

## Si (001) 기판에서 N<sub>2</sub> 처리에 의해 형성된 에피택셜 C49-TiSi<sub>2</sub>상의 열적 거동과 결정학적 특성에 관한 연구

양준모 · 이완규\* · 박태수 · 이태권 · 김종정 · 김원 · 김호정 · 박주철 · 이순영

현대전자산업 (주) 메모리연구소 분석개발팀  
\*시스템 IC 연구소 공정개발 2팀

### Thermal Behavior and Crystallographic Characteristics of an Epitaxial C49-TiSi<sub>2</sub> Phase Formed in the Si (001) Substrate by N<sub>2</sub> Treatment

Jun Mo Yang, Wan Gyu Lee\*, Tae Soo Park, Tae Kwon Lee, Joong Jung Kim,  
Weon Kim, Ho Joung Kim, Ju Chul Park and Soun Young Lee

Analysis Development Team, Memory R&D Division, Hyundai Electronics Industries Co., Ltd.,  
Ichon P. O. Box 1010, Ichon-si, Kyongki-do, 467-701 Korea

\*Process Development Team 2, System IC R&D Division, Hyundai Micro Electronics, Semiconductor Group of  
Hyundai Electronics Industries Co., Ltd., 1, Hyangjeong-dong, Hungduk-gu, Cheongju-si, 361-725 Korea

(2000년 3월 31일 받음, 2000년 12월 6일 최종수정본 받음)

**초 록** N<sub>2</sub> 처리에 의해 Si (001) 기판에 형성된 C49상의 구조를 갖는 에피택셜 TiSi<sub>2</sub>상의 열적 거동과 결정학적 특성을 X선 회절법 (XRD)과 고분해능 투과전자현미경법 (HRTEM)으로 조사하였다. 에피택셜 C49-TiSi<sub>2</sub>상은 1000°C 정도의 고온에서도 안정상인 C54상으로 상변태하지 않고 형태적으로도 고온 특성이 우수하다는 것이 밝혀졌다. HRTEM 결과로부터 에피택셜 TiSi<sub>2</sub>상과 Si 사이의 결정학적 방위관계는 (060) [001]TiSi<sub>2</sub>//(002) [110]Si임을 알 수 있었고 계면에서의 격자 변형에너지는 misfit 전위의 형성에 의하여 해소되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 HRTEM상의 해석과 원자 모델링을 통하여 Si에서 에피택셜 C49-TiSi<sub>2</sub>상의 형성기구와 C49상의 (020) 면에 존재하는 적층결함을 고찰하였다.

**Abstract** The thermal behavior and the crystallographic characteristics of an epitaxial C49-TiSi<sub>2</sub> island formed in a Si (001) substrate by N<sub>2</sub> treatment were investigated by X-ray diffraction (XRD) and high-resolution transmission electron microscopy (HRTEM). It was found from the analyzed results that the epitaxial C49-TiSi<sub>2</sub> was thermally stable even at high temperature of 1000°C, therefore did not transform into the C54-stable phase and did not deform morphologically. HRTEM results clearly showed that the epitaxial TiSi<sub>2</sub> phase and Si have the orientation relationship of (060)[001]TiSi<sub>2</sub>//(002)[110]Si, and the lattice strain energy at the interface was mostly relaxed by the formation of misfit dislocations. Furthermore, the mechanism on the formation of the epitaxial C49-TiSi<sub>2</sub> in Si and stacking faults lying on the (020) plane of the C49 phase were discussed through the analysis of the HRTEM image and the atomic modeling.

**Key words:** epitaxial C49-TiSi<sub>2</sub>, Si, X-ray diffraction, high-resolution transmission electron microscopy, phase transformation

### 1. 서 론

SALICIDE (self-aligned silicidation)와 같은 실리사이드 공정은 반도체 소자에서 필수적인 공정으로서 Si/금속 간의 계면반응에 의해 형성된다. 이 전도성 화합물의 형성 기구는 많은 연구자들의 초점이 되어 왔고, 고분해능 투과 전자현미경법 (high-resolution transmission electron microscopy, HRTEM)을 이용한 원자 스케일에서의 해석도 수행되었다.<sup>1~7)</sup> 그러나 실리사이드는 일반적으로 에피택셜로 형성되지 않기 때문에 왜 특정한 실리사이드가 먼저 형성되는지, 왜 특정한 순서로 상전이가 일어나는지에 대해서는 아직도 정립되어 있지 않은 실정이다.

최근 Si 기판을 N<sub>2</sub> 처리한 후 이온화 금속플라즈마법 (ionized metal plasma, IMP)에 의해 Ti를 증착하고 급속 열처리 (rapid thermal anneal, RTA)를 통하여 실리사이드화를 행하였을 때 Si과 에피택셜 성장을 하고 C49상의 구조를 갖는 TiSi<sub>2</sub>섬 (island)이 관찰되었다. C49-TiSi<sub>2</sub>상 (사방정, 공간군 C<sub>mc</sub>)은 결함이 많은 준안정상으로서 변태 온도 이상의 고온이 되면 안정상인 C54-TiSi<sub>2</sub>상 (사방정, 공간군 F<sub>dd</sub>)으로 상변화되는 것이 알려져 있지만<sup>1~3)</sup>, 에피택셜 성장을 한 경우에는 충분히 고온이 되어도 상변화하지 않는다는 것이 보고되어 있고<sup>8)</sup>, 본 연구에서 관찰된 TiSi<sub>2</sub>섬의 경우 1000°C 정도의 고온에서도 구조 또는 형태적으로 안정한 특성을 나타내었다. 기존의 C54-TiSi<sub>2</sub>상은

800~1000°C의 온도에서 발생하는 TiSi<sub>2</sub>막의 응집(agglomeration)현상에 의해서 Si과 TiSi<sub>2</sub> 계면의 형태변화로 급격한 저항증가를 일으키기<sup>9,10)</sup> 때문에 열적 안정성이 우수한 에피택셜 TiSi<sub>2</sub>는 고집적 반도체소자의 공정상에서 큰 장점이 있는 물질로 생각된다. 그러나, 에피택셜 C49-TiSi<sub>2</sub>상의 결정학적 특성과 형성기구에 대해서는 아직까지 규명되지 않았고, 공정상에서의 적용도 되어 있지 않다. 본 연구에서는 이 에피택셜 C49상의 열적 거동과 결정학적 특성을 X선회절법(X-ray diffraction, XRD)과 HRTEM에 의해 관찰, 해석하고 원자 모델링을 통하여 에피택셜 실리사이드 형성과정을 고찰함으로써 실리사이드 공정개발을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 실험 방법

Si (001) 기판 표면에 존재하는 자연 산화막을 습식각에 의해 제거한 후 RF 전압 410W에서 N<sub>2</sub> 처리를 하여 Si 표면에 N<sub>2</sub>가 흡착 또는 증착되도록 하였다. 그 후 Ti 20nm를 IMP법에 의해 증착하고 670°C와 850°C에서 20초 동안 N<sub>2</sub> RTA 처리를 하여 실리사이드를 생성시켰다. 생성된 실리사이드의 열적 거동을 조사하기 위해 추가로 900°C, 1000°C, 1050°C, 1100°C에서 후속 RTA 처리(20초, N<sub>2</sub> 분위기)를 행하였다.

시료의 분석은 XRD에 의해 구조변화를 분석하였고, HRTEM으로 형태 관찰 및 미세구조 해석을 행하였다. TEM 관찰용 시료는 Si의 <110> 방향이 관찰되도록 절단하여 기계적인 연마후에 이온 밀링(ion milling)에 의해 제조하였고, TEM 관찰은 JEM-2010 TEM (JEOL)을 이용하여 가속전압 200kV에서 수행하였다. HRTEM상의 Fourier 변환은 FDL5000 화상처리 시스템(Fuji) 전용 프로그램을 이용하여 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. Si 내부에서의 에피택셜 C49-TiSi<sub>2</sub>상의 형성과 상 변화 거동  
TEM에 의한 미세구조의 관찰을 하기 전에 넓은 영역의

평균적인 구조분석을 XRD에 의해 수행하였다. 그림 1의 XRD 분석 결과 ( $\theta/2\theta$  scan)인 A, B, C는 각각 0초, 30초, 60초 동안 N<sub>2</sub> 처리를 한 후에 Ti를 증착하고 670°C와 850°C에서 2단계 RTA 처리를 행함으로써 실리사이드를 형성한 경우이다. 그림 1로부터 N<sub>2</sub> 처리를 하지 않은 경우에는 C54-TiSi<sub>2</sub>상의 (311)면과 TiN의 피크가 관찰되고 있으나, N<sub>2</sub> 처리를 한 경우에는 C49-TiSi<sub>2</sub>상의 (060)면과 TiN (111)면의 피크가 높은 강도를 나타내고 있다. 이것으로 N<sub>2</sub> 처리에 의한 Si 기판의 표면상태의 변화가 TiSi<sub>2</sub>상의 형성과 상변화에 크게 영향을 주었다는 것을 알 수 있다. 그림 2는 이 시료 중 A와 C에서 형성된 TiSi<sub>2</sub>상의 미세구조를 TEM으로 관찰한 결과이다. N<sub>2</sub> 처리를 하지 않은 (a)에서 C54상과 TiN(XRD 결과 참고)이 각각 15~30nm, 10nm의 두께의 막으로 형성되어 있으며 결정입계 grooving 현상을 관찰 할 수 있다. 반면에 N<sub>2</sub> 처리를 60초 행한 (b)에서는 연속적인 TiSi<sub>2</sub>막이 형성되지 않고 Si 기판 내부에서 섬이 형성되어 있고, TiN막도 (a)에 비교해서 2배 정도 두껍게 형성되어 있다. 이 섬은 전자회절패턴으로부터 C49상의 구조임을 확인 할 수 있었다. 섬에 따라서는 수 도 정도 기울어진 것도 있지만 기본적으로 TiSi<sub>2</sub>섬 (060)면이 Si (002)면과 평행한 에피택셜 성장관계를 갖

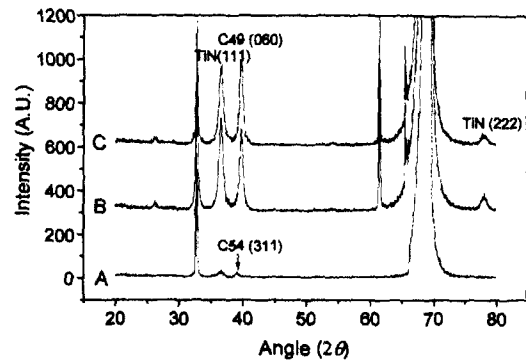


Fig. 1. Structure variation of TiSi<sub>2</sub> phases formed by N<sub>2</sub> treatment. A, B and C correspond to the cases of N<sub>2</sub> treatment of 0 sec, 30 sec and 60 sec, respectively.

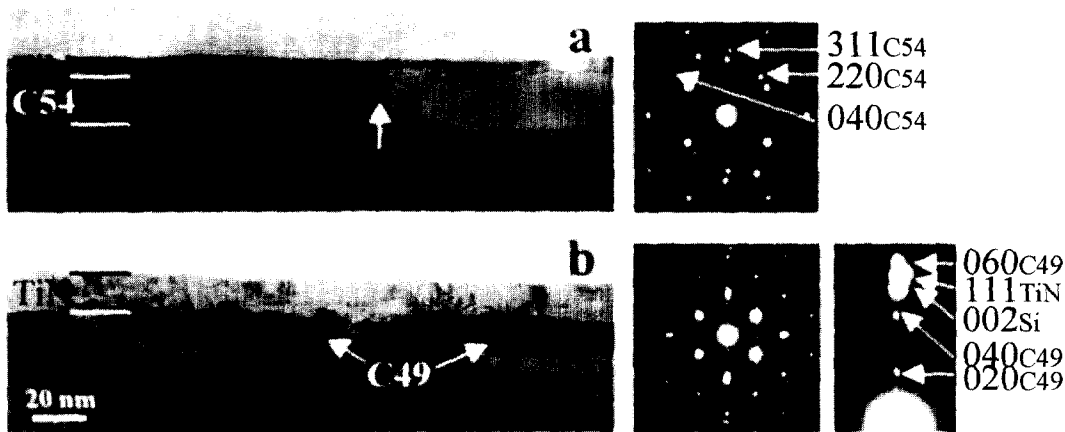


Fig. 2. Low magnification TEM images obtained in the not treated (a) and N<sub>2</sub> treated (b) specimens after silicidation.

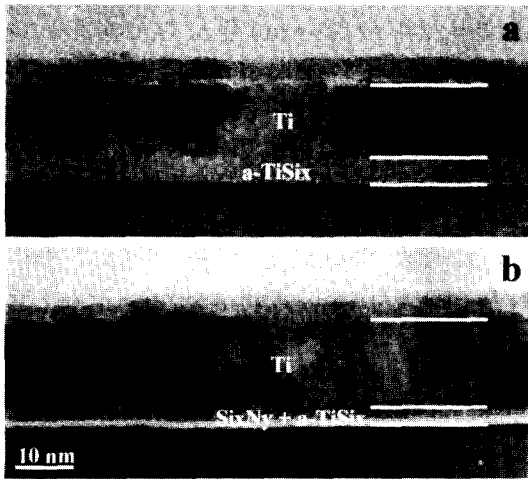


Fig. 3. HRTEM images obtained in the not treated (a) and N<sub>2</sub> treated (b) specimens before silicidation.

고 있는 것이 확인되었으며 이는 XRD 결과와도 일치함을 알 수 있었다. Si 기판과 TiSi<sub>2</sub>섬의 방위관계는 다음과 같다.

$$(060) [001]TiSi_2 // (002) [110]Si$$

에피택셜 TiSi<sub>2</sub>섬의 형성과정은 다음과 같이 설명될 수 있다. N<sub>2</sub> 처리에 의해 N<sub>2</sub>가 Si 표면에 흡착 또는 증착된 상태(그림 3(b))에서 IMP Ti가 증착되기 때문에 실리사이드 공정시 Ti와 Si의 반응이 억제되고, 결과적으로 실리사이드화는 매우 느리게 진행되기 때문에 에너지적으로 가장 안정한 방위관계를 갖는 에피택셜 성장이 가능하다고 생각된다. 그림 4는 TiSi<sub>2</sub>/Si 기판간의 계면을 나타내는 HRTEM상이다. 그림 4(a)와 같이 random한 방위관계를

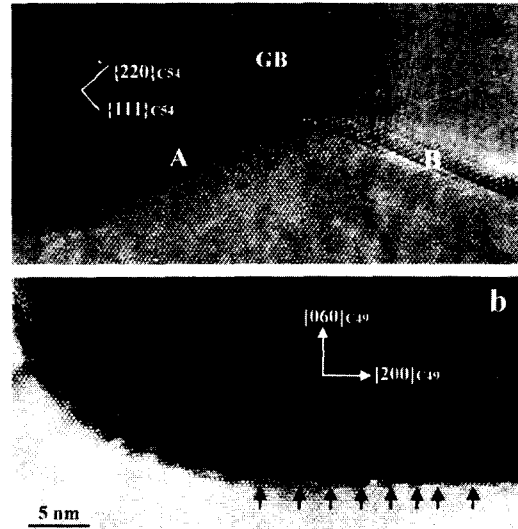


Fig. 4. HRTEM images obtained in the not treated (a) and N<sub>2</sub> treated (b) specimens after silicidation.

갖고 TiSi<sub>2</sub>가 형성된 경우에서 얻어진 TiSi<sub>2</sub>/Si 기판 계면은 Si와 TiSi<sub>2</sub> 격자의 중첩에 의한 콘트라스트인 Moiré fringe(B 영역)가 관찰된다. 대부분의 계면에서는 Moiré fringe가 관찰된다. 그러나, A 영역에서는 격자변형 콘트라스트가 관찰된다. 그림 4(b)에서는 주기적인 misfit 계면 전위가 관찰되고 있다. 이 전위는 에피택셜 성장시 Si와 TiSi<sub>2</sub>간의 격자상수의 차에 의한 계면의 변형에너지를 감소시키기 위하여 형성된다. 이 계면전위에 대해서는 다음절에서 원자모델과 함께 다시 논의하겠다.

그림 5(a)와 (b)는 그림 4(b)와 같은 시료에서 관찰된 HRTEM 상으로서 (a)와 (b)의 A 영역에 있는 C49상의

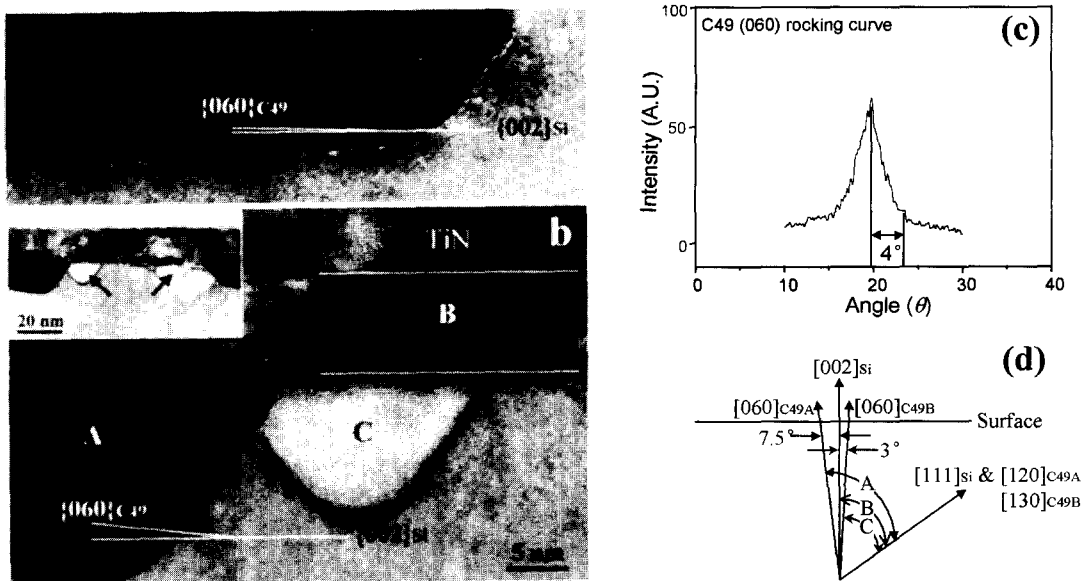


Fig. 5. (a) and (b) HRTEM images showing tilted C49-TiSi<sub>2</sub> islands and vacancies. (c) (060) rocking curve of the C49-TiSi<sub>2</sub> phase. (d) Orientation relationships of the C49-TiSi<sub>2</sub> phase tilted away from Si (002) plane. Angles indicated by A, B and C in (d) are correspond to 51.72°, 54.74° and 62.25°, respectively.

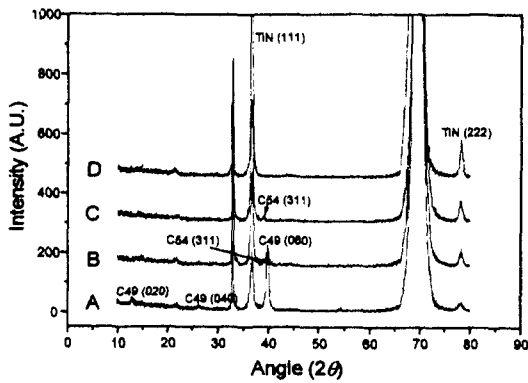


Fig. 6. Structure variation by the additional RTA treatments. A, B, C and D correspond to cases of 900°C, 1000°C, 1050°C and 1100°C, respectively.

(060) 면은 Si (002) 면과 각각 2°, 7° 정도의 각을 이루고 있다. C49섬의 옆면은 Si (111) 면과 평행한 배열을 취하고 있다. 대부분의 섬은 4° 이하로 기울어져 있는 것이 그림 5(c)의 rocking curve로부터 확인 할 수 있다. Si (002) 면에서 TiSi<sub>2</sub> (060) 면이 기울어져 있는 것은 (d)의 방위관계로부터 Si (111) 면과 (002) 면이 이루는 각도 (54.74°)와 C49-TiSi<sub>2</sub> (130) 면, (120) 면과 (060) 면의 각도 (51.72°, 62.25°) 차이에 기인하는 것으로서 Si (111) 면과 TiSi<sub>2</sub> (130) 면이 평행하게 성장했을 경우 Si (002) 면과 TiSi<sub>2</sub> (060) 면은 3° 기울어지게 되고, Si (111) 면과 TiSi<sub>2</sub> (120) 면이 평행하게 성장했을 경우에는 7.5° 기울어질 수 있다는 것을 알 수 있다 (일반적으로 C49-TiSi<sub>2</sub> 상에서 (120) 면은 회절되지 않는 면이다. 이 면의 형성에 대하여는 3-2절에서 설명하겠다.). 이 각도는 형성되는 섬의 형태를 결정하는 중요한 인자라고 생각한다.

그리고 Si 표면 상부(B 영역)에는 10nm 정도의 두께를 갖는 균일한 막의 형태를 갖는 C49상이 형성되어 있는 것이 관찰되고 있는데, 이 C49상의 막은 Si 표면 전체에 걸쳐 존재하지는 않았고 산발적으로 형성되어 있었다. 또한 C로 표시한 영역은 주위의 Si 격자에 비하여 상대적으로 밝은 콘트라스트로 관찰되고 있다. 이것은 Si (110) 면의 원자가 공공 (vacancy)으로 존재하여 형성된 것으로 생각되고 HRTEM 상에서 (111) 면의 격자변형이 관찰된다. 이와 같이 실리콘과 실리사이드 계면에 존재하는 void는 실리사이드화 과정에서 TiSi<sub>2</sub>막에 인장응력이, 실리콘 표면에 압축응력이 작용하기 때문에 용이하게 형성된다.<sup>11,12)</sup> 이것이 TiSi<sub>2</sub>섬 형성과정에 어떤 기여를 하는지에 대해서는 향후의 연구 대상이다.

일반적인 C49상은 Si 기판에서 random한 방위 (주로 (131), (060) 면의 우선방위)를 갖고 있어 C54상으로의 상변화 거동을 직접 관찰할 수 없다. 그러나 N<sub>2</sub> 처리에 의해 형성된 C49상은 (060) 면의 우선방위만을 갖고 있기 때문에 후속 열처리 과정을 거치면 C54상으로 상변화 될 것이므로 그 거동을 직접 관찰하고자 900°C, 1000°C, 1050°C, 1100°C에서 20초 동안 N<sub>2</sub> 분위기 하에서 후속 열처리를

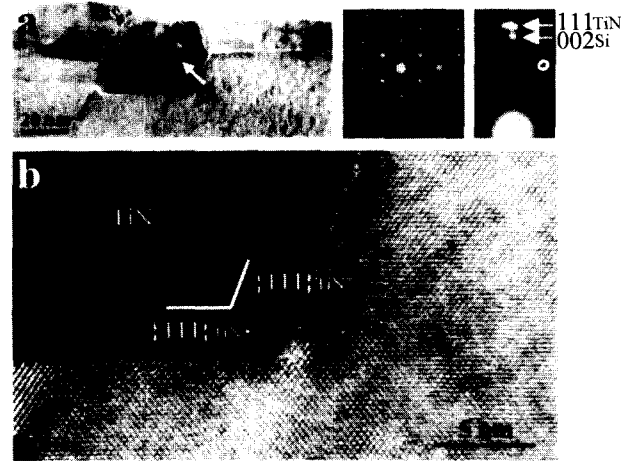


Fig. 7. Low magnification TEM image (a) and HRTEM image (b) obtained in the RTA treated specimen at 1050°C.

진행하였다. 그림 6의 XRD 분석 결과로부터 후속 열공정 1000°C RTA 처리 시편부터 C54상의 피크가 관찰되기 시작하여, RTA 온도 1050°C가 되면 C49상이 소멸되고 C54상과 TiN으로 상변화되며 1100°C가 되면 전부 TiN으로 분해, 형성되어 TiN만이 존재하는 것을 알 수 있다. 이 상변화 과정중 1050°C RTA 처리(C49상이 소멸하고 C54상과 TiN이 공존)의 경우에서 얻어진 저배율 TEM상과 HRTEM 상을 그림 7에 나타내었다. 여기에서 C49상의 섬은 관찰이 안되고 섬이 형성되어 있던 영역에서 A와 같이 평행사변형의 형태를 갖고 있는 결정립이 관찰된다. 이것은 전자회절패턴으로부터 입방정의 구조를 갖는 TiN으로 확인되었고 C49-TiSi<sub>2</sub>섬에서 분해된 Ti가 N과 결합함에 의해 형성된 것으로 생각된다. XRD 결과에서 C54상의 피크가 관찰된 것은 C49상이 분해될 때 Si이 TiN막 내부로 확산되어 C54상의 실리사이드를 형성하였기 때문이라 생각된다. 일반적으로 C49상은 준안정상으로서 800°C 정도의 온도에서 안정상인 C54상으로 변화하는 것으로 알려져 있다. 이와 같이 C49상의 TiSi<sub>2</sub>섬이 기존의 TiSi<sub>2</sub>처럼 상변화를 하지 않고 1000°C 이상의 고온에서도 C49상으로 존재하는 것은 에피택셜 성장 관계가 있는 Si 기판과 C49-TiSi<sub>2</sub> 상 간의 계면에서 변형에너지가 최소화되면서 안정한 반정합 계면이 형성되었기 때문이라고 판단된다. 또한 Si과 에피택셜 성장을 한 C49섬을 Si 표면에 균일하게 형성되도록 막을 제조한다면 열공정에 취약한 기존의 C54-TiSi<sub>2</sub>의 대체물질로서 충분히 적용 가능성이 있다고 생각된다.

또한 TiSi<sub>2</sub>섬과 Si 기판 상부에 형성되어 있는 TiN막도 기존의 PVD, CVD법에 의해 증착되는 막과는 결정학적으로 다른 특성을 보였다. 일반적으로 CVD법에 의해 제조되는 TiN막은 결정성이 떨어지고, PVD법에 의해 형성된 막은 결정성이 우수하여 (111), (200) 면의 우선방위를 취하고 있지만, columnar 조적을 갖고 있기 때문에 두께가 얇을 경우 충분한 barrier특성을 갖기 어렵다. 반면에 N<sub>2</sub> 처리와 RTA 처리에 의해 형성된 TiN막의 경우는 그림 1과 2의 XRD와 TEM 결과에서 알 수 있는 것처럼 (111) 면의

우선 배향성이 아주 강하고 막이 매우 균일하기 때문에 barrier 특성이 뛰어날 것으로 예상된다. 후속 열처리의 온도가 C49상의 분해온도 이상으로 높아지면 그림 7에서 처럼 C49상이 분해되면서 TiN으로의 상변화가 일어나는데, 그 결정립의 형태가 평행사변형의 모양으로 성장하는 것은 TiN (입방정) 결정립의 모서리가 {111} 면으로 형성되고 Si과 결정학적 방위관계를 가지면서 성장하기 때문이라고 생각된다.

### 3-2. 원자 모델링에 의한 에피택셜 C49-TiSi<sub>2</sub>상 형성의 고찰

본 절에서는 TiSi<sub>2</sub>섬이 앞 절에서 언급한 것과 같은 방위관계를 갖고 Si 내부에서 어떻게 형성되는지 원자 모델을 통하여 고찰한다. 그림 8(a)와 (b)에 Si 내부에 형성되어 있는 TiSi<sub>2</sub>섬의 HRTEM 상을 나타낸다. (b)는 Si (002) 면에서 C49-TiSi<sub>2</sub> (060) 면이 수도 기울어져 있는 경우이다. 그림 8과 같이 Si과 TiSi<sub>2</sub>섬의 계면에서는 화살표로 표시한 것처럼 항상 주기적인 misfit 전위의 콘트라스트가 관찰되고 있는데 (화살표로 표시한 영역 참고), 그 주기는 Si (002) 면에 평행할 때 ((a)의 경우)는 약 2nm로 측정되었다. 또한 계면에서 계단모양의 단차를 형성하면서 계면에너지를 줄이고 있는 것이 관찰되고 Si (002)면과 TiSi<sub>2</sub> (060)면이 복잡하게 얽혀 있는 것이 관찰된다.

그 반면에 Si (002) 면에서 기울어져 있는 경우 ((b))에는 전위사이의 평균거리가 약 3nm의 간격을 갖고 있다. 이 경우 전위의 edge 성분이 C49상의 (130) 면으로 평가되었고 이론적인 전위사이의 평균거리 D는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$D = d(130)_{C49}d(111)_{Si} / d(111)_{Si} - d(130)_{C49} \\ = 3.018\text{nm}$$

그러므로 계면에서 격자의 mismatch에 의한 변형에너지는 전위의 형성에 의해 거의 해소되어 있다.

준안정상인 C49상은 C54상보다 결함이 많이 존재하고

있다고 보고되고 있는데<sup>1,5)</sup>, 그림 9(a)의 HRTEM 상에서 그 적층결합 (화살표로 표시한 영역)이 원자 스케일에서 관찰되고 있다. 그림 9(b)에서 흰선으로 표시한 것처럼 1/2[100]의 격자 변위 ([001] 방향으로 투영하였을 때의 2차원적인 변위)에 의해 결합이 형성된 것을 알 수 있다. 또한 그림 9(c)와 (d)는 각각 (a)에서 A, B로 표시한 영역의 확대상으로서 원자 배열 콘트라스트가 다르게 관찰되고 있다. 그림 9(d)의 경우는 원래의 C49상의 원자배열을 취하고 있지만 그림 9(c)의 원자배열은 1/2[100]의 격자 변위가 있는 것을 알 수 있다((c)와 (d)에서 표시한 직사각형은 단위정에 해당하고 (g)의 원자배열에서 Ti dumbbell 사이의 공간이 HRTEM 상에서 흰점에 해당된다.). 즉, 결합 뿐만 아니라 결합이 없는 일부 영역에서도 1/2[100]의 격자 변위가 존재하고 있음을 알 수 있다. 그림 9(c)에서 얻어진 Fourier 변환 회절패턴으로부터 1/2[100]의 격자 변위는 회절패턴상에서 (120)면의 출현의 원인이 됨을 알 수 있다. 이것은 격자변위에 의해 (100)면이 회절됨에 기인하는 것이다. C49상에서 (020)면의 변위에 대해서는 원자 모델의 제안을 통하여 이미 보고된 바가 있다.<sup>5)</sup>

HRTEM의 결과를 토대로한 원자 모델을 그림 9(e), (f), (g)에 나타내었다. (e)는 Si과 C49-TiSi<sub>2</sub>의 단위정이고 (f)와 (g)는 각각 Si [110]과 C49-TiSi<sub>2</sub> [001] 방향으로 투영한 원자 모델이다. (f)와 (g)의 비교로부터 Si에서의 C49-TiSi<sub>2</sub>상의 기본 원자배열은 Si의 dumbbell 원자구조에서의 한 원자를 Ti와 치환함에 의하여 형성된다는 것을 알 수 있다. 또한 Si의  $\sqrt{2}a \times \sqrt{2}a/2 \times 5a$  구조는 C49-TiSi<sub>2</sub>의  $2a \times c \times 2b$  구조와 잘 일치하고 있는 것을 알 수 있고 향후 3차원적인 원자 모델에 관한 연구를 통하여 Si에서 C49-TiSi<sub>2</sub>상으로 상변화시의 정확한 원자위치 결정이 요구된다.

## 4. 결 론

Si (001) 기판에 형성된 C49상의 구조를 갖는 에피택셜 TiSi<sub>2</sub>상은 N<sub>2</sub> 처리에 의해 Si 표면에 N<sub>2</sub>가 흡착 또는 증착

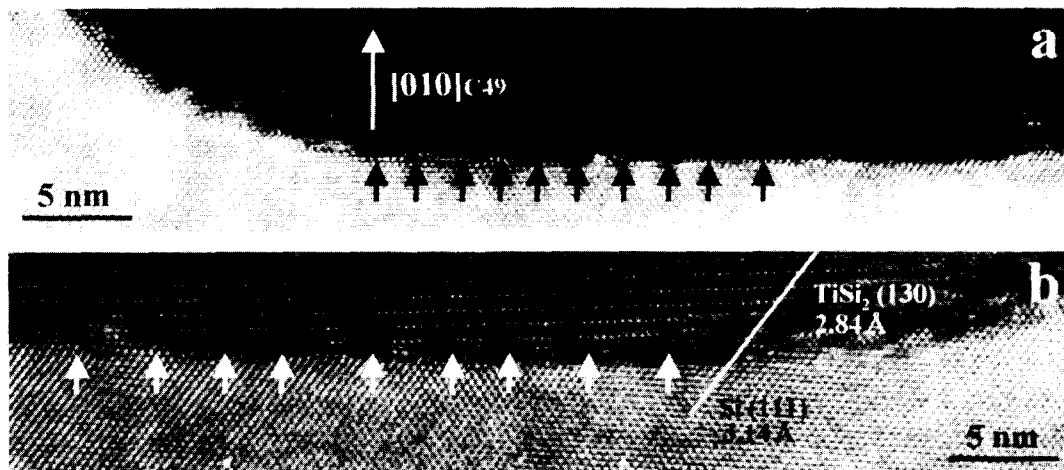


Fig. 8. (a) HRTEM image of epitaxial TiSi<sub>2</sub> parallel to the Si (002) plane. (b) HRTEM image of epitaxial TiSi<sub>2</sub> slightly tilted away from the Si (002) plane.

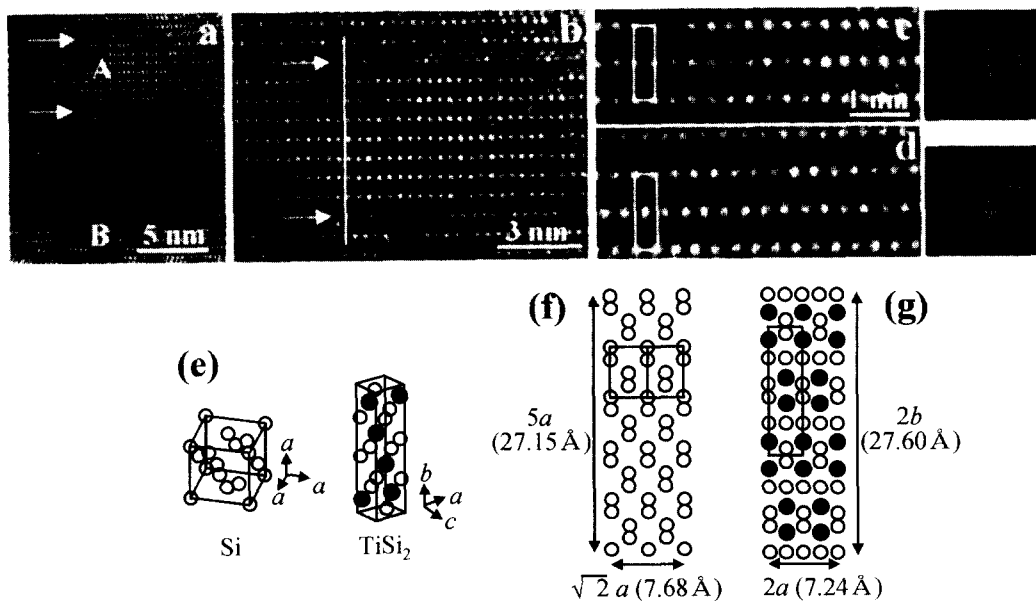


Fig. 9. (a) HRTEM image showing the stacking faults lying on the (020) plane of the C49-TiSi<sub>2</sub> phase. (b) Enlarged micrograph showing stacking faults. (c) and (d) Enlarged micrographs of regions A and B in (a). Rectangles in the images correspond to the unit cell. Fourier transformed diffraction patterns obtained in HRTEM images of (c) and (d) are shown in the right side of the images. (e) Unit cells of Si and C49-TiSi<sub>2</sub>. (f) Si atomic model of the [110] zone axis. (g) TiSi<sub>2</sub> atomic model of the [001] zone axis.

된 상태에서 실리사이드화가 진행되어 Ti와 Si의 반응이 억제되기 때문에 형성된다는 것을 알 수가 있었다. 또한 HRTEM 상의 해석과 원자 모델링을 통하여 열적으로 안정한 에피택셜 C49-TiSi<sub>2</sub>의 반정합 계면구조와 에피택셜 TiSi<sub>2</sub>상의 형성기구를 설명할 수 있었다.

#### 참고 문헌

1. R. Beyers and R. Sinclair, *J. Appl. Phys.*, **57**, 5240 (1985).
2. S.T. Lakshmikummar and A.C. Rastogi, *J. Vac. Sci. Technol.*, **B7**, 604 (1989).
3. L.F. Mattheiss and J.C. Hensel, *Phys. Rev.*, **B39**, 7754 (1989).
4. R.A. Roy, L.A. Clevenger, C. Cabral, Jr., H.L. Saenger, S. Brauer, J. Jordan-Sweet, J. Bucchignano, G.B. Stephenson, G. Morales and K.F. Ludwig, Jr., *Appl. Phys. Lett.*, **66**, 1732 (1995).
5. T.C. Chou, C.Y. Wong and K.N. Tu, *J. Appl. Phys.*, **62**, 2275 (1987).
6. A. Catana, P.E. Schmid, M. Heintze, F. Levy, P. Stadelmann, R. Bonnet, *J. Appl. Phys.*, **67**, 1820 (1990).
7. J.Y. Huang and S.T. Wu, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **38**, 3660 (1999).
8. J.S. Byun, *J. Electrochem. Soc.*, **143**, 1984 (1996).
9. H. Norstrom and K. Maex, *J. Vac. Sci. Technol.*, **B8**, 1223 (1990).
10. K. Shenai, *J. Mater. Res.*, **6**, 1502 (1991).
11. S.B. Hemer, K.S. Jones, H.J. Gossmann, R.T. Tung, J.M. Poate and H.S. Luftman, *J. Appl. Phys.*, **82**, 583 (1997).
12. Y.C. Kim, J.C. Kim, J.H. Choi, J.C. Park and H.M. Choi, *Appl. Phys. Lett.*, **75**, 1270 (1999).