

보호용 실리콘 산화막을 이용하여 제조된 Al_2O_3 예비층이 초박막 $\gamma-Al_2O_3$ 에피택시의 성장에 미치는 영향

정영철*, 전본근**, 石田誠***

Effect of Al_2O_3 pre-layers formed using protective Si-oxide layer on the growth of ultra thin $\gamma-Al_2O_3$ epitaxial layer

Young-Chul Jung*, Bon-Keun Jun**, Makoto Ishida***

요 약

본 논문에서는 보호용 실리콘 산화층과 Al 층을 이용한 Al_2O_3 예비층의 형성을 제안하였다. 실리콘 기판 위의 보호용 산화막 위에 알루미늄을 증착하고 이를 800℃에서 열처리함으로써 에피택시 Al_2O_3 예비층 형성시킬 수 있었다. 그리고 형성된 Al_2O_3 예비층위에 $\gamma-Al_2O_3$ 층을 형성하였다. $\gamma-Al_2O_3$ 막 성장시 공정의 초기 상태에서 발생하는 N_2O 가스에 의한 Si 기판의 식각을 Al_2O_3 예비층을 이용함으로써 방지할 수 있었다. Al_2O_3 예비층이 초박막 $\gamma-Al_2O_3$ 의 표면의 형태를 개선하는데 많은 효과가 있었다.

Abstract

In this paper, we propose the formation of an Al_2O_3 pre-layer using a protective Si-oxide layer and Al layer. Deposition of a thin film layer of aluminum onto a Si surface covered with a thin Si-oxide layer and annealing at 800 °C led to the growth of epitaxial Al_2O_3 layer on Si(111). And $\gamma-Al_2O_3$ layer was grown on the Al_2O_3 pre-layer. Etching of the Si substrate by N_2O gas could be avoided in the initial growth stage by the Al_2O_3 pre-layer. It was confirmed that the Al_2O_3 pre-layer was effective in improving the surface morphology of the very thin $\gamma-Al_2O_3$ films.

1. 서 론

실리콘 위에 단결정 절연체의 에피택시 성장기술은 SOI(silicon on insulator)소자와 금속/절연물 또는 반도체/절연물 적층구조를 이용한 고성능의 터널링 소자들의 제조시 층간 절연막 형성에 있어 매우 유용하게 이용되고 있다. 그러나 이러한 소자들에 있어서 매우 평탄한 단결정 절연층의 형성이 요구된다.^[1-2] 이러한 조건에 Al_2O_3 단결정 박막이 유용하게 응용될 수 있다.

특히 Si/ Al_2O_3 /Si 적층구조는 마이크로머시닝 기술을

이용한 마이크로 센서 및 고온용 압력 센서 제작에 응용되고 있다.^[3] Al_2O_3 초박막은 SiO_2 박막에 비해서 유전율이 높으며, Si 기판위에 단결정 GaN을 성장시킬 때 버퍼층으로도 사용된다.^[4-6] 현재까지 Si(111) 위에 N_2O 가스원료와 Al 고체원료를 이용한 混成(hybrid) MBE (molecular beam epitaxy)를 이용하여 계면에 탄소 오염이 없는 양질의 $\gamma-Al_2O_3$ (111)의 성장방법이 제안되었다.^[7] 그러나 수 원자층 정도의 $\gamma-Al_2O_3$ 표면 평탄성을 가지며 실리콘 기판과 $\gamma-Al_2O_3$ 성장막 사이의 계면 급준성을 갖는 양질의 초박막을 얻기 위해서는 청정한 실리콘 표면을 얻는 것이 무엇보다도 중요하다. Ishizaka와 Shiraki는 청정한 실리콘 기판 표면을 얻는 방법으로 800℃ 이하의 온도에서 행해지는 가열증

* 경주대학교 컴퓨터전자공학부

** 경북대학교 센서기술연구소

*** 일본 豊橋기술과학대학 전기전자공학

<접수일자 : 2000년 7월 20일>

발법을 이용한 세정방법을 제안하였다.¹⁸⁾ 이것은 탄소가 없는 얇은 보호용 실리콘 산화막을 화학 용액속에서 형성시킨 뒤, 초고진공(UHV : ultra high vacuum) 중에서 약 800 °C에서 가열해서 증발시키는 방법이다. 이러한 표면 세정 공정은 낮은 결함(defect) 밀도의 에피택시 박막을 형성하는 Si-MBE 기술에 이용되어 왔다.¹⁹⁾ 그러나 이 방법을 이용하면 실리콘 산화막이 공간적으로 균일하게 분해되지 않아서 평탄한 실리콘 표면을 얻기가 어렵다.¹¹⁰⁻¹¹¹⁾ 그리고 실리콘 표면에 부분적으로 SiO_x가 남게 되는 문제가 있기 때문에 실리콘 기판위의 실리콘 산화막을 완전히 제거하여야만 한다. 그리고 Si 기판 위에 γ -Al₂O₃ 층을 직접 성장시킬 경우, 초기 성장 과정에서 공급원료인 N₂O 가스에 의한 Si 기판의 식각 반응으로 인해 표면의 평탄도가 나빠지므로 양질의 초박막 Al₂O₃층의 성장이 어렵다.¹¹²⁻¹¹³⁾ 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 Ishizaka와 Shiraki가 가열증발법에서 제안한 보호용 실리콘 산화막 위에 Al층을 형성하고 이를 초고진공 내에서 in-situ 로 열처리하여 Al₂O₃ 예비층을 형성시키는 방법을 제안하였다. 이 방법은 평탄한 표면의 Si(111)면 위에 γ -Al₂O₃(111) 박막을 형성할 때에도 사용될 수 있다. 현재까지 보호용 실리콘 산화막을 이용한 몇가지 박막 제작 기술¹¹⁴⁾은 발표된 바 있으나 실리콘 산화막중의 산소와 증착 금속의 직접 반응을 통한 박막 형성 방법은 아직 보고된 바가 없다.

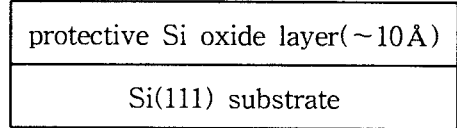
본 논문에서는 보호용 산화막을 이용한 Al₂O₃ 예비층을 실리콘 표면 위에 형성하였고, 형성된 예비층위에 γ -Al₂O₃ 박막을 Al-N₂O MBE 방법으로 Al₂O₃ 예비층 위에 성장시켰다. 그리고 γ -Al₂O₃(111) 박막 성장에 있어서 γ -Al₂O₃(111)의 표면 평탄성 및 Si/ γ -Al₂O₃(111) 계면 특성에 미치는 Al₂O₃ 예비층의 효과를 조사하였다.

2. 실험

Al₂O₃ 예비층과 γ -Al₂O₃층을 형성하기 위하여 Al-N₂O MBE 성장 챔버와 Al 증착용 챔버 그리고 분석용 챔버로 구성된 장치를 이용하였으며, 각각의 챔버는 3×10⁻⁸ Pa 의 기본진공도를 유지하였다. Al-N₂O MBE 성장 챔버에는 γ -Al₂O₃(111) 성장을 위한 Al-Knudsen cell과 N₂O 가스 원료가 장착되고, Al 증착용 챔버에는 Al-Knudsen cell이 장착되어있다.¹¹³⁾ 성장된 에피택시 박막은 Al-N₂O MBE 성장 챔버에 장착된 RHEED(reflection high-electron diffraction)와 분석용

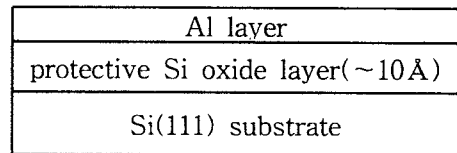
챔버에 장착된 XPS(X-ray photoelectron spectroscopy)를 이용하여 고진공 챔버 내에서 in-situ로 분석하였다.

I. Formation of protective Si oxide layer



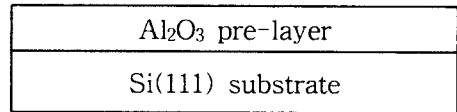
(a)

II. Deposition of Al layer



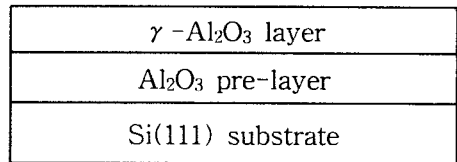
(b)

III. Thermal annealing at 800°C



(c)

IV. Growing γ -Al₂O₃ films on Al₂O₃ pre-layer



(d)

그림 1. 실리콘(111) 기판 위에 형성된 Al₂O₃ 예비층 및 γ -Al₂O₃ 층의 공정순서도

Fig. 1. Process of formation γ -Al₂O₃ layer and Al₂O₃ pre-layer on Si(111) substrate

그림 1은 공정순서도를 나타낸 것이다. 그림 1(a)와 같이 p형 Si(111) 웨이퍼를 RCA 세정한 후 Ishizaka와 Shiraki가 제안한 방법인 HCl:H₂O₂:H₂O(1:1:6)의 화학용액을 이용하여 약 10 Å의 보호용 실리콘 산화막을 형성시켰다.¹⁸⁾ Al₂O₃ 예비층을 형성시키기 위하여 Al 증착용 챔버 내에서 보호용 산화막이 형성된 실리콘 기판

위에 박막 Al 층을 상온에서 10Å 두께로 증착하였다 (그림 1(b)). Al이 증착된 보호용 산화막을 5×10^{-7} Pa의 압력에서 800°C, 30분 동안 열처리하여 예비층을 형성하였다 (그림 1(c)). 예비층위에 $\gamma-Al_2O_3$ 을 再成長시킬 경우에는 그림 1(d)와 같이 3×10^{-2} Pa의 압력에서 N_2O 가스원료와 Al 고체 원료를 이용하여 Al_2O_3 예비층 위에 $\gamma-Al_2O_3(111)$ 의 에피택시 박막을 성장시켰다. 성장된 박막의 결정성과 조성은 RHEED와 XPS를 이용하여 조사하였고, 성장된 박막의 두께는 ellipsometer를 이용하여 측정하였다. 또한 AFM(atomic force microscope)을 이용하여 표면 평탄도를 조사하였다. 그리고 Al_2O_3 예비층위에 형성시킨 $\gamma-Al_2O_3$ 막의 계면 특성을 조사하기 위하여 전류-전압특성을 조사하였으며, 고분해능 투과전자현미경(HR-TEM: high resolution transmission electron microscopy)을 이용하여 단면을 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

Si 기판위에 형성된 보호용 실리콘 산화막을 고온에서 열적 분해를 행한 후(그림 2(a))와 보호용 실리콘 산화막 위에 Al을 증착하고 열처리를 행한 후(그림 2(b)-(d))의 기판의 AFM 분석 결과를 각각 그림 2에 나타내었다. 보호용 실리콘 산화막의 두께는 XPS와 ellipsometer를 이용하여 측정한 결과 약 10 Å 이었다. SiO_x 제거후 실리콘 산화물이나 오염물질인 SiC 와 같은 물질들이 XPS 측정 결과로는 기판 표면에서 검출되지 않았으며, 7×7 RHEED 패턴이 선명하게 나타났다(본 논문에는 나타내지 않음). 그림에도 불구하고 AFM 상은 평탄한 표면을 나타내지 않았다. 그림 2(a)는 보호용 실리콘 산화막의 열적 분해가 일어난 직후의 AFM 사진으로, 약 100 Å 높이의 돌기들이 많이 존재하며, 계단가장자리(step edge)는 직선이 아니라 지그재그 형태를 나타내고 있으며, 많은 돌기들이 계단 가장자리에 나타났다. 이 돌기들은 보호용 실리콘 산화막이 증발할 때 실리콘 기판 표면에 응집하여 생기는 것으로 여겨진다. Komeda와 Nishioka는 이 돌기들이 계단의 움직임을 고정시킨다고 보고하였다^[13]. 이 결과로 보호용 산화막을 고온에서 열처리를 행하면 오염이 없는 청정한 Si 표면을 얻을 수는 있지만 원자수준의 표면을 얻을 수 없다는 것을 알 수 있다. 그림 2(b)는 3 Å 두께의 Al 층을 증착한 후에 열처리한 샘플의 AFM 사진을 나타낸 것으로 많은 수의 깊은 구멍이 선명하게 나타나고 있다. 이 구멍의 크기는 직경이 약

1000 Å에서 3000 Å의 정도이고 깊이는 약 13 Å 정도로 나타났다. 구멍이 생기는 이유는 증착된 Al층의 두께가 얇아서, Al과 반응하지 못한 보호용 실리콘 산화막이 부분적으로 해리 되어 증발하면서 생기는 것이라고 생각되어진다. 그림 2(c)는 Al 층의 두께가 5 Å 경우의 AFM 사진을 나타낸 것이다. 구멍의 밀도가 그림 2(b)의 경우에 비해서 상당히 감소한 것을 볼 수 있으나 깊이는 그림 2(b)와 마찬가지로 약 13 Å이었다. 이와 같은 결과를 보면 Al_2O_3 예비층의 두께가 약 13 Å임을 알 수 있다. 그림 2(d)는 10 Å 두께의 Al 층을 형성시킨 후의 AFM 사진을 나타낸 것이다. 그림 2(d)는 10 Å 두께의 Al 층이 증착된 보호용 산화막을 열처리한 후의 AFM 상을 나타낸 것으로, 결합은 거의 존재하지 않으며 표면의 평균 거칠기는 약 1.1 Å으로 Si 기판의 표면구조와 비슷한 것으로 나타났고 SiO_x 덩어리도 보이지 않았다. 그래서 구멍들과 돌기는 증착되는 Al의 두께가 임계치 보다 작은 경우 실리콘 기판의 표면에 남는 것은 알 수 있었다. 그러므로 본 실험에서는 Al_2O_3 예비층의 표면 구조와 결합의 밀도는 증착된 Al의 두께에 의존하며, Al의 두께가 10-15Å일 때, 최적의 평탄한 표면을 갖는 Al_2O_3 예비층이 Si 기판 위에 형성됨을 알 수 있었다.

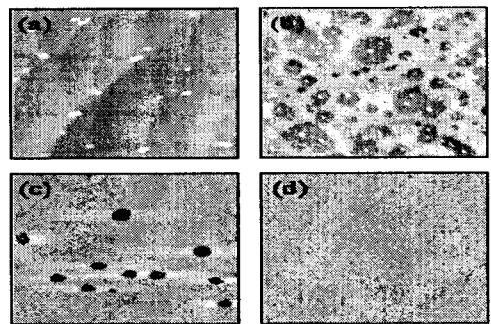


그림 2. (a) 보호용 실리콘 산화막이 열적 분해된 후의 샘플과, (b) 3 Å (c) 5 Å (d) 10 Å의 Al층을 이용하여 형성된 Al_2O_3 예비층의 AFM 상.

Fig. 2. AFM images of (a) after thermal decomposition of the protective oxide layer, and after formation of the Al_2O_3 per-layer with different Al layer thickness (b) 3 Å (c) 5 Å (d) 10 Å.

형성된 예비층의 결정성을 확인하기 위하여 RHEED

분석을 행하였다. 그림 3(a)와 3(b)는 Al₂O₃ 예비층이 형성된 샘플의 Si[110] 방향과 Si[112] 방향에 대한 RHEED 패턴을 각각 나타낸 것이다. 그림 3(a) 뿐만 아니라 그림 3(b)에서도 모두 두 종류의 스트리키(streaky) 회절패턴이 나타났다. 하나는 Al₂O₃(111) 예비층에 의한 회절패턴이고, 다른 하나는 Al₂O₃ 예비층이 매우 얇아서 나타난 Si(111) 기판의 회절패턴을 나타낸 것이다. 회절상을 통하여 형성된 Al₂O₃ 예비층은 固相에 피택시 성장하고 있는 것을 알 수 있다. 그리고 결정방향도 Al₂O₃[110]/Si[110], Al₂O₃[112]/Si[112] 방향으로 형성되었음을 알 수 있다.

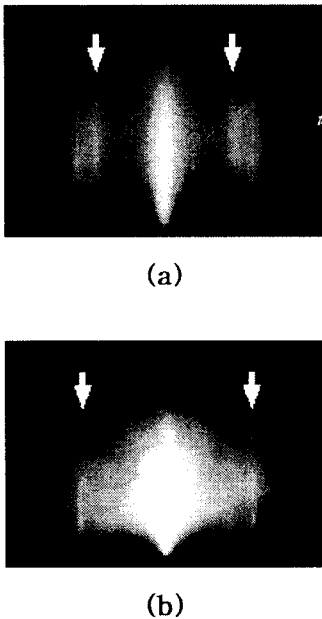


그림 3. Al₂O₃ 예비층의 RHEED 패턴 (a) [110] 방향 (b) [112] 방향. 작은 화살표는 Si(111)기판의 (1x1) 스트리키 패턴

Fig. 3. RHEED patterns observed along (a)[110], (b)[112] azimuths of the Si(111) with the epitaxial Al₂O₃ pre-layer. Small arrows indicate the (1x1) streak positions of the Si(111) substrate.

그림 4는 Al₂O₃ 예비층이 형성되기 前後의 샘플의 XPS 측정 결과를 나타낸 것이다. Al₂O₃ 예비층이 형성되기 전에는 보호용 산화막이 형성된 표면에서 Si-Si 결합(bond)과 Si-O 결합에 대한 스펙트럼이 나타났으나 약 13 Å의 Al₂O₃ 예비층이 형성된 후에는 Si-O 결합이 사라진 것을 알 수 있었다.

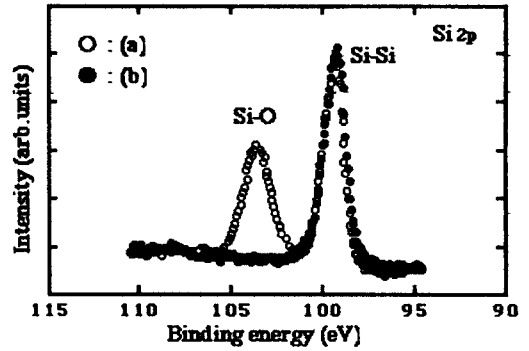


그림 4. (a) 보호용 실리콘 산화막이 있는 샘플, (b) Al₂O₃ 예비층이 형성된 후의 샘플의 XPS 스펙트럼

Fig. 4. XPS spectra of (a) the sample with the protective oxide film, (b) the sample after formation of the Al₂O₃ pre-layer.

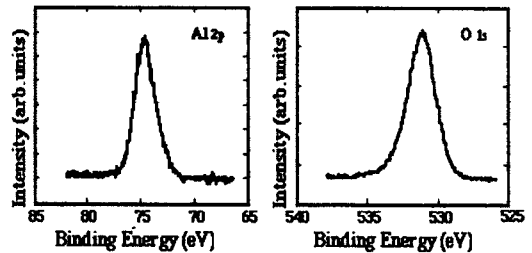
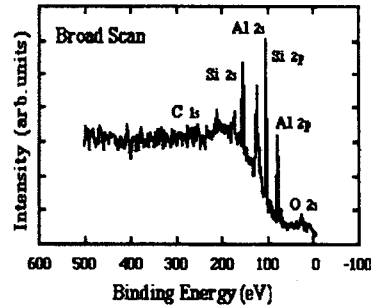


그림 5. Si 기판상에 Al₂O₃ 예비층이 형성된 후의 XPS 스펙트럼(broad scan, Al 2p, O 1s)

Fig. 5. XPS spectra of broad scan, Al 2p and O 1s obtained after formation of the Al₂O₃ pre-layer on Si.

그림 5는 Al₂O₃ 예비층에 대한 Al 2p 와 O 2s 의 XPS 스펙트럼을 나타낸 것이다. 실리콘 기판의 표면에

서 Al 과 Si 은 검출되었으나 C 는 검출되지 않았다. 이로부터 형성된 Al₂O₃ 예비층에는 탄소 오염이 없음을 알 수 있다. Al₂O₃ 예비층의 Al-O 의 결합에너지는 74.7 eV 이었으며, Al₂O₃에서 72.7 eV의 에너지를 가지는 Al-Al 결합은 관찰되지 않았다.

이상의 RHEED 및 XPS 분석 결과로 매우 평탄한 Al₂O₃ 예비층이 Si 기판 위에 성장되어 있음을 알 수 있으며, Al층이 증착된 보호용 산화막의 산소가 열처리 공정에서 Al과 화학적으로 반응하여 Al-O로 치환되었음을 알 수 있었다. 금속 Al과 SiO₂ 계면에서 다음과 같은 반응이 일어나 SiO₂가還元되는 것으로 고려되어진다.

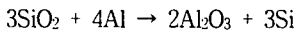


그림 6은 Al₂O₃ 예비층이 있는 경우와 없는 경우에 대한 Si 기판 위에 성장된 γ-Al₂O₃ 막의 AFM 사진을 나타낸 것이다. Al₂O₃ 예비층이 없는 경우, 그림 6(a)에서와 같이 높이의 평균치(Z range)가 32.3nm로 표면이 매우 거친 것으로 나타났다. 그 이유는 고온(850℃)의 성장 초기단계에서 원료가스인 N₂O로 인하여 Si 기판이 식각되기 때문인 것으로 보고되었다^[13,16]. 그러나 γ-Al₂O₃막을 Al₂O₃ 예비층위에 850℃에서 성장시킨 경우, 그림 6(b)와 같이 높이의 평균치가 4.5 nm로 매우 평탄한 표면을 얻을 수 있었다. 이는 Al₂O₃ 예비층이 γ-Al₂O₃ 성장 초기에 일어나는 N₂O 가스에 의한 Si 기판의 식각을 방지할 수 있기 때문이다.

Si 기판 위에 직접 γ-Al₂O₃ 막을 성장시킨 경우와 Al₂O₃ 예비층 위에 성장시킨 γ-Al₂O₃ 막의 전압-전류 특성을 측정하였다. 그림 7은 750℃에서 3시간 성장시킨 γ-Al₂O₃ 막의 특성을 나타낸 것으로, 모든 샘플에 있어서 막 두께는 약 100Å이었다. 그림에서 알 수 있듯이 Al₂O₃ 예비층을 형성시키지 않고 Si 기판 위에 직접 성장시킨 γ-Al₂O₃ 막에서는 절연성이 전혀 보이지 않는 것을 알 수 있다. 그러나 Al₂O₃ 예비층위에 형성시킨 γ-Al₂O₃ 막은 절연성이 있고 증착시킨 Al의 막 두께가 최적조건인 10 Å인 경우에는 전계강도가 6.5 MV/cm정도까지 절연성을 갖는 것을 볼 수 있었다. 또한 Al의 두께가 20 Å인 경우에는 4 MV/cm 정도의 절연성이 나타나는 것을 볼 수 있었다. 이와 같은 결과로부터 성장전의 표면상태 또는 Si기판과 γ-Al₂O₃ 膜 사이의 계면 상태가 γ-Al₂O₃ 막의 절연성에 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

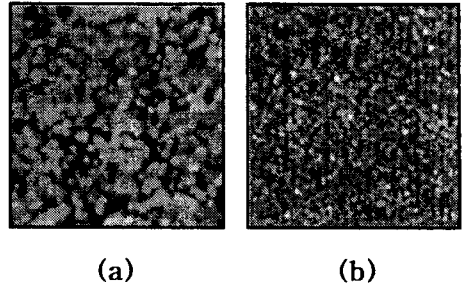


그림 6. 성장된 γ-Al₂O₃ 층의 AFM 상
(a) Al₂ 예비층이 없는 경우,
(b) 예비층이 있는 경우

Fig. 6. AFM images of γ-Al₂O₃ films grown (a)without the Al₂O₃ pre-layer, (b)with the pre-layer.

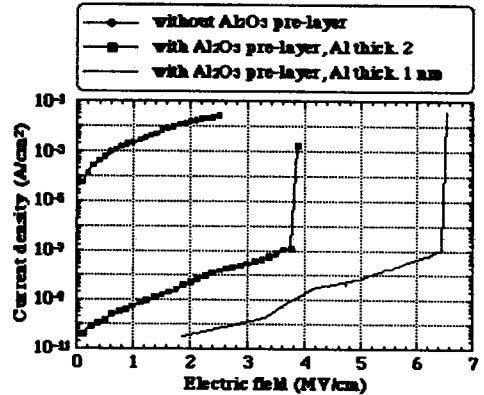


그림 7. 형성된 γ-Al₂O₃ 박막의 전계 항복 특성 (막두께는 100 Å)

Fig. 7. Characteristics of breakdown field of several γ-Al₂O₃ films. (thickness of 100 Å)

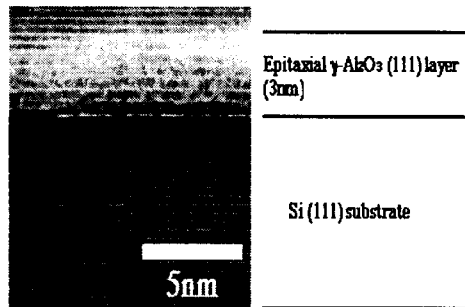


그림 8. γ-Al₂O₃/Si 구조의 단면 HR-TEM 사진
Fig. 8. Cross-sectional HR-TEM image of the γ-Al₂O₃/Si structure.

Al_2O_3 예비층위에 형성된 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 막의 계면 특성을 조사하기 위하여 고분해능 투과전자현미경을 이용하여 관찰하였다. 그 결과를 그림 8에 나타내었다. $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 막과 Si기판의 계면에는 식각에 의한 계면의劣化는 보이지 않고 결정성 좋게 성장되어 있는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

보호용 실리콘 산화막 위에 Al을 증착하고 열처리를 행함으로써, Si 기판 위에 Al_2O_3 예비층을 에피택시 성장시킬 수 있었다. 열처리 공정에서 보호용 실리콘 산화막중의 산소는 실리콘으로부터 해리되고 Al과 화학적으로 반응하여 Al-O로 치환되었음을 알 수 있었다.

1.1 A의 표면의 제곱 평균면 거칠기 값의 평탄한 Al_2O_3 예비층 표면이 관찰되었고, 돌기가 없고 평탄성이 좋은 표면을 얻을 수 있었다. Al_2O_3 예비층을 이용하여 Si(111) 기판 위에 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ (111)층을 에피택시 성장시킬 경우, 초기 성장 과정에서 발생하는 N_2O 가스와 Si 기판사이의 식각반응을 Al_2O_3 예비층이 방지함을 확인하였다. 그러므로 Al_2O_3 예비층은 Al_2O_3 박막의 표면의 형태를 개선하는데 효과적임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] K. Usami, I. Takahashi, E. Miyake, M. Moriya, X. Y. Cai, T. Kobayashi and T. Goto, "Thin Si oxide films for MIS tunnel emitter by hollow cathode enhanced plasma oxidation", *Thin Solid Films*, vol. 281-282, pp. 412-414, 1996.
- [2] R. A. Soref, "Silicon-based group IV heterostructures for optoelectronic applications", *J. Vac. Soc. Technol*, vol. 14, issue 3, pp. 913-918, 1996
- [3] M. Ishida, Y. T. Lee, T. Higashino, H. Seo, and T. Nakamura, "Double SOI structures and device applications with heteroepitaxial Al_2O_3 and Si", *Jpn. J. Appl. Phys.* vol. 34, no. 2B, pp. 831-835.
- [4] A. W. Ott, J. W. Klaus, J. M. John and S. M. George, " Al_2O_3 thin film growth on Si(100) using binary reaction sequence chemistry", *Thin Solid Films*, vol. 293, pp. 135-144, 1997.
- [5] L. Wang, X. Liu, Y. Zan, J. Wang, D. Wang, D. Lu, and Z. Wang, "Wurtzite GaN epitaxial growth on a Si(001) substrate using $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ as an intermediate layer" *Appl. Phys. Lett.*, vol. 72, no. 5, pp. 109-111, 1998.
- [6] N. Ohshima, A. Wakahara, M. Ishida, H. Yonezu, A. Yoshida, Y. C. Jung, T. Kimura and H. Miura, "GaN epitaxial growth on a Si(111) substrate using $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ as an intermediate layer, *J. Korean. Phys. Soc.* vol. 34, pp. S359-S363, 1999.
- [7] H. Wado, T. Shimizu and M. Ishida, "Epitaxial growth of $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ layers on Si(111) using Al solid source and N_2O gas molecular beam epitaxy", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 67, no. 15, pp.2200-2202, 1995.
- [8] A. Ishizaka and Y. Shiraki, "Low temperature surface cleaning of silicon and its application to silicon MBE", *J. Electrochem. Soc.*, vol. 133, no. 4, pp. 666-6671, 1986.
- [9] Y. Kobayashi and K. Sugi, "Thermal decomposition of very thin oxide layers on Si(111)", *J. Vac. Sci. Technol. A*, vol. 10, no. 4, pp. 2308-2313, 1992.
- [10] H. Watanabe, K. Fujita and M. Ichikawa, "Thermal decomposition of ultrathin oxide layers on Si(111) surfaces mediated by surface Si transport", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 70, no. 9, pp. 1095-1097, 1997.
- [11] 權田俊一, "分子線エピタクシー", 培風館, pp.127-130, 1994.
- [12] T. Kimura, A. Sengoku, H. Yaginuma, Y. Moriyasu and M. Ishida, "The effect of oxidation source gas on epitaxial Al_2O_3 films on Si", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 36, no. 12A, pp. 7126-7132, 1997.
- [13] Y. C. Jung, H. Miura, K. Ohtani and M. Ishida, "High-quality silicon/insulator heteroepitaxial structures formed by molecular beam epitaxy using Al_2O_3 and Si", *J. Cryst. Growth*,

62 보호용 실리콘 산화막을 이용하여 제조된 Al_2O_3 예비층이 초박막 $\gamma-Al_2O_3$ 에피택시의 성장에 미치는 영향

vol. 196, pp. 88-96, 1999.

[14] R. T. Tung, "Oxide mediated epitaxy of CoSi₂ on silicon", Appl. Phys. Lett., vol. 68, no. 24, pp. 3461-3463, 1996.

[15] T. Komeeda and Y. Nishioka, "Layer-by-layer etching of Si(111) surface by oxygen at elevated temperature", Jpn. J. Appl. Phys. vol.36, pp.1582-1585, 1997.

[16] M. Ishida, Y. C. Jung and H. Miura, "10th Int. Conf. Molecular Beam Epitaxy, Cannes, Abstr. Book, pp. 584-585, 1998.

著 者 紹 介



정 영 철

1964년 4월 16일생.

1988년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사).

1990년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사).

1999년 일본 국립 도요하시(豊橋)

기술과학대학 전자·정보공학전공 졸업(공학박사).

현재 경주대학교 컴퓨터전자공학부 전자공학 전공 전임강사.

주관심분야 : 결정성장, 반도체 제조공정, SOI 형성기술

전 본 근

『센서학회지 제8권 제5호』 논문99-8-5-9 pp.68 참조

현재 경북대학교 센서기술연구소 연구원

石 田 誠(Makoto Ishida)

1950년생

Kyoto 대학 공학박사(1979)

현재 일본 국립 도요하시(豊橋)기술과학대학 전기·전자공학부 교수

주관심분야 : SOI 형성기술, 반도체 센서