

초소형 전자 렌즈의 전자 광학적 분석

김호섭 · 김대욱 · 김영철†

선문대학교 신소재과학과/차세대 반도체 기술연구소
Ⓣ 336-708 충남 아산시 탕정면 갈산리 100번지

최상국 · 김대용

한국 전자통신 연구원
Ⓣ 305-350 대전광역시 유성구 가정동 1611번지
(2003년 1월 8일 받음, 2003년 3월 24일 수정본 받음)

FCM(Fast moving least square reproducing kernel point collocation method) 방식의 simulation tool을 이용하여 전기장으로 구동되는 초소형 전자 렌즈의 구동 특성을 조사·분석하였다. Einzel 렌즈의 retarding mode와 accelerating mode 구동에서 포텐셜 분포는 유사하지만, electric field strength는 서로 다른 방향을 갖게 되어 서로 다른 형태의 전자 궤적을 보인다. 동일한 working distance에서 accelerating mode로 구동되는 전자렌즈는 retarding mode로 구동되는 경우보다 매우 높은 focusing 전압을 필요로 한다.

주제어 : Einzel lens, microcolumn, electron beam, resolution.

I. 서 론

광학 렌즈가 빛의 경로에 영향을 주는 것처럼 전자 렌즈는 전자의 궤적에 영향을 준다. 광학 렌즈의 효과와 전자 렌즈의 효과는 각각 빛과 전자빔을 제어하는 방식에 있어서 유사성이 매우 높으며, 광학에서 사용되는 용어를 전자광학에서 그대로 사용할 뿐만 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.

전자 렌즈가 전자 등의 전하를 띤 입자에 미치는 효과에 대한 근본적인 이해는 전자빔 장치의 설계 및 구동을 위하여 필수적인 선결 요건이다. 특히, 소형 전자현미경(SEM), 차세대 전자빔리소그라피 등 많은 분야에서 응용 될 수 있는 초소형 전자빔 시스템을 설계하고 성능을 향상시키기 위해서는 전자 렌즈가 전자빔의 궤적에 미치는 효과를 고찰하는 것이 필수적이다.

일반적으로 전자 렌즈는 전기장을 이용한 정전기 렌즈와 자기장을 이용한 자기 렌즈로 구분된다. 이러한 렌즈에서 중요한 인자는 peak field이며, 자기 렌즈에서 발생하는 자기 peak field는

$$E_m = \frac{\sqrt{V_0}}{\sqrt{\omega_m f}} \quad (1)$$

이고, 정전기 렌즈에서 전기 peak field는

$$B_m = \frac{V_0}{\sqrt{\omega_e f}} \quad (2)$$

이다. 여기서 V_0 는 전자 에너지, f 는 focal length, 그리고 ω_m 과 ω_e 는 각각 axial 방향의 자기장과 전기장 분포 폭이다. 초소형 전자렌즈에서는 peak field를 전자궤적 제어에 충분한 일정한 값을 유지하며 렌즈구조를 소형화하는 것이 필요하다. 만일 전자렌즈의 구조의 크기를 $1/N$ 으로 축소하면 전자 에너지 (V_0), focal length(f), 그리고 자기장 또는 전기장 분포 폭(ω_m 또는 ω_e) 등의 크기가 대략 $1/N$ 으로 축소하게 된다. 따라서 자기렌즈의 경우에는 전자렌즈의 크기를 $1/N$ 으로 축소하면 peak field가 식 (1)에 따라 $B_m = B_m \sqrt{N}$ 이 되어야 한다. 다시 말하면, 소형화된 구조에서는 peak field가 \sqrt{N} 배 커져야만 한다는 것을 의미한다. 반면 정전장 렌즈의 경우에는 식 (2)에 따라 peak field가 $E_m' = E_m$ 가 되어서, peak field의 증가 없이 소형화된 구조를 제작할 수 있음을 의미한다.

본 연구에서는 초소형 구조에 적용이 용이한 정전기 렌즈 특성을 고려하여, Einzel 렌즈의 기본 구조 및 렌즈에 인가하는 전압에 따른 포텐셜 및 field strength 등을 전산모사 방법으로 조사하여 렌즈의 구동 특성을 규명하고자 한다.

II. 전자 렌즈의 구조

그림 1(a)는 광학 볼록 렌즈에 의하여 빛이 집속되는 것을 보여주고 있고, 그림 1(b)는 전자 렌즈에 의하여 전자빔이 집속되는 것을 보여주고 있다. 광학 렌즈의 경우 빛이 굴절률이 다른 매질을 통과하면서 굴절 또는 집속되지만 전자 렌즈의 경우 동일한 매질에 형성된 전위차에 의해 전자빔이 굴절된다.

†E-mail: yckim@sunmoon.ac.kr

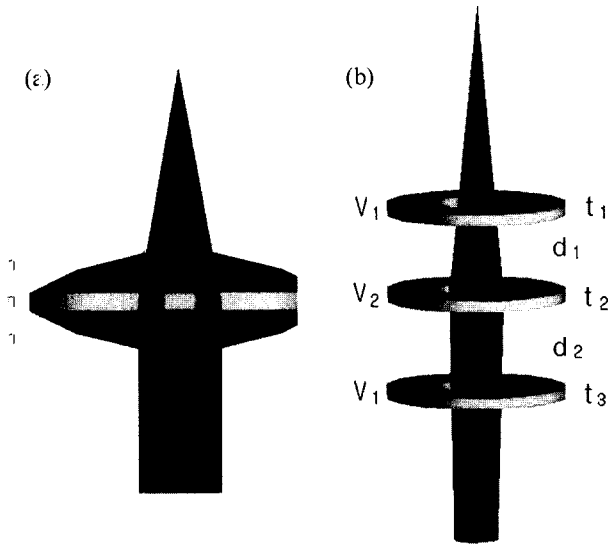


그림 1. (a) 광학 렌즈에 의한 빛의 집속 (b) 전자 렌즈에 의한 전자빔 집속.

광학 렌즈는 일정한 굴절률을 갖는 단일 물질로 이루어져서 렌즈 내에서 빛의 속력이 일정하지만 전자 렌즈는 등전위면의 폭률이 연속적으로 변하므로 전자가 렌즈를 통과하면서 연속적으로 속력의 변화를 갖게 된다.

일반적으로 전자 렌즈의 구조는 두개 이상의 실린더형 전극 판으로 구성되어 있으며, 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 전자 렌즈를 Einzel lens라고 한다.^[3,6] Einzel lens의 양끝 전극에 인가되는 전압을 V_1 , 중앙 전극에 인가되는 전압을 V_2 라 할 때, $V_1 = V_2$ 이면 retarding mode, $V_1 < V_2$ 이면 accelerating mode라 부른다. 여기서는 초소형 구조의 Einzel lens가 retarding mode와 accelerating mode로 작동하며 나타나는 전자광학 현상을 조사하였다. 본 논문에서 고찰한 초소형 렌즈는 전극 두께가 $t = 2 \mu\text{m}$ 의 얇은 박막으로 전극 사이의 간격은 $d = 250 \mu\text{m}$, hole의 지름은 $200 \mu\text{m}$ 으로 하였다. 렌즈에 입사하는 전자들의 에너지는 1000 eV 가 되도록 하였다.

III. 전자렌즈 분석 및 논의

전자렌즈의 양끝 전극과 중앙 전극에 서로 다른 전압을 인가하면, 렌즈 내의 공간에 전위분포가 형성되게 된다. 각 전극의 중앙에는 열린 홀이 있어 이곳의 전위 분포(등전위선)는 곡선이 된다. 등전위선들의 간격과 곡률은 인가한 전압과 구조에 따라 결정되고, 전자렌즈를 통과하는 전자들의 궤적은 전위분포 및 이에 따른 정전기장에 의해 결정된다. 이러한 전위 분포, electric field strength 그리고 전자들의 운동을 FCM^[7] 방식의 simulation tool을 이용하여 계산하였다. 그림 2는 동일한 구조의 전자렌즈에 $V = -685 \text{ V}$ 를 인가한 retarding mode

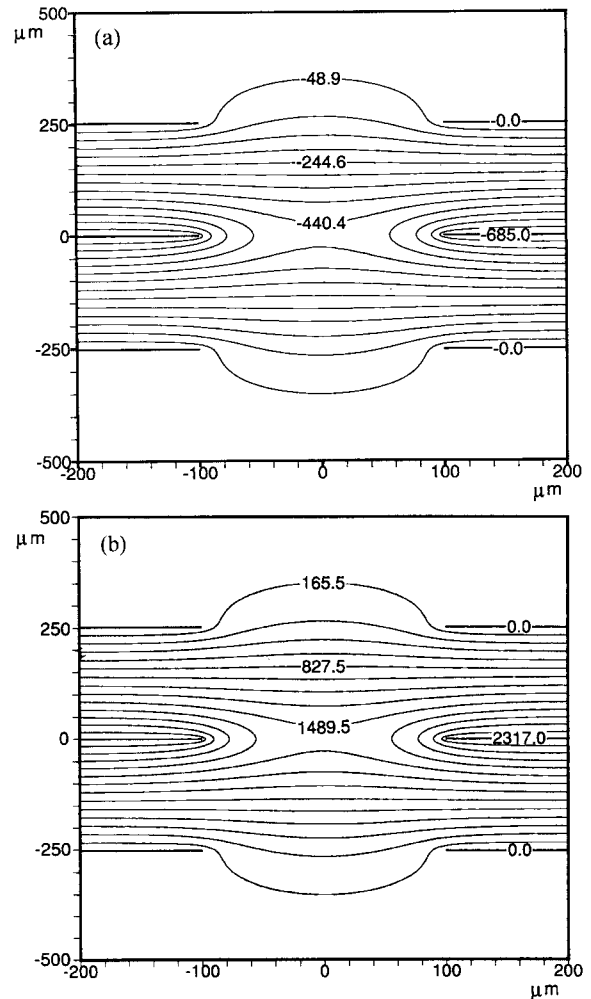


그림 2. 전자렌즈의 등전위선 (a) retarding mode와 (b) accelerating mode.

와 $V = +2317 \text{ V}$ 를 인가한 accelerating mode에서 형성되는 등전위선을 FCM으로 계산한 결과이다. 두 mode에서 등전위선은 유사한 형태를 가지고 있으나 등전위선 사이의 전압차는 accelerating mode가 큰 것을 알 수 있다.

일정한 속력을 가지고 전자렌즈에 입사하는 전자는 렌즈 주변에 분포된 전기장에 의해 속력과 운동 경로의 변화가 발생하며, 이러한 변화는 렌즈의 중앙 전극에 인가하는 전압으로 제어된다. Retarding mode에서 전자의 속력은 렌즈를 통과하는 동안 점차 입사 속력보다 줄어들게 되며 따라서 전자의 운동을 비교적 낮은 전압으로 제어할 수 있는 반면, accelerating mode에서 전자의 속력은 렌즈를 통과하는 동안 점차 증가하여 전자의 운동에너지가 커지게 되므로 전자빔 제어는 상대적으로 고전압에서 가능하게 된다. 그림 3의 (a)와 (b)는 각각 retarding mode에서 전기장을 따라 움직이는 전자궤적 및 이를 광학축 부근에서 확대한 그림이며, (c)와 (d)는 각각 accelerating mode에서의 전자궤적 및 광학축 부근에서 확대된 전자궤적이다. 전자렌즈에서 렌즈의 최종 전극에서부터 전자가 집속되는 지점까지의 거리를 working distance(W.D.)라 정의되는데, 두 mode는 비록 렌즈 중앙 부근에서 다른 형태의 전자

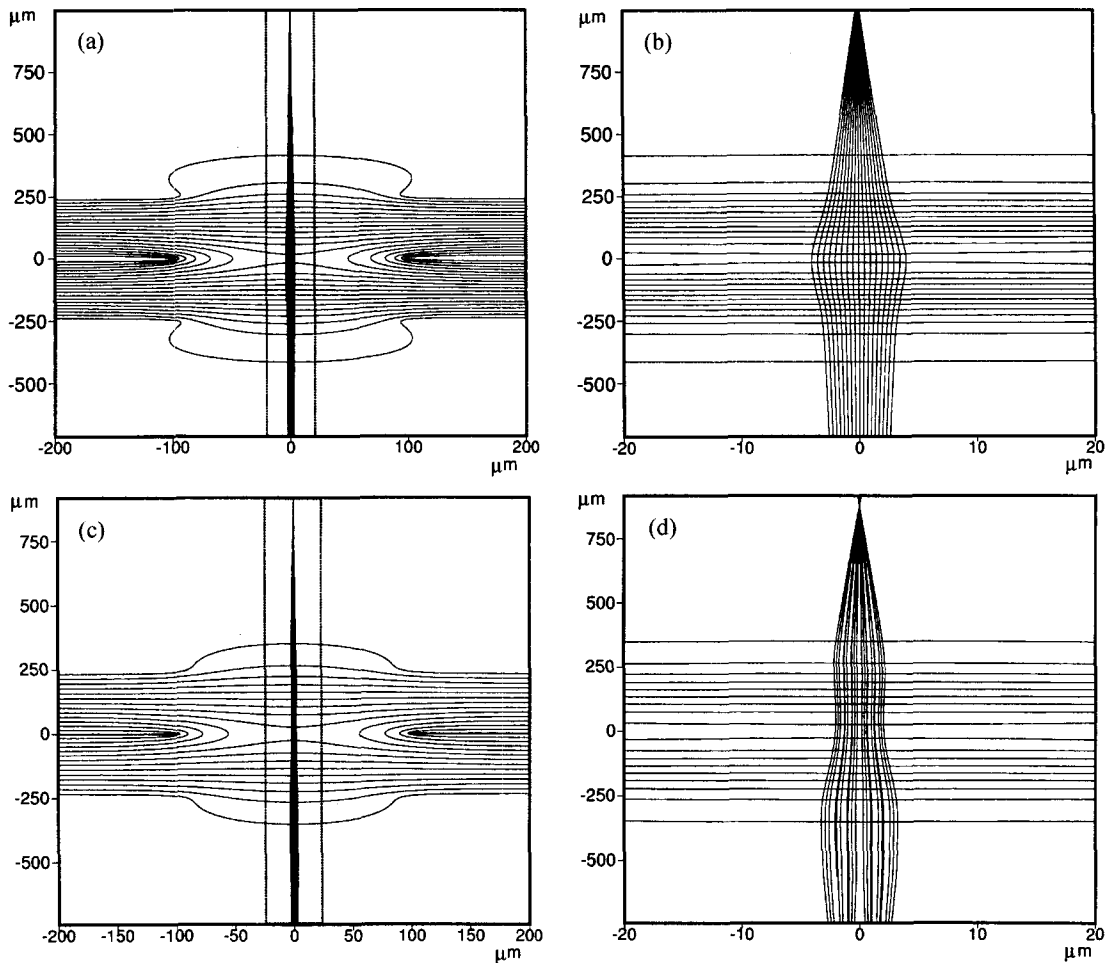


그림 3. (a)전자렌즈의 retarding mode에서의 전자계적, (b) 광학축에서 확대된 전자계적과 (c) accelerating mode의 전자계적, (d) 광학축에서 확대된 전자계적.

계적을 보이고 있으나 W.D. 값은 유사한 값이다($\approx 700 \mu\text{m}$).

그림 3(a)와 (b)는 렌즈의 양단 전극에 $V = 0 \text{ V}$, 중앙에는 $V = -685 \text{ V}$ 가 인가된 retarding mode의 결과이다. 이러한 구조에서 전자가 렌즈에 입사하면 렌즈 중앙까지 이동하는 동안 속력이 감소하고, 중앙을 지나면 가속된다. 전자가 렌즈를 완전히 통과하면서 입사할 때의 속력으로 다시 복원되어 전자는 에너지 변화 없이 렌즈 부분을 지나게 된다. 중앙에서 속력이 감소된 전자는 작은 field strength에 의해서도 큰 영향을 받게 되어 이동 경로의 변화가 일어난다. 이러한 현상은 그림 3(b)에서 명확히 나타나는 바, 가장 볼록한 부분이 렌즈의 중앙 부분으로 이곳에서 전자 계적이 가장 크게 변화하는 것을 볼 수 있다.

그림 3(c)와 (d)는 렌즈의 양단 전극에 $V = 0 \text{ V}$, 중앙에는 $V = +2317 \text{ V}$ 가 인가된 accelerating mode의 결과이다. Accelerating mode의 등전위 분포는 retarding mode와 유사한 모습을 보이고 있으나, 렌즈를 통과하는 전자계적은 다른 양상을 보여 주고 있다. Retarding mode에서와는 정 반대로 전자가 렌즈에 입사하면 중앙 부분까지 가속되고, 중앙 전극을 지나면 감속되어 렌즈를 완전히 통과한 후에는 전자의 에너지는 보존되며, 렌즈의 중앙 부분에서 전자계적이 항아리 모양으로 오목하게

들어간 것을 볼 수 있다.

Retarding mode와 accelerating mode의 전자계적은 렌즈 내의 공간에 분포하는 field strength를 분석하여 예측할 수 있다. 그림 4(a)와 (b)는 각각 렌즈의 광학 축 부근에서 retarding mode와 accelerating mode에 대한 potential의 x 에 대한 미분과 y 에 대한 미분을 벡터로 나타낸 것이다. 즉, $\partial\phi(x, y)/\partial x$ 와 $\partial\phi(x, y)/\partial y = -E_y$ 를 벡터로 나타낸 것이다. 따라서 음의 전하를 가지는 전자는 화살표 방향으로 힘을 받는다. 여기서 ϕ 는 포텐셜이고 E_x 와 E_y 는 각각 포텐셜의 x -미분과 y -미분이다.

Retarding mode의 경우, 그림 4(a)에서와 같이 전자가 렌즈로 입사하면 렌즈의 바깥 방향으로 힘을 받아서 중심 축으로부터 멀어지게 되며, 전자가 렌즈의 중앙 부분에 접근하면 다시 안쪽으로 힘을 받아서 중심 축을 향한 방향으로 이동한다. 렌즈의 중앙 부분에서는 전자의 속력이 최소인 상태에서 field strength가 가장 크게 중심 축을 향한 방향으로 작용하여 x 축 방향의 변화가 가장 크게 나타난다. 중앙 전극을 지난 전자는 다시 중심 축으로부터 멀어지는 쪽으로 힘을 받지만 속력이 커진 상태이고 field strength도 중앙 부분에 비해 약해서 궤도의 변화에는 상대적으로 적게 영향을 받는다. 따라서 전자는 렌즈를 통과하면서 한점으로 집중되게 된다.

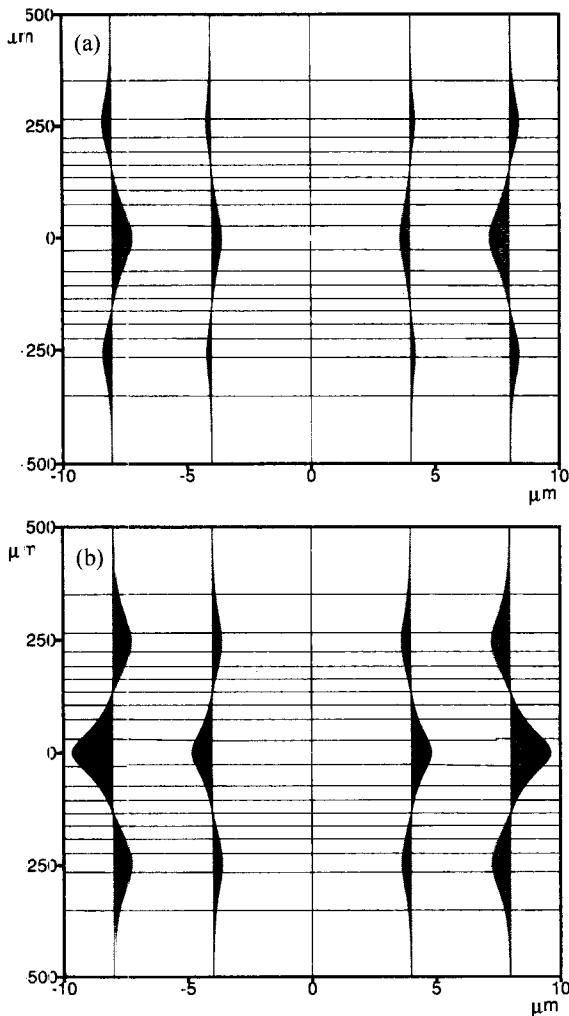


그림 4. (a) retarding mode의 field strength와 (b) accelerating mode의 field strength.

Accelerating mode의 경우는 그림 4(b)과 같이 retarding mode의 field strength와 모양은 비슷하지만 방향이 반대임을 알 수 있다. 전자가 렌즈에 입사하면 중심 축을 향한 방향으로 힘을 받게 되며 중심 축을 향한 방향으로 이동하고, 렌즈 중앙에 접근하면서 중심 축으로부터 멀어지는 쪽으로 힘을 받는다. 이때의 전자는 빠른 속력을 가지고 있어 field strength에 대한 궤적 변화가 상대적으로 작다. Retarding mode에서는 속력이 가장 작을 때 중심 축을 향한 방향으로 힘을 받아 전자들의 집속효과가 극대화되는 반면, accelerating mode에서는 속력이 가장 클 때 바깥 방향으로 힘을 받아 전자들의 퍼짐효과가 극소화되어서 집속된다. 이러한 결과는 전자에 같은 힘이 작용하더라도 속력에 따라 전자궤적에 미치는 영향이 다르게 나타나는 것을 의미한다.

전자의 속력 성분, v_x 와 v_y , 그리고 속력비율을 이용하여 전자 궤적의 변화를 분석하였다. 그림 5(a)는 retarding mode의 근극을 지나는 한 전자의 속도 성분 v_x 와 v_y 그래프이다. 전자는 $v_y = 1.9 \times 10^{13} \mu\text{m/s}$ 의 속력으로 렌즈에 입사하여 렌즈중앙까지의 속력이 감소하여 $v_y = 1.4 \times 10^{13} \mu\text{m/s}$ 의 속력으로 중

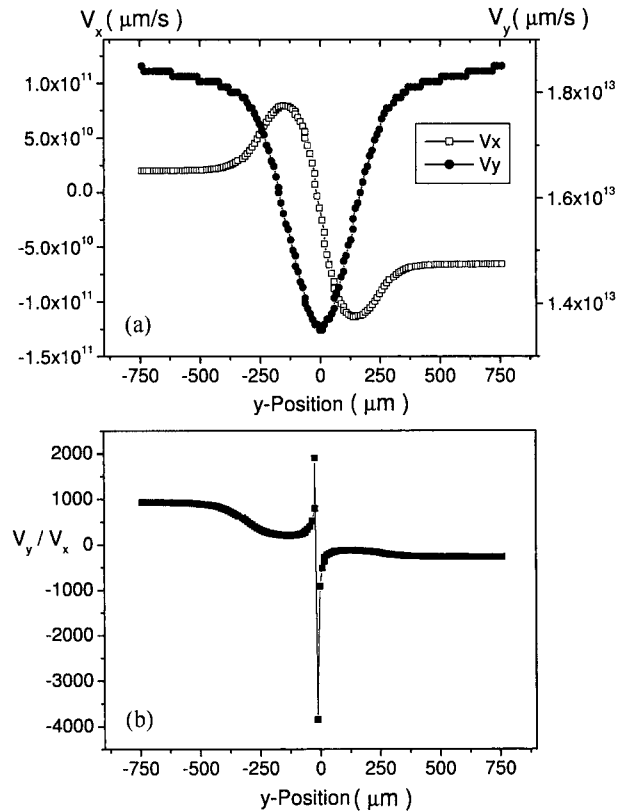


그림 5. (a) retarding mode 속도 성분과 (b) retarding mode의 속도 성분 비율.

앙을 지난다. 중앙 전극을 지나면 속력은 다시 증가하여 다시의 속력으로 렌즈를 빠져나가며, v_y 는 중앙 전극($y=0$)을 중심으로 대칭적인 모습을 보인다. 전자의 x -방향 속도 변화를 보면, $v_x = 2.0 \times 10^{10} \mu\text{m/s}$ 의 속도로 렌즈에 입사하여 첫 번째 전극과 중앙 전극사이에서 최대 속력 $v_x = -1.1 \times 10^{11} \mu\text{m/s}$ 에 이른 후 중앙전극과 말단 전극사이에서 감속하여 $v_x = -1.1 \times 10^{11} \mu\text{m/s}$ 가 된다. 이 지점에서 다시 점차적으로 속력이 증가하여 $v_x = -6.6 \times 10^{10} \mu\text{m/s}$ 으로 최종적으로 Einzel 렌즈를 빠져나간다. x -방향에 대한 전자들의 속력 v_x 는 중앙 전극에 대하여 비대칭적인 모습을 보여주고 있는데, 이것은 전자가 렌즈의 중앙에 접근함에 따라, y -축 방향의 속력 v_y 가 큰 상태에서 바깥쪽으로 빔이 퍼지도록 받는 힘의 효과와 v_y 가 느린 상태에서 안쪽으로 빔이 모이도록 받는 힘의 효과가 다르기 때문이며, 이로부터 렌즈에 입사할 때의 전자빔의 폭보다 렌즈를 빠져나갈 때의 전자빔의 폭이 좁아진다.

그림 5(b)는 retarding mode의 속도 성분비, 즉 v_y/v_x 를 보여준다. 전자 렌즈에 입사하는 전자는 y -방향으로 1000 eV의 에너지($\sim 2.0 \times 10^{13} \mu\text{m/s}$)를 가지고 있어 v_y 는 v_x 에 비교하여 매우 큰 값을 갖는다. 따라서, 그림 5(b)에서 보여 주는 비와 같이 v_y/v_x 는 분자의 값이 크고 분모의 값이 작기 때문에 이 곡선으로 전자의 v_x 의 부호가 바뀌는 위치를 명확히 확인할 수 있다. 즉, 중앙 전극에서 전자의 x -방향 속력의 부호가 바뀌는 것을 알 수 있다.

그림 6(a)는 accelerating mode의 v_x 와 v_y 를 나타낸다. 이

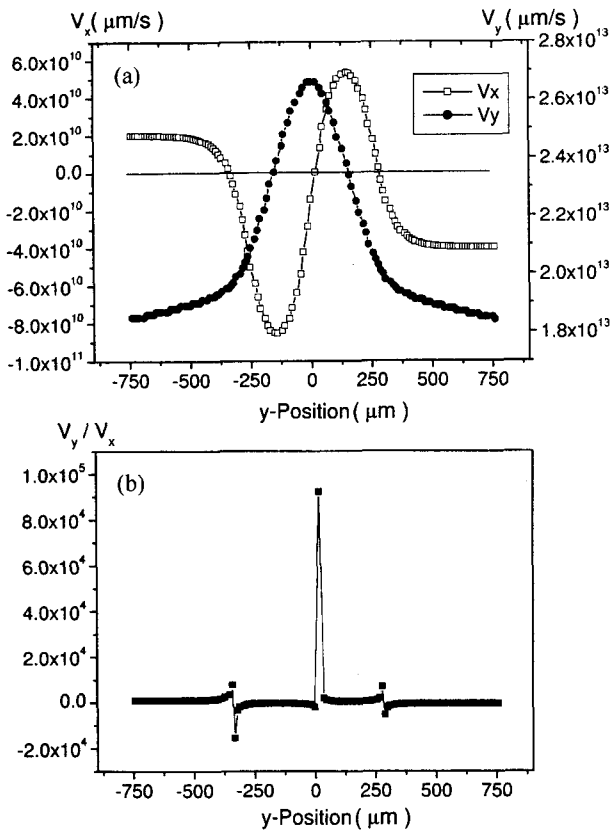


그림 6. (a) accelerating 속도 성분과 (b) accelerating mode의 속도 성분 비율.

경우 역시 렌즈에 입사하는 전자는 y-축 방향으로 1000 eV에 해당하는 속력을 가진다. 전자는 렌즈의 중앙에 이를 때까지 속력이 점차 증가하고 중앙을 지나면서 속력이 점차 줄어든다. 전자는 렌즈에 입사하면서 렌즈 안쪽으로 힘을 받아 빔이 모아지고 렌즈 중앙에 접근하면서 축으로 멀어지는 방향, 즉 바깥 방향으로 힘을 받아 중앙에서 다시 빔이 퍼지게 된다. x-방향에 대한 전자들의 속력 v_x 는 중앙 전극에 대하여 retarding mode와 같이 비대칭적이지만 구체적인 변화는 다른 모습을 보여 주고 있다. 즉, 그림 5(b)에서는 v_x 가 양에서 음으로 한번 변화하는데 반해서 그림 6(b)에서 v_x 는 양에서 음으로 변한 후 다시 양으로 변하고 최종적으로 음으로 렌즈계를 빠져 나간다. 이러한 거동은 그림 3(a)와 (b)에 나타난 전자 궤적의 변화를 설명해 주고 있다. 그림 3(a)에서 전자빔은 단순히 한번 퍼지다가 집속되지만 그림 3(b)에서 전자빔은 먼저 약간 퍼진 후 집속되다가 다시 퍼진 후에 강하게 재집속되는 과정을 거치면서 호리병 모양의 궤적을 그리게 된다. Accelerating mode에서도 전자빔의 x-방향 속력이 렌즈계에 진입할 때 보다 렌즈계를 빠져나갈 때에 더 큰 것을 알 수 있는데 이러한 차이가 전자빔의 집속을 효과적으로 이루어지게 하는 요인이다. 이것은 전자가 렌즈의 중앙에 접근함에 따라, y-축 방향의 속력 v_y 가 작은 상태에서 안쪽으로 빔이 모아지도록 힘을 받고, 중앙 전극에 가까워지면서 v_y 가 입사할 때에 비해 커진 상태에서 바깥쪽으로 빔이 퍼지도록 힘을 받는다. 따라서 렌즈에 입사할 때의 전자빔의 폭보다 렌즈를 빠져나갈 때의 전

자빔의 폭이 좁아진다.

그림 6(b)는 accelerating mode의 속도 성분비를 보여 준다. Retarding mode에서와 마찬가지로 v_y 가 v_x 에 비해 매우 크고, v_y/v_x 는 세 곳에서 급격히 변하는 것을 볼 수 있다. 그 세 점이 바로 v_x 의 부호가 바뀌는 점이다.

주목할 점은 같은 W.D.를 갖는다면 Einzel 렌즈를 accelerating mode로 구동하는 경우에 전자빔의 spot size가 retarding mode로 구동하는 경우에 비해 작아서 분해능이 개선되는데, 그 이유는 렌즈를 통과해 나오는 전자빔의 폭이 accelerating mode일 때 더 작기 때문이다. 왜냐하면 accelerating mode의 전자 렌즈는 전자빔을 먼저 모아주기 때문에 전자빔의 size가 렌즈에 입사할 때 보다 항상 작다. 따라서 분해능을 개선하기 위해서는 retarding mode 보다 accelerating mode가 효과적이지만 고전압에서 제어해야 하는 단점이 있다. Retarding mode와 accelerating mode의 집속 전압의 절대값이 같은 경우, accelerating mode로 동작한 경우가 W.D.가 크다. 그 이유는 accelerating mode와 retarding mode의 전자의 궤적을 비교해 보면(그림 3(b)와 (d)), retarding mode 일 때의 축 방향에 대한 기울기가 커서 전자빔의 집속이 더 효과적이기 때문이다. 이는 전자의 속력과 밀접한 관계가 있는데, retarding mode에서 전자의 속력이 느려서 field strength에 의한 효과가 상대적으로 크기 때문이다.

IV. 결 론

FCM 방식의 simulation tool을 이용하여 전기장으로 구동되는 초소형 전자 렌즈의 구동 특성을 조사·분석하였다. 전자 렌즈 계에서 전자에 작용하는 힘은 렌즈의 축 방향으로 위치에 따라 연속적으로 변화하며, 이에 따라 전자의 속력은 연속적으로 변화하게 된다. 이는 광학에서 굴절률이 연속적으로 변하는 매질을 통과하는 효과와 같으며, 이로 인하여 전자렌즈는 광학렌즈와는 다른 특성을 보인다.

Einzel 렌즈의 retarding mode와 accelerating mode 구동을 분석한 결과, 포텐셜 분포는 유사하지만 electric field strength는 서로 다른 방향을 갖게 되어 각각의 경우에 서로 다른 형태의 전자 궤적을 보이는 것으로 나타났다.

Retarding mode에서는 일회의 퍼짐과 집속이 이루어지고, 저전압 구동이 가능하지만 집속된 전자빔의 spot size는 상대적으로 큰 것으로 나타났다. Accelerating mode에서는 전자빔이 퍼짐과 집속이 2회 반복되는 궤적을 그리고, 집속된 전자빔의 크기가 작아 분해능은 우수하지만 W.D.는 상대적으로 크며, retarding mode로 구동되는 렌즈와 동일한 W.D.를 가지려면 retarding mode에 비해 2배 이상의 focusing 전압이 요구되었다.

따라서, 전자빔 microcolumn과 같이 초소형화된 저에너지 전자빔원을 제작하여 제어하고자 할 때에 고분해능이 요구되는 경우에는 accelerating mode로 동작하는 것이 바람직하지만, 저전압 구동 측면에서는 retarding mode로 동작시키는 것이 유리할 수 있다. 그러므로 사용 목적에 따른 구동 방식의 선택과 최적 분해능을 구현할 수 있는 구조 연구가 선행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [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, "Oxygen processed field emission tips for microcolumn applications," *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, "Emission characteristics of ultrasharp cold field emitters," *J. Vac. Sci. Technol. B* vol. 12, no. 6, pp. 3431-3435, 1994.
- [5] E. Kratschmer, H. S. Kim, M. G. R. Thomson, K. Y. Lee, S. A. Rishton, M. L. Yu, and T. H. P. Chang, "Sub-40 nm resolution 1 keV scanning tunneling microscope field-emission microcolumn," *J. Vac. Sci. Technol. B* vol. 12, no. 6, pp. 3503-3507, 1994.
- [6] E. Kratschmer, H. S. Kim, M. G. R. Thomson, K. Y. Lee, S. A. Rishton, M. L. Yu, and T. H. P. Chang, "An electron-beam microcolumn with improved resolution, beam current, and stability," *J. Vac. Sci. Technol. B* vol. 13, no. 6, pp. 2498-2503, 1995.
- [7] D. W. Kim and Y. Kim, "Point collocation methods using the fast moving least-square reproducing kernel approximation," *Int. J. Numer. Meth. Engng.*, vol. 56, pp. 1445-1464, 2003.

Electro-optical analysis of a miniaturized electrostatic electron lens

Ho Seob Kim, Dae-Wook Kim, and Youngchul Kim[†]

Dept. of Physics and Advanced Material Science, and Center for Next Generation Semiconductor Technology, Sun Moon University, ChungNam 336-708, KOREA

[†]*E-mail: yckim@sunmoon.ac.kr*

Sang-Kuk Choi and Dae-Yong Kim

ETRI, Doryong, Yuseong, Daejeon 305-350, KOREA

(Received January 8, 2003, Revised manuscript March 8, 2003)

The analysis of operation characteristics of a miniaturized electrostatic electron lens system called an Einzel lens was performed using a simulation tool of FCM method. The potential distributions of Einzel lenses operated both in retarding and accelerating modes show similar features. But the electric fields determined from the potential distributions show opposite directions, which results in different features in the electron beam trajectory in each mode of operation. For the same working distance, focusing voltage in the accelerating mode is higher than that in the retarding mode.

OCIS Codes : 230.2090, 10.3960.