

# 낮은 접촉저항을 갖는 Ni/Si/Ni n형 4H-SiC의 오음성 접합

論 文  
53C-10-1

## Low Resistivity Ohmic Ni/Si/Ni Contacts to N-Type 4H-SiC

金昌教<sup>†</sup> · 梁性俊<sup>\*</sup> · 趙南仁<sup>\*\*</sup> · 俞弘鎭<sup>\*\*\*</sup>  
(C. K. Kim · S. J. Yang · N. I. Cho · H. J. Yoo)

**Abstract** - Characteristics of ohmic Ni/Si/Ni contacts to n-type 4H-SiC are investigated systematically. The ohmic contacts were formed by annealing Ni/Si/Ni sputtered sequentially. The annealings were performed at 950°C using RTP in vacuum ambient and N<sub>2</sub> ambient, respectively. 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. While the resulting measurement values of sample annealed at vacuum ambient were  $\rho_c = 3.8 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$ ,  $R_c = 4.9 \Omega$  and  $R_T = 9.8 \Omega$ , those of sample annealed at N<sub>2</sub> ambient 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 XRD and AES. The results showed that nickel silicide was formed on SiC and Ni was migrated into SiC. This result indicates that Ni/Si/Ni ohmic contact would be useful in high performance electronic devices.

**Key Words** : Ni/Si/Ni 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, 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 소자에서 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 필요하다. 이에 낮은 접촉저항을 확보하기 위한 여러 금속을 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다. Schmid 그룹은 Ti를 사용하여 1150°C의 열처리를 하여  $7 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}^2$ 의 낮은 비저항 값을 보고하고 있으며, Papanicolaou 그룹은 Pt를 사용하여 1100°C의 열처리를 하여  $7 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}^2$ 을, Oper 그룹은 CrB<sub>2</sub>를 사용하여 1200°C의 열처리로  $1.96 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$ 의 낮은 비저항 값을 보고하고 있다[1-3].

이외에도 여러 금속을 이용한 다수의 연구결과가 보고되고 있으며 진행 중에 있다[4,5]. 본 연구에서는 다른 금속에 비해 낮은 열처리 온도를 확보할 수 있는 Ni를 사용하여 2단계 열처리를 수행하였으며, 12~15 $\mu\Omega$ 의 낮은 비저항 값을 갖는 NiSi<sub>2</sub> 실리사이드의 형성을 위해 Ni/Si/Ni 샌드위치 구조로 금속을 SiC상에 증착한 후에 열처리하여 형성된 Ni 실리사이드와 n형 4H-SiC의 오음성 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°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 TCE용액에서 3분, 아세톤에서 3분, 메탄올에서 3분 동안 세척하였으며, 최종 실리콘 카바이드 표면에 형성된 이온성 잔류 불순물과 자연 산화막 제거를 위해 NH<sub>4</sub>OH : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> : H<sub>2</sub>O = 1:1:5, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> = 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 Ni(400Å), Si(200Å), Ni(400Å)를 증착 하였다. 다층으로 증착된 Ni/Si/Ni를 lift off 방식을 이용하여 표면 위에 증착된 패드 외의 불필요한 곳의 금속층을 제거하였다. 그리고 낮은 접촉저항을 갖기 위하여 금속 열처리 장비 RTP(rapid thermal process)를 사용하여 열처리하였다[6-8].

<sup>†</sup> 교신저자, 正會員 : 順天鄉大學校 情報技術工學部 教授 · 工博  
E-mail : cckim1@sch.ac.kr

<sup>\*</sup> 正會員 : 忠南戰略産業企劃團 企劃 · 評價室 研究員

<sup>\*\*</sup> 正會員 : 鮮文大學校 電子工學科 教授 · 工博

<sup>\*\*\*</sup> 正會員 : 順天鄉大學校 新素材化學工學部 教授 · 工博

接受日字 : 2004年 3月 27日

最終完了 : 2004年 8月 27日

그림 1은 시편의 유기물 세척 방법과 제조 공정 순서를 나타내고 있으며, 그림 2는 오염성 접합을 위한 질소 분위기에서 2단계로 열처리하는 시스템 개략도이며 온도정확도는 ±5도 이내이다. 이 장치를 이용하여 첫 번째 단계에서의 열처리는 500°C에서 30분 동안 하였으며, 두 번째 단계의 열처리는 950°C에서 10분 동안 실시하였다. 그림 3은 n형 4H-SiC 표면 위에 Ni/Si/Ni를 다층으로 증착한 열 개의 TLM 패턴을 나타내고 있다[7-9]. 단자의 크기는 50×50 μm<sup>2</sup>이며, 단자 사이의 거리는 10 μm~90 μm로 하였다. Ni/Si/Ni의 다층 두께는 1000Å으로 제작하였다.

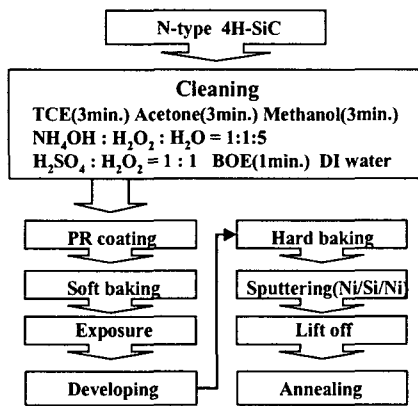


그림 1. 시편 제조에 관한 공정 순서도.  
Fig. 1. Flow chart for device fabrication processes.

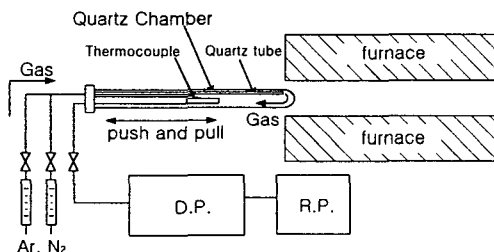


그림 2. 2단계 열처리시스템 개략도.  
Fig. 2. Schematic diagram of furnace with two steps annealing system.

2.2 접촉저항 측정

다 단자를 갖는 시편에서 접촉 저항을 측정하기 위하여 도체 변수분석기(HP 4155)와 프로브스테이션(probe station)을 사용하였다. 다 단자를 갖는 접촉 저항 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].

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

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

이 되고 이들 두 식을 연합해서 풀면 다음과 같은 접촉 저항

$R_c$ 를 얻을 수 있다. 위 식에서  $R_1$ 은 첫 번째 패드와의 저항 측정치,  $R_2$ 은 두 번째 패드와의 저항 측정치,  $l_1$ 은 패드 간 거리,  $w$ 는 패드의 폭을 나타낸다.

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

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

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

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

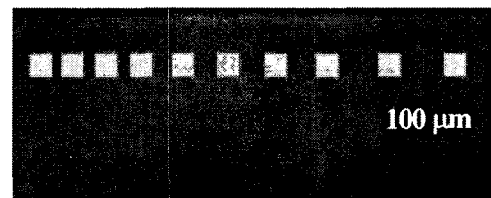


그림 3. 테스트 패턴 사이의 간격이 다른 n형 4H-SiC상에 증착된 10개의 Ni/Si/Ni 테스트 구조.  
Fig. 3. Ten test pad patterns of Ni/Si/Ni deposited on n-type 4H-SiC with different spacing between each test pads.

3. 결과 및 고찰

그림 4는 열처리를 하지 않은 Ni/Si/Ni 시편과 Ni 금속만 증착한 시편의 I-V 특성 곡선을 나타내고 있다. 그림 4는 오염성 접합 특성보다는 쇼트키 특성에 가까운 결과를 보여주고 있다.

그림 5은 RTP를 이용하여 각각의 온도에서 열처리한 시편의 I-V 특성을 나타내고 있다. 그림에서 온도는 두 번째 단계의 열처리 온도를 나타내고 있다. n형 4H-SiC에 Ni/Si/Ni를 증착한 후에 RTP에서 3.4×10<sup>-5</sup> Torr의 진공과 질소분위기에서 950°C에서 10분 동안 열처리한 시편의 I-V 특성을 조사하였다. 진공상태에서 열처리한 시편의 전류 값이 질소 분위기에서 열처리한 시편보다 높은 값을 얻었으며, 오염성 접합에 대해서 뛰어난 특성을 보여주고 있다. 그리고 열처리 온도를 1000°C로 변화시켜 I-V 특성을 관찰하였으나 전체적으로 950°C에서의 전류량보다 현저하게 적게 흘렀다. 그리고 열처리 온도가 1000°C로 증가 할 수록 오염성 형성의 시간은 점차적으로 짧아지는 경향을 보였으며, 특히 온도가 850°C에서 950°C로 증가 할수록 전류량은 증가하나 950°C에서 1000°C로 증가하면 오히려 전류량이 감소하는 현상을 보였다.

그림 6, 7은 n형 4H-SiC 표면 위에 Ni/Si/Ni를 순차적으로 sputtering한 후에 각각 950°C, 1000°C에서 10분 동안 열처리한 시편을 XRD 장비를 이용하여 분석한 결과이다. 950°C에서 열처리한 시편의 경우 중간 실리콘 층은 적절한 열처리를

통해 낮은 접촉저항의 요인인 NiSi<sub>2</sub> 실리사이드가 형성되었음을 확인할 수 있었으나, 1000°C에서 열처리한 시편의 경우 950°C에서는 나타나지 않았던 Ni 산화물이 형성되었음을 확인할 수 있는데 이는 고온 열처리 과정에서 형성된 결과로서 직접적인 저항 증가의 원인으로 기존의 연구 결과와도 일치하고 있다[10]. 즉, 950°C 이상에서 열처리하는 경우 금속박막의 산화가 우려된다.

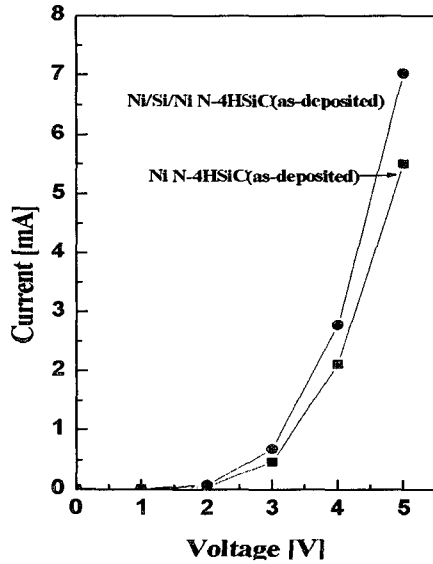


그림 4. 열처리 전 Ni/Si/Ni n형 4H-SiC에 관한 I-V 특성 곡선.  
Fig. 4. Ni/Si/Ni n-type 4H-SiC as-deposited.

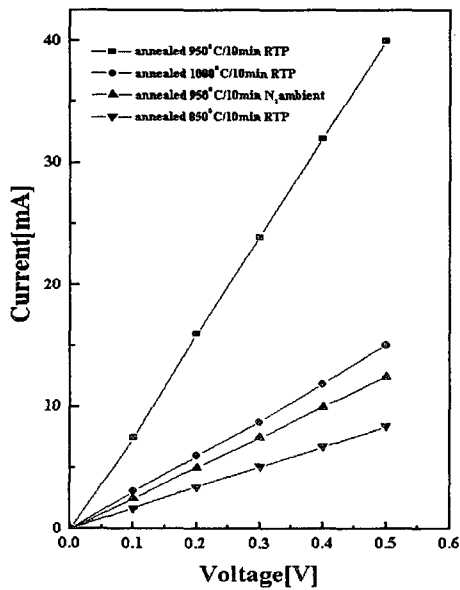


그림 5. 다양한 열처리 조건에서 열처리 후 Ni/Si/Ni n형 4H-SiC에 관한 I-V 특성 곡선.  
Fig. 5. I-V characteristics of Ni/Si/Ni n-type 4H-SiC with various annealing conditions.

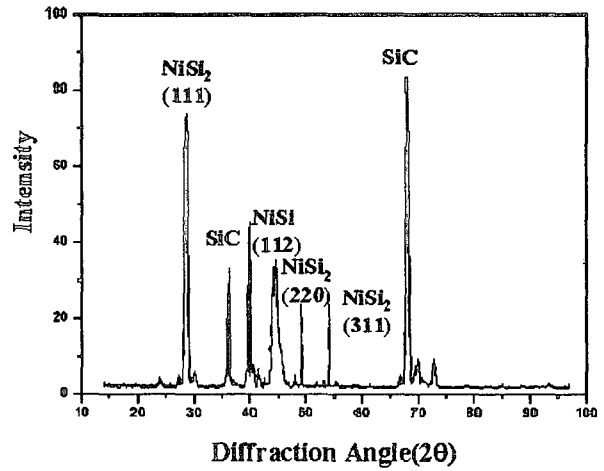


그림 6. Ni/Si/Ni n형 4H-SiC에 관한 XRD 분석.  
Fig. 6. The XRD pattern for the sample of Ni/Si/Ni n-type 4H-SiC structure annealed at 950°C for 10 min.

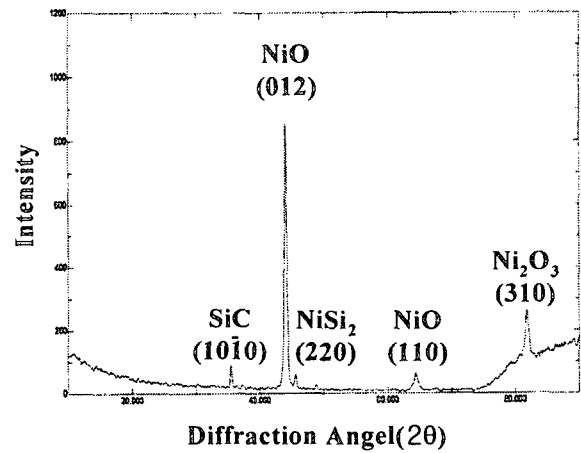


그림 7. Ni/Si/Ni n형 4H-SiC에 관한 XRD 분석.  
Fig. 7. The XRD pattern for the sample of Ni/Si/Ni n-type 4H-SiC structure annealed at 1000°C for 10 min.

그림 8의 Auger depth profile 분석을 보면, 이미 Ni이 상호 확산되어 금속 영역 전체에 고르게 분포하고 있으며, 탄소, 산소 원자 또한 표면에 존재함을 알 수 있다. 그러나 산소 원자가 표면에 분포한다는 것은 전류의 흐름을 적게하는 직접적인 원인이라 판단된다. 그림 9에서는 위 식 1~3을 이용하여 패드 사이의 저항 값을 지정하고 접촉 저항과 전달길이 (transfer length:  $L_T$ )를 통해서 접촉 비저항  $\rho_c$ 를 구할 수 있었다. 표 1은 금속 열처리 장비 RTP를 사용하여 950°C에서 10분동안 열처리한 시편과 질소 분위기에서 2단계로 열처리한 시편의 접촉저항과 접촉 비저항  $\rho_c$ 값이다. 질소분위기보다 RTP 방식으로 열처리하는 것이 더 유용함을 알 수 있었다.

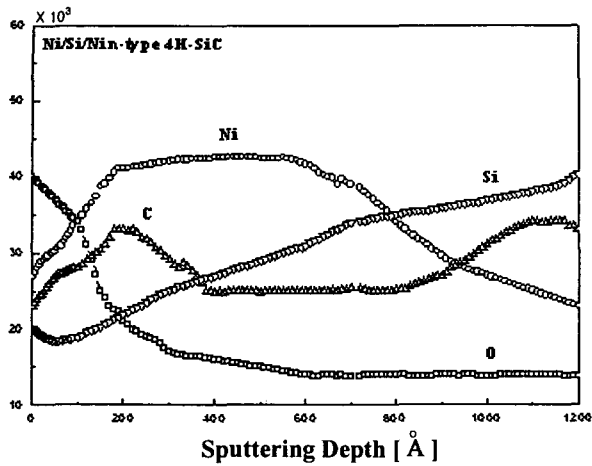


그림 8. Ni/Si/Ni n형 4H-SiC에 관한 AES 분석.  
 Fig. 8. Auger Depth profile for Ni/Si/Ni contact on 4H-SiC annealed at 950°C.

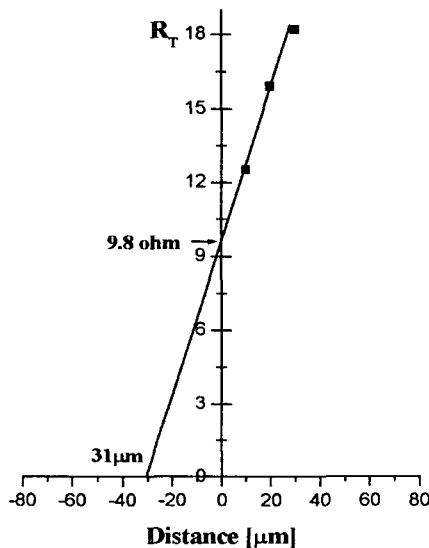


그림 9. 패드 사이의 저항 측정으로 접촉 저항과 전달길이 (LT) 측정.  
 Fig. 9. Plot of total contact resistance as a function of  $l$  to obtain transfer length and contact resistance values.

표 1. 열처리 분위기에 따른 접촉저항과 접촉 비저항  $\rho_c$  값.  
 Table 1. Results of specific contact resistivity and contact resistance along with annealing ambient.

	annealing at 950°C/10min. (RTP)	annealing at 950°C/10min. (N <sub>2</sub> ambient)
$\rho_c$	$3.8 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$	$2.29 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}^2$
$R_c$	4.9 $\Omega$	12.9 $\Omega$

#### 4. 결 론

본 연구에서는 기판 위에 형성된 Ni/Si/Ni n형 4H-SiC 다층간의 접합 계면의 미세 구조와 XRD, AES 분석을 이용하여 접합 특성과 열처리 조건에 따른 저항 변화를 확인하였다. 진공 상태에서 열처리한 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. SEM 분석 결과 950°C에서 열처리하였을 때 Ni/Si/Ni 금속층이 SiC 표면 위에 고르게 분포되어 오음성 접합 특성을 향상시키는 결과를 얻었다. 또한 AES 분석 결과 Ni/Si/Ni 구조에서 열처리 결과 Ni 실리사이드가 형성되어 접촉 저항이 감소하였음을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술부에 의해서 지원되는 충남 디스플레이 R&D 클러스터 구축사업에 의해 수행되었음을 감사드립니다

#### 참 고 문 헌

- [1] U. Schmid, R. Getto, S. T. Sheppard, "Temperature behavior of specific contact resistance and resistivity on nitrogen implanted 6H-SiC with titanium silicide ohmic contacts," *Journal of Applied Physics*, Vol. 85, No. 5, pp. 2681-2686, 1999.
- [2] N. A. Papamicolaou, A. Edwards, M. V. Rao, "Si/Pt ohmic contacts to p-type 4H-SiC," *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 73, No. 14, pp. 2009-2011, 1998.
- [3] 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, pp. 324-329, 1998.
- [4] R. Konishi, R. Yashkochi, O. Nakatsuka, Y. Koide, M. Moriyama and M. Murakami, "Development of Ni/Al and Ni/Ti/Al ohmic contact materials for p-type 4H-SiC," *Materials Science and Engineering B*, Vol. 98, pp. 286-293, 2003.
- [5] T. Nakamura and M. Satoh, "Schottky barrier height of a new ohmic NiSi<sub>2</sub> to n-type 6H-SiC," *Solid-State Electronics*, Vol. 46, pp. 2063-2067, 2002.
- [6] 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.
- [7] H. H. Berger, "Models for contacts to planar devices", *Solid-State Electronics*, Vol. 15, pp. 145-158, 1972.
- [8] 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.

- [9] 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 $\alpha$ -SiC", Appl. Phys. Lett. 66(6), 6 pp. 760-762 Feb. 1995.
- [10] 금병훈, 강수창, 도석주, "열처리효과에 따르는 Ni/SiC 계면의 전기적 특성", 한국전기전자재료학회 춘계학술대회논문집, PB-9, pp. 493-496, 1999.

저 자 소 개



**김창교 (金昌敎)**

1981년 연세대학교 전기공학과 졸업(공학사), 1983년 연세대학교 대학원 졸업(공학석사), 1992년 밴더빌트 대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 1999년-2002년 순천향대학교 TIC 소장, 1993년-현재 순천향대학교 정보기술공학 부 교수.



**조남인 (趙南仁)**

1974년 서강대학교 전자공학과 졸업(공학사), 1985년 텍사스대학교 대학원 졸업(공학석사), 1988년 동 대학원 졸업(공학박사), 1974-1981 국방과학연구소 연구원, 1989-1991 한국전자통신연구원 선임연구원, 1992-현재 선문대학교 전자공학과 교수.



**양성준 (梁誠埈)**

2001년 순천향대학교 전기공학과 졸업 (공학사), 2003년 동 대학원 전기전자공학과 졸업 (공학석사) 2002년 10월~2003년 11월 전자부품연구원 위촉연구원. 2003년 11월~현재 충남전략산업기획단 기획·평가실 연구원.



**유홍진 (兪弘鎭)**

1993년 오클라호마 주립대 화학공학과 박사, 졸업(공학박사), 2002~현재 순천향대학교 신가공 기술 신가공기술혁신센터(TIC) 소장, 2003~현재 충남지역 TIC 협의회장, 1993년-현재 순천향대학교 신소재화학공학부 교수.