정전기 전자 렌즈의 특성연구

Study of electrostatic electron lens

김영철, 김대욱, 안승준, 김호섭*
선문대학교 신소재과학과/차세대 반도체 기술연구소
(330-150) 충남 아산시 탕정면 갈산리 100
*hskim3@sunmoon.ac.kr

광학 렌즈가 빛의 경로에 영향을 주는 것처럼 전자 렌즈는 전자들의 궤적에 영향을 준다. 광학 렌즈의 효과와 전자 렌즈의 효과는 유사성이 매우 높으며 광학에서 사용하는 용어를 전자광학에서 그대로 쓸 뿐만이 아니라 이미 잘 알려져 있는 광학 렌즈에 대한 원리를 전자렌즈 연구에 활용하고 있다.[1-2] 이러한 유사성에도 불구하고 빛과 전자 그리고 광학 렌즈와 전자 렌즈 사이에는 근본적으로 다른 점이 있기 때문에 전자 렌즈에 대한 체계적인 연구가 요구되고 있다. 전기장으로 구동되는 초소형 전자 렌즈의 특성을 FCM 방식의 simulation tool을 이용하여 연구하였다.

일반적으로 전자 렌즈는 전기장을 이용한 정전기 렌즈와 자기장을 이용한 자기 렌즈로 구분된다. 이러한 렌즈에서 중요한 인자는 peak field이다. 자기 렌즈에서 발생되는 자기 peak field는 $E_m = \frac{\sqrt{V_0}}{\sqrt{\omega_m f}}$이고, 정전기 렌즈에서 전기 peak field는 $E_e = \frac{V_0}{\sqrt{\omega_e f}}$이다. 여기서 V_0는 전자 에너지, f는 focal length, 그리고 ω_m과 ω_e는 각각 axial 방향의 자기장과 전기장 분포 폭이다. 초소형 전자렌즈에서는 peak field가 최대 값을 유지하며 렌즈구조를 소형화화 하는 것이 필요하다. 전자렌즈의 구조를 1/N 으로 축소되기 위해서는 자기 peak field가 $\sqrt{N}$배 커져야만 하는 반면 전기 peak field가 증가 없이 소형화된 구조의 적용할 수 있다.

그림 1 (a)는 광학 볼록 렌즈에 의하여 빛이 집속되는 것을 보여 주고 있고, 그림 1 (b)는 전자 렌즈에 의하여 전자들 (전자빔)이 집속되는 것을 보여주고 있다. 광학 렌즈에 있어서는 빛이 굴절률이 다른 매질을 통과하면서 굴절 또는 집속되지만 전자 렌즈의 경우 동일한 매질에 형성된 전위차에 의해 전자빔이 굴절된다. 광학 렌즈는 일정한 굴절률을 갖는 단일 물질로 이루어져서 렌즈 내에서 빛의 속력이 일정하지만 전자 렌즈는 등전위면의 곡률이 연속적으로 변하여 전자가 렌즈를 통과하며 연속적으로 속력의 변화를 겪게 된다.

일반적으로 전자 렌즈의 구조는 두개 이상의 실린더형 전극 판으로 구성되어있다. 각 전극에 전압을 인가함으로써 전극판 사이에 전기장을 형성하여 전자빔의 운동을 제어한다. 특히, 그림 1(b)와 같이 세 개의 전극으로 구성되고, 양 끝 전극에 동일한 전압을 인가하여 렌즈를 통과하는 전자의 에너지가 입사할 때와 통과 후에 일정하게 유지하도록 설계된 전자렌즈를 Einzel lens라고 한다.[3-6]

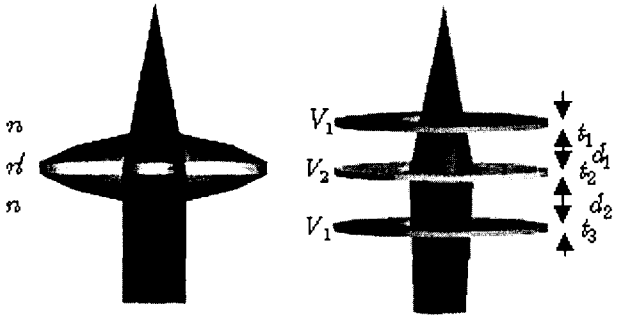

그림1 (a) 광학렌즈 (b) 전자렌즈

전자렌즈의 양끝 전극과 중앙 전극에 서로 다른 전압을 인가하면, 렌즈 내의 공간에 전위차가 발생한다. 각 전극의 중앙에는 열린 홀이 있어 이곳의 전

위 분포(등전위선)는 곡선이 된다. 등전위선들의 간격과 곡률은 인가한 전압과 구조에 따라 결정된다. 전자렌즈를 통과하는 전자들의 궤적은 전위분포에 의해 결정 된다.

그림 1(b)와 같이 전기장으로 구동되는 초소형 전자 렌즈의 특성을 FCM 방식의 simulation tool을 이용하여 연구하였다.

그림2는 전자렌즈의 중앙전극에 V=-685V ($y=0$)의 전압을 양끝 전극에 0V($y=\pm 250$)를 인가하여 계산된 (a) 등전위선 (b) field strength (c) 전자빔 궤적을 보여주고 있다. 전자 렌즈 내에서 포텐셜이 연속적으로 변하고 field strength는 방향과 세기가 위치에 따라 변화됨에 따라 전자렌즈의 특성에 많은 영향을 나타내는 것을 볼 수 있다. 이에 따라 전자렌즈를 통과하는 전자들은 변화하는 힘에 의해 궤적이 변화되는 것을 보여주고 있다.

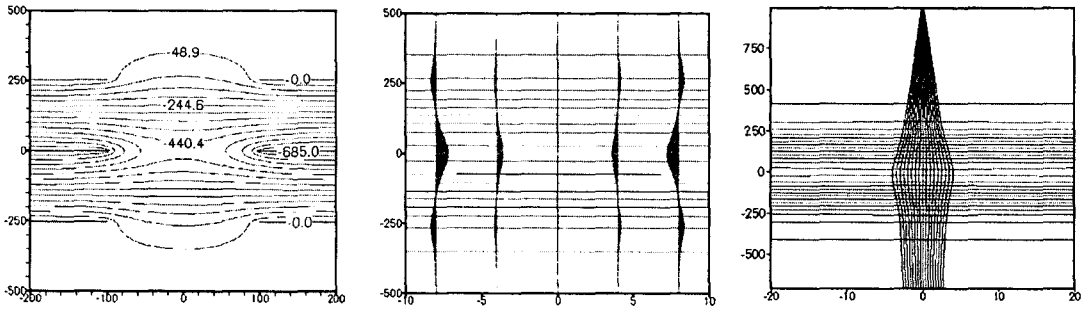

그림 2. 정전기 전자렌즈의 (a) 등전위선 (b) field strength (c) 전자빔 궤적

본 연구에서는 전자렌즈에 인가하는 전압에 따른 렌즈의 등전위선, field strength, 전자빔 궤적 등의 특성을 논의하도록 한다.

참고 문헌

1. Miroslav Sedlacek, *Electron Physics of Vacuum and Gaseous Devices* (JOHN WILEY & SONS, INC., New York, USA, 1996), Chapter 4.

2. P. W. Hawkers and E. Kasper, *Principles of Electron Optics* (ACADEMIC PRESS, San Diego, USA, 1989), Vol. **1,2**.

3. H. S. Kim, M. L. Yu, U. Staufer, L. P. Muray, D. P. Kern, and T. H. P. Chang, *J. Vac. Sci. Technol.* B Vol. **11**, no. 6, pp. 2327-2331, 1993.

4. M. L. Yu, B. W. Hussey, H. S. Kim, and T. H. P. Chang, *J. Vac. Sci. Technol.* B Vol. **12**, no. 6, pp. 3431-3435, 1994.

5. D. Kratschmer, H. S. Kim, M. G. R. Thomson, K. Y. Lee, S. A. Rishton, M. L. Yu, and T. H. P. Chang, *J. Vac. Sci. Technol.* B Vol. **12**, no. 6, pp. 3503-3507, 1994.

6. D. Kratschmer, H. S. Kim, M. G. R. Thomson, K. Y. Lee, S. A. Rishton, M. L. Yu, and T. H. P. Chang, *J. Vac. Sci. Technol.* B Vol. **13**, no. 6, pp. 2498-2503, 1995.