

다결정 3C-SiC 박막 다이오드의 제작

안정학, 정귀상
울산대학교

Fabrication of polycrystalline 3C-SiC thin film diodes

Jeong-Hak Ahn, Gwi-Sang Chung
Univ. of Ulsan

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 1180°C for 3 hr. 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) values were measured as 0.84 V, over 140 V, 61nm, and 2.7 × 10¹⁹ cm⁻³, respectively. The p-n junction diodes fabricated on the poly 3C-SiC/Si(p-type) were obtained like characteristics of single 3C-SiC p-n junction diodes. Therefore, poly 3C-SiC thin film diodes will be suitable microsensors in conjunction with Si fabrication technology.

Key Words : Polycrystalline 3C-SiC, MEMS, schottky, p-n junction diode

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 BT용 MEMS분야에서 크게 주목을 받고 있다^[1, 2].

현재 승화법으로 성장한 육각형 구조를 가진 SiC (2H-, 4H-, 6H-) 기판을 고전력 및 초고주파수용 전자부품 제작에 사용되고 있지만, 대면적화가 불가능하며 고가이다. 그러나, 입방구조의 3C-SiC 박막은 CVD로 Si기판위에 대면화가 가능하며 Si 마이크로머시닝기술의 적용에도 용이하다. 단결정 3C-SiC의 경우에는 1300°C 이상에서 성장이 가능하다. 그러나, Si과 SiC 두 물질 간의 큰 열팽창 계수의 차이와 격자 부정합으로 인한 크랙, 뒤틀림 등의 스트레스가 크게 발생한다^[3]. 이는 많은 누설전류의 존재를 야기 시키며 고온에서의 소자특성을 악화시킨다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서 산화막 혹은 질화막 위에 저온에서 양질의 박막성장이 가능하며 기존 Si 표면 마이크로머시닝기술을 이용할 수 있는 다결정 3C-SiC박막이 MEMS에 적합한 재료이다.

본 논문에서는 APCVD 방법을 이용하여 n-형과 p-형 Si기판위에 다결정 3C-SiC를 성장하여 Au와 Al 등의 금속 물질을 이용하여 다결정 3C-SiC 박막의 schottky와 ohmic 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. 실험

n-형과 p-형 Si기판위에 Ar, H₂, HMDS 가스를 이용하여 APCVD 방법으로 다결정 3C-SiC 박막을 각각 1180°C에서 3시간 동안 2μm의 두께로 성장하였다^[4].

그림 1은 본 연구에서 각각 제작한 schottky와 p-n 접합 다이오드의 평면 및 단면도이다. 다결정 3C-SiC schottky 다이오드는 마그네톨론 스퍼터링으로 n-형 Si기판위에 성장한 다결정 3C-SiC 박막위에 두께 5000 Å, 지름 1mm의 원형 Au를 증착하여 schottky 접착을 형성하였다. 뒷면에는 Al을 두께 5000 Å로 증착하여 ohmic 접착을 형성하였다. 또한, p-n 접합 다이오드는 기판의 윗면과 아랫면에 각각 ohmic 접착을 형성하였다. 두 다이오드는 진공중에서 30분 동안 400°C에서 열처리를 하였다.

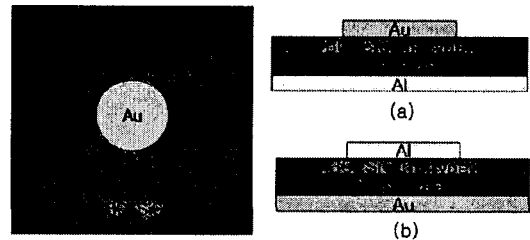


그림 1. 다결정 3C-SiC 다이오드의 도식적 다이어그램; (a) 쇼트키 다이오드와 (b) p-n 접합 다이오드.

마지막으로 Keithley207과 HP4192A를 각각 이용하여 J-V와 C-V를 측정하여 제작한 다결정 3C-SiC 다이오드의 전기적 특성을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

n-형 Si기판위에 APCVD법으로 다결정 3C-SiC 박막을 성장한 후 schottky 다이오드를 제작했으며, 정밀 임피던스 측정기를 사용하여 정전용량을 측정하였다. V_A=0일때 정전 용량인 C를 계산 할 수 있으며 1/C²으로 표현하면 식 (1)과 같은 식을 얻을 수 있다.

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

식 (1)을 이용하여 그림 2와 같은 그래프를 얻었으며 성장층의 두께는 1.5 μm , V_D 는 0.84 V 그리고 N_D 값은 $2.7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 으로 각각 나타났다.

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

식 (2)를 이용하면 X_n 의 값인 공핍층의 두께도 계산할 수 있다. 이때 X_n 값은 61 nm 이었다⁽⁵⁾.

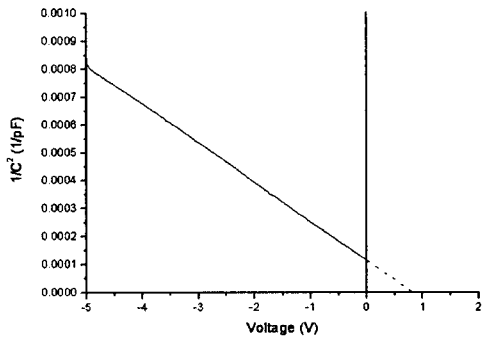


그림 2. 다결정 3C-SiC 쇼트키 다이오드의 C-V곡선.

그림 3은 반도체 계수 분석기를 이용하여 J-V 특성을 나타낸 것이다. 3C-SiC박막을 이용한 SBD 구조가 전형적인 다이오드 특성을 나타냈다.^[6] 또한, 140 V 이상의 큰 항복전압이 나타났지만, 큰 역 전압 바이어스가 인가될 시에 누설전류가 많았다. 이는 3C-SiC 박막에 antiphase boundaries (APB)의 존재와 Si과 다결정 3C-SiC 계면에서의 결함때문이라 사료된다^[7].

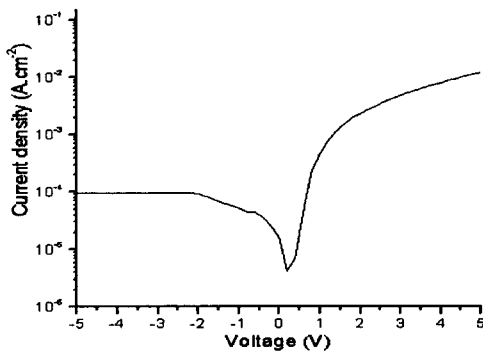


그림 3. 다결정 3C-SiC 쇼트키 다이오드의 J-V곡선.

그림 4는 p-형 Si 기판위에 다결정 3C-SiC를 성장시킨 후, ohmic 접촉을 형성하여 분석한 I-V 특성 곡선이다. 본 연구에서 문턱전압이 1.5 V정도로 측정되었지만, I-V 곡선을 통해 전형적인 p-n 접합 다이오드의 특성이 나타났다^[8].

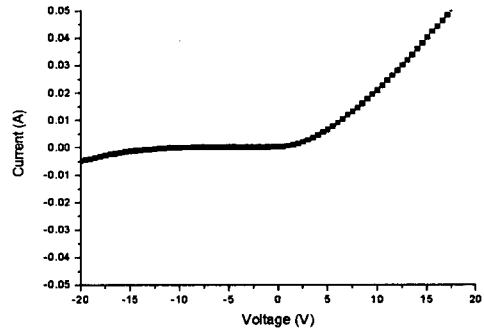


그림 4. 다결정 3C-SiC p-n 접합 다이오드의 I-V 특성.

4 결 론

본 연구에서는 HMDS를 이용하여 APCVD법으로 산화막이 형성된 Si 기판위에 다결정 3C-SiC 박막이 성장된 기판을 이용하여 schottky 다이오드를 제작하였다. I-V 측정으로 부터 문턱전압 (0.84 V), 항복전압 (140 V)을 알 수 있었고, C-V 측정으로 도핑농도 ($N_D = 2.7 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$), 공핍층 두께 (61 nm) 등을 계산하였다. 큰 항복 전압은 MEMS 기술의 응용에 큰 가능성을 보였지만 누설전류 또한 크게 나타났다. 향후 APE의 감소와 3C-SiC 박막과 기판 사이의 결함이 개선되고, 누설 전류문제가 해결될 것이다.

따라서, 이러한 다결정 3C-SiC 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, Sensor & Actuators A, Vol. 3, p. 210, 2000.
- [2] G. Kotzar, M. Freas, P. Abel, A. Fleischman, S. Roy, C. Zorman, J. M. Moran and J. Melzak, Biomaterials, Vol. 23, p. 2727, 2002.
- [3] M. B. J. Wijesundara, G. Valente, W. R. Ashurst, R. T. Howe, A. P. Pisano, C. Carraro and R. Maboudian, J. Electrochem. Soc., Vol. 151, p. C210, 2004.
- [4] G. S. Chung, K. S. Kim and J. H. Jeong, J. of the Korean Sensors Society, Vol. 16, No. 2, p. 85, 2007.
- [5] C. K. Park, W. J. Lee, S. Nishino and B. C. Shin, J. Korean Inst. Electrical& Electronic Mat. Eng., Vol. 19, No. 4, p. 344, 2006.
- [6] H. Colder, R. Rizk, L. Pichon and O. Bonnaud, solid-state Electronics, Vol 50, p. 209-213, 2006.
- [7] J. Komiyama, Y. Abe, S. Suzuki, T. Kita, H. Nakanishi, J. of crystal growth, Vol. 275, p. 1001-1006, 2005.
- [8] S. Nishino, H. Sahara, H. Ono and H. Matsunami, J. Appl. Phys., Vol. 61, p. 4889, 1987.