠填充材料與防焊漆面黏著之介面剪力強度試驗

此階段試片於 25 °C/60%RH 之環境條件中存放 7 天，7 天後取出以  $10^{-2}$  mm/sec 與  $10^{-4}$  mm/sec 兩種夾頭速率分別試驗，實驗結果依夾頭速率快慢分別記錄於表 4-5 及表 4-6，力量對位移曲線則紀錄於圖 4-6。表 4-5 記載  $10^{-2}$  mm/sec 夾頭速率之實驗數據，平均最大負載為 52.448 kgf，平均最大位移為 0.336 mm；表 4-6 為  $10^{-4}$  mm/sec 夾頭速率之實驗數據，所得之平均最大負載為 52.886 kgf，平均最大位移為 0.333 mm。 $10^{-4}$  mm/sec 夾頭速率之平均最大負載較  $10^{-2}$  mm/sec 之平均最大負載高約 0.438kgf，約 0.83%。而平均最大位移則較  $10^{-2}$  mm/sec 夾頭速率條件所得之最大位移為低，約 0.003 mm，即 0.89%。由其相當小之差異值可得知，夾頭速率的快慢，於此環境下，對最大負載與最大位移無顯著之影響。

觀察試片破壞斷面圖 4-7 及圖 4-8，發現本節實驗試片之破壞機制與 4 - 1 節不同，本節實驗試片斷裂不論夾頭速率快或慢，底膠填充材料皆整面將防焊漆與 FR-4 板材剝離，並無與 4 - 1 節類似，即底膠填充材料各殘留於試片兩斷面之現象，由於底膠填充材料將防焊漆自 FR-4 整面剝離，故吾人可視其最大負載為防焊漆與 FR-4 間的最大黏著強度。

將本節之實驗數據與 4 - 1 節結果比較，可知於環境不同的條件下，以相同  $10^{-2}$  mm/sec 夾頭速率拉伸，本節所能承受之平均最大負載，較 4 - 1 節下降 24.36 kgf，即較實驗室環境下，介面黏著強度下降 31%；而以  $10^{-4}$  mm/sec 之夾頭速率拉伸情況下，較 4 - 1 節下降 30.28 kgf，即較實驗室環境下，介面黏著強度下降 36.4%；由上述之介面黏著強度劇烈下降量，及破壞斷面與 4 - 1 節之相異度，可知於此環境下，由於水分的吸收，使防焊漆與 FR-4 板材間分子鏈結之結構失效，造成介面之黏著強度喪失，使破壞更易於防焊漆與 FR-4 板

材間形成。

#### 4 - 4 25 /60 %RH 底膠填充材料與 F R 4 黏著之介面剪力強度試驗

將試片置於 25 /60%RH 之環境條件中存放 7 天，7 天後取出分別以  $10^{-2}$  mm/sec 與  $10^{-4}$  mm/sec 兩種夾頭速率試驗。實驗結果依夾頭速率快慢分別記錄於表 4-7 及表 4-8，力量對位移曲線則紀錄於圖 4-6。表 4-7 為  $10^{-2}$  mm/sec 夾頭速率之實驗數據，其平均最大負載為 57.766 kgf，平均最大位移為 0.463 mm；表 4-8 為  $10^{-4}$  mm/sec 夾頭速率之實驗數據，其平均最大負載為 61.565 kgf，平均最大位移為 0.384 mm；將此兩組數據比較，可知較慢之夾頭速率可得較大之最大負載，其相差 3.799 kgf，即平均最大負載上升約 6.57%，此趨勢與前幾節所得結果相互吻合。

與 4 - 3 節之結果比較，可知於相同條件下，與 FR-4 面黏著之最大負載較與防焊漆面黏著之結果為高。依夾頭速率快慢分別高出 5.318 kgf 與 8.679 kgf，即 10.13%與 16.41%；而與 4 - 2 節結果比較，則平均最大負載下降量，依夾頭速率快慢分別為 19.654 kgf 與 23.252 kgf，即下降 25.38%與 27.414%。下降量之大，顯示即使只有少量的水氣吸收，對介面黏著強度有相當劇烈的影響。

觀察試片破壞斷面如圖 4-9 及圖 4-10，可知破壞發生於底膠填充材料與 FR-4 間，且底膠填充材料存在於破壞之兩斷面，即此種破壞機制與 4 - 1 節類似，於此不再贅述。

#### 4 - 5 25 /95 %RH 底膠填充材料與防焊漆面黏著之介面剪力強度試驗

此部分實驗試片於 25 /95%RH 環境中放置 7 天，7 天後取出分

別以  $10^{-2}$  mm/sec 與  $10^{-4}$  mm/sec 兩種夾頭速率進行實驗。所得實驗結果且依夾頭速率快慢分別記錄於表 4-9 及表 4-10，力量對位移曲線則紀錄於圖 4-11。表 4-9 為  $10^{-2}$  mm/sec 夾頭速率所得之實驗結果，平均最大負載為 44.688 kgf，平均最大位移為 0.306 mm；表 4-10 為  $10^{-4}$  mm/sec 夾頭速率之實驗數據，所得之平均最大負載為 47.887 kgf，平均最大位移為 0.282 mm。將表 4-9 與表 4-10 所得之結果作一比較，得到較慢之夾頭速率可得較高之平均最大負載，高出 3.199 kgf，即約高 7.15%，此結果與前幾節所得之結果吻合。

將此節於高濕環境下所得之結果與 4 - 3 節，相同溫度，但較為乾燥環境下所得之結果比較，於  $10^{-2}$  mm/sec 之夾頭速率，所得之平均最大負載，即防焊漆與 FR-4 間最大之介面黏著強度，高濕環境比乾燥環境所得之結果，低 7.76 kgf，即約降低 14.79%，更與 4 - 1 節，實驗室環境下比較，低 32.12 kgf，即比實驗室環境下所得之平均最大負載低約 41.81%。而於  $10^{-4}$  mm/sec 夾頭速率所得之結果，較乾燥環境之平均最大負載低 4.99 kgf，即降低約 9.45%，而與實驗室環境下所得結果比較，下降 35.279 kgf，即比實驗室環境所得之平均最大負載低約 42.41%。

觀察試片破壞斷面如圖 4-12 及圖 4-13，發現其破壞機制與 4 - 3 節相同，皆由底膠填充材料將防焊漆整個斷面與 FR-4 分離，並由圖仔細觀察發現，本節高濕環境之防焊漆斷面較 4 - 3 節之斷面光滑。

綜合以上所述，對實驗室環境、乾燥環境、高濕環境下，底膠填充與防焊漆面黏著之介面剪力強度特性比較，發現無論夾頭速率快慢，在高濕環境所得之介面剪力強度比乾燥環境所得結果下降約 10% 左右；而與實驗室環境比較，則介面剪力強度有巨幅下降約 40% 左右之平均最大負載；並由其斷面較為光滑之現象，得知防焊漆與 FR-4

間因吸入水分，而造成材料介面氧化，使其物理特性（即黏著強度）喪失。因此，應盡量避免於高濕環境或乾燥環境下操作電子元件，以降低對元件使用壽命之耗損。

#### 4 - 6 25 /95 %RH 底膠填充材料與 F R 4 黏著之介面剪力強度試驗

此部份試片，除底膠填充材料為與純 FR-4 板材面黏著外，其餘實驗條件皆與 4 - 5 節相同，實驗結果分別記錄於表 4-11 與表 4-12 中，力量對位移關係則註明於圖 4-11。表 4-11 之平均最大負載為 59.386 kgf，較表 4-9 之結果高出 14.698 kgf，即高約 32.89%；而與表 4-12 之平均最大負載值 55.22 kgf 比較，則高出 4.166 kgf，即 7.54%；由此結果得知，於高濕環境下，與純 FR-4 面黏著，夾頭速率越快，可承受之介面剪力強度亦相對較高。

將本節所得之結果與 4 - 4 節乾燥環境，及 4 - 2 節實驗室環境比較分析，可得於  $10^{-2}$  mm/sec 之夾頭速率下，高濕環境所得之最大平均負載 59.386 kgf，較 4 - 4 節乾燥環境所得之 57.766 kgf，高出 1.62 kgf，差異不大；而與 4 - 2 節之實驗室環境比較則低 18.03 kgf；於  $10^{-4}$  mm/sec 之夾頭速率下，本節所得之平均最大負載 55.22 kgf，較 4 - 4 節乾燥環境所得之 61.565 kgf，低 6.342 kgf，而與實驗室環境下低 29.59 kgf；此結果顯示了，於 25 環境、與 FR-4 面黏著之條件下所得結果，與實驗室環境所得之結果比較後，發現乾燥環境與濕度環境對介面強度的影響程度相當。

觀察試片之破壞斷面，如圖 4-14 及圖 4-15，發現此節之破壞機制與 4 - 4 節及 4 - 2 節皆不同，其破壞皆為將底膠填充材料與 FR-4 板面間整片剝離，且破壞斷面光滑，並無底膠填充材料殘存於試片破壞之兩斷面上。此結果與實驗室環境下所得之結果負載比較，數據明

顯下降，皆導因於水分的進入，破壞底膠填充材料與 FR-4 黏著之分子鏈結，使粘著之物理特性喪失，降低可承受之平均最大負載。

#### 4 - 7 60 /60 %RH 底膠填充材料與防焊漆面黏著之介面剪力強度試驗

本條件下試驗所得結果分別記錄於表 4-13 與表 4-14，力量對位移曲線則如圖 4-16。 $10^{-2}$  mm/sec 夾頭速率所得之平均最大負載為 48.192 kgf，較  $10^{-4}$  mm/sec 夾頭速率所得之 52.188 kgf，小 3.996 kgf，約 7.65%，且與表 4-5 與表 4-6 及表 4-1 與表 4-2 之結果比較， $10^{-2}$  mm/sec 夾頭速率，60 高溫較 25 之實驗室環境下，平均最大負載分別低 4.256 kgf，即 8.11%，與低 28.616 kgf，即 37.25%，而  $10^{-4}$  mm/sec 夾頭速率所得結果則分別低 0.698 kgf，即 1.31%，及 30.978 kgf，即 37.242%。

觀察試片之破壞斷面圖 4-17 與圖 4-18，發現於  $10^{-2}$  mm/sec 夾頭速率所得破壞，為底膠填充材料整面將防焊漆與 FR-4 面分離。而  $10^{-4}$  mm/sec 卻於破壞之兩斷面皆有底膠填充材料與防焊漆，即無論破壞為何方式，試片斷裂皆發生於防焊漆與 FR-4 間。

整理分析以上所述破壞斷面與數據，得知於 60 高溫乾燥環境，較 25 乾燥環境及實驗室環境下，更易造成破壞。此結果導因於少量水氣環境，可造成材料分子鏈結之結構失效，造成介面之黏著強度喪失，且放至於高溫下，更可能於分子鏈結之結構失效外，對材料產生熱老化、物理膨脹，及介面分子結構變化，導致介面黏著強度喪失，使水氣更易侵入黏著介面，破壞更易發生於防焊漆與 FR-4 間。

#### 4 - 8 60 /60 %RH 底膠填充材料與 F R 4 黏著之介面剪力強度試驗

本階段實驗結果分別記錄於表 4-15 及表 4-16，力量對位移曲線於圖 4-16，與前節結果表 4-13 與表 4-14 比較，則平均最大負載分別上升 5.918 kgf 與 10.868 kgf。此結果說明了於高溫乾燥環境下，底膠填充材料與 FR-4 之黏著強度，較防焊漆與 FR-4 之介面黏著強度為高；且與自然環境所得之結果表 4-3 與表 4-4 比較，則分別下降了 23.31 kgf ( 30.1% ) 與 21.761 kgf (25.65%)，說明高溫乾燥環境能明顯降低介面黏著強度，此結果代表電子元件並不利於高溫且乾燥環境下操作。

觀察試片破壞斷面如圖 4-19 及圖 4-20，發現高溫乾燥環境較易造成底膠填充與 FR-4 間整片剝離，並無於試片斷裂後殘存兩斷面的現象；即高溫與乾燥環境更易造成底膠填充材料硬化，使介面黏著強度降低。

#### 4 - 9 60 /95 %RH 底膠填充材料與防焊漆面黏著之介面剪力強度試驗

本階段實驗為試片於高溫、高溼嚴苛環境下之介面剪力強度試驗。實驗結果記錄於表 4-17 與 4-18，力量對位移曲線記錄於圖 4-21。表 4-17 為  $10^{-2}$  mm/sec 夾頭速率之平均最大負載 39.317 kgf，此結果與表 4-9 之 25 /95%RH 之平均最大負載 44.688 kgf 比較，下降 5.37 kgf( 約 12.01% )，而與實驗室環境之表 4-1 比較，下降 37.491 kgf( 約 48.81% )。

觀察試片斷面圖 4-22 與圖 4-23，發現底膠填充材料將防焊漆與 FR-4 面整片剝離，且剝離斷面光滑；整合以上結果，由試片斷面圖，配合實驗數據，驗證了高溫與高溼環境，水分更因高溫而加速水氣的穿透率與飽和程度，使試片本身無論材料，或是黏著介面，皆充滿水氣，不但會因高溫使強度喪失，更因水氣而有加成效應，較之前所討

論之各種環境更易造成介面剪力破壞。

#### 4 - 10 60 °/95 %RH 底膠填充材料與 FR-4 黏著之介面剪力強度試驗

本階段試驗結果分別記錄於表 4-19 與表 4-20，力量對位移曲線於圖 4-21。與前節之平均最大負載比較，在  $10^{-2}$  mm/sec 夾頭速率下，比前節之負載高出 16.288 kgf，約 29.29%，而在  $10^{-4}$  mm/sec 夾頭速率下，較前一節結果高出 23.89 kgf，即 37.83%；而與表 4-15 與表 4-16 之乾燥環境下所得實驗結果比較，相差分別為 1.495 kgf 與 0.094 kgf，約 2.68% 及 1.48%。

探究試片之破壞斷面，發現底膠填充材料與 FR-4 整片剝離，且斷面光滑如圖 4-24 與圖 4-25；綜合上述之實驗數據與斷面觀察，說明了於高溫環境下，濕度的高低，對底膠填充材料與 FR-4 面黏著之介面強度，影響有限，但卻對防焊漆與 FR-4 間之介面強度，較有顯著之影響，此現象導因於水氣較易滲入防焊漆與 FR-4 間；因此，於高溫與高濕的環境，改良防焊漆與 FR-4 間之黏著強度，為提高電子元件可靠度之重要因素。

#### 4 - 11 綜合比較與討論

圖 4-26 所示為相同之  $10^{-2}$  mm/sec 夾頭速率及相同與防焊漆面黏著條件下，所有環境之力量對位移曲線圖，配合圖 4-27 之平均負載比較圖與圖 4-28 之平均位移比較圖，可知於實驗室環境下，不但可得到最高之最大負載及最高之最大位移，其斜率亦為最大；而於圖 4-27 之 60 °、95%RH 所得之平均最大負載較 60 °、60%RH 為小，而於圖 4-28 之 60 °、95%RH 所得之平均最大位移較 60 °、60%RH 為大。此結果說明了在高溫而不同濕度環境下，高濕有較低之介面黏

著強度，且底膠填充材料於高濕環境相較於乾燥環境，有較軟的現象。

圖 4-29 為相同  $10^{-2}$  mm/sec 夾頭速率及相同與 FR-4 面黏著條件下所得之力量對位移曲線。圖 4-30 與圖 4-31 亦為此條件下之平均最大負載比較圖與平均最大位移比較圖。由圖 4-30 與圖 4-29 可知於實驗室環境下有最大之平均負載及最大之斜率。此結果代表底膠填充材料於實驗室環境中最硬，且於 60 °C、60%RH 之高溫乾燥環境下，由於位移為最小且斜率僅次於實驗室環境，故可知升高溫度可軟化底膠填充，而少量水氣吸收，會使黏著強度降低。

圖 4-32 為相同  $10^{-4}$  mm/sec 夾頭速率及相同與防焊漆面黏著條件下，全部環境之力量對位移曲線。圖 4-33 與圖 4-34 為此條件下之平均最大負載與平均最大位移比較圖，由圖 4-33 與圖 4-34 中可知，60 °C、95%RH 不論最大平均負載與最大平均位移均最低，表示升高溫度更易使水氣滲入防焊漆與 FR-4 間，增加水氣的穿透率與飽和程度，使試片本身無論材料，或是黏著介面，皆充滿水氣，不但會因高溫使黏著介面強度喪失，更因水氣而有加成效應，降低防焊漆與 FR-4 間之黏著強度。圖 4-35 為相同  $10^{-4}$  mm/sec 夾頭速率及相同與 FR-4 面黏著條件下，全部環境之力量對位移曲線，圖 4-36 與圖 4-37 為此條件下之平均最大負載比較圖與平均最大位移比較圖，由曲線可知實驗室環境下，不論最大負載、最大位移及斜率，依然為所有狀況中之最大值。圖 4-36 中之平均負載最低為 25 °C、95%RH，而 60 °C、95%RH 之負載卻與 60 °C、60%RH 相同，此結果驗證了 4 - 10 節所述之結果，即於高溫環境中，底膠填充與 FR-4 介面之水氣飽和程度接近，故使其介面強度無明顯下降。

## 第五章 結論

由於底膠填充與防焊漆黏著或底膠填充與 FR-4 黏著，雖介面不同，但皆由底膠填充之熟化動作，使原為樹脂基底之底膠填充與亦為樹脂基底之防焊漆及 FR-4 間，產生分子與分子間的鍵結而黏著，所外加之環境歷程，即為破壞此黏著機制，因此，藉由本研究模擬之環境，可得以下之結論：

1. 實驗試片斷裂後，觀察其破壞斷面，發現底膠填充與防焊漆黏著者，不論經歷何種環境歷程與實驗條件，試片破壞面皆發生於防

焊漆與 FR-4 間。因此吾人認為，實驗所得之最大負載為防焊漆與 FR-4 間之最大黏著強度。

2. 相同之環境條件下，夾頭速率的快慢，會影響實驗所得之結果，即較慢之夾頭速率可得到較高之最大負載與最大位移。
3. 較高溫乾燥環境，比一般乾燥環境及實驗室環境下，有更低的介面最大負載；此結果導因於乾燥環境，可造成材料硬化與脆化，且放至於高溫下，更對材料產生熱老化、物理膨脹，及介面分子結構變化，導致介面黏著強度喪失，使破壞更易發生。
4. 於高溫環境下，濕度的高低，對底膠填充材料與 FR-4 面黏著之介面強度，影響有限，但卻對防焊漆與 FR-4 間之介面強度，較有顯著之影響，此現象導因於水氣較易滲入防焊漆與 FR-4。
5. 相較於實驗室環境，無論於乾燥環境或高濕環境，對介面黏著強度均會造成不利的影響；因此，本實驗所使用之底膠填充，於實驗室環境下即為其最佳之工作環境。

鑑於一般電路板表面皆塗覆防焊漆，且綜合上述結論，可知防焊漆與 FR-4 黏著面抵抗因溫度與濕度造成黏著強度下降，為提升電子元件可靠度之重要關鍵。

## 參考文獻

1. John H. Lau, "Low Cost Flip Chip Technologies," *McGraw-Hill*, New York, 2000.
2. Y. Rao, S. H. Shi, and C. P. Wong, "A Simple Evaluation Methodology of Young's Modulus-Temperature Relationship for the Underfill Encapsulants," *Electronic Components and Technology Conference*, pp.784-789, 1999.
3. Sung Yi, Jing Sua Goh, and Ji Cheng Yang, "Residual Stresses in Plastic IC Packages During Surface Mounting Process Preceded by Moisture Soaking Test," *IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology – Part B*, Vol. 20, No. 3, pp. 247-255, August 1997.
4. Zhengfang Qian, Jian Yang, and Sheng Liu, "Visco-Elastic-Plastic Properties and Constitutive Modeling of Underfills," *Electronic Components and Technology Conference*, pp.969-974, 1998.
5. Robert Darveaux, Laura Norton, and Frank Carney, "Temperature Dependent Mechanical Behavior of Plastic Packaging Materials," *Electronic Components and Technology Conference*, pp.1054 –1058, 1995.
6. Wei Ren, Zhengfang Qian, and Sheng Liu, "Scale Effect on Packaging Materials," *Electronic Components and Technology Conference*, pp.1229-1234, 1999.
7. John Lau, Chris Chang, and Ray Chen, "Effects of Underfill

Encapsulant on the Mechanical and Electrical Performance of a Functional Flip Chip Device,” *Polymeric Electronics Packaging*, pp. 265 –272, 1997.

8. H. L. Tay and C. Q. Cui, “Underfill Material Requirements for Reliable Flip Chip Assemblies,” *IEEE/CPMT Electronics Packaging Technology Conference*, pp. 345 –348, 1998.
9. Qizhou Yao, Jianmin Qu, Jiali Wu, and C. P. Wong, *Fellow, IEEE*, “Characterization of Underfill/Substrate Interfacial Toughness Enhancement by Silane Additives.” *IEEE Transactions on Electronics Manufacturing*, Vol. 22, No. 4, pp. 264 –267, October 1999.
10. Haiying Wang, Zengfang Qian, Sheng Liu, “Mechanical Modeling of Underfills Based on Two-phase Composites,” *Electronic Components and Technology Conference*, pp. 803 –808, 1999.
11. Jianmin Qu and C. P. Wong, “Effective Elastic Modulus of Underfill Material for Flip-Chip Applications,” *Electronic Components and Technology Conference*, pp. 848 –850, 1998.
12. Jianjin Wang, Minfu Lu, Wei Ren, Daqing Zou, and Sheng Liu, Associate Member, *IEEE*, “ A Study of the Mixed-Mode Interfacial Fracture Toughness of Adhesive Joints Using a Multiaxial Fatigue Tester,” *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing*, Vol. 22, No. 2, pp. 166 –173, April 1999.
13. Alex Gladkov and Avram Bar-Cohen, “Parametric Dependence of Fatigue of Electronic Adhesives,” *Components and Packaging Technologies*, Vol. 22, No. 2, June 1999.
14. Vadim Gektin, *Member, IEEE*, Avram Bar-Cohen, *Fellow, IEEE*, and Jeremy Ames, “Coffin-Manson Fatigue Model of Underfill Flip-Chips,” *IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing - Part A*, Vol. 20, No. 3, September 1999.
15. W. Ren, J. Wang, Z. Qian, D. Zou and S. Liu, “Investigation of Nonlinear Behaviors of Packaging Materials and Its Application to a

Flip-Chip Package,” *International Symposium on Advanced Packaging Materials*, pp. 31 –40, 1999.

16. Xiang Dai and Paul S. Ho, “Thermo-mechanical Deformation of Underfilled Flip-Chip Packaging,” *IEEE/CPMT Int’l Electronics Manufacturing Technology Symposium*, pp. 326 –333, 1997.
17. Qizhou Yao and Jianmin Qu, “Effect of Thermal Residual Stresses on the Apparent Interfacial Toughness of Epoxy/Aluminum Interface,” *International Symposium on Advanced Packaging Materials*, pp. 333 –336, 1999.
18. John H. Lau, S-W. Ricky Lee, Chris Chang and Chien Ouyang, “Effects of Underfill Material Properties on the Reliability of Solder Bumped Flip Chip on Board with Imperfect Underfill Encapsulants,” *Electronic Components and Technology Conference*, 1999.
19. Sheng Liu, *Member, IEEE*, and Yuhai Mei, “Behavior of Delaminated Plastic IC Packages Subjected to Encapsulation Cooling, Moisture Absorption, and Wave Soldering,” *IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology --- Part A*. Vol. 18, No. 3, September 1995.
20. Xiang Dai, Mark V. Brillhart, and Paul S. Ho, “Polymer Interfacial Adhesion in Microelectronic Assemblies,” *Electronic Components and Technology Conference*, pp. 132 –137, 1998.
21. X. J. Fan, H. B. Wang & T. B. Lim, “Investigation of the Underfill Delamination and Cracking in Flip-Chip Modules under Temperature Cyclic Loading,” *Electronic Components and Technology Conference*, pp. 994 –1000, 1999.
22. Jianjun Wang, Minfu Lu, Daqing Zou, and Sheng Liu, *Associate Member, IEEE*, “Investigation of Interfacial Fracture Behavior of a Flip-Chip Package Under a Constant Concentrated Load,” *IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology --- Part B*, Vol. 21, No. 1, pp. 79 –86, February 1998.
23. John H. Lau, *Fellow, IEEE*, Chris (Chia-Po) Chang, *Member, IEEE*,

and S.-W. Ricky Lee, *Member, IEEE*, “Failure Analysis of Solder Bumped Flip Chip on Low-Cost Substrates,” *IEEE Transactions on Electronic Packaging Manufacturing*, Vol. 23, No. 1, pp.19 –27, January 2000.

- 24.A. J Kinloch, “Adhesion and Adhesives,” *Chapman and Hall*, New York, 1987.
- 25.ASTM D3165-91, “Standard Test Method for Strength Properties of Adhesives in Shear by Tension Loading of Single-Lap-Joint Laminated Assemblies,” *Annual Book of ASTM Standard*, Vol. 15.06, pp. 217-220, 1991.
- 26.ASTM D2093-97, “Standard Practice for Preparation of Surface of Plastics Prior to Adhesive Bonding,” *Annual Book of ASTM Standard*, Vol. 15.06, pp. 130-131, 1997.
- 27.ASTM D1151-90, “Standard Test Method for Effect of Moisture and Temperature on Adhesive Bonds,” *Annual Book of ASTM Standard*, Vol. 15.06, pp. 64-65, 1995.

表 4-1 實驗室環境 / 10e-2 / S 之剪力強度試驗結果

試片編號	最大負載 ( kgf )	最大位移 ( mm )
S1	77.76	0.38
S2	79.61	0.55
S3	72.19	0.43
S4	75.00	0.38
S5	79.48	0.58
平均值	76.80	0.46

表 4-2 實驗室環境 / 10e-4 / S 之剪力強度試驗結果

試片編號	最大負載 ( kgf )	最大位移 ( mm )
S6	82.04	0.48
S7	84.22	0.46
S8	83.24	0.51
平均值	83.16	0.48

表 4-3 實驗室環境 /  $10e-2$  / N 之剪力強度試驗結果

試片編號	最大負載 ( kgf )	最大位移 ( mm )
N1	81.50	0.47
N2	74.05	0.36
N3	76.00	0.39
N4	78.13	0.38
平均值	77.42	0.40

表 4-4 實驗室環境 /  $10e-4$  / N 之剪力強度試驗結果

試片編號	最大負載 ( kgf )	最大位移 ( mm )
N5	85.02	0.47
N6	80.17	0.43
N7	87.82	0.61
N8	86.26	0.52
平均值	84.81	0.50

表 4-5 25 / 60%RH / 10e-2 / S 之剪力強度試驗結果

試片編號	最大負載 ( kgf )	最大位移 ( mm )
S9	53.74	0.33
S10	53.76	0.35
S11	54.22	0.32
S12	50.79	0.35
S13	49.73	0.30
平均值	52.44	0.33

表 4-6 25 / 60%RH / 10e-4 / S 之剪力強度試驗結果

試片編號	最大負載 ( kgf )	最大位移 ( mm )
S14	59.26	0.37
S15	51.10	0.32
S16	51.42	0.28
S17	54.41	0.36
S18	48.24	0.31

平均值	52.88	0.33
-----	-------	------

表 4-7 25 / 60%RH / 10e-2 / N 之剪力強度試驗結果

試片編號	最大負載 ( kgf )	最大位移 ( mm )
N9	59.32	0.45
N10	61.91	0.51
N11	52.07	0.41
平均值	57.76	0.46

表 4-8 25 / 60%RH / 10e-4 / N 之剪力強度試驗結果

試片編號	最大負載 ( kgf )	最大位移 ( mm )
N12	66.91	0.42
N13	61.31	0.35
N14	57.38	0.34
N15	60.66	0.40
平均值	61.56	0.38

表 4-9 25 / 95%RH / 10e-2 / S 之剪力強度試驗結果

試片編號	最大負載 ( kgf )	最大位移 ( mm )
S19	44.62	0.29
S20	43.14	0.33
S21	43.88	0.34
S22	49.60	0.26
S23	42.20	0.28
平均值	44.68	0.30

表 4-10 25 / 95%RH / 10e-4 / S 之剪力強度試驗結果

試片編號	最大負載 ( kgf )	最大位移 ( mm )
S24	44.52	0.31
S25	50.27	0.30
S26	50.75	0.26
S27	46.01	0.24
平均值	47.88	0.28



表 4-11 25 / 95%RH / 10e-2 / N 之剪力強度試驗結果

試片編號	最大負載 ( kgf )	最大位移 ( mm )
N16	62.20	0.50
N17	58.25	0.39
N18	62.82	0.43
N19	52.82	0.35
N20	60.44	0.37
平均值	59.38	0.41

表 4-12 25 / 95%RH / 10e-4 / N 之剪力強度試驗結果

試片編號	最大負載 ( kgf )	最大位移 ( mm )
N21	53.24	0.32
N22	54.89	0.37
N23	56.26	0.38
N24	53.03	0.29
N25	58.68	0.31

平均值	55.22	0.33
-----	-------	------

表 4-13 60 / 60%RH / 10e-2 / S 之剪力強度試驗結果

試片編號	最大負載 ( kgf )	最大位移 ( mm )
S28	47.31	0.24
S29	52.23	0.24
S30	43.43	0.20
S31	49.80	0.23
平均值	48.19	0.23

表 4-14 60 / 60%RH / 10e-4 / S 之剪力強度試驗結果

試片編號	最大負載 ( kgf )	最大位移 ( mm )
S32	51.43	0.28
S33	55.33	0.30
S34	51.73	0.26
S35	58.39	0.30
S36	44.06	0.25

平均值	52.18	0.28
-----	-------	------

表 4-15 60 / 60%RH / 10e-2 / N 之剪力強度試驗結果

試片編號	最大負載 ( kgf )	最大位移 ( mm )
N26	51.57	0.24
N27	52.41	0.28
N28	58.68	0.33
N29	55.94	0.30
N30	51.95	0.27
平均值	54.11	0.28

表 4-16 60 / 60%RH / 10e-4 / N 之剪力強度試驗結果

試片編號	最大負載 ( kgf )	最大位移 ( mm )
N31	63.48	0.30
N32	69.42	0.35
N33	62.87	0.31
N34	56.41	0.44
N35	63.10	0.24

平均值	63.05	0.33
-----	-------	------

表 4-17 60 / 95%RH / 10e-2 / S 之剪力強度試驗結果

試片編號	最大負載 ( kgf )	最大位移 ( mm )
S37	35.51	0.28
S38	41.00	0.23
S39	37.44	0.37
S40	43.32	0.25
平均值	39.31	0.28

表 4-18 60 / 95%RH / 10e-4 / S 之剪力強度試驗結果

試片編號	最大負載 ( kgf )	最大位移 ( mm )
S41	38.71	0.18
S42	43.53	0.21
S43	35.56	0.17
平均值	39.26	0.18

表 4-19 60 / 95%RH / 10e-2 / N 之剪力強度試驗結果

試片編號	最大負載 ( kgf )	最大位移 ( mm )
N36	54.77	0.35
N37	55.85	0.32
N38	52.33	0.28
N39	59.47	0.47
平均值	55.60	0.36

表 4-20 60 / 95%RH / 10e-4 / N 之剪力強度試驗結果

試片編號	最大負載 ( kgf )	最大位移 ( mm )
N40	61.10	0.43
N41	63.64	0.44
N42	67.04	0.42
N43	60.82	0.38
平均值	63.15	0.42

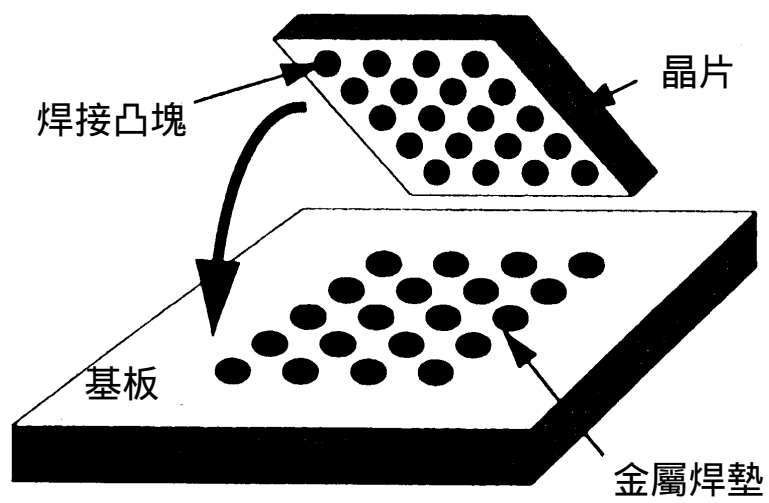


圖 1-1 覆晶[1]

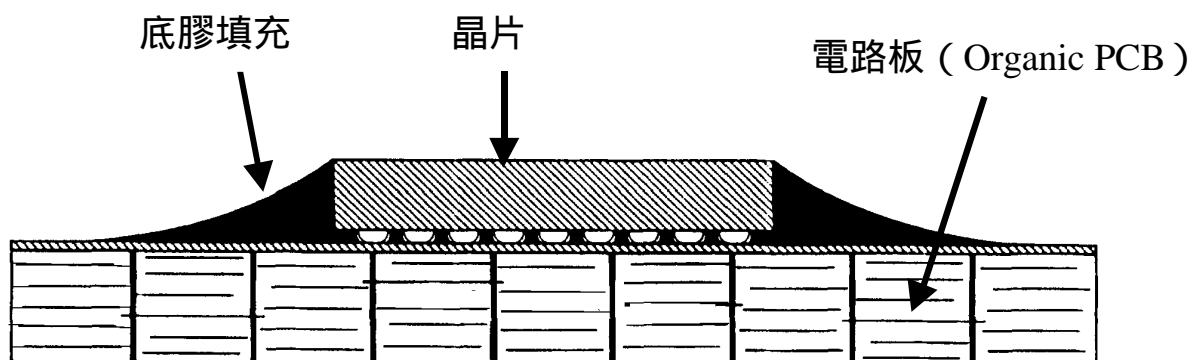


圖 1-2 覆晶側視圖[1]

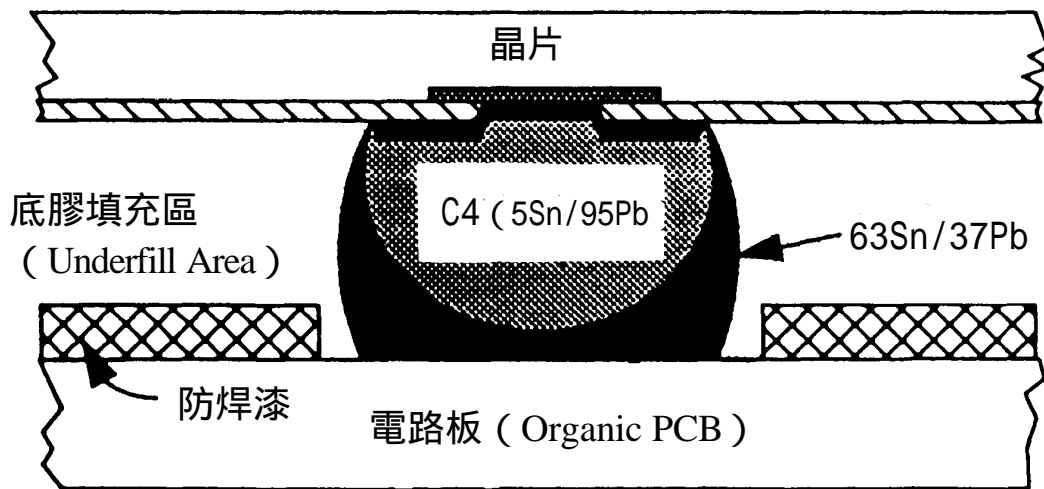


圖 2-1 覆晶焊點側視圖[1]

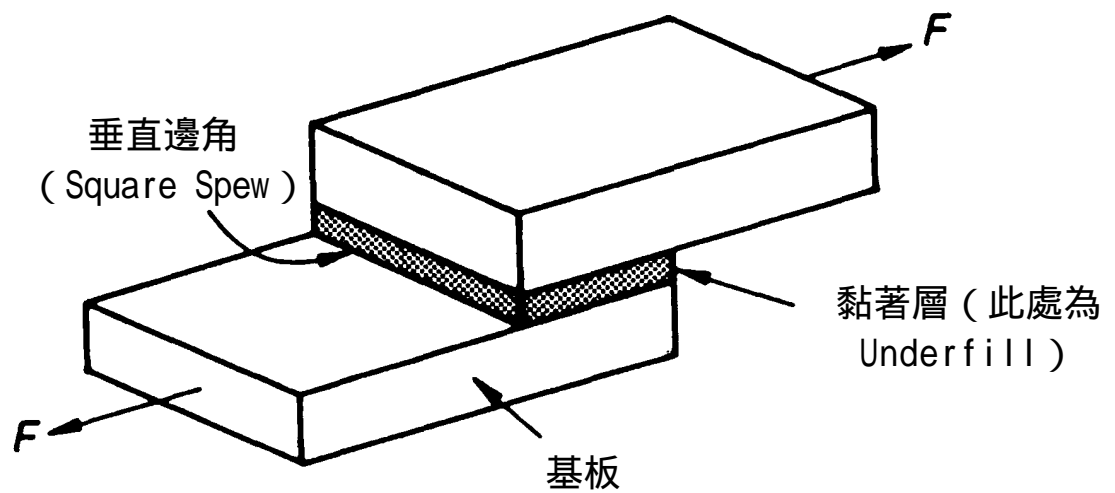


圖 2-2 垂直邊角之 Lap Shear 圖[24]

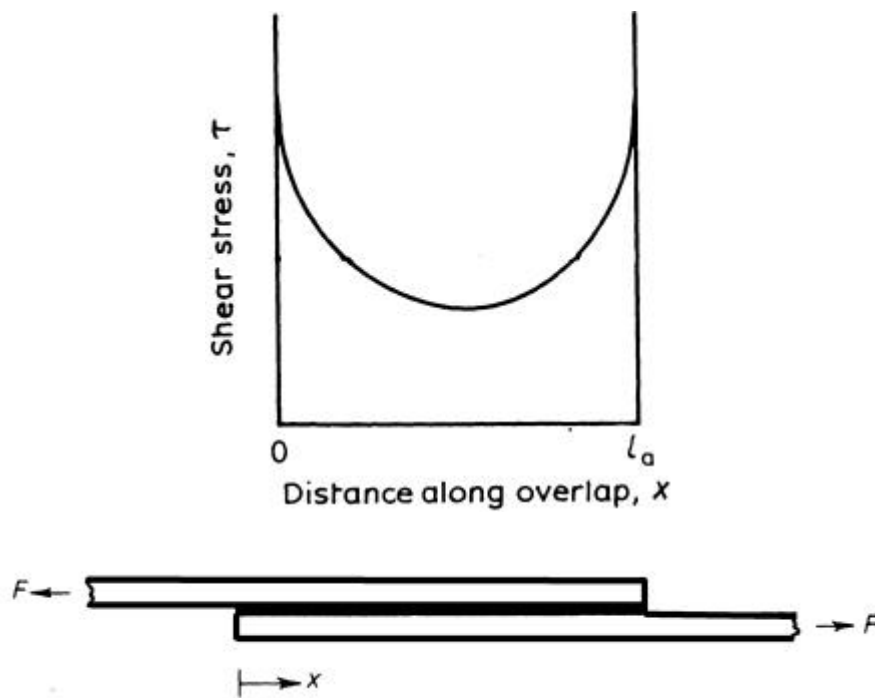


圖 2-3 彈性行為之 Lap Shear  
應力分佈圖[24]

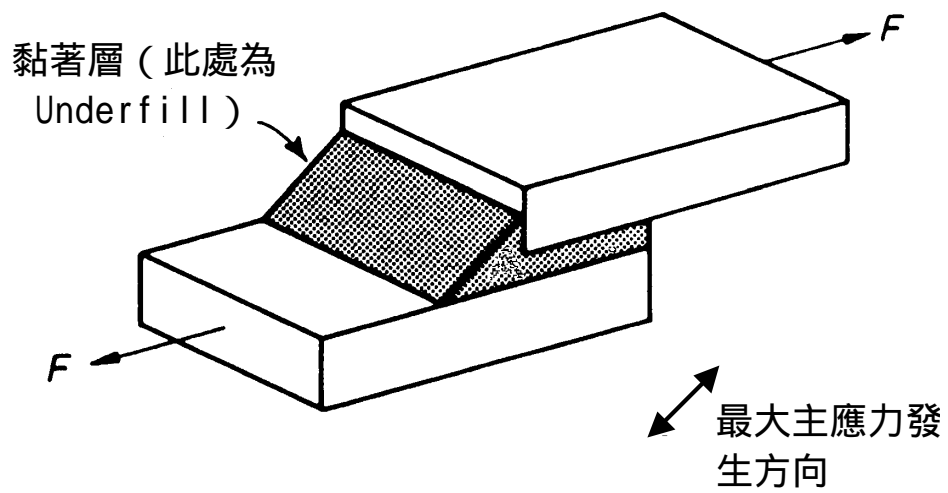


圖 2-4 含 Fillet 之 Lap Shear 圖[24]

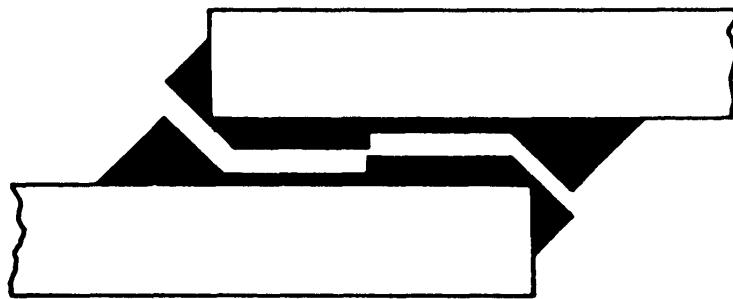


圖 2-5 Lap Shear 之剪力破壞側視圖[24]

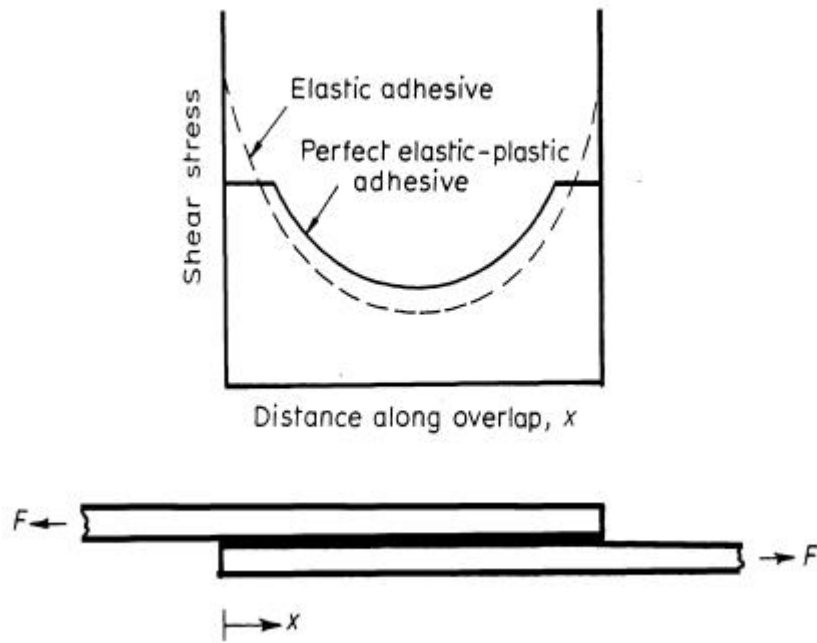


圖 2-6 彈-塑性行為之 Lap Shear 應力分佈圖[24]

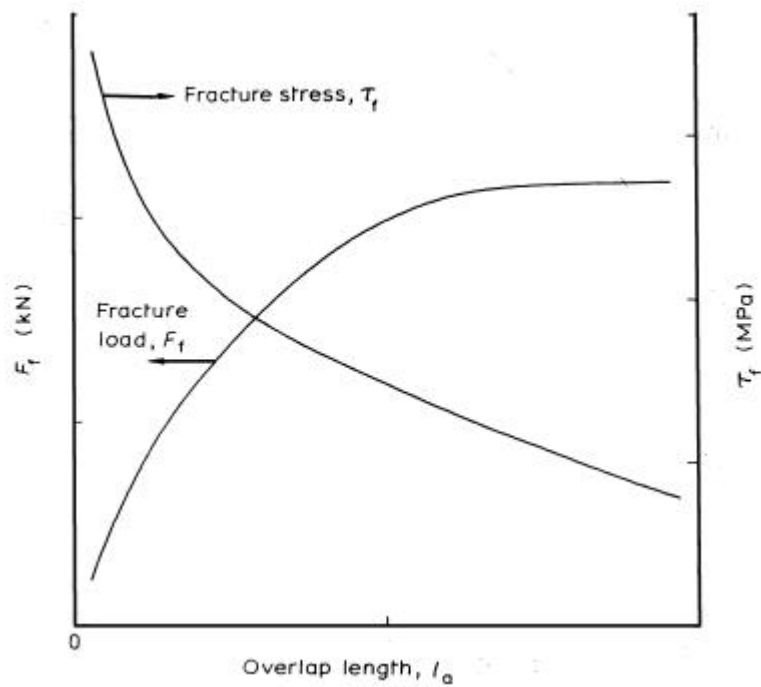


圖 2-7 Overlap 長度與應力關係圖[24]

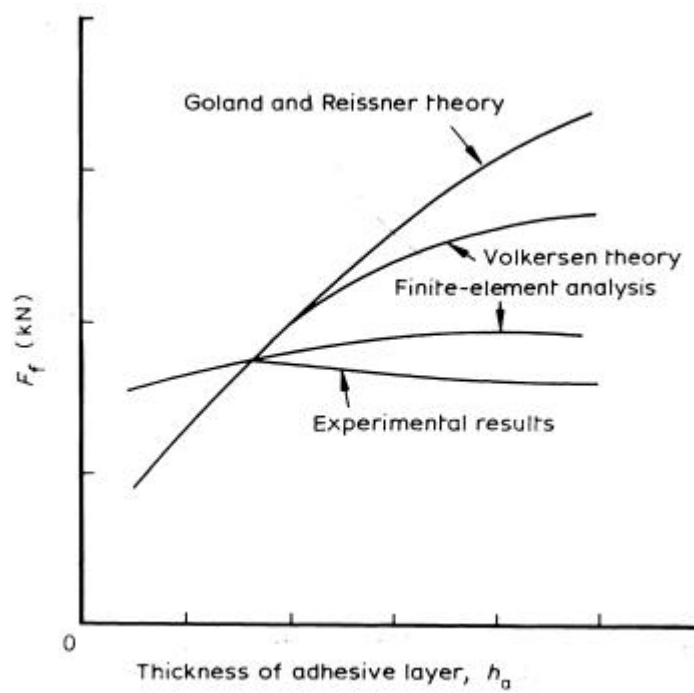
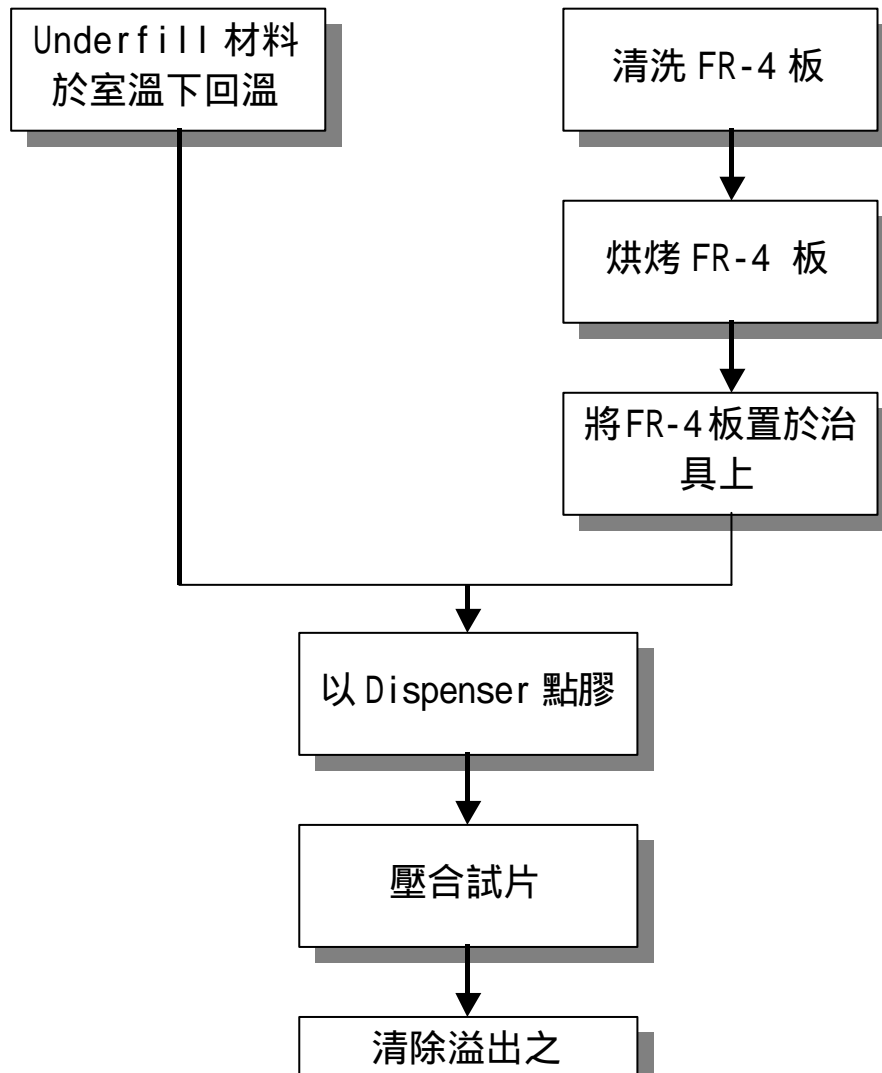
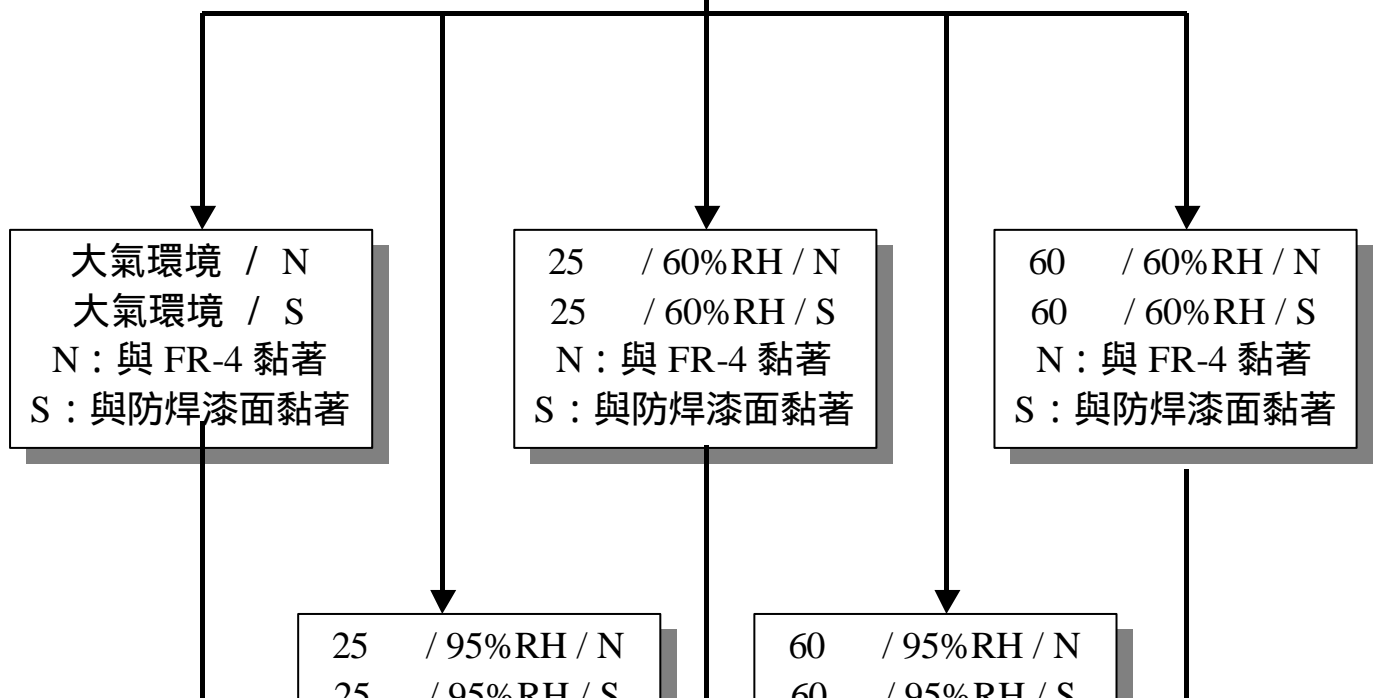


圖 2-8 Overlap 厚度與應力關係圖[24]



Underfill Adhesion Test  
Specimens



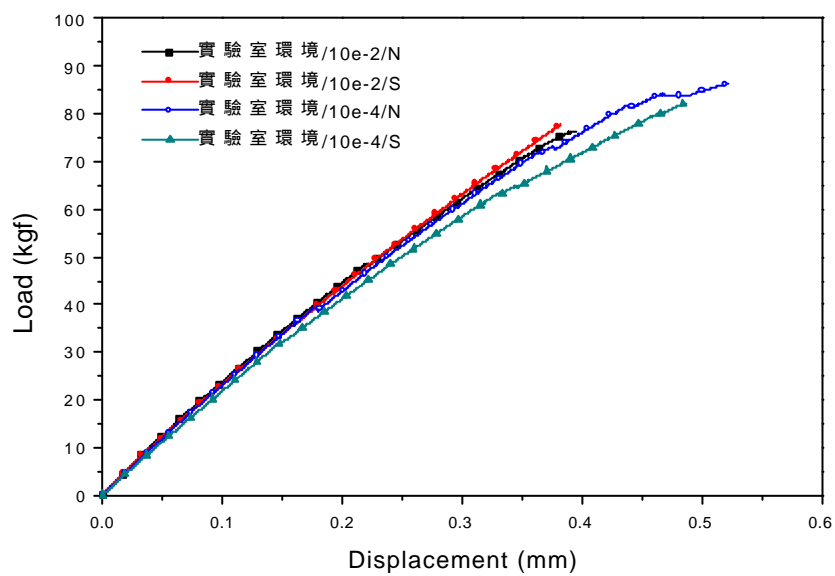


圖 4-1 實驗室環境下，不同夾頭速率（ $10^{-2}$  mm/sec； $10^{-4}$  mm/sec），不同黏著介面（N：與 FR-4 面黏著；S：與防焊漆面黏著）之力量對位移圖

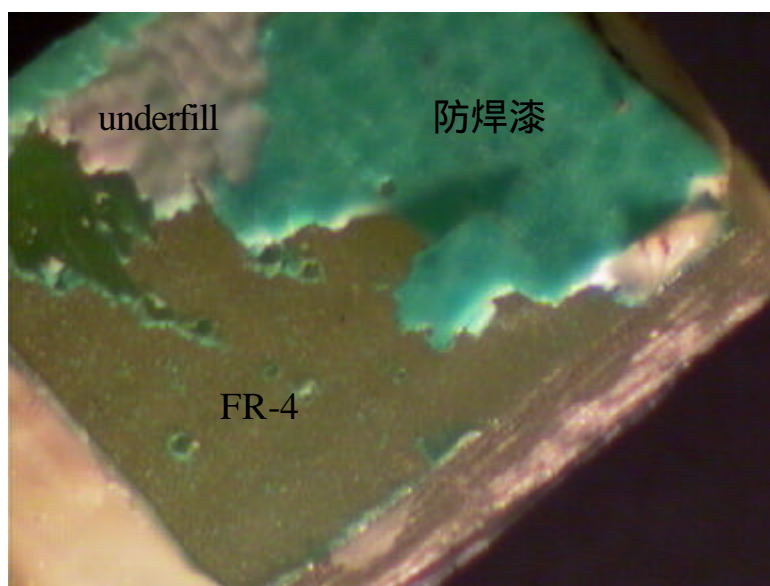


圖 4-2 實驗室環境 / 10e-2 / S 之試片斷面圖

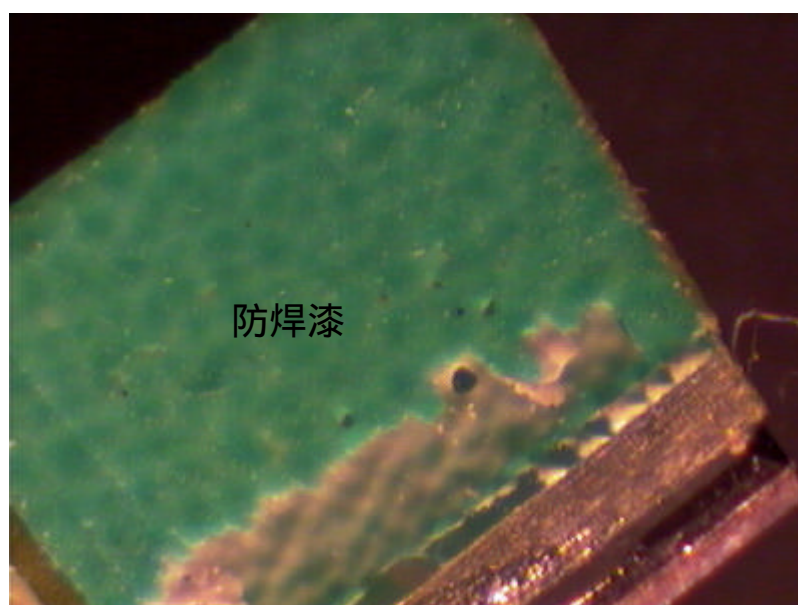


圖 4-3 實驗室環境 / 10e-4 / S 之試片斷面圖

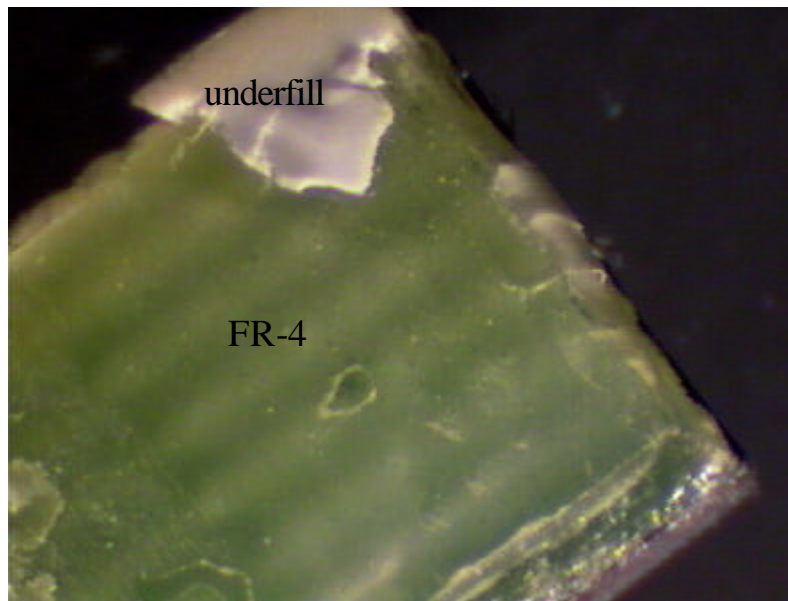


圖 4-4 實驗室環境 /  $10e-2 / N$  之試片斷面圖

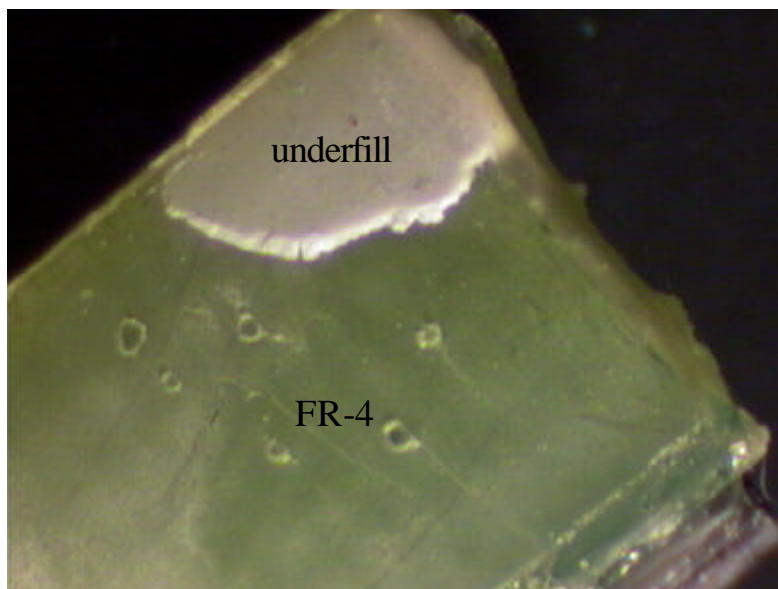


圖 4-5 實驗室環境 /  $10e-4 / N$  之試片斷面圖

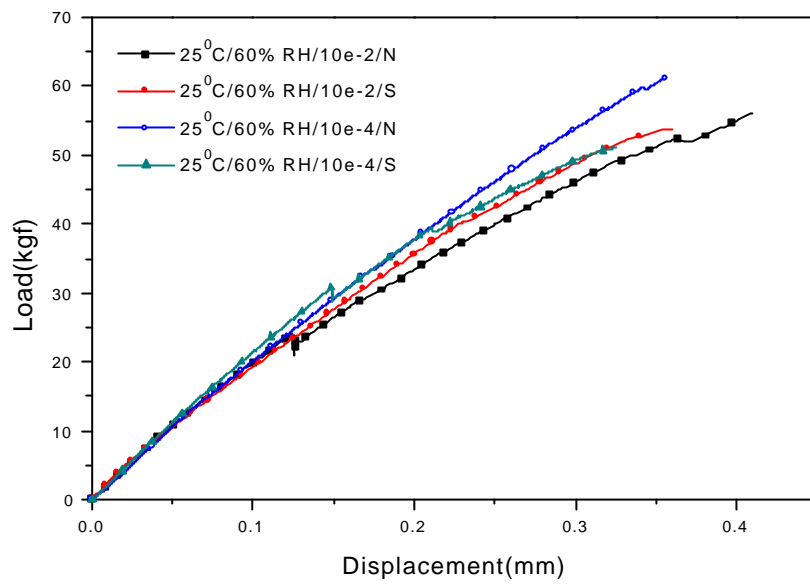


圖 4-6 25<sup>0</sup>C, 60%RH, 不同夾頭速率 (  $10^{-2}$  mm/sec ;  $10^{-4}$  mm/sec ), 不同黏著介面 ( N : 與 FR-4 面黏著 ; S : 與防焊漆面黏著 ) 之力量對位移圖

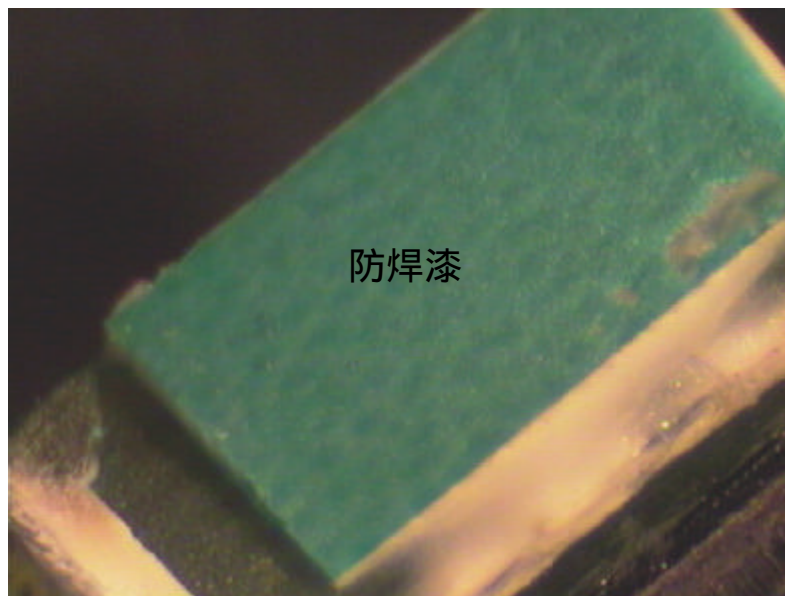


圖 4-7 25<sup>0</sup>C / 60%RH / 10e-2 / S 之試片斷面圖

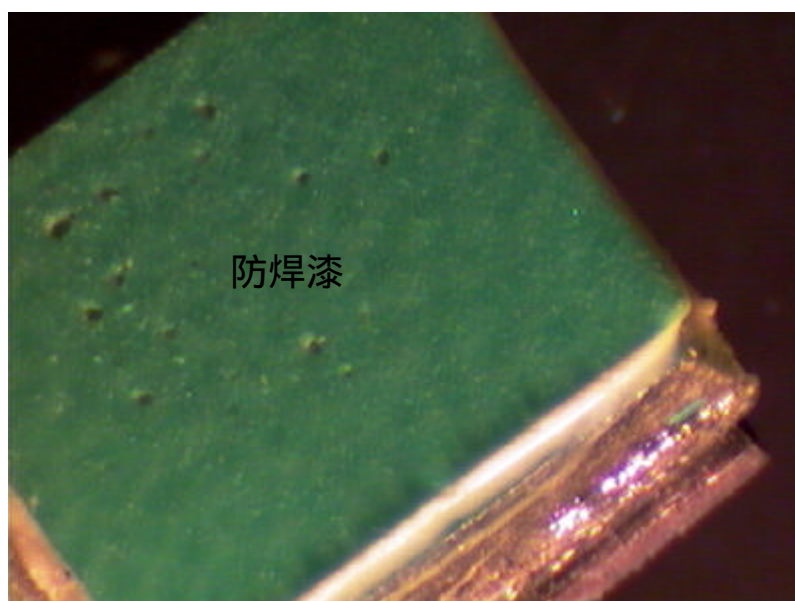


圖 4-8 25 / 60%RH / 10e-4 / S 之試片斷面圖

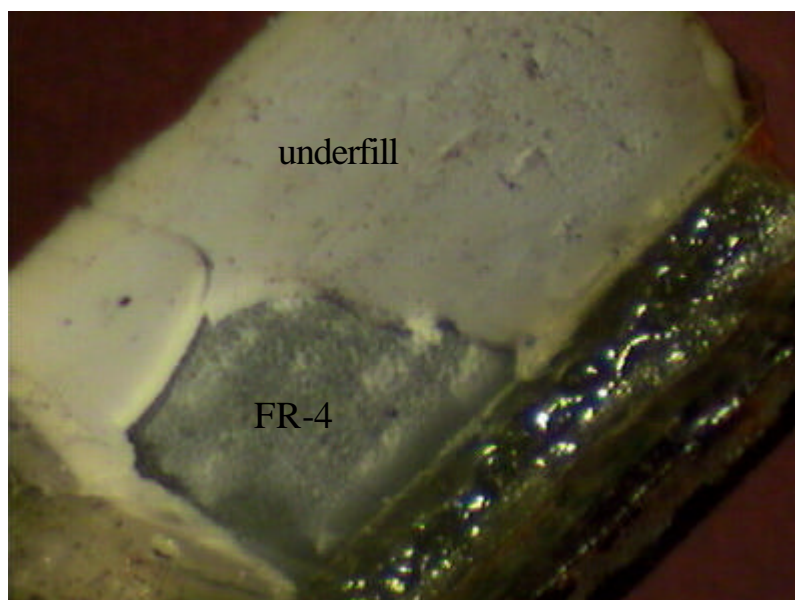


圖 4-9 25 / 60%RH / 10e-2/ N 之試片斷面圖

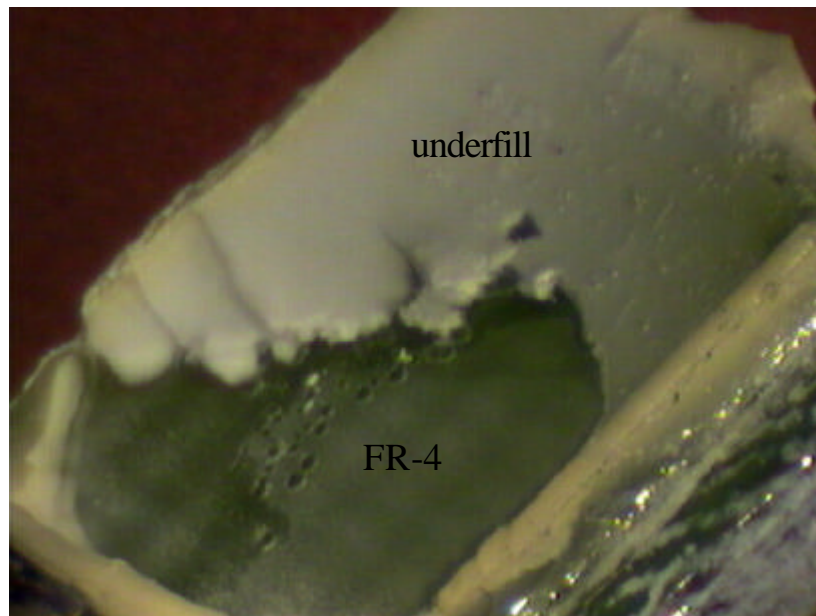


圖 4-10 25 / 60%RH /  $10^{-4}$  / N 之試片斷面圖

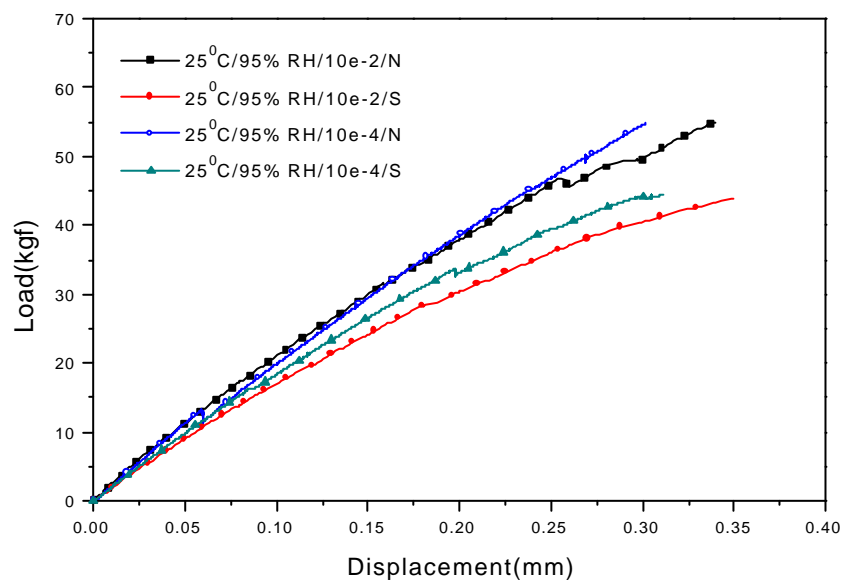


圖 4-11 25 , 95%RH, 不同夾頭速率(  $10^{-2}$  mm/sec ;  $10^{-4}$  mm/sec ), 不同黏著介面 ( N : 與 FR-4 面黏著 ; S : 與防焊漆面黏著 ) 之力量對位移圖

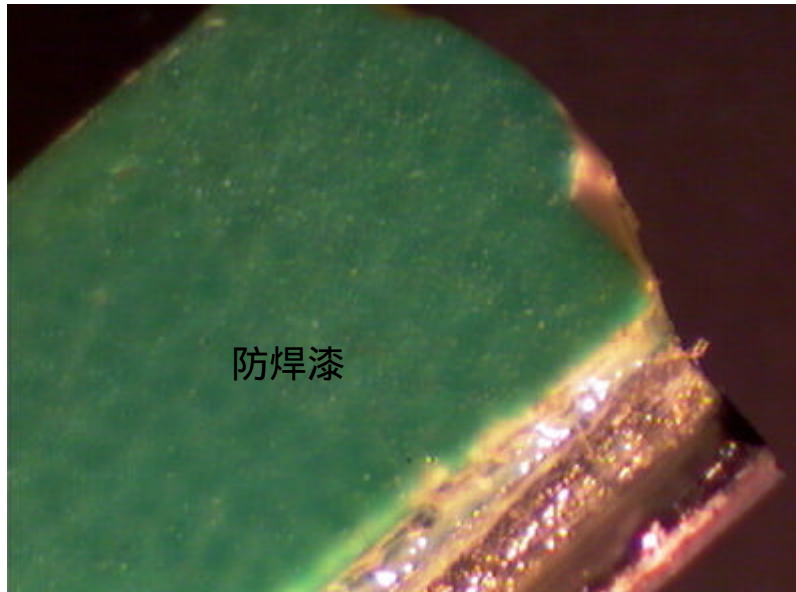


圖 4-12 25 / 95%RH / 10e-2/ S 之試片斷面圖

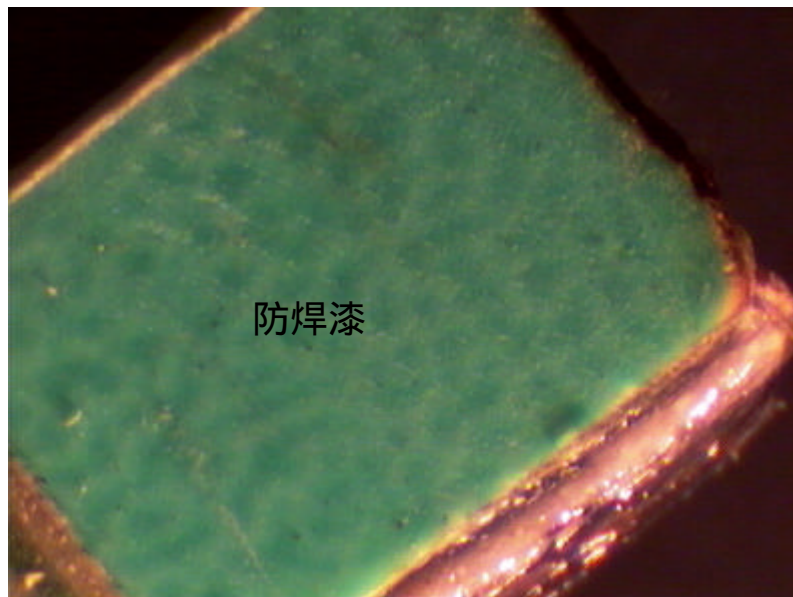


圖 4-13 25 / 95%RH / 10e-4 / S 之試片斷面圖

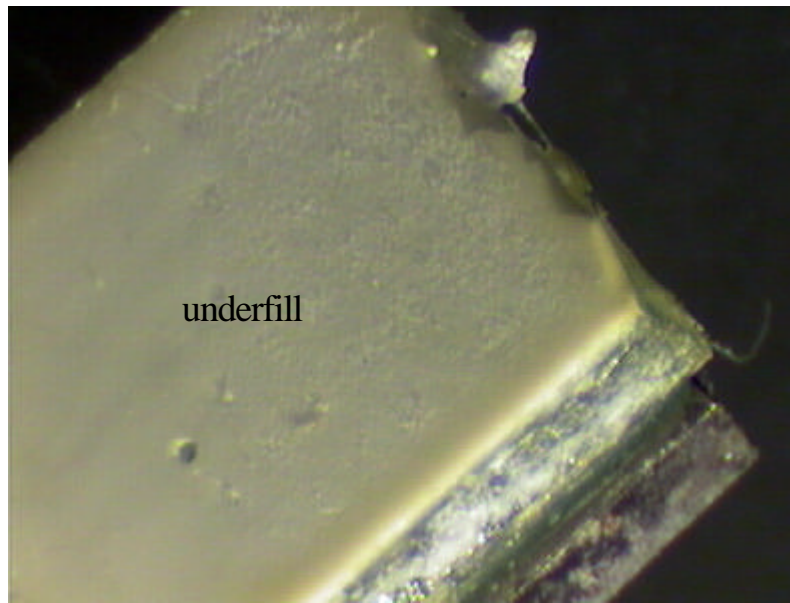


圖 4-14 25 / 95%RH /  $10e-2$ / N 之試片斷面圖

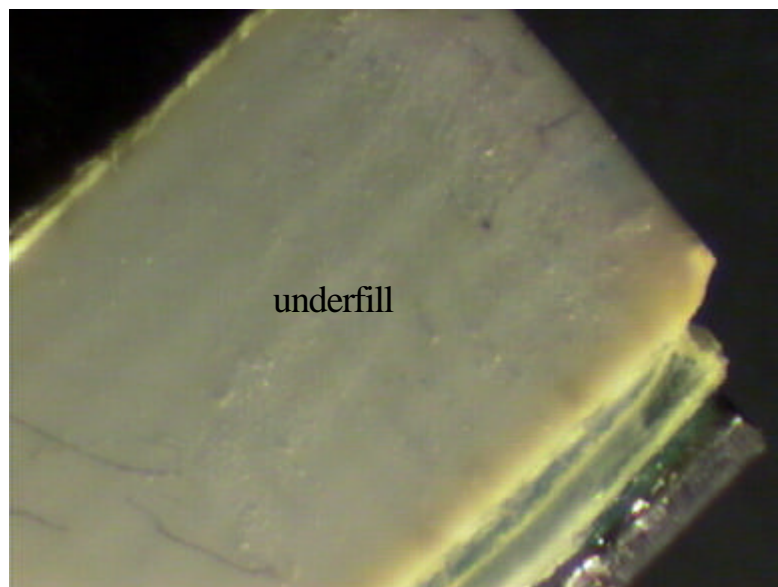


圖 4-15 25 / 95%RH /  $10e-4$ / N 之試片斷面圖

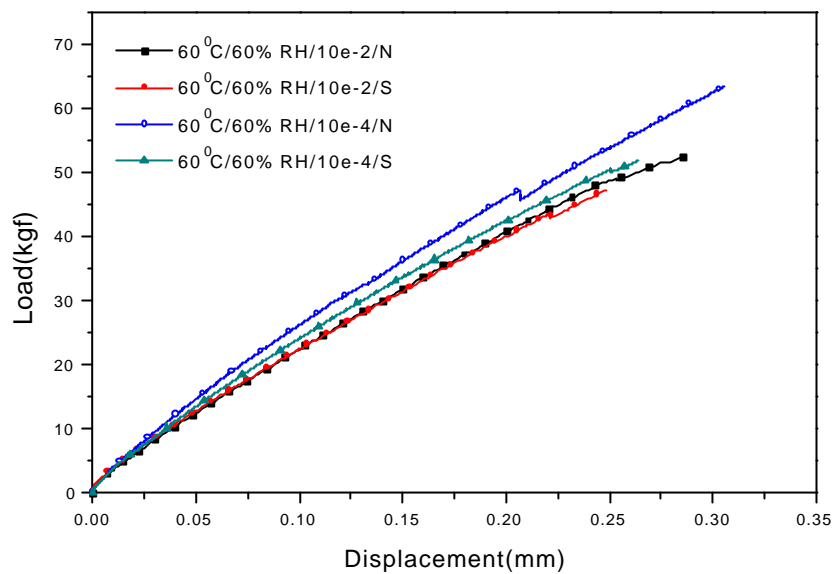


圖 4-16 60<sup>0</sup>C, 60%RH, 不同夾頭速率(  $10^{-2}$  mm/sec ;  $10^{-4}$  mm/sec ), 不同黏著介面 ( N : 與 FR-4 面黏著 ; S : 與防焊漆面黏著 ) 之力量對位移圖

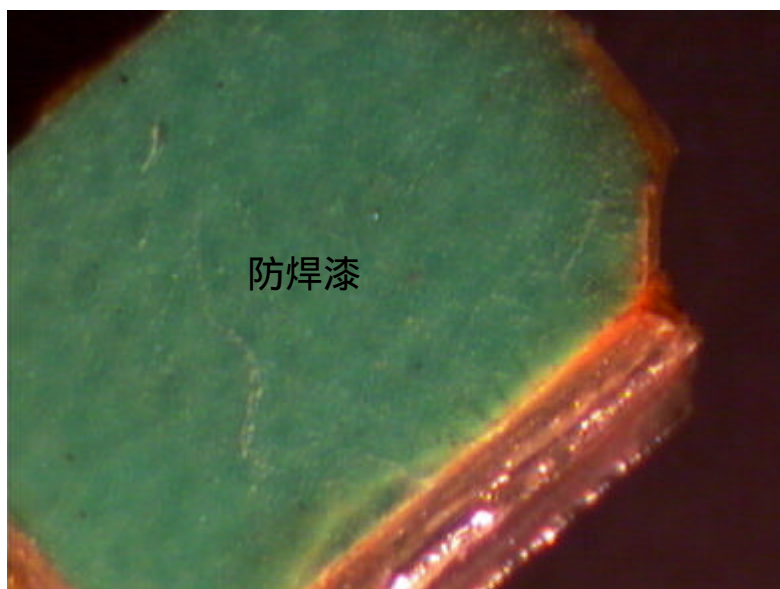


圖 4-17 60<sup>0</sup>C / 60%RH / 10e-2/ S 之試片斷面圖

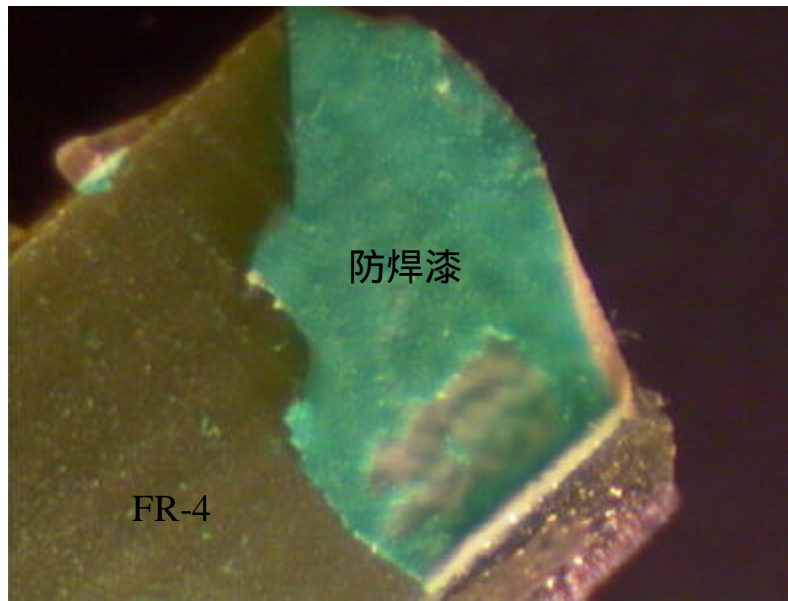


圖 4-18 60 / 60%RH / 10e-4/ S 之試片斷面圖

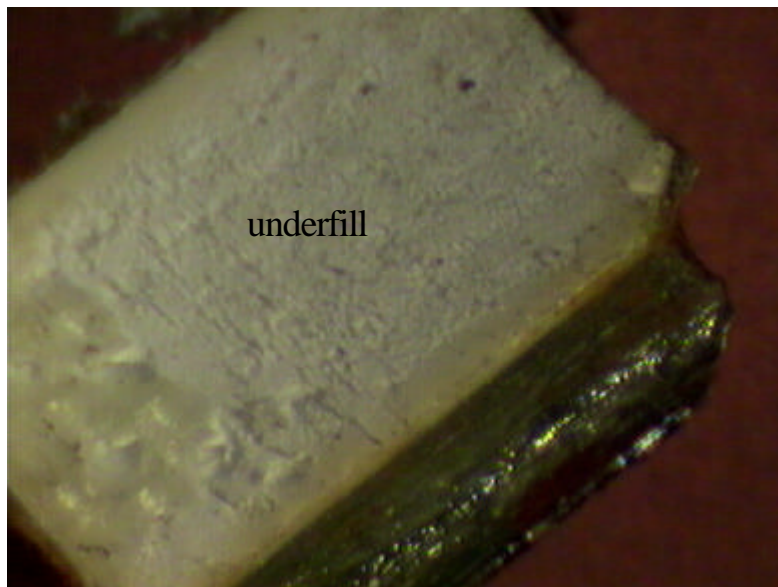


圖 4-19 60 / 60%RH / 10e-2 / N 之試片斷面圖

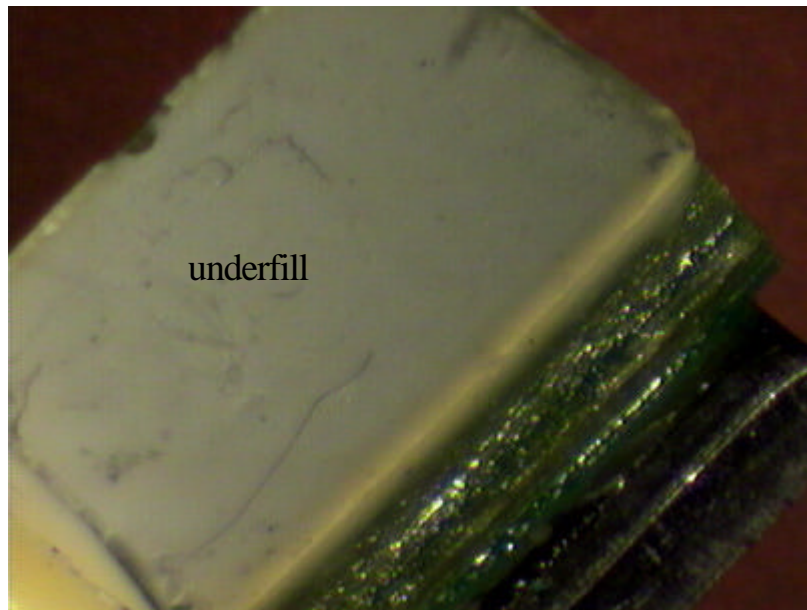


圖 4-20 60 / 60%RH /  $10^{-4}$  / N 之試片斷面圖

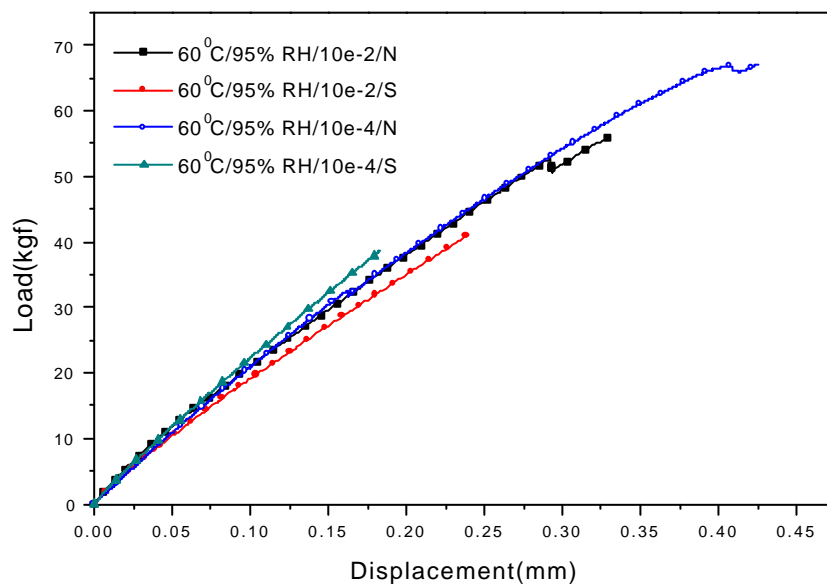


圖 4-21 60 , 95%RH, 不同夾頭速率(  $10^{-2}$  mm/sec ;  $10^{-4}$  mm/sec ), 不同黏著介面 ( N : 與 FR-4 面黏著 ; S : 與防焊漆面黏著 ) 之力量對位移圖

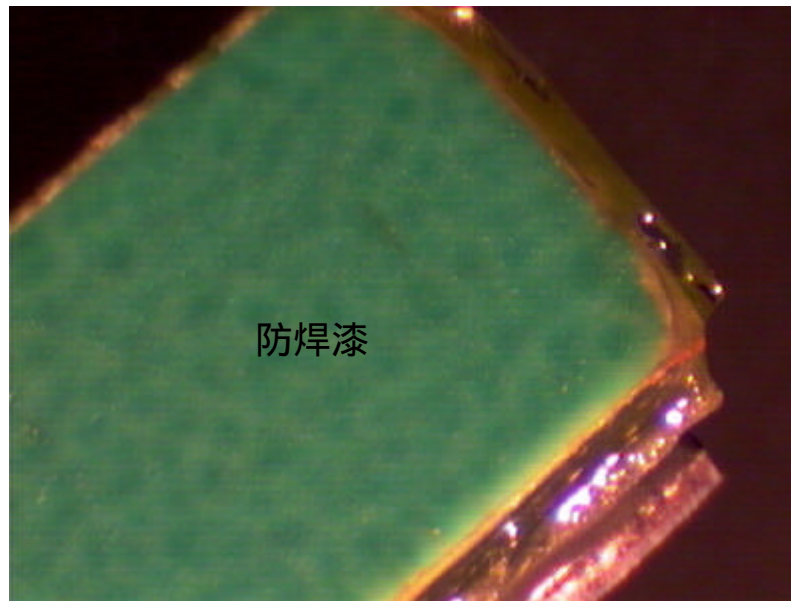


圖 4-22 60 / 95%RH / 10e-2/ S 之試片斷面圖

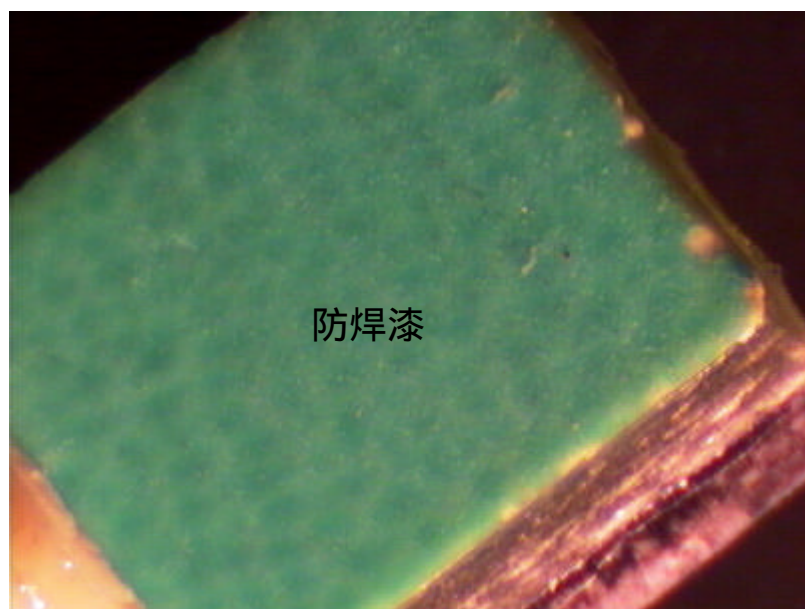


圖 4-23 60 / 95%RH / 10e-4/ S 之試片斷面圖

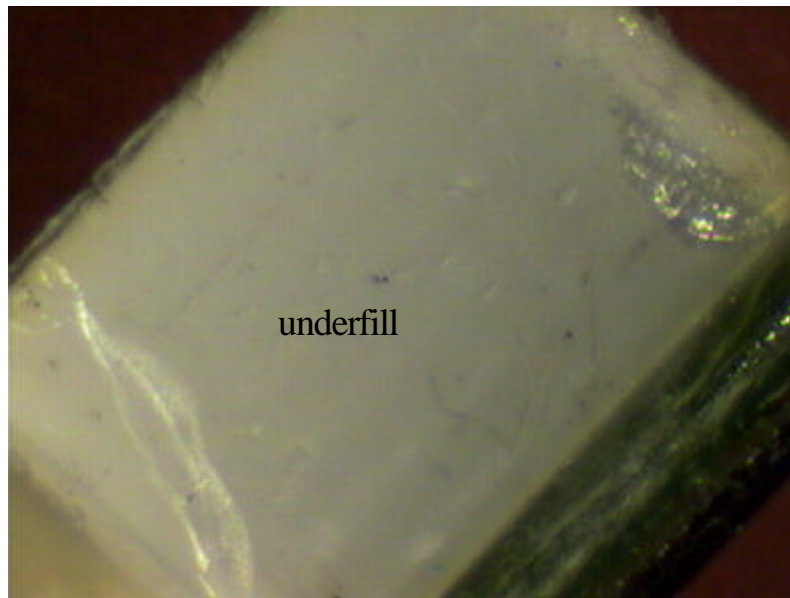


圖 4-24 60 / 95%RH /  $10e-2$  / N 之試片斷面圖

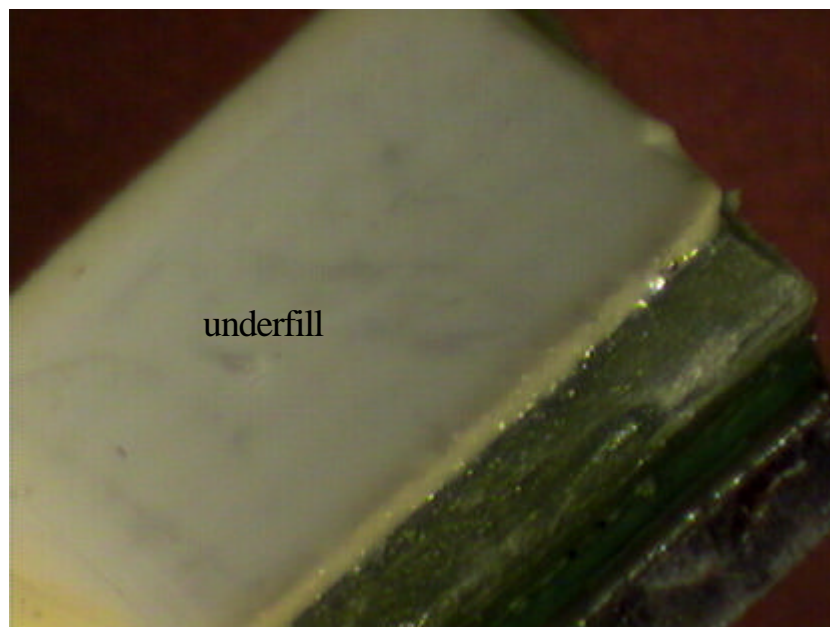


圖 4-25 60 / 95%RH /  $10e-4$  / N 之試片斷面圖

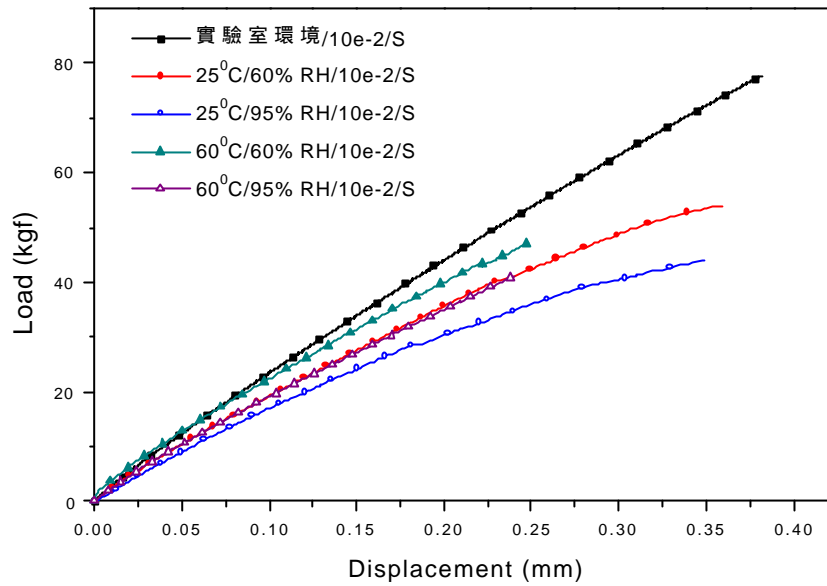


圖 4-26 相同夾頭速率 ( $10^{-2}$  mm/sec), 相同黏著介面 (S: 與防焊漆面黏著) 不同測試環境之力量對位移圖

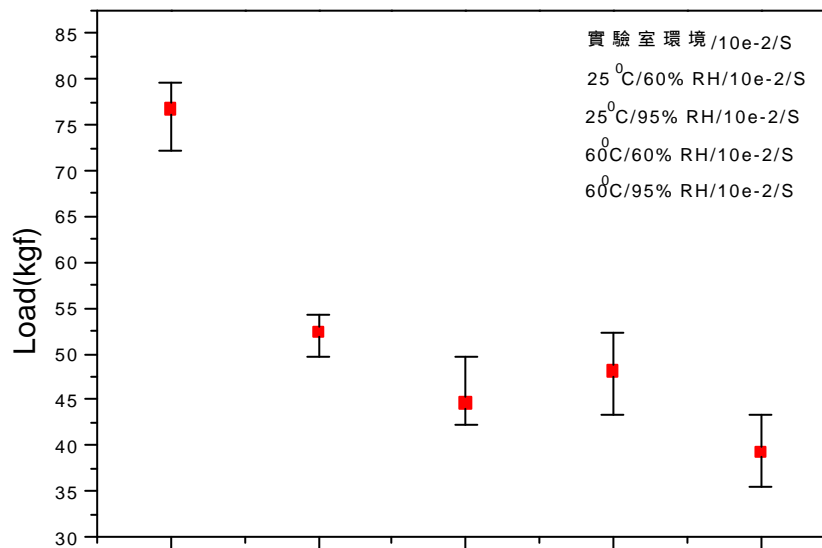


圖 4-27 相同夾頭速率 ( $10^{-2}$  mm/sec), 相同黏著介面 (S: 與防焊漆面黏著) 不同測試環境之平均負載比較圖

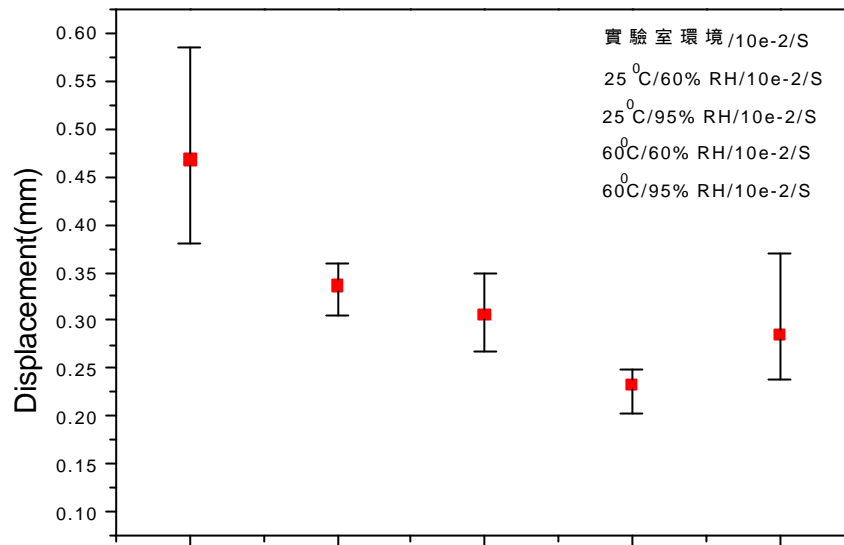


圖 4-28 相同夾頭速率 ( $10^{-2}$  mm/sec), 相同黏著介面 (S: 與防焊漆面黏著) 不同測試環境之平均位移比較圖

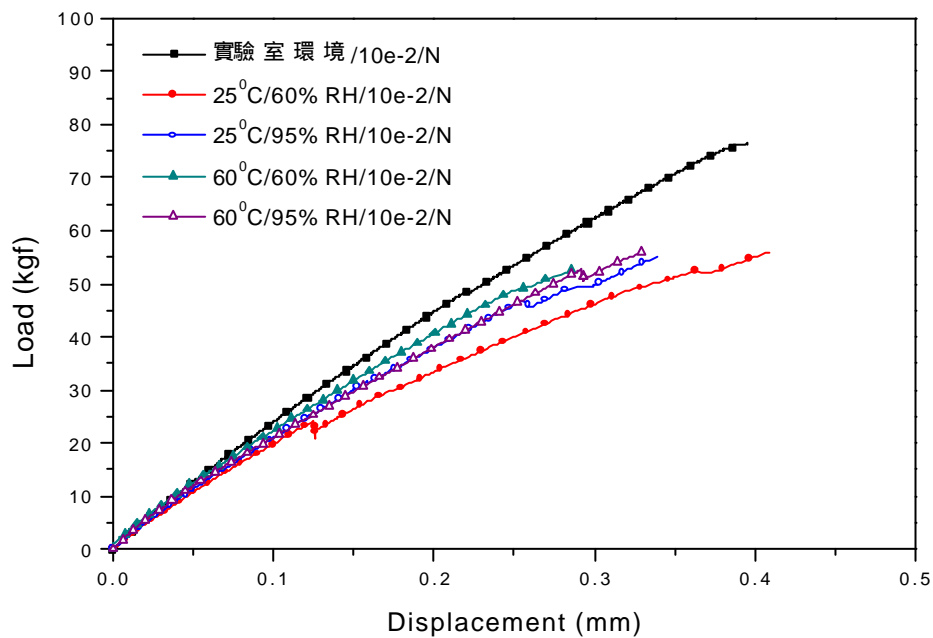


圖 4-29 相同夾頭速率 ( $10^{-2}$  mm/sec), 相同黏著介面 (N: 與 FR-4 面黏著) 不同測試環境之力量對位移圖

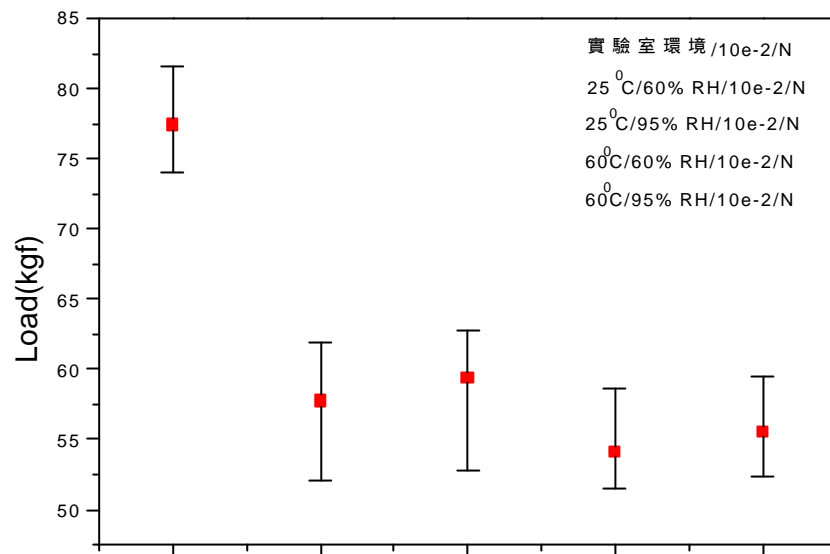


圖 4 - 30 相同夾頭速率 (  $10^{-2}$  mm/sec ), 相同黏著介面 ( N : 與 FR-4 面黏著 ) 不同測試環境之平均負載比較圖

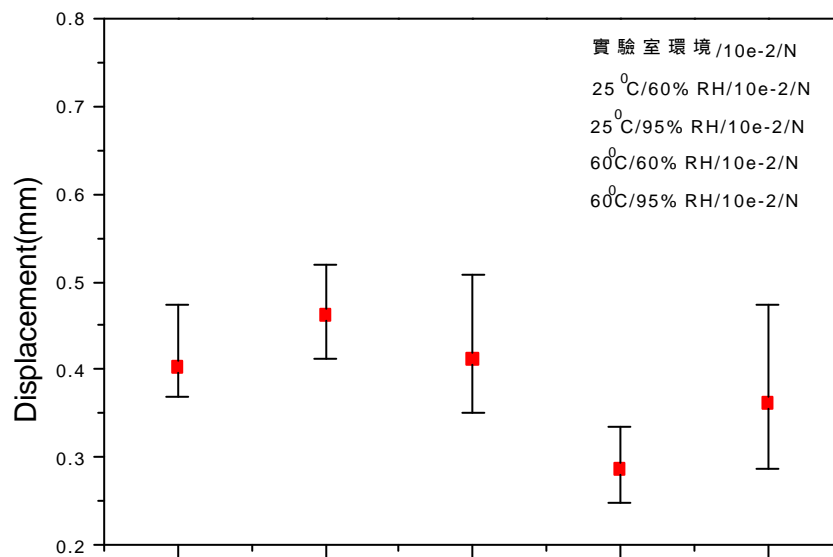


圖 4 - 31 相同夾頭速率 (  $10^{-2}$  mm/sec ), 相同黏著介面 ( N : 與 FR-4 面黏著 ) 不同測試環境之平均位移比較圖

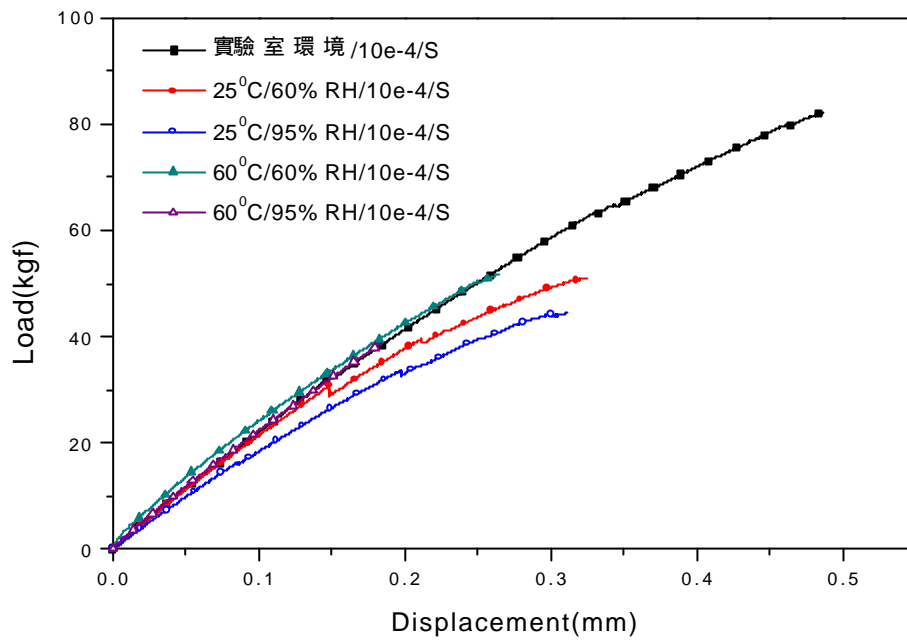


圖 4 - 32 相同夾頭速率 ( $10^{-4}$  mm/sec ), 相同黏著介面 ( S : 與防焊漆面黏著 ) 不同測試環境之力量對位移圖

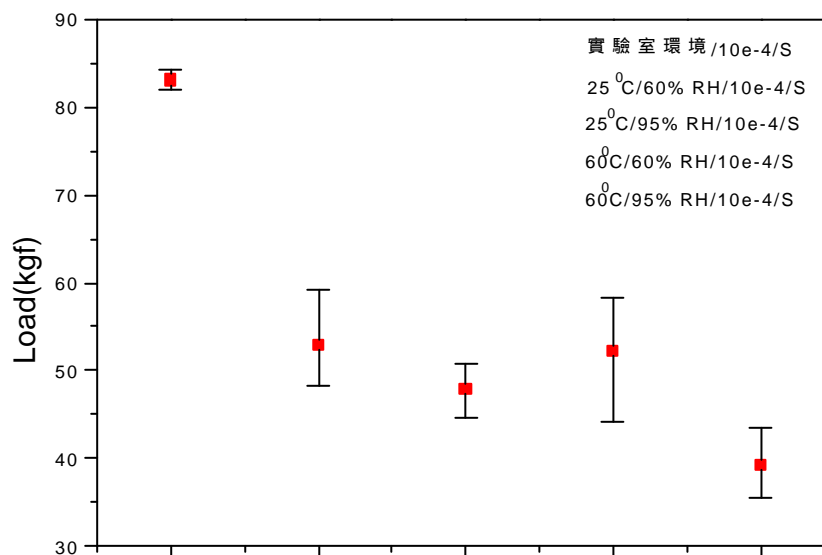


圖 4 - 33 相同夾頭速率 ( $10^{-4}$  mm/sec ), 相同黏著介面 ( S : 與防焊漆面黏著 ) 不同測試環境之平均負載比較圖

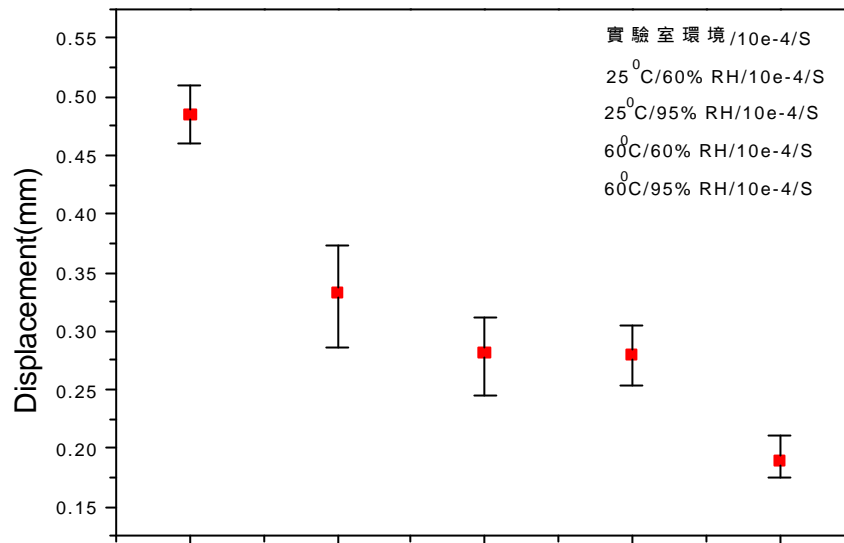


圖 4 - 34 相同夾頭速率 ( $10^{-4}$  mm/sec ), 相同黏著介面 ( S : 與防焊漆面黏著 ) 不同測試環境之平均位移比較圖

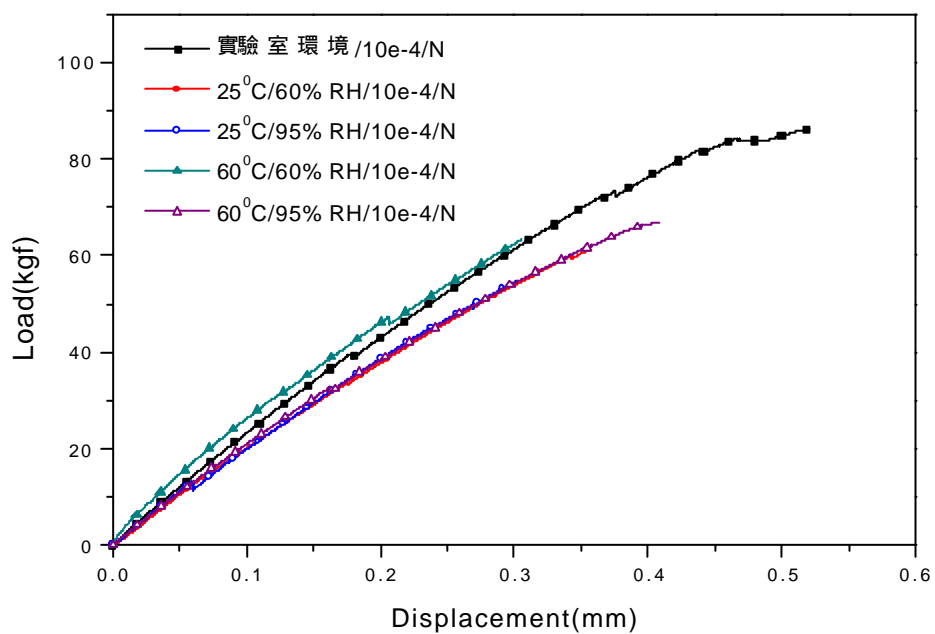


圖 4 - 35 相同夾頭速率 ( $10^{-4}$  mm/sec ), 相同黏著介面 ( N : 與 FR-4 面黏著 ) 不同測試環境之力量對位移圖

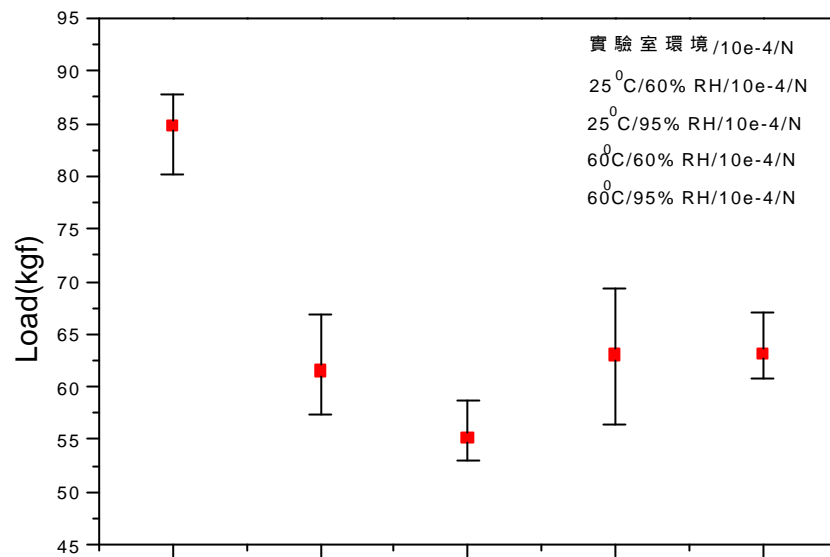


圖 4 - 36 相同夾頭速率 (  $10^{-4}$  mm/sec ), 相同黏著介面 ( N : 與 FR-4 面黏著 ) 不同測試環境之平均負載比較圖

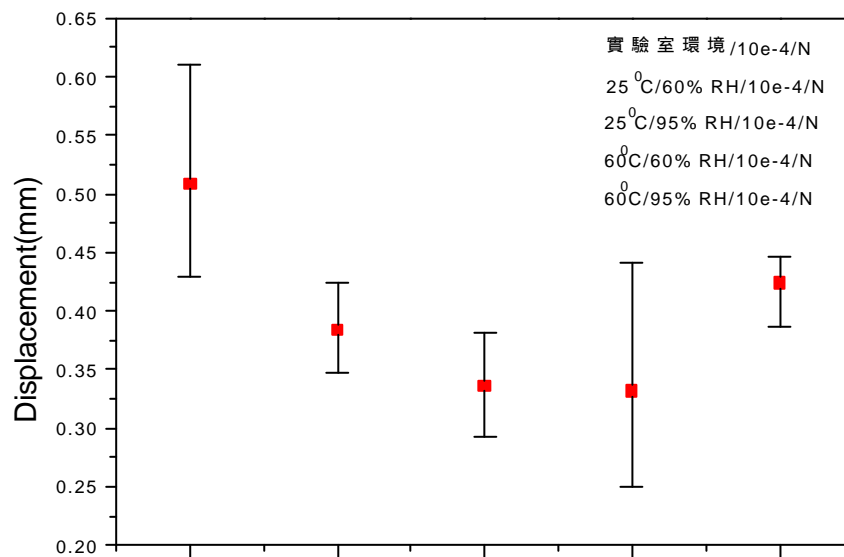


圖 4 - 37 相同夾頭速率 (  $10^{-4}$  mm/sec ), 相同黏著介面 ( N : 與 FR-4 面黏著 ) 不同測試環境之平均位移比較圖

