

NiPt/Co/TiN 을 이용한 Ni Germanosilicide 의 열안정성 향상 및 Ge 비율 (x) 에 따른 특성 분석

윤장근, 오순영, 황빈봉, 김용진, 지희환, 김용구, 차한섭¹, 허상범¹, 이종근¹, 왕진석, 이희덕

충남대학교, 전자공학과

전화: 042-821-7702

¹하이닉스 반도체, 시스템 IC R & D 부

Thermal Stability Improvement of Ni Germanosilicide Using NiPt/Co/TiN and the Effect of Ge Fraction (x) in Si_{1-x}Ge_x

Jang-Gn Yun, Soon-Young Oh, Bin-Feng Huang, Yong-Jin Kim, Hee-Hwan Ji, Yong-Goo Kim, Han-Seob Cha¹,

Sang-Bum Heo¹, Jeong-Gun Lee¹, Jin-Suk Wang, and Hi-Deok Lee

Chungnam National University

Dept. of Electronics Engineering

E-mail : christie@cnu.ac.kr

¹System IC R & D Division, Hynix Semiconductor Inc.

Abstract

In this study, highly thermal stable Ni Germanosilicide has been utilized using NiPt alloy and novel NiPt/Co/TiN tri-layer. And, the Ni Germanosilicide properties were characterized according to different Ge ratio (x) in Si_{1-x}Ge_x for the next generation CMOS application.

The sheet resistance of Ni Germanosilicide utilizing pure-Ni increased dramatically after the post-silicidation annealing at 600 °C for 30 min. Moreover, more degradation was found as the Ge fraction increases.

However, using the proposed NiPt/Co/TiN tri-layer, low temperature silicidation and wide range of RTP process window were achieved as well as the improvement of the thermal stability according to different Ge fractions by the subsequent Co and TiN capping layer above NiPt on the Si_{1-x}Ge_x. Therefore, highly thermal immune Ni Germanosilicide up to 600 °C for 30 min is utilized using the NiPt/Co/TiN tri-layer promising for future SiGe based ULSI technology.

I. 서론

ULSI (Ultra Large Scale Integration) 공정이 급속히 발전함에 따라 전자 소자의 크기가 계속적으로 줄어들고 있으며, 최근에는 100 nm 이하의 나노 영역에서의 소자 제작 공정 기술에 대한 연구가 매우 활발히 진행되고 있다. 하지만 이에 수반한 게이트 산화막의 두께 감소 및 수직 방향의 전계 증가로 인하여 carrier 의 표면 집중 현상이 발생하게 된다. 따라서 표면에서의 산란으로 인하여 지속적인 단채널화에도 불구하고 이동도가 급격히 떨어지는 문제점이 발생하고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 대안으로 기존의 Si 기판 위에 격자 상수가 Si 에 비해 약 4 % 큰 Ge 을 Si 과 함께 성장시켜 SiGe 층을 형성함으로써 carrier 의 이동도를 향상시키는 기술이 매우 큰 관심을 끌고 있다.

또한, SALICIDE (Self-Aligned Silicide) 는 소스/드레인 그리고 게이트의 면저항 및 접촉저항을 낮추어 구동전류를 증가시킴으로써 스위칭 시간을 감소시켜 RC 지연을 줄이므로 고속 소자에 필수적인 공정이라 할

수 있다. 현재 CoSi_2 가 가장 널리 사용 되고 있으나, 게이트 길이가 100 nm 이하인 나노 CMOS 에서는 급격한 면저항 증가 및 높은 Si 소모율로 인한 접합 누설 전류 증가로 인하여 이를 대체할 silicide 기술이 매우 필요한 상태이며, NiSi 가 그 대안으로 유력하게 대두되고 있다. NiSi 는 증착한 Ni 이 거의 모두 Si 와 반응하기 때문에 소비되는 Si 의 양을 정확히 조절할 수 있을 뿐만 아니라, silicide 의 두께가 매우 얇아 ultra-thin poly-Si 층 및 소스/드레인 영역에서 얇은 접합을 갖는 나노 CMOS 기술에 매우 적합하다. 그러나 silicide 형성 후 진행되는 후속 열처리 공정에서의 열안정성이 매우 취약한 단점이 있다 [1]. 열안정성을 향상시키기 위해 현재 많은 연구가 진행 중에 있으며, 그 중 Ni 에 소량의 Pt 을 함유한 NiPt 합금 타겟을 이용한 열안정성 향상은 주목할 만 하다 [2, 3].

본 논문에서는 이러한 두 가지 선행 기술인 SiGe 및 Ni 를 이용한 silicide 기술을 조합하여 고온의 후속 열처리 공정 중에도 높은 열안정성을 유지하는 Ni Germanosilicide 형성 및 그 특성에 대하여 연구하였다. 이러한 Ni Germanosilicide 는 SiGe 층 내의 Ge 성분 조성비 (x) 에 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있는데, 일반적으로 Ge 성분 조성비가 증가함에 따라 그 특성이 열화된다 [4, 5]. 하지만, Ge 성분 조성비에 따라서 에너지 밴드갭 (0.66 ~ 1.12 eV), carrier 의 유효 이동도 및 유효 질량 등의 조절이 가능하게 되기 때문에 나노급 반도체 소자에서의 SiGe 적용을 위해서는 SiGe 층 내의 Ge 성분 조성비에 따른 Germanosilicide 의 형성 및 특성에 대한 연구가 매우 필요하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 Ge 성분 조성비가 다른 SiGe 기판 위에 형성된 Ni Germanosilicide 의 특징 및 열안정성에 대한 연구를 실시하였다. 또한, 향후 CMOS 소자 제작에 실제 적용 가능 하도록 하기 위하여 NiPt 합금 타겟 및 새롭게 제안된 NiPt/Co/TiN 구조를 이용하여 Ni Germanosilicide 의 열안정성 특성을 향상 시켰다.

II. 실험 방법

본 실험을 위하여 2000 Å 의 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 가 (100) Si 기판 위에 형성 되었으며, Ge 의 비율은 그림 1 에서와 같이 각각 0.12, 0.15, 0.18 로 나타났다. 또한 silicide 형성을 위한 금속으로 Ni 에 5 % 의 Pt 가 함유된 NiPt 합금 타겟을 이용하였다. 자연 산화막 제거를 위해 1 % HF 용액에 30 초간 에칭 하였으며, RF magnetron sputter 를 이용하여 NiPt/TiN (150/250 Å) 또는 NiPt/Co/TiN (80/15/250 Å) 를 base pressure 5×10^{-7} Torr 에서 순차적으로 증착하였다. 그리고, Ni Germanosilicide 를 형성을 위해 base pressure 3×10^{-2} Torr 이하에서 급속 열처리 (Rapid Thermal Process : RTP) 로 온도를 500 ~ 900 °C 로 변화시키면서 60 초간 열처리 하였다. Ni Germanosilicide 형성 후 반응하지 않은 금속 및 TiN capping 층은 $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ (4 : 1) 용액에서 선택적으로 식각하였다. 마지막으로, 열안정성 시험을 위하여 전기로에서 600 °C, 30 분간 고온 열처리 하였다. Four-point probe 를 이용하여 면저항을 측정하였고, XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy)로 depth profile 을 분석하였으며, FE-SEM (Field Emission Scanning Electron Microscopy, 한국 기초 과학 지원 연구원 전주 분소, 모델명 S-4700) 으로 Ni Germanosilicide 의 단면을 관찰하였다. 이후부터는 편의상 Ni Germanosilicide 형성을 위한 열처리를 급속 열처리, 열안정성 시험을 위한 열처리를 고온 열처리라 하겠다.

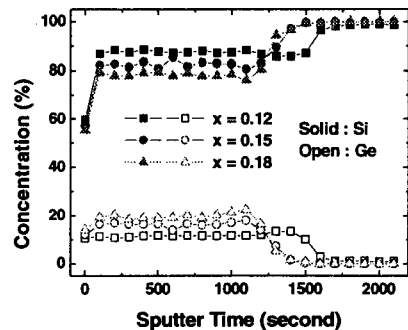


그림 1. 실험에 사용된 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 에서의 Ge 성분 조성비 (x) 의 분석을 위한 XPS depth profile.

III. 실험 결과

그림 2 는 순수한 Ni 을 적용하였을 경우 고온

열처리 후의 면저항 변화이다. 고온 열처리 온도 450 °C 까지는 면저항이 비교적 안정하게 유지된 반면, 고온 열처리 온도 600 °C 에서 면저항이 급격히 증가하였다.

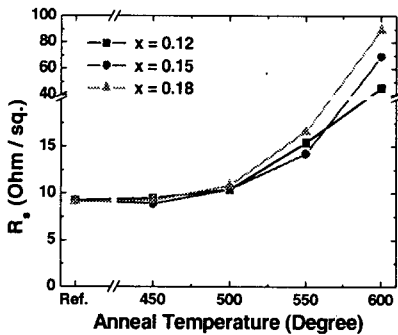
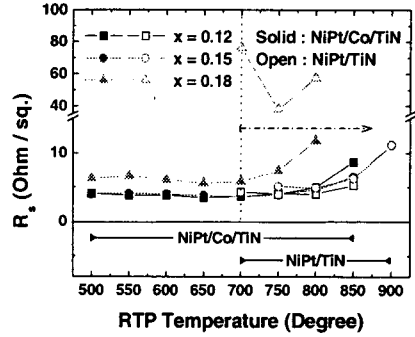
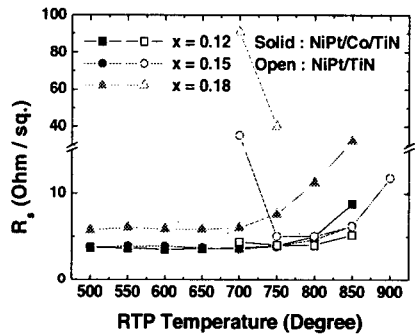


그림 2. Ni 을 적용한 Ni Germanosilicide 의 고온 열처리에 따른 면저항 특성.

일반적으로 NiPt 합금 타겟을 사용하면 NiSi 의 열안정성이 매우 개선된다. 하지만 NiPt 를 이용한 Ni Germanosilicide 에 대한 연구는 매우 미비한 상황이다. NiPt 를 이용하여 Ni Germanosilicide 를 형성할 경우 그림 3 (a) 에서와 같이 급속 열처리 온도 700 °C 이상에서 낮은 면저항을 갖는 Ni Germanosilicide 가 형성되었으며, 또한 Ge 성분 조성비가 높은 x = 0.18 일 경우에는 낮은 면저항을 갖는 Ni Germanosilicide 형성이 매우 어려움을 알 수 있다. 하지만 NiPt 와 Co 를 순차적으로 증착한 NiPt/Co/TiN 구조를 통하여 500 °C 의 낮은 급속 열처리 온도에서 낮은 면저항을 갖는 Ni Germanosilicide 가 형성되었으며, 또한 NiPt 만을 사용한 경우와는 다르게 보다 넓은 급속 열처리 범위에서 낮은 면저항을 갖는 Ni Germanosilicide 형성이 가능하게 됨을 알 수 있다. 또한 이렇게 형성된 Ni Germanosilicide 는 그림 3 (b) 에서와 같이 고온 열처리 600 °C, 30 분 후에도 면저항이 매우 안정적으로 유지되었다.



(a)



(b)

그림 3. NiPt/TiN 및 NiPt/Co/TiN 을 적용한 Ni Germanosilicide 의 고온 열처리 600 °C, 30 분 (a) 전, (b) 후 형성 온도에 따른 면저항 특성.

Ge 성분 조성비에 따른 Ni Germanosilicide 의 면저항 특성이 그림 4 에 정리 되었다. Ge 성분 조성비가 증가할수록 면저항이 증가하였으며, 특히 NiPt 만을 사용할 경우 Ge 성분 조성비 x = 0.18 의 에서 급격한 면저항 증가를 보였다.

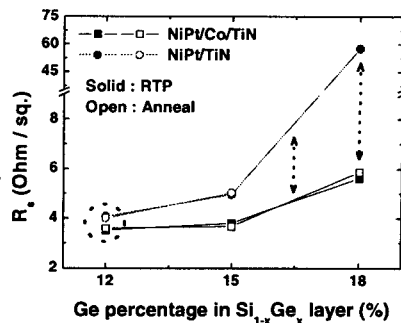


그림 4. NiPt/TiN 및 NiPt/Co/TiN 을 적용한 Ni Germanosilicide 의 고온 열처리 600 °C, 30 분 후 Ge 성분 조성비에 따른 면저항 특성.

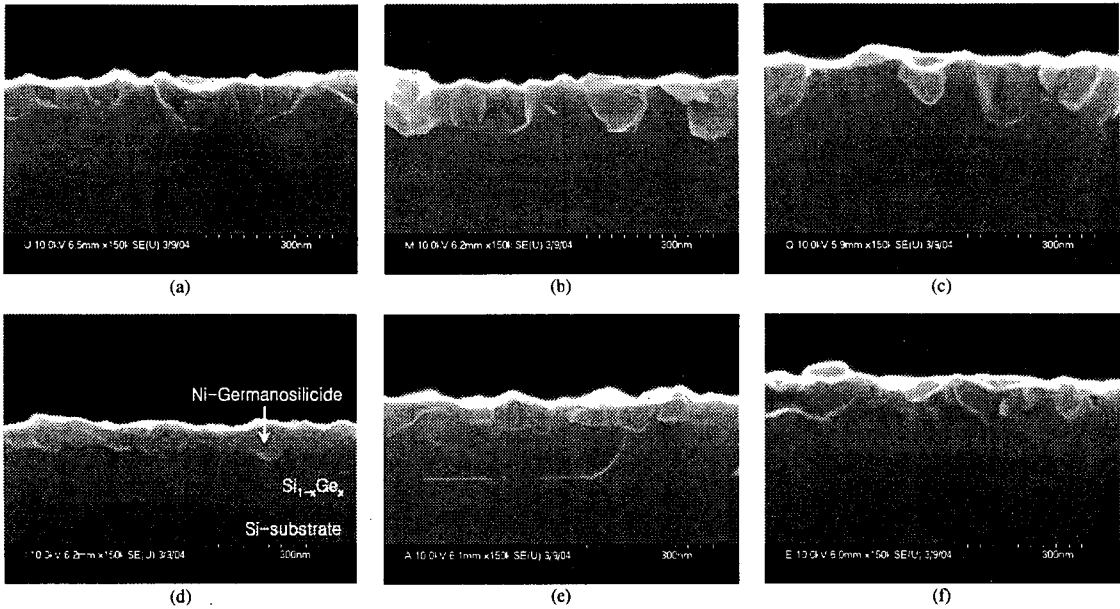


그림 5. NiPt/TiN 및 NiPt/CoTiN 구조로 Si_{1-x}Ge_x 위에 형성된 Ni Germanosilicide 의 열 안정성 특성 관찰을 위한 고온 열처리 600 °C, 30 분 후의 FE-SEM 단면. (a)-(c) NiPt/TiN 구조, (d)-(f) NiPt/CoTiN 구조. (a), (d) x = 0.12, (b), (e) x = 0.15, (c), (f) x = 0.18.

하지만, NiPt/CoTiN 구조에서는 Ge 성분 조성비 $x = 0.15$ 까지 안정한 면저항이 유지되었으며, Ge 성분 조성비 $x = 0.18$ 에서도 NiPt 만을 사용한 경우에 비하여 면저항 증가가 매우 감소하였다.

NiPt/TiN 및 NiPt/CoTiN 구조로 형성된 Ni Germanosilicide 의 고온 열처리 600 °C, 30 분 후 Ge 성분 조성비에 따른 FE-SEM 단면이 그림 5 (a)-(f) 에 나타나 있다. 그림 5 (a)-(c) 는 NiPt/TiN 의 FE-SEM 단면으로 Ge 성분 조성비가 가장 낮은 $x = 0.12$ 에서도 그림 5 (a) 와 같이 Ni Germanosilicide 층의 단절 현상이 관찰되었으며, Ge 성분 조성비가 증가함에 따라 단절 및 응집 현상이 더욱 심화됨을 보여준다. 따라서, NiPt/TiN 만으로는 안정한 Ni Germanosilicide 의 형성 및 열안정성 개선이 어려움을 알 수 있다. 반면, NiPt/CoTiN 구조로 형성된 Ni Germanosilicide 에서는 그림 5 (d)-(f) 에서와 같이 $x = 0.18$ 에서 서서히 응집되기 시작하나, Ge 성분 조성비 $x = 0.15$ 까지 고온 열처리 후에도 NiPt/TiN 보다 얇은 두께를 갖는 Ni Germanosilicide 층이 안정하게 유지되고 있음을 확인하였다.

IV. 결론

본 논문에서는 NiPt 합금 타겟 및 Co capping 층을 이용한 Ni Germanosilicide 의 Ge 성분 조성비 (x) 에 따른 열안정성 특성에 대해 연구하였다. Ge 성분 조성비가 증가 함에 따라 Ni Germanosilicide 의 특성이 열화 되었다. 새롭게 제안된 NiPt/CoTiN 구조를 통하여 600 °C, 30 분의 고온 열처리 후에도 열안정성이 매우 우수한 Ni Germanosilicide 특성을 확보하였다.

Acknowledgment

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (R01-2003-000-11659-0) 지원으로 수행 되었음.

References

- [1] H. Iwai, et. al., Microelectron. Eng. **60** (2000) 157.
- [2] Q. Z. Hong, et. al., Appl. Phys. Lett. **58** (1991) 905.
- [3] P. S. Lee, et. al., IEEE Electron Devices Lett. **22** (2001) 568.
- [4] W. W. Wu, et. al., Appl. Phys. Lett. **81** (2002) 820.
- [5] T. Jarmar, et. al., J. Appl. Phys. **92** (2002) 7193.