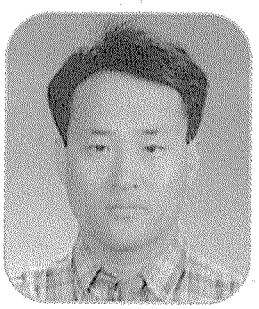
평판 디스플레이의 새로운 진공 패키징 기술 동향



주병권 선임연구원

〈한국과학기술연구원 정보재료·소자연구센터〉

1. 머리말

2000년대를 기점으로 하여 고도의 정보화 시대로 들어서면서 정보와 인간을 연결시켜 주는 마지막 정거장 역할을 하는 디스플레이 기술의 사회 및 경제적인 중요성은 더 이상 강조할 필요가 없다.

디스플레이 시스템 기술의 발전이 급속히 이루어짐에 따라 별도의 공간으로부터 책상 위로, 책상 위로부터 사람의 손이나 허리 등으로 정보 기기의 이동이 일어나며 수 년 내에 정보는 집이나 사무실에 보관하는 것이 아니라 들고 다니는 것으로 보편화될 것이다.

이와 같이 정보의 휴대화를 위해서는 정보 기기의 소형화와 저전력화가 필수적이며, 거의 모든 정보 기기에 부착되는 디스플레이의 초소형 및 초박형화, 그리고 저전력화는 반드시 이루어져야 한다.

이러한 배경하에서 디스플레이, 특히 패널 부분의 두께를 줄이고, 패키징 공정을 보다 청결하고 단시간 내에 할 수 있도록 본 연구팀에서는 평판 디스플레이 패널의 새로운 패키징 방법을 적용하여 오고 있으며, 이로부터 얻어진 결과들을 간단히 소개하고자 한다.

본 연구팀에서 개발되어온 관련 기술의 정확한 명칭은 〈정전 열 접합을 이용하는 디스플레이의 진공 패키징 공정〉으로 일컬을 수 있다.

정전 열 접합이란 후술하겠지만 두 장의 유리 혹은 반도체 기판을 접착 재료를 사용하지 않고 전기적인 힘(정전력)으로만 접합하는 방법이며, 진공 패키징이란 디스플레이 패널의 내부를 진공으로 만드는 패키징 공정을 의미한다.

이로부터 알 수 있듯이 접합 재료를 사용하지 않으므로 패널 내부 등이 매우 청정하고, 기판에 의해 밀봉을 하므로 튜브를 이용하는 구조에 비해 패널의 두께가 감소하게 된다.

응용도를 보면 패널 내부가 진공으로 유지되어야 하는 평판 디스플레이, 즉 PDP(Plasma Display Panel),

FED(Field Emission Display), 그리고 VFD(Vacuum Fluorescent Display) 등에 사용이 가능할 것으로 예상된다.

본고에서는 정전 열 접합 방법, 버퍼용 및 봉입용 캡 등을 중심으로 한 평판 디스플레이용 진공 패키징 기술을 PDP 응용한 일례를 통하여 간단히 소개하고자 한다.

2. 유리 기판들간의 정전 열 접합

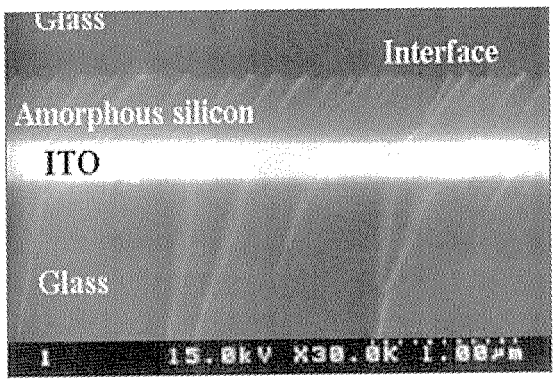
본 연구팀에서 개발된 유리-유리 기판들간의 정전 열 접합 방법(미국 특허출원번호 제09/226,749호, 미국 특허등록번호 제6,007,397호)은 1960년대 후반에 미국의 Mallory사에서 고안된 유리-금속 간의 정전 열 접합 방법(미국 특허등록번호 제3,397,278호)을 개선한 것이다.

즉, **(그림 1)**에 보인 바와 같이 비정질 실리콘 막이 증착된 유리 기판을 다른 유리 기판과 맞닿도록 한 다음 이를 약 200~250℃의 온도에서 가열하게 되면 유리 내부에 있는 원자들(나트륨, 리튬 등)이 이온화된다.

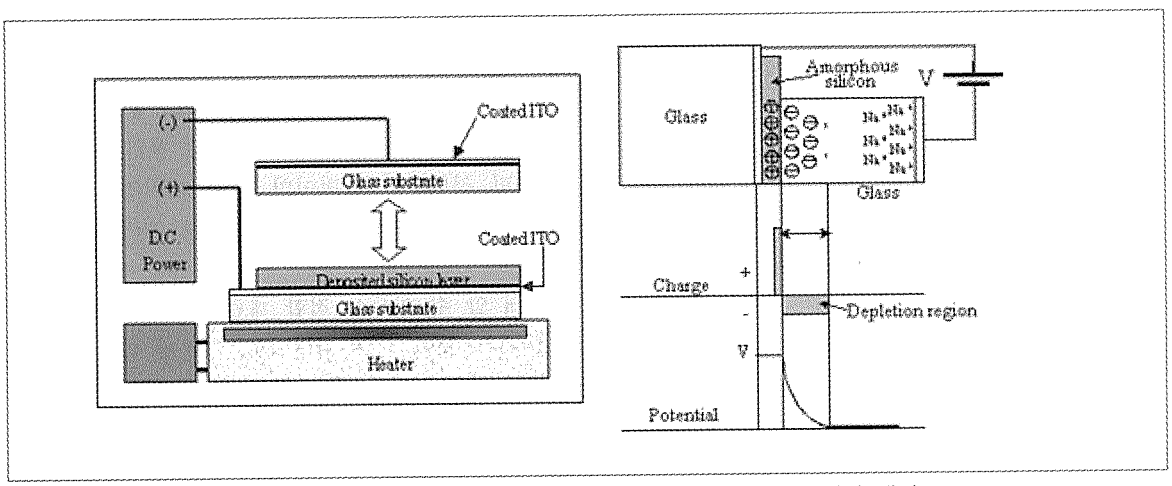
이 상태에서 한 쪽 유리 기판에 200 ~ 250 V에 해당하는 직류 전압을 인가하게 되면 생성된 양이온들이 음극 쪽으로 밀려가면서 두 개의 유리 기판 사이에는 고정되어 있는 음이온들(산소)과 비정질 실리콘의 상대적인 양전하(실리콘)들간에 강한 정전력이 발생하여 기판들간에 접합이 일어나게 된다.

전압을 유지한 상태에서 온도를 낮추면 이온들이 더 이상 움직이지 못하게 되어 결과적으로 두 기판은 정전력에 의하여 계속 끌어 당겨지며 결과적으로 두 유리기판의 계면에서 Si-O-Si 결합을 이루며 접합된다.

이러한 공정을 거쳐 접합된 두 장의 소다라임 유리 기판에 대해 주사전자현미경(SEM)으로 단면을 관찰한 사진을 **(그림 2)**에 보였다.



(그림 2) 정전 열 접합된 두 장의 유리 기판의 단면 SEM 사진



(그림 1) 유리 기판들간의 정전 열 접합을 위한 공정도와 접합 개념도

3. PDP 패키징 응용

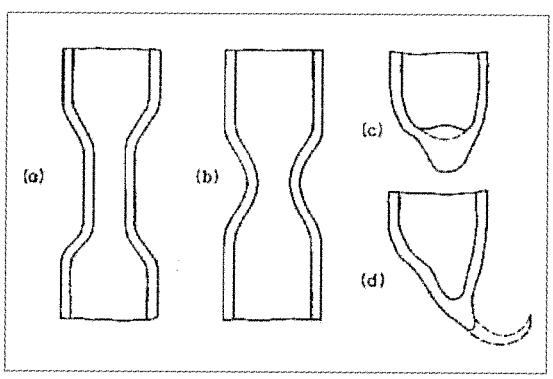
유리-유리 간의 정전 열 접합을 PDP 패키징에 응용할 수 있는 부문으로는 봉착(sealing)과 봉지(tip-off)가 있으며, 봉착은 상부 기판과 하부 기판을 맞닿도록 하는 것이고 봉지는 하부 기판에 형성된 배기홀을 진공 배기 후에 막아주는 과정을 말한다.

봉착의 경우 기판의 가장자리에 유리 프릿을 두른 뒤 기판을 맞닿게 하여 열처리를 하는 과정을 거치는데, 열처리 온도도 400~450℃로 높아 냉각 과정에서 패널의 균열을 초래하여 패널 내부의 요소들에 손상을 주기도 하고, 또한 열처리 과정에서 프릿 내로부터 유기물이 소성되면서 나오는 기체가 패널의 내부를 오염시켜 성능을 저하하는 요인이 되기도 한다.

봉지의 경우에는 하부 기판에 연결된 배기용 유리관을 통하여 열처리 및 배기 과정(pump-out) 과정을 거치다가 패널 내부의 진공도가 일정 수준에 이르렀을 때 유리관을 부분적으로 가열시켜 절단하면서 막아주는 공정(tip-off)을 거친다.

예를 들어 **(그림 3)**은 배기용 유리관의 봉지 과정에서 가열되는 부분이 폭이 좁아지다가 절단되는 과정을 보인 것이다.

이러한 봉지 방법을 사용할 경우 하부 기판에 부착되어 있는 절단된 배기관으로 인하여 돌출된 부분이 존재할 뿐만 아니라 배기관이 절단되면서 발생하는 기체들이 패널 내부로 유입되어 주요한 오염원이 된다.



(그림 3) 배기용 유리관의 가열에 의한 절단 과정

물론 진공 내에서 상부 및 하부 기판을 유리 프릿을 이용하여 바로 봉착함으로써 봉지 과정 자체를 없애거나(vacuum in-line packaging), 혹은 봉착된 패널의 하부 기판에 형성된 구멍을 유리 프릿에 의해 다른 유리 기판으로 막음으로써 유리관을 없애는 연구(tubeless packaging)가 수행되고는 있다. 그러나 아직 까지는 유리 프릿과 관련된 고온 공정 및 기체 오염원 발생, 프릿과 기판 간의 응력 등의 문제점들로 인하여 그 효용성이 입증되지 못하고 있다.

본 연구팀에서 고안된 정전 열 접합을 이용한 PDP의 봉지 공정은 **(그림 4)**에 보인 개념도를 통하여 설명될 수 있다.

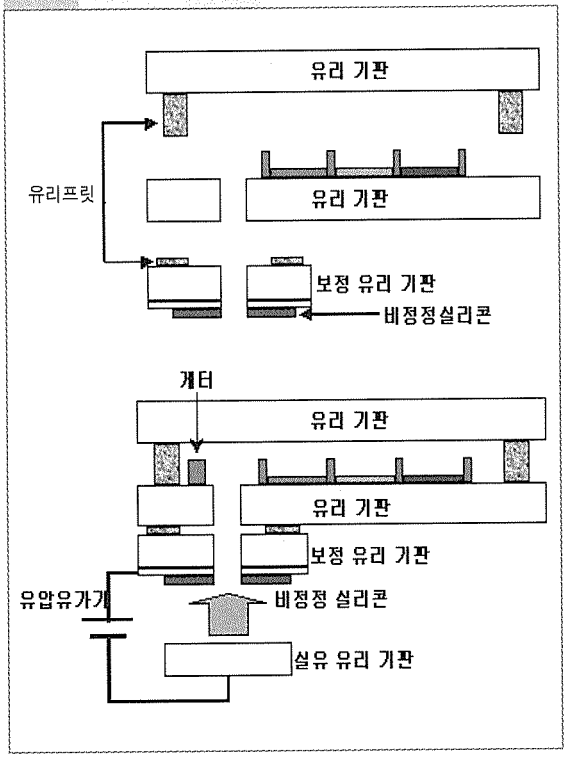
즉, 패널 내부의 구조가 완성된 상부 기판과 하부 기판을 유리 프릿을 사용하여 봉착하는 과정에서 하부 기판의 구멍에 버퍼용 캡(하부 기판과 동질로 구멍이 가공된 유리 기판)을 역시 유리 프릿을 사용하여 함께 소성한다.

이 때 버퍼용 캡의 뒤면에는 정전 열 접합을 위하여 필요한 비정질 실리콘 막이 증착되어 있다. 소성 과정에서 프릿으로부터 발생하는 기체 오염원은 하부 기판의 구멍을 통하여 외부로 배출되며, 소성 과정을 거친 뒤에 봉지용 캡(하부 기판과 동질의 유리 기판)을 버퍼용 캡과 정전 열 접합한다. 버퍼용 캡은 접합을 위해 필요한 비정질 실리콘 막을 패널의 하부 기판 전체에 증착하여야 하는 번거로움을 덜어주는 역할을 한다.

상술한 공정을 이용하면, 배기관을 없앨 수 있을 뿐만 아니라 배기관 절단 과정에서 생기는 기체 오염원 유입 문제를 해결할 수 있다.

또한 배기관이 없어짐으로써 배기 컨덕턴스가 증가하고 접합 공정이 10분 내에 완료되므로 공정 시간의 단축과 현재 사용하고 있는 2차 봉지 공정이 불필요하게 된다.

제안한 공정의 실용성을 평가하기 위하여 PDP 테스트 패널의 봉지에 적용하여 보았다. 사용된



(그림 4) 정전 열 접합을 이용한 PDP 봉지 공정의 개념도

PDP 패널은 대각선 크기 3.6인치의 소형 칼라 패널로, 내부의 동작 영역의 구조와 버퍼용 캡과 봉지용 캡을 사용한 정전 열 접합에 따른 봉지 공정도를 **(그림 5)**에 나타내었다.

진공 챔버 내에서 프릿 공정-잔류 기체 배기-게터 활성화 등의 과정을 거친 뒤 패널의 하부 기판에 형성되어 있는 구멍을 통하여 PDP 용 기체(Xe + Ne + He)가 패널 내부로 유입되도록 하였다.

PDP 기체 유입에 따라 패널 내부의 진공도가 400 Torr 정도가 되면, 마지막 공정으로 버퍼용 캡과 봉지용 캡을 사용하여 정전 열 접합 방식으로 봉지 과정을 마무리지었다.

사전 실험으로써 PDP 패널 내에 PDP 용 기체를 주입하지 않고 정전 열 접합으로 봉입한 뒤 봉지가 완료된 PDP 패널의 내부 진공도를 SRG(Spinning Rotor Gauge)를 사용하여 평가하였다.

평가 결과 10-4 Torr의 내부 진공도가 저하되지 않고 500 시간 이상으로 유지되는 점으로 보아 정전 열 접합된 봉지용 캡이 확실한 밀봉성(hermeticity)을 갖는 것으로 판단할 수 있다. 상술한 공정을 거쳐 제조된 PDP 패널이 동작하는 모양(전면 발광)을 **(그림 6)**에 보였다.

아울러, **(그림 7)**은 제작된 PDP 패널의 지속적인 동작에 따른 구동 전압의 변화를 나타낸 것이다. 즉, 시간이 경과하면서 구동 전압이 현저히 낮아지고 있음을 볼 수 있으며, 10시간 이후부터 200V의 firing 최대 전압과 150V 의 sustaining 최대 전압에서 포화되어 안정적으로 동작하기 시작함을 확인할 수 있다.

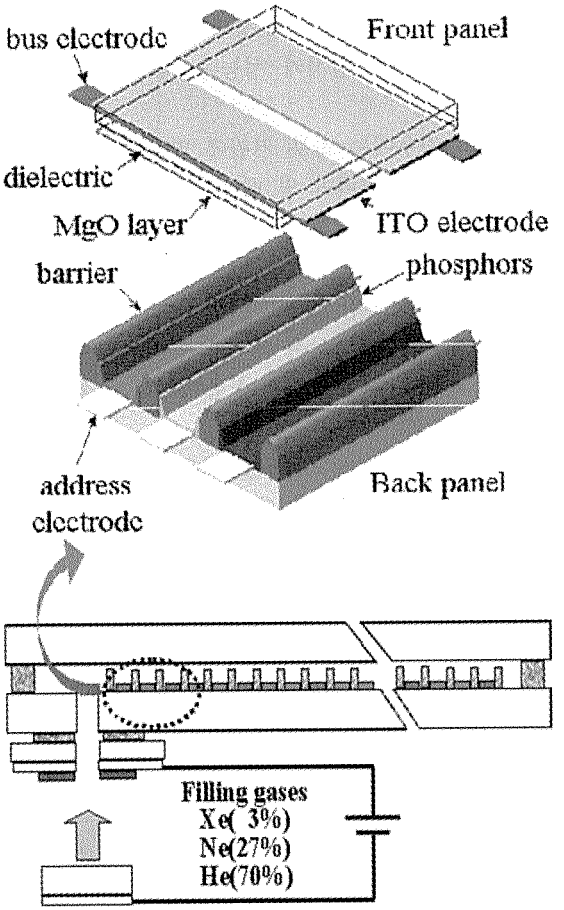
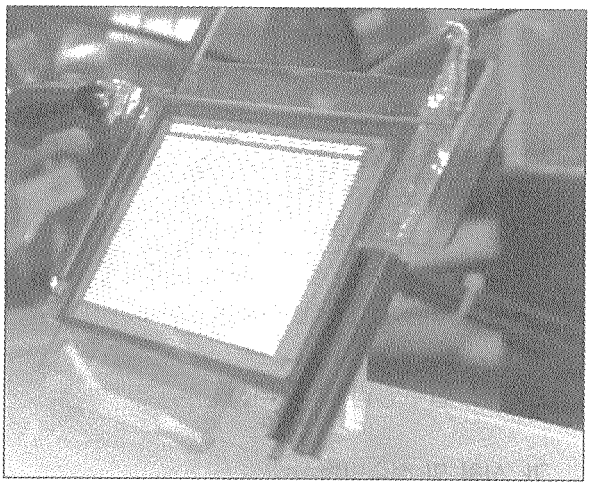
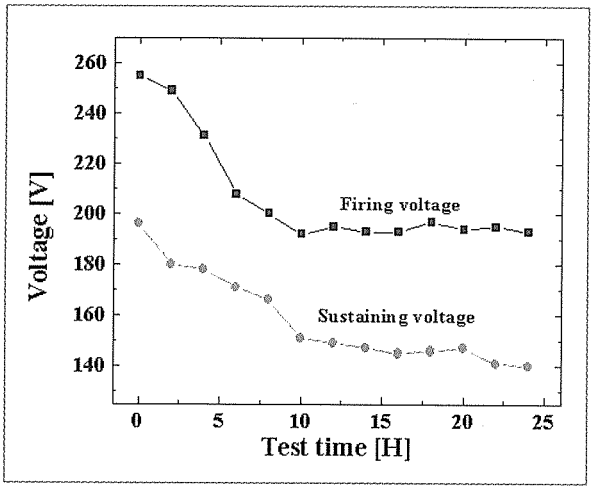


그림 5. 3.6인치 칼라 PDP 테스트 패널 내부의 동작 영역의 구조(위)와 정전 열 접합에 따른 봉지 공정도(아래)



(그림 6) 정전 열 접합에 의해 배기관이 없이 봉지된 PDP 테스트 패널의 동작 모양



(그림 7) 초기 동작 시간의 경과에 따른 구동 전압의 변화

4. 맺음말

본 연구팀에서 고안한 유리-유리 간 정전 열 접합과 이를 이용하여 PDP 패널을 배기관 없이 진공 패키징 한 일례를 소개하였다.

이 원고에서는 접합 공정의 간단한 소개와 PDP 응용 일례만 다루었지만 〈진공 패키징〉과 〈평판 디스플레이〉의 연계를 공고히 하기 위해서는 여러 가지 제반 기술들이 뒷받침되어야 한다.

본 연구팀에서 이와 관련하여 수행되고 있는 연구 주제들로는 유리 뿐만이 아닌 금속이나 반도체 등의 정전 열 접합 공정 및 계면 평가, SOI(Silicon-On-Insulator) 기판 제조, 진공 패키징과 관련된 프릿 및 게터 공정이나 진공도 측정, VFD(Vacuum Fluorescent Display)의 패키징 방식을 따른 대기압 환경하에서의 진공 패키징, 진공-정전 열 접합용 장치 제작, 그리고 진공 패키징의 MEMS(Micro-Electro-Mechanical Systems) 및 마이크로 센서 응용과 FED 응용 등을 들 수 있다.

상술한 내용과 관련하여 보다 상세한 이해가 필요할 경우 〈월간「전자부품」 1999년 1월~2월호 : "MEMS/FED Packaging 기술 동향"〉을 참조하기 바란다.