

# 마이크로-나노 접합기술

\*강희신<sup>1</sup>, 서정<sup>1</sup>, 이제훈<sup>1</sup>, 김정오<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국기계연구원 정보장비센터

## Micro-Nano Joining Technology

\*H. S. Kang<sup>1</sup>, J. Suh<sup>1</sup>, J. H. Lee<sup>1</sup>, J. O. Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IT Machinery Research Center, Korea Institute of Machinery & Materials

Key words : micro-joining, SEM-welder, E-beam direct writing, manipulator, flip chip bonding

### 1. 서론

산업분야에서 널리 사용되고 있는 용접(welding), 브레이징(brazing), 솔더링(soldering), 접착(adhesive bonding) 그리고 기계역학적 결합(mechanical fastening) 등은 마크로(macro)에서 마이크로(micro) 수준의 접합(joining)분야에 적용되고 있다. 기존의 적외선 레이저(CO2 레이저, Nd:YAG 레이저)를 이용한 접합방식이 미소부품, 광통신 부품의 정밀접합에 사용되고 있으나, 빔 특성상 100 $\mu$ m 수준의 정밀용접에만 가능하고 레이저 빔 직경을 최소화 또는 고속화(scanner)를 위한 광학장치의 구성이 매우 복잡하며, 또한, 광학계가 진동 및 외부의 영향에 매우 민감할 뿐 아니라 접합재료의 선택에 제한이 크다.

MEMS, NEMS, BIO 부품 중에는 청결, 고신뢰성, 밀봉(hermetic sealing), 열적손상 방지가 가능한 미세접합기술이 요구되며, 향후 nano-electronics 분야에서는 나노접합(예: carbon nano-tube connection)기술도 요구된다. 따라서, 전자빔 리소그래피, 전자빔 직접묘화(e-beam direct writing)에서 확인된 나노패터닝 수준의 전자빔의 빔 집속특성을 활용하면 마이크로 및 나노 범위의 나노지향 미세접합이 가능할 것이다. 한편, 기존의 전자빔 용접기에서도 고속 전자빔 편향 특성을 활용하면 연속 미세접합이 가능하고 공정시간을 최대한 단축할 수 있으며, 기존의 SEM 기능과 전자빔 용접기술을 접목하면 미세 포지셔닝(positioning), 3차원 접합 및 측정이 동시에 가능하게 된다.

따라서, 본 연구의 목표는 MEMS, NEMS, BIO 부품 등 마이크로/나노 부품 패키지를 위한 나노지향 고속 다수부품 일괄 미세접합기술 개발이며, 접합부 추적, 정밀 포지셔닝, 접합, 측정의 전공정을 포함하는 부품적용기술을 확보하고자 한다.

최근에 Ruoff 등<sup>(1,2)</sup>은 나노튜브의 기계적 조작(mechanical manipulation)에 관한 연구에서 전자주사현미경(SEM, scanning electron microscope)의 집속된 전자빔(focused electron beam)이 탄화수소(hydrocarbon) 오염물을 용착(deposition)시켜 Fig. 1과 같이 AFM(atomic force microscopy) 팁(tip)에 나노튜브를 부착하였다. 이러한 기술을 “nano-welding” 혹은 “SEM nano-welding” 기술이라고 하였으며, SEM 내부에서 CNT를 조작하고 CNT의 기계적 물성 평가 실험을 수행하는데 이용되었다.

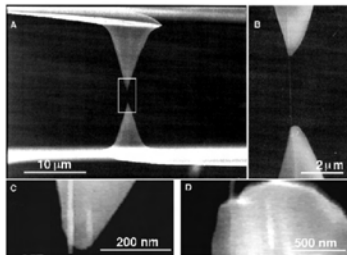


Fig. 1 An individual MWCNT mounted between two opposing AFM tips, (A): SEM image, (B): High-magnification of (A), (C) and (D): High magnifications of top and lower AFM tips.

SEM에서 전자빔이 반복적으로 주사되는 물체의 표면에는 고체 탄소 물질이 용착된다.<sup>(3,4)</sup> 용착속도는 전자빔 이미지 변수,<sup>497</sup>

진공도, 샘플의 표면 오염정도에 의존된다. SEM의 진공 챔버 내에 잔류 유기물이 전자빔에 의해 분해된 후 뒤이어 용착이 일어날 수 있으며, 또 한편으로는 유기오염물이 전자빔이 집속되는 표면쪽으로 이동하여 분해 및 용착되는 2가지 공정으로 구분하여 설명되고 있다.

Fig. 2는 SEM의 전자빔에 의한 탄소나노튜브의 nano-soldering 결과를 보여주고 있다.<sup>(5)</sup> 전자빔 조사에 의해 비결정 탄소(amorphous carbon)가 집성되어 교차하는 나노튜브가 접합된다. 튜브가 합체되는 것이 아니라 비결정탄소가 solder 재료의 역할을 하므로 nano-soldering이라고 한다. 공기중에서 이미 탄소나노튜브의 표면에 붙어 있는 탄화수소 분자가 전자빔 조사에 의해 비결정탄소로 변형된 것이다. 이러한 방법을 활용하면 초미세 나노 크기의 전자회로의 제작도 가능하다.

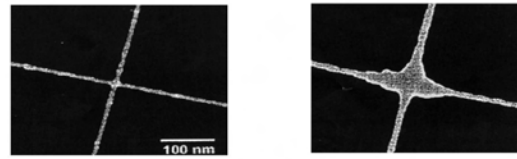


Fig. 2 Scanning electron microscopy images of a nano-tube junction before (a) and after (b) soldering by deposition of amorphous carbon

### 2. 실험방법 및 결과

최근 전자제품의 소형 고기능화에 따라 고밀도 면실장기술이 발전되어 왔으며, BGA (ball grid array), CSP(chip scale package), 플립칩(Flip chip) 패키지의 수요가 증가하고 있다. 플립칩 기술은 표면실장기술(surface mount technology)의 진보한 형태로서, 반도체 칩 윗면을 아래로 향하게 하여 PCB 또는 칩캐리어 기판에 직접적으로 접합하게 된다. 즉, 플립칩에서는 Fig. 3과 같이 칩 접합패드와 칩을 놓는 기판사이에 범퍼(bump)에 의해서 직접 전기적으로 연결된다. 현재는 환경적인 문제로 solder bump 형성을 위해 무연(Pb-free) 무플럭스(fluxless) 범핑공정이 요구된다.

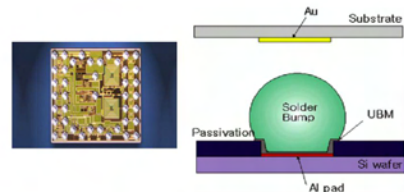


Fig. 3 Flip chip package

$\mu$ -BGA나 Flip chip에서 사용되는 무연 solder ball에 E-beam을 조사하여 직접 BGA 패드위에 무플럭스 접합하는 공정을 분석하였다. Fig. 4와 같이 solder ball을 개별 용융시키고 개발한 고속 빔 편향 기술을 접목하여 Fig. 5와 6과 같이 여러개의 솔더 볼들을 고속으로 접합할 수 있도록 공정을 개발하였다.

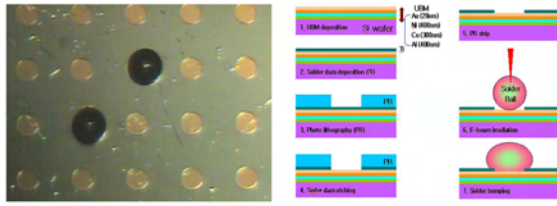


Fig. 4 Soder balls on BGA pad

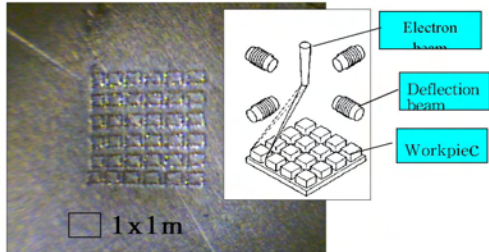


Fig. 5 Dynamic deflection of E-beam

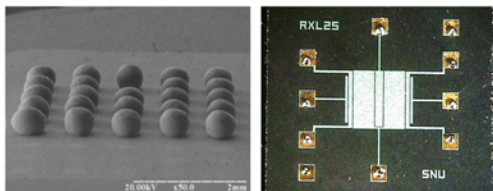


Fig. 6 E-beam melting of solder balls

Fig. 7은 용융된 Solder ball (Sn-3.5Ag,  $\phi 500\mu\text{m}$ )들을 보여주고 있으며 Fig. 8은 Fig. 7의 접합된 솔더볼들의 접합강도를 측정 실험을 한 후의 파단면 사진이다. 측정 결과  $500\mu\text{m}$  ball의 양호한 접합강도(력)는 7~8 N이며, PCB의 경우에는 확보가 되었다.

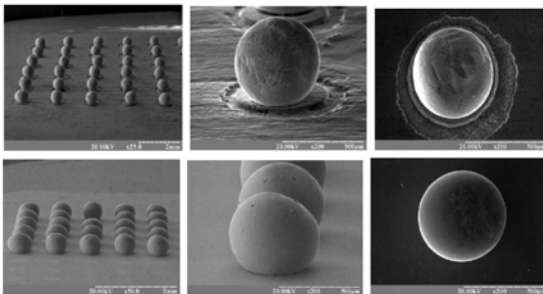


Fig. 7 Melted solder balls on PCB and BGA(Sn-3.5Ag,  $\phi 500\mu\text{m}$ )

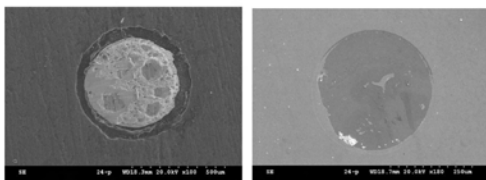


Fig. 8 Fractured surface after shear test on PCB and BGA

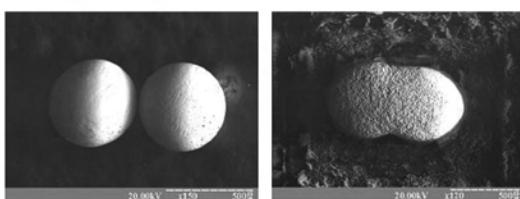


Fig. 9 SEM melting of solder ball( $300\mu\text{m}$ ) (Vacc : ~ 20 kV, Ib : ~ 30  $\mu\text{A}$ )

본 연구에서는 기존 SEM의 빔전류를 상승시키기 위해 기계적인 방법과 전기적인 방법을 함께 고려하였다. Fig 9는 SEM-welder를 이용하여 2개의 solder ball( $\phi 300\mu\text{m}$ )이 용융되어 1개의 ball로 형성됨을 보여주고 있다. 이와 같은 방식으로 Cu wire와 CNT AFM을 대상으로 접합실험을 수행하였다.

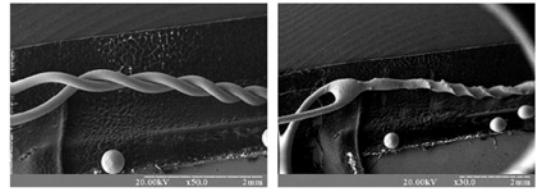


Fig. 10 SEM melting of Cu Wire( $\phi 200\mu\text{m}$ ) (Vacc : ~ 20 kV, Ib: ~ 30  $\mu\text{A}$ )

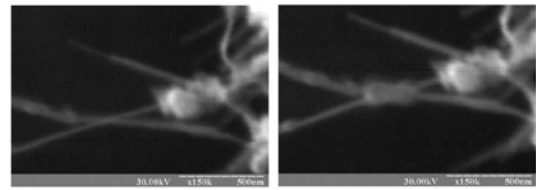


Fig. 11 SEM-soldering of carbon nano tube( $\phi 10\text{nm}$ ) (Vacc: ~ 30 kV, Ib: ~ 100 pA)

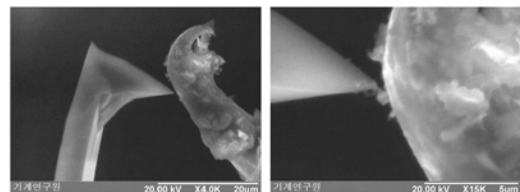


Fig. 12 Joining of CNT at AFM tip

#### 4. 결론

E-beam direct writing 기능을 SEM 장치와 접목하여 미세 접합/측정 겸용, 실시간 관측기능, manipulator을 갖는 SEM-welder를 구성하고 접합연구를 수행했다. 본 연구결과의 향후 적용분야는 Nano line, Nanotube, Nano-switch, Nano-transistor 등의 제작 분야이며, 이를 위해 Nano 메카트로닉스 기술과 접목을 하였다.(SEM +3차원 manipulator)이 필요하다. 또한, MEMS, NEMS, BIO 부품 패키징, 마이크로 머신 부품 joining, Nano powder 응용 브레이징 기술에 적용될 수 있다.

#### 참고문헌

1. Yu, M. F., Lourie, O., Dyer, M. J., Moloni, K., Kelly, T. F., Ruoff, R. S., "Strength and Breaking Mechanism of Multiwalled Carbon Nanotubes Under Tensile Load," Science, Vol. 287, pp. 637- 640, 2000.
2. Yu, M. F., Dyer, M. J., Skidmore, G. D., Rohrs, H. W., Lu, X. K., Ausman, K. D., von Ehr, J. R., Ruoff, R. S., "Three-dimensional Manipulation of Carbon Nanotubes under a Scanning Electron Microscope," Nanotechnology, Vol. 10, pp. 244- 252, 1999.
3. Fujii, T. et al, J. Vac. Sci. Technol. Vol. B9, p. 666, 1991.
4. Koops, H. W. P et al, Jpn. J. Appl. Phys. Part 1, Vol. 33, p. 7099, 1994.
5. Banhart, F., "The Formation of a Connection between Carbon Nanotubes in an Electron Beam," Nanoletters, Vol. 1, No. 6, pp. 329-332, 2001.