

EM의 비점수차 보정방법과 TEM의 Optimum under focus 범위

남 효 관

영남대학교 중앙기기센터 전자현미경실

전자현미경에서 고분해능의 영상을 얻으려면 여러 가지 축 조정 즉 전자총의 축 조정, 콘덴서렌즈의 비점수차 보정과 조사계의 축 조정, 대물렌즈의 전류 축 과 전압 축 조정 과 함께 여러 가지 수차를 줄이는 것이 중요하다. 이 외에도 여러 가지 갖추어야 할 요건이 많이 있지만 여기서는 특히 전자현미경을 사용할 때마다 자주 취급하는 SEM과 TEM의 비점수차(Astigmatism)의 발생원인과 보정방법에 대해 알아보고, 그 외 전자현미경의 다른 여러 수차의 발생원인을 알아보려고 한다. 먼저 비점수차 발생원인은 렌즈의 자기장에 잔류하는 비대칭성분이나 자기장이 시료에 의해 발생하는 비대칭성분 때문이다. 이러한 원인에 의해 전자선단면에 상호 직교하는 방향의 초점거리 차이로 비점수차가 발생한다. 대물렌즈의 자체의 부정합이나 가공오차에 의한 비점수차는 거의 변하지 않고, 경체와 Aperture의 오염이나 위치이상, 시료홀더의 오염에 의한 2차 적인 비점수차가 있는 경우 이를 제거하여야 한다. 특히, 렌즈에 흠이 있거나 시료가 자성을 띠고 있어서 자기장이 불규칙할 경우에는 이를 완전히 제거하기가 어렵다.

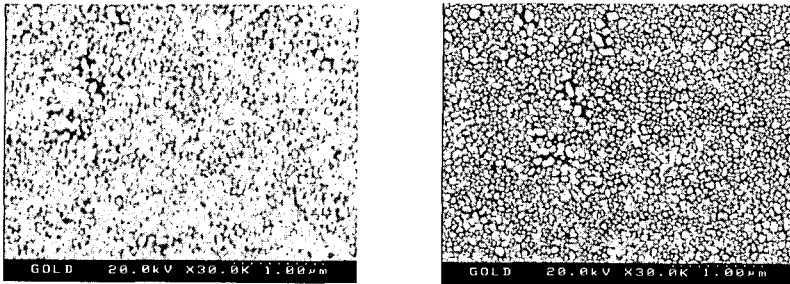


Fig. 1 SEM images of astigmatism image(left) and astigmatism correction image(right)

다음으로 비점수차 이외의 대물렌즈의 다른 여러 수차에는 전자선의 파동에 의해 발생하는 회절수차와 렌즈의 중심을 통과한 전자와 외측을 통과한 전자의 초점거리가 다르기 때문에 발생하는 구면수차(Spherical aberration)가 있다. 이 구면수차는 렌즈의 설계부터 어렵고, 심각한 수차로서 완전히 제거하기가 불가능하다. 그리고 전자에너지와 렌즈의 전류에 따라 전자기렌즈의 초점거리가 달라지고, 이러한 변화들로 인하여 실제로 각 전자들의 파장이 차이나는 결함으로 색수차(Chromatic aberration)가 발생한다. 이 색수차

의 발생원인에는 전자총 부분의 오염에 의한 미소방전이나, 가속전압과 대물렌즈의 전 원변동으로 전자 Beam의 에너지가 불안정하거나 전자선이 시료를 통과할 때 비탄성산란에 의한 에너지 손실로 나타난다.

SEM에서의 비점수차가 있으면 한쪽방향으로 Focus knob을 회전시키면 Image가 |형이 되고, 다른 방향을 Focus knob을 회전시키면 Image가 — 형으로 나타난다. 실제 보정방법은 Focus를 변화시킬 때 Image가 서로 직각방향으로 흐르는 현상이 나타난다. 이때 Focus knob을 회전시켜 중간의 점에서 멈추면 Image는 원형으로 되지만 흐릿한 상태로 된다. 그 다음 Stigmator X-Y축 knob을 조절하여 전자 Beam 단면에 상호 직교하는 면의 초점거리를 전자기적으로 일치시키면 선명한 Image를 얻을 수 있다. 배율을 확대하면서 조절을 반복하면 비점수차가 거의 보정된다. 초점거리 차이가 발생할 때 Focus 위치의 차이를 비점격차(Δf_A)라 하며, 비점격차가 거의 없어야 고분해능의 Image를 얻을 수 있다.

TEM에서의 비점수차가 있으면 대물렌즈에는 초점은 맞지만 어떤 방향에는 과초점(Over focus)이 나타나고, Image 내의 초점거리의 차이로 다른 방향 즉 90° 교차한 면에는 부족초점(Under focus)이 서로 대칭적으로 나타난다. 이와 같은 비점수차의 보정이 용이하도록 TEM에서는 4극의 전자석을 45° 로 배치해 놓고, 2조 합성으로 제어하도록 설계되어 있다. 중저배율에서 이용하는 보정방법의 기본은 비점보정용 Carbon 막의 작은 구멍 즉 Carbon hole에서 Over focus 부분이 Under focus가 되도록 비점보정자(Stigmator) X-Y축 knob을 미세하게 회전시켜 방향과 강도를 조절하는 전자기장을 걸어 주어 비점수차가 거의 없도록 보정한다. 비점격차(Δf_A)는 Over focus에서 Carbon hole 테두리의 최대폭과 최소폭으로 구하는데 고분해능의 Image를 얻기 위해서 $0.1\mu\text{m}$ 정도까지 보정할 필요가 있다. 이 보정방법은 실제로 많은 연습이 필요하다. 그리고, 고배율에서는 지지막의 입상성으로 Stigmator X-Y축 knob을 미세 조절하여 비점수차를 보정한다.

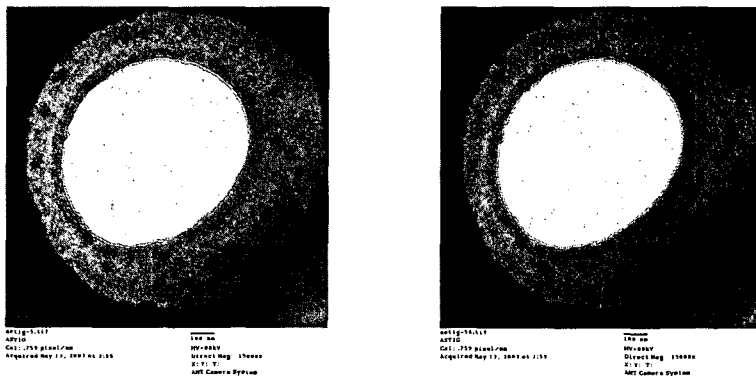


Fig. 2 TEM images of larger astigmatism image(left) and small astigmatism image(right)

그리고 요즘 신형의 TEM에서는 PC로 모든 TEM System을 Control하기 때문에 여러 가지 조건들이 수치로 나타나고, 저장되어 이용하기가 편리해졌다. 여기서는 TEM의 정 초점 즉 Just focus와 Just focus에 대해서 떨어진 거리만큼의 여러 Over focus image를 비교해 보고, 또한 Just focus에 대해서 떨어진 거리만큼의 여러 Under focus image를 비교하여 실제로 TEM 배율에 따른 양호한 Image를 얻기 위한 Optimum under focus 범위는 Just focus에 대해서 어느 정도 거리에 있는지 알아보려고 한다.

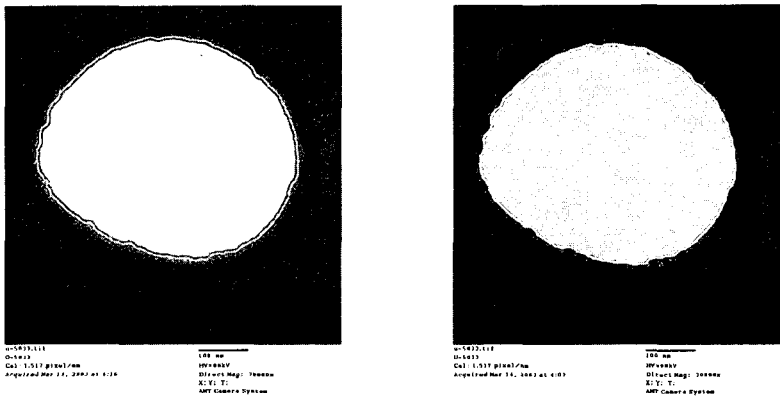


Fig. 3 TEM images of over focus image(left) and under focus image(right)

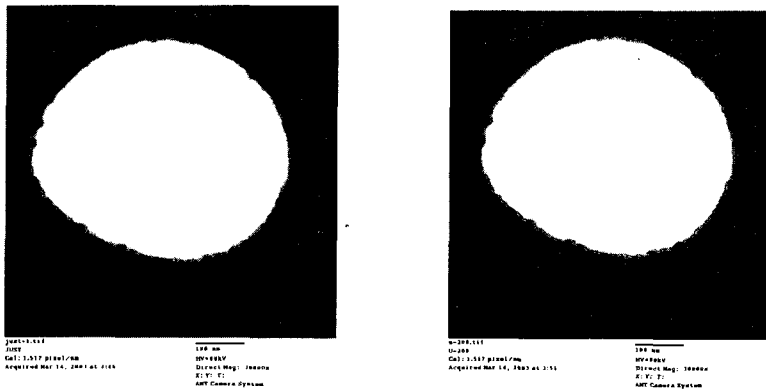


Fig. 4 TEM images of just focus image(left) and optimum under focus image(right)