

粉末特性與製程對燒結型熱導管滲透率之影響

計畫編號：NSC 90-2216-E-002-043

執行期間： 90 年 08 月 01 日 至 91 年 07 月 31 日

計畫主持人：黃坤祥 教授

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- ☐赴國外出差或研習心得報告一份
- ☐赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- ☐出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- ☐國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立台灣大學材料科學與工程學研究所

中 華 民 國 91 年 10 月 31 日

粉末特性與製程對燒結型熱導管滲透率之影響

The Effect of Process and Structure on the Capillarity, Permeability and Heat Dissipation Capability of Sintered Heat Pipes

計畫編號：NSC-90-2216-E-002-043

執行期限：90 年 8 月 1 日至 91 年 7 月 31 日

主持人：黃坤祥 國立台灣大學材料科學與工程學系 教授 E-mail: kshwang@ccms.ntu.edu.tw

計畫參與人員：林岳儒 國立台灣大學材料科學與工程學系 碩士研究生

一、 中文摘要

目前燒結式熱導管的研究，多著重於熱流傳導方面，較少人探討粉末的特性(形狀、粒徑)以及製程參數(溫度、壓力)對於滲透力與毛細力的影響。一般而言，當孔洞大時：其滲透率佳但毛細力差；反言之，當孔洞小時：其滲透率差但毛細力佳。目前本研究即著重於滲透率與粉末特性及製程參數方面之關係。

關鍵詞：燒結、熱導管、銅粉、毛細力、滲透力、散熱

Abstract

Most recent studies on sintered heat pipe have been focused on the heat transfer and heat dissipation. Little has been reported on the effects of powder characteristics and processing parameters. In general, large pores provide high permeability but with low capillarity and vice versa. The objective of this study was thus to understand the effect of pore characteristics on the permeability when different powders and different compacting pressures and sintering temperatures were employed. Results show that dendritic powders, when pressed at low pressures and sintered at high temperatures, give the best performance.

Keywords: heat pipe, sintered wicks, permeability

二、 緣由與目的

近年來隨著商業化之需求與半導體產品在製程上的進步，造就了電子與電腦元件朝向輕、薄、短、小的趨勢發展；而同時為了

增加電子元件的運作速度，也因此產生了更多的熱量，「散熱」也就成為電子與電腦工業最待急需解決的問題。

在目前對於筆記型電腦要求體積小、重量輕的浪潮之下，相對的其產生的熱量也就更容易快速地提升電子元件之溫度，也因此加速了電子元件的損壞速度；而「熱導管」(heat pipe)的應用則解決了不少筆記型電腦散熱的問題。

熱導管可依毛細管構造之不同分為溝槽式、網目式以及粉末燒結式等三種。

燒結粉末式可將金屬粉末緊貼管壁燒結成多孔狀結構而成，具有良好的毛細力和熱傳導性。不幸的是，粉末燒結式毛細構造的滲透度比溝槽式與網目式低，減少了它的熱傳導效率。[1-7]

對於粉末燒結式之熱導管，除了毛細力的影響外，還有一個非常重要的參數，那就是滲透度(Permeability)，若滲透度小，即使毛細力再大，其液體能通過之速率低，也因此攸關著熱傳遞的效率。一般而言，當孔徑小時其滲透度差但是毛細力則較大；反而觀之，孔徑大時其滲透度佳但是毛細力則小致使液體不易通過。也因此就必須找出最佳之粉末粒度以及製程參數，以獲得毛細力與滲透度兼具之熱導管。

三、 結果與討論

本實驗使用三種不同的粉末，依外觀可分為球狀的氣噴銅粉、不規則狀的水噴銅粉以及樹枝狀的電解銅粉。其相關的粉末基本特性如表(一)所示。所使用之試片直徑為 12.5mm、長度 10.5mm，成形壓力為 2Mpa 至 4Mpa 之間而燒結溫度則在 700°C 至 800°C 之間。

3.1 滲透率實驗

首先比較出相同粉末但密度不同以及不同粉末但密度相同時的滲透率。

由圖(1)可知，在樹枝狀銅粉中，不同的密度會有不同的線性曲線，隨著樹枝狀銅粉燒結後的密度增加，其線性曲線的斜率則愈隨之變小，而且通過試片之累積流量也隨之減少。而由圖(2)可知，在不規則狀銅粉方面，也有著相同的情況。

這種現象是因為當燒結後試片的密度增加時，其孔隙度就會相對地隨之減少；換言之，當密度增加時，通過試片的流量路徑也就較少。所以說在相同時間內，通過試片的累積水量是較少的。在比較圖(1)和圖(2)時，可以明顯見到密度並非絕對因素，例如圖(2)中不規則銅粉之密度為 3.59 g/c.c.時，其流動率仍與樹枝狀銅粉密度為 1.78 g/c.c.者相近，此乃因二種粉末的粒徑與外觀皆不同，所以不可以只依照燒結後之密度來比較。

此外，在圖(1)與圖(2)中，取時間 15 分鐘為準則，分別比較樹枝狀銅粉 $\rho = 2.16$ g/c.c.，以及不規則狀銅粉 $\rho = 3.69$ g/c.c.的累積流量，依序為 220 ml 和 300 ml。由此可知，不規則狀銅粉的孔洞尺寸較大，所以單位時間內通過的流量大，但是其孔隙度卻較小。因此，累積流量除了與孔隙度(密度)有關之外，還與孔洞的大小密切相關。

由圖(3)可見，三種不同形狀及粒徑的銅粉(密度相差範圍 0.05, 在誤差範圍內)之滲透率。由實驗結果可見在相同時間內，累積流量的比較由大至小依序是球形銅粉、不規則狀銅粉、樹枝狀銅粉。由於密度相同，所以孔隙度也相等；而累積流量的不同則應該是孔洞大小的差異所致。又由表(一)知道球形銅粉的粒徑最大，而樹枝狀銅粉則最小。通常粉末的粒徑愈大，而生胚粉末間之孔洞也較大，所以燒結後試片中的孔洞也會愈大(但孔洞數目較少)，故能通過的流量較大，也因此解釋了孔洞大小與粉末粒徑間的關係。

接著討論使用相同種類的銅粉，但利用不同的製程參數所製作出相同密度的試片。其製程參數為一組高壓低溫 (HPLT)；另一組則是低壓高溫 (LPHT)。經由滲透率實驗，可得圖(4)，圖中有二條曲線。密度 $\rho = 4.74$ g/c.c. 的製程參數是低壓高溫(LPHT)；而密度 $\rho = 4.72$ g/c.c. 的製程參數則是高壓低

(HPLT)。將 $\rho = 4.74$ g/c.c.與 $\rho = 4.72$ g/c.c.曲線相比較，可得知在相同時間內，低壓高溫組的流量皆會大於高壓低溫組之流量。又由於其粒徑皆相同，照一般情況下密度稍高者之流量應較低，但此圖卻相反。此表示孔洞之大小及形狀也會影響液體流量差。參見圖(5)以及圖(6)所示：因為低壓高溫組孔洞的尖端趨於圓形且粉末表面趨於圓滑；但是高壓低溫組的則較尖銳且表面也較粗糙。據此推算，後者之孔洞表面積大於前者，亦即其相當孔徑值較小，因此液體流經孔洞時所遇阻力較大，故後者(尖銳)在單位時間內通過之流量較少於前者(圓形)。

3.2 氣泡實驗(Bubble test)

氣泡實驗(Bubble test)是依照 ASTM (E-128) 的標準設計儀器裝置。利用下列公式求得最大孔洞的直徑。

$$D = (30\gamma / P) / P$$

其中 D 為最大孔洞直徑(單位 μm)； γ 是液體的表面張力(單位 dynes/cm)；P 則是壓力(單位 mmHg)。由於本實驗所使用的液體是酒精，所以其中 γ 的值為 22(dynes/cm)。

利用氣泡實驗來測量上述 LPHT 及 HPLT 二組的最大孔洞尺寸。由表(二)比較出：在相同密度下，高壓低溫組(HPLT)的最大孔洞尺寸皆小於低壓高溫組(LPHT)的。也更加證實了上言滲透率實驗中，單位時間內前者的流量較小於後者。

3.3 模擬散熱實驗

目前所研究的銅粉主要是要應用在粉末燒結式的熱導管中，因此設計了一裝置模擬在熱導管之中的散熱情形如圖(7)所示。圖(8)顯示試片的蒸發端溫度先會快速地下降。而當冷凝端與蒸發端之間的溫差愈來愈小時，其蒸發端降溫速率則趨於緩慢。由圖(9)可知：系統初啟動時，因蒸發端與冷凝端之間的溫差頗大，是故單位時間內消耗的水量也最多故斜率較大；但當蒸發端的溫度驟減時，由於其所需帶走熱量的水趨於一個定值，所以此曲線也就近似於一個線性函數。

3.4 結論

當銅粉種類相同但是密度不同則孔隙度會隨著密度的增加而減少，造成在單位時間內通過孔洞路徑的流量亦隨之減少。而在相同密度的條件下，銅粉的種類則與流量息息

相關；此乃因為銅粉粒徑與形狀差異的影響，所以孔隙度固然相同，但孔洞分布、形狀及大小則多有差別。

總歸來說，粒徑大的粉末燒結之後易產生較大的孔洞導致滲透率較大；反觀之，粒徑小的粉末其孔洞也就較小，其滲透率低。

而對於以同種類粉末但是利用不同的製程參數（外加壓力、燒結溫度）所製作出的相同密度之試片，在單位時間內的流量也不同。主要的影響因素是孔洞的形狀及表面粗度——高壓低溫組的孔洞邊緣較為尖銳且表面粗糙，流量較小，而低壓高溫組的孔洞邊緣較為圓滑且表面也圓滑，流量較高。此孔隙形狀及表面粗度之不同，使得孔隙表面積不同，此亦可看成其相當孔徑不同。此可由氣泡實驗測出最大的孔洞直徑證實上述之實驗成果；亦即，低壓高溫組的孔洞直徑大於高壓低溫組的。

四、計畫成果自評

本計畫已完成原訂之基本目標，但由結果顯示仍有相當多之題目值得再進一步去探討，例如孔隙之通道的長短、彎曲度（tortuosity）、粉末及製程之最佳化及實際熱導管之製作等。

五、參考文獻

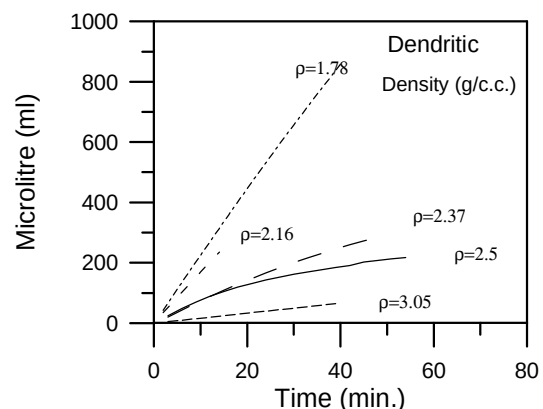
- 【1】 D. Chisholm, “ The Heat Pipe ”, Mill and Boon , London , England ,1971.
- 【2】 K. C. Leong , and C. Y. Lin ,
“Characterization of Sintered Copper Wicks Used in Heat Pipe ”, Journal of Porous Material , 1997 , pp.303-308.
- 【3】 P. Dunn , and D. A. Reay , “ Heat Pipe ”, Oxford ; New York : Pergamon Press , 1976.
- 【4】 G. M. Grover “ US Patent No.3229759 ”1963.
- 【5】 日本熱管技術協會，依日光譯，“熱管技術理論實務”，1986.
- 【6】 S. W. Chi , “Heat Pipe Theory and Practice ”, McGraw-Hill , New York , 1976.
- 【7】 G. P. Peterson , “An Introduction to Heat Pipe ”, Wiley , New York , 1994.

表(一) 球形、不規則狀、樹枝狀銅粉之粉末特性

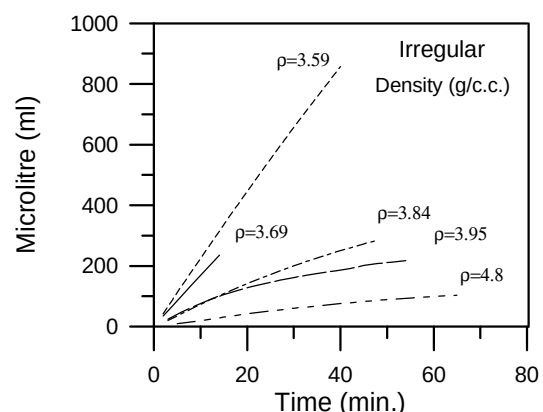
Copper	Flow rate (sec./50g)	Particle Size(μ m)	Apparent Density	Oxygen %
Spherical 83A	13.18	124	5.04	0.2923
103	13.30	69	5.16	0.3396
103A	13.50	58	5.05	0.4669
153A	12.05	52	5.11	0.2527
Dendritic	—	46	1.54	0.2736
Irregular	33.67	21	3.05	0.2757

表(二) 用不規則銅粉（21 μ m）但不同製程所製作具相同密度工件以氣泡實驗(Bubble Test)所測得之最大孔徑

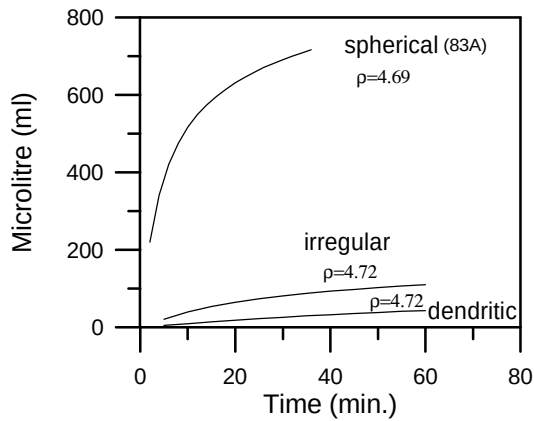
	ρ (g/cm ³)	Pressure		Pore Diameter
		H ₂ O (mm)	Hg (mm)	
HPLT	4.72	1088.5	80.04	8.2 (μ m)
LPHT	4.74	1057.5	77.76	8.4 (μ m)
HPLT	4.79	1173.3	86.27	7.65 (μ m)
LPHT	4.79	873.2	64.2	10.28 (μ m)
HPLT	4.86	1292.4	95.03	6.95 (μ m)
LPHT	4.84	886.6	65.19	10.12 (μ m)



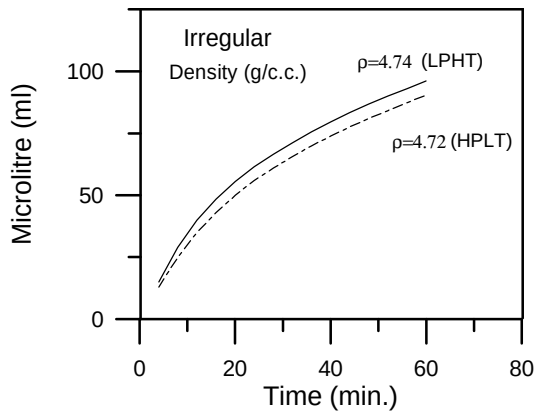
圖(1) 樹枝狀銅粉 累積流量—時間圖



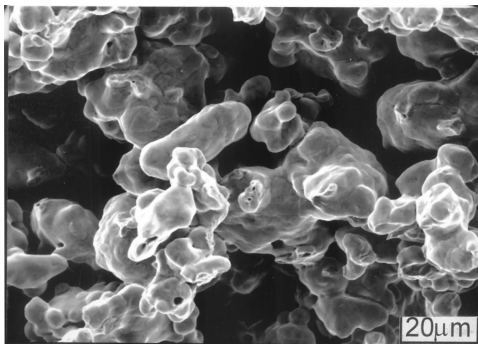
圖(2) 不規則狀銅粉 累積流量—時間圖



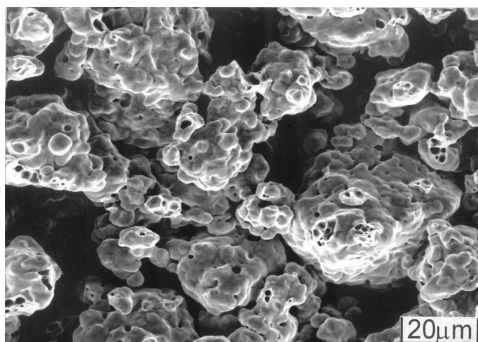
圖(3) 相同密度，不同銅粉之滲透率比較圖



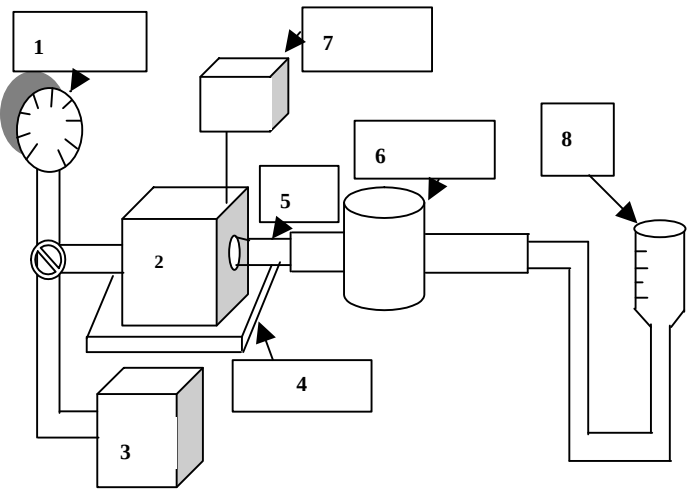
圖(4) 相同密度，不同製程參數之滲透率比較圖



圖(5) 低壓高溫組的 SEM 圖

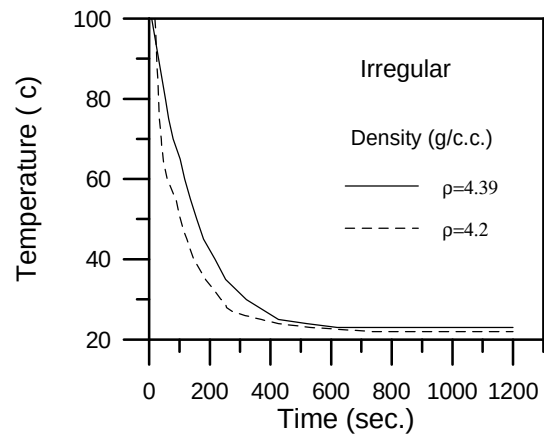


圖(6) 高壓低溫組的 SEM 圖

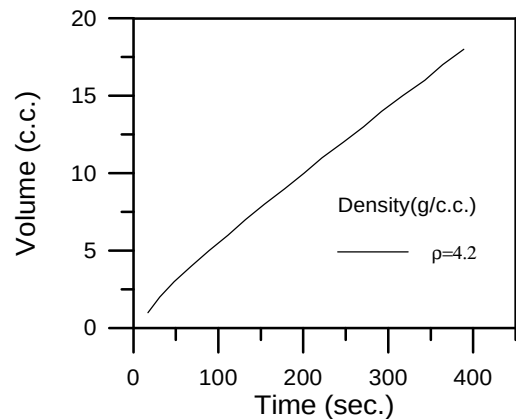


圖(7) 模擬散熱圖

- 1. Vacuum gauge 2. Copper block
- 3. Vacuum pump 4. Heating board
- 5. Specimen 6. Cooling system
- 7. Thermometer 8. Manometer



圖(8) 模擬熱導管蒸發端之冷卻曲線圖



圖(9) 累積蒸發水量—時間圖