



經濟部能源科技研究發展計畫

一一〇年度第二季知識物件

具連通蒸發腔體之新型脈衝式熱管

中華民國110年6月



目錄

第一章 前言	4
第二章 新型脈衝式熱管發展目的	5
第三章 具連通蒸發腔體之新型脈衝式熱管介紹與性能結果	7
第四章 結論	11
參考文獻	12



圖目錄

圖 1、傳統脈衝式熱管	6
圖 2、具連通蒸發腔體之新型脈衝式熱管	6
圖 3、連通腔體與管路連接及其內部構造示意圖	7
圖 4、工作流體二次蒸發示意圖	8
圖 5、文獻蒸發表面積對其最大熱傳量比較圖	10



表目錄

表 1、有無連通腔體腔體之脈衝式熱管性能比較.....	8
表 2、相關脈衝式熱管專利性能比較.....	9
表 3、連通腔體不同內部結構之性能表現.....	9



第一章 前言

在摩爾定律下，電子電路的體積越做越小但是性能卻在爆炸提升中，高熱通量電子逐漸在市場中佔比越來越大。高熱通量設備幾乎可以在任何地方看到，例如電腦、網絡交換機、雷射投影機和高功率集成封裝 LED 燈具等。目前市面上在解決電子散熱會選擇熱管(heat pipe)。熱管有毛細結構，因此工作流體回流至蒸發段較不受重力影響，但在高瓦數下，工作流體容易達到毛細回流極限，最終導致乾固現象。另外，毛細結構會提升製造的成本以及製程的困難度，因此提出製程相對簡單且擁有更高熱傳量效果的脈衝式熱管(Pulsating heat pipe)。

本文介紹一種新型具連通蒸發腔體脈衝式熱管，藉由連通蒸發腔體與腔體內的熱傳柱設計，提高工作流體於蒸發段的蒸發面積，並增加工作流體二次蒸發的機會。性能上新型具連通蒸發腔體脈衝式熱管提升了最大熱通量以及最大熱傳量，並可使脈衝式熱管之擺放角度更自由。文中會進一步將新型具連通蒸發腔體脈衝式熱管與無蒸發腔體脈衝式熱管、相關脈衝式熱管專利、相關論文文獻做性能比較。

第二章 新型脈衝式熱管發展目的

隨著計算能力的提高和電子電路的縮小，高熱通量電子設備主導了市場。高熱通量設備幾乎可以在任何地方看到，例如電腦、網絡交換機、雷射投影機和高功率集成封裝 LED 燈具等。為了改善系統散熱途徑的熱阻，加裝高等效熱傳導係數的元件已成為必要需求。最常用的純金屬導熱材料（如銅或鋁）的熱傳導係數約為 $200 \sim 400 \text{ W/mK}$ 。然而若利用相變化傳熱的熱管技術，則可以將等效熱導係數提高到 $5,000 \text{ W/mK}$ 以上，因此廣泛應用在電子散熱系統中。

傳統式熱管有毛細結構，因此工作流體回流至蒸發段較不受重力影響，但在高瓦數下，工作流體容易達到毛細回流極限，最終導致乾固現象。另外，也因為毛細結構會提升製造的成本以及製程的困難度，因此提出製程相對簡單且擁有更高熱傳量效果的脈衝式熱管。

傳統脈衝式熱管示意圖如圖 1所示。脈衝式熱管與傳統式熱管之差異在於作動不是以毛細結構驅動，所以不存在毛細回流極限。脈衝式熱管本身為毛細管等級，內部為平滑管，無額外毛細結構。管內工作流體壓力的不均勻分佈，可使管路間工作流體產生不平衡作用力，形成震盪或循環現象，使工作流體在加熱端(後文稱為蒸發端)以及冷卻端(後文稱為冷凝端)往復移動將熱量做有效傳遞。由於無毛細回流限制，因此最大熱傳量可以比傳統熱管高。

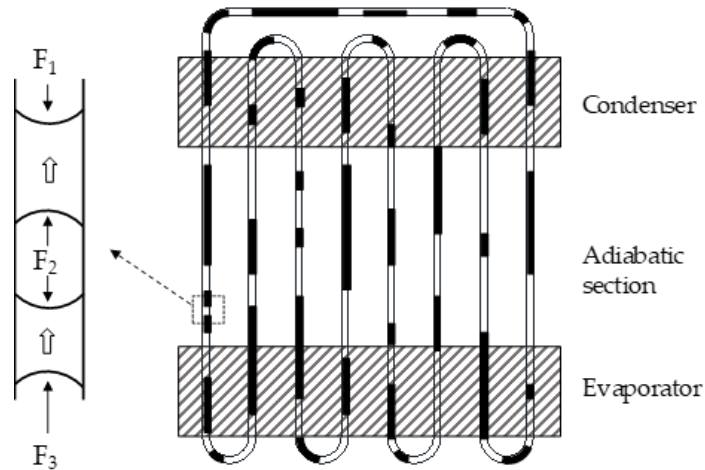


圖 1、傳統脈衝式熱管

然而，因傳統的脈衝式熱管多為平面型，且受限於銅管的彎折半徑，單位面積熱傳量受到限制，因此在提升脈衝式熱管在高熱通量散熱的應用上，本文介紹一種新型的立體式脈衝式熱管，如圖 2 所示，並於蒸發端增加連通蒸發腔體，提高工作流體於蒸發段的蒸發面積。由於蒸發端的蒸發面積加大，冷凝區的散熱面積也得同步提升，以減少冷凝端的熱阻。因該連通腔體的管內設計方式，除了增加脈衝式熱管在高熱通量的應用外還解決脈衝式熱管負角度(加熱源位於相對於冷卻源之擺放位置上方)運作的問題。

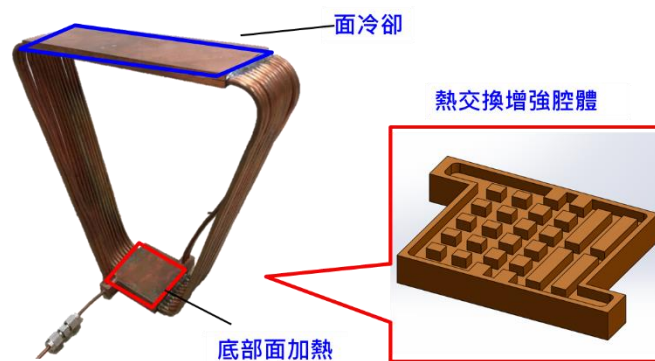


圖 2、具連通蒸發腔體之新型脈衝式熱管

第三章 具連通蒸發腔體之新型脈衝式熱管介紹

與性能結果

該新型脈衝式熱管蒸發段之面積為 $60 \times 60 \text{ mm}^2$ ，冷凝段之面積為 $70 \times 180 \text{ mm}^2$ 。蒸發段與冷凝段水平距離為 250 mm 。使用外徑 4 mm (內徑為 3.1 mm)之銅管以三根為一組沿蒸發段與冷凝段環繞同一軸心5圈，在銅管末端的地方匯流至蒸發腔體內。該設計的優點是環形堆疊可以使脈衝式熱管能夠在有限體積下提升單位體積熱傳量。三管連通的方式則可以降低流阻使脈衝式熱管提升啟動時的速度。

連通腔體之示意圖如下圖 3所示。內部的流道設計會增加兩端液體壓力差使之產生單向流動之特性。

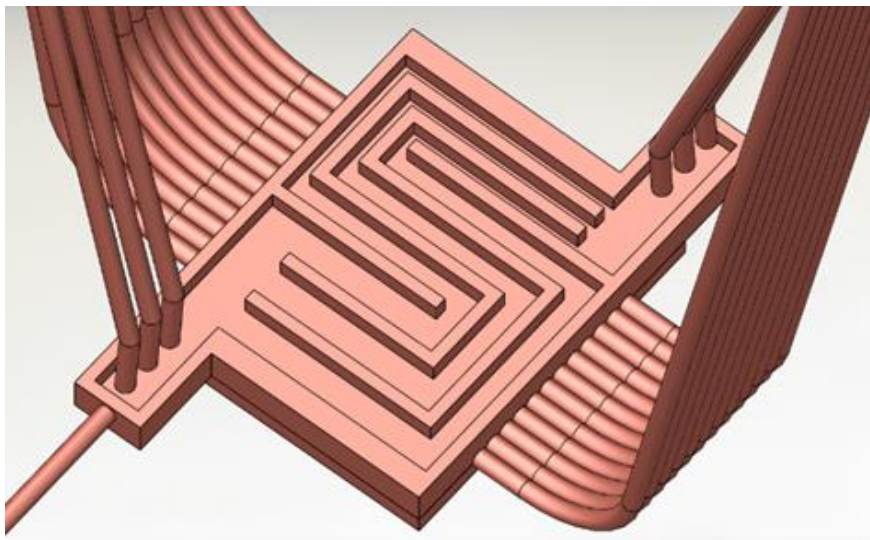


圖 3、連通腔體與管路連接及其內部構造示意圖

腔體除了有增加流體蒸發表面積的功能外，還可以提供工作流體二次蒸發的機會，使得工作流體可以吸收更多熱量。其腔體吸收熱量之示意圖如圖 4所示。熱源先接觸銅管後先做第一次的工作流體蒸發，當工作流體經循環再到蒸發腔體時因下方銅管的溫度而再次蒸發。

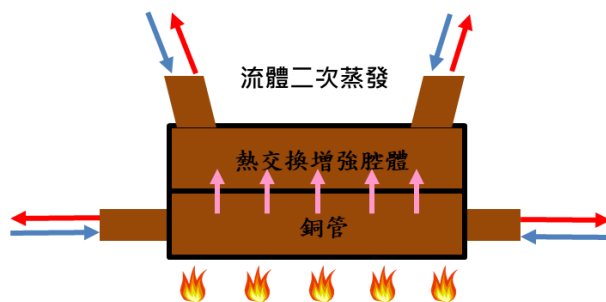


圖 4、工作流體二次蒸發示意圖

表 1 提供該新型脈衝式熱管與無腔體之脈衝式熱管實測數據。最大加熱瓦數提升了44%、蒸發面積提升了一倍、最大熱通量提升55%。

表 1、有無連通腔體腔體之脈衝式熱管性能比較


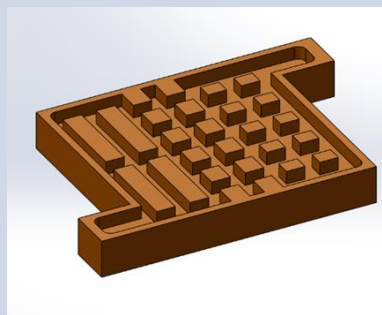
	不具連通腔體腔體之 脈衝式熱管	具連通腔體腔體之 脈衝式熱管
最大加熱瓦數(+90)	900W	1300W
蒸發面積	72cm ² (僅銅管面積)	150cm²
熱通量 max	25 W/cm ²	38.8W/cm²
		

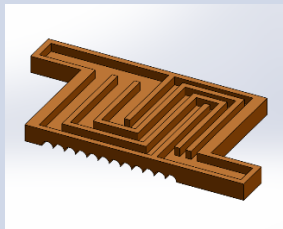
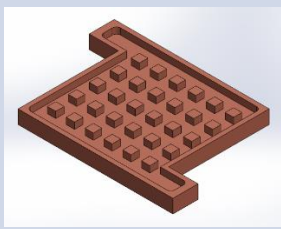
表 2 是新型脈衝式熱管與之前的相關專利做比較。不論熱源的擺放角度，新型的脈衝式熱管皆擁有較低的熱阻，且在同樣加熱瓦數800 W 的狀態下，蒸發段的溫度都比之前脈衝式熱管的專利來得低。

表 2、相關脈衝式熱管專利性能比較

	多管型 立體脈衝式熱管 (TW201802425A)		非均勻截面立體脈 衝式熱管 (I685638)		具連通蒸發腔體之 新型脈衝式熱管	
操作角度 (+90=熱源在下)	+90度	-90度	+90度	-90度	+90度	-90度
蒸發段平均溫度 (加熱瓦數= 800 W)	118	128	114	117	91	112
熱阻值(K/W)	0.0718	0.0844	0.0764	0.0799	0.0426	0.0701

在不同的流道設計下脈衝式熱管的表現也不同，如表 3所示。但三種變化都提高了最大熱通量以及蒸發面積。

表 3、連通腔體不同內部結構之性能表現

	流道變化	熱傳柱變化 I	熱傳柱變化 II
最大加熱 瓦數(+90)	900W	1300W	1200W
最大熱通量 (W/cm ²)	25	36.1	33.3
蒸發面積約	150cm²		
			

在脈衝式熱管眾多文獻中，我們比較了不同蒸發表面積對其最大熱傳量的結果。其如圖 5所示。可以發現具連通蒸發腔體之新型脈衝式熱管可以在高熱通量（低蒸發表面積）下擁有很顯著的高熱傳量效果。

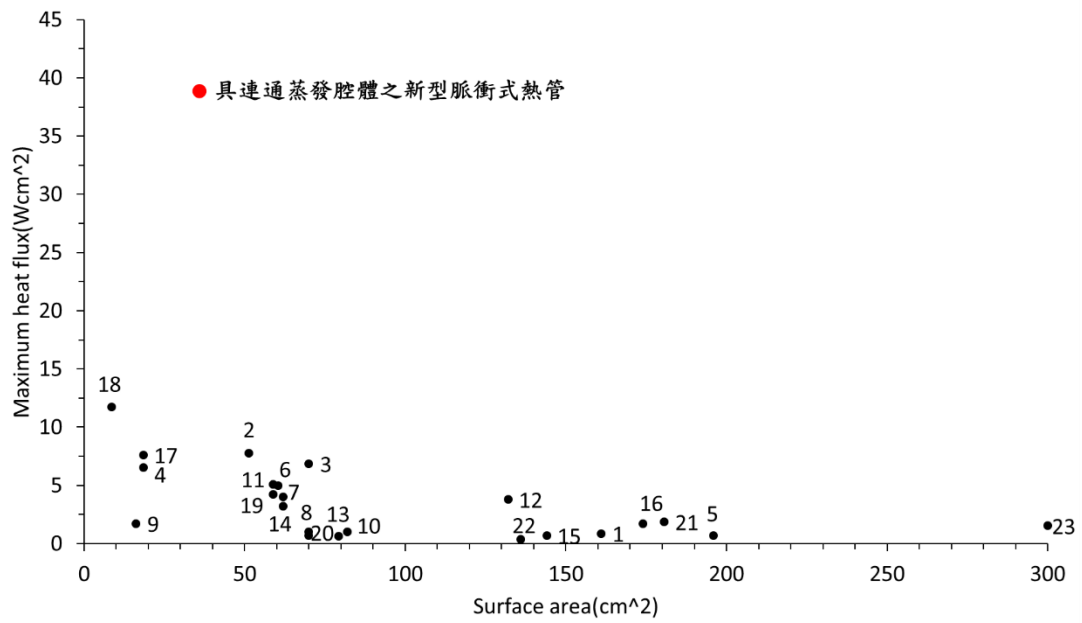


圖 5、文獻蒸發表面積對其最大熱傳量比較圖

第四章 結論

本文介紹一種新型具連通蒸發腔體脈衝式熱管，藉由連通蒸發腔體與腔體內的熱傳柱設計，提高工作流體於蒸發段的蒸發面積，並與無蒸發腔體脈衝式熱管進行性能比較。數據結果顯示，具連通蒸發腔體之設計的脈衝式熱管之熱阻值有明顯改善。具連通蒸發腔體會造成效能提升，其主要原因為連通腔體使蒸發面積提升且產生二次蒸發的效果。結果顯示與無連通腔體之脈衝式熱管最大熱傳量提升了44%，蒸發面積多了一倍，最大熱通量提升55%。與相關脈衝式熱管專利以及相關論文文獻做性能比較，其結果也都是新型具連通蒸發腔體脈衝式熱管具有較大的優勢。

參考文獻

- [1] Tseng, C.-Y.; Yang, K.-S.; Chien, K.-H.; Jeng, M.-S.; Wang, C.-C. Investigation of the performance of pulsating heat pipe subject to uniform/alternating tube diameters. *Exp. Therm. Fluid Sci.* 2014, 54, 85–92.
- [2] Hathaway, A.; Wilson, C.; Ma, H. Experimental investigation of uneven-turn water and acetone oscillating heat pipes. *J. Thermophys. Heat Transf.* 2012, 26, 115–122.
- [3] Mohammadi, M.; Taslimifar, M.; Saidi, M.H.; Shafii, M.B.; Afshin, H.; Hannani, S.K. Ferrofluidic open loop pulsating heat pipes: efficient candidates for thermal management of electronics. *Exp. Heat Transf.* 2014, 27, 296–312.
- [4] Hu, Y.; Liu, T.; Li, X.; Wang, S. Heat transfer enhancement of micro oscillating heat pipes with self-wetting fluid. *Int. J. Heat Mass Transf.* 2014, 70, 496–503.
- [5] Mohammadi, M.; Taslimifar, M.; Haghayegh, S.; Hannani, S.K.; Shafii, M.B.; Saidi, M.H.; Afshin, H. Open-loop pulsating heat pipes charged with magnetic nanofluids: powerful candidates for future electronic coolers. *Nanoscale Microscale Therm. Eng.* 2014, 18, 18–38.
- [6] Wilson, C.; Borgmeyer, B.; Winholtz, R.; Ma, H.; Jacobson, D.; Hussey, D. Thermal and visual observation of water and acetone oscillating heat pipes. *J. Heat Transf.* 2011, 133, 061502.
- [7] Ji, Y.; Ma, H.; Chen, H.-H. Volume fraction effect on heat transfer performance of an oscillating heat pipe. *J. Thermophys. Heat Transf.* 2012, 27, 111–115.
- [8] Riehl, R.R.; dos Santos, N. Water-copper nanofluid application in an open loop pulsating heat pipe. *Appl. Therm. Eng.* 2012, 42, 6–10.
- [9] Jahani, K.; Mohammadi, M.; Shafii, M.B.; Shiee, Z. Promising technology for electronic cooling: Nanofluidic micro pulsating heat pipes. *J. Electron. Packag.* 2013, 135, 021005.
- [10] Mohammadi, M.; Mohammadi, M.; Shafii, M. Experimental investigation of a pulsating heat pipe using ferrofluid (magnetic nanofluid). *J. Heat Transf.* 2012, 134, 014504.
- [11] Yoon, I.; Wilson, C.; Borgmeyer, B.; Winholtz, R.; Ma, H.; Jacobson, D.; Hussey, D. Neutron phase volumetry and temperature observations in an oscillating heat pipe. *Int. J. Therm. Sci.* 2012, 60, 52–60.
- [12] Karthikeyan, V.; Khandekar, S.; Pillai, B.; Sharma, P.K. Infrared thermography of a pulsating heat pipe: Flow regimes and multiple steady states. *Appl. Therm. Eng.* 2014, 62, 470–480.
- [13] Iwata, N.; Ogawa, H.; Miyazaki, Y. Temperature-controllable oscillating heat pipe. *J. Thermophys. Heat Transf.* 2011, 25, 386–392.

- [14] Ji, Y.; Ma, H.; Su, F.; Wang, G. Particle size effect on heat transfer performance in an oscillating heat pipe. *Exp. Therm. Fluid Sci.* 2011, 35, 724–727.
- [15] Cui, X.; Zhu, Y.; Li, Z.; Shun, S. Combination study of operation characteristics and heat transfer mechanism for pulsating heat pipe. *Appl. Therm. Eng.* 2014, 65, 394–402.
- [16] Liu, X.; Chen, Y.; Shi, M. Dynamic performance analysis on start-up of closed-loop pulsating heat pipes (CLPHPs). *Int. J. Therm. Sci.* 2013, 65, 224–233.
- [17] Lin, Z.; Wang, S.; Chen, J.; Huo, J.; Hu, Y.; Zhang, W. Experimental study on effective range of miniature oscillating heat pipes. *Appl. Therm. Eng.* 2011, 31, 880–886.
- [18] Mameli, M.; Araneo, L.; Filippeschi, S.; Marelli, L.; Testa, R.; Marengo, M. Thermal response of a closed loop pulsating heat pipe under a varying gravity force. *Int. J. Therm. Sci.* 2014, 80, 11–22.
- [19] Zhao, N.; Zhao, D.; Ma, H. Experimental investigation of magnetic field effect on the magnetic nanofluid oscillating heat pipe. *J. Therm. Sci. Eng. Appl.* 2013, 5, 011005.
- [20] Kim, B.; Li, L.; Kim, J.; Kim, D. A study on thermal performance of parallel connected pulsating heat pipe. *Appl. Therm. Eng.* 2017, 126, 1063–1068.
- [21] Ma, H.; Wilson, C.; Yu, Q.; Park, K.; Choi, U.; Tirumala, M. An experimental investigation of heat transport capability in a nanofluid oscillating heat pipe. *J. Heat Transf.* 2006, 128, 1213–1216.
- [22] Gamit, H.; More, V.; Mukund, B.; Mehta, H. Experimental investigations on pulsating heat pipe. *Energy Procedia* 2015, 75, 3186–3191.
- [23] Pastukhov, V.; Maydanik, Y.F. Development of a pulsating heat pipe with a directional circulation of a working fluid. *Appl. Therm. Eng.* 2016, 109, 155–161.