

CMOS소자를 위한 Ni Silicide의 Dopant에 따른 영향분석

배미숙, 지희환, 이헌진, 안순의, *박성형, *이기민, *이주형, 왕진석, 이희덕
충남대학교 전자공학과, *(주)하이닉스
전화: (042)821-7702/ 팩스(042)821-9544/ 핸드폰:011-421-740

Analysis of Dopant Effects in Ni-Silicide for CMOS Technology

Mi-Suk Bae, Hee-Hwan Ji, Hun-Jin Lee, Soon-Eui Ahn,
*Sung-Hyung Park, *Key-Min Lee, *Joo-Hyoung Lee, Jin Suk Wang, and Hi-Deok Lee
Dept. of Electronics Engineering, Chungnam National University
*Hynix Semiconductor Co., Ltd
E-mail : baemi@pony.cnu.ac.kr

Abstract

The dependence of NiSi properties such as sheet resistance and cross-sectional profile on the dopants was characterized. There was little difference of sheet resistance between various dopants such as As, P, BF₂ and B just after RTP formation of NiSi. However, the NiSi properties showed strong dependence on the dopants when thermal treatment was applied after RTP formation. BF₂ implanted silicon was the best stable property while As implanted one was the worst. The main reason of the excellence property of BF₂ sample is believed to be the retardation of Ni diffusion by the F. Therefore, retardation of Ni diffusion is very desirable for high performance NiSi technology.

I. 서론

Silicide는 낮은 비저항과 낮은 일함수로 접촉저항을 줄이는데 효과적인 재료로 최근에는 차세대 반도체, ULSI process에 적합한 실리사이드로 니켈 실리사이드가 새롭게 제안되어 연구되어지고 있다[1]. Ni-silicide는 한번의 열처리 과정만으로도 14 $\mu\Omega$ cm의 낮은 비저항을 갖는 nickel mono-silicide (NiSi)를 얻을 수 있고, 형성된 NiSi는 0.1 μ m feature size를 갖는 좁은 폭의 poly silicon gate 위에서도 비저항 증가가 없는 것으로 알려져 있다[8]. 또한 NiSi는 열처리 시 사용되는 질소와 반응을 하지 않을 뿐만 아니라 증착된 대부분의 Ni film은 Si와 반응하여 NiSi를 형성하기 때문에 반응 시 소비되는 Si의 양을 정확히 조절할 수가 있다. 더욱이 일정두께의 NiSi를 형성시키는데 소비되는 Si의 양이 다른 silicide, 특히 CoSi₂보다 훨씬 적다는 매우 큰 장점을 가지고 있기 때문에 ultra-thin silicon layer를 갖는 deep sub-micron integrated circuit에 매우 적합한 silicide라고 말할 수 있다. 이러한 NiSi가 실제 CMOS 응용되기 위해서는 불순물이 도핑되

어 있는 시편에 대해서 silicide 특성을 보고 그에 따른 분석을 하는 것은 필수적이라고 여겨진다.

본 논문에서는 Active와 poly에서 n-type으로는 As, P 이 p-type으로는 BF₂, B₁₁이 주입된 경우에 대하여 Ni-silicide의 특성 분석을 실시하여 실제 CMOS 기술에 적용되었을 때 발생할 수 있는 현상들을 파악하고 바람직한 Dopant가 무엇인지 제시하고자 한다.

II. 본론

2.1 실험

불순물이 silicide에 미치는 영향을 관찰하기 위해 n_type, p_type active와 poly silicon 각각에 BF₂ (20KeV, 4×10^{15}), B₁₁ (10KeV, 4×10^{15}), As (50KeV, 5×10^{15}), P (40KeV, 5×10^{15})가 주입된 시편을 전기로를 이용하여 850 $^{\circ}$ C에서 30분간 활성화시키고 Ion Beam Sputter를 이용하여 base pressure 10⁻⁷ Torr에서 니켈 200A을 증착하였다. 그리고 NiSi를 형성시키기 위해 급속열처리(Rapid Thermal Processing)로 3×10^{-2} torr에서 온도를 350 $^{\circ}$ C에서 800 $^{\circ}$ C까지 변화시키면서 30초간 급속 열처리하였다. 반응하지 않은 nickel을 제거하기 위해 에칭액(HCl:H₂O₂:H₂O)에 2분 동안 에칭을 하고 silicide의 면저항을 측정하였다. 열안정성을 보기위해서 NiSi를 형성한 후 600, 700, 800 $^{\circ}$ C에서 각각 30분간 열처리를 한 후 면저항을 측정하였다. 편의상 본 논문에서는 실리사이드 형성 시 열처리를 '급속열처리(RTP)'라 하고 열안정성 실험에 대해서는 '열처리'라고 하겠다. 비교를 하기위해 불순물이 없는 시편에 대해서도 같은 실험을 반복하였다. 면저항은 Four-Point-Probe를 사용하여 측정하였다. silicide의 성분을 보기 위해 X선 회절분석기(X-Ray Diffractometer : 기초과학연구원연구소 대구분소,

모델링 X'PERT)를 이용하여 성분을 분석 하였으며, 투과 전자현미경 (Transmission Electron Microscope)과 FESEM(Field Emission Scanning Electron Microscope, 기초과학연구원 전주분소, 모델명 S-4700)으로 형성된 silicide의 두께와 형태를 관찰하였다.

2.2 Silicide의 전기적 성질에 대한 불순물의 영향

Ni 200Å을 증착한 시편에 대해서 350°C~800°C을 50°C간격으로 온도를 나누어 RTP를 실시한 후 면저항을 측정하였다. 그림1을 보면 700°C까지는 낮은 비저항을 갖는 NiSi가 안정적으로 형성되고 750°C에서는 높은 비저항을 갖는 NiSi₂(35~50 μΩcm)로 변이가 되었음을 알 수 있으며 이를 그림 2와 같이 X선 회절 분석으로 확인할 수 있었다. 우선 poly와 active silicon을 비교해보면 poly silicon이 약 15% 정도 면저항이 높으며 NiSi₂로 변이 되는 온도도 더 낮다. 이는 XRD 분석 결과 poly silicon은 750°C에서 NiSi₂ 피크가 확실히 보이지만 active silicon은 750°C에서도 아주 작은 피크를 보여주고 있거나 거의 없는 것으로부터 확인할 수 있었다.

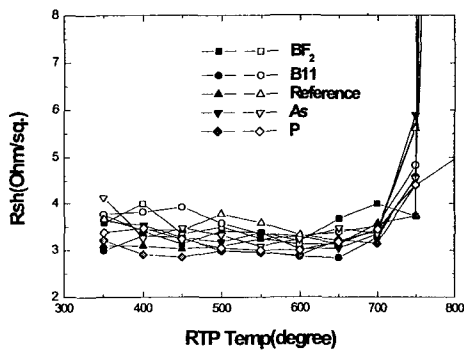


그림 1. 실리사이드 면 저항의 RTP 온도 특성 (Solid : Active, Open : Poly)
Fig. 1. Dependence of NiSi sheet resistance on the RTP temperature. (Solid : active, open : poly)

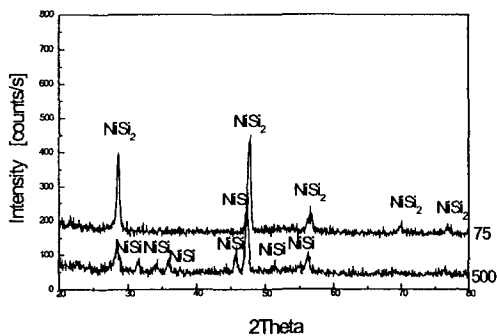


그림 2. 500°C, 750°C에서 형성된 실리사이드의 XRD Spectra 비교 (As poly)
Fig. 2. Comparison of GXRd spectra of Ni-silicide RTP processed at 500°C and 750°C (As poly)

이것은 확산 메커니즘 적으로 볼 때 높은 온도에서는 계면을 따라서 확산이 이루어지므로 poly의 경우 grain을 따른 확산이 잘 일어나기 때문으로 생각할 수 있다. 불순물의 종류에 따라 면저항을 살펴보면 최대0.5Ω/□의 차이가 있다. Ni는 모두 같은 조건에서 증착하였고 α-step으로 측정된 결과 두께가 200Å임을 확인하였으므로 이는 오로지 불순물 만의 영향임을 알 수 있다. active에서만 살펴보면 P를 주입한 경우에 가장 낮은 면저항을 갖고 있으며 가장 면저항이 높게 나온 것은 BF₂가 주입된 경우이다. Fluorine은 실리사이드의 형성을 억제하는 성질 때문에 silicide의 두께가 얇게 형성되어 면저항이 다소 커졌을 것으로 예측할 수 있다[5]. 하지만 Ni 두께가 200Å정도의 얇은 박막으로 silicide의 두께 차이를 확인할 수 없었다. 500°C에서 silicide 형성 후 silicide/silicon 계면의 형태는 불순물의 유무에 관계없이 일정함을 그림 3과 4와 같이 단면 사진으로 확인하였다.

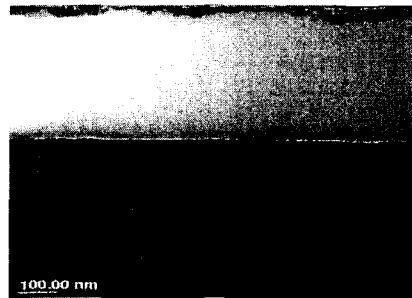


그림 3. 500°C에서 RTP한 Reference Sample의 단면 TEM사진
Fig. 3. Cross-sectional TEM image of reference sample with a RTP temperature of 500°C.



그림 4. 500°C에서 RTP한 As 도핑된 Sample의 실리사이드 FESEM 사진.
Fig. 4. Cross-sectional FESEM image of As-doped active region with a RTP temperature of 500°C.

2.3 불순물이 silicide의 열안정성에 미치는 영향

Ni silicide의 단점 중 가장 큰 것은 후속공정의 높은 온도에서 열적으로 불안정하다는 것이다. 이를 개선하기 위해서 Ti, TiN, SiO₂ 등의 capping을 하기도 하며 다른 방법으로 N₂를 주입을 하기도 하였다[3][4]. 하지만

본 논문에서는 다른 처리를 하지 않고 Ni만 증착하였을 때 Dopant의 영향에 대해서 실험하였다. 500 °C에서 30초간 급속열처리한 시편을 600°C, 700°C, 800°C에서 각각 30분간 열처리한 후 면저항을 측정하였는데 RTP만한 경우는 그림 1과 같이 별로 차이가 없었지만 열안정성은 그림 5와 같이 불순물의 종류에 따라 큰 차이를 보여주고 있다. 그리고 poly silicon은 active silicon에 비해 열적으로 더욱 불안정함을 알 수 있는데 이는 poly silicon의 grain을 통한 Ni의 빠른 확산으로 NiSi₂로의 변이가 더 잘 일어나기 때문이라고 여겨진다. 앞으로 Ni silicide를 실제 CMOS에 적용 하기 위해서는 poly silicon에 대해서 더 많은 연구가 있어야 할 것이다.

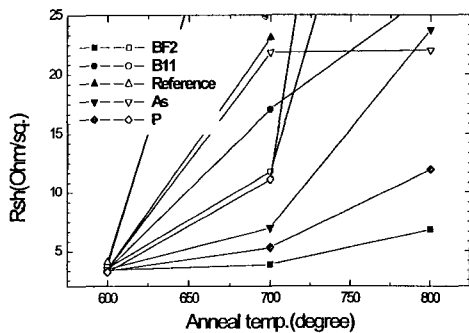


그림 5. Furnace Anneal 온도에 따른 면저항 특성. RTP : 500°C, 30초 (Solid : Active, Open : Poly)
 Fig. 5. The dependence of sheet resistance on the annealing temperature. (RTP : 500°C, 30s, solid : active and open : poly layer)

불순물이 열안정성에 미치는 영향을 우선 n-type에 대해 살펴보면 P인 경우가 As인 경우에 비해 상대적으로 저항 특성이 좋음을 알 수 있다. 이는 그림 6과 같이 단면사진으로부터 확인할 수 있는데 As인 경우에는 이미 600 °C부터 Agglomeration이 나타나고 있음을 보여준다. 그리고 조성 분석을 위한 XRD 결과를 그림 7과 같이 보면 이미 600 °C부터 NiSi₂ peak가 나타나며 700 °C에서는 매우 심함을 알 수 있다. 따라서 As인 경우에는 응집이 쉽게 발생하고 계면 상태가 저하되는데 이런 현상은 접촉면적을 증가시키고 얇아진 silicide부분의 전류밀도가 증가하여 심한 누설전류를 발생시키게 된다 [7]. 실제 CMOS에서는 n-type으로 P보다는 As이 주로 쓰이므로 n-type 개발에 많은 주의를 기울여야 한다.

p-type인 경우에는 그림 5와 같이 BF₂가 주입된 active가 열적으로 가장 안정한 것으로 나타났다. BF₂가 주입된 경우에는 앞서서도 언급했듯이 fluorine이 silicidation을 억제하여 silicide의 두께에 영향을 주어 silicide의 두께가 얇아서 면저항은 약간 높지만 열안정성 면에서는 확산억제제로 다른 불순물에 비해서 높은 온도에서 열적으로 매우 안정한 것으로 나타났다. 이는 그림 8의 단면사

전에 잘 나타나 있는데 Reference sample은 agglomeration이 매우 심하게 발생한 반면에 BF₂가 주입된 경우에는 매우-안정되게 형성되고 있음을 나타내고 있다. 각각의 경우의 NiSi의 조성비를 비교하기 위해 XPS 분석을 하였는데, Reference인 경우에는 그림 9(a)와 같이 Ni와 Si의 비율이 1:2인 것으로부터 NiSi₂로의 변이가 이미 일어났음을 알 수 있다. 반면에 BF₂인 경우에는 Ni와 Si의 비율이 1:1로 매우 안정적임을 알 수 있다.

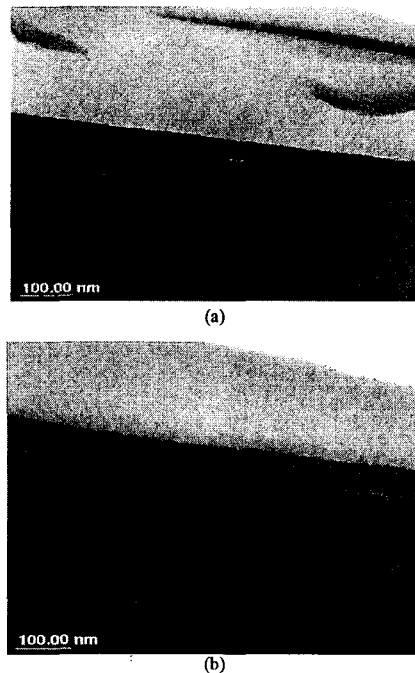


그림 6. 600°C에서 30분 열처리 후의 실리콘사이드의 단면TEM사진 (a) P doped and (b) As-doped active regions.
 Fig. 6. Cross-sectional TEM image of silicide annealed at 600°C for 30 minutes, (a) P-doped and (b) As-doped active regions

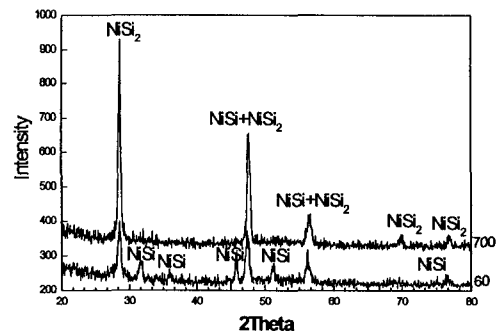


그림 7. 600 °C와 700°C에서 30분 열 처리후의 XRD 성분 비교 (As poly).
 Fig. 7. Comparison of GXR D spectra of silicide after furnace annealing at 600°C and 700°C for 30 minutes (As poly).

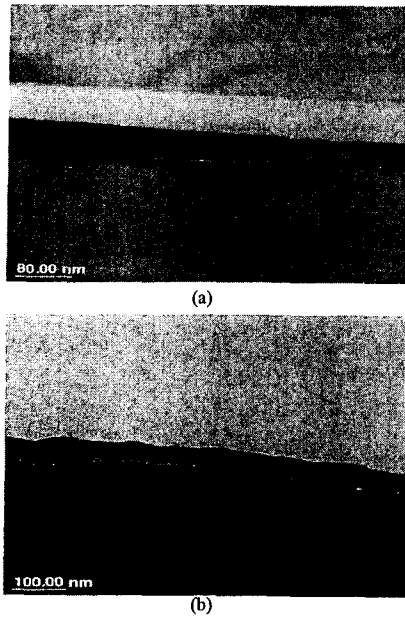


그림 8. 700°C에서 30분 열처리 후의 실리사이드의 단면 TEM 사진 비교 (a) Reference, (b) BF₂-doped active region
 Fig. 8. Comparison of cross-sectional TEM image of active region annealed at 700°C for 30 min, (a) reference and (b) BF₂-doped.

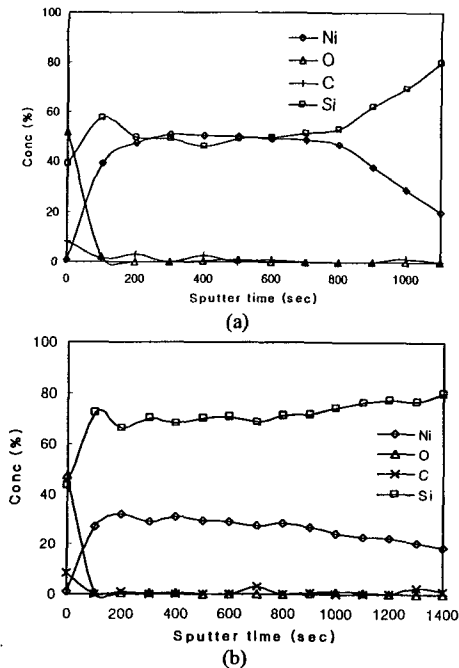


그림 9. 700°C 열처리 후 XPS 성분 분석 비교, (a) BF₂-doped and (b) reference samples.
 Fig. 9. Comparison of GXR D spectra of silicide annealed at 700°C, (a) BF₂-doped and (b) reference samples.

III. 결론

Active 영역에서는 silicide 형성 후 먼저함은 P를 주입한 p_type 이 가장 낮게 왔으며 BF₂가 주입된 n_type 이 높았다. poly는 active보다 약 15%(약0.5Ω /□)정도 면저항이 높게 나타났다. RTP후 실리사이드의 계면은 불순물의 유무에 관계없이 Silicide/silicon 계면상태가 모두 일정함을 알 수 있었다. 열안정성면에서 보면 BF₂가 주입된 n_type이 면저항과 계면 상태면에서 모두 안정적으로 나왔으며 As이 주입된 p_type은 600°C에서 열처리 후 Silicide/silicon 계면 상태가 가장 좋지 않음을 확인하였다. 그리고 모든 측정결과에서 poly는 active보다 Ni silicide의 특성이 훨씬 안 좋았으며 이 분야의 연구는 더 많이 이뤄져야 할 것이다. 그리고 active의 결과를 중심으로 생각해볼 때 불순물의 영향은 열처리후의 열안정성 면에서 더욱 두드러지게 나타났다. Fluorine의 확산 억제 효과는 열안정성면에서 매우 효과적임을 볼 때 silicide의 열안정성을 확보하기 위해서는 Ni의 확산을 억제시킬 수 있는 방법에 대해서 연구하는 것이 의미가 있을 것이다. 불순물이 열안정성에 영향을 미치는 만큼 불순물이 있는 경우에 대해서 capping 또는 interlayer와 같은 처리를 한다면 그 효과를 더욱 명확하게 확인할 수 있을 것으로 예측된다.

Acknowledgments

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2001-000-00323-0)지원으로 수행 되었음.

참고문헌

- [1] A. Lauwers, "Material aspects, electrical performance, and scalability of Ni silicide towards sub-0.13μm technologies" J. Vac.Sci. Technol. B19(6),Nov/Dec 2001
- [2] T. Morimoto, 'Self-Aligned Nickel-Mono silicide Technology for High Speed Deep Submicrometer Logic CMOS ULSI', 1995 IEEE
- [3] L. W. Cheng, 'Formation of nickel silicide on nitrogen ion implanted silicon', 1999 IEEE
- [4] C. J. Choi, 'Effect of SiO₂ capping Layer on the Electrical Properties and Morphology of Nickel Silicides', Jpn. J. Jppl. Phys.
- [5] T. P. Chow, "Titanumsilicide formation BF₂⁺ implanted silicon", Appl. Phys. Lett. January 1985
- [6] O. Thomas, 'Diffusion of boron, phosphorus, arsenic implanted in thin films of cobalt disilicide', J. Vac. Sci. Technol. A May/June 1988
- [7] K. Goto, 'A Comparative Study of Leakage Mechanism of Co and Ni Silicide Processes', 1998 IEEE
- [8] T. Ohguro, 'Analysis of Resistance Behavior in Ti- and Ni-Silicide Polysilicon Films', 1994 IEEE