

CVD로 성장된 다결정 3C-SiC 박막의 전기적 특성

안정학, 정귀상

울산대학교 전기전자정보시스템공학부

초록

Polycrystalline (poly) 3C-SiC thin film on n-type and p-type Si were deposited by APCVD using HMDS, H₂, and Ar gas at 1180°C for 3 hour. And then the schottky diode with Au/poly 3C-SiC/Si(n-type) structure was fabricated. Its threshold voltage (V_d), breakdown voltage, thickness of depletion layer, and doping concentration (N_D) value were measured as 0.84 V, over 140 V, 61nm, and $2.7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, respectively. The p-n junction diode fabricated by poly 3C-SiC was obtained like characteristics of single 3C-SiC p-n junction diode. Therefore, its poly 3C-SiC thin films are suitable MEMS applications in conjunction with Si fabrication technology.

1. 서론

SiC (silicon carbide) 는 넓은 밴드 갭을 가지고 높은 파워, 전압, 주파수, 온도, 항복전압 에서 견디며 높은 포화속도, 열 전도성 등의 우수한 특성을 가지는 우수한 재료이다. 이런 점들은 SiC-MEMS 기술의 발전에 많은 가능성을 보여준다[1,2]. 오늘날 상업적으로 쓰기 위하여 승화법으로 성장한 육각형 구조를 가진 SiC (2H-, 4H-, 6H-) 기판을 제작하고 있다. 그러나 이것들은 작은 면적에 성장이 가능하며, 비싼 값을 가진다.

그에 반해 다결정 3C-SiC는 낮은 온도에서 넓은 면적의 기판을 얻을 수 있다. 단결정 3C-SiC의 경우에는 1300도 이상에서 성장이 가능하다. 그러나 Si 와 SiC 두물질 간의 큰 열팽창 계수의 차이와 격자 부정합으로 인한 크랙, 뒤틀림 등의 스트레스가 발생한다[3]. 이는 많은 누설전류의 존재를 야기시키며, 고온에서의 특성이 나빠짐을 의미한다. 이러한 결점을 극복하기 위해서 낮은 온도에서 산화막 혹은 질화막 위에 대면적의 성장이 가능한 다결정 3C-SiC는 매우 뛰어난 MEMS 기술 응용에 적합한 재료이다[4].

본 논문에서는 APCVD 방법을 이용하여 n-type과 p-type Si wafer 위에 다결정 3C-SiC를 성장하였다. 이것들에 Au와 Al등의 금속 물질등을 증착하여 다결정 3C-SiC의 schottky와 p-n 접합 다이오드를 제작하였다.

마지막으로, I-V와 C-V 그래프의 결과를 통하여 다결정 3C-SiC의 전기적 특성을 분석하였으며, 이를 통하여 MEMS에 응용가능성을 보았다.

2. 실험 방법

n-type 과 p-type Si wafer 위에 다결정 3C-SiC를 Ar₂, H₂, HMDS 가스를 이용하여 APCVD 방법으로 성장하였다. 이때 HMDS 가스와 수소의 유량은 각각 1과 100 sccm 이었으며, 1180°C에서 3 시간 동안 성장 하였다. 3C-SiC 박막은 2 μm 의 두께를 가졌고, 우수한 막질임을 확인 하였다[5]. 준비된 기판을 세척하고 그림 1과 같은 형태로 RF sputter를 이용하여 schottky diode와 p-n 접합 다이오드를 제작하였다. n-type Si wafer에 성장한 다결정 3C-SiC 위에 두께 5000Å, 지름 1mm 의 원형으로 Au를 증착 하여 schottky contact을 형성 하였다. 뒷면에는 Al을 두께 5000Å로 증착하여 ohmic contact을 형성하였다. p-n 접합 다이오드의 경우에는 기판의 윗면과 아랫면에 각각 ohmic contact을 형성하였다. 두 다이오드는 진공 중에서 30분 동안 400°C에서 열처리를 하였다.

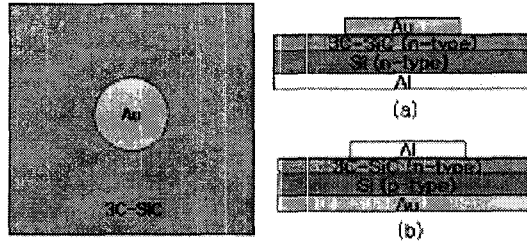


Fig. 1. Schematic diagrams of (a) schottky diode and (b) p-n junction diode.

I-V, C-V 특성은 Keithley207과 HP4192A 측정 장비를 이용하여 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

n-type Si wafer위에 APCVD 방법으로 1100℃에서 2시간 동안 다결정 3C-SiC 박막을 성장한 후 schottky diode를 제작하였고, 고 정밀 임피던스 측정기를 사용하여 정전용량을 측정 하였다. 이 값을 이용하여 캐리어 밀도와 공핍층의 두께를 계산 하였다.

$$C = \frac{K_S \epsilon_0 A}{X_n} = \frac{K_S \epsilon_0 A}{\sqrt{\frac{2K_S \epsilon_0}{qN_D} (V_{bi} - V_A)}} \tag{1}$$

(1)과 같은 식으로 C값인 정전 용량을 구할 수 있다. 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.

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

$V_A=0$ 일때, 정전 용량인 C_0 계산 할 수 있으며, $1/C^2$ 으로 표현하면 (3)과 같은 식을 얻을 수 있다.

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

(3)의 식을 이용하여 그림 2과 같은 그래프를 얻었으며, 성장층의 두께는 1.5 μ m, V_D 는 -0.84 V, N_D 값은 $2.7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 으로 각각 나타났다.

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

(4)의 식을 이용하면 X_n 의 값인 공핍층의 두께도 계산 할 수 있다. 이때 X_n 값은 61 nm 이었다[6].

그림 3은 반도체 계수 분석기를 이용하여 I-V를 측정하여 나타낸 것이다. 약 0.84 V에서 문턱전압을 보이면서 뚜렷한 schottky diode 특성이 나타났다. 또한 140 V 이상의 항복전압이 나타났지만 큰 역 전압 바이어스가 인가될 시에 누설전류가 많았다. 이는 3C-SiC 박막에 antiphase boundaries (APB)의 존재와 Si과 다결정 3C-SiC 계면에서의 결함 때문이라 생각 된다[7].

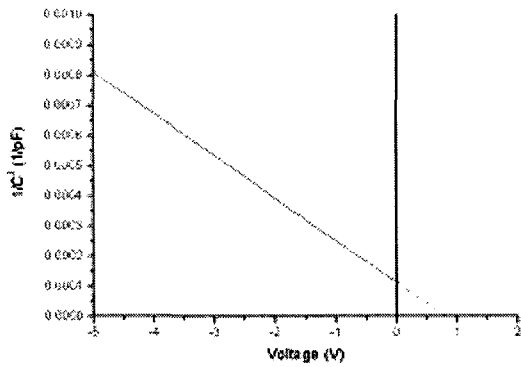


Fig. 2. C-V Characteristics of schottky contact.

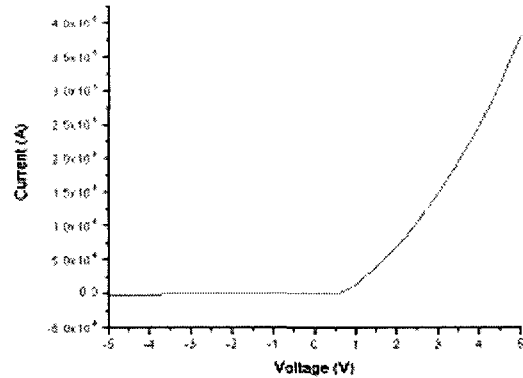


Fig. 3. I-V Characteristics of schottky contact.

그림 4는 p-type Si wafer 위에 다결정 3C-SiC를 성장시킨 후 ohmic contact을 형성하여 I-V 특성을 측정한 것이다. 문턱전압이 1.5 V정도로 측정되었지만 I-V곡선을 통해 전형적인 p-n 접합 다이오드의 특성이 나타났다[8].

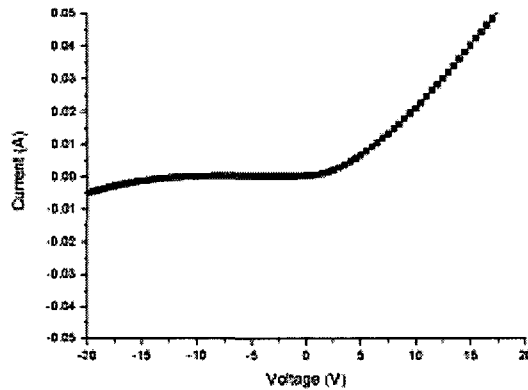


Fig. 4. I-V characteristics of p-n junction diode.

4. 결론

본 연구에서는 HMDS를 이용하여 APCVD 방법으로 산화막이 증착된 Si wafer 위에 다결정 3C-SiC 박막을 성장하였고, 이것을 이용하여 다결정 3C-SiC의 schottky diode를 제작하였다. I-V 측정을 통하여 문턱전압(0.84 V), 항복전압 (140 V)을 알 수 있었고, C-V 측정을 통하여 도핑농도 ($N_D = 2.7 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$), 공핍층 두께 (61 nm) 등을 계산 하였다. 큰 항복 전압은 MEMS 기술의 응용에 큰 가능성을 보였지만 누설전류 또한 크게 나타났다. 향후 APE의 감소와 3C-SiC와 기판 사이의 결함이 개선되고, 누설 전류문제가 해결될 것이다. 따라서, 다결정 3C-SiC 박막은 차세대 MEMS 분야에 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역혁신인력양성사업으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] P. M Sarro, "Silicon carbide as a new MEMS technology", Sensor & 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, "Evaluation 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. Microlith., Microfab., Microsys.*, 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. Maboudian, "Single-source chemical vapor deposition of 3C-SiC film in a LPCVD reactor I. Growth structure, and chemical characterization", *J. Electrochem. Soc.*, vol. 151, pp. c210-c214, 2004.
- [5] 정귀상, 김강산, 정준호, "CVD에 의한 M/NEMS용 다결정 3C-SiC 박막 성장", *센서학회지* 제 16 권, 제 2 호, 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", *J. Korean Inst. Electrical and Electronic Mat. Eng.*, vol. 19, no. 4, pp. 344-349, 2006.
- [7] J. Komiyama, Y. Abe, S. Suzuki, T. Kita, 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. Appl. Phys.*, vol. 61, pp. 4889-4893, 1987.