

열처리효과에 따르는 Ni/SiC 계면의 전기적 특성

금 병훈*, 강 수창*, 도 석주**, 제 정호**, 김 영호***, 신 무환*

(Byong-Hun Kum*, Soo-Chang Kang*, Seok-Joo Doh**, Jung-Ho Je**, Young-Ho Kim***, and Moo-Whan Shin*)

Variation of Electrical characteristics of the Ni/SiC interface with annealing effect

Abstract

Ni/3C-SiC 음극 접합에 대한 미세구조적-접합 특성과의 상관관계를 규명하였다. 3C-SiC 웨이퍼 위에 저 저항 전면 음극 접합층을 형성하기 위하여 Ni(t=3000 Å)을 thermal evaporator를 사용하여 증착하고, 500 °C, 800 °C, 1030 °C 온도에서 30분간(Ar 분위기) 열처리한 후, scratch test를 실행하여 Ni/3C-SiC의 접착력 특성을 조사하였다. 여러 다른 온도에 따른 Ni/3C-SiC 층의 표면과 계면의 미세구조는 X-ray scattering법을 사용하였다. 500 °C에서 열처리된 Ni/SiC 층은 가장 낮은 계면 평활도와 가장 높은 표면 평활도를 나타내었다. Ni/SiC 접착력 분석에서 500 °C 열처리된 시편의 측정된 임계하중 값은 As-deposited 시편(12 N~13 N)보다 훨씬 낮은 2 N~3 N 범위의 값을 보였으나, 열처리 온도가 증가함에 따라 다시 높아지는 경향을 보였다. 미세구조 특성에서는 열처리 온도가 500 °C 이상에서는 NiSi₂ silicides의 domain size는 결정성의 향상에 따라 증가되었다. 결정성 향상이 3C-SiC와 silicides 사이의 격자상수의 낮은 불일치를 완화시키는데 기여하였다.

Key Words(중요용어) : Ni/3C-SiC Ohmic 접합, scratch test, X-ray scattering법, 미세구조적-접합 특성, 접착력 특성

1. 서 론

신뢰성 있는 금속/반도체 접합은 모든 반도체 소자의 제작에 있어서 가장 기본적인 필수 조건이다. 특히, 음극 접합은 반도체 칩(Chip)안의 개별소자들 뿐만 아니라 이들을 외부회로와 연계시키고 있다^{1,2)}. 그러나 대부분의 반도체 소자들은 소자제작 공정 중이나 제작 후 고온이나 열악한 환경 속에 노출되는 경우가 많으므로 음극 접합은 낮은 접촉 저항 뿐 만 아니라 열적, 화학적 안정성이 요구된다.

따라서 본 연구에서는 우수한 전자포화속도, 항복시 높은 전기장 세기, 높은 열전도도로 인해 고주파, 고출력, 고온용 소재로 관심 받고 있는 3C-SiC음극 접합 재료로서 많이 이용되고 있는 Ni 금속과의 음극 접합을 여러 다른 열처리 조건에 의해서 형성하고 기계적인 특성인 접착력(adhesion force) 특성을 조사하였고, 계면과 표면의 미세구조를 X-ray scattering과, RBS(Rutherford backscattering spectroscopy), AES(Auger electron spectroscopy) 등으로 조사하고, 이를 Ni/3C-SiC 간의 접착력 분석 결과와 비교하여 그 최적 공정조건을 제시하고자 하였다³⁾.

* : 명지대학교 세라믹공학과/전자소재연구센터
(경기도 용인시 남동 산 38-2 Fax: 0335-330-6457
E mail: sckang@wh.myongji.ac.kr)
** : 포항공과대학교 금속재료공학부
*** : 한양대학교 재료공학부

2. 실험방법

본 연구에서 사용된 3C-SiC 웨이퍼는 약 1 μm 두께의 SiC 에피층이 4 ° off (100) Si 기판 위에

기상 증착법으로 성장되었으며, epi. 층의 전자농도는 약 $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 이다. 3C-SiC 웨이퍼 표면을 120 °C, 10 분간 $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2$ (4 : 1) 용액 처리를 하여 표면에 있는 유기물질을 제거한 후, 30초간 탈이온 증류수로 씻어내고, 10초 동안 2% HF로써 산화막을 제거하였다. 그리고 다시 탈이온 증류수로써 30 초간 씻어낸 후, $\text{NH}_4\text{OH} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 1 : 1 : 5$ 비율의 용액과 $\text{HCl} : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 1 : 1 : 5$ 인 용액으로 각각 5 분간 에칭을 하고, 탈이온 증류수 처리와 최종적으로 N_2 가스를 이용하여 건조하였다. 세정공정 후, 낮은 저항을 갖는 전면 옴믹 집합층 (low-resistance blanket ohmic contact layer)을 형성하기 위하여 니켈($t=3000 \text{ \AA}$)을 10^7 torr의 압력 하에서 thermal evaporator를 사용하여 증착하였다. Ni/SiC 옴믹 접합에 대한 열처리는 미리 가열된 tube형 furnace내에 1000 °C 온도에서 30분 동안 시행하였고, 열처리 과정과 냉각(냉각속도 5 °C/min) 중에는 Ar(99.999 %)이나 O_2 를 1.4 L/min의 유량으로 주입하였다. 준비된 시편을 이용하여 접촉력 평가로서 acoustic emission-frictional force mode에서 스크래치 테스트(CSEM/REVESR scratch tester)를 실행하였다. diamond tip은 vertical speed(100 N/min)와 horizontal speed(10 mm/min)로 Ni 박막 위에 scratch를 발생시키게 되는데, 이때 접촉력의 결여로 인하여 발생하는 damage가 관찰될 수 있는 최소의 하중인 임계 하중(critical load)은 광학 현미경, friction-coefficient, acoustic emission detection에 의하여 결정하였다. 그리고 열처리 효과에 따라서 Ni/3C-SiC 접합의 접촉력에 미치는 미세구조 및 화학적 변화를 관찰하기 위하여 SEM(Scanning electron microscopy), AES, RBS, X-ray scattering 방법을 이용하여 Ni/3C-SiC 표면 및 계면 특성을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 scratch test 결과 열처리 효과에 따른 임계 하중의 변화를 나타낸다. Ar 분위기와 O_2 분위기에서 열처리한 결과, as-deposited 상태의 시편이 상대적으로 가장 큰 임계 하중값을 갖고 있었으나 열처리 온도가 증가함에 따라 임계 하중값은 낮아지다가 다시 증가하는 경향을 보였다. 그림 2는 광학 현미경을 통하여 Ar 분위기에서 열처리 된 Ni/3C-SiC 시편의 scratch

failure mode를 나타낸 것이다.

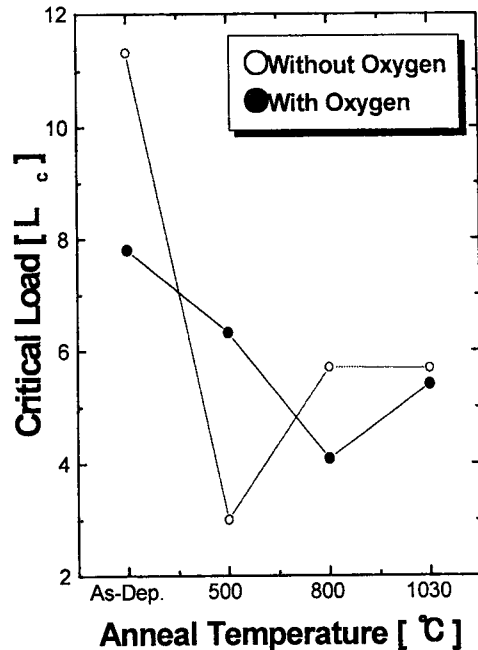


그림 1. 열처리 온도에 따른 임계 하중(Lc)의 변화

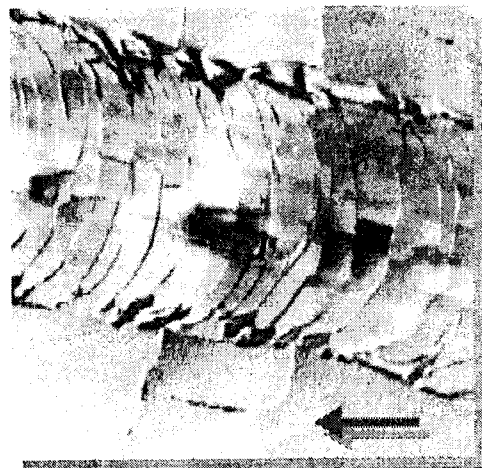


그림 2. Scratch failure 모드(tensile cracking)

박막 파괴 형태가 전형적인 tensile-cracking failure를 보임을 알 수 있다. 금속/SiC 접합의

움막 접합을 구현하기 위하여 대부분 고온(~1000 °C 이상)에서 열처리를 하게 되는데 Ni의 경우, 열처리에 따라 접착력은 상당히 떨어진다. 박막의 두께 등과 같은 요소로 인해 임계하중의 절대값은 변화하겠지만, 본 실험의 scratch test를 통하여 정량적으로 얻은 임계하중 값에서 열처리 한 시편들은 as-deposited 시편의 임계하중 값인 11.31 N을 넘어서지 못하였다. 그림 3은 Ar 분위기에서 열처리한 시편들의 열처리 온도에 따른 reflectivity의 변화를 X-ray scattering 분석으로 조사한 것이다.

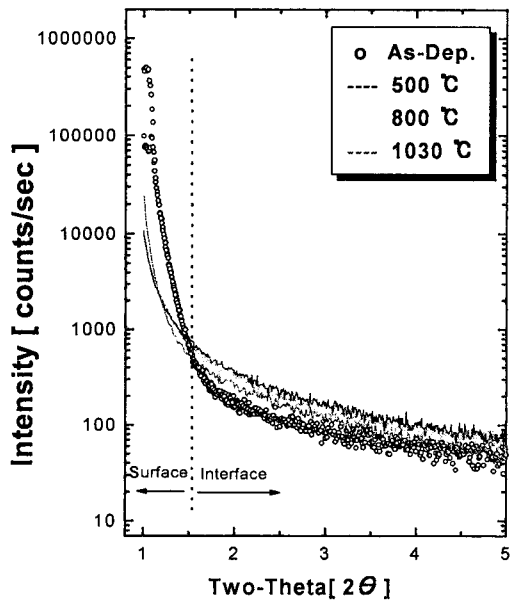


그림 3. 500 °C, 800 °C와 1030 °C에서 열처리 후, Reflectivity의 변화

열처리에 따라 표면에서의 거칠기는 증가하였지만, 계면에서의 거칠기는 500 °C에서 열처리한 시편이 가장 낮았다. Reflectivity 결과로부터 열처리에 따라 Ni/3C-SiC 계면에서부터 표면까지 새로운 반응 생성물이 발생했다는 것을 알 수 있다. 열처리한 시편들의(Ar 분위기) 각각의 온도(as-deposited, 500 °C, 800 °C, 1030 °C)에 따른 X-ray scattering(long scan) 결과, as-deposited 시편의 경우에서 Ni (111), (200) 피크와 SiC

(200) 피크를 볼 수 있었다. Ni 피크에 대한 theta rocking을 실행해 본 결과 powder 형태로서 3C-SiC/Si에 증착되었다는 것을 알 수 있었으나, SiC (200) 피크의 theta rocking 결과에서는 반감폭 0.734의 우수한 결정방향성이 나타났다. 열처리 온도가 500 °C로 증가하면서 Ni 피크의 intensity와 반감폭이 향상됨에 따라 domain size가 증가하였고 Ni/3C-SiC 계면에 silicide가 생성되었다. 생성된 silicide들 중 NiSi₂ 피크에 대해 theta rocking한 결과로부터, NiSi₂는 800 °C에서 1.1134의 반감폭을 나타내는 결정방향성이 우수한 상태였으며 열처리 온도가 증가함에 따라 crystallinity도 향상(반감폭 = 1.026, 1030 °C)되는 결과를 보였는데 그 이유는 lattice constants(a=5.406 Å)가 생성된 다른 silicides에 비하여 3C-SiC(a=4.3596 Å)에 가장 가깝기 때문이라 생각된다⁴⁾.

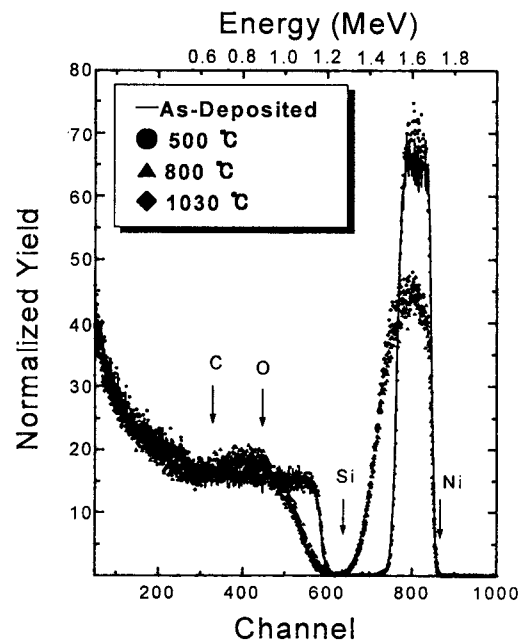


그림 4. O₂ 분위기 내 500 °C, 800 °C, 그리고 1030 °C에서 열처리 후, Ni/3C-SiC에 대한 RBS Spectra

그림 4는 as-deposited 시편과 O₂ 분위기에서 각각 500 °C, 800 °C, 1030 °C에서 열처리한 시편

의 RBS스펙트럼을 나타낸 것이다. As-deposited 시편의 채널 730과 760 사이에서 Ni 신호의 굴곡이 발견되는데, 이것은 Ni의 표면이나 또는 Ni/3C-SiC 계면의 평활도가 좋지 못한데서 원인을 찾을 수 있다⁵⁻⁶⁾. RUMP 모사프로그램을 이용하여 분석한 결과, 500 °C에서 열처리한 시편의 경우 표면에 Ni보다는 상대적으로 적은 양의 산소가 존재하고 계면에는 silicide가 생성되었음을 알 수 있었다. O₂ 분위기에서 열처리한 경우, 산소원자가 계면 내부로 확산하고 C 원자가 계면에 축적됨으로써 접착력이 감소했다고 생각된다(그림 4)⁷⁾.

4. 결 론

본 연구에서는 Ni/3C-SiC 접합계면의 미세구조와 접착력 특성의 상관 관계를 통하여 설명 adhesion test와 X-ray scattering 분석을 하였다. scratch test를 통하여 Ni/3C-SiC 접합의 접착력을 조사한 결과, Ar 분위기에서 열처리한 시편의 경우, 열처리를 하지 않은 시편(12 N~13 N)보다 임계하중은 낮은 값을 보였으나 500 °C 이후 다시 증가하는 경향을 보였다. X-Ray Scattering결과, Ni은 (111)과 (200) 방향으로 powder 형태로 증착되었고, 500 °C에서 Ni-silicide가 존재한 후 800 °C 이후에서는 Ni이 모두 silicide를 형성하는데 소비되었다. 800 °C 이후 Powder 형태로 존재하는 silicide 중 단결정화가 진행중인 NiSi₂를 확인하였다. O₂ 분위기에서 열처리된 시편의 경우 scratch test 결과, 열처리를 함에 따라서 임계하중은 감소하다가 다시 증가하는 경향을 보였다. 따라서 열처리 온도와 분위기에 따른 Ni/3C-SiC 접합의 접착력 변화 특성은 계면에서 발생하는 silicide와 외부에서 유입되어 시편 내부로 확산하는 산소 원자로 인한 Strain 변화, 과도하게 발생하는 silicides, 그리고 계면에서의 평활도에 직접적인 지배를 받는다고 결론지을 수 있다.

감사의 글

본 연구는 1998년도 명지대학교 정보통신우수 학교 지원사업으로 수행되었음.

참 고 문 헌

1. 김인회, 정재경, 박재근, 신무환, 한국재료학회, 제 7권, 제 11호, pp. 1018, 1997.
2. C. Arnodo, S. Tyc, and C. Brylinski, Inst. Phys. Conf. Ser. No 142, pp. 577, 1996
3. Charles E. Weitzel, John W. Palmour, Calvin H. Carter, Jr., Karen Moore, Kevin J. Nordquist, Scott Allen, Christine Thero, and Mohit Bhatnagar, IEEE transactions on Electron Devices 41(10), 1732-1741, (1996)
4. Iver Lauermann, Rudiger Memming, and Dieter Meissner, J. Electrochem. Soc., 144(1), p.73-80. 1997
5. Slack, G. A., J. Appl. Phys., 35, 3460, 1964
6. Choyke, W. J., Hamilton, D. R., and Patrick, L., Phys. Rev., 133, A 1163, 1964
7. B. Hammer, A. J. Perry, P. Laeng and P. A. Steinmann, Thin Solid films, 96, 45, 1982