

<論 文>

# 집중열원이 있는 방산판의 열전도 해석 —전자부품 냉각에서의 열집중 현상—

최 상 민\*  
(1989년 4월 8일 접수)

## Heat Conduction Analysis of Spreader with Concentrated Heat Sources —Thermal Concentration Effect in Cooling Electronic Devices—

Sangmin Choi

**Key Words :** Cooling Electronic Devices(전자부품냉각), Conduction Heat Transfer(전도열전달), Finite Element Method(유한요소법)

### Abstract

Conduction heat transfer in heat spreaders with concentrated heat sources is analyzed by finite element method calculation and the results are compared to analytical solutions for simplified cases. The local temperature rise is dependent on the heat flux, thermal conductivity of the spreader material, and the contact size of the heat source. The effect of the adjacency of other heat sources is also examined.

### 기 호 설 명

- $A$  : 종횡비 [ $\equiv a/l$ ]
- $a$  : 접촉면적의 특성길이(종축길이 또는 반경)
- $d$  : 두 접촉면 사이의 거리
- $J_0, J_1$  : Bessel 함수(차수 0과 1)
- $k$  : 열전도율 [ $W/m^{\circ}C$ ]
- $l$  : 접촉면적의 특성길이(횡축길이)
- $q$  : 熱束 [ $W/m^2C$ ]
- $r$  : 반경방향 축좌표
- $T$  : 온도
- $\Delta T$  : 온도차
- $\Delta T_{max}$  : 최고 온도차
- $x, y, z$  : 축방향 좌표

수가 늘어나며 또한 단위소자당 발열량이 높아져 가고 있어 반도체 장치 수명과 신뢰성 보장을 위한 냉각에 관심이 집중되고 있다<sup>(1,2)</sup>. 반도체 소자의 작동온도는 발열강도와 방산율에 따라 결정되며, 이는 단순화된 일차원 개념으로서의 열저항을 정의 하면 外氣와 素子 사이의 온도차는 단위면적당의 발열강도(또는 발열밀도)와 열저항의 곱으로 나타나는 것으로 요약된다. 즉 작동온도를 낮추기 위하여는 발열밀도와 열저항을 낮추는 방향으로 개선하여야 한다. 우선 발열밀도는 발열부분의 위치와 크기에 따라서 크게 다르게 나타난다. 실제 발열부위인 반도체 소자 내부의 요소는 수 마이크로 단위의 크기이며 이를 반도체 칩으로 포장하면 수 센티미터, 또한 이를 회로기판에 장착하면 수십 센티미터 크기로 구성되어 발열량과 기준면적을 고려하여 발열밀도는 각각 다르게 나타날 수 있다. 또한 전력용 정류 다이오드와 같이 많은 열을 계속적으로 발생하는 반도체 소자의 냉각을 위해서는 반도체 칩이 흔히 수개의 積層구조의 放散 중간층을 통하여

### 1. 서 론

반도체 기술의 진보로 단위면적당 집적가능 소자

\*정회원, 한국과학기술대학 기계·재료공학부

접촉면적을 증가시킨 후에 최종 열 싱크에 부착시킴으로 발열밀도를 낮추는 효과를 얻고 있다.

반도체 칩 또는 회로기판 등은 흔히 공기에 의한 자연 또는 강제 대류 열전달에 의하여 냉각되고 있으며<sup>(3,4)</sup> 특히 최근에는 고밀도 열전달을 위하여 비등냉각액체를<sup>(5,6)</sup> 사용하거나 직접 접촉식 열전달 모듈<sup>(1)</sup>을 사용하는 예가 많이 나오고 있다. 이것은 발열부위로부터 최종 냉각매체까지의 온도차이를 일차원적 열저항 개념으로 단순화하여 볼 때 최종 냉각매체와의 열전달계수가 상대적으로 매우 낮은 값을 갖고 있으며, 따라서 이 부분의 열전달을 증진시키는 것이 가장 중요한 과제이기 때문이다. 그러나 칩에서의 열발생량이 매우 높은 경우 또는 열발생이 국부적으로 매우 좁은 위치에서 일어날 때에는 유한한 열전도를 때문에 발생하는 국부 온도 상승이 중요한 문제가 된다. 이러한 상황은 발열밀도를 전체면적 기준으로 계산하여 비교적 낮은 값을 나타내는 경우일지라도 국부적인 발열원 주위에서는 온도상승이 심각하게 나타날 수 있다는 것을 뜻하게 된다.

본 연구에서는 전력 다이오드 칩이 방산판에 부착되어 있는 형상을 기준하여 열전달 모형을 설정하고 해석적 해가 존재하는 단순형상으로 이상화하여 국부적 온도상승을 일으키는 조건을 파악하고 실제형상의 모형에 대하여 유한요소해석에 의한 온도분포 계산결과를 제시한다. 또한 발열체가 인접해 있는 경우에 대한 온도 집중현상의 결과도 아울러 검토한다.

## 2. 열전달 모형 및 해석프로그램

Table 1에서는 실제적인 반도체 소자의 발열 및

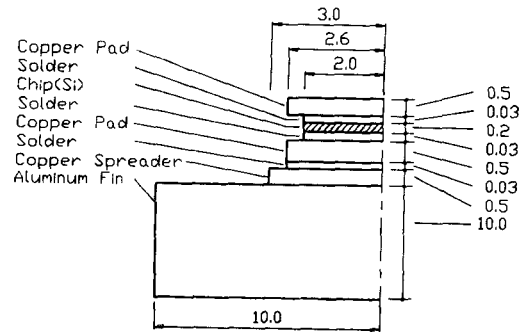


Fig. 1 An example of power diode and heat sink configuration (unit : mm, not to scale)

냉각을 고려하는 실제적 조건의 예를 요약하여 보여주고 있다. 본 연구에서는 단위소자당 발열량이 매우 높아서 성능보장을 위하여 냉각에 매우 높은 관심이 집중되고 있는 전력 다이오드의 열전달 모형을 고려하기로 한다. 전력다이오드와 열 싱크 구조의 일례를 Fig. 1에 나타내 주고 있다. 정류기능을 담당하고 또한 발열의 근원인 반도체 접점(junction) 부위는 실리콘 칩 중에서도 수 마이크론 정도의 박막으로 형성되어 있으며 실리콘의 납땀 부위는 접착성을 보장하기 위하여 마이크론 두께의 금속박막을 만들어 주고 있다. 실리콘 칩을 열 싱크에 직접 부착하는 예는 드물고 접촉면적의 증가로 열집중을 감소시키기 위한 목적과 칩의 운반 및 납땀 조작 등을 용이하게 해주기 위하여 베릴리움 또는 구리로 열 방산체(heat spreader)를 만든다. 발열은 칩에서 집중적으로 일어나는 것으로 가정할 수 있고 구리 등 방산체 재질과의 접합은 약 30 $\mu$ m 두께의 납납으로 연결되어 있으며 특별히 지정하지 않는 한 납땀부 내부에서空隙

Table 1 Typical heating conditions

Heating unit	Heating density (W/cm <sup>2</sup> )	Heating rate (W)	Area (cm×cm)	Reference
Printed circuit board	0.02	35×0.2each	22.9×17.8 (9×7inch)	IBM <sup>(7)</sup>
Packaged VLSI	1	1	1.0×1.0	AT & T <sup>(8)</sup>
Heating element in chip	2,200	0.5	0.015×0.015	Hijikata <sup>(5)</sup>
Power diode	100	25	0.5×0.5	Motorola <sup>(9)</sup>

Table 2 Typical material properties

Material	Thermal conductivity (W/m°C)	Specific heat (J/kg°C)	Density (kg/m³)
Silicon chip	100	750	2300
Copper spreader	350	400	8600
Solder(Pb base)	35	130	2400
Aluminum fin	200	900	2700

(void)의 형성은 없는 것으로 가정한다. (Kadambi 등<sup>(10)</sup>은 공극의 생성을 중시하여 공극비율에 따른 열전달의 감소현상을 고려한 바 있다.) 열 싱크는 칩의 길이 단위보다 수배 이상의 특성 크기를 갖고 있다. 발생한 열은 칩의 상부와 하부로 각각 전달될 수 있으나 열 싱크와 부착된 반대방향으로는 전류 도통을 위한 최소한의 구리 단자만이 연결되어 있으므로 열 싱크 방향에 비하여 전달되는 열량은 극히 미미하고 이를 무시한다. 또한 칩과 방산체 재료의 측면을 통한 외부 공기와의 대류에 의한 열손실도 무시한다. 여기에서 사용되는 각 재료의 물성치는 Table 2와 같다.

이와 같이 국부적으로 열이 발생하는 방산판의 형상은 간단하지 않으나 공학적 편의성 때문에 반도체 접점에서부터 외부 케이싱까지의 열저항이라는 일차원적 개념을 흔히 도입하여 사용하여 왔다. 이를 보완하기 위하여 평면 2차원 해석<sup>(10)</sup> 또는 축대칭 2차원 해석<sup>(12)</sup> 등도 시도되었으나 실제 형상을 가능한 유지하는 3차원 모형에 대하여 유한요소법을 이용한 해석<sup>(2,12)</sup>이 계산의 비용을 제외하고는 가장 바람직한 것으로 판단된다. 본 연구에서는 상품화된 유한요소해석 프로그램 중의 하나인 Super-SAP<sup>(13)</sup>을 사용하여 IBM-PC/AT 호환 기종에서 계산하였다.

수치계산을 수행할 때 발생하는 물리적 현상의 이해 부족을 극복하기 위하여 온도집중이 일어나는 현상을 반무한 전도체에서 집중열원이 있는 경우로 이상화한다. 시간에 대하여 일정한 양의 집중열원이 반무한 전도체의 표면에 부착되어 있을 때의 경우를 축대칭 2차원과 3차원 모형에 대하여 고려한다. 이와 같은 조건은 고전적인 열전달 연구에서 깊이 다루어져 왔으므로<sup>(14)</sup> 여기에서는 모형과 결과만 요약한다. 먼저 반무한 전도체 위의 원형면적

( $0 \leq r < a$ )에 균일한 열속을 받고 있는 경우의 온도분포는 (Fig. 2(a) 참조) 기본적 미분방정식

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

의 해를

$$\left. \begin{aligned} -2k \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=0} &= q, & 0 < r < a \\ &= 0, & r > a \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

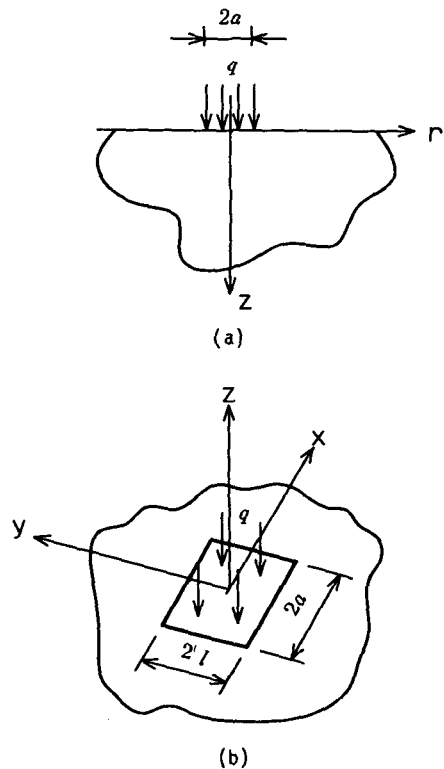


Fig. 2 Semi-infinite conduction element with a heat transfer surface of uniform heat flux. (a) axisymmetric case, (b) three-dimensional case

의 경계조건에 대한 해를 구하는 것으로, 그 해는

$$\Delta T = \frac{qa}{2k} \int_0^\infty e^{-\lambda|z|} J_0(\lambda r) J_1(\lambda a) \frac{d\lambda}{\lambda} \quad (3)$$

로서 주어진다.

또한 가로, 세로가 각기  $2a \times 2l$ 인 직사각형 면적에 전달되는 균일 열속이 반무한 전도체의 온도 상승을 일으킬 때 최대 온도차는 (Fig. 2(b) 참조) 직사각형의 중심에서 나타나며 그 값은 다음과 같다.

$$\Delta T_{\max} = \frac{2q}{k\pi} \left\{ a \sinh^{-1} \frac{l}{a} + l \sinh^{-1} \frac{a}{l} \right\} \quad (4)$$

열전달이 일어나는 면적의 종횡비가 온도상승에 미치는 영향을 고려하기 위하여 열속은 일정하고 총 전달면적이 같은(즉  $2a \times 2l = \text{일정}$ ) 경우에 대하여 정리하면

$$\frac{\Delta T_{\max} k \pi}{2q \sqrt{al}} = A^{1/2} \sinh^{-1} \frac{1}{A} + A^{1/2} \sinh^{-1} A \quad (5)$$

여기에서 종횡비  $A$ 는  $a/l$ 로 정의한다. 또한 열속 전달면적 ( $2a \times 2l$ )의 평균온도차는

$$\begin{aligned} \frac{\Delta T_{\text{avg}} k \pi}{2q \sqrt{al}} &= A^{1/2} \sinh^{-1} \frac{1}{A} + A^{1/2} \sinh^{-1} A \\ &+ \frac{1}{3} \{ A + A^{-2} - (A^3 + 3 + 3A^{-2} + A^{-4})^{1/2} \} \end{aligned} \quad (6)$$

으로 주어진다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 국부적 온도상승

전도성 고체 내부에서는 온도구배가 생김으로서 열전달이 일어나며 집중열원이 있는 경우에는 그 주위에 국부적으로 온도가 높아지게 된다. Fig. 3에서는 축대칭 반무한 전도체 형상에서 반경  $a$ 의 원형 표면에 균일한 열유속이 전달되고 있는 경우, 해석해와 유한요소해석 계산의 결과를 비교하여 보여주고 있다. 여기에서는 열전도율  $k$ 가 일정하고 또한 전열면적의 특성길이  $a$ 와 열유속  $q$ 의 곱이 일정하나 각각  $a$ 의 상대적 크기가 0.5, 1.0, 1.5인 경우의 온도분포를 관찰하는 것이 흥미롭다. Fig. 3에서 나타내고 있는 온도분포는 Fig. 2(a)에서와 같은 형상모형에 대하여  $z=0$ 의 평면상에서의 온도와 무한히 먼 곳에서의 온도와의 차이  $\Delta T$ 를 반경  $r$ 에 대하여 표시하였다. 계산예에서는  $q=0.2\text{W/mm}^2\text{C}$ ,  $k=0.1\text{W/mm}^2\text{C}$ ,  $a=0.5\text{mm}$ 를 기준으로  $q \times a$ 가 일정할 때  $a$ 가 1.0 및 1.5mm에 대

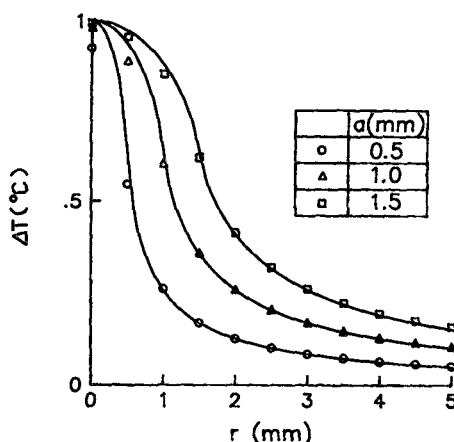


Fig. 3 Effect of size of heat sources on the temperature profile-axisymmetric case. Circular surface ( $r < a$ ) is subjected to uniform heat flux.  $q \times a = \text{constant}$ ,  $k = \text{constant}$ . Lines: analytic solution, symbols: FEM calculation

한 결과이다. 식 (3)에서 보는 바와 같이  $qa/k$ 가 일정하면  $\Delta T$ 가  $a$ 를 매개변수로 한  $r$ 의 함수로 나타나며  $r=0$  즉 중심에서의 값은  $a$ 의 크기에 관계없이 일정하여야 함을 그림에서 확인할 수 있다. 여기에서 해석해와 유한요소 계산결과를 비교하여 볼 때 집중열원 부위에서는 유한한 격자크기 때문에 오차가 발생하며  $a=0.5$ 의 경우에는  $a=1.5$ 의 경우에 비교하여 특히 오차가 크게 나타나고 있다. 그러나 반경이 커짐에 따라 해석해와 유한요소 계산의 오차가 거의 없음을 볼 수 있다. 또한  $qa/k$ 가 일정할 때  $\Delta T_{\max}$ 는 일정하나 열영향영역 (heat-affected zone)은  $a$ 의 크기에 따라 거의 비례하면서 커짐을 알 수 있다. 여기에서 열영향영역은 같은  $\Delta T$ 를 나타내는 중심에서부터의 거리로 정의한다.

평면상의 유한한 면적을 통하여 집중열원을 받는 경우는 3차원 형상이 된다. Fig. 2(b)에서와 같이 정방형 ( $2a \times 2a$ )의 접촉면을 통하여 집중열속을 받는 매우 커다란 전도체를 고려하여  $z=0$  평면상의  $x$ (또는  $y$ ) 축을 따라서 온도분포를 검토한다. 여기에서는  $k$ 의 크기에 따라서 온도분포가 영향을 받는가를 검토하기로 한다. 계산예에서는  $q=0.2\text{W/mm}^2\text{C}$ ,  $k=0.1\text{W/mm}^2\text{C}$ ,  $a=1\text{mm}$ 를 기준으로  $q/k$ 가 일정할 때  $k$ 가 0.2 및  $0.3\text{W/mm}^2\text{C}$ 에 대한 비교이다. 식 (4)의 해석해로부터 중심에서의 온도차  $\Delta T_{\max} = 1.122 qa/k$ 로 주어지며 최고온도차는

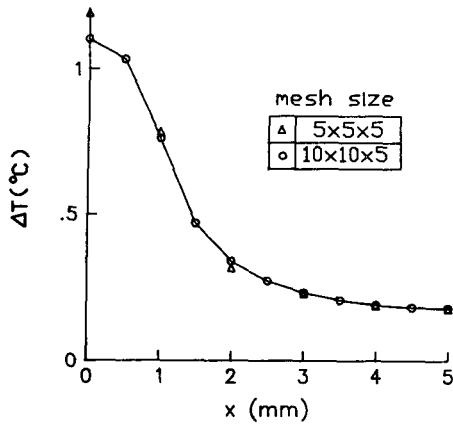


Fig. 4 Effect of thermal conductivity of the conducting medium on the temperature profile-three-dimensional case. Rectangular region ( $-a < x < a, -a < y < a$ ) is subjected to uniform heat flux

$q/k$ 가 일정하다면  $k$ 에 무관하여야 한다. Fig. 4에서는 계산결과가 중첩되어 나타나지 않으나 온도분포에 전혀 영향을 미치지 않음을 확인할 수 있었다. Fig. 4에서는 단지 계산격자의 생김새에 따라서 오차가 발생하는 것을 볼 수 있다.

이상의 2차원 축대칭 및 3차원 모형에 대하여 해석해와 유한요소 계산결과를 검토하여 볼 때 해석해에서 예측할 수 있는 바와 같이 최고 온도차는 열전도율뿐 아니라 발열밀도, 그리고 발열원의 크기에 따라 결정되며 이는  $qa/k$ 의 형태로 나타내진다. 그러나 열영향영역은 매개변수  $a$ 의 값에 따라서 차이가 남을 볼 수 있다. 또한 유한요소해석의 계산결과를 계산 격자의 크기에 따라 영향을 받으며 특히 최고 온도차를 계산할 때는 오차의 발생을 유의하여야 함을 알 수 있었다.

### 3.2 집중체적 발열원과 방산체의 열전달 경계조건

실리콘 칩과 열 싱크를 연결하는 부위는 수개의 금속판과 땀납의 얇은 층이 쌓여 있어 열전달에 방해를 주는 열저항으로 작용하고 있다. 실리콘 칩의 접점(junction) 부위를 체적당 균일한 열이 발생하는 체적 발열체로서 가정하고 단면적이 자기 다른 중간층을 통한 열전도를 고려한다. 이러한 경우 열 방산판과 열 싱크의 접촉면이 균일 열속 경계조건으로 이상화될 수 있는가를 검토해 본다. 즉 Fig.

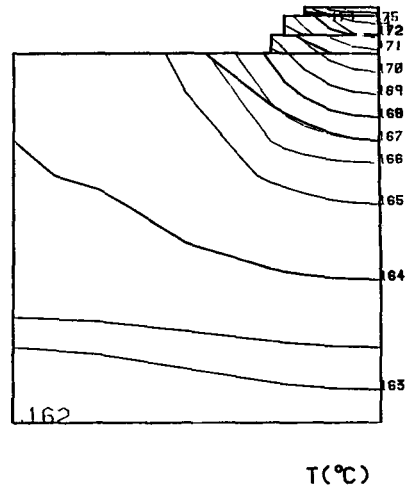


Fig. 5 Temperature contour of a conducting medium with a heat source directly attached on the top surface. Uniform volumetric heat generation is assumed for the total volume of the diode element

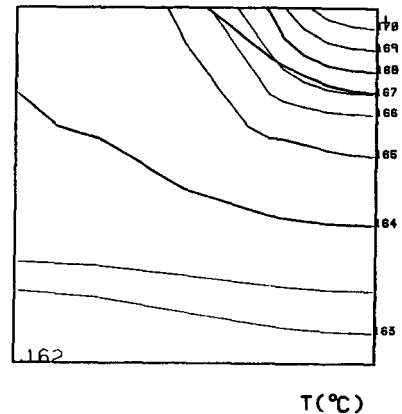


Fig. 6 Temperature contour of a conducting medium with a wall of uniform heat flux for the contact surface between the copper spreader and the aluminum heat sink

1의 칩 부위에서 집중적으로 발열이 일어나는 경우 이를 칩과 중간층 등을 포함하여 방산체까지 함께 고려할 것인가 또는 기하학적으로 간단하며 계산과정을 단축시킬 수 있는 방산체 모형만을 대상으로 중간층과의 접촉면만을 열전달 경계조건으로 이상화하는 것이 가능한가를 확인한다. Fig. 5와 Fig. 6에 칩 어셈블리가 부착되어 있는 경우와 체적 발열량을 면적당 일정한 균일 열속 경계면으로 이상화

한 경우, 열 싱크 부위에서의 온도분포를 보여주고 있다. 계산예에서는 앞의 Fig. 1의 치수에 대하여 다이오드 부분에서의 발열량이 25W이고 외부온도는 100°C 상태에서 최종 열전달 저항이 2.5°C/W 인 경우에 대한 결과이다. 전체적인 온도분포(즉 등온선)가 거의 일치함을 볼 수 있다. 따라서 고려해본 기하학적 형상에 관해서는 계산의 편의를 위하여 칩 어셈블리를 무시하고 경계조건으로 처리하여도 무방함을 알 수 있다. 이것은 열 싱크와 접촉하여 있는 구리 열방산판이 열전도율이 높으며 길이도 무시할 수 있을만큼 작아서 온도차가 발생하지 않기 때문이다.

### 3.3 직사각형 열원의 종횡비에 따른 영향

앞에서 식 (5) 및 (6)으로 보여준 해석해에서와 같이 발열체 및 열방산판의 종횡비가 달라짐에 따라서 나타나는 온도집중의 정도를 검토한다. 해석대상의 기하학적 형상 및 열전달 조건은 앞절에서 다루었던 전력 다이오드와 동일하나 단지 균일 열속이 전달되는 경계면의 종횡비가 다른 경우에 대하여 계산하였다. Fig. 7에 종횡비가 1인 경우와 2인 경우에 대하여 열전달면적 주위에서의 온도분포를 보여주고 있다. 종횡비가 1인 경우가 2인 경우에 비하여 최고온도가 높고, 종횡비가 2인 경우에는 전열면적의 방향에 따라서 온도 분포가 다르게 나타남을 확인할 수 있다. Fig. 8에는 각기 다른 종횡비에 대하여 최고온도와 최저온도와의 차이를 유한요소해석에 의하여 구한 결과와 식 (5)로 계산한

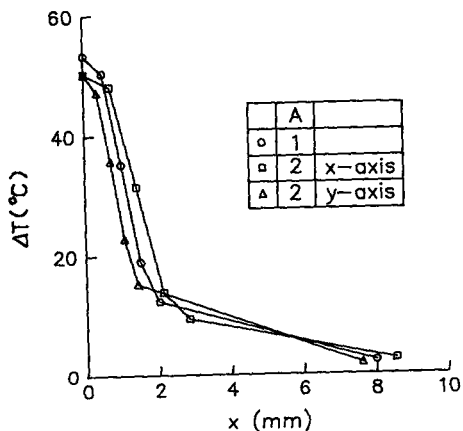


Fig. 7 Local temperature profile-Effect of the aspect ratio of the conducting wall surface

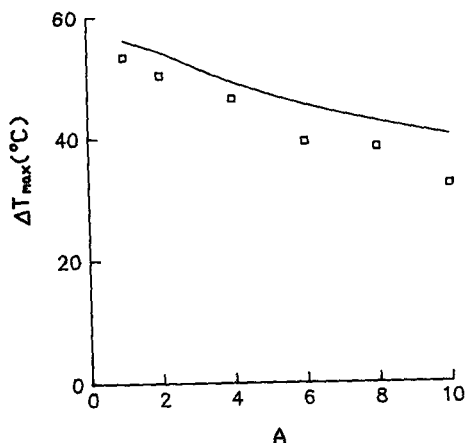


Fig. 8 Maximum temperature difference-Effect of the aspect ratio of the conducting wall surface. Line: analytic solution, symbols: FEM calculation

결과를 비교하여 보여주고 있다. 여기에서 두 가지 계산 결과는 대상의 선정과 가정에 약간의 차이가 있으나 실제적인 목적을 위해서는 거의 일치함을 알 수 있다. 차이의 주요원인은 계산모형이 해석해의 대상과는 달리 유한한 크기로 제한되어 있으며, 또한 유한요소해석의 경우에 계산결과가 앞에서 해석해와 비교해 본 것과 같이 계산 절점 (node)의 격자 밀집도 및 격자형상 때문에 받은 영향이다.

### 3.4 인접한 발열원에 의한 온도상승효과

앞에서는 발열원이 하나인 경우에 대하여 검토하였으나 만일 2개 또는 그 이상의 발열원이 서로 충분히 떨어져 있지 않는 경우에는 국부적인 온도 상승이 더욱 심화될 수 밖에 없다. Hijikata 등<sup>(6)</sup>은 그들의 반도체 소자의 직접 발열에 의한 열전달을 검토하는 과정에서 이 집중현상을 예견하였으나 정량적으로 규명하지는 않았다. 이같은 발열원의 인접도에 관한 영향을 검토하기 위하여 Fig. 9에서와 같은 모형을 고려하여 본다. 우선 2차원 모형에 대하여 균일 열속의 발열원이 서로 2d 만큼 떨어져 있을 때 국부적 온도분포를 계산한 결과가 Fig. 10에 나타나 있다. 계산예에서는  $q=2.0W/mm^2$ ,  $k=0.2W/mm^2C$ ,  $a=5mm$ 인 경우에 20×20mesh에 대한 결과이다.  $d/a=0$ 인 경우 즉 한 개의 발열원이 있는 경우에 비하여  $d/a=1$ 인 경우 즉 두 개의 발열원이 서로 마주 붙어 있는 경우에는 최고온도

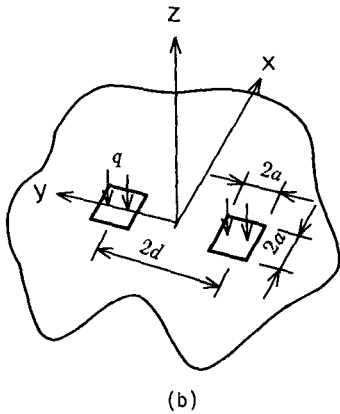
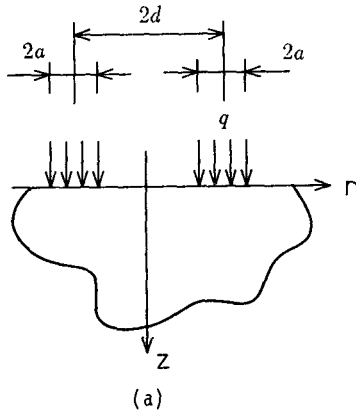


Fig. 9 Semi-infinite conduction element with two identical heat transfer surfaces of uniform heat flux. (a) two-dimensional model, (b) three dimensional model

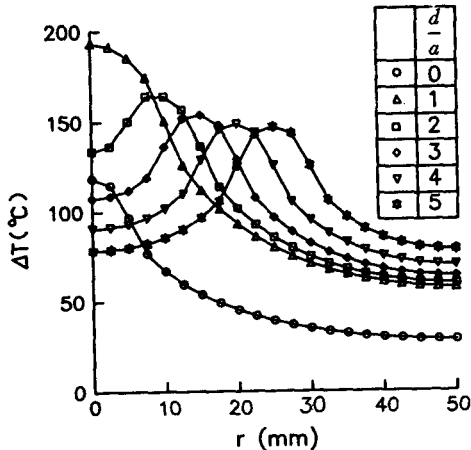


Fig. 10 Local temperature profile with two adjacent heat sources-two dimensional case

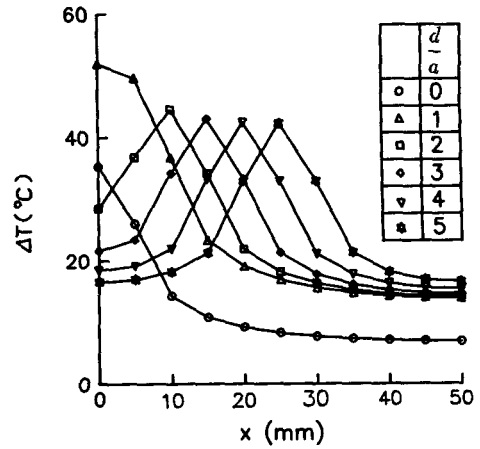


Fig. 11 Local temperature profile with two adjacent heat sources-three dimensional case

차가 1.63배까지 상승한 것을 볼 수 있다. 또한  $d/a > 1$ 인 경우에는 두 개의 봉우리를 갖는 온도 분포를 나타내며 최고 온도차는  $d/a = 1$ 에 비하여 점차 줄어들고 있으며  $d/a$ 가 2, 3, 4, 5인 경우 최고 온도차는  $d/a = 0$ 인 경우에 비교하여 각각 1.38, 1.29, 1.25, 1.24배로 나타났다. 또한 3차원 모형에서도 2차원 모형에서와 비슷한 경향을 나타내고 있다. Fig. 11에서는 앞의 계산에서와 같이  $q = 2.0W/mm^2C$ ,  $k = 0.2W/mm^2C$ ,  $a = 5mm$ 인 경우  $10 \times 10 \times 5$  mesh에 대한 결과이다. 온도 집중효과는 2차원 모형에 비하여 덜 심각하게 나타나며  $d/a = 1$ 인 경우의 최고온도차는  $d/a = 0$ 인 경우에 비하여 1.39배로 계산되었다. 이것은 식 (5)를 계산한 값과 일치한다.  $d/a$ 가 2, 3, 4, 5인 경우 최고온도차는  $d/a = 0$ 인 경우에 비하여 각각 1.14, 1.09, 1.07 및 1.06배이다. 3차원 모형의 경우에 두 개의 발열원이 인접하여 있더라도 서로 변의 길이에 비하여 3배 정도 이상 떨어지면 최고온도차의 상승효과는 10% 이내로 줄어든다는 것으로 해석할 수 있다.

#### 4. 결 론

발열이 많은 반도체 칩의 냉각장치에 사용되는 열방산장치를 포함한 냉각 시스템에서 발열원의 크기가 최종 열전달 면적과 비교해서 매우 작기 때문에 발열부분은 국부적으로 높은 온도에 놓이게 된다. 이 때의 온도상승은 발열량, 열전도율, 그리고 열전달면의 형상에 따라 결정된다. 적절한 방열장

치를 설계하기 위해서는 완벽한 형상모델과 물성치 및 열전달계수 등을 바탕으로 수치 계산을 수행하여야 할 것이며 개략적인 예측을 위하여는 단순모형에 대한 해석해를 이용하여 예상 최고온도차를 얻을 수 있다. 또한 발열원이 인접하여 있는 경우에는 온도 집중이 더욱 현저하며 이 경우에는 발열원 사이의 간격에 따라서 온도집중의 정도가 결정되므로 열방산 장치의 설계시 반드시 고려되어야 한다.

후 기

저자는 심사위원의 건설적인 지적과 제한 덕분에 본 논문의 내용이 한층 더 보완된 것에 대하여 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Chu, R.C., 1986, "Heat Transfer in Electronic Systems", 8th Int. Heat Transfer Conference, San Francisco, Vol. 1, pp. 293~305.
- (2) Kadambi, V., and N. Abuaf, 1985, "Numerical Thermal Analysis of Power Chip Packages", Heat Transfer in Electronic Equipment, ASME The 23rd National Heat Transfer Conference, Denver, Colorado.
- (3) Cho, Y.M., and K.A. Park, 1988, "Forced Convective Heat Transfer In a Channel With Arrays of Simulated Microelectronic Chips", KSME-JSME Thermal Engineering Conference, Seoul, Vol. 2, pp. 371~375.
- (4) 이재현, 1987, "전자부품의 냉각을 위한 자연대류 상관관계식의 평가", 대한기계학회지, 제27권, 제 6 호, pp. 504~514.
- (5) Hijikata, K., T. Nagasaki, T., and N. Kurata, 1988, "A Study on Boiling Heat Transfer from Diode Elements in an Integrated Circuit Chip, KSME-JSME, Thermal Engineering Conference, Seoul, Vol. 1, pp. 67~72.
- (6) Park, K.A., and A.E. Bergles, 1988, Effect of Size of Simulated Microelectronic Chips on Boiling and Critical Heat Flux", J. of Heat Transfer, ASME, Aug. 1988, Vol. 110, pp. 728~734.
- (7) Tai, C.C., and V.T. Lucas, 1985, "Thermal Characterization of a Card-on-Board Electronic Package, ASME-The 23rd National Heat Transfer Conference, Denver, Colorado.
- (8) Bartlett, C.J., J.M. Segelken, and N.A. Teneketges, 1987, "Multichip Packaging Design for VLSI-Based Systems", IEEE. Trans. Comp. Hybrids and Manufacturing Tech., Vol. CHMT-12, No. 4, December, pp. 647~653.
- (9) Motorola Semiconductor Products Inc. 1982, Transient Thermal Resistance-General Data and Its Use. Application Note 569.
- (10) Abuaf, N., and V. Kadambi, 1985 "Effect of Voids on the Thermal Resistance of Power Chips", Heat Transfer in Electronic Equipment-1985, ASME-The 23rd National Heat Transfer Conference, Denver, Colorado.
- (11) Culham, J.R., and M.M. Yovanovich, 1987, "Non-Iterative Technique for Computing Temperature Distributions in Flat Plates with Distributed Heat Source and Convective Cooling", ASME-JSME Thermal Engineering Conference, 1987, Honnolulu.
- (12) Kadambi, V., and N. Abuaf, 1983, "Axisymmetric and Three Dimensional Chip Spreader Calculations", AIChE Symp. Series, Vol. 79, No. 225, Seattle, 1983, pp. 130~139.
- (13) Super SAP, Algor Finite Element System, ALGOR interactive Systems, Inc. Pittsburgh, PA, 1988.
- (14) Carslaw, H.S., and I.C. Jaeger, 1959, Conduction of Heat in Solids, Oxford University Press.