SEM-welder를 이용한 미세접합
Micro joining using SEM-welder

한국기계연구원 강희신, 서정, 이제훈, 김정오

I. 서론

전자산업 발달과 함께 시스템의 크기는 점차적으로 소형화가 요구되고 있고, 기존의 적외선 레이저를 이용한 접합방식은 빔 특성상 100㎛ 수준의 정밀용접에만 가능하고, 레이저 빔 직경을 최소화 또는 고속화를 위한 광학장치의 구성이 복잡하며, 광학계의 진동 및 외부의 영향에 민감할 뿐 아니라 접합재료의 선택에 있어서 제한이 크기 때문에 최근에는 고밀도 집적 빔의 특성을 이용해서 재료의 표면 관찰이나 반도체 공정 중 리소그래피에 사용되어왔던 주사전자현미경(SEM)을 미세접합에 적용하고자 하는 노력이 있었다. KAIST에서는 SEM을 slit과 aperture의 hole 직경을 모두 30㎛→1mm로 확대하고, 2nd condenser lens를 off시켜 최대 빔전류(I_b) 10㎂를 얻을 수 있다고 보고 하였다. 그러나, 본래의 SEM으로 사용하고자 하는 경우 aperture의 hole 직경을 다시 복원시켜야 하는 단점이 있으므로 SEM을 접합공정 중에 실시간 관측용으로 사용할 수가 없다. 기존의 주사전자 현미경의 빔 전류(I_b)는 수십 pA 이기 때문에 재료가공으로는 사용하기가 어렵고, 또한 빔전류(I_b)를 상승시킨다고 하더라도 기존의 SE(secondary electrons) Detector로는 실시간 관찰이 불가능하다. 가속된 전자빔이 재료의 표면에 집속되어 충돌하면 X-ray, 2차전자(Secondary Electrons, SE), 오제전자(Auger Electrons), 후방산란전자 (Back Scattered Electrons, BSE) 등이 발생한다. 기존 SEM은 SE가 Scintillator에 의해 포집되어 광전자로 바뀌어 이미지를 형성한다. 빔전류(I_b)를 향상시켜 SEM-welder로 사용하고자 할 경우 다량의 SE/BSE에 의해 Scintillator가 열화될 소지가 크므로 SE detector의 관찰기능을 꺼야 한다. 빔전류를 높인 상태에서의 접합공정 중에도 실시간 관찰을 할 수 있는 방안으로 BSE detector를 사용하는 방법을 채택하였다.

따라서 본 연구는 I_b(빔 전류)를 높이기 위하여 주사전자현미경의 배압기 구조를 변경하여 I_b(빔 전류)를 ≒35㎂ 까지 상승 시켰으며, 기존의 일반적으로 표면 관찰이나 반도체 공정에 사용되는 SE(secondary electrons) Detector로는 실시간 관찰이 불가능하기 때문에 BSE(back scattered electrons) Detector를 추가 구성하여 실시간 관측과 동시에 각종 재료의 접합실험을 하였다.

II. 실험방법

빔전류 I_b를 상승을 위해 기계적인 방법과 전기적인 방법을 함께 고려하였다. 우선 기계적인 방법으로는 Fig. 1과 같이 moving aperture를 사용하였다. SEM으로 사용 시에는 적은 hole을 통해 전자빔이 이동하며, moving aperture를 완전히 빼면 전자빔이 모두 관통하도록 되어 있어 SEM-welder로 사용할 수 있도록 수정하였다. 빔전류의 측정은 챔버 내에 Faraday Cup을 설치하고 외부로 측정용 배선을 연결하여 챔버 외부에서 계측기를 이용해 빔전류를 측정하였다. Faraday Cup으로 측정한 결과, 무빙 아퍼처를 모두 제거한 상태에서 최대 I_b = 13㎂까지 얻을 수 있었다. 빔전류 I_b를 더 높이기 위해 SEM의 고압회로부의 배

압기 구조를 변경하고 S/W 주파수 낮게(짧게) 조절하고 Reflector 단의 Cockroft-Walton capacitor를 변경한 결과, 최대 35㎂ 까지 상승시킬 수 있었다

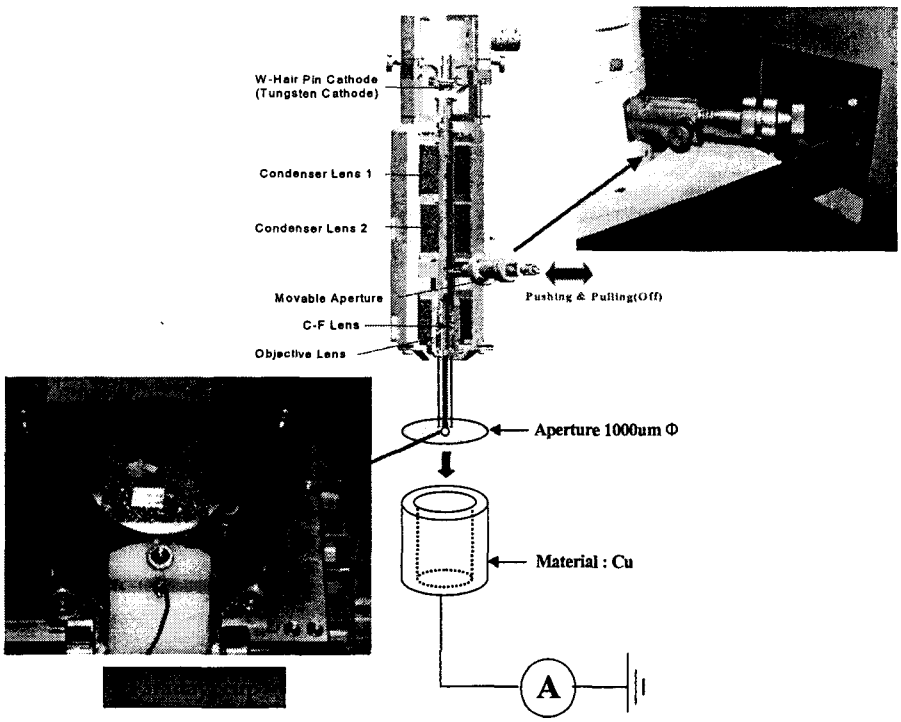


Fig. 1 Schematic drawing of electron gun (AIS-2003, Mirero system) and Faraday cup for measuring of beam current

2차 전자(SE)는 집속된 전자빔이 시료 표면을 조사되었을 때, 시료표면으로부터 튀어나오는 수 십 eV의 운동에너지를 가진 전자들을 검출하는 반면에 후방산란 전자(BSE)는 집속된 전자빔 내의 전자가 시료표면과의 탄성산란 충돌로 인하여 튀어나오는 입사에너지와 동일한 운동에너지를 가진 전자를 의미한다.

Fig. 2는 SEM-welder에 설치된 SE와 BSE 검출기를 보여주고 있다. 기존 SEM에 사용되는 2차 전자 검출기(Secondary Electron Detector)는 Everhart-Thornley Detector를 이용하고 있다. 낮은 가속 전압(Low Accelerating Voltage)의 2차 전자 검출기는 생물, 재료, Micro Electrons에 걸쳐 이용되고 있지만 모든 정보를 얻을 수 없다. 또한 2차 전자 검출기는 검출기 표면에 전도성 Aluminum박막을 증착하고 Positive 고전압이 인가된 Metal Mesh 망으로 2차전자의 포집을 유도한다. 결론적으로 이러한 검출방식은 Voltage인가 없이는 Scintillator에 직접 포집시키지 못하기 때문에 검출 효과가 낮다.

후방산란전자(BSE)는 높은 운동에너지를 갖고 있으며, 검출기의 Scintillator에 Image를 연속적으로 유도하기 위해서는 보다 높은 에너지가 필요하다. 즉, Grid에 인가된 전압(Voltage)은 높은 Impendence Resistor Chain을 통해 인가되며, 효율적으로 Metal 박막에 정전압(Static Voltage)을 인가한다. 시료가 Detector에 순간적으로 접촉하면, 이는 10nA 보다 적은 전류를 받으며 단순히 가장 감도(Sensitive)가 양호한 시료에서도 감지가 가능하다. 후방산란전자 검출기 시스템은 크게 검출기(Detector), 전원 공급 장치(Power Supply

System), 검출기 이동 장치(Detector Retraction)로 구성된다.

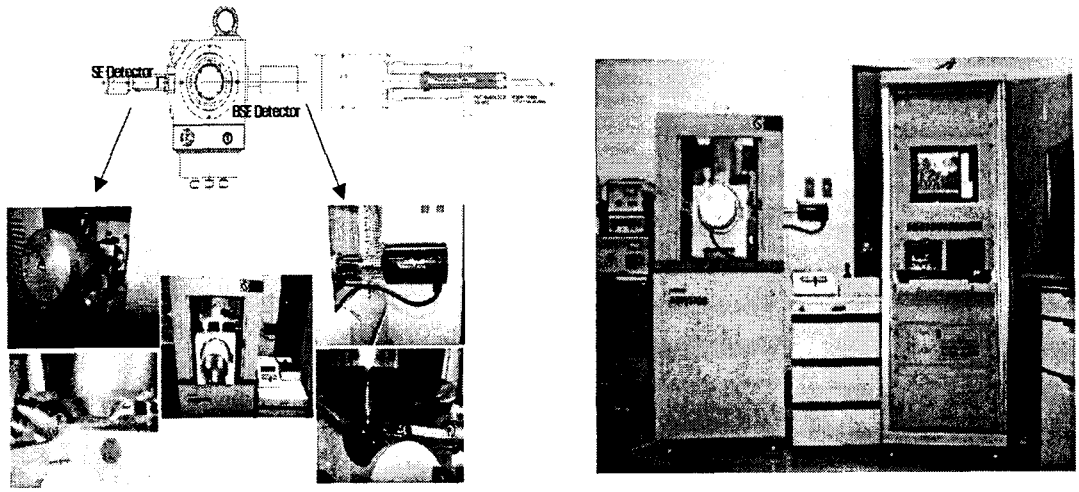


Fig. 2 SE/BSE Detectors and SEM-welder system

Fig. 3은 BSE 검출기에 의한 직경 300㎛ Sn-3.5Ag solder ball의 용융공정 단계별 BSE image를 보여 준다.

before scanning after scanning(5sec.) after scanning(30sec.)

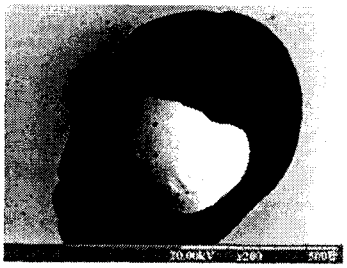
Fig. 3 BSE image of solder ball(ϕ300㎛) at V_{acc} = 20 kV, I_b = 30 ㎂

III. 결과 및 고찰

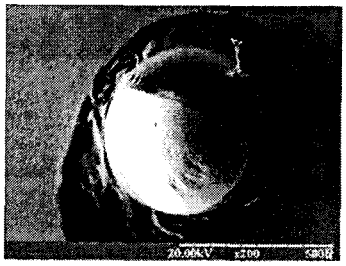
Solder Ball 용융 및 Cu Wire Welding 실험을 통하여 SEM-welder에 구성된 SE Detector를 이용한 image와 Back scattered Electron Detector를 이용한 image를 상호 비교 하였으며, 또한 Back scattered Electron Detector를 이용하여 Solder Ball의 용융현상을 실시간 관찰하였다. 향후 응용분야가 크게 대두되고 있는 카본나노튜브(CNT)에 대한 기초 실험으로 나노튜브와 나노섬유의 용융과 접합실험을 수행하였다.

실험에 사용된 Solder Ball의 합금조성은 Sn - 3.5 Ag 이며, Size 는 각각 300㎛ 와 500㎛ ± 20㎛이고. Melting Point은 221℃ 이며. Cu Wire 은 지름이 200㎛ 이다.

Fig. 4는 μ-BGA나 Filp chip에서 사용되는 300, 500㎛의 Solder Ball을 UBM 패드 위에 올려놓은 후 SEM-welder의 용융조건을 V_{acc} = 20kV, I_b = 30㎂로 설정한 후 5sec 동안 빔을 주사한 후 BSE image와 SE image를 보여 준다. SE image가 선명도가 더 좋고 명암대비에서는 BSE가 더 뛰어 남을 알 수 있다.



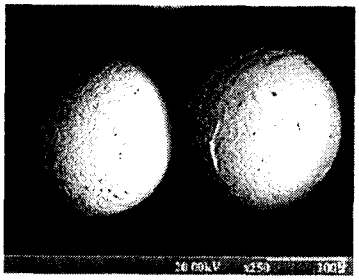
BSE image after scanning



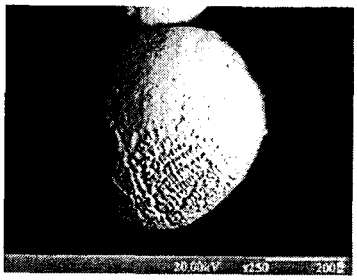
SE image after scanning

Fig. 4 BSE/SE images of solder ball(ϕ500㎛)

Fig. 5, 6, 7은 μ-BGA 나 Filp chip에서 사용되는 Solder Ball로서 UBM 패드 위에 올려놓은 후 SEM welder의 용융조건 Vacc : 20keV, Iprobe : ≒ 30㎂에서 5sec간 주사한 후의 BSE image와 주사하기 전위 image를 나타내었다. 실험에 사용된 Solder Ball의 합금 조성은 Sn-3.5Ag이며, Size는 각각 300㎛와 500㎛±20㎛. Melting Point은 221℃이다. 분리되어 있던 2개의 Solder Ball이 완전히 용융되어 하나의 큰 Ball로 형성되었다.

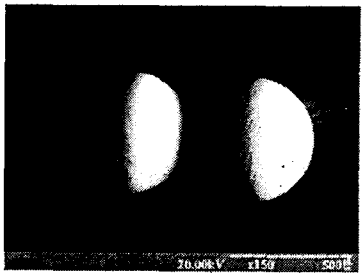


before scanning

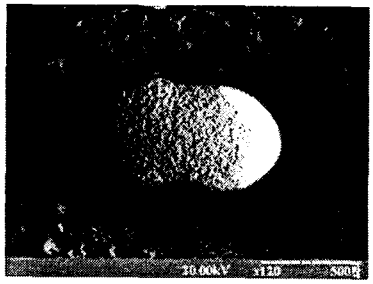


after scanning(5sec.)

Fig. 5 BSE image of solder ball(300㎛) before/after melting
(V_{acc} : ~ 20 kV, I_b : ~ 30 ㎂)

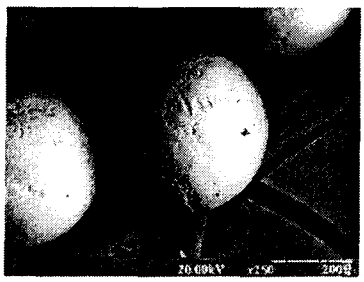
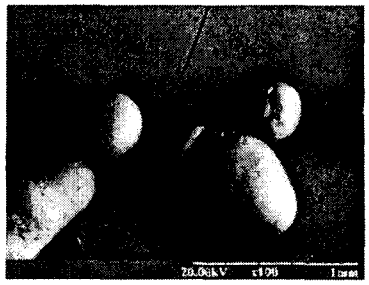


before scanning



after scanning(5sec.)

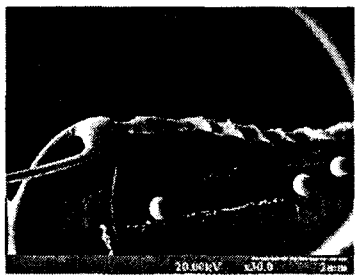
Fig. 6 BSE image of solder ball(300㎛) before/after melting
(V_{acc} : ~ 20 kV, I_b : ~ 30 ㎂)

before scanning　　after scanning(5sec.)

Fig. 7 BSE image of gold ball(500㎛) before/after melting
(V_{acc} : ~ 20 kV, I_b : ~ 30 ㎂)

Fig. 8은 현재 미세전자부품의 접합회로 구성에 사용되고 있는 Cu Wire를 SEM welder의 용융조건 V_{acc} = 20kV, I_b = 35㎂(BSE mode)에서 2 min 간 주사한 후의 BSE image와 주사하기 전의 image를 보여준다. SEM-welder에서의 용융실험을 통하여 고융점 재료의 접합 가능성을 확인하였다.



before scanning　　after scanning

Fig. 8 BSE images of Cu Wire(ϕ200㎛)
(V_{acc} : ~ 20 kV, I_b : ~ 30 ㎂)

Fig. 9는 카본나노튜브(CNT : Carbon Nano Tube)의 접합실험을 보여 준다. 1분간 접합하고자 하는 부분에 전자빔을 집중 조사하여 CNT의 교차부분에 용융이 일어나 접합됨을 확인할 수 있었다. 실험에 사용된 CNT는 직경이 10nm 이다. 실험 조건은 가압전압이 30kV이고 150,000 배율에서 빔 주사시간은 1분이다.

before scanning　　after scanning

Fig. 9 SE images of carbon nano tube(ϕ10nm) (V_{acc} : ~ 30 kV, I_b : ~ 100 ㎀)

IV. 결론

본 연구는 SEM 장비를 이용해 나노급 Powder 및 미세 전자부품을 접합할 경우 용접대상물을 실시간으로 용융되는 현상을 관찰할 수 있도록 하기 위한 기초실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 기존의 주사전자 현미경(SEM)을 수정하여 미세부품 접합에 적용할 수 있는 SEM-welder를 개발하였다.
2) 입사 빔전류(I_b)를 상승시키기 위해 SEM 고압회로부에서 배압기 구조를 변경, S/W 주파수를 낮게(짧게) 조절, Reflector 단의 Cockroft-Walton Capacitor를 변경하였다. 높은 빔전류 모드에서 실시간 관측을 위해 BSE detector를 사용하였다. 수정된 SEM-welder를 이용하면 입사 빔전류(I_b)를 수십 pA에서 35㎂까지 상승시킬 수 있었다.
3) BSE(Back Scattered Electron) Detector를 사용하여 실시간으로 Solder Ball의 용융현상을 관찰하였다.
4) Cu Wire의 용융실험을 통하여 고융접 재료의 용접성을 검토해 보았으며, 그 가능성을 확인하였다.
5) CNT(carbon nano tube)의 접합 기초 실험을 통해 MEMS, NEMS, BIO 부품의 접합 및 패키징의 가능성을 확보하였다.

V. 참고문헌

1. Il-Han Hwang, Suck-Joo Na : A Development of SEM Applied Microjoining System, Journal of KWS, 21-4 (2003), 63-68 (in Korean)

2. Kyuzo Arakawa, Masao Kikuchi : An Electron-Beam Processing Machine for Micro-Scale Joining Applications, Mitusbishi Technical Reports 71-4 (1997), 59-62 (in Japanese)

3. Florian Banhart : The Formation of a Connection between Carbon Nanotubes in an Electron Beam, Nano Letters1-6 (2001), 329-332