

Al₂O₃ 전하포획층으로 이용한 ZnO 나노선 비휘발성 메모리의 특성에 관한 연구

김기현, 강정민, 윤창준, 염동혁, 정동영, 박병준, 김상식*
 고려대학교 전기전자전파공학부

A study for the characteristics of non-volatile ZnO nanowire memory using Al₂O₃ charge trapped layers

Kihyun Keem, Jeongmin Kang, Changjoon Yoon, Donghyuk Yeom, Dong-Young Jeong, Byoungjun Park, and Sangsig Kim*

Abstract - Al₂O₃ 절연막을 전하포획층으로 이용하여 Top 게이트 ZnO 나노선 전계효과트랜지스터를 제작하였고, 메모리 효과를 관찰하였다. Al₂O₃ 층을 게이트 절연막과 전하포획층으로 사용하였다. 대표적인 Top 게이트 ZnO 나노선 전계효과트랜지스터에 대하여 게이트 전압을 Double sweep 하였을 때의 드레인 전류-게이트 전압 특성이 반시계 방향의 히스테리시스와 문턱전압변화를 나타냈다. 펄스 형태의 게이트 전압을 1초 동안 인가한 후에, 드레인 전류-게이트 전압 특성의 문턱전압 변화가 0.3 V에서 0.8 V로 증가하였다. 이러한 특성은 게이트 전극에서 음전하 캐리어가 음의 게이트 전압에 대하여 Al₂O₃ 층에 충전되고, 양의 게이트 전압에 대하여 방전되는 것을 나타낸다.

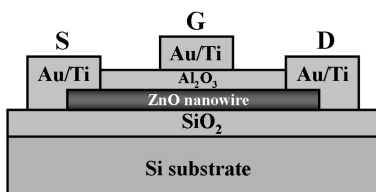
1. 서 론

일차원 나노물질은 전계효과트랜지스터 [1-2], 광검출기 [3], 생화학센서 [4], 박막트랜지스터 [5] 등의 다양한 나노소자를 위한 재료로서 많은 관심을 받았다. 특히, 나노선은 전자 전달 특성이 우수하고, 고품질의 결정성을 갖기 때문에 전자소자 응용에 많은 연구가 진행되고 있다 [6-7]. 나노선의 감소된 채널폭이 문턱전압변화를 증가시킬 수 있는 장점으로 인해 최근에 나노선 또는 나노튜브 기반의 메모리 소자에 대한 몇몇 연구들이 보고되었다 [8-10]. 또한 Al₂O₃ 절연막이 전하포획층으로써 이용될 수 있음이 보고되었다 [11-12]. Al₂O₃ 물질은 높은 열적, 화학적 안정성, 전기적 강도, 메모리 셀 제조에서 사용되는 기존의 물질과의 호환성 등의 장점으로 인해 메모리 소자 응용에서 대체물질로써 많은 연구가 진행되고 있다 [12-13]. 게다가 이러한 산화물은 원자층증착법을 이용하여 나노선 또는 나노튜브에 실린더 형태로 균일하게 코팅할 수 있고 [14], 나노선 위에 실린더 형태의 코팅이 나노선 기반의 메모리 소자의 응용을 쉽게 할 것이다. 본 논문의 Top 게이트 ZnO 나노선 전계효과트랜지스터에서 단일 ZnO 나노선을 채널로 이용하였고, ZnO 나노선 위에 실린더 형태로 코팅된 Al₂O₃ 막이 게이트 절연막과 전하포획층으로 사용되었다. Top 게이트 ZnO 나노선 전계효과트랜지스터의 전기적 특성과 메모리 특성이 일반적인 전류-전압 측정법을 통해 분석하였고, 메모리 특성이 1초 동안 게이트 전압을 펄스형태로 인가하여 그 특성을 관찰하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법

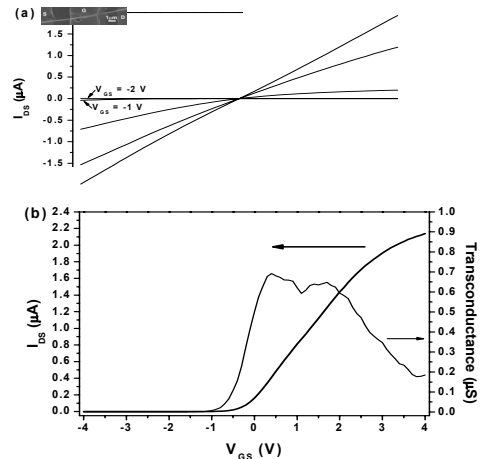
볼필 처리된 ZnO 나노선을 열로써 기화시켜 ZnO 나노선을 합성하였고 [15], 합성된 나노선을 300 nm의 SiO₂ 절연막을 갖는 p형 Si 기판 위에 분산하였다. 단일 ZnO 나노선을 선택하여 양 끝에 소스/드레인 전극 형성을 위해 감광막 패턴을 광사진식각 공정을 이용하여 형성하였다. 열기화장치를 이용하여 티타늄 (50 nm)과 금 (50 nm)을 코팅하여 소스/드레인 전극을 형성하였다. 그 위에 원자층증착법을 이용하여 Al₂O₃ 10 nm를 증착하고, 위와 같은 방법으로 게이트 전극을 소스/드레인 전극 사이에 형성하였다. 전기적 측정을 위해 소스와 드레인 전극 위에 있는 Al₂O₃ 층은 인산 (H₃PO₄)을 이용하여 제거하였다. 이러한 방법을 이용하여 제작된 Top 게이트 ZnO 나노선 전계효과트랜지스터의 개념도가 그림 1에 보인다.



〈그림 1〉 Top 게이트 ZnO 나노선 전계효과트랜지스터의 개념도

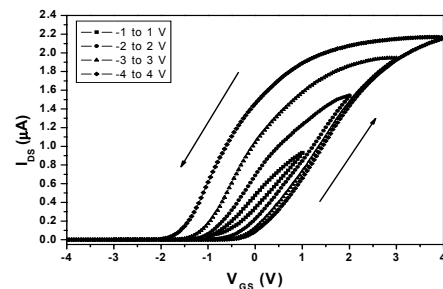
2.2 실험결과 및 고찰

Top 게이트 ZnO 나노선 전계효과트랜지스터의 전기적 특성이 그림 2에 보이고, SEM (Scanning Electron Microscopy) 사진이 그림 2(a)의 삽입도에 보인다. 그림 2(a)에서 전류-전압 특성이 n형 depletion mode 전계효과트랜지스터의 전형적인 특성을 나타낸다. ZnO 나노선의 채널이 -2 V의 게이트 전압에서 완전히 닫힌다. 그림 2(b)는 I_{DS}-V_{GS} 곡선과 트랜스컨덕턴스를 보인다. 피크 트랜스컨덕턴스가 0.4 V의 게이트 전압에서 0.69 μS이다. 커패시턴스는 13 fF이고, 전자 이동도는 17.6 cm²/Vs로 계산되었다 [16].



〈그림 2〉 Top 게이트 ZnO 나노선 전계효과트랜지스터의 전기적 특성

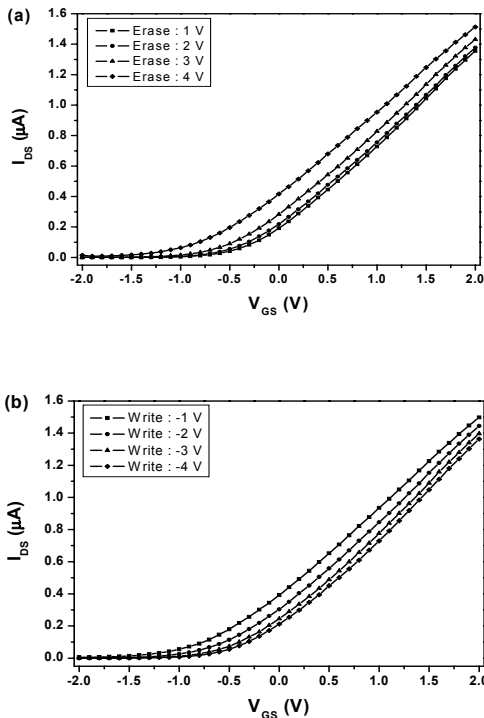
게이트 전압을 Double sweep 하였을 때, 나노선 전계효과트랜지스터의 I_{DS}-V_{GS} 특성이 그림 3에 보인다. 게이트 전압의 Sweep 폭이 커짐에 따라서 문턱전압변화 폭이 증가한다. 1, 2, 3, 4 V의 게이트 전압의 Sweep에 대하여 문턱전압변화는 각각 0, 0.3, 0.9, 1.3 V이다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 반시계 방향의 히스테리시스 곡선이 전류-전압 측정동안 관찰되었다. 이러한 결과는 반시계 방향의 히스테리시스와 관련 있는 음의 전하 캐리어가 게이트 전극으로부터 발생하는 것을 나타낸다.



〈그림 3〉 게이트 전압의 Sweep 폭에 따른 I_{DS}-V_{GS} 특성

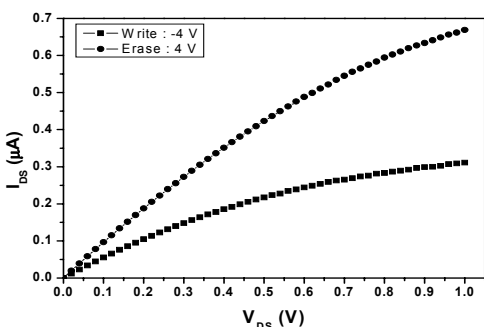
Top 게이트 ZnO 나노선 전계효과트랜지스터의 메모리 동작을 특성화하기 위하여 펄스형태의 게이트 전압을 인가하였다. Erase 동작에서 Al₂O₃ 층을 충전하기 위하여 양의 게이트 전압을 1초 동안 인가하였고, 그 전기적 특성이 그림 4(a)에 보인다. Write 동작에서 초기상태로 복원

하기 위해 음의 게이트 전압을 1초 동안 인가하였고, 그 전기적 특성이 그림 4(b)에 보인다. 정확한 측정을 위해 연속적인 Writing 동작 사이에 4 V의 게이트 전압을 인가하여 Erase 시켰고, 연속적인 Erasing 동작 사이에 -4 V의 게이트 전압을 인가하여 Write 시켰다. 그림 4(a)에서 드레인 전류는 Erasing 전압이 증가됨에 따라서 서서히 증가하였고, 문턱전압은 음의 방향으로 이동하였다. 반대로 Writing 전압을 감소시켰을 때, 드레인 전류는 감소하였고, 문턱전압은 양의 방향으로 이동하였다. Erasing 전압 4 V와 Writing 전압 -4 V에서 문턱전압은 각각 -1.9 V와 1.1 V로 나타났다. 메모리 소자의 Write 동작과 Erase 동작에서 문턱전압 변화는 0.8 V로 그림 3에서의 문턱전압폭 0.3 V보다 크게 나타났다. 이는 게이트 전압을 펄스형태로 인가하였을 때, 게이트 전극으로부터 전달된 전하 캐리어가 게이트 전극과 ZnO 나노선 사이의 Al_2O_3 층에 저장됨을 나타내는 결과이다.



〈그림 4〉 펄스 형태의 게이트 전압 인가 후에 I_{DS} - V_{GS} 특성

그림 5는 1초 동안 Erasing 전압과 Writing 전압을 인가한 후에, 0V의 게이트 전압에서 I_{DS} - V_{DS} 특성을 보인다. Writing 펄스가 게이트 전극에 인가된 후에 드레인 전류는 감소하였다. 반면 Erasing 펄스가 인가된 후에 드레인 전류는 증가하였다. 이러한 행동은 Al_2O_3 층 내부에 전하 분포의 변화로 인한 것이다. 더욱이, I_{DS} - V_{DS} 곡선은 비선형 특성을 나타낸다. 이러한 비선형 특성은 메모리 소자의 Retention 특성과 관련이 있다. 전하 캐리어가 I-V 측정 중에 Al_2O_3 층 또는 게이트 전극으로 이동한다. 이러한 결과는 질화막 기반의 메모리 소자와 비교해서 Al_2O_3 층의 낮은 Retention 특성 때문일 것이다.



〈그림 5〉 펄스 형태의 게이트 전압 인가 후에 I_{DS} - V_{DS} 특성

3. 결 론

Al_2O_3 게이트 절연막을 갖는 Top 게이트 ZnO 나노선 FET를 광사진식각 공정을 이용하여 제작하였다. 게이트 전극과 ZnO 나노선 사이에 있는 Al_2O_3 층을 게이트 산화막과 전하포획층으로써 이용하였다. I_{DS} - V_{GS} 곡선의 반시계 방향의 히스테리시스와 Write 모드와 Erase 모드에서 문턱전압변화가 관찰되었다. 이러한 결과는 음의 게이트 전압을 인가하였을 때, 게이트 전극으로부터 발생된 음의 전하 캐리어가 Al_2O_3 층에 저장되고, 양의 게이트 전압을 인가하였을 때, 전하 캐리어가 방전되는 것을 나타낸다.

감사의 글

본 연구는 2006년도 과학재단 국가지정연구실사업(M105000000 4506J000004510), 한국학술진흥재단 중점연구과제 (KRF-2006-J03601), 비휘발성 차세대메모리소자기술개발사업(10022965-2006-13)에 의하여 수행 되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] T. Bryllert, L. Wernersson, T. Lowgren, and L. Samuelson, *Nanotechnology* 17, S227, 2006
- [2] D. Wang, Q. Wang, A. Javey, R. Tu, H. Dai, H. Kim, P. C. McIntyre, T. Krishnamohan, and K. C. Saraswat, *Appl. Phys. Lett.* 83, 2432, 2003
- [3] H. Kind, H. Yan, B. Messer, M. Law, and P. Yang, *Adv. Mater.* 14, 158, 2002
- [4] W. U. Wang, C. Chen, K.-H. Lin, Y. Fang, and C. M. Lieber, *PNAS* 102, 3208, 2005
- [5] M. C. McAlpine, R. S. Friedman, and C. M. Lieber, *Proceedings of the IEEE*, 93, 1357, 2005
- [6] J. Hu, T. W. Odom, and C. M. Lieber, *Acc. Chem. Res.* 32, 435, 1999
- [7] M. Law, J. Goldberger, and P. Yang, *Annu. Rev. Res.* 34, 83, 2004
- [8] H. Cha, H. Wu, S. Chae, and M. G. Spender, *J. Appl. Phys.* 100, 024307, 2006
- [9] B. Lei, C. Li, D. Zhang, Q. F. Zhou, K. K. Shung, and C. Zhou, *Appl. Phys. Lett.* 84, 4553, 2004
- [10] W. B. Choi, S. Chae, E. Bae, J.-W. Lee, B.-H. Cheong, J.-R. Kim, and J.-J. Kim, *Appl. Phys. Lett.* 82, 275, 2003
- [11] M. Specht, H. Reisinger, F. Hofmann, T. Schulz, E. Landgraf, R. J. Luyken, W. Rosner, M. Grieb, and L. Risch, *Solid-State Electronics* 49, 716, 2005
- [12] M. Lisiansky, A. Heiman, M. Kovler, A. Fenigstein, Y. Roizin, A. Gladkikh, M. Oksman, R. Edrei, A. Hoffman, Y. Shnieder, and T. Claasen, *Appl. Phys. Lett.* 89, 153506, 2006
- [13] V. Gritsenko, K. Nayrov, Y. Novikov, A. Aseev, S. Yoon, J. Lee, and C. Kim, *Solid-State Electronics* 47, 1651, 2003
- [14] B. Min, J. S. Lee, J. W. Hwang, K. Keem, M. I. Kang, K. Cho, M. Y. Sung, S. Kim, M. Lee, S. O. Park, and J. Moon, *J. Crystal Growth* 252, 565, 2003
- [15] J. Lee, K. Park, M. Kang, I. Park, S. Kim, W. Cho, H. Han, and S. Kim, *J. Crystal Growth* 254, 423, 2003
- [16] K. Keem, D.-Y. Jeong, S. Kim, M.-S. Lee, I.-S. Yeo, U.-I. Chung, and J.-T. Moon, *Nano Lett.* 6, 1454, 2006