

전계 방출 소자의 진공 실장을 위한 수직구조물의 제조 및 집합에 관한 연구

고 광기, 주 병권, 이 윤희, 정 성재*, 이 남양*, 고 근하*, 박 정호**, 오 명환
한국과학기술연구원 정보전자연구부,
* (주) 오리온전기 영상표시연구소
** 고려대학교 전자공학과

A Study on the Fabrication of Vertical-walled Cavity and Direct Bonding Method

Chang-Gi Ko, Byeong-Kwon Ju, Yun-Hi Lee, Seong-Jae Jeong,
Nam-Yang Lee, Ken-Ha Koh, Jung-Ho Park*, Myung-Hwan Oh
Div. of Electronics and Information Technology, KIST, * Information Display Research Institute, Orion Electronics Co., LTD
** Dept. of Electronics Engineering, Korea University

ABSTRACT

In this paper, we developed a modified direct bonding method for the application of vacuum devices. By the proposed method, we successfully bonded the following materials: Si-Si, Si-SiO₂-Si, glass-Si, and glass-SiO₂-Si. In our experiments, we used corning #7070 wafer type glass and (100) or (110) single crystalline silicon wafers. In order to enhance the initial bonding strength we contacted the materials to be bonded as D. I. water wetted on the surfaces and evaporated the water under the room temperature and atmosphere environment. Finally we realized the glass bonding by simple direct bonding method which has been performed by electrostatic bonding method until now.

1. 서 론

실리콘 직접 집합(SDB) 방법은 매개층을 삽입하지 않고 두 실리콘 웨이퍼를 결합시키는 기술로서, 1985년에 IBM의 그룹에서 silicon on insulator(SOI)를 제조하기 위하여 산화막이 성장된 두 장의 실리콘 웨이퍼를 열처리만으로 접합시킨 연구가 처음으로 제안되었다.[1] 최근에도 이러한 연구는 마이크로 머시닝 분야, 센서 분야, SOI 분야, 고전력 소자 분야등 많은 분야에서 활발히 연구되고 있다. 특히 집합을 이르기 위한 열처리 온도를 낮추기 위하여 저용접 유리를 매개층으로 사용하거나 active oxide, plasma activation method, sodium silicate 등을 이용한 집합 연구도 시도되고 있다.[2,3,4] 그러나 아직도 일정 접합 강도 이상을 얻기 위해서는 950°C 이상의 고온 처리가 필수적인 것으로 알려져 있다.

최근에 평판 표시 소자에의 관심이 크게 높아지면서

진공중에서나 또는 대기중에서의 유리-실리콘 집합이 요구되고 있다. 이러한 집합 구조는 실리콘 기판을 지지하거나 게이트 전극과 애노드 전극을 전기적으로 절연시키면서 일정한 간격을 유지시켜줄 수 있는 스페이서, 또는 형광막으로부터 발광되는 빛을 투과시켜 주는 전면부 등에 이용될 수 있다.

정전 열 집합 방법을 이용한 유리-실리콘 집합에 관한 연구결과는 비교적 활발히 보고되고 있으나, 실리콘-실리콘이나 유리-실리콘 집합에 정전 열 집합 방법을 이용하기 위해서는 전압과 열을 동시에 인가하기 위한 집합장치가 요구되며 특히 실리콘-실리콘 집합에 있어서는 최소한 1-2μm 두께의 유리의 중착이 선행되어야만 한다.[4]

본 연구에서는 전계 방출 소자의 스페이서로 이용되기 위한 수직형태의 구멍을 (110) 실리콘 웨이퍼의 가운데에 형성시키는 방법을 기술하고 또한 저온에서 유리-실리콘이나 실리콘-실리콘 집합을 간단하게 수행하기 위한 새로운 방법을 제시하고자 한다.

2. 실험 방법

(110) 실리콘 웨이퍼의 가운데에 전계 방출 소자의 스페이서로 이용되기 위한 수직형태의 구멍을 형성하였다. 즉, n-type (110) 실리콘 웨이퍼에 열산화막을 형성시킨 다음 이를 사진 식각 공정에 의하여 4개의 {111}면들에 정렬된 평행사변형 형태로 패터닝한다. 이어서 비등방성 식각용액을 이용하여 노출된 실리콘 표면을 식각하게 되면 수직으로 식각이 진행되면서 최종적으로는 패터닝된 원형을 따라 실리콘 웨이퍼에 구멍이 생긴다.[6] 다음 단계에서 일부 시료들을 택하여 산화막을 제거하여 Si-glass 집합에 사용하고 나머지는 Si-SiO₂-glass 집합에 사용하였다. 식각후의 집합될 면의 거칠기를 조사하기 위하여 atomic force microscope(AFM) 방법을 이용하였다.

일반적인 실리콘 직접 집합에서 자주 사용되는

hydrophilizing 용액인 50-60°C의 4NH₄OH+H₂O₂+6H₂O에 접합하고자 하는 물질들을 수분간 담귀 접촉 표면에 친수층(hydrophilic layer)를 형성시켰다. 대개 친수층 형성 후에는 순수로 세척한 다음 건조시켜 접합에 사용하지만 본 연구에서는 세척후 순수를 건조시키지 않고 바로 접합하고자 하는 물질을 접촉시키는 방법을 사용하였다. 상온, 상압하에서 2-3시간경과후 수분이 자연 건조된 상태에서 접촉된 두 물질사이에는 매우 강한 접합이 이루어지게 된다. 그러나 완전한 접합을 형성하기 위하여 열처리를 수행한다. 즉, 초기 접합된 두 물질을 전기로에서 질소 또는 산소 분위기하에 약 500°C에서 30분간 열처리를 수행함으로써 접합공정이 완성된다. 이러한 열처리 공정에서는 유리-실리콘과 같은 이종 물질간의 접합인 경우, 열팽창 계수의 접합이 우선적으로 고려되어야 한다.[5] 따라서 본 실험에서는 실리콘 웨이퍼와 열팽창 계수가 유사한 코닝 #7070 유리를 사용하였다. 코닝 #7740(Pyrex) 유리도 같은 용도로 사용될 수 있으나 500°C 정도에서는 #7070이 가장 적합한 것으로 나타났다.

접합 특성을 평가하기 위하여 접합된 물질들의 접합 계면을 grinding하여 SEM으로 관찰하였고 또한 breaking test, 물, 아세톤, 메탄올, BOE 등 에서의 초음파 처리와 IR을 이용한 void 관찰 등의 방법을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. Without hydrophilization

친수층 처리공정을 거치지 않은 경우에 실리콘-실리콘 접합과 유리-실리콘 접합은 이루어지지 않았다. 그림 1에는 접합에 사용되는 비등방성 식각 용액내에서 수 시간동안 식각된 산화막 표면과 아세톤-메탄올-순수로 세정된 코닝 #7070 유리의 표면을 AFM으로 관찰한 모양을 나타내었는데 산화막 표면에 비하여 유리의 표면 거칠기가 매우 높은 것으로 알 수 있다. 각 시료의 1x1 (μm²) 면적에 대해 산출된 average roughness와 mean height는 산화막의 경우 9.3Å, 89Å과 유리의 경우 11Å, 223Å 으로 나타났다. 따라서, 표면의 평활도와 거칠기가 매우 중요시되는 접합에서 유리 표면은 실리콘이나 산화막 표면에 비해 접합이 용이하지 않다는 사실을 알 수 있다. Bulk 실리콘 표면과 유리표면은 모두 소수성이기 때문에 본 연구에서 제안된 water enhanced 방법을 사용하기 위해서 hydrophilic 처리가 필수적이다.

Si-SiO₂-Si 접합에서 접합될 물질들을 순수로 세척한 다음 건조시켜 접촉시킬 경우, 매우 약한 인력이 작용된다. 반면에 세척 후 산화막 표면의 순수막을 건조시키지 않고 두 웨이퍼를 접촉시켜 놓고 수 시간 자연 건조시킨

경우 비교적 강한 접합이 이루어지게 된다. 그러나 이 경우에도 접합된 웨이퍼를 기계적으로 쪼개보면 접합이 이루어지지 않고 두장의 웨이퍼가 분리되어 떨어지는 부분이 상당히 많이 발생되었다.

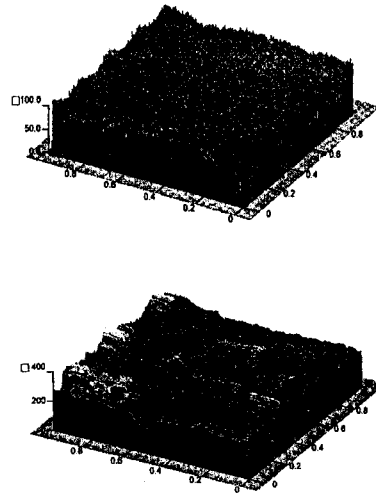


그림 1. 수시간동안 비등방성 식각용액에 노출된 산화막과 접합되기 전에 세정된 유리 표면의 AFM 사진

3.2. After hydrophilization

접합될 코닝 #7070 유리기판과 실리콘 웨이퍼들을 50-60°C 4NH₄OH+H₂O₂.6H₂O 용액에 수분간 처리하여 표면에 hydrophilic 층을 형성하였다. 그림 2에는 열산화막이 성장된 실리콘 웨이퍼를 hydrophilization 처리한 후 FTIR 흡수도 스펙트럼을 나타내었다. 3700cm⁻¹ 부근의 실라놀기(silanol: Si-OH) 피크가 증가하였음을 알 수 있다. 이러한 Si-OH 결합은 실리콘 웨이퍼나 유리 표면을 친수화 시켜주는 작용을 하며 수소결합을 이루는 요소가 된다.

한편, hydrophilization 처리를 함으로써 Si-Si 이나 Si-SiO₂-Si 의 초기 접합이 발생되나, 이때의 접합력은 hydrophilization 처리하기 전에 비하여 다소 강하지만 쉽게 결합이 떨어지는 정도로 미약하다. 유리-실리콘의 접촉에서는 미약한 초기 접합조차도 일어나지 않았으며 이는 앞에서 서술한 바와 같이 유리 기판의 표면 거칠기가 크기 때문인 것으로 생각된다.

접합하고자 하는 물질들의 표면에 순수가 코팅된 채로 접촉시키고 원하는 위치로 조정한 다음 그대로 대기 중에 2-3시간 놓아두면 수분이 접촉 계면에서 증발되면서 두 물질간에 결합이 일어나게 된다. 이 과정에서는, 먼저 fringe가 생기는 것이 육안으로 관측되고 차츰 접합이 진행되는 것을 쉽게 알 수 있다. 현재까지는 정확한 접합 메커니즘은 밝혀지지 않았으나, 두 물질 사이에서

결합하고 있던 수분이 증발되면서 두 물질간의 수소결합을 촉진시키는 것으로 이해된다. 즉 매우 적은 양의 수분이 서서히 증발되면서 생기는 microgap에서 인력이 작용되어 부분적으로 유리와 실리콘과 같은 물질 사이에 수소 결합이 발생되고 이러한 과정이 시료 전면에 전파되면서 전체 시료에 대한 접합이 이루어지는 것으로 생각할 수 있다. 인위적으로 외부에서 열을 가하여 빠르게 수분을 증발시켰을 경우에는 접합이 실패하게 되는 것도

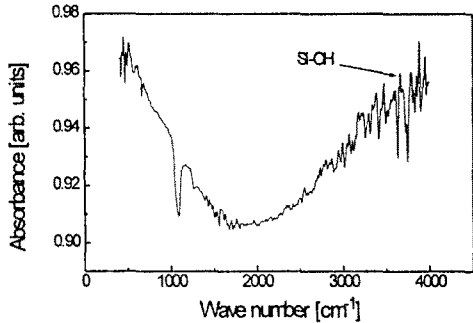


그림 2. 열산화막이 성장된 실리콘 웨이퍼를 비등방성 식각용액에서 수시간동안 방치한 후 hydrophilization 시킨 다음 관찰한 FTIR 흡수 스펙트럼

이 과정이 증발율과 매우 밀접한 관련이 있다는 사실을 시사한다.

수분이 완전히 증발된 후에는 매우 강한 결합이 형성되었음을 확인하였으나, 완전한 접합을 위하여 열처리를 수행하였다. 본 실험에서는 500°C-800°C 까지 전기로에서 질소 분위기 상태로 열처리하였는데 500°C 에서도 충분히 강한 접합을 확인하였으며 이보다 낮은 온도에서도 가능하리라고 생각된다. 800°C 에서는 유리가 약간 용융되는 현상이 관찰되었다.

접합 특성은 본 연구에서 가장 중요한 관심의 대상인 유리-실리콘 접합에 대해 검사하여 보았다. 우선 계면에 대한 SEM관찰에서 접합 계면이 매우 균일함을 알 수 있었다. 또 IR 투과 조사를 통하여 접합면에서 void가 전혀 관측되지 않았으며 접합쌍을 물, 아세톤, 메탄올, BOE 등에 넣고 초음파 진동을 가한 경우에는 접합에 전혀 영향을 미치지 않았다. 또한 시료를 수직 낙하시켜 파괴 시험한 경우에도, 조각난 시편 상태는 접합된 채로 깨어지는 특성을 보여 본 실험에서 형성한 유리접합이 매우 강하게 형성되었음을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 일반적인 직접 접합 방법으로는 접합되기 어려운 유리-실리콘 접합을 위하여 개선된 접합 방법을 제안하고 실험적인 확인을 하여 보았다.

새롭게 제안된 유리-실리콘 직접 접합 방법은 순수를 이용하여 두 물질간의 수소 결합을 증가시키는 것으로 유리-실리콘을 접합시킬 때 주로 사용되는 정전 열 접합 방법에 비해 여러 가지 장점을 가지고 있다. 첫째로는 정전 열 접합 방법은 전압과 열을 동시에 인가하기 위한 복잡한 장치가 필요한 반면 직접 접합은 매우 간단하게 구현될 수 있다. 또한 정전 열 접합 방법에서 유리와 실리콘을 접합시킬 때 유리의 두께가 두꺼울수록 높은 전압과 열이 필요한 반면에 본 실험에서의 방법을 이용하면 유리의 두께는 접합에 전혀 영향을 미치지 않는다. 향후에는, 열 처리 온도를 더욱 낮추고 수분 증발율을 가변 시킴으로써 최적의 접합조건을 연구하고 그 접합기구에 대하여 연구할 계획이다.

[Reference]

- [1] J. B. Lasky, S. Stiffler, F. White and J. Abérnathey, "Silicon-on-insulator by Bonding and Etch back," IEDM 85, p. 684 (1985)
- [2] L. A. Field and R. S. Muller, "Fusing Silicon wafers with Low Melting Temperature Glass," Sensors and Actuators, vol A21-A23, p. 935 (1990)
- [3] O. Zucker, W. Langheinrich and M. Kulozik, "Application of oxygen plasma processing to silicon Direct bonding," Sensors and Actuators, vol A. 36, p. 227 (1993)
- [4] H. J. Quenzer and W. Benecke, "Low temperature silicon wafer bonding," Sensors and Actuators, vol. A. 32, p. 340 (1992)
- [5] P. R. Younger, "Hermetic Glass Sealing by Electrostatic Bonding," J. of Non-crystalline Solids, vol. 38-39, p. 909 (1980)
- [6] 고창기, 주병권, 박홍우, 정재훈, 이남양, 오명환, 김철주, "Needle-type Field Emitter를 만들기 위한 실리콘 비등방성 식각에 관한 연구," 제2회 한국반도체 학술대회 논문집, p. 185 (1995)