

## n형 4H-SiC의 Cu/Si/Cu 오염성 접합

정경화 · 조남인 · 김민철  
 선문대학교 전자정보통신공학부

## Cu/Si/Cu Ohmic contacts to n-type 4H-SiC

K.W. Jeong, N.I. Cho, M.C. Kim  
 Sun Moon University

**초 록:** n형 SiC를 이용한 오염성 접합을 알아보고자 Cu/Si/Cu 형태의 접합실험을 실시하였다. 오염성 접합의 형성을 위하여 Cu/Si/Cu를 증착 하고 열처리를 시행하였다. 열처리는 RTP를 이용한 진공상태의 2-step 방법으로 시행하였다. 접합에 계산을 위하여 TLM구조로, 면 저항( $R_s$ ), 접촉저항( $R_c$ ), 이동거리( $L_T$ ), 패드간거리( $d$ ), 저항( $R_T$ )값을 구하면 접합비저항( $\rho_c$ ) 값을 알 수 있다. 이로 인한 결과 값은 접촉저항 값은  $2\Omega$ 이었고, 이동간 거리는  $1\mu\text{m}$ 이었으며 접합비저항( $\rho_c$ )= $1.0 \times 10^{-6}\Omega\text{cm}^2$  값을 얻을 수 있었다. 물리적 변화를 AES 및 XRD를 이용하여 알아보았다. SiC 계면 상에 Cu의 변화로 인한 silicide형성이 이루어짐을 알 수 있었다.

**Abstract:** Characteristics of Cu/Si/Cu ohmic contacts to n-type 4H-SiC were investigated systematically. The ohmic contacts were formed by rf sputtering of multi layer Cu/Si/Cu sputtered sequentially. The annealings were performed with 2-step using RTP in vacuum ambient. The specific contact resistivity( $\rho_c$ ), sheet resistance( $R_s$ ), contact resistance( $R_c$ ), transfer length( $L_T$ ) were calculated from resistance( $R_T$ ) versus contact spacing( $d$ ) measurements obtained from TLM(transmission line method) structure. Best results were obtained for a sample annealed at vacuum as  $\rho_c = 1.0 \times 10^{-6}\Omega\text{cm}^2$ ,  $R_c = 2\Omega$  and  $L_T = 1\mu\text{m}$ . The physical properties of contacts were examined using XRD and AES. The results showed that copper silicide was formed on SiC and Cu was migrated into SiC.

**Key Words :** Cu/Si/Cu n-type 4H-SiC, TLM(Transmission Line Model), contact resistivity( $\rho_c$ )

## 1. 서 론

최근에 이르러 SiC 반도체의 상용화 및 고품질의 동족박막 성장이 가능하게 됨에 따라 다양한 내환경용 SiC 소자 개발의 기반이 마련되고 있으나[1], 소자 제작에 필요한 금속접합, 산화막 형성, 선택적 도핑 기술 등 제반 공정기술은 아직까지도 미흡한 수준에 머물러 있는 상황이다. 따라서 SiC 공정기술을 보다 높은 수준으로 이르게 하기 위해 금속화 공정의 중요한 오염

성 접합의 특성을 조사하였다. 오염성 접합은 소자의 동작주파수, 잡음 특성 및 출력에 큰 영향을 미친다. 특히 고출력 소자에서 접촉저항이 크면 열 방출이 증가하여 소자의 온도가 상승하게 되므로 접촉저항을 낮추는 것이 매우 중요하다. 낮은 접촉저항을 확보하기 위한 여러 금속을 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다. Lundberg는 Co를 사용하여  $900^\circ\text{C}$ 의 열처리를 하여  $1 \times 10^{-4}\Omega\text{cm}^2$ 의 낮은 비저항 값을 보고하

고 있으며, Marinova와 Hallin은 Ni를 사용하여 각각 1020°C, 1000°C의 열처리를 하여  $2.1 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}^2$ ,  $6 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$  Oper는 CrB<sub>2</sub>를 사용하여 1100°C의 열처리로  $9.65 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$ 의 낮은 비저항 값을 보고하고 있다.[2-5] 낮은 비저항 값을 얻기 위해서는 실리사이드 형성이 중요하다. 그러나 SiC와 금속이 접합되었을 때 탄소원자 때문에 순도가 높은 형성이 쉽지 않다. 본 연구에서는 Cu 실리사이드가 낮은 비저항값을 갖고 있는 것으로 보고되고 있기 때문에[6] 순도 높은 Cu실리사이드를 쉽게 형성하기 위해 Cu/Si/Cu 구조로 SiC위에 스퍼터링으로 증착한 후에 고온에서 금속 열처리하여 Cu 실리사이드 형성 조건과 열처리후Cu 실리사이드와 4H-SiC 간의 오염성 접합 특성을 조사하였다.

## 2. 실험

### 2.1 시편 제작

본 실험에서는 비저항  $0.007 \Omega \text{cm}^2$ , 두께 398  $\mu\text{m}$ , 결정 방향  $0^\circ 12'$ , 도핑농도  $1.1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 인 n형 4H-SiC 웨이퍼를 사용하였다. 먼저 시편의 제작과 특성 평가를 용이하게 하기 위해서 웨이퍼를 가로 1 mm, 세로 80  $\mu\text{m}$ 의 크기로 잘라내고, 유기물을 제거하고자 초음파 세척기를 이용하여 순차적으로 TCE 용액에서 3분, 아세톤에서 3분, 메탄올에서 3분 동안 세척하였으며, 최종 실리콘 카바이드 표면에 형성된 이온성 잔류 불순물과 자연 산화막 제거를 위해  $\text{NH}_4\text{OH} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 1:1:5$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 = 1:1$  용액에서 10분 동안 세정하였다. 세정 공정을 마친 후, AZ 5412를 이용하여 웨이퍼 위에 PR 코팅을 하는 사진 공정과 패드의 형성을 위해 노광 공정을 실시하였고, 스퍼터(sputter)를 사용하여 Cu(100 Å), Si(400 Å), Cu(500 Å)를 증착하였다. 다층으로 증착된 Cu/Si/Cu를 lift off 방식을 이용하여 표면 위에 증착된 패드 외의 불필요한 곳의 금속층을 제거하였다. 낮은 접촉 저항을 갖기 위하여 금속 열처리 장비 RTP(rapid thermal processor)를 사용하여 800°C에서 7분 동안 열처리하였다[6-8]. 그림 1은 시편의 유기물 세척 방법과 제조 공정 순서를 나타내고 있으며, 그림 2는 오염성 접합을 위한 진공분위기에서 2단계로 열처리하는 시스템이다.

첫 번째 단계에서의 열처리는 550°C에서 10분 동안 하였으며, 두 번째 단계의 열처리는 800°C에서 7분 동안 실시하였다. 그림 3은 n형 4H-SiC 표면 위에 Cu/Si/Cu를 다층으로 증착한 열 개의 TLM 패턴을 나타내고 있다.

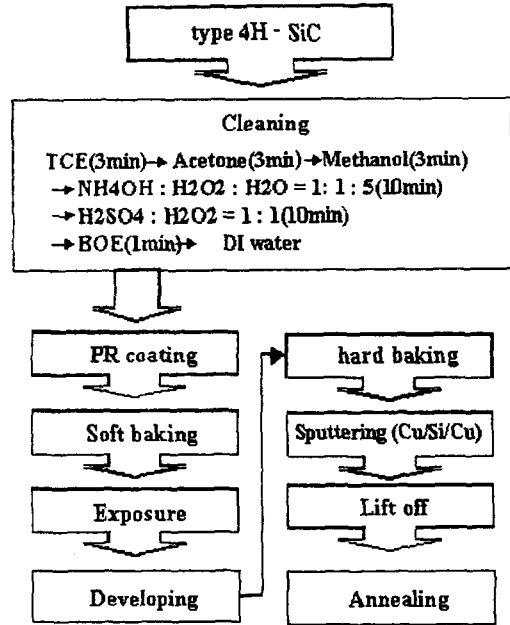


그림 1. 시편 제조에 관한 공정 순서  
Fig. 1. Flow chart for device fabrication processes

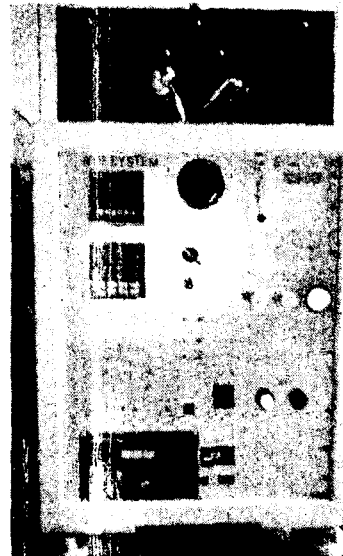


그림 2. 금속 열처리시스템 (RTP)  
Fig 2 Annealing system RTP

단자의 크기는  $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ 이며, 단자 사이의 거리는  $10 \mu\text{m} \sim 90 \mu\text{m}$ 로 하였다. Cu/Si/Cu의 다층 두께는  $1000 \text{ \AA}$ 으로 제작하였다.

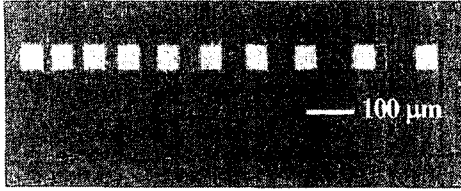


그림 3. 테스트 패턴 사이의 간격이 다른 n형 4H-SiC상에 증착된 10개의 Cu/Si/Cu 테스트 구조

Fig. 3. Ten test pad patterns of Cu/Si/Cu deposited on n-type 4H-SiC with different spacing between each test pads

## 2.2 접촉저항 측정

반도체 변수 분석기(HP 4155)를 이용하여 접촉저항을 측정하였다. 다 단자를 갖는 접촉저항 측정 방법은 두 단자 방식의 결점을 보완할 수 있는 방법이고, 그림 3처럼 구성된 다 단자 구조에서 접촉 저항 및 전체저항은 다음과 같이 구할 수 있다[9,10].

$$R_1 = R_s \left( \frac{l_1}{w} \right) + 2R_c$$

$$R_2 = R_s \left( \frac{l_2}{w} \right) + 2R_c \quad (1)$$

이들 두 식을 연합해서 풀면 다음과 같은 접촉 저항  $R_c$ 를 얻을 수 있다.

$$R_c = \frac{(l_1 R_2 - l_2 R_1)}{2(l_1 - l_2)} \quad (2)$$

그러므로 거리  $l$ 을 갖는 접합 단자간의 전체 저항  $R_T$ 는 다음과 같다.

$$R_T = R_s \left( \frac{l}{w} \right) + 2R_c \quad (\delta=0 \text{인 경우}) \quad (3)$$

전체 저항  $R_T$ 와 접합 단자간 거리  $l$ 에 대해서 접촉 저항  $R_c$ 를 구할 수 있다. 그림 4는 10개의 단자를 계산하기 위한 각 기호에 따른 표시를 보여주고 있다. 이로 인해 측정되

어진 값들을 가지고 접합비저항을 구할 수 있다. 여기서  $w$ 는 패드크기를,  $R_1 \sim R_{10}$ 은 거리  $l$ 에 따른 저항 값을 나타내고 있다.

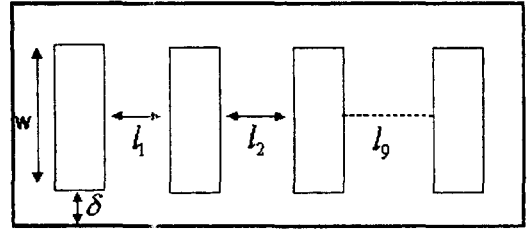


그림 4. 10개의 접합저항 테스트구조

Fig. 4. A Ten-terminal contact resistance test structure

## 3. 결과 및 고찰

그림 5는 RTP를 이용하여 진공상태에서 열처리한 시편의 I-V 특성을 나타내고 있다. n형 4H-SiC에 Cu/Si/Cu를 증착한 후에 RTP에서  $8.0 \times 10^{-7}$  Torr의 진공분위기에서  $550^\circ\text{C}$ 에서 7분,  $700^\circ\text{C}$ 에서 5분 동안 2단계 열처리한 시편의 I-V 특성에서 보여지듯이 진공분위기에서 열처리한 시편의 진공상태에서 높은 전류 값을 얻었으며, 오염성 접합에 대해서 뛰어난 특성을 보여주고 있다. 또한  $550^\circ\text{C}$ ,  $700^\circ\text{C}$ 의 2단계 열처리를 거친 시편이 우수한 오염성 특성을 나타냄을 알 수 있는데, 이는 고온의 열처리 시 접촉 비저항을 높이는 주 요인인 산화를 줄이기 위해 2단계 열처리를 수행함으로써 산화의 문제가 향상되었음을 알 수 있다. SiC 윗면에서 Si와 Cu간 혼합으로 인한 silicide 형성을 얻고자 Cu( $100 \text{ \AA}$ ) 두께를 증착함으로써 계면간의 표면 거칠기 향상 및 이로 인한 접촉저항이 향상되어 우수한 I-V 값을 나타냄을 알 수 있었다. 또한  $550^\circ\text{C}$ 의 저온 열처리 과정을 통해 Si와 Cu가 혼합되어  $700^\circ\text{C}$ 의 열처리 시 Cu 실리사이드 형성이 용이해 졌음으로 사려된다. 그림 6는 10개의 단자의 접촉 저항( $R_c$ )과 전달거리 (transfer length,  $L_T$ )를 측정 후 위 식(1~3)을 이용하여 계산된 접촉비저항( $\rho_c$ )을 나타내고 있다.

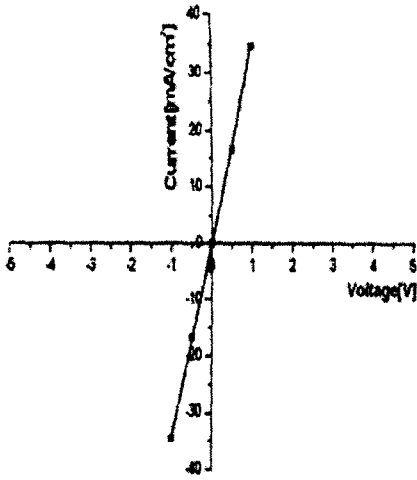


그림 5. 열처리 후 Cu/Si/Cu n형 4H-SiC에 관한 I-V 특성 곡선

Fig. 5. I-V characteristics for Cu/Si/Cu

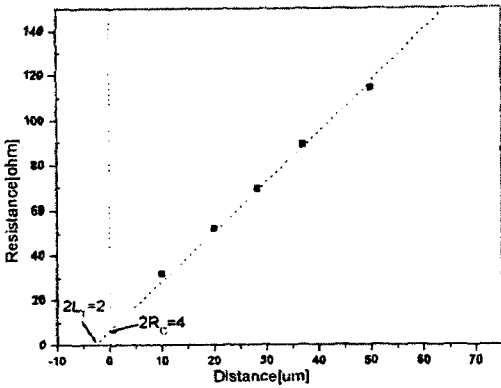


그림 6. 패드 사이의 저항 측정으로 접촉 저항과 transfer length( $L_T$ ) 측정

Fig. 6. Plot of total contact resistance as a function of  $l$  to obtain transfer length and contact resistance values

2단계 열처리한 시편은 550°C, 700°C에서 2-step 열처리한 시편은  $1.0 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}^2$ 의 낮은 접촉 비저항 값을 나타냄을 알 수 있었다. 그림 7은 n형 4H-SiC 표면 위에 Cu/Si/Cu를 순차적으로 sputtering한 후에  $8.0 \times 10^{-7}$  Torr의 진공분위기에서 550°C에서 7분, 700°C에서 5분 동안 열처리한 시편을 XRD 장비를 이용하여 분석한 결과이다. 진공분위기에서 열처리한 시편의 경우 낮은 접촉저항의 요인인 copper 실리사이드가 형성되었음을 확인할 수 있었다.

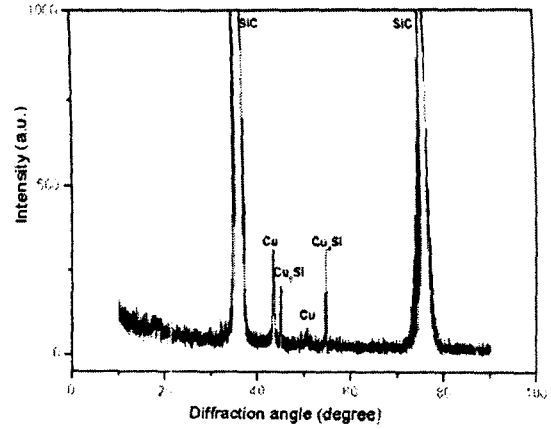


그림 7. Cu/Si/Cu n형 4H-SiC에 관한 XRD Fig. 7. XRD peaks for Cu/Si/Cu on SiC

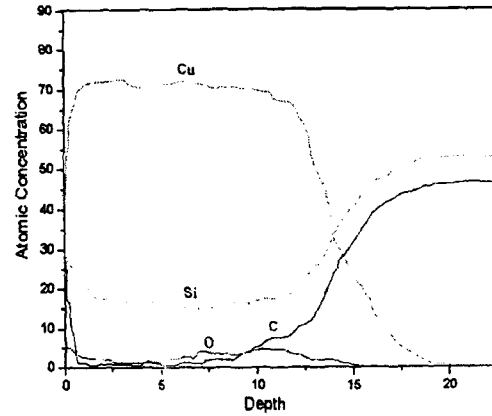


그림 8. Cu/Si/Cu n형 4H-SiC에 관한 AES Fig. 8. AES for Cu/Si/Cu on SiC annealed at 550°C for 7 min, 700°C for 5min

그림 8의 Auger depth profile 분석을 보면. 이미 Cu가 상호 확산되어 금속 영역 전체에 고르게 분포하고 있으며, 탄소, 산소 원자 또한 표면에 존재함을 알 수 있다. 그러나 산소 원자가 표면에 분포하는 것은 접촉저항에 영향으로 전류의 흐름에 방해 요인이라 사려된다.

#### 4. 결론

본 실험에서는 SiC기판 위에 형성된 Cu/Si/Cu n형 4H-SiC 다층간의 접합 계면의 미세 구조와 XRD, AES 분석을 이용하여 접합 특성과 열처리 조건에 따른 저항 변화를 확인하였다.

진공분위기에서 열처리한 시편의 경우  $\rho_c=1.0 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}^2$ ,  $R_c=2 \Omega$ ,  $L_T=1\mu\text{m}$ 의 결과 값을 얻을 수 있었다. XRD 결과에서처럼 진공 분위기에서 급속 열처리한 시편은  $\text{CuSi}_3$ 라는 실리사이드가 형성되어 접촉저항이 낮아진 것으로 분석되며 기존의 열처리 공정보다 낮은 온도에서 열처리 형성 후 copper silicide가 형성되었음을 알 수 있었다. 또한 AES 분석 결과  $\text{Cu/Si/Cu}$  구조에서 열처리 결과  $\text{Cu}$  실리사이드가 형성되어 접촉 저항이 감소하였음을 알 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부 지원에 의하여 연구되었음(SiC Device Development Program).

### 참고 문헌

1. N. Kuroda, K. Shibahara, W. S. Yoo, "Extended abstracts 19th Conf. solid state devices and materials, Tokyo, pp. 277, 1987.
2. N. Lundberg, M. Ostling, "Thermally stable low ohmic contacts to p-type 6H-SiC using cobalt silicides", Solid state electronics, Vol. 39, No. 11, 1996.
3. Ts. Marinova, V. Kraster, L. Hallin, "Interface chemistry and electric characteristion of nickel metallisation on 6H-SiC", Applied surface science 99, pp. 119-125, 1996.
4. C. Hallin, R. Yakimova, B. Pecz, "Improved Ni ohmic contact on n-type 4H-SiC", Journal of electronic materials, Vol. 26, No. 3, 1997.
5. T. N. Oper, J. R. Williams, M. J. Bozack, "High temperature stability of chromium boride ohmic contacts to p-type 6H-SiC", Journal of Electronic Materials, Vol. 27, No. 4, 1998.
6. G. L. Molnar, G. Peto, E. Zsoldos "Interaction of copper metallization with rare-earth metals and silicide", Journal of applied physics, Vol. 90, No. 1, pp. 503-505, 2001

7. T. Laurila, K. Zeng "Failure mechanism of Ta diffusion barrier between Cu and Si" Journal of applied physics, Vol. 88, No. 6, pp. 3377-3384, 2000
8. L C. A. Van den Oetelaar, R. J. A. Van den Oetelaar, A. Partridge "Reaction of nanometer-sized Cu particles with a  $\text{SiO}_2$  substrate" Appl. phys. lett. Vol. 74, No. 20, pp. 2954-2956, 1999
9. H. H. Berger, "Models for contacts to planar devices", Solid-State Electronics, Vol. 15, pp. 145-158, 1972.
10. N. Lundberg and Ostling, "Thermally stable low ohmic contacts to p-type 6H-SiC using cobalt silicides", Solid-State Electronics, Vol. 39, No. 11, pp. 1559-1565, 1996. Kruaval, "Thermally stable low specific resistance( $1.30 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$ ) TiC ohmic contacts to n-type 6H  $\alpha$ -SiC", Appl. Phys. Lett. Vol. 66, No. 6, 1995.