

Al 이온 주입된 p-type 4H-SiC에 형성된 Ni/Ti/Al ohmic contact의 특성

주성재, 송재열*, 강인호, 방 옥, 김상철, 김남균
한국전기연구원, *동의대학교

Characteristics of Ni/Ti/Al ohmic contact on Al-implanted 4H-SiC

Sung-Jae Joo, Jae Yeol Song*, In-Ho Kang, Wook Bahng, Sang Cheol Kim, and Nam-Kyun Kim
Korea Electrotechnology Research Institute, *Dong-Eui Univ.

Abstract : Ni/Ti/Al multilayer system was tested for low-resistance ohmic contact formation to Al-implanted p-type 4H-SiC. Compared with conventional process using Ni, Ni/Ti/Al contact shows perfect ohmic behavior, and possesses much lower contact resistance of about $2.5 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$ after 930°C RTA, which is about 2 orders of magnitude smaller than that of Ni contact. Contact resistance gradually increased as the RTA temperature was lowered in the range of $840 \sim 930^\circ\text{C}$, and about $3.4 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$ was obtained at the lowest RTA temperature of 840°C . Therefore, it was shown that RTA temperature for ohmic contact formation can be lowered to at least 840°C without significant compromise of contact resistance.

Key Words : ohmic contact, 4H-SiC, Ni/Ti/Al, p-type

1. 서 론

4H-SiC는 실리콘에 비해 약 3배 넓은 밴드갭과 그로부터 기인한 높은 임계전계 특성으로 인해 실리콘을 대체할 차세대 고온·고내압 전력반도체 소재로서 주목을 받아왔다[1]. 반도체 소자를 제작하기 위한 제반 공정기술 중에서 낮은 저항을 갖는 오믹접합의 형성기술은 매우 중요한데, 4H-SiC의 경우 n형 4H-SiC에 대한 오믹접합은 문제가 없으나, p형 4H-SiC에 대한 오믹접합의 형성은 일반적으로 어려운 기술로 알려져 있다[2]. 그 이유는 4H-SiC의 넓은 밴드갭(3.26eV)과 높은 전자친화도(3.7eV)에 비해 Ni, Ti, Al, Pt 등 대부분의 금속의 일함수가 6eV 미만이므로 금속과 p형 4H-SiC의 계면에 높은 쇼트키 장벽이 형성되기 때문이다. 또한 양자역학적인 터널링 현상을 이용하여 p형 4H-SiC에 오믹접합을 형성하는 방법도 Al, B 등의 도판트를 $10^{19}/\text{cm}^3$ 이상의 높은 농도로 이온주입할 경우 유발되는 격자손상을 고온열처리로도 완벽히 제거하기 어려워 그 효용성에 문제가 있다. 한편, Ti 오믹접촉의 연구결과에 의하면, Ti만 사용했을 때와 달리 Ti와 Al의 이중막을 이용했을 경우 $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 이하의 콘택저항을 얻을 수 있음이 알려져 있다[3,4]. Al은 SiC에서 p형 도판트로 작용하므로, Al을 다중막의 일부로서 사용하면 콘택저항 감소효과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 SiC의 n형 오믹전극으로 일반적으로 많이 사용하는 Ni, Ti에 Al을 첨가한 다중막 구조의 오믹접합 특성을 조사하였다.

2. 실험

실험에 사용한 SiC웨이퍼는 $0.03 \Omega \cdot \text{cm}$ 이하의 비저항을 갖는 n형 SiC 기판 위에 $4 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ 의 도핑농도를 갖는 12 μm 의 n형 SiC 에피층이 길러진 상용제품이었다. 여기에 $4 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 의 box형 농도분포와 약 600nm의 접합깊이를 갖도록 Al이온을 이온주입한 후 1700도에서 30분간 열처리하여 Al을 활성화하였다. 뒤이어 SiC웨이퍼를 RCA세정법

으로 세척하고 1150도에서 건식산화법으로 약 20nm의 산화막을 성장시킨 후 소정의 사진공정과 습식식각 공정을 거쳐 콘택패턴을 형성하고, e-beam evaporation으로 Ni 30nm / Ti 50nm / Al 300nm의 삼중막을 연속적으로 증착하였다. 한편, 비교를 위하여 스퍼터링 공정으로 Ni 50nm만을 증착하여 오믹접촉을 형성하였다.. 뒤이어 lift-off법으로 표면에 원형과 직선형 TLM (Transfer Length Method) 패턴을 형성하고, 840도~930도의 범위에서 약 90초간 급속열처리를 실시하였다. TLM 패턴의 간격은 각각 5, 7, 10, 15, 20, 25 μm 였으며, TLM 패턴의 간격 대비 저항값의 그래프로부터 선형회귀법으로 직선의 기울기와 Y절편을 구하여 콘택저항을 추출하였다. 직선형 TLM패턴이 형성되는 부위는 사전에 건식식각 공정을 거쳐 n+ 에피층이 주위와 전기적으로 절연이 되도록 하였다.

3. 결과 및 검토

그림 1은 930도 급속열처리를 거친 Ni 접합의 전류-전압 특성을 원형 TLM 패턴의 간격에 대하여 표시한 것이다. 전류-전압 특성이 비선형임을 볼 수 있는데, 이것은 불완전한 오믹접합이 형성되었음을 의미한다.

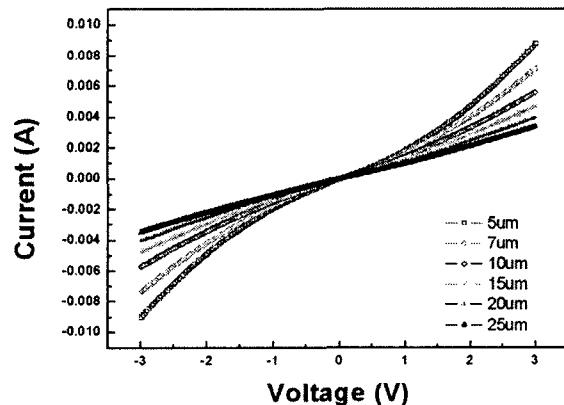


그림 1. Ni 접합의 전류-전압 특성

한편, 급속열처리 온도에 대한 Ni 접합의 콘택저항을 box plot으로 표시하면 아래 그림2와 같았으며, 급속열처리 온도에 대해 특기할만한 경향성은 관찰되지 않았다.

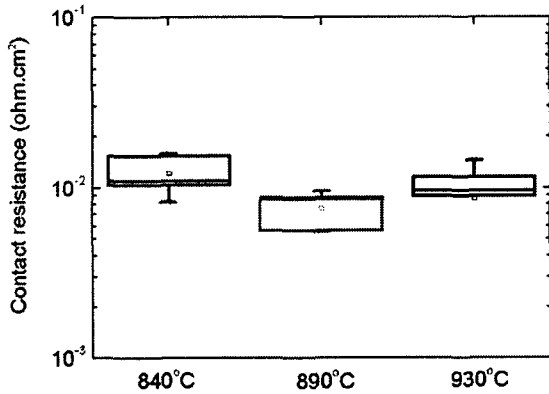


그림 2. 급속열처리 온도에 대한 Ni 접합의 콘택저항

반면, Ni/Ti/Al 상중막을 접합금속으로 사용하였을 때에는 840도~930도 범위에서 급속열처리 온도에 관계없이 완전히 선형적인 전류-전압 특성을 보였으며, 이것은 이상적인 오믹접합이 형성되었음을 의미한다.

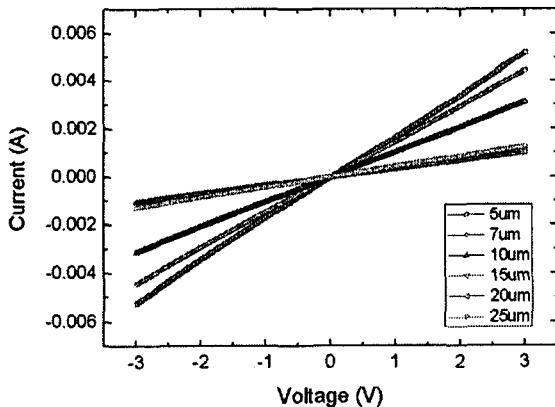


그림 3. 840도에서 열처리된 Ni/Ti/Al 접합의 전류-전압 특성

급속열처리 온도에 대해 콘택저항을 box plot으로 요약하여 표시하면 아래 그림 4와 같았으며, 중간값 및 평균값 기준으로 약 $3 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 의 콘택저항이 급속열처리 온도와 무관하게 얻어지고 있음을 볼 수 있다.

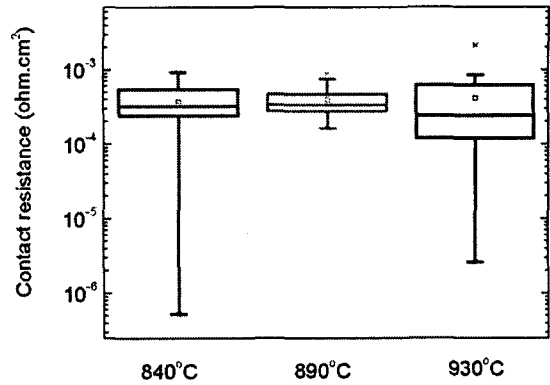


그림 4. 급속열처리 온도에 대한 Ni/Ti/Al 접합의 콘택저항

이상의 결과로부터 Al의 첨가에 의해 콘택저항이 Ni만 사용할 때에 비해 약 2 order 정도 개선되었음을 관찰하였다. 이와 같이 콘택저항이 개선되는 원인은 Al의 SiC 내부 침투에 의한 도핑효과가 개재된 것으로 생각된다.

4. 결론

Ni/Ti/Al의 상중막 구조를 채택하여 p형 SiC에 대해 약 $3 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}^2$ 의 콘택저항을 갖는 오믹접합을 얻을 수 있음을 확인하였다. 이것은 Ni를 비교대상으로 삼을 때 약 2 order 정도 개선된 결과이다. 특히 Ni, Ti등의 금속을 사용할 경우 오믹접합을 얻기 위한 급속열처리 온도가 통상적으로 900도 ~ 1000도의 고온임에 비해, 본 실험에서는 840도의 저온에서도 낮은 콘택저항을 얻을 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 산업자원부가 지원하는 국가 반도체연구사업인 “시스템 집적반도체 기반기술 개발사업 (시스템 IC2010)”을 통해 개발된 결과임을 밝힙니다.

참고 문헌

- [1] B.J. Baliga, Silicon Carbide Power Devices, World Scientific Publishing Co.Pte.Ltd. (2005)
- [2] M. Östling, S.-M. Koo, S.-K. Lee, E. Danielsson, M. Domeji, and C.-M. Zetterling, Proceedings of the 6th International Conference on Solid-State and Integrated-Circuit Technology, Vol.2, 1173-1178 (2001)
- [3] J. Crofton, S.E. Mohney, J.R. Williams, and T. Isaacs-Smith, Solid State Electronics 46, 109 (2002)
- [4] J. Crofton, L. Beyer, J.R. Williams, E.D. Luckowski, S.E. Mohney, and J.M. Delucca, Solid State Electronics 41, 1725 (1997)