

## 초고온 MEMS용 TiN/3C-SiC의 Ohmic 특성

정수용, 우형순, 김규현\*, 정귀상

동서대학교 정보시스템공학부, 동서대학교 응용공학부\*

### Ohmic Characteristics of TiN/3C-SiC for High-temperature MEMS Applications

Su-Yong Jung, Hyung-Soon Woo, Gue-Hyun Kim\*, and Gwi-Yang Chung

School of Information System Eng. Dongseo Univ., School of Applied Eng. Dongseo Univ.\*

#### Abstract

In this study, Ohmic contacts make on 3C-SiC using TiN. Ohmic contact resistivity of TiN/3C-SiC was evaluated. Specific contact resistance was calculated by Circular-TLM(transmission line model) method and physics properties were measured using XRD, SEM, respectively. TiN contact is stable at high temperatures and a good diffusion barrier material. The TiN/3C-SiC contacts are thermally stable to annealing temperatures up to 1000°C. The TiN thin-film deposited on 3C-SiC substrates have good electrical properties. Therefore, the TiN/3C-SiC contact can be usefully applied for high-temperature MEMS applications over 500°C.

**Key Words** : SiC, TiN, Ohmic contact, Specific contact resistance

#### 1. 서론

최근 미국, 일본 등과 같은 기술 선진국에서는 고내열, 내방사성, 내부식성, 내산화성, 고열전도, 고내전압 특성뿐만 아니라 기계적 특성이 Si 및 GaAs보다 우수한 탄화규소(SiC : Silicon Carbide)를 극한 환경에서도 사용 가능한 차세대 반도체 소재로 주목하고 있다[1]. SiC는 Si보다 밴드갭이 2~3배 크기때문에 p-n접합인 경우, 고온에서 누설전류가 적으며 전계파괴 강도가 약 10배 높으므로 소자의 드리프트층 두께를 극히 얇게 할 수 있다. 또한, SiC는 Si보다 열전도도와 전자의 포화 드리프트속도가 약 3배정도 크기때문에 소자의 고온 동작에 매우 유리한 조건이 된다. 또한, SiC는 기계적 특성이 우수하고 고온에서도 안정적이며 화학적으로 불활성이며 내부식성이 강하기 때문에 극한 환경에서도 사용 가능한 새로운 반도체 물질로 기대된다.

Si의 사용 한계온도를 넘는 300°C 이상 고온영역에서는 SiC 소자가 적용될 것으로 예상된다. 최근에 각종 SiC 전자, 정보통신, 전력전자, 기계부품에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며 고온 환

경에서 빠른 응답특성과 신뢰성 있는 정확한 측정 및 제어가 가능할 뿐만 아니라 시스템의 소형 및 경량화 등 여러 가지 장점을 기대할 수 있다.

특히, 3C-SiC는 Si기판위에 넓은 면적의 이종성장이 가능하며 전자 및 기계적 특성이 우수하고 기존의 Si 기반공정기술을 이용할 수 있기 때문에 초고온용 MEMS(Micro Electro Mechanical System)에 가장 적합한 광대역 반도체재료이다. 따라서, 고온, 고출력, 고주파용 반도체 재료로서 사용하기 위해서 SiC는 고온에서 안정한 전극 형성에 대한 연구가 선행되어야 한다. SiC의 특성상 SBH(Schottky barrier Height)가 1 eV정도의 Schottky 접촉은 쉽게 형성할 수 있지만, 반대로 장벽 높이가 낮은 좋은 Ohmic 접촉 특성을 얻기가 매우 어렵다. 그러므로 SiC-MEMS 연구개발에 있어서 낮은 접촉저항을 갖는 Ohmic 접촉을 형성하는 기술이 연구개발되어야 한다. 또한, 500°C 이상의 고온에서도 박막의 결정성 및 전류 출력특성이 변하지 않고, 계면 상호확산이 발생하지 않는 고온에서 안정한 Ohmic 접촉용 전극물질에 대해 연구가 선행되어야 한다.

고온에서 장시간 안정하고 낮은 접촉 비저항을 갖는 Ohmic 접촉의 형성을 위해서는 다층 전극의 구조가 가장 뛰어나지만, 공정의 복잡하고 신뢰성에 문제가 있다[2]. 따라서, 본 연구에서는 3C-SiC와 Ohmic 접촉 물질로 연구되고 있는 Ti의 질화물인 TiN 박막을 접촉으로 형성한 후, 고온 열처리 온도에 따른 결정성 및 계면 특성, 전류-전압 특성을 측정하여 3C-SiC에 대한 TiN 박막의 초고온 MEMS용 Ohmic 접촉에 관하여 연구하였다.

## 2. 실험

그림 1은 TiN/3C-SiC에 있어서 전압-전류 특성과 Ohmic 접촉 특성을 분석하기 위한 원형 패턴의 전극 제작순서를 도식적으로 나타낸 것이다. 제작공정은 먼저 Si(100)기판위에 성장된 3C-SiC 박막의 자연 산화막을 없애기 위해 100:1로 희석된 HF 용액으로 산화막을 제거한 후, 표준 photolithography 공정으로 패터닝하였다. 형성된 패턴위에 RF 반응성 스퍼터링으로 2400Å 두께의 TiN 박막을 증착한 다음, lift-off법으로 패턴을 제조했다.

표 1은 본 연구에서 사용한 TiN 박막의 증착 및 열처리조건을 각각 요약한 것이다. 최종적으로 TiN 박막을 증착한 후, lift-off법으로 원형 접촉을 형성하였다.

형성된 TiN 박막의 고온에서 사용시 열처리에 따른 물리적 특성 변화와 고온에서의 열적 안정도를 분석하기 위해 TiN 박막을 증착한 후,  $2 \times 10^{-6}$  Torr의 진공중에서 650°C ~ 1000°C의 온도에 따라 20분 동안 열처리를 행하였다.

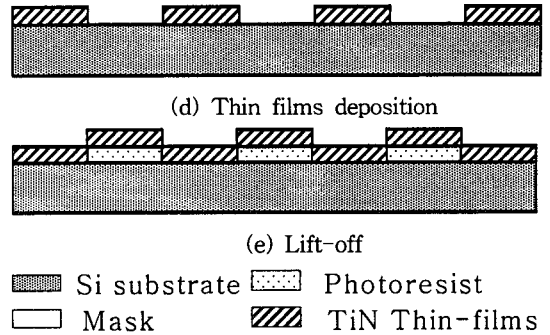
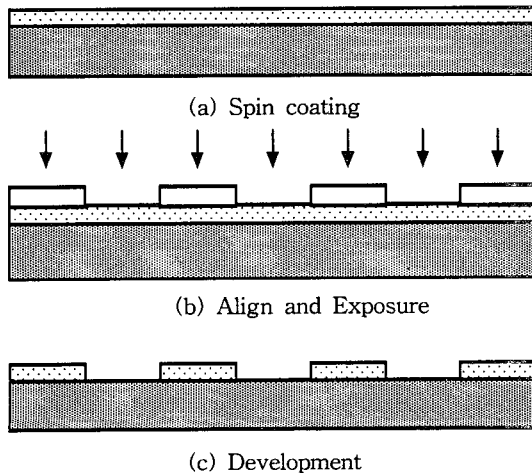


그림 1. TiN 원형 접촉 패턴의 제작 공정 순서도.  
Fig 1. Fabrications process flowcharts of TiN circular contact patterns.

표 1. TiN 박막의 증착 및 열처리 조건.  
Table 1. Deposition and annealing conditions of TiN thin-films, respectively

증착조건	범 위
Target	Ti 4" diameter
RF Power	200 W
Substrate	SiC
Target-substrate distance	8 cm
Working gas	Ar : 50 sccm N <sub>2</sub> : 12.5 sccm
Substrate Temperature	Room Temp.(27°C)
Working pressure	5.0 mTorr
Annealing conditions	650~1000°C, 20 min $2 \times 10^{-6}$ Torr

## 3. 결과 및 고찰

그림 2는 TiN/3C-SiC Ohmic 접촉이 고온 열처리 동안 TiN 박막의 결정성의 변화를 알아보기 위해 열처리 온도에 따른 TiN의 XRD 패턴이다. 그림에서 알 수 있듯이 열처리 온도가 증가함에 따라 TiN(200) 방향으로 X선 회절 패턴의 회절 피크가 커짐을 알 수 있다. 따라서, 열처리에 의해서 TiN 박막의 결정성도 증가됨을 알 수 있다.

그림 3은 TiN/3C-SiC의 단면 SEM 이미지이다. 그림 3(a)는 650°C 열처리했을 경우의 SEM 이미지로 650°C에서는 계면에 생성물이 보이지 않았지만, 그림 3(b)처럼 1000°C 열처리했을 때 반응 생성물이 생김을 확인할 수 있었다. 이러한 반응 생

성물은 접촉 비저항값을 증가시켜 결과적으로 TiN/3C-SiC의 Ohmic 접촉 특성을 악화시킨다.

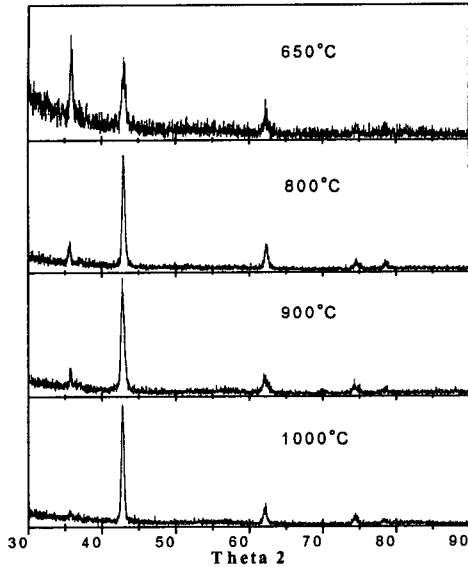


그림 2. 열처리 온도에 따른 TiN의 XRD 패턴.  
Fig. 2. XRD patterns of TiN according to annealing temperatures.

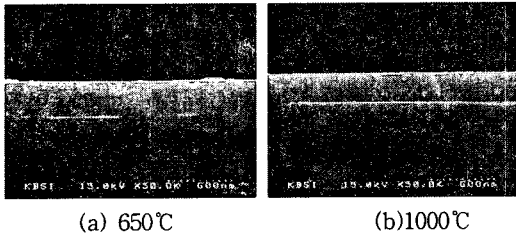
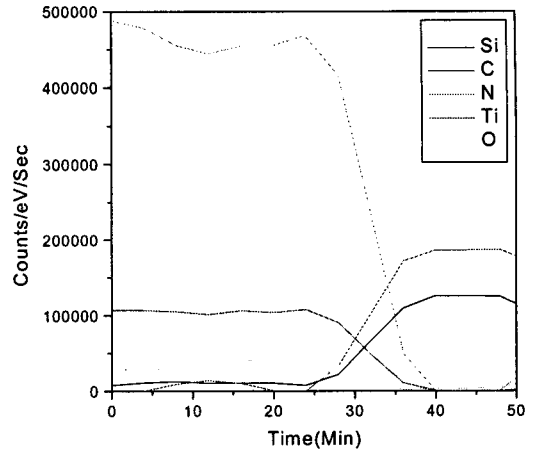


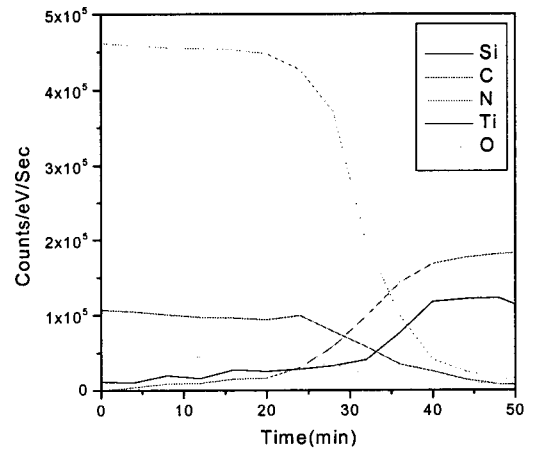
그림 3. 열처리 온도에 따른 3C-SiC/TiN 박막의 단면SEM 이미지.  
Fig. 3. Cross-sectional SEM Images of TiN/3C-SiC Thin-films according to annealing temperatures.

그림 4(a)와 (b)는 각각 열처리 전과 1000°C에서 열처리한 시편의 AES depth profile이다. 그림 4(b)에서, TiN 내부로 Si와 C 원자가 다량 확산됨을 알 수 있다. 또한 SiC 내부로도 Ti와 N 원자가 다량 확산하였다. 그림 4(a)에서는 O<sub>2</sub>가 거의 나타나지 않았으나 그림 4(b)에서 상당량의 O<sub>2</sub>가 TiN 내부로 확산되는 것을 보이면 TiN이 고온에서 산화됨을 알 수 있다. 그러므로 Ohmic 접촉의 산화 방지를 위해 산화 방지막의 형성이 요구된다. 이러

한 산화 방지막을 형성하면 고온에서도 충분히 안정적인 물질로 사용이 가능할 것으로 사료된다.



(a) before annealing



(b) After annealing at 1000°C

그림 4. (a) 열처리 전과 (b) 1000°C 열처리후의 TiN/3C-SiC의 AES depth profiles.

Fig. 4. AES depth profiles of TiN/3C-SiC according to (a) before and (b) after 1000°C annealing, respectively .

그림 5는 증착한 TiN과 SiC간의 전류-전압 특성이다. 열처리 후, 선형적인 전류-전압 특성을 나타내므로 Ohmic 접촉을 형성함을 알 수 있다. 650°C~800°C의 열처리 온도에서 상대적으로 양호한 Ohmic 특성이 나타나고, 900°C 이상 온도에서 Ohmic 특성이 나빠졌다. 열처리 온도에 따라 특성

이 변화하는 것은 열처리 온도가 올라감에 따라 TiN 박막의 재결정화와 SiC 경계면에서의 상호확산 반응 생성물의 영향으로 저하된다고 사료된다.

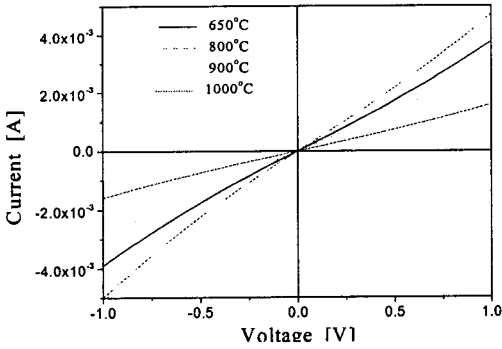


그림 5. 열처리 온도 따른 TiN/3C-SiC 접촉의 전류-전압 특성 .

Fig. 5. I-V characteristics of TiN/3C-SiC contacts versus annealing temperatures.

그림 6는 TiN/3C-SiC의 Ohmic 접촉의 중요한 변수인 접촉 비저항값을 나타낸 것이다. 접촉 비저항값은 650°C에서 가장 낮은 값( $1.47 \times 10^{-4}$ )을 가지고, 열처리 온도가 올라갈수록 접촉 비저항값이 증가하였다. 온도를 더 높여 1000°C에서 열처리했을 때 접촉 비저항값이 다시 감소하는데 이는 계면이 안정화되어 접촉비저항이 낮아진다고 사료된다.

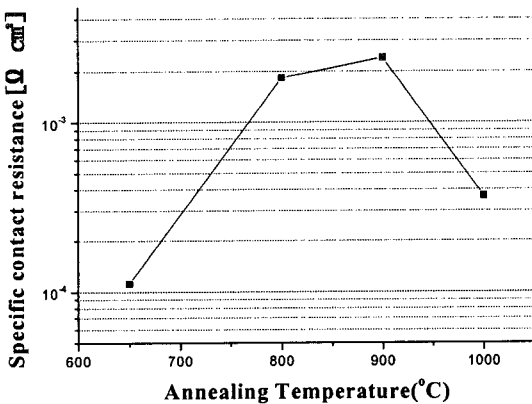


그림 6. 열처리 온도에 따른 TiN/3C-SiC의 접촉 비저항 변화.

Fig. 6. Specific contact resistivity variations of TiN/3C-SiC according to annealing temperatures.

#### 4. 결론

본 연구에서는 3C-SiC의 Ohmic 접촉용으로 내열성 금속인 Ti의 질화물인 TiN 박막을 사용하여 TiN/3C-SiC의 Ohmic 특성을 분석하였다. 고온 열처리를 행함으로써 TiN 박막의 결정성이 향상되며 TiN(200) 방향의 화학량론적 결정질을 가지게 되었다. 또한, 열처리한 후, TiN 박막은 Ohmic 특성을 나타내었으나 온도가 높아질수록 전류-전압 특성이 떨어짐을 알 수 있었다. 더구나, TiN 접촉은 650°C에서 가장 낮은 접촉 비저항값을 나타내었고, 800°C와 900°C에서 접촉 비저항값이 증가하였다가 1000°C에서 반응 생성물이 안정화되면서 다시 감소하였다. 이상의 결과를 종합해 볼 때, 800°C의 고온 열처리일 때 접촉 비저항값은 높지만 I-V감도가 뛰어나므로 가장 좋은 Ohmic 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. TiN 박막은 금속과 비슷한 전기적 특성을 내며 전기적, 열적 안정성과 상호확산 억제 효과에 좋은 특성을 보이기 때문에 향후 초고온용 SiC-MEMS 제작시 고온용 Ohmic 접촉 물질로서 응용 가능할 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 논문은 과학기술부의 2002년도 지역기술개발 연구사업 지원에 의해 연구되었으며, 이에 감사 드립니다.

#### 참고 문헌

- [1] P. M. Sarro, "Silicon carbide as a new MEMS technology", *Sensors & Actuators*, 82, p. 210-218, 2000.
- [2] M. Mehregany, C.A. Zorman, N. Rajan, C. H. Wu, "Silicon Carbide MEMS for Harsh Environments", *Proc. IEEE*, Vol.86, No. 8, 1998.
- [3] G. Constantinidis, K. Michelakis, K. Zekentes, L. Di Cioccion, "High temperature ohmic contacts to 3C-SiC grown on Si substrates by chemical vapor deposition", *Mater. Sci. Eng.*, B46, p. 176-179, 1997.