



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公告本

(11) 證書號數：TW I755492 B

(45) 公告日：中華民國 111 (2022) 年 02 月 21 日

(21) 申請案號：107107216 (22) 申請日：中華民國 107 (2018) 年 03 月 05 日  
 (51) Int. Cl. : **B82Y40/00 (2011.01)** **H01L35/34 (2006.01)**  
 (30) 優先權：2017/03/06 美國 62/467,649  
 (71) 申請人：美商卡爾拜斯有限公司 (美國) CARBICE CORPORATION (US)  
 美國  
 (72) 發明人：寇拉 巴拉坦特 COLA, BARATUNDE (US)；普林齊 雷朗多 PRINZI, LEONARDO  
 (US)；格林 科瑞格 GREEN, CRAIG (US)  
 (74) 代理人：劉法正；尹重君  
 (56) 參考文獻：  
 TW 201442307A US 6142662A  
 審查人員：林弘恩  
 申請專利範圍項數：30 項 圖式數：10 共 76 頁

## (54) 名稱

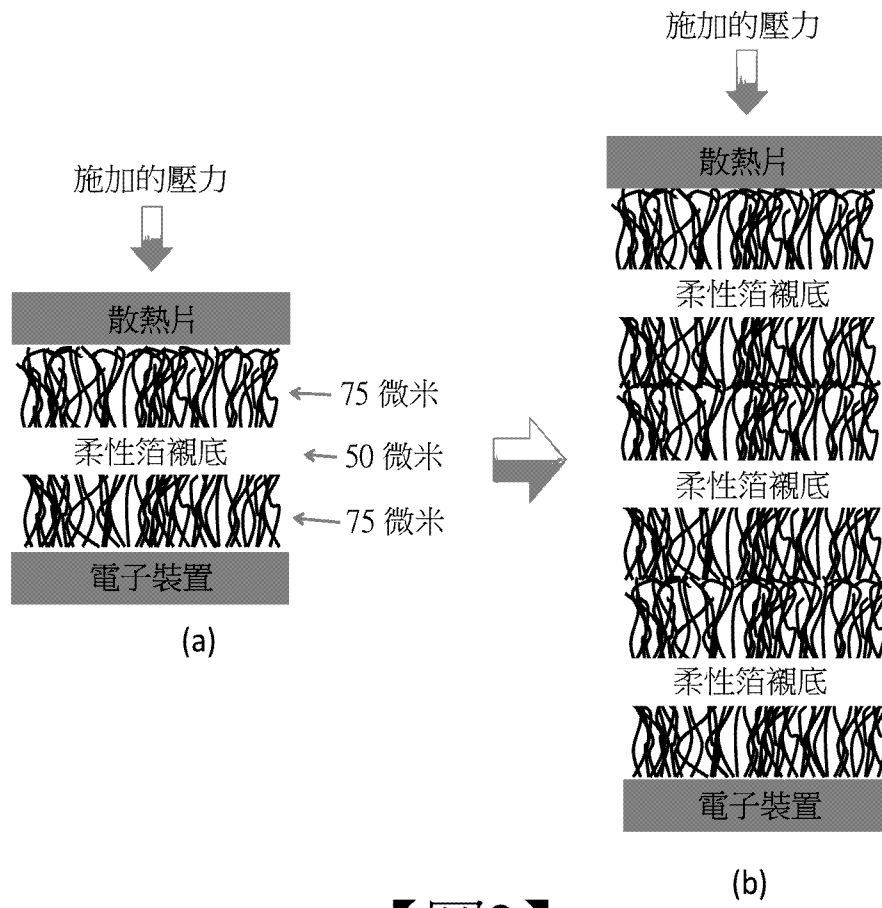
基於碳納米管的熱界面材料及其製造和使用方法

## (57) 摘要

在此描述了單層 CNT 複合材料和通過堆疊垂直排列型碳納米管(CNT)陣列而由單層 CNT 複合材料形成的多層或多層次結構，以及其製造和使用方法。這樣的多層或多層次結構可用作熱界面材料(TIM)用於各種應用，如預燒測試。

Single-layer CNT composites and multilayered or multitiered structures formed therefrom, by stacking of vertically aligned carbon nanotube (CNT) arrays, and methods of making and using thereof are described herein. Such multilayered or multitiered structures can be used as thermal interface materials (TIMs) for a variety of applications, such as burn-in testing.

指定代表圖：



【圖2】



I755492

## 【發明摘要】

### 【中文發明名稱】

基於碳納米管的熱界面材料及其製造和使用方法

### 【英文發明名稱】

CARBON NANOTUBE-BASED THERMAL INTERFACE MATERIALS AND METHODS OF MAKING AND USING THEREOF

### 【中文】

在此描述了單層CNT複合材料和通過堆疊垂直排列型碳納米管(CNT)陣列而由單層CNT複合材料形成的多層或多層次結構，以及其製造和使用方法。這樣的多層或多層次結構可用作熱界面材料(TIM)用於各種應用，如預燒測試。

### 【英文】

Single-layer CNT composites and multilayered or multitiered structures formed therefrom, by stacking of vertically aligned carbon nanotube (CNT) arrays, and methods of making and using thereof are described herein. Such multilayered or multitiered structures can be used as thermal interface materials (TIMs) for a variety of applications, such as burn-in testing.

【指定代表圖】 圖2

【代表圖之符號簡單說明】

(無)

【特徵化學式】

(無)

## 【發明說明書】

### 【中文發明名稱】

基於碳納米管的熱界面材料及其製造和使用方法

### 【英文發明名稱】

CARBON NANOTUBE-BASED THERMAL  
INTERFACE MATERIALS AND METHODS OF  
MAKING AND USING THEREOF

### 【技術領域】

#### 【0001】發明領域

本發明屬碳納米管陣列或片材、特別是可以為單層或堆疊以形成多層或多層次結構的陣列或片材及其製造和使用方法的領域。

### 【先前技術】

#### 【0002】發明背景

隨著對現代電子產品的性能和封裝要求已持續變得越來越高，確定新的熱解決方案已成為設計過程的關鍵部分。在幾乎所有的熱管理應用中，存在許多熱傳遞界面，其中需要緊密接觸以確保從封裝中有效去除熱量。在這個領域中，已經開發出各種多樣的熱界面材料(TIM)用於具體應用 (R. Prasher, “Thermal interface materials: historical perspective, status, and future directions,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 94, pp. 1571-1586, 2006 [熱界面材料：歷史視角、狀態和未來方向，IEEE會議錄，第94卷，第1571頁-第1586頁，2006年])。

#### 【0003】碳納米管(CNT)陣列是用於增強表面之間熱

傳輸的有吸引力的解決方案。可以在金屬襯底上生長 CNT，消除與液體熱界面材料(TIM)和潤滑脂可能受到的泵出或排空有關的問題。

**【0004】** 單個納米管的高平面內熱導率(高達3,000 W/m-K)意思是即使在相對低的CNT密度下(典型CNT填充因數是1%的數量級)，基於CNT的TIM的橫切面導熱性可以與熱潤滑脂的橫切面導熱性競爭。此外，CNT的有利形變機制允許其高效貼合鄰接表面的微凸物，導致在這類表面之間的界面處產生高接觸面積。

**【0005】** 但是，基於CNT的TIM中的關鍵挑戰來自於在金屬襯底上生長非常長的CNT的困難。不同於在矽或其他惰性襯底上生長的CNT，當在金屬襯底上生長時CNT生長所需的催化劑經歷表面下擴散，導致管生長提早終止。此外，缺陷趨向於隨著CNT的高度增加而在其中積聚，導致熱導率顯著低於原始管可實現的3,000 W/m-K界限的CNT陣列。

**【0006】** 因此，存在對克服上述在金屬襯底上生長長CNT陣列中的困難以及製造具有良好熱傳輸特性的材料的方法的需要。

**【0007】** 因此，本發明的一個目的是提供CNT陣列或片材和由其形成的結構，以及製造具有良好熱傳輸特性的這類結構的方法。

**【0008】** 本發明還有一目的是提供可以在與一個或多個表面的界面處提供高水平的順應性的CNT陣列或片

材和由其形成的結構。

【0009】本發明的另一個目的是提供用於預燒 (burn-in)應用的具有改進的耐久性的TIM複合材料。

【0010】本發明還有一個目的是提供具有良好順應性和壓縮特性的TIM複合材料，這些TIM複合材料允許受測裝置的尺寸改變。

### 【發明內容】

#### 【0011】發明概要

在此描述了單層的或通過堆疊垂直排列型碳納米管 (CNT)陣列而形成的多層或多層次結構，以及其製造和使用方法。

【0012】在所描述的一些實施例中，兩個或更多個CNT陣列堆疊以形成多層或多層次結構。可以堆疊多個CNT陣列，使得來自對置陣列的納米結構元件在堆疊中形成層次並且變得彼此至少部分交錯結合。不同於傳統材料的堆疊，垂直排列型納米結構的堆疊陣列不經歷熱阻隨著厚度增加而線性(或更糟的)增加。因此，所得多層結構可以由於兩個或更多個陣列的納米結構元件(即CNT)在接觸時的交錯結合而緩解厚度和邊界對能量傳輸的不利影響。相比之下，對於典型材料，熱傳遞阻力與該材料的厚度成正比，且在多層結構的界面處具有額外界面阻力。

【0013】對於通過堆疊CNT陣列的垂直排列型納米結構材料形成的多層或多層次結構，其中陣列的CNT至少部分交錯結合在內或到彼此內部，有效提高CNT的密度。

典型地，在金屬襯底上生長的CNT的密度僅為總體積的約1%。當例如堆疊CNT陣列的兩個相鄰層時，熱傳導元件(如CNT或由其形成的結構)的密度有效加倍。因此，每單位長度的熱傳遞阻力以同樣方式降低。

**【0014】** 通過堆疊兩個或更多個CNT陣列形成的多層或多層次結構相對於傳統塊狀材料的優勢在這些陣列的界面處體現。例如，熱傳遞阻力不僅因多層堆疊的厚度增加而增加，而且還因層次之間的界面阻力而增加。因此，相對於塊狀材料，由於層次之間的接觸不良以及由於能量載體(例如電子或聲子)在邊界處的散射，在任何兩個相鄰層次之間，這兩個層次之間的邊界是熱傳遞差的位置。當交錯結合時，這些納米結構(如CNT)的高縱橫比導致層次之間非常高的接觸面積，使層次間界面阻力的接觸不良面積貢獻最小。儘管不能完全消除卡皮查(Kapitza)(散射)阻力，但是可以通過用聚合物、蠟或促進熱/能量跨越邊界傳輸的其他二次材料施加、浸潤或回填該陣列或片材來減小阻力。這一傳輸促進可以通過CNT與二次材料之間的共價或弱原子相互作用的形成、聲學聲子傳輸失配相對於空氣的減少或其它類型的機制實現。

**【0015】** 在一些實施例中，形成該陣列的納米結構元件是垂直排列型碳納米管(CNT)。在一些實施例中，該CNT陣列在由鋁、銅或鋼形成的或包含鋁、銅或鋼，或其合金的金屬襯底上生長。在另一實施例中，該CNT陣列在柔性、導電和導熱襯底(如石墨)上形成。在另一實施例中，



該CNT陣列在電絕緣襯底(如柔性陶瓷)上生長。在一個實施例中，該CNT陣列的惰性支撐物是金屬箔片(如鋁箔)。在一些情況下，該金屬箔的僅一個表面(即一側)含有錨定到該表面或該襯底/支撐物上的垂直排列型CNT的陣列。在其他情況下，該襯底/支撐物(如金屬箔)的兩個表面(即兩側)含有錨定到該表面上的排列型CNT的塗覆陣列。作為另一個實施例，CNT片材可以塗覆在一側或兩側並且不需要惰性支撐物。

**【0016】** 在某些實施例中，如在此描述的，單個襯底在其上在一個或多個表面上含有一個或多個陣列的。在其他實施例中，兩個或更多個CNT陣列在彼此頂部堆疊並且個別陣列的納米結構元件(如CNT或其一些部分)在彼此內部完全或實質上交錯結合；如在此使用的“實質上”是指單個陣列的納米結構元件(即CNT)之間至少95%、96%、97%、98%或99%交錯結合。在一些實施例中，交錯結合的程度在約0.1%至99%的範圍內或為至少約1%、5%、10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%或95%。在某些其他實施例中，兩個CNT陣列可以僅在單個陣列的納米結構元件(即CNT)的頂端處交錯結合。通過堆疊兩個或更多個單個CNT陣列，其中這些單個陣列的納米結構元件在相鄰堆疊時交錯結合，可以形成多層或多層次結構。

**【0017】** 在某些實施例中，當相鄰CNT陣列在堆疊加工期間接觸時，該陣列的一個或多個單個納米結構元件(如

CNT)可以航行通過另一個單個納米結構元件。

【0018】 在一些實施例中，該陣列的單個納米結構元件(如CNT)可以交錯結合並且形成較大結構，如超結構，例如但不限於管束、簇或排。這類超結構可以通過如毛細管成簇的機制或在堆疊加工之前、期間或之後聚合物塗料使用到這些CNT陣列上時形成。

【0019】 在某些實施例中，通過堆疊CNT陣列形成的相鄰層次經簡單幹式接觸形成，使用其中存在的納米結構之間的扭結、摩擦力或弱吸引力使所得交錯結合的結構保持在一起。

【0020】 在某些其他實施例中，在襯底上的CNT陣列(單獨或作為由其產生的多層堆疊的一部分)可以任選地用聚合物、蠟、液體金屬或在該堆疊結構內部固化的其他合適材料浸潤或回填以使交錯結合的陣列保持在一起。

【0021】 在一些實施例中，由於提高的接觸面積、散射減少或其他相關機制，聚合物、蠟、液體金屬或其他合適材料可以降低所形成的多個層或層次之間的傳輸阻力。在又其他實施例中，通過堆疊陣列形成的層次可以通過使用黏合劑或相變材料來結合。

【0022】 CNT陣列以及通過堆疊這類CNT陣列形成的多層或多層次結構展現出高導熱性和機械耐久性。通過堆疊在此所描述的CNT陣列形成的多層或多層次結構可以用作熱界面材料(TIM)。因此，這類材料非常適合用於其中需要重複循環的應用。例如，它們可以在電氣組件(如

芯片)的‘預燒’測試期間用作熱界面材料。在一些實施例中，該惰性支撐物/襯底是常規金屬散熱片或散熱器的表面。這種功能化的散熱片或散熱器可然後鄰接或黏附到熱源(如集成電路封裝)上。這類TIM材料還可以置於或貼附在熱源與散熱片或散熱器之間(如在集成電路封裝與翅片式熱交換器之間)從而改進熱量從熱源到散熱片或散熱器的轉移。

**【0023】** 這些CNT陣列以及通過堆疊在此所描述的這類CNT陣列形成的多層或多層次結構可以用作在個人計算機、服務器計算機、存儲器模塊、圖形芯片、雷達和射頻(RF)裝置、光盤驅動器、顯示器(包括發光二極管(LED)顯示器)、燈光系統、汽車控制單元、電力電子產品、太陽能電池、電池、通信設備(如蜂窩電話)、熱電產生器以及成像設備(包括MRI)中的熱界面材料(TIM)。

**【0024】** 在某些實施例中，這些單層CNT陣列或通過堆疊CNT陣列形成的多層或多層次結構可用作低接觸壓力和/或低環境壓力應用(如航天應用，其中這類TIM可以用於衛星或航天器/系統)中的TIM。在某些實施例中，通過堆疊CNT陣列形成的多層或多層次結構在低於環境溫度、低於冰點或在極冷溫度(如太空中經歷的溫度)的溫度下是有用的。

**【0025】** 這些CNT陣列以及通過堆疊在此所描述的這類CNT陣列形成的多層或多層次結構還可用於除熱傳遞以外的應用。實例包括但不限於微電子產品、貫穿晶片

的垂直互連組套件以及用於電池和電容器的電極。目前，銅箔和鋁箔用作用於鋰離子電池中的陽極和陰極的背襯材料。這些CNT陣列以及通過堆疊這類CNT陣列形成的多層或多層次結構還可用於電磁屏蔽。

**【0026】** 這些CNT陣列以及由其形成的多層或多層次結構可用作在熱管理方法中使用的TIM，如在包括以下步驟的方法中使用：

(1)將該襯底直接附接到熱或電單元頭部上以完全覆蓋該頭部的區域或匹配該受測裝置的尺寸；

(2)用至少10 psi的壓力和小於150°C的接合溫度將帶有該附接的襯底的熱或電單元頭部接合到該受測裝置上；

(3)將該接合在至少10 psi的壓力下保持至少5分鐘或將該接合循環至少一次至五次，其中在每次接合期間，該受測裝置處於通電並且加熱該熱或電單元頭部以模擬該裝置通電以達到至少50°C的溫度；

(4)使該熱或電頭部和襯底與該受測裝置脫離並且再接合進行至少1,500次通電循環；並且

(5)測試該受測裝置以確定循環後的熱阻和/或相對熱阻。

**【0027】** 用作於預燒或其他應用中的TIM的CNT陣列以及由CNT陣列形成的多層或多層次結構還可以合適的套件提供。

### **【圖式簡單說明】**

**【0028】** 圖1是真空室中熱界面材料測試器具非限制

性示意圖。

圖2是通過堆疊碳納米管(CNT)陣列形成的多層/多層次結構的非限制性示意圖。

圖3是示出了經兩個測試循環在鋁(A1)襯底上的三個TIM的幹式堆疊的熱傳遞係數的圖表。

圖4是示出了經兩個測試循環在鋁(A1)襯底上的三個TIM的蠟結合堆疊的熱傳遞係數的圖表。

圖5A和5B示出了描繪CNT的毛細管成簇的掃描電子顯微鏡(SEM)圖像。圖5A示出了手動施加的石蠟塗層，並且圖5B示出了粉末塗覆的合成蠟。

圖6A、6B和6C示出了非限制性預燒系統的詳細描述。圖6A示出了所述系統，其中上部棒與下部棒接合並且下部棒使用筒式加熱器加熱並且上部棒用冷水主動冷卻，其中熱電偶沿這些棒放置以監測溫度。圖6B和6C示出了下部和上部預燒系統棒的詳細側視圖。

圖7是示出了在50 psi CNT-TIM複合材料與可商購的TIM產品的比較的圖表。

圖8是示出了在100 psi CNT-TIM複合材料與可商購的TIM產品的比較的圖表。

圖9是示出了在預燒系統中經過許多循環的CNT-TIM複合材料相比可商購的TIM產品的相對熱阻的圖表。

圖10示出了在30 psi、60 psi和100 psi CNT-TIM複合材料的熱阻與施加壓力的關係圖。

**【實施方式】****【0029】較佳實施例之詳細說明****I. 定義**

**【0030】**如在此使用的“熱界面材料”(TIM)是指在熱源與散熱片或散熱器之間提供高導熱性和機械順應性從而有效傳導熱量離開熱源的材料或材料的組合。

**【0031】**如在此使用的“順應性(Compliant 或 Compliance)”是指材料在與一個或多個表面接觸時貼合使得到鄰接表面的微凸物的高效貼合導致在這些表面與該材料之間的界面處產生充分或高接觸面積的能力。

**【0032】**如在此使用的“交錯結合(Interdigitation 或 Interdigitating)”是指當兩個不同陣列或片材接觸或堆疊時一個陣列或片材的一個或多個單個納米結構元件滲入或穿透到另一個陣列或片材的相鄰納米結構元件中的能力和或程度。

**【0033】**如在此使用的“碳納米管陣列”或“CNT陣列”或“CNT林”是指在材料表面上垂直排列的多個碳納米管。當碳納米管與支撐或附接它們的表面實質上垂直時，這些碳納米管被認為是“垂直排列型”。當納米管平均在表面法線的 $30^\circ$ 、 $25^\circ$ 、 $20^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $10^\circ$ 或 $5^\circ$ 內取向時，這些納米管被認為是實質上垂直的。

**【0034】**如在此使用的“碳納米管片材”或“CNT片材”是指在平面中排列形成獨立式片材的多個碳納米管。當碳納米管與它們形成的片材的表面實質上平行時，這些

碳納米管被認為是“在平面中排列”。當納米管在平均大於表面法線的 $40^\circ$ 、 $50^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $70^\circ$ 、 $80^\circ$ 或 $85^\circ$ 內取向時，這些納米管被認為是實質上平行的。

【0035】如在此使用的“塗覆材料”通常是指可以通過范德華鍵、 $\pi$ - $\pi$ 堆疊、機械纏繞和/或共價鍵結合到CNT並且通過范德華鍵、 $\pi$ - $\pi$ 堆疊和/或共價鍵結合到金屬、金屬氧化物或半導體材料表面的聚合物和/或分子。

【0036】在本申請中披露的數值範圍包括但不限於溫度範圍、壓力範圍、分子量範圍、整數範圍、傳導率和阻力值範圍、時間範圍以及厚度範圍。所披露的任何類型的範圍獨立地披露這類範圍可合理涵蓋的每一個可能數值以及其中涵蓋的任何子範圍和子範圍的組合。例如，壓力範圍的披露旨在獨立地披露與該披露相符的這類範圍可涵蓋的每一個可能溫度值。

## II. 塗覆的碳納米管陣列或片材

### A. 碳納米管陣列

【0037】在此描述的碳納米管陣列含有多個碳納米管，這些碳納米管支撐或附接在惰性襯底/支撐物(如金屬(例如Al或Au)箔、金屬合金(即鋼))的表面上。在一些實施例中，該襯底/支撐物可以是柔性、導電並且導熱的襯底，如石墨或其他基於碳的材料。在其他實施例中，該襯底/支撐物可以是電絕緣襯底，如柔性陶瓷。這些CNT陣列可以使用下面描述的方法形成。這些CNT在該襯底/支撐物上垂直排列。當CNT與支撐或附接它們的表面實質上垂直

時，這些CNT被認為是“垂直排列型”。當納米管平均在表面法線的 $30^\circ$ 、 $25^\circ$ 、 $20^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $10^\circ$ 或 $5^\circ$ 內取向時，這些納米管被認為是實質上垂直的。

**【0038】** 通常，這些納米管以足夠的密度存在使得這些納米管是自撐式的並且採用與多層襯底表面實質上垂直的取向。優選地，這些納米管以最優距離彼此間隔開並且具有均勻的高度以使熱傳遞損失最小，由此使其整體熱擴散率最大。

**【0039】** 這些CNT陣列含有從陣列的頂部(即由在多層襯底上垂直排列時碳納米管的遠端形成的表面)到陣列的底部(即該多層襯底表面)連續的納米管。該陣列可以由多壁碳納米管(MWNT)形成，這些多壁碳納米管通常是指具有在約4與約10之間個壁的納米管。該陣列也可以由少壁納米管(FWNT)形成，這些少壁納米管通常是指含有約1-3個壁的納米管。FWNT包括單壁碳納米管(SWNT)、雙壁碳納米管(DWNT)以及三壁碳納米管(TWNT)。在某些實施例中，這些納米管是MWNT。在一些實施例中，在這些陣列中的MWNT的直徑在從10 nm至40 nm範圍內、更優選在15 nm至30 nm範圍內、最優選為約20 nm。在這些陣列中的CNT的長度可以在從1微米至5,000微米範圍內、優選5微米至5000微米範圍內、優選5微米至2500微米範圍內、更優選5微米至2000微米範圍內、更優選5微米至1000微米範圍內。在一些實施例中，在這些陣列中的CNT的長度可以在從1-500微米範圍內、甚至更優選1-100



微米範圍內。

【0040】這些CNT展示出對多層襯底的強的黏附。在某些實施例中，該CNT陣列或片材在浸沒在溶劑(如乙醇)中並且超聲處理至少五分鐘的時間段之後將仍然是實質上完整的。在具體實施例中，這些CNT的至少約90%、95%、96%、97%、98%、99%或99.9%在乙醇中超聲處理之後保持在表面上。

#### B. 碳納米管片材

【0041】在此還描述了碳納米管片材。這些片材含有多個碳納米管，這些碳納米管通過強范德華力相互作用和機械扭結彼此支撐形成獨立式材料。這些CNT片材可以使用下面描述的方法形成。這些CNT片材形成獨立式片材並且與此片材的表面在平面中排列。當CNT與它們形成的片材的表面實質上平行時，這些CNT被認為是“在平面中排列”。當納米管在平均大於表面法線的40°、50°、60°、70°、80°或85°內取向時，這些納米管被認為是實質上平行的。

【0042】通常，這些納米管以足夠的密度存在使得這些納米管是自撐式的並且採用與片材的表面實質上平行的取向。優選地，這些納米管以最優距離彼此間隔開並且具有均勻的長度以使熱傳遞損失最小，由此使其整體熱擴散率最大。

【0043】這些CNT片材可以由多壁碳納米管(MWNT)形成，這些多壁碳納米管通常是指具有在約4與約10之間個壁的納米管。這些片材也可以由少壁納米管

(FWNT)形成，這些少壁納米管通常是指含有約1-3個壁的納米管。FWNT包括單壁碳納米管(SWNT)、雙壁碳納米管(DWNT)以及三壁碳納米管(TWNT)。在某些實施例中，這些納米管是MWNT。在一些實施例中，在這些陣列中的MWNT的直徑在從10 nm至40 nm範圍內、更優選在15 nm至30 nm範圍內、最優選為約20 nm。在這些片材中的CNT的長度可以在從1微米至5,000微米範圍內、優選100微米至5000微米範圍內、優選500微米至5000微米範圍內、更優選1000微米至5000微米範圍內。在一些實施例中，在這些片材中的CNT的長度可以在從1-500微米範圍內、甚至更優選1-100微米範圍內。

#### C. 塗料/塗覆材料

**【0044】** 該CNT陣列或片材可以包括黏附或結合到這些CNT上的塗料或塗覆材料(術語可以互換使用)。可以如下面所描述那樣施用該塗料/塗覆材料。在一些實施例中，該塗料含有一種或多種低聚材料、聚合物材料、蠟(如聚乙烯蠟)或其組合。可以選擇聚合物材料的硬度、熱穩定性和剪切強度以在預燒應用期間提供改進的耐久性和性能。在一些實施例中，該塗料或塗覆材料是基於聚合物的密封劑，該密封劑使耐久性最大化並且改善界面接觸面積。

**【0045】** 在其他實施例中，該塗料含有一種或多種非聚合物材料。在一些實施例中，該塗料可以含有低聚物、蠟(如聚乙烯蠟)和/或聚合物材料和非聚合物材料的混合物。可以選擇聚合物材料的硬度、熱穩定性和剪切強度以

在預燒應用期間提供改進的耐久性和性能。

【0046】在某些實施例中，該一種或多種塗覆材料充當可以結合(如化學結合)堆疊陣列或片材的碳納米管的一種或多種結合劑。可以充當結合劑的這類塗覆材料可選自但不限於黏合劑(即丙烯酸酯黏合劑)和相變材料(即一種或多種蠟)。

【0047】在一些實施例中，黏附或結合到陣列的CNT上的塗料在兩個或更多個CNT陣列或片材的堆疊之前施用，而在其他實施例中，黏附或結合到陣列的CNT上的塗料在兩個或更多個CNT陣列或片材的堆疊之後施用。在又其他實施例中，該塗料浸潤或回填到由堆疊的CNT陣列或片材形成的多層或多層次結構中並且黏附或結合到形成該結構的陣列的CNT上。如在此使用的，“浸潤(infiltration或infiltrated)”是指滲透穿過堆疊形成多層或多層次結構的陣列或片材的碳納米管的至少一些的一種或多種塗覆材料。在一些實施例中，浸潤程度在0.1-99.9%範圍內。在一些實施例中，浸潤的塗覆材料至少部分地填充碳納米管之間間隙空間，而在一些其他實施例中，浸潤的塗料塗覆碳納米管的表面的至少一些，或二者。在一些實施例中，該浸潤的塗覆材料填充在通過堆疊CNT陣列或片材形成的結構的層次或層中存在的碳納米管之間間隙空間的全部或實質上全部(即至少約95%、96%、97%、98%或99%)。

【0048】多種材料可以在堆疊之前、堆疊期間或堆疊之後塗覆在CNT陣列或片材上。在具體實施例中，這些塗

料可導致使如在此定義的具有多個層或層次的結構的陣列或片材的CNT的熱阻降低。

**【0049】** 所描述的一種或多種塗料可以保形並且均勻地施用以塗覆在襯底和/或多層堆疊上形成的陣列的CNT的頂端和/或側壁。如在此使用的“保形地”是指均勻塗料，該均勻塗料在附接到襯底或其多層堆疊的垂直排列型CNT的頂端和/或側壁上無針孔或實質上無針孔(即具有小於10%、9%、8%、7%、6%、5%、4%、3%、2%、1%針孔)。保形塗料可以小於約30 nm、25 nm、20 nm、15 nm、10 nm、9 nm、8 nm、7 nm、6 nm、5 nm、4 nm、3 nm、2 nm或1 nm。該保形塗料可以具有在約1 nm至30 nm之間的厚度。在某些實施例中，該保形塗料是黏合劑(參見下面更詳細的討論)，該黏合劑允許這些CNT陣列黏附到襯底(例如散熱片)上，用於熱管理和用於預燒應用。

**【0050】** 還希望在該界面使用例如溶劑、熱或一些其他易於施加的源組裝時，該塗料可回焊。用作塗料的聚合物必須在高達至少130°C下是熱穩定的。在一些實施例中，該塗料容易去除(如通過加熱或在溶劑中溶解)，以允許對界面進行“再加工”。如在此使用的“再加工”是指通過施加溶劑或熱來拆分界面(即去除塗料)。

#### 1. 聚合物塗覆材料

**【0051】** 在其他實施例中，該塗料是或含有一種或多種聚合物材料。該聚合物塗料可含有共軛聚合物(如芳香族、雜芳族或非芳香族聚合物)或非共軛聚合物。

【0052】合適類別的共軛聚合物包括聚芳香族和聚雜芳族，包括但不限於聚噻吩(包括烷基取代的聚噻吩)、聚苯乙烯、聚吡咯、聚乙炔、聚苯胺、聚芴、聚亞苯基、聚茈、聚萸、聚萘、聚喹啉、聚吡啶、聚氮呋、聚(3,4-亞乙基二氧噻吩)、聚(對苯硫醚)以及聚(對亞苯基亞乙烯基)。合適的非芳香族共軛聚合物包括但不限於聚乙炔和聚二乙炔。以上所列的聚合物類別包括取代的聚合物，其中聚合物主鏈被一個或多個官能團(如烷基)取代。在一些實施例中，該聚合物是聚苯乙烯(PS)。在其他實施例中，該聚合物是聚(3-己基噻吩)(P3HT)。在其他實施例中，該聚合物是聚(3,4-亞乙基二氧噻吩)(PEDOT)或聚(3,4-亞乙基二氧噻吩)聚(苯乙烯磺酸酯)(PEDOT:PSS)。

【0053】在其他實施例中，該聚合物是非共軛聚合物。合適的非共軛的包括但不限於聚乙烯醇(PVA)、聚(甲基丙烯酸甲酯)(PMMA)、聚二甲基矽氧烷(PDMS)、聚氨基甲酸酯、矽酮、丙烯酸物類以及其組合(共混物)。

【0054】在其他實施例中，該聚合物是石蠟。在其他實施例中，該聚合物是合成蠟，如費-托蠟(Fischer-Tropsch wax)或聚乙烯蠟。在其他實施例中，該聚合物是熔融溫度超過80°C、90°C、100°C、110°C或120°C、優選超過130°C的蠟。

【0055】包括蠟(例如聚乙烯蠟)的聚合物材料可以具有任何合適的重均分子量，例如但不限於1,000道爾頓至1,000,000道爾頓、1,000道爾頓至500,000道爾頓、1,000

道爾頓至250,000道爾頓、1,000道爾頓至100,000道爾頓、1,000道爾頓至75,000道爾頓、1,000道爾頓至50,000道爾頓、1,000道爾頓至25,000道爾頓或1,000道爾頓至10,000道爾頓。在一些實施例中，可以使用具有任意重均分子量組合的不同聚合物材料的組合來浸潤和/或保形施用以塗覆在襯底或由其形成的疊層上的陣列的CNT的頂端和/或側壁。在優選實施例中，可使用高重均分子量和低重均分子量聚合物的組合來提供最佳硬度、熱穩定性和剪切強度以提供在由在此所描述的CNT陣列形成的TIM的預燒期間改進的耐久性和性能。

**【0056】** 在又其他實施例中，該聚合物是熱黏膠或熱熔黏合劑，該熱黏膠或熱熔黏合劑將蠟、增黏劑和聚合物基體組合以提供改進的表面黏附。在其他實施例中，該聚合物是壓敏性黏合劑。

#### D. 其他塗覆材料

##### 1. 金屬納米顆粒

**【0057】** 這些CNT陣列或片材可附加地用一種或多種金屬納米顆粒塗覆。可以將一種或多種金屬納米顆粒吸附到這些CNT的遠端和/或側壁上以將這些CNT的遠端和/或側壁結合到表面上，降低該CNT陣列或片材與表面之間的熱阻，或以上的組合。可使用在本領域中已知的多種方法將金屬納米顆粒施應用到CNT陣列或片材上。

**【0058】** 合適的金屬納米顆粒的實例包括鈮、金、銀、鈦、鐵、鎳、銅以及其組合。

## 2. 可流動或相變材料

【0059】在某些實施例中，將可流動或相變材料在堆疊之前、堆疊期間或堆疊之後施用到這些CNT陣列或片材上。可以將可流動或相變材料添加到該CNT陣列或片材上以置換CNT之間的空氣並且改進CNT的遠端和/或側壁與表面之間的接觸，並且因此降低該陣列或片材的熱阻以及該陣列或片材與表面之間的接觸，或以上的組合。可以使用在本領域中已知的多種方法將可流動或相變材料施用到CNT陣列上。

【0060】合適的可流動或相變材料的實例包括石蠟、聚乙烯蠟、大體基於烴的蠟以及其共混物。既非蠟也非聚合物的合適的可流動或相變材料的其他實例包括液體金屬、油、有機-無機和無機-無機共晶以及其共混物。在一些實施例中，該塗覆材料(如非聚合物塗覆材料)和該可流動或相變材料是相同的一種或多種材料。

## III. 多層或多層次結構

【0061】如上所描述的在襯底的一側或兩側具有陣列的單層CNT陣列或片材可以根據以下描述的方法堆疊以提供多層或多層次結構。三層/層次結構的非限制性實例在圖2的示意圖(右側)中示出。層或層次通過接觸/堆疊兩個CNT陣列或片材的碳納米管形成，這些碳納米管至少部分地交錯結合並且可任選地用如在此描述的合適的塗覆材料塗覆。

【0062】在一些實施例中，這些多層或多層次結構可

以進一步包括在這些陣列的納米結構元件(如CNT)上的塗料、金屬納米顆粒的塗料和/或可流動或相變材料的塗料。

**【0063】** 可以堆疊至少兩個CNT陣列或片材以形成這些多層或多層次結構。例如，圖2示出了三個CNT陣列的堆疊(右側)。通過使用更多CNT陣列，可以根據需要增加這些多層或多層次結構的厚度。在一些實施例中，可根據以上描述的方法堆疊多達5、10、15、20、25、30或更多個CNT陣列或片材。通過堆疊形成的所得多層或多層次結構的厚度可以在1-10,000微米或更大範圍內。在一些實施例中，通過堆疊形成的所得多層或多層次結構的厚度可以是1-3,000微米、甚至更優選70-3,000微米。在一些實施例中，層數和/或厚度基於在堆疊法中使用的陣列上形成的CNT林的厚度。

**【0064】** 在非限制性實施例中，將在支撐物/襯底上形成的至少兩個垂直排列型陣列或片材堆疊/接觸使得這些陣列的納米結構元件(如CNT)在接觸時至少部分交錯結合。在一個實施例中，當堆疊時這些陣列的納米結構元件的完全交錯結合在彼此內部發生。在其他實施例中，這些陣列可僅在這些納米結構元件(如CNT)的頂端處交錯結合。在又其他實施例中，單個納米結構可以航行通過在交錯結合過程期間相鄰陣列的納米結構，並且單個陣列的納米結構元件(如CNT或其一些部分)在彼此內部完全或實質上交錯結合；如在此使用的“實質上”是指這些單個陣列的納米結構元件之間至少95%、96%、97%、98%或99%交



錯結合。在一些實施例中，交錯結合的程度在約0.1%至99%的範圍內或為至少約1%、5%、10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%或95%。

**【0065】** 在一些實施例中，至少部分交錯結合的堆疊陣列的納米結構也可以形成較大超結構，例如但不限於管束、簇或排。這些超結構可提供諸如毛細管成簇等機制或借助於在堆疊過程之前、期間或之後施用聚合物塗料而形成。

**【0066】** 在一些實施例中，將聚合物塗料和/或黏合劑或如以上描述的其他塗料施用到CNT陣列上，這些CNT陣列隨後堆疊。在這類實施例中，該塗料和/或黏合劑或如以上描述的其他塗料的厚度是約1-1000 nm、更優選1-500 nm並且最優選1-100 nm。

**【0067】** 除以上之外，在這些多層或多層次結構中存在的CNT的有利形變機制允許其高效貼合鄰接表面的微凸物，導致在界面處產生高接觸面積。

#### A. 熱阻降低

**【0068】** 這些CNT陣列或片材以及通過堆疊在此描述的這類CNT陣列形成的多層或多層次結構展現出降低的熱阻。熱阻可以使用在本領域中已知的多種技術(如光聲(PA)方法)測量。

**【0069】** 在一個實施例中，當例如使用光聲方法測量時，這些CNT陣列或片材以及通過堆疊這類CNT陣列或片材形成的多層或多層次結構的熱阻與單層次結構相比降低

至少約25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%、65%、70%或更高。在其他實施例中，這些CNT陣列或片材以及通過堆疊這類CNT陣列或片材形成的多層或多層次結構展現出小於約10.0、9.0、8.0、7.0、6.0、5.0、4.5、4.0、3.5、3.0、2.5、2.0、1.5 mm<sup>2</sup> K/W的熱阻。在一些實施例中，熱阻是約2 mm<sup>2</sup>K/W、優選約1 mm<sup>2</sup>K/W。在一些實施例中，通過堆疊CNT陣列或片材形成的多層或多層次結構的熱阻值如與用於形成堆疊的單層陣列的值相比相同或實質上不變；如在此使用的“實質上”是指小於10%、5%、4%、3%、2%或1%的變化。

【0070】 在一些實施例中，這些CNT陣列或片材以及通過堆疊這類CNT陣列或片材形成的多層或多層次結構展現出在約1-1500 W/m<sup>2</sup>K或5-500 W/m<sup>2</sup>K範圍內的傳導率值。

【0071】 可以在堆疊之前、期間或之後將塗料施用到這些CNT陣列或片材上以形成通過堆疊這類CNT陣列或片材形成的多層或多層次結構示為用於增加接觸面積並且降低CNT林熱界面的熱阻的有效手段。通過在單個CNT接觸的周圍包含納米尺寸塗料添加的結合方法包括例如通過毛細作用將額外的CNT牽引接近界面以增加接觸面積。

IV. 用於製備CNT陣列和由其形成的多層或多層次結構的方法

#### A. 碳納米管(CNT)陣列

【0072】 碳納米管陣列可以使用本領域中眾所周知

的技術來製備。在一個實施例中，這些陣列是如美國公開號2014-0015158-A1(通過援引方式併入本申請)中所述描的製備。這種方法涉及使用多層襯底以促進密集垂直排列型CNT陣列的生長並且提供在CNT與金屬表面之間優異的黏附。

**【0073】** 這些多層襯底含有沉積在惰性支撐物(如金屬表面)上的三個或更多個層。通常，該多層襯底含有沉積在惰性支撐物的表面上的黏附層、界面層和催化層。通常，該支撐物至少部分地由金屬(如鋁、鉑、金、鎳、鐵、錫、鉛、銀、鈦、銻、銅或其組合)形成。在某些情況下，該支撐物是金屬箔，如鋁或銅箔。該支撐物也可以是裝置(如在熱交換應用中使用的常規散熱片或散熱器)的表面。

**【0074】** 該黏附層由改進該界面層到支撐物的黏附性的材料形成的。在某些實施例中，該黏附層是鐵薄膜。通常，該黏附層必須足夠厚以在用於形成CNT的升高的溫度下保持連續膜。該黏附層通常還提供對在升高的溫度下在CNT合成期間抗氧化物和碳化物形成性。

**【0075】** 該界面層優選由金屬形成，該金屬在納米管合成的條件下或在納米管合成之後暴露於空氣期間被氧化以形成合適的金屬氧化物。合適的材料的實例包括鋁。可替代地，該界面層可由金屬氧化物(如氧化鋁或氧化矽)形成。通常，該界面層足夠薄以允許催化層和黏附層跨越其擴散。在其中該催化層和該黏附層具有相同組成的一些實施例中，這會減少該催化劑到該界面層內的遷移，改進了

在納米管生長期間催化劑的壽命。

**【0076】** 該催化層典型地是通過化學氣相沉積由過渡金屬形成的薄膜，該過渡金屬能夠催化形成碳納米管。能夠用於形成該催化層的合適的材料實例包括鐵、鎳、鈷、銻、鈮及其組合。在一些實施例中，該催化層由鐵形成。該催化層具有適當厚度以在納米管形成期間所使用的退火條件下形成催化納米顆粒或聚集體。

**【0077】** 在其他實施例中，該多層襯底充當用於CNT陣列的生長的催化表面。在這些情況下，使用化學氣相沉積的CNT生長的過程改變了多層襯底的形態。具體地，在加熱時，該界面層轉化成金屬氧化物，並且形成沉積在該黏附層上的金屬氧化物納米顆粒或聚集體的層或部分層。該催化層類似地形成沉積在金屬氧化物納米顆粒或聚集體上的一系列催化納米顆粒或聚集體。在CNT生長期間，CNT由催化納米顆粒或聚集體形成。所得CNT陣列含有通過黏合層、金屬氧化物納米顆粒或聚集體和/或催化納米顆粒或聚集體錨定到惰性支撐物上的CNT。

**【0078】** 在具體實施例中，該多層襯底由沉積在金屬表面上的約30 nm厚的鐵黏附層、約10 nm厚的鋁或氧化鋁界面層和約3 nm厚的鐵催化層形成。在此實施例中，該鐵黏附層黏附於該金屬表面和該Al(生長後的氧化鋁納米顆粒或聚集體)或Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>界面層二者。該鐵催化層形成鐵納米顆粒或聚集體，CNT從這些鐵納米顆粒或聚集體生長。這些鐵納米顆粒或聚集體還結合到下方的氧化鋁上。

【0079】因此，良好結合的界面存在於這些氧化物界面材料的兩側。在金屬/金屬氧化物界面中，已知該鐵-氧化鋁界面是在結合和化學相互作用方面最強界面之一。進一步，金屬(例如鐵黏附層和金屬表面)由於強電子耦合而傾向於彼此良好結合。因此，這些CNT強力錨定到該金屬表面上。

【0080】進一步，鐵在納米管生長期間從該催化層的表面下擴散由於相同金屬位於該氧化物支撐物的兩側(這平衡了通常驅動擴散的濃度梯度)而減少。因此，催化劑在生長期間不被耗盡，改進了該陣列中納米管的生長速率、密度和產率。

【0081】在一些實施例中，該CNT陣列通過在以上描述的多層襯底上垂直排列多個CNT來形成。這可例如通過將CNT陣列轉移到在該多層襯底上生長的CNT的遠端來實現。在一些實施例中，高CNT陣列被轉移到在該多層襯底上非常短的CNT的遠端。這種技術通過增加用於結合的表面積來改進結合強度。

【0082】用於該CNT陣列或片材的惰性支撐物可以是一塊金屬箔，如鋁箔。在這些情況下，CNT通過黏附層、金屬氧化物納米顆粒或聚集體以及催化納米顆粒或聚集體錨定到金屬箔表面上。在一些情況下，該金屬箔的僅一個表面(即一側)含有錨定到該表面上的排列型CNT的陣列或片材。在其他情況下，該金屬箔的兩個表面(即，兩側)均含有錨定到該表面的排列型CNT陣列或片材。在其他實施

例中，該CNT陣列或片材的惰性支撐物是常規金屬散熱片或散熱器的表面。在這些情況下，CNT通過黏附層、金屬氧化物納米顆粒或聚集體以及催化納米顆粒或聚集體錨定到散熱片或散熱器的表面上。這種功能化的散熱片或散熱器可然後鄰接或黏附到熱源(如集成電路封裝)上。

## B. 碳納米管片材

【0083】碳納米管陣列可以使用本領域中眾所周知的技術來製備。在一個實施例中，這些片材是如U.S. 7,993,620 B2中描述來製備。在此實施例中，CNT聚結物在金屬箔襯底上的生長箱內原位彙集成片材。然後可以通過去除溶劑使這些片材緻密。在另一個實施例中，這些CNT片材是通過真空過濾分散在溶劑中的CNT聚結物來製造。

## C. 塗覆的納米管陣列和片材

### 1. 聚合物塗料

【0084】可以將待塗覆的聚合物溶解在一種或多種溶劑中，並且噴塗或浸塗或化學地或電化學地沉積到如在此描述的在襯底上生長的垂直CNT林或陣列上或片材上。還可以將這些塗覆材料噴塗或粉塗到在如以上描述的在襯底上生長的垂直CNT林或陣列上。這些塗料包括通過范德華鍵、 $\pi$ - $\pi$ 堆疊、機械纏繞和/或共價鍵結合到CNT並且通過范德華鍵、 $\pi$ - $\pi$ 堆疊和/或共價鍵結合到金屬、金屬氧化物或半導體材料表面的聚合物和/或分子。

【0085】對於噴塗或浸塗，可通過在適當溶劑中超聲

波處理或攪拌塗覆材料持續合適的時間量來製備塗覆溶液。該溶劑典型地是有機溶劑或溶劑並且應是易於例如通過在室溫或升高的溫度下蒸發去除的溶劑。合適的溶劑包括但不限於氯仿。還可使用具有微米級粒度的粉末(即，直徑小於約100、50、40、20、10微米的顆粒)以乾燥形式噴塗該聚合物。在此實施例中，該聚合物粉末將需要用溶劑浸泡或加熱成液態熔體，以便在其噴霧沉積之後將這些粉末顆粒散布成更連續的塗層。

**【0086】** 塗層厚度總體上在1 nm與1000 nm之間、優選地在1 nm與500 nm之間、更優選在1 nm與100 nm之間、最優選在1 nm與50 nm之間。在一些實施例中，塗層厚度小於500、450、400、350、300、250、200、150、100、90、80、70、60、50、40、30、20或10 nm。可以將這些塗料保形地施用到這些陣列的CNT的頂端和/或CNT的垂直壁上。

**【0087】** 噴塗方法限制塗料沉積到這些CNT頂端並且由於與溶劑的乾燥相關聯的毛細管力而限制成簇。在這些CNT陣列上可見的塗料的量隨著噴塗次數而增加。可用於將塗覆材料噴塗在這些CNT陣列上的替代性技術包括更適用於商業規模塗覆的技術。

**【0088】** 在示範塗覆方法的另一個實施例中，將CNT片材的整個片材厚度浸漬在塗覆溶液或熔融塗料中以塗覆CNT，使該片材在跨平面方向上的熱導率增加大於20、30、50或70%。然後將塗覆的片材放置在芯片與散熱片或

散熱器之間，並且施用溶劑或熱使聚合物再流動並且在該芯片與該散熱片或散熱器之間結合CNT片材以降低該芯片與該散熱片或散熱器之間的熱阻。

**【0089】** 在其他實施例中，可以使用本領域中已知的沉積技術(如化學沉積(例如，化學氣相沉積(CVD))、氣溶膠噴霧沉積以及電化學沉積)將該塗覆材料沉積在該CNT陣列或片材上。也可以使用粉塗來施加聚合物材料的(保形)塗料，這些聚合物材料典型地是合適的平均粒度(即，小於約10,000微米至1微米、1微米至1納米或其中披露的任何範圍)的微粉化的聚合物材料。在沒有限制的情況下，可以使用粉塗槍施用微粉化的粉末，該粉塗槍通過將使該微粉化的聚合物材料(即顆粒)電至高達約30 kV、25 kV、20 kV、15 kV、10 kV或5 kV而提供動力並且將這些帶電顆粒施加到在襯底或由其形成的堆疊上的垂直排列型CNT上，其中該一個或多個襯底和CNT是接地的。在施用一種或多種粉末塗料之後，可以通過任何常規手段來加熱該塗料以熔化、凝固和/或固化該一種或多種聚合物塗料。粉塗可以適當時重複一次或多次。

**【0090】** 在一些實施例中，聚合物塗料可以通過電化學沉積來施用。在電化學沉積中，將該聚合物的單體溶解在電解質中並且該CNT陣列或片材用作工作電極，該工作電極與反電極相反。相對於第三參考電極，在該工作電極與該反電極之間施加電勢。該單體由於所施加的電勢而在面向該電解質的CNT陣列頂端或片材側壁上電氧化。控制



施加電勢的總時間來控制該沉積的聚合物層的厚度。

【0091】在其他實施例中，該塗覆材料是或含有一種或多種低聚物和/或聚合物材料。在具體實施例中，該聚合物可以是共軛聚合物，包括芳香族和非芳香族共軛聚合物。合適類別的共軛聚合物包括聚芳香族和聚雜芳族，包括但不限於聚噻吩(包括烷基取代的聚噻吩)、聚苯乙烯、聚吡咯、聚乙炔、聚苯胺、聚芴、聚亞苯基、聚芘、聚萘、聚蒽、聚蒽、聚喹啉、聚吡啶、聚噻吩、聚(3,4-亞乙基二氧噻吩)、聚(對苯硫醚)以及聚(對亞苯基亞乙炔基)。合適的非芳香族聚合物包括但不限於聚乙炔和聚二乙炔。以上所列的聚合物類別包括取代的聚合物，其中聚合物主鏈被一個或多個官能團(如烷基)取代。在一些實施例中，該聚合物是聚苯乙烯(PS)。在其他實施例中，該聚合物是聚(3-己基噻吩)(P3HT)。

【0092】在其他實施例中，該聚合物是非共軛聚合物。合適的非共軛的包括但不限於聚乙烯醇(PVA)、聚(甲基丙烯酸甲酯)(PMMA)、聚二甲基矽氧烷(PDMS)、以及其組合(共混物)。在其他實施例中，該聚合物是石蠟。在其他實施例中，該聚合物是合成蠟，如費-托蠟(Fischer-Tropsch wax)或聚乙烯蠟。在其他實施例中，該聚合物是熔融溫度超過80°C、90°C、100°C、110°C和120°C、優選超過130°C的蠟。在其他實施例中，該聚合物是熱黏膠或熱熔黏合劑，該熱黏膠或熱熔黏合劑將蠟、增黏劑和聚合物基體組合以提供改進的表面黏附。在其他

實施例中，該聚合物是壓敏性黏合劑。

## 2. 金屬納米顆粒

**【0093】** 這些CNT陣列或片材可以用一種或多種金屬納米顆粒塗覆。可以將一種或多種金屬納米顆粒吸附到這些CNT的遠端上以將這些CNT的遠端結合到表面上，降低該CNT陣列或片材與表面之間的熱阻，或以上的組合。可使用在本領域中已知的多種方法將金屬納米顆粒施應用到CNT陣列或片材上。例如，可以將金屬硫醇鹽如十六烷硫醇鈀的溶液噴塗或旋塗到這些CNT的遠端和/或側壁上，並且可以烘烤有機物從而留下鈀納米顆粒。在另一個實例中，可以使用電子束或濺射沉積來將金屬納米顆粒或所連接的納米顆粒的“膜樣”組套件塗覆到這些CNT的遠端和/或側壁上。這些金屬顆粒可以在塗覆的同時或在塗覆之前或之後塗覆。

**【0094】** 合適的金屬納米顆粒的實例包括鈀、金、銀、鈦、鐵、鎳、銅以及其組合。

## 3. 可流動或相變材料

**【0095】** 在某些實施例中，可以將可流動或相變材料施用到CNT陣列或片材上。可以將可流動或相變材料添加到該CNT陣列或片材上以置換CNT之間的空氣並且改進CNT的遠端與表面之間的接觸，並且因此降低該陣列或片材的熱阻以及該陣列或片材與表面之間的接觸或其組合。可以使用在本領域中已知的多種方法將可流動或相變材料施用到CNT陣列或片材上。例如，呈其液體狀態的可流動

或相變材料可通過與該液體部分或完全接觸地放置該陣列或片材而芯吸到CNT陣列或片材中。

**【0096】** 合適的可流動或相變材料的實例包括石蠟、聚乙烯蠟、大體基於烴的蠟以及其共混物。既非蠟也非聚合物的合適的可流動或相變材料的其他實例包括液體金屬、油、有機-無機和無機-無機共晶以及其共混物。在一些實施例中，該一種或多種塗覆材料和該可流動或相變材料是相同的。

**【0097】** 以上描述的塗料、金屬顆粒和/或流動或相變材料可直接施用到這些CNT陣列或片材上以形成在襯底的一個或多個表面上具有CNT的塗覆陣列。可以隨後堆疊塗覆的CNT陣列或片材以形成這些多層或多層次結構。在某些其他實施例中，以上描述的塗料、金屬顆粒和/或流動或相變材料在兩個或更多個CNT陣列或片材的堆疊期間施用。在仍然其他實施例中，以上描述的塗料、金屬顆粒和/或流動或相變材料在兩個或更多個CNT陣列或片材的堆疊之後施用。在非限制性實施例中，一個或多個多層或多層次結構通過以下方式形成：首先堆疊兩個或更多個CNT陣列或片材並且隨後用一種或多種塗料、金屬顆粒和/或流動或相變材料或其組合浸潤所形成結構的至少部分交錯結合的層次。在堆疊之前、期間或之後將這類塗料/材料引入至該一個或多個多層或多層次結構的至少部分交錯結合的層次中可用於修飾和/或增強由這些CNT陣列或片材的堆疊產生的多層或多層次結構的熱傳輸或熱阻特

性。

#### D. 多層或多層次結構

【0098】在此描述的實施例中，單襯底可以在襯底的表面上具有一個或多個CNT陣列，並且這些CNT陣列可以如以上描述塗覆。

【0099】在其他實施例中，多層或多層次結構通過堆疊CNT陣列或片材形成，這些CNT陣列或片材通過包括以下步驟的方法形成：

- (1) 提供至少兩個或更多個CNT陣列或片材；和
- (2) 堆疊該至少兩個CNT陣列或片材

【0100】其中該堆疊導致這些陣列或片材的納米結構(CNT)的至少部分交錯結合。在一些實施例中，製造多層或多層次結構的方法進一步包括施用或浸潤以上描述的塗料、金屬納米顆粒塗料和/或可流動或相變材料塗料的步驟。在一些實施例中，施用或浸潤塗料、金屬納米顆粒塗料和/或可流動或相變材料塗料的步驟在堆疊之前、可替代地在堆疊期間、或者在堆疊之後進行。在又其他實施例中，該方法包括在該堆疊步驟期間施加壓力。所施加的壓力可以在約1-30 psi、更優選約1-20 psi並且最優選約1-15 psi的範圍內。在一些實施例中，該壓力是約15 psi。如果使用可充當結合劑的一種或多種塗覆材料(如黏合劑或相變材料)，則可以持續施加壓力直到相鄰層次結合。可施加壓力持續任何合適的時間量。在一些實施例中，如果不使用結合劑，則僅使用短的時間，如小於1分鐘。

【0101】可以堆疊至少兩個CNT陣列或片材以形成這些多層或多層次結構。例如，圖2示出了三個CNT陣列的堆疊(右側)。通過使用更多CNT陣列，可以根據需要增加這些多層或多層次結構的厚度。在一些實施例中，可根據以上描述的方法堆疊多達5、10、15、20、25、30或更多個CNT陣列或片材。通過堆疊形成的所得多層或多層次結構的厚度可以在1-10,000微米或更大範圍內。

【0102】在非限制性實施例中，將在支撐物/襯底上形成的至少兩個垂直排列型陣列或片材堆疊/接觸使得這些陣列的納米結構元件(如CNT)在接觸時至少部分交錯結合。在一個實施例中，當堆疊時這些陣列的納米結構元件的完全交錯結合在彼此內部發生。在其他實施例中，這些陣列可僅在這些納米結構元件(如CNT)的頂端處交錯結合。在又其他實施例中，單個納米結構可以航行通過在交錯結合過程期間相鄰陣列的納米結構。

【0103】在一些實施例中，至少部分交錯結合的堆疊陣列的納米結構也可以形成較大超結構，例如但不限於管束、簇或排。這些超結構可提供諸如毛細管成簇等機制或借助於在堆疊過程之前、期間或之後施用聚合物塗料而形成。

【0104】在一些實施例中，將聚合物塗料和/或黏合劑或如以上描述的其他塗料施用到CNT陣列上，這些CNT陣列然後堆疊。在這類實施例中，該塗料和/或黏合劑或如以上描述的其他塗料的厚度是約1-1000 nm、更優選1-500

nm 並且最優選 1-100 nm。

#### V. 應用

【0105】在其上具有一個或多個塗覆的CNT陣列的單層襯底或通過堆疊在此描述的CNT陣列或片材而由其形成的多層或多層次結構可以用作熱界面材料(TIM)。視具體應用需要，可形成和/或沉積通過堆疊CNT陣列或片材形成的多層或多層次結構。

【0106】這些單層CNT陣列以及通過堆疊在此所描述的這類CNT陣列形成的多層或多層次結構可以用作在個人計算機、服務器計算機、存儲器模塊、圖形芯片、雷達和射頻(RF)裝置、光盤驅動器、顯示器(包括發光二極管(LED)顯示器)、燈光系統、汽車控制單元、電力電子產品、太陽能電池、電池、通信設備(如蜂窩電話)、熱電產生器以及成像設備(包括MRI)中的熱界面材料(TIM)。

【0107】在某些實施例中，通過堆疊CNT陣列形成的單層或多層或多層次結構在低接觸壓力和/或低壓力應用中是有用的。低壓力可以是指低於1 atm(如在約0.01 atm至小於約1 atm範圍內)的環境壓力。在一些情況下，低壓力可以是指真空，如在航天應用中，其中這類TIM可能用在衛星或航天器/系統中。

【0108】在某些實施例中，通過堆疊CNT陣列形成的多層或多層次結構在低於環境溫度、低於冰點或在極冷溫度(如太空中經歷的溫度)的溫度下是有用的。

【0109】這些CNT陣列以及通過堆疊在此所描述的

這類CNT陣列形成的多層或多層次結構還可用於除熱傳遞以外的應用。實例包括但不限於微電子產品、貫穿晶片的垂直互連組套件以及用於電池和電容器的電極。目前，銅箔和鋁箔用作用於鋰離子電池中的陽極和陰極的背襯材料。

【0110】通過堆疊而由其形成的單層或多層或多層次結構還可用於電磁屏蔽。

#### A. 預燒和熱應用

【0111】TIM的一個高度專業化且正在開發的應用涉及預燒和測試應用。集成電路製造商試圖通過在其芯片上進行“預燒”和應力測試的組合來在初期試用期(*infant mortality period*)內誘發最終破壞。在預燒測試中，利用在可靠性與運行溫度之間的反比關係在升高的溫度下運行芯片(A. Vassighi, O. Semenov, M. Sachdev, and A. Keshavarzi, "Thermal Management of High Performance Microprocessors," in *null*, 2003, p. 313 [A. Vassighi、O. Semenov、M. Sachdev 和 A. Keshavarzi, “高性能微處理器的熱管理”，空，2003，第313頁])。因為裝置在測試過程中在其性能極限下運行，所以有效的熱界面材料(TIM)是必要的。用於預燒應用的TIM的所需特性是：低熱阻、高機械順應性、高穩固性以及不在芯片上不留下殘留物(N. F. Dean and A. Gupta, “Characterization of a thermal interface material for burn-in application,” in *Thermal and*

*Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems, 2000. I THERM 2000. The Seventh Intersociety Conference on, 2000 [N. F. Dean和A. Gupta, “用於預燒應用的熱界面材料的表徵”, 電子系統中的熱和熱力學現象, 2000, I THERM 2000, 第七屆學會交流會議, 2000])。*

【0112】因此，TIM材料非常適合用於其中需要重複循環的應用。例如，它們可以在電氣組件(如芯片)的‘預燒’測試期間用作熱界面材料。在一些實施例中，在此描述的CNT陣列的惰性支撐物/襯底可以是常規金屬散熱片或散熱器的一個或多個表面。這種功能化的散熱片或散熱器可然後鄰接或黏附到熱源(如集成電路封裝)上。這類TIM材料還可以置於或貼附在熱源與散熱片或散熱器之間(如在集成電路封裝與翅片式熱交換器之間)從而改進熱量從熱源到散熱片或散熱器的轉移。

【0113】在此描述的單層和/或多層或多層次堆疊可以用於TIM應用，例如但不限於預燒測試。

【0114】在一些實施例中，該方法可以涉及在涉及壓力、加熱、電或其組合的測試中使用在此描述的單層CNT複合材料以及由其形成的多層或多層次結構。通常，使具有黏合性表面的導熱性和/或導電性的機械順應性襯底與受測裝置接觸。在一些實施例中，該方法可以包括以下步驟：

【0115】用至少10 psi的壓力和小於150°C的接合溫



度使熱或電單元頭部與直接附接到該單元頭部的襯底接合；

【0116】將該接合在至少10 psi的壓力下保持至少5分鐘或將該接合循環至少一次至五次，其中在每次接合期間，該受測裝置處於通電並且加熱該熱或電單元頭部以模擬該裝置通電以達到至少50°C的溫度；並且

【0117】使該熱或電頭部和襯底與該受測裝置脫離並且再接合進行至少1,500次通電循環。

【0118】該方法可以涉及或導致測試該受測裝置以確定循環後的熱阻和/或相對熱阻。

【0119】在某些實施例中，在此描述的單層CNT複合材料以及由其形成的多層或多層次結構在用於使具有黏合性表面的導熱性和/或導電性的機械順應性襯底與受測裝置接觸的方法中使用，該方法包括以下步驟：

(1)將該襯底直接附接到熱或電單元頭部上以完全覆蓋該頭部的區域或匹配該受測裝置的尺寸；

(2)用至少10 psi的壓力和小於150°C的接合溫度將帶有該附接的襯底的熱或電單元頭部接合到該受測裝置上；

(3)將該接合在至少10 psi的壓力下保持至少5分鐘或將該接合循環至少一次至五次，其中在每次接合期間，該受測裝置處於通電並且加熱該熱或電單元頭部以模擬該裝置通電以達到至少50°C的溫度；

(4)使該熱或電頭部和襯底與該受測裝置脫離並且再接合進行至少1,500次通電循環；並且

(5)測試該受測裝置以確定循環後的熱阻和/或相對熱阻。

【0120】在所描述的方法中，接合壓力是至少 10 psi。該接合壓力可以在約 10 psi 至 300 psi、10 psi 至 250 psi、10 psi 至 200 psi、10 psi 至 175 psi 或其中披露的範圍內。

【0121】在所描述的方法中，接合循環的數量可以是至少 1 至 5、5 至 1,000、5 至 5,000 或 10,000 至 100,000 次接合循環，這些接合循環優選地在無需將該襯底從該受測裝置上移除的情況下或者在無需將碎屑或痕跡該受測裝置上清理的情況下進行。

【0122】在所描述的方法中，這些接合循環(即接合、脫離和再接合)可以各自獨立進行持續任何合適的時間段。每個循環可以獨立地進行至少 1 秒至 300 秒、1 秒至 250 秒、10 秒至 200 秒、10 秒至 180 秒、20 秒至 180 秒、30 秒至 180 秒以及其中披露的範圍。

【0123】在所描述的方法中，受測裝置在約 -55°C 至 140°C、-50°C 至 130°C、-40°C 至 120°C、-30°C 至 110°C、-20°C 至 100°C、-10°C 至 90°C、0°C 至 80°C 和 10°C 至 70°C 之間或其中披露的溫度範圍內的溫度下測試。

【0124】在所描述的方法中，可以處理或修飾該襯底的表面以防止單元頭部與受測裝置之間的機械附著，這可以防止該裝置中的應力產生並且防止該裝置從測試插槽中被拔出。

【0125】在所描述的方法中，可以使該襯底同時與在同一襯底上存在的1至100個裸芯片(die)、1至50個裸芯片、1至25個裸芯片、1至15個裸芯片或1至10個裸芯片接觸，即多裸芯片或多芯片測試，並且其中這些裸芯片可以具有不同的高度、形狀和/或尺寸。

【0126】在所描述的方法中，可以將該襯底附接到受測裝置上而不附接到該熱或電單元頭部上。

【0127】在所描述的方法中，可以將該襯底精確切割成該受測裝置的尺寸或該熱或電單元頭部的尺寸，並且允許一個或多個傳感器、一個或多個安裝對準銷、一個或多個真空夾具或其組合穿過該襯底。

【0128】在所描述的方法中，當施加或安裝到基座或該熱或電單元頭部上時，可以將該襯底從該基座、熱或電單元頭部上移除而不留下任何黏合劑殘留物或實質上任何黏合劑殘留物(“實質上任何黏合劑殘留物”是指按初始存在於該襯底上的全部黏合劑的重量計小於10%、9%、8%、7%、6%、5%、4%、3%、2%、1%、0.9%、0.8%、0.7%、0.6%、0.5%、0.4%、0.3%、0.2%或0.1%)。在沒有留下殘留物的這類實例中，當進行移除時不需要刮該基座、熱或電單元頭部。在實質上沒有留下殘留物的這類實例中，當進行移除時可以僅需最少量刮(或實質上不刮)該基座、熱或電單元頭部。

【0129】在所描述的方法中，可以將該襯底附接到該受測裝置上而不附接到該熱或電單元頭部上並且在該測試

步驟完成之後該襯底保持附接在該受測裝置上以便與該裝置一起以其隨後的形式被封裝用於進一步測試或為出售用封裝。

【0130】在所描述的方法中，該襯底增加了約 $0.01 \text{ cm}^2 \text{ K/W}$ 與 $3.0 \text{ cm}^2 \text{ K/W}$ 、 $0.05 \text{ cm}^2 \text{ K/W}$ 與 $2.0 \text{ cm}^2 \text{ K/W}$ 、 $0.05 \text{ cm}^2 \text{ K/W}$ 與 $1.5 \text{ cm}^2 \text{ K/W}$ 、 $0.05 \text{ cm}^2 \text{ K/W}$ 與 $1.0 \text{ cm}^2 \text{ K/W}$ 、 $0.05 \text{ cm}^2 \text{ K/W}$ 與 $0.5 \text{ cm}^2 \text{ K/W}$ 、 $0.05 \text{ cm}^2 \text{ K/W}$ 與 $0.1 \text{ cm}^2 \text{ K/W}$ 之間以及在此披露的範圍內的熱阻，如在該測試步驟後測定的。

【0131】在所描述的方法中，該襯底具有在約 $100 \text{ W/m K}$ 與 $2,000 \text{ W/m K}$ 、 $100 \text{ W/m K}$ 與 $1,900 \text{ W/m K}$ 、 $100 \text{ W/m K}$ 與 $1,800 \text{ W/m K}$ 或 $100 \text{ W/m K}$ 與 $1,700 \text{ W/m K}$ 之間以及在此披露的範圍內的面內熱導率從而使熱量從該受測裝置上的局部熱點散發。

【0132】在所描述的方法中，該襯底具有通過低熱質量(即吸收和儲存熱能的能力)和大於 $1 \text{ W/m K}$ 、 $2 \text{ W/m K}$ 、 $3 \text{ W/m K}$ 、 $4 \text{ W/m K}$ 、 $5 \text{ W/m K}$ 、 $6 \text{ W/m K}$ 、 $7 \text{ W/m K}$ 或 $8 \text{ W/m K}$ 的面間熱導率，並且測試該受測裝置所需的時間是最小的，即小於10分鐘、小於5分鐘、小於3分鐘、小於1分鐘、小於30秒。

【0133】在所描述的方法中，該襯底優選地在測試步驟中僅增加了對於 $1 \text{ cm}^2$ 在 $0.001$ 歐姆與 $10$ 歐姆之間的電阻。

【0134】在所描述的方法中，可以使用該襯底使電接

觸引腳的陣列短路，以用於表徵這些電接觸。

【0135】在所描述的方法中，該襯底優選具有小於5微米的壓縮形變。

【0136】在所描述的方法中，用小於100 psi的施加壓力可以優選地將該襯底壓縮至其原始厚度的至少5%。

【0137】在所描述的方法中，可以將該襯底壓縮多達其原始厚度的50%而優選不撕裂或剪切破壞。

【0138】在所描述的方法中，在該襯底的不同區域中可以將該襯底壓縮至不同的量，同時維持與在同一板上具有不同尺寸、形狀或高度的1個或多個裸芯片或芯片的表面接觸。

【0139】在所描述的方法中，該黏合劑優選是存在於、施用到、或嵌入該襯底的表面層上或之中的熱塑性或壓敏黏合劑並且該熱塑性或壓敏黏合劑優選不會使在該襯底與接觸表面之間的黏合劑厚度增加大於5微米同時維持強的機械結合。該黏合劑可以是任何合適的商業黏合劑或黏合劑的組合，該黏合劑優選地是低阻黏合劑。該黏合劑還可以由在此描述的關於在襯底上的CNT陣列的一種或多種塗覆材料(如聚合物)或其組合形成。該黏合劑優選使TIM材料成爲“剝離和膠黏”TIM材料，當合適的釋放襯墊從該TIM材料的黏合劑側剝離下時，該TIM材料可以容易地放置並且附著。

【0140】在所描述的方法中，該熱單元可以是自動測試設備(ATE)拾取與放置處置器的一部分並且該襯底可以

替代對用於不同裝置形狀或幾何形狀的基座或裝置套件的需求。

【0141】在所描述的方法中，可以在將基座或該熱或電單元頭部安裝到自動測試設備(ATE)拾取與放置處置器、預燒烘箱或可用於相同或相似目的的其他此類測試設備上之前將該襯底施加到該基座或該熱或電單元頭部上。

【0142】在所描述的方法中，該熱單元可以是預燒烘箱的一部分並且該襯底可以替代對用於不同裝置形狀或幾何形狀的基座或裝置套件的需求。

【0143】在所描述的方法中，該襯底可以與在基座的一側或兩側的金屬基座組合使用。

【0144】在所描述的方法中，該順應性襯底可以替代對在每次測試接合循環過程中插入液體的需求或與液體組合使用以增強性能的需求。

【0145】在所描述的方法中，該機械順應性襯底可以最小化將配合表面拋光到工廠打磨處理面(factory mill finish) (如通過工業標準測定)或到比工廠打磨處理面更大程度的需要。

【0146】在所描述的方法中，該襯底厚度優選在約10微米至10,000微米之間。

【0147】在所描述的方法中，該襯底厚度優選小於約100微米並且在與該受測裝置頭部接觸期間不會由於施加的剪切力而撕裂或降解。

【0148】在所描述的方法中，當該裝置或頭部的中心

到邊緣曲率優選在大約5-200微米之間或在此披露的範圍內時，該襯底可以形變以填充在該受測裝置與該熱或電單元頭部之間間隙。

**【0149】** 在所描述的方法中，該襯底是在金屬或石墨箔或片材的一側或兩側生長的垂直排列型碳納米管陣列。

**【0150】** 在所描述的方法中，該襯底可以是在金屬(如鋁)或石墨箔或片材的一側或兩側生長的垂直排列型碳納米管陣列的多層堆疊，其中層數是1至20、1至15、1至10、1至5、1至3或1至2之間。

**【0151】** 在所描述的方法中，該襯底是柔性玻璃或陶瓷或電介質箔或片材，或塗覆有提供電隔離的電介質層的金屬箔。

**【0152】** 在所描述的方法中，該襯底是用錨定到該襯底上的催化劑形成的垂直排列型碳納米管陣列。在美國申請號13/546,827和14/414,227中詳細描述了形成這種垂直排列型碳納米管陣列的方法，其中這些申請以相關部分通過援引方式並入本申請。

**【0153】** 在所描述的方法中，可以通過使用熱塑性黏合劑的保形塗料將該襯底永久地或半永久地附接到熱源或散熱片上，其中與沒有黏合劑的襯底相比，該熱塑性黏合劑的添加不增加該襯底的熱阻。可以使用任何合適的商業熱塑性黏合劑或黏合劑的組合。該黏合劑還可以由在此描述的關於在襯底上的CNT陣列的一種或多種塗覆材料(如聚合物)或其組合形成。該黏合劑優選使TIM材料成爲“剝

離和膠黏”TIM材料，當合適的釋放襯墊從該TIM材料的黏合劑側剝離下時，該TIM材料可以容易地放置並且附著。

【0154】在所描述的方法中，在所描述的在TIM材料上使用的黏合劑在移除後沒有留下殘留物或留下最少量的殘留物。最少量的殘留物是指在移除TIM後按重量計小於5%、4%、3%、2%或1%的任何殘留材料。剩餘的任何殘留物可以用低毒性溶劑(例如但不限於異丙醇或水)清理。

【0155】在所描述的方法中，該襯底是用一種或多種聚合物浸潤或塗覆的如以上描述的在金屬襯底上的碳納米管陣列或其多層堆疊，其中該聚合物塗料與CNT頂端和/或CNT壁共面和/或貼合；或具有在這些CNT頂端上方不超過約100 nm、200 nm、300 nm、400 nm、500 nm、750 nm或1000 nm的過量聚合物。優選地，該一種或多種聚合物是耐久性低壓縮形變聚合物。優選地，該聚合物不會或實質上不會滲出、流出、蒸發或以其他方式將殘留物轉移到該受測裝置。如在此使用的“實質上”是指小於10%、5%、4%、3%、2%或1%的滲出、流出、蒸發或以其他方式將殘留物轉移到該受測裝置。優選地，該一種或多種聚合物具有高介電強度和高電阻率。

【0156】在所描述的方法中，這些TIM陣列的CNT頂端仍然可用於與旨在與該CNT頂端配合的表面(如該裝置或其子部分或組件)電接觸。

【0157】在所描述的方法中，所描述的黏合劑不增加該襯底與該受測裝置或熱/電接觸頭部界接處的熱阻或電



阻。

【0158】在所描述的方法中，該黏合劑優選是剝離和膠黏黏合劑和/或熱活化的黏合劑。合適的黏合劑是本領域已知的。

【0159】在所描述的方法中，可以在無需將該襯底從該受測裝置上移除的情況下或在無需將碎屑或痕跡該受測裝置上清理的情況下測試該裝置。

【0160】在所描述的方法中，該襯底優選是塗覆的CNT陣列熱界面材料(TIM)。在某些實施例中，塗覆的CNT陣列TIM是具有在襯底上一個或兩個表面塗覆CNT林的襯底的單層TIM。在一些實施例中，塗料是聚合物塗料，該聚合物塗料優選是聚乙烯蠟，其中該蠟塗料是在該陣列的CNT頂端和/或CNT壁上存在的均勻並且保形的塗料。如在此描述的，該塗料優選通過粉塗沉積法塗覆。

【0161】在某些其他實施例中，塗覆的基於CNT陣列的TIM由多個單層TIM形成，這些單層TIM具有在襯底上一個或兩個表面塗覆CNT林的襯底。這些多層堆疊在此描述。在一些實施例中，塗料是聚合物塗料，該聚合物塗料優選是聚乙烯蠟，其中該蠟塗料是在該陣列的CNT頂端和/或CNT壁上存在的均勻並且保形的塗料。如在此描述的，該塗料優選通過粉塗沉積法塗覆。

【0162】在此描述的CNT陣列的單層和/或多層或多層次堆疊還可以並入用於對電子裝置進行溫度控制的系統、裝置和/或設備(例如但不限於熱控制器)中。例如在美

國專利號6,489,793、6,636,062和8,896,335中描述了這樣的系統、裝置和/或設備，這些專利以相關部分通過援引方式並入本申請。

#### B. 熱界面材料套件

**【0163】** 在此描述的塗覆的基於CNT陣列的TIM材料(也稱為CNT-TIM複合材料)可在多種應用(包括但不限於軍事、工業製造和汽車製造)中使用。

**【0164】** 作為非限制性實例，這些CNT-TIM複合材料可根據在此描述的方法製備並且以套件提供。

**【0165】** 套件可以包括一種或多種所描述的CNT-TIM複合材料。優選地，該CNT-TIM複合材料是黏合性剝離和膠黏IM材料。該套件可以進一步包括在容器中合適量的醇(如異丙醇(IPA))、無絨布、防護手套和鑷子。

**【0166】** 該套件還包括詳細說明該襯底(CNT-TIM複合材料待施用到其上)的製備的說明以及詳細的應用說明。例如，表面製備可包括戴上防護手套並且使用IPA和無絨布清理表面(如散熱器)。在一個實施例中，這些應用說明包括以下步驟：

- 戴上防護手套並且使用鑷子將釋放襯墊從該剝離和膠黏CNT-TIM複合材料上移除，確保在施用之前不會接觸該黏合劑。雖然該黏合劑具有長的敞開時間，但是應在將該釋放襯墊移除後快速施用該黏合劑以避免任何顆粒或其他環境污染；並且

- 將釋放的剝離和膠黏CNT-TIM複合材料附接到襯

底(如散熱片頭部)上，優選從該襯底的一端開始並且向該襯底的相對端處理以確保該CNT-TIM複合材料到表面上是平坦的。應在施加的CNT-TIM複合材料的法向上施加壓力並且不應如通過滑動手指橫跨所施加的CNT-TIM複合材料施般施加壓力。

**【0167】** 可根據詳細說明以下步驟的說明進一步時效處理所施加的CNT-TIM複合材料：

- 在優選低於50°C的接合溫度下施加至少10 psi、20 psi或30 psi的壓力。在時效處理過程中施加的壓力可以是高達200 psi、150 psi、100 psi或75 psi。使用更高的壓力可以導致CNT-TIM複合材料的改進的熱阻特性(參見圖10)

- 在塗覆的CNT-TIM複合材料的一側將該襯底(例如散熱片)加熱至約90°C至120°C、優選至少110°C的溫度。

- 在適當的溫度下將該複合材料在壓力下保持約1分鐘至30分鐘、1分鐘至20分鐘、1分鐘至10分鐘、5分鐘至10分鐘、並且更優選至少約8分鐘。

- 允許該襯底(如散熱片)冷卻至低於75°C、60°C、50°C、40°C或30°C的溫度；並且

- 使該襯底(如散熱片)脫離所施加的壓力。

**【0168】** 適當時可重複這些時效處理步驟。

**【0169】** 該套件還包括有關避免在該CNT-TIM複合材料的安裝或時效處理之前，期間或之後觸碰該壓敏黏合劑和引入痕跡或起泡的警告。

【0170】該套件還包括用於去除該CNT-TIM複合材料的說明。例如，如果該CNT-TIM複合材料經受時效處理，則該去除包括以下步驟：

- 使用鑷子和防護手套，
- 從一個角抓取該CNT-TIM複合材料並且剝離掉，並且
- 使用IPA和無絨布從該襯底(如散熱片)表面將任何殘留物清理。

【0171】如果該CNT-TIM複合材料沒有經受時效處理，則該去除包括以下步驟：

- 剝離掉該CNT-TIM複合材料；
- 使用IPA和無絨布從該襯底(如散熱片)表面將任何殘留物清理。

【0172】在某些其他實施例中，如以上描述的熱界面材料套件可以提供為旨在準備自動測試設備(ATE)處置器、預燒烘箱或用來接受用於測試的新產品的其他此類測試系統的較大型裝置轉換套件的一部分。包括在裝置轉換套件中的典型項目可以包括但不限於設計以匹配新產品的尺寸的基座、新插槽和其他此類附件。

【0173】在另一個實施例中，如以上描述的熱界面材料套件可以提供為裝置轉換套件中的附加附件，伴隨有安裝說明和相關材料。

【0174】在又一個實施例中，所描述的熱界面材料可以施用到存在於套件中的組件的一個或多個表面(例如，裝

置轉換套件內的一個或多個組件或部件的基座表面或其他配合表面)。在這類實施例中，可以任選地包括安裝說明和材料，因為(例如在交付給最終用戶之前)熱界面材料預先施用到存在於該套件中的一個或多個組件的一個或多個表面上。

實例

實例1：多層/多層次基於CNT的熱界面材料(TIM)

方法：

熱測量系統設計：

**【0175】** 使用基於在 ASTM D5470 “Standard Test Method for Thermal Transmission Properties of Thermally Conductive Electrical Insulation Materials [導熱電性絕緣材料的熱傳遞特性的標準測試方法]” 中描述的方法設計並且構建的測試器具評估所有測試樣本的熱傳遞特性。它不僅允許測試樣本形變，而且還並入真空室以使傳導和對流熱損失最小。器具設計的示意性圖在圖1中示出。該真空室由不銹鋼與丙烯酸門構建，並且能夠維持在 $10^{-5}$ 托範圍內的真空。將該真空室擱置在1000 lb負載框架的反應板上，其中所有饋通件靠近該室的頂部。熱電偶通過Omega-4對饋通件(可能8個熱電偶)中的一對饋入。冷卻管具有隔板配件與o形環密封件。通過Watlow SD控制器與熱電偶反饋回路控制加熱器的功率。加熱塊被FR4玻璃纖維絕熱殼體圍繞，並且將冷卻塊擱置在具有機械加工凹陷部分的玻璃纖維絕熱板的頂上以與該加熱塊維持

向心性。1'' × 1''和4'' × 4''加熱塊和冷卻塊都被製造成適應此程序的計劃測試。

熱傳遞係數評估：

【0176】在該測試器具的熱與冷儀錶塊之間相差 20°C的情況下進行熱傳遞評估。發現，需要盡可能接近於 20°C的溫度差以驅動系統中的熱傳遞，使得可獲得精確結果。測試數據從通過LabView獲取的測試數據輸出文件直接導入。使用來自NIST(E. Marquardt, J. Le, and R. Radebaugh, “Cryogenic Material Properties Database Cryogenic Material Properties Database,” 2000 [E. Marquardt、J. Le和R. Radebaugh, “低溫材料特性數據庫低溫材料特性數據庫”2000])的對於鋁的算法來針對特定溫度計算儀錶棒(5005系列鋁)的熱導率( $\lambda$ )。

【0177】然後根據方程式1計算通過每個單獨儀錶棒的熱流：

$$Q=(\lambda * A/d)(\delta T) \quad (1)$$

其中Q是通過該棒的熱流，A是橫截面積，d是熱電偶之間的距離並且 $\delta T$ 是從一個熱電偶到另一個熱電偶的溫度差(開爾文)。然後對這些熱和冷儀錶塊的值進行平均以獲得 $Q_{總}$ 。然後通過方程式2評估熱阻抗( $m^2K/W$ )：

$$\theta=(A/Q_{AVG})*\delta T \quad (2)$$

其中 $\delta T=T_H - T_C$ 是在被評估材料與這些儀錶塊的界面處的特定溫度之間的差，A是材料的橫截面積並且Q是通過這些儀錶塊的平均熱流。

【0178】然後使用方程式3計算熱導率：

$$\lambda = Q_{AVG} * \delta d / A * \delta T \quad (3)$$

其中 $\delta d$ 是樣本的厚度變化， $A$ 是樣本的橫截面積並且 $\delta T$ 是在樣本上的溫度差(開爾文)。

【0179】通過方程式4計算測試樣本的熱傳遞係數：

$$c = Q_{AVG} / A * \delta T \quad (4)$$

樣品製造：

【0180】使用鐵催化劑在鋁(A1)和銅(Cu)襯底二者上生長CNT陣列以評估其性能差異。使用低壓化學氣相沉積(LPCVD)方法進行CNT生長。

【0181】測試三種不同CNT高度-箔組合：

- 系列號1 - 在每一側具有50微米納米管的50微米A1襯底
- 系列號2 - 在每一側具有50微米納米管的75微米A1襯底
- 系列號3 - 在每一側具有150微米納米管的50微米銅襯底

【0182】通常，所製造的所有長度的納米管品質都非常好。然而，隨著管長度增加，缺陷的存在也增加。此外，最終可達到的CNT高度受該催化劑到該襯底中的反擴散和該襯底到該催化劑堆疊中的擴散限制。對於其中需要具有更大順應性的較厚樣品的應用，TIM的高度增加通過堆疊雙側林/陣列實現(如在圖2中示意性示出的)。

【0183】評估利用在鋁(A1)襯底上單個TIM的兩種不

同堆疊配置。表示“幹式”堆疊的第一配置由三個單獨的TIM組裝並且然後以製備原樣進行評估。第二堆疊配置涉及使用非常薄的噴塗蠟材料將單獨的TIM在管對管界面處結合在一起。已顯示這些噴塗的界面材料顯著降低了基於CNT的熱界面材料的熱阻。對於該合成蠟的最大可用溫度是150°C，完全在這些TIM的預期操作範圍內並且預期所使用的非常薄的層(約100 nm)不存在任何排氣問題。

【0184】所有初始評估都是在環境壓力與50°C的平均溫度下進行並且在測試器具中的加熱與冷卻儀錶塊之間的溫度差是20°C。一旦第一和第二配置TIM堆疊的熱性能已在環境壓力下被驗證，就在真空下進行附加測試。使用50°C的中值溫度和20°C的溫度差使得能夠與環境壓力數據比較。

結果與討論：

幹式堆疊：

【0185】用儀器十字頭測量的實際位移在10 kPa(1.5 psi)的施加壓力下是在430 μm至480 μm之間的範圍內並且在69 kPa(10 psi)的施加壓力下是在355 μm至460 μm之間的範圍內。這表明CNT屈曲和/或界面交錯結合的某種組合。應注意，位移測量值與真實厚度不同，因為可能難以精確辨別用於位移測量的與TIM堆疊接觸的點。還必須考慮相鄰CNT層的CNT屈曲和交錯結合。然而，使用常規測量技術的精確厚度測量是不可能的。

【0186】針對兩種幹式TIM堆疊的熱傳遞測試的結



果在圖3中示出。每個樣本通過整個10-69 kPa(1.5 psi至10 psi)壓力循環測試兩次以評定幹式堆疊的再現性。對於所測試的幹式堆疊二者，在已經歷一次壓力循環之後存在熱傳遞的實質性改善。這表明需要組裝壓力以確保相鄰CNT層之間的良好接觸。這證明了熱傳遞的改善是由交錯結合導致的。

蠟組裝堆疊：

【0187】在這些實驗中，將三個鋁襯底上的TIM樣本(各具有大約200  $\mu\text{m}$ 的總厚度)堆疊並且用薄蠟層(約100 nm)結合以提供大致600  $\mu\text{m}$ (0.024'')厚的TIM組零件。用儀器十字頭測量的實際位移略微小於目標厚度。

【0188】蠟結合的堆疊的測試結果提供於圖4中。通常，這些蠟堆疊在性能上比干式堆疊更一致並且在完全運行之前似乎不需要“磨合”壓力循環。注意到在測試1中樣本B2在低接觸壓力下的性能異常；這可能歸因於在器具中的上部儀錶塊與樣本之間的不充分接觸。這個特定樣本的后續測試始終顯示優異的性能。

【0189】如在此描述的堆疊TIM允許在金屬襯底上生長長CNT，尤其當使用薄(約nm厚)層聚合物結合層次間的層並且控制交錯結合水平時。

實例2：含有聚合物或黏合劑的多層/多層次基於CNT的熱界面材料(TIM)

【0190】使CNT陣列生長到標稱100  $\mu\text{m}$ 厚並且用軟聚氨基甲酸酯聚合物完全浸潤。使用修改後ASTM D570

階梯棒設備測量每個單獨墊的熱阻。

【0191】使用各種方法堆疊這些單獨樣品，並且以與單個層次相同的方式測量所得堆疊的熱阻。

【0192】首先，將分別具有  $1.37 \text{ cm}^2\text{-K/W}$  和  $1.5 \text{ cm}^2\text{-K/W}$  的測量熱阻的兩個單獨陣列樣品堆疊在彼此頂部。將已知溶解浸潤陣列的聚合物的溶劑放置在這些堆疊之間並且使界面處於液態。使所得堆疊在壓力下乾燥直到溶劑完全蒸發。然後在階梯棒系統中測量該堆疊，其中所得熱阻為  $1.5 \text{ cm}^2\text{-K/W}$ 。在此實例中，該堆疊陣列的厚度加倍，同時未招致熱阻損失。

【0193】在第二實驗中，將分別具有  $0.45 \text{ cm}^2\text{-K/W}$  和  $0.66 \text{ cm}^2\text{-K/W}$  的熱阻的兩個單獨陣列樣品堆疊在彼此頂部。將丙烯酸酯黏合劑的薄層放置在樣品之間。使樣品堆疊在壓力下乾燥直到溶劑完全蒸發。然後在階梯棒系統中測量所得堆疊，其中所得熱阻為  $0.66 \text{ cm}^2\text{-K/W}$ 。在此第二實例中，該堆疊陣列的厚度也加倍，同時未招致熱阻損失。

實例3：熱界面材料(TIM)的預燒測試

CNT-TIM複合材料的樣品製造：

【0194】通過低壓化學氣相沉積在兩側上塗覆鐵催化劑的  $50 \text{ }\mu\text{m}$  1145 H19 鋁箔上生長垂直排列型碳納米管。乙炔和氫氣充當前體氣體並且在  $630^\circ\text{C}$  下進行生長以輕鬆地保持低於該Al襯底的熔化溫度。使CNT生長至兩個標稱高度： $15 \text{ }\mu\text{m}$ (3分鐘生長時間)或  $50 \text{ }\mu\text{m}$ (15分鐘生長

時間)。

【0195】據信，由於將厚度一致的塊狀石蠟重複芯吸到CNT陣列內同時避免在頂端處的過量聚合物的困難，粉塗技術可以更可靠地將均勻薄的蠟塗料傳送到CNT頂端。

【0196】用於粉塗CNT的合成聚乙烯蠟以裝載在Eastwood雙電壓熱塗(Eastwood Dual Voltage HotCoat)粉塗槍內的微粉化粉末形式供應。將5-8 psi的乾燥空氣傳送到該粉塗槍，該粉塗槍提供將蠟傳送到樣品的動力。這些蠟顆粒在它們離開該噴槍時帶電15 kV，使它們黏附在製備的鋁襯底樣品上接地的垂直型CNT林上。這些蠟顆粒似乎很好地黏附在該CNT樣品的表面上，承受劇烈搖動和吹動。然後將幹塗的CNT樣品從粉塗箱移至烘箱中以使該蠟固化(熔化)。

【0197】作為一個比較點，用石蠟手動塗覆對照樣品以比較塗層厚度。使用SEM檢查粉塗樣品顯示，當使用粉塗方法時，存在顯著更少的CNT的成簇(圖5A和5B)。CNT的毛細管成簇是由乾燥浸泡入這些CNT中的液體蠟的過程驅使的。這種毛細管成簇的最小化表明，粉塗方法遠遠更能傳遞薄的蠟塗層以增強CNT頂端接觸而沒有過量的導致成簇和降低的熱性能的材料。

【0198】為了相對其他工業標準材料對製備的CNT-TIM複合材料樣品的熱性能進行基準測量，在設計以測量導熱性樣品的穩態1D熱阻的修改後ASTM-D5470階梯棒設備中測量1 cm × 1 cm的樣品。該測試設備詳細描述

在(D. R. Thompson, S. R. Rao, and B. A. Cola, “A Stepped-Bar Apparatus for Thermal Resistance Measurements,” *Journal of Electronic Packaging*, vol. 135, pp. 041002-041002, 2013 [D. R. Thompson、S. R. Rao和B. A. Cola, “用於熱阻測量的階梯棒設備”, 電子封裝雜誌, 第135卷, 第041002頁 - 第041002頁, 2013])中。爲了正確建立和比較該CNT-TIM複合材料樣品的性能, 在相同條件下測試多種可商購的TIM。

預燒系統設計：

【0199】使用預燒系統來模擬用於預燒和測試應用的熱機械循環。它被用來監測該CNT-TIM複合材料樣品和商業樣品在許多次循環後的熱阻。該系統在圖6A中示出, 並且該測試設備具有下部棒和上部棒, 如圖6B和6C所詳細說明的。下部棒用兩個筒式加熱器加熱並且充當受熱的微芯片; 上部棒用冷水主動冷卻並且充當冷卻溶液。沿著下部和上部和上部棒的中心分別放置五個和三個J型熱電偶。將連接上部棒的冷板附接到氣動驅動的柱塞上。將該柱塞連接到電磁閥上, 該電磁閥根據設定循環時間的可編程繼電器的需求打開和關閉。如圖6A所示, 白塊由彈簧和杆支撐, 用於改善上部棒的水平對齊。由於該冷板以懸臂方式附接到致動器上, 因此在其自身重量下它傾向於稍微低於水平地懸掛。當該冷板以其向下下降地衝擊該白塊時, 它被提升更接近於平行, 使其與下部儀錶棒成更真實的走向角度。雖然走向角度減小, 但是它不會完全平行地

衝擊下部棒而是具有正如現場安裝時那樣的稍微傾斜。這種非零走向角度和在上部棒與下部棒之間的隨後滑動運動導致當它在接合和脫離時在TIM上產生剪切應力，提供了更真實的磨損機制。

【0200】使用可編程繼電器，可以設置每次循環的時間和循環之間的時間。在所進行的實驗中，每次循環設定接合這些棒180秒以及脫離這些棒20秒。在工業中，根據該測試應用，測試循環可以在針對測試應用的幾十秒量級至針對預燒應用的幾小時的範圍內。選擇180秒的接合時間，因為它符合在工業中使用的時間並且它還分配足夠的時間使熱阻達到穩定狀態。選擇20秒的脫離時間，它允許將下部棒加熱到120°C，這通常是對於工業中受測裝置(DUT)的最高工作溫度。所有實驗的設定壓力均為70 psi。將筒式加熱器線接到電壓調節器上並且將其設定到可能的最高電壓，從而使下部棒不超過120°C。冷水機設定為15°C。

【0201】用KAPTON®帶將待測試的CNT-TIM複合材料樣品和商業樣品附接到頂部棒的表面上。將各自TIM切割成與上部棒的尺寸相匹配，並且將四條帶懸掛放置在這些TIM的邊緣上，並且然後折疊該帶以黏附到上部棒。

【0202】為了能夠計算熱阻，使用線接到Omega數據採集模塊上的熱電偶來監測沿著兩個棒的溫度。使用每個熱電偶的位置和溫度，可以使用一階線性擬合來計算下部棒和上部棒的配合表面的溫度。隔絕下部棒以允許1D傳

導，並且然後使用下面的方程式計算通過下部棒的熱通量：

$$q'' = k_{\text{下部棒}} \left( \frac{dT}{dx} \right)_{\text{下部棒}}$$

其中  $k_{\text{下部棒}}$  是下部棒的導熱率，並且  $\left( \frac{dT}{dx} \right)$  是沿著下部棒的溫度梯度。然後可以使用下面的方程式計算功率輸入：

$$Q = q'' \text{面積}_{\text{下部棒}}$$

使用下面的方程式確定熱阻：

$$R = \frac{\Delta T_{TIM}}{Q}$$

**【0203】** 在系統已達到穩定狀態後並且在每次循環中的同一時間點計算熱阻。一旦TIM顯示破壞的跡象(即，物理撕裂或熱阻已大大增加)，就終止測試。

結果：

靜態測試：

**【0204】** 對於50 psi的接觸壓力，在具有和沒有蠟的兩種情況下CNT-TIM複合材料樣品的比較在圖7中示出。將CNT-TIM複合材料性能與間隙墊(sil pad和tputty)、石墨和高性能熱潤滑脂以及基於碳纖維的高端TIM比較。在廣泛範圍的TIM類型中，CNT-TIM複合材料顯示最佳的熱阻性能。在此中等壓力下，負載銀顆粒的高端熱潤滑脂提供了可相比的性能，然而該CNT-TIM複合材料消除了與由於CTE不匹配而導致的泵出、排空和分層有關的可靠性問題。此外，該CNT-TIM複合材料提出了插入

試樣式(drop-in coupon style)的解決方案，使得相對潤滑脂或凝膠在易用性上有顯著改進。數據上的一些差異對於粉末塗覆的CNT-TIM複合材料是明顯的，這可以將其精細處理以確保樣品對樣品的均勻性和再現性。

【0205】圖8示出了在100 psi接觸壓力下的類似比較。在較高的接觸壓力下，隨著結合線厚度和總接觸面積的增加，熱阻如預期的那樣下降。此外，在較高的接觸壓力下，不再觀察到熱潤滑脂所展示的輕微優勢，而該CNT-TIM複合材料保持了較低壓力下已存在的形狀因素、安裝和可靠性上的優勢。

預燒測試：

【0206】在60 psi下，該CNT-TIM複合材料的熱阻為 $0.5 \text{ cm}^2\text{K/W}$ ，對於鋼其熱阻為 $0.05 \text{ cm}^2\text{K/W}$ ，並且對於橡膠塗覆的鋁箔，其熱阻為 $0.8 \text{ cm}^2\text{K/W}$ 。

【0207】圖9示出了測試樣本在熱機械循環過程中的熱阻變化。由於磨損，該橡膠塗覆的鋁箔在300次循環後熱阻加倍，並且鋼墊在400次循環後撕裂。該CNT-TIM複合材料在1500次循環後仍然耐久並且熱阻保持一致。該橡膠塗覆的鋁箔的磨損是由施加到TIM上的重複的力所導致，並且橡膠開始磨穿而暴露出下面的箔。由於前面描述的施加於TIM的剪切力，所以鋼撕裂。在圖9中，可以注意到，鋼在破壞之前熱阻下降；這可歸因於TIM‘侵入’並且創造了與這些棒的更好接觸。該CNT-TIM複合材料在1500次循環後具有下部棒的印記。

【0208】爲了評估這些經測試的樣品是否將任何不

可接受的污漬轉移到測試裸芯片上，進行了幾個實驗。在預燒測試期間，當這些棒脫離時，將顯微鏡載玻片放置在底部棒的頂上。然後使頂部棒落下並且使TIM與載玻片接觸。在循環完成後，檢查該載玻片的殘留物轉移。該CNT-TIM複合材料沒有顯示出殘留物轉移的跡象，而橡膠塗覆的Al箔TIM卻存在這種跡象。該銅墊沒有經受這個測試，因為它在測試過程中已經對底部棒上留下了污漬。為了進一步研究該CNT-TIM複合材料是否會留下污漬，與預燒系統分開進行另一個測試。將該CNT-TIM複合材料放置在兩個矽裸芯片之間在120°C下在100 psi的壓力下持續30分鐘。這些矽裸芯片沒有顯示出可見的污漬跡象，並且在SEM下成像時沒有污漬跡象(未示出)。

**【0209】** 測試顯示，精心挑選和設計聚合物-碳納米管複合材料(CNT-TIM複合材料)可以被定制以提供具有耐久性、低熱阻、順應性以及化學和熱穩定性的優化混合的定制TIM。

**【0210】** 除非另外定義，否則在此使用的所有技術和科學術語均具有與披露的本發明所屬領域的普通技術人員通常所理解相同的含義。在此引用的公開物及對其引用的材料通過援引方式具體並入。

**【0211】** 本領域技術人員將認識到或僅使用常規實驗就能夠確定在此描述的本發明的具體實施例的許多等同物。這樣的等同物旨在由以下申請專利範圍涵蓋。



## 【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種用於使具有黏合性表面的導熱性和/或導電性的機械順應性襯底與受測裝置接觸的方法，該方法包括以下步驟：

將該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底附接到受測裝置；

用至少10 psi的壓力和小於150°C的接合溫度接合該受測裝置；以及

將該受測裝置在至少10 psi的壓力下保持至少5分鐘；

使該受測裝置脫離並且再接合進行至少1至5次對該受測裝置的通電循環；並且

其中該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底保持附接到該受測裝置並且能夠與該受測裝置封裝在一起。

【請求項2】 如請求項1的方法，其中，將該接合、脫離和再接合步驟重複至少1至5次。

【請求項3】 如請求項1或2的方法，其中在約-55°C至140°C之間的溫度下測試該受測裝置。

【請求項4】 如請求項1的方法，其中，使該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底同時與在同一導熱性和/或導電性的機械順應性襯底上的在1與10個之間的裸芯片接觸，並且其中該1至10個裸芯片可以具有不同的高度、形狀和/或尺寸。

【請求項5】 如請求項1的方法，其中，該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底增加了在0.05與1.5 cm<sup>2</sup> K/W

之間的熱阻。

【請求項6】 如請求項1的方法，其中，該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底具有在100 W/mK與1,700 W/mK之間的面內熱導率從而使熱量從該受測裝置上的局部熱點散發。

【請求項7】 如請求項1的方法，其中，該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底具有熱質量大於1 W/m K、2 W/m K、3 W/m K、4 W/m K、5 W/m K、6 W/m K、7 W/m K或8 W/m K的面間熱導率。

【請求項8】 如請求項1的方法，其中，用小於100 psi的施加壓力可以將該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底壓縮至其原始厚度的至少5%。

【請求項9】 如請求項1的方法，其中，該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底的厚度在約10與10,000微米之間。

【請求項10】 如請求項1的方法，其中，該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底增加了在0.001與10歐姆/cm<sup>2</sup>之間。

【請求項11】 如請求項1的方法，其中，該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底的厚度小於約100微米。

【請求項12】 如請求項1的方法，其中，該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底是在金屬或石墨箔或片材的一側或兩側生長的垂直排列型碳納米管陣列。

【請求項13】 如請求項1的方法，其中，該導熱性和/

或導電性的機械順應性襯底是在金屬或石墨箔或片材的一側或兩側生長的垂直排列型碳納米管陣列的多層堆疊，其中層數在1與20之間。

【請求項14】 如請求項1的方法，其中，通過使用熱塑性黏合劑的保形塗料將該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底永久地或半永久地附接到散熱器或散熱片上，其中與沒有黏合劑的導熱性和/或導電性的機械順應性襯底相比，該熱塑性黏合劑的添加不增加該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底的熱阻。

【請求項15】 如請求項1的方法，其中，該黏合性表面包含剝離和膠黏黏合劑和/或熱活化的黏合劑。

【請求項16】 如請求項1的方法，其中，該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底是塗覆的碳納米管陣列熱界面材料(TIM)。

【請求項17】 一種用於使具有黏合性表面的導熱性和/或導電性的機械順應性襯底與受測裝置接觸的方法，該方法包括以下步驟：

將該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底直接附接到熱或電單元頭部上以完全覆蓋該熱或電單元頭部的區域或匹配該受測裝置的尺寸；

用至少10 psi的壓力和小於150°C的接合溫度將帶有該附接的導熱性和/或導電性的機械順應性襯底的熱或電單元頭部接合到該受測裝置上；以及

將該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底在該受測

裝置上在至少10 psi的壓力下保持至少5分鐘；並且其中帶有該附接的導熱性和/或導電性的機械順應性襯底的熱或電單元頭部能夠使該受測裝置脫離並且再接合進行至少1,500次對該受測裝置的通電循環。

【請求項18】 如請求項17的方法，其中，在不將該附接的導熱性和/或導電性的機械順應性襯底從該受測裝置上移除或不必將碎屑或痕跡從該受測裝置上清理的情況下將該接合、脫離和再接合步驟重複10,000至100,000次。

【請求項19】 如請求項17或18的方法，其中，該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底的黏合性表面經處理或修飾以防止在該熱或電單元頭部與該受測裝置之間的機械附著。

【請求項20】 如請求項17的方法，其中，使該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底同時與在同一導熱性和/或導電性的機械順應性襯底上的1至10個裸芯片接觸，並且其中該1至10個裸芯片可以具有不同的高度、形狀和/或尺寸。

【請求項21】 如請求項17的方法，其中，該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底具有在100 W/mK與1,700 W/mK之間的面內熱導率從而使熱量從該受測裝置上的局部熱點散發。

【請求項22】 如請求項17的方法，其中，該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底具有熱質量大於1 W/m K、2 W/m K、3 W/m K、4 W/m K、5 W/m K、6 W/m

K、7 W/m K 或 8 W/m K 的面間熱導率。

【請求項23】 如請求項17的方法，其中，用小於100 psi的施加壓力可以將該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底壓縮至其原始厚度的至少5%。

【請求項24】 如請求項17的方法，其中，該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底的厚度在約10至10,000微米之間。

【請求項25】 如請求項17的方法，其中，該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底是在金屬或石墨箔或片材的一側或兩側生長的垂直排列型碳納米管陣列。

【請求項26】 如請求項17的方法，其中該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底是在金屬或石墨箔或片材的一側或兩側生長的垂直排列型碳納米管陣列的多層堆疊，其中層數在1與20之間。

【請求項27】 如請求項17的方法，其中，通過使用熱塑性黏合劑的保形塗料將該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底永久地或半永久地附接到散熱器或散熱片上，其中與沒有黏合劑的導熱性和/或導電性的機械順應性襯底相比，該熱塑性黏合劑的添加不增加該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底的熱阻。

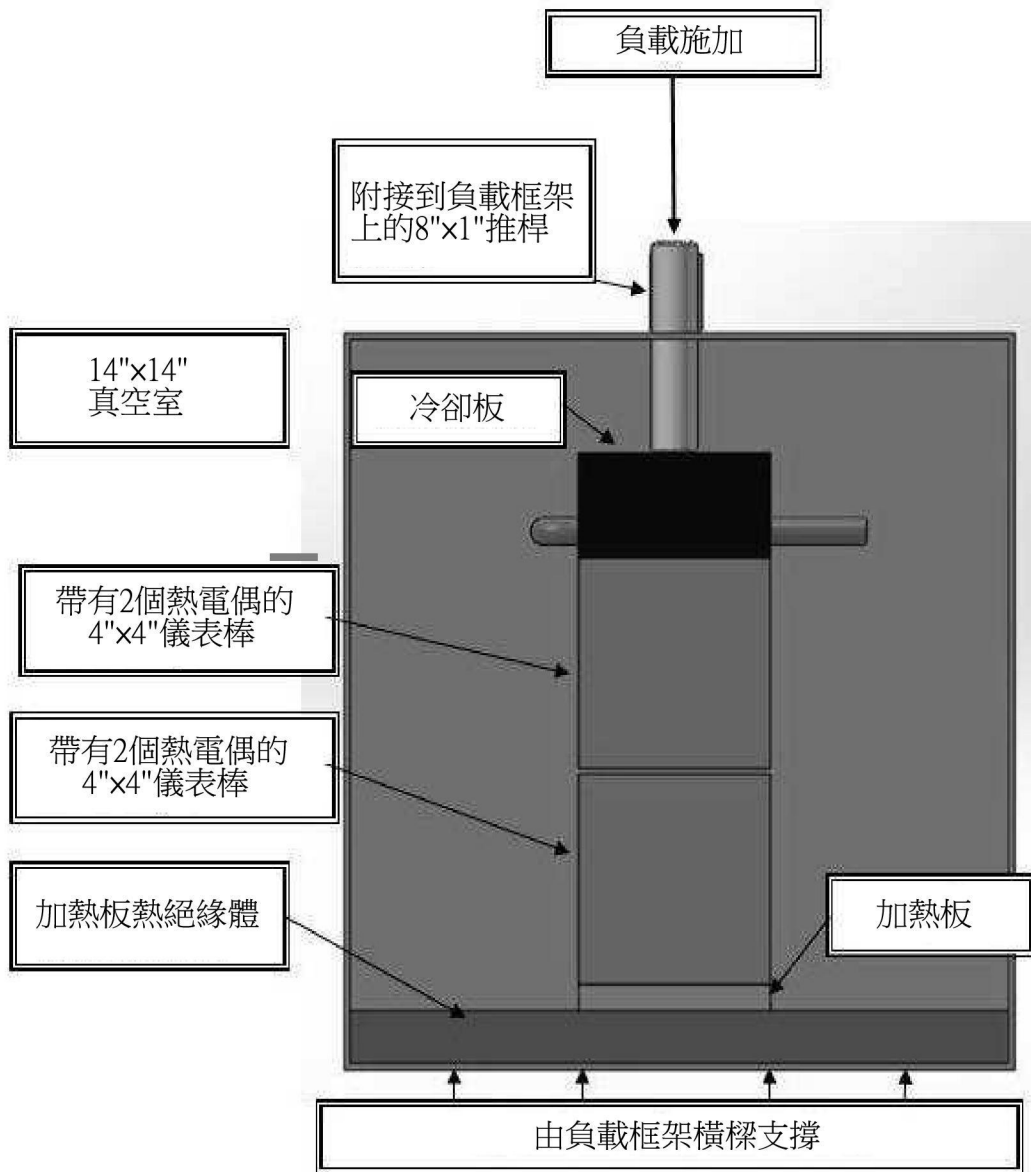
【請求項28】 如請求項17的方法，其中，該黏合性表面包含剝離和膠黏黏合劑和/或熱活化的黏合劑。

【請求項29】 如請求項17的方法，其中，黏合性表面黏合劑不給該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底與

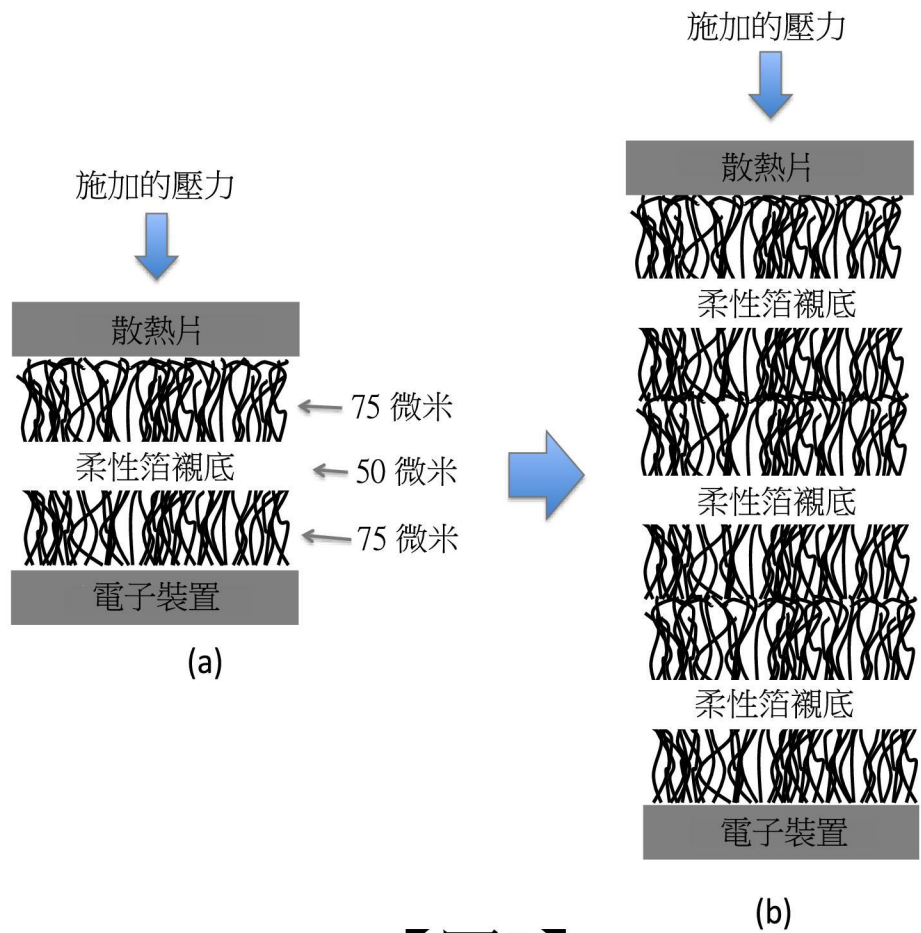
該受測裝置或該熱或電單元頭部的界面增加熱阻或電阻。

【請求項30】 如請求項17的方法，其中，該導熱性和/或導電性的機械順應性襯底是塗覆的碳納米管陣列熱界面材料(TIM)。

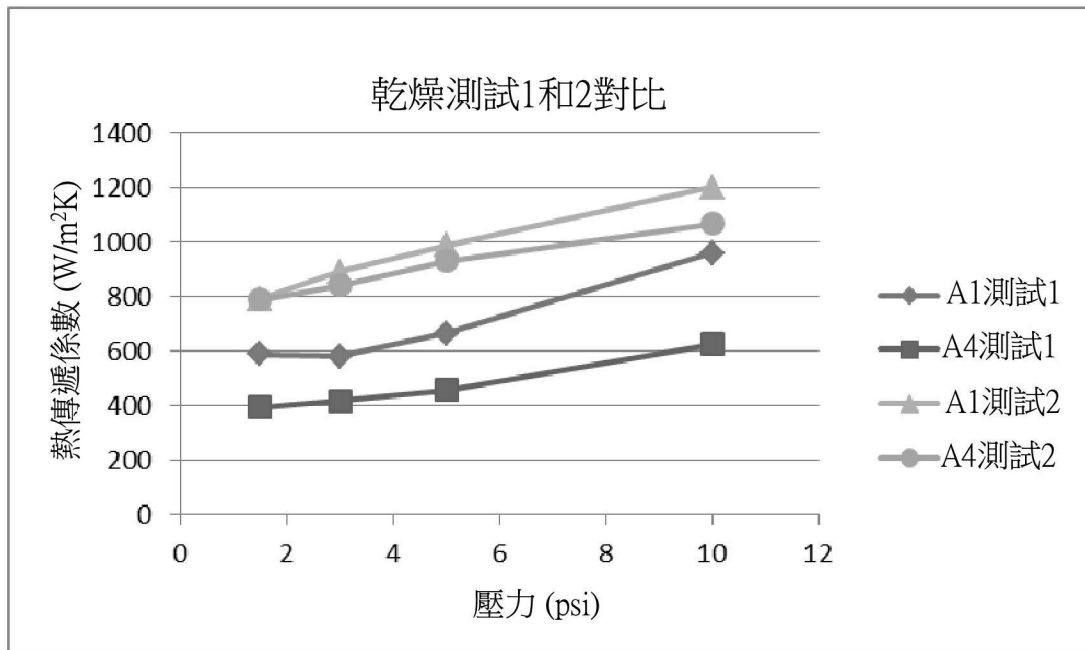
【發明圖式】



【圖1】

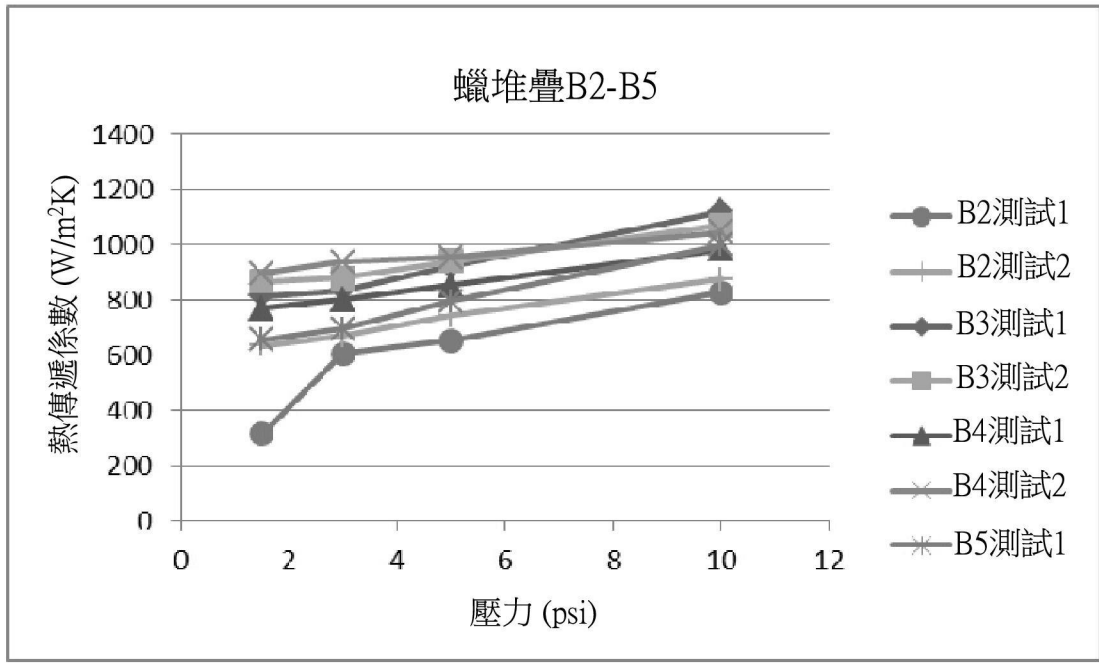


【圖2】

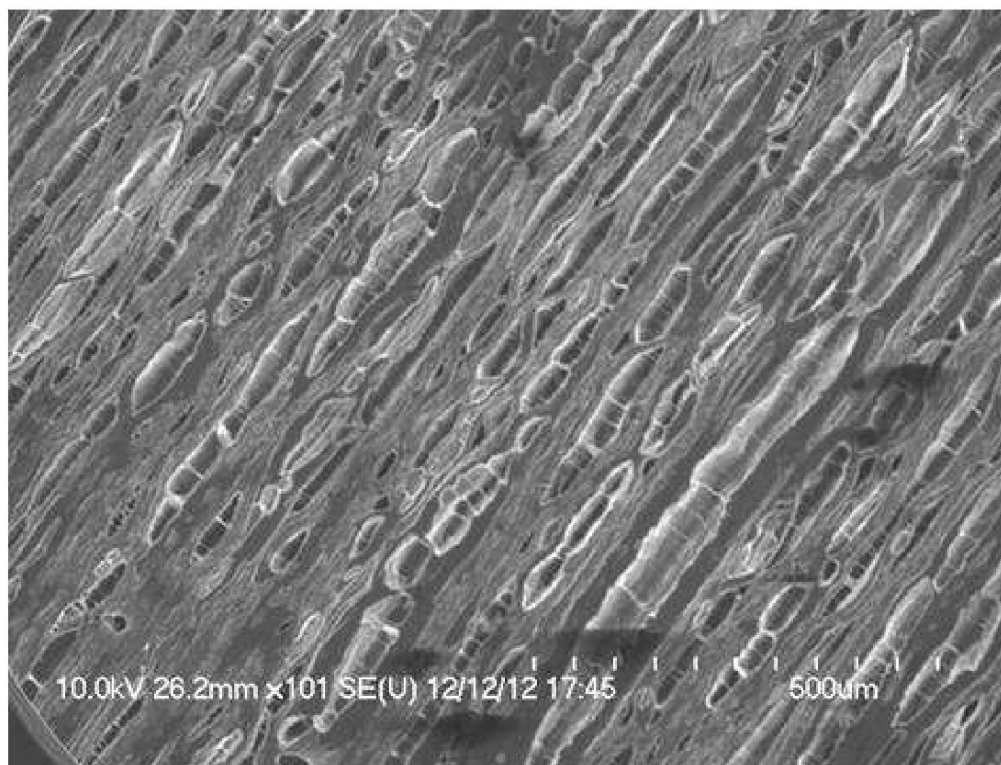


【圖3】

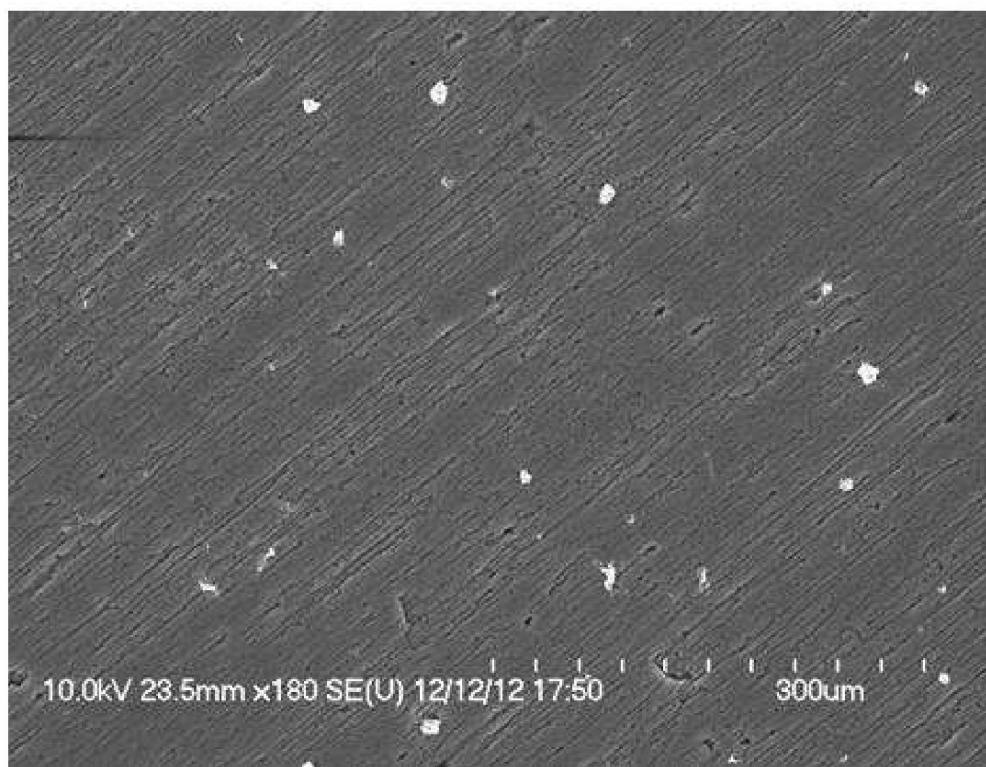




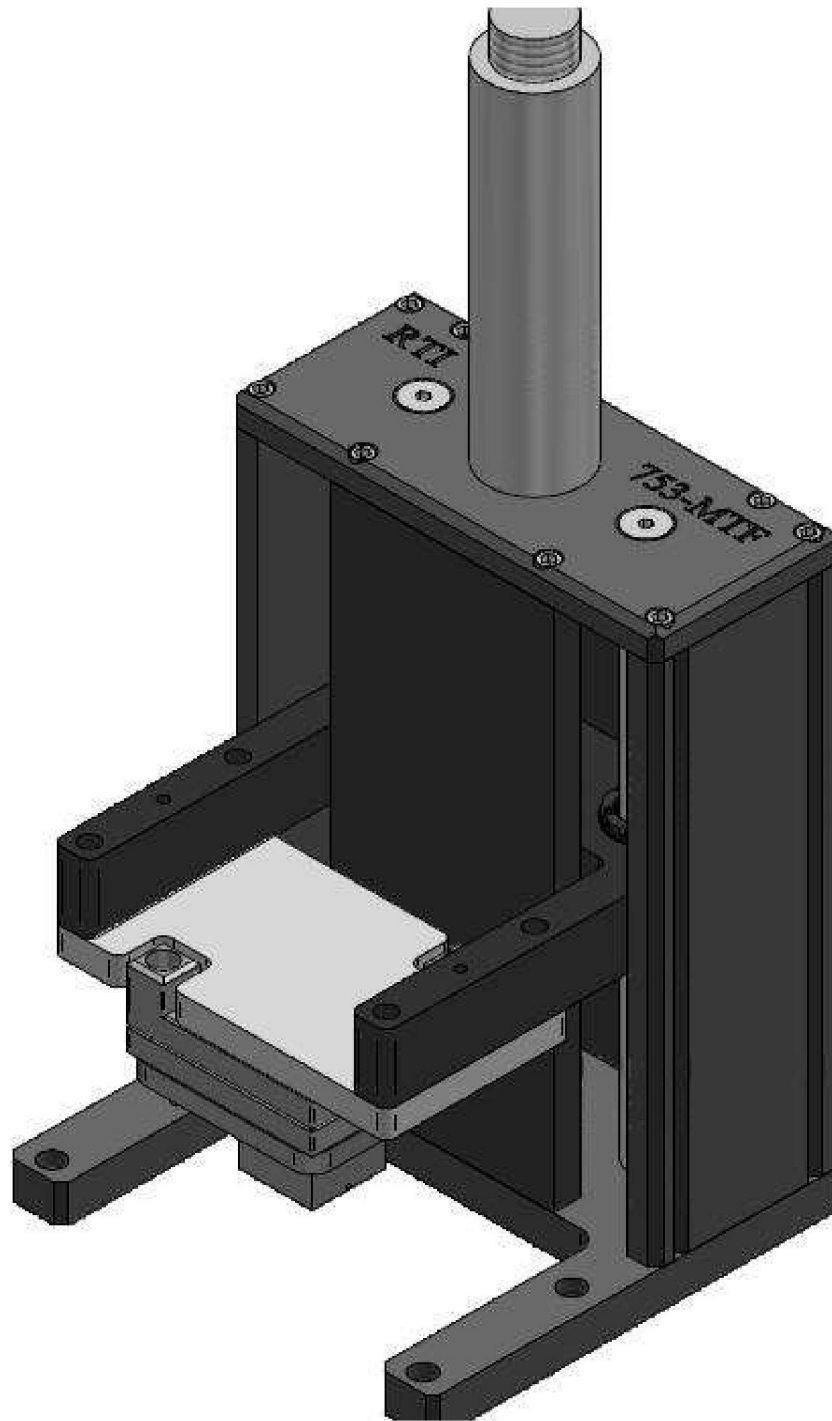
【圖4】



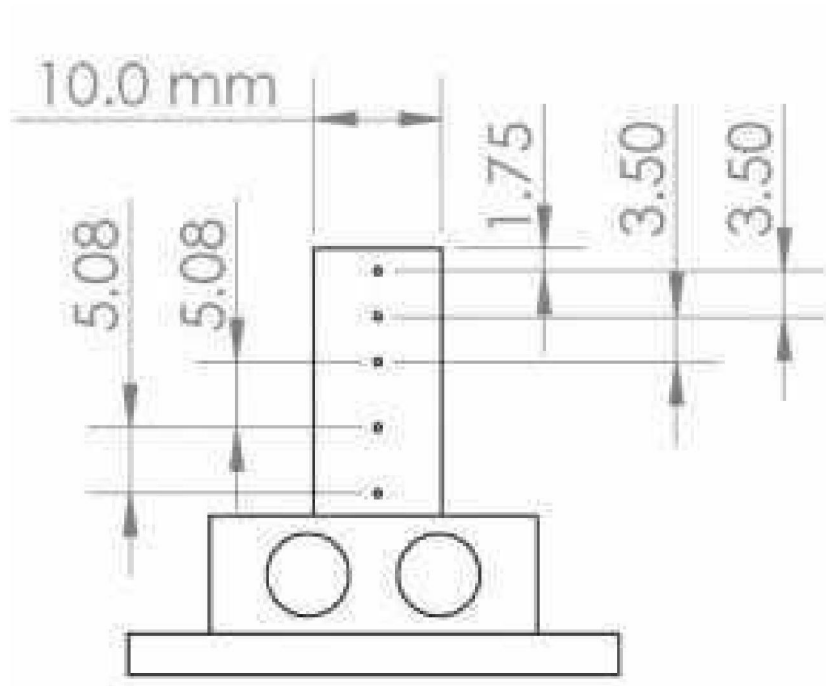
【圖5A】



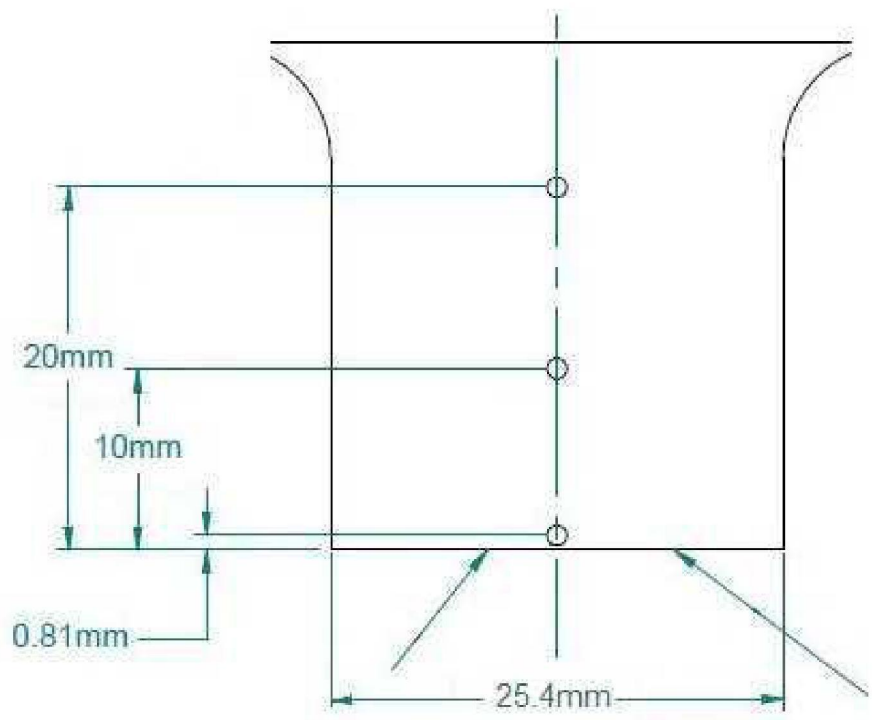
【圖5B】



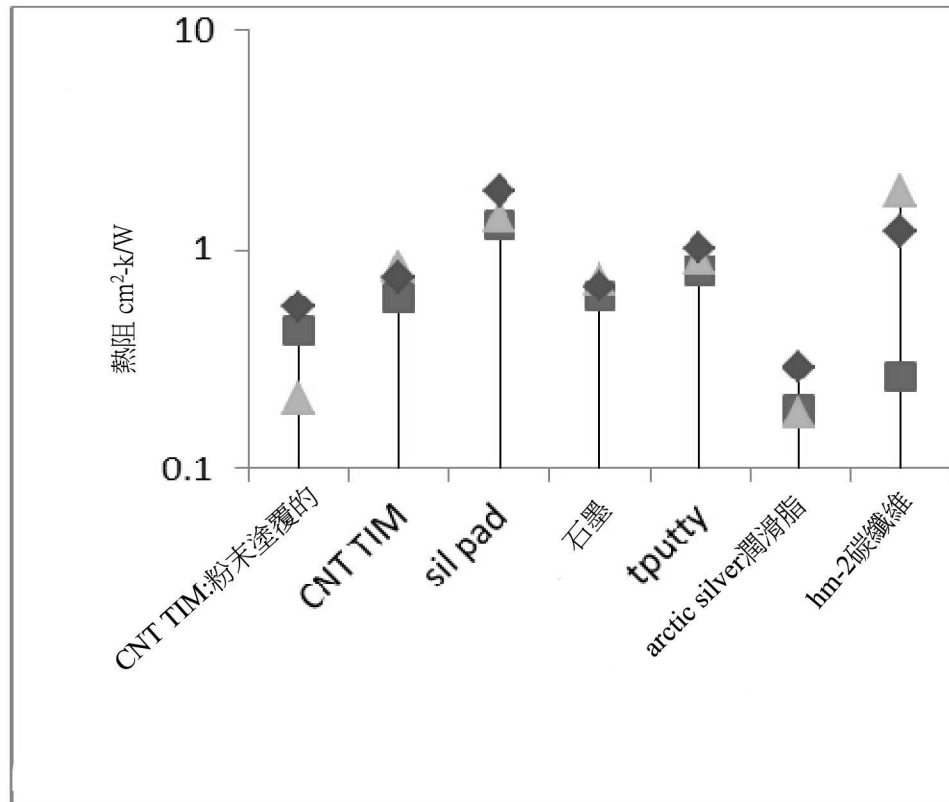
【圖6A】



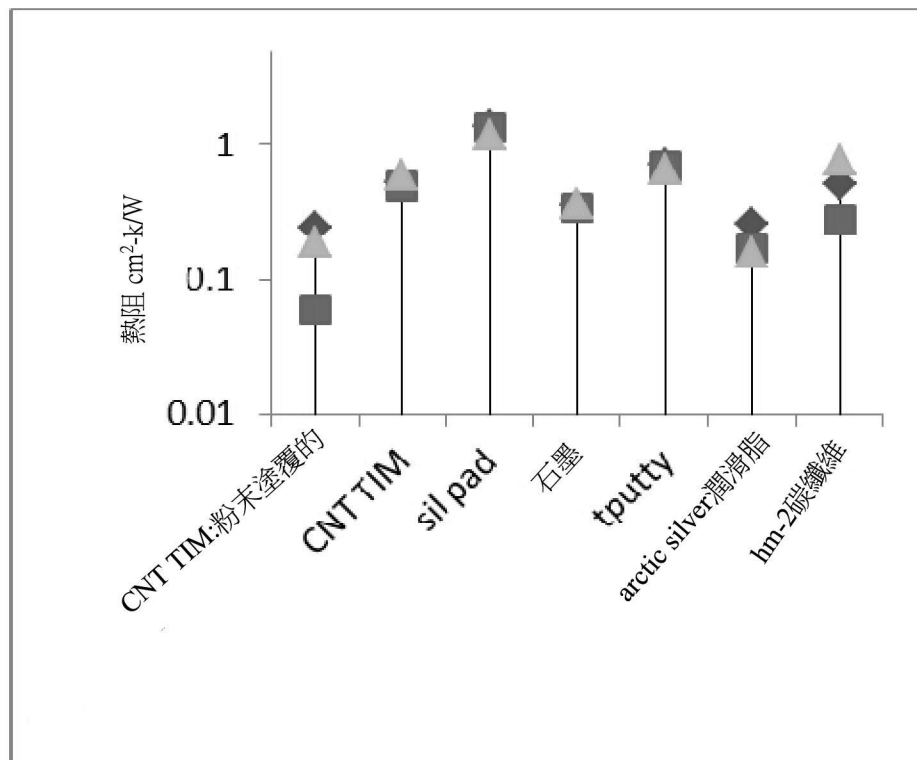
【圖6B】



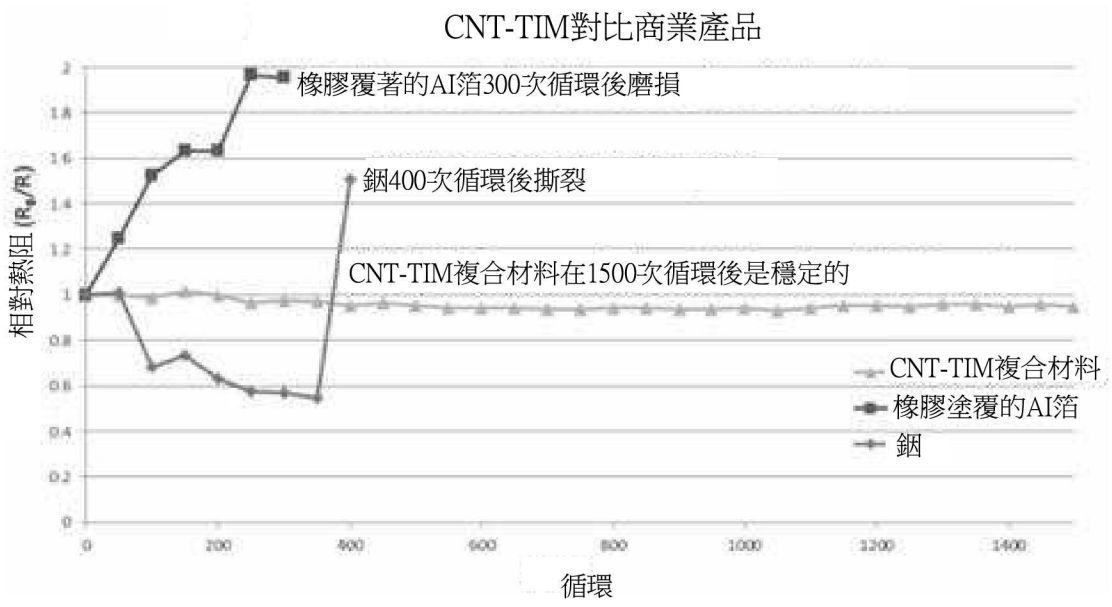
【圖6C】



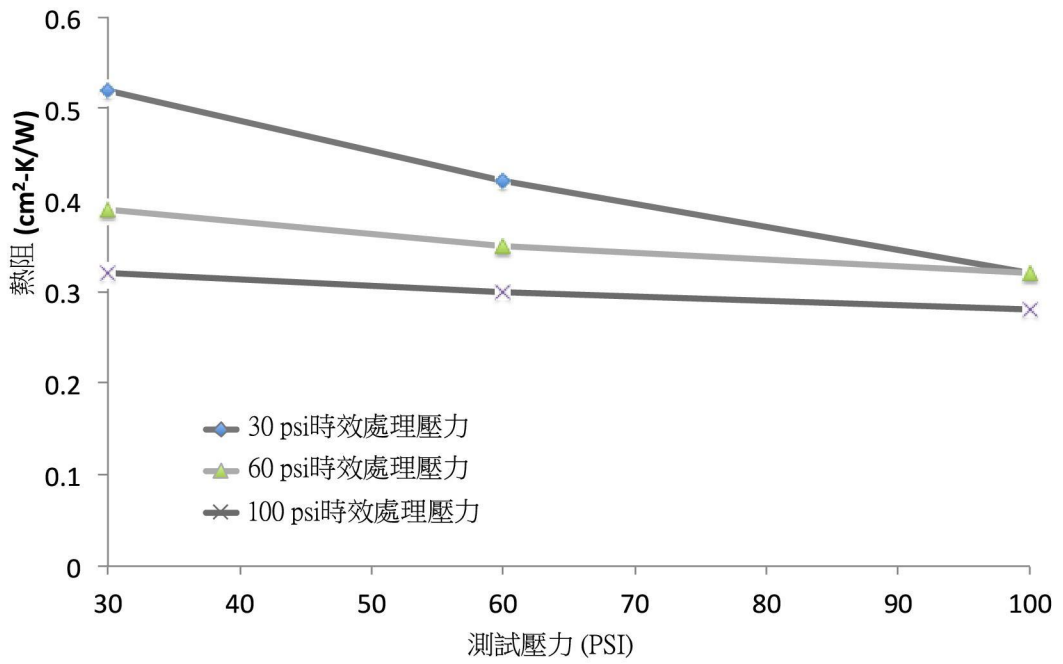
【圖7】



【圖8】



【圖9】



【圖10】