

## ZnO 나노선 트랜지스터를 기반으로 하는 Al 나노입자 플로팅 게이트 메모리 소자의 특성

김성수<sup>1</sup>, 조경아<sup>1</sup>, 김상식<sup>1,2,a</sup>

<sup>1</sup> 고려대학교 전기전자전파공학부

<sup>2</sup> 고려대학교 나노반도체공학과

### Characteristics of NFGM Devices Constructed with a Single ZnO Nanowire and Al Nanoparticles

Sungsu Kim<sup>1</sup>, Kyoungah Cho<sup>1</sup>, and Sangsig Kim<sup>1,2,a</sup>

<sup>1</sup> Department of Electrical Engineering, Korea University, Seoul 136-713, Korea

<sup>2</sup> Department of Nano Semiconductor Engineering, Korea University, Seoul 136-713, Korea

(Received January 17, 2011; Revised March 4, 2011; Accepted April 4, 2011)

**Abstract:** In this paper, nonvolatile nano-floating gate memory devices are fabricated with ZnO nanowires and Al nanoparticles on a SiO<sub>2</sub>/Si substrate. Al nanoparticles used as floating gate nodes are formed by the sputtering method. The fabricated device exhibits a threshold voltage shift of -1.5 V. In addition, we investigate the endurance and retention characteristics of the nano-floating gate memory device.

**Keywords:** NFGM, Al nanoparticles, ZnO nanowire

#### 1. 서론

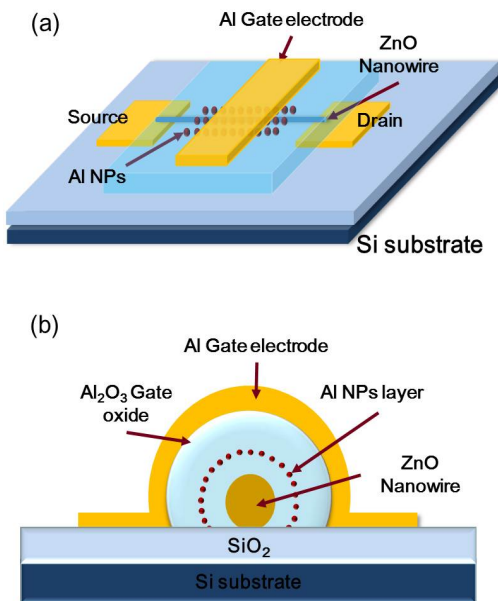
최근에 차세대 메모리 소자로 기대되고 있는 비휘발성 나노플로팅 게이트 메모리에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [1-3]. 현재까지 나노플로팅 게이트 메모리 소자는 실리콘 기판을 바탕으로 제작되어 왔으나, 차세대 전자소자에 활용되기 위해서는 플라스틱이나 종이에도 제작이 가능한 나노플로팅 게이트 메모리 소자가 요구된다. 다양한 기판에서 나노플로팅 게이트 메모리를 제작하기 위해서는 나노선이나 박막의 트랜지스터를 기반으로 하고, 플로팅 게이트 노드 역할을 하는 나노입자를 이용한 구조로 나노플로팅 게이트 메모리 소자가 구현되어야 한다. 따라서, 본 연구에서는 ZnO 나노선의 트랜지스터를 기반으로

하고 스퍼터링 방법으로 형성된 Al 나노입자들을 이용하여 나노플로팅 게이트 메모리 소자를 제작하고자 한다. ZnO 나노선은 비교적 큰 밴드갭과 높은 전자 이동성을 가지고 있기 때문에 채널로서 적합하다. 또한, 일함수가 크지 않은 금속임에도 불구하고 Al 나노입자는 주위에 형성된 얇은 자연 산화막에 의해 충분한 전하 저장 능력을 가진다 [4]. 본 연구에서는 ZnO 나노선 트랜지스터를 기반으로 하는 나노플로팅 게이트 메모리 소자를 제작하고 그 특성을 확인함으로써, 어떤 기판에서도 제작이 가능한 나노플로팅 게이트 메모리 소자의 구조를 제안하고자 한다.

#### 2. 실험 방법

a. Corresponding author: sangsig@korea.ac.kr

Ball-milling 공정을 거친 ZnO 파우더를 thermal

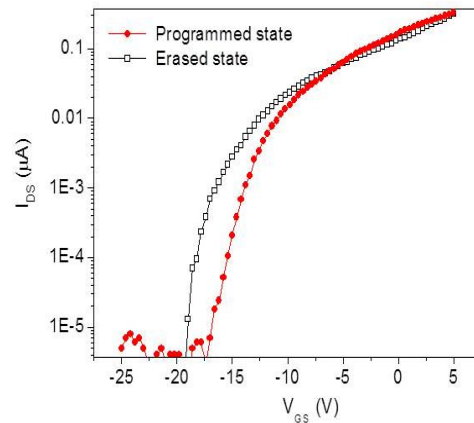


**Fig. 1.** Schematic view of NFGM devices constructed with a single ZnO nanowire and Al nanoparticles (a) top view, (b) cross-sectional view.

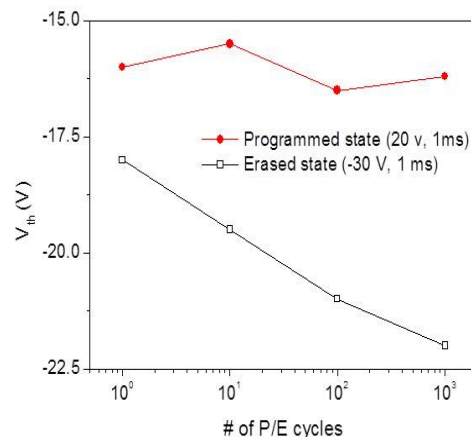
CVD 방법을 이용하여 1380°C 상에서 Ar flow rate 500 sccm, 챔버압력 0.5 atm 의 조건으로 3시간 동안 ZnO 나노선을 합성하였다. 합성한 ZnO 나노선을 메탄올에 분산 시켜 용액 상태로 만든 후 1  $\mu\text{l}$ 의 용액을 실리콘 기판상에 분산시켰다. 그 후 선택된 ZnO 나노선을 노광공정을 거쳐 소스, 드레인을 패터닝 한 후 열증착 방법을 이용하여 알루미늄 전극을 형성하였다. 채널층인 ZnO 나노선 위에 원자층 증착법을 이용하여 150°C 상에서 Trimethylaluminium 과 H<sub>2</sub>O를 이용하여 5 nm의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 터널링 옥사이드 층을 형성하였다. 전하 저장층으로 이용된 Al 나노입자는 3.0 $\times$ 10<sup>3</sup> mTorr, Ar 분위기에서 DC 스퍼터링 방법을 이용하여 200 W에서 10초간 스퍼터링하여 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 터널링 옥사이드층 위에 형성하였다. 플로팅 게이트로 Al 나노입자를 형성한 후에 앞서와 같이 원자층 증착법을 사용하여 150°C 상에서 15 nm의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 컨트롤 옥사이드를 증착하였다. 마지막으로, 노광공정을 통해 게이트 전극을 패터닝 한 후 열증착 방법을 이용하여 알루미늄 전극을 증착하였다. 제작된 소자의 개념도 및 단면도를 그림 1에 나타내었다. 전기적 특성은 실온에서 semiconductor parameter analyzer 4155C를 이용하여 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

ZnO 나노선 트랜지스터를 기반으로 하는 Al 나노입자플로팅 게이트 메모리 소자의  $V_{GS} - I_{DS}$  특성은 그림 2에 나타내었다. 제작된 메모리 소자의 최대 메모리 윈도우 변화폭을 파악하기 위하여 20 V, 1초 와 -30 V, 1초의 충분한 시간동안 쓰기, 지우기 전압을 가하였다. 전압을 가한 후 에는  $V_{th}$  가 -18 V, -19.5 V로 각 각 측정되어 약 1.5 V의 메모리 윈도우를 가진다는 것을 확인하였다.



**Fig. 2.**  $V_{GS}$ - $I_{DS}$  characteristics of NFGM devices constructed with a single ZnO nanowire and Al nanoparticles.



**Fig. 3.** Endurance characteristics of NFGM Devices constructed with a single ZnO nanowire and Al nanoparticles.

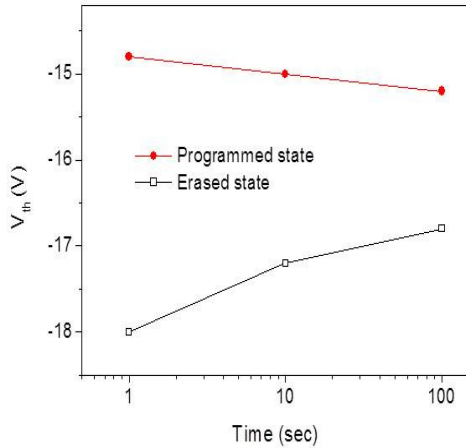


Fig. 4. Retention characteristics of NFGM devices constructed with a single ZnO nanowire and Al nanoparticles.

그림 3은 제작된 소자의 신뢰성 테스트 결과이다. 메모리 소자의 짧은 시간동안의 반복적인 쓰기/지우기에 따른 컨트롤 옥사이드의 성능 저하와 이로 인한 메모리 윈도우 변화를 파악하기 위하여 쓰기 조건으로는 20 V를 1 밀리초 간 가하였으며, 지우기 조건으로는 -30 V를 1 밀리초 간 교대로 가하여 총  $10^3$  번 테스트하였다. 쓰기 상태의 경우  $V_{th}$ 의 값이 큰 변화가 없었으나 지우기 상태의 경우  $V_{th}$ 의 값이 감소하는 양상을 보였다. 이것은 계속되는 쓰기, 지우기 상태로 인해 터널링과 컨트롤 옥사이드 층에 포획되어 있던 전자들이 상대적으로 강한 지우기 전압으로 인해 추출되면서 발생하는 것으로 보인다.

제작된 소자의 지속성 테스트 결과를 그림 4에 나타내었다. 쓰기 조건은 20 V를 1 초간 가하였으며, 지우기 조건은 -30 V, 1 초간 가하여 시간에 따른  $V_{th}$ 의 변화를 각각 측정하였다.

측정결과  $10^2$  초 후에  $\Delta V_{th}$ 는 1.2 V로 측정되어 초기에 비해 약 62%의 전하를 잃은 것을 확인할 수 있었다. 이는 제작된 Al 나노입자의 일함수 값이 4.06 eV로 이는 ZnO의 컨덕션 밴드 값인 4.19 eV보다 작아 Al 플로팅 게이트 층에 저장되어 있던 전자들이 ZnO 채널로 쉽게 이동한 것으로 보인다. 이를 극복하기 위해 적층구조의 플로팅게이트 층을 형성하여 메모리 소자를 제작하면 지속성 문제를 극복할 수 있을 것으로 보인다 [5,6].

#### 4. 결 론

본 연구에서는 Al 나노입자를 플로팅 게이트층으로 사용하고, ZnO 나노선을 채널층을 이용하여 실리콘 기판상에서 비휘발성 나노플로팅 메모리 소자를 제작하였다. 제작된 소자는 약 1.5 V의 메모리 윈도우를 가짐을 확인하였고, 신뢰성 및 지속성 테스트를 통하여 메모리 소자로서의 가능성을 확인하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국연구재단이 지원하는 나노원천기술 개발사업 (CINS), 세계수준의 연구중심대학 육성사업 (WCU), 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신) [10030559, 차세대 고성능 유기나노 소재 및 프린팅 공정기술 개발], 서울시 산학연 협력사업 (PA090914)의 산학위탁 연구비 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

#### REFERENCES

- [1] K. R. Han and J. H. Lee, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **47**, 2687 (2008).
- [2] J. S. Lee, J. Y. Yang, and J. P. Hong, *Appl. Phys. Lett.*, **95**, 052109 (2009).
- [3] B. J. Park, K. A. Cho, and S. S. Kim, *J. Nanotechnology*, **9**, 3 (2009).
- [4] J. S. Lee, J. Y. Yang, and J. P. Hong, *Appl. Phys. Lett.*, **95**, 052109 (2009).
- [5] K. I. Han, Y. M. Park, S. Kim, S. H. Choi, K. J. Kim, I. H. Park, and B. G. Park, *IEEE Trans. Electron Devices*, **54**, 359 (2007).
- [6] G. Molas, G. Bocquet, M. Jalaguier, E. Gely, M. Masarotto, L. Colonna, J. P. Grampeix, H. Martin, F. Brianceau, P. Vidal, V. Kies, R. Yckache, K. De Salvo, B. Ghibaudo, G. Baron, T. Bongiorno, and C. Lombardo (IEEE International Memory Workshop, Monterey, 2009) p. 1.