

# Sn-3.5Ag 솔더를 이용한 페리퍼럴 어레이 플립칩의 열 성능 분석

이택영

한밭대학교 신소재 공학부 재료공학과

## Abstract

Thermal performance of flip chip bonding with Sn-3.5Ag solder ball was studied. The temperature distribution was measured with IR(InfraRed) camera of 25 um resolution. The measurement shows that most of the samples had much higher maximum temperature than average temperature. With central heater and 2.5 (W), the difference between maximum and average temperature is over 80 °C. The distribution was influenced by the location of heater, the distance from heater to flip chip bonding, and the passivation opening of solder bumps. To reduce the maximum temperature, the bigger passivation opening, the smaller chip size, and the closer location of heater to flip chip bumps are preferable.

## I. Introduction

고주파 네트워크 시스템의 데이터 속도가 증가함에 따라, interconnection은 시스템의 데이터 속도를 증가시키는데 큰 장애물이 되었다. [1,2] 40GHz 네트워크 시스템의 상용화되었으며, 이 시스템의 interconnection은 아직까지는 와이어 본딩이 가능한 것으로 알려져 있다. 그러나 더 높은 데이터 속도에서, 예를 들면 100 GHz 이상, 와이어 본딩은 시스템에 적합하지 않게 될 것이다. 그러므로 차세대 고주파 시스템에 사용 가능한 interconnection의 개발에 많은 관심이 쏠려 있다. 차세대 interconnection의 가장 실현 가능한 기술은 플립칩이다. 이 기술은 신뢰할 만한 제조 공정을 갖고 있으면서 많은 수의 입출력 단자를 실현 할 수 있으며 무엇보다도 interconnection의 길이가 짧아서 매우 작은 인덕턴스를 가지므로 데이터의 손실이 매우 적다.[3,4]

이와 같이 와이어 본딩에 비해 상대적으로 매우 뛰어난 전기적 성질을 갖고 있음에도 불구하고 결정적으로 큰 약점을 갖고 있다. 그것은 열적 성능(Thermal Performance)이다.[5]

이제껏 패키징에서는 많은 열 분석 연구가 수행되었다. [5-9] 그러나 고주파 소자에서 사용되는 페리퍼럴 어레이(peripheral array) 플립칩의 열 성능에 대한 실험은 극히 미미한 실정이다. 이 실험은 칩 크기와 보호막의 구개 형태에 따른 샘플의 온도 구배를 측정하였다.

## II. Experimental

### 1. 시편 제조 공정

시편 제조 공정은 표.1에 간략히 나타내었다. 열원은 탄탈륨과 Si를 동시에 스퍼터링한후, 열처리를 하여 탄탈륨 실리사이드(Ta Silicide) 제조 후, 리소그래피 공정을 이용하여 원하는 모양의 열원을 제조하였다. 열원 제조 후, 알루미늄 박막을 이용하여 전기 배선을 하였고, 보호 막은

폴리이미드를 이용하여 제조하였다. 솔더 플립칩의 UBM (Under Bump Metallurgy)는 Cr-Cu를 이용하여 제조하였다. 솔더 범프는 Sn-Ag 솔더를 프린트 한 후에 260°C에서 1 분간 리플로우 한 후 형성하였다. 시편의 명칭 및 구조는 표2에 간략하게 정리하였다.

## 2. 시편의 변수 - 보호막 개구의 크기

보호막(passivation layer)는 폴리이미드를 스핀 코팅한 후에 리소그래피 공정을 이용하여 제조하였다. 폴리이미드 보호막 개구(opening)는 원형과 사각형의 모양으로 제조 되었는데, 사각형 개구는 보다 접촉 면적을 넓히기 위해서 만들었으며, 각 꼭지점을 10(um)씩 자른 형태로 제조하였다. 각 꼭지점을 자른 이유는 이 부위에서 응력이 집중되는 현상이 발생하므로 이를 제거하기 위한 것이다. 개구의 크기는 작은 칩(1.5 x 1.8 mm)의 경우 70 (um) 지름을 갖는 원형과 한 변의 길이가 70 (um)을 갖는 잘린 사각형 모양으로 제조하였으며, 큰 칩의 경우에는, 90(um)의 지름과 잘린 사각형 모양으로 제조하였다. 따라서 잘린 사각형의 접촉 면적은 원형 개구보다 작은 칩에서 약 22 퍼센트 이상의 접촉 면적을 갖으며, 큰 칩에서는 24 퍼센트 이상의 접촉 면적을 갖는다.

보호막 개구에 UBM을 형성하였고, 이 수는 플립칩 솔더 볼의 수와 일치하게 된다. 작은 칩의 경우 개구의 수는 40개이고, 큰 칩의 경우 56개이다. 개구 형성후 개략도는 그림 1에 나타내었다.

## 3. 온도 구배 측정

그림 2은 온도 측정 개략도를 나타낸 것이다. 시편은 구리 방열 패드에 열 전도 컴파운드로 부착되어 있다. 구리 방열 패드의 온도를 일정하게 해 주기 위해서 팬의 공기(forced air)가 터널을 60 (l/s)의 속도로 지나가고 있다. 터널은 Al 블록으로 이루어져 있으며, 공기가 직접 칩에 닿는 것을 방지하여 주고, 공기의 흐름을 일정하게 유지시켜주는 역할을 하고 있다. 이 채널을 통과하는 공기보 인해서 방열 패드는 늘 실온을 유지할 수가 있다.

온도는 FLIR Systems 사의 ThermoCAM SC 1000 자외선 카메라를 이용하여 측정하였다. 최대 해상도는 25 (um)이다. 칩의 뒷면에 방사율(emissivity)이 0.95인 검은색 페인트를 칠한 후 온도를 측정하였다. 온도 측정시, 플립칩의 특성상, 열원이 있는 부위를 측정한 것이 아니라 칩의 뒷면을 측정하였다.

온도의 보정을 위해서 열원이 존재하지 않는 Si 웨이퍼를 이용하여, 열판위에서 열판의 온도를 적외선 카메라와 열전대(K-type)를 이용하여 측정한 후 보정하였다. 온도 차이는 약 3~5 °C 정도 열전대가 낮았으나, 열전대를 통한 열확산을 고려하는 경우, 적외선 카메라는 매우 정확하였다.

## III. Results and Discussion

그림 3는 한개의 열원이 칩의 중앙에 존재하는 시편의 뒷면을 적외선 현미경으로 온도 분포를 측정한 그림이다. 이때 열원에 공급한 전력량은 2 (W)이다.

그림 4는 서로 다른 시편의 온도를 전력량의 함수로 나타낸 그래프이다. 그림 4 (a)의 경우, 열원이 전면적에 걸쳐서 존재하는 시편의 경우를 측정한 것이다. 시편의 최대온도와 최소 온

도의 차이가 약 20 °C 정도의 차이를 나타내고 있으며 평균 온도는 그 중간 정도의 값을 갖는다. 이에 비해서 가장 극단적인 경우는, 그림 4 (b)의 경우이다. 열원의 크기가 약 110 x 90 (um<sup>2</sup>)의 크기를 갖는다. 각 발열량의 최소 온도와 최대온도 차이는 전력량이 2.5 (Watts)의 경우, 약 90 °C 이상의 온도차이를 나타내고 있다. 그림 4 (a)와 (b)의 평균 온도를 비교하는 경우, 약 10°C 정도 밖에 차이가 없으나, 최대 온도는 2.5 (W) 정도의 전력량을 가하는 경우, 약 80°C 이상의 온도차이가 나는 것을 알 수 있다. 이는 실제 디바이스가 국부적인 트랜지스터 등과 같은 능동소자에 의해 구동되는 현상을 고려할 때 매우 중요하다.

시편의 열 발산 경로는 열원으로부터 다이를 따라 플립칩 범프에 이르는 열 확산 저항, 범프와 기판 또는 다이와 접촉저항, 플립칩 범프의 저항, 기판의 저항, 발열체와 시편간의 thermal compound 저항, 그리고 열 발열체에 이르는 경로를 갖고 있다. 보호막의 개구는 플립칩 범프와 기판 또는 다이 사이의 접촉 저항 및 플립칩 범프의 자체 저항에 영향을 준다.

그림 4 (b)와 (c)는 서로 다른 보호막 개구를 갖는 시편의 온도를 비교한 그림이다. 원형 개구의 크기는 지름이 90 (um)인 원형과 한 변의 길이가 90(um) 길이인 truncated square형태의 개구 모양을 갖는다. 그 개구 면적은 약 20% 정도의 차이가 존재한다. 각 경우 사각형형태의 개구를 갖는 시편에서 2 watts정도의 발열량을 유지하는 경우, 약 5 ~ 10°C 정도의 온도 차이를 보인다. 비록 플립칩 범프의 접촉 저항과 자체 저항이 전체 저항에서 차지하는 비율이 크지 않지만, 개구의 크기를 늘임 으로서 열원 소자의 온도를 매우 효과적으로 낮출 수 있었다.

#### IV. Conclusion

Sn-3.5Ag 솔더를 이용하여 만든 플립칩의 열 성능 즉 온도 분포를 열원의 발열량에 따라 측정하였다. 중앙부에 열원이 위치하는 경우, 시편의 최대온도는 온평균 온도보다 최대 85 °C 이상 차이가 나는 것을 발견하였다. 여기에 더해 시편에 사용된 보호막 개구의 크기를 달리하면서 온도 구배를 측정한 결과 원형개구의 경우보다는 truncated square의 경우에, 접촉면적이 증가하고 그에 따른 열저항의 감소로 시편의 최대 온도가 낮아진다.

#### References

1. M. Ito, K. Maruhashi, K. Ikuina, T. Hashiguchi, S. Iwanaga, and K. Ohata, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, v.49, no. 12, p. 2431, (2001)
2. A. Jentzsch and W. Heinrich, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, v. 49,no. 5,p.871 (2001)
3. D. Staiculescu, J. Laskar, and E. M. Tentzeris, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, v.48, no.9, p.1476 (2000)
4. D. Staiculescu, A. Sutono. and J. Laskar, *IEEE Trans. Adv. Packaging*, v. 24, no. 3, p.255 (2001)
5. M. C. Shaw, *MRS Bulletin*,v.28, no.1, p.41 (2003)
6. P. Elenius, H. Yang, and R. Benson, *IEEE 2000 ECTC*, p. 697 (2000)
7. T. Zhou; M. Hundt, C. Villa, R. Bond and T. Lao, *IEEE ECTC, 47th Proceedings*, p.879 (1997)

8. H. Kusamitsu, Y. Morishita, K. Maruhasi, M. Ito, and K. Ohata, *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing* v.22, no.1, p.23 (1999)
9. R. Ulrich and S. Rajan, *SEMI-THERM XII. Proceedings (IEEE)*, p.30, (1996)
10. J. H. Lienhard IV and J. H. Lienhard V, published by Phlogiston Press, Cambridge Massachusetts (2002)

표 1. 시편의 제조 공정 및 특징

	Materials	Fabrication method	Miscellaneous
Size of chip	Single Si		Size for big chip = 3 x 3 (mm <sup>2</sup> ) Size of small chip = 1.8 x 1.5 (mm <sup>2</sup> )
Heater	Tantalum Silicide	Sputtering and annealing	Sheet resistnace = 8 ( $\Omega/\square$ )
Passivation layer	Polyimide	spin coating, curing and lithography	1. Big chip For circular shape = 90 um diameter For truncated square = 90 um side with 10 um truncation 2. Small chip For circular shape = 90 um diameter For truncated square = 90 um side with 10 um truncation
Solder Bump	Sn Ag solder	Printing with paste and reflow in belt furnace for 1 min over melting point	Paste diameter = 125 % of passivation opening

표 2. 시편 명칭 및 규격

시편명	시편 크기(mm x mm)	열원 위치	보호막 개구
0C	3 x 3	전면적	circle
2C	1.5 x 1.8	중앙	circle
12C	3 x 3	중앙	circle
12S	3 x 3	중앙	square

## 그림 제목 (Figure Caption)

그림 1. 시편(3mm x 3mm)의 개략도 (a) 전면 열원 - 0C (b) 중앙 열원 - 12C

그림 2. 온도 측정 장치 개략도

그림 3. 시편의 온도 측정 (a) 3mm x 3mm 시편 중 중앙 열원이 존재하는 시편의 온도 분포, (b) (a)의 확대, (c) (a)의 거리에 따른 1차원 온도 분포, (d) 1.5 mm x 1.8 mm 시편 중 중앙 열원이 존재하는 시편의 1차원 온도 분포

그림 4. 발열량에 따른 3mm x 3mm 시편의 온도 (최대, 최소, 평균) (a) 전범위 열원(0C) (b) 중앙 단일 열원(12C), (c) 12S (중앙 열원, 사각형의 보호막 개구)

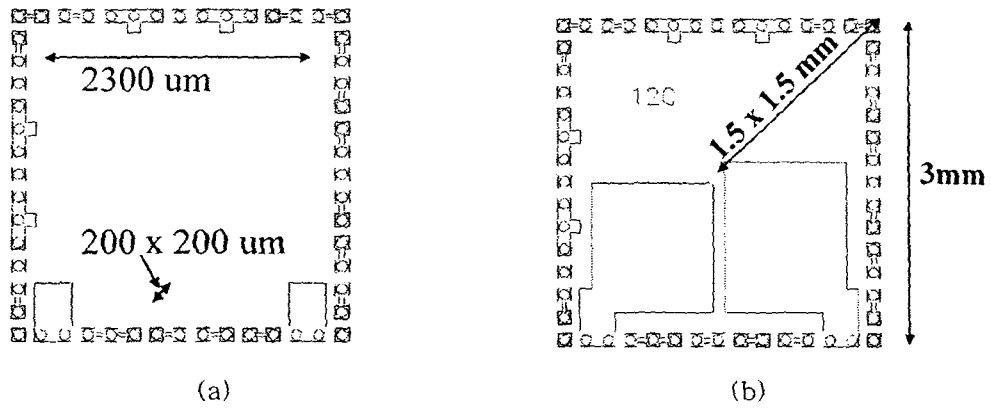


그림 1.

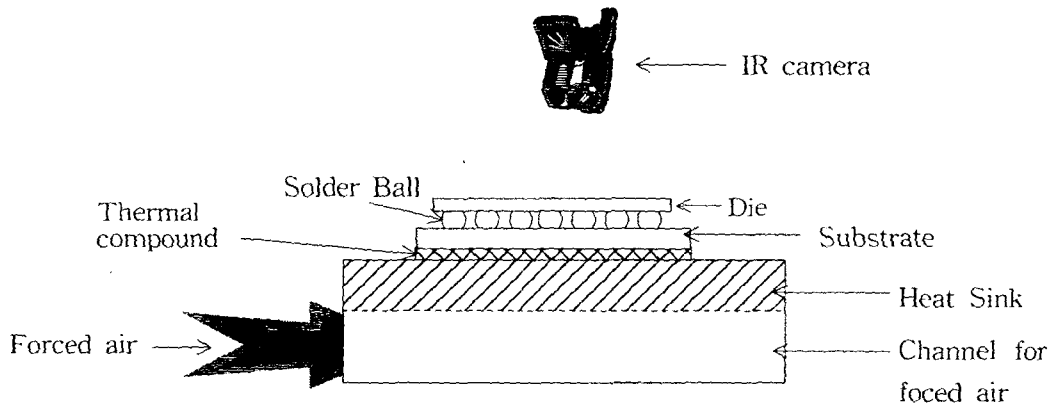
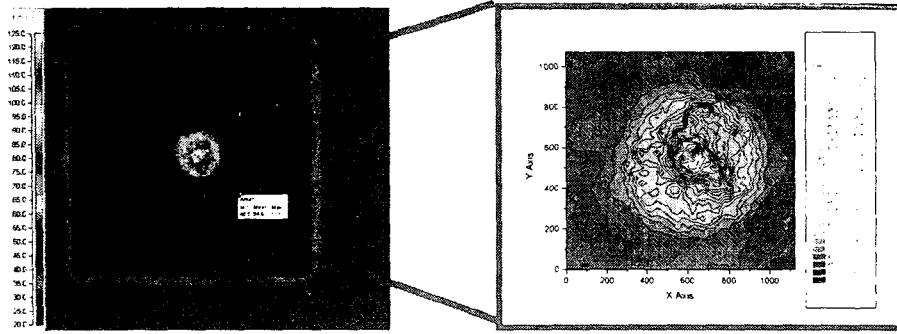
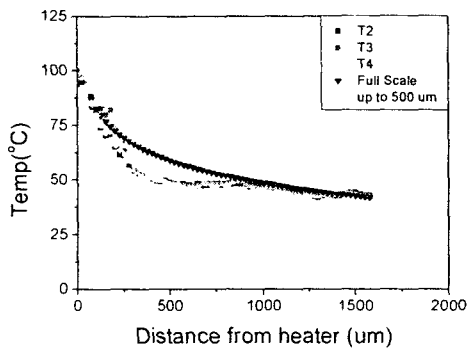


그림 2.

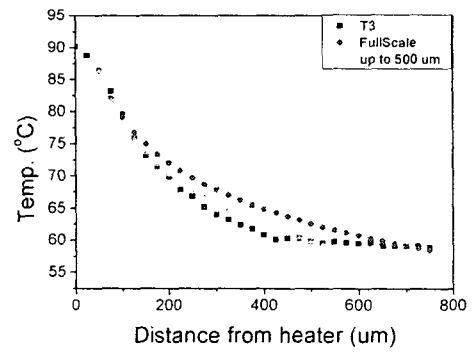


(a)

(b)

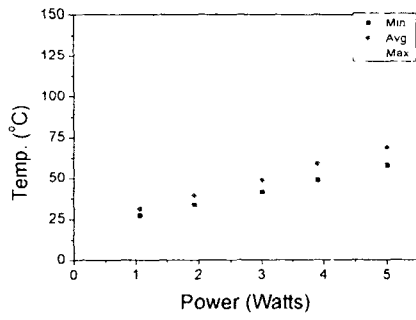


(c)

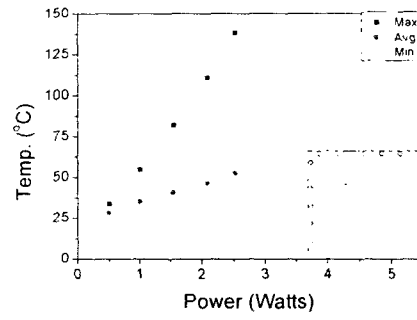


(d)

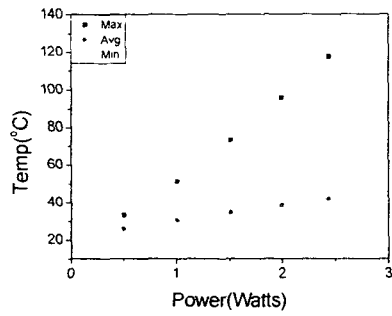
그림 3.



(a)



(b)



(c)

그림 4.