

Ni/Si/Ni n형 4H-SiC의 오음성 접합

Ni/Si/Ni Ohmic contacts to n-type 4H-SiC

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

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

Abstract

In this letter, we report on the investigation of Ni/Si/Ni Ohmic contacts to n-type 4H-SiC. Ohmic contacts have been formed by a vacuum annealing and N₂ gas ambient annealing method at 950°C for 10 min. 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 10 TLM(transmission line method) structures. The resulting average values of vacuum annealing sample were $\rho_c = 3.8 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$, $R_c = 4.9 \Omega$, $R_T = 9.8 \Omega$ and $L_T = 15.5 \mu\text{m}$, resulting average values of another sample were $\rho_c = 2.29 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}^2$, $R_c = 12.9 \Omega$ and $R_T = 25.8 \Omega$. The physical properties of contacts were examined using X-Ray Diffraction and Auger analysis, there was a uniform intermixing of the Si and Ni, migration of Ni into the SiC.

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

1. 서론

최근에 이르러 SiC 웨이퍼의 상용화 및 고품질의 동족박막 성장이 가능하게 됨에 따라 다양한 내환경용 SiC 소자 개발의 기반이 마련되고 있으나, 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 오음성 접합의 특성을 조사하였다. 오음성 접합은 소자의 동작주파수, 잡음 특성 및 출력에 큰 영향을 미친다. 특히 고출력 소

자에서 접촉저항이 크면 열 방출이 증가하여 소자의 온도가 상승하게 되므로 접촉저항을 낮추는 것이 매우 중요하다. 또한 고온에서의 열적 안정성과 낮은 접촉저항을 동시에 확보하기 위한 오음성 접합 기술의 연구가 반드시 필요하여, 우수한 특성을 갖는 금속과 열처리 조건 및 그 밖의 제반 문제점을 찾고자 이 연구를 실행하였다.

2. 실험

2.1 시편 제작

본 실험에서 사용된 웨이퍼는 비저항 0.007 Ωcm^2 , 두께 398 μm , 결정 방향 0° 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 1000 μm , 세로 80 μm 의 크기로 잘라내고, 유기물을 제거하고자 초음파 세척기를 이용하여 순차적으로 TCE용액에서 3분, 아세톤에

* : 순천향대학교 정보기술공학부
(충남 아산시 신창면 읍내리 산646,
Fax : 041-530-1097
E-mail : joohun2@sch.ac.kr)

** : 선문대학교 전자공학과
*** : 한국전기연구원

서 3분, 메탄올에서 3분을 세척하였으며, 최종 실리콘 카바이드 표면에 형성된 이온성 잔류 불순물과 자연 산화막 제거를 위하여 $\text{NH}_4\text{OH} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 1:1:5$, $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 = 1:1$ 용액에 10분 동안 세정하였다. 이렇게 세정 공정을 마친 후, AZ 5412를 이용하여 wafer 위에 PR coating을 하는 사진 공정과 노광 공정을 하고, sputter를 사용하여 Ni(400Å), Si(200Å), Ni(400Å)를 증착 하였다. 다층으로 증착된 Ni/Si/Ni를 lift off 시키고 낮은 접촉 저항을 갖기 위하여 급속 열처리 장비 RTP(rapid thermal process)를 사용하여 950°C에서 10분 동안 열처리하였다[1-3].

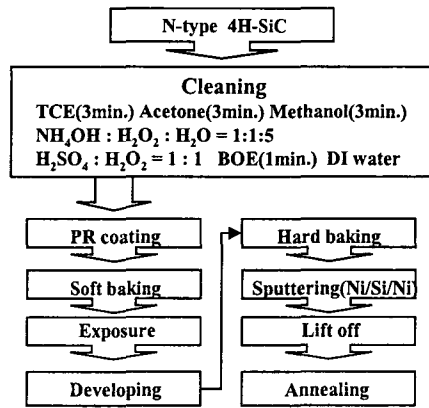


그림 1. 시편 제조에 관한 공정 순서도
Fig. 1. Flow chart for device fabrication sequence

그림 1은 시편의 유기물 세척 방법과 제조 공정 순서를 보여주고 있으며, 그림 2는 n형 4H-SiC 표면 위에 Ni/Si/Ni를 다층으로 증착한 열 개의 TLM 패턴을 나타내고 있다[2-4].

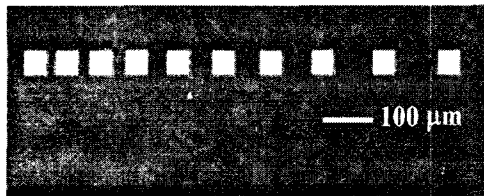


그림 2. Ni/Si/Ni n형 4H-SiC 표면 위에 열 단자로 구성된 소자
Fig. 2. Ten-terminal contact resistance test structure

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

2.2 접촉저항 측정

다 단자를 갖는 시편에서 접촉 저항을 측정하기 위하여 반도체 변수 분석기와 probe station을 사용하였다. 그리고 다 단자를 갖는 접촉 저항 측정 방법은 두 단자 방식의 결점을 보완할 수 있는 방법이고, 그림 2처럼 구성된 다 단자 구조에서 접촉 저항을 구해보면 다음과 같다[4].

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

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

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

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

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

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

전체 저항 R_T 와 접합 단자간 거리 l 에 대해서 접촉 저항 R_c 를 구할 수 있다[2, 5].

3. 결과 및 고찰

Ni/Si/Ni를 증착한 후에 급속 열처리 장치를 이용하여 3.4×10^{-5} Torr의 진공과 질소 분위기에서 각각 950°C에서 10분 동안 열처리한 시편을 가지고 I-V 특성을 조사하였다. 그 결과 그림 3에서처럼 진공 상태에서 열처리한 시편의 전류 값이 질소 분위기에서 열처리한 시편 보다 높은 값을 얻었으며, 오염성 접합에 대해서 뛰어난 특성을 보여주고 있음을 알 수 있다. 그리고 열처리 온도를 1000°C로 변화시켜 I-V 특성을 관찰하였으나 전체적으로 비교하여 950°C의 시편보다 특성이 좋지 않았다.

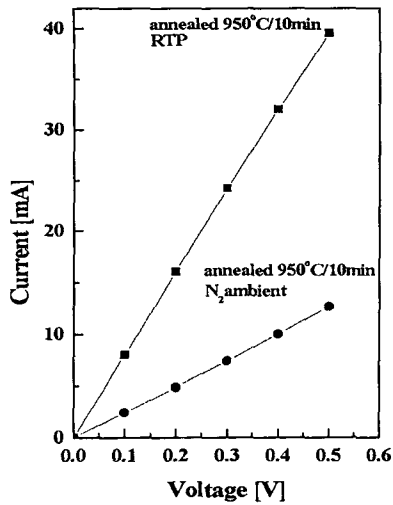


그림 3. 열처리 후 Ni/Si/Ni n형 4H-SiC에 관한 I-V 특성 곡선

Fig. 3. Ni/Si/Ni n-type 4H-SiC after annealing at 950°C for 10 min.

그림 4는 열처리를 하지 않은 Ni/Si/Ni 시편과 Ni 금속만 증착한 시편의 I-V 특성 곡선을 나타내고 있다.

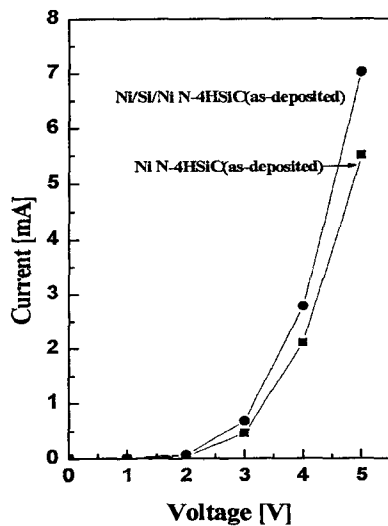


그림 4. 열처리 전 Ni/Si/Ni n형 4H-SiC에 관한 I-V 특성 곡선

Fig. 4. Ni/Si/Ni n-type 4H-SiC as-deposited

그림 5는 950°C에서 10분 동안 열처리한 시편을 XRD 분석을 이용하여 Ni silicide가 형성되었음을 확인하였다.

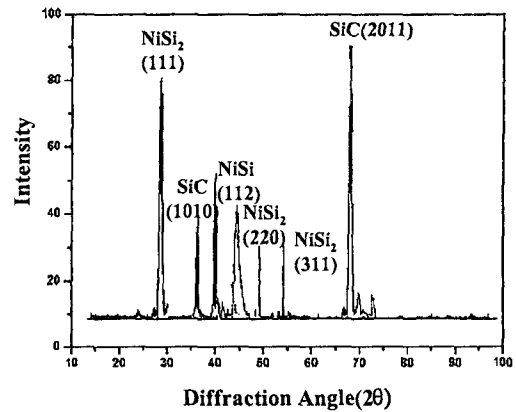


그림 5. Ni/Si/Ni n형 4H-SiC에 관한 XRD 분석

Fig. 5. The XRD pattern for the sample of Ni/Si/Ni n-type 4H-SiC structure annealed at 950°C for 10 min.

그리고 이미 Ni이 상호 확산되어 금속 영역 전체에 고르게 확산된 것을 그림 6의 AES 분석을 통해서 알 수 있다.

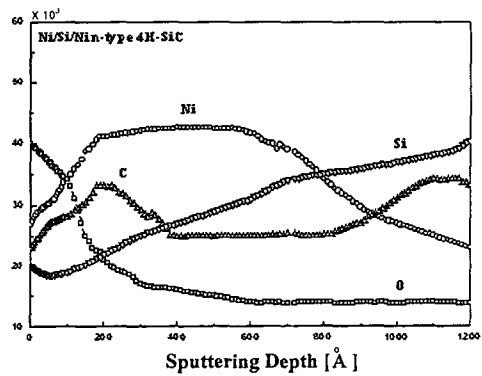


그림 6. Ni/Si/Ni n형 4H-SiC에 관한 AES 분석

Fig. 6. Auger Depth profile for Ni/Si/Ni 4H-SiC annealed at 950°C

그림 7은 패드 사이의 저항 값을 지정하여 접촉 저항과 transfer length(L_T)를 통해서 접촉 비저항 ρ_c 를 구할 수 있다.

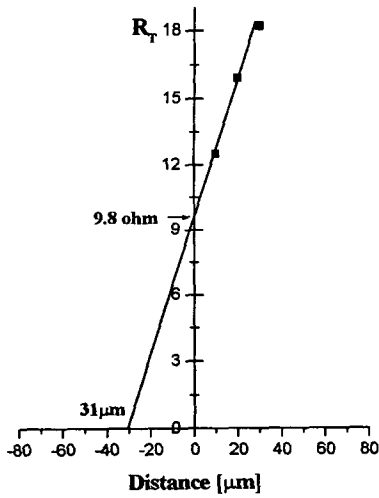


그림 7. 패드 사이의 저항 측정으로 접촉 저항과 transfer length(L_T) 측정

Fig. 7. Plot of total contact resistance as a function of l to obtain transfer length and contact resistance values

4. 결론

본 연구에서는 Ni/Si/Ni n형 4H-SiC 다층간의 접합 계면의 미세 구조와 XRD, AES 분석을 이용하여 접합 특성과 열처리 조건에 따른 저항 변화를 확인하였다. 진공 상태에서의 열처리 시편의 경우 $\rho_c=3.8 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$, $R_c=4.9 \Omega$, $R_T=9.8 \Omega$, $L_T=15.5 \mu\text{m}$ 이며, 질소 분위기에서의 열처리 시편은 $\rho_c=2.29 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}^2$, $R_c=12.9 \Omega$, $R_T=25.8 \Omega$ 의 결과 값을 얻을 수 있었다.

감사의 글

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

참고 문헌

- [1] M. G. Rastegaeva, A. N. Andreev and V. V. Zelenin, "Nickel-based metallization in processes of the 6H-SiC device fabrication: ohmic contacts, masking and packaging", Inst. Phys. Conf. Ser., No. 142: Chapter 3, 1996
- [2] H. H. Berger, "Models for contacts to planar devices", Solid-State Electronics, Vol. 15, pp. 145-158, 1972

[3] 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

[4] 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. 66(6), 6 Feb. 1995

[5] N. A. Papanicolaou, A. Edwards, M. V. Rao and W. T. Anderson, "Si/Pt ohmic contacts to p-type 4H-SiC", Appl. Phys. Lett. Vol. 73, No. 14, 5 Oct. 1998