

Ge-MOSFETs을 위한 Ni-Co 합금을 이용한 Ni-germanide의 열안정성 개선

Thermal Stability Improvement of Ni-germanide using Ni-Co alloy for Ge-MOSFETs Technology

박기영¹, 정순연¹, 장잉잉¹, 한인식¹, 이세광¹, 종 준¹, 신흥식¹, 김영철², 김재준², 이가원¹, 왕진석¹, 이희덕^{1,a}
(Kee-Young Park¹, Soon-Yen Jung¹, Ying-Ying Zhang¹, In-Shik Han¹, Shi-Guang Li¹, Zhun Zhong¹,
Hong-Sik Shin¹, Yeong-Cheol Kim², Jae-Jun Kim², Ga-Won Lee¹, Jin-Suk Wang¹, and Hi-Deok Lee^{1,a})

Abstract

In this paper, Ni-Co alloy was used to improve thermal stability of Ni Germanide. It was found that uniform germanide is obtained on epitaxial Ge-on-Si substrate by employing Ni-Co alloy. Moreover, neither agglomeration nor penetration is observed during post-germanidation annealing process. The thermal stability of Ni germanide using Ni-Co alloy is improved due to the less agglomeration of Germanide. Therefore, the proposed Ni-Co alloy is promising for highly thermal immune Ni germanide for nano scale Ge-MOSFETs technology.

Key Words : Ni-Co alloy, Ni-germanide, Thermal stability, Ge-MOSFETs

1. 서 론

반도체 공정 기술의 발전에 따라 소자의 크기가 줄어들며 반도체 소자의 성능도 개선되어 왔다. 하지만 게이트 길이가 100 nm 이하가 되면서 기존의 실리콘 기반의 CMOS 소자에서 속도 포화에 의한 이동도 감소, 드레인 전류의 억제 등의 문제점이 발생하고 있다. 따라서 나노급 CMOS 소자에서는 구조적 크기의 감소로는 더 이상 소자의 성능 향상을 얻기가 매우 어려워졌다[1]. 이를 해결하기 위한 대안으로 소자의 채널을 Ge (germanium)으로 대체하여 이용한 Ge-MOSFET의 연구가 활발히 진행 중에 있다[2-4]. Ge은 전자의 경우 Si (silicon) 대비 약 2배, 정공의 경우 약 4배 정도 우수한 이동도 특성을 가지고 있어 소자 성능을 개선 할 수 있는 장점을 가지고 있다.

Germanide는 silicide와 동일한 개념으로 게이트 및 소스/드레인의 면저항을 감소시켜 RC 지연 및

기생저항을 줄임으로서 소자의 동작 속도를 증가시키기 위해 반드시 필요하다. 더욱이 최근 나노급 Ge-MOSFET에 적용할 수 있는 얇은 접합이 가능한 Ni (Nickel)-germanide가 연구 되고 있지만 얇은 접합과 균일한 형성이 어렵고, 높은 온도에서의 계면 열화와 응집현상이 발생하며, 증착한 Ni이 Ge 층을 통과하여 Si과 반응하는 등 열에 대해 매우 취약한 문제점이 발생 하고 있다[5-7]. 더욱이 Co (Cobalt)-germanide의 경우도 비록 Ni에 비해 열안정성이 매우 뛰어난 장점이 있지만 얇은 접합의 형성이 어렵고 높은 면저항을 갖는 단점이 있다[8].

본 논문에서는 Co가 10 % 포함된 Ni-Co 합금을 사용하여 Ni-germanide의 열 안정성을 확보하기 위해 열 안정성 및 면저항과 계면 특성을 개선시키고자 한다. 실험 결과 제안한 Ni-Co 합금을 이용한 Ni-germanide가 나노급 Ge-MOSFET 기술에 적용 가능성을 확인 하였다.

2. 실 험

2.1 시편제작

본 실험을 위하여 p-type Si 웨이퍼 (100)를 사

1. 충남대학교 전자공학과
2. 한국기술교육대학교 신소재공학과
a. Corresponding Author : hlee@cnu.ac.kr
접수일자 : 2008. 6. 2
심사완료 : 2008. 7. 15

용하였고 공정 순서는 그림 1 과 같다. 초고진공 화학기상증착법 (UHV-CVD)을 사용하여 100 nm 의 Ge 층을 형성하였다. 금속 박막을 증착하기 전에 DI water로 희석시킨 HF 용액 (HF:DI=1:100)에서 30 초간 자연 산화막을 식각 하고 RF sputter를 사용하여 기본 진공도 및 증착 진공도가 각각 5×10^{-7} 및 3×10^{-3} Torr에서 증착을 하였다. 또한 pre-sputter와 증착 시 웨이퍼 홀더를 회전시켜 오염과 증착의 균일도를 높였다. germanide 형성을 위해 급속 열처리를 기본 진공도 3×10^{-2} Torr에서 30 초간 실시하였으며, germanide 형성 후 반응하지 않은 급속은 H_3PO_4 용액에서 150 °C 30초간 선택적으로 식각하였다. 열안정성 분석 실험을 위하여 germanide가 형성이 가장 잘된 온도에서의 시편을 고순도 질소 (N_2 , 99.99 %) 분위기에서 고온 열처리 (Furnace Anneal: 500~600 °C)를 30 분간 진행 하였다.

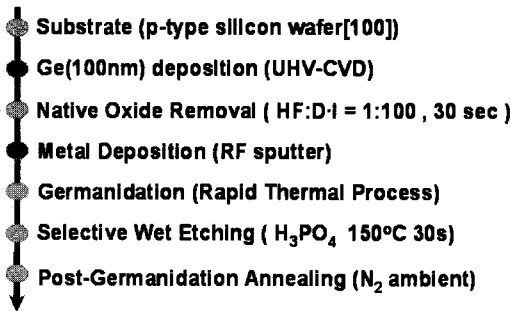


그림 1. 실험 공정 순서.

Fig. 1. Process flow for experiments.

2.2 Germanide 특성 측정 및 분석

제작된 시편의 특성을 측정한 방법과 분석에 대해 열거하면 Ni-germanide 형성 후 면저항 측정은 FPP (Four-Point Probe)를 이용하여 급속 열처리 온도에 따른 Ni-germanide의 면저항과 후속열처리 후 면저항을 측정 하였다. 또한 증착된 금속 박막의 두께와 형성된 germanide의 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. 급속 열처리 후, 열 안정성 확인을 위한 후속공정 열처리 후의 두께와 계면특성 분석도 관찰하였다. 또한 Ni-germanide의 후속 공정 열처리 전후의 상변이 (phase shift)를 관찰하기 위하여 XRD (X-ray Diffraction)를 이용하여 분석하

였다. 마지막으로 형성된 germanide 표면의 거칠기를 확인하기 위해서 AFM (Atomic Force Microscope)을 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

급속 열처리 후 형성된 germanide의 온도에 따른 면저항 결과를 그림 2에 나타내었다. 급속 열처리 후의 면저항 결과를 보면 Ni과 Ni-Co 합금 구조가 400 °C에서 가장 낮고 안정된 10 ohm/sq.이하의 면저항을 확보할 수 있었으며 600 °C 이후에는 면저항의 값이 크게 변화하는 것을 확인 하였다. 이에 반해 Co의 경우에는 400 °C 이후부터 면저항이 감소하여 700 °C에서 가장 낮은 면저항 값을 갖는 것을 알 수 있었다.

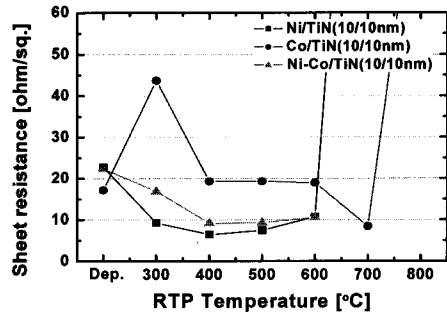
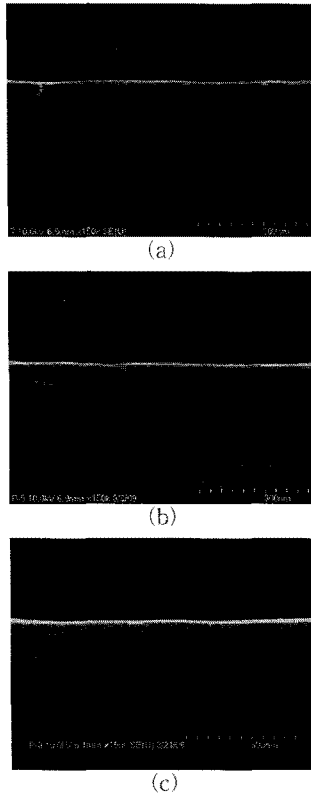


그림 2. RTP온도에 따른 면저항 특성.

Fig. 2. Sheet resistance of germanide as a function of RTP temperature.

면저항은 형성된 germanide의 두께와 매우 밀접한 관계가 있기 때문에 FE-SEM을 통하여 단면 이미지를 확인 하였다. 단면 이미지(그림 3)를 확인한 결과 모든 구조에서 고르고 균일한 germanide가 형성된 것을 확인 할 수 있었다. Ni과 Ni-Co 합금을 사용한 Ni-germanide에서는 약 200 Å 정도로 얇게 형성이 되었지만 Co를 이용한 구조의 경우 Ni을 적용한 germanide의 두께에 2배 정도인 400 Å 정도로 두껍게 형성이 된 것을 확인 할 수 있었다. Co-germanide의 경우 Ni-germanide에 비해 비저항 값이 매우 크기 때문에 얇은 접합에서의 낮은 면저항을 갖는 germanide의 형성이 어렵다고 할 수 있다.



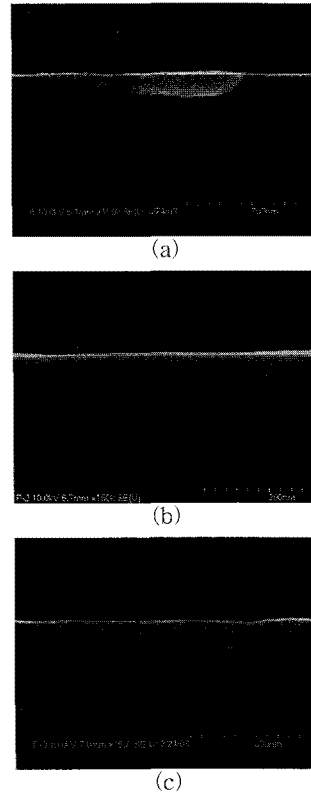
(a)

(b)

(c)

그림 3. RTP 후 germanide의 단면 SEM 이미지. (a) Ni/TiN 400 °C, (b) Co/TiN 700 °C, (c) Ni-Co/TiN 400 °C

Fig. 3. Cross-sectional SEM images of germanide with a RTP. (a) Ni/TiN 400 °C, (b) Co/TiN 700 °C, (c) Ni-Co/TiN 400 °C



(a)

(b)

(c)

그림 5. 고온 열처리 후 germanide의 단면 SEM 사진. (a) Ni/TiN 500 °C, (b) Co/TiN 550 °C, (c) Ni-Co/TiN 600 °C

Fig. 5. Cross-sectional images of germanide with a anneal for 30 min. (a) Ni/TiN 500 °C, (b) Co/TiN 550 °C, (c) Ni-Co/TiN 600 °C

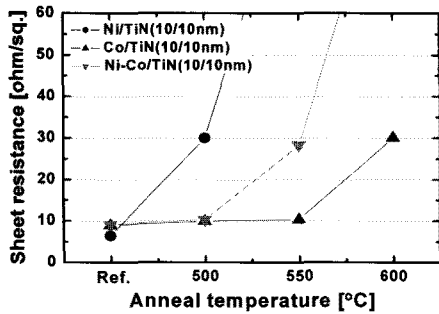


그림 4. 고온 열처리 후 면저항 특성.
Fig. 4. Sheet resistance of germanide as a function of post-germanidation annealing.

Ni-Co 구조를 이용한 germanide의 경우 Co의 단점인 두께 증가나 면저항 증가 없이 Ni-germanide가 형성된 것을 확인 하였다. 가장 낮은 면저항을 갖는 온도에서의 시편을 사용하여 후속 공정 열처리 후의 면저항 특성을 그림 4에 나타내었다. 후속 공정 열처리 후 면저항의 변화를 살펴보면 Co-germanide의 경우가 면저항이 가장 좋았고 Ni의 경우 후속 열처리 과정에서 면저항이 3배 이상 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 하지만 Co가 포함이 된 Ni-Co 합금 구조에서는 Ni 구조에 비해 열 안정성이 개선된 것을 확인 할 수 있었다. 더욱이 그림 5와 같이 후속 열처리 후 단면 이미지를 보면 Ni-germanide의 경우 후속 열처리 후 응집현상과 계면의 열화로 인해 면저항이 증가

한 것을 알 수 있었다. 그에 비해 Co가 포함된 Ni-Co 구조의 경우 후속 열처리 후에도 응집현상이나 계면의 열화가 생기지 않은 것을 확인 할 수 있었다. Co 만을 사용한 경우에는 그림 5(b) 와 같이 germanide의 두께가 너무 두꺼워져 얇은 접합을 갖는 소자에는 적합하지 않음을 알 수 있다.

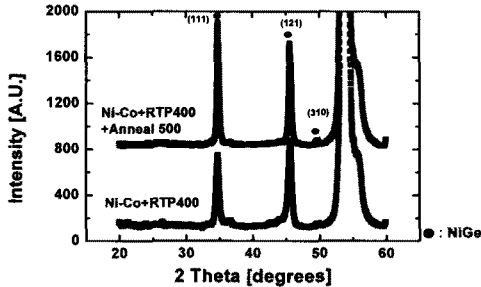


그림 6. 급속 열처리 및 후속 열처리 후 XRD 상변이 분석.

Fig. 6. Analysis of XRD spectra of germanide before and after post-germanidation annealing.

그림 6에서는 XRD 분석을 통하여 Ni-Co 합금 구조를 사용한 Ni-germanide의 상변이를 확인 하였다. Ni-Co 합금을 사용 하였지만 Co-germanide의 peak 없이 모두 NiGe로 상변이 되었다. 이 결과는 germanide 형성 시 Co는 반응을 하지 않고 순수한 Ni만 반응을 하여 형성이 된 것으로 Co의 단점 없이 형성이 된 것이라 말할 수 있다. 다음은 형성된 germanide의 표면의 거칠기를 분석한 AFM 이미지를 그림 7에 나타내었다. Ni과 Ni-Co 두 구조 모두 1.0 nm 정도 측정 되었고 Co의 경우 가장 높은 3.0 nm가 측정 되었다. Ni 단일 구조에서는 후속 열처리 500 °C 에서 2.2 nm 정도로 크게 증가한 것을 확인 할 수 있고 이에 비해 Ni-Co 합금 구조는 550 °C 에서 Ni 구조와 비슷한 거칠기를 가지고 있었다.

따라서 본 논문에서 제안한 Ni-Co 합금을 이용한 Ni-germanide는 Co의 단점을 보이지 않고 균일하고 얇은 접합을 갖는 germanide로 형성이 가능 하였고 Ni-germanide의 열 안정성을 개선하여 나노급 Ge-MOSFET의 적용 가능성을 확인하였다.

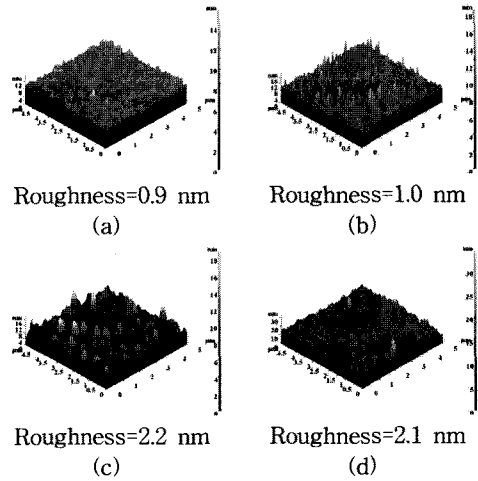


그림 7. 후속 열처리 전 후 표면 거칠기 AFM 분석. (a) Ni/TiN RTP 400 °C, (b) Ni-Co/TiN RTP 500 °C, (c) Ni/TiN Anneal 500 °C, (d) Ni-Co/TiN Anneal 600 °C

Fig. 7. AFM surface roughness of Ni germanide after RTP and post-germanidation annealing. (a) Ni/TiN RTP 400 °C, (b) Ni-Co/TiN RTP 500 °C, (c) Ni/TiN Anneal 500 °C, (d) Ni-Co/TiN Anneal 600 °C

4. 결론

본 논문에서는 Ni-Co 합금 구조를 제안하여 Ni-germanide의 열 안정성 개선에 대한 연구를 하였다. Co가 10 % 포함이 된 Ni-Co 합금을 이용한 Ni-germanide는 Ni 단일 구조에 비해 우수한 열 안정성과 균일하고 얇은 germanide를 형성 시킬 수가 있었다. 또한 Co-germanide의 형성 없이 모두 Ni-germanide로 형성이 된 것을 확인 할 수 있었다. 따라서 Ni-Co 합금을 이용한 Ni-germanide는 나노급 Ge-MOSFET 기술에 적용 가능성을 확인 하였다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2007-521-D00288).

참고 문헌

- [1] K. Chen, H. Wann, J. Duster, D. Pramanik, S. Nariani, P. Ko, and C. Hu, "An accurate semi-empirical saturation drain current model for LDD n-MOSFET", *Electron Devices Lett.*, Vol. 17, No. 3, p. 145, 1996.
- [2] P. Zimmerman, G. Nicholas, B. Jaeger, B. Kaczer, A. Stesmans, L. A. Ragnarsson, D. P. Brunco, F. E. Leys, M. Caymax, G. Winderickx, K. Opsomer, M. Meuris, and M. M. Heyns, "High performance Ge pMOS devices using a Si-compatible process flow", *IEDM Tech. Dig.*, p. 1, 2006.
- [3] N. Wu, Q. Zhang, N. Balasubramanian, D. S. H. Chan, and C. Zhu, "Characteristics of self-aligned gate-first Ge p- and n- channel MOSFETs using CVD HfO₂ gate dielectric and Si surface passivation", *IEEE Trans. Electron Devices*, Vol. 54, No. 4, p. 733, 2007.
- [4] J. W. Oh, P. Majhi, H. D. Lee, W. S. Yoo, S. Banerjee, C. Y. Kang, J. W. Yang, R. Harris, H. H. Tseng, and R. Jammy, "Improved electrical characteristics of Ge-on-Si field-effect transistors with controlled Ge epitaxial layer thickness on Si substrates", *Electron Devices Lett.*, Vol. 28, No. 11, p. 1044, 2007.
- [5] S. Zhu and A. Nakajima, "Annealing temperature dependence on nickel-germanium solid-state reaction", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 44, No. 24, p. L753, 2005.
- [6] Y. Zhang, J. Oh, T. Bae, Z. Zhong, S. Li, S. Jung, K. Park, G. Lee, J. Wang, P. Majhi, B. Lee, H. Tseng, Y. Jeong, and H. Lee, "Phase separation of Ni germanide formed on a Ge-on-Si structure for Ge MOSFETs", *Electrochem. Solid State Lett.*, Vol. 11, No. 1, p. H1, 2008.
- [7] K. Park, B. H. Lee, D. Lee, D.-H. Ko, K. H. Kwak, C.-W. Yang, and H. Kim, "A study on the thermal stabilities of the NiGe and Ni_{1-x}Ta_xGe systems", *Electrochem. Solid State Lett.*, Vol. 154, No. 7, p. H557, 2007.
- [8] S. P. Ashburn, M. C. Ozturk, G. Harris, and D. M. Maher, "Phase transitions during solid-state formation of cobalt germanide by rapid thermal annealing", *J. Appl. Phys.*, Vol. 74, No. 7, p. 4455, 1993.