

## AFM을 이용한 나노 패턴 형성과 크기에 따른 광특성 시뮬레이션

황민영<sup>1</sup>, 문경숙<sup>2</sup>, 구상모<sup>1a</sup>

<sup>1</sup> 광운대학교 전자재료공학과

<sup>2</sup> 경원대학교 수학적정보학과

### Simulations of Optical Characteristics according to the Silicon Oxide Pattern Distance Variation using an Atomic Force Microscopy (AFM)

Min-Young Hwang<sup>1</sup>, Kyoung-Sook Moon<sup>2</sup>, and Sang-Mo Koo<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> Department of Electronic Materials Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea

<sup>2</sup> Department of Mathematics and Information, Kyungwon University, Seongnam 461-701, Korea

(Received April 14, 2010; Revised May 3, 2010; Accepted May 11, 2010)

**Abstract:** We report a top-down approach based on atomic force microscopy (AFM) local anodic oxidation for the fabrication of the nano-pattern field effect transistors (FETs). AFM anodic oxidation is relatively a simple process in atmosphere at room temperature but it still can result in patterns with a high spatial resolution, and compatibility with conventional silicon CMOS process. In this work, we study nano-pattern FETs for various cross-bar distance value  $D$ , from  $\sim 0.5 \mu\text{m}$  to  $1 \mu\text{m}$ . We compare the optical characteristics of the patterned FETs and of the reference FETs based on both 2-dimensional simulation and experimental results for the wavelength from 100 nm to 900 nm. The simulated the drain current of the nano-patterned FETs shows significantly higher value incident the reference FETs from  $\sim 1.7 \times 10^{-6}\text{A}$  to  $\sim 2.3 \times 10^{-6}\text{A}$  in the infrared range. The fabricated surface texturing of photo-transistors may be applied for high-efficiency photovoltaic devices.

**Keywords:** Atomic force microscopy (AFM), Field effect transistors (FETs), Nano-pattern, Simulation

#### 1. 서 론

나노 패턴을 가지는 샘플의 표면은 그림 1에서 보는 것처럼 소자 표면의 반사율을 감소시켜 높은 광 특성을 지니고 있어, 현재 태양전지, 포토트랜지스터 등에서 많은 연구가 진행 중이다. 특히 일반 실리콘이 적외선 영역에서 0%에 가까운 흡수율을 보이는 반면 나노 패턴된 실리콘 소자는 적외선 영역에서도 뛰어난 광 특성을 보이고 있다 [1-4]. 나노 패턴 형성을 위해 원자힘현미경 (AFM)을 사용

할 수 있는데, 이 AFM은 부분적이고 선택적인 부분에 산화패턴형성을 하는데 훌륭한 장점을 가지고 있다. 이 밖에도 AFM anodic oxidation은 상온에서 동작이 가능하여 간단한 공정으로 사용이 가능하다 [5,6]. 이러한 이유로 AFM을 이용한 나노패턴 공정은 바이오 및 광 센서, 그리고 태양전지에 적용할 수 있다 [7]. 이에 본 연구는 AFM 이용한 쇼트키 장벽 전계효과 트랜지스터 (SB-FETs)의 채널부에 나노 패턴을 형성하여 부피 대 표면적 비율을 높여 일반 실리콘 소자와 빛의 파장별 전기적 특성을 시뮬레이션으로 비교-분석하였다 [9].

a. Corresponding author: smkoo@kw.ac.kr

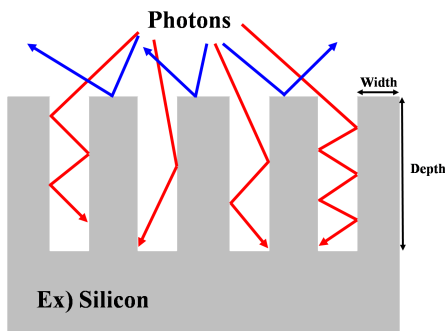


Fig. 1. Schematic of nano-patterned structure.

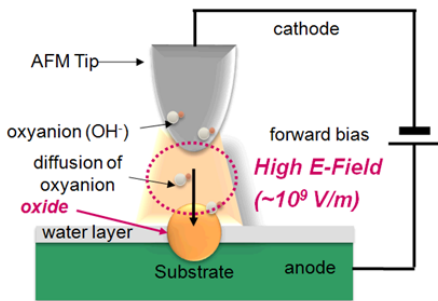
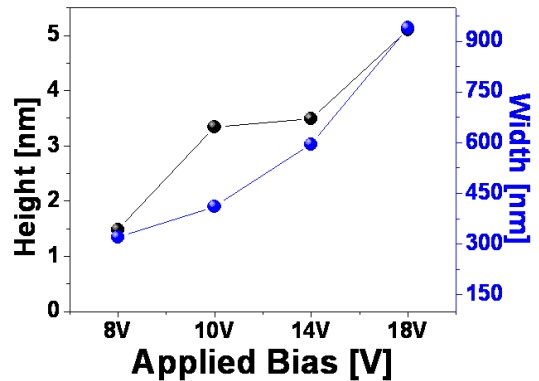


Fig. 2. The principle of AFM anodic oxidation.

<Applied Bias 10V>

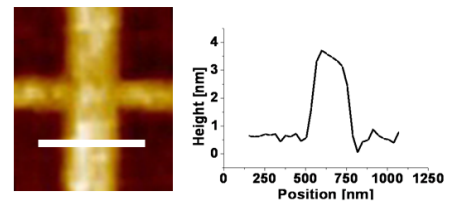


Fig. 3. Graph of oxide properties for the applied bias of an AFM tip.

## 2. 실험 방법

### 2.1 AFM을 이용한 산화막 형성

본 연구에서 사용한 AFM은 나노크기의 미세한 샘플의 표면을 분석하는 장비이다. 하지만 그림 2에서처럼 AFM의 탐침과 샘플사이의 인가전압, 스캔 속도, 주변 온도 및 습도 그리고 누르는 힘에 따라서 산화막 형성 공정이 가능하다. 아래의 화학식과 같이 H<sub>2</sub>O가 반복적으로 반응하며 산화막이 형성된다 [8].

- 실리콘 표면에서 반응:
 
$$\text{Si} + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{h}^+ \rightarrow \text{SiO}_2 + 4\text{H}^+ \quad (1)$$
- $$\text{H}_2\text{O} + 4\text{h}^+ \rightarrow \text{O}_2 \uparrow + 4\text{H}^+ \quad (2)$$
- AFM의 탐침에서 반응:
 
$$4\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2 \uparrow + 4\text{OH}^- \quad (3)$$
- 물의 반응:
 
$$4\text{H}^+ + 4\text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} \quad (4)$$

화학식 (1)~(3)에 의해 실리콘 표면과 AFM의 탐침에서 H<sup>+</sup>와 OH<sup>-</sup>가 생성되면 화학식 (4)에 의해 다시 2H<sub>2</sub>O가 만들어 진다. 이러한 반복에 의해서 실리콘 표면과 AFM의 탐침사이에서 산화막이 형성 된다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 인가전압에 따른 형성된 산화막 특성

실험은 실온상태(27℃)에서 붕소(B)가 도핑된 실리콘(0.05 Ω-cm) 표면위에 AFM의 탐침의 인가전압에 따른 샘플 표면의 산화막 형성 특성을 분석하였다. 그림 3에서처럼 인가전압이 8 V에서 18 V 증가하면서 산화막의 높이는 1.5 nm에서 5.1 nm로 높아졌고, 폭은 320 nm에서 939 nm로 증가함을 확인하였다. 그림 1에서 보듯 샘플 표면의 반사율을 줄이기 위해서는 산화막의 폭은 작고, 높이는 높을수록 최적화된 패턴 간격을 줄일 수 있고 깊은 패턴을

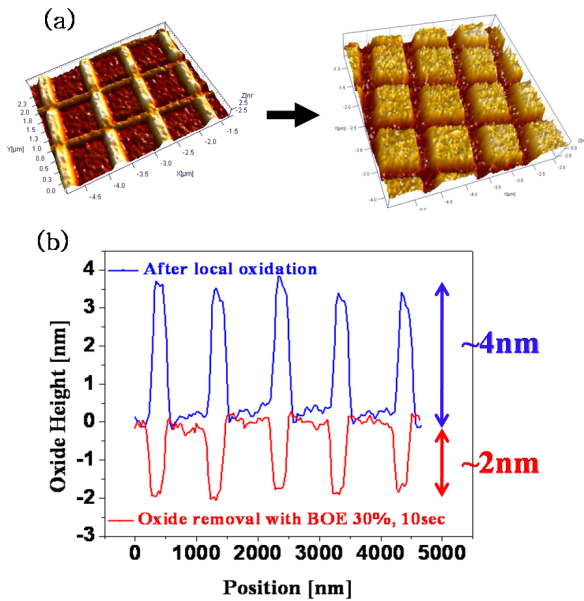


Fig. 4. (a) 3D image of AFM, (b) the graph of removed oxide nano-pattern by an aqueous HF.

제작이 가능하다. 이러한 이유로 인가전압이 10 V 일 때 높이는 ~3.4 nm이고 폭은 ~410 nm 임이 확인했다. 10 V이상의 전압을 인가하면 산화막의 두께는 증가하지만 폭이 ~939 nm으로 증가하면서 0.5 μm 이하의 작은 간격의 나노 패턴을 형성하였다.

### 3.2 최적화된 나노패턴 제작

두께는 크고 폭이 얇은( $t \sim 3.4$  nm,  $W \sim 410$  nm) 산화막 특성을 보이는 10 V의 인가전압을 사용하여 바둑판 구조의 나노 패턴을 제작하였다. 패턴 간격 0.4 μm의 바둑판 구조의 나노패턴은 30%의 희석된 불산 (HF)에서 산화막을 제거하였다. 실리콘은 산화되면서 일정부분 자신을 소비하면서 산화막을 형성하기 때문에 이렇게 산화막을 제거하면 그림 4와 같은 나노 패턴을 제작할 수 있다. 제작된 산화막의 높이는 ~4 nm이고 이를 희석된 HF에서 산화막을 제거하여 깊이가 2 nm의 나노패턴을 얻을 수 있었다. 이를 SB-FETs의 채널에 적용하여 빛의 파장에 따른 전기적 특성분석을 2차원 시뮬레이션을 통해 비교-분석 하였다.

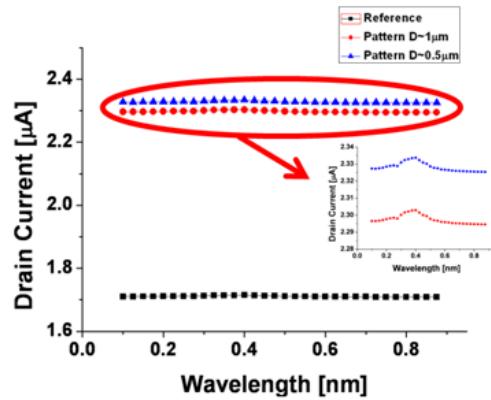


Fig. 5. electro-optical characteristics for the nano-pattern.

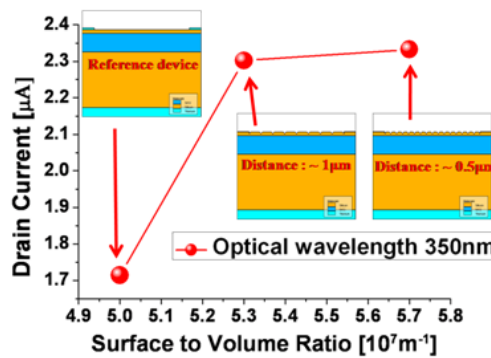


Fig. 6. Electro-optical characteristics for the surface to volume ratio.

### 3.3 시뮬레이션을 이용한 비교-분석

시뮬레이션은 SB-FETs의 채널에 패턴이 없는 구조와 패턴간격이 1 μm, 0.5 μm인 소자를 적용하였다. 그림 5에서처럼 나노 패턴이 없는 구조보다 패턴이 있는 구조가  $\sim 0.7 \times 10^{-6}$  A의 전류가 증가하는 것으로 확인되었다. 또한 빛의 파장이 ~400 nm일 때가 각각의 소자의 최대점을 갖는다.

그림 6은 부피 대 표면적 비율 (surface to volume ratio)이 증가함에 따른 광 특성분석 시뮬레이션이다. 빛의 파장을 350 nm로 고정한 상태에서 부피 대 표면적 비율이  $5.0 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ 에서  $5.7 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ 로 증가하면 드레인 전류는  $\sim 1.7 \times 10^{-6}$  A에서  $\sim 2.3 \times 10^{-6}$  A로 증가하는 것을 확인하였다. 이 결

과로 같은 부피에서 실제 빛이 닿는 표면적이 증가할수록 광특성에 영향을 주게 되어 photovoltaic 소자 제작에서 나노 패턴은 고효율을 얻을 수 있는 중요한 요인이라고 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 입사된 빛의 반사도와 투과도를 줄일 수 있는 최적의 나노 패턴을 형성하기 위해 AFM의 anodic oxidation을 이용한 높고 좁은 산화막을 정의하였다. 형성된 나노 패턴은 희석된 BOE 용액에서 산화막을 제거하여 간격 400 nm의 나노 패턴을 완성하였다.

나노 패턴의 크기에 따른 광 특성은 2차원 시뮬레이션을 이용하여 분석하였다. 부피 대 표면적 비율 값이 증가할수록 높은 광 특성 효율을 보였다. 때문에 같은 부피에서는 표면적이 증가할수록 광특성에 영향을 주게 되어 나노 패턴은 고효율 photovoltaic 소자 제작에 있어서 중요하다고 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구이며 (2009-0066544), 2008년 경원대학교 지원에 의한 결과임을 밝힙니다.

#### REFERENCES

- [1] N. Elfstrom, A. E. Karlstrom, and J. Linnros, *Nano. Lett.* **8**, 3 (2008).
- [2] M. Skupinski, J. Jensen, A. Johansson, G. Possnert, M. Boman, K. Hjort, and A. Razpet, *J. Vac. Sci. Technol. B* **25**, 3 (2007).
- [3] Y. Cao, S. Ding, T. Sun, Y. Yan, and Q. Zhao, *J. Vac. Sci. Technol. B* **27**, 3 (2009).
- [4] S. Gwo, T. Yasuda, and S. Yamasaki, *J. Vac. Sci. Technol. A* **19**, 4 (2001).
- [5] E. S. Snow, W. H. Juan, S. W. Pang, and P. M. Cambel, *Appl. Phys. Lett.* **66**, 1792 (1995).
- [6] S. Masubuchi, M. Ono, K. Yoshida, K. Hirakawa, and T. Machida, *Appl. Phys. Lett.* **94**, 082107 (2009).
- [7] D. Stievenard and B. Legrand, *Progress in surf. Sci.* **81**, 112 (2006).
- [8] D. Stevenard, P. A. Fontaine, and E. Dubois, *Appl. Phys. Lett.* **70**, 20 (1997).
- [9] SILVACO International, ATLAS User's Manual, Version 5.12.0.R. USA, SILVACO International Incorporated, pp. 1-898, 2007.