

## Cu와 Co-Nb 이중층 실리사이드 계면의 열적안정성

이중무 · 권영재 · 김영욱\* · 이수천\*

인하대학교 금속공학과  
\*삼성전자(주) 반도체 부문

### Thermal Stability of the Cu/Co-Nb Multilayer Silicide Structure

Chongmu Lee, Youngjae Kwon, Young Wuk Kim\*, and Soo Chun Lee\*

Department of Metallurgical Engineering, Inha University, Incheon 402-751

\*Samsung Electronics, Semiconductor Business

(1997년 1월 16일 받음, 1997년 5월 23일 최종수정본 받음)

**초 록** RBS와 XRD를 이용하여 Co-Nb이중층 실리사이드와 구리 배선층간의 열적안정성에 관하여 조사하였다.  $Cu_3Si$  등의 구리 실리사이드는 열처리시 400°C 정도에서 처음 형성되기 시작하였는데, 이 때 형성되는 구리 실리사이드는 기판의 상부에 존재 하던 준안정한 CoSi의 분해시에 발생한 Si원자와의 반응에 의한 것이다. 한편, 600°C에서의 열처리 후에는  $CoSi_2$  층을 확산·통과 한 Cu 원자와 기판 Si와의 반응에 의하여  $CoSi_2/Si$ 계면에도 구리 실리사이드가 성장하였는데, 이렇게 구리 실리사이드가  $CoSi_2/Si$  계면에 형성되는 것은 Cu원자의 확산속도가 여러 중간층에서 Si원자의 확산속도 보다 더 빠르기 때문이다. 열처리 결과 최종적으로 얻어진 층구조는  $CuNbO_3/Cu_3Si/Co-Nb$ 합금층/ $Nb_2O_5/CoSi_2/Cu_3Si/Si$ 이었다. 여기서 상부에 형성된  $CuNbO_3$ 는 Cu원자가  $Nb_2O_5$  및 Co-Nb합금층과 반응하여 기지조직의 입계에 석출되어 형성된 것이다.

**Abstract** Thermal stability of the interface of a Cu film and a Co-Nb multilayer silicide has been investigated using RBS and XRD. The Cu silicides such as  $Cu_3Si$  began to form during annealing at about 400°C. The source Si for the Cu silicidation at this temperature is provided by the dissolution of the metastable CoSi phase in the upper side of the Co-Nb silicide underlayer. A  $Cu_3Si$  layer formed in between the  $CoSi_2$  layer and the Si substrate after annealing at 600°C is mainly due to Cu diffusion through the  $CoSi_2$  layer. The formation of the Cu silicide at the interface of  $CoSi_2$  and the Si substrate is attributed to faster diffusion of Cu than Si in various Co-Nb multilayers. The final layer structure after the heat treatment at 600°C is found to be  $CuNbO_3/Cu_3Si/Co-Nb$  alloy/ $Nb_2O_5/CoSi_2/Cu_3Si/Si$ . The  $CuNbO_3$  phase precipitated at the silicide grain boundaries as a result of the reaction of Cu with  $Nb_2O_5$  and Co-Nb alloys.

### 1. 서 론

Si집적회로의 다층배선 구조에서는 상부의 배선층과 하부의 Si 또는 실리사이드 기판과의 접촉이 빈번히 이루어진다. 따라서 그 계면에서 두 재료간의 열적안정성은 그간 많은 사람들의 관심사였다. 그런데 지금까지 배선재료로 주로 사용되어 왔던 Al은 Si와 직접 접촉할 경우 서로 확산하여 junction spiking이 일어남으로써 접촉부(contact)의 전기적 특성이 파괴되는 단점이 있었다. 따라서 이러한 Si의 확산을 막기 위하여 Al 중에 소량의 Si를 첨가해 주기도 하였는데, 이 경우 열처리중 Si가 접촉부에 석출되어(Si node) 접촉저항이 증가하는 문제점이 있었다<sup>1)</sup>. 따라서 이러한 문제점들에 대한 해결책으로써 반응성이 매우 낮은 TiN 등의 확산방지막이 도입되어 현재 널리 사용되고 있다<sup>2)</sup>.

그러나 반도체 소자의 집적도가 비약적으로 향상됨에 따라 지금까지는 별로 이슈가 되지 않았던 Al의 비저항, 일렉트로마이그레이션(electromigration) 내성 등이 새로이 문제가 되기 시작하였으며, 이에 따라 새로운 배선 재료의 도입이 모색되고 있는데, 구리는 Al에 비해 비저항이 상당히

낮으며, 일렉트로마이그레이션이나 스트레스마이그레이션(stress-induced void formation) 등에 대한 내성이 매우 크기 때문에 앞으로 고속 논리회로, ASIC 회로, 또는 고밀도 메모리 등에서 Al을 대신하여 배선재료로 사용될 가능성이 매우 높다. 이러한 배경에서 최근 구리와 Si 또는  $TiSi_2$ 나  $CoSi_2$ 같은 접촉부의 전극을 구성하고 있는 실리사이드 재료간의 계면 안정성에 대하여 많은 연구가 이루어지고 있다<sup>3,4)</sup>. 그런데 구리는 Al에 비해 상당히 낮은 온도(< 150°C)에서도 실리사이드를 형성한다<sup>5)</sup>. 이렇게 구리의 확산에 의해 실리사이드가 형성되면 접촉저항이 증가하며, 또 Si내로 확산한 Cu원자는 dopant들에 대해 생성-재결합 센터의 역할을 하기 때문에 소자의 전기적 특성을 악화시킨다<sup>6)</sup>. 그러므로 Al의 경우와 마찬가지로 확산방지막의 도입이 필수적인 것으로 보인다.

이에 본 논문에서는 장래 giga급 소자에서 Al을 대체하여 상부배선으로 사용될 가능성이 높은 구리와 역시 동급 소자에서 MOS트랜지스터의 전극으로 사용될 것으로 보이는 Co/내화금속 실리사이드, 특히 Co/Nb이중층 실리사이드의 계면에서의 열적안정성에 관하여 조사하였다. Co-Nb

Table 1. RTA Process Conditions

Temperature (°C)		800
Time (sec.)	rising	90
	steady state	30
Base Vacuum (torr)		$5 \times 10^{-2}$
ambient		in N <sub>2</sub> (4N)

Table 2. Furnace Annealing Process Conditions

Temperature (°C)		200, 400, 600
Time (min.)	rising	10 - 20
	steady state	30
Base Vacuum (torr)		$1 \times 10^{-1}$
ambient		in vac.

이중층 실리사이드는 전자선 기화기를 이용하여 각 금속막을 증착한 후 급속열처리하여 Co실리사이드와 Co-Nb합금층 및 Nb 산화물층 등의 다층구조를 형성하였고, 그 위에 구리막을 증착하여 열처리함으로써 구리와 기판 Si와의 반응에 미치는 Co-Nb이중층 실리사이드의 영향과, 그 결과로서 형성되는 구리 실리사이드의 생성기구를 알아보고자 하였다.

## 2. 실험 방법

본 실험에서 사용한 시편의 제작 공정은 다음과 같다. 기판으로 사용한 n<sup>-</sup>-Si(100) 웨이퍼의 준비 과정은 Co/Nb 이중층 구조를 이용한 Co실리사이드의 형성에 관하여 조사 하였던 앞서의 논문<sup>6)</sup>에서의 그것과 본질적으로 같다. 이렇게 준비한 기판에 대해 전처리로서 50:1 HF용액에서 Si 웨이퍼 상의 자연산화막을 제거해 주었다. 이어서 전자선 기화기(e-beam evaporator)를 사용하여 Co(15nm)/Nb(15nm) 이중층(Nb 아래, Co 위)박막을 차례로 형성한 후, 급속열처리(Rapid Thermal Annealing)로 800°C의 질소 분위기 하에서 30초간 열처리하여 형성한 Co실리사이드 기판 위에 이어서 전자빔 증발기로 10nm의 구리막을 증착하여 주었다. 이렇게 준비한 시편들을 200, 400 및 600°C의 질소 분위기 하에서 30분간 furnace 열처리함으로써 최종 시편들을 만들었다. 위의 Table 1과 2는 각기 RTA와 furnace에 의한 열처리 조건을 정리한 것이다.

위와 같이 준비한 시편들에 대해 glancing angle XRD를 이용하여 furnace 열처리 후 형성된 상들을 분석하였다. 그리고 이에 따른 면저항의 변화를 4점 탐침기를 이용하여 조사하였으며, 이어서 상부 구조층을 모두 제거한 후 열처리에 의하여 Si 표면에 발생한 구리의 etch-pit을 SEM을 통하여 관찰하였다. 또한 RBS분석에 의하여 반응과 확산거리를 조사함으로써 전체적인 층구조를 결정하였다.

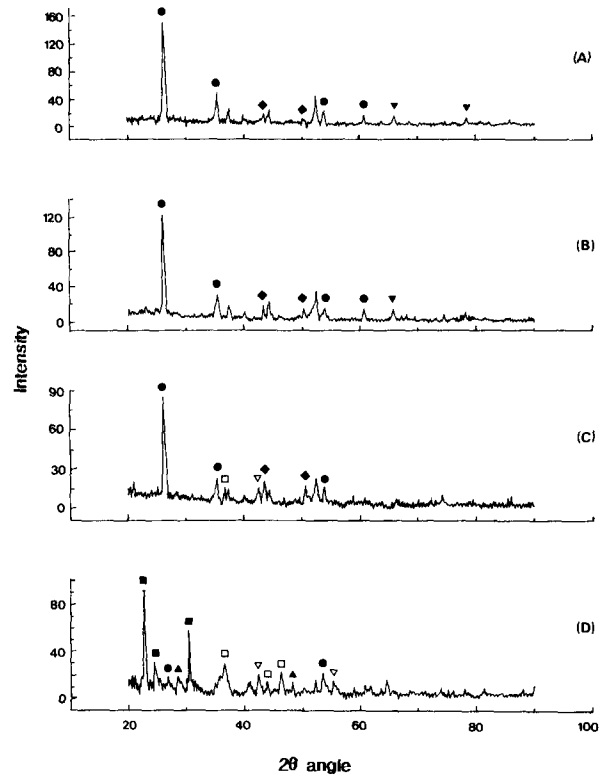


Fig. 1. XRD spectra of Cu/Co-Nb multilayer silicide/Si sample after furnace annealing for 30min : (a) no annealing, (b) 200°C, (c) 400°C, and (d) 600°C. (● : Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ■ : CuNbO<sub>3</sub>, □ : Cu<sub>3</sub>Si, ▽ : CuSi, ▲ : CoSi<sub>3</sub>, ▼ : CoSi, ◆ : Cu)

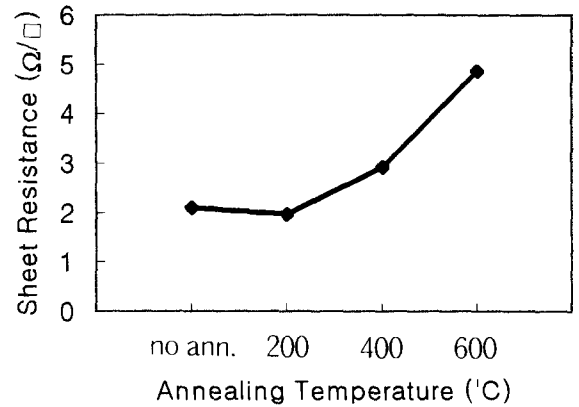


Fig. 2. Sheet resistance of Cu-Co/Nb samples as a function of annealing temperature

## 3. 결과 및 고찰

Fig. 1의 (a), (b), (c) 및 (d)은 Si기판 위에 Nb(15nm)와 Co(15nm)를 차례로 증착한 다음 질소 분위기에서 800°C, 30초간 급속열처리하여 얻은 복합 실리사이드층 위에 10nm두께의 구리막을 증착하고 다시 200, 400 및 600°C에서 30분간 furnace 열처리한 시편들에 대한 XRD 분석 결과들이다.

열처리를 하지 않은 시편과 200°C에서 30분간 furnace 열처리를 한 시편들의 XRD스펙트럼을 비교해 보면 피크

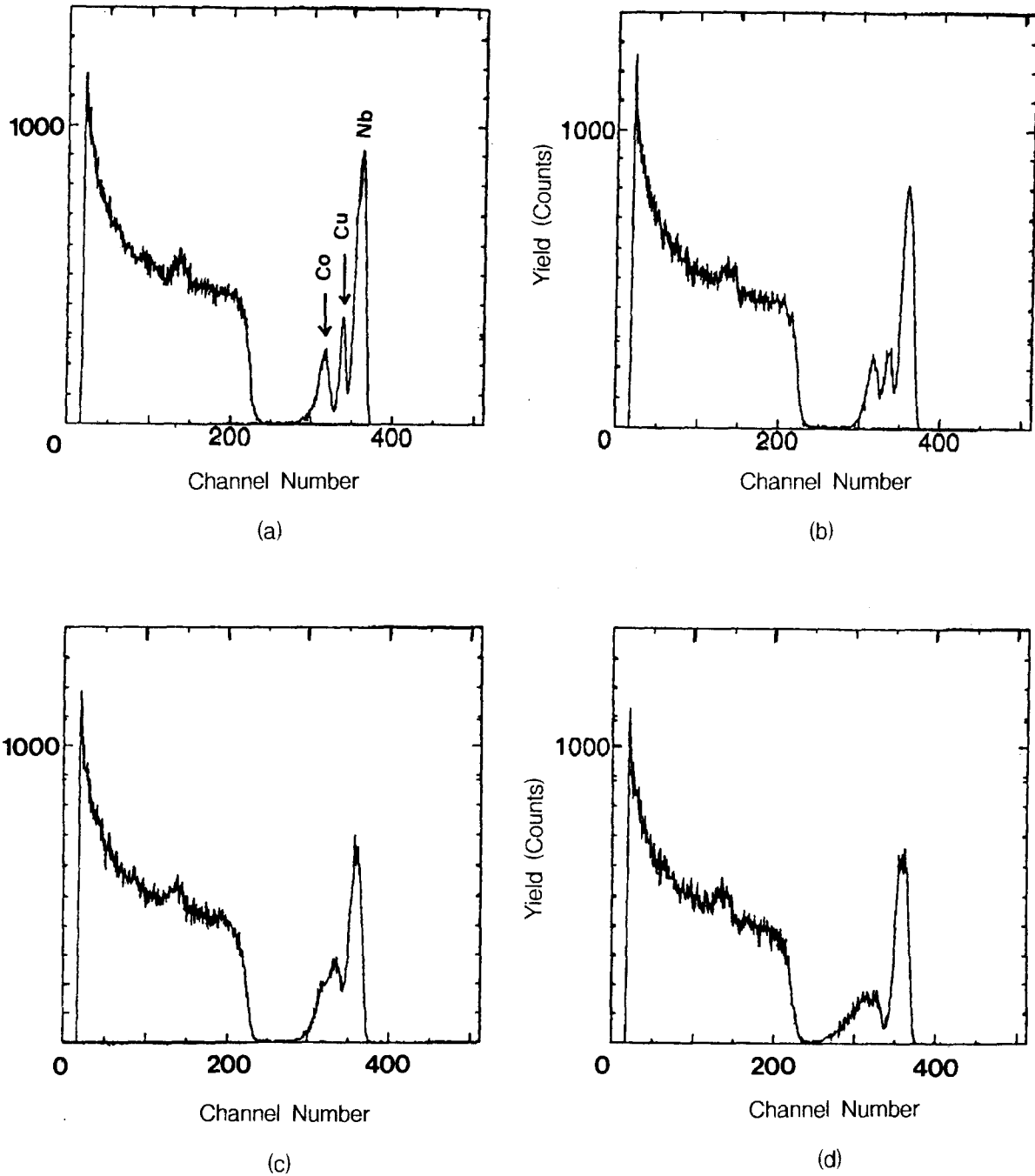


Fig. 3. RBS spectra of Cu/Co-Nb multilayer silicide/Si sample after annealing for 30min : (a) no annealing, (b) 200°C, (c) 400°C, and (d) 600°C.

들의 모양이 거의 일치하며, 따라서 200°C까지는 별다른 반응이 일어나지 않았음을 알 수 있다. 그리고 두 경우 모두 Nb산화물의 피크가 상당히 크게 발달해 있으며 일부 Co-Nb합금의 피크도 나타나 있는데, 이것들은 모두 Co-Nb이중층으로부터 Co 실리사이드를 생성하는 도중 기관의 상층부에 형성된 층들이다. 이어서 400°C에서 처음으로  $Cu_3Si$ 와  $Cu_5Si$  등의 구리 실리사이드가 관찰되었다. Olowolafe 등<sup>7)</sup>은 Cu/CoSi<sub>2</sub>/Si구조의 경우 열처리시 300°C까지는 안정하다가 그 온도를 넘어서면서부터 처음으로 구리 실리사이드가 형성되기 시작하였다고 보고한 바 있는데, 본 실험에서 사용한 Co/Nb이중층 실리사이드 역시 이

와 비슷한 온도에서 구리 실리사이드가 형성되는 것으로 보인다.(그러나 이 때 처음으로 실리사이드가 형성된 위치는 서로 달랐는데, 이와 관련해서 나중에 좀 더 자세히 언급하겠다.) 이 온도는 Co/Ti이중층 실리사이드의 경우 400~600°C 사이에서 Cu의 확산에 의해 실리사이드가 형성되며<sup>8)</sup>, 특히 Nb확산장벽을 사용하였을 때 550°C까지 반응이 억제되었던 점<sup>9)</sup>을 생각하면 상당히 낮은 온도이다. 이것은 본 실험에서 사용했던 Nb층이 보통 두께가 수백 nm이상인 확산장벽으로서가 아니라 단지 Co실리사이드 생성을 위한 중간 매개층으로서 도입된 관계로 두께가 15nm 정도로 매우 얇았으며, Co실리사이드 형성 단계에서 이미 800°C의 급

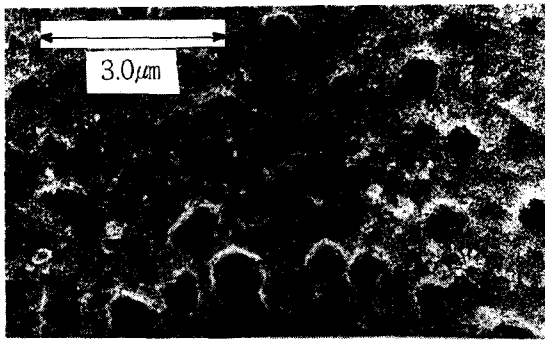


Fig. 4. Scanning electron micrograph of the etch-pits on the Si surface

속열처리를 거쳤으므로 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 상부에 형성된 Nb산화물층들을 비롯한 여러 층구조들의 결정화가 이미 상당히 진행되었기 때문에 상부의 Cu원자들이 이렇게 발달한 결정립계를 따라서 용이하게 확산할 수 있었기 때문으로 생각된다. 또한, 600°C에서 열처리한 경우에는 그 이하의 온도에서는 볼 수 없었던 매우 크고 예리한  $\text{CuNbO}_3$ 의 피크 셋이 새로이 나타났다. 이것은 Cu-Co, Cu-Nb간에는 금속간화합물이 거의 형성되지 않는 점에 비추어 상당히 특이한 현상으로 Cu가 기판의 최상부층인  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 의 Nb산화물층을 통과하면서 그 일부가 산화하여  $\text{CuNbO}_3$ 의 삼원계 화합물을 형성하는 것으로 보인다. 그리고 이 때  $\text{CuNbO}_3$  피크들이  $\text{NbCo}_2$ ,  $\text{CoSi}_2$  및  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  피크들보다 훨씬 더 크고 예리하게 나타난 것은  $\text{CuNbO}_3$ 의 결정성이 그만큼 더 강함을 뜻한다. 이것은 바꾸어 말하면,  $\text{CuNbO}_3$  내에는 Co나 Si이 거의 포함되어 있지 않음을 의미하는 것이다. 본 연구에서의 시편제작시에  $10^{-4}$  torr 수준의 진공하에서 금속막의 증착 및 열처리가 이루어졌기 때문에 이러한 산화층이 생성된 것이다. Nb의 강한 산화성향을 고려하여 양산에서는 기저진공도가 더 높은 장비를 사용하여 산화층의 생성을 최소화해야 할 것이다.

Fig. 2는 각 온도구간에서 시편들의 면저항을 측정하여 도시한 그래프로서 200°C까지는 면저항이 낮아지다가 400°C부터 다시 상승하는 것을 알 수 있다. 이 때 200°C에서 면저항이 오히려 증착 직후보다 낮아지는 것은 상부의 구리층이 열처리에 의하여 더욱 결정화 되었기 때문으로 생각되며, 이 결과를 위의 XRD 분석 결과들과 연계하여 생각하면, 400°C 이상에서 면저항이 다시 상승하는 것은 구리 실리사이드의 생성에 기인하는 것으로 보인다. 일반적으로 구리에 Si가 함유되면 비저항이 크게 상승한다<sup>4)</sup>.

Fig. 3은 같은 종류의 시편들에 대한 RBS 분석결과들이다. 먼저 Fig. 3(a)의 아직 열처리하지 않은 시편에 대한 RBS스펙트럼에서 우측의 세 피크는 왼편부터 차례로 Co, Cu 및 Nb 피크임을 각 피크의 에너지(channel number) 값으로부터 알 수 있다. Co/Nb 이중층 구조를 이용한  $\text{CoSi}_2$ 의 형성에 관한 앞서의 논문<sup>6)</sup>에서 보고했던 바와 같이 기판으로 사용한 다층  $\text{CoSi}_2$ 의 최종 구조는  $\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{Co}_2\text{Si}$ ,  $\text{CoSi}/\text{NbCo}_2/\text{Nb(O,C)}/\text{CoSi}_2/\text{Si}$ 이다. 200°C 열처리 시편의 RBS 스펙트럼(Fig. 3(b))을 살펴보면 Cu 피크가 약간 줄어든

것을 알 수 있는데, 이것으로부터 Cu원자의 일부가 아래의  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  등의 하부층 내로 확산하여 이동한 것으로 생각할 수 있다. 또한, 이 온도에서 아직 별다른 생성물의 피크가 발견되지 않았던 위의 XRD 결과와 비교하여 생각해 볼 때, 이러한 Cu의 확산은 아직 그다지 활발하지 않았던 것으로 보인다. 그러나 400°C에서는 Co와 Cu 피크가 거의 하나로 합쳐졌는데, 이것은 Cu가 최상부의  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  층을 지나 Co-Nb 합금층 내로 상당히 깊숙이 확산하였음을 의미한다. 그리고 Fig. 1의 XRD스펙트럼 상으로는 400°C에서 열처리한 경우 구리 실리사이드가 발견되지만, Fig. 3(c)의 RBS 분석 결과에서 기판 Si를 나타내는 좌측 스텝 부분의 모양이 거의 일치하는 것으로 보아 아직 Cu가  $\text{CoSi}_2/\text{Si}$  계면까지 확산하여 실리사이드를 형성한 것으로는 생각되지 않는다. 다만 앞의 XRD 분석 결과로부터 판단할 때, 200°C에서 400°C로 열처리 온도가 높아짐에 따라  $\text{CoSi}$  등의 고온 준안정상들이 분해되어 방출된 Si가 Cu와 반응하여  $\text{Cu}_3\text{Si}$ 나  $\text{Cu}_4\text{Si}$  등의 실리사이드를 형성한 것으로 보여진다.

600°C의 RBS스펙트럼(Fig. 3(d))에서 Nb 피크의 높이가 더욱 낮아지고 그 폭이 더욱 넓어진 점과 XRD스펙트럼으로부터  $\text{CuNbO}_3$  피크가 크게 발달한 점으로 미루어 보아 Cu/Co-Nb 합금층 내에는  $\text{CuNbO}_3$  상이 많이 석출되어 존재하며, 기지조직(matrix)은 주로 Co 성분이 많이 함유되어 있는 Co-Nb-Cu 고용체로 이루어져 있는 것으로 판단된다. 또한, 600°C에서 하나가 된 Co-Cu 피크에서 왼편 edge의 경사가 완만해진 점과 Si 스텝의 오른편 edge의 높이가 낮아지면서 약간 오른쪽으로 이동한 것으로 보아  $\text{CoSi}_2/\text{Si}$  계면에  $\text{Cu}_3\text{Si}$ 나  $\text{Cu}_4\text{Si}$  같은 구리 실리사이드층이 형성된 것으로 보인다.

Fig. 4는 600°C에서 열처리한 시편에 대해 Si 상부의 모든 구조층들을 제거한 다음 그 표면을 관찰한 SEM 사진으로, 이 사진을 자세히 보면 크기가 약 0.5 μm 정도의 작은 에치핏(etch-pit)들을 관찰할 수 있었는데, 이러한 흔적들은  $\text{CoSi}_2/\text{Si}$  계면에 석출된  $\text{Cu}_3\text{Si}$ 나  $\text{Cu}_4\text{Si}$  같은 구리 실리사이드들의 자국으로 보인다. 이와 같은 구리 실리사이드가 형성되려면 Si와 Cu 원자가 서로 만나야 하는데, 이 때 구리 실리사이드의 생성 반응에 참여하는 Si는  $\text{CoSi}_2$ 가 분해되어 생성되는 Si보다는 Si 기판 내의 Si일 가능성이 훨씬 더 높다. 그런데,  $\text{CoSi}_2$  막내에서 Si의 확산계수가 낮으므로<sup>10)</sup> 아래쪽 Si 기판 내의 Si 원자들이 위쪽의 구리막으로 이동해 올 가능성은 적다. 그 반면, Nb, Co,  $\text{CoSi}_2$  및 Si 내에서의 Cu의 확산계수가 높기 때문에<sup>10)</sup> 구리막내의 Cu 원자들이 Co-Nb 합금층과  $\text{CoSi}_2$  층을 통과하여 Si 기판의 Si 원자들과 만나  $\text{CoSi}_2/\text{Si}$  계면에서 구리 실리사이드층을 형성하는 것으로 생각된다. 다만 XRD 스펙트럼으로부터 400°C에서 처음으로 생성된 것으로 관찰된 구리 실리사이드는 확산해 온 Cu 원자들과 기판 Si와의 반응에 의한 것이 아니라 Co-Nb 합금층 위에 일부 존재하던  $\text{CoSi}$  등의 준안정한 Co 실리사이드들이 분해되면서 생성된 것들이다. 따라서 Co/Nb 이중층 실리사이드와 Cu의 반응에 의하여 최종적으로 형성된 층구조를 XRD와 RBS 분석 결과로부터 추정하여 구성하

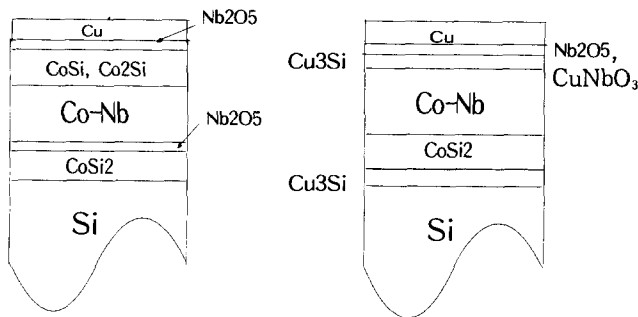


Fig. 5. Schematic drawings of Cu-Co/Nb bilayer silicide structure (a) as deposition (b) after annealing at 600°C

면, Fig. 5에 도시한 바와 같이  $\text{CuNbO}_3/\text{Cu}_3\text{Si}/\text{Co-Nb}$  합금층/ $\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{CoSi}_2/\text{Cu}_3\text{Si}/\text{Si}$ 와 같을 것으로 생각된다. 본 연구에서 사용한 XRD와 RBS분석외에 AES나 cross-section TEM분석을 추가하면, 실리사이드 열처리 후의 층구조를 보다 더 정확히 아는 데에 도움이 될 것이다.

Olowolafe 등<sup>7)</sup>은 Cu와  $\text{CoSi}_2$ ,  $\text{CrSi}_2$ , 및  $\text{TiSi}_2$ 간의 반응을 다룬 논문에서  $\text{CoSi}_2$ 와  $\text{TiSi}_2$ 의 경우에는 실리사이드층과 기판 Si사이에,  $\text{CrSi}_2$ 의 경우에는  $\text{CrSi}_2$ 와 구리층 사이에  $\text{Cu}_3\text{Si}$ 층이 형성되는 것으로 보고한 바 있다. 그들의 설명에 의하면,  $\text{CoSi}_2$ 막 내에서의 주확산 원소는 Co이므로 Si 원자들이  $\text{CoSi}_2$ 막을 잘 통과하지 못하며, 그 결과  $\text{CoSi}_2/\text{Si}$ 계면에서  $\text{Cu}_3\text{Si}$ 층이 형성되는 반면,  $\text{CrSi}_2$ 막내에서는 Si가 주확산원소이므로 Si 원자들이  $\text{CrSi}_2$ 층을 통과하여 Cu막쪽으로 이동하고, 따라서  $\text{CrSi}_2/\text{Cu}$ 계면에서  $\text{Cu}_3\text{Si}$ 층이 형성되는 것으로 설명하고 있다. 그러나  $\text{TiSi}_2$ 의 경우에는 Si가 주확산원소임에도 불구하고  $\text{Cu}_3\text{Si}$ 층은  $\text{TiSi}_2/\text{Si}$ 계면부에 형성되는데, 그 원인에 대해서는 제대로 설명하지 못하였다.

본 연구자의 견해로는  $\text{Cu}_3\text{Si}$ 층이 어느 쪽에 형성되는가는 우선 Cu막과 Si기판 사이에 놓여 있는 기존의 실리사이드층이나 합금층 내에서 Cu와 Si의 확산속도를 비교하여 확산속도가 느린 쪽에  $\text{Cu}_3\text{Si}$ 층이 형성되는 것이다. Si에 대한 Cu의 친화력(affinity)이 매우 크기 때문에 Cu와 Si가 서로 웬만큼 떨어져 있더라도 열에너지가 충분히 공급되면 서로를 향하여 이동할 것이다. 이때 확산속도가 빠른 쪽이 먼저 이동하여 다른 쪽을 만나게 될 것이고, 이와 같이 서로 만나는 곳에서  $\text{Cu}_3\text{Si}$ 층이 형성되는 것이다.

#### 4. 결 론

이상에서 얻은 주요한 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) Cu/Co-Nb실리사이드/Si구조는 열처리시 300~400°C사이의 온도에서 표면의 Nb산화물층과 Co-Nb합금층 사이에 처음으로  $\text{Cu}_3\text{Si}$ (또는  $\text{Cu}_3\text{Si}$ )를 형성하기 시작한다.
- 2) 이 때 실리사이드 형성에 사용된 Si는 기판의 Si가 아니라 Co-Nb실리사이드 구조의 상부에 일부 존재하고 있던 준안정된 CoSi의 분해로부터 온 것이다.
- 3) Cu/Co-Nb실리사이드/Si구조에서 구리 실리사이드가 형성되기 시작하는 300~400°C는 Co단일층 실리사이드의 경우와 비슷한 온도이다. 특히, Nb확산방지막의 결과

와 비교하면, 상당히 낮은 온도에서 구리 실리사이드가 형성되는 셈인데, Co/Nb이중층 실리사이드의 상부에 형성된 Nb산화물층은 Cu의 확산에 별다른 영향을 미치지 못하였다. 이러한 실리사이드의 형성은 Nb층의 두께 및 그 반응 생성물의 결정구조와도 관련이 있는 것으로 생각된다.

4) 600°C에서 열처리한 경우에는 구리 실리사이드가 Cu와 기판 Si과의 반응에 의하여 본격적으로 생성되는데, 이 때 형성되는  $\text{Cu}_3\text{Si}$ 의 위치는  $\text{CoSi}_2$ 층과 Si기판 사이이다. 이것은 Cu원자의 확산속도가 여러 중간층들에서 Si원자의 확산속도보다 더 빠르기 때문이다.

5) 600°C에서의 열처리에 구리층이 상부의  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  및 Co-Nb 합금층과 반응하여  $\text{CuNbO}_3$  상을 생성시킨다.

6) Cu/Co-Nb실리사이드/Si구조를 600°C에서 열처리할 때 최종적으로 얻어지는 층구조는  $\text{CuNbO}_3/\text{Cu}_3\text{Si}/\text{Co-Nb}$  합금층/ $\text{Nb}_2\text{O}_5/\text{CoSi}_2/\text{Cu}_3\text{Si}/\text{Si}$ 이다.

이와 같이 구리 실리사이드의 최초 형성 온도와 위치 및 반응기구는 기판으로 사용된 Co-Nb이중층 실리사이드의 형성과 밀접한 관련이 있는 것으로 생각된다. 즉, Co와 Nb층의 상대적인 두께와 열처리 분위기에 따라 층구조와 형성되는 상(phase) 및 각층의 두께가 달라지며, 이에 따라 구리 실리사이드의 형성 또한 많은 영향을 받게 될 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 삼성전자 (주)의 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고 문헌

1. S. Wolf and R.N. Tauber, "Silicon Processing for the VLSI Era", Lattice Press, CA USA, vol.2 p.323 (1987).
2. D.R. McLachlan and R.C. Gibson, "Sputtering and Dry Etching Technology for VLSI and ULSI Devices", 36th, 37th, and 38th sputter school, p.J-IV-1, (1985-1986)
3. S.Q. Hong, C. Comrie, S.W. Russel, and J. W. Mayer, J. Appl. Phys. 70, p.3655 (1991)
4. 박기철, 김기범, 한국재료학회지, 5, p.169 (1995).
5. J. Li and J.W. Mayer, "Refractory metal nitride encapsulation for copper wiring", MRS bulletin 18(6), p.52 (1993).
6. 이종무, 권영재, 이병욱, 김영옥, 이수천, 한국재료학회, 6, p.779 (1996).
7. J.O. Olowolafe, J. Li and J.W. Mayer, J. Appl. Phys., 68, p.6207 (1990).
8. 이종무, 이병욱, 김영옥, 이수천, 한국재료학회, 6, p.1192 (1996).
9. N. Mattoso Filho, C. Achete, and F.L. Freire Jr, Thin Solid Films 220, p.184 (1992).
10. S. Mrowec, "Defects and Diffusion in solids, An Introduction", Elsevier, N.Y. USA, p.391 (1981).