

전자빔이용 형상 측정 및 해석기술

Electron Beam Measurement and Analysis Technology

**홍원표, 김승태, 강은구, 이석우, 최헌중

**W. P. Hong(wonpyodr@kitech.re.kr), S. T. Kim, E. G. Kang, S. W. Lee, H. Z. Choi
한국생산기술연구원 e가공공정팀

Key words : SEM(Scanning Electron Microscope), FEA(Finite Element Analysis), Secondary electron, SE Detector

1. 서론

최근 나노기술의 발전에 따라 측정 기술 또한 발전하고 있는 추세로 이러한 현상은 기존 광학 기술로는 측정이 불가능한 영역까지 확대되고 있다. 마이크로, 나노와 같이 미세한 영역에서는 작은 측정오차 또한 크게 확대될 수 있기 때문에 특히 정확한 측정 및 해석기술이 요구되고 있다. 이에 따라 분석 장비의 성능을 높이기 위한 관련 기술의 연구가 활발히 진행중이다.

주사전자현미경(Scanning Electron Microscope; SEM)은 기존 광학현미경의 측정 한계를 극복하기 위하여 전자빔을 사용함으로써 분해능을 획기적으로 향상시킨 측정장비로 공학, 바이오 및 의학 분야에 이르기까지 다양한 분야에서 널리 사용되고 있다. 크게 전자빔 방출원, 렌즈 제어부, 검출기로 구성된다. 전자빔 방출원은 끝이 뾰족한 팁을 사용하여 고전압을 인가함으로써 전자빔을 방출시키며 일반적으로 수mm 정도의 높은 분해능을 보인다. 그러나, 고전압을 사용할 경우 상대적으로 칼럼의 크기가 커질 수밖에 없으며 또한, 고전압에 의한 관찰 시편의 손상을 야기하는 등 단점을 가지고 있어 현재 1kV 이하의 저전압을 이용한 전자빔 측정 장비의 연구가 진행 중이다. 저전압을 이용할 경우 칼럼부의 크기를 수십mm 정도로 작게 제작 가능하며 이렇게 제작된 칼럼을 병렬 형태로 배치함으로써 기존 단일 칼럼 형태에서의 측정 시간 등을 획기적으로 줄일 수 있다. 또한, 휴대용 소형 SEM과 같은 장비의 제작을 가능하게 하여 적용 분야가 크게 확대될 수 있다. 그러나 저에너지빔으로 측정할 경우 높은 분해능의 이미지를 얻을 수 없다는 한계가 있어 최근 저에너지빔을 이용한 고분해능의 이미지를 획득에 연구가 진행 중이다. 이에 본 논문에서는 선행적으로 일반적인 전자빔 장치에 대한 이해 및 시편부에서 발생하는 2차전자의 공간적 해석을 검증하고자 하였다.

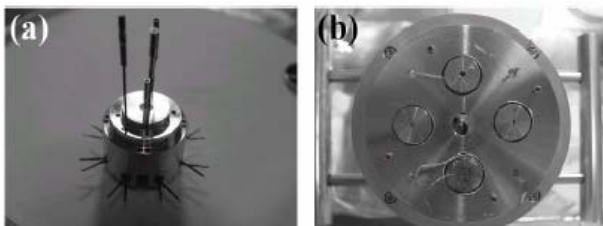


FIG. 1 (a)Single microcolumn (b) 2×2 arrayed microcolumns

2. 주사전자현미경의 전자광학계 및 측정 원리

2.1 주사전자현미경의 기본 시스템

주사전자현미경의 기본 구조를 FIG 2.에 도시하였다. 주요 구성요소로 칼럼을 포함한 경통부, 측정용 시료가 장착되는 챔버, 시편에서의 2차전자 검출을 위한 검출부, 챔버내의 진공유지를 위한 진공부, 고전압 공급부 및 제어부, 측정된 이미지의 표시제어부로 구성된다.

2.2 전자방출원

전자방출원은 전자 방출 방식에 따라 열전자 방사형 전자총과 전계 방사형 전자총으로 크게 구분된다. 전자방출 팁은 끝단이

뾰족한 형태이며 일반적으로 텅스텐 필라멘트를 사용하여 팁에 전압을 걸어주어 팁의 끝단에서 전자를 방출시킨다. 이렇게 방출된 전자는 칼럼내의 여러 렌즈에서 약 30kV의 가속전압을 받아 시편에 집속시키게 된다.

2.3 입사빔과 시편의 상호작용

칼럼에서 방출되어 가속된 전자빔은 시편과 충돌하며 이때 시편과의 상호작용에 의하여 여러 가지 형태의 radiation을 방출한다. 이때 방출되는 radiation은 각각의 시편에 대한 정보를 지닌다. 일반적으로 시편의 이미지 관찰에 사용되는 전자는 Backscattered electron과 Secondary electron으로 Backscattered electron은 시편과의 탄성산란에 의하여 전자의 속도나 에너지를 잃지 않은 채 방향만을 바꾼 전자이며, Secondary electron은 비탄성산란을 일으켜 입사빔보다 낮은 에너지의 2차전자이다. 이때 2차전자의 에너지는 0-50eV까지의 에너지를 지니며 시편이미지의 관찰에 주로 사용된다.

2.4 2차전자 검출부

2차전자 검출기는 시편에서 발생하여 여러 방향으로 산란되는 전자를 검출하기 위하여 10kV의 바이어스를 걸어주어 2차전자를 포집하게 되며 검출기 끝 부분에 페러데이케이지를 사용하여 Secondary / Backscattered electron을 선별하여 검출한다.

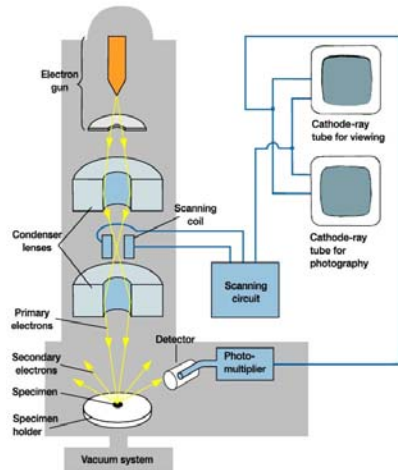


FIG. 2 Scanning electron microscope system

3. 전자 광학계의 해석 기술

전자빔을 이용한 해석기술은 입사빔이 시편에 충돌하여 발생하는 2차전자를 검출함으로써 이루어진다. 이때 시편에서 발생하는 2차전자는 검출기에서 발생하는 전기장의 영향을 받아 검출기로 모이게 되며, 2차전자의 궤적은 시편과 검출기 간의 거리, 각도 등에 영향을 받게 된다. 검출되는 2차전자의 양에 따라 얻게되는 이미지의 해상도가 많은 영향을 받게 되므로 시편과 검출기 사이의 2차전자 공간적 해석기술은 전자빔 측정장비의 설계시 매우 중요한 역할을 담당한다.

3.1 시편에서의 2차전자 방출

FIG. 3에 2차전자의 궤적을 해석하기 위해 칼럼부를 간략화하여 모델링한 결과를 나타내었다. 구조는 Cathode, Focus, Drift의 구조를 모델링 하였으며 Cathode의 Emitter온도는 1400K, 일함수 2.8V로 설정하였다. Focus에 4kV의 전압을 걸어주어 빔을 집속시키는 역할을 수행하고, Drift에서 10kV의 전압에 의해 전자빔이 시편쪽으로 집중되도록 모델링하였다. OPERA3D/SCALA를 사용하여 Space charge를 해석하였으며 대칭 구조이므로 모델의 1/8에 대해서만 시뮬레이션을 수행하였다. FIG. 3으로부터 전자빔이 방출되어 시편에 충돌함으로써 시편에서 2차전자가 방출됨을 확인할 수 있었으며 이때 Drift에 걸려있는 전압에 의해 2차전자는 다시 Drift쪽으로 이끌리는 현상을 관찰할 수 있었다.

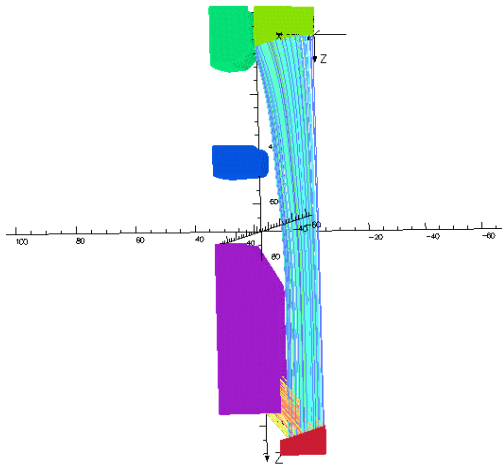


FIG 3. Beam trajectory calculated by space charge

3.2 검출기 기구부 전장의 형성에 따른 영향성 해석

일반적으로 시편에서 발생하는 2차전자는 (-)의 에너지를 갖게 되며 여러방향으로 산란된다. 이때 검출기 끝단에 (+)전압을 걸어주어 전기장을 형성하게 되면 2차전자는 검출기 쪽으로 집중된다. 검출된 2차전자의 양은 이미지 형성에 사용되며 많은 양의 2차전자가 검출될수록 이미지의 해상도와 시편의 정보를 정확히 분석할 수 있다.

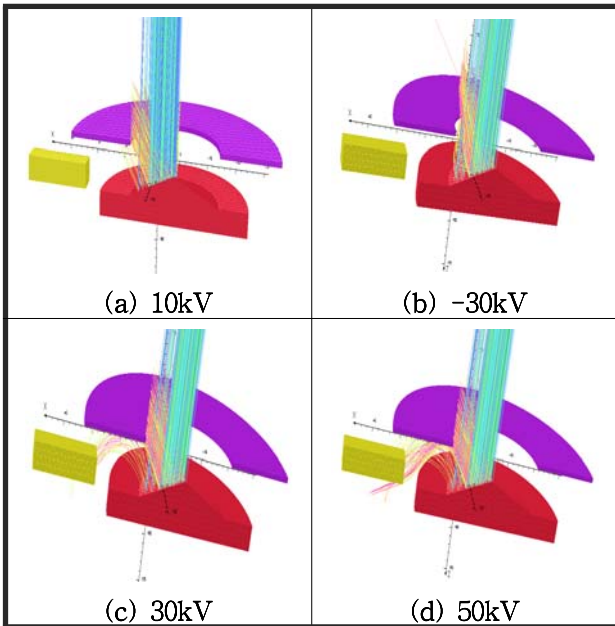


FIG. 4 Finite element analysis of space charge

시편에서 발생한 2차전자를 포집하기 위하여 시편부에 검출기를 설치하였다. 이때 시편의 boundaries condition은 backscattered로서 스퍼터 일드는 0.5yield, Energy loss factor는 0.095로 설정하였다. FIG. 4에 검출기에 각각 10kV, 30kV, -30kV, 50kV의 바이어스를 걸어줄때 그에 따른 2차전자의 궤적을 나타내었다. FIG. 4 (a)에서 보는 바와 같이 10kV의 전압을 걸어주었을 경우 생성되는 전기장은 그 효과가 거의 없음을 알 수 있으며 이때 2차전자는 다시 Drift쪽으로 끌려 들어가는 현상을 볼 수 있다. 이것은 검출기 부분에 Drift와 동일한 크기의 전압을 걸어줌에 따라 생성되는 전기장의 영향이 거의 없으므로 판단된다. FIG. 4(b)에서는 (-)의 전압에 의한 전기장의 형성을 보여주며 이때 (-)의 에너지를 갖는 2차전자는 전기장의 영향을 받아 검출기와 반대 방향으로 궤적이 바뀌는 것을 확인할 수 있다. FIG. 4 (c)와 (d)에서는 각각의 전압에 따른 전기장의 세기가 바뀌며 2차전자 또한 검출기쪽으로 이끌리는 현상을 확인할 수 있었으며 (d)에서 더 많은 전자가 검출기로 집중됨을 확인하였다.

4. 결론

최근 전자빔을 이용한 정밀 측정기술 연구가 활발히 진행 중이다. 특히, 1kV 이하의 저전압을 이용한 전자빔 가공 및 측정 장비의 장점이 부각되면서 적용 분야가 크게 확대될 전망이다.

본 연구에서는 우선적으로 일반적인 전자빔 장비를 대상으로 측정 및 해석기술에 대한 선행연구를 수행하였다. 이를 위하여 검출기에 바이어스를 걸어줌으로써 전기장을 형성하여 2차전자의 궤적을 해석하였다. 검출기에 30kV 이상의 전압을 걸어주었을 경우 2차전자의 궤적이 검출기로 집중됨을 확인하였으며, 전압이 높아질수록 더 많은 수의 2차전자가 포집되는 것을 알 수 있었다. 또한 (-)의 전압을 걸어주었을 경우에는 2차전자와 같은 극성으로 인해 오히려 검출기로부터 멀리 떨어지는 현상을 검증하였다.

본 연구를 기반으로 검출기 기구부의 효율적인 최적 위치 및 조건 선정을 추후 진행할 예정이며, 이의 결과를 토대로 저에너지 전자빔의 고분해능 측정에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

후기

본 연구는 지식경제부의 “다중칼럼 방식의 고효율 전자빔 응용 In-line 시스템 및 공정기술 개발” 과제 연구비를 지원받아 수행되었습니다.

참고문헌

1. Reimer, L., Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis, PTR Prentice Hall, 1998.
2. 황인옥, 김재천, 주사전자현미경의 기초, 피어슨 에듀케이션, 1994.
3. Wells, Oliver C., Scanning Electron Microscopy, McGraw-Hill Book Company, 1974.
4. 박근, 박만진, 김동환, 장동영, “전계방출 주사전자 현미경의 전자광학계 유한요소해석”, 대한기계학회논문집, 12, 1557-1563, 2006.