

원자힘 현미경을 이용한 이온 주입된 4H-SiC 상의 국소 산화 특성

이정호¹, 안정준¹, 구상모^{1,a}

¹ 광운대학교 전자재료공학과

Local Oxidation Characteristics on Implanted 4H-SiC by Atomic Force Microscopy

Jung-Ho Lee¹, Jung-Joon Ahn¹, and Sang-Mo Koo^{1,a}

¹ Department of Electronic Materials Engineering, Kwangwoon University, Seoul, 136-701, Korea

(Received March 20, 2012; Revised March 24, 2012; Accepted March 24, 2012)

Abstract: In this work, local oxidation behavior in phosphorous ion-implanted 4H-SiC has been investigated by using atomic force microscopy (AFM). The AFM-local oxidation (AFM-LO) has been performed on the implanted samples, with and without activation anneal, using an applied bias (~ 25 V). It has been clearly shown that the post-implantation annealing process at $1,650^\circ\text{C}$ has a great impact on the local oxidation rate by electrically activating the dopants and by modulating the surface roughness. In addition, the composition of resulting oxides changes depending on the doping level of SiC surfaces.

Keywords: 4H-SiC, AFM, Local oxidation

1. 서론

원자힘 현미경 (atomic force microscopy, AFM)은 수 마이크로에서 수 나노 미터에 이르는 미세구조를 분석 가능한 장비로써 알려져 있다. 기 발표된 연구를 보면 상대적인 일함수를 측정할 수 있는 SKPM (scanning kelvin potential microscopy)과 상대적인 저항을 측정하는 SRM (scanning resistance microscopy)과 같은 전기적인 특성 측정 뿐 아니라 국소 산화 (local oxidation)와 스크래칭 (scratching)과 같은 나노패턴을 구현하는 연구 분야로 확대되고 있다. 이러한 응용분야 중 하나로 국소 산화는 적절한 습도를 유지하는 상황에서 팁과 시료 간의 전계를 인가함으로써 시료표면에 나노 스케일의 산화물 패턴을 생성시키는 기술이다. 현재 소자제작에 널리 사용되고 있는 광식각 기술은 단시간 내에 대량의 패턴을

만들 수 있는 장점을 가지고 있지만 마스크제작에 소모되는 비용과 시간 등의 단점이 존재한다. 이와 달리 국소 산화 기술은 마스크가 필요 없는 직접적인 산화막 패터닝이 가능하고 광식각 패터닝과 비해 미세한 패턴의 제작이 가능하다. 이와 같은 장점 때문에 나노 스케일 반도체 산업에서 국소산화가 주목받는 단위공정기술 중 하나이다.

탄화규소 (SiC)는 높은 열전도 (~ 3.7 W/cmK), 임계 전압 (~ 3 MV/cm), 포화속도 ($\sim 2 \times 10^7$ cm/s)에 따른 고전압, 고온, 고주파의 조건에서 동작 가능한 소자로써 응용될 수 있는 물질로써 현재 실리콘 (Si) 기반의 전력반도체를 대체할 수 있는 전도유망한 물질 중 하나이다 [1,2]. 또한 SiC의 높은 결합 에너지로 인하여 선택적인 도핑을 위해서는 이온 주입이 유일한 방법으로 알려져 있다 [3]. 본 논문에서는 이온 주입이 된 4H-SiC 상의 국소산화의 특성을 연구하였다.

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

2. 실험 방법

4H-SiC 웨이퍼 (epi 층 $\sim 1e16 \text{ cm}^{-3}$, sub 층 $\sim 1e19 \text{ cm}^{-3}$)를 이용하여 불순물 주입 층의 두 개의 다른 도핑농도 (P-18의 예상 도핑농도: $1e18 \text{ cm}^{-3}$, P-19의 예상 도핑농도: $1e19 \text{ cm}^{-3}$)로 나누어 이온 주입을 수행하였다. 불순물 물질은 인 (phosphorous)이고 이온 에너지는 20-240 KeV, 타겟 온도는 500°C로 고정하였다. P-18의 경우 주입된 이온의 양은 $2.4 \times 10^{13} - 2 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 이었고, P-19의 경우 이온의 양은 $2.4 \times 10^{14} - 2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 이었다. 인 불순물의 농도를 확인하기 위하여 SIMS 분석을 하였다. 이후 퍼니스를 이용하여 1,650°C에서 아르곤 분위기에서 2시간 동안 인 불순물의 활성화화를 위한 열처리를 수행하였다. 열처리 시 표면 산화를 억제하기 위해 감광제를 도포하였으며, 열처리 후 graphite 제거를 위해 sacrificial oxidation을 수행하였다.

인 주입 후 열처리 전 후의 P-18과 P-19 샘플에 AFM (N8 ARGOS, Bruker AXS Inc.)를 이용하여 팁과 시료 사이의 전압 ($\sim 25 \text{ V}$), 팁에 인가된 loading force($\sim 100 \text{ nN}$), 그리고 습도 ($\sim 40\%$) 조건에서 국소 산화를 수행하였다.

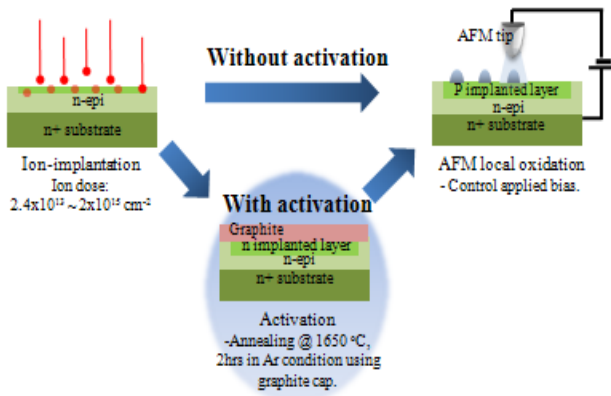


Fig. 1. Schematic experimental flow of ion-implantation, thermal activation, and AFM local oxidation.

스프링상수 ($\sim 3 \text{ N/m}$), 공진주파수 ($\sim 70 \text{ kHz}$), 그리고 Pt/Ir이 코팅된 전도성이 강한 Si 캔틸레버 (ANSCM series, AppNano, USA)를 컨택 모드로 사용하였다. 또한 탄화규소 상에 형성된 산화물의 성분 분석을 위해 산화 패턴의 면적을 약 $15 \mu\text{m} \times 15 \mu\text{m}$ 로 크게 형성하여 AES (auger electron spectroscopy) 측정을 하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 인 주입 후의 SIMS (secondary ion mass spectroscopy) 결과를 나타낸다. 탄화규소 표면으로부터 약 500 nm 깊이로 인 불순물이 주입이 된 것을 확인하였다. 그림 2(a)의 P-18의 경우 약 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 를, 그림 2(b)의 P-19의 경우 약 $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 의 인 불순물 농도를 나타낸다.

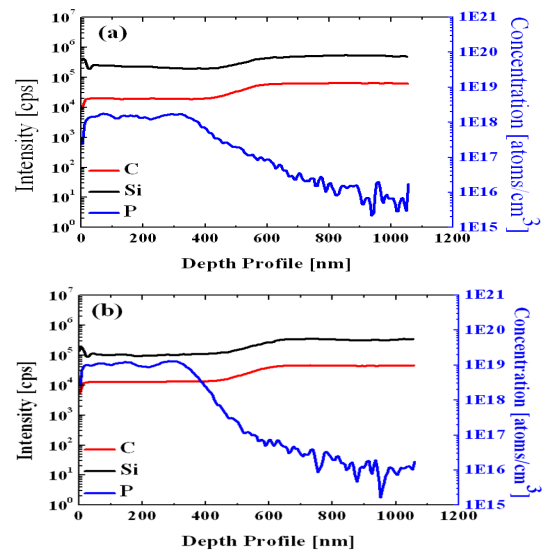


Fig. 2. SIMS profiles indicates implanted phosphorous concentration of P-19, and P-20 are approximately $2e18 \text{ cm}^{-3}$, and $2e19 \text{ cm}^{-3}$, respectively.

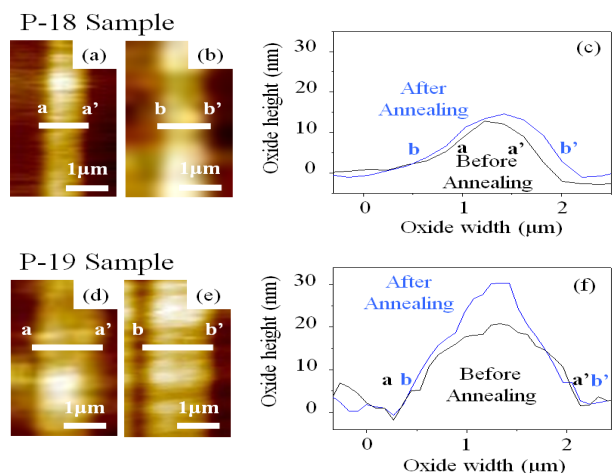


Fig. 3. AFM images of oxide patterns (a) before and (b) after annealing, and (c) annealing dependent oxide shape difference for a P-18 sample. AFM images of oxide patterns (d) before and (e) after annealing, and (f) annealing dependent oxide shape difference for a P-19 sample.

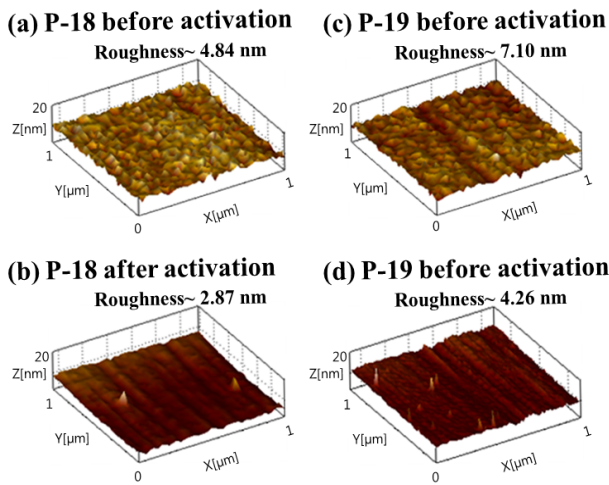


Fig. 4. AFM images of (a) before annealing and (b) after annealing for P-18 (c) before annealing and (d) after annealing for P-19.

그림 3은 인 주입 후 열처리의 전 후에 따라 국소 산화의 패턴의 AFM 이미지와 높이를 나타낸다. P-18의 경우, 산화물의 높이는 열처리 전 약 20 nm, 열처리 후에는 약 30 nm가 형성이 되었다. P-19의 경우, 산화물의 높이는 열처리 전, 약 11 nm, 열처리 후에는 약 14 nm가 형성이 되었다. 즉, 도핑농도가 높을수록, 그리고 열처리 후에 산화물의 높이가 증가하였다. 선행연구 결과에 비추어 도핑농도가 높아짐에 따라 텃과 시료 간에 걸리는 전계가 증가하여 더 높은 산화물 패턴이 형성되었음을 알 수 있다 [4]. 또한 열처리 후, 인 불순물이 탄화규소의 격자에 치환되어 결합이 되었음을 알 수 있다.

그림 4는 인 주입된 P-18과 P-19 샘플의 열처리 전 후의 AFM 이미지와 표면 거칠기를 나타낸다. P-18 샘플의 경우 열처리 전 후의 표면 거칠기는 각각 4.84와 2.87 nm이었고, P-19 샘플의 경우 열처리 전 후의 표면 거칠기는 각각 7.10과 4.26 nm이었다. P-18 샘플의 표면 거칠기가 P-19 샘플의 표면 거칠기보다 작은 이유는 P-18 샘플의 이온의 양이 P-19 샘플의 이온의 양보다 적었기 때문으로 판단된다. 또한 열처리 전보다 후에 표면 거칠기가 낮아진 원인은 sacrificial oxidation에 기인한 것으로 판단된다. 그림 5는 AES 측정을 이용하여 산화물 내의 성분 분석 결과를 나타낸다. 산화물 내의 탄소비율이 P-18의 경우 약 5%인 반면, P-19의 경우 약 1% 이하로 나타났다. 따라서 인이 탄화규소의 구성물 중 하나인

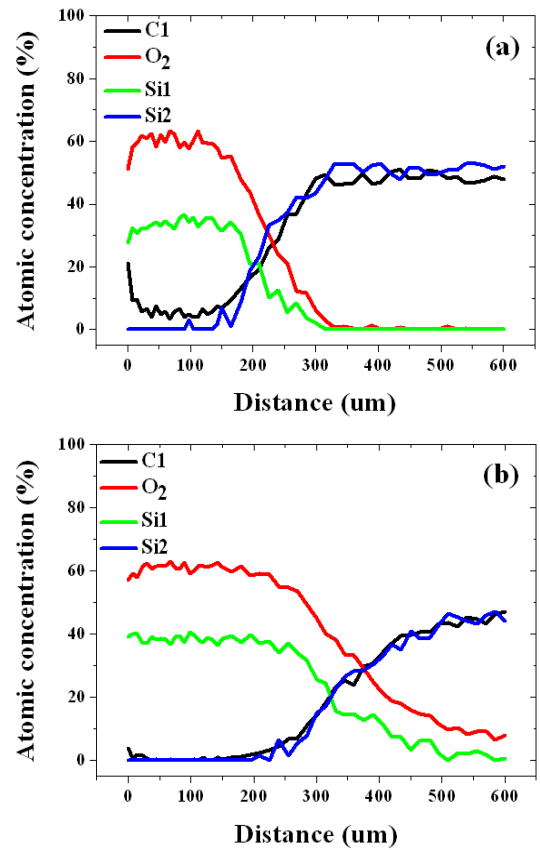


Fig. 5. AES profiles of formed oxide by AFM LO on (a) P-18 and (b) P-19 sample.

탄소 자리를 치환하여 불순물로서 작용했다고 해석이 가능하다 [5]. 또한 AFM-LO 기술을 이용하여 탄화규소에 형성한 산화물은 P-18의 경우 실리콘 산화물과 소량의 탄소 산화물이라 여겨질 수 있다.

4. 결론

4H-SiC 상에 인-주입을 하였고, 열처리 전 후로 AFM을 이용하여 탄화 규소 상의 국소 산화 특성과 탄화 규소 표면의 거칠기를 비교 및 분석하였다. 국소 산화 특성은 열처리 후에 산화물의 높이와 넓이가 크게 제작되었고, 인 주입의 양이 많을수록 산화물의 높이와 넓이가 크게 제작되었다. 탄화규소 표면의 거칠기는 열처리 후에는 sacrificial oxidation의 영향으로 감소하였고, 인 주입의 양이 많을수록 증가하였다. 형성된 산화물의 성분 분석을 통해 첫째, 인은 탄화

규소 물질에서 탄소 자리를 치환하여 불순물로 작용하였고, P-18의 경우 국소 산화로 형성된 산화물은 실리콘 산화물과 소량의 탄소 산화물이라 여겨질 수 있다. AFM-LO로 형성된 산화물의 절연특성 평가 등의 신뢰성 관련 연구가 추후 과제로 남아있다.

감사의 글

본 연구는 2012년 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원 (2011-0017942 및 2011-0003298) 및 광운대학교의 지원을 통해 개발된 결과임을 밝힙니다.

REFERENCES

- [1] S. M. Koo, *The proceedings of KIEE*, **59**, 14 (2010).
- [2] P. Avouris, T. Hertel, and R. Martel, *Appl. Phys. Lett.*, **71**, 285 (1997).
- [3] K. Kawahara, J. Suda, G. Pensl, and T. Kimoto, *J. Appl. Phys.*, **108**, 033706 (2010).
- [4] Y. D. Jo, S. H. Seo, W. Bahng, S. C. Kim, N. K. Kim, S. S. Kim, and S. M. Koo, *Appl. Phys. Lett.*, **96**, 082105 (2010).
- [5] F. Yan, R. P. Devaty, W. J. Choyke, A. Gali, I. Bhat, D. J. Larkin, *Mat. Sci. Forum*, **585**, 527 (2006).