

마이크로 전자 컬럼의 렌즈 제작 및 동작

장원권

한서대학교

Fabrication and operation of electron lenses of micro-column

Won Kweon Jang

Hanseong University

Abstract

마이크로 컬럼은 차세대 리소그래피 기술의 하나로 마이크로 컬럼의 기능이 기존의 전자빔 컬럼을 능가하여 주목을 받는다. 초소형 전자빔 컬럼은 기존의 전자빔 컬럼과 비교하여 수차, 렌즈의 크기 및 원형에 성능이 보다 민감하게 반응하므로 정확한 정렬과 가공 기술은 초소형 전자빔 마이크로 컬럼의 성능에 매우 중요하다. 그러나, 기존의 piezoelectric transducer (PZT)나 scanning tunneling microscopy (STM)을 이용한 정렬 기술은 매우 복잡하고 어려운 단점이 있다. 본 연구에서는 레이저 회절 패턴방식과 레이저 정밀 가공으로 실리콘 렌즈와 파이렉스 spacer를 정확하게 교대로 조립하였으며, 이 방법으로 완성된 마이크로 컬럼의 STEM동작을 조사하였다.

Key Words : 전자렌즈, 마이크로 컬럼

1. 서 론

미국 IBM Watson 연구소의 P. Chang 박사가 처음으로 초미니 전자빔 기술에 대한 기본 개념을 소개한 이후, 1995년 세계 최초로 초미니 전자현미경 원형을 완성하였고, 이를 이용하여 리소그래피의 가능성도 입증하였다. 전체 초미니 전자빔 기술 분야에서 단일 전자빔구조 자체의 소형화기술은 90%이상 개발되어 있었으나, 멀티 전자빔구조와 미니 패키징, 그리고 시스템 제어장치 소형화기술 등을 개발하기 위한 연구가 진행되고 있고, 초소형 전자빔원 기술은 전자빔 리소그래피, CD-SEM, V-SEM, Wafer Inspection 등의 반도체산업 분야 뿐만 아니라 전자현미경 (SEM, TEM, STEM) 등에 적용되는 등 제반 산업 분야 및 현대과학의 전 영역에서 중요한 핵심 기술로서 이용되고 있다.

초소형 전자 컬럼은 기존의 전자빔 장비의 300~1,000 mm에 이르는 전자 컬럼의 길이를 1/100

이상 축소하여 전체 길이가 10 mm 이내로 제작된다. 전자빔 장비는 크게 전자 방출원과 전자 컬럼으로 구성되는데, 전자컬럼은 다시 전자렌즈, 절연체와 deflector로 이루어져 있다. 전자방출원은 잘 알려진 대로 텅스텐 tip이 사용되며, 전자렌즈는 전자빔의 조사량을 조절하는 source 렌즈와 전자빔을 집광하는 Einzel 렌즈로 구성되는데, 2 μ m 두께의 실리콘 membrane에 직경이 수~수십 μ m의 원형 aperture를 가공하여 완성된 전자렌즈를 적층으로 쌓아올려 놓은 구조이다. 실리콘 렌즈 사이는 파이렉스로 절연되어 일정한 간격을 유지하도록 하여야 하며, 전자렌즈의 중심들은 전자빔의 진행 방향 축에 고도의 정밀도로 정렬되어야 단단히 고정되어야 한다. 전자빔을 scan하기 위한 deflector는 한쪽 끝이 연마된 몰리브덴 선으로 metal deflector를 구성하고 있다. 기존의 접합방식은 anodic bonding 방식이었으나 고온으로 인한 부품의 손상과 정렬을 동시에 수행할 수 없다는 단점을 가지고 있다.

epoxy를 사용한 접합 방식은 접합 시간이 길어 비효율적이며, epoxy가 전자렌즈 사이에 스며들어 정렬을 흐트러뜨리기 때문에 모두 적합하지 않았다. 비접촉 접합 방식으로 레이저 접합은 수 ms의 짧은 시간에 국부적으로 열을 가하므로 부품의 손상 없이 조립이 가능하며, 정렬을 흐트러뜨리지도 않는다.

2. 실험

2.1 레이저 접합

레이저 가공의 장점은 재료 표면의 일부분에 높은 파워 밀도를 만들 수 있기 때문에 레이저 빔을 흡수하는 재료는 어느 것이나 가공이 가능하고, 비접촉 가공이므로 재료에 물리적인 힘이 가해지지 않는다. 또한 레이저의 집광상태 및 발전상태의 제어, 보조가스의 이용 등에 따라 여러 가지 가공을 할 수 있다. 레이저 빔은 평행성이 좋기 때문에 먼 거리까지 전달이 가능하고, 복합가공이 가능하며, 투명체를 통과해 에너지를 전달 할 수 있다.

레이저 가공에 영향을 주는 인자로서는 레이저 빔과 집광렌즈, 초점 spot등으로 나눌 수 있다. 레이저광은 레이저의 출력형태, 파장, 듀티, 주파수, 빔 모드 등이 있는데 출력형태는 cw 모드와 펄스 모드의 2 종류가 있다. 여기서 펄스모드 출력은 빔의 on, off를 반복하는 것으로서, 듀티 값은 1펄스 시간당 빔 on 시간의 비율을 %로 나타낸다. cw모드 출력은 듀티 100%인 펄스모드 출력의 한 종류이다. 듀티가 작을수록 빔 조사시간이 작아져, 열영향이 적어지므로 열에 의한 변형이나 비틀림이 있는 재료의 가공에는 듀티 설정을 작게 하는 것이 바람직하다.

집광렌즈에 의한 레이저 광의 spot직경은 피가공물의 에너지밀도를 산출할 경우 중요한 수치이다. 단일모드의 레이저광을 집광시킬 경우의 spot 직경은 다음과 같이 주어진다.

$$\omega_0 = \frac{f\lambda}{\pi\omega}$$

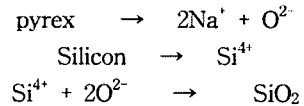
여기서, ω_0 는 spot직경, f 는 렌즈의 초점거리, λ 는 레이저광의 파장, ω 는 집광렌즈에 입사된 레이저광의 직경이다.

본 연구에서는 접합용 레이저로 Nd: YAG 레이저를 사용하였으며 실리콘에 대한 흡수는 1064

nm에서 50%정도이다. Nd:YAG 레이저의 1064 nm파장을 이용할 경우 실리콘의 용융이 개시될 때까지 투입되는 총 에너지는 비교적 적어 작업속도를 올릴 수 있었다.

2.2 양극 접합

양극 접합의 기본적인 원리는 고온에서 실리콘과 파이렉스의 음이온과 양이온이, 인가된 전기장에 반응하여 이동하는 현상을 이용한다. 즉, 실리콘과 파이렉스의 면을 접촉하여 고온 상태로 유지하면 파이렉스 면에서는 Na^+ 와 O^{2-} 이온들이 실리콘에서는 Si^{4+} 이온의 활동이 활발해지고, 여기에 고전압을 가하면 이온들이 이동하게 된다. 그림 10에서 보는바와 같이 파이렉스에 (-)전압을 인가하면, 파이렉스의 O^{2-} 이온들이 실리콘에 경계면 쪽으로 이동하여 Si^{4+} 이온들과 결합되어 SiO_2 가 형성되어 실리콘과 파이렉스의 접합이 이루어지게 된다.



이온의 원활한 이동을 위해서 전극판을 고온의 Hot-plate로 가열을 해주는데, 그림 11은 실리콘과 파이렉스의 열팽창계수를 비교한 것으로 열팽창계가 일치하는 480 °C에 설정하여 실험하였다. 파이렉스에 - 650 V의 전압을 인가하였을 때 양극 접합이 이루어지는 온도는 약 350 °C 부터이었고 접합이 원활히 이루어지는 온도는 약 480 °C 일 때 이었다.

2.3 Source 렌즈와 Einzel 렌즈의 제작

그림 1은 aperture 크기가 100-100-20 μm 인 source 렌즈이다. He-Ne 레이저빔을 집광시키는 집광렌즈를 사용하였다. 초점거리는 90 mm이다. (a)는 광학현미경의 upper 렌즈에 초점을 맞추어 찍은 사진이고, (b)는 middle 렌즈에 초점을 맞추어 찍은 사진이며, (c)는 bottom 렌즈에 초점을 맞추어 찍은 사진이다. (d), (e)는 upper 렌즈와 middle 렌즈, middle 렌즈와 bottom 렌즈를 합성한 사진으로 오차는 각각 4 μm 와 3 μm 이다.

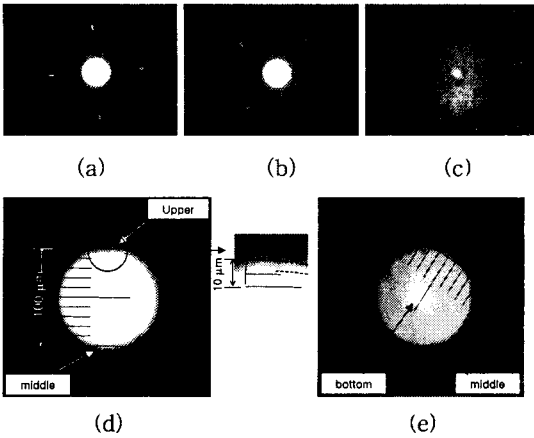


그림 1. 정렬된 Source 렌즈의 광학 현미경 사진
100-100-20 μ m

그림2는 aperture 크기가 300-300-300 μ m인 Einzel 렌즈의 광학현미경 사진이다. (a)는 upper 렌즈의 사진, (b)는 middle 렌즈의 사진이고, (c)는 bottom 렌즈의 사진이다. (d)는 upper 렌즈와 middle 렌즈의 합성사진으로 정렬 오차는 2 μ m이고, (e)는 middle 렌즈와 bottom 렌즈의 합성사진으로 정렬 오차는 8 μ m이다.

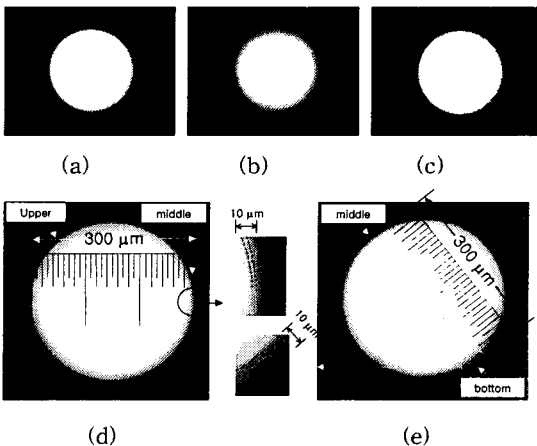


그림 2. 정렬된 Einzel 렌즈의 광학 현미경 사진
300-300-300 μ m

그림 3은 Einzel 렌즈에 완성된 사진이로 E₂에 Cu wiring 한 상태이다. wiring은 silver epoxy를 사용하여 접합하였다.

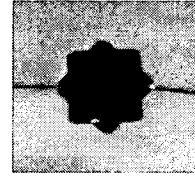


그림 3. Einzel 렌즈 완성사진.

3. 결과 및 토의

조립된 초소형 전자렌즈를 이용하여 STEM 형상을 얻는 실험을 수행하였다. 테스트에 사용된 sample은 Cu grid (1000 mesh-type)이며, 선폭이 9 μ m이고 가로와 세로의 간격은 16 μ m이다. Einzel 렌즈의 membrane에서 850 μ m 떨어진 곳에 설치하였다. 짧은 초점거리를 갖기 위해 Einzel 렌즈에 인가하는 전압이 증가되었으며, 이미지 측정은 Einzel 렌즈에 -V를 인가하여 집광렌즈 부분에서 전자들의 운동 속도를 감소시키는 감속 모드와 +V를 인가하여 전자들의 운동을 가속하며 집광하는 가속 모드에서 측정되었다. 감속 모드에서 집광을 위한 인가전압은 낮았으나 분해능(resolution)은 가속 모드에서 더 우수한 특성을 보였다.

초소형 전자빔원은 전자렌즈와 집광렌즈의 전극과 전극사이의 절연층이 일반적인 전자빔원 시스템과 비교하여 극도로 얇은 구조적 특성을 가지고 있다. 따라서 장시간 동안 작동할 경우에 장비의 안정성을 고려한다면 가속 모드 보다는 감속 모드에서 작동하는 것이 더 유리할 것으로 판단된다.

4. 결론

초소형 전자렌즈의 가공 및 조립을 위하여 레이저 가공법을 이용하였으며, 비접촉으로 방식으로 기존의 양극 접합이나 예폭시 접합 방식에 비해 부품의 파손이나 장시간의 조립 등의 단점이 해결되었다. 회절 무늬와 quadrapole photo-diode를 이용한 정렬 방식은 기껏해야 3% 이내의 오차 이내에서 작업이 가능하게 하였으며, 이러한 결과는 조립된 마이크로 전자 컬럼의 STEM 동작을 통해서 그 성능이 확인되었다.

참고 문헌

- [1] E. Kratschmer, H. S. Kim, M. G. R. Thomson, K. Y. Lee, S. A. Rishton, M. L. Yu, S. Zolgharnain, B. W. Hussey, and T. H. P. Chang, 'Experimental evaluation of a 20×20 mm footprint microcolumn', J. Vac. Sci. Technol. **B14**, 3792, 1996.
- [2] G. Wallis and D. I. Pomerantz, 'Field Assisted Glass-Metal Sealing', J. Appl. Phys., **40**, 3946, 1969.
- [3] Albright. C. 『Laser Welding, Machining and Material Processing』, (IFS Publication, chap. 1, 1996).
- [4] Nick Holonyak. Jr. 『Contemporary Optics for Scientists and Engineers』, (Prentice Hall, New Jersey, 1976).
- [5] N. Rykalin, A. Ugov and A. Kokora 『Laser Machining and Welding』, (Pergamon Press, Chap. 3, 1978).