

100nm 이하 CMOS 소자의 Source/Drain dopant 종류에 따른 Nickel silicide의 특성분석

배미숙, 김용구, 지희환, 이현진, 오순영, 윤장근, 박성형*, 왕진석, 이희덕
충남대학교 전자공학과, (주) 하이닉스 반도체 System IC Logic 소자 개발팀*

Analysis of Dopant dependence in Ni-Silicide for Sub-100 nm CMOS Technology

Mi-Suk Bae, Yong-Goo Kim, Hee-Hwan Ji, Hun-Jin Lee, Soon-Young Oh, Jang-Gn Yun,
Sung-Hyung Park*, Jin Suk Wang, and Hi-Deok Lee
Dept. of Electronics Engineering, Chungnam National University,
Hynix semiconductor Inc. System IC R&D Division*

Abstract

In this paper, the dependence of Ni-silicide properties such as sheet resistance and cross-sectional profile on the dopants have been characterized. There was little dependence of sheet resistance on the used dopants such as As, P, BF₂ and B₁₁ just after RTP (Rapid Thermal Process). However, the silicide properties showed strong dependence on the dopants when thermal treatment was applied after formation of Ni-silicide. BF₂ implanted sample shows the best stable property, while B₁₁ implanted one was thermally unstable. The main reason of the excellent property of BF₂ sample is believed to be the retardation of Ni diffusion by the fluorine.

Key Words : BF₂, B₁₁, Ni diffusion, Ni silicide

1. 서론

Silicide는 낮은 비저항과 낮은 일함수로 접촉저항을 줄이는데 효과적인 재료로 널리 사용되고 있으며 [1] 최근에는 차세대 반도체, ULSI process에 적합한 실리사이드로 니켈 실리사이드가 새롭게 제안되어 연구되어지고 있다. Ni-silicide는 한번의 열처리 과정만으로도 14 $\mu\Omega\text{cm}$ 의 낮은 비저항을 갖는 nickel mono-silicide (NiSi)를 얻을 수 있고, 형성된 NiSi는 0.1 μm feature size를 갖는 좁은 폭의 poly silicon gate 위에서도 비저항 증가가 거의 없는 것으로 알려져 있다[2]. 또한 NiSi는 열처리 시 사용되는 질소와 반응을 하지 않을 뿐만 아니라 증착된 대부분의 Ni film은 Si과 반응하여 NiSi을 형성하기 때문에 반응 시 소비되는 Si의 양을 정확히 조절할 수가 있다. 더욱이 일정두께의 NiSi를 형성시키는데 소비되는 Si의 양이 다른 silicide, 특히 CoSi₂ 보다

훨씬 적다는[3] 매우 큰 장점을 가지고 있기 때문에 ultra-thin junction이 필요한 deep sub-micron integrated circuit에 매우 적합한 silicide라고 말할 수 있다.

이러한 NiSi가 실제 CMOS에 응용되기 위해서는 ULSI에 사용되는 불순물이 도핑되어 있는 시편에 대해서 silicide 특성을 보고 그에 따른 분석을 하는 것은 필수적이라고 여겨진다. PMOS인 경우에는 Source/Drain에 BF₂ 와 B₁₁이 많이 사용되고 있는데, 각각에 대한 Ni-Silicide의 의존성을 파악하여 어느 Dopant가 바람직한지 분석하는 것이 매우 필요하다고 여겨진다.

본 논문에서는 Source/Drain에 BF₂ 또는 B₁₁이 주입된 경우에 대하여 Ni-silicide의 특성 분석을 실시하여 실제 CMOS 기술에 적용되었을 때 발생할 수 있는 현상들을 분석하고 문제점을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 실험

P-type 불순물이 silicide에 미치는 영향을 관찰하기 위해 BF_2 (20KeV , 4×10^{15}), B_{11} (10KeV , 4×10^{15})이 주입된 시편을 전기로를 이용하여 850°C 에서 30분간 활성화시키고 Ion Beam Sputter를 이용하여 base pressure 10^{-7} Torr에서 니켈 200Å을 증착하였다. 그리고 NiSi를 형성시키기 위해 급속열처리(Rapid Thermal Processing)로 3×10^{-2} torr에서 온도를 400°C 에서 750°C 까지 변화시키면서 30초간 급속 열처리하였다. 반응하지 않은 nickel을 제거하기 위해 에칭을 하고 silicide의 면저항을 측정하였다. 열안정성을 보기위해서 500°C 에서 30초간 RTP를 실시한 후 Furnace 600, 700, 800°C 에서 각각 30분간 열처리를 하였다. 면저항은 Four-Point-Probe를 사용하여 측정하였다. 편의상 본 논문에서는 실리사이드 형성 시 열처리를 '급속 열처리(RTP)'라 하고 열안정성 실험에 대해서는 '열처리'라고 하겠다. 비교를 하기 위해 불순물이 없는 시편에 대해서도 같은 실험을 반복하였다. silicide phase를 보기 위해 X선 회절분석기(X-Ray Diffractometer : 기초과학지원연구소 대구분소, 모델명 X'PERT)를 이용하여 성분을 분석하였으며, 투과전자현미경 (Transmission Electron Microscope)과 FESEM(Field Emission Scanning Electron Microscope, 기초과학지원연구소 전주분소, 모델명 S-4700)으로 형성된 Silicide의 두께와 형태를 관찰하였다.

2.2 Silicide의 불순물에 대한 영향

Ni 200Å을 증착한 시편에 대해서 $400^\circ\text{C} \sim 750^\circ\text{C}$ 를 50°C 간격으로 나누어 RTP를 실시한 후 면저항을 측정하였다. 그림 1을 보면 700°C 까지는 낮은 비저항을 갖는 NiSi가 안정적으로 형성되었고 750°C 에서는 높은 비저항을 갖는 NiSi_2 ($35 \sim 50 \mu\Omega\text{cm}$)로 변이가 되기 시작함을 예측할 수 있으며 이를 그림 2와 같이 X선 회절 분석으로 확인하였다. 하지만 750°C 에서 disilicide의 양이 아주 소량으로 XRD peak가 관찰되지는 않았다.

우선 면저항을 비교해보면 BF_2 는 B_{11} 에 비해 대체로 높은 저항을 나타내지만 750°C 까지 안정적인 것을 알 수 있다. B_{11} 은 750°C 에서 저항 증가폭이 커지고 있어 두 dopant의 차이가 두드러지게 나타났다. 따라서 fluorine이 있는 dopant는 disilicide의 변화를 억제시키는 것으로 예측되어진다. Nickel은 모두 같

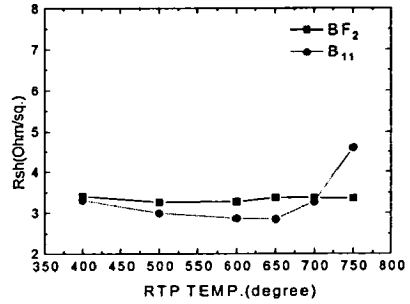


그림 1. RTP 온도에 따른 실리사이드 면저항의 특성

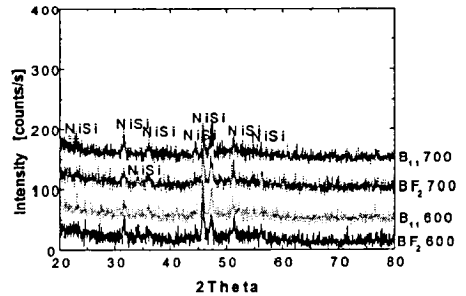


그림 2. RTP $500, 750^\circ\text{C}$, 30초간 실시한 후 XRD Spectra 분석

은 조건에서 증착하였고 α -step으로 측정된 결과 두께가 200Å임을 확인하였으므로 이는 오로지 불순물만의 영향임을 알 수 있다. 그러므로 fluorine이 있는 dopant는 disilicide의 변화를 억제시키는 것으로 예측되어진다. Nickel은 모두 같은 조건에서 증착하였고 α -step으로 측정된 결과 두께가 200Å임을 확인하였으므로 이는 오로지 불순물만의 영향임을 알 수 있다. RTP 후 Fluorine이 Silicide/Silicon 계면에 존재하게 되어 확산 방해로 Silicide 형성을 억제[4]함으로 인해 Silicide의 두께가 얇게 형성되고 면저항이 다소 커진 것으로 추측할 수 있다 SEM단면 사진으로 silicide의 두께를 확인해본 결과 그림 3에서와 같이 BF_2 보다 B_{11} 가 더 두꺼웠다. 또한 500°C 에서 Silicide 형성 후 Silicide/Silicon 계면의 형태는 불순물의 종류에 관계없이 일정함을 그림 3에서 단면 사진으로 확인하였다.

Ni의 확산 정도를 보기 위해 그림 4에서와 같이 XPS로 깊이에 따른 성분 분석을 하였다. 그림 4를 보면 500°C 도 30초 RTP후 Ni와 Si가 거의 1:1 성분비를 하고 있으며 BF_2 와 B_{11} 비슷한 profile을 갖고 있다. 성분비로 보아 mono silicide를 형성하고 있음 추측할 수 있으며 그림 2의 XRD 데이터와 일치함을 알 수 있다.



그림 3. 500도 30초 RTP 후 각 sample의 단면 FESEM사진

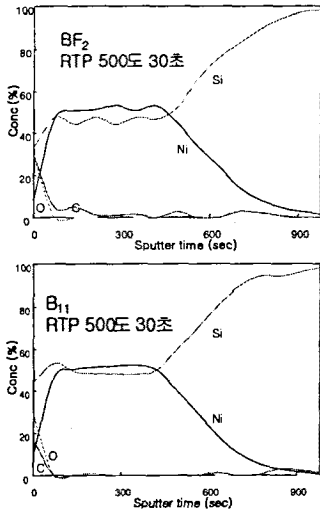


그림 4. 500도 30초 RTP후 Silicide의 XPS 성분 분석

2.3 불순물에 따른 Silicide의 열안정성

Ni silicide의 단점 중 가장 큰 것은 후속공정의 높은 온도에서 열적으로 불안정하다는 것이다. 이를 개선하기 위해서 Ti, TiN, SiO₂ 등의 capping layer를 적용하기도 하며 다른 방법으로 N₂를 주입을 하기도 하였다[2][5]. 하지만 본 논문에서는 다른 처리를 하지 않고 Ni만 증착 하였을 때 dopant의 영향에 대해서 실험하였다. 500 °C에서 30초간 급속열처리한 시편을 600°C, 700°C, 800°C에서 각각 30분간 열처리한 후 면저항을 측정하였는데 RTP만 한 경우는 그림 1과 같이 별로 차이가 없었지만 열안정성은 그림 5에서와 같이 불순물의 종류에 따라 큰 차이를 보이고 있다.

열안정성이 가장 좋은 것은 BF₂ 700도 30분까지는 안정적인임을 확인하였다. 600도 열처리에서 모든 sample은 면저항의 변화는 거의 없었으며 그림 6과

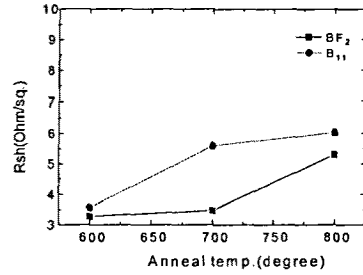


그림 5. Annealing 온도에 따른 면저항 특성

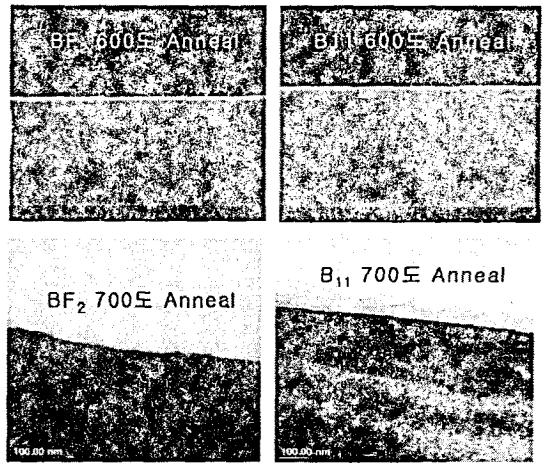


그림 6. 600,700도 30분 annealing 후 silicide/silicon의 단면사진

같이 단면 profile을 분석한 결과 계면상태도 열화되지 않았음을 확인하였다. 700도에서 열화되기 시작한 B₁₁을 살펴보면 Silicide/silicon 계면이 크게 저하되지는 않았지만 BF₂에 비해 Silicide가 더 두껍다. 앞서서도 언급했듯이 Fluorine은 Silicidation을 억제시킨다는 것을 다시 확인하였다.

열화가 심한 경우에는 응집이 발생하고 계면 상태가 저하되는데 이런 현상은 접촉면적을 증가시키고 얇아진 Silicide부분의 전류밀도가 증가하여 심한 누설전류를 발생시키게 된다 [6]. p-type으로 BF₂가 주입된 경우에는 fluorine이 Ni의 확산을 방해하므로 열안정성 면에서는 B₁₁에 비해 매우 안정한 것으로 나타났다. 700도 30분까지는 면저항도 안정적이고 agglomeration도 일어나지 않았다. 그림 7을 보면 700도에서 30분간 Annealing 후 XRD 분석결과 여전히 NiSi₂ peak는 관찰되지 않았다. 700도에서 disilide로 변이하는 양은 아주 소량으로 관찰되지

않는 것으로 생각된다. Annealing 후 실제 Ni가 어느 정도 확산해 들어갔는지를 살펴보기 위해 XPS로 depth profile을 분석하였다. 그림 7을 보면 BF₂가 Ni:Si=1:1로 Ni의 확산이 가장 느리고 그림 8에서 mono silicide로 안정적임을 알 수 있으며 B₁₁은 Ni가 이미 확산해 들어가서 Silicide layer가 silicon rich로 되어가고 있음을 알 수 있다. 이런 현상은 silicon과 반응은 하지 않아 disilicide peak는 관찰되지 않지만 Silicide의 면저항을 증가시키고 있다.

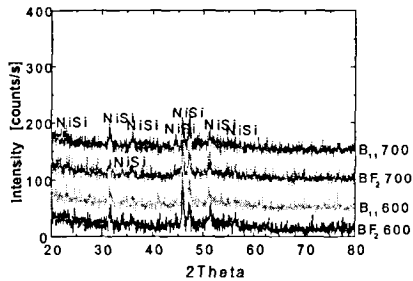
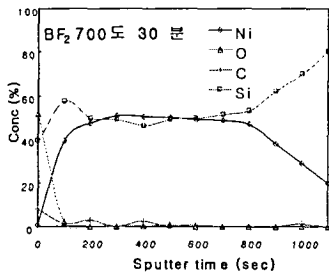
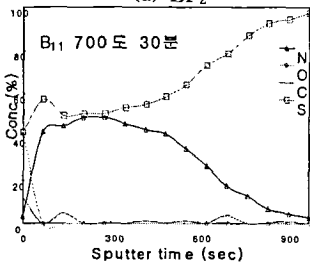


그림 7. 600, 700도 30분간 annealing 후 XRD 분석



(a) BF₂



(b) B₁₁

그림 8. 700도 30분간 annealing 후 Silicide의 XPS 성분 분석

3. 결론

RTP 후 dopant에 따른 면저항을 살펴보면 BF₂ 경우가 B₁₁ 보다 높았으며 Silicide의 형태는 dopant에 관계없이 Silicide/silicon 계면상태가 모두 uniform

하였다. 하지만 두께에 있어서는 BF₂가 있는 sample이 B₁₁ 보다 얇게 형성되었다. 열안정성 면에서 보면 BF₂가 주입된 active가 700도 30분까지는 면저항과 계면상태 모두 안정적으로 나왔으며 Fluorine의 Silicidation억제는 열안정성 면에서 매우 효과 적었다. 따라서 PMOS 소자의 Source/Drain에서는 B₁₁보다 BF₂를 사용하는 것이 더 바람직하다고 여겨진다. 그러나 Source/Drain 및 Poly를 동시에 doping 하기 위해서는 B₁₁이 더 바람직하므로 이 경우에는 fluorine을 Silicide 공정 전에 주입하여 Ni-silicide의 특성을 개선시키는 것을 생각해 볼 수 있다.

Acknowledgments

- 이 연구는 BK21충남대학교 정보통신인력양성사업단의 지원을 받았음.

참고 문헌

- [1] J. D. Lee, B. C. Shim, and B. G. Park, "Silicide Application on Gate Single-Crystal, Polycrystalline and Amorphous Silicon FEAs Part 2 : Co Silicide", IEEE Trans. on Electron Dev., Vol. 48, No. 1, Jan. 2001.
- [2] T. Ohguro, S. ichi, "Analysis of Resistance Behavior in Ti and Ni-Salicyded polysilicon Films", IEEE on Electron Dev., Vol. 41, No. 12 Dec. 1994.
- [3] A. Lauwers, "Material aspects, electrical performance, and scalability of Ni silicide towards sub-0.13 μ m technologies", J. Vac. Sci. Technol. B19(6), Nov/Dec 2001
- [4] S. L. Zhang, U. Smith, R. Buchta, M. Osting, "An experimental study of the influence of oxygen on silicide formation with tungsten deposited from tungsten hexafluoride", J. Apl. Phys., 1 Jan. 1991.
- [5] C. J. Choi, Y. W. Ok, T. Y. Seong, H. D. Lee, "Effects of SiO₂ Capping Layer on the Electrical Properties and Morphology of Nickel silicide", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 41, 2002.
- [6] K. Goto, "A Comparative Study of Leakage Mechanism of Co and Ni-Salicide", Processes, 1998 IEEE, 36th Reliability Phy. Sym., 1998.