

1300 V급 4H-SiC SBDs의 Contact의 특성에 미치는 열처리 효과

강 수창*, 금 병훈*, 도 석주**, 제 정호**, 신 무환*

(Soo-Chang Kang*, Byong-Hun Kum*, Seok-Joo Doh**, Jung-Ho Je**, and Moo-Whan Shin*)

Annealing effect of Schottky contact on the characteristics of
1300 V 4H-SiC SBDs

Abstract

본 연구에서는 Pt/4H-SiC Schottky barrier diodes(SBDs)의 소자 성능향상과 미세구조와의 상관관계를 규명하였다. 다른 열처리 온도구간에 따른 금속/SiC 계면의 미세구조 평가는 X-ray scattering법을 사용하여 분석하였다. 소자의 역 방향 특성은 열처리 온도가 증가함에 따라 저하되었다. As-deposited와 850 °C 온도에서 열처리된 소자의 최대 항복전압은 각각 1300 V와 626 V 이었다. 그러나, 소자의 순방향 특성은 열처리 온도가 증가함에 따라 향상되었다. X-ray scattering법으로 650 °C이상의 열처리 온도에서는 Pt/SiC 계면에서 Pt-silicides가 형성되었고, 이러한 Silicides의 형성이 Pt/SiC 계면의 평활도를 증가시킨 원인이 됨을 보였다. SBDs의 순방향 특성은 열처리 과정동안 Pt/SiC 계면에서 형성된 silicides의 결정성에 강하게 의존함을 알 수 있었다.

Key Words(중요용어) : 4H-SiC Schottky Barrier Diode(쇼키 장벽 다이오드), Breakdown Voltage(항복 전압), X-ray scattering법

1. 서 론

SiC는 고유의 전기적 열적 특성 때문에 고온과 극한환경 하에서 작동을 요구하는 고효율, 고주파, 고온 소자 응용을 위해 매력적인 광대역 반도체이다. 이러한 특성들은 높은 항복 시 전기장의 세기 (2.7×10^6 V/cm), 높은 전자속도(2×10^7 cm/sec), 큰 밴드갭(2.86 eV for 6H and 3.2 eV for 4H), 그리고 높은 열전도도(4.9 W/Kcm for 4H) 등을 포함한다¹⁾. 특히 극도로 높은 임계 전기장 세기는 SiC를 고효율 정류기와 같은 고전압 응용을 위한 유망

한 후보로 만든다²⁾. 정류기는 SBDs가 전류 스위칭 동안 전력선에 유도된 고전압 전이를 억제시키기 위해 이용된다. 스위칭 동안 전력의 손실을 무시하기 위해, SBD의 역 방향 전류 전이는 항복 없이 고 역방향 전압을 유지하면서 억제되어야 한다. SiC SBD의 이론적인 항복전압을 이루기 위해 소자의 디자인과 제조에 관한 많은 연구들이 있었다³⁾. 그러나, 4H-SiC SBDs의 소자 성능향상과 미세구조 사이의 상관 관계에 대해 언급한 논문은 단지 몇 편에 지나지 않는다.

본 연구에서는, Pt/4H-SiC SBDs의 전류-전압특성과 여러가지 온도에서 열처리된 Pt/4H-SiC 계면의 미세구조 사이의 상관관계를 규명하고자 하였다.

2. 실험방법

Heavily 도핑된 SiC 기판위에 도핑농도(N_d)가

* : 명지대학교 세라믹공학과/전자소재연구센터
(경기도 용인시 남동 산 38-2 Fax: 0335-330-6457
E-mail: sckang@wh.myongji.ac.kr)

** : 포항공과대학교 금속재료공학부

$1.2 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ 이고 두께 $10 \mu\text{m}$ 의 epi층을 가지는 단결정 4H-SiC 웨이퍼를 사용하여 SBDs를 제작하였다. Standard chemical cleaning 과정에 따른 기판 세척 후, Pt 쇼키 접합($t=3000 \text{ \AA}$)은 sputtering 법 ($\sim 1 \times 10^{-6} \text{ torr}$)으로 증착하였다. 쇼키 금속 주위에 boron이온 주입시 사용된 dose와 에너지는 각각 $1.0 \times 10^{15} \text{ cm}^2$ 와 30 keV 이다. 옴릭 접합은 backside blanket에 Ni($t=3000 \text{ \AA}$) 금속을 E-beam evaporator($7 \sim 9 \times 10^{-6} \text{ torr}$)로 증착한 후, implant damage를 제거하기 위해 $1050 \text{ }^\circ\text{C}$, Ar 분위기에서 30 분 동안 열처리하였다. 소자 성능향상에 대한 열처리 효과를 조사하기 위해, 소자는 여러가지 온도 (As-deposited, $500 \text{ }^\circ\text{C}$, $650 \text{ }^\circ\text{C}$, $750 \text{ }^\circ\text{C}$, $850 \text{ }^\circ\text{C}$)에서 열처리되었다. Pt/SiC 계면의 미세구조는 X-ray scattering법을 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

제작된 소자의 구조와 전형적인 전류-전압 특성은 그림 1에서 보여진다.

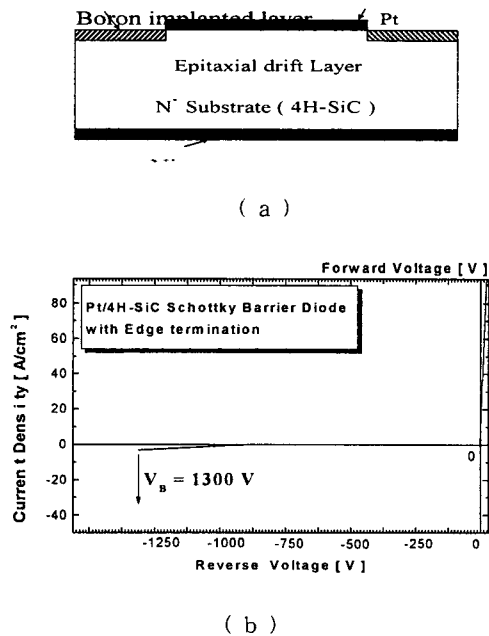
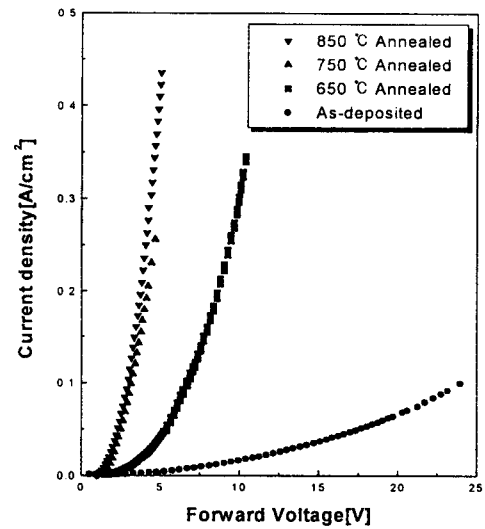
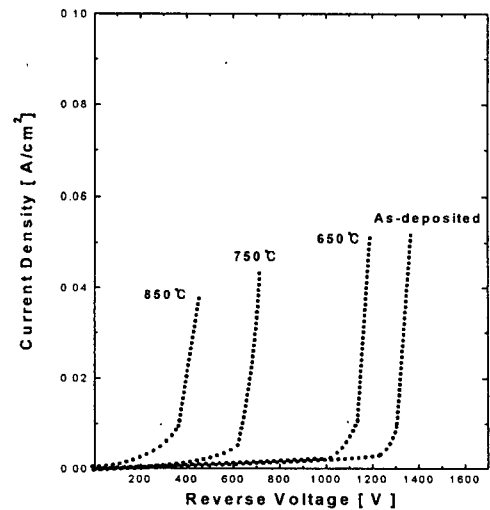


그림 1. (a) 도식적인 4H-SiC SBD의 소자구조와 (b) 최대항복전압 1300 V를 나타내는 전류-전압 특성(as-deposited 쇼키 접합을 가지는 소자)

본 연구에서 얻어진 최대 항복전압은 1300 V (as-deposited 쇼키 접합을 가지는 샘플에 대해)였다. 그림 2 (a)와 (b)는 여러 다른 온도에서 열처리된 Pt/SiC 쇼키 장벽 다이오드의 순 방향과 역 방향 바이어스에 대한 전류-전압 특성의 변화를 보인다.



(a)



(b)

그림 2. 다른 온도에서 열처리된 Pt/SiC 쇼키 장벽 다이오드의 (a) 순방향과 (b) 역방향 전류-전압 특성의 변화

다이오드의 순 방향 전류밀도는 열처리 온도에 따라 향상되어짐을 알 수 있었다. 850 °C에서 열처리된 소자의 전류밀도는 5 V에서 420 mA/cm² 이었다. As-deposited 쇼키 접합을 가지는 소자의 전류밀도는 850 °C에서 열처리된 소자의 값보다 약 140 배 작은 값을 나타내었다.

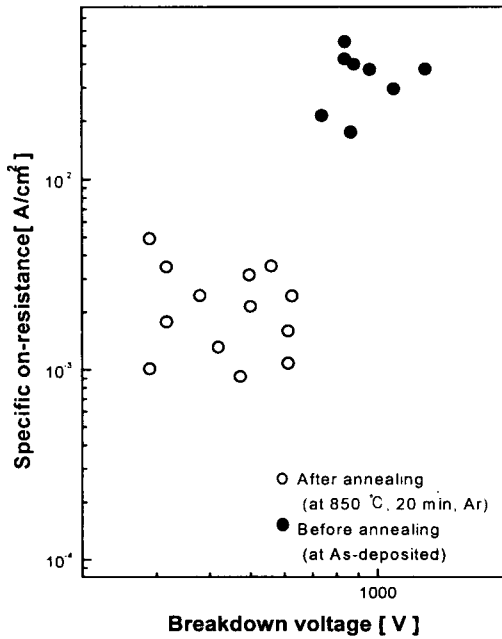
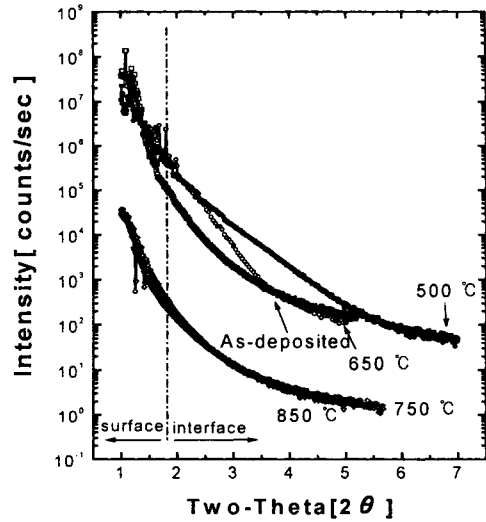


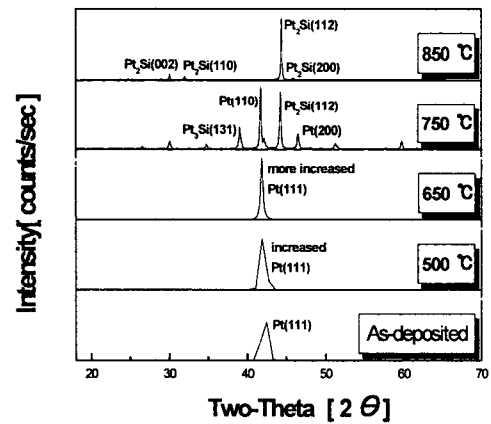
그림 3. Specific on-resistance의 항복전압 의존성

순 방향 특성과는 별도로, 소자의 항복전압은 열처리 온도에 따라 감소함을 보였다. 열처리된 소자의 ideality factor (n)값은 열처리 온도 증가에 따라 4.5 (as-deposited)에서 1.2 (850 °C)까지의 범위를 나타내었다. 장벽높이(SBH)는 열처리 온도에 반비례할 것이다. 그림 3은 as-deposited 샘플과 850 °C에서 열처리된 샘플의 specific on-resistance(R_{on}) 값을 비교하였다. As-deposited 샘플의 R_{on} 값의 분포는 열처리된 샘플의 값에 비해 약 1 배정도 더 큰 값을 보였다. 그것은 항복전압이 R_{on} 에 반비례 관계에 있다는 것으로서 설명되어 질 수 있다⁴⁾. 소자의 전기적 특성은 쇼키 접합과 4H-SiC 사이의 계면의 미세구조의 관점에서 분석되었다. 그림 4는 여러 가지 다른 온도에서 열처리된 Pt/4H-SiC 층의 표면과 계면으로부터 반사된 x-ray의 강도를 보여 준다. 계면의 평활도는 650 °C 이상의 온도에서 열

처리된 샘플에 대해 x-ray강도가 갑자기 증가되었다.



(a)

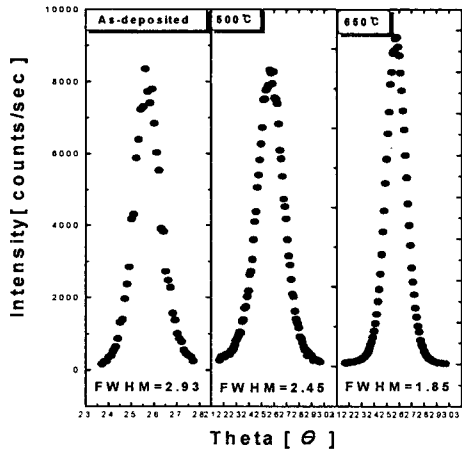


(b)

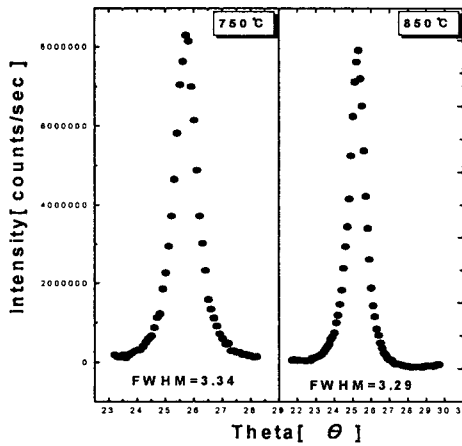
그림 4. 다른 온도에서 열처리된 (a) Pt/4H-SiC 표면과 계면으로부터 반사된 X-ray 강도와 (b) long scan

As-deposited 샘플과 비교하였을 때, 500 °C에서 열처리된 샘플에 대한 더 높은 반사도는 Pt의 결정성의 향상에 기인하였다. X-ray scattering분석은 Pt silicides가 650 °C이상의 열처리 온도에서 형성되었고, Pt의 결정성은 650 °C 이하의 온도에서 열

처리 온도가 증가함에 따라 향상되어짐을 알 수 있었다. 그림 5(a)는 Pt/4H-SiC 층이 여러 다른 온도 (as-deposited, 500 °C, 650 °C)에서 열처리되어 질 때 Pt(111)의 rocking 곡선을 비교하였다.



(a)



(b)

그림 5. Pt/4H-SiC 층의 (a) as-deposited, 500 °C과 650 °C에서 열처리된 Pt (111) 회절과 (b) 750 °C과 850 °C에서 열처리된 Pt₂Si의 Rocking 곡선

그림 5 (b)는 Pt₂Si 상에 대한 rocking 곡선을 보인다. Long-scan X-ray diffraction은 Pt 상은 샘플이 850 °C에서 열처리된 후 거의 소멸되어짐을 알 수 있었다⁵⁾. 이것으로써, 고온에서 열처리된 샘플의

더 큰 전류밀도는 Pt의 결정성 향상(below 650 °C)과 Pt₂Si상의 형성(above 650 °C)에 기인함을 알 수 있었다. Silicides의 형성이 Pt/4H-SiC 계면의 평활도의 증가를 초래함에 규명하였다⁶⁾.

4. 결 론

Pt/4H-SiC SBDs의 전기적 특성은 X-ray scattering 법에 의한 Pt/4H-SiC 계면의 미세구조 분석과 연계되어졌다. As-deposited Pt 쇼키 접합을 가지는 소자가 1300 V의 최대 항복전압을 나타내었다. 소자의 역방향 특성은 열처리 온도가 증가함에 따라 저하되었다. 그러나, 소자의 순방향 특성은 열처리 온도가 증가함에 따라 증가함을 알 수 있었다. X-ray scattering분석은 Pt silicides가 650 °C 이상의 열처리 온도에서 형성되어짐을 보였다. silicides의 형성은 Pt/SiC 계면의 평활도를 증가시키는 원인으로 작용하였다. Pt/4H-SiC SBDs의 순방향과 역방향 특성은 열처리 온도에 따른 계면상태에 의해 지배되어짐을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 1998 년도 명지대학교 정보통신 우수 학교 지원사업으로 수행되었음.

참 고 문 헌

1. C.E. Weitzel, J.W. Palmour, C.H. Carter, IEEE transactions on Electron Devices **41**(10), 1732-1741, 1996
2. I. Lauer mann, R. Memming, and D. Meissner, J. Electrochem. Soc., **144**(1), p.73-80. 1997
3. A. Itoh, and H. Matsunami. IEEE Electron Device letters, **16**(6), p. 280-282. 1995
4. J. Crofton, E. D. Luckowski, et al, Inst. Phys. Conf. Ser. No. 142: Chapter 3, Paper presented at Silicon Carbide and Related Materials 1995 Conf. Kyoto, Japan, 1995
5. L.M. Porter, R.F. Davis, J.S. Bow, M.J. Kim, and R.W.Carpenter, Inst. Phys. Conf. Ser. No 137, p. 581-584, 1993
6. N. A. Papanicolaou, A. Christou, and M. L. Gipe, J. Appl. phys. **65**(9), p. 3526-3530, 1989