

# FED Tubeless Packaging의 기술적 개선

논문  
12-12-1

## Technical Improvement of FED Tubeless Packaging

주병권\*, 이덕중\*

(B. K. Ju\*, D. J. Lee\*)

### Abstract

In Glass-to-glass bonding using amorphous silicon, the strength was compared as function of a film thickness and environment. The composition of silicon surface was measure by XPS, and the depth profile of glass was investigates by SIMS. This method has been applied to FED tubeless packaging process, which was technically improved through the empirical analyses of the used Si interlayer, thus superior data about stability of FED operation and vacuum hermeticity of the panel inside were suggested.

**Key Words(중요용어)** : Glass-to-glass bonding(유리-유리 접합), Amorphous silicon film(비정질 실리콘 박막), Si-O bond(실리콘-산소 결합)

### 1. 서 론

앞선 연구를 통하여 Si interlayer를 이용한 유리-유리 접합 공정과[1], 이를 토대로 한 FED(field emission display)의 tubeless packaging[2]에 관한 가능성에 대하여 보고한 바 있다. 본 연구에서는 완성된 FEA(field emitter array) 패널과 capping 용 유리 기판을 정전 열 접합하기 직전에 Si interlayer를 코팅하는 과정에 있어서 증착 온도를 가능한 낮추는 방법, 대기압이 아닌 진공 내에서 접합이 이루어짐으로써 일어나는 접합 특성의 변화, 그리고 이를 토대로 한 tubeless packaging된 FED 패널의 동작 특성 및 진공 안정성을 수행, 분석하였다.

### 2. 실험 방법 및 결과 분석

#### 2-1. Si interlayer의 증착 및 표면 거칠기 분석

1,000Å 두께의 ITO(indium tin oxide)가 코팅된 sodalime 유리 기판 위에 스퍼터링법을 사용하여 1,000Å, 2,000Å, 그리고 3,000Å 두께의 Si interlayer를 증착하였으며, 기판 온도는 70℃로 설정하였다. 박막의 증착 조건은 1 Torr에서 80W의 power로 아르곤 가스만을 이용하여 시간 변화에 따라 증착하였다. 그림 1은 Si interlayer의 두께 변화에 따른 표면 형상으로서 기판의 평균 거칠기가 8Å이고, 1,000Å, 2000Å, 그리고 3000Å의 Si interlayer 두께에 따른 표면 거칠기가 각각 21Å,

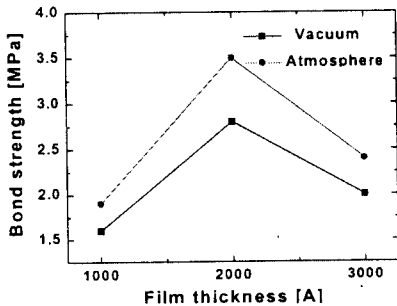
\* : KIST, 정보재료소자연구센터  
(서울특별시 성북구 하월곡동 39-1, Tel : 02-958-5775, Fax : 02-958-5692 E-mail : jbk@kist.re.kr)  
1999년 7월 23일 접수, 1999년 11월 22일 심사완료  
<'99 춘계 학술대회에서 추천된 논문임>

그림 1. 1000Å (a), 2000Å (b), 그리고 3000Å (c)의 두께를 갖는 Si interlayer의 표면 형상  
Fig. 1. surface morphologies of Si interlayer with thickness of 1000Å (a), 2000Å (b), and 3000Å (c)

23A, 그리고 24A으로, 두께가 증가함에 따라 표면 거칠기도 약간씩 증가하는 것으로 나타났다.

2-2. Si interlayer 두께에 따른 접합 강도의 변화

Sodalime 유리 기판 위에 ITO와 Si interlayer 가 순차적으로 증착된 기판을 bare sodalime 유리 기판과 230℃-250V에서 정전 열 접합하였다. 이때 열에 의한 손상을 줄이기 위하여 시편 온도가 230℃에 이르면 전압을 인가함과 동시에 가열 스위치를 OFF하여 상온에 이르기까지 자연 냉각이 일어나도록 하였다. 접합된 시편들에 대해 인장력 측정기를 이용하여 접합 강도를 측정하였으며, 접합 계면과 유리 벌크 내부에서 접합이 분리된 경우의 일례를 그림 2(a)에 보였다. 측정된 접합 강도를 그림 2(b)에 나타내었는데, 접합 강도는 각각 3개의 시편에 대해 강



(b)

그림 2. 접합 강도 측정용 시편(a) 및 데이터(b)  
Fig. 2. Sample(a) and data(b) for bonding strength measurement

도 측정 후 평균값을 나타내었다. 대기 중에서 접합한 시편이 진공( $1 \times 10^{-6}$ Torr)내에서 접합한 경우에 비해 상대적으로 강한 접합 강도를 지니고 있으며, 또한 Si interlayer의 두께가 2,000Å일때 접합 강도가 가장 크게 나타났다. 진공 접합의 경우, 산소의 양이 상대적으로 적어 접합 계면에서 실리콘 산화물의 형성이 활발하지 못하여 접합 강도가 약간 저하되는 것으로 추측된다[3].

2-3. 정전 열 접합 과정에서의 전류 파형

대기압 및 진공( $110^{-6}$ Torr) 환경에서 정전 열 접합을 수행하고 접합 과정에서의 전류 파형을 관찰하였다. 접합 과정에서 측정되어지는 전류는 유리기판 내부에서 이동하는 양이온에 의한것으로 정전력을 발생시키는 주요 원인이다. 정전 열 접합 조건은 230℃-250V로 고정하였으며 온도가 안정화되면 전압을 인가하면서 가열원을 OFF하였다. 진공 접합의 경우 전류 피크치는 상대적으로 작으나, 시간이 경과함에 따라 안정화 상태에서 흐르는 누설 전류의 값은 오히려 크게 나타났다. 이는 진공 내에서 시편의 가열 및 냉각 속도가 지연되어서 나타나는 현상으로 볼 수 있으며, 초기 전류 피크의 감소는 접합 강도를 저하시키는 원인이 될 수 있다[3, 4].

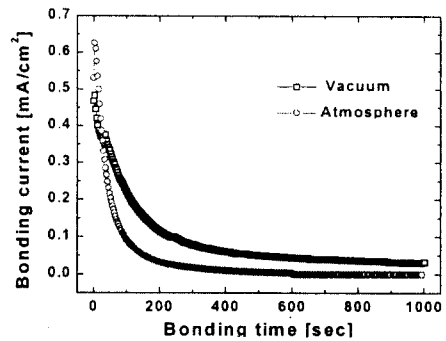


그림 3. 정전 열 접합 과정에서 나타나는 전류 파형  
Fig. 3. Current variation with bonding time during the electrostatic bonding process

2-4. 접합 계면의 화학적 조성 분석

접합이 일어난 후에 Si interlayer 계면에서 강제로 분리된 시편들에 대하여 SIMS 분석을 하였

다. 100 A/min의 속도로 스퍼터링을 하면서 얻어진 깊이 분석 결과를 그림 4에 나타내었다. 접합 계면 부근의 유리기판 내에서 Si 농도가 증가하는 점으로 미루어 보아 접합이 이루어지면서 일부 Si가 접합 계면으로 이동하는 것을 알 수 있으며, 이동된 Si이 유리 내의 O과 반응하여 SiO<sub>x</sub> 층을 형성하고 있다. 유리 표면에 존재하고 있던 양이온(Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>)들은 가열 및 전계에 의해 유리 벌크 내부로 이동하면서 전하 공핍층을 형성하고 이로 인한 정전력의 발생은 보고되고 있다. 또한, 유리 표면 근처에서의 양이온 이동에 의한 고정된 음이온(O)의 생성, 이에 대응하는 양이온(Si)의 Si interlayer 내에서 접합 계면으로의 이동, 정전력에 의한 결합 및 일부 Si 이온이 유리 내로 침투함으로써 형성되는 실리콘 산화물 계열의 반응 생성물이 접합을 이루어 가는 과정을 확인할 수 있다.

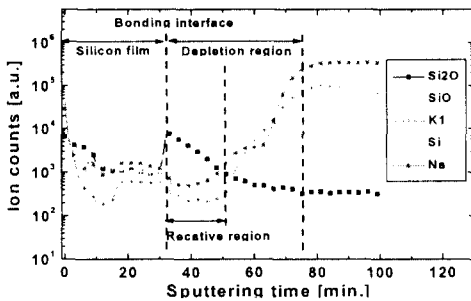


그림 4. 접합 후 분리된 시편에 있어서 Si interlayer로부터 내부(접합 계면-벌크 유리)로의 SIMS 깊이 분석  
Fig. 4. SIMS depth profile from the Si interlayer to inside (bonding interface-bulk glass) for the de-bonded sample after bonding

2-5. 접합 계면의 표면 성분 분석

접합 후 접합 계면에서 분리된 시편에 대해 접합 계면에 해당하는 Si interlayer 표면을 XPS로 분석하였다. 접합 이전의 경우에는 Si, Si-H, 그리고 Si-C-H 등의 결합이 주로 관찰되며[5], 접합 후에는 Si의 양이 상대적으로 감소하면서 Si-O 결합이 나타나고 있다. 이는 반응 생성물인 실리콘 산화물이 Si interlayer 상에도 일부 존재함을 의미한다.

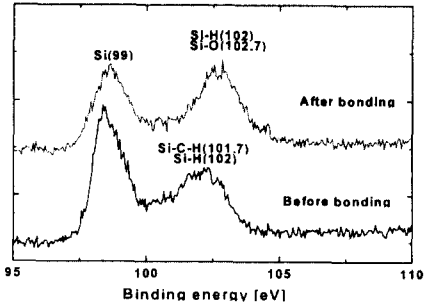


그림 5. 접합 전후의 Si interlayer 표면에 대한 XPS 결과  
Fig. 5. XPS data for the surface of Si interlayer before and after bonding

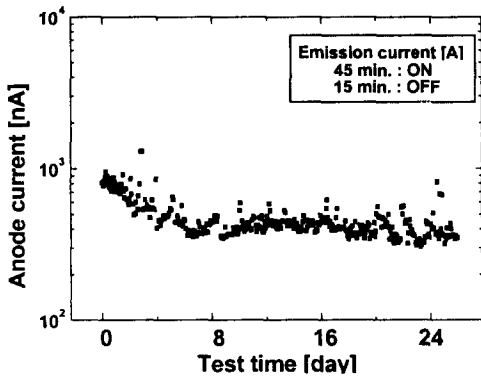
2-6. Tubeless packaging된 FED 소자의 동작 특성

앞서 보고된 바와 같이[2], 1차 조립이 완료된 FED 패널과 capping 용 유리 기판을 진공 내에 넣고 Si interlayer 증착 후 정전 열 접합에 의하여 packaging 하였다. Packaging된 FED 패널의 정면도와 측면도를 그림 6에 나타내었다. FED 패널의 크기는 2인치, 총 두께는 약 1.1mm 두께의 유리 네장에 해당하는 4.4mm이다.

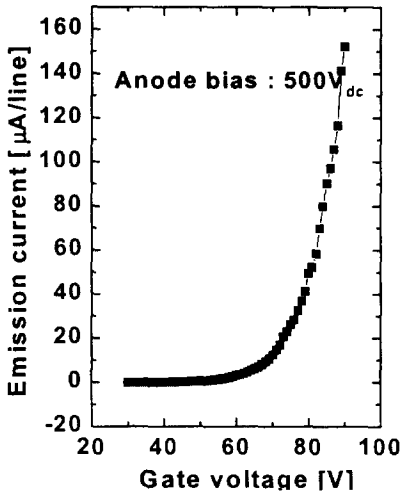
그림 6. Tubeless packaging된 FED 패널  
Fig. 6. Tubeless-packaged FED panel

그림 7의 (a)와 (b)는 각각 전류-전압 특성 및 시간에 따른 방출 전류의 변화를 나타낸 것이다. 양극 전압을 500V로 할 때 소자의 동작 개시 전압은 약 55V 정도로 측정되었으며, 한 라인에서 방출되는 전류는

게이트 전압을 90V까지 증가시켰을 때, 약 154A에 이르는 것으로 나타났다. 그림 7 (b)는 소자를 45분 동안 ON, 15분 동안 OFF시키면서 4주간 구동한 결과로, 초기 5일 정도까지는 패널 내부가 안정화되면서 약간의 전류 감소가 있었으나, 그 후에는 시간에 따라 방출 전류가 일정하게 유지되는 점으로 미루어보아 패널 내부로의 leak가 없이 접합 계면에서의 hermeticity가 유지되는 것으로 추측할 수 있다.



(a)



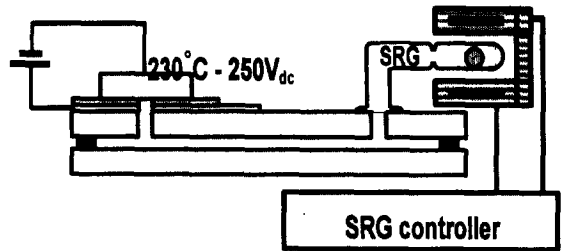
(b)

그림 7. 제조된 소자의 전류-전압 특성(a) 및 전류 표동 특성(b)

Fig. 7. Current-voltage curve(a) and current fluctuation(b) of the fabricated device

2-7. 패널의 내부 진공도 평가

제조된 패널의 내부 진공도를 평가하기 위하여 spinning rotor gauge(SRG)를 이용하였다. SRG를 이용하기 위한 패널의 구성도(그림 8(a))와 준비된 패널은 그림 8(b)과 같다. SRG는 진공 측정 게이지로 사용되어지며, 측정 원리는 튜브 내에 있는 금속 구를 회전시켜 회전 수 변화에 대한 패널 내부의 진공도를 알 수 있다[6]. 약 110일 동안 지속적으로 측정된 패널 내부의 진공도 변화를 그림 9에 나타내었다. 이를 살펴보면, 패널이 안정화되는 초기 5일 정도까지를 제외하고는 내부의 진공도가  $1.45 \times 10^{-4} \sim 1.65 \times 10^{-4}$  Torr 범위 내에서 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 정전 열 접합에 의해 capping 용 유리 기판으로 밀봉된 부분뿐만 아니라 패널 전 영역에서 leak는 무시할 수 있을 정도로 적다고 볼 수 있다.



(a)

그림 8. 패널 내부의 진공도를 위한 SRG-패널 구성도(a)와 준비된 패널(b)의 모양

Fig. 8. SRG-panel set-up(a) and prepared panel structure(b) for the vacuum level measurement of panel inside

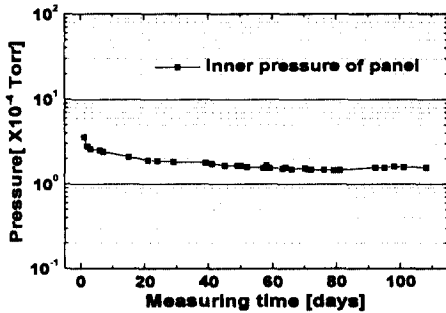


그림 9. SRG를 이용하여 장시간 동안 측정된 패널 내부의 진공도 변화

Fig. 9. Vacuum level variation inside a panel measured by SRG for the long-time period.

### 3. 결 론

FED 소자의 손상을 가능한 방지하기 위하여 Si interlayer를 저온 증착하고, 이를 이용하여 유리-유리 기판간의 접합을 진공 내에서 이룬 뒤 접합 특성을 분석하였으며, 끝으로 FED 패널의 tubeless packaging에 적용하여 그 응용성을 확인하였다. 본 연구를 통하여 얻어진 주요 연구 결과들은 다음과 같다.

- 1) 유리-유리 간의 정전 열 접합에 사용되는 inter-layer의 최저 증착 온도는 70℃, 최적 두께는 약 2,000Å으로 얻어졌다.
- 2) 진공 내에서 정전 열 접합된 시편의 접합 강도는 대기압의 경우에 비해 약간 저하되었는데, 이는 산소 원자의 부족으로 인한 계면 반응 결핍, 열 전달 감소에 의한 유리 내부에서의 전하 고정 상태의 지연/누설 전류의 증가 등에 원인이 있는 것으로 추측된다.
- 3) 접합 계면에서 실리콘 산화막 계열의 반응 생성물이 형성된다는 것을 가시적으로 관찰하였다.
- 4) 정전 열 접합을 따른 capping 방법으로 tube-

less packaging된 FED 패널의 동작 특성 및 내부 진공도를 평가한 결과, 접합 계면을 통한 leak는 거의 없으며 따라서 완전한 hermeticity가 유지되는 것으로 결론지을 수 있다.

### 감사의 글

본 연구에서 접합 공정 부분은 과학기술부와 산업자원부가 공동 주관하는 초소형 정밀기계 선도기술개발사업의 지원으로, FED tubeless packaging 부분은 정보통신부/ETRI가 지원하는 선도기술개발사업에 의해 지원되었으며, 이에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

- [1] 주병권, 이덕중, 최우범, 이남양, 한정인, 조경익, 오명환, Si interlayer 만을 이용한 Sodalime-Sodalime 정전 열 접합 및 FEA Packaging 응용, 전기학회논문지, 투고중.
- [2] 주병권, 이덕중, 이윤희, 오명환, Tubeless Packaging된 Field Emission Display의 개발, 전기학회논문지, 48C권, 4호, pp. 275-280(1999, 4).
- [3] A. Cozma and B. Puers, Characterization of the electrostatic bonding of silicon and Pyrex glass, J. Micromech. Microeng. Vol. 5, pp. 98-102(1995).
- [4] Y. Kanda, et. al., The Mechanism of Field-assisted Silicon-Glass Bonding, Sensors & Actuators, A21-A23, pp. 939-943(1990).
- [5] J. Sheng, et. al., Temperature Effects on the Leaching Behavior of a High-Level Waste Glass Form, Nuclear Technology, Vol. 123, pp. 296-303(1998, 9).
- [6] S. J. Jung, et. al., High Vacuum Packaging and Evaluation for Field Emission Display, Asia Display conference, pp. 1157-1160(1998, 9).