

큰 초기접합력을 갖는 Si기판 직접접합에 관한 연구

A Study on Si-wafer direct bonding for high pre-bonding strength

정연식*, 김재민**, 류지구*, 정귀상**

(Yun-Sik Chung*, Jae-Min Kim**, Ji-Goo Ryu*, Gwiy-Sang Chung**)

Abstract

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. Components existed in the interlayer were analyzed by using FT-IR. The bond strength depends on the HF pre-treatment condition before pre-bonding (Min : 2.4kgf/cm² ~ Max : 14.9kgf/cm²).

Key Words : SDB, SOI, MEMS, SEM, FT-IR

1. 서론

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, 고전력 소자 그리고 마이크로센서 및 액츄에이터와 같은 마이크로머시닝기술에서 그 유용성이 대두되고 있다.

현재 SOI 기판을 제조하는 방법은 절연층 상부에 성장된 비결정 혹은 다결정의 Si 박막을 용융후 재결정화하는 방법, 에피택시 성장을 이용하는 방법, 기판내부에 산화층을 형성하여 표면 Si층과 기판을 분리하는 방법 그리고 산화막이 형성된 두 장의 기판을 직접접합하여 한 면의 Si 기판을 기계적 연마

로 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[1]. 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[2].

따라서, 본 연구에서는 높은 초기접합강도와 Void free한 대면적의 SOI SDB 기술을 연구하기 위해 HF 전처리 조건에 따른 SDB의 초기접합상태를 FT-IR, IR카메라, SEM 그리고 인장시험기 등을 각각 사용하여 열산화막 표면의 Si-O-Si(Siloxane)결합의 존재, 접합기판의 void 존재, 접합계면, 접합력 등을 평가했다.

* 부경대학교 전자공학과

** 동서대학교 정보시스템공학부 메카트로닉스전공
(부산시 주례동 동서대학교,

Fax: 051-315-1592

E-mail : gschung@dongseo.ac.kr)

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.

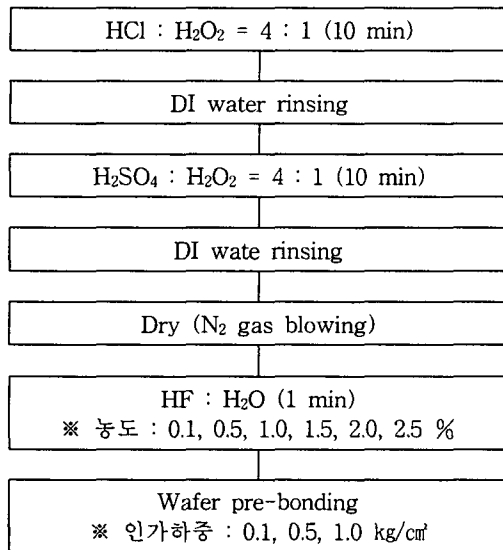


그림 1. 초기접합을 위한 기판의 세정 공정.
Fig. 1. Cleaning process of a wafer for pre-bonding

초기 세정은 HCl과 H₂O₂를 혼합한 용액과 H₂SO₄와 H₂O₂를 혼합한 용액에 10분간 순차적으로 세정한 후에 질소 가스로 건조했다. 그리고 초기접합을 위해 HF와 H₂O를 각각의 농도(0.1, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5%)로 희석한 용액에서 1분간 HF 전처리 하였다. 희석용액에서 전처리된 Sample은 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/cm²로 HF의 농도와 초기접합시의 인가하중에 따른 초기접합력의 변화를 비교하였다.

HF 전처리 조건과 인가하중에 따라 초기접합이 완료된 SiO₂-SiO₂ 접합 기판들의 접합강도의 평가는 인장시험기로 측정하였다. 그리고 초기접합된 Sam-

ple은 infrared topography system에 의해 접합계면에 발생하는 Void를 관찰하였고, FT-IR로 HF 전처리 농도에 따른 초기접합된 Si 기판표면의 결합 성분을 분석하였다.

2.2 결과 및 고찰

그림 2는 고정된 인가하중(0.1kg/cm²)하에서 HF 농도(0.1, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5%)에 따라 초기접합된 접합 기판들의 접합강도를 나타낸 것이다. HF 농도에 따른 초기 접합강도는 HF 농도가 증가할수록 최소 2.4kgf/cm²에서 최대 약 14.9kgf/cm²까지 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[3].

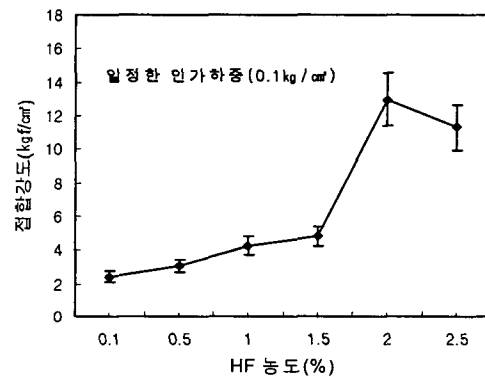


그림 2. 농도에 따른 초기접합 강도.
Fig. 2. pre-bonding strength according to HF pre-treatment concentration (pressure: 0.1kg/cm²)

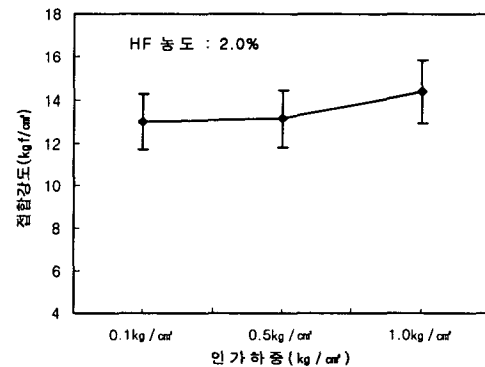


그림 3. 인가하중에 따른 접합강도.
Fig. 3. Pre-bonding strength according to applied pressure (HF: 2.0%)

그림 3은 일정한 HF 농도(2.0%)로 회석되어진 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.

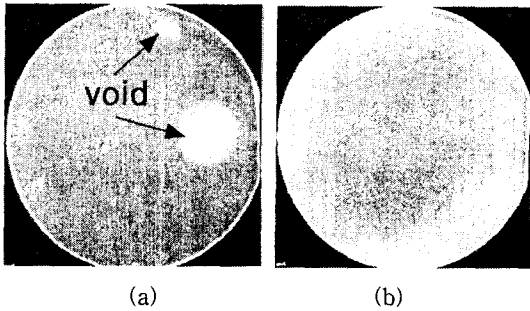


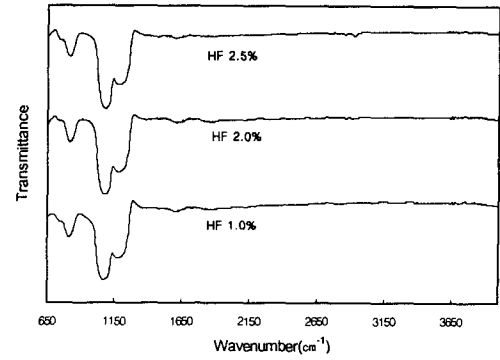
그림 4. 초기접합후 void가 발생한 사진(a)과 void가 발생되지 않은 사진(b).

Fig. 4. IR images for bonding interface analysis.

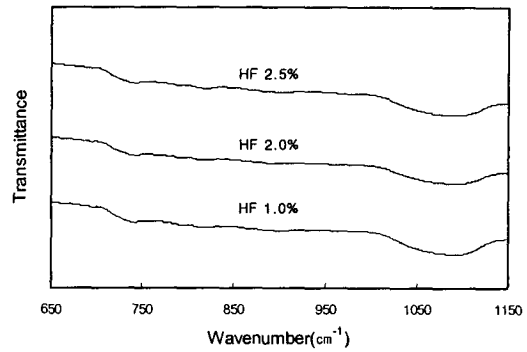
그림 4는 초기접합된 Si 기판 Sample의 접합계면 상태를 평가한 IR 카메라 이미지 사진이다. (a)는 접합되어진 Si 접합계면 사이에 미접합 부분(Void)이 발생한 것을 발견할 수 있다. 이러한 미접합 부분은실리콘 접합시의 미세 입자, 불충분한 기판 표면의 평탄도 및 접합시의 기체 포획등에 의해 발생하는 것으로 알려져 있으며, 특히 이러한 Void들 중 접합시 포획된 기체에 의해서 가장 많이 발생하고, 발생한 Void의 크기도 다른 요인의 Void보다 비교적 크게 나타난다. 그리고 (b)사진은 접합면에 미접합 부분이 없는 전면이 완벽하게 접합된 상태를 보여준다.

그림 5는 HF 전처리 농도(1.0, 2.0, 2.5%)에 따른 FT-IR 스펙트럼 분석 결과를 나타낸 것이다. 1500 cm⁻¹이하의 영역은 벌크 Si와 oxide에 의한 투과를 나타내고 1600~1800cm⁻¹의 영역은 공기중의 수증기에 의한 투과를 나타낸다. 3200~3500cm⁻¹사이의 영역은 접합면에서의 물(H₂O)분자에 의한 투과이다. 3550cm⁻¹에서의 peak는 서로 수소결합(hydrogen-bonded)된 두 개의 인접한 OH-group쌍 때문이며 3650cm⁻¹에서의 peak는 복합적으로 수소결합된 여러 개의 인접한 OH-group쌍 때문이다. 그리고 3750cm⁻¹에서는 단일 OH-group 때문에 나타나는 결과이다 [4]. 이상과 같이 나타난 결과에서 초기접합력에 크

게 영향을 미치는 OH-group이나 OH-group사이의 수소결합이 존재함을 확인할 수 있다.



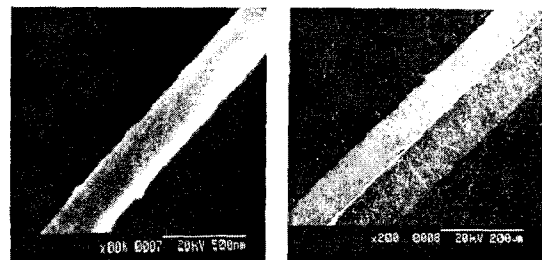
(a)



(b)

그림 5. (a) HF (0.1, 2.0, 2.5 %)에서 전처리된 Si 기판 과 (b) Si-O 결합영역에서의 FT-IR 스펙트럼

Fig. 5. FT-IR spectrums of pre-treated Si wafer in (a) HF(1.0, 2.0, 2.5%) and (b) Si-O bonding ranges.



(a)

(b)

그림 6. 열처리후 접합계면의 SEM 사진.

Fig. 6. SEM image of bonding interface after annealing.

그림 6은 열처리(1000℃, 60분)를 행한 후 Si기판의 접합된 단면을 나타낸 SEM 사진이다. (a)는 접합계면 분석을 위해 기판을 TMAH 수용액에 식각 후 촬영한 단면도로써 SiO₂층을 확인할 수 있다. (b)는 SiO₂부분을 확대한 사진으로 SiO₂-SiO₂의 접합된 경계면이 열처리를 행하므로 해서 화학적 반응에 의해 경계면이 나타나지 않는 단일 SiO₂가 형성됨을 확인할 수 있다.

3. 결 론

Si 기판 직접접합에 있어서 HF 농도의 전처리 조건과 접합시의 인가하중에 따른 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/cm²에서 최고 14.9kgf/cm²)는 농도가 높을수록 크게 나타났으며, 이러한 접합강도는 일반적으로 알려져 있는 친수화 방법인 NH₄OH:H₂O₂:H₂O=1:1:5에 의한 초기접합강도(2~5kgf/cm²)에 비해 매우 높은 특성을 나타냄을 알 수 있었다.
- ② 인가하중(0.1, 0.5, 1.0kg/cm²)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 다수의 물(H₂O) 분자에 의한 Si-O-Si(Siloxane) 결합[5]때문이라 사료된다.

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

참 고 문 헌

- [1] K. Mitani and U. M. Gosele, "Formation of Interface Bubbles in Bonded Silicon Wafer : A Thermodynamic Model", *Appl. Phys. Lett.*, A54, pp.543-544, 1992.
- [2] K. Pertersen, "Silicon Fusion Bonding for Pressure Sensors", *IEEE Solid State Sensors & Actuators Workshop*, pp. 144-147, 1988.
- [3] H. Nakanishi, T. Nishimoto, R. Nakamuta, S. Shoji, and A. Yotsumoto, "Studies on SiO₂-SiO₂ Bonding with Hydrofluoric Acid : Room Temperature and Low Stress Bonding Technique for MEMS", *Proc. of 10th IEEE MEMS Workshop*, pp. 609-614, 1998.
- [4] A. Berthold, B. Jakoby and M. J. Vellekoop, "Wafer-to-Wafer Fusing of Oxidized Silicon to Silicon at Low Temperatures", *Sensors & Actuators*, A68, pp. 410-413, 1998.
- [5] G. Krauter, A. Schumacher and U. Gosele, "Low Temperature Silicon Direct Bonding for Application in Micromechanics : Bonding Energies for Different Combinations of Oxides", *Sensors & Actuators*, A70, pp. 271-275, 1998.