

## Field Oxide를 이용한 고전압 SiC 쇼트키 diode 제작

### Fabrication of SiC Schottky Diode with Field oxide structure

송근호, 방 옥, 김상철, 서길수, 김남균, 김은동, 박훈수

(G. H. Song, W. Bahng, S. C. Kim, K. S. Seo, N. K. Kim, E. D. Kim, H. S. Park)

#### Abstract

High voltage SiC Schottky barrier diodes with field plate structure have been fabricated and characterized. N-type 4H-SiC wafer with an epilayer of  $\sim 10^{15}/\text{cm}^3$  doping level was used as a starting material. Various Schottky metals such as Ni, Pt, Ta, Ti were sputtered and thermally-evaporated on the low-doped epilayer. Ohmic contact was formed at the backside of the SiC wafer by annealing at  $950^\circ\text{C}$  for 90 sec in argon using rapid thermal annealer. Field oxide of 550Å in thickness was formed by a wet oxidation process at  $1150^\circ\text{C}$  for 3h and subsequently heat-treated at  $1150^\circ\text{C}$  for 30 min in argon for improving oxide quality. The turn-on voltages of the Ni/4H-SiC Schottky diode was 1.6V which was much higher than those of Pt(1.0V), Ta(0.7V) and Ti(0.7V). The voltage drop was measured at the current density of  $100\text{A}/\text{cm}^2$  showing 2.1V for Ni Schottky diode, 1.45V for Pt, 1.35V, for Ta, and 1.25V for Ti, respectively. The maximum reverse breakdown voltage was measured 1100V in the field plated Schottky diodes with  $10\mu\text{m}$  thick epilayer.

**Key Words** : Silicon Carbide, Schottky Barrier Diode, Field Oxide, Field Plate, I-V Characteristics

#### 1. 서 론

SiC는 반도체 재료로서 우수한 물질특성을 보유하고 있는데 특히 절연파괴전계가  $3 \times 10^6 \text{V}/\text{cm}$ 로 실리콘의 약 10배, 전자의 포화속도는  $2 \times 10^7 \text{cm}/\text{s}$ 로 약 2배로 각각 뛰어난 점은 고전압 전력소자로서의 SiC 활용 가능성을 매우 높이고 있다[1-4]. 쇼트키 다이오드는 SiC 소자 가운데에서 가장 조기에 실용화될 것으로 일찍이 예견되었던 것이다. 즉 저농도 SiC 기판 위에 금속막을 형성함으로써 간단히 제작할 수 있다는 점과 함께 실리콘 쇼트키 다이오드에 비하여 훨씬 높은 내전압이 실현가능하다는 점이 장점으로 부각되고 있다[5-9].

한국전기연구원 전력반도체그룹  
(경상남도 창원시 성주동 28-1)  
Fax: 055-280-1590  
E-mail : nkkim@keri.re.kr

SiC 쇼트키 다이오드는 높은 내전압과 빠른 스위칭 속도로 인해 고주파수 영역에서 안정하게 동작할 수 있어 실리콘계 고속회복 다이오드를 대체할 수 있을 것으로 기대되고 있다[10]. SiC 쇼트키 다이오드의 우수한 기대특성에도 불구하고 이온주입을 통한 터미네이션 공정 등 고가의 공정은 그 상업적 확산을 더디게 하는 요인이기도 하다. 본 연구에서는 이온주입에 의하지 않고 고전압 SiC 쇼트키 다이오드를 제작하고자 열산화막을 제조하여 전계산화막 터미네이션 구조를 실현하고 그 전기적 특성을 조사하였다.

#### 2. 실험

고전압 SiC 쇼트키 다이오드를 제작하고자, Cree에서 제조된 고농도로 도핑된 n형 기판에 저농도 n형 에피층을 가지는 4H-SiC 웨이퍼를 출발

물질로 사용하였다. 제작된 쇼트키 다이오드는 그림 1과 같은 수직구조로서 음극이 되는 아랫부분은 오믹접합을 양극이 되는 윗 부분은 쇼트키 접합을 가진다. 수직구조 쇼트키 다이오드에서 두 가지의 저농도 에피층을 사용하였는데 그 두께는 각각  $5\mu\text{m}$ ,  $10\mu\text{m}$ 이고, 불순물 농도는 각각  $3 \times 10^{15}\text{cm}^{-3}$ ,  $4 \times 10^{15}\text{cm}^{-3}$  이었다.

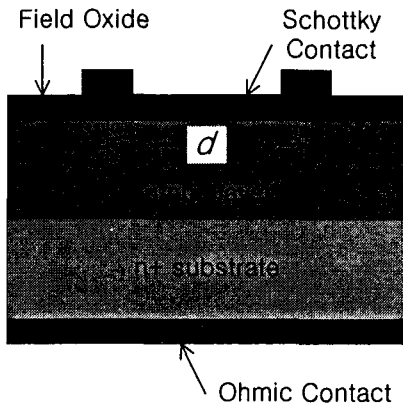


그림 1. 제작된 SiC 쇼트키 다이오드의 구조.

SiC 쇼트키 다이오드는 다음과 같은 순서로 제작되었다. SiC 웨이퍼를  $1150^\circ\text{C}$  분위기에서 3시간 동안 습식 산화하여 산화막을 만들고, 이를  $1150^\circ\text{C}$ 의 아르곤 분위기에서 30분간 열처리하였다. 이렇게 성장된 습식 산화막의 두께는 약  $550\text{\AA}$ 로 측정되었다. 산화막 성장 후 웨이퍼의 뒷면에 음극 전극을 형성하기 위하여 묽은 HF용액에 담그어 뒷면의 산화막을 제거한후 열증착 방식으로 Ni막을 형성하였다. 그리고 급속가열로(RTA)를 이용하여  $950^\circ\text{C}$ , 아르곤 분위기에서 90초간 열처리하여 오믹 접합을 형성하였다.

쇼트키 접합을 형성하기 위하여 에피층 표면의 산화막의 일부를 BOE로 묽은 HF용액에 담그어 제거하였다. 쇼트키 금속을 증착하여 패터닝하기 위하여 lift-off 방법을 사용하였다. 본 연구에서 시도한 쇼트키 금속은 Ni, Pt, Ta, 및 Ti였으며, 스퍼터를 이용하여 약  $3,000\text{\AA}$  두께의 막을 형성하였다. 얇은 전극막을 이용할 경우 전극내에 field가 형성되어 전극 크기에 따른 전류 특성을 가지므로 이를 방지하고자,  $5,000\text{\AA}$ 의 Al을 각각의 전극위에 다시 sputter로 증착하였다. 제작된 쇼트키 diode의 정전압 특성은 HP4145B를 이용하고, 역전압 특성(절연파괴 특성)은 Tektronix의 371A curve tracer

를 이용하여 I-V특성을 조사하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 2는 본 연구에서 제작된 전계산화막 터미네이션 구조의 쇼트키 다이오드를 보여주고 있다. 그림에서 안쪽의 둥근 테두리는 쇼트키 접합영역이고 바깥쪽의 둥근 테두리는 전계판의 끈 부분에 해당된다.

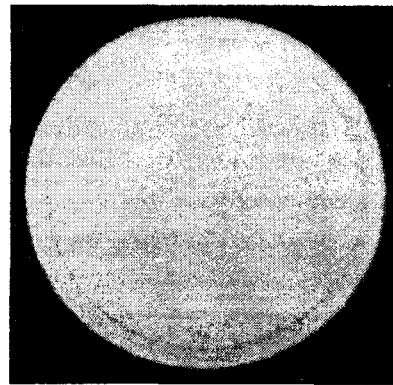


그림 2. 제작된 SiC 쇼트키 다이오드.

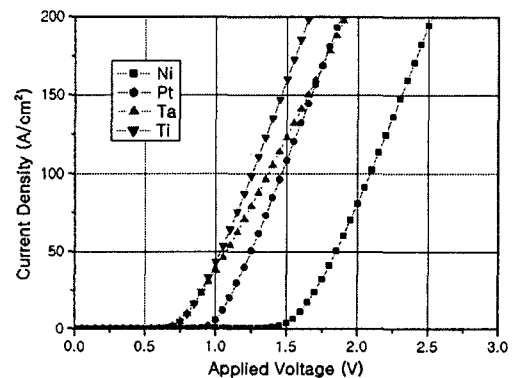


그림 3. 여러 가지 쇼트키 금속을 이용한 SiC 쇼트키 다이오드의 정전압-전류 특성 곡선.

그림 3은 접합부 직경이  $250\mu\text{m}$ 인 쇼트키 다이오드의 정전압 전류 특성을 보여주고 있다. 그림 2는 다이오드의 전형적인 정전압 특성을 보여주고 있는데 턴온 전압은 쇼트키 금속에 따라 다른데 Ni의 경우  $1.6\text{V}$ , Pt는  $1.0\text{V}$ , Ta 및 Ti는  $0.7\text{V}$ 로 측정되었다. 쇼트키 다이오드를 사용할 때 특정한 전류밀도에서의 전압강하가 중요하므로 본 연구에서

는  $100\text{A}/\text{cm}^2$ 의 전류밀도에서 측정하였으며 전압 강하는 Ni 쇼트키 다이오드의 경우 2.1V, Pt의 경우 1.45V, Ta의 경우 1.35V, Ti는 1.25V로 나타났다. 정전압 특성만을 고려할 때 Ti 쇼트키 다이오드는 턴온전압과 함께 전압강하가 가장 작은 것으로 나타났고 Ni 쇼트키 다이오드는 가장 큰 것으로 나타났다.

약 3,000Å 두께의 쇼트키 금속을 증착하여 끝이 뾰족한 탐침을 접촉하여 전류-전압 특성을 측정한 경우 쇼트키 접합의 넓이가 넓어짐에 따라 순방향 전압강하가 증가하는 경향이 관찰되었다. 본 실험에서는 쇼트키 금속을 증착한 후 추가적으로 알루미늄 막을 5,000Å 두께로 증착하여 전류-전압 특성을 측정한 결과 전극 넓이에 따른 전압강하의 차이는 나타나지 않았다. 결국 쇼트키 접합의 넓이가 넓어짐에 따라 순방향 전압강하가 증가하는 경향은 전극의 넓이에 비해 두께가 너무 얇아 금속 전극 내에서 field가 형성되어 전체 면적에서 균일하게 전류가 흐르지 못하기 때문으로 사료된다.

그림 4는 각 금속의 쇼트키 특성을 측정하기 위하여 전류-전압 특성을 다시 도시한 것이다. Thermionic emission 이론에 의하면 I-V의 관계식은

$$J = J_s \left[ \exp\left(\frac{qV}{\eta kT}\right) - 1 \right]$$

$$J_s = A^{**} T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_B}{kT}\right)$$

으로 주어진다. 여기서  $\eta$ 는 이상 지수(ideality factor)이다. 위의 식에서 아래의 식을 구할 수 있으며 이를 통하여 이상지수와 쇼트키 장벽높이(Schottky barrier height)를 구할 수 있다[5-7].

$$\eta = \frac{q}{kT} \frac{\partial V}{\partial \ln I}$$

$$\phi_B = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{AA^{**}T^2}{I_0}\right)$$

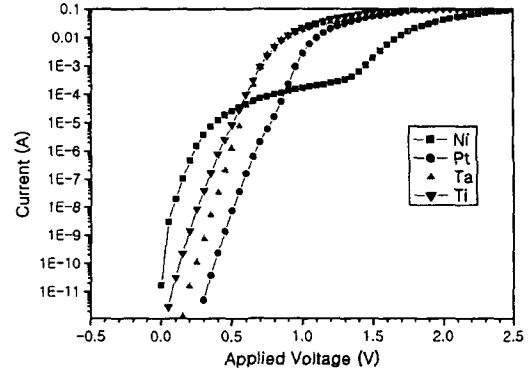


그림 4. 4H-SiC에 대한 쇼트키 특성계산을 위한 전류-전압 특성 곡선.

그림 4의 전류 전압 특성 곡선으로부터 구한 각 쇼트키 금속의 이상지수는 Ta 1.089, Pt 1.40, Ti 1.37이었다. Ni의 경우에는 그림에서 볼 수 있듯이 alloy의 특성을 보여주고 있다. 이는 순수한 Ni 쇼트키 특성과 다른 것으로 Ni 전극 위에 덮은 Al과 반응하였기 때문에 나타나는 특성으로 생각된다. 쇼트키 장벽 높이는 여러 금속 중 Ni이 1.67eV로 나타나 실험 대상 금속 중에서 가장 높았으며, Ti가 1.10으로 가장 낮게 나타났다. Ni의 쇼트키 장벽 높이를 측정한 여러 보고가 있는데, 1.59-1.65eV로 본 연구에서 측정한 것과 거의 유사하였다[5,7,8].

$10\mu\text{m}$ 두께의 에피층을 가진 전계산화막 구조 쇼트키 다이오드의 항복전압 특성을 조사한 결과 최대 1100V의 항복전압을 보였고 대부분의 시편에서 800V 이상을 나타내었다. 항복이 일어난 샘플을 관찰한 결과 전계판(field plate)의 끝 부분에서 급격한 방전이 발생하여 전계산화막에 구멍이 뚫리는 현상을 발견하였다. 이렇게 항복이 일어난 이후의 역전압 특성을 측정할 경우 항복전압은 현저히 감소하였다. 이는 항복이 주로 550Å 두께의 얇은 전계산화막 영역에서 일어나 전계산화막을 파괴하면서 진행되기 때문으로

그림 5는 HP4146B로 측정한 SiC쇼트키 다이오드의 역전압 전류-전압 특성이다. -100V까지의 전압영역에서 Ni의 누설전류가 가장 컸고 Ti, Ta Pt의 순으로 나타났다.

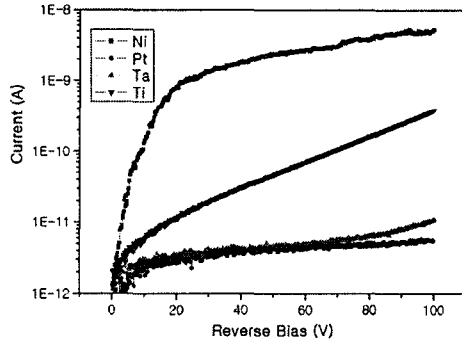


그림 5. SiC쇼트키 다이오드의 역전압 특성.

#### 4. 결론

탄화규소 열산화막을 전계산화막으로 사용하여 고전압의 SiC 쇼트키 다이오드를 제작하고 특성을 측정하였다. Ni, Pt, Ta, Ti를 쇼트키 금속으로 한 소자의 정전압 특성에서 턴온 전압은 Ni의 경우 1.6V, Pt는 1.0V, Ta 및 Ti는 0.7V로 측정되었다. 역전압 특성을 측정한 결과 최대 1100V의 항복전압이 측정되었으며 대부분의 소자에서 800V 이상의 내전압을 실현할 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업자원부 차세대연구개발사업인 'SiC 반도체 기술개발 사업(SiCDDP)'의 지원으로 이루어진 것입니다.

#### 참고 문헌

- [1] K. Shenai et al., "Optimum Semiconductors for high-power electronics", IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 36, No. 9, 1811-1823, 1989.
- [2] T.P. Chow, et al., "SiC and GaN bipolar power devices", Solid-State Electronics, 44, 277-301, 2000.
- [3] C.E. Weitzel et al., "Silicon carbide high-power devices", IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 43, No. 10, 1732-1741, 1996.
- [4] R. J. Trew et al., "The potential of diamond and SiC electronic devices for microwave power applications", Proc. IEEE Vol. 79. No. 5, 598-620, 1991.

- [5] V. Saxena et al., "High-Voltage Ni- and Pt-SiC Schottky Barrier Diodes utilizing Metal Field Plated Termination", IEEE Trans. Electron Dev. vol.46, No.3, 456-64, 1999.
- [6] K. J. Schoen et al., "Design Considerations and Experimental Characterization of High Voltage SiC Schottky Barrier Rectifiers," IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. 45, No. 7, pp. 1595-1604, July, 1998.
- [7] A. Itoh, T. Kimoto, and H. Matsunami, "High Performance of High-Voltage 4H-SiC Schottky Barrier Diodes", IEEE Electron Dev. Lett. **16**[6] 280-82(1995).
- [8] A. Itoh, T. Kimoto, and H. Matsunami, "Excellent Reverse Blocking Characteristics of High-Voltage 4H-SiC Schottky Rectifiers with Boron-Implanted Edge Termination," IEEE Electron Device Letters, Vol. 17, No. 3, pp. 139-141, March 1996.
- [9] K. Ueno, T. Urushidani, K. Hashimoto, and Y. Seki, "Al/Ti Schottky Barrier Diodes with the Guard Ring Termination for 6H-SiC", pp.107-11 in ISPSD '95(1995).
- [10] J.A. Cooper, "Opportunities and technical strategies for silicon carbide device development", Mater. Sci. Forum Vols. 389-393 pp.15-20, 2002.