

양극접합에 관한 연구

The Study on Anodic Bonding

정철안*, °박정도, 정귀상
동서대학교 전자기계공학부, °경남전문대학 차량공학과

Chul-An Chung*, °Jung-Do Park, Gwi-y Sang Chung
Division of Electronics and Mechanical Engineering, Dongseo University
°Department of Vehicle Engineering, Kyung Nam Junior College

Abstract

Anodic bonding is a key technology for micromechanical components. The main advantages of this method can be formed in a batch process, over large areas, and is permanent and irreversible. In this paper, the bonding was performed at temperatures ranging from 300 to 450 °C, voltages 400 to 1000 V, and times 10 to 30 minutes. The sizes of the Si and the Pyrex #7740 glass were 6 mm×6 mm, respectively. Bonding processes and voids were observed by the optical microscope, and the composition of the anodic bonding interface was analyzed by the SIMS. Optimum condition of the anodic bonding was at temperature above 400°C without regard to voltage.

Keyword : Anodic bonding, Micromechanical components, Pyrex #7740 glass, SIMS, Void

1. 서론

기판접합기술은 마이크로머신에 의한 마이크로 시스템, 센서, 액츄에이터 개발에 있어서 핵심기술이다[1, 2].

양극접합은 1968년 Wallis & Pomerantz 가 metal foil과 glass사이에 강한 정전기장

을 걸어주었을때 보편적인 열접합방식보다 훨씬 낮은 온도에서 강한 접합이 가능함을 발견했다[3]. 현재, 양극접합기술은 실리콘 마이크로머시닝에 의한 압력, 가속도, 유량, 유속센서 등의 메카니칼 센서, solar cell covers, SOI(Silicon-on-insulator) 소자, 마이크로 밸브, 자이로 등의 액츄에이터 등의 많은 소형 전자/광 및 기계부품 개발에 널리 사용되고 있다[4, 5].

현재 널리 사용되고 있는 직접접합기술(SDB : Silicon Direct Bonding)은 실온접합 후 1000 °C 이상의 고온 열처리 공정이 반드시 필요하기 때문에 후속공정에 큰 제약을 받는다[6]. 또한 양극접합 이외의 방법에 의한 기판접합은 기판표면의 거칠기, 기판표면의 오염물, 기판 자체의 휨이나 구부러짐 때문에 잘 접합되지 않는다[7]. 그러나, 양극접합은 Si과 Pyrex glass를 접착시켜 전압을 인가해 줌으로 Si/Pyrex #7740 glass 경계면에서 Na⁺ 이온의 이동에 의한 강한 정전기력이 발생하여 기판사이의 gap을 매우고 450 °C이하의 낮은 온도에서 강한 접합을 형성한다[5, 8].

본 연구에서는 양극접합시 접합온도, 전압, 인가전압시간에 따른 Si/Pyrex glass 접합계면에서의 void 및 Na⁺ 이온의 이동에 대해서 조사했다.

II. 실험

본 실험에서는 두께 370 μm 의 Si기판과 두께 300 μm 인 Pyrex #7740 glass 기판을 6 mm×6 mm로 절단하여 사용하였다. 그림 1은 본 실험에서 사용한 양극접합 장치도를 나타낸 것이다. 전압인가 방법으로는 point 전극을 사용하여 void를 최소화하였다.

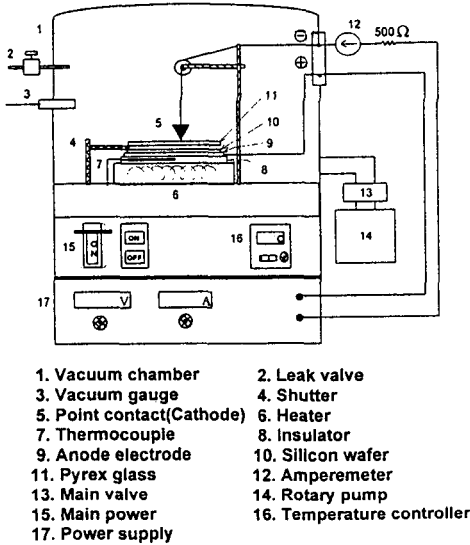


그림 1. 양극접합 장치도

접합온도(300 ~ 450 $^{\circ}\text{C}$), 인가전압(400 ~ 1000 V), 인가전압시간(10 ~ 30 min)의 조건하에서 Si과 Pyrex glass를 양극접합했다. 접합온도에 따른 접합시간, 접합온도와 전압에 따른 접합의 진행과정, 그리고 접합 과정에서 발생한 void는 광학현미경으로 관찰했다. 또한 SIMS로 접합계면에서의 Pyrex glass 성분의 이동을 조사하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 접합온도에 따른 인가전압시간

그림 2는 양극접합시 접합온도에 따라 전압을 증가시킬때 Si과 Pyrex glass가 접합되는 시간을 나타낸 것이다. 접합온도가

일정할때는 인가전압이 높을수록 접합시간이 짧고, 인가전압이 일정할때는 온도가 높을수록 접합시간이 짧았다. 인가전압이 400 ~ 800 V이하일때는 450 $^{\circ}\text{C}$ 에서 가장 빨리 접합하였다. 접합온도가 350 ~ 450 $^{\circ}\text{C}$, 1000 V에서는 접합시간이 모두 10 ~ 20 min이 소요되었다. 그러나 300 $^{\circ}\text{C}$ 에서는 400 ~ 1000 V 전압에서 30 min 이상 전압을 인가해도 접합이 잘 되지 않았다. 따라서 접합속도는 접합온도에 크게 의존함을 알수 있다.

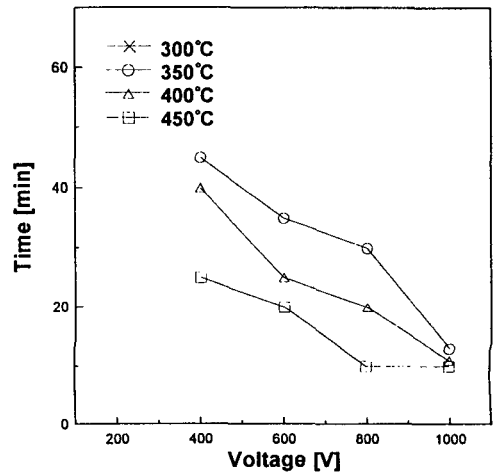


그림 2. 접합온도 및 인가전압에 따른 Si/Pyrex glass의 접합시간

2. 접합과정

양극접합은 세척된 Si 기판위에 Pyrex glass 기판을 올려놓은 상태에서 접합의 진행과정을 관찰하였다. 먼저 접합초기에는 Si와 Pyrex glass가 긴밀하게 접촉된 부분부터 접합이 진행된다. 그 다음 접합된 부분에 의해 둘러싸인 접합되지 않은 부분들은 Na^+ 이온의 이동으로 공간전하 영역이 형성됨으로서 접합경계면에서 정전기력에 의해 접합이 형성된다.

그림 3은 접합온도, 300 $^{\circ}\text{C}$ 에서 인가전압에 따른 접합과정을 나타낸 것이다. 400 V의 인가전압에서는 point 전극 바로 밑부

분만 접합되었지만, 인가전압이 증가됨에 따라 접합면적은 증가하였다. 인가전압이 증가할수록 접합면이 증가했다.

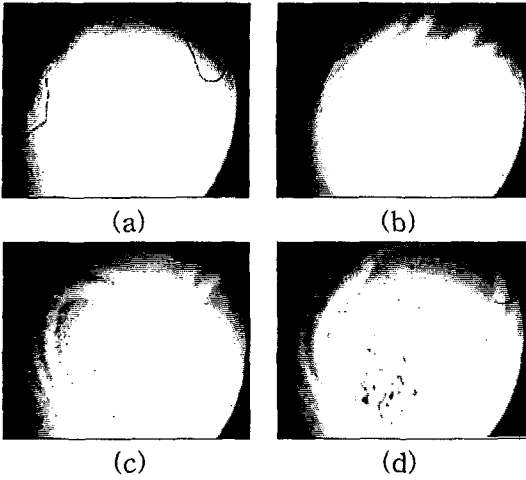


그림 3. 접합온도 300 °C에서 인가전압 (a) 400 V, (b) 600 V, (c) 800V, (d) 1000V 에 따른 접합과정

그림 4는 인가전압, 800 V에서 접합온도에 따른 접합특성을 나타낸 것이다. 접합온도가 증가함에 따라 접합면적이 넓어지며 400 °C 이상의 온도에서 완벽한 접합을 형성하였다.

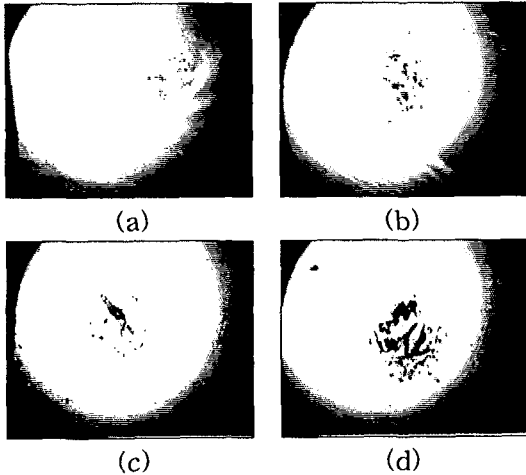


그림 4. 인가전압 800 V에서 접합온도 (a) 300 °C, (b) 350 °C, (c) 400 °C, (d) 450 °C 에 따른 접합과정

3. 접합계면의 void

기관직접접합기술에 의한 큰 문제점 중의 하나는 접합계면의 미접합 부분인 void이다. 일반적으로 void는 특정한 온도, 전압에서 발생한 것이 아니라 기관 표면의 미세입자(particle), 취급부주의에 의한 기관손상, 기관표면 거칠기, 접합시 trapped gas 등에 의해 형성된다. 그림 5는 접합계면에서 발생한 void의 광학현미경 사진이다. (a)와 (b)는 각각 기관표면의 거칠기 및 기관표면의 미세입자에 의해서 발생한 void로 생각된다.

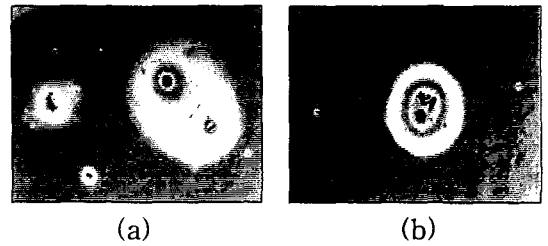


그림 5. 접합계면에서 발생한 void의 광학현미경 사진

4. 접합평가

그림 6 (a)는 접합온도, 300 °C, 접합시간, 30 min, 인가전압, 1000 V의 조건하에서 양극접합했을 경우의 접합은 되지 않았다. 그러나 그림 6 (b)는 접하온도, 400 °C, 인가전압, 800 V에서 접합시간, 30 min에서 양극접합을 했을 경우, point 전극으로부터 시작하여 기관 전면에 걸쳐 완벽하게 접합이 형성되었다. 따라서 양극접합에 의한 Si/Pyrex glass 접합은 인가전압보다는 접합온도에 크게 좌우됨을 알수 있다.

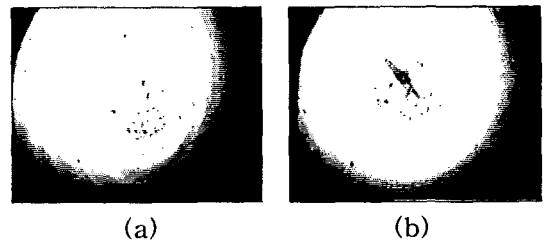


그림 6. (a) 접합온도, 300 °C, 인가전압, 1000 V, (b) 접합온도, 400 °C, 인가전압, 800 V의 양극

접합 조건하에서의 접합계면 특성

그림 7은 (-)극인 point 전극으로 끌려간 Pyrex glass내부의 Na^+ 이온들이 point 전극부근에서 하얗게 Na으로 석출되는 것을 나타낸 광학현미경 사진이다.

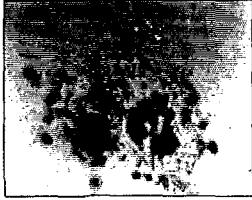


그림 7 Point 전극 밑에서 석출된 Na^+ 이온의 광학현미경 사진

5. 접합경계면의 조성관찰

그림 8은 SIMS(Secondary Ion Mass Spectroscopy)에 의한 양극접합 경계면에서 Pyrex glass 조성의 변화를 나타낸 것이다. 경계면에서 Na^+ 이온의 결핍된 영역이 다른 알칼리 이온들(Ca^{2+} , K^+ 등)보다 훨씬 더 깊이 분포되어 있기 때문에 Na^+ 이온의 이동도가 더 크다는 것을 알 수 있다.

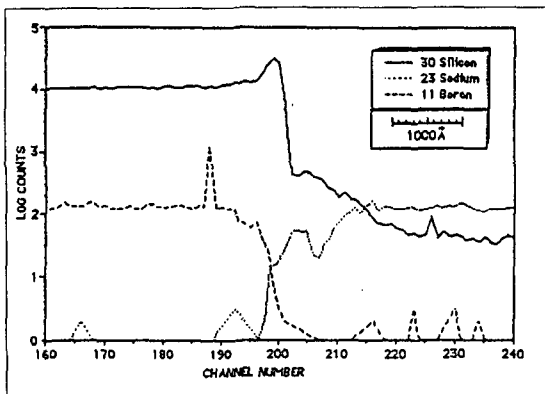


그림 8. 양극접합 경계면에서의 Pyrex glass의 SIMS profile

IV. 결론

양극접합에 의한 Si/Pyrex #7740 glass

의 접합특성은 다음과 같다.

① 접합온도가 $400\text{ }^\circ\text{C}$ 이하에서는 1000 V 이상의 고전압을 인가하더라도 접합은 되지않지만, $400\text{ }^\circ\text{C}$ 이상에서는 인가전압에 관계없이 양극접합은 양호했다. 따라서 접합온도는 집합속도와 완벽한 접합에 큰 영향을 미친다.

② 접합온도, $300\text{ }^\circ\text{C}$ 에서는 400 V 의 인가전압에서는 point 전극 바로 밑부분만 접합되지만 인가전압 및 접합시간이 증가됨에 따라 접합면적은 증가하였다.

③ Si/Pyrex glass 접합계면에서의 void는 기판표면의 거칠기 그리고 미세입자에 의해서 각각 발생되었다.

④ SIMS에 의해서 Pyrex glass내의 Na^+ 이온이 (-)극으로 이동하였음을 관찰할 수 있었다.

따라서 Si/Pyrex glass의 직접접합 최적 조건은 다음과 같다 : 접합온도, $400\text{ }^\circ\text{C} \sim 450\text{ }^\circ\text{C}$, 인가전압, $600\text{ }^\circ\text{C} \sim 1000\text{ V}$, 인가전압시간, $10\text{ }^\circ\text{C} \sim 30\text{ min}$.

V. 참고문헌

- [1] M. Esashi, et al, Sensors & Actuators, A21 (1990) 931.
- [2] A. Hanneborg, Transducers '91, (1991) 92.
- [3] G. Wallis, et al, J. Appl. Phys. 40, (1969) 3946.
- [4] T. Rogers, et al, Sensors & Actuators, A46 (1995) 113.
- [5] M. Nese, et al, Sensors & Actuators, A37 (1993) 61.
- [6] Y. Kanda, et al, Sensors & Actuators, A21, (1990) 939.
- [7] Spangler, Leland Joseph, Ph.D. The University of Michigan, (1988) 65.
- [8] T. R. Anthony, J. Appl. Phys., (1983) 2419.