

비정질 실리콘 박막 트랜지스터에 의한 전계방출기 어레이의 능동제어

엄현석*, 송윤호, 강승열, 정문연, 조영래, 황치선, 이상균, 김도형, 이진호, 박진석*, 조경익
한국전자통신연구원(ETRI), *한양대학교 전기공학과,

Active control of field emitter arrays with a-Si:H TFTs

H-S Uhm*, Y-H Song, S-Y Kang, M-Y Jung, Y-R Cho,
C-S Hwang, S-K Lee, D-H Kim, J.H.Lee, J.S.Park*, K.I.Cho
Electronics and Telecommunications Research Institute
*Electrical Engineering, Hanyang University
E-mail : hsuhm@hymail.hanyang.ac.kr

Abstract

Active-controlled field emitter arrays (ACFEAs) are developed by monolithically integrating molybdenum field emitter arrays with amorphous silicon thin film transistors (a-Si:H TFTs) on glass substrate. Transfer and output characteristics of the fabricated ACFEAs showed that the emission currents of FEAs can be accurately controlled by the gate bias voltages of TFTs. Also, the emission currents of the ACFEAs kept stable without any fluctuations during the 30 min-operation.

서론

FED(field emission display)는 기존의 CRT(cathode ray tube)와 동작원리가 비슷하고 고휘도 및 광시야각등의 장점으로 인해 차세대 평판 디스플레이로 각광받고 있으며, 최근 상용화를 위한 연구가 활발히 진행중이다.[1][2] 일반적으로 널리 알려진 전계방출소자는 실리콘이나 폴리리텐을 원추형으로 제작하여 게이트 전압에 의해 전자방출을 유도하는 삼극관 구조이며, 전자 방출 특성 향상을 위해 다이아몬드와 같이 일함수가 낮은 물질을 코팅하기도 한다.[3][4] 최근 들어서는 낮은 전계에서도 전자방출이 탁월한 카본나노튜브가 전계방출기의 신물질로 많이 연구되고 있

지만 방출전류의 불균일성과 삼극관 구조 형성의 어려움 등이 문제점으로 지적되고 있다.[5]

전자원으로서의 전계방출소자는 FED 응용에 필요한 방출 전류밀도를 충분히 나타내고 있지만, 기하학적으로 동일한 구조의 방출기를 제작하는 것이 공정상 매우 어렵고, 또한 방출기 표면의 변형이 전혀 일어나지 않는 물질을 선택하기도 쉽지 않다. 이러한 이유로 방출전류는 매우 불균일하고 불안정한 특성을 보이며, 전계방출소자 제작의 기술적 난관으로 지적되어왔다.

본 논문에서는 비정질 실리콘 박막 트랜지스터(amorphous silicon thin film transistors : a-Si:H TFTs)의 드레인 전극 위에 전계방출기 어레이를 집적화한 능동제어형 전계방출기 어레이(active-controlled field emitter arrays : ACFEA)를 제작하여 TFT의 게이트 전압에 의해 방출전류를 제어함으로써 균일성과 안정성을 향상시키고자 하였다.

본론

ACFEA의 동작원리 및 제작

ACFEA의 동작원리를 설명하기 위하여 그림1에 ACFEA의 등가회로도 및 특성곡선을 제시하였다. 그림1(a)에 도시하였듯이 FEA의 게이트 전압 $V_{G,FEA}$ 는 방출기 어레이의 인가 전압 V_C 와 TFT

의 드레인 전극에 인가되는 전압 V_D 의 합으로 나타낼 수 있다. 실질적인 전계방출에 관여하는 전압은 V_C 이며, 그림1(b)와 같이 각각 독립적인 TFT와 FEA에 대한 전류-전압 특성곡선을 함께 도시하면 두 곡선이 만나는 지점이 생기고, 이 점이 ACFEA의 동작점이 된다. 즉 TFT의 게이트 전압 V_{G_TFT} 를 증가시켜 TFT가 on 상태가 되면 V_D 는 감소하는 반면 V_C 는 증가하여 전계방출전류는 증가하게 되고, 포화영역에서 동작하게 되므로 방출전류 또한 포화특성을 가지게 된다. 따라서 TFT의 게이트 전압에 의해 FEA의 전자 방출을 능동적으로 제어할 수 있게 된다.

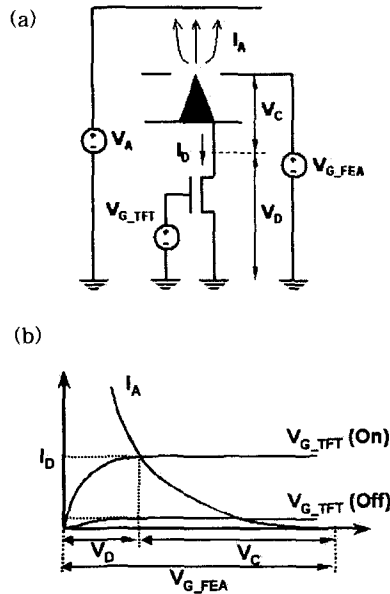


그림1. ACFEA의 동작회로 개념도(a) 및 동작특성(b)

본 연구에서 제작한 ACFEA의 공정순서는 그림2와 같다. 먼저 1.1mm 두께의 유리기판 위에 Sputtering 장치를 이용하여 Cr을 1000Å 증착한 후 광노광 및 습식식각 공정을 거쳐 TFT의 게이트 전극을 형성하였다.(그림2(a)) 다음으로 PECVD 장치를 이용하여 TFT의 게이트 절연막(SiN_x), 반도체 활성층(a-Si:H) 및 Ohmic 접촉층(n^+ a-Si:H)들을 330°C 온도에서 각각 3500Å/600Å/400Å의 두께로 연속 증착하였다.(그림2(b)) TFT 각각의 독립적인 동작을 위해 활성층을 정의한 후 ECR 장치를 이용하여 건식식각 하

였고, 그림2(a)와 동일한 방법을 통해 TFT의 소오스/드레인 전극을 1800Å 두께로 형성하였다.(그림2(c)) 이후 BCE(back-channel etch) 공정을 통해 n^+ a-Si:H 층을 식각하여 TFT의 채널을 정의한 후, TFT의 보호층 및 FEA의 게이트 절연막으로 사용될 SiN_x 를 8000Å 두께로 증착하였다.(그림2(d))

전계방출기 어레이는 TFT 공정을 모두 마치고 난 후 TFT의 드레인 전극 위에 형성하게 된다. 먼저 그림2(a)와 동일한 방법으로 TFT의 드레인 전극 위에 FEA의 게이트 전극을 2000Å 형성하고, 그 위에 1 μ m 지름을 갖는 게이트 홀(hole)을 정의하였다. 이후 SiN_x 를 식각하고, E-beam Evaporator를 이용해 Spindt-type의 몰리브덴 전계방출기 어레이를 제작함으로써 ACFEA를 완성하였다.(그림2(e))

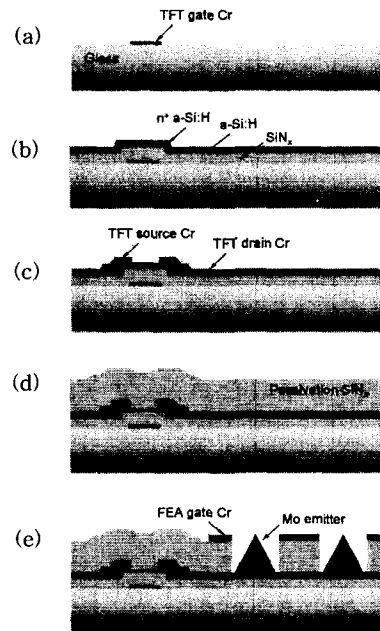


그림 2. ACFEA의 공정순서

그림3(a)은 한 개의 a-Si:H TFT와 400개의 전계방출기 어레이가 동일 기판상에 제작되어 있는 ACFEA 한 픽셀(pixel)에 대한 광학현미경 사진이다. a-Si:H TFT는 inverted-staggered 형태이며, 채널폭과 길이는 각각 100 μ m와 20 μ m이다. TFT의 드레인 전극 위에 형성된 몰리브덴 전계방출기의 수는 400개이고, 게이트 홀 지름은 1 μ m

이며, 각 방출기 사이의 거리는 $6\mu\text{m}$ 이다. 그림3(b)와 (c)는 최종적으로 제작된 한 개의 몰리브덴 전계방출기의 평면과 단면 모습을 SEM을 통해 관찰한 것이다.

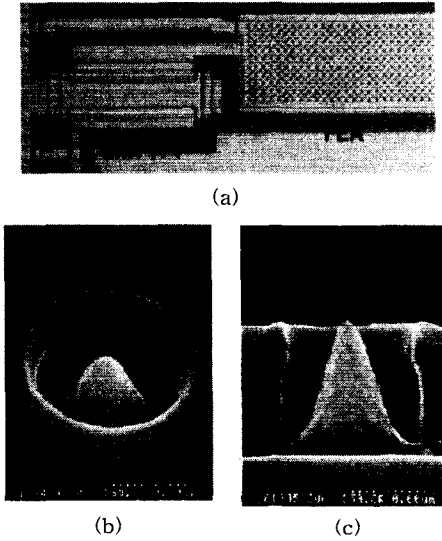


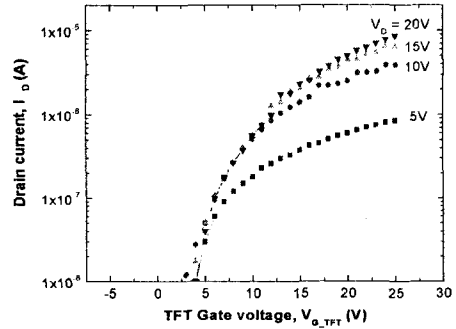
그림3. 완성된 ACFEA의 광학현미경 사진(a), 한 개의 몰리브덴 전계방출기의 평면(b) 및 단면(c)에 대한 SEM 사진

결과 및 고찰

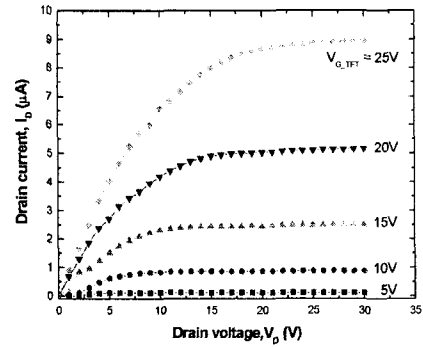
ACFEA의 동작특성을 측정하기 전에 먼저 a-Si:H TFT에 대한 전류-전압특성을 측정하였다. 그림4(a)와 (b)는 제작된 a-Si:H TFT에 대한 전달특성과 출력특성을 각각 나타낸다. 그림4(a)로부터 20V의 드레인 전압에서 on/off 전류비가 10^3 이상이고, 문턱전압이 3V 정도임을 알 수 있다. 또한, 그림4(b)에서 선형영역과 포화영역이 뚜렷이 구분되고 있음을 확인할 수 있고, 게이트 전압을 증가시키에 따라 약 $9\mu\text{A}$ 의 드레인 전류를 얻을 수 있었다.

ACFEA에 대한 전류-전압특성 측정은 $2 \times 10^{-6}\text{Torr}$ 이하의 고진공 챔버에서 이루어졌고, 전계방출기 어레이와 애노드(anode) 전극간의 거리는 $500\mu\text{m}$ 로 유지시켰다. 그림5는 FEA의 게이트 전압($V_{G,FEA}$)과 애노드 전압을 각각 65V와 400V로 고정하고, TFT의 게이트 전압($V_{G,TFT}$)을 변화시키면서 FEA로부터 방출되는 전류를 나타낸 것이다. 약 3V의 TFT 게이트 전압에서 FEA가 도

통되기 시작하였고, 방출전류에 대한 on/off 비는 10^3 이상이다. 이러한 특성은 그림4(a)에 제시한 TFT의 전달특성과 거의 동일한 바, 이는 FEA로부터의 방출전류가 TFT에 의해 충분히 정확하게 제어되고 있으며, 이에 따라 방출전류의 안정성과 균일성을 TFT의 특성만큼 향상시킬 수 있음을 의미한다.



(a)



(b)

그림4. a-Si:H TFT에 대한 전달특성(a) 및 출력특성(b)

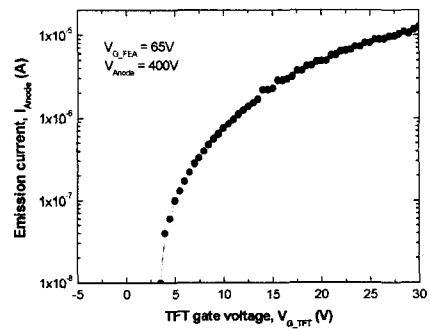


그림5. ACFEA의 on/off 특성

그림6은 ACFEA의 출력특성 즉, 일정한 TFT의 게이트 전압에서 FEA의 게이트 전압에 대한 방출전류를 측정하는 것이다. 약 45V의 FEA 게이트 전압에서 전계방출이 시작되었고, 각각의 TFT 게이트 전압에 따라 방출전류가 포화됨을 알 수 있으며, TFT 게이트 전압이 증가함에 따라 포화 방출전류도 증가함을 관찰할 수 있다. 또한, 그림5의 경우와 마찬가지로, ACFEA의 출력특성이 그림4(b)에 제시한 TFT 자체의 출력특성과 거의 동일함을 알 수 있는데, 이 결과 또한 TFT에 의해 방출전류를 능동제어 할 수 있음을 다시 한 번 확인할 수 있는 결과이다.

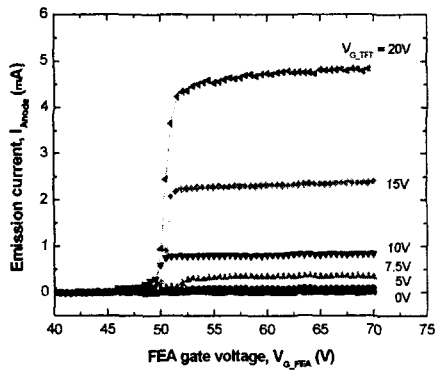


그림6. ACFEA의 출력특성

그림7은 제작한 ACFEA에 대한 방출전류의 안정성 테스트를 수행한 결과이다. TFT에 의해 제어하지 않은 경우(simple mode) 동작 초기에서부터 심한 방출전류의 요동을 관찰할 수 있는 반면, ACFEA의 경우(ACFEA mode)는 30분의 동작시간 동안에도 방출전류의 요동이 거의 없는 안정된 특성을 유지할 수 있음을 알 수 있다.

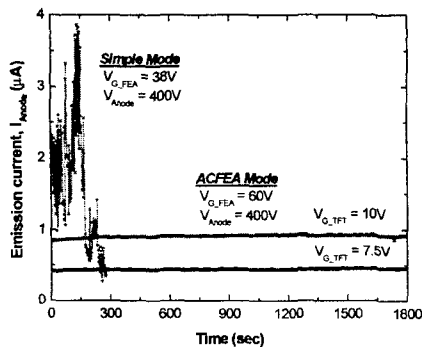


그림7. ACFEA의 장시간 동작 테스트 결과

결론

비정질 실리콘 박막 트랜지스터(a-Si:H TFT)와 전계방출기 어레이(FEA)를 동일 기판상에 집적화한 능동제어형 전계방출기 어레이(ACFEA)를 제작하였다. 제작한 TFT와 ACFEA에 대한 각각의 전류-전압 특성측정 결과, TFT의 게이트 전압을 0~20V로 조절함에 따라 방출전류를 10 nA~5μA까지 능동제어 할 수 있음을 입증하였고, 장시간 동작시간동안 방출요동이 거의 없는 안정한 방출전류를 얻을 수 있었다.

향후에는 고전압(400V이상)에서 전계방출 특성이 우수한 카본나노튜브의 능동제어에 필요한 고전압 비정질 실리콘 박막 트랜지스터(high voltage a-Si:H TFT : a-Si HVTFT)에 관한 연구를 수행할 계획이다.

참고 문헌

- [1] A.F.Bernhardt, R.J.Contolini, A.F.Jankowski, V.Liberman, J.D.Morse, R.G.Musket, R.Barton, J.Macaulay and C.Spindt, "Arrays of field emission cathode structures with sub-300nm gates", *J.Vac.Sci.Technol B*, Vol.18, p.1212-1215, 2000.
- [2] D.Temple, "Recent progress in field emitter array development for high performance applications", *Material Science and engineering*, R24, p.185-239, 1999.
- [3] J.Robertson, "Mechanism of electron field emission from diamond and diamond-like carbon", *Eleventh International Vacuum Microelectronics Conference*, p.162-163, 1998.
- [4] S.E.Huq, P.D.Prewett, J.C.She, S.Z.Deng and N.S.Xu, "Field emission from amorphous diamond coated silicon tips", *Materials Science and Engineering B*, Vol.74, p.184-187, 2000.
- [5] Y.Saito, S.Uemura, "Field emission from carbon nanotubes and its application to electron sources", *Carbon*, Vol.38, p.169-182, 2000.