

후막 감광제를 이용한 구리 모재의 초소형 히트 파이프 제작

장병현, 윤현중, 양상식
아주대학교 전자공학부

Fabrication of Copper Micro Heat Pipes Using JSR Negative Photoresist

Byeong Hyeon Jang, Hyeun Joong Yoon, Sang Sik Yang
School of Electronics Eng., Ajou University

Abstract - 고집적 반도체 소자에서 발생하는 열의 효과적인 전달을 위한 구리 모재의 초소형 히트파이프를 제작하였다. 제작된 초소형 히트 파이프는 높이 100 μm의 채널 어레이가 형성되어 있는 하부 구리 기판과 그것을 덮는 상부 구리 기판으로 구성된다. 채널의 개수는 44개이고, 길이는 24 mm이다. 하부 구리 기판 위에 음성 후막 감광제 JSR THB 151N을 도포하고 사진 현상 공정으로 미세 채널 몰드를 형성한 후, 구리 전기 도금을 이용하여 채널 격벽을 제작한다. 미세 채널 몰드는 습식 방법으로 완전하게 제거된다. 제작된 하부 구리 기판은 에폭시로 상부 구리 기판과 부착 후 옆면에 구리 전기 도금으로 완전히 접합한다.

1. 서 론

반도체 산업의 비약적인 성장으로 반도체 칩의 크기는 점점 소형화 되고, 컴퓨터의 성능은 꾸준히 증진되어 현재 CPU의 처리속도가 MHz급에서 GHz급으로 빨라졌다. 이러한 반도체 칩의 소형화, 고속화가 진행될수록 내부 열발생량도 증가되어 기존의 방열 방식만으로는 칩의 신뢰도를 유지하기 힘들게 되었다. 이에 따라 새로운 방열 장치에 대한 여러 연구가 진행되었는데, Goodson[1] 등은 기판 표면에 고전도성의 다이아몬드를 증착시킨 방열판을 제안하였고, 열전 재료를 사용한 thermo-electro-mechanical cooler, impinging jet 방식[2-3] 등이 연구 되었다. 또다른 방열 장치로는 초소형 히트 파이프가 있다. 1984년에 Cotter에 의해 처음 제안된 초소형 히트 파이프는, 그 후 지금까지 활발하게 연구되고 있다[4-7].

본 논문에서는 일반적으로 많이 연구되고 있는 실리콘을 모재로 하는 초소형 히트 파이프가 아닌, 구리를 모재로 하는 초소형 히트 파이프를 제작하였다. 구리는 실리콘에 비하여 다양한 미세 가공 방법이나 접합 방법이 개발되어 있지 않지만, 구리 자체적으로 높은 열전도성을 가지고 있고 가격도 훨씬 낮기 때문에 상용화에 있어서 보다 나은 효과를 보일 것이라 기대된다. 음성 후막 감광제인 JSR THB 151N으로 몰드를 제작 후 구리 전기 도금을 이용하여 미세 채널을 형성하였다. 또한 구리 전기 도금을 이용하여 상부와 하부 기판을 접합하였다.

2. 작동 원리

그림 1에서 보이는 것과 같이 초소형 히트 파이프는 증발부와 응축부, 두 영역으로 나뉘어진다. 증발부에서는 작동유체가 외부 열원으로부터 열을 흡수하여 증발하게 된다. 증발된 작동유체는 증발부와 응축부의 압력 차이에 의하여 응축부로 이동하게 된다. 응축부에서는 이동한 기체가 응축하면서 열을 외부로 방출하게 되고, 응축된 작동유체는 모세관력에 의하여 히트 파이프의 모세관을 따라 다시 증발부로 귀환한다. 초소형 히트 파이프는 이러한 작동 유체의 반복적인 상변화를 통하여 외부 동력원 없이 열을 열원으로부터 외부로 전달하게 된다.

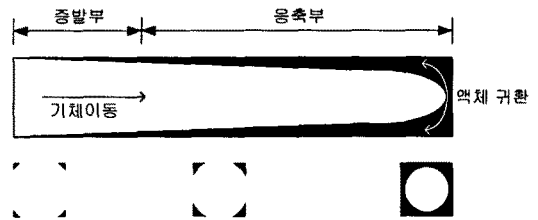


그림 1. 히트 파이프 내의 작동유체 순환 과정

이 때 열전달 성능은 작동 유체를 응축부에서 증발부로 귀환시키는데 필요한 모세관력과 작동 유체의 충전량에 의하여 결정지어진다. 작동 유체는 히트 파이프가 사용될 온도 범위에 따라서 달라진다. 일반적으로 높은 표면장력과 낮은 접촉각으로 큰 모세관력을 가지는, 물이 많이 사용되고 있다.

3. 구조

제작된 초소형 히트 파이프는, 미세 채널을 형성하고 있는 하부 구리 기판과 그것을 덮는 상부 구리 기판으로 구성된다. 우선 하부 구리 기판에 미세 채널을 제작하고, 상부 구리 기판과 구리 전기 도금을 이용하여 접합한다.

그림 2는 제작된 초소형 히트 파이프의 하부 구리 기판 구조를 나타낸다. 전체 기판의 크기는 15.6 mm × 36.6 mm × 0.7 mm이고, 상부 구리 기판의 크기도 이와 동일하다. 도금된 구리 구조물은 접합을 고려하여 기판 면적보다 작게 제작하였다. 각 채널의 크기는 120 μm × 100 μm × 24 mm이고, 전체 44개의 채널이 나열되어 있다. 작동 유체 충전을 위해 채널들의 양 끝이 각각 연결되어 있고, 연결부 중앙에 한 개의 직경 0.6 mm 구멍을 드릴을 사용하여 형성하였다. 하부 구리 기판의 뒷면에는 성능 실험 시 필요한 열전대를 장착할 수 있도록 채널 길이 방향으로 나열된 14개의 홈을 습식 식각으로 제작하였다.

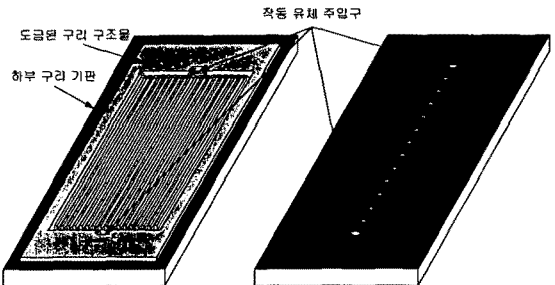


그림 2. 하부 구리 기판의 구조도

4. 제 작

4.1 하부 구리 기판 제작 공정

우선 하부 구리 기판의 뒷면에 습식 식각을 통하여 열전대 장착 홈을 제작한다. 식각 마스크로는 AZ 1512 양성 감광제를, 식각액은 염화제이철을 각각 사용하였다. 식각은 상온에서 이루어졌으며, 30분간 약 115 μm 의 깊이를 가지는 홈을 얻을 수 있었다. 양 끝에 있는 홈은 작동 유체 주입구를 뚫는데 사용하였고, 이 주입구는 얼라인 키 역할을 하기도 한다.

그림 3은 이 후의 제작 공정도를 나타낸다. 하부 구리 기판에 JSR 몰드를 형성하기 위하여 400 rpm으로 40초간 회전 도포하여 100 μm 이상의 두께를 얻는다. JSR은 구리와 접착력이 우수하여 별도의 adhesion layer가 필요없다. 회전 도포 후에 수평을 유지하며 30분간 이완시킨 후 110 $^{\circ}\text{C}$ 에서 baking 한다. baking 후에 다시 30분간 이완시킨 후 노광하게 된다. 이렇게 baking 전후로 이완 시간을 갖는 이유는, 도포시 낮은 회전 속도와, 감광제의 높은 점도로 인하여 회전 중심부와 바깥쪽의 높이 차가 발생하게 되어 이를 완화시키기 위해서이다. 일반적으로 높은 구조물을 제작하는데 많이 사용하는 SU-8의 경우에는 노광 후 baking 과정(PEB)을 다시 한번 거쳐야 하지만, JSR은 이를 거치지 않고 바로 현상한다. 현상시에는 채널 사이에 JSR이 남는 것을 방지하기 위하여 지속적으로 가벼운 교반을 행하였다. 이때 채널 사이에 JSR이 남게 되면 린스 후에 다시 현상액에 넣어도 잘 제거되지 않게 된다.

JSR 몰드 사이에 구리 전기 도금으로 격벽을 형성한다. 구리 양극으로는 함인동을 사용하였다. 함인동은 인을 첨가하여 구리 내부에 있는 산소를 제거한 구리로써 일반 구리를 양극으로 사용할 때보다 거친 도금을 막을 수 있다. 도금액의 교반은 magnetic bar를 사용하였고, 전류밀도는 20 mA/cm^2 로 가하여 시간당 약 16 μm 의 도금 속도를 얻는다.

도금을 마친 후, JSR 몰드를 제거함으로써 미세 채널 구조물을 얻는다. JSR은 SU-8과는 달리 아세톤과 전용 제거액 THB-S1, 두단계 과정으로 완전하게 제거된다. 아세톤은 JSR 몰드를 연화시킬 뿐만 아니라 금속과의 접착력도 약화시키게 된다.[8] 그림 4는 JSR 몰드를 제거한 후의 채널을 보여준다.

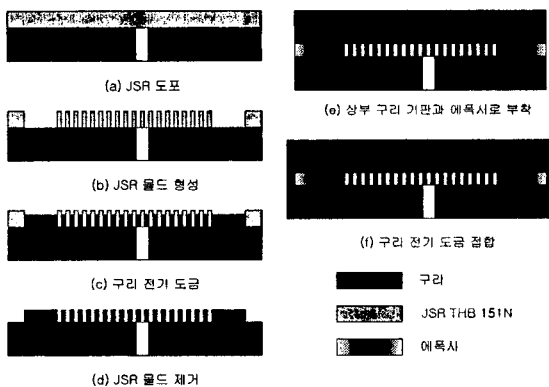


그림 3. 제작 공정도

4.2 상하부 구리 기판의 접합

초소형 히트 파이프는 내부가 진공상태에서 동작하기 때문에 제작된 소자의 sealing이 중요한 문제가 된다. 기존의 실리콘을 소재로 제작된 초소형 히트 파이프들의 경우에는 유리와 실리콘의 양극접합으로 혹은 실리콘과 실리콘의 직접 접합으로 확실한 sealing이 이루어졌으나, 구리의 경우에는 이와 같은 접합법이 개발되어 있지



그림 4. JSR제거 후의 채널

않다. 본 논문에서는 구리 전기 도금을 이용하여 상하부 구리 기판을 접합하였다.

그림 3의 (e)와 같이 먼저 예폭시로 상하부 기판을 부착시켜 내부로 도금액이 들어가는 것을 방지한다. 예폭시가 경화된 후에, 구리 기판의 옆면에 전기 도금을 한다. 과도한 도금을 수행하면 도금액에 노출된 면의 수직 방향만이 아닌 수평 방향으로도 조금씩 도금이 되어 상부와 하부 기판 사이에 접합이 이루어지게 된다.

5. 결 론

후막 감광제 JSR THB 151N을 구리 전기 도금 몰드로 사용하여 미세 채널을 제작하고, 구리 전기 도금으로 상하부 구리 기판을 접합하여 구리 소재의 초소형 히트 파이프를 제작하였다. 상기의 방법을 통하여 제작한 초소형 히트 파이프는 앞으로 작동 유체의 충전과 온도 측정을 통한 성능 평가가 요구된다.

감사의 글

본 연구는 2002년도 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었습니다.

(참고 문헌)

- [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] A. Miner, A. Majumdar, U. Ghoshal, "Thermoelectromechanical Refrigeration Based on Transient Thermoelectric Effects", Applied Physics Letters, vol. 75, pp. 1176-1178, 1999.
- [3] 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.
- [4] B. Badran, F. M. Gerner, P. Ramadas, T. Henderson, and K. W. Baker, "Experimental Results for Low-Temperature Silicon Micromachined Micro Heat Pipe Arrays Using Water and Methanol as Working Fluids", Experimental Heat Transfer, vol. 10, pp. 253-272, 1997.
- [5] A. K. Mallik, G. P. Peterson, and M. H. Weichold, "Fabrication of Vapor-Deposited Micro Heat Pipe Arrays as an Integral Part of Semiconductor Devices", Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 4, No. 3, pp. 119-131, 1995.

- [6] S. W. Kang, S. H. Tsai, and H. C. Chen, "Fabrication and Test of Radial Grooved Micro Heat Pipes", Applied Thermal Engineering, Vol. 22, pp. 1559-1568, 2002.
- [7] 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, pp.586-588, 2000.
- [8] F. G. Tseng, C. S. Yu, "High Aspect Ratio Ultrathick Micro-Stencil by JSR THB-430N Negative UV Photoresist", Sensors and Actuators, A 97-98, pp. 764-770, 2002.