

나노급 CMOSFET을 위한 니켈-코발트 합금을 이용한 니켈-실리사이드의 열안정성 개선

Thermal Stability Improvement of Ni-Silicide using Ni-Co alloy for Nano-scale CMOSFET

박기영¹, 정순연¹, 한인식¹, 장잉잉¹, 종 준¹, 이세광¹, 이가원¹, 왕진석¹, 이희덕^{1,a}
(Kee-Young Park¹, Soon-Yen Jung¹, In-Shik Han¹, Ying-Ying Zhang¹, Zhun Zhong¹, Shi-Guang Li¹,
Ga-Won Lee¹, Jin-Suk Wang¹, and Hi-Deok Lee^{1,a})

Abstract

In this paper, the Ni-Co alloy was used for thermal stability estimation comparison with Ni structure. The proposed Ni/Ni-Co structure exhibited wider range of rapid thermal process windows, lower sheet resistance in spite of high temperature annealing up to 700 °C for 30 min, more uniform interface via FE-SEM analysis, NiSi phase peak. Therefore, The proposed Ni/Ni-Co structure is highly promising for highly thermal immune Ni-silicide for nano-scale MOSFET technology.

Key Words : Ni-Co alloy, Ni-silicide, Thermal stability, Nano-scale CMOSFETs

1. 서론

Salicide (Self-align silicide) 기술은 집적회로 공정에서 CMOSFET (Complementary Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)의 게이트와 소스/드레인의 면저항과 RC지연을 감소 시킴으로서 소자의 성능을 개선시키기 위해 사용되는 중요한 기술이다[1,2]. 가장 먼저 사용된 타이타늄-실리사이드 (titanium-silicide)는 넓은 온도범위에 걸쳐 일정한 면저항을 가지며 실리사이드 두께에 따른 면저항 값의 의존성이 낮은 반면 실리사이드 형성 후 낮은 비저항을 갖는 C54로의 상변이가 어렵고 선폭이 작아짐에 따라 면저항이 급격히 증가하는 단점이 있다[3]. 따라서 소자의 소형화에 따라 면저항 증가로 인해 드레인 구동전류를 감소시키게 된다. 이의 대안으로 코발트-실리사이드 (cobalt-silicide)가 대두 되었는데, 코발트-실리

사이드는 선폭에 따른 면저항 의존성과 높은 열안정성을 가진 반면 코발트-실리사이드 형성 시 기관의 표면 상태에 대해 의존성이 크므로 실리사이드의 계면특성이 열화 되기 쉽고 실리콘의 소모율이 타이타늄-실리사이드에 비해 20 % 이상 높아 누설전류가 증가하는 등 100 nm 이하 nano-scale CMOS의 적용에 부적합한 특성을 보인다[4]. 따라서 이러한 단점을 보완하기 위해 니켈-실리사이드 (nickel-silicide)의 연구가 활발히 진행 중에 있다[5,6].

니켈-실리사이드는 증착한 니켈이 거의 모두 실리콘과 반응하기 때문에 실리콘의 양을 정확히 조절 할 수 있을 뿐 만 아니라 형성된 실리사이드의 두께가 매우 얇아 nano-scale CMOS 기술에 매우 적합한 특성을 보인다. 하지만 접합에서의 누설전류가 증가하는 문제점이 있고 이후 후속공정에서 면저항이 큰 니켈 다이-실리사이드(NiSi₂)로 상변이 되거나 응집현상이 나타나 계면특성의 열화가 보이는 등 열안정성 확보 측면에서 큰 문제점을 야기 하고 있다[7,8].

본 논문에서는 니켈-실리사이드의 열 안정성을 확보하기 위해 코발트가 10 % 포함된 니켈-코발트 (Ni-Co) 합금을 사용하여 열 안정성 및 면저항

1. 충남대학교 전자공학과

(대전시 유성구 궁동 220)

a. Corresponding Author : hdlee@cnu.ac.kr

접수일자 : 2007. 10. 4

1차 심사 : 2007. 10. 23

실사완료 : 2007. 11. 27

과 계면특성을 개선시키고자 하였다. 또한 새로운 적층 구조인 실리사이드 (Ni/Ni-Co)를 제안하여 비교 분석하였으며, 니켈-코발트 합금을 이용한 실리사이드가 nano-scale CMOS 기술에 적용 가능함을 확인 하였다.

2. 실험

2.1 시편제작

본 실험을 위하여 p-type의 실리콘 웨이퍼를 사용하였고 공정 순서는 그림 1과 같다. 금속 박막을 증착하기 전에 D·I water로 회석시킨 HF 용액 (HF : D·I water = 1 : 100)에서 30초간 자연 산화막을 식각하고 RF magnetron sputter를 사용하여 기본 진공도 (base pressure) 및 증착 진공도 (working pressure)를 각각 5×10^{-7} 및 3×10^{-3} Torr 에서 Ni (10 nm)을 증착 하였다.

타겟 표면의 산화막과 불순물을 제거하기 위해 증착 전에 충분한 pre-sputtering를 200 W에서 5분간 실행한 후 main-sputtering를 각각 실행하였다. 안정된 니켈-실리사이드 형성을 위해 금속 열처리 (RTP: Rapid Thermal Process)를 기본 진공도 3×10^{-2} Torr에서 400 ~ 700 °C, 30초간 실시하였으며, 실리사이드 형성 후 반응하지 않은 금속은 H₂SO₄ : H₂O₂ (4 : 1) 용액에서 선택적으로 식각 하였다. 열 안정성 (thermal stability) 분석을 위하여 실리사이드가 가장 형성이 잘된 RTP 500 °C 조건에서의 시편을 고 순도 질소 (N₂, 99.99 %) 분위기에서 고온 열처리 (furnace anneal)를 600 ~ 700 °C 에서 30 분간 열처리하였다.

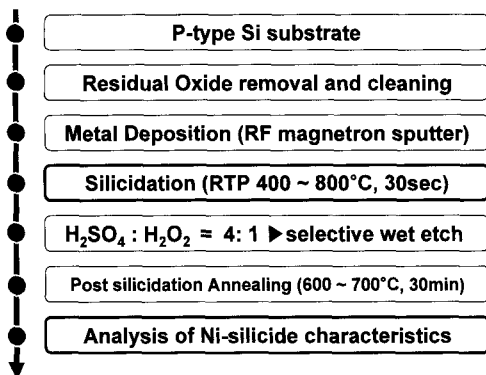


그림 1. 실험 공정 순서.

Fig. 1. Process flow for experiment.

2.2 실리사이드 특성 측정 및 분석

제작된 시편의 특성을 측정된 방법과 분석에 대해 열거하면 니켈-실리사이드 형성 후 면저항 측정은 FPP (Four-Point Probe)를 이용하여 금속 열처리 온도에 따른 실리사이드의 면저항과 후속열처리 후 실리사이드의 면저항을 측정하였다. 또한 증착된 금속 박막의 두께와 형성된 실리사이드의 두께 및 계면 특성을 확인하기 위해 FE-SEM (Field Emission Scanning Electron Microscopy, 한국 기초 과학 지원 연구원 전주 분소, 모델명 S-4700) 을 이용하여 확인하였다. 금속 열처리 후, 열 안정성 확인을 위한 후속공정 열처리 후의 두께와 계면특성 분석도 관찰하였다. 또한 니켈-실리사이드의 후속 공정 열처리 전후의 상변이 (phase shift)를 관찰하기 위하여 XRD (X-ray Diffraction)를 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

각 금속을 증착한 후 금속 열처리를 진행하여 실리사이드 형성 후 면저항 특성을 그림 2에 나타내었다. 니켈 단일구조와 니켈-코발트 합금을 이용한 구조 모두 500 °C 에서 가장 낮고 안정된 10 ohm/sq. 이하의 면저항을 확보 할 수 있었다.

그러나 니켈 단일구조에서의 면저항은 600 °C 이상부터 급격히 증가 하는 것을 확인 할 수 있었고 니켈/코발트 구조와 니켈-코발트 합금을 사용한

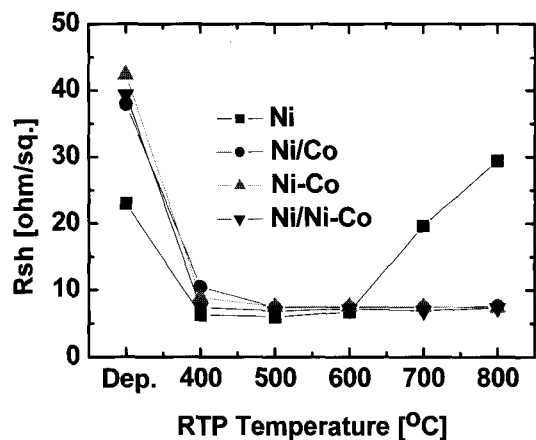


그림 2. RTP온도에 따른 silicide의 면저항 특성.

Fig. 2. Dependence of silicide sheet resistance as a function of RTP temperature.

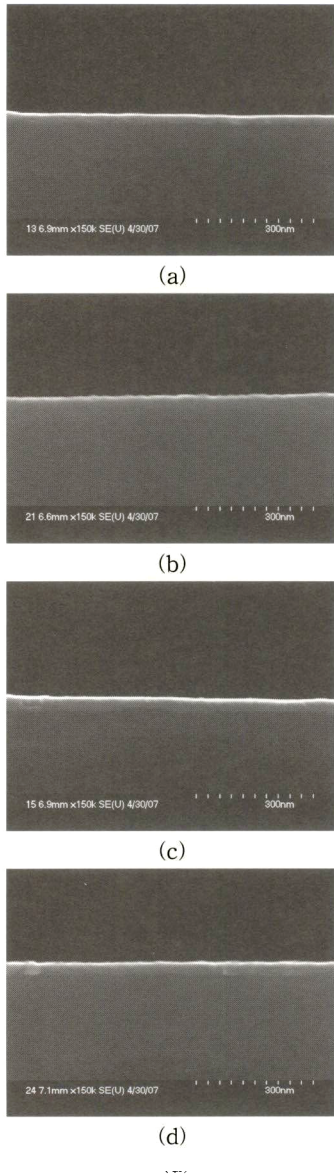


그림 3. RTP(500 °C, 30초)후 NiSi의 단면 FE-SEM 사진. (a) Ni, (b) Ni/Co, (c) Ni-Co, (d) Ni/Ni-Co.

Fig. 3. Cross-sectional SEM image of NiSi with a RTP at 500 °C for 30 s. (a) Ni, (b) Ni/Co, (c) Ni-Co, and (d) Ni/Ni-Co structures.

구조에서는 열처리로 인한 특성의 변화는 나타나지 않았다. 면저항 데이터는 실리사이드의 두께와 매우 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에 형성된 니켈-

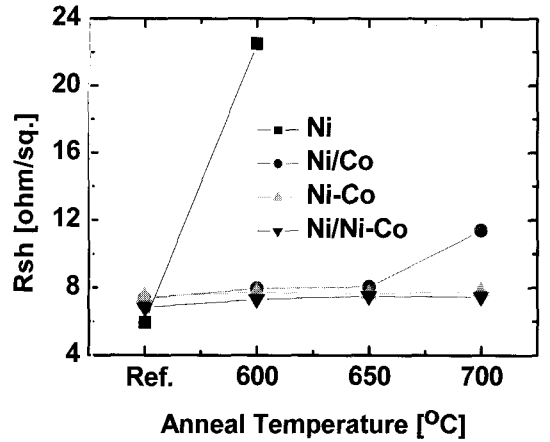


그림 4. 고온 열처리 후 면저항 특성.

Fig. 4. Sheet resistance after post-silicidation annealing.

실리사이드의 정확한 두께를 확인하기 위하여 FE-SEM을 통해 확인한 단면 이미지를 그림 3에 나타내었다. 단면 확인 결과 모든 구조에서 균일하고 얇은 두께의 실리사이드가 형성이 된 것을 확인 할 수 있었다.

다음으로 가장 낮은 면저항과 균일한 실리사이드를 가진 급속 열처리 500 °C 에서의 시편을 사용하여 후속 공정 열처리 후 면저항 특성을 그림 4에 나타내었다.

후속 열처리 후 각 구조에 열안정성에 대한 특성을 확인할 수 있었다. 단일구조인 니켈의 경우 600 °C 이후 급격히 면저항이 증가하였으며 니켈/코발트 구조에서도 700 °C에서 면저항이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 니켈-코발트 합금을 사용한 구조에서는 후속 공정 열처리 과정에서 면저항의 특성이 크게 바뀌지 않는 것을 확인하였다. 후속 열처리 후 단면사진을 그림 5에 나타내었다. 니켈의 경우 후속 열처리 후 표면의 상태는 매끄럽고 좋기는 하나 응집 현상이 많이 발생하였고 니켈/코발트의 경우도 응집현상이 발생한 것을 확인 하였다. 반면에 니켈-코발트 합금인 경우에는 실리사이드 층의 단절 현상 및 응집 현상을 관찰 할 수 없었다. 따라서 니켈-코발트 합금의 경우 다른 구조의 실리사이드에 비해 열 안정성이 매우 우수하다고 할 수 있다. 더욱이 니켈-코발트 합금을 적용한 경우가 실리사이드 형성 후 후속 고온 열처리 공정에 바람직하다고 할 수 있다.

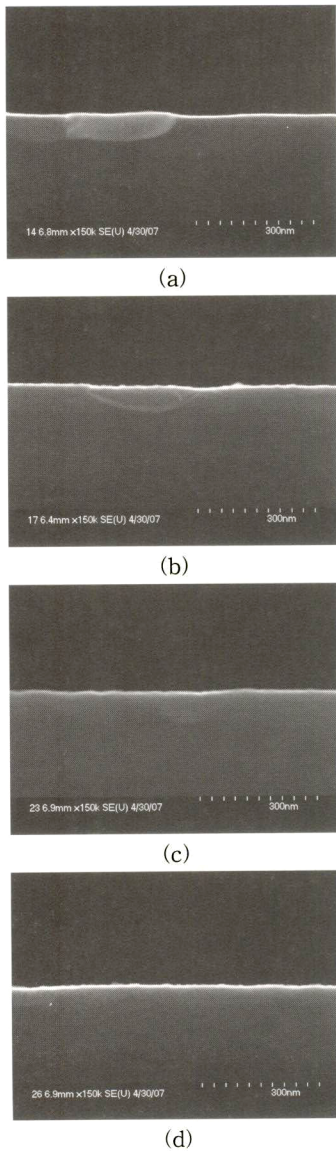


그림 5. 고온 열처리 후(anneal 700 °C) 실리사이드의 단면 FE-SEM 사진. (a) Ni, (b) Ni/Co, (c) Ni-Co, (d) Ni/Ni-Co.

Fig. 5. Cross-sectional profile of Ni silicide with a anneal at 700 °C for 30 min. (a) Ni, (b) Ni/Co, (c) Ni-Co, and (d) Ni/Ni-Co structures.

하지만 코발트의 특성인 기판 표면의 의존성으로 인해 니켈-코발트 합금 구조를 사용했을 때 실리사이드의 계면이 열화 되는 것을 볼 수 있었다.

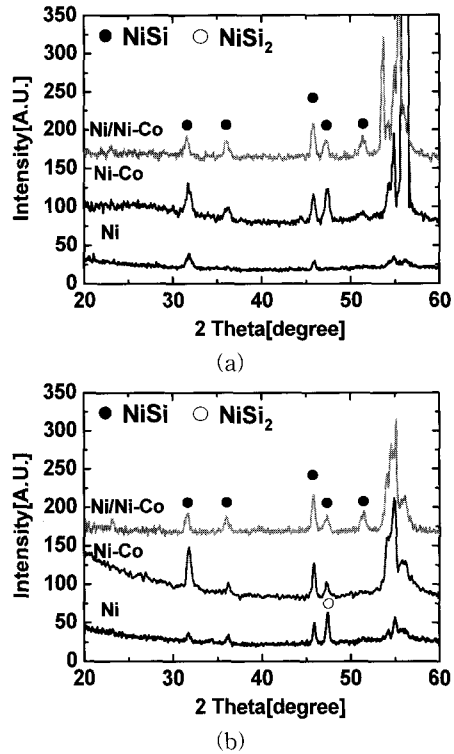


그림 6. 급속 열처리(500 °C, 30초) 및 후속 열처리(700 °C, 30분) 후 XRD 상변이 분석. (a) 급속 열처리 후 (b) 후속 공정 열처리 후

Fig. 6. Analysis of XRD peak of NiSi after RTP(500 °C) and post-silicidation annealing (700 °C for 30 min). (a) after RTP (b) after anneal

이러한 계면 열화를 줄이기 위해 제안한 니켈/니켈-코발트 합금구조를 통하여 균일한 계면특성과 얇은 두께의 실리사이드를 형성시킬 수 있었으며 얇은 접합에서의 고른 계면 특성은 소스/드레인 접합의 적용에 적합하다고 할 수 있다.

열 안정성 평가를 위한 급속 열처리 후와 후속 공정 열처리 후의 시편을 XRD 분석을 통하여 상변이 분석을 그림 6에 나타내었다. 급속 열처리 후 모든 시편에서 모노-실리사이드(mono-silicide: NiSi)로 상변이가 된 것을 확인 할 수 있었다. 하지만 단일구조인 니켈인 경우 후속 공정 열처리를 한 후 면저항이 큰 다이-실리사이드로 상변이가 진행된 것을 알 수 있고 이 결과로 인해 면저항이 증가 하는 것을 확인 할 수 있었다. 반면에 후속 공정 열처리 후에도 니켈-코발트 합금을 사용한 구

조에서는 실리사이드의 결합이 모노-실리사이드로 형성됨을 알 수 있었다. 따라서 니켈-코발트 합금을 이용한 실리사이드는 니켈 단일구조나 적층구조에 비해 매우 우수한 열 안정성을 가지고 있다고 할 수 있다. 더욱이 니켈-코발트 합금을 이용한 니켈-실리사이드에서는 열 안정성뿐만 아니라 얇은 접합 그리고 니켈/니켈-코발트 합금의 적층구조를 사용하여 계면 특성까지 향상시킬 수 있다는 것을 확인 하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 니켈-코발트 합금 구조를 제안하여 니켈 단일구조와 니켈-실리사이드의 특성과 열 안정성에 대하여 비교 분석하였다. 니켈-코발트 합금을 이용한 구조 (니켈-코발트 합금, 니켈/니켈-코발트 합금)가 니켈 단일구조와 다층구조인 니켈/코발트 보다 우수한 열 안정성을 나타냄을 확인 하였다. 특히 FE-SEM 분석을 통하여 니켈/니켈-코발트 합금의 적층구조를 적용하면서 단일 구조의 니켈-코발트 합금보다 열 안정성뿐만 아니라 계면 특성까지 개선되어졌다는 것을 확인 할 수 있었고 XRD 분석을 통하여 후속 열처리 과정에서 면저항이 큰 다이-실리사이드로의 상변이가 일어나지 않는 것을 확인 하였다. 이러한 결과를 통해 니켈-코발트 합금을 이용한 니켈-실리사이드는 얇은 접합과 고른 계면특성을 보이고 있기 때문에 nano-scale CMOSFET기술에 적용 가능하다고 할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] T. Shibata, K. Hieda, M. Sato, M. Konaka, R. L. M. Dang, and H. Iizuka, "An optimally designed process for submicron MOSFETs", Tech Dig of IEDM, p. 647, 1981.

[2] K. Goto, T. Yamazaki, A. Fushida, S. Inagaki, and H. Yagi, "Optimization of salicide process for sub 0.1um CMOS device", Symp. on VLSI Tech, p. 119, 1994.

[3] Y. Taur, J. Sun, D. Moy, L. K. Wang, B. Davari, S. P. Klepner, and C. Y. Ting, "Source drain contact resistance in CMOS self-aligned TiSi₂", IEEE Trans. Electron Device, Vol. 34, No. 3, p. 575, 1987.

[4] J. B. Lasky, J. S. Nakos, O. J. Cain, and P. J. Geiss, "Comparison of transformation to low resistivity phase and agglomeration of TiSi₂ and CoSi₂", IEEE Trans. Electron Device, 38, p. 262, 1991.

[5] J. G. Yun, S. Y. Oh, B. F. Huang, H. H. Ji, Y. G. Kim, S. H. Park, H. S. Lee, D. B. Kim U. S. Kim, H. S. Cha, S. B. Hu, J. G. Lee, S. K. Baek, H. S. Hwang, and H. D. Lee, "Highly thermal robust NiSi for nanoscale MOSFETs utilizing a novel hydrogen plasma immersion ion implantation and Ni-Co-TiN tri-layer", IEEE Electron Device Lett., Vol. 26, No. 2, p. 90, 2005.

[6] T. Morimoto, H. S. Momose, T. Inuma, I. Kunishima, K. Suguro, H. Okana, I. Katakabe, H. Nakajima, M. Tsuchiaki, M. Ono, Y. Katsumata, and H. Iwai, "A NiSi salicide technology for advanced logic device", Tech. Dig. of IEDM, p. 653, 1991.

[7] M. A. Nicolet and S. S. Lau, "Formation and characterization of transition-metal silicides", VLSI Electronics Microstructure science, Vol. 6, Chapter 6, Academic press, p. 457, 346, 358, 1983.

[8] T. H. Hou, T. F. Lei, and T. S. chao, "Improvement of junction leakage of nickel silicided junction by a Ti-capping layer", IEEE Electron Device Lett., 20, p. 572, 1999.