

구리 모재를 이용한 초소형 히트파이프의 제작

조형철<sup>†</sup>, 최장현<sup>†</sup>, 박진성<sup>†</sup>, 양상식<sup>†</sup>, 유재석<sup>†</sup>  
 아주대학교 전자공학부<sup>†</sup>, 아주대학교 기계공학부<sup>†</sup>

Fabrication of a Micro Heat Pipe using Copper substrates

Hyung Chul Cho<sup>†</sup>, Jang Hyun Choi<sup>†</sup>, Jin Sung Park<sup>†</sup>, Sang Sik Yang<sup>†</sup>, Jae Suk Yoo<sup>†</sup>  
 School of Electronics Engineering, Ajou University, School of Mechatronics Engineering, Ajou

**Abstract** - 초소형 히트파이프는 고집적 반도체 소자에서 발생하는 열을 효과적으로 소산하기 위한 열교환 장치이다. 초소형 히트파이프는 작동유체가 상 변화 잠열을 이용한 칩 레벨의 냉각 장치이다. 작동유체는 진공으로 밀봉된 공간내에서 외부 동력 없이 모세관력에 의하여 이동한다. 본 논문에서는 실리콘보다 열전도도가 우수하여 발생하는 열을 더욱 빠르게 소산시킬 수 있는 구리 모재의 초소형 히트파이프를 제작한다. 특히, 모세관력 히트파이프의 성능을 좌우하는 요소이다. 모세관력 향상을 위해서 구리 전기도금으로 이용하여 홈(groove)부분을 제작한다. Wick 제작, 구리판 접합, 작동유체 충전등으로 초소형 히트파이프를 제작한 후, 성능 실험한 결과를 보여준다.

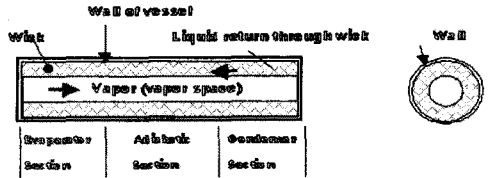


그림 1 히트파이프 내의 작동 유체 순환 과정

표면에는 매우 얇은 막이 형성되고 응축부로 갈수록 액체 막이 두꺼워 진다. 작동 유체는 증발부에서 증발하여 액체를 모서리로 밀려나게 하여 아주 얇은 막을 형성한다. 이로 인해 증발부에서는 큰 곡률의 기체와 액체 계면이 형성된다. 따라서, 히트파이프 모서리에서는 모세관력의 차이가 발생하고 이로 인해서 액체는 응축부에서 증발부로 되돌아오게 된다. 모세관력의 차이는 기체와 액체 계면의 곡률반경에 관련된다. 히트파이프의 모세관력의 차이는 Laplace-Young 식으로 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$P_V - P_L = \frac{\sigma}{R} \quad \text{식 (1)}$$

여기서,  $P_V$ 는 기체의 부분압력,  $P_L$ 는 액체의 부분압력,  $\sigma$ 는 작동 유체의 표면장력,  $R$ 은 기체와 액체 계면의 곡률 반경이다. 히트파이프의 크기가 작아지면 Vander Waals 힘과 박막(thin film)의 작용으로 작동 유체가 기존의 히트파이프에 비하여 달라진다. 즉, 곡률 반경이 작아지기 때문에 내부 요철과 박막 부분 사이의 모세관력이 크게 증가하게 된다.

3. 제작 공정

본 논문에서는 실리콘 웨이퍼에 비해 열전도도가 우수하고 가격이 저렴한 구리판을 사용한다. 설계된 초소형 히트파이프는 그림 2와 같이 크기가  $30 \times 30 \times 0.5 \text{mm}^3$ 인 두장의 구리판으로 상·하부로 구성되어 있다.

1. 서 론

최근 반도체 소자 및 전자 부품 제조의 성능 향상과 고부가 가치화가 요구되면서 이를 위한 고집적화, 고속도화, 초소형화는 필수적인 요소이다. 하지만, 이로 인해 반도체 소자의 단위 면적당 발생하는 열량의 증가와 성능 및 신뢰성 저하를 가져왔다. 따라서 소자에서 발생되어지는 열을 효과적으로 제어하기 위한 열관리 관련 소재 연구가 활발히 진행되어지고 있으며, 그 중 초소형 히트파이프를 새로운 방열 시스템으로 응용하려는 연구들이 행해지고 있다. 초기 초소형 히트파이프의 연구 동향은 실리콘이나 갈륨비소를 이용한 작은 채널을 가공하는 기술과 [1], 삼각이나 사각형태의 모양으로 이방성 식각공정에 의한 제작 기술 [2], 금속의 증착 공정에 의한 채널 내부에 정렬 구조를 가지는 방법 [3] 등의 연구가 진행되어 왔다. 최근에는 납작한 금속판 형태의 초소형 히트파이프와 초소형 히트파이프의 정렬 구조를 형성하기 위해 필요한 제작 기술에 대한 연구와 전자 패키징 내에 집적화에 [5] 대한 연구가 진행중이다. 본 논문에서는 기존의 열관리 소재를 대체할 수 있을 뿐 아니라, 반도체 및 전자소자에 직접 부착하여 냉각 할 수 있는 칩 레벨의 구리 모재를 이용한 초소형 히트파이프의 제작 방법을 기술하고 성능 시험한다.

2. 작동 원리

그림 1은 히트파이프 내에서의 작동유체가 순환하는 유동을 보여준다. 그리고 히트파이프는 증발부와 단열부, 응축부 세 영역으로 나누어 지며, 밀폐된 공간에서 진공 주입된 작동유체는 증발부에서 대기 상태보다 낮은 온도에서 증발하여 열을 흡수하고 이 증기가 단열부를 지나 응축부에서 냉각되어 다시 액체가 된다. 응축된 액체는 모세관력에 의해 증발부로 돌아오게 되는데 이러한 과정은 별도의 외부 전원 없이 일어난다. 특히 모세관력은 히트파이프의 성능을 좌우하는 요소로 표면장력, 히트파이프 내부의 액체 접촉각, 히트파이프 내부의 형상 등에 의해 영향을 받는다. 따라서, 표면장력이 클수록, 접촉각이 작을수록 모세관력이 커진다. 또 증발부의 Wick

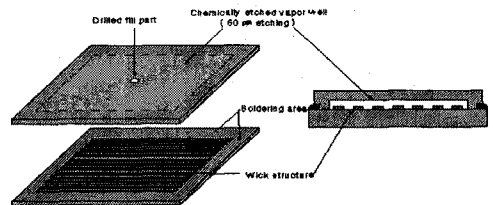


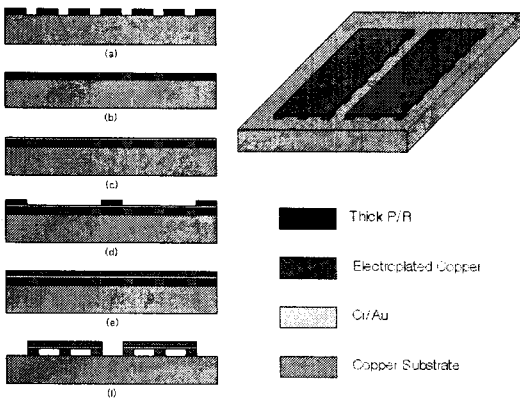
그림 2 설계된 히트파이프의 구조

### 3.1 Wick(wick) 제작 방법

작동유체의 이동 구간인 Wick(wick)은 구리판에 구리 전기도금을 이용하여 제작한다. 그림 3(a)와 같이 구리판에 Thick PR(AZ 4620)을 코팅한 후, 도금할 부분을 현상한다. 그림 3(b)와 같이 첫번째 구리 전기도금을 한후, 그림 3(c)와 같이 Cr/Au를 증착한다. 그림 3(d)는 그림 3(a)와 같은 방법으로 진행하며 그림 3(e)와 같이 두 번째 구리 전기 도금을 한다. 이는 증기와 유체와의 접촉면을 최소화하여 사이의 마찰을 줄여 성능을 향상시킨다. 그림 3 (f)와 같이 P/R을 제거하여 Wick을 제작 완성한다.

증기의 이동통로는 상판 구리를 60  $\mu\text{m}$  깊이 만큼 식각하여 제작하고 작동 유체 충전을 위해 지름 1 mm의 구멍을 드릴 가공한다.

그림 4는 구리판 위에 제작된 홈 구조 사진이다. 홈의 크기는  $50\mu\text{m} \times 50\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ 인 기둥과 그 사이의 간격은  $100\mu\text{m}$ 이다.



- (a) Thick PR patterning
- (b) 1st copper electroplating
- (c) Cr/Au evaporation
- (d) Thick PR patterning
- (e) 2nd copper electroplating
- (f) Thick PR remove

그림 3 구리 전기도금을 이용한 Wick 제작 공정도

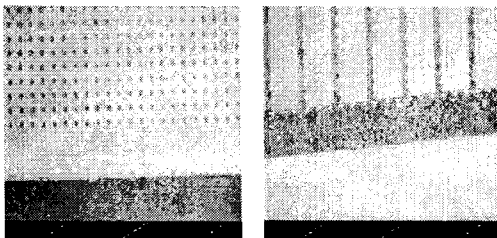


그림 4 구리 전기도금을 이용한 Wick 구조 사진

### 2.2.2 두 구리판의 접합 방법

두 구리판의 '접합은 솔더링(soldering) 방법을 이용한다. 상·하의 구리판을 지그(Zig)에 고정시킨 후 구리판의 테두리 부분에 플럭스(flux)를 바르고 납재가 녹아 있는 용기에 담았다가 꺼내어 한 면씩 차례로 밀봉한다. 에폭시(vacuum epoxy)를 테두리 부분에 접착한다.

### 3.3 작동 유체 충전 방법

히트파이프 내에 불응축 가스 발생을 방지하기 위하여 주입되는 작동 유체는 탈기된 증류수를 사용한다. 작동 유체의 충전방법은 히트파이프의 주입부가 연결된 진공 챔버에 탈기된 증류수를 채우고 25°C 포화 증기 상태의 진공을 유지한다. 그리고 히트파이프를 가열하여 히트파이프 내부를 100°C의 포화 증기 상태가 되게 한다. 이때 챔버안의 탈기된 증류수를 히트파이프 주입구로 이동시키고 히트파이프의 내부가 25°C 포화 증기 상태가 되면서 줄어든 증기의 부피만큼 탈기된 증류수가 채워지게 된다.

## 4. 성능 실험

그림 5(a)는 성능 실험 장치도이다. 제작된 초소형 히트파이프 뒷면 가운데에 실리콘 웨이퍼를 이용하여  $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ 의 크기를 가지는 히터를 제작하여 장착하고 응축부 쪽에는 양쪽으로 냉각수를 흘려준다. 전원공급기(HP 6674)에서 인가된 전력에 대해 측정된 데이터는 다채널 데이터 취득기(DA2500E)로 수집되어 컴퓨터에 저장된다. 그림 5(c)는 제작된 히트 파이프 위에 장착되는 열전대(Thermocouple)의 위치를 보여준다. 열전대는 증발부에서 응축부 쪽으로 2 mm 간격으로 장착한다. 인가된 전력에 따른 작동유체가 충전된 초소형 히트파이프와 작동 유체가 충전되지 않은 초소형 히트파이프의 온도를 측정하여 열전달 특성을 비교하였다.

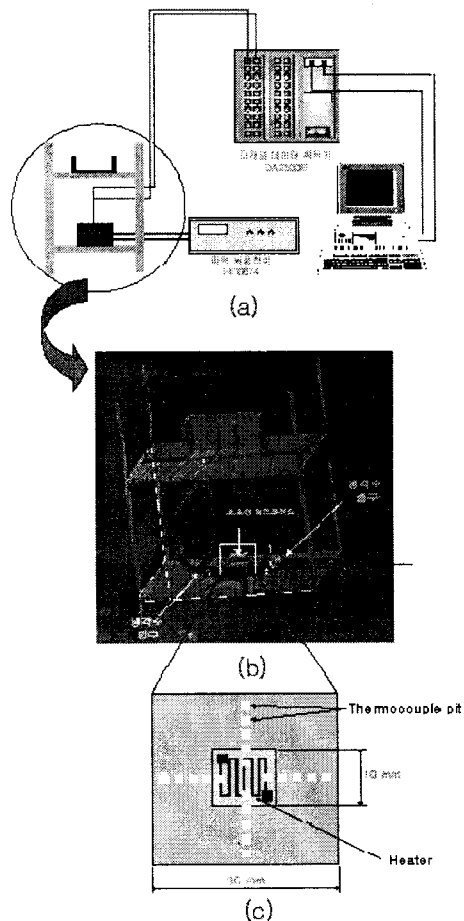


그림 5 초소형 히트파이프 성능 실험 장치도

그림 6은 초소형 히트파이프의 성능 실험 결과이다. 사용된 냉각수의 온도는 23.2°C이며, 인가된 전력 1.45W, 2.63W, 3.57W, 4.78W, 5.72W 에 대해 정상상태에서의 증발부와 응축부 사이의 온도차  $\Delta T$ (°C)를 나타낸다. 작동 유체가 채워진 초소형 히트파이프가 충전되지 않은 초소형 히트파이프보다 온도차가 적게 나타난다. 따라서 열 유속이 같을 때 열전달 계수는 온도 구배에 반비례 하므로 충전한 초소형 히트파이프의 경우가 충전하지 않은 초소형 히트파이프의 경우보다 10.8% ~ 25% 만큼 열전달율이 증가되었다는 것을 의미한다.

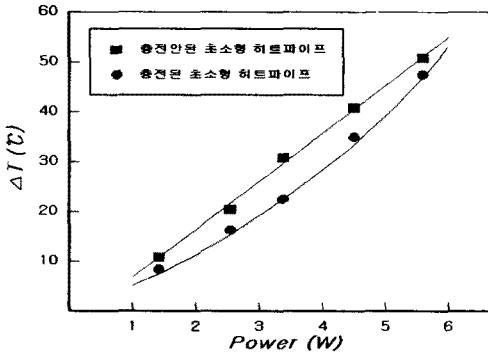


그림 6 초소형 히트파이프의 열전달율

## 5. 결 론

본 논문에서는 구리 모재를 이용한 초소형 히트파이프를 제작하고 성능 실험을 하였다. 홈 제작은 구리 전기도금을 이용하여 제작되었고, 고집적 전자 소자를 직접 부착할 수 있는 칩레벨의 열관리 소재로 대체 가능하다. 성능 실험을 통하여 충전된 초소형 히트파이프가 충전되지 않은 초소형 히트파이프보다 열 전달율이 개선되었음을 알 수 있다. 앞으로 보다 효율적인 홈 구조의 설계와 최적화 연구를 수행하여 열전달을 향상시키고, 전자소자에 집적화 할 수 있는 초소형 히트파이프를 제작할 예정이다.

## 감사의 글

본 연구는 2001년도 두뇌한국21사업에 지원으로 수행되었습니다.

## (참 고 문 헌)

- [1] G. P. Peterson, A. B. Duncan, A. K. Mallik, and M.H. Weichold, "Experimental investigation of micro heat pipes in silicon devices" 1991 ASME Winter Annual Meeting, ASME DSC-32, Atlanta GA, Dec. pp.341-348, 1991
- [2] F. M. Gerner, J.P. Longtin, P. Ramadas, T.H. Henderson, and W.S. Chang, "Flow and heat transfer limitations in micro heat pipes" 28th Natl. Heat Transfer Conf., San Diego, CA, August 9-12, 1992
- [3] M. H. Weichold, G. P. Peterson, and A. K. Mallik, "Vapor deposited micro heat pipes" US Patent No. 5,179,043, issued Jan. 12, 1993, US Patent and Trademark Office
- [4] G. P. Peterson, "Modeling, Fabrication, and Testing of Micro heat pipes : an update" Appl. Mech. Rev. vol. 49, no. 10, part 2, pp. S175-S183 1996
- [5] J. S. Park, J. H. Choi, H. C. Cho, S. S. Yang, J. S. Yoo, "The Fabrication and Characteristics of Micro Heat Pipe for IC Chip Cooling" 대한전기학회 추계 학술대회논문집 2000년 pp.586-588