

## 대면적 정전 접합 장치 고안 및 Si과 Glass접합에 미치는 불순물의 영향

문제도 · 오재열 · 조영래 · 정효수 · 주병권\* · 오명환\*

고등기술연구원, 전자 재료 연구실

\*한국과학기술연구원, 정보 전자 연구부

### Design of Electrostatic Bonding Equipment for Large Area and the Effect of Contamination Particle on the Si-glass Electrostatic Bonding

J.D. Mun, J.Y. Oh, Y.R. Cho, H.S. Jeong, B.K. Ju\* and M.H. Oh\*

Electronic Materials Lab., IAE

\*Div. Electronics and Information Technology, KIST

초 록 대면적 정전 접합 장치를 고안 및 제작하여 Si과 glass를 정전 접합시켰다. 여러 온도에서 정전 접합 후 접합 면적을 측정하였으며 접합이 이루어진 경우 그 접합 면적이 90%를 넘었다. 접합 시 전류를 측정하여 접합 강도와와의 관계를 살펴보았다. 잔류 공공을 생성시키는 원인은 재료의 표면 거칠기 차이나 전극의 모양보다는 불순물 입자에 의한 것임이 밝혀졌고 같은 크기의 불순물 입자에 대한 공공의 크기는 접합 온도가 높을수록 감소하였다. 정전 접합에 미치는 불순물의 영향을 공공의 크기 및 불순물 입자의 크기를 측정하여 살펴보았다.

**Abstract** Electrostatic bonding equipment for large area was designed. The condition for the size of electrode was determined. Using this equipment, Si and glass were electrostatic bonded. The bonded area was measured over 90% for the well bonded specimens. Relation between bond strength and current density was investigated. The main reason for remaining voids was found to be contamination particle rather than the difference in surface roughness or the shape of electrode. Size of voids for the same particle size decreased as the bonding temperature increased. The effect of contamination particle on electrostatic bonding was investigated by measuring bonded area and the particle size.

### 1. 서 론

금속과 유리의 접합은 전기, 전자 및 진공 공학 등에서 중요한 역할을 한다. 금속과 유리의 접합 방법에는 기계적인 접속 방법, 금속과 유리 사이에 solder를 사용하여 접합시키는 방법, 유리를 연화시켜 금속과 접합시키는 방법 등이 있다<sup>1)</sup>. 접합 방법의 결정은 그 접합체의 용도에 따라 선택하여야 하는데, 그 접합체가 진공 중에 사용되는 경우는 기계적인 접속 방법이나 solder를 이용하는 것은 밀봉도 면이나 solder로부터의 가스 발생때문에 진공 밀봉 방법으로는 적당하지 않다. 용융 접합 방법은 접합시키려는 금속의 표면에 산화막을 만들어야 접합력이 크고 용융된 유리

가 금속 표면을 덮을 수 (wetting) 있어야 좋은 접합이 이루어진다<sup>2)</sup>. 이러한 wetting의 문제가 없는 접합 방법은 정전 접합이나 확산 접합 등의 고상 접합 방법이 있다<sup>3, 4, 5)</sup>. 고상 접합중 확산 접합의 경우는 금속과 세라믹의 접합을 1-10MPa 정도의 압력에서 접합시키려는 금속의 용융점( $T_m$ )의  $0.8T_m$  또는  $0.9T_m$ 에서 접합을 실시한다. 고진공하에서는 상온에서도 접합이 가능하나 이때의 작업은 재료 표면의 상태가 불순물이 충분히 제거되고 그 표면 거칠기가 좋아야 한다. 이러한 확산 접합을 금속과 유리에 바로 적용하기에는 무리가 있다. 그 이유는 금속의 용융점에 가까운 온도에는 이미 유리의 연화점을 넘기 때문에 재료의 변형이 없어야되는 경우 이 방법을 적

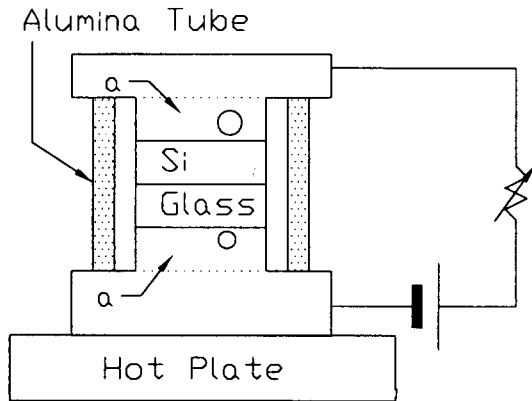


Fig. 1. Schematic diagram of electrostatic bonding equipment

용하기가 어렵게된다.

정전 접합은 Pomerantz에 의해<sup>6,7)</sup> 1960년대 말에 개발된 금속과 유리의 접합 방법으로 기존의 용융 접합 방법에 비하여 유리를 용융시키지 않고 접합시킬 수 있는 고상 접합 방법이다. 이 접합 방법은 금속과 유리, 금속과 이온 전도성이 있는 알루미늄<sup>8)</sup>, Si와 유리의 접합에도 사용이 될 수 있는 방법으로 여러 전자 소자의 패키징 및 SOI(Silicon on insulator) 등의 제조에도 응용될 수 있다<sup>9,10)</sup>. 또한 이 정전 접합 방법은 간단한 소자의 패키징 이외에도 평판 디스플레이의 화면 구성시 접합 방법으로 이용될 수 있다. 현재까지 이 정전 접합은 주로 센서의 패키징에 응용이 되었고 평판 디스플레이 등과 같은 대면적 접합에의 시도가 드물었다. 본 논문에서는 FED(Field Emission Display)에 응용 가능한 대면적 접합을 위한 장치의 고안 및 대면적 접합시에 발생할 수 있는 잔류 공공의 문제점에 관하여 고찰하였다.

## 2. 실험 방법

대면적 접합용 정전 접합 장치 설계 및 제작  
대면적 접합용 정전 접합 장치를 고안 제작하였다. 접합 면적이  $7.5 \times 7.5 \text{mm}^2$  이하의 접합에서는 점접합의 전극 장치로 충분하지만<sup>6,7)</sup> 그 이상의 대면적 접합에서는 판상의 전극을 써야한다. 본 정전 장치의 개요도는 그림 1에 나타낸 바와 같다. 본 장치의 가장 큰 특징은 한 전극에서 무게를 줄 수 있고 시편의 크기

에 따라 전극의 모양을 자유롭게 변화시킬 수 있어 대면적 접합도 쉽게 할 수 있다는 점이다. 여기서 접합시에 무게를 줄 수 있다는 것은 시편의 접합시 접합력 증가에 도움을 준다. 즉 Fig. 1의 정전 접합 장치 중 한 극 위에 무게 추를 올려 둠으로써 접합시 무게를 가할 수 있다. 시편의 크기에 따라 Fig. 1의 "a" 부분을 시편 크기에 맞는 것으로 바꾸어 줌으로써 시편 크기에 구애됨이 없이 정전 접합이 가능하다. 두 전극의 절연은 알루미늄관에 의하여 이루어지고 전극의 지지는 그 알루미늄관 안의 금속봉(stainless steel)이 지그대의 역할을 한다. 이러한 전극의 지그대는 정전 접합 실험시 시편을 안정적으로 고정시키는 역할을 한다. 전원 공급 장치를 전극으로부터 스텐레스의 봉을 뽑아 알루미늄으로 절연된 전선에 연결시킨다. 실제 작업시 연결 전극간의 접촉을 예방하기 위하여 그들을  $90^\circ$  회전시킨 후 작업을 한다. 열전대쌍은 두 전극 장치에서 시편에 가까운 곳에 구멍을 뚫어 알루미늄관으로 절연시킨 후 온도 측정을 실시한다. 전원 공급 장치의 보호를 위하여 전원 장치에 직렬로 가변 저항기를 달아 쇼트되는 경우를 대비한다. 본 실험의 경우  $500 \text{K} \Omega$ 의 저항을 연결시켰다.

### 정전 접합

본 실험에서는 실리콘 웨이퍼(두께: 0.68 mm, {100} 면)와 그것과 열팽창 계수가 비슷한 pyrex 유리를 정전 접합시켰다. 시편을 다이아몬드 커터로 절단한 후(시편 크기:  $22 \times 24 \text{mm}^2$  두께: 0.5mm) 접합시키고자하는 유리와 실리콘을 세척 작업을 실시한다. 세척은 절단된 시편을 아세톤에 10분간 초음파 세척을 한 후 탈이온수(D.I. water)에 세척하며 다시 알코올에 10분간 초음파 세척을 한다. 탈이온수(D.I. water)에 다시 세척 후 그 시편을 건조시킨다. 건조된 시편을 150, 200, 270, 300,  $370^\circ \text{C}$ 에서 20분동안 900V의 전압을 가하여 정전 접합시킨다. 각 실험 온도에서 가하는 전압은 냉각 후 시편의 온도가  $100^\circ \text{C}$ 가 될 때까지 가한다. 전극의 무게에 의하여 가해주는 압축 응력은 10KPa이며 이번 실험에서는 추가로 압축 응력을 가하지 않았다. 정전 접합 후 유리를 통하여 거시적으로 접합된 면적을 구한다. 접합이 이루어지지 않은 부분은

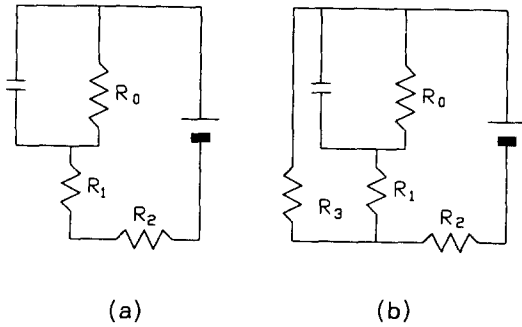


Fig. 2. Equivalent electric circuit for electrostatic bonding (a) before discharge (b) after discharge

프린지(fringe) 형태를 띠므로 그 부분이 차지하는 면적으로부터 정전 접합된 면적을 구할 수 있다. 또한 이 비접합 부위를 광학 현미경을 통하여 관찰하였으며 그 공공 및 그 공공에 잔류하는 입자의 크기를 측정하였다. 정전접합시 시편에 흐르는 전류밀도를 측정하기 위하여 전원장치 보호용 저항에서 전압강하를 측정한 후 시편에 흐르는 전류밀도를 계산하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 대면적 접합용 정전 접합 장치

정전 접합 중 전극이 시편을 완전히 덮지 않은 경우 1000V 이상의 전압에서 아크가 발생하였다. 이와 같은 방전은 두 전극 사이에 걸리는 전위차를 낮아지게 한다.

즉 Fig. 2와 같이 회로도가 변하게 된다. 방전이 일어나기 전에 두 전극 사이에 걸리는 전압은

$$V = V_0 \frac{R_0 + R_1}{R_0 + R_1 + R_2} \quad (1)$$

$V$ : 두 전극 사이에 걸리는 전압 강하

$R_0$ : 접합 부위에서의 저항(또는 leakage current resistance)

$R_1$ : 유리의 전체 저항  $R_2$ : 회로 보호용 저항  
방전이 일어나게되면 그 전압 강하는 다음과 같이 변하게 된다.

$$V = V_0 \frac{R_0 + R_1}{R_0 + R_1 + R_2 + \frac{(R_0 + R_1)R_2}{R_3}} \quad (2)$$

$R_3$ : 이온화된 공기의 저항

방전시 이온화된 공기 중에 걸리는 저항이 작으므로 두 전극 사이에 걸리는 전압 강하는 위의 식에서 나타난 바와 같이 그 크기가 작아지게 된다.

금속과 세라믹의 접합 원리는 두 물체를 원자간 거리만큼 접근시켜 원자간 결합을 유도하는 것이다. 그 실제적인 접합력에 관하여는 여러 이론이 있으나 Finnis<sup>11)</sup> 등은 이미지 힘(image force) 등에 의한 결합임을 주장하고 있다. Wallis 등은<sup>7)</sup> 유리와 금속의 정전 접합에도 접합은 화학적 결합이라고 주장하였다. 본 정전 접합 장치에서도 위의 전극에서 압축 응력을 줄 수 있으므로 정전기력에 의한 두 물체 간의 접촉 이외에 확산 접합의 경우와 같이 두 물질의 접합 거리를 근접시킬 수 있는 효과가 있다. 또한 정전 접합 이전의 세척 후에 남을 수 있는 불순물을 압축 응력을 가함으로써 어느 정도 분쇄가 (특히 유기물)가 능하여 접합력을 증가시킬 수 있다. 접합 강도를 정량적으로 측정하지는 못하였으나 정성적으로 온도가 높아질수록 접합 강도가 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. 150°C에서 정전 접합시킨 시편의 경우 접합이 이루어지지 않았다. 정전 접합이 150°C에서 이루어지지 않은 것은 이 정전 접합의 원리가 유리 성분 중 양이온이 음극으로 확산되어 Si와 유리의 계면에 전위차가 생겨 그 전위차에 의한 정전기력이 두 물체를 접합시키므로 만약 Si와 접합 유리의 표면층으로부터의 양이온이 충분히 음극으로 확산되지 않은 경우 (전류밀도가 낮은 경우) 그 전위차가 크지 않기 때문에 접합력이 떨어지기 때문이다. 200°C에서 접합시킨 것도 테두리의 계면에서 칼날로 웨지 테스트(wedge test)를 한 결과 쉽게 계면방향으로 분리가 일어났다. TEM 시편을 만들기 위하여 시편을 절단하는 과정에서 250°C 이상에서 접합시킨 시편의 경우는 다이아몬드 휠 커터로 절단하는 과정에서 파괴가 일어났다. 그 파괴된 시편을 관찰해본 결과 시편이 Si/glass 계면으로 파괴가 일어나지 않고 계면에 수직하게 파괴가 일어나는 것을 확인할 수 있었다. 이와같은 관찰 결과로 미루어 볼 때 온도 증가에 따라 접합 강도의 증가를 정성적으로나마 확인할 수 있었다.

Fig. 3은 정전 접합시 시편에 흐르는 전류

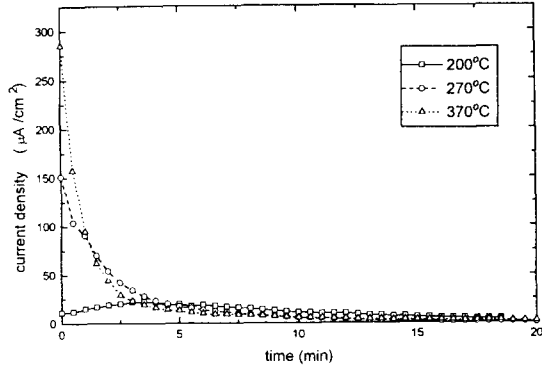


Fig. 3. Current density profile during electrostatic bonding

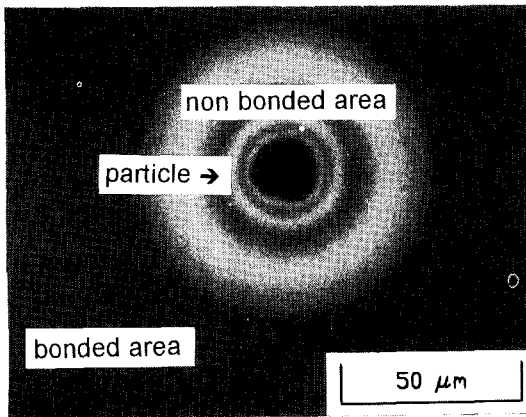


Fig. 4. Optical micrograph of unbonded area

밀도를 나타낸다. 이 그림에서 알 수 있듯이 접합 강도가 낮은 200°C에서 접합시킨 시편의 경우 전류 밀도 역시 낮은 값을 가지고 있음을 알 수 있다.

#### 정전 접합에 미치는 불순물의 영향

본 실험 장치로 Si와 코닝 유리를 접합시킨 결과 150 및 200°C에서 정전 접합시킨 것을 제외한 모든 시편의 접합이 이루어졌다. 150°C에서 정전 접합시킨 것은 접합 후 시편을 처리하는 과정에서 분리가 일어났다. 그림 4는 불순물 주위를 찍은 광학 현미경 사진으로 그 불순물 주위에 프린지(fringe) 형태를 볼 수 있다. 이 프린지(fringe)는 불순물 주위의 공간이 빛에 경로차를 발생시켜 생긴 것이다. 이와 비슷한 프린지(fringe)가 TEM 시편을 만드는 과정에서 시편을 다이아몬드 휠 커터로 절단할 때 그 절단 부위의 일부에서 관찰되었다. 이와 같은 관찰 결과는 정전 접합 후

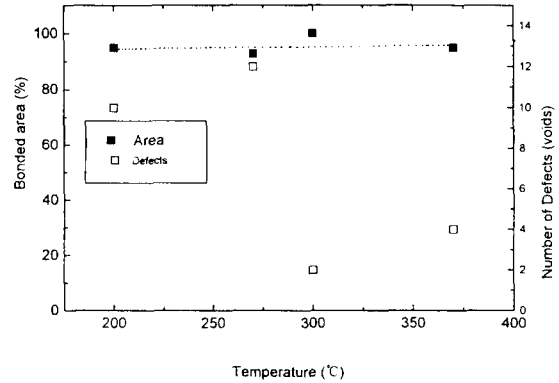


Fig. 5. The effect of bonding temperatures on electrostatic bonding

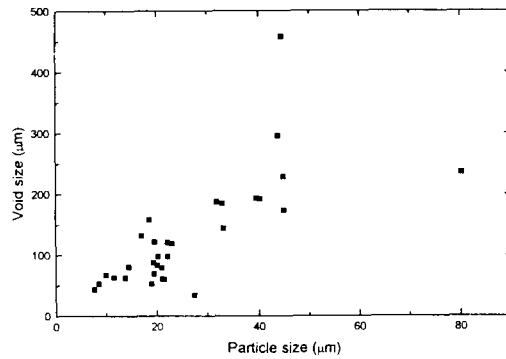


Fig. 6. Particle size effect on unbonded area (electrostatic bonding at 200°C)

접합되어 보이는 부분도 실제 미세적으로는 접합이 이루어지지 않은 곳이 존재하는 것임을 증명하는 것이다. 이와 같은 프린지(fringe)는 불순물에 의한 것 이외에 재료 자체의 거칠기 때문에 생길 수 있다. 정전 접합 후의 접합 면적과 프린지(fringe)가 나타나는 1mm 이상의 공공(그래프 상에는 결함으로(defect) 표시)의 개수는 Fig. 5에 나타난 바와 같다. 그 거시적 접합 면적은 접합이 이루어진 경우 모두 90%가 넘는 것을 알 수 있다. 크기가 큰 공공의 평균 크기와 거시적 접합 면적은 접합 온도와 일정한 관계를 보이지 않고 있는데 이는 세척이 일정하게 이루어지지 않음을 보여주고 있다. 비 접합 부위는 대개 원형의 형태를 취하고 있었으며 불순물 입자 및 비 접합 부위의 직경은 그 장축 및 단축의 길이의 평균 값을 취하였다. Fig. 6, 7, 8, 9는 각 접합 온도에서 공공에서 측정된 입

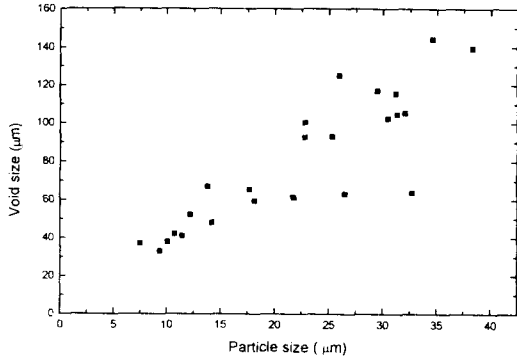


Fig. 7. Particle size effect on unbonded area (electrostatic bonding at 270°C)

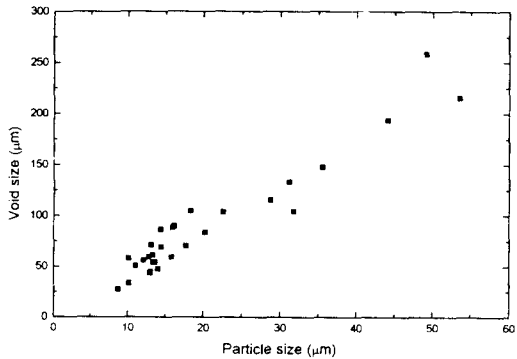


Fig. 8. Particle size effect on unbonded area (electrostatic bonding at 300°C)

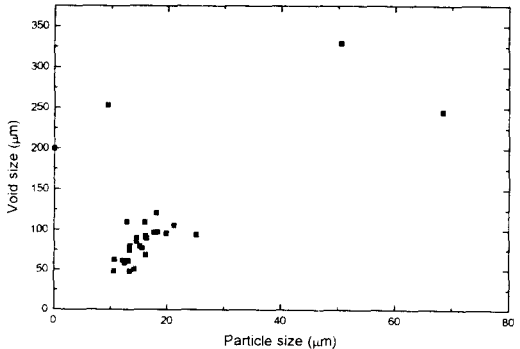


Fig. 9. Particle size effect on unbonded area (electrostatic bonding at 370°C)

자의 크기 대 그 공공의 크기를 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 입자의 크기가 20-40 $\mu\text{m}$ 에서 (2차원에서 측정된 크기) 그 공공의 크기가 100-200 $\mu\text{m}$ 의 크기를 갖는 것을 알 수 있다. 공공 크기에 미치는 입자의 영향을 살펴보기 위해서는 입자의 종류 및 형상을

알고있어야한다. 입자의 항복 강도가 Si나 유리보다 낮은 경우 유리와 Si 계면에 평행하게 변형을 하게 된다. 그 입자가 유기물인 경우 변형이 쉬울 것이며 무기물인 경우 파괴도 일어날 수 있다. 실제 공공 내에 여러 입자들이 발견된 경우가 있었다. 만약 유리의 강도보다 큰 항복 강도를 갖는 무기물 입자가 계면에 존재하는 경우 유리쪽에서 점성 유동으로 변형이 되어 그 입자들이 유리 쪽으로 파고 들어가는 현상이 발생할 것이다. 이러한 입자들의 경우는 3차원적으로 그 높이가 공공의 크기를 결정하는데 중요한 역할을 하게된다. 이러한 입자의 높이 분포의 존재가 같은 온도에서 접합시킨 시편 중 2차원적으로 측정된 비슷한 크기의 입자에 대한 공공의 크기에 분포를 주는 원인이라고 사료된다. 정전 집합 후 입자의 크기가 가장 컸던 400 $\mu\text{m}$ 의 경우 유리 쪽에서  $\alpha$ -step으로 높이 변화를 측정한 결과 입자 주위로 4 $\mu\text{m}$  정도의 높이 차이가 났으며 그외의 100 $\mu\text{m}$  이하의 입자 주위에서는 0.1-0.01 $\mu\text{m}$  정도의 높이 차이를 나타내었다. 이것은 대부분의 입자가 판상의 상태로 존재하고 있음을 보여준다. 또한 비록 온도 변화에 대해 유리의 점성 변화가 있더라도 입자와 공공의 크기를 어느 범위에서 서로 그 분포를 비교하면 온도 변화에 따른 입자 크기에 대한 공공의 크기를 비교할 수 있다. 그 분포 변화로부터 접합 온도가 높을수록 비슷한 크기의 입자 분포에 대한 공공의 크기 분포가 작아지는 것을 알 수 있다. 이 현상은 다음과 같이 설명할 수 있다.

정전 집합시 접합력의 크기는 다음의 식으로 표시된다<sup>[2]</sup>.

$$P = \frac{\rho_f^2 X_f^2}{2\epsilon_0}$$

$\epsilon_0$  : 공기의 유전율

$\rho_f$  : 유리에 형성된 분극층의 전하밀도

$X_f$  : 유리에 형성된 분극층의 두께

유리의 저항이 온도 증가에 따라 지수 함수적으로 감소하므로 유리와 실리콘의 계면사이에(비접합 부위) 걸리는 전압은 온도 증가에 따라 증가한다. 높은 온도에서 보다 많은 양이온이 음극 쪽으로 확산되고 그 뒤에 음이온의 공간전하(space charge) 층을 형성시킨다.

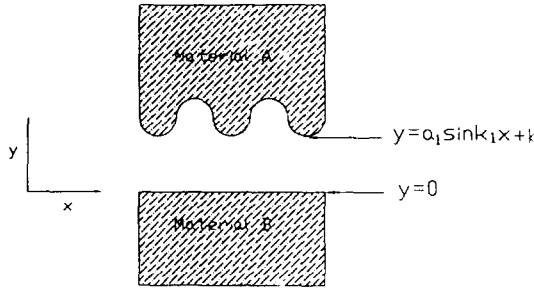


Fig. 10. A planar and 2-D sinusoidal surfaces

또한 높은 온도에서는 양 이온의 확산 속도가 크므로 전위차를 만드는데 걸리는 시간도 적게 된다. 이와 같이 접합 온도가 높을수록 Si/유리 계면 주위에 축적된 전하량이 많아지게 되어 두 물체 사이의 접합력이 증가하여 같은 크기의 불순물이 있더라도 그 접합 면적을 크게 할 수 있게 된다. 또한 앞에서 지적한 온도 증가에 따른 유리의 점성의 감소에 의한 점성 변형도 비슷한 크기의 입자가 만든 공공의 크기에 어느 정도 영향을 줄 것으로 생각된다. 하지만 여러 온도에서 접합시킨 시편을 유리 축에서  $\alpha$ -step으로 표면의 굴곡을 조사한 결과 큰 차이를 보이지 않은 것을 볼 때 온도 증가에 따른 공공 크기의 감소는 접합력의 증가가 더 크게 작용하는 것으로 사료된다. 공공 크기와 입자크기와의 정량적인 분석은 좀 더 연구를 필요로 한다.

본 정전 접합이 FED에 응용될 수 있기 위해서는 계면에서의 잔류공공을 최대한 줄여야 한다. 계면에서의 잔류공공은 계면에 존재하는 입자, 접합하려는 물질의 표면 형상 (표면거칠기 및 평활도), 전극의 모양 등에 의해 발생할 수 있다. 각 경우를 살펴보면 다음과 같다. 첫째로 세척 후 잔존하는 불순물 입자 (특히 무기물 입자)가 접합하려는 계면에 존재하여 접합을 방해함으로써 잔류공공이 발생하는 것이다. 즉 강도가 큰 입자가 Si이나 유리 계면에 잔류하여 유리나 실리콘에 휩 (bending) 응력을 주는 경우이다. 이러한 휩 응력은 불순물 주위에서 응력 집중을 야기시키고 그 불순물 입자는 파괴가 되거나 변형된 입자의 형태를 그대로 유지하게도 된다. 따라서 이 불순물 입자 주위에 공기가 잔류되어 잔류공공을 형성시키고 만약 이 접합된 것이

진공 기기에 응용이 될 때 그 잔류공공이 진공도를 떨어뜨리는 요인으로 작용하게 된다. 둘째로 이 이외에 접합이 되지 않는 부분의 발생 원인은 표면 거칠기의 차이에서 올 수 있다. 즉 접합 부위를 미세적으로 보면 접합되는 물질의 표면 거칠기에 따라 미세 공공이 발생하게 된다. 간단한 경우로 두 물체 표면의 형태를 다음과 같이 가정하면 (Fig. 10)

$$y_1 = a_1 \sin k_1 X + b \quad (4)$$

$a_1$ : 진폭,  $k_1$ : 파수,  $b$ : y축 절편

$$y_2 = 0$$

두 곡선이 만나는 점  $X_0$ 는 위의 두 식으로부터

$$X_0 = 2n\pi + \frac{1}{k_1} \sin^{-1} \left( -\frac{b}{a_1} \right) \quad n: \text{정수} \quad (6)$$

여기서 두 물체간의 거리가 어느 일정 거리 (수 원자간 거리:  $\delta$ ) 이하에서는 접합이 이루어진 것으로 가정하여 두 곡선간의 거리가  $\delta$  인 경우의 값  $X_\delta$ 는

$$X_\delta = 2n\pi + \frac{1}{k_1} \sin^{-1} \left( -\frac{\delta - b}{a_1} \right) \quad n: \text{정수} \quad (7)$$

위의 곡선들이 주기 함수이므로 접합 면적은 한 주기에 해당하는 파장 내에서의 접합 면적을 계산하면 되므로 그 접합 면적 B는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$B = \frac{\left| \frac{1}{k_1} \sin^{-1} \left( -\frac{\delta - b}{a_1} \right) - \frac{1}{k_1} \sin^{-1} \left( \frac{b}{a_1} \right) \right|}{\frac{\pi}{k_1}} \\ = \frac{\left| \sin^{-1} \left( -\frac{\delta - b}{a_1} \right) - \sin^{-1} \left( -\frac{b}{a_1} \right) \right|}{\pi} \quad (8)$$

보통 재료의 표면 거칠기는 다음의 식으로 나타낸다<sup>13)</sup>.

$$R_a = \frac{1}{R} \int_0^l |y| dx \quad (9)$$

거칠기가 나쁘면 ( $R_a$ 가 크면) 위의 식 (8)로부터 같은 주기에서 진폭이 크므로 ( $|y|$  값이 크므로) 그 접합 면적이 작게 된다. 따라

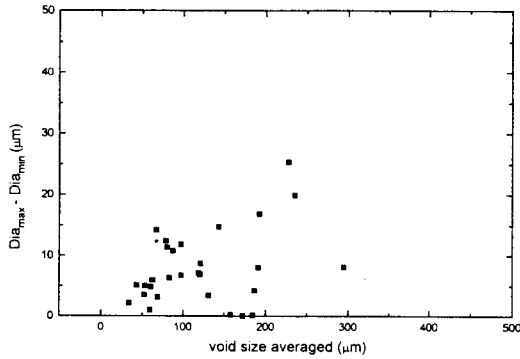


Fig. 11. Shape of voids (Electrostatic bonding at 200°C)

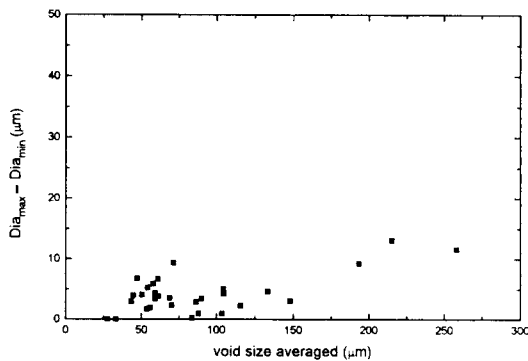


Fig. 12. Shape of voids (Electrostatic bonding at 300°C)

서 표면 거칠기가 나뉠수록 접합 면적이 작아져 그 만큼 공공의 발생이 원인이 된다. 또한 재료의 표면 거칠기와 더불어 재료가 전체적으로 어떤 곡률을 갖는 경우도 완전한 접합이 이루어지지 않는 요인이 된다. 이와 같은 공공은 표면에 존재하는 불순물과 상관없이 재료 자체의 표면 거칠기 때문에 기인한다. 확산 접합의 경우는 접합 초기에 가해진 압축 응력이 금속의 부분적인 소성 변형을 일으켜 접합 면적이 커지고 공공을 어느 정도 제거할 수 있으나 본 실험과 같은 유리와 Si의 정전 접합에서는 그와 같은 소성 변형의 효과를 크게 기대할 수 없다. 따라서 이 정전 접합을 FED등에 응용하기 위해서는 세척 작업과 아울러 재료의 선택 즉 그 재료의 평활도 유지가 중요한 관건이 된다. 불순물 입자에 의한 비접합은 세척 과정에서 어느 정도 불순물 입자의 유입을 막을 수 있으나 비접합이 두 물체의 구조에서 기인한다면 두 물체의 표면 거칠기를 향상시켜야한다. 이때 잔존하는 공공의 영향을 최소화하기 위해서는 접합을 진공

중에서 실시할 필요가 있다. 본 실험에서는 비 접합 부위와 불순물 입자의 크기의 관계가 일정한 비례 관계를 보이므로 표면 거칠기에 의한 공공의 생성보다는 불순물 입자의 존재에 의한 공공의 발생이 그 주된 원인이 된다. 만약 주로 표면 거칠기의 차이에 의해 공공이 형성된다면 입자 크기에 무관하게 공공들이 크기 분포를 보여주어야한다. Fig. 9에서 입자가 발견되지 않았음에도 큰 공공이 생긴 경우가 있으나 이 경우는 매우 드물게 발견되었다. 셋째, 전극의 모양에 의하여도 잔류공공이 존재할 수 있다. 일반적으로 전극의 모양이 접점형일 경우 공기가 계면사이에 막혀 고립된 공공이 존재할 경우가 적게 된다. 이는 접합이 중앙에서 이루어지면서 그 접합이 바깥으로 진행하기 때문이다. 그러나 이 접점형의 전극도 대면적 접합에 쓰일 경우 두 물체를 충분히 접촉시키는데 한계가 있고 만약 무게를 가한다 하더라도 응력 집중이 생기게된다. 반면에 전극의 모양이 판상일 경우 접합이 전면적에서 진행되므로 중간에 고립될 가스가 생길 확률이 높게 된다. 이는 접합이 전 면적에서 진행이 되므로 가스를 바깥으로 배출시킬 시간적인 여유가 그 만큼 적게 되기 때문이다. 하지만 본 실험에서 관찰된 공공들이 대부분 입자에 의한 것임을 보면 판상의 전극이라도 전극 중의 하나가 시편의 크기보다 작음으로써 시편의 바깥 테두리에 응력이 적게 걸리므로(응력 분산) 접점형 전극과 같은 효과를 기대할 수 있다. 즉 판상의 전극중 하나는 시편의 크기 보다 작아야하며 이것은 3-1 절에서 설명한 방전을 막는 것 이외에 계면에서의 가스 방출을 더 원활히 하는 두가지 효과가 있다.

공공 소멸시 공공 형상

Reimanis는 Nb/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 확산 접합에서 공공의 소멸 중 그 공공이 결정 방위 관계를 보이면서 소멸하는 것을 보고하였다.<sup>14)</sup> 이는 공공의 소멸 중 금속의 확산이 관여하는데 결정 방위에 따라 계면 에너지의 차이가 발생하여 그것이 금속의 확산에 영향을 미치기 때문이다. 본 실험에서는 공공의 형태는 대부분 원형의 형태를 취하고 공공이 소멸하는 과정에서 어떤 결정 방위 관계를 보이지 않았다. 그림 11, 12, 13에 정전 접합 온도에 따라 공공

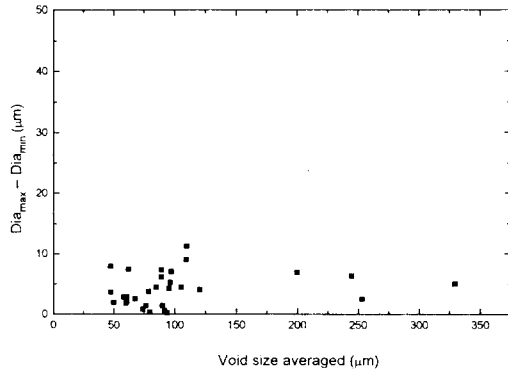


Fig. 13. Shape of voids(Electrostatic bonding at 370°C)

의 평균 크기대 장축과 단축의 차를 나타냈다. 이 그래프에서 알 수 있듯이 접합 온도가 증가할수록 차가 감소하는 것을 알 수 있다. 정전 접합이나 확산 접합은 같은 고상 접합이지만 공공의 소멸 과정에서는 확산 접합과는 다른 양상을 보여 주었다. Si {100}면과 유리와의 정전 접합에서는 유리가 비정질이므로 결정 방위관계가 없다고 생각할 수 있으므로 Si {100}면과 유리의 계면 형성시 Si {100}면에서 각 방향에서의 물질의 확산 속도에 의존하면서 공공의 형상이 이루어질 것이다. 그러나 공공의 형상이 원형을 유지하는 것은 다음의 이유로 설명이 가능하다. 접합의 구동력은 계면 형성 전후의 표면 에너지 차이에서 온다. 그러나 속도론적인 물질 이동면에서 살펴보면, 확산 접합의 경우 두 접합시키려는 물체를 원자간 거리만큼 접근시키고 계면의 형성을 계면에 평행한 확산 과정을 거쳐 완성시키는데 반하여 정전 접합에서는 공공의 소멸 과정 중 유리나 실리콘의 계면 방향으로의 확산이 없고 단지 계면에 수직하게 물질 이동(양이온의 cathodic로의 이동) 이루어지기 때문이다. 즉 정전 접합 중의 확산은 양 이온이 음극 쪽으로 이동하는 것이고 그 이동 방향이 유리와 실리콘 계면의 수직 방향으로의 이동이므로 유리와 실리콘 계면 에너지가 공공의 소멸에 영향을 미치지 못한다고 사료된다.

#### 4. 결 론

본 정전 접합 장치를 이용하여 실리콘과 유리를 접합시킨 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1) 본 정전 접합 장치를 사용하면 대면적 접합이 가능하다. 전극의 설계에 있어서는 전극의 크기가 시편의 크기보다 약간 작게 만들어줌으로써 방전이 일어나는 것을 막아야 한다. 또한 접합 중 공기가 접합 계면에 잔류하는 것을 막기 위해 두개의 전극 중 하나는 시편의 크기보다 작아야 한다. 이는 전극에서 시편으로 응력이 전달되는 과정에서 응력 분산이 일어나 잔류 공기가 접합 계면의 바깥으로 배출될 수 있는 확률이 커지게 된다. 작업의 안전을 위하여 두 전극의 고정도 필수적이며 본 전극 장치와 같이 네 모서리에 금속 봉으로 고정을 시키고 그 주위를 알루미늄 판으로 절연시키는 것이 안전하다.

2) 정전 접합이 FED와 같이 대화면의 제작에 이용되기 위해서는 접합 계면의 잔류 공공의 양을 최소화시킬 필요가 있다. 이와 같은 잔류 공공의 양을 줄이기 위해서는 세척 작업과 아울러 접합시키려는 물체의 선정시 표면 거칠기가 좋고 서로간의 표면 거칠기 차이가 작아야 하며 진공 중에서 작업을 하는 경우 그 양을 더 최소화할 수 있을 것이다. 본 실험에 의하면 그 공공의 발생은 대부분 불순물 입자에 의한 것임이 밝혀졌고 그 공공의 직경은 2차원적으로 측정된 불순물 입자의 크기가 (평균 직경) 20~40 $\mu\text{m}$ 일때 100~200 $\mu\text{m}$  정도이다. 접합 온도가 높을수록 같은 크기의 불순물 입자에 관하여 그 공공의 크기가 감소하였다.

3) 정전 접합 중 공공의 소멸시 어떤 결정 방위 관계를 보이면서 소멸하지 않고 원형의 형태를 유지하였다.

#### 감사의 글

본 연구를 수행하는 과정에서 도움을 주신 한국과학기술연구원 금속재료부 김혜성씨, 김기배박사께 감사드립니다.

#### References

1. R.W. Messler, Jr., *Joining of advanced materials* (Butterworth-Heinemann, Stoneham, 1993)
2. J.S. Pask, *Ceramic Bulletin*, 66, 1587 (1987)
3. B. Derby and E.R. Wallach, *Metal science*,



- 16, 49 (1980)
4. B. Derby and E.R. Wallach, *Matal Science* 18, 427 (1984)
5. A. Hill and E.R. Wallach, *Acta Metall.*, 37, 2425 (1989)
6. D.I. Pomerantz, U.S. Patent No. 3,397,278 (1968)
7. G. Wallis and D.I. Pomerantz, *J. Appl. Phys*, 40, 3946 (1969)
8. B. Dunn, *J. Am. Ceram. Soc.*, 62, 545 (1979)
9. G.A. Landis and P. Younger, *IEEE Trans. Components, Hybrids, Manufacturing Technology, CHMT-2*, 350 (1979)
10. R.C. Frye, J.E. Griffith and Y.H. Wong, *J. Electrochem. Soc*, 133, 1673 (1986)
11. M.W. Finnis, *Acta Metall*, 40, S25 (1992)
12. T.R. Anthony, *J. Appl. Phys*, 54, 2419 (1983)
13. A.J.T. Scarr, *Metrology and precision engineering*, (McGraw-Hill, 1967)
14. I.E. Reimains, *Acta Metall*, 40, S67 (1992)