

IC 칩 냉각용 초소형 히트 파이프의 제작 및 성능 평가

速報論文

50C-7-7

Fabrication and Characteristic Test of Micro Heat Pipe Array for IC Chip Cooling.

朴進盛*·崔長鉉**·趙炯喆*·趙漢相***·梁翔植[§]·柳宰碩^{§§}
(JS Park · JH Choi · HC Cho · HS Cho · SS Yang · JS Yoo)

Abstract - This paper presents an experimental investigation on the heat transfer characteristic of a micro heat pipe (MHP) array with 38 triangular microgrooves. A heat pipe is an effective heat exchanger operating without external power. The heat pipe transfers heat by means of the latent heat of vaporization and two-phase fluid flow driven by the capillary force. The overall size of the MHP array can be put underneath a microelectronic die and integrated into the electronic package of a microelectronic device to dissipate the heat from the die. The MHP array is fabricated by micromachining with a silicon wafer and a glass substrate. The MHP was filled with water and sealed. The experimental results show the temperature decrease of 12.1 °C at the evaporator section for the input power of 5.9 W and the improvement of 28 % in the heat transfer rate.

Key Words : Micro Heat Pipe, Cooling, Thermal Management, Package, Capillary

1. 서 론

기존의 전자 패키징 방식에서는 에폭시와 구리 리드 프레임 등을 통한 전도에 의해서 칩 작동 시 발생하는 열을 방출한다. 칩 발열 문제를 해결하기 위한 기존 방법에는 몇 가지가 있다. 하나는 패키징에 사용되는 재료의 개선과 구조의 개선을 통해 열전달율을 향상시키는 것이다. 즉, 칩 아래에 전도도가 좋은 방열판을 두어 열 방출 성능을 개선한다. Goodson 등은 기판 표면에 고전도성의 다이아몬드를 증착하여 채널이 배열되어 있는 구조로 방열판을 제작하였다 [1]. 또 하나는 패키징 외부 표면에 방열판 또는 히트 파이프를 장착하여 칩을 냉각시키거나, 외부 시스템에 팬을 설치하여 강제 대류에 의해서 칩을 냉각시키는 것이다. 랩탑 컴퓨터 또는 모바일 폰 등과 같이 소형화되고 있는 전자 제품의 방열 문제를 해결하기 위해서 작은 원형관 형태의 히트 파이프가 전자 패키징 외부에 장착되고 있다 [2]. 그 외의 냉각장치로는 열전재료를 사용한 thermo-electro-mechanical cooler와 impinging jet을 이용한 소형 열교환기 등이 있다 [3,4]. 그리고, 새로운 방열 시스템으로는 IC 칩 아래 접하여 패키징하는 초소형 히트 파이프 어레이가 있다 [5]. 초소형 히트 파이프는 상기의 다른 냉각 장치에 비하여 방열 효율을 높일

수 있고, 전력 공급 없이 상변화를 이용하여 열전달 성능을 크게 향상시키는 유용한 장치이다. 본 논문에서는 실리콘기판과 유리 기판을 사용하여 초소형 히트 파이프 어레이를 제작하고 그 열전달 성능을 시험한 결과를 보여준다.

2. 히트 파이프 작동 원리

히트 파이프는 그림 1과 같이 증발부와 단열부, 응축부의 세 영역으로 나누어진다. 증발부에서는 작동 유체가 증발하면서 열원으로부터 열을 흡수하고 이 증기가 단열부를 지나 응축부에서 냉각되어 액체가 되고, 모세관력에 의해서 작동 유체가 증발부로 귀환된다. 이러한 과정이 계속되면서 외부 동력원 없이 열을 전달한다. 이때, 응축부에서 증발부의 작동 유체의 귀환 성능, 즉, 히트 파이프의 모세관력이 히트 파이프의 열전달 성능을 좌우하게 된다. 모세관력을 좌우하는 기본 변수로는 표면장력, 히트 파이프 내벽에서 액체 접촉각 그리고 히트 파이프 내벽의 형상들이고, 표면장력이 클수록 접촉각이 작을수록 모세관력이 커진다. 그림 1은 히트 파이프 내에서 작동 유체가 순환하는 유동을 보여 준다.

그림 2는 삼각형 홈 형태의 초소형 히트 파이프 내에서 작동 유체의 기체와 액체 계면의 모양을 보여 준다. 증발부에서 홈 표면에는 매우 얇은 액체 막이 형성되고 응축부로 갈수록 액체 막이 두꺼워진다. 작동 유체는 증발부에서 증발하여 액체를 모서리로 밀려나게 하여 아주 얇은 액체 막을 형성한다. 이로 인해 증발부에서는 작은 곡률의 기체-액체 계면, 응축부에서는 큰 곡률의 기체-액체 계면이 형성된다. 따라서, 히트 파이프 모서리에서는 모세관력 차이가 발생하고 이로 인해서 액체는 응축부에서 증발부로 귀환하게 된다.

초소형 히트 파이프가 일반적인 히트 파이프와 다른 점은 파이프 직경이 아주 작아서 모세관력을 증가시키기 위한

* 準會員 : 亞州大 電子學科 碩士課程

** 準會員 : 亞州大 機械學科 碩士課程

*** 非會員 : 디지털 바이오 기술이사

[§] 正會員 : 亞州大 電子學科 教授 · 工博

^{§§} 非會員 : 亞州大 機械學科 教授 · 工博

接受日字 : 2001年 4月 13日

最終完了 : 2001年 6月 19日

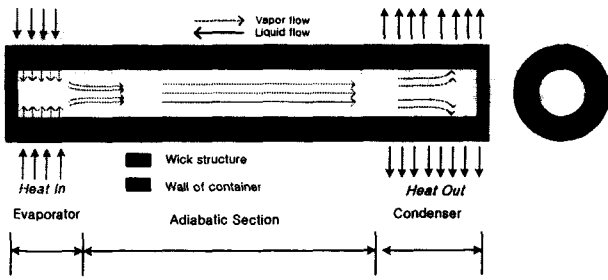


그림 1 히트 파이프 내의 작동 유체 순환 과정

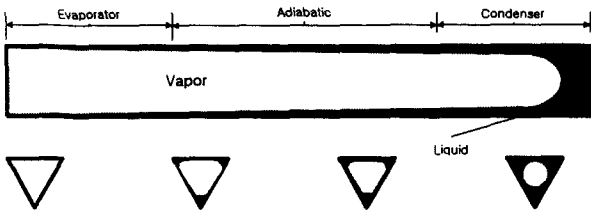


그림 2 초소형 히트 파이프 내 작동 유체의 기체-액체 계면

워(wick)이 없다는 점이다. 대부분의 열전달은 전도에 의한 것이 아니라 증발부와 응축부에서 발생하는 상변화와 유체 유동에 의해서 일어난다. 아주 작은 모세관 형태의 초소형 히트 파이프는 모세관력의 증대로 인해 열전달 성능이 향상될 수 있다.

3. 히트 파이프 구조 및 제작 공정

설계된 초소형 히트 파이프는 실리콘기판과 유리기판으로 구성되어 있고 전체 크기는 24 mm × 16 mm × 1.25 mm이다. 실리콘기판 앞면에는 그림 3과 같이 V자 홈 38개가 배열되어 있다. 실리콘기판 뒷면에는 성능 실험을 위해 열원으로 사용될 히터가 있다. 유리에는 온도 측정용 열전대를 삽입하기 위한 8개의 구멍들과 작동 유체 주입을 위한 한 개의 구멍이 있다.

초소형 히트 파이프의 V자 홈은 이방성 습식 식각으로 제작된다. 삼각형 홈의 크기는 상부 폭이 100 μm, 길이가 15 mm 이고 골의 깊이는 약 70 μm이다. 홈과 홈 사이의 간격은 100 μm이다. 또, 이방성 식각을 할 때 열전대 장착을 위해 2 mm 간격으로 크기가 500 μm × 500 μm이고 깊이가 70 μm인 사각형 홈이 함께 제작된다. 히터는 Cr/Au를 증착하여 제작한다. 히터부의 면적은 66 mm²이다. 유리기판의 구멍들은 전기 방전가공으로 제작한다. 그림 4는 제작된 실리콘과 유리기판의 사진들이다. 제작된 실리콘기판과 유리기판을 양극 접합하여 히트 파이프를 완성한다.

작동 유체로는 탈기된 증류수를 사용한다. 작동 유체를 탈기를 하지 않으면 히트 파이프 내에 비응축성 기체가 존재하게 되어 열전달 성능을 떨어뜨린다. 진공 챔버 내에서 히트 파이프를 탈기된 증류수로 완전히 채운다. 100 % 충전된 히트 파이프의 한쪽 끝을 가열판에 올려 작동 유체가 히트 파이프 길이 비로 20 % 남을 때까지 증발시킨 후 작동 유체 주입구를 밀봉한다. 히트 파이프 내의 진공도는 작동 유

체의 증발 온도를 좌우하게 되고 진공도가 높을수록 낮은 온도에서 작동하는 히트 파이프가 된다.

4. 성능 실험 및 결과

그림 5는 초소형 히트파이프의 성능 실험 장치를 보여 준다. 실리콘의 열전대 삽입용 홈에 8개의 열전대를 장착하여 히트 파이프의 길이 방향으로 실리콘 표면의 온도 분포를 측정한다. 응축부의 뒷면에 히트 파이프 길이 방향에 직각으로 냉각수를 흘려 냉각시키고 증발부는 양쪽 면을 단열시키고 실리콘 뒷면에 있는 히터에 열을 인가하여 성능 실험을 한다. 성능 실험에 사용된 냉각수의 온도는 25.4 ~ 25.7 °C로 유지하고, 전력은 1.9 W, 3.5 W, 4.9 W와 5.9 W로 인가하였다. 각각의 입력 전력에 대하여 정상 상태에 도달할 때까지 히트 파이프의 온도를 측정한다. 전원 공급 장치로는 HP 6674를 사용하였고 측정 데이터는 Yokogawa DA2500E로 수집하여 컴퓨터로 저장한다. 작동 유체가 20 % 만큼 충전된 초소형 히트 파이프와 충전되지 않은 초소형 히트 파이프의 온도를 측정하여 열전달 특성을 비교하였다.

그림 6은 성능 실험 결과로 초소형 히트 파이프의 정상 상태 온도 곡선을 보여 준다. 5.9 W일 때 작동 유체가 충전되지 않은 초소형 히트 파이프와 작동 유체가 충전된 히트 파이프의 증발부 온도는 각각 139.2 °C와 127.1 °C이고 초소형 히트파이프의 작동으로 12.1 °C의 증발부 온도 저하 효과가 있음을 보여준다. 또 작동 유체를 충전한 경우가 충전하지 않은 경우보다 응축부 온도가 8.9 °C 만큼 높다. 작동 유체가 충전된 초소형 히트 파이프가 충전되지 않는 초소형 히트 파이프 보다 온도 구배가 완만함을 보인다.

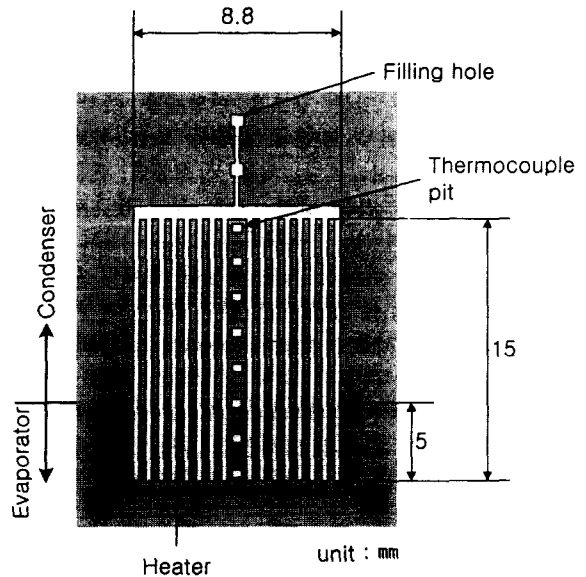


그림 3 실리콘 기판의 평면도

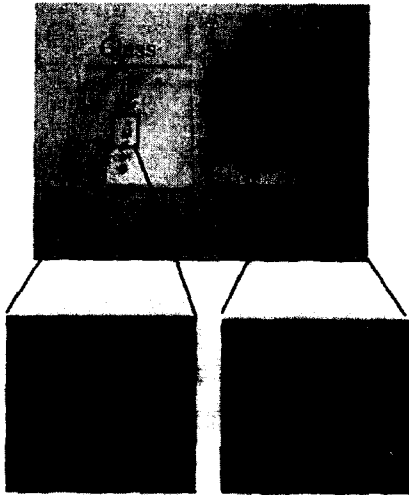


그림 4 제작된 기관의 사진

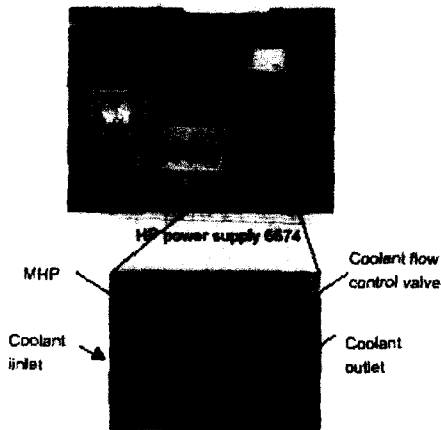


그림 5 초소형 히트 파이프의 성능 실험 장치

즉, 증발부 끝단과 응축부 끝단의 온도차는 충전되지 않은 경우가 95.9 °C이고, 20 % 충전된 초소형 히트 파이프가 74.9 °C이다. 표 1은 인가 전력에 따른 초소형 히트 파이프의 증발부와 응축부의 온도 비교 및 열전달을 상승을 보여준다. 정상 상태에서 외부로의 열전달이 없다는 가정을 할 경우 인가전력이 같으면 열유속이 같다. 따라서 온도구배(혹은 온도차)의 역수가 히트 파이프의 열전달율을 의미한다. 충전한 경우가 충전하지 않은 경우에 비하여 열전달율이 25 % 내지 33 % 만큼 증가하였음을 보인다.

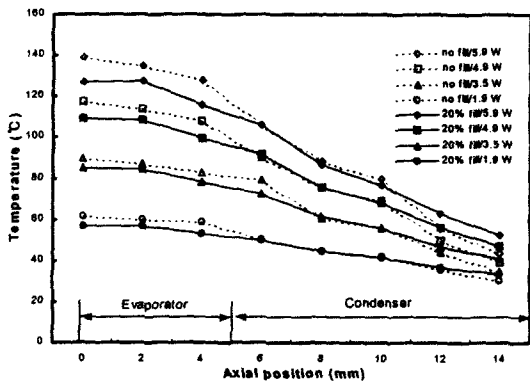


그림 6 초소형 히트 파이프의 길이 방향 정상 상태 온도 분포

표 1 초소형 히트 파이프의 증발부와 응축부의 온도 비교 열전달율 증가

Input power	Temp. of empty MHP (°C)			Temp. of MHP filled (°C)			Improvement of heat transfer rate
	End of evaporator	End of condenser	Temp. difference	End of evaporator	End of condenser	Temp. difference	
1.9W	61.5	30.6	30.9	56.7	33.5	23.2	33.2%
3.5W	89.8	34.5	55.3	84.8	40.8	44.0	25.7%
4.9W	117.5	39.2	78.3	109.0	47.2	61.8	26.7%
5.9W	139.2	43.3	95.9	127.1	52.2	74.9	28.0%

5. 결 론

마이크로머시닝 기술을 이용하여 초소형 히트 파이프를 제작하였고, 작동 유체는 탈기된 증류수를 사용하여 부피비로 20 % 충전된 초소형 히트 파이프와 충전되지 않은 히트 파이프의 열전달 성능을 비교하였다. 본 연구에서 제안한 초소형 히트 파이프는 두께가 1.25 mm인 평판 형태로 전자 패키징 내에 집적화가 가능한 구조이다. 인가 전력에 따라 초소형 히트파이프의 열전달율은 25 % 내지 33 % 만큼 향상되었다. 고성능 냉각 장치가 IC 칩 아래에 접하여 패키징된다면, IC 칩의 발열 문제를 크게 개선할 수 있을 것이다. 본 연구를 통해 마이크로머시닝 기술을 이용한 초소형 히트 파이프 제작 및 열전달 성능실험에 관한 기초 연구가 이루어졌다. 이를 바탕으로 향후 워 구조를 갖는 초소형 히트 파이프를 설계하고 여러 변수들에 대한 최적화 연구를 수행하고 실험을 통해 그 성능 향상을 입증할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 2000년도 두뇌한국21사업의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] K. E. Goodson, K. Kurabayashi, and R. Fabian W. Pease, "Improved Heat Sinking for Laser-Diode Arrays Using Microchannels in CVD Diamond," IEEE CPMT, part B. vol. 20, pp. 104~109, 1997
- [2] T. Kishimoto, S. Sasaki, K. Kaizu, K. Genda, and K. Endo, "Heat-Pipe Cooling Technology for High-Speed ATM Switching Multichip Modules", IEICE Trans. Electron., vol. E78 C, no. 5, pp. 564~573, 1995
- [3] A. Miner, A. Majumdar, U. Ghoshal, "Thermo-Electro-Mechanical Refrigeration Using Transient Thermoelectric Effects", Applied Physics Letters, vol. 75, pp. 1176~1178, 1999.
- [4] S. Wu, J. Mai, Y. C. Tai, and C. M. Ho, "Micro Heat Exchanger by Using MEMS Impinging Jets," MEMS 99, pp. 171~176, 1999.
- [5] GP Peterson, "Modeling, Fabrication, and Testing of Micro Heat Pipes: An Update", Appl. Mech. Rev. vol. 49, no. 10, part 2, pp. S175~S183 1996.