

Solder Droplet Jetting 방법을 이용한 Pb/63Sn 솔더 범프의 형성에 관한 연구

(A Study on Pb/63Sn Solder Bumps Formation using a Solder Droplet
Jetting Method)

손호영, 백경옥

한국과학기술원 재료공학과

Tel)042-869-3375 E-mail) hyson@kaist.ac.kr

Abstract

본 논문에서는 새로운 솔더 범프 형성 방법 중의 하나인 Solder droplet jetting에 의한 솔더 범프 형성 공정에 대해 연구하였으며, 이를 위해 솔더 제팅 직후의 안정한 솔더 액적(solder droplets)의 형성을 위한 공정 변수들의 영향에 대해 먼저 알아보았다. 이를 위해 제팅 노즐에 가해지는 파형과 용융 솔더의 온도, 질소 가스의 압력 등에 의한 영향을 주로 살펴보았다. 다음으로 리플로를 거쳐 솔더 범프를 형성하였으며, 다양한 크기의 솔더 범프를 간단한 방법으로 형성하였다. 또한 무전해 니켈/솔더 계면 반응과 Bump shear test를 통한 기계적 성질을 고찰하는 한편, 계면 반응 결과는 스크린 프린팅에 의해 형성된 솔더 범프의 결과와 비교함으로써, 저가의 공정으로 미세 피치를 갖는 솔더 범프를 형성할 수 있는 Solder droplet jetting 방법이 기존의 방법에 의해 형성된 솔더 범프의 특성과 유사함을 고찰하였다. 마지막으로 실제 칩에 적용되는 솔더 범프를 형성하여 플립칩 어셈블리 및 전기적 테스트를 수행하여, Solder droplet jetting이 실제 차세대 플립칩용 솔더 범프 형성 방법으로서 적용될 수 있음을 고찰하였다.

1. Introduction

최근 전자 산업에서의 플립칩 접속 방법은 기존의 칩 접속 방법인 TAB이나 Wire Bonding과는 달리, 기판에 칩을 직접 접속함으로써 소자의 크기를 줄일 수 있고 동시에 우수한 전기적 특성을 제공한다. [1] 이러한 플립칩 기술 가운데 솔더 범프를 이용한 플립칩 접속 방법이 널리 이용되고 있으며, 대량 생산에 적합한 솔더 범프의 형성 방법으로는 전해도금(Electro plating)이나 스크린 프린팅(Screen printing)등이 주로 이용되고 있다.

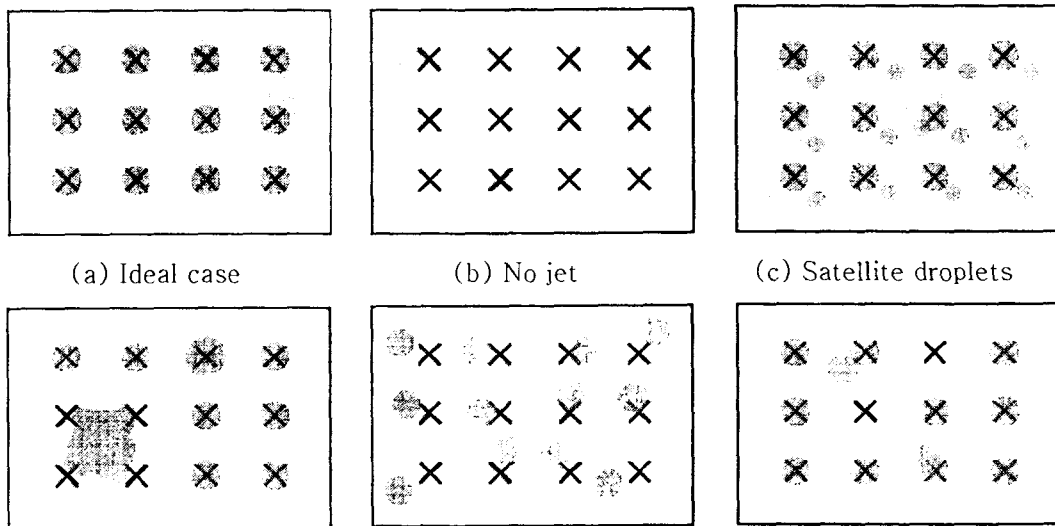
하지만 전해도금법과 스크린 프린팅 방식은 각각 장단점을 가지고 있는데, 우선 전해도금법의 경우 리소그래피 공정을 이용하여 범프 크기와 피치를 미세하게 얻을 수 있지만, 공정이 다소 복잡하고 공정 단가 또한 비싼 것이 단점으로 지적되고 있다. 반면 스크린 프린팅의 경우, 공정이 비교적 단순하고 저렴한 장점을 가지고 있지만, 솔더 페이스트의 빠짐성에 따라 미세한 크기와 피치를 갖는 솔더 범프를 형성하는데 어느 정도 한계를 가지고 있다. 솔더 범프 크기와 피치의 한계는 전해도금법의 경우 약 25 μ m/50 μ m인데 반해, 스크린 프린팅의 경우는 피치의 한계가 약 150 μ m 정도로 알려져 있다. [2]

이에 반해 잉크젯 프린터의 압전 소자 방식을 이용한 Solder droplet jetting 방법은 용융 상태의 솔더를 개별적으로 지정된 위치에 떨어뜨림으로써 [3] 피치에 큰 구애를 받지 않으며, 또한 초기 솔더 볼 형성 조건만 결정되면 추후 범프 형성 공정 또한 단순하여 공정 단가도 저렴한

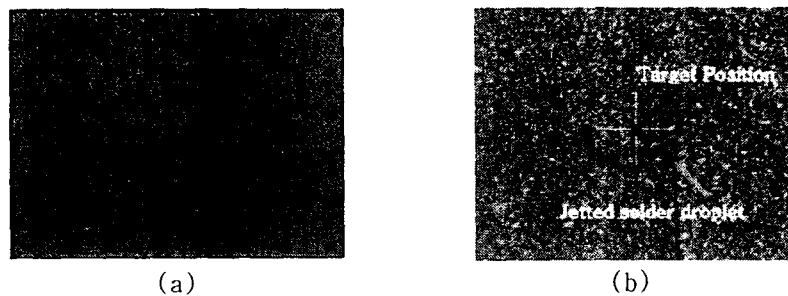
장점을 가진다. 즉 전해도금과 스크린 프린팅 방법이 솔더 범프 피치와 공정 단가의 측면에서 서로 상충하는 장단점을 가진데 반해, Solder droplet jetting 방법은 각각의 장점을 모두 취할 수 있는 차세대 솔더 범프 형성 방법이다. 또한 스크린 프린팅에 의한 범프 형성 공정에 비해 솔더 페이스트의 낭비를 최대한으로 줄일 수 있으며, rework 공정이 간편하며, 범프의 크기를 손쉽게 조절할 수 있는 등 많은 장점을 가지고 있다. 그러나 이러한 Solder droplet jetting의 장점에도 불구하고, 이 방법에 의한 솔더 범프 형성 조건에 대한 연구는 극히 드문 편이며, 플립칩 단계에서의 솔더 범프 형성 사례는 거의 보고된 바가 없는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 Solder droplet jetting에 의한 솔더 액적(Solder droplet)의 형성 조건을 확립하고, 이를 통해 솔더 범프(Solder bump)를 형성하여 그 특성을 알아보는 것을 연구의 주된 목적으로 하였다.

2. Experimental Procedure

그림 1은 여러 가지 제팅 변수에 따른 솔더 볼의 형성이 최적화되지 않았을 때 나타나는 여러 가지 현상들을 개략적으로 나타낸 것이다. 특히 제팅 직후 솔더 액적의 위치 오차나 위성 액적(satellite droplets)에 대한 최적화(그림 2)는 솔더 범프 형성의 관점에서 이전의 연구에서 언급한 제팅 속도에 의한 공정 최적화보다 [4] 더욱 중요하다고 할 수 있다.



(a) Ideal case (b) No jet (c) Satellite droplets
(d) Big droplets or stream (e) Low position accuracy (f) Omission or excess
그림 1. 불안정한 조건 하에서의 제팅 양상



(a) (b)
그림 2. 범프 형성에 중요한 제팅 양상인 (a) satellite problems (b) low position accuracy

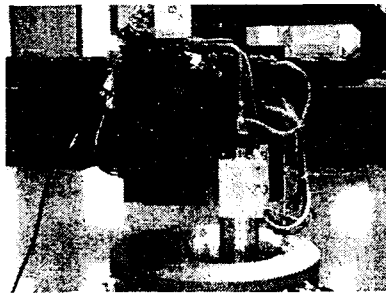
따라서 이러한 제팅 공정 최적화를 위해 질소 압력(Back pressure), 노즐에 가해지는 전압과 시간, 용융 솔더의 온도 등에 따라 AI 칩에 일정 개수의 솔더 액적을 떨어뜨려, 각 경우 제팅 양

상을 제팅 직후의 솔더 액적의 형상과 위성 액적의 개수를 측정하였다. 솔더 액적의 관찰을 위해 광학 현미경과 주사전자현미경(Scanning Electron Microscopy : SEM)을 이용하였다. 또한 솔더 범프의 형성을 위해 최적화된 제팅 조건을 바탕으로 무전해 니켈 도금 패드 위에 솔더 액적을 떨어뜨린 후, 150°C에서 1분의 플럭스 활성화 시간과 220°C에서 1분 동안의 유지 시간을 거쳐 리플로를 수행하였다. 이 때 사용한 플럭스는 액상의 형태였는데, 레진 형태의 플럭스는 제팅 직후 기판과의 낮은 접착력으로 인해 플럭스를 도포하는데 어려움이 있었다.

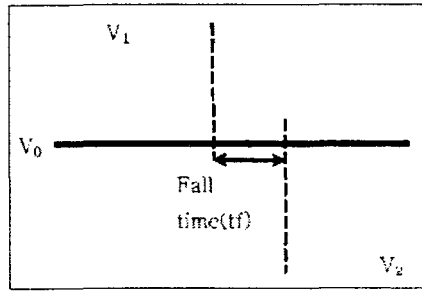
Solder droplet jetting 방법에 의해 형성된 솔더 범프는 스크린 프린팅에 의해 형성된 솔더 범프의 특성과 비교하였으며, 이를 위해 SEM을 통한 무전해 니켈 UBM과 Pb/63Sn 솔더 간의 계면 관찰 및 Bump shear test를 수행하였다. 또한 50 μ m, 85 μ m, 120 μ m 크기의 여러 가지 무전해 니켈 패드 위에 솔더 범프를 형성하였으며, 이를 위해 노즐에 가해지는 제팅 조건 중 강하 시간의 영향과 솔더 액적의 개수에 따른 영향을 고찰하였다.

3. Results and Discussion

3.1 제팅 변수가 Pb/63Sn solder droplet 형성에 미치는 영향



(a) Solder jetting head



(b) Waveform induced to jet device

그림 3. Solder jetting head와 노즐에 가해지는 전기적인 파형 신호

그림 3 (a)는 용융 솔더와 압전 소자가 삽입된 노즐(Jetting nozzle)이 포함된 제팅 헤드(Jetting head)의 모습이다. 녹는점이 약 183°C인 Pb/63Sn 솔더는 200°C 근처로 가열되어 용융 상태로 유지되고, 용융 솔더의 헤드 밖으로 분출시키기 위해 헤드 위쪽에서 질소 가스(N_2 back pressure)를 공급한다. 또한 노즐의 주위로는 용융 상태의 솔더가 헤드를 빠져나오면서 산화되는 것을 방지하기 위해 마찬가지로 질소 분위기(N_2 shroud flow)를 유지시켜준다. 그림 3 (b)는 노즐에 가해지는 전기적인 신호의 파형을 보여주고 있다. 노즐 내부에는 압전 소자가 삽입되어 있어 전압이 가해지면 압전 소자가 미세 부피만큼 팽창하는데, 이 과정에서 위쪽의 용융 솔더가 노즐이 팽창하면서 생긴 공간만큼 유입되게 된다. 이후 다시 신호를 제거하게 되면 압전 소자는 원래 상태로 돌아오면서 팽창한 부피만큼의 용융 솔더가 노즐 밖으로 빠져나가게 되며, 이때 표면 장력에 의해 구형의 액적이 형성되어 기판 위에 떨어지게 된다.

먼저 질소 가스의 압력에 의한 제팅 양상을 표 1에 나타내었다. 질소 가스의 압력이 커지면 대체로 액적의 크기가 커지거나 용융 솔더가 쏟아지는 현상이 나타나며, 압력이 충분하지 않을 경우는 솔더가 나오지 않거나 위성 액적이 존재한다. 0.8~1.2psi 가량의 질소 압력에 대해 노즐에 가해지는 전압을 적절히 바꾸면 안정화된 솔더 액적을 형성할 수 있다.

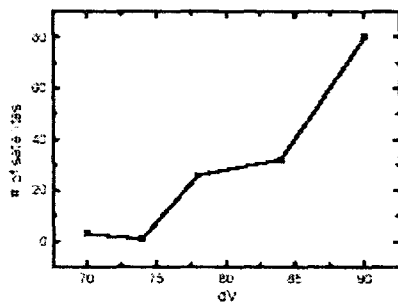
다음으로 노즐에 가해지는 전기적인 신호 가운데 전압 차에 의한 영향이 그림 4(a)에 나타나 있다. 전압 차이가 커질수록 제팅 속도는 증가하지만 위성 액적도 점차 증가하며, 전압차가 74V 보다 작아질 경우에는 위성 액적의 수는 감소하지만 제팅 직후의 위치 오차가 많이 발생하였다.

또한 용융 솔더의 온도 또한 중요한 요소로 195°C까지는 위성 액적의 수가 입력전압에 상관없이 위성 액적이 존재하는 반면, 200°C 이상부터는 특정한 전압 값에 대해 위성 액적의 수가 최소화되어 안정화된 솔더 액적이 형성되는 지점이 존재한다. 용융 솔더의 온도가 210°C가 되면 안정화 범위가 더 넓어지는데, 이것은 온도가 낮을 때는 헤드 내부의 솔더가 충분히 끌고루 용융되지 않아 액적의 형성에 영향을 미친 것으로 생각된다.(그림 4(b))

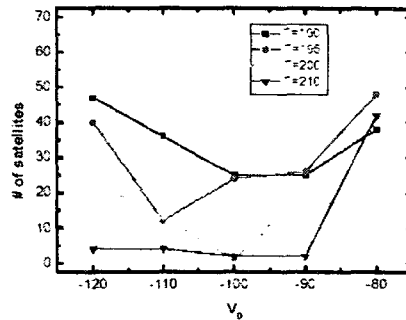
이외에 고려된 제팅 변수로는 제팅 높이, 노즐 주변의 질소 유량, 기판의 온도, 강하 시간 등이 있으며, 노즐을 빠져나오는 용융 솔더는 이러한 제팅 변수들에 의해 민감하게 영향을 받는다.

표 1. 질소 Back pressure에 따른 여러 전압 영역에서의 제팅 양상 (단위 : psi)

Back pressure	< 0.5	0.8~1.2	0.8~1.2	1.2~1.5	1.5~3.0	3.0~
Jet status	No jet	Meta stable jet (Satellites)	Stable jet	Meta stable jet (Satellites)	Big droplets or jitter	Solder stream



(a) 전압차에 따른 Satellite의 수



(b) 용융 솔더의 온도에 따른 Satellite의 수

그림 4. 노즐에 가해지는 파형 및 용융 솔더의 온도에 따른 제팅 양상

3.2 Jetted Pb/63Sn solder bump의 형성 및 특성 평가

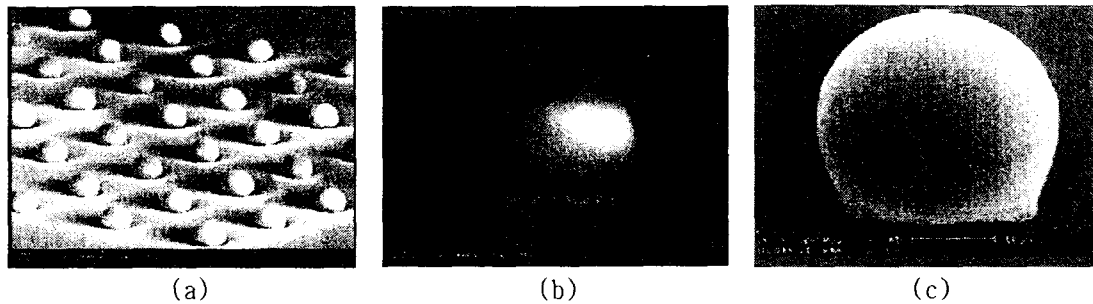


그림 5. SEM images of jetted Pb/63Sn solder bumps onto (a),(b) 50µm (c) 120µm pad

여러 가지 제팅 변수들을 최적화한 후, 무전해 니켈/금 UBM 패드 위에 솔더 액적을 떨어뜨려 리플로를 거쳐 솔더 범프를 형성하였다. 그림 5는 Solder droplet jetting으로 형성된 솔더 범프의 SEM image를 보여주고 있다. 50µm, 85µm, 120µm 등의 다양한 패드 위에 각기 다른 크기를 갖는 솔더 범프를 형성하였으며, 이것은 하나의 패드 위에 떨어뜨리는 액적의 수를 조절하거나 그림 6에 나타난 바와 같이 노즐에 가해지는 전압 신호 중 강하 시간(Fall time)을 달리하

여 얻을 수 있다. 따라서 패드의 opening size가 달라지더라도 원하는 크기의 솔더 범프를 형성할 수 있으며, 일정한 패드 사이즈에 대해서도 솔더 범프의 높이를 달리할 수 있다.

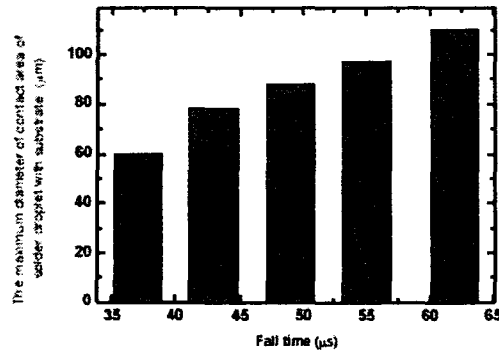
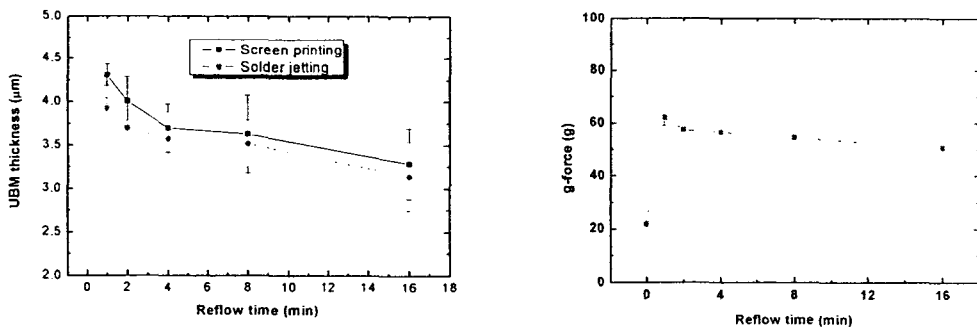


그림 6. 노즐에 가해지는 파형의 강하 시간에 따른 제팅 직후 솔더 액적 크기 변화

리플로를 거친 솔더 범프는 추가 리플로와 시효 처리를 통하여 UBM/Solder 계면에서 일어나는 계면 반응을 고찰하였으며, 이 결과 계면에서 형성된 금속간 화합물은 Ni_3Sn_4 로 나타났다. UBM/ Solder 계면 반응은 열처리 시간이 증가함에 따라 무전해 니켈층이 점차 소모되면서 Ni_3Sn_4 금속간 화합물의 크기는 점차 조대해지는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 일련의 계면 반응 양상은 기존에 보고된 바와 거의 유사하며[5], 스크린 프린팅에 의해 형성된 동일한 구조를 갖는 솔더 범프의 계면 반응과 거의 일치하는 것을 SEM image 관찰과 EDS-analysis 등을 통해 고찰하였다(그림 7(a)). 또한 Bump shear test를 통한 범프 전단 강도를 측정된 결과 50~60g-force를 가지는 것이 확인되었다(그림7(b)). 특히 제팅 직후의 전단 강도에 비해 리플로를 거치면서 전단 강도가 크게 증가하였고, 이는 제팅 직후의 낮은 접착력을 리플로를 통해 개선할 수 있음을 의미한다. 제팅 시의 기판 온도의 변화에 따른 솔더 범프의 전단 강도를 측정 한 결과, 기판 온도가 증가함에 따라 제팅 직후 액적의 응고 시간을 증가시킬 수 있음에도 불구하고 [6] 접착력에는 큰 영향을 주지 못하였다.



(a) Screen printing vs. Solder Jetting (b) Shear strength with reflow time

그림 7. (a) 스크린 프린팅과 솔더 제팅으로 형성된 솔더/UBM 계면 반응 비교 (b)추가 리플로 시간에 따른 제팅 전후의 범프 전단 강도의 변화

한편 이 방법으로 형성된 솔더 범프를 실제 소자에 응용하였는데, 그림 8의 예는 상용 DRAM 패턴에 사용되는 칩에 솔더 범프를 형성한 후, 플립칩 어셈블리를 수행한 후의 사진이다 (a), (b). 이 결과 범프간 저항은 1.1~1.4Ω으로 측정되었다. 또한 그림 8의 (c)는 저역 통과필터

(Low Pass Filter)에 사용되는 수동소자에 형성된 솔더 범프의 사진이며, 이에 대한 고주파 특성 측정 결과 [7] 솔더 범프가 정상적으로 전기적인 작동을 하고 있는 것을 알 수 있다.

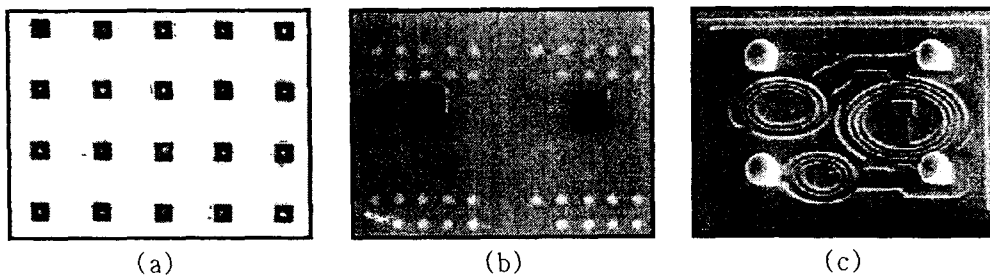


그림 8. 실제 플립칩에 대한 응용 사례 (a) Dog-born 패턴된 wafer 위에 3 droplet jetting 후 형성한 솔더 범프 (b) Test chips with DRAM pattern and PCB assembly (c) Low pass filter IPD에 적용되는 85 μ m 무전해 니켈 패드 위에 형성된 솔더 범프

4. Conclusion

본 연구에서는 Solder droplet jetting 방법을 이용한 Pb/63Sn 솔더 범프의 형성을 위해 안정한 솔더 액적 형성 조건을 결정하기 위해 제팅 변수들에 의한 영향을 고찰하였다. 이를 위해 결정된 제팅 변수로는 0.8~1.2psi의 질소 압력, $V_0 = -100V$, $\Delta V = 74V$ 의 파형을 주어 형성하였으며, 용융 솔더의 온도는 200 $^{\circ}C$, 1mm의 제팅 높이에서 수행할 때, 가장 안정화된 솔더 액적을 형성할 수 있었으며, 이외에 기판의 온도, 노즐 주변의 질소 유량 등의 변수 또한 중요하게 고려되었다.

이후 리플로를 통해 솔더 범프를 형성하였으며, 솔더 범프/UBM 계면의 계면 반응 및 범프 전단 강도를 측정하고, 플립칩 어셈블리에 적용함으로써 Solder droplet jetting 방법에 의한 솔더 범프 형성이 실제 적용 가능한 것임을 입증하였다. 한편 Solder droplet jetting에 의해서 최소 50 μ m 크기의 패드 위에 범프를 형성한 것을 포함하여 다양한 크기의 솔더 범프를 형성하였다. 더 작은 직경의 노즐을 사용할 경우 더욱 작은 크기를 갖는 솔더 범프를 형성할 수 있으므로, 차후 수십 μ m 대의 크기 및 피치를 갖는 솔더 범프에도 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgement

본 연구는 CEPM(Center for Electronic Packaging Materials)의 재정 지원을 받아 수행하였으며, MicroFab Inc.의 기술 지원을 받아 수행되었기에 이에 감사드립니다.

References

- [1] John H. Lau, Flip Chip Technologies, p.123-126, McGraw-Hill, New York, (1996)
- [2] S.Y.Jang, Doctoral Thesis, 2002, p. 9-11
- [3] D.J.Hayes, et al., J. of Elec. Manufact., vol.8, no. 3 & 4, 1998, p.209-216
- [4] MicroFab Technote 99-01~05, MicroFab Technologies, Inc. 1999
- [5] J.W.Jang, et al., J.Appl.Phys. v.85, no.12, 1999, p.8456-8463
- [6] J.M.Waldvogel and D.Poulikakos, Int. J. Heat Mass Trasfer. v. 40, no. 2, 1997, p.295-309
- [7] M. J. Yim, et al. ECTC, San Diego, 2003, p.1400-1402.