

Co/Si/Ti P형 4H-SiC 오염성 접합에서 낮은 접촉 저항에 관한 연구

양성준^{*}, 이주현^{*}, 노일호^{*}, 김창교^{*}, 조남인^{**}, 정경화^{**}, 김은동^{***}, 김남균^{***}

^{*}순천향대학교 정보기술공학부, ^{**}선문대학교 전자공학과, ^{***}한국전기연구소

Low Resistivity Ohmic Co/Si/Ti Contacts to P-type 4H-SiC

S. J. Yang^{*}, J. H. Lee^{*}, I. H. Nho^{*}, C. K. Kim^{*}, N. I. Cho^{**}, K. H. Jung^{**}, E. D. Kim^{***}, N. K. Kim^{***}

^{*}Division of Information Technology Engineering, Soonchunhyang University

^{**}Electronic Engineering, Sun Moon University

^{***}Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - In this letter, we report on the investigation of Si/Ti, Pt/Si/Ti, Co/Si/Ti Ohmic contacts to p-type 4H-SiC. The contacts were formed by a 2-step vacuum annealing at 550°C for 5 min, 850°C for 2 min respectively. The contact resistances were measured using the transmission line model method, which resulted in specific $10^{-4} \Omega \text{cm}^2$, and the physical properties of the contact resistivities in the 9.2×10^{-4} , 7.1×10^{-4} and 4.5×10^{-4} were examined using microscopy, AES (auger electron spectroscopy). AES analysis has shown that, at this anneal temperature, there was a intermixing of the Ti and Si, migration of into SiC. Overlayer of Pt, Co had the effect of decreasing the specific contact resistivity and improving the surface morphology of the annealed contact.

1. 서론

현재 반도체 기술의 초고속화, 초고집적화, 고효율화 추세에 따라 Si는 이미 물리적인 특성의 한계를 드러내고 있는 현실이다. 이에 따라 이를 보완할 새로운 반도체 재료로서 우수한 화학적 안정성과 광역에너지 금지대역을 갖고 있는 SiC에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. SiC의 우수한 전기적, 열적 특성의 이유로 고전압, 고출력 및 고주파 응용분야에 적합한 차세대 전력소자로 각광을 받고 있어 앞으로 고속 전철 및 전기 자동차의 전력제어에 광범위하게 응용됨으로써 시스템의 크기와 전력손실을 획기적으로 줄일 수 있을 것으로 예상되고 있다[1]. 이러한 소자 연구의 기초기반 공정보로서 오염성 접합에 관한 연구는 SiC의 polytypedp 따라 여러 방법으로 진행되고 있다. p형 4H-SiC에 관한 최근 연구 결과를 보면, $1.3 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 의 분순물 농도를 갖는 에피층 위에 TiC를 이용하여 오염성 접합을 형성하고 950°C에서 열처리 하여 낮은 접촉 저항 값을 얻었다 [2-4]. 그러므로 본 연구에서는 p형 4H-SiC 표면 위에 950°C이하의 저온 열처리 공정 수행이 가능한 Co를 사용하여 Co/Si/Ti 구조를 갖는 오염성 접합 소자를 제작하여 전기적 특성과 증착 표면 상태, 그리고 재료의 특성을 조사하였다.

2. 본론

2.1 시편의 제조

본 실험에서 사용한 시편은 비저항 0.053, 결정 방향은 8°의 n-type 웨이퍼 위에 도핑 농도 3.9×10^{18} 의 p형 에피층을 0.5 μm 성장시킨 4H-SiC 웨이퍼를 사용

하였다. 먼저 시편의 제작과 특성 평가를 용이하게 하기 위해서 웨이퍼를 $100 \times 1000 \mu\text{m}^2$ 의 크기로 잘라낸 후 유기물을 제거하기 위하여 초음파 세척기를 이용하여 순차적으로 TCE(Trichloroethylene)에서 3분, acetone에서 3분, methyl alcohol에서 3분, DI water에서 3분 세척하였다.

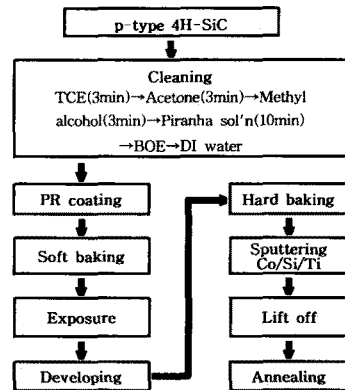


그림 1. 시편 제조 공정도

Fig. 1. Flow chart for device fabrication sequence

최종 Si 표면에 형성된 잔류막을 제거하기 위하여 Piranha sol'n cleaning ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 = 4:1$)에 10분 동안 세정하고 자연 산화막을 제거하기 위해 BOE에 5분간 세정 하였다. 이렇게 세정 공정을 마친 후, 사진 공정과 노광 공정을 하고, DC/RF sputter를 이용하여 Ti(400Å), Si(200Å), Co(600Å)를 증착 하였다. 다 층으로 증착된 Co/Si/Ti를 lift off 시키고 낮은 접촉저항을 갖기 위하여 RTP(rapid thermal process)를 사용하여 3.4×10^{-5} Torr의 진공에서 550°C, 850°C에서 각각 5분, 2분의 2-step의 열처리 과정을 수행하였다.

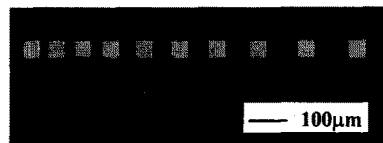


그림 2. 열 개 단자의 구조로 제작된 소자

Fig. 2. A Ten-terminal contact resistance test structure

그림 1은 시편의 제조 공정을 보여주며, 그림 2는 TLM법으로 접촉 저항을 측정하기 위하여 제작된 시편으로써 단자의 크기는 $50 \times 50 \mu\text{m}$ 이며 단자 사이의 거리는 $10 \mu\text{m}$ 씩 증가시켜 하였다[5]. Co/Si/Ti의 다층의 두께는 1200 \AA 으로 제작하였다.

2.2 접촉 저항 측정

그림 2의 구조로 제작된 시편에서 접촉 저항을 측정하기 위하여 probe station을 사용하였다. 10개의 단자 구조에서 접촉저항을 구해보면 다음과 같다.

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

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

이 식 (1), (2)을 연립하면 다음과 같은 접촉 저항 R_c 를 얻을 수 있다.

$$R_c = \frac{(l_1 R_2 - l_2 R_1)}{2(l_1 - l_2)} \quad (3)$$

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

$$R_T = R_s \left(\frac{l}{w} \right) + 2R_c \quad (\delta=0 \text{인 경우}) \quad (4)$$

전체 저항 R_T 와 접합 단자간 거리 l 에 대해서 접촉 저항 R_c 를 구할 수 있다.

2.3 결과 및 고찰

그림 3은 550°C , 850°C 에서 각각 5분, 2분의 2-step 열처리한 Co/Si/Ti p형 4H-SiC, Pt/Si/Ti p형 4H-SiC 시편과 Si/Ti만을 증착한 시편의 I-V 특성 곡선이다.

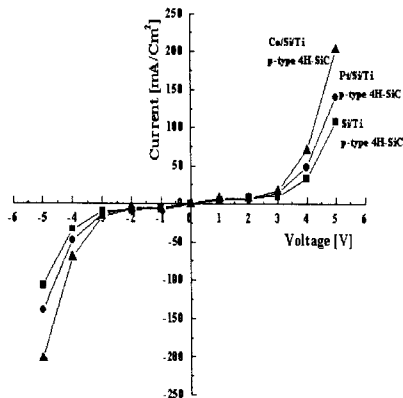
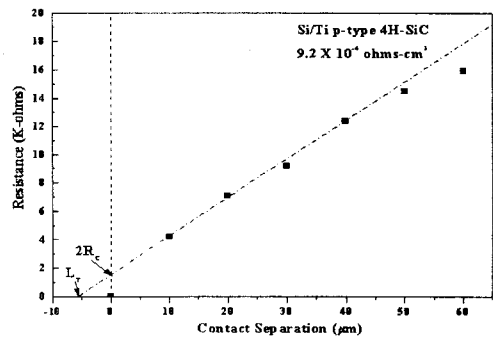


그림 3. Ti, Pt/Si/Ti, Co/Si/Ti/p형 4H-SiC에 관한 특성 곡선

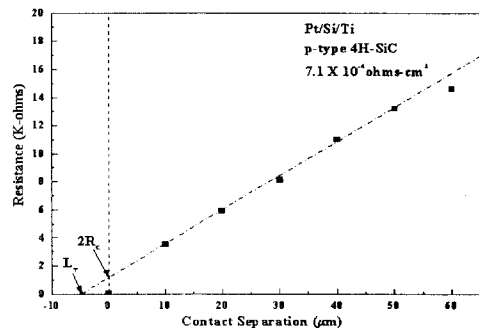
Fig. 3. I-V characteristic of Ti, Pt/Si/Ti, Co/Si/Ti metalization on p-type 4H-SiC, which was 2-step annealed.

그림 3에서 보이는 바와 같이 Si/Ti만을 증착한 시편보다는 Co, Pt의 Capping layer층을 증착시킨 시편이 오음성 접합에 대해서 뛰어난 특성을 보여주고 있음을 알 수 있다. 또한 850°C 의 저온 열처리 공정에서 Pt에 비해 Co가 뛰어난 특성을 보여줌을 알 수 있다. 그림 4은 10개의 단자의 접촉 저항을 측정 후 위의 식으로 계산된 접촉 비저항(ρ_c)을 나타내고 있다. Co/Si/Ti와

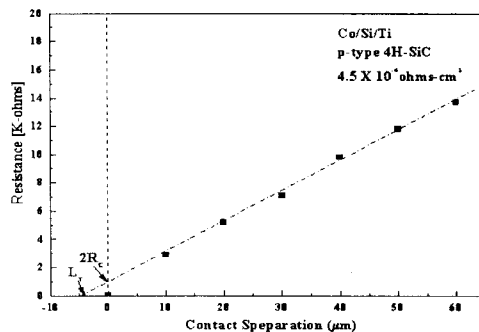
Pt/Si/Ti의 구조가 Si/Ti의 $9.2 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}^2$ 값보다 낮은 값을 가짐이 나타나며, 또한 Co/Si/Ti가 $4.5 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}^2$ 의 값



(a) Si/Ti/p-type 4H-SiC



(b) Pt/Si/Ti/p-type 4H-SiC



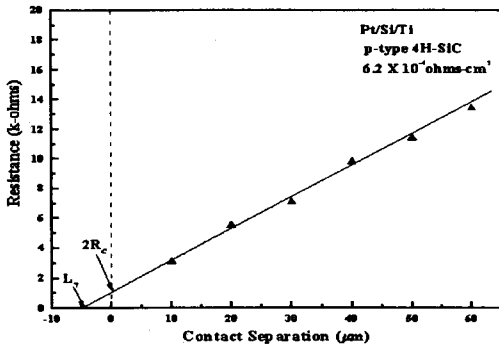
(c) Co/Si/Ti/p-type 4H-SiC

그림 4. 2-step 열처리후(550°C , 850°C) Si/Ti, Pt/Si/Ti, Co/Si/Ti/p형 4H-SiC 시편의 TLM 패턴의 거리에 따른 접촉 저항.

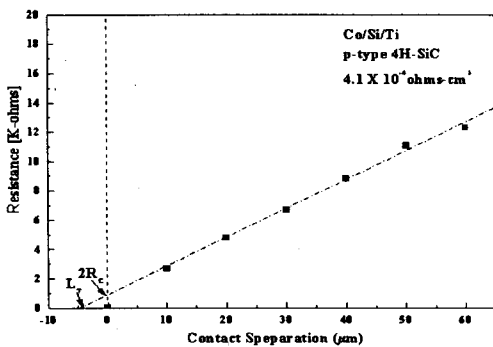
Fig. 4. TLM linear plot of the contact resistance as a function of contact separation for the Si/Ti, Pt/Si/Ti, Co/Si/Ti Ohmic contact on p-type 4H-SiC, which was 2-step annealed(550°C , 850°C).

으로 Pt/Si/Ti의 $7.1 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}^2$ 의 값보다 낮은 값을 가짐을 알 수 있다. 그림 5은 위의 식으로 계산된 950°C 열처리 온도에 따른 Co/Si/Ti와 Pt/Si/Ti의 접촉 비저항(ρ_c)을 나타내고 있다. 그림 4와 5에서 보여지는 바와 같이 850°C 의 온도에서 열처리한 Co/Si/Ti의 구

조가 950°C의 온도에서 열처리한 Pt/Si/Ti의 보다 나은 오음성 접합 특성을 나타냄을 알 수 있다.



(a) Pt/Si/Ti/p-type 4H-SiC

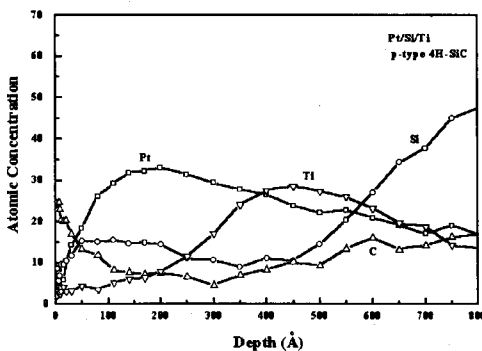


(b) Co/Si/Ti/p-type 4H-SiC

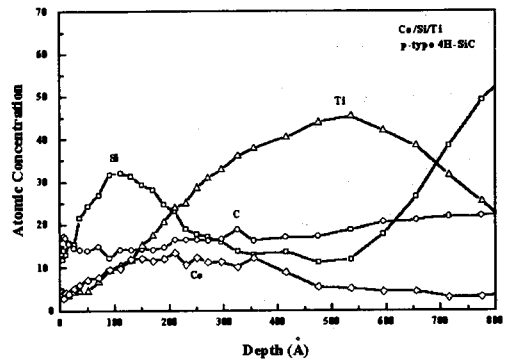
그림 5. 2-step 열처리후(550°C, 950°C) Pt/Si/Ti, Co/Si/Ti/p형 4H-SiC 시편의 TLM 패턴의 거리에 따른 접촉 저항.

Fig. 5. TLM linear plot of the contact resistance as a function of contact separation for the Pt/Si/Ti, Co/Si/Ti Ohmic contact on p-type 4H-SiC, which was 2-step annealed(550°C, 950°C).

그림 6은 Co/Si/Ti와 Pt/Si/Ti 구조의 2-step 열처리 후 계면의 상호반응을 알아보기 위한 AES 분석 결과이다. 깊이에 따른 Co, Pt, Si, Ti의 농도 변화에서 알 수 있듯이 850°C 열처리 수행 시 Pt에 비해 Co가 혼입이 활발히 일어나 SiC로 확산되었음을 알 수 있다.



(a) Pt/Si/Ti



(b) Co/Si/Ti

그림 6. 2단계 열처리 공정 후 AES 분석.
Fig. 6. AES analysis after 2-step annealed.

3. 결 론

본 연구에서는 Co/Si/Ti/ p형 4H-SiC 다층간의 접합 계면의 미세 구조와 접착 특성의 상관 관계를 통하여 낮은 오음성 접합 특성을 확인하였으며, 중간층으로 Si를 증착함으로써 Ti 금속의 산화 방지는 물론 silicide 형성시의 Co/Ti, Pt/Ti의 확산에 의한 계면 전위 장벽의 변화에 안정화를 이루었다는 것을 확인하였다. 또한 저온 열처리 공정이 가능한 Co를 사용하여 950°C보다 낮은 온도인 850°C에서 우수한 오음성 접합 특성을 확인하였다.

[감사의 글]

본 연구는 산업자원부에서 시행하는 SiCDDP(SiC Device Development Program) 과제에 지원되어 연구되었습니다.

[참고 문헌]

- [1] C. Y. Ting, C. Y. Chen, Solid-State Electronics, Vol. 14, pp. 433, 1971
- [2] N. A. Papanicolaou, A. Edwards, M. V. Rao, W. T. Anderson, "Si/Pt Ohmic contacts to p-type 4H-SiC", Appl. Phys. Lett., Vol. 73, No. 14, 5 October 1998
- [3] U. Schmid, R. Getto, S. T. Sheppard and W. Wondrak, "Temperature behavior of specific contact resistance and resistivity on nitrogen implanted 6H-SiC with titanium silicide ohmic contacts", Appl. Phys. Lett., Vol. 85, No. 5, 1 March 1999
- [4] S. K. Lee, C. M. Zetterling, M. Östling, J. P. Palmquist, H. Hogberg, U. Jansson, "Low resistivity ohmic titanium carbide contacts to n-and p-type 4H-SiC", Solid-State Electronics, Vol. 44, pp. 1179-1186, 2000
- [5] L. Kassamakova R. D. Kakanakov, I. V. Kassamakov, N. Nordell, "Temperature stable Pd ohmic contacts to p-type 4H-SiC formed at low temperatures", IEEE transactions on electron devices, Vol. 46, No. 3, March 1999