

실리콘기판 직접접합에 있어서 HF 전처리 조건에 따른 초기접합에 관한 연구

Study on pre-bonding according with HF pre-treatment conditions in Si wafer direct bonding

강 경 두, 박 진 성*, 정 수 태, 주 병 권**, 정 귀 상*
부경대학교 전자공학과, *동서대학교 정보통신공학부, **KIST

Kyung-Doo Kang, Chin-Sung Park*, Byung-Kwon Ju**, Su-Tae Chung, Gwi-Sang Chung*
School of Information and Communication Eng. DongSeo Univ.

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, applied pressure and annealing temperature(200~1000℃) after pre-bonding. 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)

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 식각이 매우 용이하기 때문에 고속, 고집적, 고전력 소자 그리고 마이크로센서 및 액츄에이터와같은 마이크로머시닝기술에서 그 유용성이 대두되고 있다.

현재 SOI 기판을 제조하는 방법은 절연층 상부에 성장된 비결정 혹은 다결정의 Si 박막을 용융후 세립정화하는 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 연마로 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℃ 이상의 고온열처리 공정이 필연적이기 때문에 Void 발생 및 공정의 유연성에 상당한 제약을 받는다.^[2]

따라서, 본 연구에서는 저온에서 큰 접합강도와 Void free한 대면적의 SOI SDB 기술을 연구하기 위해 HF 전처리 조건에 따른 SDB의 초기접합상태를 FT-IR, IR카메라, SEM 그리고 인장시험기 등을 사용하여 각각 열산화막 표면의 Si-O-Si(Siloxane)결합의 존재, 접합기판의 void 존재, 접합계면 그리고 초기접합 및 열처리 온도에 따른 접합력을 분석·평가하였다.

2. 실 험

본 연구에서 사용된 기판은 (111) 결정방위를 가지는 p형 Si 기판에 1500Å의 열산화막을 성장시킨

것으로 Sample의 크기는 1.5cm×1.5cm이다.

그림 1은 기판의 세정 과정, HF 전처리 과정 및 초기접합과 열처리 공정을 나타낸 것이다.

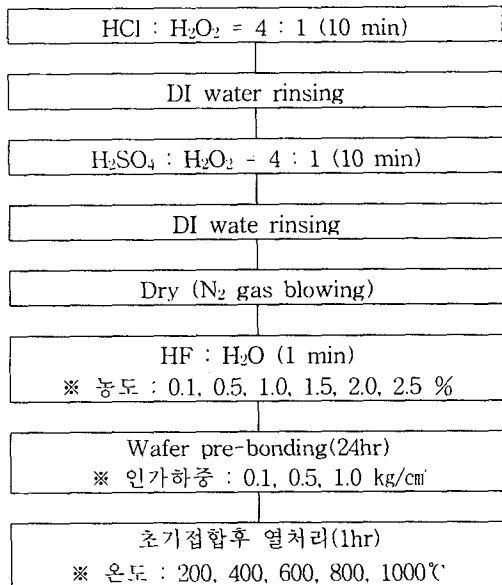


그림 1. Si 기판 직접접합을 위한 공정순서.

초기 세정은 염산(HCl)과 과산화수소수(H₂O₂)를 혼합한 용액과 황산(H₂SO₄)과 과산화수소수(H₂O₂)를 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. 초기접합이 완료된 Si 기판쌍들은 전기로에서 200~1000℃까지의 온도 범위에서 각각 1시간동안 열처리를 행하여 열처리 온도에 따른 접합강도의 변화를 비교·분석하였다.

HF 전처리 조건과 인가하중에 따라 초기접합이 완료된 SiO₂-SiO₂ 접합 기판들의 접합강도와 열처리 후의 접합강도 평가는 인장 시험기로 측정하였다. 그리고 접합이 완료된 Sample은 적외선 토포그래피

시스템(infrared topography system)과 SEM을 각각 사용하여 접합계면에서 발생하는 Void와 접합상태를 관찰하였으며, FT-IR로 HF 전처리 조건에 따른 Si 기판 표면에 존재하는 성분을 분석하였다.

3. 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 포화치에 이르는 것으로 나타났다.

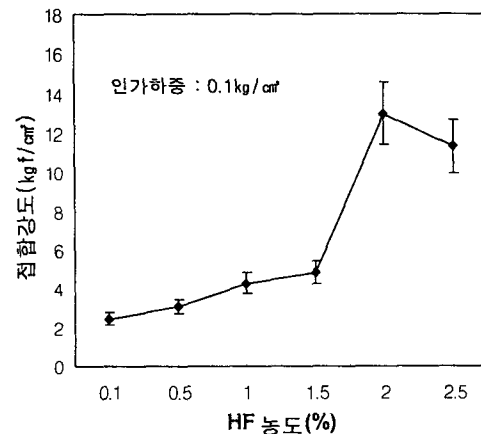


그림 2. HF 전처리에 따른 초기접합 강도.

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 증가하고 있음을 볼 수 있는데, 이것을 그림 2의 HF 농도 변화에 따른 초기접합 강도의 변화와 비교해 볼 때, 접합강도는 초기접합시 가해지는 인가하중의 무게보다는 HF 전처리 농도의 변화에 더욱 크게 의존함을 알 수 있다.¹³⁾

그림 4는 초기접합된 Si 기판 Sample의 접합계면 상태를 평가한 IR 카메라 이미지 사진이다. (a)는 접합된 Si 접합계면 사이에 미접합 부분(Void)이 발생된 것을 발견할 수 있다. 이러한 미접합 부분은 Si 기판 접합시의 미세 입자, 불충분한 웨이퍼 표면의

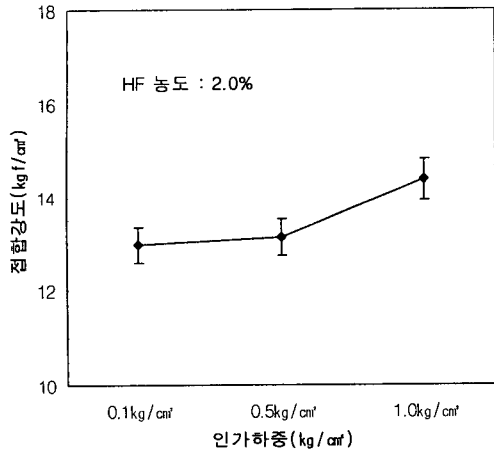


그림 3. 인가하중에 따른 접합강도.

편평도 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. 그리고 (b)사진은 접합면 사이에 미접합 부분이 전혀 없는 전면이 완벽하게 접합된 상태를 보여준다.

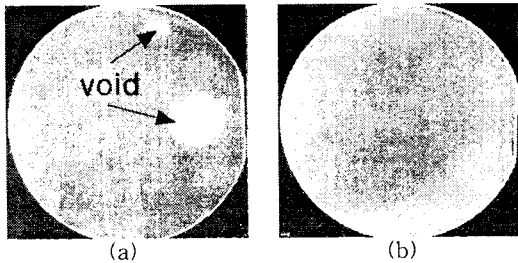
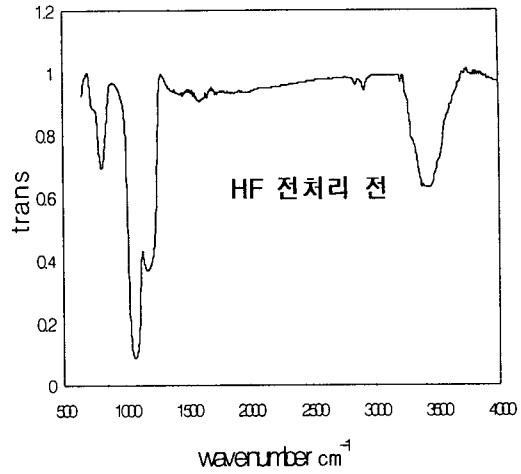


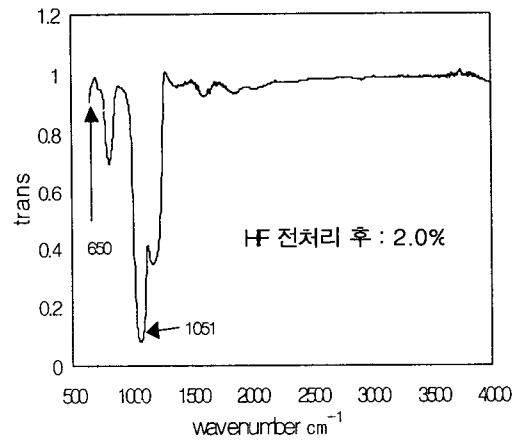
그림 4. (a) 초기접합후의 Void가 발생된 접합 사진과 (b) Void가 발생되지 않은 접합 사진.

그림 5는 Si 기판을 전처리 한 후의 기판 표면에 존재하는 화합물의 정성 및 정량을 FT-IR로 분석한 스펙트럼을 나타낸 것이다. (a)와 (b)는 HF 전처리 전과 HF 농도(2.0%)에서 전처리 행한 후의 파장영역을 나타낸 것으로 1030~1090cm⁻¹의 파장영역 내에서 발생하는 Si-O-Si의 결합을 확인할 수 있다. 이것은 HF 전처리를 통해 Silanol 결합을 거치지 않고 곧 바로 보다 강한 접합력을 갖는 Siloxane 결합의 결과를 얻을 수 있음을 보여준다. 일반적으로

Siloxane 결합은 100℃ 이상의 열처리를 행한후에 나타나는 결합구조로써 Silanol 결합구조보다 큰 접합강도를 가지는 것으로 알려져 있다.^{[4],[5]}



(a)



(b)

그림 5. HF 전처리 (a)전과 전처리 (b)후의 FT-IR 스펙트럼.

그림 6은 HF 농도 2.0%와 인가하중 0.1kg/cm²의 조건하에서 초기접합한 Sample을 온도에 따라서 열처리를 행한후 접합강도를 측정하는 것이다. 접합강도는 400℃부터 큰 폭으로 증가하며 800, 1000℃에서 접합강도가 거의 변화가 없는 것은 접합강도를 측정하기 위해 사용된 epoxy의 한계 접합력 때문이다. 측정 후 분리된 Si 기판은 200~600℃의 경우 SiO₂ 접합계면에서 접합 이탈이 일어났지만, 800~1000℃

일 때는 접합된 Si층 내부에서 이탈이 일어남을 확인할 수 있었다.

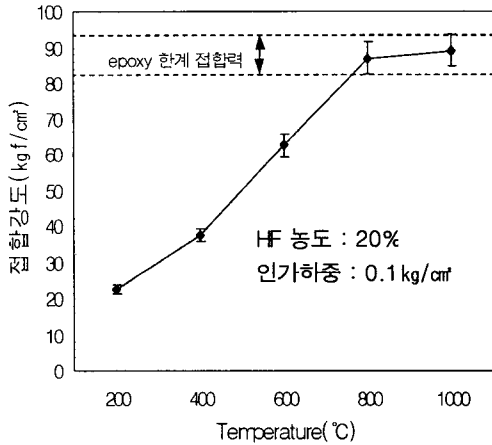


그림 6. 열처리 온도에 따른 접합강도.

그림 7은 열처리를 행한 후 Si 기판의 접합된 단면을 나타낸 SEM 사진이다. (a)는 접합계면을 TMAH 수용액에 식각 후의 촬영한 단면도로서 전면이 완벽하게 접합된 것을 확인할 수 있다. (b)는 (a)의 이미지에서 나타나는 SiO₂부분을 확대한 것으로 SiO₂ SiO₂의 접합된 경계면이 열처리를 행하므로 해서 단일 SiO₂가 형성됨을 확인할 수 있다.

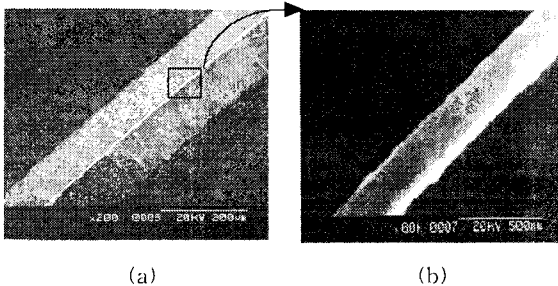


그림 7. 열처리 후 접합계면의 SEM 사진.

4. 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/cm에서 최고 14.9kgf/cm)는 농도가 높을수록 크게 나타났으며, 이러한 접합강도는 일반적으로 알려져 있는 전수화 방법

인 NH₄OH:H₂O₂:H₂O=1:1:5에 의한 초기접합강도(2~5kgf/cm)에 비해 매우 높은 특성을 나타냄을 알 수 있었다.

- ② 인가하중(0.1, 0.5, 1.0kg/cm)에 따른 접합강도의 변화는 작은 하중 사이에서는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 만약 큰 하중을 가할 때는 handling하기에 많은 문제점이 노출되었다.
- ③ HF 전처리를 행하므로써 초기접합시 Silanol 결합보다 강한 접합력을 갖는 Si-O-Si (Siloxane) 결합이 발생함을 확인할 수 있었다.
- ④ 열처리후의 접합강도는 400°C이상에서부터 급격하게 증가하였고 800°C이상의 열처리를 통한 Sample은 epoxy 한계 접합력을 초과하였다.

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

감사의 글

본 논문은 산업자원부와 과학기술부가 주관하는 초소형정밀기계 선도기술개발사업의 연구비 지원에 의한 것으로 이에 감사드립니다.

5. 참고문헌

- [1] K. Mitani et al, Formation of Interface Bubbles in Bonded Silicon Wafer : A Thermodynamic Model, Applied Physics letter A, vol 54, 1992, 543,
- [2] K. Pertersen et al, Silicon Fusion Bonding for Pressure Sensors, Sensor & Actuator Workshop, 1988, 144,
- [3] H. Nakanishi et al, Studies on SiO₂-SiO₂ bonding with HF acid : Room temperature and low stress bonding technique for MEMS, IEEE, 1998, 609 - 614,
- [4] A. Berthold et al, "Wafer-to-Wafer fusion bonding of oxidized silicon to silicon at low temperature", Sensor & Actuators, A68, 1998, 410-312.
- [5] G. Krauter et al, Low temperature silicon direct bonding for application in micromechanics, Sensors & Actuators, A70, 1998, 271-275.