

FED의 진공 packaging 기술 동향

윤 상 조(LG전자 디지털 디스플레이 연구소)

I. 서 론

평판 디스플레이 시장이 최근 들어 급속히 확대되고 있다. LCD를 필두로 형성된 평판 디스플레이 시장이 PDP의 본격적인 양산 체제 돌입과 LCD의 기술 발전으로 이제는 그 경쟁의 장을 TV 시장으로까지 옮겨 기존 CRT의 아성을 위협하고 있다. 또한 모바일 단말기 시장의 확대에 힘입은 EL을 비롯한 소형 디스플레이의 등장은 평판 디스플레이 시장의 확대와 경쟁을 더욱 가속화 시키고 있다. 이에 비해 FED의 개발 속도는 그 기간에 비해 다소 더딘 감이 없지 않음이 사실이다.

일반적으로 FED의 개발 당위성을 부각시키기 위하여 FED 개발자들은 이미 시장 진입에 성공하였거나, 시장 진입 단계에 있는 이들 평판 디스플레이들과의 기술적 차별성을 강조하여 왔다. 예를 들어 LCD보다는 시야각과 반응속도에서 FED의 원론적인 우수성을 강조하였고, PDP와는 해상도와 cost에서, EL에서는 청색 형광체의 휘도 문제등을 지적하면서 각각 상대적인 강점을 부각시켰고, 많은 부분 인정되어 왔던 것이 또한 사실이다. 그러나 타 디스플레이에 비해 이러한 장점들이 부각되었음에도 불구하고 이들 디스플레이에 비해 상품화가 지연되고 있는 데에는 FED의 핵심 기술인 에미터와 진공 packaging 기술이 아직도 개발선상에 놓여있고, 그 핵심 기술의 integration 또한 완성되어 있지 않은 원인이 크다.

FED의 핵심이 되는 전자 방출원은 spindt 형

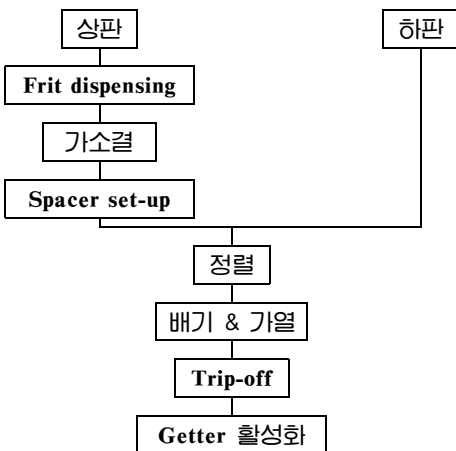
을 축으로 오랜 기간동안 개발이 진행되어 왔고 일부 업체에서는 spindt형으로 제품화 직전까지 도달하는 성과를 보였다. 그러나, 이러한 발전에도 불구하고 고온 공정시 디바이스의 산화나 열화와 같은 degradation 문제 즉, 디스플레이로서의 신뢰성에 관한 문제와, 후발 주자로서 LCD와 PDP보다 결코 쉽지만 않을 것으로 보이는 spindt형의 복잡한 공정성과 평판 디스플레이 제품군으로서의 위치와 역할에 대한 의문이 지속적으로 제기되었고, 이러한 우려는 한편으로 Diamond형, CNT형, 평면형과 같은 spindt형보다 공정이 쉽고 대면적에 유리한 에미터의 개발을 가속화시키는 양극화 모습으로 나타나게 되었다. 아직까지도 에미터에 관한한 업체나 연구 기관별로 독자적인 개발이 진행되고 있으므로 평판 디스플레이로서의 FED의 대표 모습은 어떤 형태가 될지 그 전도를 예측하기가 어려운 상황이다.

개발 초기만 하더라도 1kV 미만의 저전압형이 주된 관심이어서 저전압 형광체의 개발 또한 중요한 과제였지만, anode와 cathode의 간격을 1mm 이상 띄운 고전압형으로 최근의 경향이 옮겨가면서 CRT 상용 형광체의 단순 적용이나 일부 개선한 형태의 적용이 가능하게 되었다. 따라서 형광체 개발의 필요성은 상당히 줄어들게 되었으나, 반면에 높아진 상하판 gap에 대응하기 위한 Spacer 기술 같은 부수적인 요인이 오히려 크게 부각이 되기 시작하였으며, 대면적으로 갈수록 Spacer 기술의 난이도는 더욱 커질 것으로 전망된다. 특히 Spacer 기술과 함께 FED의 가장 큰 neck point가 되고 있는 고진공 관련 기

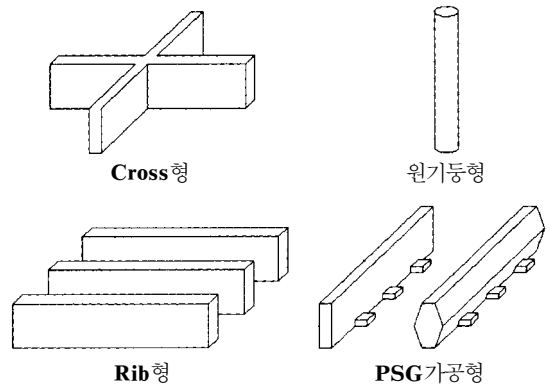
술은 에미터의 수명향상과 양산성 확보를 위해 반드시 극복하여야 하는 해결 과제이다. 따라서 본 고에서는 FED의 진공 packaging 기술을 세부 공정, 즉 panel의 진공 압력을 견디고 전기적으로 안정성을 가지는 Spacer 기술, panel 내부를 진공 leak 없이 외부와 완전히 격리시키기 위한 sealing 기술, panel 내부를 진공으로 만들기 위한 배기 기술, 진공의 panel을 장시간 동안 고진공으로 유지시키기 위한 Getter 기술별로 나누어 현재까지의 기술 동향을 파악하고, 이들 기술의 개발 방향을 가늠해 보고자 한다.

II. Spacer 기술

지금까지의 FED 배기방식은 전통적인 CRT의 tube 배기 방법과 거의 동일하며 이것은 진공이 필요한 PDP, VFD 등의 소결/배기 공정과도 유사하다. <그림 1>에 나타난 바와 같이 FED의 sealing 및 배기 공정은 모든 공정이 CRT의 것과 유사하지만 Spacer 공정은 FED만 가지고 있는 독특한 공정이다. FED에서 Spacer는 상·하판의 진공 gap을 유지하기 위하여 기계적 강도를 충분히 가져야 함은 물론이고 동시에 광학적으로 invisible하도록 재료적으로 적절히 설계되어야 한다. 또한 에미터로부터 방출된 전자 빔이 Spacer에 충돌할 때 Spacer로부터 방출되는



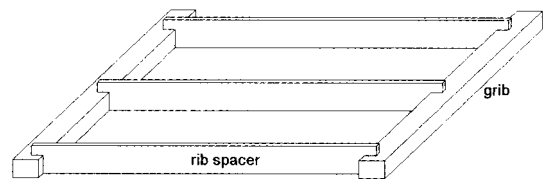
<그림 1> 전통적인 FED의 packaging 공정



<그림 2> 다양한 형태의 FED Spacer

2차 전자가 최대한 억제되어야 하며, Spacer 주변부에 쌓인 electron charge를 전기적인 path를 통해 적절히 제거하여 Electron cascade에 의한 arcing이나 정상적인 전자빔의 궤적에 방해가 되지 않도록 해야 한다. 따라서 단순히 진공 gap유지해야 하는 기계적 성능 이상의 매우 중요한 역할을 수행하여야 하며, 그 요구사항도 당연히 까다로울 수 밖에 없다. <그림 2>에 cross형 Spacer, Rib형 Spacer, 원기둥형 Spacer, PSG를 이용한 가공형 Spacer 등 매우 다양한 형태의 Spacer를 나타내었다. 이들 중에는 재료적, 기계적, 광학적 설계를 바탕으로 개발되어 이미 제품화되어 있는 것도 있고 개발 업체 자체적으로 연구되는 형태도 있다

각각의 형태는 FED용 Spacer로 장단점을 가지고 있는데, Rib형 Spacer는 형태상으로는 상판과 하판의 간격을 가장 안정적으로 유지할 것으로 보인다. 그러나 상·하판에 정확하게 수직으로 서 있지 않으면 상판의 형광체를 침범하거나 하판의 에미터를 침범할 수 있기 때문에 <그림 3>에서와 같이 Rib Spacer를 보조 Grib에



<그림 3> Grib을 이용한 Rib형의 self standing

장입시켜 self-standing이 유지되게 하는 방법이 일반적으로 사용되고 있다.

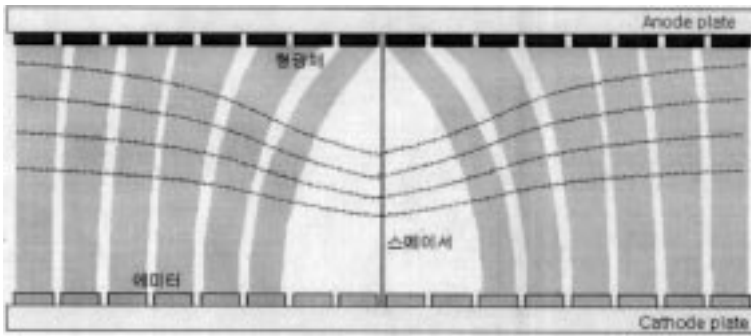
그러나 Rib형은 Self-standing이 되었다 하더라도 길이 방향으로의 bending이 또한 발생할 수 있기 때문에 상판과 하판 양쪽 혹은, 한쪽에 정밀하게 홈을 내어 길이 방향의 Spacer전체가 홈에 끼워지는 방법이나, 아예 어느 한쪽에 접합하는 방법을 적용하여야 한다. Rib의 bending을 막기 위한 홈 가공이나 접합 방법은 보조 Grib을 써서 self-standing을 유지하더라도 보조 Grib 자체의 공차에서 발생하는 미세한 self-standing 오차를 막는 역할도 동시에 하므로 유용하다. 그러나, 가장 큰 문제로는 Rib형 Spacer로 대형 panel에 적용할 수 있는지의 여부인데, 수십 um의 폭에 높이 1~2mm의 고 aspect ratio를 가지는 구조물을 수십 cm의 길이로 유지할지의 여부는 대단히 어려운 문제중의 하나이다. 이것은 PSG(Photo Sensitive Glass)를 이용한 여러 가지 형태로 가공한 Spacer 경우도 마찬가지이다. 따라서 Rib형은 self-standing과 bending을 막기 위하여 디바이스의 active 영역 내에 정밀 홈을 제작한다든지 접착물질을 도포하는 등의 방법과 보조 Grib을 추가하는 등의 많은 공정이 지적되고 있고, 대면적에 절대 불리한 구조적 문제에 대한 해답이 필요하다.

대면적 적용에 유리한 형태로는 현재로는 cross형과 원기둥 형이 가장 근접한 형태라 볼 수 있다. 이 두 가지 형태는 진공 응력을 지지해 줄 필요한 부분에만 위치시킬 수 있으므로, Rib형처럼 대형 panel에 적용할 때, bending이 된다거나 진공 배기에 불리하다는 등의 단점은 없다. 또한 cross형은 자체적으로 self-standing이 되는 구조이기 때문에 Rib형처럼 상판 혹은 하판쪽으로 형광체나 에미터 영역을 침범하는 우려도 훨씬 적을 것으로 기대된다. 따라서, Cross형 Spacer는 현재까지의 Spacer 형태 중 구조적으로 가장 안정한 형으로 평가되고 있으며 가장 많이 적용되고 있는 형태임에 틀림없다. 반면에 원기둥형은 고 aspect ratio로 갈수록 self-standing이 어려워지고 기계적 강도등에서 cross형보다 불

리하며 cross형보다 훨씬 많은 수의 Spacer가 같은 면적의 panel에 필요하게 되므로 진공배기나 수율에 좋지 않으며, Spacer 개발 초기에 잠시 개발된 후 진전이 없다.

그러나 cross형도 현재까지의 제작 기술로는 몇 가지 단점이 지적되고 있다. 그 첫째는 cross형 날개의 수직성인데, Cross형 Spacer의 한쪽 날개가 1mm 길이일 경우 cross형을 일체형으로 제작할 수 있는 현재까지의 기술로는 2° 이하의 deviation을 가지기 힘들다. 역시 현재까지의 제작 한계인 폭 50um에 기준하여 볼 때 2° deviation의 cross 날개 뒤틀림은 양쪽으로는 50um의 공간을 더 필요로 하게 되고 따라서 현재의 스펙으로는 Spacer가 놓일 BM의 공간이 align 공차까지 감안하여야 최소한 150um 이상을 확보해야 Spacer가 형광체의 침입을 막을 수 있을 것으로 보인다. 따라서 고해상도를 구현하기 위해서는 보다 정밀한 Spacer 가공 기술이 개발되어야 할 것으로 보인다.

앞서 언급하였듯이 Spacer는 단순한 진공 gap 유지의 기계적 성능 외에 Spacer로부터 2차 전자 방출이 최대한 억제되도록 재료적인 설계가 요구된다. 2차 전자 방출의 억제를 위해서는 Spacer 구조물에 2차 전자 방출 계수가 1에 가까운 재료를 코팅하기도 하고 Spacer 자체를 그러한 물질로 제작하는 연구가 진행되고 있다. Spacer 주변부에 쌓인 electron charge 또한 전기적인 path를 통해 적절히 제거하여 arcing이나 전자빔의 궤적에 방해가 되지 않도록 해야 하는데 이 경우는 단순히 Spacer의 재료나 설계뿐만 아니라 상·하판의 디바이스의 설계까지 Spacer 개념을 도입하여야 하는 매우 까다롭고 중요한 기술로서 향후 가장 심도있게 연구되어야 할 부분이다. <그림 4>는 적절히 처리되지 않은 Spacer로 인하여 전계가 왜곡이 되어 전자빔이 Spacer쪽으로 휘고 있는 개략도를 보인 것인데 실험에 의한 결과를 일러스트레이션 한 것이다. Spacer 주변의 빔은 그림처럼 전계의 왜곡에 의해 Spacer쪽으로 심하게 굽기도 하고, Spacer에 가까운 빔은 spacer에 충돌하여 심하게 산란



〈그림 4〉 Spacer 주변부의 전계와 전자빔의 왜곡

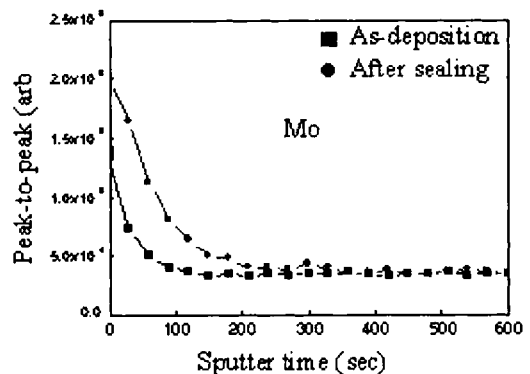
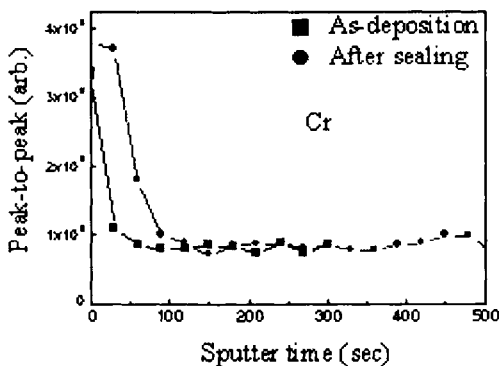
되기도 한다.

III. Oven sealing

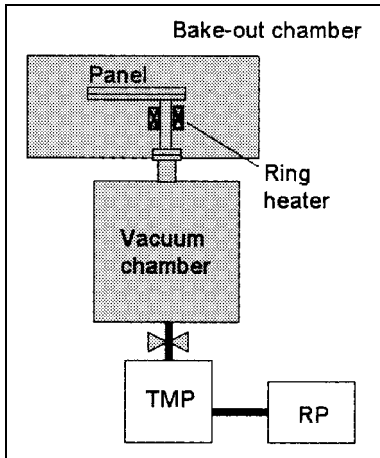
Field Emission Display의 배기와 배기 후 진공유지 기술은 현재까지 많은 방법이 제시되어 왔다. 그러나, 이러한 방법들은 CRT가 채택하고 있는 전통적인 tube 배기 방식에 근거를 하고 있어서 FED는 sealing 공정의 고온 처리 과정에서 emitter의 산화를 어떻게 효과적인 방법으로 차단하는가 하는 문제가 관건이었다. 에미터의 산화문제는 panel의 수명과 신뢰성에 직·간접적인 관련이 있으므로 전통적인 sealing 방식에서는 inert gas를 불어넣어 에미터가 산소에 노출되지 않게 하는 방법을 주로 연구해 왔다. 그러나 이러한 분위기 조성 방법도 궁극적으로 진공 분위기가 아닌 이상 산화를 완전하게 막을 수는

없다. 〈그림 5〉는 에미터 물질로 널리 쓰이고 있는 Mo와 전극 물질인 Cr의 sealing 전후 산화 정도 차이를 AES를 통하여 oxygen profile로 비교한 대표적인 예로서 예시는 430°C에서 30분 동안 N₂ flowing 분위기 하에서 sealing한 경우이다.

상업적인 측면에서는 기존 sealing process의 긴 공정 시간과 sealing시 상·하판의 misalign, 그리고 tube 길이에 의해 panel의 두께가 두꺼워지는 상품성의 문제점에 주목하고 있다. FED는 panel의 크기에 비해 배기홀의 크기가 제한적이어서 panel이 커지면 배기홀을 통한 배기 conductance는 더욱 나빠져 배기 시간이 길어진다. 이에 따라, packaging 공정 시간을 감소시키고 emitter의 신뢰성을 향상시켜야 하는 새로운 sealing 방법이 꾸준히 요구되어 왔는데, 최근 들어 이러한 문제점들을 효과적으로 해



〈그림 5〉 sealing 전후 Cr과 Mo의 AES depth profile

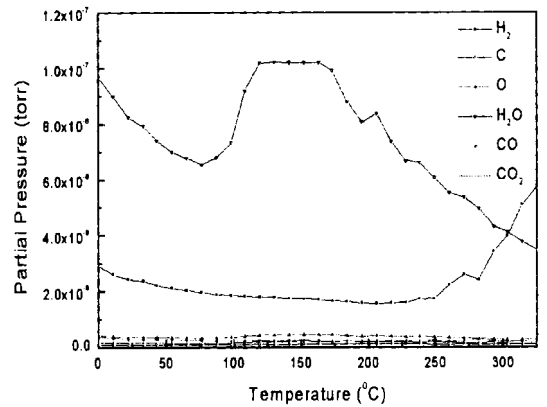


〈그림 6〉 가열 배기 공정의 장치 개략도

결하기 위한 아이디어로 곧이어 설명할 진공에서 panel을 sealing하는 방법이 많이 제시되고 있다.

가열 배기 공정은 상하판이 결합된 패널을 배기 튜브를 통하여 내부에 진공을 확보하는 공정으로서 〈그림 6〉에 일반적으로 사용되고 있는 장치의 개략도를 나타내었다. 배기계는 CRT와는 달리 고진공을 위하여 turbomolecular 펌프계를 주로 쓰고 있고, 합착/소결이 완료된 panel을 진공 pump에 물려 장시간 Pumping을 하면서 동시에 panel 내부의 불순물들을 제거하기 위하여 Bake-out chamber로 돌려 쌓인 panel을 250°C~350°C로 가열하는 것이 일반적인 공정이다.

가열 공정은 panel 내부의 불순물을 제거하기 위한 목적으로, 〈그림 7〉의 bake-out 도중 RGA (Residual Gas analyzer) data에서 보는 바와 같이 주로 H₂O나 H₂, CO₂ 등의 main outgassing원들을 제거하기 위한 공정이다. Panel의 Bake-out 공정은 이와 같은 주요 outgassing source들이 최대한 감소될 때까지 지속하여야 하며, 온도 profile의 승온 rate와 적절한 온도 step, 그리고 step의 시간과 전체 가열 시간에 따라 outgassing 효과의 차이가 많이 나타난다. 또한 가열 공정이 적절하게 설계되었다 하더라도 배기 conductance가 나빠지면 이 시간은 다시 길어질 수 밖에 없다. Bake-out이 종료



〈그림 7〉 Bake-out 공정 중 발생하는 대표적인 outgassing source

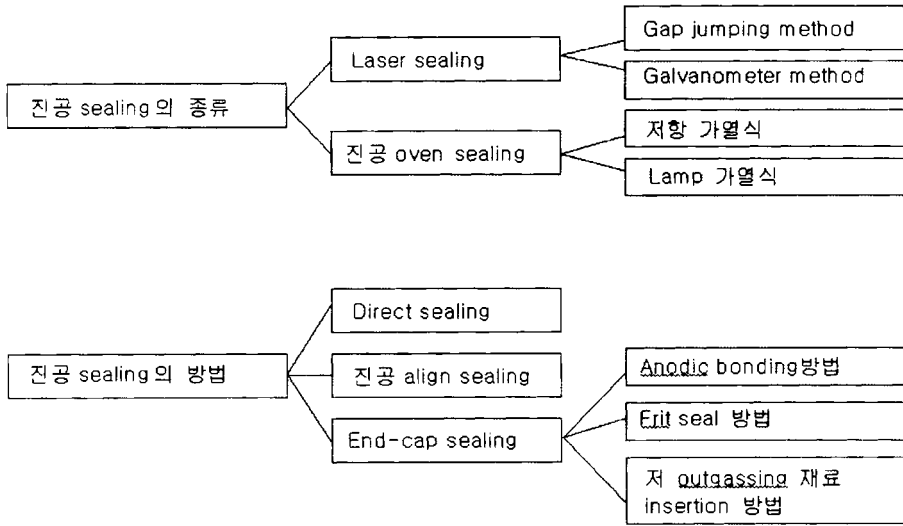
되면 Tube의 중간을 Tube 가열장치로 가열하면서 잘라내 (pinch-off 공정) panel을 chamber와 격리시킨다.

기존 packaging 공정은 이와 같이 많은 단계의 공정을 거쳐야 하며, 그 단위 공정이 단독으로도 긴 공정시간을 요구하므로 양산에 매우 불리하게 작용한다. FED가 상업적으로 이점을 가지려면, 이와 같이 많은 공정으로 이루어진 공정의 단순화가 필요하다. 이에 따라, packaging 공정 시간을 감소시키고 emitter의 신뢰성을 향상시켜야 하는 새로운 sealing 방법이 꾸준히 요구되었으며, 최근 들어 이러한 문제점들을 효과적으로 해결하기 위한 아이디어로 진공에서 panel을 sealing하는 방법이 많이 제시되고 있다.

IV. 진공 sealing

현재까지 제시되었거나 일부 시도되고 있는 진공 Sealing 방법은 〈그림 8〉에 보는 바와 같이 사용하는 열원에 따라 레이저 sealing과 thermal sealing으로, 또한 열원의 종류에 관계없이 sealing 공정 방법에 따라 Direct sealing, 진공 align sealing, end-cap sealing 등으로 나누어 생각할 수 있다. 각각의 방법에 대해 아래에서 간략하게 알아보기로 한다.

진공 sealing의 아이디어로 가장 먼저 제시된 방법은 레이저를 이용한 frit 부위의 국부적인



<그림 8> 진공 sealing 방법의 분류

Process	Conventional Oven sealing	Laser sealing	비 고
Pre-firing	<ul style="list-style-type: none"> • N₂, Ar 분위기 • 공정온도 : 300~350°C 공정시간 : 4~5h 	<ul style="list-style-type: none"> • N₂, Ar 분위기 • 공정온도 : 300~350°C 공정시간 : 4~5h 	
Post-firing	<ul style="list-style-type: none"> • N₂ 또는 Ar 분위기 • 최종온도 : 400~450°C 공정시간 : 6~8h 	<ul style="list-style-type: none"> • 분위기 온도 : 300~350°C • Seal : 5~10분 (5.3" 기준) • Chamber 진공도 : ~middle 10⁻⁷ Torr • Activation : RF, 저항가열, laser 가열 3공정동시 : 6~8h 	• Emitter 산화방지 저온 sealing
배 기	<ul style="list-style-type: none"> • 분위기 온도 : 250~350°C • chamber 진공도 : <low 10⁻⁷ Torr 공정시간 : >8h 		• 진공 확보 시간 단축
Getter Activation	<ul style="list-style-type: none"> • RF, 저항가열, laser 가열 500°C—10분 		
Tip-off	필요함	필요 없음	

<그림 9> Conventional Oven sealing과 진공 laser sealing의 비교

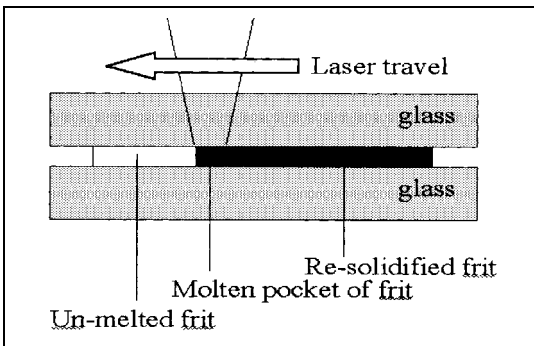
sealing 방식이다. 레이저에 의한 sealing은 <그림 9>에서 보는 바와 같이 oven sealing에서 독립적으로 진행되던 본소결 공정과 배기/가열 공정을 동시에 진행하려는 목적에서 출발하였으며 공정 시간을 크게 줄일 수 있는 장점이 있다. 또한 Frit 부분만 부분적으로 레이저를 이용하여 가열하므로 특히 열에 취약한 구조나 산화에 취약한 구조의 에미터에는 매우 유용한 방법이다.

여러 가지 보고된 자료에 의하면, panel 전체에 가해지는 온도를 300°C까지 낮추어도 레이저에 의해 부분적으로 가열되는 frit과 panel의 thermal stress를 극복할 수 있는 것으로 알려져 있기 때문에 실제적인 sealing 온도는 300 내외에서 가능할 것으로 보인다.

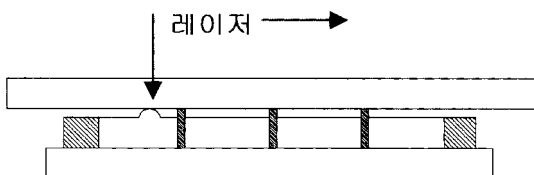
레이저 sealing은 최종 seal 공정을 직접 control하여야 하기 때문에 국부적으로 에너지가

전달되는 sealing mechanism을 잘 이해하고 공정을 설계할 필요가 있다. 레이저에 의한 sealing 도중의 frit 상태는 3가지의 상태 즉, 레이저로 이미 sealing한 re-solidified 부분, 현재 sealing이 진행되고 있는 molten pocket 부분, sealing이 진행될 un-melted 부분으로 나뉘게 되는데, 이 세 부분의 가스결 후 초기 frit 높이에서 어느 한 부분이라도 허용치 이상의 높이가 편차가 발생하면 레이저 진행방향으로 그 부분에서의 seal이 이루어지지 않게 되거나, seal 중 들뜸 현상이 발생하여 레이저 진행 방향으로 그 들뜸이 연속 진행하게 된다(〈그림 10〉).

따라서 Frit 표면의 편평도와 높이가 편차가 매우 중요하며, 일반적인 dispensing에 의한 frit path의 형성 방법은 레이저에 의한 공정의 완성도를 높이기 어렵다. Gap jumping method로 알려진 laser sealing 방법은 이러한 문제를 해결하기 위하여 frit을 성형된 형태로 만들어 편평도와 높이가 균일도를 최대한 유지하도록 하였고, frit의 전체적인 높이를 목표하는 gap보다 50um 가량 낮은 상태에서 frit이 용융될 때의 점성을 상관까지 끌어올리는 방법을 이용하고 있다.



〈그림 10〉 Laser sealing의 frit 소성 mechanism

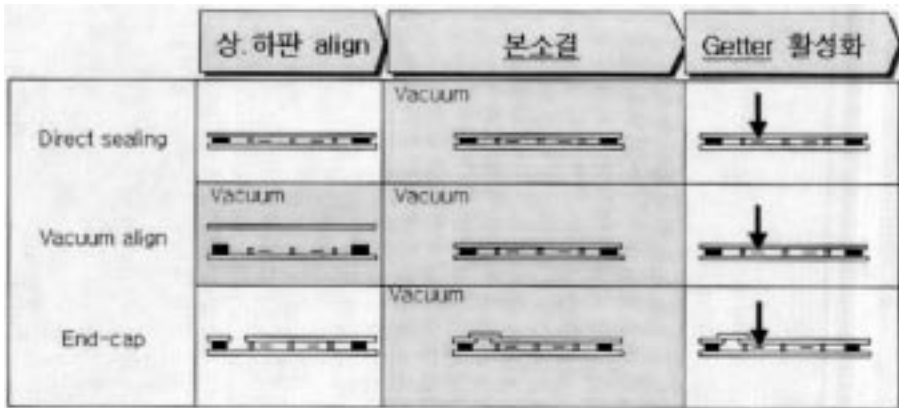


〈그림 11〉 Gap jumping method

한편, laser 빔을 빠르게 스캔하면서 frit path 전면의 온도를 균일하게 상승시켜 소성하는 Galvanometer 방법은 gap jumping 방법을 개선한 좋은 방법으로, 이 방법은 dispensing을 통해 목표 gap보다 수십 um 이상의 높이로 형성된 다소 거칠고, 편평하지 못한 frit의 표면을 ov n sealing의 최종 sealing 형태처럼 구현해 낼 수 있을 것으로 보인다. 그러나, 레이저 방법에 있어서는 수율 개념에서의 thermal stress와 gap 조절 문제를 해결해야 하는 과제가 남아 있다.

대기 중 oven sealing 공정을 그대로 진공 분위기에서 수행하려는 진공 oven sealing은 레이저 방법이 가지고 있는 thermal stress와 gap 조절 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대되는 방법으로 현재 국내에서 활발히 연구중인 분야이다. 진공 oven sealing은 사용하는 heater에 따라 저항 가열식, lamp 가열식으로 나눌 수 있는데 온도 균일도면에서는 저항 가열식이 lamp 가열식보다 구현이 우수한 것으로 보이며 복사에 의한 열전달 측면에서는 lamp 가열식이 저항 가열식 우수하여 레이저 sealing처럼 국부적인 가열 효과가 있다. 그러나 sealing된 panel의 내구성과 재현성은 heater의 종류에 크게 상관없는 것으로 보인다.

공정의 방법에 따라 분류한 Direct 진공 sealing 방법은 대기 중에서 align된 상·하판을 그 상태로 진공 속에서 이송, sealing하는 방법으로 이 공정의 장점은 열원이 레이저든 저항 가열식든 진공 속에서 별도의 align 장치가 필요 없어 공정이 무척 손쉽다는 것이다. 그러나 panel 내부의 evacuation이 오로지 frit과 상·하판 glass 사이의 좁은 통로로만 이루어지게 되므로 배기 conductance가 나빠 배기 시간이 길어지게 되고, Frit의 소결 과정에서 frit으로부터 방출되는 outgassing이 panel 내부에 trap되어 panel의 초기 진공을 고진공으로 확보하기 어려운 단점이 있다. Direct 진공 sealing 방법에 의해 충분한 배기 시간을 통해 sealing된 panel의 초기진공은 약 low 10⁻⁴ Torr 정도이다.



〈그림 12〉 진공 sealing의 여러가지 방법

Direct 진공 sealing의 초기 진공도 향상과 배기 시간의 단축을 위하여 시도되고 있는 또 다른 방법으로 상판과 하판을 일정한 간격만큼 띄운 상태로 진공으로 로딩하여 sealing이 이루어지기 전까지 그 간격을 유지하다가, sealing이 이루어지는 온도가 도달할 순간에 align하여 seal을 완성하는 이른바 진공 align sealing 방법이 제안되고 있다. 이 방법은 Direct 진공 sealing 방법보다 panel의 초기 진공도와 배기 시간에는 유리할 것으로 보이지만 진공에서 align하는 장비 문제를 해결하여야 한다. 또한 상, 하판이 띄워져 있는 상태에서 충분히 frit을 outgassing시키지만, seal 되는 순간 이후로 발생하여 panel 내부에 차게 되는 outgassing은 direct sealing 방법에서와 마찬가지로 해결과제로 지적되고 있다.

따라서 진공 sealing에서는 열원에 상관없이, direct sealing이든 진공 align sealing이든 seal 공정이 완료된 이후에 발생하는 outgassing을 미리 준비되어 있던 상판이나 하판의 hole을 통하여 배기한 후 최종적으로 hole만 seal하는 end-cap 방법이 가장 효율적인 진공 sealing의 방식이 될 것으로 전망하고 있다. 〈그림 12〉에서 보는 바와 같이 최종 end-cap 공정은 sealing 공정이 완료된 후 충분한 배기 시간을 거쳐 panel 내부의 진공이 초기 진공까지 회복한 후 이루어지므로 end-cap 공정에서 심각한

outgassing이 없다면 panel 내부의 진공은 상당히 우수할 것으로 예측된다. End-cap 공정에는 일반적인 sealing 재료인 frit glass를 그대로 적용하는 방법과 frit glass에서 발생할 수 있는 outgassing마저 제거하기 위하여 제시되고 있는 anodic bonding, 그리고 seal 공정 후 전혀 온도 상승이 필요 없는 저 outgassing 물질의 hole 내 insertion 방법 등이 제시되고 있다.

이러한 모든 방법들은 최근에 제시되고 개발되고 있는 방법들이어서 해결해야 할 많은 과제들이 있는데 진공 seal에 부합하는 frit 재료의 개발은 대부분의 진공 sealing에서 frit의 bubble 문제가 발생하는 바, 개발의 시급성이 가장 크다고 할 수 있고, seal의 접합력 문제, 진공 및 outgassing을 측정하는 측정 기술 등도 아울러 깊이 있는 연구가 필요한 시점이다.

V. Getter 처리 기술

FED는 동작 중에 다량의 가스가 방출될 수 있으므로 getter의 활성화 없이 장시간의 고진공 유지는 불가능하다. panel 내부에 Getter를 실장시킨 후 활성화시켜 화학 흡착을 통하여 방출되는 가스를 제거하는 공정은 panel 내부를 고진공으로 유지시키기 위한 FED의 필수 공정이다. 이러한 Getter의 panel 내부 실장은 panel의 gap이 작기 때문에 실장되는 위치에 따라

panel의 설계가 달라질 수도 있고, Mini-pump로서의 배기 conductance가 달라지기 때문에 panel의 진공에도 영향을 끼친다. 따라서 실장 위치가 위에서 언급한 Sealing 공정과 활성화 방법, 그리고 Panel의 형태에 따라 다양한데 oven sealing에서는 tube 속에 실장하는 것이 일반적이다.

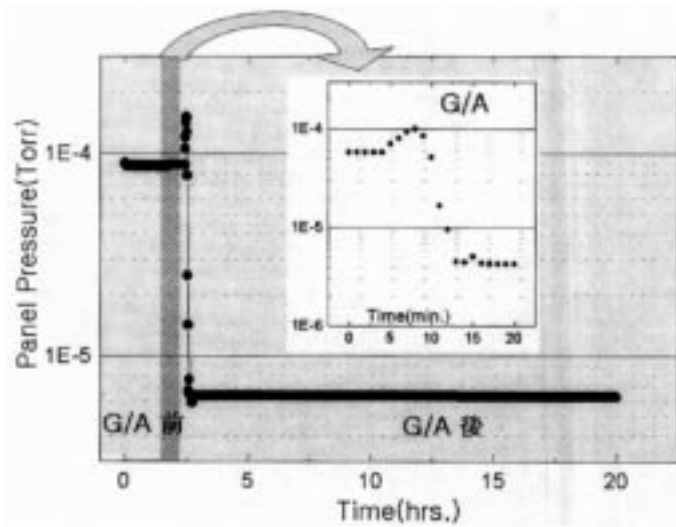
Tube 속에 실장된 getter는 대기 중의 고온 공정을 거치지 않기 때문에 대개 RF를 통하여 매우 안정적으로 활성화를 할 수 있다. 그러나, Getter의 흡착효율을 높이기 위하여 Getter를 panel의 상·하판 가운데에 실장할 경우는 frittability가 있어야 사용 가능하다. Getter의 frittability란 getter를 대기 중에서 일정 온도 이상 가열하여도 getter의 흡착 능력에 손상이 발생하지 않아야 함을 말하므로, 진공 sealing에서는 frittability의 의미가 없다. Panel 내부에 실장하는 Getter는 Getter의 실장 위치가 Active Area에 가깝기 때문에 Non Evaporable 특성을 또한 만족하여야 한다. Evaporable Getter는 활성화시 active 내 emitter나 형광체 소자 위로 확산되기 때문에 FED에서는 부적합하므로 panel 내부용으로 getter의 evaporation 차단 구조가 없다면 FED에서는 반드시 non evaporable getter를 써야 한다. 간혹 Evaporable Getter를 사용한 예를 찾아볼 수 있는데, 주로 cathode glass 뒷면에 별도의 getter room을 설치하여 다량의 Evaporable Getter를 실장하기 때문에 진공 확보에 유리하나, Getter room을 이중 sealing해야 하는 다소 복잡해지는 공정

이 단점으로 지적된다. Panel 내부라는 공간적 제약 때문에 Getter는 HPTF(High porosity Thick Film) Getter이면 유리하다. 최근의 고전압형 FED에서는 굳이 HPTF일 필요성은 줄어들었으나, ST121/ST122 정도이면 Getter의 두께가 250um여서 panel 내부에 다양한 형태로의 장착이 용이하다. SAES社에서 제공하는 Getter중에 위에서 언급한 FED용으로의 요구조건을 만족하는 종류로는 <그림 13>에서 보인 ST301, ST175, ST121, ST122 정도인데, 활성화 온도와 형태 등에 제약을 받아 FED에 적용하기 위한 선택의 폭은 그리 넓지 않다.

FED에서 주로 이용되는 HPTF는 두께가 얇기 때문에 oven sealing의 경우 tube 속에 실장하여 RF 처리가 용이하며, tube가 필요없는 진공 sealing에서는 laser를 이용하여 활성화가 또한 가능하다. Getter를 활성화시키는 방법으로는 저항 가열법도 있는데 Getter와 연결되는 전극을 Frit path를 관통하여 외부에서 인가해야 하기 때문에 공정이 복잡하므로 잘 쓰이지는 않고 있다. 최근에는 panel 내부에 실장된 getter의 활성화를 위하여 getter에만 집중적으로 에너지를 전달할 수 있는 레이저 활성화법이 많이 연구되고 있는데, <그림 14>는 진공 sealing한 panel을 laser로 활성화하여 진공을 확보한 경우로서 Getter를 Panel 내부 공간에 실장하여 panel 바깥쪽에서 laser를 scan하면서 panel 내부의 실시간 진공 변화를 보인 것이다. 현재까지의 Getter 기술로는 RF나 laser 활성화 기술

Getter	Type	Structure	Activation 온도	Typical activation	Frittability
ST301	Normal	Bulk	High	700°C/30 min 900°C/30 sec	○
ST175	Normal	Bulk	Low	500°C/10 min	○
ST121	Porous	HPTF	Low	500°C~750°C/15 min	○
ST122	Porous	HPTF	Low	350°C/3 hrs 500°C/10 min	○

<그림 13> SAES(社)의 FED용 getter



〈그림 14〉 레이저에 의한 getter 활성화시 실시간 진공 변화

모두 초기 panel의 진공도를 low 10^{-6} Torr까지 유지하도록 하는데 큰 어려움은 없을 것으로 보인다. 그러나 장시간의 고진공을 유지하기 위해서는 getter 기술 역시 panel의 형태와 sealing 방법에 따른 각각의 흡착 효율과 Getter량에 대한 정확한 분석과 최적화된 설계가 필요하며, 동작중의 outgassing 등에 대한 보다 세밀한 접근이 요구되고 있다.

VI. 결 론

지금까지 FED 진공 packaging 기술의 개발 현황을 핵심기술과 세부공정을 중심으로 알아보았다. FED는 핵심 기술이 모두 개발되어 본격 양산에 들어가기만 하면 평판 디스플레이 시장의 판도를 뒤바꿀 수 있는 차세대 디스플레이임에는 이론의 여지가 없다. 그러나, 우수한 성능에도 불구하고 이 분야를 선도할만한 획기적인 개발성과가 아직 가시화 되지 않아 시장 진입이 지연되고 있으며, 특히 상용화 직전에서 걸림돌로 작용하고 있는 packaging 기술의 담보 상태는 LCD

와 PDP와의 격차를 더욱 더 멀어지게 하는 느낌마저 들게 하고 있다. 따라서 지금까지의 packaging 기술이 연구실 레벨의 단위공정 개발 위주였다면 이제는 LCD와 PDP 등과 겨루어 본격적인 시장 경쟁에서도 뒤지지 않은 양산 개념의 기술 개발이 이루어지지 않으면 안될 시점이라 할 수 있을 것이다. 이런 시점에서 양산 개념을 도입한 진공 sealing 공정이라든지 한층 전문화되고 있는 Spacer의 개발, 그리고 고전압형 FED 개발과 같은 최근의 동향은 PDP나 EL 등에 비해 상대적으로 침체되어 있는 FED에 활력을 불어 넣어 주고 있으며, 특히 몇몇 업체들의 양산 계획 소식은 FED의 상용화 시점이 그다지 멀지 않았음을 충분히 보여주고 있어 매우 고무적이다. 특히 에미터와는 달리 packaging 분야에서는 독보적인 기술을 확보하고 있는 곳이 아직 없는 관계로 따라서 앞으로 누가 먼저 신뢰성 있고 우수한 packaging 기술을 개발하고 이것을 패널 제작까지 이어갈 수 있을 것이냐가 시장 선점의 열쇠가 될 것으로 보인다.