

탄화규소 반도체의 오염성 금속접촉 (Ohmic Metal Contact on Silicon Carbide Semiconductor)

조남인

선문대학교 전자정보통신공학부

Abstract

탄화규소 반도체에 대한 오염성 금속 접촉 성질을 조사하기 위해 3종류의 금속 (Ni, Co, Cu) 을 세척한 탄화규소 반도체 위에 직접 증착하여 전기적 성질을 조사 비교하였다. 이들 금속에 대한 오염성 성질은 금속종류 뿐만 아니라 열처리조건에 대해서도 크게 좌우됨을 알 수 있었다. 열처리 는 금속열처리 장치를 이용한 진공상태 및 환원 분위기에서 2-step 방법으로 시행하였다. 접합비 저항은 TLM 구조를 만들었으며 면저항(R_s), 접촉저항(R_c), 이동거리(L_T), 패드간거리(d), 저항(R_T) 값을 구하면 접합비저항(ρ_c) 값을 구하여 알려진 계산식에 의해 추정하였다. 가장 양호한 결과는 Cu 금속에 의한 접촉 결과이었으며 접합비저항(ρ_c)은 $1.2 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}^2$ 의 낮은 값을 얻을 수 있었다. 열처리는 진공보다 환원분위기에서 수행한 시편이 양호한 전기적 성질을 가짐을 알 수 있었다.

1. Introduction

탄화규소 (SiC) 반도체는 자연에는 존재하지 않으나, 인공적으로 합성이 가능한 재료이기 때문에 그 이용 가능성이 밝으며 고유의 고온, 고전력 특성을 이용하면 기능성 마이크로전자에 응용할 수 있는 특징이 있다[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 접합 은 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 있는데 지금까지 알려진 실험 결과는 Co를 사용하여 900°C 의 열처리를 하여 $1 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}^2$ 의 낮은 비저항 값을 보고하고 있으며, Ni을 사용하여 각각 1200°C , 1000°C 의 열처리를 하여 $2.1 \times 10^{-4} \Omega \text{cm}^2$, $6 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$ 이 얻어졌고, CrB_2 를 사용하여는 1100°C 의 열처리로 $9.65 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$ 의 낮은 비저항 값을 보고하고 있다[2-5]. 이처럼 금속 종류와 열처리 조건에 따라 오염성 접촉 성질이 변한다는 것이 분명하다. 본 실험에서는 Ni, Co, Cu의 3 종류의 금속에 대한 n형 SiC 반도체의 오염성 금속 접촉 성질을 알아 보고자 한다.

2. Experimental

실험에 사용한 SiC는 단결정으로 성장된 n형 반도체로서 도핑농도 $1.1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 인 n형 4H-SiC 웨이퍼이다. SiC 웨이퍼는 먼저 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 실시하였다 다음으로는 금속을 스퍼터링 기술로서 박막형태로 증착하였다. 증착된 금속을 lift off 방식을 이용하여 표면 위에 증착된 패드 외의 불필요한 부분의 금속층을 제거하였다. 낮은 접촉 저항을 갖기 위하여 급속

열처리 장비를 사용하여 800℃에서 열처리하였다[6-8]. 열처리는 진공분위기와 환원분위기 2 가지를 시도하였으며 두 단계로 나누어 열처리를 실시하였다. 첫 번째 단계에서의 열처리는 550℃에서 10분 동안 하였으며, 두 번째 단계의 열처리는 800℃에서 1분 동안 실시하였다. 그림 1은 n형 4H-SiC 표면 위에 금속을 증착한 TLM 패턴을 도식화한 것이다. TLM 패턴에서 단자의 크기는 $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ 이며, 단자 사이의 거리는 $10 \mu\text{m} \sim 90 \mu\text{m}$ 로 하였다. 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 1에 구성된 여러 단자 구조에서 접촉저항 및 전체저항은 다음과 같은 관계식에 의해 구할 수 있다[9,10].

$$R_1 = R_s \left(\frac{l_1}{w} \right) + 2R_c \quad R_2 = R_s \left(\frac{l_2}{w} \right) + 2R_c \quad (1)$$

이들 두 식을 풀면 다음과 같은 접촉저항 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 접합단자간의 전체저항 R_T 는 다음과 같다.

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

전체저항 R_T 와 접합단자간 거리 l 에 대해서 접촉저항 R_c 를 구할 수 있다. 그림 1에서 w 는 패드 넓이를 나타내고 있다.

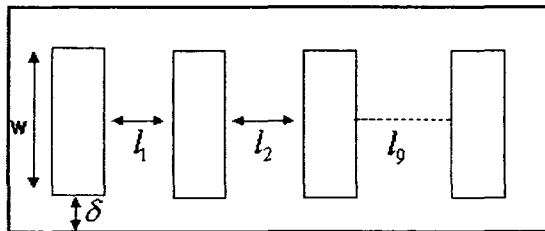


그림 1. 도식화한 TLM 패턴

3. Results and Discussion

스퍼터링에 의해 금속 증착이 완료된 시편은 열처리를 거쳐 전기적 성질을 측정하였다. 그림 2는 구리금속이 SiC 반도체 위에 증착된 시편에 대하여 금속열처리 장치를 이용하여 진공상태와 환원 분위기에서 열처리한 뒤에 측정한 전압-전류간 관계 (I-V 특성)을 나타내고 있다. 이 때에 금속과 SiC의 반응에 의하여 Si은 실리사이드형태로 소모되고 나머지 탄소성분이 여분으로 남아 악영향을 미칠 수 있으므로 추가의 실리콘 박막을 증착하므로서 이를 방지하도록 하였다. 그러므로 금속박막의 구조는 Cu/Si/Cu의 다층형태가 증착되었으며 금속박막을 증착한 후에 RTP에서 8.0×10^{-7} Torr의 진공분위기에 550℃에서 10분, 800℃에서 1분 동안 2단계 열처리하였다. 그림 2의 I-V 특성에서 보여 지듯이 진공분위기에서 열처리한 시편의 진공상태에서 높은 전류 값을 얻었으며, 오염성 접합에 대해서 뛰어난 특성을 보여주고 있다. 또한 단일단계로만 열처리한 시편에 비하여 550℃, 800℃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.

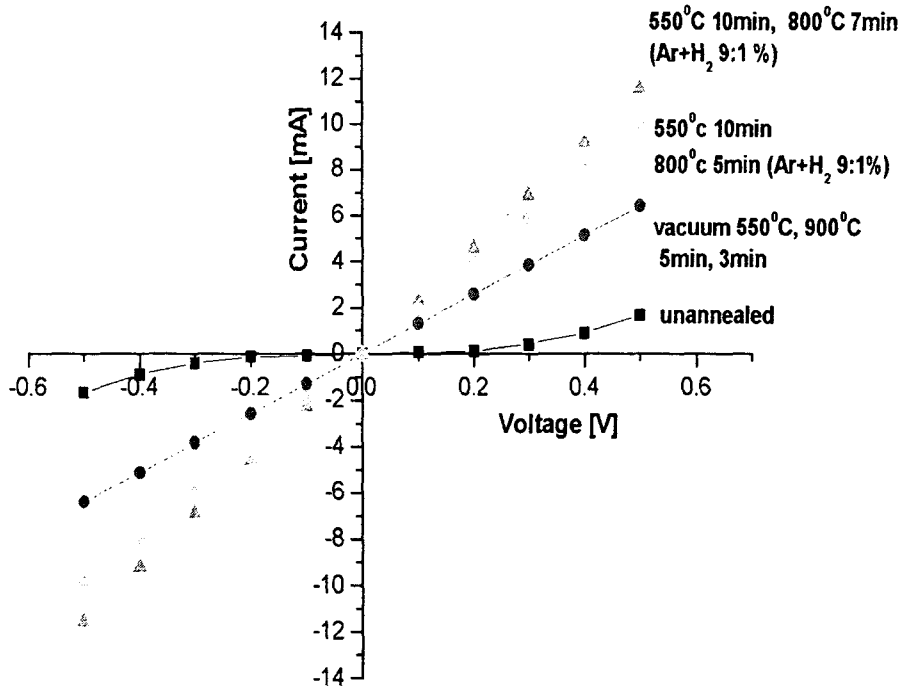


그림 2. 구리박막과 SiC 반도체 접촉에서 열처리 조건에 따른 I-V 특성비교

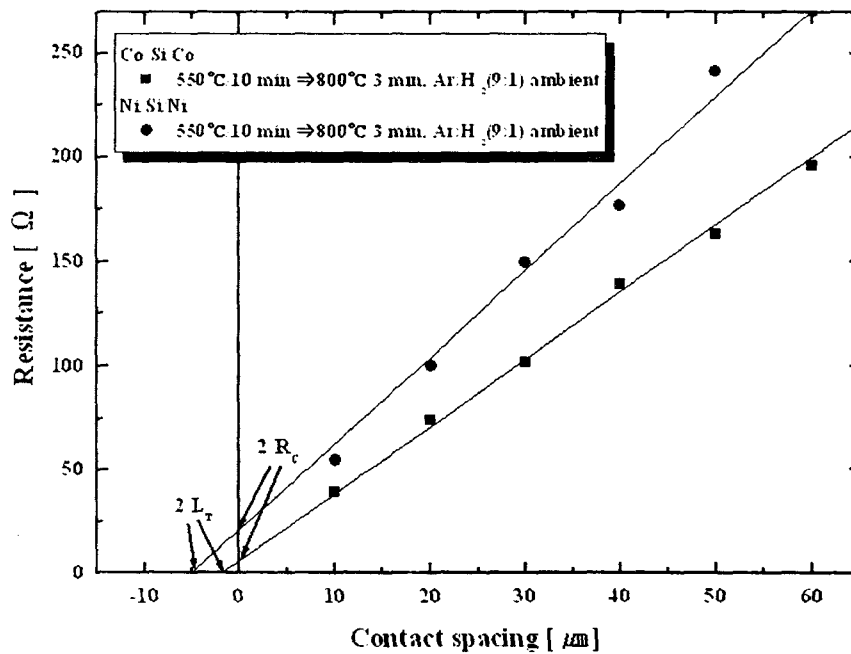


그림 3. Ni 및 Co 박막과 SiC 반도체 접촉에서 전체저항과 접촉간격 간의 관계

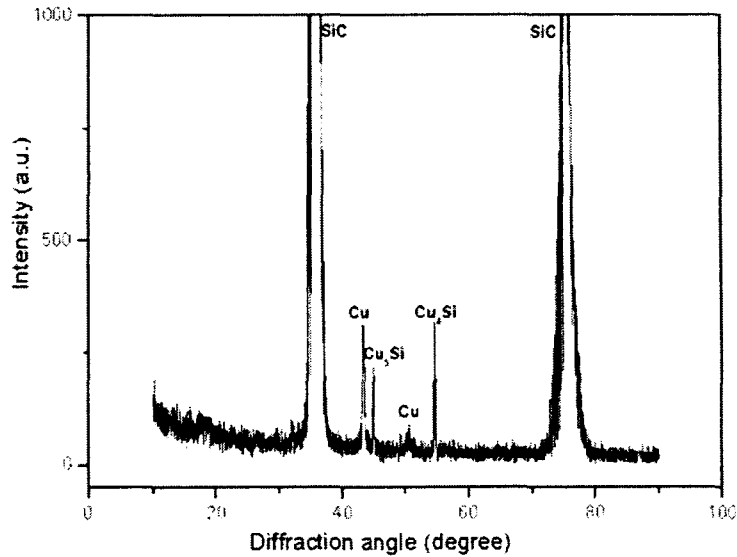


그림 4. 구리박막과 SiC 반도체 접촉의 열처리 후 XRD spectra

또한 환원 분위기에서 열처리하면 이러한 산화요인이 더욱 감소되어 더욱 양호한 전기적 성질이 얻어짐을 알 수 있었다. 그림 3은 같은 방법에 의하여 Co와 Ni에 대해 금속 박막을 증착하고 열처리한 뒤에 전체저항과 접촉간격간의 관계를 도식으로 표시한 것이다. 그림에서 Ni 보다는 Co 접촉이 좀더 양호한 전기적 성질을 나타냄을 알 수 있다. Ni과 Co는 구리박막 접촉에 비해 접촉 비저항은 약간 높은 결과를 보여주고 있는데, 구리 접촉에서는 2단계로 열처리하면 550°C의 저온 열처리 과정을 통해 Si과 Cu가 혼합되고 800°C의 열처리 시 Cu 실리사이드 형성이 용이해 짐을 추측할 수 있다. 구리박막에 대해 환원분위기에서 2 단계 열처리한 시편은 측정 결과 가장 양호한 성질을 보여주었으며, $1.0 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}^2$ 의 낮은 접촉 비저항 값을 나타내었다. 그림 4는 가장 양호한 전기적 성질을 가진 시편에 대해 X선 회절 (XRD; X-ray Diffraction) 분석한 결과이다. 진공분위기에서 열처리한 시편의 경우 낮은 접촉저항의 요인인 CuSi_3 라는 실리사이드가 형성되어 접촉저항이 낮아진 것으로 분석되었다.

4. Conclusions

n형 탄화규소 반도체에 대한 오염성 금속 접촉 성질을 조사하기 위해 3 종류의 금속을 세척한 탄화규소 반도체 위에 직접 증착하여 전기적 성질을 조사 비교하였다. 이들 금속에 대한 오염성 성질은 금속종류 뿐만 아니라 열처리조건에 대해서도 크게 좌우됨을 알 수 있었다. 열처리는 금속 열처리 장치를 이용한 진공상태 및 환원 분위기에서 2 단계 열처리 방법으로 수행하였다. 가장 양호한 결과는 Cu 금속에 의한 접촉 결과이었으며 접합비저항(ρ_c)은 $1.2 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}^2$ 의 낮은 값을 얻을 수 있었다. 실험에서는 SiC 기판 위에 형성된 금속접촉 접합 계면의 XRD 분석을 이용하여 접합 특성과 열처리 조건에 따른 저항 변화도 확인하였다. XRD 결과에서 550도와 800도에서 2단계 금속 열처리한 시편은 CuSi_3 라는 실리사이드가 형성되어 접촉저항이 낮아진 것으로 분석되며, 환원 분위기에서 열처리한 시편은 박막의 산화를 억제하여 더 좋은 전기적 성질이 측정되었다.

References

- [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] T. 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] 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 Pphysics*, 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 SiO₂ 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.
- [11] Kruaval, "Thermally stable low specific resistance($1.30 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$) TiC ohmic contacts to n-type 6H-SiC", *Appl. Phys. Lett.* Vol. 66, No. 6, 1995.