

다결정 3C-SiC 박막 다이오드의 전기적 특성

정귀상* · 안정학

Electrical characteristics of polycrystalline 3C-SiC thin film diodes

Gwi-yang Chung[†] and Jeong-Hak Ahn

Abstract

This paper describes the electrical characteristics of polycrystalline (poly) 3C-SiC thin film diodes, in which poly 3C-SiC thin films on n-type and p-type Si wafers, respectively, were deposited by APCVD using HMDS, H₂, and Ar gas at 1150 °C for 3 hr. The schottky diode with Au/poly 3C-SiC/Si (n-type) structure was fabricated. Its threshold voltage (V_{th}), breakdown voltage, thickness of depletion layer, and doping concentration (N_D) value were measured as 0.84 V, over 140 V, 61 nm, and 2.7 × 10¹⁹ cm⁻³, respectively. Moreover, for the good ohmic contact, Al/poly 3C-SiC/Si (n-type) structure was annealed at 300, 400, and 500 °C, respectively for 30 min under the vacuum condition of 5.0 × 10⁻⁶ Torr. Finally, the p-n junction diodes fabricated on the poly 3C-Si/Si (p-type) were obtained like characteristics of single 3C-SiC p-n junction diode. Therefore, poly 3C-SiC thin film diodes will be suitable for microsensors in conjunction with Si fabrication technology.

Key Words : polycrystalline 3C-SiC, MEMS, schottky diode, ohmic contact

1. 서 론

SiC(silicon carbide)는 넓은 밴드 갭을 가지고 높은 파워, 전압, 주파수, 온도, 항복전압에서 견디며 높은 포화속도, 열 전도성 등의 우수한 특성을 가지는 광대역 반도체이다. 따라서, SiC는 극한 환경, RF 그리고 바이오용 MEMS분야에서 크게 주목을 받고 있다^[1,2].

현재 승화법으로 성장한 육각형 구조를 가진 SiC (2H-, 4H-, 6H-) 기판을 고전력 및 초고주파수용 전자부품 제작에 사용하고 있지만, 대면적화가 불가능하며 고가이다. 그러나, 입방구조의 3C-SiC 박막은 CVD로 Si 기판위에 대면 성장이 가능하며 Si 마이크로머시닝기술의 적용에도 용이하다. 단결정 3C-SiC의 경우에는 1300 °C 이상에서 성장이 가능하다. 그러나, Si과 3C-SiC 두 물질간의 큰 열팽창 계수의 차이와 격자 부정합으로 인한 크랙, 뒤틀림 등의 스트레스가 크게 발

생한다^[3]. 이는 많은 누설전류의 존재를 야기시키며 고온에서의 소자특성을 약화시킨다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서 산화막 혹은 질화막위에 저온에서 양질의 박막성장이 가능하며 기존 Si 표면 마이크로머시닝 기술을 이용할 수 있는 다결정 3C-SiC 박막이 MEMS에 적합한 재료이다^[4].

본 논문에서는 APCVD 방법을 이용하여 n-형과 p-형 Si 기판위에 다결정 3C-SiC를 성장하여 Au와 Al 등의 금속 물질을 이용하여 다결정 3C-SiC 박막의 쇼트키와 음의 특성을 분석했으며 또한, 이중접합 다이오드를 제작하였다. 특히, I-V와 C-V 특성을 각각 측정하여 성장된 다결정 3C-SiC 박막의 전기적 특성을 평가하여 MEMS에 응용 가능성을 확인하였다.

2. 실 험

N-형과 p-형 Si 기판위에 Ar, H₂, HMDS 가스를 이용하여 APCVD 방법으로 다결정 3C-SiC 박막을 성장하였다. 이때 HMDS 가스와 수소의 유량은 각각 1과 100 sccm이며 1150 °C에서 3시간 동안 1.5 μm의 두께로 성장했으며 우수한 막질임을 확인하였다^[5].

울산대학교 전기전자정보시스템공학부(School of Electrical Eng., University of Ulsan)

[†]Corresponding author: gschung@ulsan.ac.kr
(Received : May 2, 2007, Accepted : May 21, 2007)

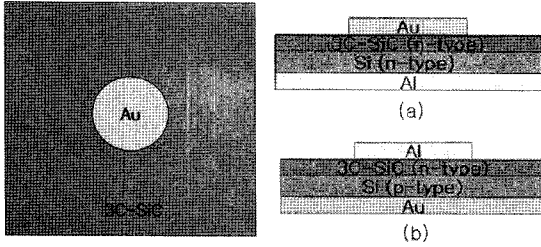


그림 1. 다결정 3C-SiC 다이오드의 도식적 다이어그램; (a) 쇼트키와 (b) p-n 접합 다이오드
Fig. 1. Schematic diagrams of poly 3C-SiC diode; (a) schottky diode and (b) p-n junction diode.

그림 1은 본 연구에서 각각 제작한 쇼트키와 p-n 접합 다이오드의 평면 및 단면도이다. 다결정 3C-SiC 쇼트키 다이오드는 마그네트론 스퍼터링으로 n-형 Si 기판위에 성장한 다결정 3C-SiC 박막위에 두께 5000 Å, 지름 1 mm의 원형 Au를 증착하여 쇼트키 접촉을 형성하였다. 뒷면에는 Al을 두께 5000 Å로 증착하여 음의 접촉을 형성하였다. 또한, p-n 접합 다이오드는 기판의 윗면과 아랫면에 각각 음의 접촉을 형성하였다. 두 다이오드는 진공중에서 30분 동안 400 °C에서 열처리하였다.

그림 2는 다결정 3C-SiC 박막위에 Al을 증착하여 제작한 음의 특성 분석용 샘플의 도식도이다. 지름은 각각 250, 500, 750, 1000 μm이며 두께는 5000 Å로 증착하였고 각각 진공에서 300, 400, 500 °C로 30분 동안 열처리하였다.

마지막으로 Keithley207과 HP4192A를 각각 이용하여 I-V와 C-V을 측정했으며 제작한 다결정 3C-SiC 다이오드의 전기적 특성을 분석하였다.

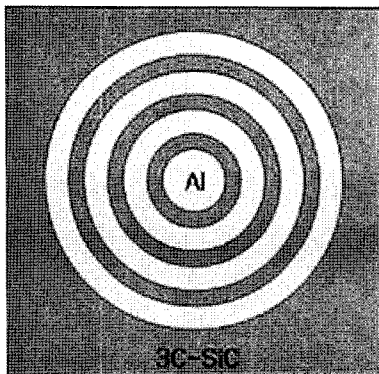


그림 2. 음의 접촉의 도식도
Fig. 2. Schematic view of ohmic contact.

3. 결과 및 고찰

N-형 Si 기판위에 APCVD 방법으로 1100°C에서 3 시간 동안 다결정 3C-SiC 박막을 성장한 후, 쇼트키 다이오드를 제작했으며 정밀 임피던스 측정기를 사용하여 정전용량을 측정하였다. 본 연구에서는 이 값을 이용하여 캐리어 밀도와 공핍층의 두께를 계산하였다.

$$C = \frac{K_s \epsilon_0 A}{\chi_n} = \frac{K_s \epsilon_0 A}{\sqrt{\frac{2K_s \epsilon_0}{qN_D} (V_{bi} - V_A)}} \quad (1)$$

식 (1)로부터 C값인 정전 용량을 구할 수 있다. 여기서 K_s 는 3C-SiC의 유전율이며 A는 전극의 단면적을 나타낸다. 식 (1)을 K_s 와 ϵ_0 로 나누면 (2)와 같은 식이 된다.

$$C = \frac{A}{\sqrt{\frac{2(V_{bi} - V_A)}{qN_D K_s \epsilon_0}}} \quad (2)$$

여기서, $V_A=0$ 일때, 정전 용량인 C_0 를 계산 할 수 있으며 $1/C^2$ 으로 표현하면 식 (3)과 같다.

$$\frac{1}{C^2} = \frac{2(V_{bi} - V_A)}{qN_D K_s \epsilon_0 A^2} \quad (3)$$

식 (3)을 이용하여 그림 3과 같은 그래프를 얻었으며 성장층의 두께는 1.5 μm, V_{bi} 는 0.84 V, 그리고 N_D 값은 $2.7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 으로 각각 나타났다. 이때 N_D 값은 홀계수 측정 장치를 이용하여 얻은 $2.86 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 과 비교해볼 때 실제값에 접근함을 알 수 있었다.

식 (4)를 이용하면 X_n 의 값인 공핍층의 두께도 계산

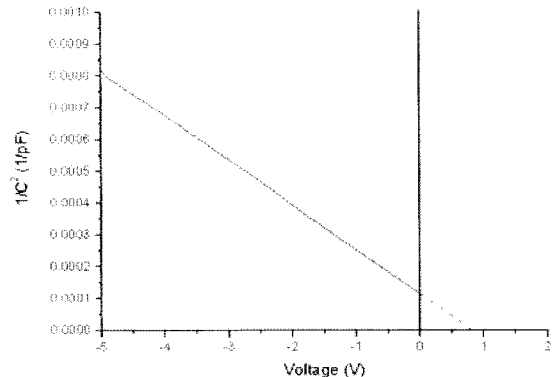


그림 3. 다결정 3C-SiC 쇼트키 다이오드의 C-V 곡선
Fig. 3. C-V curve of poly 3C-SiC schottky contact.

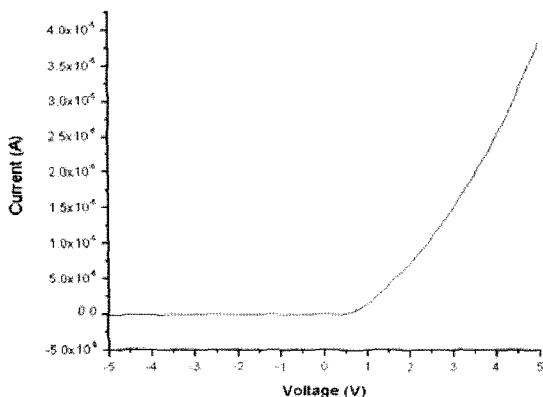


그림 4. 다결정 3C-SiC 쇼트키 다이오드의 I-V 특성 곡선
Fig. 4. I-V Characteristic curve of poly 3C-SiC schottky diode.

할 수 있다. 이때 X_n 값은 61 이었다¹⁶⁾.

$$X_n = \sqrt{\frac{2K_s \epsilon_0 (V_{bi} - V_A)}{qN_D}} \quad (4)$$

그림 4는 반도체 계수 분석기를 이용하여 I-V 특성을 나타낸 것이다. 약 0.84 V에서 문턱전압을 보이면서 뚜렷한 쇼트키 다이오드 특성이 나타났다. 또한, 140 V 이상의 항복전압이 나타났지만, 큰 역 전압 바이어스가 인가될때에 누설전류가 많았다.

그림 5는 두께에 따른 다결정 3C-SiC의 표면을 나타낸 scanning electron microscope(SEM) 이미지이다. 두께가 두꺼울수록 antiphase boundaries(APB)와 누설전류가 작게 나타났다. 이에 APB는 누설전류의 원인으

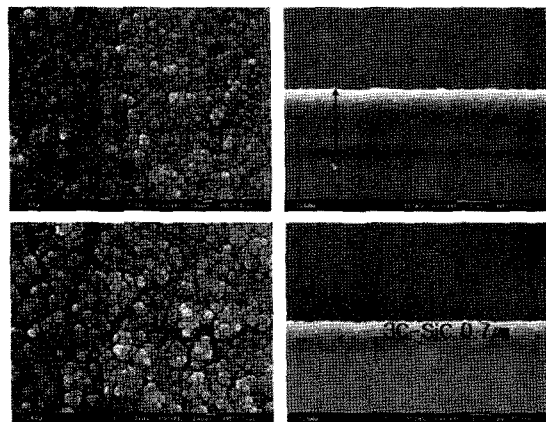


그림 5. 두께에 따른 다결정 3C-SiC 박막의 표면과 단면 SEM 이미지
Fig. 5. Surface and cross SEM images of 3C-SiC thin films by thickness.

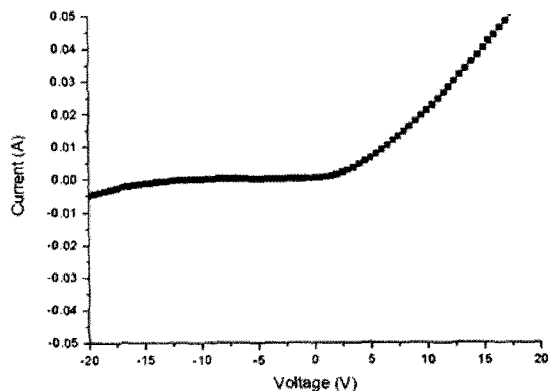


그림 6. 다결정 3C-SiC p-n 접합 다이오드의 I-V 특성 곡선
Fig. 6. I-V characteristic curve of poly 3C-SiC p-n junction diode.

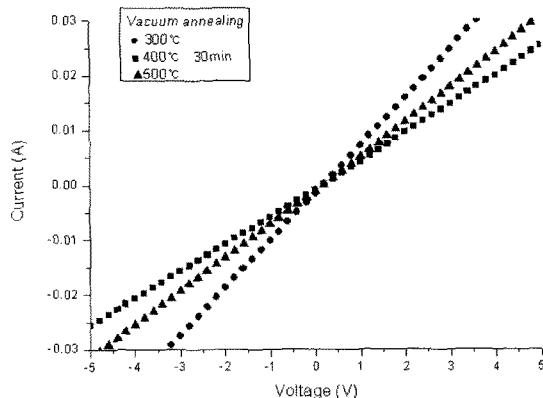


그림 7. 열처리 온도에 따른 다결정 3C-SiC 옴의 접촉 분석용 I-V 특성 곡선
Fig. 7. I-V characteristic curve of poly 3C-SiC ohmic contact analysis according to annealing temperatures.

로 사료된다¹⁷⁾.

그림 6은 p-형 Si 기판위에 다결정 3C-SiC를 성장시킨 후 옴의 접촉을 형성하여 분석한 I-V 특성 곡선이다. 본 연구에서 문턱 전압이 1.5 V 정도로 측정되었지만, I-V 특성 곡선을 통해 전형적인 p-n 접합 다이오드의 특성이 나타났다¹⁸⁾.

그림 7은 다결정 3C-SiC위에 Al을 증착하여 측정된 옴의 접촉 분석용 I-V 특성 곡선이다. 300, 400, 500 °C에서 30분 동안 진공 열처리한 후, 저항을 측정하였다. 각각 204, 59, 111 Ω의 저항을 보였으며 400 °C 경우 가장 좋은 옴의 접촉 특성을 보였다.

4. 결 론

본 연구에서는 HMDS를 이용하여 APCVD 방법으로 산화막이 형성된 Si 기판위에 다결정 3C-SiC 박막이 성장된 기판을 이용하여 쇼트키 다이오드를 제작하였다. I-V 측정으로 부터 문턱전압(0.84 V)과 항복전압(140 V)을 알 수 있었고 C-V 측정으로 도핑농도($2.7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)와 공핍층 두께(61 nm) 등을 계산하였다. 또한, 다결정 3C-SiC의 옴의 접촉은 진공에서 30분 동안 400 °C로 열처리한 것이 가장 좋은 특성을 보였다. 특히, 큰 항복 전압은 MEMS 기술의 응용에 가능성을 보였지만, 누설전류 또한 크게 나타났다. 향후 APB의 감소와 3C-SiC 박막과 기판사이의 결합이 개선된다면, 누설 전류문제가 해결될 것으로 예상된다.

따라서, 다결정 3C-SiC 박막 다이오드는 기존의 MEMS에 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

감사의 글

“이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임”(KRF-2006-D00177).

참고 문헌

- [1] P. M Sarro, “Silicon carbide as a new MEMS technology”, *Sen. Actuators A*, vol. 3, pp. 210-218, 2000.
- [2] G. Kotzar, M. Freas, P. Abel, A. Fleischman, S. Roy, C. Zorman, J. M. Moran, and J. Melzak, “Evalua-

tion of MEMS materials of construction for implantable medical devices”, *Biomaterials*, vol. 23, pp. 2737-2750, 2002.

- [3] D. Gao, B. J. Wijesundara, C. Carraro, R. T. Howe, and R. Mabudian, “Characterization of residual strain of residual strain in SiC films deposition using 1, 3-disilabutane for MEMS application”, *J. of Microlith. Microfab. Microsyst.*, vol. 2, pp. 259-264, 2003.
- [4] M. B. J. Wijesundara, G. Valente, W. R. Ashurst, R. T. Howe, A. P. Pisano, C. Carraro, and R. Mabudian, “Single-source chemical vapor deposition of 3C-SiC film in a LPCVD reactor I. Growth structure, and chemical characterization”, *J. of Electrochem. Soc.* vol. 151, pp. c210-c214, 2004.
- [5] G. S. Chung, K. S. Kim, and J. H. Jeong, “Growth of polycrystalline 3C-SiC thin films for M/NEMS applications by CVD”, *J. of the Korean Sensors Soc.*, vol. 16, no. 2, pp. 85-90, 2007.
- [6] C. K. Park, W. J. Lee, S. Nishino, and B. C. Shin, “4H-SiC(0001) Epilayer growth and electrical property of schottky diode”, *KIEEME*, vol. 19, no. 4, pp. 344-349, 2006.
- [7] J. Komiyama, Y. Abe, S. Suzuki, T. Kita, and H. Nakanishi, “Schottky diode characteristics of 3C-SiC grown on a Si substrate by vapor phase epitaxy.”, *J. of crystal growth*, vol. 275, pp. e1001-e1006, 2005.
- [8] S. Nishino, H. Suhara, H. Ono, and H. Matsunami, “Epitaxial growth and electric characteristics of cubic SiC on silicon.”, *J. of App. Phys.*, vol. 61, pp. 4889-4893, 1987.



정 귀 상 (Gwi-Sang Chung)

- 1992년 3월 Toyahash Univ. of Tech. (공학박사)
- 1993년 2월 ETRI 선임연구원
- 2004년 2월 UC Berkeley 연구교수
- 현재 울산대학교 전기전자정보시스템공 학부 교수
- 주관심 분야 : SOI, SiC, AlN, ZnO-M/NEMS



안 정 학 (Jeong-Hak Ahn)

- 2007년 2월 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 졸업 (공학사)
- 현재 울산대학교 대학원 전기전자정보시스템공학과 석사과정
- 주관심 분야 : SiC-M/NEMS, SiC-gas sensor