



# 用於先進電子構裝之新型熱融矽膠材料

## Novel Silicone Hotmelt Solutions for Electronic Components

陳翔銓 H. C. Chen

台灣陶氏化學 微電子與消費性電子部門

Microelectronics and Consumer Electronics, Dow Chemical Taiwan

### 摘要/Abstract

隨著近幾年半導體封裝技術發展，晶片厚度越來越薄，利用扇出型封裝整合技術而加大封裝面積，導致嚴重的翹曲問題，進而影響晶片電性傳遞或造成晶片破裂等問題。研究發現，封裝體翹曲問題來自於各種封裝材料熱膨脹係數的不同，在加熱流程中產生熱應力所導致。為改善此問題，選擇低應力或低模量的封裝材料為其中的解決方法，在各種封裝材料中，矽膠即為具有此特性的關鍵材料。因應此需求，本文將提及三種新型熱融矽膠，其中包含熱融型矽膠片(Silicone Hotmelt Film; SHF)、液態熱融矽膠(Silicone Hotmelt Cartridge; SHC)與錠狀熱融矽膠(Silicone Hotmelt Tablet; SHT)，分別適用於各種製程與應用。此新型熱融矽膠具有出色的應力耦合特性，能有效降低熱應力聚集，且因熱融性能對各種不同材質界面產生極佳的接著強度，大幅改善有機矽膠接著性較差的缺點，因此，這三款新型熱融矽膠不僅強化了有機矽膠的特性，也提供用於各種製程方式與應用，如：真空熱壓(Vacuum Lamination)製程、壓縮成型(Compression Molding)、轉注成型(Transfer Molding)等，開啓了有機矽膠在半導體封裝領域的新應用。

General trends in electronics include miniaturization of devices and simplification of the production process. As devices become smaller and thinner, encapsulant or adhesive is likely to be exposed to harsher conditions, i.e. higher temperature, resulting in severe warpage issue due to CTE mismatching among several package materials. In light of these trends, silicone is becoming more and more suitable, but current usage of conventional silicone products is limited because of its low modulus and product form (liquid or paste). The novel technologies described in this presentation such as Silicone Hotmelt Film (SHF) by vacuum lamination, Silicone Hotmelt Cartridge (SHC) by compression molding and Silicone Hotmelt Tablet (SHT) by transfer molding will offer outstanding properties of stress relaxation as well as adhesion strength to a variety of surfaces, that will break some of these barriers and open a door to utilize silicone in the applications of advanced semiconductor package where it has never been used before.

### 關鍵字/Keywords

矽膠(Silicone)、熱融(Hotmelt)、翹曲(Warpage)、熱應力(Thermal Stress)、熱膨脹係數(CTE)、真空熱壓合(Vacuum Lamination)、壓縮成型(Compression Molding)、轉注成型(Transfer Molding)



## 簡 介

有機矽膠(Silicone)主體由矽-氧鍵(O-Si-O)結構組成，側鏈則由矽原子與其他有機官能基接合，形成具有「有機功能」與「無機特性」的高分子。其主要特性為：

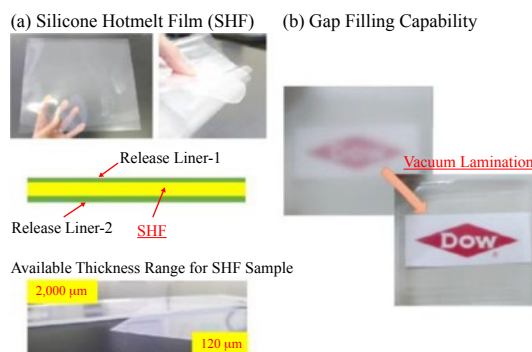
- ①耐溫性：因矽-氧鍵的鍵能大於其他有機物的碳-碳鍵(C-C Bond)，在高溫或輻射照射下，化學鍵不易被打斷。而且有機矽膠玻璃轉化溫度( $T_g$ )低於 $-40^\circ\text{C}$ ，所以不僅耐高溫也耐低溫，無論是化學性質或物理性能，都不易隨溫度變化，具有極佳的耐溫性；
- ②耐候性：除上述的耐溫性，有機矽膠也不易被紫外光和臭氧所分解，長時間照射紫外光不會有黃化的問題，故對於高信賴性需求的應用，如車用電子，或者嚴苛環境條件下使用，如太空環境，有機矽膠可謂為首選材料；
- ③防水性：有機矽膠的矽-氧鍵分子間作用力比碳氫化合物低，具疏水特性，表面張力與表面能低，故防水性佳；
- ④絕緣性：有機矽膠其介電常數、電阻係數皆高，且受溫度與頻率的影響小，故廣泛應用在電子、電氣領域上。綜合上述特性，有機矽膠已被大量使用於各種民生醫療用品與建築領域，而電子零組件中也常當作絕緣密封膠與接著膠使用。

隨電子元件趨於輕薄化，晶片越做越薄加上複雜的封裝技術，使得封裝體的應力管理成為關鍵的課題。而且近幾年在5G高頻元件的強烈需求下，除了散熱問題外，如何降低熱應力也是重要的課題之一。以往封裝常用的有機材料已不足以解決因熱應力造成的翹曲問題，而且對於信

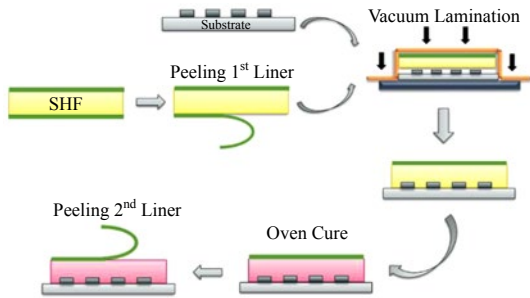
賴性的要求也越嚴苛，故有機矽膠逐漸受到重視。然而，有機矽膠因為熱膨脹係數大，往往被認為會因為熱膨脹係數的差異而導致嚴重的翹曲問題，其實不然，相反的因為其模量低，故受熱產生的整體熱應力相對低，反而能有效降低熱應力的問題。再者，傳統有機矽膠多為液態膠或膏，藉由點膠製程塗覆於基材表面，再以室溫存放或加熱方式固化，限制了其應用性。因此，本文將提出三款新型熱融矽膠，除了強化有機矽膠的特性外，也藉由不同製程方式，大幅提高其應用性。

## 熱融型矽膠片 (Silicone Hotmelt Film; SHF)

此熱融型矽膠片在室溫下為一片狀材料，兩側各有離型膜，如圖一所示。製程上利用熱壓加以真空排氣泡，來形成一保護層或接著層，適用於大面積晶片保護的應用。大面積的成型需考量與基板間熱膨脹係數的差異，且有些會使用軟板，若使用一般凝膠類材料，其模量雖夠低，但熱膨脹係數過

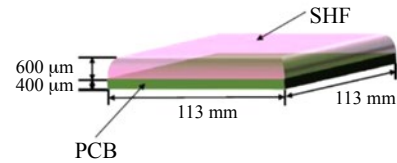


▲圖一 (a)熱融型矽膠片外觀，厚度為 $120\ \mu\text{m}$ ~ $2,000\ \mu\text{m}$ ；(b)壓合後具良好透光度



▲圖二 真空熱壓製程示意圖（單面保護層應用）

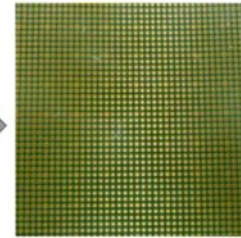
大，且硬度太低無法提供支撐與保護。另一方面，相較於其他成型製程，真空熱壓製程相對簡單且快速，能有效提高產能。真空熱壓製程如圖二，製程上顧名思義需加熱使其熔融成流動態，此時輔以抽真空除泡，同時使膠能順利填入晶片的間隙，再以壓力來控制形成厚度，並均勻施壓以達到厚度均一性。因其模量較高，固化後表面不具沾黏性，可當作單層保護層；或上下結合基板的中間黏著層。熱融型矽膠對於不同材料界面有良好的接著性，改善了傳統液態矽膠對於一些有機材質或金屬基板（如：金、銀、鎳等）接著較差的缺點，在冷熱循環測試下(-40°C/30 minutes ↔ 150°C/30 minutes)，結果顯示接著力並無顯著變化且無脆化剝落的現象，同時也維持了高穿透度，結果如圖三。另外，此材料具有極佳的應力耦合性，能有效降低熱應力以避免封裝翹曲的問題，如圖四實驗結果所示，相較於傳統液態有機矽膠，其模量與熱膨脹係數並無明顯差異，但在軟性聚醯亞胺(Polyimide; PI)薄膜上，固化後卻呈現不同的結果，由結果可知，熱融型矽



Molded Body of SHF and PCB (Before Thermal Cycle Test)



Molded Body of SHF and PCB (After Thermal Cycle Test)



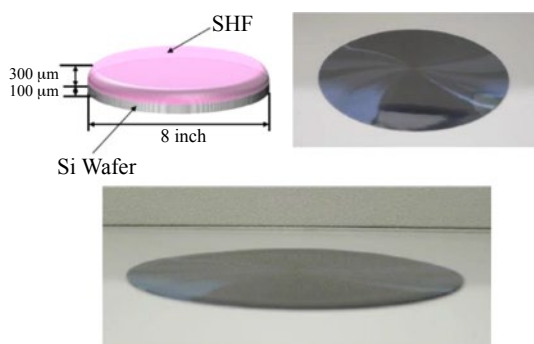
▲圖三 熱融型矽膠片熱壓於PCB板上，經冷熱衝擊試驗的結果

	Liquid Silicone-A	SHF
Tensile Modulus (MPa)	36	50
CTE (ppm/°C)	220	220

\*Encapsulation Thickness = 300 μm/Polyimide Film Thickness = 75 μm  
Encapsulation Area = 60 mm × 60 mm

▲圖四 熱融型矽膠片與傳統液態矽膠熱壓於聚醯亞胺薄膜的比較

膠能有效改善翹曲問題。而進一步也在厚度為100微米(μm)的8吋矽晶圓上做測試，經過100°C的真空熱壓製程，以及150°C高溫固化後，整體晶圓並無翹曲與變形，如圖五，表示此熱融型矽膠片符合材料與製程上的需求。再者，由於此材料也具有高透光度，故也能拓展到光學膜的應用，或當作Mini/Micro LED晶片保護層。由此得知，此新型熱融矽膠片不僅提供了一種快



▲圖五 熱融型矽膠片熱壓貼合於8吋晶圓

速穩定的製程方式，且能用於晶圓級封裝 (Wafer Level Package) 與大面積面板型封裝 (Panel Level Package) 或光學級LED晶片封裝，尤其是軟性基板的應用上。

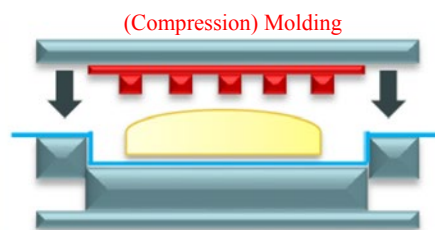
### 液態熱融矽膠 (Silicone Hotmelt Cartridge; SHC)

傳統熱融矽膠產品可提供瞬間黏著力與高黏著力的效果，常被用於需快速接著的電子元件應用，但最為人詬病的是固化後若再經過高溫處理，則會再次發生熔融反應，衍生出耐溫性不佳的問題。此新型液態熱融膠除了解決上述因高溫再次熔融的問題，也依照對軟性成型材料的需求調

整配方，強化應力耦合的能力，以達到材料與製程上的要求。如前所述，環氧樹脂因硬度與模量高，為目前最普遍的成型材料，但針對軟性成型材料或軟性基板的應用，則不適用硬度高的環氧類有機材料，進而研發出此液態熱融矽膠。製程上需加熱膠管至 $100^{\circ}\text{C}$ 使其成低黏度熔融態後，進行點膠至成型槽，可藉由加熱槽的溫度來調整熱融矽膠的黏度，亦即流動性，以達到最佳填縫效果，最後再進行壓縮成型並固化，如圖六所示。若當作一般熱融膠使用，因室溫下不流動的特性，提供一種避免溢膠的解決方案。另外，為了拓展其應用，除了既有的加熱固化方式，也提供另一種雙固化系統，即添加紫外光起始劑，藉由紫外光照射來釋放催化劑後，再得以室溫或低溫固化，此系統適用於無法耐高溫的基板或元件的應用。

### 錠狀熱融矽膠 (Silicone Hotmelt Tablet; SHT)

隨高功率元件需求的高漲，一般以環氧樹脂轉注成型的方式，在高溫操作的情況下，因材料玻璃轉換溫度導致特性改



▲圖六 液態熱融矽膠用於壓縮成型製程示意圖



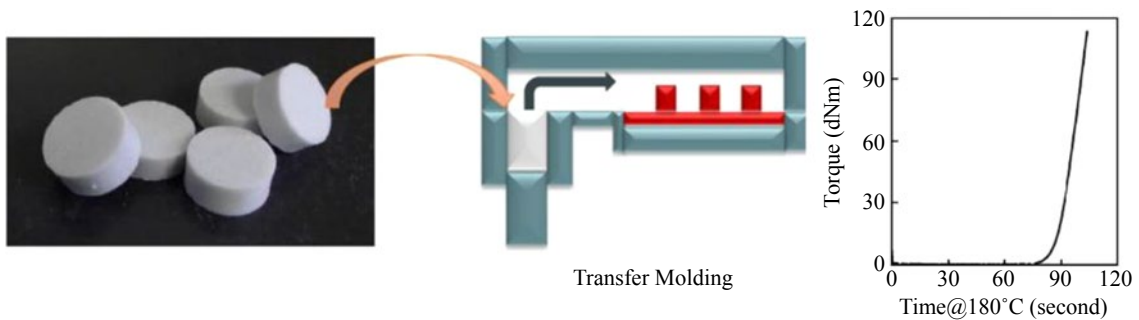
變，往往造成無法預期的翹曲問題。為解決此問題，提出此款適用於轉注成型的錠狀熱融矽膠。由於其應用需求為保護封裝

本體，也就是需要高硬度與高模量，然而，矽膠本身因缺乏分子間的連結作用，多為低模量材料。此新型錠狀熱融矽膠則導入新的分子鍵結方式，達到高模量與低熱膨脹係數的特性，如表一。製程如圖七所示，將此材料加熱到180°C轉變為熔融狀態，並轉注到模具中，在180°C的條件下，可持續70~80秒後才開始固化反應，且快速固化反應使得其在3分鐘內完全固化，大幅縮短製程時間。而此材料具有有機矽膠

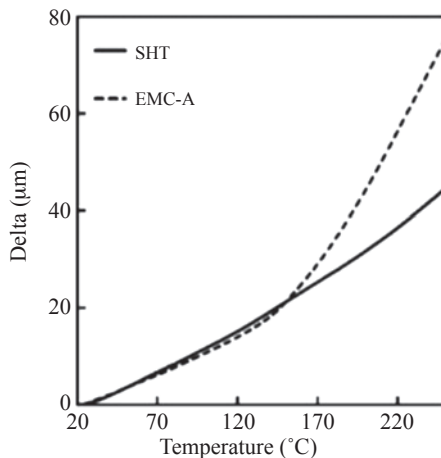
▼表一 錠狀熱融矽膠基本特性

Shore D Hardness (Point)	>90
Flexural Modulus (GPa)	8
Flexural Strength (MPa)	42
CTE (25~200°C) (ppm/°C)	11~14
Adhesion Strength to Cu (MPa)	10

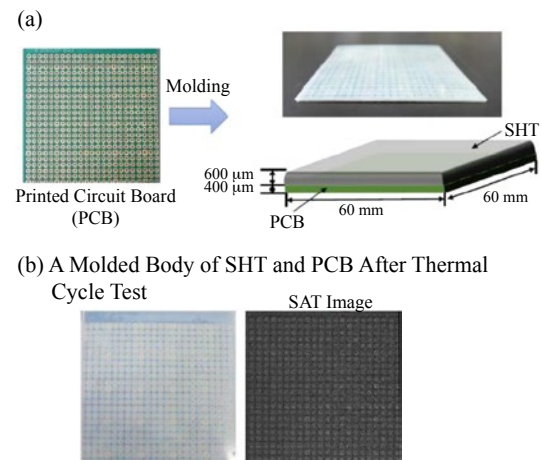
Shore D Hardness, Flexural Modulus, Strength, and Adhesion Were Measured at 25°C



▲圖七 轉注成型製程示意圖與180°C下固化曲線



▲圖八 錠狀熱融矽膠與環氧樹脂熱膨脹係數曲線比較



▲圖九 (a)錠狀熱融矽膠轉注成型於PCB板上；(b)經過冷熱衝擊試驗結果與超音波掃描結果



的耐溫性，亦即在20°C到250°C間能維持穩定特性，相較於環氧樹脂在高於玻璃轉換溫度後，熱膨脹係數會改變，此熱融矽膠則可維持線性趨勢，如圖八。轉注成型後能維持良好的平整性且無翹曲問題，進而在冷熱循環 (-40°C/30 minutes ↔ 150°C/30 minutes) 1,000次後，外觀亦無翹曲，以超音波掃描(SAT)亦無發現裂痕或接著失效等問題，如圖九。表示此錠狀熱融矽膠適用於轉注成型製程，並有極佳的熱穩定性，為下世代更高功率的元件提供解決方案。

## 結 論

隨著電子產品趨向輕薄的設計、半導體封裝技術的複雜化，以及越來越嚴苛的信賴性要求，市場上的有機封裝膠已不堪用。有機矽膠因具有極佳耐候性與降低熱應力，近幾年半導體封裝領域已逐漸

受到重視。然而，一般液態矽膠或矽凝膠其熱膨脹係數太高，且模量太低無法支撐封裝體，故本文針對半導體應用提出三種新世代的熱融矽膠，其優越的應力耦合能力與強接著性，不僅強化矽膠不足的特性外，也根據製程應用與需求，開發不同型態的產品，拓展有機矽膠的應用性。熱融型矽膠片(SHF)適用真空壓合製程，大幅簡化製程與縮短時間，而液態熱融矽膠(SHC)適用點膠或狹縫塗覆，可避免溢膠問題，此兩款材料可用於大面積保護層應用，如：晶圓級封裝與大面積面板型封裝或光學級LED晶片封裝，尤其是軟性基板的應用上。第三款錠狀熱融矽膠(SHT)利用新分子結合技術，達到高模量與低熱膨脹係數的特性，適用轉注成型製程，具有極佳熱穩定性與保護，為下世代高功率元件提供新的解決方案。📍

## SILICONE PRODUCT ROADMAP ALIGNS WITH APPLICATIONS

- Beyond typical MEMS package, silicone is potentially used in targeted applications with critical requirements for Semiconductor package.
- Multi-function chips are integrated in a package by 2.5D/3D adapted technologies.



Product/Tech	Package	FC BGA	FC CSP	WB BGA	FO-SiP/ FO-WLP
Current Dow Products	Microelectronic grade adhesives	✓	✓	✓	
	Encapsulants/ coating for IC packages	✓	✓	✓	✓
	Thermal management for chip scale <sup>1</sup>	✓	✓	✓	✓
Novel Products in near future	Molding <sup>2</sup>	✓	✓	✓	✓
	Underfill/ MUF <sup>3</sup>	✓	✓		
	Die-attach film <sup>4</sup>			✓	
Innovative Products for advanced package	Optical interconnects <sup>5</sup>				
	PPS for fine patterning				

\*1: High Thermal Dissipation TIM > 300W

\*2: film (sheet)/ liquid/ powder in tablet for molding process

\*3: Advanced UF/molding/Dielectric Material for Complicate SiP Structure

\*4: Unique technology especially for sensor packaging

\*5: Photo-patternable RI matched

Dow Restricted



Seek

Together<sup>SM</sup>