

기술 특 집

# FED 패키징 기술동향

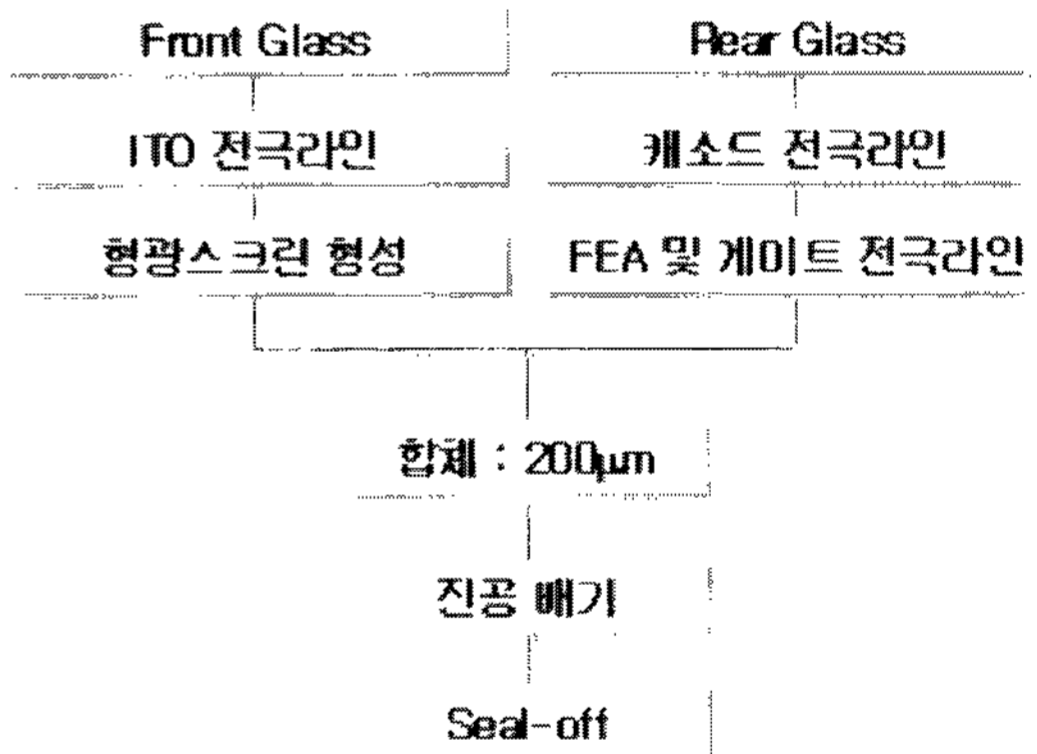
권상직 (경원대학교 전자전기정보공학부)

## I. 서론

일반적인 마이크로팁형 전계 방출 소자에서 전자를 방출하기 위해서는 보통 팁과 게이트 사이에 50~100 V 정도를 인가해야 한다. 그런데 팁과 게이트 사이의 거리는 마이크로미터 정도의 아주 짧은 거리이므로 고진공을 확실하게 유지하지 않으면 방전 및 진공 절연 파괴 등이 일어날 수 있으며, 팁으로부터의 방출 전자와 패널 내부의 기체 분자들의 충돌에 의해 생긴 양이온이 팁으로 스퍼터링(sputtering)되어 소자를 열화시킬 수 있다. 또한 전계 방출 디스플레이에서는 캐소드와 아노드 사이의 전압이 300~1000 V 정도로 낮으므로 패널 내부의 진공도가 낮으면 가속되는 전자는 잔류 기체와 충돌하여 에너지를 잃게 되므로 형광막에 충돌시 충분한 에너지를 전달할 수 없어 발광 휘도가 낮아지는 문제점이 있다. 그 밖에도 에미터 표면의 흡착층에 의해 유효 일함수가 변하게 되는데, 예로 대기 분위기에서는 상대적으로 높은 유효 일함수를 갖게 되며, 수소의 경우에는 상대적으로 낮은 일함수를 갖게 된다. 따라서 신뢰성 있는 FED 패널을 제작하기 위해선 패널 내부를 고진공으로 실장시키는 기술이 필요하다.

공정 중 팁에 오염을 주지 않기 위해선 증기압(vapor pressure)이 낮은 물질이어야 한다. 이와 같은 점들을 고려해 전계 방출 디스플레이의 진공 실장에 적합한 물질로 소다라임 유리(soda-lime glass)를 사용한다. 소다라임 유리는 SiO<sub>2</sub>, NaO<sub>2</sub> 등으로 구성되어 있고, 구조를 보게 되면 [그림 3]과 같이 실리콘과 산소 원자 결합 사이의 빈 공간을 나트륨(Na) 원자가 차지하고 있어 다른 유리 종류에 비해 외부로부터의 불순물의 투과가 적은 성질을 갖고 있다.

유리와 유리의 접착에 사용되는 frit glass는 PbO와 SiO<sub>2</sub>



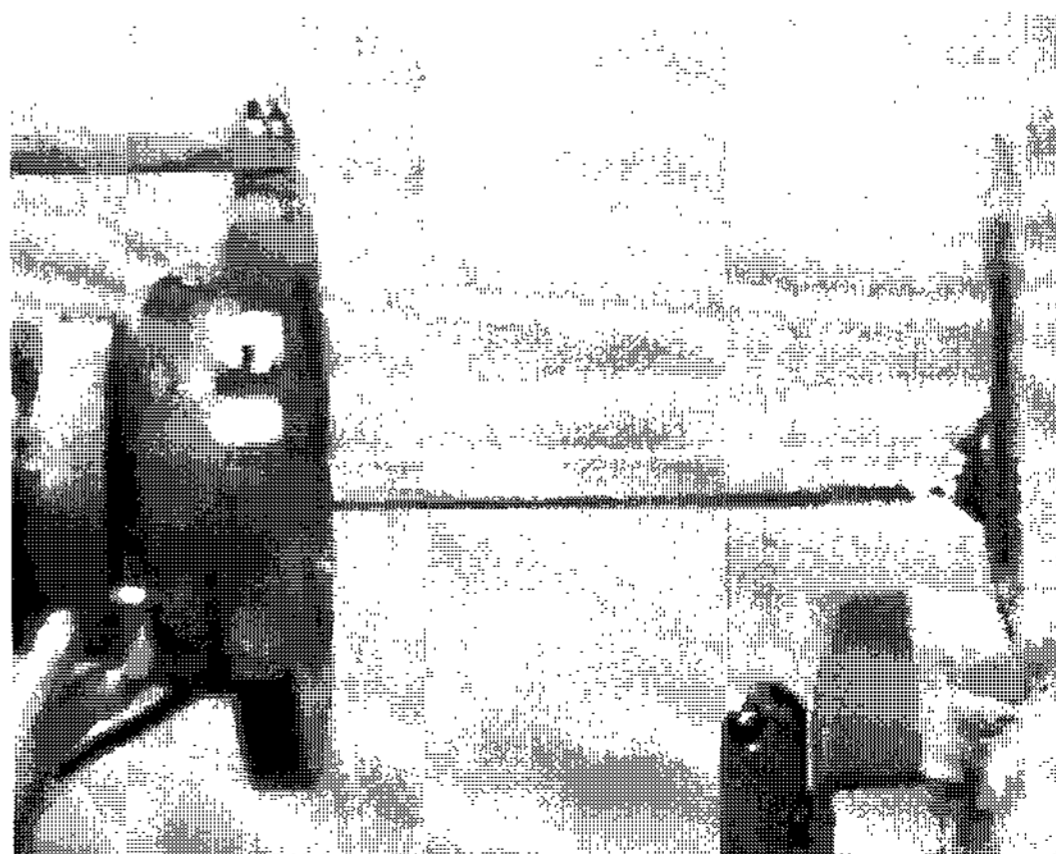
[그림 1] 일반적인 튜브방식의 FED 진공실장 공정흐름도

## II. FED 실장기술

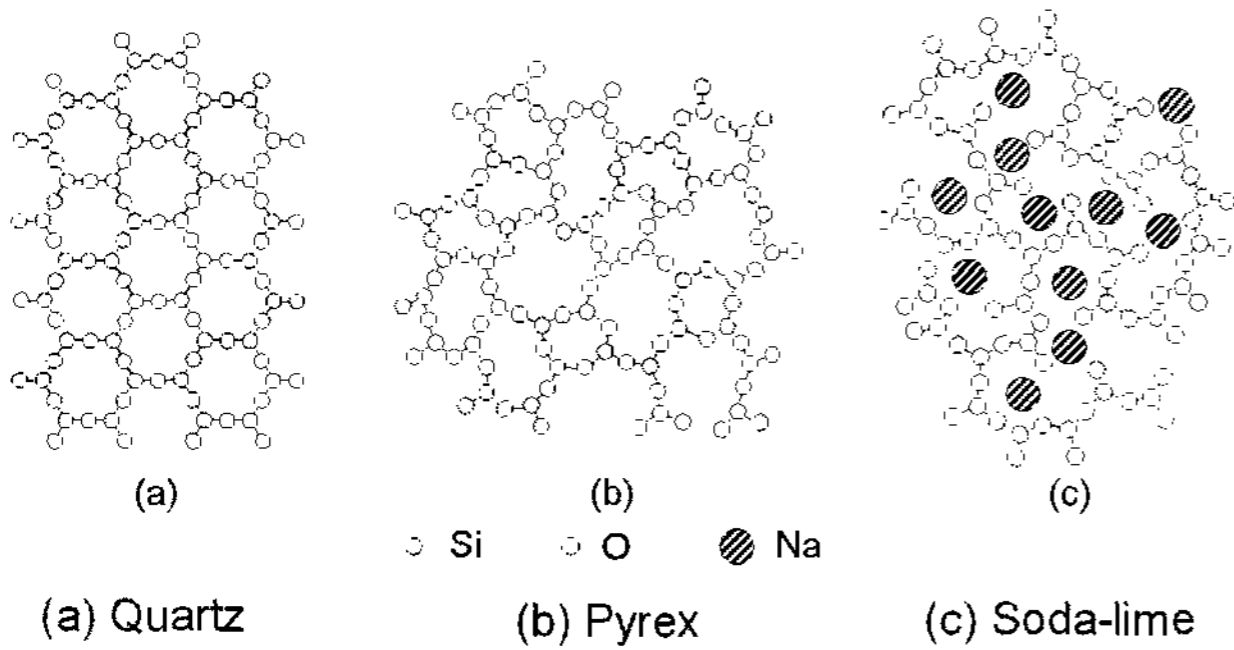
### 1. 진공배기관(tube)을 이용한 실장공정

[그림 1]은 전형적 방식인 진공배기관을 통해 FEA를 실장하기 위한 대략적인 공정 순서이며, [그림 2]는 이와 같은 공정을 통해 제작 완성될 FED 패널의 단면도이다.

공정 순서의 첫번째인 재료의 준비에서는 고진공 실장 기술의 개발에 앞서 고진공을 유지할 수 있고 디스플레이에 알맞은 물질의 선택이 필요하다. 우선 디스플레이 내부와 외부의 압력차를 견딜 수 있는 물리적 강도를 가지고 있어야 하며, 패널 내부로 외부의 기체 분자의 투과(permeation)가 적고, 물질 표면에 흡착되어 있는 기체 분자를 제거하기 위한 가열 공정을 견딜 수 있어야 한다. 또한 이러한 가열



[그림 2] 전형적 튜브방식으로 진공배기되는 과정의 사진



[그림 3] 유리 종류에 따른 원자 배열 상태 (a) 수정(quartz), (b) 파이렉스(pyrex), (c) 소다라임(soda-lime)

가 주성분으로 아노드 및 캐소드 유리판에 도포(dispensing) 하기 위해 frit glass powder를 BCA와 NC의 혼합액인 용매(vehicle)와 10:1로 섞어 볼 밀러(ball miller)로 10시간 동안 혼합하여 frit paste로 만들어진다. Frit paste 성분 중 용매는 아노드와 캐소드 유리를 붙이는 공정에서 FEA를 오염시키는 요인이 될 수 있으므로 먼저 이 용매를 제거시키는 가소결 공정을 하게 된다.

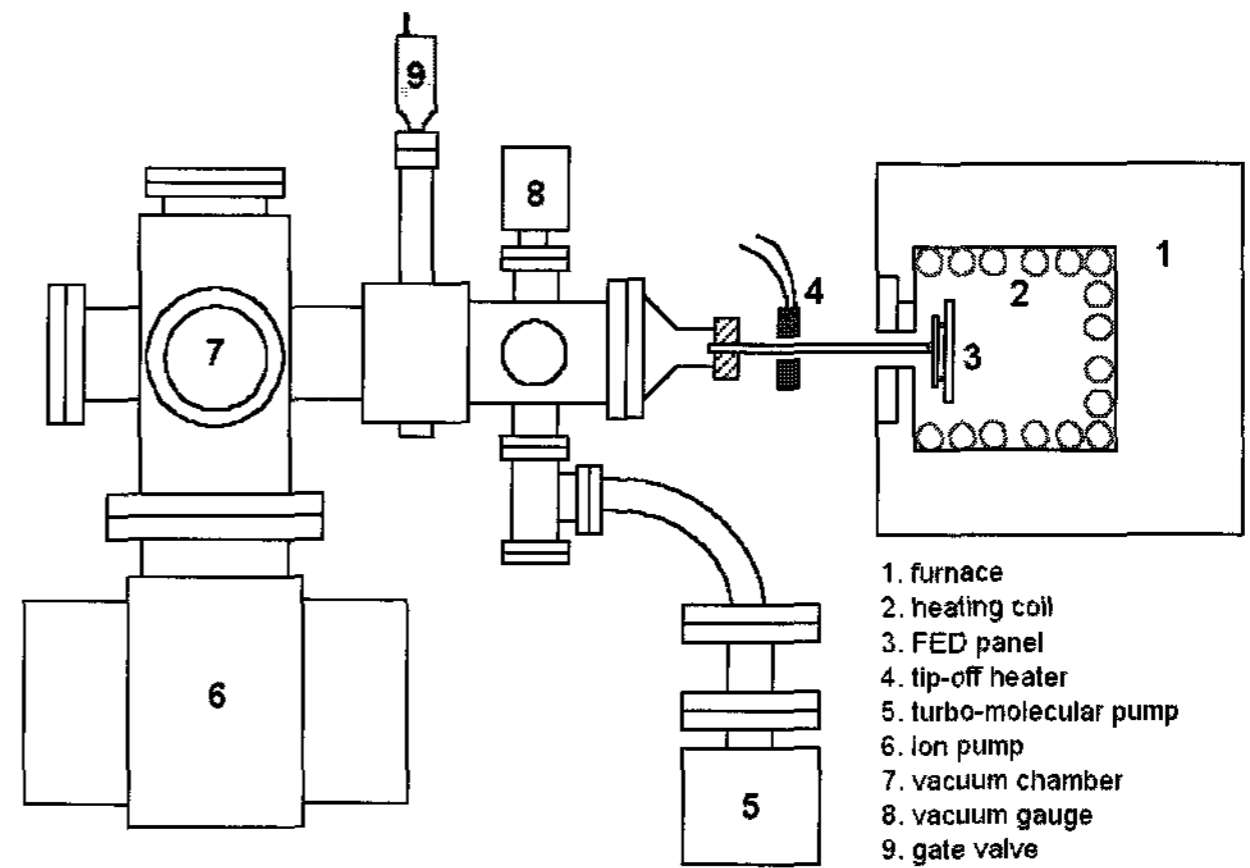
아노드 유리판은 ITO(indium thin oxide)가 코팅 되어 있는 두께가 1.1mm 정도인 소다라임 유리로서 배기관과 연결될 직경 7mm 구멍이 가공된다. 유리판에 구멍을 뚫는 방법으로는 전기 화학적으로 유리를 분해 시키는 방법, 드릴을 이용해 기계적으로 연마하는 방법 등이 있으나 유리에 손상을 최소화하기 위해 모래 분사기(sand-blast)를 이용하여 아노드 유리판의 모서리에서 가로, 세로 10mm 정도 되는 부분에 형성시킨다. 가공이 끝난 아노드 유리판은 세척을 한 후 ITO위에 형광체를 전기 영동법으로 증착하게 된다.

캐소드 유리판은 먼저 두께가 1.8mm인 소다라임 유리로서 전계 방출 소자의 게이트, 캐소드 각각 25라인과의 전기적인 어드레싱(addressing)을 위한 전극선이 형성된다.

패널을 진공 챔버와 연결하여 배기를 하기 위한 유리 배기관은 소다라임 유리로서 내부 직경이 7mm, 길이를 200mm로 제작하였다.

패널 내부를 고진공으로 만들기 위해선 가열 배기 공정 전에 유리 표면의 유기물을 세척하는 공정이 매우 중요하다. 이를 위해서 유리를 TCE(trichloroethylene), 아세톤(acetone), 메탄올(methanol)에 순차적으로 1분씩 담근 후 탈이온수(DI water)로 5회 이상 씻어 내고 N<sub>2</sub>gun으로 표면의 물기를 제거한다. 그 후 잔여 수분을 제거하기 위해 150℃에서 30분간 전기로(furnace)에서 건조시킨다.

세척한 아노드와 캐소드 유리판 위에 frit paste를 가로, 세로 40mm로 도포하고 대기 분위기에서 450℃, 1시간 가소결(pre-baking)을 하여 frit paste 성분 중 용매를 완전히 제거시킨다. 가소시 승온 속도는 분당 5℃, 냉각 속도는 분당 3℃로 하여 유리의 열적 충격을 최소화 한다. 아노드 유리판의 가소결 후 이루어지는 유리 배기관의 접착은 아노드 유리판에 만들어진 구멍 둘레에 frit paste를 도포하고 같은 방법으로 가소결 한다.



[그림 4] 전형적 튜브방식의 가열 배기 장비의 개략도

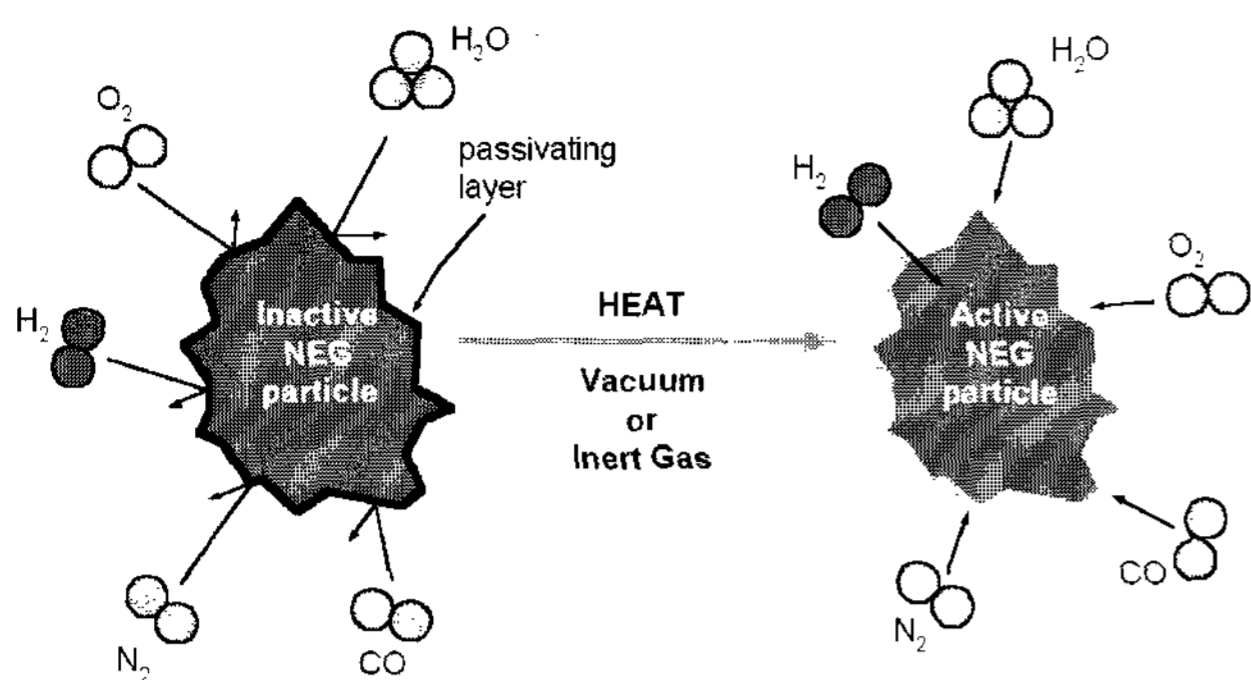
앞에서 말한 공정을 거친 아노드 유리판과 캐소드 유리판 간의 접착을 위한 본소결(post-baking)은 450℃에서 20분 정도 수행한다. 이때 본소결시 FEA의 구성물질 중 금속 물질, 즉 몰리브덴(Mo)이 산화되는 것을 막기 위해 전기로 안으로 아르곤(Ar) 가스를 계속 넣어줌으로써 아르곤 가스 분위기에서 실행하게 된다.

진공도가  $2 \times 10^{-7}$  torr가 되면 유리에 흡착되어 있는 불순물이나 수분을 제거하기 위하여 200℃에서 10시간동안 패널을 가열하게 된다. 이때 [그림 4]와 같이 FED 패널의 전체면을 감싸면서 유리에 손상을 가하지 않고 효과적으로 높은 온도를 가할 수 있도록 가열 장치를 적용한다. 이와 같은 가열 배기 공정을 거쳐 최종적으로  $10^{-6} - 10^{-8}$  torr의 진공도를 얻게 된다.

가열 배기를 수행하여 진공도가  $1 \times 10^{-6}$  torr 이상 도달하면 배기관을 밀봉(seal-off)하게 되는데, 그 전에 밀봉 후에도 패널 내부를 고진공으로 유지하기 위해 게터(getter)를 활성화하는 공정이 선행되어야 한다. 게터란 화학적으로 활성화된 금속막에 기체가 흡착되는 작용을 이용하여 진공 배기를 할 수 있는 물질을 말하며, 일반적으로 사용되는 게터는 Ti과 Zr-V-Fe의 합금으로 이루어진 띠 모양의 비증발형 게터(non evaporable getter)이다. 이 게터 물질의 특징은 극히 높은 다공성(porosity)이기 때문에 상온에서도 배기 속도가 높고, 400~500℃에서의 저온 활성화가 가능하며, 미세한 입자들의 발생이 전혀 없다. 또한 수소에 대한 높은 흡착 용량을 갖는다.

게터의 활성화(activation)란 [그림 5]와 같이 게터의 표면을 보호하고 있는 얇은 보호막을 제거하여 게터가 기체 흡착 작용을 하게 하는 공정이다. 게터의 활성화 방법은 고주파에 의한 가열, 전류 가열, 레이저나 적외선에 의한 가열, 간접 가열 등이 있는데, 본 연구에서는 배기관을 밀봉할 때 쓰는 열선을 이용한 간접 가열로 게터를 500℃에서 10분간 가열함으로써 이루어졌다.

마지막 공정인 유리 배기관의 밀봉(seal-off)은 배기관을 둘러싸고 있는 열선으로 배기관을 어닐링 온도(annealing point) 이상으로 가열하여 열을 받은 부분이 외부와의 압력 차에 의해 수축되어 서로 붙게 함으로써 이루어진다. 이때



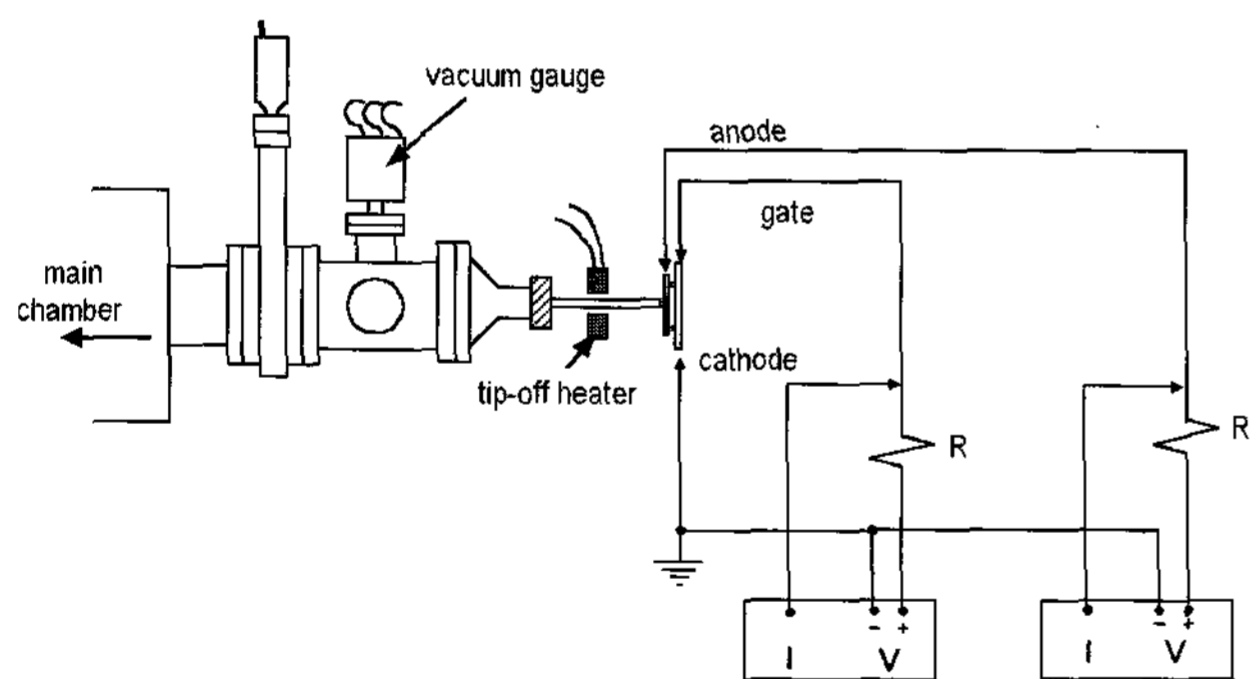
[그림 5] 게터의 활성화 원리

가열 받은 유리에서 증발되는 불순물을 효과적으로 배기하기 위해 다단계로 온도를 제어하는 것이 필요하다.

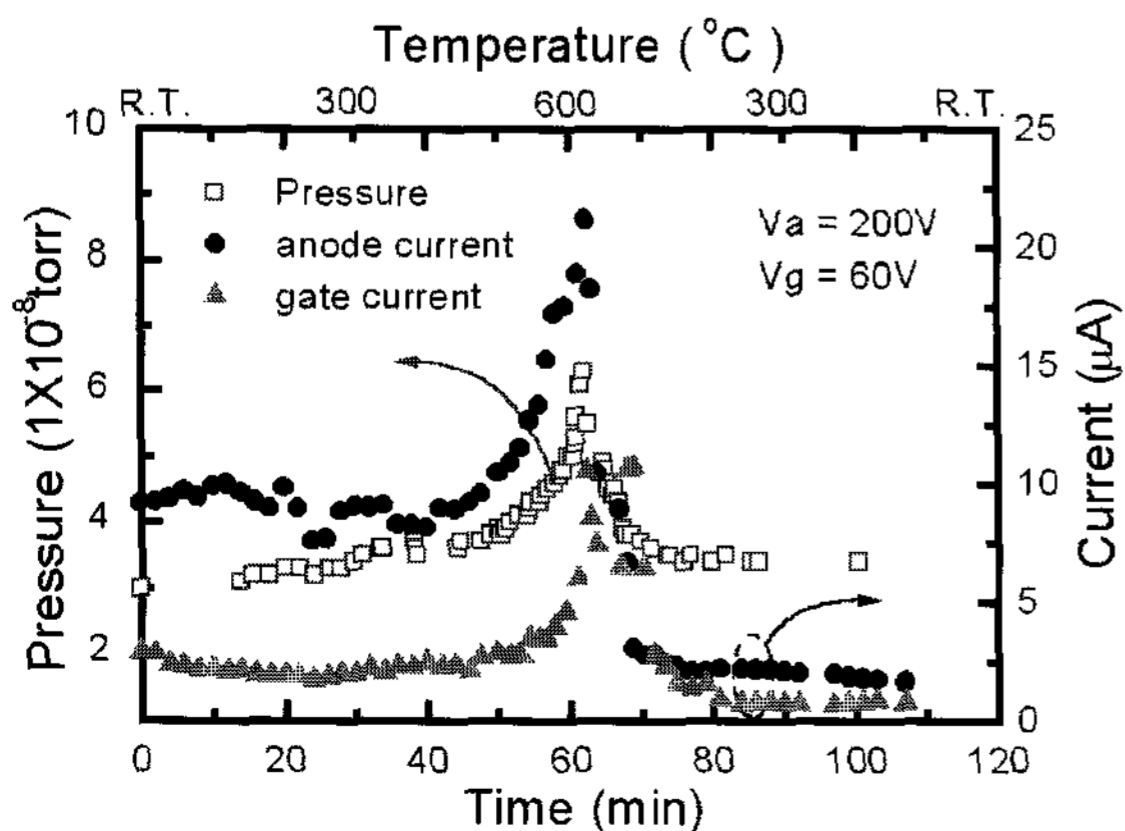
### 2. 패널내부 진공도

[그림 6]은 전계 방출 디스플레이의 배기 과정 중 전류-전압 특성을 측정하기 위한 장치의 개략도이다. 이 장치를 이용하여 배기관의 밀봉 공정 전에 방출 전류를 측정하여 밀봉 공정 후의 방출전류와 비교, 분석을 할 수 있으며 seal-off 공정중의 방출 전류의 변화도 확인할 수 있다.

[그림 7]은 seal-off 공정 과정 중의 진공도 변화 및 방출 전류의 변화를 나타낸 것이다. 진공도는 진공 챔버에 연결된 게이지로부터 읽은 값이다. 배기관을 녹이기 위한 온도



[그림 6] 진공배기 실장동안 방출 전류를 측정하기 위한 장치의 개략도



[그림 7] Seal-off 공정 중의 진공도 변화 및 방출 전류의 변화



[그림 8] (a) Seal-off 공정을 하기 전 발광 사진, (b) seal-off 공정 중 배기관이 녹아 붙었을 때의 발광 사진

가 약 600°C일때 진공도가 급격히 증가함을 볼 수 있는데, 이것은 유리에 포함된 성분들이 증발되면서 나타나는 현상이다. 이 시점에서 배기관은 녹아 붙게 된다. 이 시점 이후에 게이지로부터 읽어진 진공도는 다시 원래 상태로 회복됨을 볼 수 있으나 실제 패널 내부는 펌프와 차단된 상태이므로 배기관이 녹으며 배출된 불순물에 의해 악화된 진공도를 그대로 유지할 것으로 예상된다. [그림 7]에서와 같이 seal-off 전의 아노드 전류는 9.18 μA인데 비해 seal-off 후의 아노드 전류는 1.64 μA로 약 6배 감소하였다는 사실이 이를 입증해 주고 있다. 이는 [그림 8]에서와 같이 seal-off 공정 전과, seal-off 과정 중 배기관이 녹아 붙은 시점의 발광 사진을 비교해 볼 때, 후자에서 발광 되는 빛의 밝기가 약간 줄어들었던 것으로도 확인할 수 있다.

### 3. 진공 실장 단계별 패널내부 진공도평가

앞 절에서 말했듯이 전계 방출 소자로부터 신뢰성 있는 방출 전류를 얻기 위해서는 고진공 분위기가 필요하다. 이를 확인하기 위하여 FEA를 테스트 챔버에 넣고 여러 다른 진공도에 따른 방출전류의 변화를 살펴본 결과 약 4×10<sup>-7</sup> torr의 진공도를 기준으로 그 이상의 진공도에서는 진공도 변화에 따른 아노드 전류 변화가 크지 않았으나, 반면에 4×10<sup>-7</sup> torr 이하의 진공도에서는 진공도 변화에 따라 아노드 전류도 크게 감소함을 볼 수 있었다. 다른 게이트 전압에 대해서도 동일한 경향을 볼 수 있었다. 이와 같은 결과를 볼 때, 실제 패널 내부의 진공도를 측정하고 개선할 수 있는 방법을 찾는 것이 필요하다.

이와 같은 방식을 통해 구해진 panel 내부의 진공도 변화를 요약하여 [표 1]에 나타내었다.

측정 결과를 보면 게터를 활성화 하지 않고 배기관을 seal-off 했을 경우는 seal-off 전에 비해 진공도가 10배 정도 나빠지지만 게터를 활성화하면 진공도가 다시 많이 회복

[표 1] 챔버 port 게이지에서 읽은 진공도와 실제 패널 내부의 진공도 비교

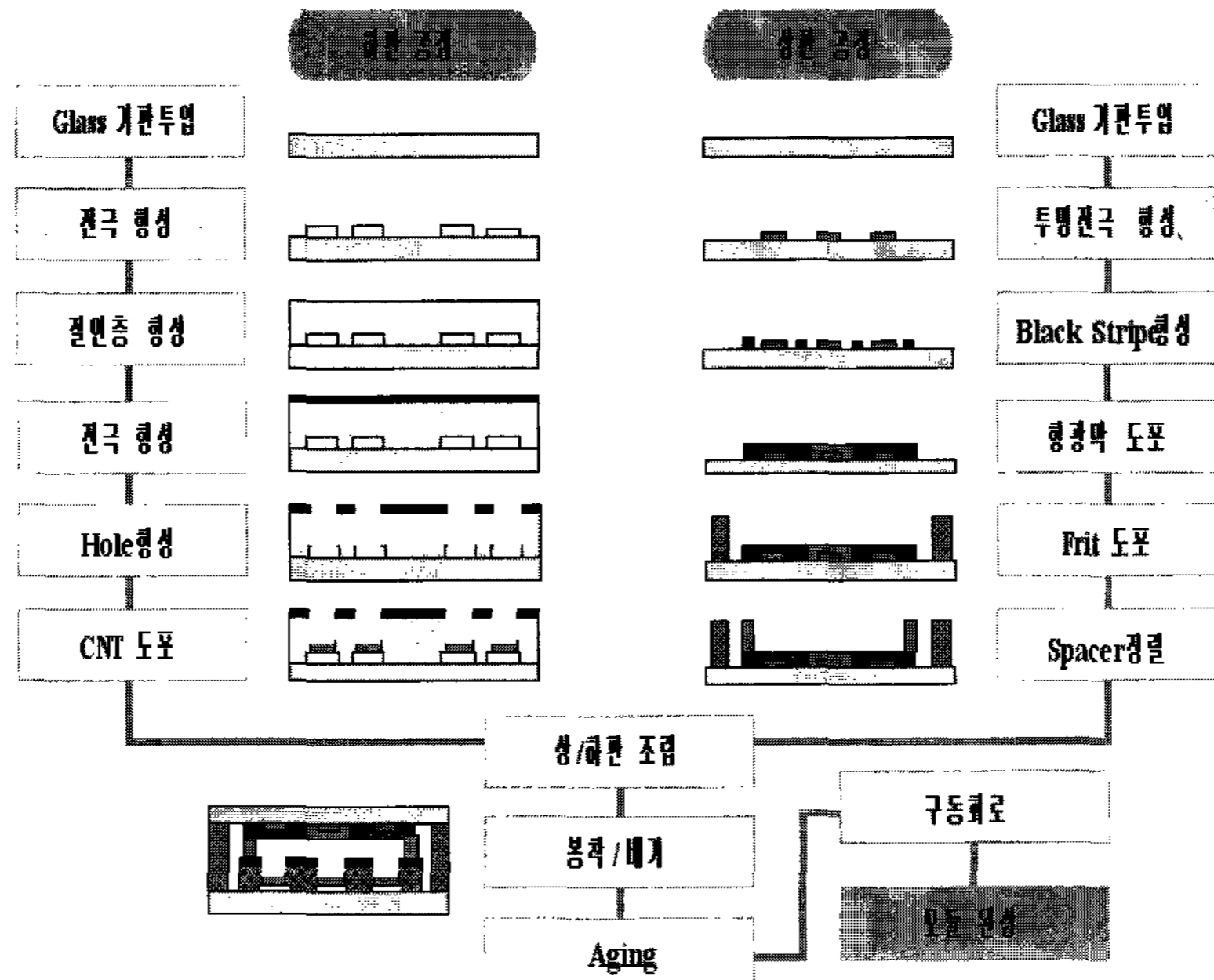
Step #	Ia/pixel (A)	Port chamber pressure(torr)	Estimated panel pressure(torr)
#1. Before seal-off	1.42×10 <sup>-6</sup>	1.6×10 <sup>-8</sup>	1.0×10 <sup>-6</sup>
#2. After seal-off	0.05×10 <sup>-6</sup>	3.9×10 <sup>-8</sup>	1.2×10 <sup>-5</sup>
#3. After getter activation	0.47×10 <sup>-6</sup>	-	2.9×10 <sup>-6</sup>

되는 것을 알 수 있다. 이로써 게터는 패널 내부에서 효과적으로 펌프 역할을 함을 확인하였다.

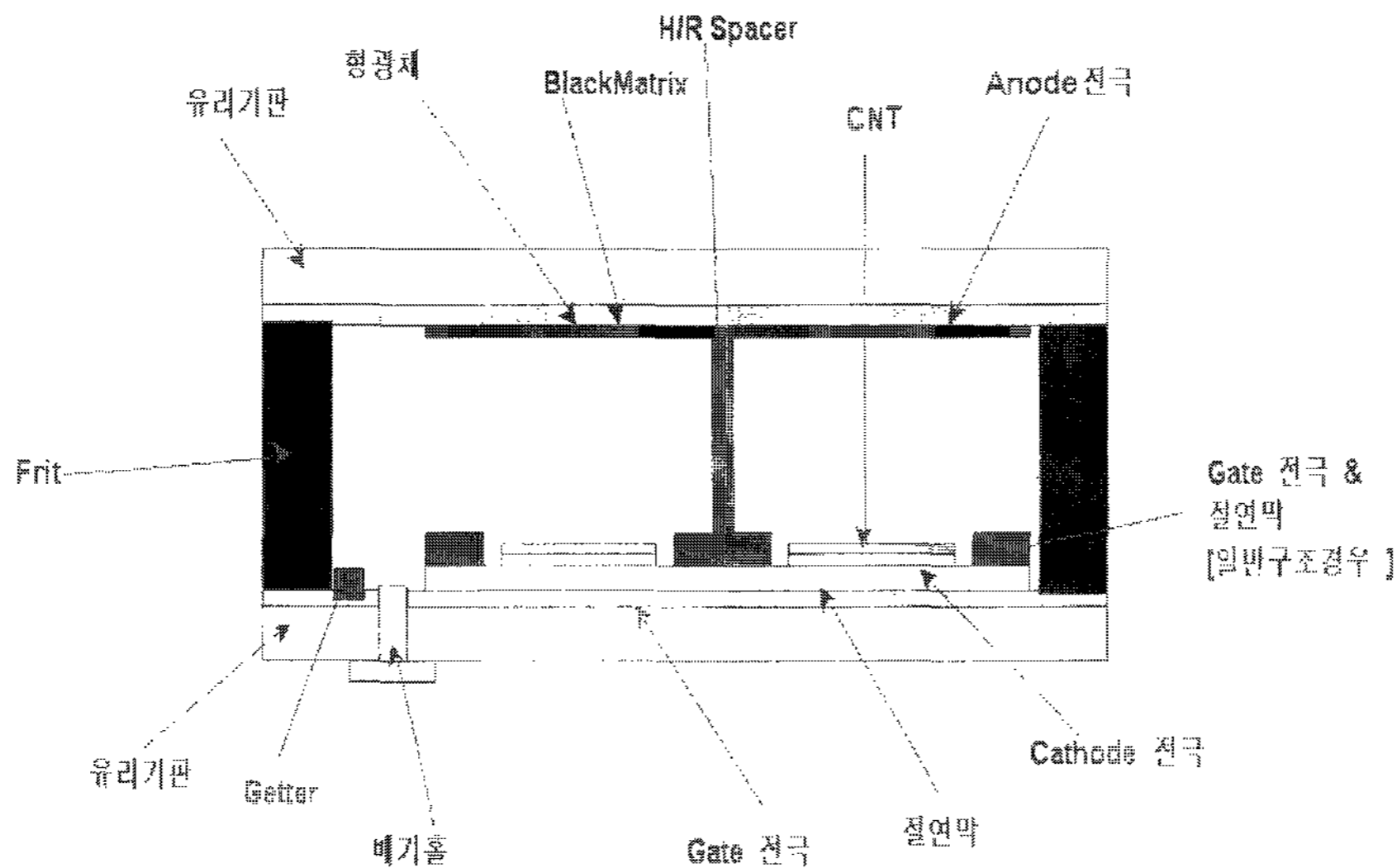
### III. 진공 인-라인(Vacuum In-line) 패키징 기술

앞의 결과에 의하면 FEA 특성이 주변 압력에 영향을 받지 않기 위해서 요구되는 진공도는 약  $3 \times 10^{-7}$  torr 이상임을 볼 수 있었다. 그러나 기존의 배기관을 이용한 진공 실장 방법으로는 이와 같은 진공도의 도달이 매우 힘들다는 것을 측정 결과나 vacuum conductance 계산 결과로부터 확인할 수 있었다. 따라서 요구되는 패널 내부 진공도를 확보하기

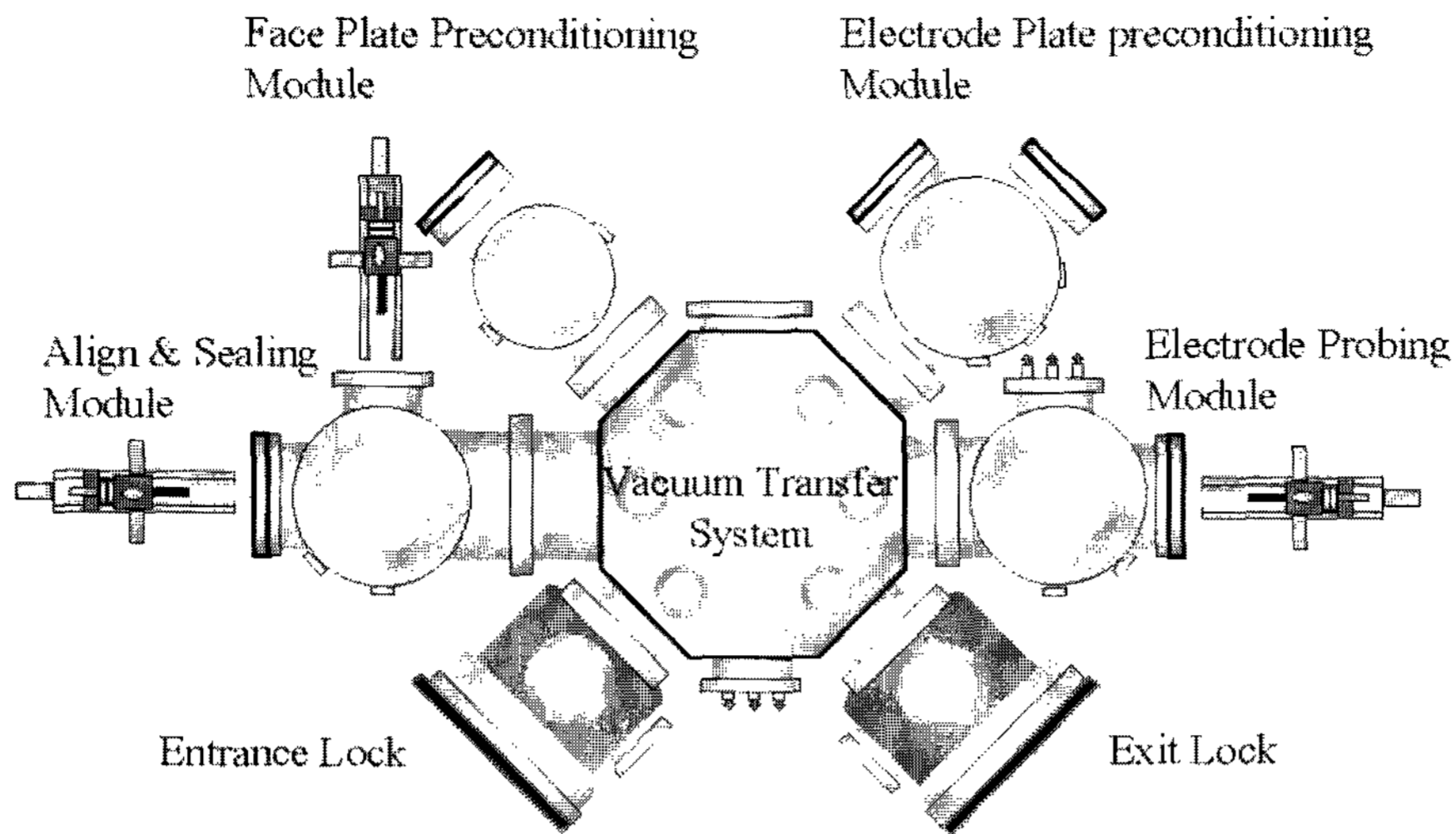
위해서는 진공 챔버 내에서 배기관 없이 실장하는 기술이 가장 이상적임을 알 수 있다. 이와 같은 기술에는 진공 챔버 내에서 아노드와 캐소드 유리판을 접착시키는 진공 인-라인 실장(vacuum in-line packaging) 기술 혹은 tubeless packaging이 있다. 이와 같은 새로운 packaging 기술은 고진공 실장의 최적의 기술로 예상되며 아울러 본소결 과정 중 몰리브덴의 산화와 같은 문제도 해결되리라 여겨진다. 그러나 실제 진공 인-라인 실장이 성공적으로 수행되기 위해서는 진공 분위기에서 frit glass를 이용한 진공 실장이 이루어질 수 있는 소재의 선택과 공정 조건의 확립이 필요하다. 또한 진공중에서 frit glass를 녹여 붙이기 위한 가열 공정 중에 패널의 구성 성분 중에서 불순물이 vapor되는 문제가 생기면 안되므로 vapor pressure가 낮은 물질의 선택도 고려되



[그림 9] 진공 인-라인 실장을 적용하여 제조되는 CNT-FED의 제조공정 흐름도



[그림 10] 진공 인-라인 실장에 의해 제조된 CNT-FED의 패널구조



[그림 11] Cluster형 진공 인-라인 실장장치의 구성도

어야 한다.

최근들어 FED의 에미터로서 각광받고 있는 CNT(카본 나노튜브)를 이용한 CNT-FED의 제조과정이 [그림 9]에 나타나 있으며, 이를 이용하여 제조된 패널구조가 [그림 10]에 보여져 있다.

진공 실장공정을 양산성 측면에서 효율적으로 적용하기 위해서는 인-라인 방식의 장치개발이 이루어져야 하며 이를 구현하는데는 cluster 형태나 linear 형태가 적합할 것으로 보인다. [그림 11]은 cluster형 진공 인-라인 실장공정 장치의 개략도를 보여주는 것이다.

#### IV. 결 론

FED는 기본적으로 진공 내에서 전계 방출에 의해 동작하는 소자로서 패널 내부가 반드시 진공으로 유지되어야 한다. FED동작 중 내부에서는 아크방전보다 코로나방전이 많이 일어나는데, 코로나방전은 공기중에서 약 30 kV/cm의 전기장에서 일어나며 전극 사이에서 전자나 이온의 흐름이 있는 일종의 플라즈마 방전이다. 코로나방전으로부터 팁을 보호해 주려면 FEA가 고진공에 놓여져야 한다. 그리고, 잔류 가스가 미세홀의 내에 있을 때 방전의 원인이 되므로 최대한의 잔류 가스를 줄여주어야 한다. 이를 위해서는 우선 배기 시 패널 내 물질의 degassing을 확실히 시켜주어야 하고, degassing은 최소 400 °C 이상의 온도에서 이루어 져야 한다. 그러나 이 정도의 고온에서는 유리가 비틀리거나 깨질 수가 있고 이로 인하여 전극이 파손될 수도 있으므로 주의해야 한다. 이와 더불어 getter를 사용하면 진공도를 향상시킬 수 있고, residual gas 효과도 줄일 수 있는데, FED의 작은 체적을 고려해 non-evaporable getter를 사용할 것으로 예상된다.

FED의 패키징 공정이 가장 이상적으로 이루어지기 위해서는 충족되어야 할 여러 요건들이 있는데, 우선 진공도가

$10^{-6} \sim 10^{-7}$  Torr 범위 내에서 유지되어야 하고, 프린트로부터의 누설율이 디스플레이용 유리 기판의 경우에 상당하여야 하며(400 °C에서  $10^{-9}$  cc/sec, 20 °C에서는  $10^{-12}$  cc/sec 수준이어야 함), 프린트와 이를 통과하는 연결 전극 간에 반응이 일어나지 않아야 한다. 실링 재료들이 이동하거나 소자를 오염시키지 않아야 하고, 상부 및 하부 기판들과 친화성이 있어 응력 등을 발생시키지 않아야 한다. 공정과 관련하여서는 가능한 저온 공정이 바람직하고, 캐소드판과 아노드판간의 정렬 및 유지가 가능하여야 하며, 패키징에 걸리는 시간이 짧아 생산성을 높일 수 있어야 한다. 아울러, 프린트 실링이 차지하는 영역이 가능한 적어 화면 영역을 최대한으로 높일 수 있어야 하며, 진공 패키징 후에 고전압에 견딜 수 있어야 한다. 현재는 tube-based 진공 패키징을 많이 사용하는데, 생산성 및 품질을 고려하면 궁극적으로는 진공내 실링 공정과 더불어 진공 인-라인실장 공정 개발이 요구된다.

기존의 고진공 실장 기술은 배기관을 챔버 port에 연결하여 배기를 함으로 배기관의 직경과 길이에 의해 발생하는 진공 컨덕턴스(vacuum conductance) 저하로 FEA에 최적의 진공도를 만들 수 없었다. 따라서 최대한 진공 챔버의 진공도와 같은 진공도를 갖는 패널을 제작하기 위해서 배기관이 없는 실장 기술인 진공 인-라인 실장이나 tubeless packaging 기술과 같은 연구가 진행되고 있다. 현재까지는 진공 인-라인 실장 기술의 단위 공정을 확립해 나가고 있다. Tubeless packaging 기술은 기초 자료를 수집하고 있으며 코바르(kovar)나 cap glass를 이용해 배기 구멍을 막는 기초 실험이 연구되고 있다. 이렇게 만들어진 FED 패널은 현재의 진공도 한계를 극복할 수 있을 것으로 예상된다. 하지만 보다 신뢰성 있는 패널을 제작하기 위해선 진공 인-라인 실장이나 tubeless packaging에 적합한 게터의 선택 및 장착과 활성화 방법, 저온에서 유리와 유리의 접착이 가능한 소재의 선택, 증기압(vapor pressure)이 낮은 소재의 선택 등이 이루어져야 할 것이다.

## 참고 문헌

- [1] D. A. Cathey, "Field emission displays", *Information Display*, pp.16-20, Oct., 1995
- [2] H. S. Uh, S. J. Kwon, and J. D. Lee, "Process design and emission properties of a gated n<sup>+</sup> polycrystalline silicon field emitter arrays for flat-panel display application", *J. Vac., Sci. Technol. B*, vol. 15, no. 2, pp.472-476, 1997.
- [3] Roth A., *Vacuum technology*, Chap. 7, sealing technology, pp.329-379, 1978.
- [4] C. A. Spindt, I. Brodie, L. Humphrey and E. R. Westerberg, "Thin-film field emission cathodes with molybdenum cones", *J. Appl. Phys.*, vol. 47, p. 5248-5256, 1976.
- [5] E. Giorgi, B. Ferrario, "High-Porosity Thick-Film Getters", *IEEE Trans. on Electron Devices*, vol. 36, no. 11, pp.2744-2747, Nov., 1989.