

낮은 접촉 저항을 갖는 Co/Si/Co n형 4H-SiC의 오염성 접합

Low resistivity Ohmic Co/Si/Co contacts to n-type 4H-SiC

김창교*, 양성준*, 이주현**, 조남인***, 정경화***, 김남균****, 김은동****, 김동학*****

(C. K. Kim*, S. J. Yang*, J. H. Lee**, N. I. Cho***, K. H. Jung***, N. K. Kim****, E. D. Kim****, D. H. Kim*****)

Abstract

Characteristics of ohmic Co/Si/Co contacts to n-type 4H-SiC are investigated systematically. The ohmic contacts were formed by annealing Co/Si/Co sputtered sequentially. The annealings were performed at 800°C using RTP in vacuum ambient and Ar:H₂(9:1) ambient, respectively. The specific contact resistivity(ρ_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. While the resulting measurement values of sample annealed at vacuum ambient were $\rho_c = 1.0 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$, $R_c = 20 \Omega$ and $L_T = 6.0$ those of sample annealed at Ar:H₂(9:1) ambient were $\rho_c = 4.1 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}^2$, $R_c = 4.0 \Omega$ and $L_T = 2.0$. The physical properties of contacts were examined using XRD and AES. The results showed that cobalt silicide was formed on SiC and Co was migrated into SiC.

Key Words : Co/Si/Co n-type 4H-SiC, TLM(Transmission Line Model), contact resistivity(ρ_c)

1. 서론

최근에 이르러 SiC 반도체의 상용화 및 고품질의 동축박막 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 오염성 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°C의 열처리를 하여 $1 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}^2$ 의 낮은 비저항 값을 보고하고 있으며, Marinova와 Hallin은 Ni를 사용하여 각각 1020°C, 1000°C의 열처리를 하여 $2.1 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}^2$, $6 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$ 을, Oper는 CrB₂를 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 Co 실리사이드(CoSi₂)가 낮은 비저항값을 갖고 있는 것으로 보고되고 있기 때문에[2] 순도높은 Co 실리사이드를 쉽게 형성하기 위해 Co/Si/Co 구조로 SiC위에 스

* : 순천향대학교 정보기술공학부
(충남 아산시 신창면 읍내리 646)
Fax : 041-530-1097
E-mail : cckim1@sch.ac.kr
** : (주) iCurie Lab
*** : 선문대학교 전자공학과
**** : 한국전기연구원
***** : 순천향대학교 신소재화학공학부

퍼터링으로 증착한 후에 고온에서 급속 열처리하여 Co 실리사이드 형성 조건과 열처리후에 형성된 Co 실리사이드와 4H-SiC 간의 오염성 접합 특성을 조사하였다.

2. 실험

2.1 시편 제작

본 실험에서 사용된 웨이퍼는 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 Co(100Å), Si(500Å), Co(150Å)를 증착 하였다. 다층으로 증착된

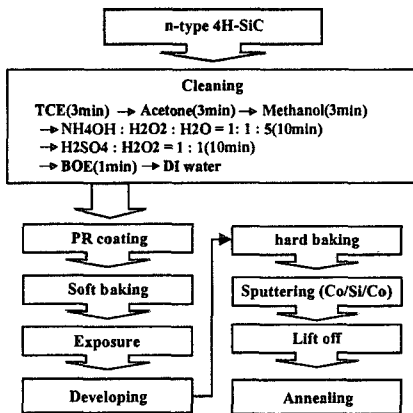


그림 1. 시편 제조에 관한 공정 순서도
Fig. 1. Flow chart for device fabrication processes

Co/Si/Co를 lift off 방식을 이용하여 표면 위에 증착된 패드 외의 불필요한 곳의 금속층을 제거하였다. 그리고 낮은 접촉 저항을 갖기 위하여 급속 열처리 장비 RTP(rapid thermal processor)를 사용하여 800°C 에서 7분 동안 열처리하였다[6-7].

그림 1은 시편의 유기물 세척 방법과 제조 공정 순서를 나타내고 있으며, 그림 2는 오염성 접합을 위한 질소 분위기에서 2단계로 열처리하는 시스템 개략도이다. 첫 번째 단계에서의 열처리는 550°C 에서 10분 동안 하였으며, 두 번째 단계의 열처리는 800°C 에서 7분 동안 실시하였다. 그림 3은 n형 4H-SiC 표면 위에 Co/Si/Co를 다층으로 증착한 열 개의 TLM 패턴을 나타내고 있다[7-8].

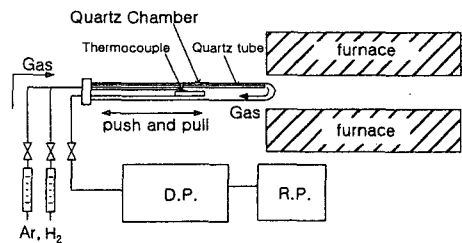


그림 2. 2단계 열처리시스템 개략도
Fig. 2. Schematic diagram of furnace with two steps annealing system

단자의 크기는 $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ 이며, 단자 사이의 거리는 $10 \mu\text{m} \sim 90 \mu\text{m}$ 로 하였다. Co/Si/Co의 다층 두께는 750Å으로 제작하였다.

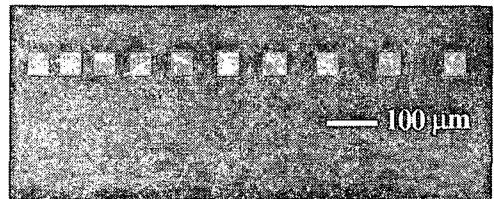


그림 3. 테스트 패턴 사이의 간격이 다른 n형 4H-SiC상에 증착된 10개의 Co/Si/Co 테스트 구조

Fig. 3. Ten test pad patterns of Co/Si/Co 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 접촉 저항 측정 방법은 두 단자 방식의 결점을 보완할 수 있는 방법이고, 그림 3처럼 구성된 다 단자 구조에서 접촉 저항 및 전계저항은 다음과 같이

구할 수 있다[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[6, 9].

3. 결과 및 고찰

그림 4는 RTP를 이용하여 각각의 온도에서 열처리한 시편의 I-V특성을 나타내고 있다. n형 4H-SiC에 Co/Si/Co를 증착한 후에 RTP에서 2.0×10^{-6} Torr의 진공과 Ar:H₂(9:1)분위기에서 500°C에서 10분, 800°C에서 7분 동안 2단계 열처리한 시편의 I-V 특성에서 보여지듯이 Ar:H₂(9:1)분위기에서 열처리한 시편의 전류 값이 진공상태에서 열처리한 시편보다 높은 값을 얻었으며, 오염성 접합에 대해서 뛰어난 특성을 보여주고 있다.

그리고 800°C에서 직접 열처리한 시편보다는 500°C, 800°C의 2단계 열처리를 거친 시편이 우수한 오염성 특성을 나타냄을 알 수 있는데, 이는 고온의 열처리 시 접촉 비저항을 높이는 주요인인 산화를 줄이기 위해 2단계 열처리를 수행함으로써 산화의 문제가 향상되었음을 알 수 있다. 500°C의 저온 열처리 과정을 통해 Si와 Co가 혼합되어 800°C의 열처리시 Co 실리사이드 형성이 용이해졌음으로 사료된다.

그림 5은 10개의 단자의 접촉 저항(R_c)과 전달거리(transfer length, L_T)을 측정된 후 위 식(1~3)을 이용하여 계산된 접촉비저항(ρ_c)을 나타내고 있다.

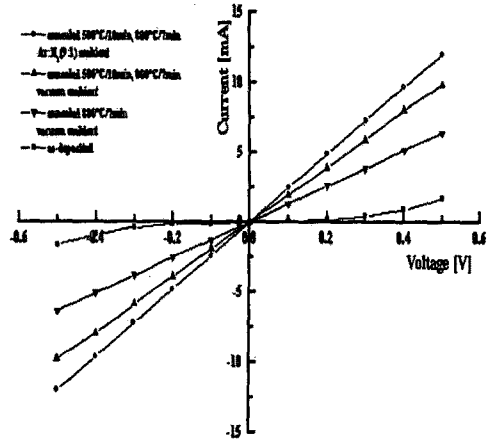
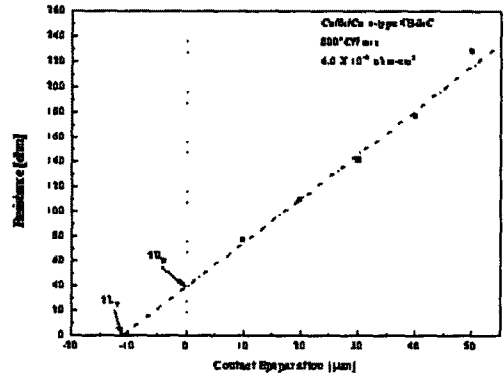
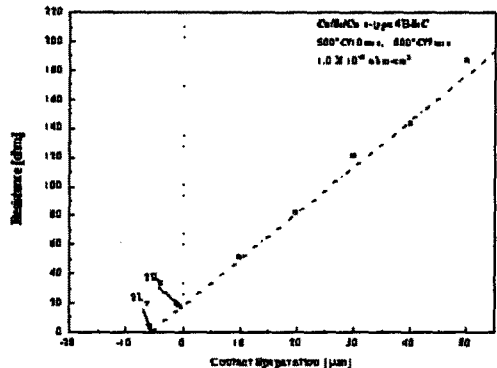


그림 4. 열처리 후 Co/Si/Co n형 4H-SiC에 관한 I-V 특성 곡선

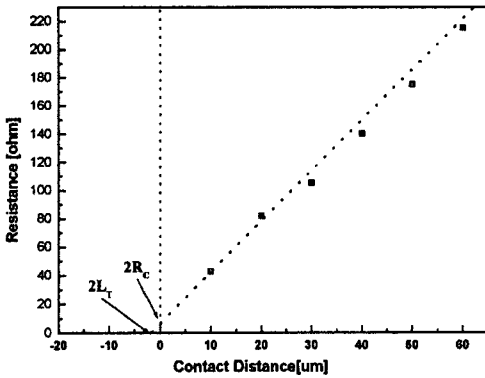
Fig. 4. I-V characteristics for Co/Si/Co



(a) annealed at 800°C for 7 min



(b) annealed at 500°C for 10 min, 800°C for 7 min (vacuum ambient)



(c) annealed at 500°C for 10 min, 800°C for 7min
(Ar:H₂(9:1) ambient)

그림 5. 패드 사이의 저항 측정으로 접촉 저항과 transfer length(L_T) 측정

Fig. 5. Plot of total contact resistance as a function of 1 to obtain transfer length and contact resistance values

2단계 열처리한 시편이 800°C에서 직접 열처리한 시편보다 낮은 접촉 비저항값을 가짐이 나타나며, 또한 Ar:H₂(9:1)가스분위기에서 열처리한 시편이 $2.6 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}^2$ 의 값으로 진공상태에서 열처리한 시편의 $1.0 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$ 의 값보다 낮은 접촉 비저항 값을 가짐을 알 수 있다.

표 1은 각 열처리 조건에 따른 접촉저항(R_C)과 전달거리(transfer length, L_T), 접촉비저항(ρ_c) 값을 나타내었다.

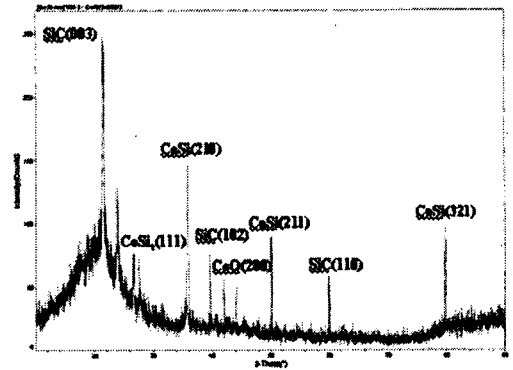
표 1. 열처리에 따른 시편의 접촉저항과 전달거리 접촉 비저항 ρ_c 값

Table 1. Result of specific contact resistivity, transfer length and contact resistance

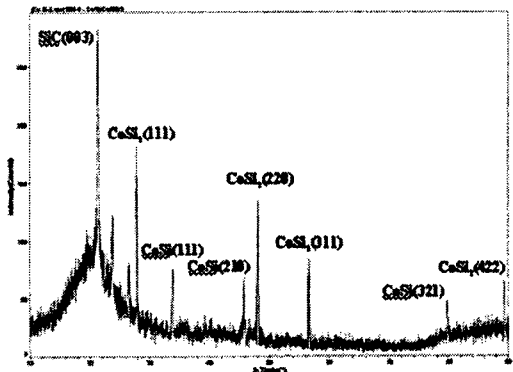
	ρ_c	R _C	L _T
annealing at 800°C/7min (vacuum: 2.0×10^{-6} Torr)	$6.0 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}^2$	20 ohm	60 μm
annealing at 500°C/10min, 800°C/7min (vacuum: 2.0×10^{-6} Torr)	$1.0 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}^2$	7.4 ohm	27 μm
annealing at 500°C/10min, 800°C/7min (Ar : H ₂ (9:1) ambient)	$4.1 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}^2$	40 ohm	20 μm

그림 6는 n형 4H-SiC 표면 위에 Co/Si/Co를 순차적으로 sputtering한 후에 2.0×10^{-6} Torr의 진공, Ar:H₂(9:1)분위기에서 500°C에서 10분, 800°C에서 7분 동안 열처리한 시편을 XRD 장비를 이용하여 분석한 결과이다.

Ar:H₂(9:1)분위기에서 열처리한 시편의 경우 낮은 접촉저항의 요인인 CoSi₂ 실리사이드가 다량 형성되었음을 확인할 수 있었으나, 2.0×10^{-6} Torr의 진공에서 열처리한 시편의 경우 CoSi₂ 실리사이드보다는 CoSi 실리사이드가 많이 형성되었음을 확인할 수 있는데 CoSi₂ 보다 비저항이 높은 CoSi 실리사이드의 형성으로 비저항값이 높아졌으므로 사료된다.



(a) annealed at 500°C for 10 min, 800°C for 7min
(vacuum ambient)



(b) annealed at 500°C for 10 min, 800°C for 7min
(Ar:H₂(9:1) ambient)

그림 6. Co/Si/Co n형 4H-SiC에 관한 XRD 분석
Fig. 6. XRD peaks for Co/Si/Co on SiC

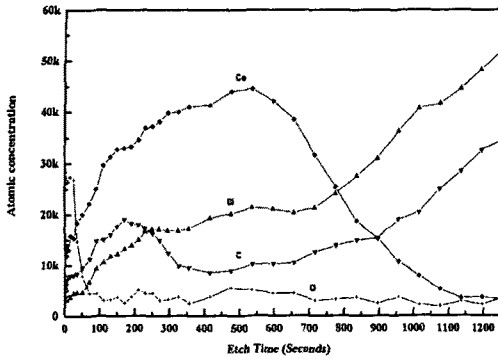


그림 7. Co/Si/Co n형 4H-SiC에 관한 AES 분석
 Fig. 7. AES for Co/Si/Co on SiC annealed at 500°C for 10 min, 800°C for 7min

그림 7의 Auger depth profile 분석을 보면, 이미 Co가 상호 확산되어 급속 영역 전체에 고르게 분포하고 있으며, 탄소, 산소 원자 또한 표면에 존재함을 알 수 있다. 그러나 산소 원자가 표면에 분포한다는 것은 전류의 흐름을 적게하는 직접적인 원인이란 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 기판 위에 형성된 Co/Si/Co n형 4H-SiC 다층간의 접합 계면의 미세 구조와 XRD, AES 분석을 이용하여 접합 특성과 열처리 조건에 따른 저항 변화를 확인하였다. Ar:H₂(9:1) 분위기에서 열처리한 시편의 경우 $\rho_c=4.1 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}$, $R_c=4.0 \Omega$, $L_T=2.0 \mu\text{m}$ 이며, 진공상태에서의 열처리한 시편은 $\rho_c=1.0 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}$, $R_c=7.4 \Omega$, $L_T=2.7 \mu\text{m}$ 의 결과 값을 얻을 수 있었다. XRD 결과는 진공 분위기에서 급속 열처리한 시편은 CoSi₂보다 높은 비저항 값을 갖는 CoSi 실리사이드가 다량 생성되어 Ar:H₂(9:1)분위기에서 열처리한 시편보다 접촉저항이 높아진 것으로 분석되었다. 또한 AES 분석 결과 Co/Si/Co 구조에서 열처리 결과 Co 실리사이드가 형성되어 접촉 저항이 감소하였음을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부에서 시행하는 SiCDDP(SiC Device Development Program) 과제의 지원으로 이루어졌습니다.

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 characteristic 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] H. H. Berger, "Models for contacts to planar devices", Solid-State Electronics, Vol. 15, pp. 145-158, 1972.
- [7] 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 α -SiC", Appl. Phys. Lett. Vol. 66, No. 6, 1995.
- [8] A. K. Chaddha, J.D. Parsons and G. B. Kruaval, "Thermally stable low specific resistance ($1.30 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$) TiC ohmic contacts to n-type 6H α -SiC", Appl. Phys. Lett., Vol. 66, No. 6, 1995.
- [9] N. A. Papamicolaou, A. Edwards, M. V. Rao, "Si/Pt ohmic contacts to p-type 4H-SiC", Appl. Phys. Lett. Vol. 73, No. 14, 1998.