

PECVD로 증착된 SiC 박막의 다양한 금속으로 제작된
SiC Schottky diode 전기적 특성에 따른 연구

송진형, 김정우, 김지균, 이현용
명지대학교 전기공학과 전기전자재료연구소

A study on the electrical characteristic of Schottky diode fabricated
using various metals based on SiC thin film deposited by PECVD

J. H. Song, J. W. Kim, J. G. kim, H. Y. Lee
Electrical and Electronic Material Lab, Myong Ji University

Abstract - In this investigation, 3C-SiC film deposited 1000Å on the p-type silicon wafer which is resistance $0\sim30[\Omega\cdot\text{cm}]$ by PECVD (Plasma-enhanced Chemical Vapor Deposition). We deposited Cr, Ta, Pt in front of wafer to utilize DC-sputter for 500Å, the SiC Schottky diode made from Al ohmic contact about 4000Å, and to each different temperature which annealing in Ar atmosphere, we had forward characteristic analysis along to annealing temperature.

1. 서 론

Silicon carbide(SiC)는 우수한 기계적 성질, 열안정성, 내산화성 등을 가진 화합물로 오래전부터 고온주조용 재료로 널리 사용되어왔다. 최근에는 300K에서 밴드 갭 에너지가 3C는 2.2eV, 3H는 2.86eV, 2H는 3.3eV로 Si (1.12eV), GaAs(1.43eV)보다 크며, 높은 절연 파괴전압 ($4\times 10^6\text{V/cm}$), 포화 전자 속도가 약 $2\times 10^6\text{cm}^2/\text{sec}$ 에 이를 정도로 매우 크고 전자 이동도도 $1000\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$ 로 우수한 전기적 특성을 지니고 있다.[1]

따라서 SiC는 고온, 고출력, 그리고 고주파 전자소자로써 새롭게 주목을 받는 반도체 재료가 되었다. Si를 반도체 소자로 사용할 경우 1.12eV의 좁은 밴드 갭 에너지를 가지고 있기 때문에 소자온도를 150℃ 이하로 유지시켜야 하지만 SiC 소자는 2.0eV 이상의 광대역 밴드갭 에너지를 가지고 있어서 고온 (약 700℃까지)에서의 사용이 가능하다.[2] SiC 고내압 Schottky diode가 내압이 1000V 이상까지 얻어지고 있으면 고속(-10ns) 스위칭 속도를 나타내고 있다. 또한, 고내압 pn접합 diode에서는 상온에서 내압 1000V가 얻어지고 있고 600℃에서도 뛰어난 정류성을 나타낸다는 보고가 나오고 있어서 미래의 전력용 소자로서 실리콘 PIN diode를 대체할 것으로 예상되고 있으며[3] 이외에도 전력용 MOSFETs, Gate Turn-OFF Thyristors 등도 제작되고 있다. SiC는 매우 많은 다형(polytypism)을 가지는 화합물로 현재까지 발견된 다형의 수가 170여종에 이른다고 보고되고[4] 있으며, 그 중 대표적인 물질로 3C, 6H, 4H-SiC 등이 있다. 이들 물질중 3C-SiC는 입장구조를 가진 물질로 다른 다형보다 고온에서 보다 높은 전하이동도를 나타냄으로 많은 연구가 진행되어 오고 있으며, 이는 주로 thermal CVD법으로 얻어져 왔다.[5][6][7][8] 하지만, thermal CVD법으로 3C-SiC를 성장시키기 위해서는 일반적으로 1300℃ 이상의 높은 온도가 필요하게 된다. 이처럼 고온 증착의 경우, 실리콘과 3C-SiC막 사이에 부정합 전위, 적층결함(stacking fault) 및 APB(anti-phase boundary)와 같은 결함을 생성하게 된다. 그러므로 낮은 온도에서의 3C-SiC막의 증착이 필요하게 되었고[9], 보다 낮은 온도에서 실리콘 기판위에 3C-SiC를 증착시키고 증착속도를 높이기 위해 PECVD법을 이용되고 있다.[10]

2. 본 론

2.1 실험방법

본 연구에서는 Fig.1과 같이 저항률 $0\sim30[\Omega\cdot\text{cm}]$ p-type Silicon wafer(100)을 사용하여 두께 1000Å SiC를 PECVD (Plasma-enhanced Chemical Vapor Deposition)을 사용하여 성장하였으며, 두께는 엘립소미터와 나오프랙을 사용하여 측정하였다. 금속 접합시 계면에서의 불순물을 제어하기 위하여 금속 증착 전에 아세톤, 메탄올, 10%로 희석된 HF용액을 사용하여 표면을 식각하였다. Cr, Ta, Pt($t=500\text{Å}$)을 10^{-4} torr의 압력하에서 A-tech의 DC Sputter를 사용하여 증착하였다. tube형 furnace내에 각각 400, 600℃ 온도에서 10 min (holding time) 동안 열처리를 해주었다.

제작된 Schottky Barrier Diode의 특성 분석은 순방향에 대해서 분석하였고, 전류-전압(current-voltage)의 측정은 KEITHLEY 236 / KEITHLEY 2361를 사용하여 전기적 특성을 분석하였다. 본 논문에서 사용한 시료의 구조 및 열처리 조건은 Fig. 1과 Table 1과 같다.

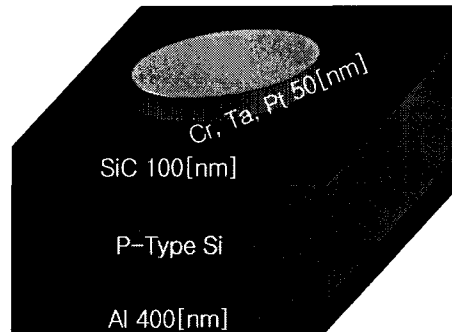


Fig. 1. Cross Section of Schottky Barrier Diode.

Table 1. Annealing condition

구분	금속의 종류	열처리 조건
1	Cr,Ta,PT/SiC	at room temperature
2	Cr,Ta,PT/SiC	400℃, Ar, 10min(holding time)
3	Cr,Ta,PT/SiC	600℃, Ar, 10min(holding time)

2.2 결과 및 토의

Fig. 2은 상온에서의 각각의 금속에 따른 I-V특성을 보여주고 있다. 각각의 금속의 work function에 따라 약간의 다른 특성을 보여주고 있다.

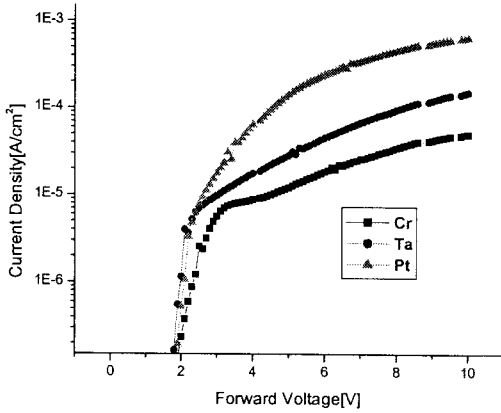


Fig. 2. Forward I-V characteristics of Cr, Ta and Pt/SiC Schottky diodes at room temperature.

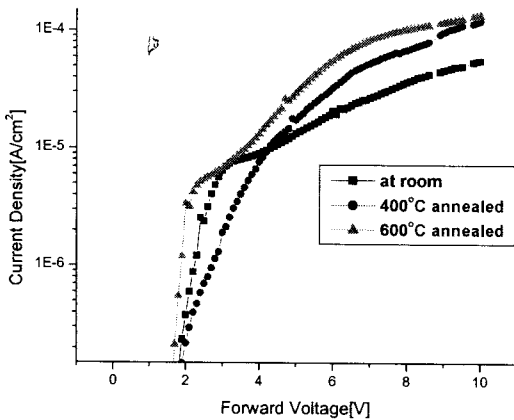


Fig. 3. Forward I-V characteristics of Cr/SiC Schottky diodes at various temperature

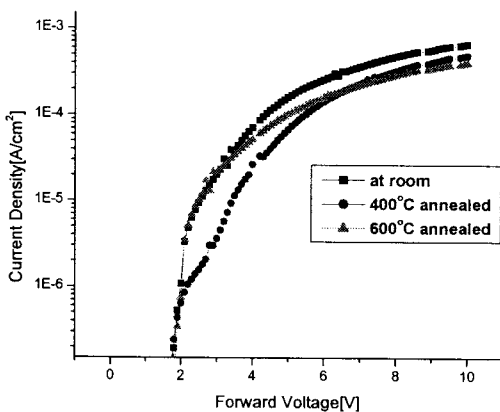


Fig. 4. Forward I-V characteristics of Pt/SiC Schottky diodes at various temperature

Fig 3과 Fig 4는 각각의 열처리에 따른 계면에서 생성된 silicide가 SiC 내에 Schottky barrier 역할을 하여 I-V 특성을 통한 전기적 특성 분석 시 forward 특성이 약간이나마 증가한 것을 알 수가 있다. 이것으로 Schottky 집합의 특성은 금속의 work function에 의존하기 보단 surface states에 의존함을 알 수 있다.

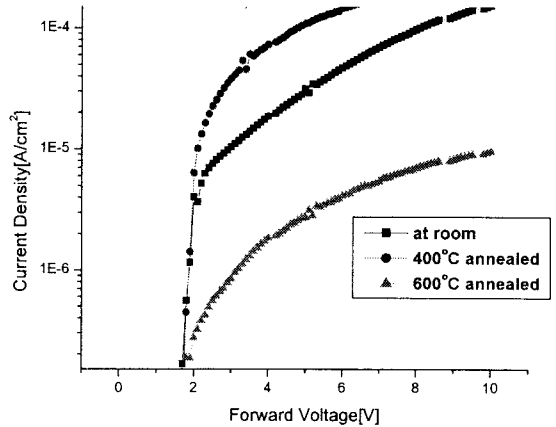


Fig. 5. Forward I-V characteristics of Ta/SiC Schottky diodes at various temperature

Fig. 5를 보면 600°C 전류밀도 곡선 떨어지는 것은 박막 내 존재하는 결합이나, 열처리 과정에서 Ta/SiC 계면에 생성된 400°C ~ 500°C에서 열처리를 하면 SiC가 Silicon과 carbon으로 분리가 된다고 보고되고 있으며, 이 때 생기는 silicide는 SiC에서 silicon이 소모되어 생성되고, 따라서 금속/SiC 계면은 carbon이 풍성한 조성을 갖게 된다고 보고하고 있다. 이 결과 계면에서의 silicide와 SiC 표면의 carbon에 의해 접촉 저항값이 높아져서 전류의 흐름을 방해는 것을 알 수가 있다.

3. 결론

소자의 ideality factor와 금속과 반도체의 Schottky 집합에 의해 형성되는 Schottky barrier height는 이론적으로 고유한 work function을 갖는 금속의 종류에 의존하지만, 실제적으로 표면상태에 지배받는다는 것을 I-V 특성으로써 알 수가 있었다. 특히 열처리 후 금속 종류에 따라 오히려 전기적 특성이 향상됨을 알 수 있었지만, 금속에 따라서 오히려 전기적 특성이 떨어지는 것을 알 수 있었다.

[참고 문헌]

- [1] Charles E. Weitzel, John W. Palmour, Calvin H. Carter, Karen Moore; "Silicon carbide high power devices," IEEE Trans. ED., 43, pp. 1732-1741, 1966.
- [2] R.F. Davis, G. Kelner, M. Shur, J.W. Palmour and J.A. Edmond, "Thin film deposition and microelectronic and optoelectronic device fabrication and characterization in monocrystalline alpha and beta silicon carbide," proceedings of the IEEE, 79(5), 677-701, 1991.
- [3] S. Nishino, J. A. Powell and H. A. Will; "Production of large-area single-crystal wafers of cubic SiC for semiconductor devices." Appl.Phys.Lett., 42, 460, 1983.
- [4] R. Verma and P. Krishna, Polymorphism and Polytypism in Crystals, Wiley, New York, 1966.
- [5] D. J. Choi and J. W. Kim, "interfacial Characteristics of β -SiC Film Growth on (100) Si by LPCVD Using MTS." J. Kor. Ceram. Soc., 34(8), 825-833, 1997.

- [6] T.P. Smirnova, L. V. Yakovkia, B. M. Ayupov, I. P. Dolgovesova, V. A. Nadolinn and V. N. Kitchay, "excited Helium-Induced CVD of $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{H}$ Films from Trimethylchlorosilane," *Thin Solid Films*, 353, 79-84, 1999.
- [7] B. J. Choi, B. O. Park and D. R. Kim, "chemical Vapor Deposition of $\beta\text{-SiC}$ by Pyrolysis of MTS and Effect of Excess C Sources," *J. Kor. Ceram. Soc.*, 30(1), 46-54, 1993.
- [8] B. J. Choi, D. W. Park, M. C. Cho and D. R. Kim, "Chemical Vapor Deposition of Silicon Carbide by the Pyrolysis of Methylchlorosilanes," *J. Kor. Ceram. Soc.*, 32(4), 489-497, 1995.
- [9] J.D. Hwang, Y. K. Fang, Y. J. Song and D. N. Yaung, "High Mobility $\beta\text{-SiC}$ Epilayer Prepared by Low-pressure Rapid Thermal Chemical Vapor Deposition on a (100) Silicon Substrate," *Thin Solid Films*, 272, 4-6, 1996.
- [10] J. Y. Seo, S. Y. Yoon, J. H. Kim: "Deposition of 3C-SiC Films by Plasma-enhanced Chemical Vapor Deposition(I):Deposition Behaviors of SiC with Deposition Parameters,"*J. Kor. Ceram. Soc.*, 38(6), 531-536. 2001