

이온 이온주입한 p-type 4H-SiC에의 오믹 접촉 형성

방 옥, 송근호, 김형우, 서길수, 김상철, 김남균
한국전기연구원 전력반도체그룹

Formation of Ohmic Contacts on acceptor ion implanted 4H-SiC

W. Bahng, G. H. Song, H. W. Kim, K. S. Seo, S. C. Kim, N. K. Kim
KERI

Abstract

Ohmic contact characteristics of Al ion implanted n-type SiC wafer were investigated. Al ions implanted with high dose to obtain the final concentration of $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$, then annealed at high temperature. Firstly, B ion ion implanted p-well region were formed which is needed for fabrication of SiC devices such as DIMOSFET and pn diode. Secondly, Al implanted high dose region for ohmic contact were formed. After ion implantation, the samples were annealed at high temperature up to 1600°C and 1700°C for 30 min in order to activate the implanted ions electrically. Both the linear TLM and circular TLM method were used for characterization. Ni/Ti metal layer was used for contact metal which is widely used in fabrication of ohmic contacts for n-type SiC. The metal layer was deposited by using RF sputtering and rapid thermal annealed at 950°C for 90sec. Good ohmic contact characteristics could be obtained regardless of measuring methods. The measured specific contact resistivity for the samples annealed at 1600°C and 1700°C were $1.8 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}^2$, $5.6 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$, respectively. Using the same metal and same process of the ohmic contacts in n-type SiC, it is found possible to make a good ohmic contacts to p-type SiC. It is very helpful for fabricating a integrated SiC devices. In addition, we obtained that the ratio of the electrically activated ions to the implanted Al ions were 10% and 60% for the samples annealed at 1600°C and 1700°C, respectively.

Key Words : ohmic contact, p-type, 4H-SiC, contact resistivity, sheet resistance, implantation, annealing, activation ratio

1. 서론

탄화규소 반도체는 뛰어난 전기적, 화학적, 열적 특성으로 고전압, 고출력 소자 및 열악한 환경과 고온에서 작동하는 전력소자 제조에 가장 적합한 재료이다. 최근에 쇼트키 다이오드 소자가 상용화되면서 상용화의 길을 열었다. 하지만 아직 해결되어야 할 공정상의 문제들이 많다. 그중 소자제조시 기본적으로 필요한 오믹접촉 문제를 들 수 있는데, n-type기판의 경우 상대적으로 오믹접촉을 쉽게 얻을 수 있으나, p-type의 경우 다른 광대역반도체와 마찬가지로 접촉저항이 낮은 오믹접촉을 구현하기가 쉽지 않다. 일반적으로 n-type SiC에 대해서는 Ni금속이 오믹접촉 물질로 사용되고 있다.

p-type에 대해서는 최근에 들어오믹접촉 연구가 활성화되고 있다. 현재 가장 우수한 특성을 나타내고 있는 것은 TiC[1], Pd[2]등이 있으며, $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 의 농도에서 $5 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$ 의 접촉 비저항이 보고된 바 있다. 하지만 이제까지의 연구는 n-type과 p-type에 대해 다른 물질과 다른 공정을 통해 오믹접촉을 형성시키는 연구가 주로 되어 왔다. 때문에, 대부분의 소자가 n-type과 p-type모두의 오믹접촉 형성이 필요한 점을 고려하면 공정의 집적화에 걸림돌이 되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 Al이온을 주입하여 형성시킨 p-type SiC wafer에 대해 n-type SiC에 오믹접촉 물질로 주로 사용되고 있는 Ni금속을 이용해 오믹접촉을 형성하고 특성을 분석하였다. 또한 이

를 통해 주입된 Al이온의 열처리 온도에 따른 전기적 활성화도도 분석하고자 하였다.

2. 실험

본 실험을 위해 Cree사로부터 구입한 n-type의 wafer를 이용하였다. 우선 깊이를 0.6 μm 로 조절하고, 농도를 표면부분 $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$, junction부분 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 인 p-well 영역을 형성하기 위해 보론 이온을 650 $^{\circ}\text{C}$ 의 고온에서 에너지와 각각의 dose을 변화시키며 주입하여 형성시켰다. 그리고, 금속과의 오믹접촉을 형성하기 위해 Al이온을 30keV, 70keV, 140keV의 에너지로 각각 $1.5 \times 10^{14}/\text{cm}^2$, $2.0 \times 10^{14}/\text{cm}^2$, $5.0 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ 의 농도로 주입하여, 최종적으로 깊이 0.2 μm , $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 의 농도를 갖는 p+층을 형성시켰다. 이후 1600 $^{\circ}\text{C}$, 1700 $^{\circ}\text{C}$ 에서 열처리하여 주입한 이온을 전기적으로 활성화시켰다. 이들 주입한 이온들의 활성화정도를 sheet resistance를 측정하여 계산하였으며, 그 때의 접촉 비저항도 비교하였다. Al이온 주입시 SiC wafer내 분포에 대해서는 다른 논문에서 설명한 바 있다.[3] 이온주입후 전기적 활성화를 위해 고온 열처리를 할 때 SiC wafer의 표면을 보호하기 위해 cap layer로 thermal oxide와 graphite층을 사용하여 macrostep 형성을 억제하였다.[3,4]

Linear transfer length method (TLM) pattern의 경우에는 주위로의 전류경로를 억제하기 위해 reactive ion etching(RIE)을 이용해 mesa구조를 형성하였다. 형성된 mesa구조의 profile을 그림 1에 나타내었다. 이는 RF power 150W에서 30분간 etching한 것이다. 이때 SF_6/O_2 가스를 3.0, 2.0sccm으로 주입하여 실험하였다.

모든 시편은 일반적인 RCA세정을 거친 후 금속막을 증착하였으며, 금속막 TLM pattern은 모두 lift-off방법으로 제작하였다. 세정후 금속막은 RF sputter를 이용해 증착하였으며, 오믹접촉 물질로는 n-type SiC에 오믹접촉 물질로 가장 일반적으로 사용되는 Ni/Ti금속막을 이용하였다. 금속막 형성후 오믹접촉 형성을 위해 RTA(rapid thermal annealing)로 950 $^{\circ}\text{C}$ 에서 90초간 열처리하여, alloy를 형성하였다. 전기적 특성 측정에는 HP4156을, 표면 profile관측에는 alpha-step을 사용하였다.

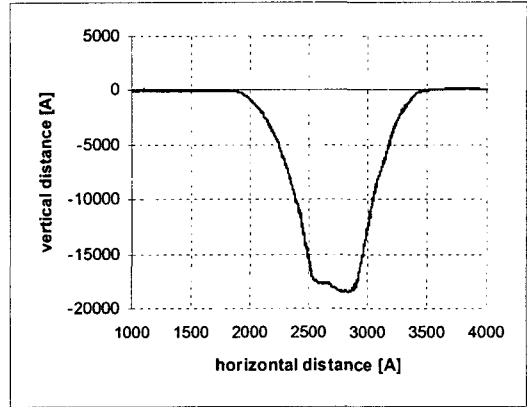


Fig. 1. Profile of the mesa structure after reactive ion etching using SF_6/O_2 .

3. 결과 및 고찰

SiC의 접촉 비저항 및 sheet resistance를 이용하기 위해 linear 및 circular TLM 방법을 이용하였다. 이 방법은 Shockley[5]에 의해 처음 제안된 것으로 최소한 3개 이상의 접촉이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 접촉간 간격을 5, 7, 10, 15, 20, 25 μm 로 변화시킨 접촉을 형성하여 측정하였다. 이들 pattern의 개략적인 모양을 그림 2에 나타내었다.

이러한 TLM구조로부터 측정된 저항값은 식 1과 같은 관계를 갖게 되고 이를 접촉간의 간격에 대해 도시하면, 그림 3과 같이 나타내어져, 이로부터 sheet resistance, contact resistance, transfer length등을 구할 수 있고, 이들 값으로부터 식 1을 이용해 specific contact resistivity를 구할 수 있다. [6]

Al 이온을 주입한 후 각각 1600 $^{\circ}\text{C}$, 1700 $^{\circ}\text{C}$ 에서 열처리한 기판에 대해 C-TLM과 L-TLM법을 통해 얻은 저항값을 접촉거리에 대해 도시한 것이 그림 4이다. 그림에서 볼 수 있듯이 x축 절편($2L_T$), 즉 transfer length는 측정방법(C-TLM, L-TLM)에 무관하게 일치하고 있음을 알 수 있다.

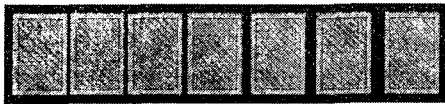
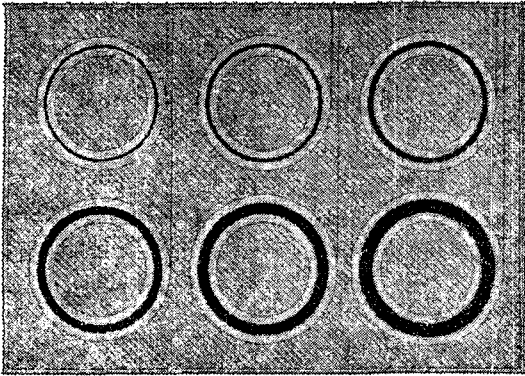


그림 2. TLM pattern layouts.

$$R_T = \frac{\rho_s d}{Z} + 2R_C, \rho_C = R_C L_T Z \quad (\text{식 1})$$

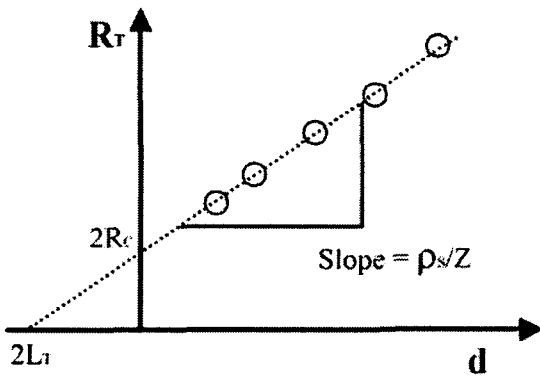


그림 3. Schematic plot of total resistance versus spacing.

그림 4로부터 1600°C에서 열처리한 시편과 1700°C에서 열처리한 시편의 저항이 많이 차이 나는 것을 볼 수 있다. 그래프로부터 transfer length는 1600, 1700에서 열처리한 시편에 대해 각각, 2.6um, 1.25um로 구해졌다. 또한 sheet resistance는 각각, 41.7kΩ/□과 12.7kΩ/□으로 측정되었다. 이로부터 구해진 Na-Nd값은 4.3×10¹⁸/cm³, 3.0×10¹⁹/cm³이었

다. 주입한 Al이온이 깊이 0.2um, 농도 5E19/cm³이었으므로, 주입된 이온의 전기적 활성화도는 1600°C, 1700°C 열처리한 시편에 대해 각각 10%, 60%로 구해졌다. 하지만 이는 p+ 영역의 이온농도 및 junction 깊이가 일정하게 유지된다는 가정하에 구해진 값이므로, 정확한 계산을 위해서는 주입된 이온의 열처리 도중 out-, in- diffusion정도 및 금속과 SiC 사이에 반응을 통해 형성된 alloy층의 두께등을 고려하여야 한다. 따라서 실제 주입된 이온 중 전기적으로 활성화된 이온은 계산값보다 더 클 것으로 고려된다

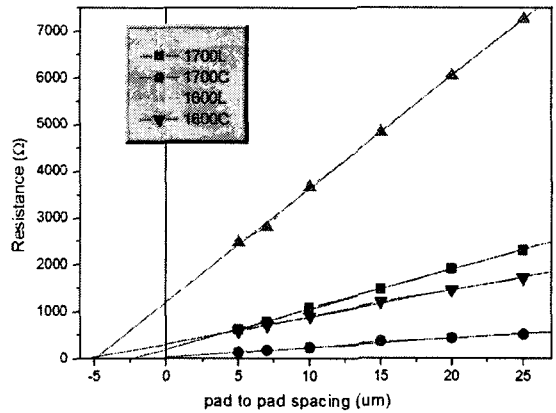


Fig. 4. A plot of measured total resistance versus contact spacing.

Ni/Ti금속과 이온주입된 p+층과의 접촉 비저항은 1600°C, 1700°C 열처리한 시편 각각에 대해 1.8×10⁻³Ωcm², 5.6×10⁻⁵Ωcm²로 구해졌다. p-type SiC에 대한 오믹접촉 연구가 주로 1×10²⁰/cm³이상의 고농도에서 이루어졌으며, 최근에 들어서도 10¹⁹/cm³의 농도에서는 TiC나 Pd을 이용해 5.5×10⁻⁵Ωcm² 정도의 접촉비저항을 구한 것이 가장 낮은 것이며, 주로 5×10⁻⁴Ωcm² 이상의 값들이 보고되고 있다. 따라서 본 연구를 통해 n-type SiC와의 오믹 접촉에 주로 사용되는 Ni/Ti금속막을 이용해 p-type SiC와 낮은 접촉 비저항을 갖는 오믹 접촉 형성에 성공하여, SiC 집적회로 공정에서 p-type 과 n-type에 대한 오믹접촉 형성을 동시에 수행할 수 있도록 하였다. 이에 따라 공정비용 절감 뿐만 아니라 공정상의 불편함도 감소시킬 수 있게 되었다.

4. 결 론

n-type SiC 기판에 Al이온을 $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 농도로 주입하여 1600°C 및 1700°C에서 각각 열처리하여 형성시킨 p영역에 대해 오믹접촉 특성을 조사하였다. n-type SiC에의 오믹접촉에 가장 많이 사용되는 Ni/Ti금속막과 동일한 열처리과정을 수행한 후 linear TLM 및 circular TLM법을 이용하여 측정하였다.

열처리 온도에 무관하게 Ni/Ti금속이 Al이온을 주입한 p-type SiC와 우수한 오믹접촉 특성을 갖는 것을 확인하였다. 1600°C 및 1700°C에서 각각 열처리한 시편에 대해 $1.8 \times 10^{-3} \Omega \text{cm}^2$, $5.6 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$ 의 접촉비저항을 얻었다. 이는 TiC, Pd등을 이용한 경우와 비슷한 수준이며, 다른 금속막에 비해서는 아주 낮은 접촉 비저항값이다. 본 연구를 통해 n-type SiC에 오믹접촉 물질로 사용되는 Ni/Ti만이 p-type SiC에 대해서도 우수한 오믹접촉 특성을 갖는 것을 확인하였다. 따라서 n-type과 p-type에 대한 오믹접촉을 동일한 금속을 사용하고 동일한 공정을 통해 형성할 수 있으므로, 집적화된 SiC 소자제조에 응용할 수 있다.

그리고, 이온주입후 열처리 온도에 의한 전기적 활성화도에 대한 연구를 통해 1600°C에서는 10% 정도의 이온만이 전기적으로 활성화되었으나, 1700°C에서 열처리한 경우에는 60%이상의 이온이 전기적으로 활성화되어 오믹접촉 특성을 향상시키는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 논문은 산업자원부 차세대연구개발사업인 "SiC 반도체 기술개발 사업 (SiCDDP)"의 지원으로 이루어진 것입니다.

참고 문헌

- [1] S. -K. Lee, C. -M. Zetterling, E. Danielsson, M. Östling, J. -P. Palmquist, H. Högberg and U. Jansson, 'Electrical characterization on TiC ohmic contacts to aluminum ion implanted 4H-silicon carbide', Appl. Phys. Lett., 77, 1478, 2000
- [2] L. Kassamakova, R. Kakanakov, N. Nordell and S. Savage, 'Thermostable ohmic contacts on p-type SiC', Mater. Sci. Forum, 264-268, 787, 1998
- [3] W. Bahng, N. K. Kim, S. C. Kim, G. H. Song and E. D. Kim, 'Suppression of macrostep formation in 4H-SiC using a cap oxide layer, Mater. Sci. Forum, 368-372, 2002
- [4] Ying Gao, *Doping of Silicon Carbide by Diffusion of Boron and Aluminum*, Ph.D. Thesis, University of South Carolina, 2001
- [5] W. Schockley, Wright-Patterson Air Force Base, OH Rep. No. AFAL-TDR-64-207, Air Force Avionics Lab., Sept. 1963
- [6] Dieter K. Schroder, *Semiconductor material and device characterization*, John Wiley & Sons, 1998