

## 다양한 박막층을 채용한 코발트실리사이드의 물성

정성희<sup>†</sup> · 송오성

서울시립대학교 신소재공학과

## Characteristics of Cobalt Silicide by Various Film Structures

Seong Hwee Cheong<sup>†</sup> and Oh Sung Song

Department of Materials Science and Engineering, The University of Seoul 90 Cheonmong-dong,  
Tongdaemun-gu, 130-743, Seoul

(2003년 2월 28일 받음, 2003년 4월 16일 최종수정본 받음)

**ABSTRACT** The  $\text{CoSi}_2$  process is widely employed in a salicide as well as an ohmic layer process. In this experiment, we investigated the characteristics of  $\text{CoSi}_2$  films by combinations of I-type ( $\text{TiN } 100\text{\AA}/\text{Co } 150\text{\AA}$ ), II-type ( $\text{TiN } 100\text{\AA}/\text{Co } 150\text{\AA}/\text{Ti } 50\text{\AA}$ ), III-type ( $\text{Ti } 100\text{\AA}/\text{Co } 150\text{\AA}/\text{Ti } 50\text{\AA}$ ), and IV-type ( $\text{Ti } 100\text{\AA}/\text{Co } 150\text{\AA}/\text{Ti } 100\text{\AA}$ ). Sheet resistances of  $\text{CoSi}_2$  show the lowest resistance with  $2.9 \Omega/\text{sq.}$  in a  $\text{TiN}/\text{Co}$  condition and much higher resistances in conditions simultaneously applying Ti capping layers and Ti interlayers. Though we couldn't observe a  $\text{CoSi}_2$  roughness dependence on the film stacks from RMS values, Ti capping layers turned into 78~94Å thick TiN layers of (200) preferred orientation at  $\text{N}_2$  ambient. In addition, Ti interlayers helped to form the epitaxial  $\text{CoSi}_2$  with (200) preferred orientation and ternary compounds of Co-Ti-Si. We propose that film structures of II-type and III-type may be appropriate in the salicide process and the ohmic layer process from the viewpoint of Co diffusion kinetics and the  $\text{CoSi}_2$  epitaxy.

**Key words** cobalt silicide, interlayers, capping layers, ohmic layer, TiN, Ti, salicide.

### 1. 서 론

반도체 소자에서 집적도의 증가에 따라 설계 기준이 보다 미세하게 됨으로써, 소자의 RC 지연 개선을 위하여 연결물질의 면저항과 접촉물질의 접촉저항을 감소시키려는 연구는 다양하게 진행되어 왔다.<sup>1-3)</sup> 이러한 RC 지연을 개선 시키기 위한 연구 중에서 살리사이드(self-aligned silicide: salicide) 공정과 금속 콘택의 오믹층(ohmic layer) 공정에 동시에 적용될 수 있는 실리사이드 박막 공정은 대표적이다.

이러한 이유로 반도체 metal oxide silicon field effect transistors(MOSFET) 소자의 속도향상을 위해 저저항물질을 채용하고자 마스크없이 활성화영역(actives)과 게이트의 상부에 선택적으로 저저항의 실리사이드를 형성시키는 살리사이드 공정의 수요가 점차 많아지고 있다.<sup>4)</sup> 또한, 금속 콘택공정에서 금속층과 도핑된 실리콘층과의 오믹 특성을 확보하기 위한 실리사이드 박막의 오믹층 연구는 콘택의 크기가 감소함에 따라 중요성은 크게 증가하고 있다.<sup>5)</sup>

이러한 살리사이드 공정 및 오믹층을 위한 연구 분야에서 티타늄실리사이드( $\text{TiSi}_2$ )는 가장 일반적으로 채용된 물질이었지만, 최근에는 박막 자체의 한계 특성에 의해

코발트실리사이드( $\text{CoSi}_2$ )가 활발히 적용되고 있다.

기존에 많이 쓰여온  $\text{TiSi}_2$ 는 실리콘원자의 이동도가 티타늄 보다 더 커서 최종적으로 형성된  $\text{TiSi}_2$ 가 원래의 Ti/Si 계면보다 더 높게 형성되고 게이트와 활성화영역이 전기적으로 연결되는 브리지 현상 문제<sup>6-8)</sup>와, 최소선폭이  $0.25 \mu\text{m}$  이하가 되면 안정한 저저항의  $\text{TiSi}_2$ 가 되지 못하고 급격히 저항값이 커지는 선폭 의존성 문제<sup>9,10)</sup> 등이 발생한다. 또한 게이트의 측벽인 스페이서와의 반응성 문제,<sup>11)</sup>  $\text{TiSi}_2$  형성에 따른 활성화 영역에서의 도펀트 재분포 문제점<sup>10)</sup> 등 여러 가지 문제점도 제기되었다.

상기 서술한 문제점들을 가지는  $\text{TiSi}_2$  박막의 한계를 극복할 수 있는 것으로 알려진  $\text{CoSi}_2$  공정에서도 중요하게 고려해야 할 몇가지 문제점이 있다. 먼저 Co/Si 계면에 약간의 자연산화막이 있어도 확산반응이 일어나지 않아 안정한  $\text{CoSi}_2$ 가 형성되지 못하는 문제점이 있다.<sup>12,13)</sup> 이를 개선하기 위해 과도한 습식세정을 실시하고 실리콘 기판 전면에 Co를 증착하기 직전에 플라즈마 건식식각을 추가하여 표면산화막을 적극적으로 제거하는 등의 방법이 있으나, 복잡한 추가공정이 필요하여 이에 따른 비용의 증가가 문제되었다. 따라서 건식식각 이외의 방법으로 최근에는 중간층을 채용하여 추가 건식식각 공정 없이 자연산화막 제거를 진행하는 경제적인 공정을 개발하려는 노력이 진행중이다.<sup>12,13)</sup> 중간층으로 채용될 수 있는 재료의 물성은 실리사이드가 형성되는 활성화 영역 상

<sup>†</sup>E-Mail : shcheong@sidae.uos.ac.kr

부의 자연산화막을 효과적으로 제거할 수 있어야하며, Co와 실리콘 층간의 물질이동을 방해하지 않고 균일한 물질이동을 도와서 최종적으로 형성되는 실리콘사이드층의 응집현상(agglomeration) 없이 균일한 층이 형성될 수 있어야 한다. 또한 실리콘사이드가 형성될 때 도펀트의 재배열에 영향을 미치지 않아 트랜지스터의 전기적 특성에 영향을 미치지 말아야 하며, 최종적으로  $\text{CoSi}_2$ 가 형성된 후 중간층과 그 부산물은  $\text{CoSi}_2$ 와 충분한 선택비를 가지고 제거될 수 있거나 제거되지 않더라도 콘택저항의 증가를 가져오지 말아야 한다.

상기 조건을 만족하는 중간층 재료로는 현재까지 반도체 공정에 안정적으로 채용되는 산화물, 질화물, 금속 등을 위주로 고려하여 산화막 제거 효과와 씨앗층 역할을 하는 재료로서 티타늄이 유력하다. 티타늄은 이미 무기계 난반사 방지막이나 콘택플러깅 공정에서의 확산방지층 및 오믹층으로 채용되어 물질이나 증착방법이 확보되었으므로 쉽게 실험이 가능한 장점이 있다.<sup>14)</sup>

한편,  $\text{CoSi}_2$  공정을 위한 박막구조에서는 Co가 산소분위기에서 쉽게 산화되는 특성을 개선시키고, 열적안정성을 향상시키기 위하여 캡핑(capping)층을 사용하기도 하는데, 이러한 캡핑층으로는 TiN이 주로 채용되었다. TiN 이외의 캡핑층으로는  $\text{CoSi}_2$ 의 형성을 위한 중간층 재료로 적용되는 Ti를 사용하기도 하는데, Ti의 경우는 산소분위기로 부터의 차단 효과도 있지만 열처리과정에 Co와의 부분적인 반응으로 확산특성이 좋은 Co가 급격히 이동하여 거칠기가 높은  $\text{CoSi}_2$ 가 형성하는 것을 방지하는 효과도 기대할 수 있다.<sup>15)</sup>

따라서 본 실험에서는  $\text{CoSi}_2$  공정을 위한 최적의 박막구조를 확인하기 위해 4가지 구조를 만들어 향후의 Co 박막이 적용될 수 있는 실리콘사이드 및 오믹층 공정에 대한 기초 연구를 수행하였다. 박막의 조합은 Co 층과 같이 일반적으로 채용되는 Ti 및 TiN 층을 이용하여 구성 하였으며, 중간층 및 캡핑층의 두께를 다양하게 하여

$\text{CoSi}_2$  박막을 형성 시킨 후, 여러 가지 분석 방법을 이용하여 평가하였다.

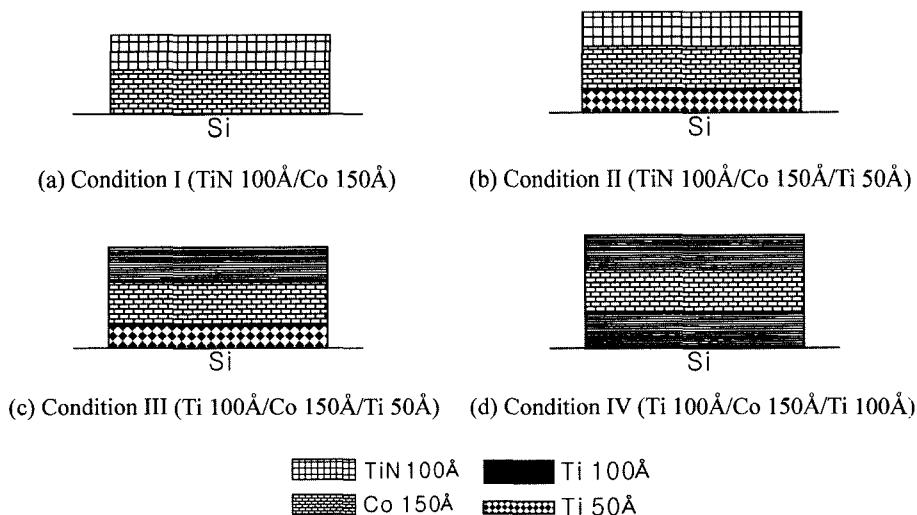
## 2. 실험 방법

직경 100 mm의 기판에 100:1 BOE 30 sec의 습식세정을 실시한 후 Fig. 1과 같은 네가지 조건의 박막적층구조를 형성하였다. Fig. 1에서 네가지 구조에서 각각 조건 I은 TiN 100Å/Co 150Å, 조건 II는 TiN 100Å/Co 150Å/Ti 50Å, 조건 III는 Ti 100Å/Co 150Å/Ti 50Å, 조건 IV는 Ti 100Å/Co 150Å/Ti 100Å의 적층 구조로 하였다.

네가지 조건에 대한 박막의 형성은 스퍼터링에 의해 진행하였으며, 각 박막에 대한 스퍼터링 조건은 두께에 따라 시간만 조정하고 동일 박막에 대해서는 동일 조건을 적용하였다.

스퍼터링은 DC magnetron을 이용하여 Ar plasma 상태에서 진행하였으며, 스퍼터링시 챔버 초기 진공도는  $1.0 \times 10^{-7}$  Torr이었고 증착 과정의 진공도는 약  $10^{-3}$  Torr를 유지하였다. 각 박막의 증착속도에서 Ti 박막은 10Å/sec, Co 박막은 10.44Å/sec, TiN 박막은 4.44Å/sec로 진행하였다. 스퍼터링 조건에서는 Ti 증착은 DC power 2kW와 증착 압력 25 mTorr, Co 박막은 DC power 1kW와 증착압력 16 mTorr, TiN 박막은 DC power 5kW와 증착압력 30 mTorr로 진행하였으며, 기판온도는 동일하게 200°C로 하였다. 네가지 적층구조에 대한  $\text{CoSi}_2$  형성을 위한 열처리는 질소( $\text{N}_2$ ) 분위기에서 급속열처리(rapid thermal annealing: RTA) 방법을 도입하였는데, 첫번째 RTA는 700°C-20 sec로 하고 두번째 RTA는 850°C-20 sec로 하는 2단계의 열처리를 하여  $\text{CoSi}_2$  박막을 형성하였다.

전술한 방법으로 준비된 시편들에 대해 사점시험기(four point probe)를 사용하여 면저항(sheet resistance: Rs)을



**Fig. 1.** Schematic film stacks of (a) TiN 100Å/Co 150Å(I), (b) TiN 100Å/Co 150Å/Ti 50Å(II), (c) Ti 100Å/Co 150Å/Ti 50Å(III) and (d) Ti 100Å/Co 150Å/Ti 100Å(IV).

측정하였고, 표면조도는 주사탐침현미경(scanning probe microscope: SPM)을 이용하여  $5 \times 5 \mu\text{m}^2$  범위를 대기중에서 콘택모드로 스캔하여 분석하였다.

XPS(X-ray photoelectron spectroscopy) depth profiling에 의하여 시편 표면으로 부터의 깊이에 따른 조성의 변화를 조사하였다. 이때 5 kV의 전자빔을 이용하였고, 스퍼터링 조건은 1 kV로  $2 \times 2 \text{mm}^2$  넓이를 스퍼터링하며 측정하였다.

한편 적층구조에 따른 잔류상을 확인하기 위해 XRD(X-ray diffractometer)로 상분석을 실시하였고, 수직단면 투과전자현미경을 활용하여 급속열처리 후의 잔류 급속층을 정량적으로 확인하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 면저항 분석

CoSi<sub>2</sub> 형성을 위한 네가지 구조를 동일한 급속열처리 조건으로 진행한 후 형성된 박막 적층 구조에 대한 면저항 특성을 측정하여 Fig. 2의 (a), (b)에 나타내었으며, 면저항 균일도(sheet resistance uniformity)는 25개의 측정 데이터에 대해 3σ 기준으로 수집한 것이다.

먼저 증착후 면저항은 Fig. 2(a)에서와 같이 Ti 중간층이 사용되지 않은 조건 I만 9.4 Ω/sq.의 높은 수치를

보였으며, 조건 II~IV는 약 8.0 Ω/sq.의 비슷한 수치를 보였다. 또한 각 박막 조건에 대한 균일도를 확인하여 조건들에 대한 증착 신뢰성을 확인하였는데, Fig. 2의 (b)에서와 같이 면저항 균일도는 4.94%~6.10%로 박막의 적층 구조는 조건간에 유사한 두께로 증착된 것을 간접적으로 확인하였다.

열처리 후 면저항 특성에서 Fig. 2(a)에서와 같이 조건 I 구조에 의한 면저항은 2.6 Ω/sq.의 수치로 가장 낮은 값을 보였으며, 조건 IV 구조가 7.3 Ω/sq.의 가장 높은 면저항을 보였다. 그리고 조건 II는 4.1 Ω/sq.의 면저항을 보였으며, 조건 III는 5.7 Ω/sq.의 면저항을 보였다. 이와 같은 결과로부터 적층구조에서 저항이 가장 낮은 CoSi<sub>2</sub>에 의해 면저항이 결정되므로 각 조건간 CoSi<sub>2</sub>의 두께를 예상할 수 있다. 조건간 면저항 균일도에서는 Fig. 2(b)에서와 같이 조건 I이 2.1%의 균일도로 가장 낮은 값을 보였으며, 나머지 조건은 4.8% 이상으로 비교적 높은 수치를 보였다.

#### 3.2. 표면거칠기 분석

박막 구조에 따른 표면거칠기를 조사하여 Fig. 3에 나타내었는데, 조건 II와 IV는 약 30Å의 RMS로 양호한 결과를 보였지만 조건 I은 54Å, 조건 III는 94Å의 RMS로 높은 결과를 보였다. 일반적으로 TiN은 CoSi<sub>2</sub> 및 배리어 금속(barrier metal) 공정에서 반응에 안정적인 물질이므로, 박막구조에 따른 원자이동에는 영향을 미치지 않는다. 따라서, 네가지 박막구조에서 TiN 100Å/Co 150Å의 조건 I은 Co 단일막에 의해서 형성된 CoSi<sub>2</sub>의 표면거칠기에 의해 영향 받는 것을 예상할 수 있다. 그리고 TiN 100Å/Co 150Å/Ti 100Å의 조건 II는 Ti가 Co 이동을 지연 시켜 에피택시 CoSi<sub>2</sub>를 형성함으로써, 조건 I에 비해 개선되는 것으로 나타났다.<sup>12,13,16,17</sup> Ti/Co/Ti 구조의 조건 III, IV의 표면거칠기에서 조건 IV는 30Å의 RMS로 낮은 값을 보였지만, 조건 III는 94Å로 가장 나쁜 결과를 보였다. 그러므로 Ti/Co/Ti 구조에서는

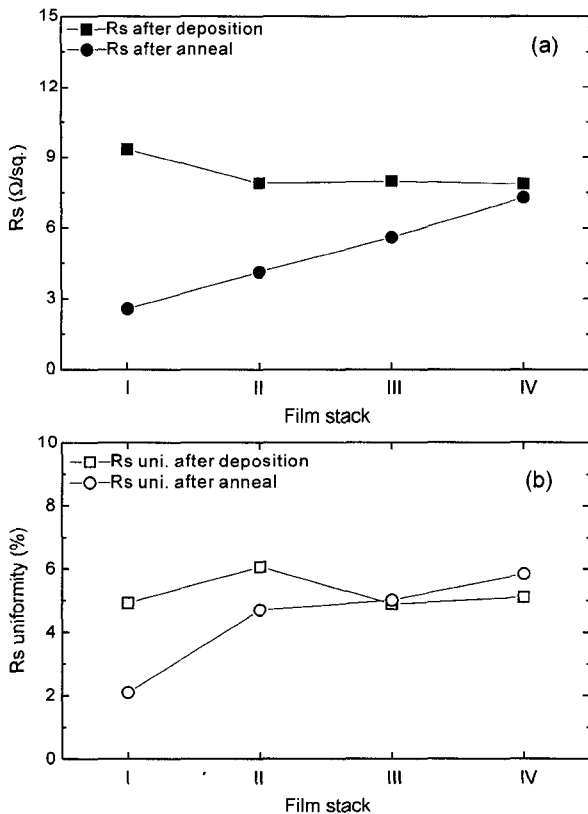


Fig. 2. The behaviors of (a) sheet resistance and (b) sheet resistance uniformity of after deposition and after RTA for four film stacks of TiN 100Å/Co 150Å(I), TiN 100Å/Co 150Å/Ti 50Å(II), Ti 100Å/Co 150Å/Ti 50Å(III) and Ti 100Å/Co 150Å/Ti 100Å(IV).

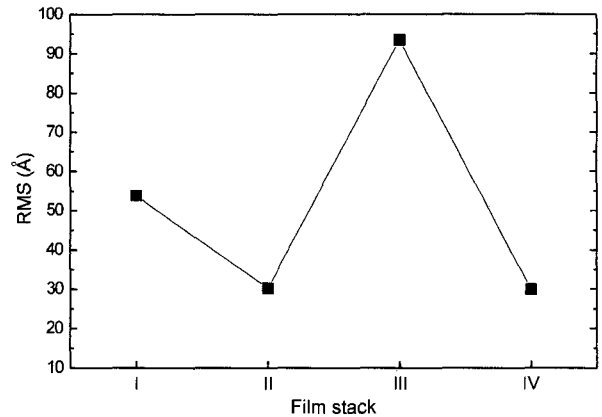


Fig. 3. The RMS values of films after RTA for four film stacks of TiN 100Å/Co 150Å(I), TiN 100Å/Co 150Å/Ti 50Å(II), Ti 100Å/Co 150Å/Ti 50Å(III) and Ti 100Å/Co 150Å/Ti 100Å(IV).

열처리에 따른 Co의 상·하부층의 Ti와의 반응성 차이에 의해 표면 거칠기가 좌우되며, 중간층 Ti를 50Å을 사용하는 조건 II와 IV의 비슷한 RMS 경향으로 부터 TiN 및 Ti 캡핑층 자체에 의한 영향성은 거의 없는 것으로 확인되었다.

그러므로 조건 I, II는 하부의 CoSi<sub>2</sub>의 영향성에 의해 표면거칠기가 좌우되었으나, Ti/Co/Ti 구조의 조건 III와 IV에서는 CoSi<sub>2</sub> 영향성 보다는 Co-Ti-Si/CoSi<sub>2</sub>의 복합층 구조의 표면거칠기에 의한 경향을 보였다.

### 3.3. 박막조성 분석

급속열처리후의 박막조성 결과는 XPS에 의해 Fig. 4의 (a)~(d)에 나타내었는데, 초기 박막 증착 구조에 따라 뚜렷한 depth profile을 보였다.

조건 I의 TiN/Co 구조는 Fig. 4(a)에서와 같이 TiN 층과 CoSi<sub>2</sub> 층의 조성이 일정하게 뚜렷하게 나타났다. TiN 조성은 1:1의 비율을 보였으며, CoSi<sub>2</sub> 층은 예상과 달리 조성비( $x = \text{Si}/\text{Co}$ )가 2.3으로 안정적인 비율인 2.0 보다 더 높은 Si rich 상태를 보였다. 그리고 oxygen이 TiN 층에 부분적으로 관찰되었다. 조건 II의 TiN/Co/Ti 구조는 Fig. 4의 (b)에서와 같이 표면부에서는 TiN 조성이 유지되었으나, 하부의 depth profile에서는 복잡한 원자 구성을 보였다. 즉, TiN 하부에 Ti rich한 TiN이 존재하며, 그 하부에는 Co-Ti-Si의 화합물이 발견되었다. 일반적으로 Co/Ti의 구조를 포함하는 박막 적층에서는 Ti 중간층에 의한 에피택시 성장의 장점도 있지만, 동시에 부수적으로 발생되는 Co-Ti-Si<sup>18)</sup> 많은 원자 및 복

잡한 조성으로 인하여 일반적인 케미컬에 의한 제거가 어려운 특성을 가진다. 그리고 Co-Si로 이루어진 CoSi<sub>x</sub>( $x > 2.0$ ) 층은 가장 하부에 발견되었으며, Ti 원소는 상부의 TiN 층부터 하부의 CoSi<sub>x</sub> 층까지 존재하여 급속열처리에 따라 Co와 중간층 Ti는 위치가 바뀌지만 많은 양이 CoSi<sub>x</sub> 층 내에 잔존하고 있는 것을 알 수 있었다. Ti/Co/Ti의 구조를 적용한 Fig. 4의 (c)와 (d) 구조는 중간층 Ti 두께에서 차이가 있었지만, XPS에 의한 depth profile은 거의 유사하였다. 조건 III와 IV는 모두 표면부에 N rich의 TiN 층이 얇게 존재하였으며, 하부로 갈수록 Ti 성분은 연속적으로 발견되었으나 sputter time 7 min 지점부터 N 성분은 관찰되지 않았다. 따라서, 표면부가 Ti지만 N<sub>2</sub> 분위기에서 급속열처리를 하기 때문에 Ti와 N 반응이 발생하여 TiN 층이 얇게 형성됨을 예상할 수 있다. 그리고, TiN 층 하부에는 조건 II와 유사하게 조성비가 일정하지 않은 Co-Ti-Si 화합물이 나타났으며, 순수 Si 기판 바로 위에는 CoSi<sub>x</sub>( $x > 2.0$ ) 층이 존재하였다. Ti 성분은 앞의 중간층을 사용한 조건 II와 마찬가지로 CoSi<sub>x</sub> 층에 상당부분 잔류하고 있으며, 동일 구조의 조건 III와 IV의 Ti 중간층 두께에 따른 영향은 Ti가 100Å일 때가 Ti 50Å에 비해 표면부에서 Ti 조성비가 더 높은 것으로 부터 중간층 Ti의 외부 확산이 이루어졌다는 것을 확인할 수 있었다.

### 3.4. XRD 분석

박막 구조에 따른 잔류상을 확인하기 위하여 XRD 분석을 하여 관찰된 peak를 Fig. 5에서와 같이 정리하였

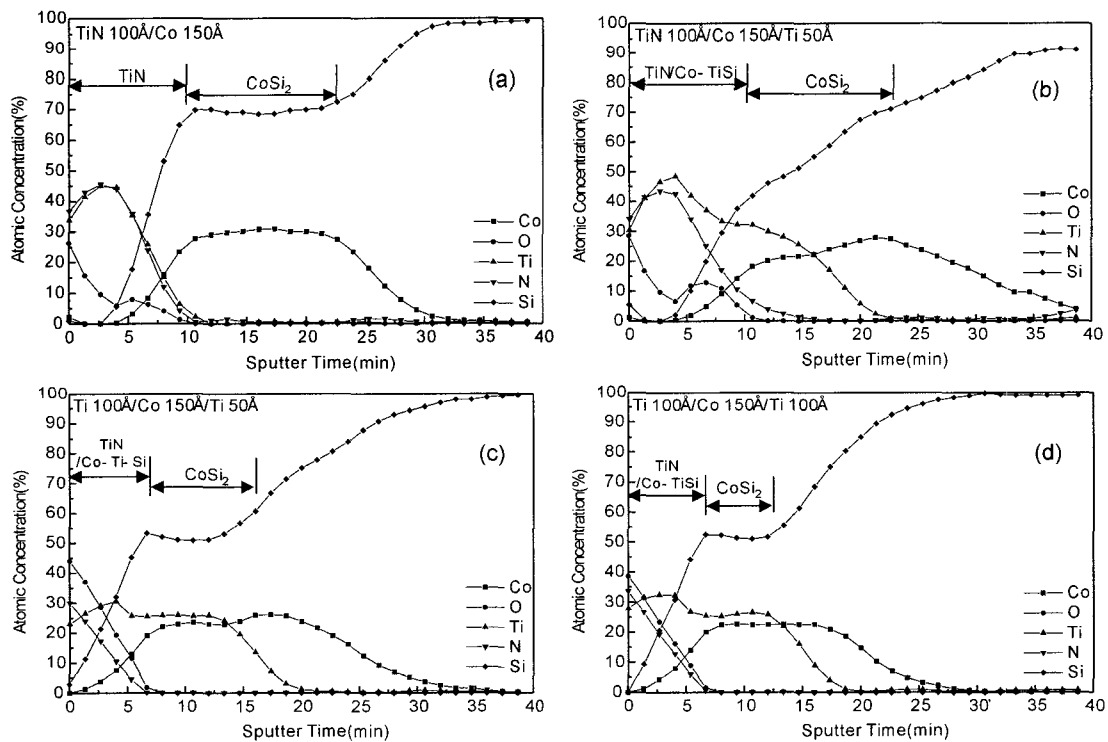


Fig. 4. The XPS profiles of films after RTA by four film stacks of (a) TiN 100Å/Co 150Å(I), (b) TiN 100Å/Co 150Å/Ti 50Å(II), (c) Ti 100Å/Co 150Å/Ti 50Å(III), and (d) Ti 100Å/Co 150Å/Ti 100Å(IV).

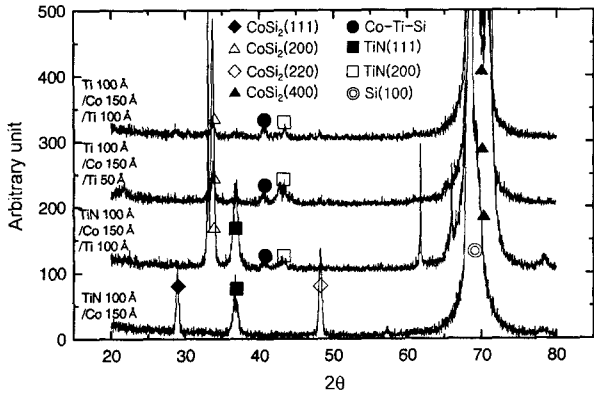


Fig. 5. The XRD peaks of films after RTA by four film stacks of TiN 100 Å/Co 150 Å(I), Ti 100 Å/Co 150 Å/Ti 50 Å(II), TiN 100 Å/Co 150 Å/Ti 50 Å(III) and Ti 100 Å/Co 150 Å/Ti 100 Å(IV).

다. 일반적으로 Ti 중간층을 사용하는 경우 Ti의 자연산화막 제거와 Co의 확산 조절 기능에 의해 CoSi<sub>2</sub>의 에피택시 성장을 유도할 수 있는데,<sup>12,13)</sup> Fig. 5에서도 같이 Ti 중간층에 의한 역할을 확인할 수 있었다.

Ti 중간층을 사용하지 않은 TiN/Co의 조건 I은 Fig. 5에서와 같이 CoSi<sub>2</sub>의 (111)/(220) peak로부터 에피택시 성장이 이루어지지 않았음을 확인하였으며, 증착된 캡핑 TiN은 (111)의 우선성장을 보였다. Ti 중간층을 사용한 조건 II~IV는 공통된 peak가 확인되었는데, CoSi<sub>2</sub>의 (200)와 (400) 방향의 우선성장으로 에피택시 박막이 형성되었음을 확인하였다. 또한 Ti 중간층과 Co의 역전이 발생함으로써 CoSi<sub>2</sub>가 형성되는 과정에 공통적으로 Co-Ti-Si의 화합물이 2θ=42°에서 발견되었다.<sup>19)</sup> 그리고 N<sub>2</sub> 분위기의 급속열처리에 따라 추가적인 TiN의 형성을 확인할 수 있었다. 즉, 조건 II(TiN 100 Å/Co 150 Å/Ti 100 Å)의 경우는 Co 위에 증착된 TiN에 의한 (111) 이외에 2θ=43° 부근의 (200) 우선배향의 형성을 확인할 수 있었으며, 조건 II와 IV의 Ti/Co/Ti 구조에 대한 TiN peak는 2θ=43°에서만 확인되어 Ti 층의 N<sub>2</sub> 분위기 열처리 과정에 (200)의 TiN 박막이 형성됨을 알 수 있었다.

### 3.5. 미세구조 분석

네가지 박막구조에 대한 급속열처리 후의 수직단면을 투과전자현미경에 의해 관찰하였는데, 결과를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6(a)에서와 같이 조건 I에 의한 CoSi<sub>2</sub>의 두께는 579 Å으로 Co 두께 대비 3.8배의 성장으로 일반적으로 알려진 3.6 비율<sup>20-22)</sup>에 비해 높기는 하지만, 일반적인 결과와 유사한 수치를 보여 Co의 완전한 반응이 진행된 것으로 판단된다. TiN 박막은 Fig. 6(a)에서와 같이 두께가 증착된 것과 거의 같은 152 Å으로 분석되어 급속열처리 후의 TiN의 안정성을 확인할 수 있었다. 조건 I에 비해 Ti 중간층만 추가한 조건인 조건 II(TiN 100 Å/Co 150 Å/Ti 50 Å)는 CoSi<sub>2</sub> 두께가 Fig.

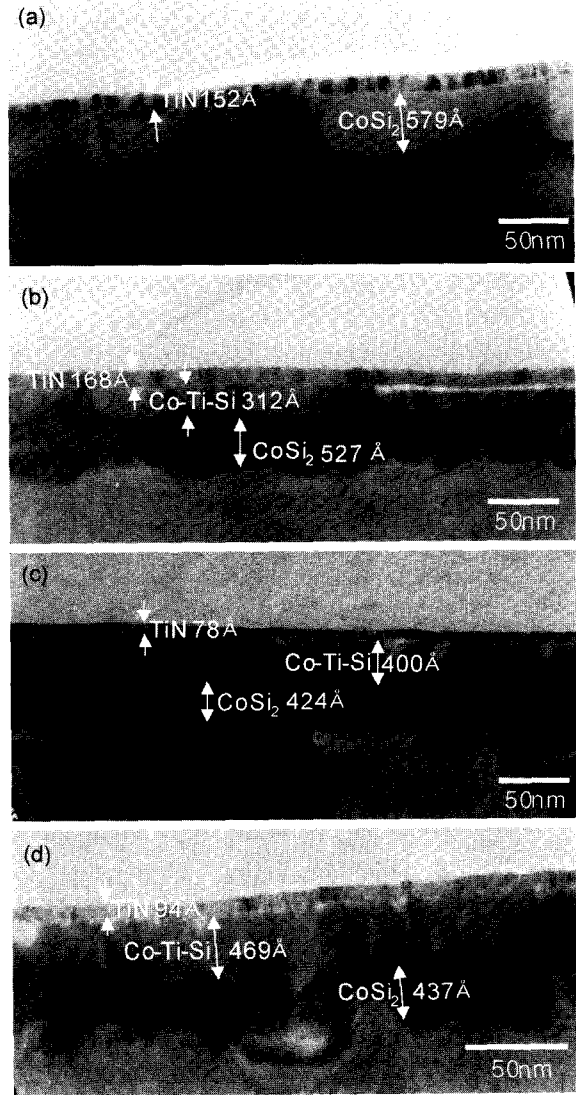


Fig. 6. The TEM images of films after RTA by four film stacks of (a) TiN 100 Å/Co 150 Å(I), (b) TiN 100 Å/Co 150 Å/Ti 50 Å(II), (c) Ti 100 Å/Co 150 Å/Ti 50 Å(III), and (d) Ti 100 Å/Co 150 Å/Ti 100 Å(IV).

6(b)에서와 같이 527 Å으로 Ti 층의 채용에 의해 약 52 Å 감소하였다. 그리고 CoSi<sub>2</sub> 층 위에는 Co-Ti-Si 화합물이 312 Å 정도 확인 되었으며, TiN은 조건 I과 비슷한 두께인 168 Å으로 확인되어 급속열처리 과정에 안정적으로 유지되는 것을 확인할 수 있었다. CoSi<sub>2</sub>/Si과의 계면 거칠기에서는 TiN/Co 구조는 CoSi<sub>2</sub>가 다결정으로 성장하기 때문에 결정립 모양을 가지는 형태를 보였지만, 에피택시가 성장된 TiN/Co/Ti 구조는 전체적인 계면 거칠기는 좋았지만 많은 facet 현상이 나타났다.<sup>23,24)</sup> 또한 TiN/Co/Ti 구조에서 각 박막사이의 계면은 양호한 거칠기를 보였다.

조건 III와 IV의 동일 박막 구조에 대한 수직단면 이미지는 Fig. 6의 (c), (d)와 같이 Ti 두께에 따라 많은 차이를 보였는데, 사진에서의 배율은 서로 틀리지만 형성된 각 박막의 두께도 서로 다른 양상을 보였다. CoSi<sub>2</sub>

형성 두께는 조건 III에서 약 424Å으로 캡핑층을 TiN으로 사용했을 때의 527Å 보다 약 100Å 감소하였으며, 중간층 Ti 두께를 증가시킨 조건 IV에 비해서는 전체적으로 더 두껍게 성장한 것으로 판단되었다. 조건 IV의 경우는 CoSi<sub>2</sub>의 성장이 너무 불균일하고 계면이 거칠어 두께의 정확한 정의는 불가능하였다. 따라서 캡핑층이 TiN 및 Ti일 경우 급속열처리 과정에 Co와 TiN의 반응성은 거의 없지만, Ti는 Co와 반응 특성을 가지는 것으로 판단된다.<sup>15)</sup> 특히 Ti 캡핑 구조에서 Ti 중간층의 두께가 증가하면 조건 III과 IV의 경우에서와 같이 형성되는 CoSi<sub>2</sub>의 특성에 크게 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

Ti 캡핑층의 영향성은 CoSi<sub>2</sub>와 Si의 계면 거칠기 측면에서 가장 뚜렷하게 확인할 수 있는데, 조건 II~IV에서와 같이 Ti 층을 사용할수록 CoSi<sub>2</sub>/Si의 계면거칠기는 증가하는 경향을 보였다. 이것으로 부터 Ti 중간층이 증가하여 CoSi<sub>2</sub> 반응이 지연되면 급속열처리 과정에 Ti 캡핑층과의 반응성 및 영향성이 증가하여 정상적인 에피택시의 CoSi<sub>2</sub> 박막이 형성되지 못함을 확인할 수 있었다. 또한 Fig. 6의 (c), (d)에서와 같이 Ti 캡핑층에 의한 TiN 박막으로의 부분적인 변화는 약 78Å~94Å의 두께로 형성되었다.

#### 4. 결 론

CoSi<sub>2</sub> 공정의 살리사이드 및 오믹층 적용을 위하여 Co, Ti, TiN의 박막을 다양하게 조합하여 I형(TiN 100Å/Co 150Å), II형(Ti 100Å/Co 150Å/Ti 50Å), III형(Ti 100Å/Co 150Å/Ti 50Å), IV형(Ti 100Å/Co 150Å/Ti 100Å)를 증착하고 급속열처리한 후 형성되는 박막층의 물성을 평가 하여 다음과 같은 결과들을 얻었다.

1. 면저항 특성에서 조건 I(TiN/Co)이 CoSi<sub>2</sub>가 가장 두껍게 형성되어 가장 낮은 2.6 Ω/sq.의 수치를 보였고 조건 IV가 7.3 Ω/sq.의 면저항 값으로 Ti 중간층 및 캡핑층에 의해 CoSi<sub>2</sub> 형성이 억제됨을 알 수 있었다.

2. Ti 중간층을 사용하지 않은 TiN/Co 구조는 균일한 CoSi<sub>2</sub>의 조성비를 얻었지만, Ti 중간층을 사용하면 CoSi<sub>2</sub> 층 위에 Co-Ti-Si 화합물이 형성되었으며, Ti 캡핑층은 급속열처리에 따라 TiN 박막으로 전환됨을 확인하였다.

3. Ti 중간층을 사용하는 경우 에피택시 CoSi<sub>2</sub> 상이 형성되었으며, Co-Ti-Si 상도 동시에 발견되었다. TiN 상의 경우 증착된 TiN 캡핑은 (111) 우선성장을 보이고, 급속열처리 후 Ti 박막으로부터 얻어진 TiN 박막은 (200)의 우선성장을 보였다.

4. Ti 중간층을 사용하면 CoSi<sub>2</sub>의 형성이 억제되었으며, Ti 중간층과 캡핑층을 동시에 적용하면 CoSi<sub>2</sub> 형성은 크게 억제될 수 있었다.

따라서 네가지 박막구조 중에서 Co 원자의 높은 확산 특성과 형성되는 CoSi<sub>2</sub>의 에피택시 및 계면간 거칠기를

고려할 때 II형과 III형의 구조가 살리사이드 공정 및 오믹층 공정으로 적합할 것으로 판단되었다.

#### 감사의 글

이 연구는 2002년도 서울시립대학교 학술연구용 첨단 장비 지원에 의하여 이루어진 것입니다. 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. J. Y. Dai, Z. R. Guo, S. F. Tee, C. L. Tay, E. Er and S. Redkar, *Appl. Phys. Lett.*, **78**, 3091 (2001).
2. J. Prokop, C. E. Zybilla and S. Veprek, *Thin Solid Films*, **359**, 39 (2000).
3. C. Detavernier, R. L. Van Meirhaeghe and F. Cardon, *J. Appl. Phys.*, **88**, 133 (2000).
4. C. M. Osburn, J. Y. Tsai and J. Sun, *J. Electron Material*, **25**, 1725 (1996).
5. J. A. Kittl and Q. Z. Hong, *Thin Solid Films*, **320**, 110 (1998).
6. A. E. Morgan, E. K. Broadbent, K. N. Ritz, D. K. Sadana and B. J. Burow, *J. Appl. Phys.*, **64**, 344 (1988).
7. C. Y. Ting, M. Wittmer, S. S. Iyer and S. B. Brodsky, *J. Electrochem. Soc.*, **131**, 2934 (1984).
8. G. J. P. Krooshof, F. H. P. M. Habraken, W. F. van der Weg, L. Van den Hovw, K. Maex and R. F. De Keersmaecker, *J. Appl. Phys.*, **63**, 5110 (1988).
9. J. Lutze, G. Scott and M. Manley, *IEEE Electron Device Lett.*, **21**(4), 155 (2000).
10. H. Fang, M. C. Oztu, E. G. Seebauer, D. E. Batchelor, *J. Electrochem. Soc.*, **146**(11), 4240 (1999).
11. Y. S. Ahn and O. S. Song, *J. Mater. Res.*, **11**, 71 (2001).
12. R. T. Tung, *MRS Symp. Proc.*, **427**, 481 (1996).
13. M. L. A. Dass, D. B. Fraser and C. S. Wei, *Appl. Phys. Lett.*, **58**, 1308 (1991).
14. Y. P. Chen, G. A. Dixit, J. P. Lu, W. Y. Hsu, A. J. Konecni, J. D. Luttmner and R. H. Havemann, *Thin Solid Films*, **320**, 73 (1998).
15. D. K. Sohn, J. S. Park, B. H. Lee, J. U. Bae, J. S. Byun and J. J. Kim, *Appl. Phys. Lett.*, **73**, 2302 (1998).
16. D. Mangelinck, J. Cardenas, F. M. d'Heurle, B. G. Svensson and P. Gas, *J. Appl. Phys.*, **86**, 4908 (1999).
17. A. Lauwers, Q. F. Wang, B. Deweerdt and K. Maex, *Applied Surface Science*, **91**, 12 (1995).
18. G. B. Kim and H. K. Baik, *Appl. Phys. Lett.*, **69**, 3498 (1996).
19. T. S. Kang and J. H. Je, *Appl. Phys. Lett.*, **80**, 1361 (2002).
20. J. Chen, J. P. Colinge, D. Flandre, R. Gillon, J. P. Raskin, and D. Vanhoenacker, *J. Electrochem. Soc.*, **144**(7), 2437 (1997).
21. R. T. Tung, *Applied Surface Science*, **117/118**, 268 (1997).
22. H. Zhang, J. Poole, R. Eller and M. Keefe, *J. Vac. Sci. Technol.* **A17**, 1904 (1999).
23. D. P. Adams, S. M. Yalisove and D. J. Eaglesham, *J. Appl. Phys.*, **76**, 5190 (1994).
24. T. S. Kang, J. H. Je, G. B. Kim, H. K. Baik and S. Lee, *J. Vac. Sci. Technol.* **B18**, 1953 (2000).