

고온 화학센서용 다결정 3C-SiC 쇼트키 다이오드 제작과 그 특성

정귀상[†] · 안정학

Fabrication and characteristics of polycrystalline 3C-SiC Schottky diodes for high temperature chemical sensors

Gwiy-Sang Chung[†] and Jeong-Hak Ahn

Abstract

This paper describes the fabrication of a Pd/poly 3C-SiC Schottky diode and its characteristics, in which the poly 3C-SiC layer and Pd Schottky contact were deposited by using APCVD and sputter, respectively. Crystalline quality, uniformity, and preferred orientations of the Pd thin film were evaluated by SEM and XRD, respectively. Pd/poly 3C-SiC schottky diodes were fabricated and characterized by I-V and C-V measurements. Its electric current density J_s and barrier height voltage were measured as 2×10^{-3} A/cm² and 0.58 eV, respectively. These devices were operated until about 400 °C. Therefore, from these results, Pd/poly 3C-SiC Schottky devices have very high potential for high temperature chemical sensor applications.

Key Words : polycrystalline 3C-SiC, schottky diode, high temperature, chemical sensor

1. 서 론

최근 엔진을 제어할 수 있는 연소 챔버(200~450 °C), 자동차 및 항공기용 엔진(200~450 °C), 배기관(~400 °C) 등에서 화학가스의 누설, 반응비 그리고 모니터링을 제어하기 위한 고온용 화학센서의 중요성이 커지고 있다. 따라서 고온, 고압, 고전력에서 견디며 높은 열전도성 및 내화학성 특성을 갖는 SiC 광대역 반도체를 이용한 고온용 마이크로 센서에 관한 연구가 크게 주목을 받고 있다.

현재 육각형 구조를 가진 SiC(2H-, 4H-, 6H-) 벌크 기판은 고전력 및 초고주파수용 전자부품 제작에 사용하고 있지만, 대면적화와 M/NEMS에 적용이 불가능하며 고가이다. 그러나, 입방구조의 3C-SiC 박막은 CVD로 Si 기판위에 대면화가 가능하며 Si 마이크로머시닝 기술의 적용에도 용이하다. 특히, 다결정 3C-SiC의 경우에는 산화막이나 질화막, AlN 등에서도 저온 성장이

가능하고 표면 마이크로 머시닝 기술의 적용이 용이해 각종 M/NEMS용 차세대 반도체로써 주목을 받고 있다. 또한, 단결정 3C-SiC의 경우, Si과 SiC 두 물질 간의 큰 열팽창 계수의 차이와 격자 부정합으로 인한 크랙, 뒤틀림 등의 스트레스가 크게 발생한다. 그러나, 다결정 3C-SiC를 사용할 경우는 이런 문제를 해결하여 누설 전류를 감소시키므로 고온에서의 소자 특성을 크게 개선시킬 수 있다^[1].

본 연구에서 사용된 Pd는 백금족의 촉매금속으로 용해된 수소 농도로 금속의 전기저항을 변화시켜 수소, 황화수소, 메탄, 알코올 등의 가스 누출을 감지하는데 매우 뛰어난 특성을 지니고 있다. 이를 이용하여 쇼트키 다이오드형 가스 센서를 제작할 경우, 화학가스에 대한 빠른 응답 속도와 좋은 감도를 기대할 수 있다. 수소, 황화수소, 메탄, 알코올과 같은 화학 가스를 감지하는 SiC 쇼트키 다이오드의 특성은 촉매 금속의 종류, 우선배양성, 막질 및 SiC의 표면 상태에 많이 의존한다^[2].

따라서, 본 연구에서는 다결정 3C-SiC 박막위에 증착된 Pd 박막의 최적 증착조건과 Pd/다결정 3C-SiC 쇼트키 다이오드의 특성을 XRD, SEM, I-V 그리고 C-

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

[†]Corresponding author: gschung@ulsan.ac.kr
(Received : September 3, 2008, Revised : October 14, 2008
Accepted : October 20, 2008)

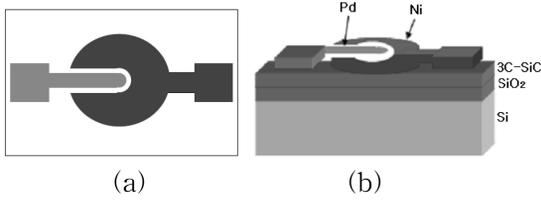


그림 1. Pd/다결정 3C-SiC 쇼트키 다이오드의 도식적 다이어그램; (a) 표면, (b) 단면
 Fig. 1. Schematic diagrams of Pd/poly 3C-SiC diode; (a) surface and (b) cross-section.

V 분석을 통하여 고온용 화학센서의 개발 가능성을 확인하였다.

2. 실험

본 연구에서는 산화막이 증착된 Si(100) 기판위에 HMDS 가스를 이용하여 APCVD 방법으로 1100 °C에서 30분 동안 성장한 막질이 우수한 다결정 3C-SiC 박막을 이용하였다.^[4] 고온용 화학센서의 제작을 위해 RF 스퍼터링을 이용하여 Ni 박막을 3000 Å 증착한 후, 900 °C에서 30분간 열처리를 하였다. 또한, 동일한 방법으로 기판온도를 150 °C로 유지하며 Pd 박막을 3000 Å 증착하였다. 그림 1은 본 연구에서 제작한 Pd/다결정 3C-SiC 쇼트키 다이오드의 표면과 단면을 도식적으로 나타낸 것이다.

또한, 증착조건에 따른 우수한 우선배양성과 밀착력 등을 알아보기 위해서 기판온도와 유량, RF power 등을 조절하여 Pd 박막을 증착하였으며, XRD, SEM 등으로 비교 분석하였다.

마지막으로, Keithley4200을 이용하여 I-V, C-V 특성을 측정했으며, 실온에서 400 °C까지 온도를 변화시켜 다이오드의 전기적 특성을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

Pd 박막은 우선배양성과 막질이 우수함에 따라서 가스와의 반응특성이 향상된다. 따라서 본 연구에서는 기판온도, RF power, 가스유량, 기판과의 거리 등을 조절하여 Pd 박막을 증착하였다. Pd 박막의 증착률은 RF power에 비례하였지만, 박막의 평탄도는 악화되었다. 증착시의 기판온도는 막질과 밀착력에 많은 영향을 주었는데 약 150 °C 이상에서 가장 좋은 특성이 나타났다.

그림 2는 기판온도를 실온과 150 °C로 고정하여 Pd 박막을 산화막위에 성장한 다결정 3C-SiC에 증착하여

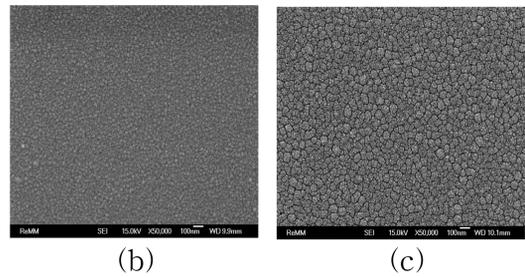
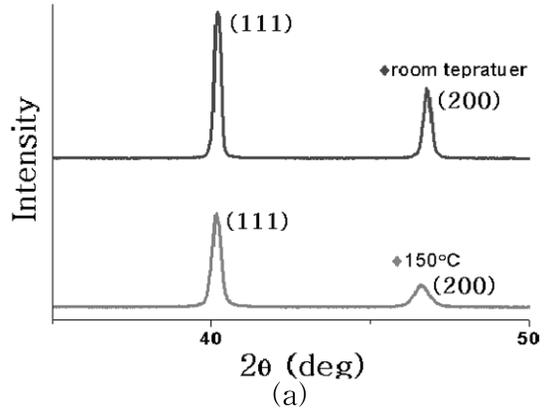


그림 2. SiC/SiO₂/Si 박막위에 증착된 Pd 박막의 (a) XRD 와 SEM 이미지; (b) 상온, (c) 150 °C
 Fig. 2. XRD and SEM images of Pd thin films on SiC/SiO₂/Si substrate; (a) Room Temperature (b) 150 °C.

측정한 XRD 스펙트럼과 표면 SEM 사진이다.

각 피크의 상대적인 크기를 비교해 볼 때 실온에서 증착된 시편의 경우, I₁₁₁:I₂₀₀의 비가 100:42인 반면에 150 °C에서 증착된 박막의 경우, I₁₁₁:I₂₀₀=100:25.5이었다. 이에 기판온도가 150 °C일때 우선배양성이 우수함을 알 수 있다.

또한, 기판온도를 200 °C 이상에서 증착한 경우에도 우선배양성이 100:23으로 150 °C와 큰 차이가 없이 나타났다. SEM 사진으로부터 표면의 그레인 크기와 밀착력 또한 기판온도를 150 °C로 했을 때 가장 좋은 우선 배양성과 밀착력이 나타남을 알 수 있었다.

그림 3은 다결정 3C-SiC 위에 Pd 박막을 성장하여 제작한 쇼트키 다이오드의 실온에서 측정된 C-V 특성 곡선을 나타낸 것이다. 쇼트키 접촉으로는 지름 300 μm의 원형으로 Pd를 증착하여 형성했으며, 오픈 접촉은 기판 윗면의 가장자리에 Ni를 증착하여 형성하였다.

V_A=0일때, 정전 용량인 C₀를 계산 할 수 있으며 1/C²으로 표현하면 식 (1)과 같다.

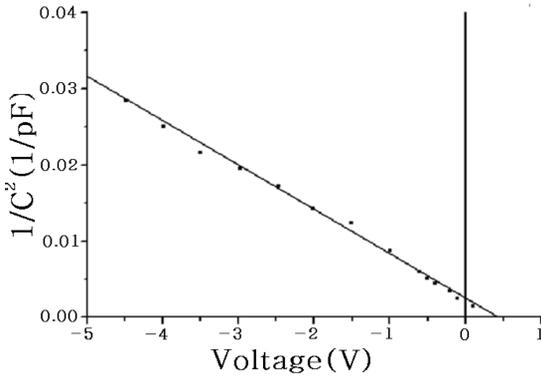


그림 3. Pd/다결정 3C-SiC 쇼트키 다이오드의 C-V 특성 곡선
 Fig. 3. C-V characteristics curve of Pd/poly 3C-SiC Schottky contact.

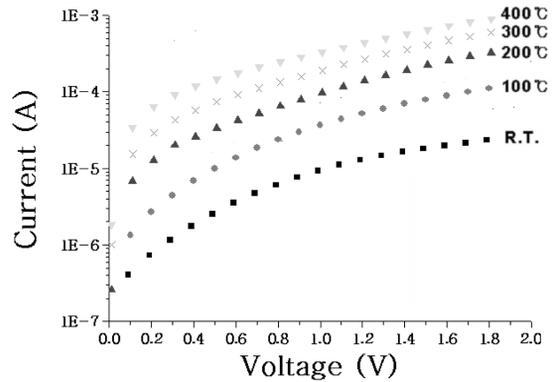


그림 5. 온도 변화에 따른 Pd/다결정 3C-SiC 쇼트키 다이오드의 I-V 특성 곡선
 Fig. 5. I-V Characteristics of Pd/poly 3C-SiC Schottky diode with temperature variations.

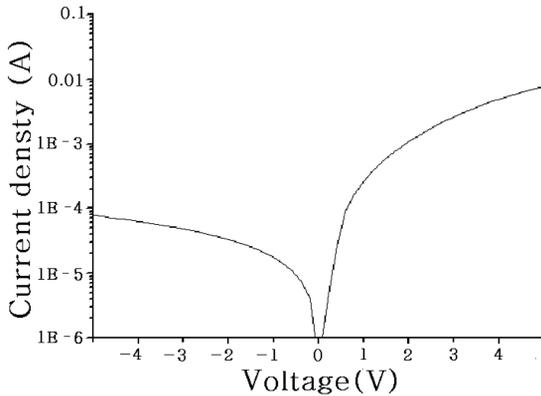


그림 4. Pd/다결정 3C-SiC 쇼트키 다이오드의 I-V 특성 곡선
 Fig. 4. I-V Characteristics curve of Pd/poly 3C-SiC Schottky diode.

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

식 (1)을 이용하여 그림 3과 같은 그래프를 얻었으며 이때의 V_{bi} 는 0.45 V 그리고 N_D 값은 $2.5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 으로 각각 나타났다. 이때 N_D 값은 홀 계수 측정 장치를 이용하여 얻은 $2.86 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 과 비교해볼 때 실제값에 접근함을 알 수 있었다^[4].

그림 4는 반도체 계수 분석기를 이용하여 상온에서 측정된 Pd/다결정 3C-SiC 쇼트키 다이오드의 I-V 특성을 나타낸 것이다. 이때 전류밀도 J_S 는 $2 \times 10^{-3} \text{ A/cm}^2$, 장벽높이는 0.58 eV로 나타났다. 이와 같은 결과는 벌크 타입의 박막을 이용한 Pd/다결정 3C-SiC a-type

SiC 쇼트키 다이오드의 특성과 비교해 볼 때 전형적인 쇼트키 다이오드 특성을 나타냄을 알 수 있었다^[5].

그림 5는 제작된 Pd/다결정 3C-SiC 쇼트키 다이오드의 온도 변화에 따른 I-V 특성을 나타낸 그래프이다. 쇼트키 다이오드의 장벽높이는 Norde 함수를 통하여 계산할 수 있다.

$$\Phi_B = F(V_{min}) + \frac{V_{min}}{2} - \frac{kT}{q} \quad (2)$$

식 (2)를 통하여 유효 장벽높이는 온도가 상승함에 따라 증가함을 알 수 있다^[6]. 본 연구에서 다결정 3C-SiC 박막위에 제작된 Pd 쇼트키 다이오드는 400 °C의 분위기에서 충분히 작동함을 확인하였으며, 이에 따라 Si, GaAs, SOI 등의 기판을 사용한 쇼트키 다이오드보다도 밴드갭이 큰 3C-SiC 박막을 이용한 Pd/다결정 3C-SiC 쇼트키 다이오드의 경우, 고온용 화학 가스센서에 적합할 것으로 예상된다.

4. 결 론

본 연구에서는 다결정 3C-SiC와 Pd 박막을 이용하여 고온 화학센서용 쇼트키 다이오드를 제작하였다. 스피터의 RF power, 기판온도, 가스유량, 기판사이의 거리 등을 조절하여 증착률과 그래인 크기, 결정구조, 표면상태 등을 XRD, SEM을 통해 알 수 있었으며, Pd/다결정 3C-SiC 쇼트키 다이오드의 C-V, I-V 특성 곡선을 통해서 문턱 전압(0.45 V), 전류 밀도($2 \times 10^{-3} \text{ A/cm}^2$), 장벽 높이(0.58 eV) 등을 측정하였다. 산화막 위에 증착된 다결정 3C-SiC으로 제작된 Pd/다결정 3C-

SiC 쇼트키 다이오드는 400 °C 이상에서도 동작하기 때문에 향후 수소, 황화수소, 메탄, 알코올 등의 고온용 화학센서의 연구개발에 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 지방기술혁신사업(B0009720) 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] K. S. Kim and G. S. Chung, "Mechanical properties of polycrystalline 3C-SiC thin films with various doping concentrations", *J. Kor. Sensors Soc.*, vol. 17, no. 4, pp. 256-260, 2008.
- [2] C. K. Kim, J. H. Lee, and Y. H. Lee, N. I. Cho, D. J. Kim, and W. P. Kang, "Hydrogen sensing characteristics of Pd-SiC Schottky diode operating at high temperature." *J. of Electronic. Materials*, vol. 28, No. 3, pp. 202-205, 1999.
- [3] G. S. Chung, K. S. Kim, and J. H. Jeong, "Growth of polycrystalline 3C-SiC thin films for M/NEMS applications by CVD", *J. Kor. Sensors Soc.*, vol. 16, no. 2, pp. 85-90, 2007.
- [4] G. S. Chung and J. H. Ahn, "Electrical characteristics of polycrystalline 3C-SiC thin film diodes", *J. Kor. Sensors Soc.*, vol. 16, no. 4, pp. 259-262, 2007.
- [5] H. J. Im, B. Kaczer, and J. P. Pelz, "Ballistic electron emission microscopy study of schottky contacts on 6H- and 4H-SiC.", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 72, no. 7, pp. 839-841, 1998.
- [6] S. Roy, C. Jacob, and S. Basu, "Current transport properties of Pd/3C-SiC Schottky junctions with planer and vertical structures.", *Solid State Sci.* vol. 6, pp. 377-382, 2004.

정 귀 상

- 센서학회지 제17권 제5호, p. 325 참조
- 현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 교수

안 정 학

- 센서학회지 제16권 제4호, p. 2595 참조
- 현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 석사과정