

IGZO 박막트랜지스터의 동작특성

이호년^{1*}, 김형중¹

¹순천향대학교 전자정보공학과

Operation characteristics of IGZO thin-film transistors

Ho-Nyeon Lee^{1*} and Hyung-Jung Kim¹

¹Department of Electronics and Information Engineering, Soonchunhyang University

요 약 IGZO (indium gallium zinc oxide) 박막트랜지스터는, 활성층 채널의 폭과 길이의 비가 고정된 경우에도, 채널 길이가 길어지면 게이트전압에 대한 드레인 전류의 특성곡선이 양의 전압 방향으로 이동하고 전계효과이동도는 낮아졌다. 채널의 길이와 폭이 고정된 상태에서는, 드레인이 전압 높은 경우에 전계효과이동도가 낮고 문턱아래 기울기가 큰 특성을 보였다. 이러한 현상은 IGZO 채널층의 일함수가 커서 소스/드레인 전극과 채널층의 접합부 락갭이 규소반도체의 경우와 반대방향으로 나타나는 것에 기인하는 것으로 해석된다.

Abstract According to the increase of the channel length with fixed width/length, characteristic curves of drain current as a function of gate bias voltage of indium gallium zinc oxide (IGZO) thin-film transistors moved to a positive direction of gate voltage, and field-effect mobility decreased. In case of fixed length and width of channel, field-effect mobility was lower and subthreshold slope was larger when drain bias voltage was higher. Due to large work function of IGZO, band bending at the junction region between IGZO channel and source/drain electrodes was expected to be in opposite direction to that between silicon and metal electrodes; this could explain the above results.

Key Words : IGZO, TFT, Channel Length, Drain Bias, Mobility, Subthreshold Slope

1. 서론

능동형 평판디스플레이 기술의 발전에 따라, 이에 사용되는 박막트랜지스터에 대해서도 높은 수준의 성능이 요구되고 있다. 현재까지, 대부분의 능동형 평판디스플레이에는 규소반도체 기반의 박막트랜지스터가 사용되고 있다. 그러나 규소반도체 박막트랜지스터는 기술개발의 포화단계에 이르고 있다. 따라서 유기발광디스플레이, 투명디스플레이, 플렉시블 디스플레이 등의 새로운 형태의 능동형 평판디스플레이의 요구에 적절히 대응하기 어려운 상황이다. 능동형 유기발광디스플레이에 적용되는 박막트랜지스터는 높은 수준의 전류 공급능력 및 근거리 균일성을 가져야 하며, 낮은 제조원가의 공정이 가능하여야 한다. 다결정규소 박막트랜지스터는 전류공급 능력은

우수하나 근거리 균일성이 취약하고 제조원가가 높은 결점이 있다. 비정질규소 박막트랜지스터의 경우는 우수한 근거리 균일성 및 낮은 제조원가를 가지나 전류공급 능력이 취약하고 쉽게 열화 되는 문제가 있다.

비정질산화물반도체 기반의 박막트랜지스터는 비정질 규소 박막트랜지스터에 버금가는 근거리 균일성 및 낮은 제조원가를 가지고 있으며 다결정규소 박막트랜지스터의 특성에 근사하는 전류공급 능력을 보여주었다 [1,2]. 이러한 특성은 능동형 유기발광디스플레이에 매우 적합하므로, 비정질 산화물반도체 박막트랜지스터를 실용화하여 유기발광디스플레이에의 적용하려는 연구가 다수 진행되었다 [3,4]. 또한 산화물반도체 박막트랜지스터를 투명디스플레이에 적용하기 위한 연구도 다수 진행되었는데 [5,6], 이는 넓은 금지대역에 기인하여 산화물반도체가

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0015318)

*교신저자 : 이호년(hnlee@sch.ac.kr)

접수일 10년 01월 29일

수정일 10년 05월 06일

게재확정일 10년 05월 13일

시광선 대역에서 투명한 특성을 보이기 때문이다.

상기와 같은 이유로, 산화물반도체 박막트랜지스터를 능동형 평판디스플레이 제품에 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 이러한 연구의 결과로 다수의 시제품이 개발되었으나[7,8] 실제 생산에는 이르지 못하고 있다. 산화물반도체 박막트랜지스터의 실용화를 위해서는 소자특성의 체계적인 연구를 기초로 하는 성능 최적화가 필요하다. 하지만, 산화물반도체 박막트랜지스터의 특성에 관한 연구는 아직 충분치 못하다.

본 논문에서는, IGZO (indium gallium zinc oxide) 박막트랜지스터 특성의 채널 길이 및 드레인 바이어스 전압 크기에 대한 의존성 연구의 결과를 보고하고자 한다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 In:Ga:Zn가 1:1:1의 조성을 갖는 타겟을 사용한 RF스퍼터링을 이용하여 IGZO박막을 형성하였다. 스퍼터링은 기판가열 없이 실시되었으며, 공정가스는 아르곤 98.8 %와 산소 1.2 %를 혼합하여 사용하였다. p형 도핑된 규소의 상부에 습식산화 방식으로 300 nm의 이산화규소 박막을 형성한 웨이퍼를 기판으로 사용하였다. 이산화규소는 게이트절연막으로 이용되었다. 본 연구에 사용된 소자의 구조는 그림 1에 표시되어 있다. 기판 뒷면에 200 nm 두께의 알루미늄 박막을 진공 열증발증착(vacuum thermal evaporation) 방식으로 성막하여 게이트 전극으로 사용하였다. 이산화규소 게이트절연막 상부에 50 nm 두께의 IGZO 산화물반도체 박막을 형성하였다. IGZO 박막의 패터닝은 금속계의 웨도우마스크를 이용하여 성막과 동시에 이루어졌다. IGZO 활성층 상부에 200 nm 두께의 ITO (indium tin oxide) 소스/드레인 전극을 형성하였다. ITO는 RF스퍼터링을 이용하여 상온에서 성막하였으며, 공정 가스는 아르곤 99 %와 산소 1 %를 혼합하여 사용하였다. 소스/드레인 전극의 패터닝은 금속계의 웨도우마스크를 이용하여 성막과 동시에 이루어졌다. 소자구조를 형성한 후에 진공열처리 과정을 거쳐서 박막트랜지스터를 완성하였다. 열처리 온도는 296°C이었고 아르곤을 사용하여 열처리 분위기를 조성하였고, 압력은 8 mTorr, 열처리 시간은 1시간 이었다. 완성된 박막트랜지스터의 동작특성은 대기상태의 암실에서 측정하였다.

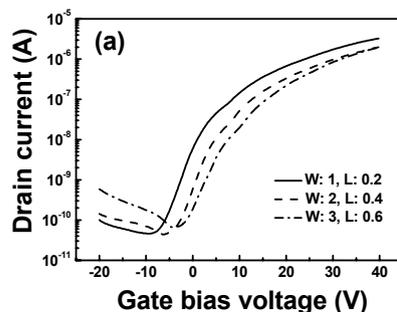


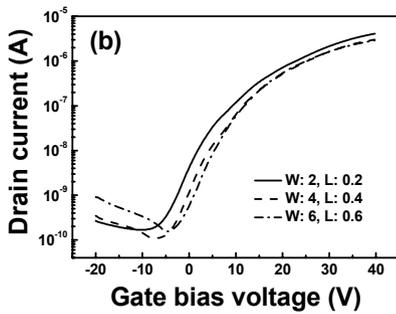
[그림 1] 박막트랜지스터 소자구조

3. 실험결과 및 토의

그림 2는 활성층채널의 길이(L) 및 폭(W)의 차이에 대응하는 소자특성의 차이를 보여주고 있다. 드레인 전극의 전압은 0.5 V로 고정되고 소스전극은 접지상태로 유지되었다. -20 V에서 40 V까지 게이트전극의 전압을 변화시키면서 드레인 전류를 측정한 결과이다. 그림 2(a)는 W/L 비율을 5로 고정한 경우이고, 그림에 표시되어 있는 W 및 L의 단위는 mm 이다. 그림 2(b)는 W/L 비율을 10으로 고정한 경우이다. 일정한 W/L에 대해서 L이 증가함에 따라 동작전압이 양의 방향으로 이동하는 것을 그림 2(a) 및 (b)에서 공통적으로 볼 수 있다.

본 연구에서는 용이한 공정을 위하여 IGZO 활성층의 패턴이 소스/드레인 전극 영역보다 넓은 형태로 제작하였다. 이러한 형태로 인하여 소스 전극에서 드레인 전극으로의 전류 흐름은 소스/드레인 전극 패턴의 사이에서 발생하는 전류에 더해 소스/드레인 전극의 외측에 형성되는 가장자리 경로를 따라 발생하는 부가적인 전류의 합으로 나타난다. 가장자리 경로를 따라 형성되는 전류는 실험결과의 해석에서 오차항으로 작용하게 된다. 전체전류에서 가장자리 경로에 의한 전류가 차지하는 비율은 W/L에 따라 결정될 것이므로, 실험 데이터의 비교는 같은 W/L을 가지는 경우에 대해서 실시하여 결과해석의 오류를 방지하고자 하였다.





[그림 2] 채널의 폭 및 길이 변화에 따른 소자특성의 변화; (a) W/L이 5인 소자의 특성, (b) W/L이 10인 소자의 특성

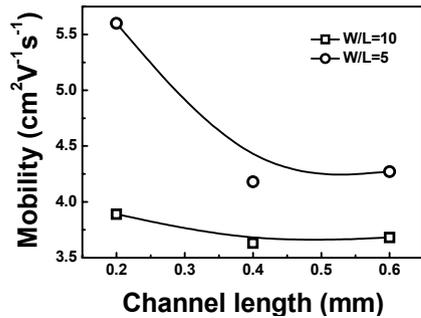
그림 3은 활성층채널의 길이에 변화에 따르는 전계효과이동도의 변화를 보여주고 있다. 제시된 전계효과이동도는 그림 2의 결과에서 추출된 값이다. 채널의 길이가 증가함에 따라 전계효과이동도가 감소하는 것을 알 수 있다. W/L이 작은 경우가 더 큰 전계효과이동도를 보이고 있는 것은 가장자리 경로에 의한 효과로 해석된다. W/L이 작으면 측정되는 전류에서 차지하는 가장자리 전류의 비율이 보다 크다. 전계효과이동도는 전체전류가 채널 사이의 경로에 의한 전류라는 가정에서 추출된다. 따라서, W/L이 작으면 가장자리 경로에 의한 오차에 의하여 보다 큰 수치의 이동도를 얻게 된다.

일반적인 규소반도체 박막트랜지스터의 활성층과 소스/드레인 전극은 쇼트키접합을 이룬다. 이는 금속의 일함수가 규소반도체의 일함수에 비해서 크기 때문이다. 산화물반도체는 일함수가 크기 때문에 접합부의 띠굽음(band bending)이 규소반도체/금속 접합과는 반대의 방향을 이룬다. 따라서 산화물반도체 활성층은 소스/드레인 전극과 옴접합을 이루게 된다 [9].

채널의 길이가 짧은 경우 소스전극/채널층의 접합부위 길이가 채널층 길이 전체에서 차지하는 비율이 높다. 채널 길이가 긴 경우는 접합부위가 차지하는 비율이 낮다. 접합부에서는 산화물반도체의 밴드가 아래쪽으로 휘어지게 됨으로써, 전도대가 페르미준위에 보다 가깝게 위치하게 되어서 전도대에 위치하는 전자의 밀도가 높다. 일반적인 산화물반도체 박막트랜지스터는 채널층의 전하밀도가 높아서 공핍형 소자로 동작한다. 채널의 길이가 짧은 경우, 전자의 밀도가 더 높은 접합부가 차지하는 비율이 높으므로 채널을 공핍상태로 만들기 위해서 음의 방향으로 더 높은 전압을 걸어 주어야 한다. 따라서 채널 길이가 짧은 소자가 긴 소자에 비해서 특성곡선이 음의 방향에 위치하게 된다.

소스전극/채널층 접합부위에서는, 띠굽음으로 인해 전

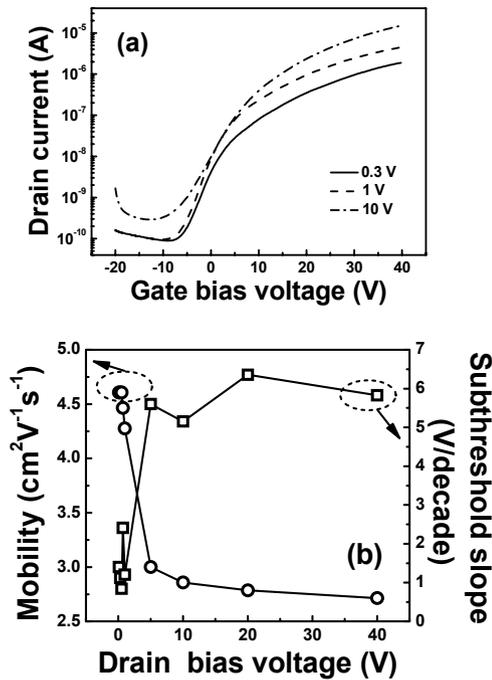
도대 아래의 포획 준위들이 페르미준위 보다 아래에 있을 수 있어서 전자로 참여있게 된다. 따라서 소스전극에서 드레인 전극으로의 전자수송이 포획준위에 의해서 방해받는 것을 방지할 수 있다. 따라서 접합부위가 차지하는 비율이 높은 채널 길이가 짧은 소자가 높은 전계효과이동도를 가지게 된다.



[그림 3] 채널의 폭 및 길이 변화에 따른 소자특성의 변화

그림 4는 드레인 전압에 대응하는 소자특성의 변화를 보여주고 있다. IGZO 박막트랜지스터의 채널의 폭은 1 mm, 길이는 0.2 mm 이었다. 게이트전압은 -20 V에서 40 V까지 변화하였으며, 소스전압은 접지상태로 유지되었다. 그림 4(a)는 0.3 V, 1 V, 10 V의 드레인 전압에 대한 소자의 특성곡선을 보이고 있다. 그림 안의 범례는 드레인 전압을 의미한다. 드레인 전압이 변화하여도 게이트전극의 동작전압에는 큰 차이가 없는 것으로 보였다. 그림 4(b)는 드레인 전압의 변화에 따른 전계효과이동도 및 문턱아래 기울기(subthreshold slope)를 보여준다. 드레인 전압이 증가함에 따라, 전계효과이동도는 감소하고 문턱아래 기울기는 증가하는 것을 알 수 있다.

그림 4의 결과도 그림 2 및 3의 결과와 유사한 방식으로 이해될 수 있다. 소스/드레인 사이의 전압이 크면 양전극 사이의 에너지밴드의 기울기도 커져서, 소스전극 부근의 채널접합부의 포획준위가 소스전극의 페르미 준위 아래에 위치하는 길이가 짧아진다. 소스전극 페르미준위 아래에 있는 채널층 포획준위는 전자로 참여져서 전하이송에 방해가 되지 못하므로, 페르미준위 아래에 위치하는 영역의 길이가 긴 경우(소스/드레인 전압이 낮은 경우)가 이동도가 높게 된다. 문턱아래 기울기는 금지대역 내의 포획준위에 많은 영향을 받으므로 포획준위의 방해를 적게 받는 소스/드레인 전압이 낮은 경우가 작은 기울기를 가진다.



[그림 4] 드레인 전압 변화에 따른 소자특성의 변화; (a) 드레인전류-게이트전압 특성, (b) 문턱전압 및 전계효과이동도

4. 결론

IGZO 박막트랜지스터의 특성은 규소반도체 박막트랜지스터와는 다른 형태로 채널의 길이 및 폭에 대한 의존성을 갖는다. 같은 W/L 비율에서, 채널 길이가 길어지면 특성곡선이 양의 전압방향으로 이동하는 형태를 보이며 전계효과이동도가 낮아진다. W 및 L을 일정하게 하고 드레인 전압 변경하는 경우, 드레인 전압이 높을 때에 전계효과이동도가 낮고 문턱아래 기울기는 크다. 이러한 특성은 산화물반도체의 큰 일함수에 기인하는 소스/드레인 전극과 채널의 접합의 형태를 고려해서 설명할 수 있었다.

본 연구에서는 IGZO 박막트랜지스터의 채널 길이 및 폭, 드레인 전압에 따른 동작특성의 변화를 보이고 설명하였다. 본 논문의 결과는 IGZO 박막트랜지스터의 특성 연구의 체계화에 기여하여 산화물반도체 박막트랜지스터의 실용화에 도움이 될 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] K. Nomura, H. Ohta, A. Takagi, T. Kamiya, M. Hirano and H. Hosono, "Room-temperature fabrication of transparent flexible thin-film transistors using amorphous oxide semiconductors", *Nature*, vol. 432, pp. 488-492, 2004.
- [2] H. Hosono, "Ionic amorphous oxide semiconductors: Material design, carrier transport, and device application", *J. Non-Cryst. Solids*, vol. 352, pp. 851-858, 2006.
- [3] H. Lee, J. Kyung, M. Sung, D. Kim, S. Kang, S. Kim, C. Kim, H. Kim and S. Kim, "Oxide TFT with multilayer gate insulator for backplane of AMOLED device", *J. Soc. Inf. Display*, vol. 16, pp. 265-272, 2008.
- [4] T. Fung, C. Chuang, K. Nomura, H. Shieh, H. Hosono and J. Kanicki, "Photofield-effect in amorphous In-Ga-Zn-O (a-IGZO) thin-film transistors", *J. Inf. Display*, vol. 9, no. 4, pp. 21-29, 2008.
- [5] T. Riedl, P. Görrn and W. Kowalsky, "Transparent electronics for see-through AMOLED displays", *J. Display Tech.*, vol. 5, pp. 501-508, 2009.
- [6] P. Görrn, F. Ghaffari, T. Riedl and W. Kowalsky, "Zinc tin oxide based driver for highly transparent active matrix OLED displays", *Solid-State Electronics*, vol. 53, pp. 329-331 2009.
- [7] H. D. Kim, J. K. Jeong, Y. G. Mo and H. K. Chung, "Oxide TFT as an Emerging Technology for Next Generation Display", *Proc. Int. Meeting on Information Display*, pp. 119-122, 2008.
- [8] J. H. Lee, D. H. Kim, D. J. Yang, S. Y. Hong, K. S. Yoon, P. S. Hong, C. O. Jeong, H. S. Park, S. Y. Kim, S. K. Lim, S. S. Kim, K. S. Son, T. S. Kim, J. Y. Kwon and S. Y. Lee, "World's Largest (15-inch) XGA AMLCD Panel Using IGZO Oxide TFT", *Soc. Information Display 2008 Int. Symp. Digest of Tech. Papers*, pp. 625-628, 2008.
- [9] J. Lee, S. Kim, H. Park, S. Park, D. Kang, M. Han, W. Lee, K. Yoon and Y. Lee, "Threshold voltage shift of amorphous oxide TFT with various channel length", *Proc. 16th Int. Display Workshops*, pp. 1677-1680, 2009.

이 호 년(Ho-Nyeon Lee)

[정회원]



- 1997년 8월 : 한국과학기술원 물리학과 (이학박사)
- 1997년 9월 ~ 2001년 6월 : 하이닉스 선임연구원
- 2001년 7월 ~ 2004년 3월 : 하이디스테크놀로지 책임연구원
- 2004년 4월 ~ 2006년 8월 : 삼성중합기술원 수석연구원
- 2006년 9월 ~현재 : 순천향대학교 전자정보공학과 조교수

<관심분야>

디스플레이 소자, 박막태양전지

김 형 중(Hyung-Jung Kim)

[정회원]



- 2008년 2월 : 순천향대학교 정보기술공학부 (공학사)
- 2010년 2월 : 순천향대학교 전기.로봇공학과 (공학석사)
- 2010년 1월 ~ 현재 : 하이디스테크놀로지 연구원

<관심분야>

LCD Thin-film