

ICP-CVD로 성장된 SiC 박막위에
다양한 금속으로 제작된 Schottky diode의 특성 분석

고석일*, 김용상*
*명지대학교 전기공학과

Characterization of Schottky diodes fabricated by various metals
on SiC thin film grown by ICP-CVD

Suk-IL Ko*, Yong-Sang Kim*
*Dept. of Electrical Eng., Myongji University.

Abstract - We have successfully fabricated SiC Schottky diodes using Al, Ni, Ti metallization systems. Schottky barrier height and other parameter have been measured by using I-V and C-V technique. The measured barrier heights depend on the metal and measurement techniques used. The barrier heights were 1.85eV(Al), 1.63eV(Ni), 0.97eV(Ti). The Ideality factors were 1.16(Al), 1.07(Ni), 1.05(Ti). Thermal stress tests were performed.

을 습식 및 건식 세정을 실시하였고, 실리콘(5.43Å)과 SiC(4.35Å)의 격자 상수 부정합률(20%) 줄여주기 위하여 CH₄, H₂ gas를 이용하여 carbonization을 실시하였다. Carbonization 시간은 2분간, 온도는 900°C, H₂ 유량은 300sccm, 전체 반응 압력은 10~15 Torr. CH₄의 유량은 30 sccm으로 하여 실험하였다. Carbonization을 실시한 후 실제 SiC 박막을 증착하였으며, 증착조건에 사용된 원료 가스는 SiH₄, CH₄, H₂를 사용하였다. H₂의 유량은 400sccm, SiH₄과 CH₄의 유량은 각각 50, 100 sccm으로 흘려주었다. RF Source의 Power는 300 W였으며, 전체반응 압력은 254 Torr, 실제 증착 온도는 1100°C, 증착시간은 1 시간으로 실험하였다.

1. 서 론

SiC는 광역 에너지 대역을 갖는 반도체 물질로서, 독특한 전기적, 열적 특성 때문에 고전력, 고온, 고주파에 응용되는 소자에 주목을 받는 물질이다. 물질 자체의 이동도나, 파괴 전장 등이 실리콘에 비하여 월등하기 때문에 소자를 제작할 경우 스위칭 속도, 역방향 파괴 전압, 전력 손실 등이 획기적으로 개선될 수 있을 뿐 아니라, 대기권 밖의 극한 상황에서도 동작이 가능하여 우주 산업 등에 필수적인 역할을 할 것으로 기대된다.

소자의 응용에 대한 큰 기대에도 불구하고 SiC를 이용한 전자 소자의 개발은 SiC의 구조적·화학적 특성상 고품질의 성장막 형성이 어려움 등과 소자의 전극에 필요한 적절한 금속의 선택 및 금속 증착 후의 열처리 조건 등에 의하여 지연되어 왔다. 특히, 소자의 동작 특성을 결정하는 전기적 성질 및 그의 안정성에 중요한 역할을 하는 결정의 결함 등에 관한 연구는 아직까지 매우 미약한 상태이다.

본 연구에서는 직접 제작한 ICP-CVD 장비를 이용해서 Si 웨이퍼 위에 고품질의 단결정 SiC 박막을 성장시키는 기술 및 조건을 확립하고, 증착된 박막위에 Al, Ni, Ti 등의 물질을 이용한 금속화 공정으로 Schottky barrier diode를 제작하고 전기적 특성을 조사함으로써 소자 제작의 기초자료로 활용하는 것이 가능하리라 사료된다. 제작된 소자의 I-V, C-V 특성을 통하여 Schottky barrier height, Ideality factor, Breakdown voltage 를 구하였고, 열에 대한 스트레스 시험을 통해 온도의 안정성을 비교 분석하였다.

2. 본 론

2.1 SiC 박막 증착

SiC 박막 증착을 위해 결정 성장 실험 장비인 ICP (Inductively Coupled Plasma)-CVD을 이용하였다. 그림 1은 직접 제작한 장비의 사진으로 기존의 SiC 증착 방법에 비해 RF source의 가격이 월등히 저렴하지만 high density plasma의 생성 및 유지가 가능하며, 장비의 구조와 조작이 간단하고, plasma source와 기판 bias를 독립적으로 control이 가능한 장점을 가지고 있다. 기판은 도핑농도가 n⁻(8×10¹⁵/cm³)인 Si(100)을 이용하였다. 박막 증착에 앞서 실리콘 기판

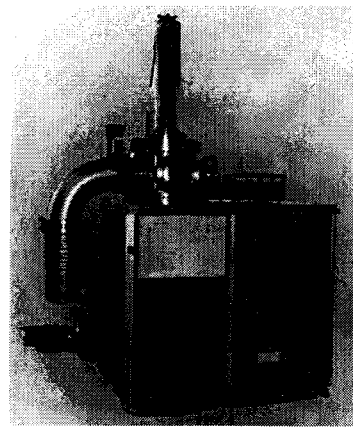


그림 1. ICP-CVD의 사진

2.2 SiC 박막의 TEM

박막의 결정성과 내부의 결함, 기판과의 배향성 등을 알아보기 위하여 투과전자현미경(TEM)을 사용하였다. 그림 2는 3분간 기판을 carbonization한 후의 평면 사진이다. 그림의 빗살무늬는 Si 기판의 fringe이며, 아주 얇은 SiC 막이 형성된 것을 볼 수 있다. Si 기판과 SiC의 계면 부분의 회절 패턴을 안쪽에 같이 나타내었다. 성장된 carbonization buffer layer는 결정성을 지니고 있으나, 약간의 비정질상이 나오고 있음을 알 수 있다. 이는 계면 부분에서의 void나 결함에 의해 기판과의 결정학적 관계를 잘 유지 못하는 데 있다고 생각되어진다.

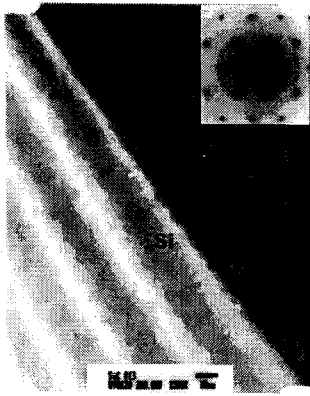


그림 2. Carbonization buffer layer의 투과전자현미경 사진

2.3 Schottky diode 제작

증착된 SiC 박막을 이용하여 Schottky diode를 제작하였다. 그림 3와 같이 먼저 SiC 위에 열산화 공정으로 온도는 1000°C에서 5시간 동안 ~600Å 두께로 증착하였고, 후면 전면에 Ohmic 접합을 형성시키기 주기 위해 먼저 Ni 금속을 RF magnetron sputter를 사용하여 증착하였다. 그때의 기저압력은 5×10^{-6} torr에서 150 W RF power로 약 15분간 증착하였다. 증착된 Ni의 두께는 약 ~2500Å이었으며, Ni-silicide를 형성시켜 주기 위해 900°C에서 5분간 열처리를 해주고, 추가적으로 oxide를 ~2500Å를 성장시킨후, 전극으로 사용될 drift 영역 위에 있는 부분의 oxide를 사진 식각 공정을 통해 식각해 낸 다음 sputter를 사용하여 Al, Ni, Ti를 각각 4000Å 증착하고 불필요한 부분을 식각한다. Ni을 증착한 소자는 600°C에서 5분간 열처리를 해주었고, Al, Ti 금속을 증착한 소자는 900°C에서 3분, 15분간 열처리를 해주어서 Schottky 전극을 형성 시켜주었다.

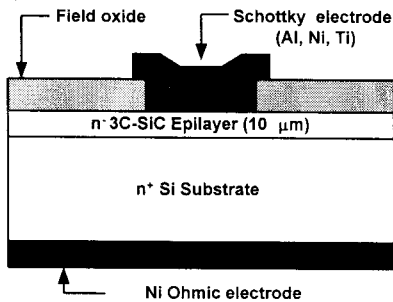


그림 3. Al/, Ni/, Ti/SiC Schottky diode의 단면도

2.4 Metal/SiC 전기적 특성 비교

Al/, Ni/, Ti/SiC Schottky diode의 전류-전압 (I-V) 특성은 probe station 및 Keithley 2361을 이용하여 측정한 결과가 그림 4와 같이 나타난다. 그래프 상에서 선형적으로 나타난 부분은 캐리어 이동 메카니즘에서 열이온 방출에 의해 발생하는 전류가 지배적이므로 이 범위에서 열이온 방출 이론을 적용해서 구할 수 있

다. Schottky Barrier height(SBH) ϕ_B 을 구한 결과 값은 1.85(Al), 1.63(Ni), 0.97(Ti)이고, Ideal factor(n)는 1.16(Al), 1.07(Ni), 1.05(Ti)을 얻을 수 있다.

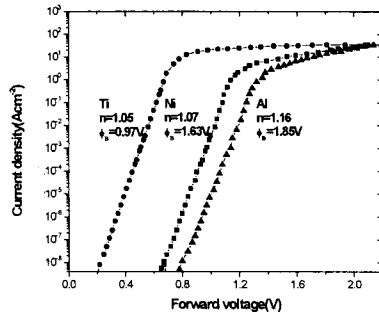


그림 4. Al/, Ni/, Ti/SiC Schottky diode의 순방향 I-V 특성

Metal	SBH(I-V)	SBH(C-V)	n
Al	1.85	2.23	1.16
Ni	1.63	1.97	1.07
Ti	0.97	1.23	1.05

표 1. Al/, Ni/, Ti/SiC Schottky diode의 Schottky barrier height 와 Ideality factor

캐패시턴스-전압(C-V) 특성으로 구한 Barrier height는 전류-전압 특성에서 구한 값보다 0.26~0.38V 높게 나왔다. 순방향과 역방향 전압의 I-V 특성 결과를 그림 5에 나타내었다. 위의 결과로부터 Breakdown voltage의 값은 세 가지의 금속이 비슷한 값을 보였다. Ti/SiC(779V), Ni/SiC(748V), Al/SiC(732V)로 측정된다.

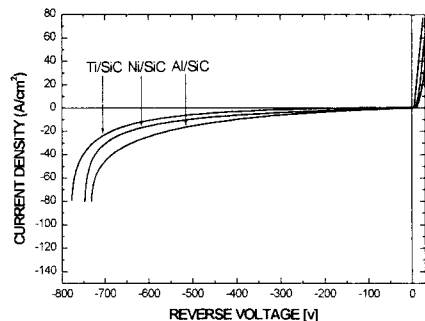


그림 5. Al/, Ni/, Ti/SiC Schottky diode의 I-V 특성 곡선

2.5 Schottky diode의 thermal stress test

제작된 Schottky diode가 열에 대한 안정성을 조사하였다. Ar 분위기하에서 역방향 전압을 100V 인가한 상태에서 열적 스트레스를 5분 주기로 600°C까지 인가하였을 때 누설전류를 측정하였다. 그림 6에서 Al, Ti은 온도 변화에 민감하게 반응을 한 반면, Ni이 온도 변화에 대한 열적 안정성이 가장 뛰어난 것으로 나타났다.

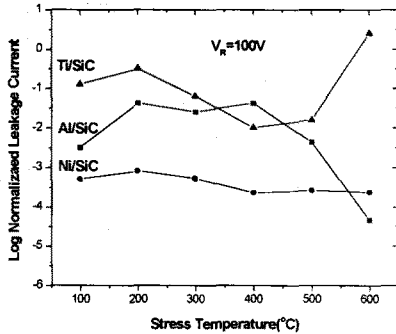


그림. 6 제작한 Schottky diode의 thermal stress tests

3. 결 론

ICP-CVD로 SiC 박막을 Si 위에 증착하였고, TEM 통해 SiC 박막임을 확인하였다. 다양한 금속(Al, Ni, Ti)을 SiC 박막위에 증착하고 열처리 과정을 통해 Schottky Diode를 제작하였다. 제작된 소자의 I-V, C-V 특성을 측정해 본 결과 Schottky barrier height와 Ideality factor의 값은 Al, Ni, Ti 순으로 구해졌으며, 역방향 전압을 인가하였을 때 I-V 특성으로 부터 Breakdown voltage를 구하였다. 열적 안정성에서는 Ni이 온도를 600°C까지 변화시켰을 때 온도 변화에 가장 안정적인 결과를 얻을 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Charles E. Weitzel, John W. Palmour, Calvin H. Carter, Karen Moore, "Silicon carbide high power devices," IEEE Trans. Electron Devices, 43, 1732-1741, (1996)
- [2] J.B. Casady, R.W. Johnson, "Status of silicon carbide as a wide-bandgap semiconductor for high-temperature applications," Solid State Electronics, 39(10), 1409-1423, (1996)
- [3] M. Bhatnagar, P. K. McLarty, and B. J. Baliga, "SiC high-voltage(400V) Schottky diodes," IEEE Electron Device Lett., 10, 501-503 (1992)
- [4] L. M. Porter and R. F. Davis, "A critical review of ohmic and rectifying contacts for silicon carbide," Mater. Sci & Eng., B34, 83 (1995)
- [5] A. J. Steckl and J. N. Su, "High voltage, temperature-hard 3C-SiC Schottky diodes using all-Ni metallization," IEDM 93, 695 (1993)
- [6] H. H. Berger, Solid-State Electron. 15, 145 (1972)