

직접 접합에 의한 Al₂O₃ SOI 구조 제작

공대영[†] · 은덕수 · 배영호* · 이종현

Fabrication of Al₂O₃ SOI with direct bonding

Dae-Young Kong[†], Duk-Soo Eun, Young-Ho Bae*, and Jong-Hyun Lee

Abstract

The SOI structure with buried alumina was fabricated by ALD followed by bonding and etchback process. The interface of alumina and silicon was analyzed by CV measurements and cross section was investigated by SEM analysis. The density of interface state of alumina and silicon was 2.5E11/cm²-eV after high temperature annealing for wafer bonding. It was confirmed that the surface silicon layer was completely isolated from substrate by cross section SEM and AES depth profile. The device on this alumina SOI structure would have better thermal properties than that on conventional SOI due to higher thermal conductivity of alumina than that of silicon dioxide.

Key Words : Al₂O₃, SOI, direct bonding

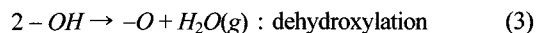
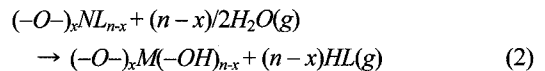
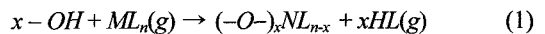
1. 서 론

현재까지 SOI의 매몰 산화막은 실리콘 산화막을 사용하여 왔으며 열산화막의 우수성에도 불구하고 낮은 열 전도성으로 인하여 발생하여 self heating 효과로 소자의 동작 특성에 문제점을 발생시키고 있다^[1]. Al₂O₃는 알칼리 이온이나 불순물들에 대한 높은 확산 저항성, 비교적 높은 유전율, 높은 열전달 특성 특성을 가진다^[2-4]. 특히 Al₂O₃의 열전도도가 실리콘 산화막보다 수십배 정도 큰 값을 가지기 때문에 SOI 소자에서 self heating 효과를 감소시킬 것으로 기대된다. Al₂O₃ 박막을 매몰 산화막으로 사용하는 SOI 구조는 1989년에 Al₂O₃ 층을 low-pressure chemical vapor deposition (LPCVD) 법으로 성장시키고, 상부 Si 층은 metalorganic molecular beam epitaxy(MOMBE)로 성장시킨 Al₂O₃ SOI 구조가 makoto ishida에 의해 제안되었다^[5]. 하지만 이는 epitaxy 법으로 Si 층을 성장시켜서 소자 동작 시에 Si 층의 결함에 의한 소자 특성에 문제점을

안고 있다. 따라서 본 연구에서는 Al₂O₃ 박막을 저온에서 우수한 특성의 박막을 성장 할 수 있는 ALD^[6-8]법으로 성장시켜 직접 접합 법을 이용하여 상부 Si 층을 단결정으로 제작하였다. ALD법으로 성장시킨 Al₂O₃ 박막의 표면분석과 실리콘과의 계면특성을 분석하고, 제작된 Al₂O₃ SOI 구조의 단면을 조사하였다.

2. 이 론

ALD법으로 Al₂O₃ 박막을 성장시키기 위하여 먼저 금속 전구체가 반응물로 유입된 후 hydroxyl group(-OH)과 금속 화합물은 식 (1)의 반응에 의해서 표면에 증착된다.



(-)는 표면, M은 금속 반응물(metal), L은 배위자를 말한다. 식 (2)의 반응 과정동안 hydroxyl group이 모두 기판의 표면에 존재하는 것이 아니라 그들 중 일부는 서로 결합하여 반응식 식 (3)와 같이 각각 독립한 H₂O로 생성되고 제거과정을 통해서 제거된다. 그

경북대학교 전자전기컴퓨터공학부(Department of Electronics Graduate School, KyoungPook National University)

*위덕대학교 정보통신공학부(Division of Information and Communication Engineering, Uiduk University)

[†]Corresponding author: u4only@nate.com

(Received : February 19, 2005, Accepted : March 29, 2005)

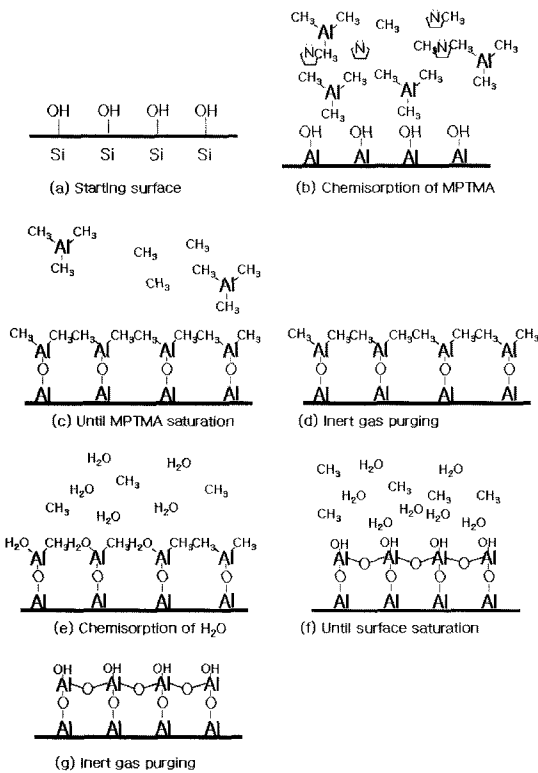


그림 1. ALD Al₂O₃ 증착 모델
Fig. 1. The deposition model of ALD Al₂O₃ thin film.

림 1은 ALD법으로 Al₂O₃ 박막을 성장 시 증착 모델이다. 직접 접합은 표준 전처리 후 시편 표면에 OH기가 형성되며, OH기에 의한 수소결합력(van der waals force)으로 두 장의 시편이 접합하게 된다. 수소결합력으로 초기 접합된 시편을 열처리하면 탈수축합반응이 일어나서 수소결합이 Si-O-Al 결합으로 바뀌게 되고, 고온 열처리에서는 Si-Al의 직접 결합이 일어나게 된다. 따라서 반응이 진행됨에 따라 접합강도가 점점 증가하게 된다^[9]. 그림 2는 직접 접합을 이루는 절차의 개략도이다.

3. 실험 방법

p-Si(100) 웨이퍼를 표준 세척과정에 따라 세척하였다. ALD 장치로 Al₂O₃ 박막을 기판 온도 400 °C에서 500 cycle과 2000 cycle 성장 시켰다. 500 cycle 성장시킨 Al₂O₃ 박막은 열처리를 시켜 XRD 측정으로 전과 후의 결정성을 조사하였다. 2000 cycle 성장시킨 Al₂O₃ 박막은 MIS구조를 만들어 CV 측정을 하여 웨

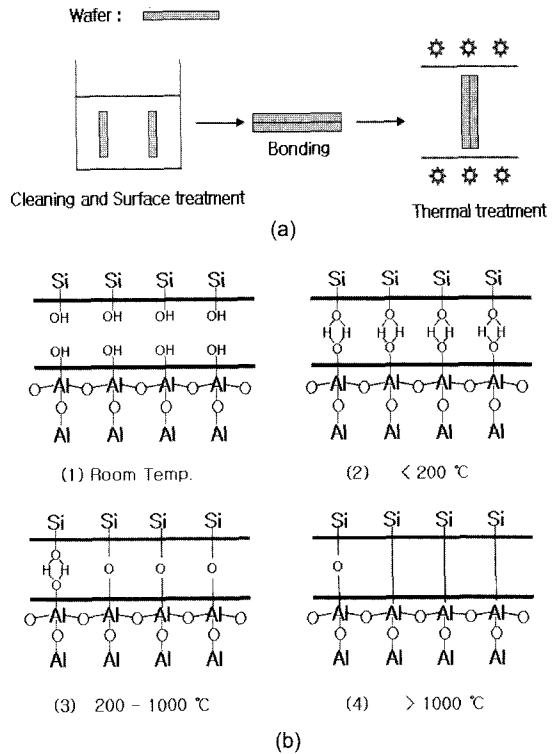


그림 2. 직접 접합 공정의 개략도: (a) 접합 공정, (b) 절차의 개략도
Fig. 2. Direct bonding mechanism: (a) Process and (b) Mechanism.

이퍼와의 계면 특성을 조사하였다. SOI 구조를 만들기 위하여 성장시킨 Al₂O₃ 박막을 400 °C에서의 열처리 과정으로 친수성을 가지게 했다. 열처리 후 AFM 분석을 통해 Al₂O₃ 박막의 표면 상태 및 거칠기를 분석하였다. 이는 직접 접합을 하기 위한 표면 상태를 확인하기 위해서였다. 열처리 한 시편을 아세톤과 메탄올, 탈이온 수에서 세척을 하여 OH기를 형성시켰다. 직접 접합 할 SIMOX 웨이퍼의 표면은 표면 처리 방법으로 친수성을 가지게 한 후 초기 접합시켰다. 초기 접합은 OH기에 의한 수소결합력(van der waals force)으로 두 장의 웨이퍼가 접합하게 된다.

초기 접합이 이루어진 시편을 N₂ 분위기에서 1100 °C 열처리 하였다. 열처리 후 완전한 직접 결합을 이룬 시편을 CMP 공정과 TMAH 식각을 이용하여 얇게 만들었다. CMP에 사용되는 slurry는 ILD 1300을 사용하였고 pad는 IC 1400을 사용하였다. 제작된 SOI의 구조의 단면을 분석하기 위해 FE-SEM 측정을 하였다. 그리고 Al₂O₃ SOI 구조의 열 손실을 시뮬레이션을 통해 구해보았다.

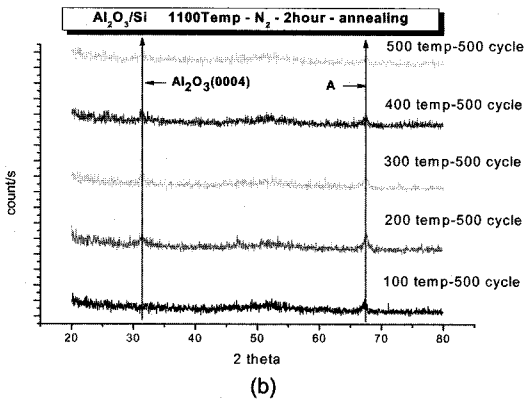
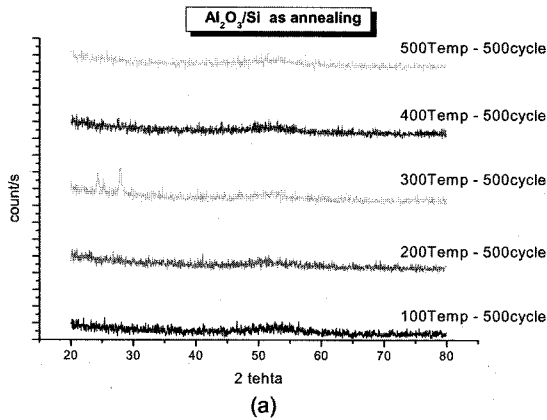


그림 3. Al₂O₃ 박막 XRD 패턴: (a) 열처리 전, (b) 1100 °C 에서 2 시간 열처리 후

Fig. 3. XRD pattern of Al₂O₃ thin film: (a) as-deposited sample and (b) 2 hour annealed sample at 1100 °C.

4. 결과 및 고찰

그림 3는 열처리 후 Al₂O₃ 박막의 XRD 분석 결과이다. Al₂O₃ 박막이 직접 접합을 위한 열처리 온도인 1100 °C에서 열처리 후에 결정성을 가지는 것을 볼 수 있다.

그림 4은 Al₂O₃ 박막의 거칠기를 보기 위한 AFM 사진이다. 그림 4에서와 같이 Al₂O₃ 박막의 평균 거칠기는 5 Å 이하로 직접 접합이 가능한 수치이다.

그림 5에서는 직접 접합 공정후의 Al₂O₃와 실리콘 계면을 조사하기 위해서 열처리 전과 후의 MIS 캐패시터를 제작하여 C-V 특성을 분석하였다.

표 1에서 보는 바와 같이 열처리 공정을 한 후에도 우수한 전기적 절연 특성을 가지고 있음을 알 수 있다. 열처리 한 후 Al₂O₃에서는 표면 상태 밀도(interface state density)는 $2.5 \times 10^{11}/\text{cm}^2\text{-eV}$ 이며, flatband volt-

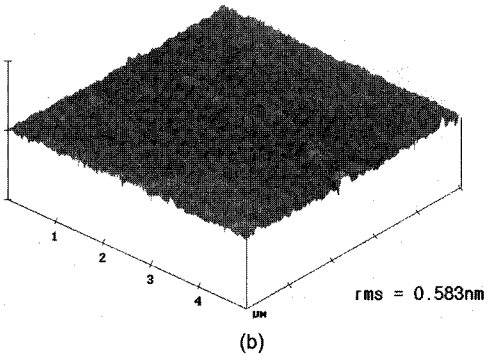
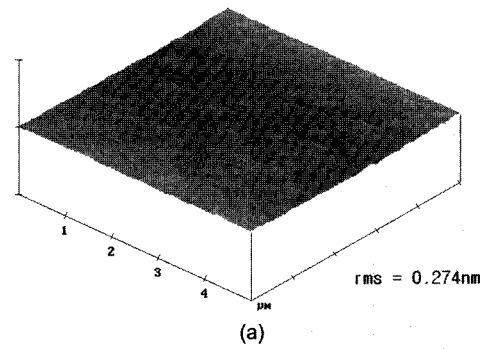


그림 4. Al₂O₃ 박막의 표면 거칠기: (a) 열처리 전, (b) 400 °C 열처리 후

Fig. 4. The surface roughness of Al₂O₃ thin film: (a) as-deposited sample and (b) 400 °C annealed sample.

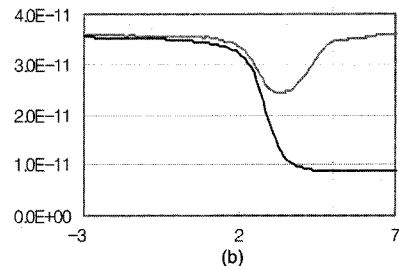
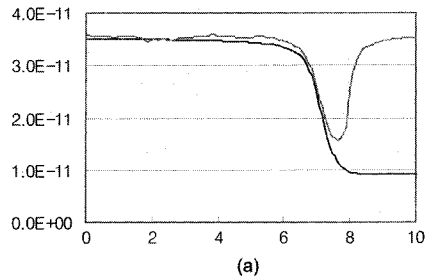


그림 5. Al₂O₃ 박막의 MIS CV 특성 곡선: (a) 열처리 전, (b) 1100 °C에서 2시간 열처리 후

Fig. 5. MIS CV Curve of Al₂O₃ thin film: (a) as-deposited sample and (b) annealed sample at 1100 °C, 2 hours.

표 1. 열처리 후 C-V 특성 분석 결과
Table 1. MIS CV Analysis Results

시료	Input data			Calculated data			
	C _{max} (pF)	C _{min} (pF)	T _{oxide} (nm)	유전 상수	V _{FB} (V)	N _{eff} × 10 ¹² (/cm ²)	D _{it} × 10 ¹¹ (cm ² -eV)
열처리 전	35	9	264	8.3	7.0	-1.4	0.8
열처리 후	36	9	233	7.54	2.65	-0.63	2.5

age shift로부터 계산되어진 유효 전하 밀도(effective insulator charge density)는 6.3 × 10¹¹/cm²로 계산되었다. 이것은 실리콘과 실리콘 열산화막 사이의 그것보다

는 다소 높으나 매물 절연막과 실리콘 계면사이에 대해서 꽤 높은 수준의 특성으로 보인다. 그림 6에서는 제작된 SOI 구조의 단면 SEM 결과이다. 직접 접합에 의하여 SOI 구조가 잘 이루어 졌음을 알 수 있다. 그림 7에서 SOI와 Al₂O₃ SOI에서의 열 분포를 비교해 보았다. Al₂O₃ SOI에서 확연히 열전도 차이가 생김을 볼 수 있다.

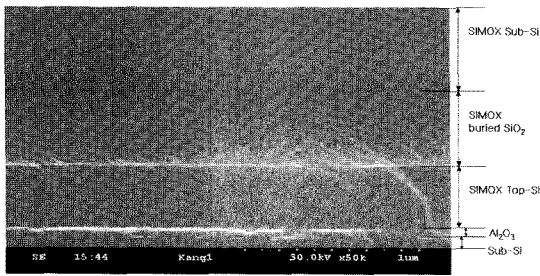
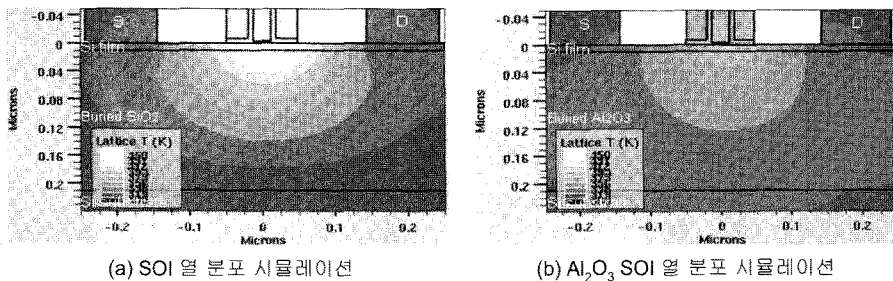


그림 6. Al₂O₃ SOI 단면구조 FE-SEM 측정
Fig. 6. FE-SEM of Al₂O₃ SOI cross section.

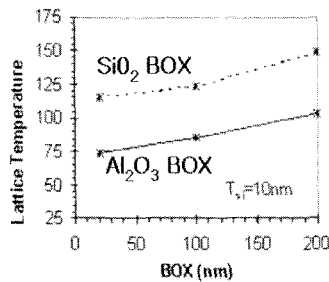
5. 결 론

본 연구에서는 ALD에 의한 Al₂O₃ 박막 성장법과 직접 접합 및 박막화 기술을 이용하여 Al₂O₃ SOI 시편을 제작하고 그 특성을 조사하였다. XRD 측정으로 열처리 전과 후의 Al₂O₃ 박막의 결정성을 분석하였고,



(a) SOI 열 분포 시뮬레이션

(b) Al₂O₃ SOI 열 분포 시뮬레이션



(c) 매물 층 깊이에 따른 온도 분포

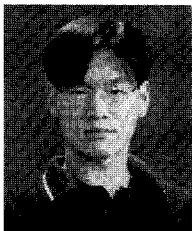
그림 7. SOI 구조에서 열 방출 시뮬레이션 결과: (a) SiO₂ 매물 층 시뮬레이션 결과, (b) Al₂O₃ 매물 층 시뮬레이션 결과, (c) 매물 층 깊이에 따른 온도 분포

Fig. 7. Heat dissipation simulation for comparison between SiO₂ SOI & Al₂O₃ SOI: (a) buried SiO₂, (b) buried Al₂O₃, and (c) lattice temp.

AFM 분석을 통해 Al_2O_3 박막의 거칠기가 직접 접합을 이루기에 충분한 거칠기를 가짐을 알 수 있었다. HR-XRD 측정으로 Al_2O_3 박막의 두께 및 밀도를 측정하였고, Al_2O_3 박막의 CV 특성 측정을 통하여 구하여진 계면 상태 밀도는 $2.5 \times 10^{11}/\text{cm}^2\text{-eV}$ 로써 실리콘 웨이퍼와 양호한 계면을 가지고 있었다. 제작된 SOI의 구조를 분석하기 위해 FE-SEM 측정을 행하였다. 그리고 Al_2O_3 SOI 구조의 열 손실을 시뮬레이션을 통해 SiO_2 SOI 보다 Al_2O_3 SOI 구조에서 열전도가 잘 일어남을 볼 수 있었다. Al_2O_3 박막은 SiO_2 에 비교하여 우수한 열전도성을 가지므로 이를 이용하여 SOI를 제조하면 기존의 SiO_2 를 매몰 산화막으로 사용하는 SOI에 비하여 self heating 효과가 감소되고, 상부 Si 층을 단결정 Si를 사용하여 우수한 특성의 SOI 소자를 제조할 수 있을 것으로 믿어진다. 그러므로 Al_2O_3 SOI가 SOI 소자의 응용 분야를 더욱 확대 시킬 수 있을 것으로 기대된다.

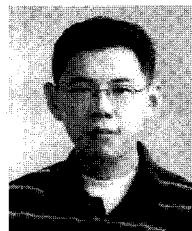
참고 문헌

- [1] S. Cristoloveanu, "Silicon on insulator technologies and devices: from present to future", *Solid-State Electronics*, vol. 45, pp. 1403-1411, 2001.
- [2] G. S. Higashi and C. G. Fleming, "Sequential surface chemical reaction limited growth of high quality Al_2O_3 dielectrics", *Appl. Phys. Letter*, vol. 55, pp. 1963-1965, 1989.
- [3] A. W. Ott, J. W. Klaus, J. M. Johnson, and S. M. George, " Al_2O_3 thin film growth on Si(100) using binary reaction sequence chemistry", *Thin Solid Films*, vol. 292, pp. 135-144, 1997.
- [4] 이석현, 이용수, 태홍식, 이용현, 이정희, "GaAs 기판위에 성장된 단결정 AlAs층의 선택적 산화 및 XPS(X-ray photoelectron spectroscopy)분석", *센서학회지*, 제5권, 제5호, pp. 79-84, 1996.
- [5] M. Ishida, K. Sawada, S. Yamaguchi, and T. Nakamura, "Heteroepitaxial Silicon/Alumina/Silicon structures", *Appl. Phys. Letter*, vol. 55, pp. 556-558, 1989.
- [6] S. M. Bedair, M. A. Tischler, T. Katsuyama, and N. A. El-Masry, "Atomic layer epitaxy of III-V binary compounds", *Appl. Phys. Letter*, vol. 47, pp. 51-53, 1985.
- [7] Gyula Eres, "Kinetic modeling of the atomic layer epitaxy processing window in group IV semiconductor growth", *Appl. Phys. Letter*, vol. 67, pp. 1727-1729, 1995.
- [8] 전본근, 이태현, 이정희, 이용현, "GaAs 기판위에 성장된 단결정 AlAs층의 선택적 산화 및 XPS(X-ray photoelectron spectroscopy)분석", *센서학회지*, 제8권, 제5호, pp. 421-426, 1999.
- [9] Q. Y. Tong, U. Gosele, C. Yaun, A. Steckl, and M. Reiche, "A model of low-temperature wafer bonding and its applications", *J. Electrochem. Soc.*, vol. 143, pp. 1773-1779, 1996.



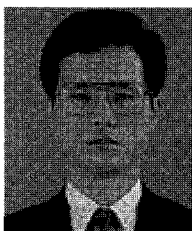
공 대 영

- 2000 동국대학교 물리학과 졸업(이학사)
- 2005 경북대학교 센서 및 디스플레이 공학과 졸업(공학석사)
- 2005 ~ 현 경북대학교 전자공학과 박사과정
- 주관심 분야 : SOI, MEMS



은 덕 수

- 2001년 계명대학교 물리학과 졸업(이학사)
- 2003년 경북대학교 센서 및 디스플레이 공학과 졸업(공학석사)
- 2003년 ~ 현재 경북대학교 전자공학과 박사과정
- 주관심 분야 : Bio-MEMS, RF-MEMS, 열전변환기, 마이크로머시닝



배 영 호

- 현 위덕대학교 정보통신공학부 교수



이 종 현

- 현 경북대학교 전기전자공학부 교수