

표면전도 전자방출 표시장치의 전자방출 구조 해석

김영삼 · 김영권 · 오현주 · 조대근 · 길도현 · 김대일 · 강준길* · 강승언 · 최은하 · 조광섭

광운대학교 전자물리학과/PDP연구센터
*광운대학교 전자공학부
(1999년 3월 27일 접수)

Analysis of electron emission mechanism in surface conduction electron emission displays

Young Sam Kim, Young Guon Kim, Hyun Ju Oh, Dai Geun Joh, Doh Hyun Gill,
Dae Il Kim, June Gill Kang,* Seung Oun Kang, Eun Ha Choi, and Guangsop Cho

Department of Electro-Physics, Kwangwoon University
*Division of Electronic Engineering, Kwangwoon University
447-1, Wollgye, Nowon, Seoul, Korea, PDP Research Center
(Received March 27, 1999)

요 약 - 표면전도 전자방출 표시장치의 표시면으로 흐르는 표시전류의 근원은 음극 표면에서 방출된 전자의 관성력에 의한 것임을 전자 운동 궤적의 계산을 통하여 확인하였다. 마이크로 이하의 전극 간격을 갖는 공면 전극구조에서 음극의 가장자리 면에서 전자의 터널링에 의하여 방출된 대부분의 전자는 동일면상의 양극 쪽으로 면전류가 흐르며, 약 10^{-3} 의 비율로 표시면의 양극 쪽으로 표시전류가 흐른다. 이때의 표시전류는 표면의 양쪽 가장자리면 사이의 전기장의 굴곡에 의한 원심력에 의하여 표시면으로 방출되는 전자이다.

Abstract - It is confirmed that the cause of anode current in SEDs (surface conduction electron emission displays) is the inertial force of electron emitted from the cathode surface in the calculation of electron trajectory. In the fissure of sub-micron, most of electrons emitted from the area of the cathode edge flow into the coplanar anode, while some electrons are emitted into the display surface by the current ratio of 10^{-3} . The later electrons are forced to fly into the display surface by the centrifugal force due to the curved electric field between top side surfaces near the fissure.

1. 서 론

평판표시장치(FPD: flat panel display)의 연구가 새로운 기술산업의 분야로서 각광을 받고 있다. 그 중에서 냉음극 전자 방출에 의한 표시장치로는 FED(field emission display) [1, 2]와 SED(surface conduction electron emission display) [3-6]가 있다. FED는 제조 공정이 어렵고 또한 대화면화가 불가능하다. 최근에 Cannon사는 FED와 같은 원리의 냉음극 방출에 의한 SED (surface conduction electron emission display)를 속속 선보이고 있다. Prototype의 3.1인치 단색 SED에 이어서 최근에는 10인치의 완전 칼라를 제작하였다. 그리고

2000년 초에는 40인치 급의 대화면 SED를 출시할 계획으로 알려지고 있다. 캐논사의 SED는 전극과 배선 및 절연층들을 모두 인쇄기법으로 제작한다. 전자의 전계 방출을 위한 구동 전압이 16 V의 낮은 전압으로 구동되며, 전자의 가속을 위하여 표면의 양극에 수 kV의 전압을 인가하여 기존의 브라운관에서 사용하고 있는 CRT의 형광관을 그대로 사용하여 화면을 구성한다. SED의 가장 핵심부는 PdO의 초미립자막의 형성이다. 이러한 초미립자막의 균열로 10 nm의 틈이 형성되며, 이로부터 전자가 방출된다. 캐논사(Cannon Co.)는 Bubble Jet Head를 이용하여 인쇄기법으로 이를 형성한다. SED의 표시면으로 흐르는 전자의 방출 원리를 전자의 산란으

로 설명하고 있다 [3-6]. 즉, 초미립자막의 갈라진 틈의 한쪽 내음극으로부터 터널링에 의해 전자가 방출되면 다른 쪽 전극(collector)의 표면에서 전자의 다중산란으로 수 kV가 인가된 표시면 전극(anode)으로 표시전류(anode current)가 흐르는 것으로 설명하고 있다. 그러나 SED의 전자 방출원리에 대한 이러한 해석은 다소의 문제점이 있다. 10 eV의 에너지를 갖는 전자가 다중 산란으로 전극면에서 수 μm 의 거리를 산란을 통하여 이동하여 표시면의 양극(anode) 쪽으로 전계가 바뀌는 지점까지 비행한다는 것은 확실하지 않다.

본 연구는 SED의 전극구조에서 전자 방출과 전자운동의 관성력에 의한 전자 궤적을 통하여 전자 방출 원리를 규명한다.

2. 표면전도 전자방출 전극 구조의 전기장 해와 전자 궤적

SED는 동일면상에 전극간격이 매우 작은 10 nm 간격의 양극과 음극이 있고 표면으로부터 수 mm 높이의 표시면에 또 다른 양극이 있는 3전극 구조이다. 캐논사의 SED는 방출 전극막의 두께가 10 nm인 초미세막에 전극간격 10 nm의 균열 틈이 형성되고 표면의 두 전극에 약 16 V의 전압이 인가되어 전자가 방출된다. 그리고 수 mm 높이의 표시면에 수 kV를 인가하여 표면에서 방출하는 전자의 일부가 표시면으로 가속되어 표시면의 형광체를 발광하는 방식의 표시장치이다.

이러한 3전극 구조에 대하여 유한미분법(FDM; finite difference method)을 사용하여 Laplace 해를 구하고 이로부터 전기력선과 전자의 궤적은 다음과 같은 방법으로 계산한다.

전자가 음극에서 방출된 후 작은 속력을 갖는 초기에는 전기력선을 따라서 비행한다. 그러나 전기력선의 형태가 직선이 아니고 상당한 곡률을 갖는 경우에는 전자가 받는 관성력에 의하여 전기력선의 궤도를 벗어나게 된다. 즉, 전자가 전기력에 의하여 가속되어 속력이 커지면 작은 곡률을 갖는 전기력선을 따라 운동할 때 강한 원심력을 받는다. 따라서 이들을 고려한 전자의 (x, y) 좌표에서의 운동방정식은

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -eE_x + \frac{mv^2}{R} (-\hat{E}_\perp \cdot \hat{x}) \quad (1)$$

$$m \frac{d^2y}{dt^2} = -eE_y + \frac{mv^2}{R} (-\hat{E}_\perp \cdot \hat{y}) \quad (2)$$

이다. E_x 와 E_y 는 전자 위치의 각 방향의 전기장의 세기이며, mv^2/R 는 전자의 속력이 v 일 때의 원심력이다. 원심력의 방향은 전자 운동의 접선방향에 수직인 전기장의 수직성분(\hat{E}_\perp)의 반대 방향이다. 각 전자의 위치에서 속력 v 와 전자 운동의 곡률 R 이 달라진다. 그림 1에서 전기력선(a)과 원심력을 고려한 전자 운동의 궤적(b)을 계산하는 방법을 나타내었다. 전자의 속도를 무시한 경우 원심력을 고려하지 않을 때의 전자의 운동은 전기력선을 따라서 비행하게 된다. 이 때는 그림 1-(a)와 같이 x축에 대하여 θ_0 의 각으로 운동하여 A점 (x_0, y_0)에 전자가 도달했을 때, A점의 전기장의 방향에 의하여 편향각 $\Delta\theta_0$ 가 정해진다. 전자의 궤적을 단위 비행거리 l 의 단위로 계산하면, A점에서 전기력선에 의한 B점 (x_{i+1}, y_{i+1})이 정해진다. 이때 B점은

$$x_{i+1} = x_i + l \cos(\theta_0 + l \cos(\theta_0 + \Delta\theta_0)) \quad (3)$$

$$y_{i+1} = y_i + l \sin(\theta_0 + l \cos(\theta_0 + \Delta\theta_0)) \quad (4)$$

로 계산된다. 매우 작은 l 값을 택하여 전기력선을 비교적 정확하게 계산할 수 있다. 그림 1-(b)는 전자의 관성을 고려한 전자궤적에 대한 계산방법이다. A점에서 B점으로 이동할 때의 편향각 $\Delta\theta_0$ 는 A점의 전기장의 방향과 원심력 $f_c = mv^2/R$ 와의 힘의 균형으로 결정된다. 원심력 f_c 와 전자 운동 방향의 접선에 대한 전기력의 수직 성분인 구심력(eE_\perp)과의 평형에 의하여 곡률 R 과 편향각 $\Delta\theta_0$ 가 결정된다. A점의 접선속도 v 는 A점의 potential energy $e\Phi$ 로 주어진다. 따라서 원심력 f_c 는 $mv^2/R = 2e\Phi/R$ 이다. 구심력 eE_\perp 는 A점에서의 전기장의 접선방향에 대한 벡터인 각 $\Delta\theta_e$ 와 A점의 전기장($\vec{E} = -\nabla\Phi$)으로 나타내어지며, E_\perp 는 $|\nabla\Phi| \sin\Delta\theta_e$ 이다. 따라서 $eE_\perp = mv^2/R$ 로부터 곡률 R 은 $R = 2\Phi/|\nabla\Phi| \sin\Delta\theta_e$ 이며 편향각은

$$\Delta\theta_0 = \frac{l |\nabla\Phi| \sin\Delta\theta_e}{4\Phi} \quad (5)$$

이다. 식 (5)의 편향각을 이용하여 식 (3)과 (4)로부터 B점의 위치가 결정된다.

SED의 3-전극구조에 대한 Laplace 해의 등전위 곡선, 전기력선, 그리고 전자의 궤적을 그림 2-4에 각각 나타내었다. 표면 전극간의 전압은 $V_f = 16$ V이고, 상판의 표시면의 양극전압은 $V_a = 6$ kV이다. 표면 전극간의 간격과 균열 틈의 크기는 10 nm이고, 표면과 상판 전극간의 높이는 1 mm이다. 전극 높이에 비하여 전극 간격이

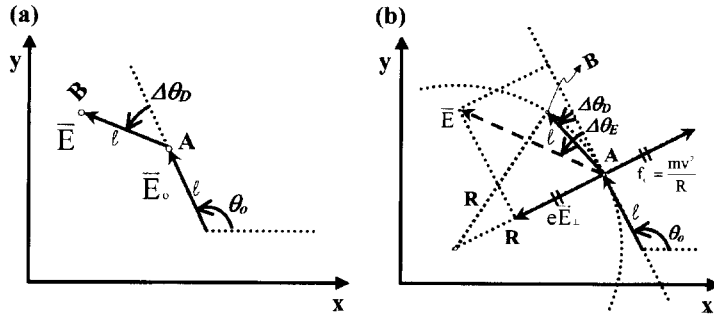


그림 1. 전기력선(a)과 전자의 관성을 고려한 전자의 궤적(b)의 계산 방법이다. 시간에 독립적으로 힘의 방향에 따라서 단위 비행 길이 l 의 단위로 계산한다. 전기력선은 x 축에 대하여 θ_0 의 각으로 운동하여 A점에 전자가 도달했을 때, A점의 전기장의 방향에 의한 편향각 $\Delta\theta_b$ 가 정해진다. 이러한 $\Delta\theta_b$ 에 따라서 단위거리 l 을 비행한 새로운 위치 B가 정해진다(a). 전자의 관성을 고려한 전자궤적은 접선 방향의 전자의 운동이 A점에서 전기력의 구심력(eE_{\perp})과 원심력($f_c = mv^2/R$)에 의하여 편향각 $\Delta\theta_b$ 가 정해지면 단위 비행거리 l 위치의 B점이 정해진다(b).

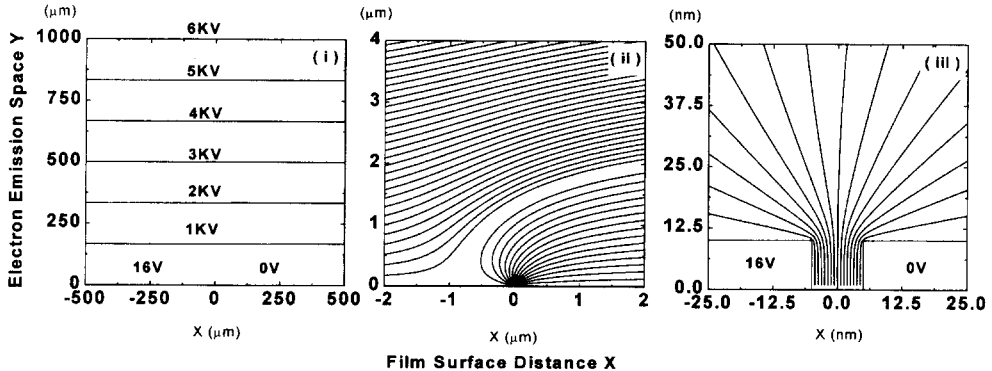


그림 2. SED의 3-전극구조에 대한 Laplace 해의 등전위선이다. 표면 전극간의 전압은 $V_f = 16$ V이고, 상판 표시면의 양극 전압은 $V_a = 6$ kV이다. 표면 전극간의 간격과 균열 틈의 깊이는 각각 10 nm이고, 표면과 상판 전극 간의 높이는 1 mm이다. (i)는 전체 단면도(1 mm×1 mm)이며, (ii)와 (iii)은 균열 틈 근처의 확대 영역으로서 각각 $4 \mu\text{m} \times 4 \mu\text{m}$ 와 $50 \text{ nm} \times 50 \text{ nm}$ 이다. (i)은 6, 5, 4, 3, 2, 1 (kV)의 등전위선이며 (ii)와 (iii)은 양극 전압(V_a)에 대한 0 V에서 16 V 사이의 등전위선이다.

매우 작기 때문에 영역별 분할 방식으로 해를 구한다. 그림 2에서 (i)는 전체 단면(1 mm×1 mm)에 대한 등전위곡선이고, (ii)와 (iii)은 각각 $4 \mu\text{m} \times 4 \mu\text{m}$ 와 $50 \text{ nm} \times 50 \text{ nm}$ 로서 전극간격 근처의 확대 영역에 대한 곡선이다. (i)에서 하판의 원점을 중심으로 왼쪽은 16 Volt의 양극이고 오른쪽은 0 Volt의 음극이다. 상판은 6 kV의 표시면 양극이며 전체의 단면에서 1 kV 간격의 등전위를 나타낸다. (ii)와 (iii)은 균열 틈 근처의 확대 공간의 단면으로서 하판의 양극과 음극의 전위차 16 V에 대한 등전위곡선들이다. (iii)은 균열 틈을 더욱 확대하여 양극과 음극을 나타내었다.

그림 3은 각각 그림 2의 등전위 단면도에 대한 전기장의 방향을 나타낸다. 그림 3-(ii)에서 하판의 양극(16 V) 표면에서 전기장의 방향이 변화하여 음극으로 향하

는 경계점 X_s 를 나타내었다. (iii)은 균열 틈 근처의 확대된 단면에서의 전기장의 형태이다. 균열 틈 사이의 상단면에서 전기장이 원형을 보여준다.

그림 4는 음극의 균열 틈의 모서리 부근에서 방출되는 전자의 궤적이다. 각각 그림 2와 3의 (i)-(iii)의 단면에 대응된다. 그림 4-(i)은 전체 단면에 대한 전자의 궤적으로서 1-6번의 전자 궤도가 상단의 표시면으로 방출되는 전자를 나타낸다. (ii)-(iii)은 균열 틈 근처의 확대 궤적이다. 전자궤적 1-6번이 표시면으로 방출되고 7번 이상이 하판의 양극면이나 균열 틈의 벽면으로 방출된다. (iii)에서 표시면으로 방출되는 1-6번의 궤적은 음극 모서리의 상단에서 방출되는 전자이고, 모서리 아래의 균열 벽면에서 방출되는 전자는 하판의 양극으로 방출된다.

그림 4는 그림 3-(ii)에서 표시된 전기장의 방향이 음

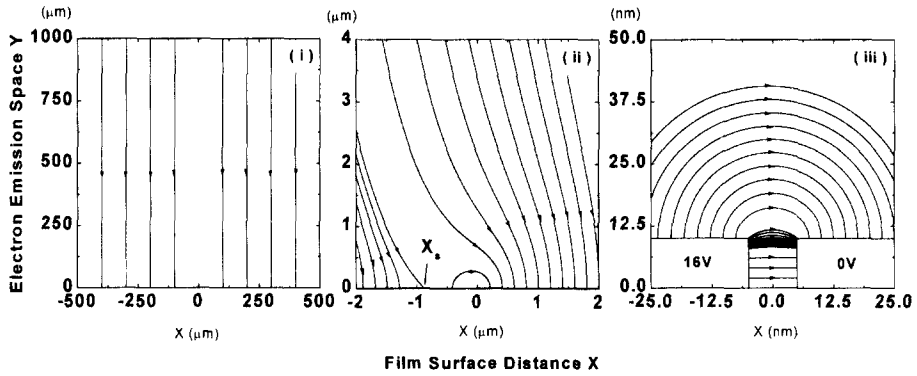


그림 3. 그림 2의 각각의 (i)-(iii)의 등전위선에 대응하는 전기력선이다. 그림 (ii)에서 표면의 양극 위에서 전기력선의 방향이 변화하는 지점은 $X_s = 0.87 \mu\text{m}$ 이다.

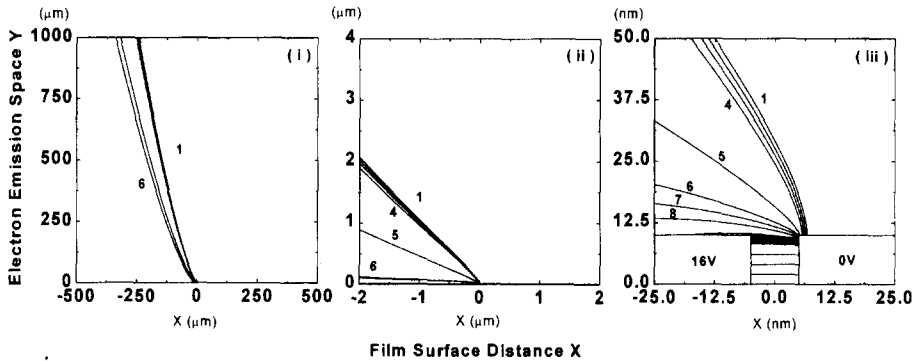


그림 4. 균열 틈의 음극(0 Volt)에서 방출되는 전자의 궤적이다. (i)-(iii)은 그림 2와 3의 각각의 단면 영역에 대응한다. (i)은 표시면으로 향하는 전자의 전체 단면에 대한 궤적이다. (ii)와 (iii)은 균열 틈 근처의 확대 영역에서의 전자궤적이다. 음극 상단면 모서리 부분에서 방출되는 전자의 궤적이 1-6으로 나타내었으며, 이들 모두 상향의 표시면으로 향한다. 음극 모서리의 균열 틈의 옆면에서 방출되는 전자의 궤적을 7번과 8번 이하에 나타내었다. 이들 모두 표면의 양극(16 Volt)이나 균열 틈의 반대편의 측면으로 향한다.

극으로 변화하는 경계점 X_s 와 하단의 양극 전압 V_a 의 관계이다. 그림 3-(ii)에서 $X_s = -0.87 \mu\text{m}$ 의 위치이다. 즉, 음극에서 방출된 전자가 X_s 점을 벗어나면 표면의 양극을 벗어나서 상단면의 양극으로 방출된다. 따라서 X_s 가 전극의 중심에 가까울수록(X_s 의 값이 작을수록) 음극에서 방출된 전자가 표면의 양극을 쉽게 벗어나서 표시면의 양극으로 방출될 수 있다.

그림 5는 음극 가장자리면의 위치에 따른 전기장의 세기이다. 가로축의 원점은 음극 가장자리 모서리의 위치이며, 오른쪽은 음극 가장자리 상단면의 위치이고, 왼쪽의 마이너스 값은 음극 가장자리의 하단면의 깊이 방향의 위치를 나타낸다. 냉음극 방출을 위한 전기장의 세기 [7]를 $E_c = 3 \times 10^9 \text{ V/m}$ 라고 할 때, 표면막의 전압 $V_f = 10 \text{ V}$ 일 때는 E_c 보다 큰 영역이 없기 때문에 전자의 방

출영역이 없다. $V_f = 16 \text{ V}$ 이상이면, 전극 가장자리 모서리 부근이 E_c 보다 큰 값을 갖게 되며, 이 부분에서 주로 냉음극 전자가 방출된다. 이 때의 방출영역은 음극면 모서리 상단면에서 약 5 \AA 이내의 위치와 균열 틈의 깊이 방향으로 약 10 \AA 의 영역에서 전자가 방출된다. V_f 가 20 V 로 커지면 방출영역도 증가한다. Fowler-Nordheim의 관계식 [7]을 이용하여 방출전류는

$$i = \int aE^2 \exp[-b/E] ds \quad (6)$$

으로 계산된다. 이 때 i 는 Ampere이며 전극 가장자리면 ds 에 대하여 적분한다. 이 때의 전극의 가장자리의 측면의 길이(전극폭)는 $100 \mu\text{m}$ 로 한다. 상수들은 $a = 6.2 \times 10^6$, $b = 6.8 \times 10^7 \phi^{3/2}$, 그리고 ϕ 는 전극면의 일함수이며 4 eV 로 한다.

3. 결과 및 논의

10 nm의 전극 간격을 갖는 균열 틈에 대한 음극과 양극 사이의 윗 부분의 전기장의 형태는 그림 3-(iii)와 같이 볼록한 원형의 형태를 갖는다. 또한 두 전극 사이에 16 V의 전압을 인가할 때, 음극면에서의 냉음극 전자 방출의 영역은 전기장의 세기가 냉음극 방출 조건인 3×10^9 V/m 이상의 크기를 갖는 음극 가장자리 모서리로부터 약 10 \AA 이내의 영역이다. 이러한 음극 가장자리 모서리에서 방출된 전자는 속력이 작은 초기의 궤도는 거의 전기장을 따라서 운동한다. 그러나 전자가 전기력에 의하여 가속운동을 하면서 전자의 속력이 커지고 전기력선의 굴곡의 반경이 전극 간격의 크기를 갖는 전기력을 따라서 운동하면서 매우 강한 원심력을 받게되어 전자의 궤적은 전기력선을 벗어나게 된다. 이후 전자의 속력은 더욱 빨라져서 약 $1 \mu\text{m}$ 위치에서 전기장의 방향이 바뀌는 영역(X_s)을 벗어나면 표시면의 양극으로 전자가 운동하게 된다. 결국, 균열 틈 사이의 곡률 10 nm인 전기장을 따라서 전자의 에너지가 수 eV의 접선 속력으로 원운동을 유지할 수가 없다. 정량적으로 전자의 에너지가 4 eV이고 원운동 반경이 10 nm이며, 약 400 Tesla의 자기장이 원운동 중심에 있을 때, 자기장에 의한 구심력과 원운동의 원심력이 균형을 이루는 원운동에 해당하는 힘이 된다. 즉, 캐논형 SED의 전극구조에서 음극 가장자리 모서리 부근에서 방출되는 전자의 궤적은 원심력에 의하여 동일면상의 양극으로 방출되지 않고 표시면의 양극으로 향하게 된다. 이때, 음극 모서리의 균열 틈 사이의 마주보는 면에서 방출되는 전자는 대부분 마주보는 양극으로 흐르게 되고, 이것이 면전류(i_j)이다. 그림 6의 음극 가장자리 면의 전기장의 세기는 음극 모서리 상단면 보다 균열 틈 사이 면이 더 크다. 따라서 면전류가 표시전류 보다 더 큰 값을 갖는다. 면전류(i_j)와 표시전류(i_a)를 그림 7에 나타내었다. 그림에서 전극의 폭(가장자리의 길이)은 $100 \mu\text{m}$ 로 하였다. 그림 7은 V_a 가 6 kV일 때의 전류-전압 특성으로 대개 i_j 가 μA 이고, i_a 가 nA이며, 10^{-3} 의 비를 갖는 SED의 실험결과와 잘 일치한다. 그리고 V_j 가 16 V 정도에서 μA 의 전류가 방출되는 실험 사실과도 잘 부합한다. V_j 가 16 V일 때 μA 의 전류가 방출되는 것은 이때의 음극 모서리 부근의 전기장의 세기가 냉음극 방출조건을 갖기 때문이며 이는 그림 4에서 전기장의 세기가 냉음극 방출조건임을 보여주고 있다.

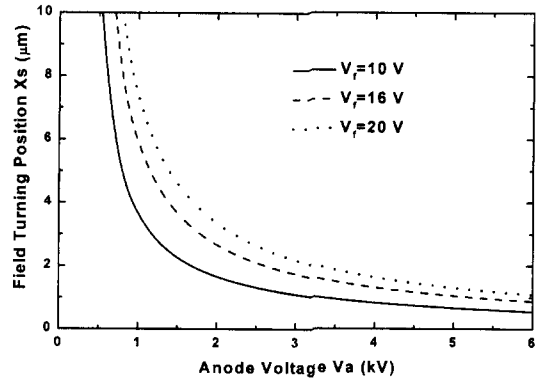


그림 5. 표면의 양의 전극 면 위에서 전기장의 방향이 바뀌는 위치 X_s 와 표시면의 양극의 전압 V_a 와의 관계이다. 음극에서 방출된 전자가 X_점을 벗어나면 표면의 양극을 벗어나서 상단면의 양극으로 방출된다. 이러한 X_s 의 위치는 전압 V_a 가 클수록 작아진다. V_a 가 1 kV 이하일 때 $10 \mu\text{m}$ 의 위치이고, V_a 가 6 kV로 커지면 $1 \mu\text{m}$ 이하의 위치로 전극 중심에 가까워진다.

이와 같이, 균열 틈의 양쪽 전극 모서리의 상단면사이의 전기장의 형태의 굴곡이 SED의 표시전류 방출의 주요 원인이 된다. 이러한 굴곡은 표시면에 인가한 전압 (V_a)에는 큰 영향을 받지 않는다. 즉, V_a 가 수 100 V일 때에도 전극 모서리 상단면 사이의 전기장은 동일한 굴곡을 갖기 때문에 원심력에 의하여 전자의 궤도가 전기력선을 이탈한다. 그러나 V_a 가 작으면 그림 5과 같이 X_s 의 위치가 수십 μm 로 더 멀리 있기 때문에 궤도를 이

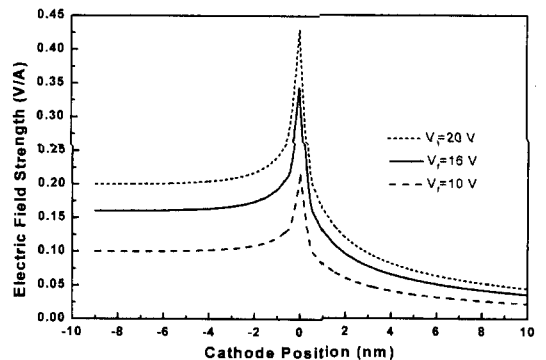


그림 6. 음극 가장자리면의 위치에 대한 전기장의 세기이다. 가로축의 원점은 음극 가장자리 모서리의 위치이며, 오른쪽은 음극 가장자리 상단면의 위치이고, 왼쪽의 마이너스 값은 음극 가장자리의 하단면인 균열 틈의 깊이 방향의 위치이다. 음극 가장자리 면의 전기장의 세기는 음극 모서리 상단면보다 균열 틈 측면의 전기장이 더 크다. 또한 냉음극 방출을 위한 전기장 $E_c = 3 \times 10^9$ V/m 보다 큰 전기장의영역이 V_j 의 증가에 따라서 넓어진다.

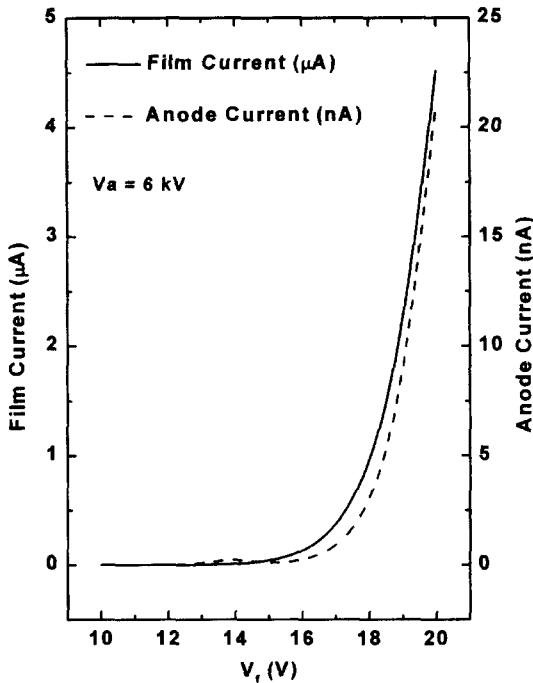


그림 7. 표면전압 V_f 값의 변화에 따른 면전류(i_f)와 표시전류(i_a)이다. 전류는 Fowler-Nordheim의 관계식으로부터 계산된다. 이때의 전극의 가장자리의 길이(전극폭)는 $100 \mu\text{m}$ 로 하였다. V_a 가 6 kV일 때 $V_f=16 \text{ V}$ 에서 i_f 가 μA 이고, i_a 가 nA의 크기로 방출된다. 이러한 전류와 전압특성과 i_a 와 i_f 에 대한 비율 10^{-3} 이 이미 보고된 SED의 실험결과와 잘 일치한다.

탈한 전자가 비행하는 동안 수십 μm 이내에서 다시 방출면의 양극으로 끌려가게 된다. 따라서 V_a 가 수 100 V일 때에도 표시면으로 미세한 전류가 흐르지만 대부분 방출면의 양극으로 흘러간다. V_a 가 수 kV일 때에는 대부분의 음극 모서리 상단면에서 방출된 전자가 μm 이내의 X_s 위치까지 비행하여 표시면의 양극으로 향하게 된다. 특히, V_a 가 커지면 음극 모서리의 옆면에서 방출된 전자의 일부도 상단면으로 흐르게 된다.

지금까지의 보고에 의하면 SED의 표시전류에 대한 해석을 위한 전자궤적에 대한 계산의 결과는 식 (1)과 (2)에서 관성력을 고려하지 않았다 [4]. 그리하여 음극면에서 방출된 전자는 균열 틈 사이의 양극면으로 방출되고 양극면에서 다중 산란에 의하여 표시면 상단으로 전류가 발생한다고 보고하고 있다. 그러나 16 eV의 에너지를 갖는 전자가 양극면에서 산란을 할 때 탄성산란의 비율이나 표면에서의 배후 산란 계수들에 대한 정확하

값이 알려져 있지 않다. 특히, 16 eV 정도의 에너지를 갖는 전자가 전극면에서 전기장의 방향이 변화하는 $X_s = 1 \mu\text{m}$ 의 먼 거리까지 산란된다는 점을 명확하게 밝히기는 쉽지 않다.

본 연구에서는 이러한 산란을 고려하지 않고 전자의 관성력에 의하여 전자궤도의 변화로서 실험결과를 잘 설명하고 있다. 특히, 본 연구에서 사용된 10 nm 크기의 균열 틈의 모서리의 상단면과 틈 사이의 벽면을 고려한 전자 방출에 대한 궤적의 계산 결과 면전류와 표시전류의 크기와 비율이 기존의 실험 결과와 잘 부합하고 있다.

본 연구에서는 균열 틈의 모서리의 약 10 \AA 영역에서 냉음극 방출 전자 운동의 원심력의 영향을 고려하여 SED의 표시면의 전류를 계산하였다. 그러나 전자 운동의 원심력뿐만 아니라 방출 전자의 공간전하(space charge)의 효과도 고려될 수 있을 것이다. 특히 10 \AA 의 작은 영역에서 방출되는 수 μA 의 전류에 대한 공간전하의 효과는 전자빔의 전파과정에서의 전자빔의 확산으로 SED의 표시면으로 방출되는 전류와 전압의 특성에 중요한 영향이 있을 것이다. 이에 대한 효과는 후속 연구로서 발표될 것이다.

4. 결 론

SED의 표시면으로 방출되는 표시전류는 방출 전극면의 전극 사이의 가장자리 모서리의 상단면에서 방출되는 전자의 흐름이다. 미세한 균열 틈 사이에 형성되는 원형의 전기장에서 전자운동의 관성에 의하여 전기장의 궤도를 이탈하여 표시면의 양극으로 전자가 방출된다. 방출면의 균열틈의 전극 사이에 흐르는 면전류와 음극의 모서리 상단면에서 방출되는 표시전류의 크기는 각각 μA 와 nA의 크기를 갖는다. 이때 냉음극 방출을 위한 방출 전압은 대개 16 V 이상이다. 이러한 전자 궤적의 계산 결과들은 SED의 전류와 전압의 특성을 잘 설명해준다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부에서 시행한 대학기초연구지원 사업과 1999년도 광운대학교 교내학술연구비에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

- [1] F. Courreges, SID '96, **6.1**, 45 (1996).
- [2] C. A. Spindt, I. Brodie, L. Humphrey, and E. R. Westerberg, J. Appl. Phys. **47**, 5248 (1976).
- [3] K. Sakai, I. Nomura, E. Yamaguchi, M. Yamanobe, S. Ikeda, T. Hara, K. Hatanaka, Y. Osada, H. Yamamoto, and T. Nakagiri, Euro Display '96, **18.3**, 569 (1996).
- [4] A. Asai, M. Okuda, S. Matsutani, Ka. Shinjo, N. Nakamura, K. Hatanaka, Y. Osada, and T. Nakagiri, SID '97 DIGEST **10.4**, 127 (1997).
- [5] E. Yamaguchi, K. Sakai, I. Nomura, T. Ono, M. Yamanobe, N. Abe, T. Hara, K. Hatanaka, and Y. Osada, H. Yamamoto, and Y. Nakagiri, SID '97 DIGEST, **6.2**, 52 (1997).
- [6] M. Okuda, S. Matsutani, A. Asai, A. Yamano, K. Hatanaka, T. Hara, and T. Nakagiri, SID '98 DIGEST, **14.1**, 185 (1998).
- [7] R. Gomer, *Field Emission and Field Ionization* (Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1961), chapter 1, p. 9.