

論文97-34D-1-4

Co 두께가 CoSi₂ 에피박막 형성에 미치는 영향

(Effects of Co Thickness on the Formation of Epitaxial CoSi₂ Thin Film)

金 鍾 烈 *, 裴 圭 植 *

(Jong Ryul Kim and Kyoo Sik Bae)

요 약

Co/Ti 이중박막을 이용한 CoSi₂ 에피박막 형성에서 Co의 두께가 CoSi₂ 에피박막의 형성에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. Ti의 두께를 5 또는 10 nm로 고정하여 증착한 후, Co 두께를 5 ~ 30 nm로 변화시켜 증착한 다음 900 °C, 20 초간 N₂ 분위기에서 급속 열처리하였다. 형성된 CoSi₂의 물성을 알아보기 위하여 4점 탐침기, XRD, AES, XTEM 분석을 하였다. 초기 Co 두께가 15 nm 미만일 경우에는 비저항값이 높고, 계면이 거친 CoSi₂가 형성되었으나, 초기 Co 두께가 15 nm 이상일 경우에는 비저항값이 16 ~ 19 μΩcm로 낮고, 조성과 두께가 균일하고 계면이 평탄한 CoSi₂에피박막이 형성되었다. 초기 Ti의 두께는 Co의 두께가 매우 얇은(~ 5 nm) 경우에는 CoSi₂의 형성에 영향을 미치나, Co의 두께가 15 nm 이상이 되면 별다른 영향을 주지 않았다.

Abstract

Effects of Co thickness on the formation of epitaxial CoSi₂ from the Co/Ti bilayer have been investigated. Ti and Co were sequentially deposited with the Ti thickness fixed at 5 or 10 nm, while the Co thickness was varied from 5 to 30 nm. The metal-deposited samples were then rapidly thermal-annealed in N₂ at 900 °C for 20 sec. Material properties of CoSi₂ thin films were analyzed by the 4-point probe, XRD, AES, and XTEM. When the as-deposited Co thickness was below 15 nm, the CoSi₂ with high resistivity and rough interface was formed. On the other hand, when the Co thickness was above 15 nm, the epitaxial CoSi₂ with the resistivity of about 16 ~ 19 μΩ·cm, uniform composition and thickness and flat interface was formed. Initial Ti thickness has sizable effect on the formation of CoSi₂, when the Co layer was very thin (~ 5 nm). But there was no significant effect of the Ti thickness for the initial Co thickness of above 15 nm.

I. 서 론

VLSI MOS 소자의 미세화에 따라 Al spiking, 높은 직렬 및 접촉 저항 등의 문제점으로 인해 새로운 접촉 및 상호연결 재료가 필요하게 되었다. 이에 따라 비저항이 낮고 열적·화학적 안정성이 높은 금속 실리사이드를 집적회로에 적용하려는 연구가 TiSi₂와 Co-

Si₂를 중심으로 널리 행하여져 왔다.^[1,2] 이들 실리사이드는 Si 기판위에 Ti 또는 Co를 증착한 후 열처리하여 만들어 지는 데, 실리사이드와 Si 계면 사이의 굴곡(roughness), 두께와 면저항값의 불균일성 및 열적 불안정성으로 인해 소자 적용에 어려움이 있다. 이러한 문제점들은 주로 Si기판위의 자연산화막, 금속 증착시의 잔여 산소(residual oxygen), 실리사이드의 다결정 구조 등에 기인한다.^[3] 이의 해결을 위하여 Co/내열 금속 이중박막으로 부터 막의 역전현상을 이용하여 형성한 에피 CoSi₂는 Si과의 계면이 평탄하고 열적 안정성이 매우 우수하여^[4-6] 이에 대한 연구가 최근 관심

* 正會員, 水原大學校 電子材料工學科

(Department of Electronic Materials Engineering, The University of Suwon)

接受日字:1996年8月6日, 수정완료일:1997年1月18日

을 끌고 있다. 이것은 CoSi₂형성시 Co가 이동 물질(moving species)임을 이용하여, 열처리시 내열금속이 먼저 산소를 환원하여 깨끗한 Si 기판표면을 만든후¹⁵, Co 금속이 Ti 금속층을 통해 확산하여 형성된 CoSi₂는 Si 기판과 에피 관계를 갖는 단결정 코발트 실리사이드이기 때문이다. 이러한 공정은 기존의 VLSI 제조 공정을 변화시키지 않고 적용할 수 있는 장점이 있다. 또한, 기존의 단일 Co박막의 열처리를 통한 CoSi₂ 형성시는, 증착하는 Co두께를 최소화하여도, 3.63배 두께의 Si($t_{Si}/t_{Co} = 3.63$)이 소모되어 얇은 접합(shallow junction)이 파손될 위험이 있으며, 이때 3.49배 두께의 CoSi₂($t_{CoSi_2}/t_{Co} = 3.49$)가 형성되므로¹⁷, VLSI소자에 요구되는 두께의 CoSi₂박막을 얻기가 어려우나, 이중박막 이용법에서는 Si 기판에 도달하는 Co의 양이 중간층의 내열금속층에 의해 제한되므로, 과다한 Si소모로 인한 얇은 접합의 파손을 방지할 수 있고, 동시에 CoSi₂형성 두께도 조절할 수 있다.¹⁴⁻⁶¹

막의 역전에 의해 이중금속박막으로부터 CoSi₂ 에피박막을 형성하려는 다양한 연구^{14-6, 8-151}에도 불구하고 에피박막이 형성되는 기구(mechanism)는 아직 정확히 알려져 있다.¹¹²¹ 특별히 열처리 초기에 내열금속이 자연산화막을 환원하여 원자적으로 깨끗한(atomicly clean) Si 기판을 만든후 막의 역전이 일어날 때, 내열금속층의 역할에 대해서는 여러 가지 다른 의견이 제시되었고 현재도 이의 규명에 관심이 집중되고 있다. Hsia등^{14,51}은 Co/Ti 이중박막의 연구에서 Co-Si₂ 에피박막의 형성은 Ti 중간층이 Co와 Si의 확산방지막(diffusion barrier) 역할을 하여 비저항이 상대적으로 높은 Co₂Si 나 CoSi의 형성이 억제된 결과라고 주장하였다. 나아가 Hong등¹⁸¹은 Ti중간층의 두께에 따라 형성되는 CoSi₂의 형태(morphology)가 달라지며, Ti층이 너무 두꺼우면 Co와 Si의 확산이 저지되어 실리사이드가 형성되지 않는다고 보고하였다. 그러나 이러한 연구들은 Co가 Ti층을 통과하는 과정에 대한 kinetics에만 초점을 맞추어, Co층의 두께가 에피 CoSi₂형성에 미치는 영향을 간과하고 있다. 실제 막의 역전이 일어날 때, Co, Si, Ti의 상호확산이 일어나며 이때 상호고용도 및 자유에너지에 따라 여러 가지 형태의 고용체와 중간 생성물이 형성되기 때문에, Ti층의 두께는 물론 Co층의 두께도 막의 형성에 큰 영향을 미치나, 이에 대한 연구는 전무한 실정이다. 특히 Co/Ti 이중박막의 경우, CoSi₂ 층위에 조성이 정확히 알려져

있지 않은 Ti-Co-Si 표면층도 형성되는 데, VLSI 소자에 적합한 접촉의 두께인 30 ~ 50 nm¹⁸¹의 실리사이드를 얻기 위해서 증착하여야 할 Co층의 두께 범위를 규명하는 것도 실제 소자 제작에 매우 중요한 요소이다.

본 연구에서는 Ti과 Co를 차례로 증착하고 열처리하여 CoSi₂ 에피박막을 형성할 때, Co층의 두께가 에피 CoSi₂ 형성에 미치는 영향을 조사하고, 이로 부터 막의 역전에 따른 에피박막의 형성기제를 연구하였다. 또 VLSI 소자에 요구되는 두께의 에피 CoSi₂ 접촉을 형성하기 위해 필요한 초기 Co층의 적정 두께를 알아 보았다.

II. 실험 방법

그림 1은 본 실험의 공정 순서도이다. 본 실험에서는 비저항이 10 ~ 20 Ω·cm인 4인치 P형(100) Si 웨이퍼를 사용하였다. 시편은 (1 H₂SO₄ : 1 H₂O₂)용액으로 유기물을 세척한 후, 증착 장비에 장착하기 바로 전에 (10 HF : 1 H₂O)용액으로 웨이퍼 표면에 생성된 자연산화막을 최대한 제거하였다. 준비된 시편은 2 종류로 나누어 (1) Ti의 두께를 5 nm로 고정하고 Co의 두께를 5, 10, 15, 20, 30 nm, (2) Ti의 두께를 10 nm로 고정하고 Co의 두께는 (1)과 같이 5, 10, 15, 20, 30 nm로 변화시켜 증착하였다. 금속의 증착은 전자빔 증발 장치(Electron Beam Evaporator)를 이용하였으며, 초기 증착 진공은 3×10⁻⁶ torr 이하이었다. 증착속도는 Ti 경우는 1.25 nm/sec, Co는 1.67 nm/sec를 유지하였다. 막의 두께는 as-deposited 상태에서 단면투과 전자현미경(XTEM) 분석을 통해 보정된 석영 진동자를 이용하였다. 이렇게 증착된 시편들은 막의 역전에 따른 코발트 실리사이드의 형성을 유도하기 위해, 질소(N₂) 분위기에서 급속 열처리(Rapid Thermal Annealing)법으로 900 °C, 20 초간 열처리 한 후, 필요에 따라 시편 상층부에 형성된 Ti-Co-Si 표면층의 제거를 위하여, (2 H₂O₂ : 1 NH₄OH : 1 H₂O) 용액으로 10분에 이어 (1 HNO₃ : 1 H₂O)용액으로 10분 동안 에칭 하였다. 열처리가 완료된 시편의 면저항(sheet resistance)은 4점 탐침기(4-point probe)로 측정하고, 박막의 결정 구조와 조성은 X선 회절기(XRD)로 조사하였다. 박막의 두께와 형태는 단면투과 전자 현미경(XTEM)으로 조사하고, 박막의

깊이에 따른 원소 분포 분석은 Auger 전자 분광기 (AES)를 이용하였다.

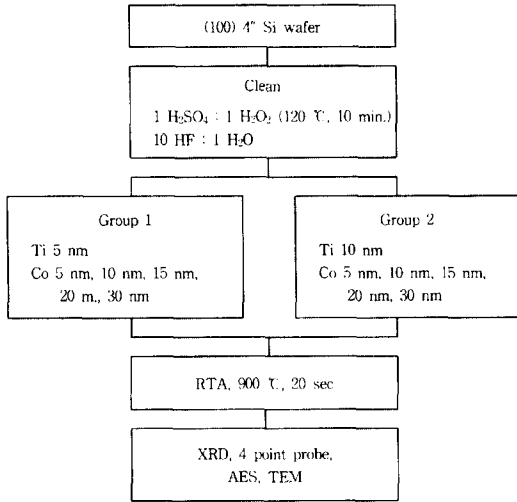


그림 1. 실험 공정 순서도
Fig. 1. Flow chart of experimental procedure.

III. 결과 및 고찰

Ti의 두께를 5 및 10 nm로 고정하고 Co의 두께를 5 ~ 30 nm로 다르게 증착한 후, 급속열처리한 시편들의 면저항값을 그림 2에 보이고 있다. Co의 두께가 15 nm 미만일 때, 면저항값이 상대적으로 높음을 알 수 있다. 특히 Co 5 nm 일 경우, Ti 5 nm 일 때의 면저항값은 23.58 Ω/\square 이고, Ti 10 nm 일 때는 7.42 Ω/\square 로 매우 높은 값을 보이고 있다. 이 값을 XTEM을 이용하여 구한 CoSi_2 두께로 환산하면 비저항값은 각각 47.16 와 22.3 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ 이다. 이 값은 문헌에 보고된 CoSi_2 의 면저항 값 10 ~ 17 $\mu\Omega \cdot \text{cm}$ ^[5]에 비해 큰 값으로서 CoSi_2 가 아직 형성되지 않았거나 양적으로 충분히 형성되지 않았음을 의미한다. 그러나, Co의 두께가 15 nm 이상으로 증가하면 Co나 Ti의 두께에 상관없이 면저항값은 3 ~ 4 Ω/\square 정도로 서로 비슷한 값을 갖고, 따라서 비저항값도 16~19 $\mu\Omega\text{cm}$ 가 되어 충분한 양의 CoSi_2 가 형성되었음을 보여준다. 이것은 다음의 XRD 및 AES 결과에서 확인되는 바와 같이 Si기판에서 반응하는 Co의 양이 충분하여 조성이 비교적 균일한 CoSi_2 박막이 형성되었기 때문이다.

그림 3은 Ti의 두께를 10 nm로 고정시키고 Co의 두께를 5 ~ 30 nm로 변화시켜 증착한 후 급속열처리

한 시편의 XRD결과로서, Co의 두께가 10 nm까지는 기판 Si (200)외에 다른 피크는 관찰되지 않았다. 이는 초기 Co의 두께가 얇은 경우에는 비정질 Ti-Co-Si 표면층^[4]이 대부분이고 CoSi_2 는 생성되더라도 매우 얇은 층을 이룬 것으로 사료된다. 초기 Co의 두께가 15 nm 이상부터는 Si (200)기판 피크와 기판과 에피관계를 갖는 CoSi_2 (200)^[4-6] 피크만 나타나 CoSi_2 에피박막이 형성되었음을 보여준다.

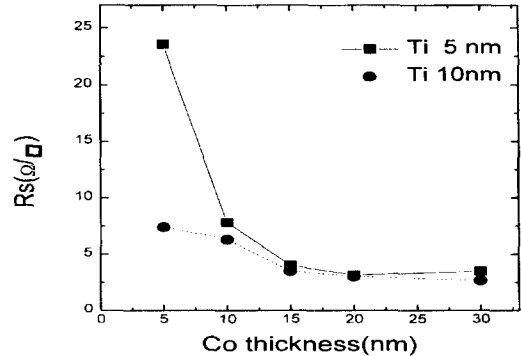


그림 2. Co 두께에 따른 면저항값의 변화(Ti=5 또는 10 nm)
Fig. 2. The changes of sheet resistance as a function the Co thickness.(Ti=5 or 10nm).

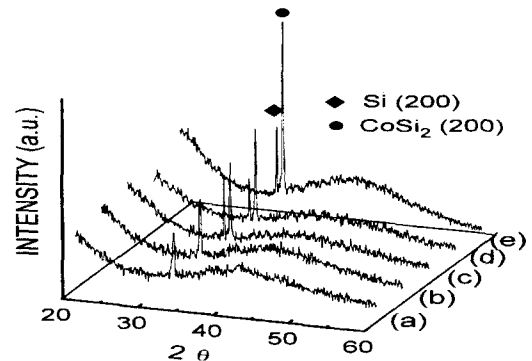


그림 3. Co 두께에 따른 XRD 결과 (Ti=10 nm);
(a) Co=5 nm, (b) Co=10 nm, (c) Co=15 nm, (d) Co=20 nm, (e) Co=30 nm
Fig. 3. XRD patterns for the different Co thickness.(Ti=10 nm);
(a) Co=5 nm, (b) Co=10 nm, (c) Co=15 nm, (d) Co=20 nm, (e) Co=30 nm

그림 4는 Ti의 두께를 5 nm로 고정하고 Co의 두께를 5, 10, 20 nm로 변화시켰을 때의 깊이에 따른 AES결과이다. Co가 5 nm인 경우 (그림 4-(a)), 열처리 후에도 Co와 Ti의 막의 역전이 완전히 완료되지는

않았고 Co의 Si층으로의 확산도 불충분하였다. 그 결과 CoSi₂층은 조성도 불균일하고 두께도 매우 얇으나, 상대적으로 Ti-Co-Si 표면층이 두텁게 형성되었다. Co의 두께가 10 nm로 증가하면 (그림 4-(b)), 막의 역전과 Co의 확산이 확대되어 보다 두꺼운 CoSi₂가 형성되었고, 20 nm로 증가시키면 (그림 4-(c)) Ti-Co-Si 층보다 훨씬 두껍고 Co/Si의 조성이 균일한 CoSi₂ 층이 형성되었다.

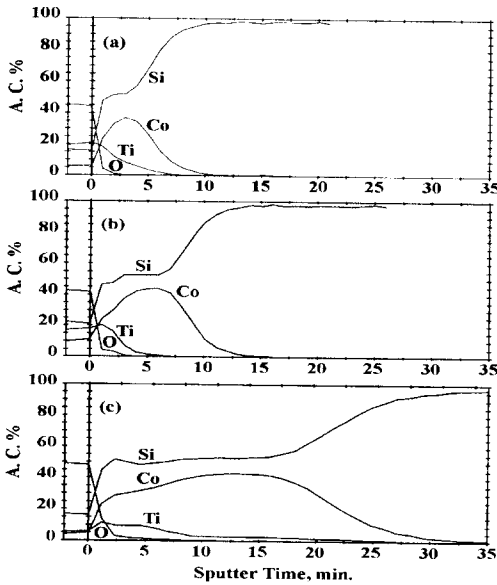


그림 4. Co두께에 따른 AES결과 (Ti=5 nm);
(a) Co=5 nm, (b) Co=10 nm, (c) Co=20 nm
Fig. 4. AES depth profiles for different Co thickness.(Ti=5 nm);
(a) Co=5 nm, (b) Co=10 nm, (c) Co=20 nm

이상의 결과와 Ti에 대한 Co의 확산 계수가 $\sim 2.4 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{sec}$ (900 °C)로서 매우 높고, Co와 Ti는 $\sim 10\%$ 까지 상호 고용이 가능하다는 점^[16] 등을 고려하여 막의 역전이 일어나는 과정을 다음과 같이 모형화해 볼 수 있다. 열처리 초기에 산화막이 제거된 후 상대적으로 확산속도가 가장 빠른 Co가 Ti층으로 확산하여 Co-Ti-(O)로 추정되는 고용체 (solid solution) 및 Co-Ti 화합물을 먼저 생성한다.^[13] 이때 결정성을 가진 화합물은 미세상 (minor phase)으로 소량만 형성될 것으로 생각되어진다. Co의 확산이 계속되면서 과포화된 여분의 Co는 이 혼합물/화합물에서 벗어나 Si층에 도달하여 CoSi₂의 핵생성을 시작하고^[17], 반응이 지속되면서 결정립 성장이 일어난다. 이때, Si 표

면이 깨끗하고 [100] 방향으로의 성장이 가장 작은 자유에너지가 소요되므로 대부분의 결정립은 [100] 방향으로 성장하여 그 결과 에피박막이 형성된다. 한편 Co의 Si 층으로의 확산이 진행되면서 Si도 Co-Ti 혼합층으로 확산을 하고 그 결과 표면에는 Ti-Co-Si 표면층이 형성된다. 그런데 초기 Co의 두께가 너무 얇으면 ($\sim 5 \text{ nm}$) 이 혼합물/화합물에 소모되는 Co 외에 Si와 반응할 수 있는 여분의 Co가 부족하여 CoSi₂가 충분히 성장하지 못한다. 그러나 초기 Co의 두께가 15 nm 이상이 되면, 확산되는 Co양이 충분하여 조성이 균일한 CoSi₂ 에피박막이 형성되고 상대적으로 얇은 Co-Ti-Si층이 존재하게 된다. 따라서, 막의 역전에 의한 에피박막의 형성에는 Co와 내열금속의 상대적 확산 속도도 중요하지만 Co와 내열금속의 상호고용도도 매우 중요함을 알 수 있다. 즉 내열금속의 혼합물/화합물 형성에 소요되는 Co양을 감안하고도 남은 충분한 두께의 Co를 증착하여야만 CoSi₂ 에피박막이 형성될 수 있다. 이상의 결과에 비추어 Co/Ti의 경우 Co의 두께는 적어도 15 nm 이상이 되어야 함을 알 수 있다.

Ti의 두께를 10 nm로 하고 Co의 두께를 5, 10, 30 nm로 변화시켜 AES 분석을 하였을 경우 (그림 5)에도 초기 Ti의 두께가 5 nm일 경우 (그림 4)와 유사한 결과를 나타내었다. Co의 두께가 10 nm이하일 때는 (그림 5-(a), (b)) 조성이 불균일하고 매우 얇은 CoSi₂가 형성되며, 30 nm (그림 5-(c))인 경우, 조성이 균일한 CoSi₂가 두텁게 형성되었다. Ti의 두께가 5 nm 일때에 비교하여 한가지 틀린점은 Co두께가 작을 때 (그림 5-(a), (b)) 시편의 표면에 Ti 양이 상당히 증가하고 Co와 Si의 양은 상대적으로 감소하는 경향을 보인다. 이것은 Co-Ti 혼합층/화합층에 소모되는 Ti의 양도 제한되어 있어 여분의 Ti는 표면층으로 석출되기 때문으로 추론된다. 또 한가지 특기할 점은 Ti의 두께가 5 또는 10 nm에 상관없이 Co의 두께가 15 nm 이상이 되면 막의 역전이 완전히 이루어지고 조성이 균일하고 두꺼운 CoSi₂ 에피박막이 형성된다는 것이다. 실제 Ti의 두께를 20 nm로 증가하여도 결과는 마찬가지이었다 (실험 결과는 포함하지 않았음). 이는 열처리 초기에 Co-Ti 혼합물/화합물을 만드는 데 필요한 Co의 양만 충분하면 여분의 Co는 Si 기판으로 급속히 확산하여 CoSi₂를 형성할 수 있기 때문이다. 따라서 초기 증착시 Ti의 두께가 약 20 nm이하일때는 Ti의 두께에 상관없이 막의 특성이 우수한 에피 CoSi₂

이 형성될 수 있음을 알 수 있다. 그런데, 실제 소자 제작시 초기 Ti의 두께는 작을수록 좋고 또 형성되는 Ti-Co-Si 표면층의 두께도 작을수록 좋기 때문에 가장 적절한 초기 Ti의 두께는 자연산화막의 환원에 필요한 최소 두께인 5 nm이하로 생각되어진다.

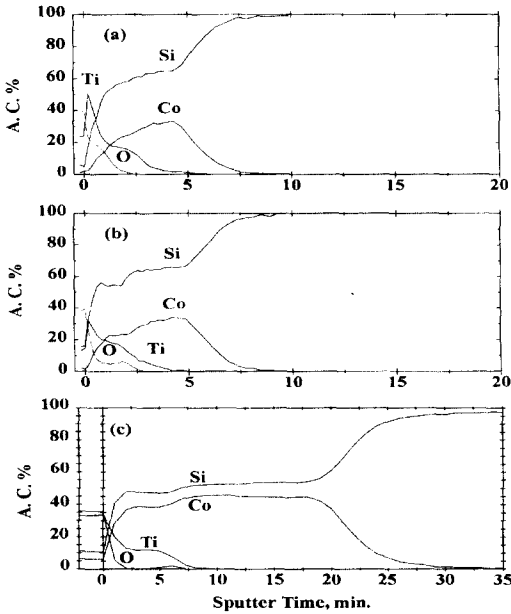
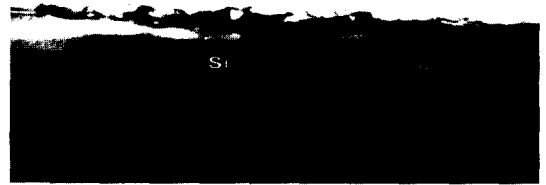


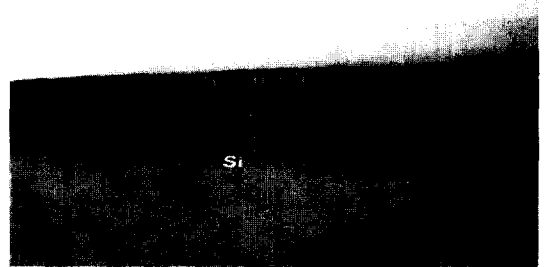
그림 5. Co두께에 따른 AES결과 (Ti=10 nm) ;
 (a) Co=5 nm, (b) Co=10 nm, (c) Co=30 nm
 Fig. 5. AES depth profiles for different Co thickness.(Ti=10 nm) ;
 (a) Co=5 nm, (b) Co=10 nm, (c) Co=30 nm

그림 6은 Ti의 두께를 5 nm로 고정하고, Co를 5 및 20 nm 증착한 후 급속 열처리 한 시편의 TEM 단면 사진이다. Co의 두께가 5 nm 인 경우 (그림 6(a)), 실리사이드/Si의 계면이 매우 거칠고 Ti-Co-Si표면층과 CoSi₂층이 혼재되어 있고 두층간의 경계도 불분명하다. 이에 반하여 Co의 두께가 20 nm인 경우 (그림 6-(b)), CoSi₂/Si계면은 (111) 마면 (facet)^[4,5,11]의 형성으로 인해 부분적인 굴곡이 있으나 전반적으로 매우 평탄함을 보이고 있다. 그리고 형성된 CoSi₂층의 두께는 약 50 nm로 비교적 균일하고 그 위에는 약 20 nm의 Ti-Co-Si 표면층이 형성되어 있음을 알 수 있다. 초기 Co두께가 20 nm일때 50 nm 두께의 CoSi₂가 만들어졌으므로, VLSI 소자에서 요구되는 30 ~ 50 nm 두께의 CoSi₂접촉을 얻기 위해서는 초기 Co의 두께는 15 nm가 가장 적당하다. 따라서 Co/Ti 이중박

막의 경우, 특성이 우수하고 두께가 30 ~ 50 nm인 CoSi₂에피박막을 형성하기 위해 가장 적합한 Ti과 Co의 적정 두께는 각각 5 및 15 nm 임을 알 수 있다. 이결과는 시행착오적인 실험에 의해 다른 연구자들^[4,5]이 선택한 적정 두께 Ti 6 nm/Co 18 nm와 유사한 결과이다.



(a)



(b)

그림 6. Co두께에 따른 XTEM결과 (Ti = 5 nm) ;
 (a) Co = 5 nm (b) Co = 20 nm
 Fig. 6. XTEM micrographs for different Co thickness.(Ti = 5 nm) ;
 (a) Co = 5 nm (b) Co = 20 nm

IV. 결 론

Co/Ti 이중 금속 박막의 역전을 통해 CoSi₂에피박막을 형성할 때,

1. Ti의 두께는 5 nm와 10 nm 막의 역전에는 별 영향이 없었다. 특히 Co의 두께가 15 nm이상인 경우 Ti의 두께는 20 nm 까지도 큰 영향을 미치지 않았다. 따라서 초기 Ti의 두께는 Ti-Co-Si 표면층을 최소화하기 위해, 자연산화막을 환원시킬 정도의 최소 두께 (< 5 nm)이 면 충분하다.
2. 그러나, Co의 두께는 너무 작을 경우 (< 15 nm), Co-Ti 혼합물/화합물에 소모되고 남은 여분의 Co

의 양이 제한되어 조성과 두께가 불균일하고 Si과의 계면이 매우 거친 얇은 두께의 CoSi₂가 형성되나 15 nm 이상인 경우 계면이 평탄하도 조성 및 두께가 균일한 CoSi₂ 에피박막이 형성되었다. 그러므로 특성이 우수한 CoSi₂에피박막이 형성되기 위해서는 초기 Co 두께는 15 nm 이상이 적절하다.

3. CoSi₂ 에피박막 형성에는, 내열금속의 높은 산화력 및 내열금속에 비해 Co의 상대적으로 높은 확산도가 필수적이며 박막의 형태 (morphology)는 Co와 내열금속의 상호 고용도에 크게 영향을 받았다.

참 고 문 헌

- [1] R. T. Tung and F. Schrey, "Increased uniformity and thermal stability of CoSi₂ thin films by Ti capping," *Appl. Phys. Lett.* vol. 67, no. 15, pp. 2164-2166, October 1995.
- [2] 李石運, 閔康翼, 朱承基, "동시 집합 공정에 의한 자기정렬 코발트 시리사이드 및 얇은 집합 형성에 관한 연구," *電子工學會論文誌*, 第29A卷, 第2號, pp. 127-135, 1992年, 2月
- [3] K. N. Tu and J. W. Mayer, *Thin Films : Interdiffusion and Reaction*, Wiley-Interscience, New York, U.S.A., 359 (1978).
- [4] S. L. Hsia, T. Y. Tan, P. Smith and G.E. McGuire, "Formation of epitaxial CoSi₂ films on (001) silicon using Ti-Co alloy and bimetal source materials," *J. Appl. Phys.*, vol. 70, no. 12, pp. 7579-7587, 15 December 1991.
- [5] S. L. Shia, T. Y. Tan, P. Smith and G. E. McGuire, "Resistance and structural stabilities of epitaxial CoSi₂ films on (001) Si substrates," *J. Appl. Phys.*, vol. 72, no. 5, 1864-1873, September, 1992.
- [6] M. Lawrence, A. Dass, D.B. Fraser and C.B. Wei, "Growth of epitaxial CoSi₂ on (100)Si," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 58, no. 12, pp. 1308-1310, March 1991.
- [7] S. P. Murarka, D. B. Fraser, A. K. Sinha, H. J. Levinstein, E. J. Lloyd, R. Lin, D. S. Williams, and S. J. Hillenius, "Self-Aligned Cobalt Disilicide for Gate and Interconnection and Contacts to Shallow Junction," *IEEE Trans. Electron Devices* ED-34, pp. 2108-2115, October, 1987.
- [8] F. Hong, G. A. Rozgonyi and B. Patnaik, "Nanoscale CoSi₂ contact layer growth from deposited Co/Ti multilayers on Si substrates," *Appl. Phys. Lett.*, vol 61, no. 13, pp. 1519-1521, 28 September 1992.
- [9] F. Hong, G. A. Rozgonyi and B. Patnaik, "Mechanisms of epitaxial CoSi₂ formation in the multilayer Co/Ti-Si(100) system," *Appl. Phys. Lett.*, vol 64, no. 17, pp. 2241-2243, 25 April 1994.
- [10] J. S. Byun, S. B. Kang, H. J. Kim, C. Y. Kim and K. H. Park, "Epitaxial growth of CoSi₂ on Si wafer using Co/Ta bilayer," *J. Appl. Phys.*, vol 74, no. 5, pp. 3156-3161, 1 September 1993.
- [11] J. S. Byun, D. H. Kim, W. S. Kim and H. J. Kim, "Epitaxial growth of CoSi₂ layer on (100)Si and facet formation at the CoSi₂/Si interface", *J. Appl. Phys.*, vol. 78, no. 3, p. 1725, 1995.
- [12] S.-L. Zhang, J. Cardenas, F. M. d'Heurle, B. G. Svensson and C. S. Petersson, "On the formation of epitaxial CoSi₂ from the reaction of Si with a Co/Ti bilayer," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 66, no. 1, pp. 58-60, 2 January 1995.
- [13] 김종렬, 배규식, 박윤백, 조윤성, "Co/Ti 이중박막을 이용한 CoSi₂ 에피박막형성에 관한 연구," *한국재료학회지*, 제4권, 제1호, pp. 81-89, 1994
- [14] 김종렬, 조윤성, 배규식 "Co/Ti 이중박막을 이용한 CoSi₂ 에피박막형성에 관한 연구," *한국재료학회지*, 제5권, 제3호, pp. 324-332, 1995
- [15] T. I. Selinder, T. A. Roberts, D. J. Miller, M. A. Beno, G. S. Knapp, K. E. Gray, S. Ogawa, J. A. Fair, D. B. Fraser, "In Situ X-ray Diffraction study of CoSi₂ formation during annealing of a Co/Ti bilayer on Si(100)," *J. Appl. Phys.* vol. 77, no. 12, pp. 6730-6732, 15 June 1995.
- [16] E. A. Brandes and G. B. Brook, *Smithells Metals Reference Book*, 7th ed., Butterworths, London, pp. 11-200, 1992.
- [17] T. L. Selinder, T. A. Roberts, D. J. Miller, M. A. Beno, G. S. Knapp, K. E. Gray, S. Ogawa, J. A. Fair and D. B. Fraser, "In

Situ X-ray Diffraction study of CoSi_2 formation during annealing of a Co/Ti bilayer

on Si(100).” J. Appl. Phys. vol. 77. no. 12, pp. 6730-6732, 15 June 1995.

저 자 소 개

金 鍾 烈(正會員) 第 33卷 A編 第 8號 參照

裴 圭 植(正會員) 第 33卷 A編 第 8號 參照