

南臺科技大學

機械工程系



機械工程實驗（一）

個人報告

題目：薄膜熱傳導

班級：四技奈米三甲

學號：4A20H007

姓名：王婕

指導老師：魏慶華 教授

中華民國一〇四年十月二十五日

摘要

熱的傳遞模式有三種，分別為熱傳導(heat conduction)、熱對流(heat convection)以及熱輻射(heat radiation)。熱傳導係數在塊材時和尺寸縮小至薄膜後會有不同，甚至所使用的材料、量測方法也不同，薄膜熱傳導係數對於微結構而言，為一非常重要的熱物理參數。

一、簡介

薄膜與塊材在成型上截然不同，以薄膜而言，其沉積方法主要包括物理氣相沉積法、化學氣相沉積法、電漿輔助化學氣相沉積法、噴濺法與分子束磊晶生長技術等；而塊材材料大都是經過熔煉、壓延、引伸等塑性加工步驟所完成，因此雖然材料一樣，其材料結構或物理性質並不相同，所以量測薄膜熱傳導性質時與量測塊材時都有其適用的方法。

當薄膜尺寸小至微奈米時會出現強烈的方向性，在量測薄膜熱傳方向上分為垂直薄膜厚度方向傳熱及水平薄膜厚度方向傳熱兩種，量測方法則可分為熱傳導法與擴散法兩種。

二、熱傳導法

此方法主要的概念就是要求待測薄膜兩界面之間的溫度差，然後透過 Fourier's law 直接將薄膜的熱傳導係數求得。

$$Q = -KA \frac{\Delta T}{\Delta X}$$

Q：輸入熱率 (W)

K：待測之薄膜熱傳導係數

A：試件截面積(m²)

ΔT：直線上兩點之溫度差 (°C)；

ΔX：直線上兩點之位置差 (m)

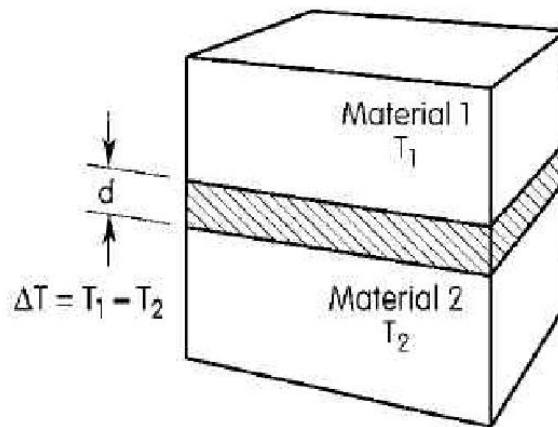


圖 1 熱傳導基本概念示意圖(斜線部分為待測薄膜) [1]

常見的熱傳導量測法是懸空式結構，例如橋狀結構或薄膜結構等，製作時將加熱件和測溫件置於懸空薄膜上，套入熱傳導係數公式求出 K 值。其中利用半導體製程製作微型橋狀結構、圓形薄膜及方型薄膜結構更可以將空間解析度提高許多。

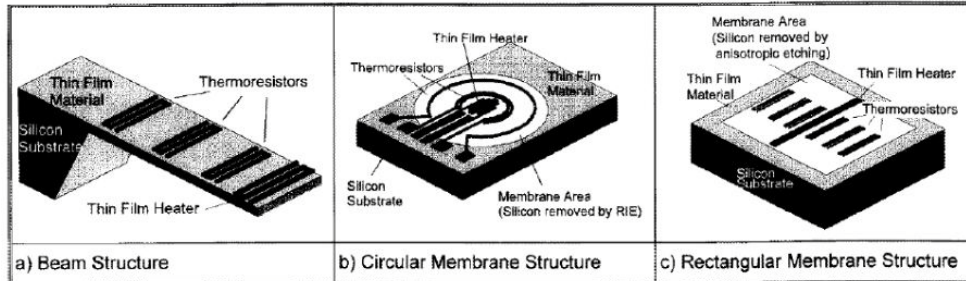


圖 2 各種薄膜懸空式結構[2]

此種懸空式薄膜樣品製作複雜，且良率不高，後來又發展出三倍頻法，其原理為在薄膜上鍍上一金屬線，提供一週期正弦波的電流做為加熱源，並同時由此金屬線作為溫度感測器(圖 3)，此方法的熱傳導係數公式如下：

$$K_{\text{film}} = \frac{p_1 \times t}{2b(\Delta T_{\text{heater}} - \Delta T_{\text{interface}})}$$

p_1 ：單位長度輸入功率

t ：待測薄膜厚度

b ：金屬導線寬度的一半

ΔT_{heater} ：加熱線溫度變化

$$\Delta T_{\text{heater}} = \frac{2V_{3\omega}}{\alpha V_0}$$

$V_{3\omega}$ ：通入電流後測到的電壓訊號

α ：導線電阻之溫度係數值

V_0 ：未通入電流之電壓

$\Delta T_{\text{interface}}$ ：薄膜與基板介面溫度

$$\Delta T_{\text{interface}} = \frac{p_1}{\pi K_s} \left[\frac{1}{2} \ln\left(\frac{D_s}{b^2}\right) - \frac{1}{2} \ln(2\omega) + \eta \right]$$

K_s ：基板之熱傳導係數

D_s ：基板之熱擴散係數

ω ：輸入之頻率

η ：常數，其值為 0.923

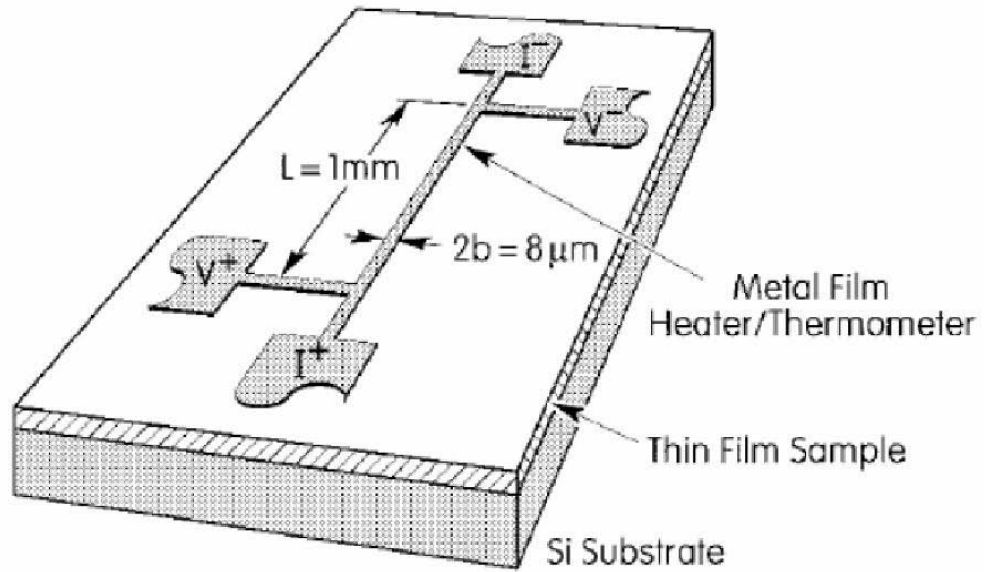


圖 3 三倍頻法量測架構示意圖[2]

材質	熱導率 W/m.K	材質	熱導率 W/m.K
鑽石	2300	水 (l)	0.613
銀	429	人體皮膚	0.37
銅	401	木頭	0.17
金	317	氦	0.152
鉛	237	軟橡膠	0.13
鐵	80.2	玻璃纖維	0.043
汞	8.54	空氣	0.026
玻璃	1.4	硬質聚氨基甲酸酯	0.026
磚塊	0.72	Foamed Rigid Urethane	

圖 4 各種材質之熱傳導係數[4]

三、熱擴散法

$$\alpha = \frac{K}{\rho C}$$

α ：熱擴散係數

K ：熱傳導係數

ρ ：薄膜密度

C ：薄膜之比熱

由於量測到的熱擴散係數後需要由上面的公式轉換才可得到熱傳導係數，故熱擴散係數屬於間接量測法。藉由輸入溫度震盪波來找出薄膜兩界面之溫度震盪曲線之振幅比來求得熱擴散係數，求得熱擴散係數的方法又分為相位移法及幅值法，之後也針對相位移法提出許多新方法，例如：非接觸式加熱的雷射脈衝法(圖 5)、光偏移法(圖 6)等，基本上其原理都相同。

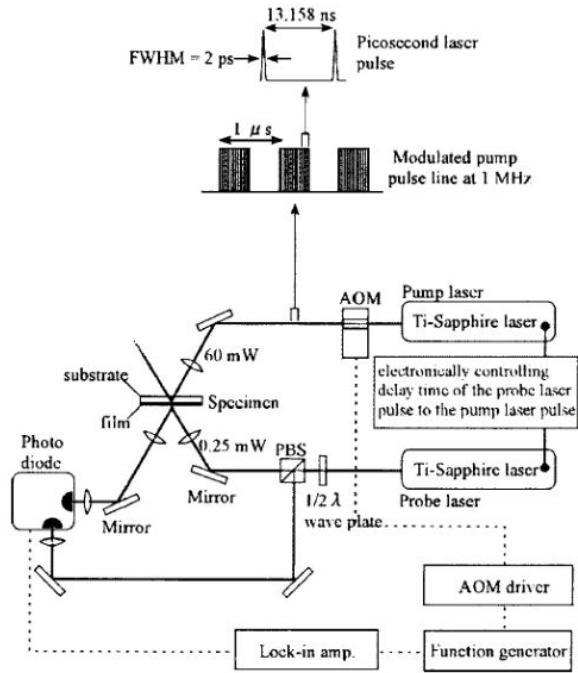


圖 5 雷射脈衝法實驗設置圖 [2]

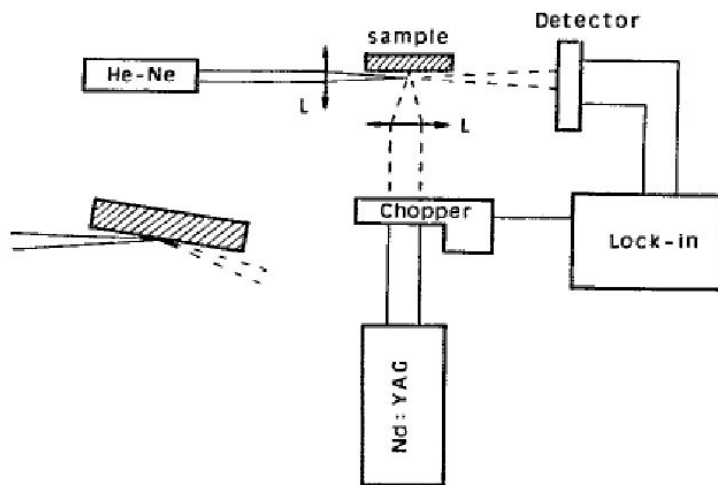


圖 6 光偏移測溫法實驗架構圖 [2]

四、量測儀器

型號	TPS2500	TP1S500	TPS500
			

量測項目	可同時測得熱導係數(Thermal Conductivity, W/mK), 熱擴散(Thermal Diffusivity, m ² /s)與熱容(Specific Heat, J/m ³ °C), 並可由比熱量測模式求得比熱(Specific Heat Capacity, /kg°C)。		
量測範圍	0.005 W/mK~500 W/mK	0.01 W/mK~400 W/mK	0.03 W/mK~100 W/mK
模式	標準模式 Standard Method	標準模式 Standard Method	標準模式 Standard Method
選配模式	*薄膜模式 (Thin Film Method) *高熱傳片狀模式 (Slab Method) *異方向性模式 (Anisotropic Method) *比熱模式 (Cp Method)	*異方向性模式 (Anisotropic Method) *比熱模式 (Cp Method)	無選配
量測溫度	10K~1000K(-180~700°C)		
精密度	0.2%以內		
測試時間	1~2 分鐘內即可完成測試		

樣品尺寸	量測局部特性：Small Sensor—半徑 0.49mm 量測整體特性：Large Sensor—半徑 60mm
樣品種類	固體，液體，粉末皆可量測 A. 塊狀樣品 B. 薄膜樣品(20micrometer~600micrometer)
儀器特色	A. 採非破壞性樣品測試方法 B. 不需輸入比熱(Cp)及密度(D)即可量測熱導係數 C. 不需裁減樣品即可依樣品大小選取適當的感測器 D. 可擴充性：可擴充由軟體控溫、控制測試溫度及取點的高溫爐體及低溫系統

[5] [6]

五、結論

因應高科技產業發展研究之需求，薄膜檢測技術廣泛應用在半導體、顯示器、太陽能電池、微機電等領域，而跟我們日常生活最接近的就是 3C 產品中的智慧型手機，已經改變傳統 3C 產品溝通界面，帶動觸控面板的應用商機，在未來所有 3C 產品如筆記型電腦、平板電腦、車用導航等，都可能廣泛使用觸控面板，觸控面板用到的關鍵材料為透明導電膜 ITO，同時也應用到薄膜製程技術。

薄膜式散熱材料具有高熱傳性質、輕薄等優勢，因此適合取代體積較大的超薄熱管。當散熱塗層具有奈米結構可提升其散熱率，其熱傳性質檢測技術的建立與標準化是目前工程實務上所面臨且亟待解決之重要目標。

六、參考資料

- [1] 劉勇志，2004，3 ω 方法量測熱傳導係數之溫度效應
- [2] 林仁輝、梁文龍，2011，薄膜熱傳分析研究
- [3] 張顯修，2007，奈米流體熱傳導係數之量測
- [4] <http://www.tglobal.com.tw/what-is-thermal-conductivity-heat-transfer-coefficient.php>
- [5] 科邁斯集團 <http://www.techmaxasia.com/products/detail/24>
- [6] 先馳精密儀器 <http://www.techmark-asia.com/about-us.html>