

# SEM을 이용한 미세 접합 시스템 개발

황 일 한\* · 나 석 주\*

\*한국과학기술원 기계공학과

## A Development of SEM Applied Microjoining System

Il-Han Hwang\* and Suck-Joo Na\*

\*Department of Mechanical Engineering, KAIST, Daejeon 305-701, Korea

### Abstract

Scanning electron microscopy (SEM) has been used as a surface measurement instrument and a tool for lithography in semiconductor process due to its high density localized beam. For those purposes, however, the maximum current of SEM is less than 100pA, which is not enough for material processing.

In this paper SEM was modified to increase the amount of current reaching a specimen from gun part where current is generated, the possibility of applying SEM to material processing, especially microjoining, was investigated. The maximum current of SEM after modifications was measured up to 10 $\mu$ A, which is about 10<sup>5</sup> times greater than before modifications.

Through experiments such as eutectic solder wetting on thin 304 stainless steel foil and microjoining of 10 $\mu$ m thick 304 stainless steel, the intensity of electron beam of SEM proved to be great enough for material processing as heat source. And a tight jig system was found necessary to hold materials close enough for successful microjoining.

\* Corresponding author : sjna@kaist.ac.kr

(Received February 6, 2003)

Key Words : Microjoining, Acceleration voltage, Emission current, Probe current, Magnification.

## 1. 서 론

전자 산업의 발달과 함께 동력 전달을 주 목적으로 삼던 시스템에서 효과적인 정보 전달이 가능한 시스템의 개발에 대한 관심이 높아지고 있다. 그리고 빠른 정보의 전달과 데이터의 처리를 위해서 시스템의 크기는 점차 소형화가 요구되고 있고, 생산 측면에서는 미소 부품의 가공을 위한 기술 개발이 불가피해지고 있다. 이런 요구에 맞게 최근에는 고밀도 집적 빔의 특성을 이용해서 재료 표면 관찰이나, 반도체 공정 중 리소그래피(lithography)에 사용되어 왔던 전자식 주사 현미경(SEM)을 미세 접합에 적용해 보고자 하는 노력이 있었다<sup>1-5)</sup>.

SEM을 재료 가공에 사용할 경우 얻을 수 있는 장점으로서는 여러 가지가 있는데, 우선 SEM 내부가 10<sup>-3</sup>torr 이상의 중 진공 상태가 유지되기 때문에 가공

할 때 발생할 수 있는 오염을 방지 할 수 있고, SEM의 전자빔이 고밀도 집적 빔이기 때문에 재료로의 열 영향을 최소화 할 수 있다. 더구나 SEM을 가공용으로 사용하면 가공부를 실시간으로 관찰 할 수 있다는 장점이 있다.

본 논문에서는 기존의 SEM을 재료 가공시의 열원으로 사용할 수 있도록 최소한의 개조를 수행 하고, 솔더 젖음 실험과 스테인리스 강(stainless steel: STS)의 미세 접합에 적용해 봄으로써 SEM에 의한 재료 가공의 적용 가능성을 검토해보고자 한다.

## 2. SEM의 개조

SEM의 전체적인 구조는 간략하게 Fig. 1과 같이 이루어져 있다. 전자빔은 음극(cathode), 웨넬트 판(wehnelt plate) 그리고 양극(anode)으로 구성되어 있는 건(gun) 부분에서 생성된다. 음극에 고 전류가 흘

Fig. 1 The overall figure of SEM

러 전자가 뺏어져 나오면, 음극과 양극 사이에 걸리는 ‘가속 전압(acceleration voltage)’에 의한 고 전기장에 의해서 에너지를 얻어 고속으로 아래 방향으로 이동하게 된다. 이때 건 부분에서 발생한 전류의 크기를 ‘방출 전류(emission current)’라 한다. 그리고 이 전류는 집광 렌즈(condenser lens)와 대물 렌즈(object lens), 그리고 일련의 슬릿(slits)과 대물 조리개(object aperture)를 거치면서 전류량이 조절되고, 초점이 맞추어져서 재료에 조사되게 되는데, 이때 실제 재료에 조사되는 전류량을 ‘입사 전류(probe current)’라 한다. 그리고 대물 렌즈 위에 있는 주사 코일(scan coils)에 의해서 전자빔은 재료 면 위에서 주사 작용을 하게 된다<sup>6,7)</sup>.

그런데 SEM이 관찰용 도구나 리소그래피 용으로 사용될 경우 얻을 수 있는 최대 전류가 100pA이어서 재료 가공에 사용할 수는 없다. SEM으로 작동 시에는 SEM 내부에서 양질의 빔을 얻기 위해서 슬릿에는 0.5mm 혹은 1mm, 대물 조리개는 30 $\mu$ m의 구멍이 있는 것을 사용한다. 재료 가공을 위해서는 슬릿과 대물 조리개를 모두 직경이 1mm의 구멍이 있는 것으로 교체하였는데, 이를 통해서 재료로 들어가는 전류의 크기가 1.5 $\mu$ A까지 증가하였다. 하지만 이 전류로도 재료 가공으로는 부족하기에 다음으로는 집광 렌즈#2의 기능을 오프(off) 시켰는데, 이를 통해서 전류의 크기가 10  $\mu$ A까지 증가하였다. 각 조건에서 측정한 입사 전류의 크기는 Fig. 2와 같다.

### 3. 솔더 젖음 실험

#### 3.1 실험 방법

SEM의 미세 접합에의 적용 가능성을 확인하기 위해서 직경 300 $\mu$ m의 63Sn-37Pb의 공정 조성 솔더(공정

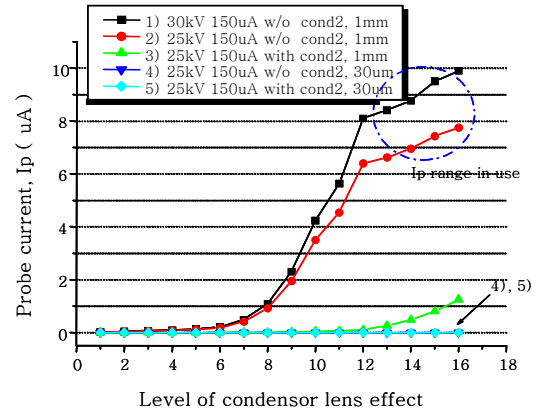


Fig. 2 Probe current measurement

온도=183 $^{\circ}$ C)와 10, 20, 38, 50 $\mu$ m 두께의 304 스테인리스강 포일과의 젖음 실험을 Fig. 3과 같이 수행하였다.

#### 3.2 실험 결과 및 고찰

실험 수행 결과 재료의 각 두께에 대해서 젖음 반응이 나타났는데 그 결과는 Fig. 4~7과 같다. 재료의 두께가 두꺼워 질수록 열전도에 의한 열 손실량의 증가로 인해, 젖음이 나타나기 시작하는 전류의 크기는 두께는 증가함에 따라서 증가하는 것을 알 수 있다.

두께 10 $\mu$ m STS의 경우, 입사 전류 값이 1.4 $\mu$ A까지는 아무런 반응이 나타나지 않았지만, 2.0 $\mu$ A 이상에서는 Fig. 4와 같이 젖음 각 30 $^{\circ}$  정도의 젖음 상태가 관찰되었다. 20, 38, 50 $\mu$ m 두께의 STS에 대해서도 전류의 크기가 증가함에 따라 젖음 각 30 $^{\circ}$  정도의 젖음 상태가 관찰되었다. 하지만 Fig. 5에서 보듯이 20 $\mu$ m의 두께에서 입사 전류의 크기가 약 3.0 $\mu$ A일 때는 젖음 각이 약 60 $^{\circ}$  정도의 젖음 상태가 관찰되었는데, 38, 50 $\mu$ m의 두께에 대해서도 비슷한 양상이 관찰되었다. 본 논문에서는 30 $^{\circ}$  정도의 젖음 각이 나타나는 젖음 상태를 ‘완전 젖음’, 그보다 큰 젖음 각이 나타나는 젖음 상태를 ‘부분 젖음’이라 정의하였다.

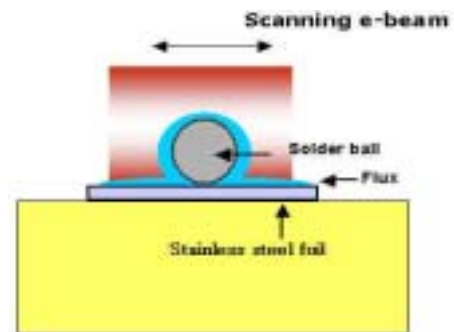


Fig. 3 Solder wetting experiment of STS foil with flux by scanning electron beam



Fig. 4 Wetting experiment result for STS 10µm

전류 조건에서도 솔더의 용융이 관찰 되기 때문에 솔더 근방의 온도가 180°C 이상이 되고, 플럭스의 활성화도 충분히 나타나는 것으로 생각할 수 있다. 따라서 위 실험에서의 서로 다른 젖음 상태가 나타나는 것은 모재의 온도에 의한 표면장력의 차이로 인해 나타나는 것으로 생각할 수 있다. 따라서 다음으로는 어느 온도를 기준으로 해서 서로 다른 젖음 상태가 나타나는 지를 확인하기 위해서, 노(furnace) 내에서의 젖음 실험을 수행하였다.

### 3.3 노에서의 솔더 젖음 실험

모재의 온도에 따른 젖음 상태의 변화를 비교하기 위해서 앞 실험과 동일한 재료를 Fig. 8과 같이 준비를 하고, 재료의 산화를 방지하기 위해서 아르곤 가스를 분위기 가스로 해서 약 9분 동안 가열하였다. 그리고 고온의 노 벽면으로부터의 영향을 최소화하고 시편의 온도를 일정하게 유지하기 위해서 가는 와이어 위에 시편을 놓고 열전대를 사용하여 온도를 일정하게 유지하였다. 노 내의 온도는 솔더 용융 온도를 고려해서 180°C 부터 5°C씩 증가하면서 젖음 상태를 관찰하였다.

실험 결과, 앞에서 정의한 부분 젖음과 같은 현상은 나타나지 않았지만, 젖음이 나타난 솔더의 경우는 젖음 부 직경이 Fig. 9와 같이 측정되었다. 그림에서 알 수 있듯이 205°C 이상에서는 앞서 정의한 젖음 각 30° 정도의 완전 젖음이 나타남을 알 수 있었다. 따라서 이로 미루어 생각해 볼 때 온도가 205°C 이상이 되어야 완전 젖음이 나타나고, 부분 젖음은 솔더의 용융온도와 205°C 사이의 온도에서 나타나는 것으로 생각할 수 있다.

Fig. 5 Wetting experiment result for STS 20µm

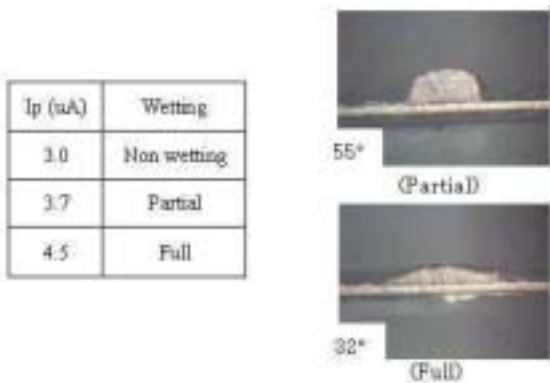
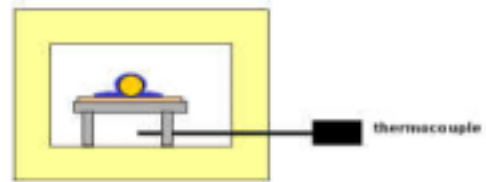


Fig. 6 Wetting experiment result for STS 38µm



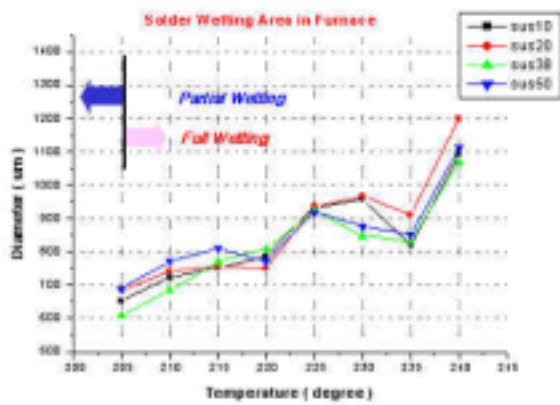
(a) The setting for furnace experiment

Fig. 7 Wetting experiment result for STS 50µm

솔더의 젖음 현상은 솔더의 온도, 플럭스의 활성화, 그리고 솔더와 접하는 모재 온도에 주된 영향을 받는 것으로 생각할 수 있다. 그런데 부분 젖음이 나타나는

(b) Thermocouple position

Fig. 8 The solder wetting experiment in furnace.



a) Solder wetting diameter measurement for each furnace temperature



b) Upper View. c) Side View.

Fig. 9 The results of the wetting experiment in furnace

#### 4. 10µm 스테인리스강 미세 접합 실험

##### 4.1 실험 방법

다음은 10µm 두께의 304 스테인리스강에 대해서 직 접 미세 접합을 수행해 보았다. 미세 접합 방법은 비드 온 플레이트(bead-on-plate), 겹치기 접합(lap joining) 그리고 맞대기 접합(butt joining)의 3가지 방법에 대해서 빔의 조건을 변화시키면서 미세 접합을 수행해 보았다. 재료는 동일 재료를 사용하였고, 시편은 모두 (0.6mm × 0.8mm)의 크기로 준비하였다. 입사 전류의

크기를 결정하는 인자는 가속 전압, 방출 전류, 집광 렌즈의 세기 등이 있다. 가속 전압은 15, 20, 25, 30kV에 대해서, 방출 전류는 150, 130, 100µA 그리고 집광 렌즈의 세기는 1~16 까지 변화 시키면서 실험을 수행하였다. 그런데 실제 재료의 상태변화가 나타나는 것은 가속 전압 30kV, 방출 전류 130µA 이상에서, 입사 전류가 적어도 7µA 이상이 되도록 집광 렌즈의 세기를 조절하여야 10µm 두께의 304 스테인리스강 표면에 상태 변화가 관찰 되었다.

그리고 앞에서 설명한 바와 같이 전자 빔은 일정 면적을 빠른 속도로 주사 작용을 하게 되는데, 전체 주사 면적은 SEM의 배율에 의해 정해지게 된다. 실험은 1000배와 2000배의 배율에 대해서 수행하였고, 각 배율에 대해서 10µm/s와 20µm/s로 빔 이동속도를 변화시키면서 재료의 상태변화를 관찰하였다. 참고로 1000배일 때는 (100µm × 80µm), 2000배 일 때는 (50µm × 40µm)의 면적에 빔이 조사된다.

#### 4.2 실험 결과

먼저 비드 온 플레이트 실험에 대한 실험 결과는 Fig. 10, 11과 같다. 이 두 그림은 전자빔의 각 조건에 대한 결과를 정리한 것인데, 그림에서 보듯이 높은 입사 전류와 낮은 빔 이동 속도에 대해서 SEM 이미지 상에서 큰 상태변화가 나타났고, 2000배의 배율에서는 1000배의 배율보다 좁은 범위에서 상태변화가 나타난 것을 확인 할 수 있다. 그리고 Fig. 12는 대표적인 SEM 이미지에 대한 단면 이미지인데, 그림에서 보듯이 8.9µA에서는 표면에서 부분 용융이 나타났지만, 9.9µA에서는 완전 용융이 나타난 것을 알 수 있다.

Fig. 13은 겹치기 접합에 대한 실험 결과를 나타낸 것이다. 왼쪽에 있는 재료는 상판, 오른쪽에 있는 재료는 하판이다. 그림에서 보듯이 같은 입사 전류에 대

Ip (µA)	30kV, Ie=150µA			
	(1000 X)		(2000 X)	
	10µm/s	20µm/s	10µm/s	20µm/s
9.9				
9.5				

Fig. 10 The results for the bead on plate experiment, Ie=150µA

I <sub>p</sub> ( $\mu$ A)	30kV, I <sub>e</sub> =150 $\mu$ A			
	(1000 X)		(2000 X)	
	10 $\mu$ m/s	20 $\mu$ m/s	10 $\mu$ m/s	20 $\mu$ m/s
8.9				
8.49				

Fig. 11 The results for the bead on plate experiment, I<sub>e</sub>=130 $\mu$ A



a) I<sub>p</sub>=8.9 $\mu$ A    b) I<sub>p</sub>=9.9 $\mu$ A

Fig. 12 The cross-section image with beam at 30kV, (1000 X), 10 $\mu$ m

I <sub>p</sub> ( $\mu$ A)	30kV, I <sub>e</sub> =150 $\mu$ A			
	(1000 X)		(2000 X)	
	10 $\mu$ m/s	20 $\mu$ m/s	10 $\mu$ m/s	20 $\mu$ m/s
9.9				
9.5				
8.9				

Fig. 13 The results for the lap joining experiment, I<sub>e</sub>=150 $\mu$ A

해서 상판의 모서리 부분에서는 비드 온 플레이트 실험보다 보다 큰 상태 변화가 나타난 것을 알 수 있다. 이것은 Fig. 14에 나타난 것과 같이 겹치기 접합의 상판에서는 비드 온 플레이트와는 달리 한쪽 방향으로 열 전달 손실이 나타나기 때문에 상대적으로 적은 입열량에 대해서도 보다 활발한 상태변화가 나타나기 때문이다. 이외는 달리 하판의 경우 모서리부에서 어느 정도 떨어진 부분에 전자 빔이 조사되기 때문에 마치 비드

온 플레이트와 같은 열 전도 손실이 나타나고, 또한 상판의 영향으로 인해 전자빔의 일부만이 하판에 조사되기 때문에, 하판에서는 상판에 비해 적은 상태 변화가 나타난 것을 알 수 있다.

맞대기 접합에 대한 실험 결과 Fig. 15와 같은 결과를 얻었다. 그림에서 보듯이 9 $\mu$ A 정도의 입사 전류에서는 그다지 큰 변화가 없지만, 9.9 $\mu$ A 입사 전류에 대해서는 재료의 모서리 부분에서 모두 용융 현상이 관찰

Fig. 14 Energy flow in lap joining

(a) (b)  
Fig. 15 Butt joining experiment  
(a) High probe current ( $9.9\mu A$ )  
(b) Low probe current ( $9\mu A$ )

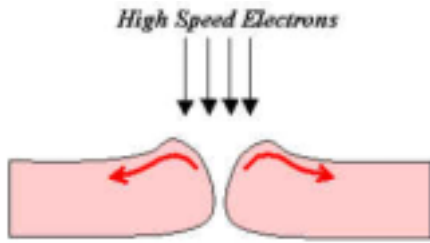


Fig. 16 The molten pool flow in butt joining

되었다. 하지만 실제 두 재료의 접합은 이루어지지 않았는데, 이것은 Fig. 16에서와 같이 모서리 부분에서의 용융풀이 표면 장력으로 인해서 재료 안쪽으로의 유동이 생기고, 또한 고속 전자 빔에 의한 충격으로 인해서 두 재료 사이의 간격이 벌어지기 때문인 것으로 생각된다. 그래서 성공적인 맞대기 미세 접합이 이루어지기 위해서는 용융된 두 재료를 가깝게 유지시킬 수 있는 지그 시스템의 개발이 필요할 것으로 생각된다.

## 5. 결 론

이상의 실험을 통해서 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1)  $100\text{pA}$  이하의 저 전류에서만 사용되던 SEM을 최소한의 개조를 통해서 최대  $10\mu A$ 까지의 입사 전류를

상승시킴으로써 미세 재료 가공에 사용할 수 있었다.

2) 개조 후의 SEM을 63Sn-37Pb 조성의 솔더와  $10\sim 50\mu m$  두께의 스테인리스강 포일과의 젖음 실험에 적용 시 양호한 젖음 상태를 얻을 수 있었고, 모재의 온도에 따라서 다른 젖음 정도가 나타남을 알 수 있었다.

3) 304 스테인리스강 포일의 비드 온 플레이트, 겹치기 그리고 맞대기 미세 접합 실험을 통해서 입사 전류의 크기에 따라서 재료가 두께 방향으로 부분 용융과 완전 용융이 나타남을 확인할 수 있었고, 입사 전류, 배율 그리고 빔의 이동 속도에 따라 상태변화의 정도가 다르게 나타남을 알 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 BK-21의 지원을 받아 이루어졌으며, 이에 감사 드립니다.

## 참 고 문 헌

1. U. Dilthey, A. Brandenburg, M. Moller and G. Smolka: Joining of miniature components, *Schweissen & Schneiden*, **52-7** (2000), E143-E146
2. S.V. Dubonos, H.F. Raith, A.A. Svintsov and S.I. Zaitsev: New writing routines for SEM based e-beam lithography, *Microprocesses and Nanotechnology Conference*, (1999), 110 - 111
3. E. Lavallee, J. Beauvais and D. Drouin: Fabrication of masks for DUV and EUV lithography using siscide direct-write electron beam lithography process, *Electronics Letters*, **36-18** (1999), 1589-1590
4. R. Nami, S. Magoshi, S. Kousai, M. Hmada, T. Takayanagi, K. Sugihara, K. Okumura and T. Kuroda: Throughput enhancement strategy of maskless electron beam direct writing for logic device, *Electron Devices Meeting, 2000, IEDM Technical Digest, International*, (2000), 833 - 836
5. B. K. Choi: A study on the modification of scanning electron microscope for electron beam direct writing lithography, M.S. Thesis, POSTECH, 1991
6. J. I. Goldstein et al.: *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*, Plenum Press, second edition, 1992
7. J. I. Goldstein and H. Yakowitz: *Practical Scanning Electron Microscopy*, Plenum Press, New York, 1975