



## 반도체 칩 냉각용 베이퍼 챔버의 방열 성능

서정환<sup>a,\*</sup>, 진성우<sup>b</sup>

## Heat Dissipation Performance of Vapor Chamber for Semiconductor Chip Cooling

Jeong-hwan Seo<sup>a,\*</sup>, Sung-woo Jin<sup>b</sup><sup>a</sup> Department of Mechanical Engineering, Tech University of Korea<sup>b</sup> Applied Thermal Co. Ltd.

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received	30	September	2024
Revised	21	October	2024
Accepted	31	October	2024

## Keywords:

Vapor chamber

Heat sink

Surface temperature

CFM(cubic meter per minute)

## ABSTRACT

A vapor chamber with excellent heat transfer was developed by injecting water in a vacuum and utilizing the high heat of vaporization generated from the phase transformation from liquid to gas. To evaluate the vapor chamber cooling performance, the heat sink surface was heated and subjected to forced convection using a fan to maintain the steady state. Compared to a pure copper heat sink, the heat sink using the vapor chamber showed superior heat dissipation performance under the same experimental conditions. The performance of the vapor chamber is closely related to the degree of vacuum, and it demonstrated superior performance in products with a high degree of vacuum.

## 1. 서론

인공지능 반도체는 AI 서비스 구현에 필요한 대규모 연산을 초고속·저전력으로 실행하는 비 메모리 반도체이다. 최근 AI 서비스가 생활과 산업 전반에 빠르게 확산되면서 처리해야 할 데이터양이 기하급수적으로 증가하고 있으며, 이에 따라 전력사용의 증대에 따른 반도체의 발열이 제품의 수명과 안정성에 크게 영향을 미친다.

본 연구는 진공상태에서 주입된 액체(물)가 가열에 의해, 액체 및 기체로의 상변환으로 발생하는 높은 기화열(높은 열 흡수 능력)을 이용하여 열 전달율이 매우 뛰어난 베이퍼 챔버(vapor chamber)를 개발하였다.

좁은 공간과 작은 면적으로도 효과적으로 열을 전달해줌으로써 많은 열이 발생하는 전력반도체 뿐만 아니라, LED Light, 친환경

자동차 배터리, 인버터, 노트북, 테블릿 PC 및 디스플레이 BLU(back light unit)등 다양한 분야의 방열 제품으로 적용이 가능하다.

## 2. 본론

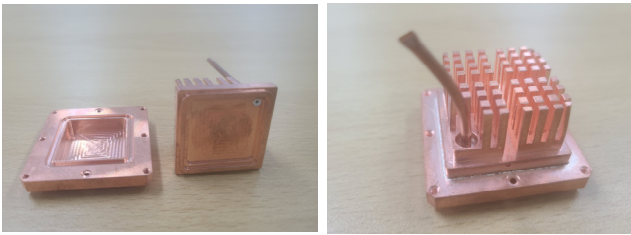
## 2.1 베이퍼 챔버의 설계 및 제작

베이퍼 챔버(vapor chamber)는 사용 목적에 적합한 다양한 액체(물, 아세톤, 암모니아, 에탄올, 메탈올 및 각종 냉매 등)를 주입하여 상변환(phase-change)을 할 수 있는 적절한 공간 확보가 가능하도록 2개의 부품으로 내부 공간을 설계하고, 브레이징(brazing) 용접으로 접합하여 제작한다.

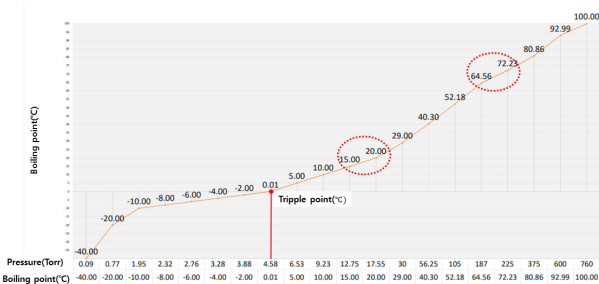
본 연구는 구리로 베이퍼 챔버를 설계·제작하고, 적절한 액체로 순수 물인 증류수를 적당량 주입한 후, 적정 진공이 유지되도록

\* Corresponding author. Tel.: +82-31-8041-0433

E-mail address: sun5555@tukorea.ac.kr (Jeong-hwan Seo).



(a) Before brazing welding (b) After brazing welding  
**Fig. 1 Design and Manufacturing of products**



**Fig. 2 Boiling point of water at subatmospheric pressure**

설계된 제품이다. Fig. 1은 2개의 부품으로 구성된 제품으로 브레이징 전 모양 및 완성된 시제품을 보여주고 있다.

## 2.2 베이퍼 챔버 제작사양

(1) 베이퍼 챔버 재질 : 무산소 구리(C1020)를 사용하였으며, 이는 순도 99.6% 이상으로 고온에서 수소 취성이 발생하지 않아 브레이징 용접에 적합하다. 또한, 합금이 되어 있지 않아 열전도성이 매우 우수하다.

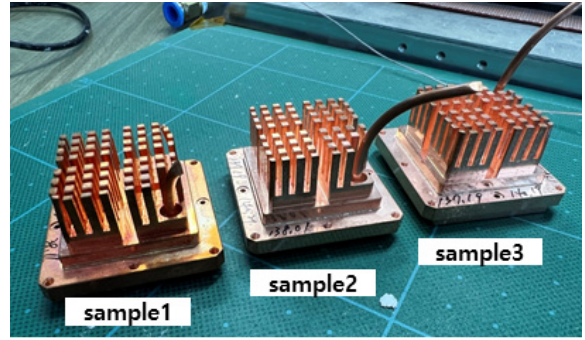
(2) 챔버 내용적 : 챔버 내용적의 크기는 열용량에 매우 크게 영향을 미친다. 반도체 칩의 크기에 맞게 가로×세로 크기를 정하고 적정 높이로 구하는데 전체 내용적은 3 250 mm<sup>3</sup>로 설계하였다.

(3) 주입 액체 : 주입 액체는 물, 에탄올, 메탄올, 각종 냉매 등 사용 목적과 냉각 온도에 따라 다양하게 선정할 수 있다. 주입 액체는 기화열이 큰 순수 물(증류수)을 사용하였다.

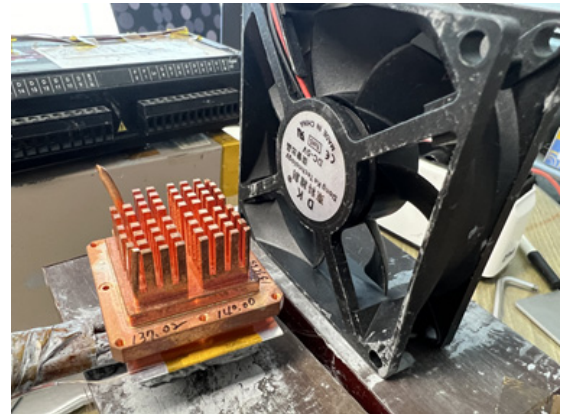
(4) 충전율 : 액체의 충전율은 성능에 영향을 미치는 주요 인자 중 하나이다. 본 실험을 위해 충전율은 30%로 제작하였다.

(5) 진공압(vacuum pressure) : 본 실험의 가장 큰 목적중 하나는 진공 압력에 따라 성능이 어떻게 변하는가를 알아보자는 것이다. 제작된 시료는 다음과 같다.

- Ⓐ sample 1 : 베이퍼 챔버를 적용하지 않은 순수 구리 방열체
- Ⓑ sample 2 : 진공도 15 Torr로 설계된 베이퍼 챔버
- Ⓒ sample 3 : 진공도 200 Torr로 설계된 베이퍼 챔버
- Ⓓ 추가시료(additional sample) : 시험에서 가장 우수한 성능을 나타낸 sample 2와 동일 조건으로 제작하여 대량 생산시 제품의 균질성과 신뢰성을 확인하기 위해 추가로 제작된 것이다.



**Fig. 3 Design and manufacture of samples**



**Fig. 4 Configuration of the experimental device**

## 3. 실험

본 실험은 방열 성능과 관련하여 입열과 방열이 균형을 이루는 정상상태의 일반 냉각 시스템에서 열 흡수 능력이 높은 물질을 활용한 방열 시스템의 냉각성을 평가한 것이다.

### 3.1 실험 장치의 구성 및 실험방법

(1) 45×45×1 mm 순수 알루미늄(A 1060) 판재를 30×30×10 mm 크기의 열원위에 올려놓고 구리 블록과 접촉을 유지함.

(2) 가열 열원을 100 V(24 W), 120 V(34.8 W), 140 V(46.2 W), 160 V(60.8 W)로 각 단계별로 가열 후 3분간 유지

(3) 열원 가열 시간동안 팬(fan)을 46 CFM의 풍량(air flow)로 송풍하여 냉각을 유지하고 정상상태에서 방열판의 표면 온도를 측정

- 환경조건 : 온도 25°C, 습도 65%
- 분당 회전수 : 3300 RPM
- 크기 : 80×80×25 mm

### 3.2 관련 이론

고성능 반도체에서 발열 문제가 부각됐지만 이를 해결할 수 있는 국내 기술이 아직 부족한 상태이다. 반도체에서 발열 문제는

제품의 성능과 내구성을 낮추는 주요 결합 요소 중 하나다. 반도체가 고성능화될수록 칩 집적도가 커지고 동작 속도가 빨라지면서 발열이 더 크게 발생하게 되는데, 이런 요인이 오작동의 원인이 된다.

발열 문제를 해결하기 위해서는 열 흡수 능력이 높은 물질을 활용한 방열 시스템, 효율적인 냉각시스템을 도입하여 발열을 최소화 하는 방법, 열전도가 높은 물질을 사용하여 효과적인 열 분산 시스템 설계 방안이 있다. 본 연구는 비열이 높은 물을 사용하여 액체와 수증기의 상 변화시 발생하는 높은 기화열(40.65 kJ/mol)을 이용한 것으로 열 흡수 능력이 높은 물질을 활용한 방열 시스템에 대한 것이다.

전기 저항열에 의해 발생된 열은 방열판에 직접 가하지 않고 알루미늄 플레이트(A 1060)을 일차적으로 가열하고, 열전도에 의해 방열판 표면적을 가열하도록 함으로써 온도편차  $\delta T$ 를 최소화하도록 하였다.

또한, 열전도에 의해 가열된 방열판은 팬(fan)에 의한 강제대류로 냉각하고, 정상상태에서 온도 분포가 평행이 되도록 일정  $\delta t$ 시간(5분)을 유지되도록 시험하였다.

관련식은 다음과 같다.

가열 열원은 전기 저항열로 전기 저항열은 joule의 법칙에 따라 다음과 같다.

$$Q = 0.24 I^2 R t (cal) \quad (3.1)$$

여기서,

$R$  = 저항( $\Omega$ ),  $I$  = 전류(A),  $t$  = 통전시간(sec)

알루미늄 판에서 방열판 표면간의 열전달은 열전도로 Fourier's law에 따라 열유량은 다음과 같다.

$$Q = k A \frac{dT}{dx} = k A \frac{(T_1 - T_2)}{L} (W, J/sec) \quad (3.2)$$

여기서,

$k$  : 열 전도율,  $A$  : 표면적,  $\frac{dT}{dx}$  : 온도 기울기,

$T_1 - T_2$  : 두 점 사이의 온도차,  $L$  : 거리

방열판의 표면에 형성된 다수의 냉각핀은 대류에 의해 냉각된다. 대류에는 강제대류(forced convection)와 자연대류(natural convection)가 있으며, 본 실험에서는 팬을 이용한 강제 대류로 냉각된다. 대류에서 Newton's low of cooling에 의거 다음과 같이 표현된다.

Table 1 Comparison of surface temperature (°C)

	100 V (24 W)	120 V (34.8 W)	140 V (46.2 W)	160 V (60.8 W)
Sample 1	80	105	130	160
Sample 2	72.4	94.5	117.9	149.5
Sample 3	76	98.8	126.4	155.6
Additional sample	72.8	94.9	118.3	150.5

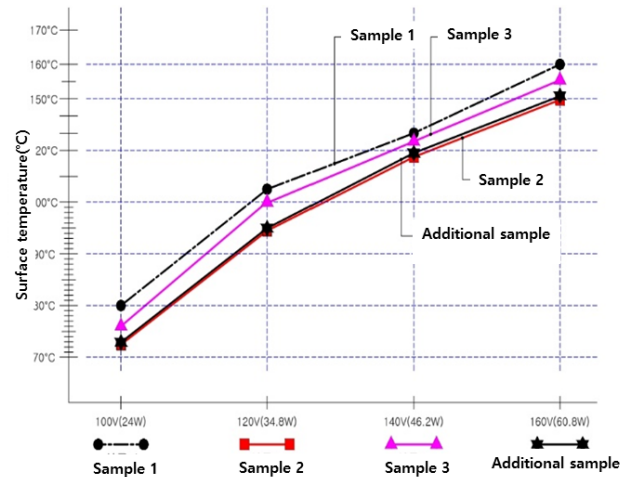


Fig. 5 Results of the tests

$$Q_{heatflow} = h A_s (T_s - T_\infty) (W, J/sec) \quad (3.3)$$

여기서,

$h$  : 대류 열전달 계수(convection heat transfer coefficient)

$A_s$  : 대류 열전달 표면적

$T_s$  : 표면 온도

$T_\infty$  : 표면에서 멀리 떨어진 유체의 온도

#### 4. 결론

Table 1에서, (1) 베이퍼 챔버를 적용하지 않은 순수 구리 방열체에 비해, 베이퍼 챔버를 적용한 베이퍼 챔버 방열체가 상기와 같은 실험 조건에서 6~12°C 우수한 방열 성능을 보여주었다.

(2) 베이퍼 챔버의 성능은 진공도와 관련이 있으며, 실험결과 진공도가 큰(15 Torr) 제품에서 상대적으로 우수한 방열 성능 결과를 보여주었다.

(3) 추가시료는 대량 생산의 경우 sample 2 시료에 대한 신뢰성과 균질성 확인을 위해 추가적으로 시료를 제작하여 시험한 결과이며, 그 편차는 0.3~0.7 % 수준으로 우수한 균질성과 재현성(신뢰성)을 보여주었다.

## 5. 고찰

(1) 베이퍼 챔버를 적용하지 않은 순수 구리 방열체(sample 1)에 비해, 베이퍼 챔버를 적용한 방열체(sample 2, sample 3)가 우수한 방열 성능을 갖는 것은 구리 금속의 비열보다, 기화열에 의해 많은 열을 흡수하여 전달해주는 것으로 판단된다. 이는 팬의 송풍량, 유속, 환경온도와 습도 등 방열 및 자연 대류 조건에서는 다른 온도차가 발생한다.

(2) Sample 2, sample 3에서 베이퍼 챔버의 성능에는 주입 액체의 종류, 공간 면적과 충전율, 유로의 형태, 진공도, 방열체 소재, 방열체의 자세 등 여러 요인이 있다. 본 연구는 주입되는 액체의 종류, 공간 면적과 충전율, 방열체 소재, 방열체를 수직으로 장착하고, 진공도에 따른 특성을 비교한 것이다. 진공도가 높을수록 성능이 우수하나, 제작의 어렵고, 사용중 누설에 의한 진공도 저하 등 여러 문제가 발생할 수 있다.

(3) 고온에서 수명이 크게 단축되는 반도체, LED Light 등 많은 전자기기에서 제품의 수명을 크게 증가시키고, 이차전지를 사용하는 전기차, 에너지 저장장치(ESS)등에서 열 폭주에 의한 화재 예방에도 적용하기 위해서는 사용 목적에 적합한 설계 조건(주입 액체의 종류, 주입량과 충전율, 유로설계, 방열체 형태, 진공도, 소재, 장착방향 등)을 구현하여야 한다.

## References

- [1] Moon, D. Y., 2015, A Study of the Heat Radiation Performance for COB LED on the Heatsink Structure, Master Thesis, Tech University of Korea, Republic of Korea.
- [2] Kim, D. H., 2016, A Study on the Heat Sink for Improving Heat Sink Heat Radiation Performance of an 120W Flood Light, Master Thesis, Tech University of Korea, Republic of Korea.
- [3] COFANTHERMAL, n.d., viewed 20 November 2024, Vapor Chambers, <<https://www.cofanthermal.com/vapor-chambers>> />.

	<p><b>Jeong-hwan Seo</b>                  Professor in the Department of Mechanical Engineering, Tech University of Korea.                  His research interest is Machine.                  E-mail: sun5555@tukorea.ac.kr</p>
	<p><b>Sung-woo Jin</b>                  CEO, Applied Thermal Co. Ltd.                  His research interest is Vapor Chamber.                  E-mail: appliedthermal@naver.com</p>