

## HF 전처리시 실리콘 기판의 초기접합 메커니즘에 관한 연구

강경두, 박진성, 이채봉, 주병권\*, 정귀상  
 동서대학교 정보통신공학부, \*KIST 정보소재·소자연구센터

### A study on pre-bonding mechanism of Si wafer at HF pre-treatment

Kyung-Doo Kang, Chin-Sung Park, Chae-Bong Lee, Byung-Kwon Ju\*, Gwi-Yang Chung  
 School of Information & Communication Eng. DongSeo Univ.  
 \*Electronic Materials & Devices Research Center KIST

Abstract - Si direct bonding(SDB) technology is very attractive for both Si-on-insulator(SOI) electric devices and MEMS applications because of its stress free structure and stability. This paper presents on pre-bonding according to HF pre-treatment conditions in Si wafer direct bonding. The characteristics of bonded sample were measured under different bonding conditions of HF concentration, and applied pressure. The bonding strength was evaluated by tensile strength method. The bonded interface and the void were analyzed by using SEM and IR camera, respectively. A bond characteristic on the interface was analyzed by using FT-IR. Si-F bonds on Si surface after HF pre-treatment are replaced by Si-OH during a DI water rinse. Consequently, hydrophobic wafer was bonded by hydrogen bonding of Si-OH...HOH...HOH...HOH...OH-Si. The bond strength depends on the HF pre-treatment condition before pre-bonding (Min : 2.4kgf/cm<sup>2</sup> ~ Max : 14.9kgf/cm<sup>2</sup>)

## 1. 서 론

최근, SOI(Si or Semiconductor-on-Insulator)구조 기판은 전기적 절연과 선택적 식각을 실현할 수 있는 희생층을 가지며, 절연체 상부에 단결정 Si 박막이 존재하는 구조로써 능동소자 및 표면미세구조물 제작이 매우 용이하기 때문에 고속, 고집적, 고전력소자 그리고 마이크로 센서 및 액츄에이터와같은 마이크로머시닝기술에서 그 유용성이 대두되고 있다.

현재 SOI 기판을 제조하는 방법은 절연층 상부에 성장된 비결정 혹은 다결정 Si 박막을 용융후 재결정화하는 방법, 에피택시 성장을 이용하는 방법, 기판내부에 산화층을 형성하는 방법 그리고 산화막이 형성된 두 장의 기판을 직접접합하여 한 면의 Si기판을 박막화하는 방법 등이 있다. 이러한 방법들 중에서 Si 기판 직접접합(SDB : Si-direct bonding)기술은 어떤 접착제도 사용하지 않고 Si 기판을 직접접합하는 기술로서, bulk-Si과 거의 동등한 결정질을 갖는 대면적의 SOI 기판을 간단히 제조할 수 있을 뿐만 아니라 3차원 구조의 미세가공물 제작이 용이하기 때문에 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 개발에 가장 적당한 SOI 제조기술이다.<sup>[1]</sup> 그러나 SDB 기술은 두 장의 Si 기판을 접합한 후, 충분한 접합강도를 얻으려면, 1000°C 이상의 고온열처리 공정이 필연적이기 때문에 Void 발생 및 공정의 유연성에 상당한 제약을 받는다.<sup>[2]</sup>

따라서, 본 연구에서는 높은 초기접합강도와 미접합부분(Void)이 전혀없는 대면적의 SOI SDB 기술을 연구하기 위해 HF 전처리 조건에 따른 SDB의 초기접합상태를 FT-IR, IR 카메라, SEM 그리고 인장시험기 등을 각각 사용하여 열산화막 표면의 Si-O-Si(Siloxane)결합의 존재, 접합기판의 void 존재, 접합계면, 접합력 등을 평가했으며, 또한 초기접합메커니즘의 모델을 제시하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 실험

본 연구에서 사용된 기판은 (111) 결정방위를 가지는 p형 Si 기판에 1500Å의 열산화막을 성장시킨 것으로 Sample의 크기는 1.5cm×1.5cm이다.

그림 1은 기판의 세정 과정과 기판의 접합을 위한 처리과정 및 초기접합공정을 나타낸 것이다.

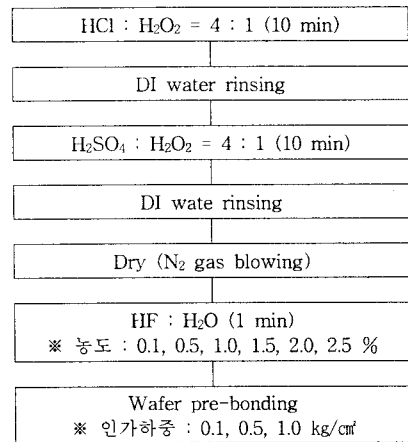


그림 1. 초기접합을 위한 기판의 세정 공정.

세정은 HCl과 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 혼합한 용액과 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>와 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 혼합한 용액에 10분간 순차적으로 세정한 후에 질소 가스로 건조했다. 그리고 초기접합을 위해 HF와 H<sub>2</sub>O를 각각의 농도(0.1, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5%)로 희석한 용액에서 1분간 전처리 하였다. 희석용액에서 전처리된 Sample을 DI water에 rinsing하였고, 기판 표면에 기판 접합에 영향을 미치는 이온들이 다량으로 존재할 수 있도록 하여 충분한 초기접합 강도를 얻을 수 있게 건조되지 않은 상태에서 초기접합을 행하였다. 초기접합시 인가하중은 각각 0.1, 0.5, 1.0kg/cm<sup>2</sup>로 HF의 농도와 초기접합시의 인가하중에 따른 초기접합력의 변화를 비교하였다.

HF 전처리 조건과 인가하중에 따른 초기접합력 및 접합계면의 Void는 각각 인장 시험기와 IR 카메라로 분석했다. 또한, FT-IR로 HF 전처리 농도에 따른 초기접합된 Si 기판표면의 결합 성분 분석하였다.

### 2.2 결과 및 고찰

그림 2는 고정된 인가하중(0.1kg/cm<sup>2</sup>)하에서 HF 농도(0.1, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5%)에 따라 초기접합된 접합기판들의 접합강도를 나타낸 것이다. HF 농도에 따른 초기 접합강도는 HF 농도가 증가할수록 최소 2.4kgf/cm<sup>2</sup>에서 최대 약 14.9kgf/cm<sup>2</sup>까지 증가하고 있음을 확인할 수

있다. 특히 HF 농도가 2.0%에서 최대의 초기접합 강도를 갖는 것으로 나타났고, 그 이상의 농도에서는 접합강도가 큰 변화없이 다소 감소하는 결과를 나타내었다.<sup>[3]</sup>

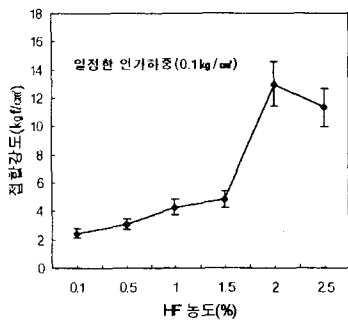


그림 2. 농도에 따른 초기접합 강도.

그림 3은 일정한 HF 농도(2.0%)로 희석되어진 용액에서 초기접합시 인가하중(0.1, 0.5, 1.0kg/cm²)에 따른 초기접합 강도의 변화를 나타낸 것이다. 접합강도는 인가하중의 증가에 따라 조금씩 증가하는데, 이것을 그림 2의 HF 농도 변화에 따른 접합강도의 변화와 비교해 볼 때, 접합강도는 초기접합시의 인가하중의 무게보다는 HF 농도 변화에 크게 의존함을 알 수 있다.

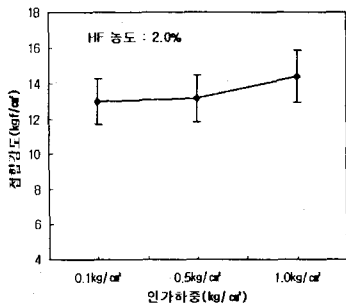


그림 3. 인가하중에 따른 접합강도.

그림 4는 초기접합된 Si 기관 Sample의 접합계면 상태를 평가한 IR 카메라 이미지 사진이다. (a)는 접합되어진 Si 접합계면 사이에 Void가 발생된 것을 확인할 수 있다. 이러한 미접합 부분은 실리콘 접합시의 미세 입자, 불충분한 기관 표면의 평탄도 및 접합시의 기체 포획 등에 의해 발생하는 것으로 알려져 있으며, 특히, 이러한 Void들중 접합시 포획된 기체에 의해서 가장 많이 발생하고, 발생된 Void의 크기도 다른 요인의 Void보다 비교적 크게 나타난다. 또한, (b)은 접합면 사이에 미접합 부분이 없는 전면이 완벽하게 접합된 상태를 보여준다.

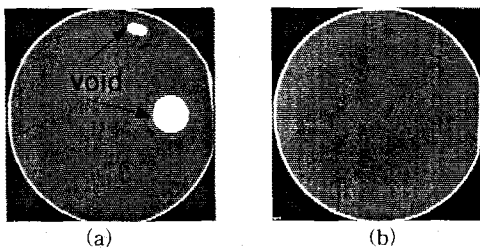
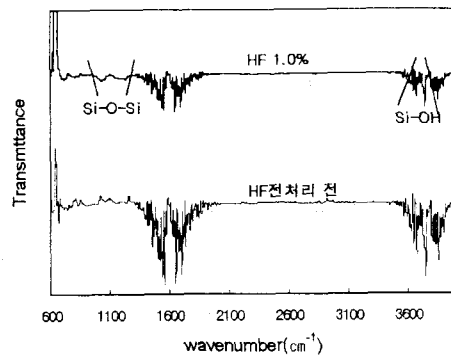
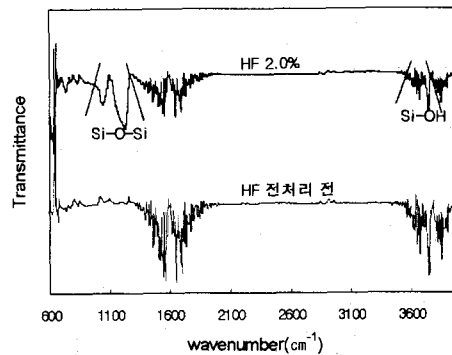


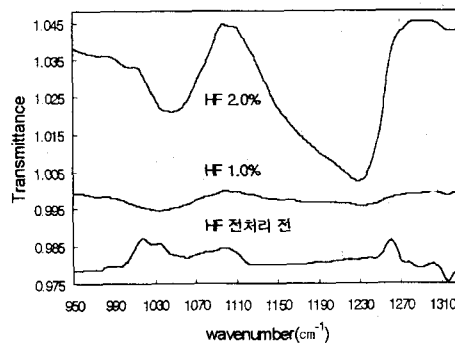
그림 4. 초기접합후 void가 발생한 사진(a)과 void가 발생되지 않은 사진(b).



(a)



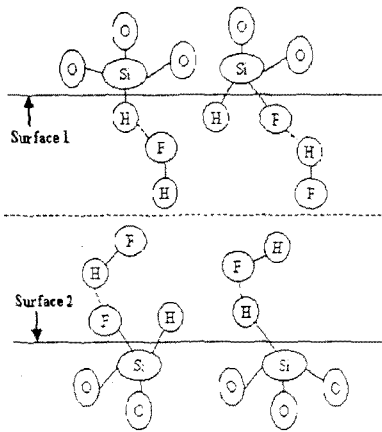
(b)



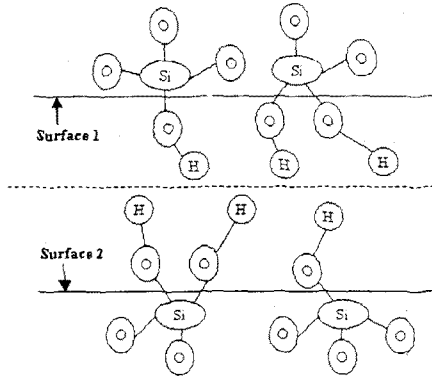
(c)

그림 5. HF 농도 (a) 0.1%와 (b) 2.0%에서 전처리된 기관의 FT-IR 스펙트럼과 (c) Si-O-Si 결합구조 영역에서의 농도별 스펙트럼.

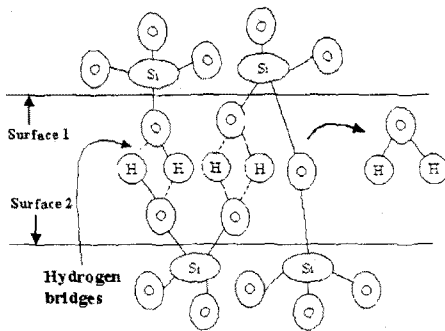
그림 5는 HF 전처리 농도(1.0, 2.0%)에 따른 FT-IR 스펙트럼 분석 결과를 나타낸 것이다. 1500cm<sup>-1</sup>이하의 영역은 벌크 Si와 oxide에 의한 투과를 나타내고, 특히 1000~1200cm<sup>-1</sup>의 과장 영역은 Si-O-Si 결합구조의 투과이다.<sup>[4]</sup> 1600~1800cm<sup>-1</sup>의 영역은 공기중의 수증기에 의한 투과를 나타낸다. 3200~3500cm<sup>-1</sup>사이의 영역은 접합면에서의 물(H<sub>2</sub>O)분자에 의한 투과이다. 3550cm<sup>-1</sup>에서의 peak는 서로 수소결합(hydrogen-bonded)된 두 개의 인접한 OH-group쌍 때문이며 3650cm<sup>-1</sup>에서의 peak는 복합적으로 수소결합된 여러 개의 인접한 OH-group쌍 때문이다. 그리고 3750cm<sup>-1</sup>에서는 단일 OH-group 때문에 나타나는 결과이다.<sup>[5]</sup> 이상과 같이 나타난 결과에서 초기접합력에 크게 영향을 미치는 OH-group이나 OH-group사이의 수소결합이 존재함을 확인할 수 있다.



(a) HF 전처리 후의 Si기판표면 결합구조.



(b) DI water 세정후 OH기로 치환된 결합구조.



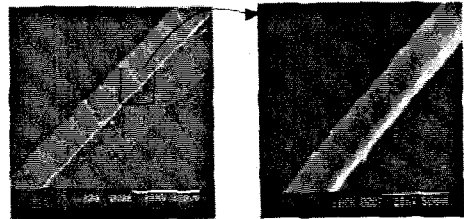
(c) 초기접합후의 수소결합과 물분자의 생성.

그림 6. HF 전처리를 통한 초기접합 모델링.

그림 6(a)는 HF 전처리 후 Si기판 표면에 구성되어지는 결합구조를 나타낸 것으로 각각의 기관사이에서 수소결합된 HF분자[Si-F... (HF...), Si-H(HF...)]가 기관접합을 위해 서로 결합된 상태를 유지하고 있음을 보여주고 있다. (b)는 HF용액에 전처리한 시료를 DI water에 세정 한후 OH-group의 구성을 나타내는 모델로써 HF 전처리후 고밀도로 존재하는 F, H 이온들 대신에 많은 양의 OH-group들로 치환된 구조를 나타낸다. (c)는 두 장의 기관이 서로 접촉됐을 때 양쪽 기관의 OH-group 사이에 hydrogen-bridges가 형성된다. 이렇게 서로 연결된 두 개의 bridge 때문에 OH-group은 실온에서 물(H<sub>2</sub>O) 분자의 생성아래 이전의 상호결합(SiOH-OH-Si)이 Silicon-Oxide-Silicon 결합을 형성하기 위해 반응할

수 있다. 초기접합시 얻어지는 강한 접합력은 실온에서 형성된 다수의 물(H<sub>2</sub>O) 분자로 인한 Si-O-Si 결합구조의 형성 때문이라 사료된다.<sup>[7]</sup>

그림 7은 열처리(1000°C, 60분)를 행한 후 Si기판의 접합된 단면을 나타낸 SEM 사진이다. (a)는 접합계면 분석을 위해 기관을 TMAH 수용액에 식각 후 촬영한 단면도로서 SiO<sub>2</sub>층을 확인할 수 있다. (b)는 SiO<sub>2</sub>부분을 확대한 사진으로 SiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>의 접합된 경계면이 열처리를 행하므로 해서 화학적 반응에 의해 경계면이 나타나지는 단일 SiO<sub>2</sub>가 형성됨을 확인할 수 있다.



(a) (b)

그림 7. 접합계면의 SEM 사진.

### 3. 결 론

Si 기관 직접접합에 있어서 초기접합상태를 분석·평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① HF 농도(0.1, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5%)에 따른 초기접합강도(최소 2.4kgf/cm<sup>2</sup>에서 최고 14.9kgf/cm<sup>2</sup>)는 농도가 높을수록 크게 나타났으며, 이러한 접합강도는 일반적으로 알려져 있는 친수화 방법인 NH<sub>4</sub>OH:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>O=1:1:5에 의한 초기접합강도(2~5kgf/cm<sup>2</sup>)에 비해 매우 높은 특성을 나타냄을 알 수 있었다.
- ② 인가하중(0.1, 0.5, 1.0kg/cm<sup>2</sup>)에 따른 접합강도의 변화는 작은 하중 사이에서는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 만약 큰 하중을 가할 때는 handling하기에 많은 문제점이 노출되었다.
- ③ HF 전처리와 DI water에 세정을 병행한 상태에서 건조하지 않고 초기접합을 시행한 결과 상온에서도 충분한 접합력을 나타냈으며 이는 상온에서의 초기접합시 발생하는 물(H<sub>2</sub>O) 분자에 의한 다수의 Si-O-Si(Siloxane) 결합구조의 존재 때문이라 사료된다.

이상에서 기술한 결론으로부터 회석된 HF 용액과 접합시 약간의 하중을 인가하므로써 Void 문제 해결과 높은 초기접합 강도를 얻을 수 있어 비교적 낮은 열처리를 통해 Si 벌크 강도에 가까운 접합강도를 가질 것이다. 따라서, SDB SOI 기관은 DRIE 기술과 결합하며 플드 다이프로머신용 미세구조물 제작에 매우 유용하게 응용될 것으로 기대된다.

### (참 고 문 헌)

- [1] K. Mitani et al. Applied Physics letter A, 54(1992) 543.
- [2] K. Pertersen et al. Sensor & Actuator Workshop (1988)144.
- [3] H. Nakanishi et al. Proc. of 11th IEEE MEMS Workshop(1998)609.
- [4] A. J. Van Roosmalen et al. The Journal of Physical Chemistry, No25(1978)2748.
- [5] A. Berthold et al. Sensor & Actuators, 68 (1998) 410.
- [6] Q. Y. Tong et al. J. Electrochem. Soc. (1997)144.
- [7] G. Krauter et al. Sensors & Actuators, A70 (1998)271.