

Nano-scale CMOS에 적용하기 위한 Ni-Ta 합금을 이용한 Ni-Germanosilicide의 열안정성 개선

김용진*, 오순영*, 윤장근*, 이원재*, 아그즈바야르 투야*, 지희환*, 김도우*, 허상범**,
차한섭**, 김영철***, 이희덕*, 왕진석*
*충남대학교, 전자공학과, **매그너칩 반도체, R&D 센터, ***한국기술교육대학교, 신소재공학과

Thermal Stability Improvement of Ni Germanosilicide using Ni-Ta alloy for Nano-scale CMOS Technology

YongJin Kim*, SoonYoung Oh*, JangGn Yun*, WonJae Lee*, Tuya Agchbayar*, HeeHwan Ji*, DoWoo
Kim*, SangBum Heo**, HanSeob Cha**, YoungChul Kim***, HiDeok Lee*, and JinSuk Wang*

*Dept. of Electronics Engineering, Chungnam National University

**R&D center, MagnaChip Semiconductor

***Dept. of Materials Engineering, Korea University of Technology and Education

E-mail : jswang@cnu.ac.kr

Abstract

In this paper, Ni Germanosilicide using Ni-Ta/Co/TiN is proposed to improve thermal stability. The sheet resistance of Ni Germanosilicide utilizing pure Ni increased dramatically after the post-silicidation annealing at 600°C for 30min. However, using the proposed Ni-Ta/Co/TiN structure, low temperature silicidation and wide range of RTP process window were achieved.

I. 서론

CMOS기술에서 게이트 길이가 100nm 이하가 되면서 velocity saturation에 의해 드레인 전류가 포화되고, Gate oxide가 얇아짐에 따라 vertical field 증가로 인해 채널 아래의 Inversion layer의 이동도 감소도 매우 커지고 있다[1]. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 기존의 실리콘 기판위에 격자상수가 실리콘에 비해 4 %정도 큰 Ge을 실리콘과 함께 성장시켜 Si_{1-x}Ge_x를 형성하고 그 위에 수 nm의

실리콘 층을 성장 시킴으로서 Si_{1-x}Ge_x와 실리콘과의 Lattice mismatch로 strained silicon을 형성하여 carrier의 이동도가 향상되는 기술이 관심을 끌고 있다[2]. 또한 소자 성능 향상을 위해 Silicide 공정을 필수로 하는데[3], 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 CoSi₂가 가장 널리 사용되고 있으나, 게이트 길이가 100 nm 이하인 나노 CMOS에서는 급격한 면저항 증가 및 높은 Si 소모율로 인한 접합 누설 전류 증가로 인하여 이를 대체할 silicide 기술이 매우 필요한 상태이며, NiSi가 그 대안으로 유력하게 대두되고 있다. NiSi는 증착한 Ni이 거의 모두 Si와 반응하기 때문에 소비되는 Si의 양을 정확히 조절할 수 있을 뿐만 아니라, silicide의 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[4]. 열안정성을 향상시키기 위해 현재 많은 연구가 진행 중에 있으며, 그 중 Ni에 소량의 다른

본 논문은 한국과학재단 목적기초연구 (과제 : R01 - 2003-000-11659-0)의 지원하에 이루어졌음.

금속을 함유한 합금 타겟을 이용하여 열안정성을 향상시키는 방법을 많이 사용하고 있다.

따라서 SiGe위의 Silicide 형성도 매우 중요하며 특히 Co-silicide는 SiGe 위에서 형성하기가 매우 어려워서 Ni-silicide에 대한 연구가 많이 되고 있다. 하지만 Ni-silicide의 열안정성에 비해 Ni-Germanosilicide의 열안정성은 더욱 취약하므로 현재 $Si_{1-x}Ge_x$ 에 적용한 Ni-Germanosilicide의 특성 개선을 위해 많은 연구가 진행되고 있다[5].

본 논문에서는 Ge 농도가 30%인 SiGe 30nm 웨이퍼 위에 Ni-Ta 합금 target을 이용하여 새로운 Ni-Germanosilicide의 방법을 제안하여 Ni-Germanosilicide의 단점인 열안정성 평가에 대하여 연구하였다.

제안한 Ni-Ta 합금 target을 3 가지 구조 (Ni-Ta, Ni-Ta/TiN, Ni-Ta/Co /TiN)와 순수한 Ni을 RF magnetron sputter로 증착한 후 실험한 결과 Ni-Ta 합금타겟을 이용하여 Cobalt interlayer를 사용한 구조 (Ni-Ta/Co/TiN)가 가장 낮고 안정한 silicide 특성을 가지며 후속 공정 과정에서의 열안정성 평가에서도 특성을 향상시켰다.

II. 실험 방법

2-1 시편 제작

본 실험은 Si기판위에 30 nm의 $Si_{0.7}Ge_{0.3}$ (100)을 Epi 성장시켜 사용하였으며, 5 at%의 Ta를 Ni에 합금하여 Ni - Germanosilicide를 형성 하였다.

금속을 증착시키기 전에 자연 산화막 을 제거하기 위해 HF : D-I water = 1 : 100 으로 희석한 용액에 30초간 식각한 후 RF magnetron sputter를 이용하여 기본 진공도 (base pressure)는 5×10^{-7} Torr, 동작 압력 (working pressure)은 2.2×10^{-4} Torr 에서 순수한 Ni (10 nm), Ni-Ta (10 nm), Ni-Ta/TiN (10/25 nm)와 Ni-Ta/Co/TiN (8/2/25 nm)을 순차적으로 증착 하였다.

Target 표면의 산화막과 불순물을 제거하기 위해 pre-sputter를 200W에서 5 분간 실행한 후 main sputter를 각각 실행하였다. 금속 박막의 균일한 증착을 위하여 sputter시 웨이퍼 홀더를 회전시켜 최대한 박막이 균일하게 증착 되도록 하였다.

그리고 안정된 Ni-Germanosilicide를 형성하기 위해 급속 열처리 (Rapid Thermal Process : RTP)를 할 때 동작 압력 (working pressure)은 30 m Torr 에서 400 ~ 800 °C, 30초간 열처리 하였다. Ni-Germanosilicide 형성 후 반응하지 않은 금속 및 TiN capping층은 $H_2SO_4 : H_2O_2 = 4 : 1$ 의 혼합용액에서 15 분간 선택적으로 식각한 후, 열안정성 평가 (Thermal Stability)를 위해 질소 분위기의 전기로 (Furnace)에서 600 ~ 700 °C, 30분간 고온 열처리 하였다.

2.2 실리사이드 특성 측정 및 분석

제작된 시편의 Ni-Germanosilicide 특성을 측정된 방법과 분석에 대해 설명하면 Ni-Germanosilicide 형성 후에 면저항 측정은 FPP (Four Point Probe)를 이용하여 측정을 하였다.

금속 박막의 두께와 Ni-Germanosilicide의 두께 및 계면 특성은 Alpha Step500 과 FE-SEM (Field Emission Scanning Electron Microscopy, 한국 기초 과학 지원 연구원 전주 분소, 모델명 S-4700)을 이용하여 확인하였다. 급속 열처리 후, 그리고 열 안정성 확인을 위한 고온로 열처리 후의 두께와 계면 특성 분석도 관찰하였다.

Ni-Germanosilicide의 상변이 (phase shift)를 확인 하기 위하여 GXR (Glancing X-ray Diffractometer) 를 이용하여 분석하였다. 또한, 표면 거칠기를 확인하기 위해서 SPM (Scanning Probe Microscopy) 을 이용하여 분석하였다.

III. 실험 결과

앞 절에서 제작된 30 nm의 SiGe시편에 RF-magnetron sputter를 이용하여 순수한 Ni, Ni-Ta, Ni-Ta/TiN, Ni-Ta/Co/TiN구조를 증착한 후 급속 열처리 하여 실리사이드 형성 후 고온 열처리 전과 후의 면저항 특성은 그림 1 과 같다.

그림 1 (a) 의 경우 4 가지 구조 모두 500 °C에서 가장 안정된 면저항 값을 갖지만 특히 Ni-Ta/Co/TiN 구조가 넓은 온도 범위에서 가장 낮고 안정된 면저항 값을 나타내고 있다.

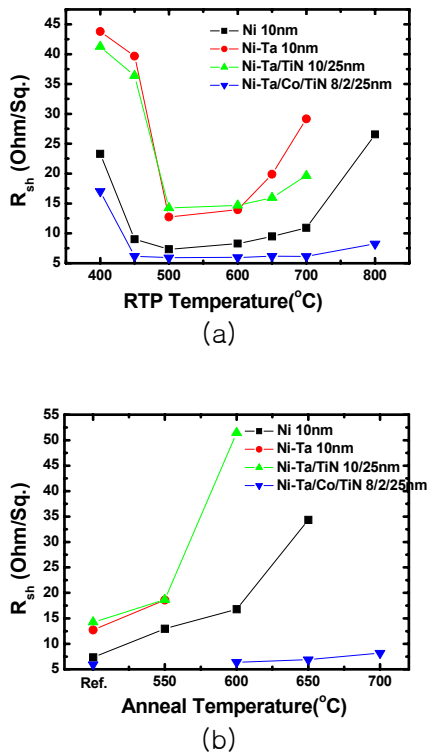


그림 1. Ni-Germosilicide의 고온 열처리 전후의 면저항 특성 (a) RTP (b) Anneal

500 °C에서 실리사이드를 형성한 후 열안정성 평가를 위한 특성을 보기 위해 550, 600, 650, 700 °C에서 30 분간 고온 열처리를 하였다. 고온 열처리 후 순수한 Ni, Ni-Ta 과 Ni-Ta/TiN 경우 그림 1 (b)와 같이 550 °C 부터 면저항 값이 증가하는 반면 Ni-Ta/Co/TiN 경우는 700 °C, 30 분까지 낮고 안정된 면저항 값을 유지되고 있어 열안정성을 개선시킬 수 있었다.

그림 2 는 고온 열처리 전· 후의 Ni-Germosilicide 의 FE-SEM 단면 특성이다. 급속 열처리 500 °C, 30 초에서 실리사이드를 형성한 후 단면 특성을 확인하면 순수한 Ni, Ni-Ta과 Ni-Ta/Co/TiN 경우 모든 조건에서 실리사이드가 열화 및 단절현상은 일어나지 않았지만 고온 열처리 700 °C, 30 분 후에는 다른 구조에서는 열화 및 단절 현상이 일었다. 그러나 그림 2 (f)와 같이 Ni-Ta/Co/TiN구조에서만 열화 및 단절 현상이 일어나지 않음을 확인하였다.

이로써 Ni-Ta과 Co 다층구조를 이용하여 단면 특성이 개선되었음을 확인 할 수 있다.

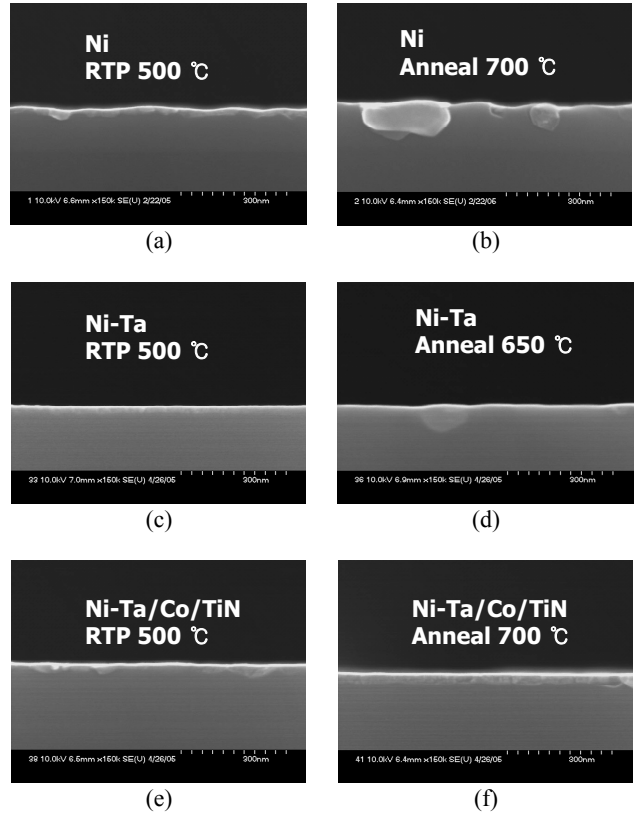
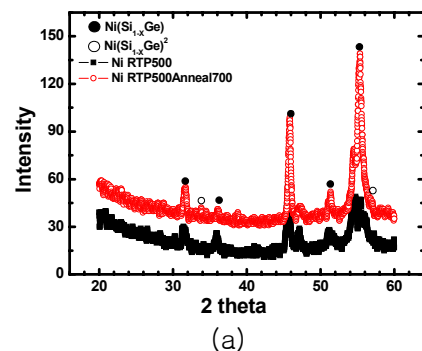


그림 2. 고온 열처리 전·후의 Ni-Germosilicide 의 FE-SEM 단면특성 (a),(c),(e) RTP 500°C, 30 초 (b),(d),(f) Anneal 700°C,30 분

그림 2 에서 처럼 형성된 Ni-Germosilicide의 상변이를 확인하기 위해 GXR D (Glancing X-ray Diffractometer) 분석을 하였다.

순수한 Ni 경우, 그림 3 (a)와 같이 700 °C, 30 분의 고온열처리 후 Ni(Si_{1-x}Ge_x)² 상이 나타났지만, Ni-Ta/Co/TiN 경우에는 그림 3 (b)와 같이 고온 열처리 전· 후에도 Ni(Si_{1-x}Ge_x)상이 그대로 유지 되고 있음을 알 수 있다.



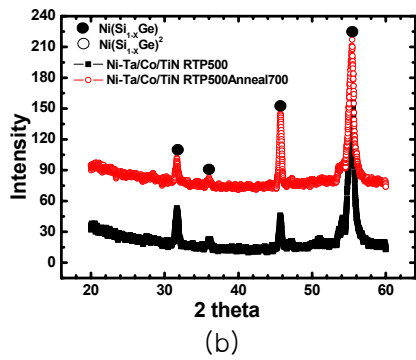


그림 3. 고온열처리 전후의 GXR드 상변이 분석 (a) Ni (b) Ni-Ta/Co/TiN

그림 4의 SPM 분석 결과를 보면 Ni-Ta/Co/TiN 구조로 형성된 Ni-Germanosilicide의 표면 거칠기 정도를 Ni과 비교할 때 고온 열처리 전에는 0.6 nm로 0.4 nm와 비슷한 고른 거칠기를 갖지만 열처리 후에는 1.4 nm로 2.4 nm에 비해 월등히 낮은 수치를 보이고 있다.

이로써 실리사이드내의 Morphology 또한 uniform 할 것으로 기대된다. 이것은 실리사이드 내의 Ge의 out diffusion이 코발트 다층 구조에 의해 억제되었기 때문이라고 여겨진다.

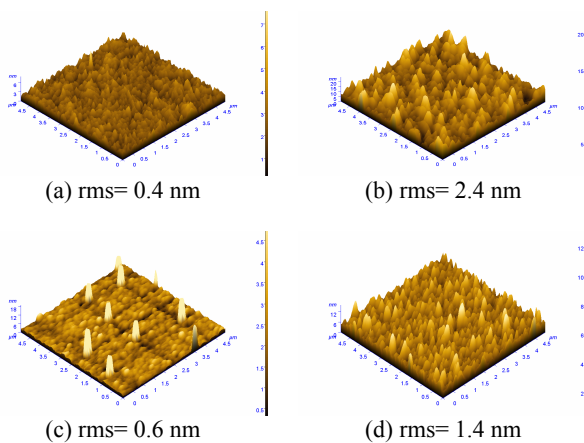


그림 4. 고온열처리 전후의 표면 거칠기 SPM분석

(a), (b) Ni, (c), (d) Ni-Ta/Co/TiN,
(a), (c) RTP, (b), (d) Anneal

IV. 결론

Ni-Ta 합금 및 Co를 이용하여 형성된 Ni-Germano-silicide의 열 안정성 특성을 분석하였다.

Ni-Ta/Co/TiN 구조를 이용하여 면저항 뿐만 아니라 계면 특성까지 개선시킬 수 있었다. 순수한 Ni만을 사용했을 경우는 650 °C, 30 분에서 면저항이 측정되지 않을 만큼 응집현상과 단결현상이 심하게 일어난 반면, 제안된 Ni-Ta/Co/TiN 구조에서는 700 °C, 30 분의 고온 열처리 후에도 낮은 면저항을 확인하였고, 단면특성 및 상변이 특성 모두 열 안정성이 우수한 Ni-Germanosilicide 특성을 확보하였다.

참고문헌

[1] S. P. Murarka, "Self-aligned silicides or metals for very large integrated circuit applications," Journal of Vacuum Science and Technology B4, pp. 1325, 1986.
 [2] Matthew T. Currie, "Strained Silicon : Engineered Substrates and Device Integration," 2004 IEEE International Conference on Integrated Circuit Design and Technology, pp.261-268, 2004.
 [3] Karen Maex, "Silicides for integrated circuits : TiSi₂ and CoSi₂", Materials Science and Engineering, R11, pp.53-153, 1993
 [4] H. Iwai, et. al., "NiSi silicide technology for scaled CMOS," Microelectron. Eng. 60, pp.157, 2000.
 [5] F. F. Zhao, Y. P. Feng, and J. Z. Zheng, "Ab initio study of atomic structure of nickel germanosilicide Ni(Si_{1-x}Ge_x)²", ICMAT2003-Symposium K