

초소형 전자컬럼에서 제어용 전압의 잡음 분석

노영섭¹, 김홍태¹, 김진배², 오태식³, 김대욱³, 김호섭³

¹서울벤처정보대학원대학교 임베디드시스템학과, ²CEBT (주), ³선문대학교 정보디스플레이학과,

Young-Sup Roh¹, Heung-Tae Kim¹, Jin Bae Kim², T. S. Oh², D. W. Kim², H. S. Kim²,

¹Seoul University of Venture and Information, ²CEBT Co. Ltd., ³Sun Moon University.

Abstract : A miniaturized electrostatic column consists of a set of scan-deflector and lens components. Electrical noises of scan-deflectors have been classified by the applied voltage, and analyzed the noise effects of electron beam passing through the deflectors.

Key Words : Electron beam, beam spot, sample current, SEM

1. 서론

초소형 정전기 전자컬럼의 편향계(deflector) 구동을 위해 편향판의 제어전압에 유기되는 잡음을 종류별로 분류하고 전압에 포함된 잡음이 편향판을 통과하는 전자빔에 주는 영향을 예상하여 모의실험을 통하여 그 영향을 분석하였다.

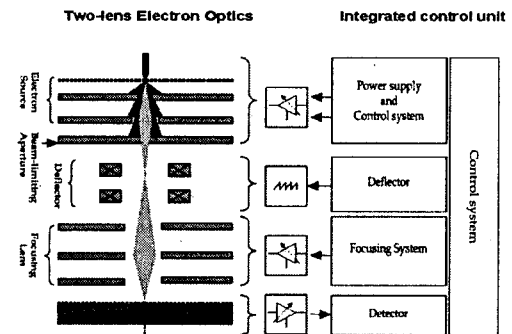
2. 제어용 전압의 잡음

초소형 전자컬럼구조는 전자현미경과 리소그라피를 위하여 많은 연구가 진행되고 있다[1]. 초소형 전자컬럼에서 전자빔의 제어에 정전기장을 사용하기 때문에, 전자렌즈계와 편향계에 인가되는 전압에 포함된 잡음은 전자빔의 제어에 많은 영향을 주고 있다.

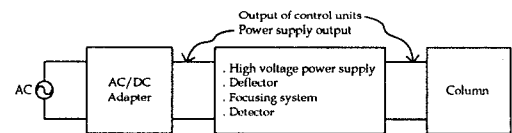
전자컬럼과 전압제어계는 [그림 1]과 같이 구성되어 있다. 전자컬럼에는 전자를 방출하는 팁이 있으며, 팁에서 방출된 전자빔을 항상 일정하게 유지하고 제한하기 위한 제어렌즈계가 있다. 또한 방출된 전자빔을 원하는 지점으로 제어하여 스캔 할 수 있는 편향계가 있으며, 편향된 전자빔을 한 점에 모이도록 하는 집속렌즈계가 있다. 전자컬럼에서 이러한 각각의 구성품에 적절한 전압이나 전류를 공급하기 위하여 각각 제어계를 두고 있다.

전자컬럼을 구동하기 위해 인가되는 전압은 전자 방출을 위한 방출전압과 방출된 전자빔의 제어에 사용되는 제어전압으로 구분할 수 있다. 방출전압으로는 팁에 공급되는 팁전압과 팁에서 방출된 전자빔을 제한하는 제한전압이 있으며, 제어전압으로는 편향계의 편향판에 공급되는 편향전압과 방출된 전자를 한곳으로 모아주는 집속전압이 있다.

전자컬럼에 공급되는 전압들(팁전압, 제한전압, 편향전압, 집속전압)은 [그림 2]와 같이 전원장치(AC/DC adapter)에서 나온 전원을 이용하여 제어회로에서 필요한 전압으로 만들어 전자컬럼에 공급하게 된다. 이 중 편향전압은 전자빔을 측정하고자 하는 위치에 갈 수 있도록 제어하는 역할을 한다. 따라서 편향전압에 잡음이 유입되면 시료에 입사되는 전자빔의 위치가 흔들리게 되어 초점이 불안정해져 결국 시료에 도달하는 전자빔의 도달 영역(beam spot)이 커지게 된다.

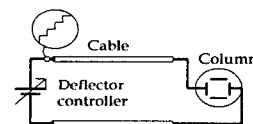


[그림 2] 전자컬럼의 구조와 제어계의 구성

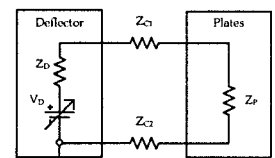


[그림 3] 전자컬럼에 공급되는 전압의 개념도

편향판에 공급되는 전압에 대한 계통도는 [그림 3]과 같이 표시 할 수 있으며, 이의 등가회로는 [그림 4]와 같다. [그림 4]에서 V_D 와 Z_D 는 편향계의 편향판에 공급되는 전압과 그 전압의 내부 임피던스를 의미하고, Z_{C1} 과 Z_{C2} 는 전원공급 케이블의 임피던스로 그 값이 적다. 또한 Z_P 는 편향판의 등가 임피던스인데 편향판에 인가되는 편향전압은 전류는 흐르지 않으면서 전기장을 형성하여 편향판을 통과하는 전자빔의 방향을 제어하여 시료에 조사되는 전자빔의 위치를 결정하여 주는 것이므로 거의 무한한 임피던스를 갖게 된다.



[그림 4] 편향전압의 계통도



[그림 5] 편향전압에 대한 등가회로

편향계의 편향판에 공급되는 제어전압에 포함된 잡음 (Noise)은 외부에서 유기되는 잡음과 백색잡음(white noise) 및 전원잡음으로 구분할 수 있다. 전원잡음은 [그림2]의 전원장치에서 유기되는 잡음이며 편향계의 제어회로에 공급되어 편향판에 영향을 주게 된다. 특히 전원장치가 스위칭 모드를 사용하는 전원 공급장치라면 스위칭 주파수에 동기된 잡음이 유기되어 전원장치의 전압은 식(1) 과 같이 표현된다.

$$V_P(t) = DC + nr(t) \quad (\text{식 } 1)$$

$V_P(t)$ 는 전원장치의 출력 전압, DC 는 전원장치의 출력 직류전압, $nr(t)$ 는 전원장치의 출력에 섞여 있는 잡음이다. 그리고 편향계에 공급되는 제어전압은 다음 식(2) 와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} V_C(t) &= V_D + n(t) \\ &= V_D + A * nr(t) + ne(t) + nw(t) \end{aligned} \quad (\text{식 } 2)$$

$V_C(t)$ 는 편향계 제어장치에 공급되는 제어 전압, V_D 는 원하는 편향계 제어장치의 출력 전압, $n(t)$ 는 편향계 제어장치의 출력 전압에 포함된 잡음, A 는 전원장치의 출력에 섞여 있는 잡음과 편향계 제어장치의 출력에 포함된 잡음의 비례상수, $nr(t)$ 는 전원장치에서 인가된 잡음, $ne(t)$ 는 편향계 제어장치와 전자컬럼 주변의 잡음, $nw(t)$ 는 열잡음에 의한 백색잡음 등이다.

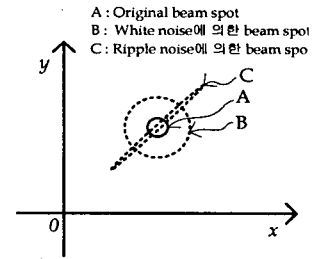
식(2)에서 $nr(t)$ 는 전원장치에서 유기되는 잡음으로 편향계 제어장치 회로를 거치며 그 크기가 변화하게 된다. 편향계에서 편향판 사이의 전원공급 케이블에 유기되는 외부의 잡음($ne(t)$)은 Z_D 를 통하여 접지로 흡수되어 그 영향이 적다. 물론 강력한 서지(surge) 전압인 경우는 예외이다. 편향계 제어장치와 전원공급 케이블에서 유기되는 백색잡음 $nw(t)$ 는 전자의 불규칙한 운동에 의한 것으로 편향판에 공급되는 전압에 나타나게 되어 편향판을 통과하는 전자빔에 영향을 주게 된다.

3. 잡음에 따른 전자빔의 영향

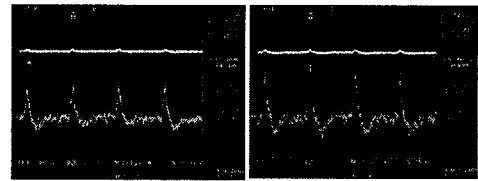
식(2)에 존재하는 백색잡음 $nw(t)$ 은 편향계에 공급되는 제어 전압을 x축과 y축에 독립적으로 변화를 주게 되어 [그림 5]에서 A위치에 있던 전자빔의 도달영역을 B영역과 같이 넓어지게 만든다. 또한 $nr(t)$ 는 전원장치에서 유기되는 잡음으로 편향계에 공급된 제어전압에 주기적으로 변화를 주게 하는데 모두 동기를 맞추어 변화하므로 C와 같이 시료에 도달하는 전자빔에 영향을 주게 된다.

편향판에 공급되는 전압에 포함되어 있는 잡음의 영향을 분석하기 위하여 전자컬럼에 공급되는 전압의 잡음을 측정하였다. [그림7]에서 전원장치에서 인가된 스위칭 잡음은 편향판의 x(+)-단자와 y(+)-단자에서 주기적으로 나타나는 전압으로 각각 12mV와 20mV, 백색잡음은 각각 2mV와 3mV로 측정되었다.

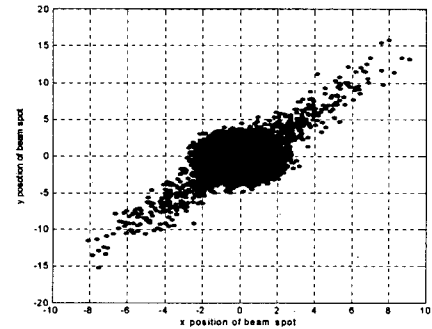
[그림7]의 측정된 결과를 가지고 편향판을 통과하는 전



[그림 5] 식(2)에 근거한 전자빔이 도달하는 영역의 개념도



[그림 7] 편향판에 공급되는 전압의 잡음 측정



[그림 8] 편향판에 공급되는 전압에 포함된 잡음이 전자빔의 도달 영역에 주는 영향 (전자빔의 초점크기는 실험을 위하여 0으로 가정하였으며, x와 y의 위치는 전압의 잡음에 대한 상대적인 위치이다).

자빔이 시료에 도달하는 위치를 그려보면 [그림8]과 같다.

전자빔은 이상적으로 잡음이 없는 경우 한 점에 그 초점이 형성될 수 있으나 백색잡음이 인가되는 경우 [그림7]의 가운데 부분과 같이 전자빔의 초점이 흔들리는 효과를 갖는다. 반면 전원장치에 의한 스위칭 잡음은 편향판의 x와 y의 양 축에 인가되는 편향전압에 동기되어 유기되므로 [그림7]에서 볼 수 있듯이 전자빔이 45도 각도로 펼쳐지는 효과를 낳는다.

4. 결론

전자컬럼에서 집속된 전자빔은 스캔을 위하여 편향판에 공급되는 제어전압에 유입된 잡음의 영향을 받아 흔들리게 되어 전자빔이 시료에 도달하는 영역이 넓어지게 되므로 결국 전자빔의 유효직경이 커지게 된다.

참고 문헌

- [1] "Optimization of electrostatic lens systems for low-energy scanning micro-column applications", T. S. Oh, et al., J. Vac. Sci. Technol. A, 26(6), 1443-1449, 2008.