

플라즈마 디스플레이의 기본 구조 및 동작원리



황기웅
(서울대학교 전기공학부 교수)



서정현
(서울대학교 전기공학부 박사과정)

1. 서론

최근 들어 급속히 정보화 사회로 진입하면서 정보전달을 위한 다양한 디스플레이 소자에 대한 필요성이 증가되고 있다. 지금까지 거의 모든 분야에서 CRT(Cathode ray tube)가 사용되어 왔으나 대형화, 경량화 및 평면 박형화에 한계가 있어 다양한 분야에 응용하는데는 어려움이 있다. 이러한 문제를 해결하는 방안으로 여러 가지 대체 평판 디스플레이 소자에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 대표적인 소자들로는 액정을 이용한 액정표시기(Liquid Crystal Display)와 전장 발광형 표시기(Electro-luminescent Display), 플라즈마 디스플레이(Plasma Display Panel: PDP) 등을 들 수 있다. 이 중에서도 PDP는 다른 표시소자들에 비해 대형화와 평면 박형화가 용이하고, 넓은 시야각을 가지고 있어 차세대 벽걸이형 고선명 텔레비전(HDTV)을 목표로 활발한 연구가 진행되고 있다. 현재 PDP의 연구를 주도하고 있는 일본과 한국의 경우에는 양산체제를 갖추어 부분적으로 상품화가 진행되고 있으며, 2000년 후반에는 일본에서, 또 2001년 중반에는 한국에서 본격적인 양산에 들어갈 것으로 전망된다.

본 논문에서는 PDP의 구조적인 특성과 동작원리에 대하여 살펴보고, 최근의 기술동향에 대해 간략하게 살펴보고자 한다.

2. 본론

2.1 PDP의 정의와 분류

PDP는 1mm^3 이하의 좁은 공간에서 기체 방전 시에 발생하는 플라즈마로부터 나오는 빛을 이용하여 화상을 표시하는 소자이다. PDP는 전압인가를 위해 사용되는 전극이 플라즈마에 직접 노출이 되어 있는 직류형(DC형)과 전극이 유전체로 덮여 있는 교류형(AC형)으로 크게 분류된다. PDP 연구의 초기에는 직류형 PDP에 대한 연구가 주류를 이루었으나 최근에는 교류형 PDP에 대한 연구가 중점적으로 이루어지고 있다. 그림 1(a)는 직류형 PDP의 셀 구조를 나타내고 있다. 직류형 구조는 전극이 방전에 직접적으로 노출되어 있어 전극을 통해 전도 전류가 흐르게 된다. 일반적으로 기체 방전의 특성상 전극이 플라즈마에 직접 노출되어 있으면 glow 방전이 arc 방전으로 전이하게 되는 문제가 생길 수 있다. 따라서 직류형 PDP는 방전전류를 제한하기 위한 저항이 필요하다. 또한 직류형 PDP는 방전현상의 특성상 한 개의 셀을 어드레스하여 방전을 발생시키면 그 라인의 전위가 저하해서 동일한 라인의 다른 셀을 방전시킬 수 없게 되며, 이 결점을 개선하기 위해서는 모든 방전 셀에 저항을 붙여서 방전전류를 제어하고 방전의 발생에 의한 전위의 저하를 어드레싱한 각각의 셀에만 국한 할 필요가 있다. 따라서 직류형 PDP는 각 셀의 내부에 저항을 삽입하는 구조를 가지고 있게 되며, 이는 제조 공정상 상

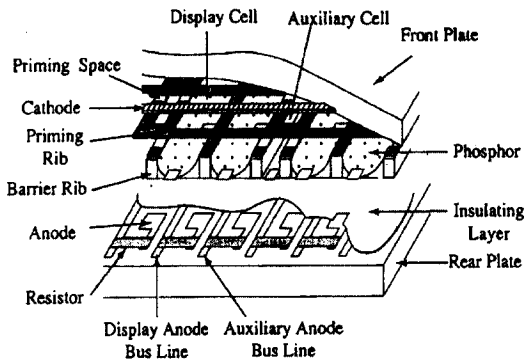


그림 1 42인치 DC PDP의 패널 구조

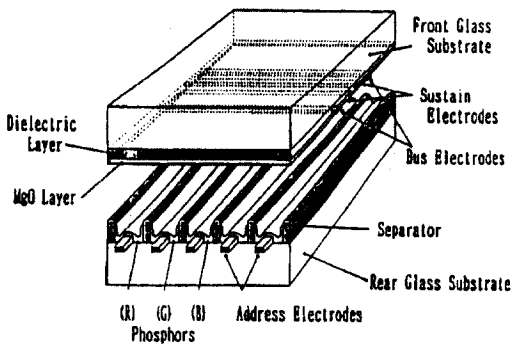


그림 2 3전극 면방전형 AC PDP의 기본구조

당히 어려움을 안겨 주게 된다.

직류형 PDP와는 달리, 교류형 PDP는 전극이 유전체로 덮여 있기 때문에 방전이 발생하면 양극 위의 유전체 표면에는 전자가 쌓이고 음극 위의 유전체 표면에는 이온이 쌓여서 외부에서 인가한 전압을 차폐하여 방전전류를 제한하게 된다. 따라서 직류형 PDP에서와 같은 셀 내부의 저항이 필요 없게 된다. 또한 교류형 PDP는 유전체가 플라즈마에 노출되어 있으므로 플라즈마의 이온 충격으로부터 유전체를 보호하기 위하여 유전체 위에 보호막을 필요로 하며, 현재 널리 쓰이고 있는 보호막 물질로 MgO가 있다. 보호막 물질은 내 sputter 특성도 우수해야 하지만, 이온에 의한 이차전자 방출계수도 높은 물질이어야 한다. Townsend의 방전에 의하면, 이차전자 방출계수가 높을수록 방전전압을 낮출 수 있는 장점이 있다.

직류형 PDP는 구조적으로 복잡할 뿐만 아니라, 효율면에서도 교류형 PDP에 비해 떨어지기 때문에 최근의 연구 추세는 교류형 PDP로 넘어간 실정이다. 따라서 앞으로는 교류형 PDP에 중점을 두어 방전 특성과 구동 방식에 대해 설명하고자 한다.

2.2 방전 특성

2.2.1 발광 메카니즘

단색 PDP에서는 Ne에서 방출되는 오렌지광을 이용할 수 있지만, 칼라 PDP에서는 Red, Green, Blue의 삼원색을 구현해야 하기 때문에 진공자외선을 이용하여 R, G, B의 형광체를 자극하여 칼라를 구현하게 된다. 따라서 진공자외선(200nm 이하의 짧은 파장)을 방출할 수 있는 고효율의 가스가 필요하다. 초기의 PDP 연구에서는 형광램프의 UV 가스로 많이 사용되던 수은(Hg) 가스를 채용하였으나, PDP에 이용하기 위한 높은 증기압을 얻기 위해 상온보다 훨씬 높은 온도가 요구되기 때문에 바람직하지 않다. 이외에도 H₂, D₂, CO, CO₂ 등이 검토되었다. 그러나 분자 가스의 경우는 방전의 초기에는 불활성 가스보다 훨씬 강력한 UV를 방출하지만, 방전이 진행되면서 단원자 가스로 분해되기 때문에 효율이 떨어지는 단점이 있기 때문에 최근에는 Xe 가스를 UV 소스로 사용하고 있다.⁽¹⁾ 그러나 순수한 Xe 가스만을 사용할 경우에는 방전전압이 매우 높아지기 때문에 He-Xe이나 Ne-Xe 등의 혼합가스가 주로 사용된다. 그림 3은 He-Xe(5%)의 조건에서 방출되는 진공자외선의 스펙트럼 분포와 Xe의 에너지 준위를 나타내고 있다. 147nm에서 높은 peak를 보여주는 빛은 Xe

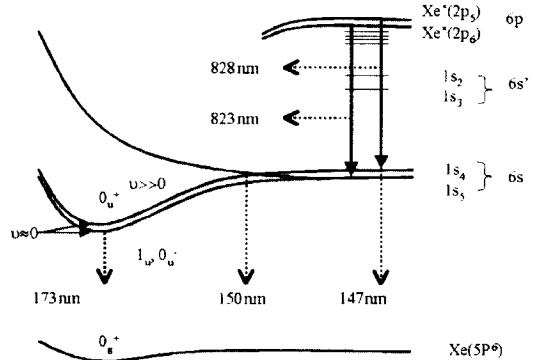
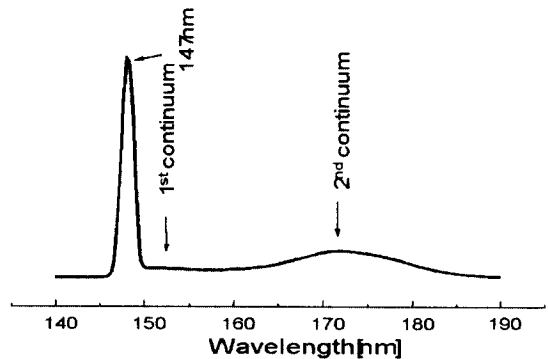
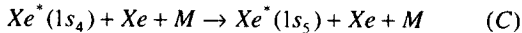
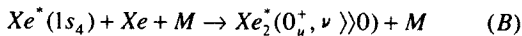
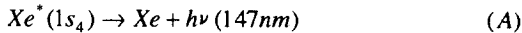


그림 3 VUV spectrum과 Xe의 에너지 준위

의 가장 낮은 공명준위(resonance level)에서 방출되는 VUV이며, 150nm~200nm 근방까지 넓은 영역의 스펙트럼은 Xe의 분자선에서 방출된 VUV이다.^[2]

플라즈마가 발생되면 전자들에 의해 Xe의 많은 준위의 여기종들이 생성된다. 높은 에너지 준위의 여기종들은 다른 입자와의 충돌이나 spontaneous emission에 의해 낮은 여기준위로 천이한다. 6S 궤도 이상의 준위에 존재하는 여기종들의 수명(natural lifetime)은 대부분 수 nano-second이며, 이들이 높은 압력의 가스 내에 존재할 경우에는 충돌에 의해 더 짧은 수명을 갖게 된다. 따라서 높은 에너지 준위(6S)에 존재하는 종들은 분자 여기종을 생성 (시정수:~수μsec)하기 보다는 낮은 준위로 천이하면서 소멸된다. 결국 Xe의 6S궤도가 가장 낮은 여기준위이기 때문에 높은 에너지준위들은 대부분 Xe의 6S 궤도로 천이하게 된다. 그리고 6S 궤도 중에서도 6s' 보다는 6s 궤도로 천이한다.

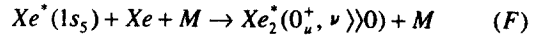
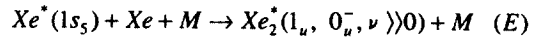
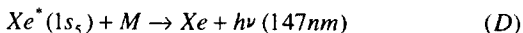
위와 같은 과정을 통해 생성된 6s 궤도의 여기종들은 진공자외선을 방출하거나 다른 중성입자와의 충돌을 통해 소멸하는 과정을 겪는다. 1s4 준위는 크게 아래의 3가지 경로를 통하여 소멸되며, 각각의 반응은 방전조건에 따라서 그 중요도가 달라지게 된다.



M: Xe 이나 다른 입자 (He 또는 Ne)

Xe^* 에서 방출되는 147nm의 광자는 다른 Xe 원자에 의해 흡수되는 성질(Radiation trapping)을 가지고 있다. 따라서 반응식 (A)의 반응계수는 Xe의 밀도에 의존하며, PDP에서는 대체로 $\sim 10^6$ /sec의 값을 갖는다. 반응식 (B)와 (C)는 3체 충돌(three body collision)반응으로서 압력의 제곱에 비례하며, He-Xe(5%) 300Torr의 조건에서 $\sim 5 \times 10^5$ /sec의 반응계수 값을 갖는다. 반응식(B)에 의해 $Xe^*(1s_4)$ 은 150nm를 방출하는 분자 여기종을 생성하고, 반응식(C)에 의해 준안정 상태로 천이 된다. Xe의 혼합비가 낮거나 압력이 낮을 때는 보통 반응식(A)가 우세하지만, Xe의 부분압이 증가하거나 전체적인 압력이 증가할 경우에는 반응식 (B)와 (C)의 비중이 점점 커져 진공자외선의 방출에 큰 영향을 미치게 된다.

$Xe^*(1s_5)$ 는 $Xe^*(1s_4)$ 과 같은 경로로 생성된다. 그러나 $Xe^*(1s_5)$ 는 준안정 상태이기 때문에 직접적으로 진공자외선을 방출하지는 못하며, 아래의 3가지 경로를 따라서 소멸하게 된다.



M: Xe 이나 다른 입자 (He 또는 Ne)

$Xe_2^*(0_u^+, \nu)0)$ 과 $Xe_2^*(1_u, 0_u^-, \nu)0)$ 은 1차 연속선을 방출하거나, 충돌이완(collisional relaxation)과정을 통하여 더 낮은 에너지 준위로 천이하여 2차 연속선을 방출한다.

2.2.2 방전 형성 메카니즘

AC PDP의 동작 특성을 이해하고 새로운 셀구조나 구동방식을 개발하기 위해서는 AC PDP의 방전 특성에 대한 정확한 이해가 필요하다. 그러나 PDP의 방전이 매우 좁은 영역에서 일어나기 때문에 방전 특성을 정확하게 진단하기가 매우 어렵다. 따라서 직접적인 측정보다는 셀에서 방출되는 VUV나 IR(Infrared)의 시공간적인 변화를 살펴보거나 수치해석을 통하여 간접적으로 확인하는 방법이 이용되고 있다. 특히, IR은 $Xe^{**}(6P)$ $Xe^*(6S)$ 로 천이하면서 방출되는 빛으로써 전자에 의해 생성된 후에 매우 빠른 시간에 감쇄하기 때문에 전자에의 거동을 가장 잘 반영한다.

그림 4는 ICCD(Image intensified charge coupled device)를 이용하여 측정된 IR과 VUV의 시공간적인 변화를 나타내고 있다.^[3] 실험에 사용한 전극의 폭은 각각 460μm이며 전극간의 간격은 80μm으로 설계하였고, 25%의 duty ratio와 12μs의 주기를 가지는 전압을 t=0μs에 양극(anode)에 인가하여 시간에 따른 발광 형상의 변화를 측정하였다. 이 실험에서 인가되는 전압은 약 150ns에서 180ns 정도의 rising time을 가졌고, 전압이 0V에서 상승하기 시작하는 순간을 기준으로 경과시간을 표시하였다.

방전의 형상은 먼저 양극 쪽에서 발광이 시작되어 점차 음극면 위로 이동하게 된다. 음극에서는 전극의 가장자리로 방전이 점점 넓어져 가면서 그와 동시에 양극 쪽에서 강한 발광이

그림 4 IR과 진공자외선의 시공간 분포(실험)

관측되었다. 이러한 방전의 양상은 수치해석을 통하여 보다 잘 이해되어질 수 있다.^[4] 수치해석 결과에 의하면, 방전의 초기에 음극 쪽에서 출발한 전자는 avalanche 과정을 통해 중성입자를 이온화시키면서 양극면에 도달한다. 따라서 이 과정에서는 양극면 위에 가장 많은 전자가 존재하고 이 영역에서 이온화 반응과 여기반응이 가장 많이 발생하기 때문에 방전 초기에는 양극면 위에서 발광이 시작된다. 시간이 흐름에 따라 양극면 위의 이온의 밀도가 매우 높아지게 되고 이온들이 서서히 음극 쪽으로 이동하면서 음극과 이온들간에 강한 전계가 형성되어 강한 방전 영역이 음극 쪽으로 이동하게 된다. 결국 음극면 위에서 가장 강한 방전이 발생하고 여기서 생성된 전자들이 서서히 양극쪽으로 이동하면서 양극위에서 강한 발광을 생성시킨다. 음극쪽으로 이동한 이온들이 음극극의 안쪽 유전체 면에 쌓이면 공간에 양전하들은 다시 바깥쪽의 이온이 쌓이지 않은 영역으로 이동하면서 음극면 위에서의 발광이 바깥쪽으로 넓게 퍼지게 된다. 음극 유전체 위에 쌓인 이온과 양극 유전체 위에 쌓인 전자들이 외부에서 인가된 전위를 상쇄시키면서 방전은 꺼지게 된다.

이 때에 유전체 위에 쌓인 벽전하는 극성이 반대인 전압에 의해 소거되지 않는 한 꽤 오랜 시간을 소멸하지 않고 남아 있게 되는데, AC PDP의 구동에 매우 중요한 역할을 하게 되며, 이와 같은 특성을 메모리(memory)기능이라고 한다.

그림 5는 AC PDP에서 단위 펄스가 인가되었을 때의 기본적인 방전물성을 그림으로 도시한 것이다. AC PDP에서는 방전전류가 흐르면서 유전체에 쌓인 벽하에 의해 방전이 매우 짧은 시간 내에 끝나는 특성을 나타낸다. 그림에서 회로전류는 초기에 전압이 인가될 때에 capacitor(방전셀)를 충전하기

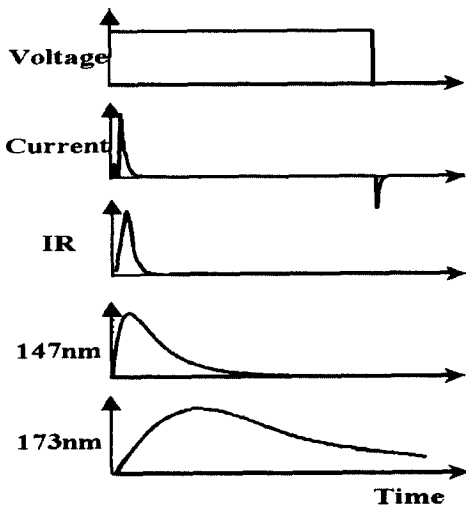


그림 5 AC PDP에서 단위펄스 인가 시에 전류와 IR 및 진공자외선의 시간적인 변화

위해 흐르는 변위전류이며, 그 뒤에 늦게 흐르는 전류는 방전에 의한 방전 전류이다. IR은 매우 빨리 감쇠하며, VUV는 생성된 여기종의 시간적인 특성 때문에 다른 변수에 비해서는 좀 더 느린 감쇠 특성을 나타낸다.

DC PDP에서도 진공 자외선의 발광 메카니즘이나 방전 초기의 과정은 AC PDP와 같은 과정을 겪는다. 그러나 DC PDP는 방전 초기가 지나면서 셀 내에 삽입된 회로저항에 의해 전류가 제한되면서, 펄스가 인가되는 동안에 계속해서 전류가 흐르고 진공자외선이 방출되는 특성에 차이가 있다.

2.3 구동 방법

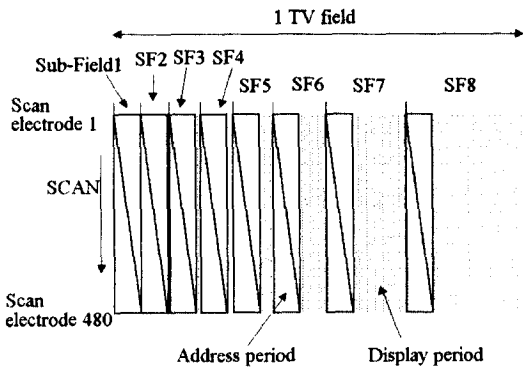
디스플레이 소자의 구동은 소자의 특성을 고려하여 최상의 휘도와 효율, 명암비를 등이 얻어지면서 제조(gray scale) 표시가 가능해야한다. PDP의 경우에는 DC PDP와 AC PDP의 구동이 각각 다르며, 어떤 구조를 갖느냐에 따라서도 그 구동 방법에 차이가 있다. PDP의 구동은 켜고자 하는 픽셀(pixel)을 선택하는 과정(addressing)과 선택된 셀의 방전을 유지하는 과정(sustain), 한번 켜진 방전셀의 상태를 소거하는 과정으로 이루어진다. 일반적으로 DC PDP는 소거하는 과정이 필요 없고 AC PDP에서 유전체 위에 쌓인 벽전하를 제거하기 위한 과정이다. 여기서는 AC PDP의 구동에 대해 살펴보고자 한다.

2.3.1 ADS(Address Display Separated) 구동방식^[5]

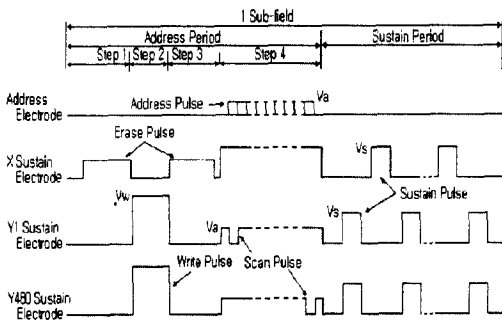
초기 AC PDP의 구동은 벽전하에 의한 메모리 효과를 이용하지 않는 Refresh 형 구동이 사용되었으나, 제조 표현의 한계로 현재는 사용되지 않고 있다. 최근에 가장 널리 이용되고 있는 구동 방법은 ADS 방식이다. 이 방식은 벽전하의 메모리 기능을 이용하면서 256계조를 구현할 수 있다.

동화상을 어떤 디스플레이 소자의 화면위에 구현하기 위해서는 1초당 60개 이상의 화상 frame을 연속적으로 표시해야 한다. 또한 24bit (R:8bit×G:8bit×B:8bit)의 색상을 가지는 화상을 표시하기 위해서는 모든 셀을 256단계(8bit)의 gray scale로 빛의 양을 조절하여야 한다. 이러한 1초당 60개의 화상 frame과 256계조의 gray scale을 갖는 동화상을 PDP 상에서 나타낼 때, 각각의 frame은 시간적으로 완전히 분리되어 있으므로, 한 frame을 1/60초 동안에 어떻게 구현하는지를 알면 PDP의 구동을 이해하게 된다.

그림 6(a)는 세로 방향으로 480개의 셀이 있을 때에 하나의 TV 화면을 구현하기 위한 ADS 방식의 라인별 상태를 나타내고 있다. 1TV field(1/60초)는 256계조를 달성하기 위하여 시간적으로 모두 8개의 sub-field로 나뉜다. 각각의 subfield에서 sustain 기간은 순차적으로 $2^0, 2^1, 2^2, \dots, 2^7$ 의 시간비율로 구성되어 있다. 따라서 모든 subfield를 on 상태가 되게 하면 255단계의 밝기를 표시하고 off 상태로 하면 0단계



(a) ADS방식의 시간에 따른 라인별 상태도



(b) ADS의 1subfield의 실제 파형 인가도

그림 6. ADS 구동 방식

의 밝기를 표시하고, 중간단계의 빛의 밝기는 각 subfield의 조합에 의해 표현함으로써 256계조를 달성하게 된다.

그림 6(b)는 하나의 subfield 내에서 구체적으로 인가되는 펄스의 파형을 나타낸다. Step1~3은 reset 구간으로서 이전의 방전 유무에 관계없이 모든 방전 셀의 상태를 균일하게 하고, step 4의 어드레스가 원활하게 이루어지도록 하는 구간이다. Step4는 켜고자하는 셀을 스캔(Scan) 하는 구간이다. 어드레스 라인을 따라서 480개의 셀을 어드레스 하기 위해서는 어드레스 구간에 할당된 시간을 480개로 분할하여 순차적으로 어드레싱을 수행한다. 이 때에 Y 전극들은 어드레싱 시간에 맞추어 그림과 같은 스캔펄스가 인가됨으로써 전 화면에 걸쳐 어드레싱이 이루어진다. 일단 어드레싱이 된 방전셀들은 sustain 구간에 방전전압이 인가되면 어드레싱 동안에 형성된 벽전위와 더해져서 방전이 발생하여 유지된다. 어드레싱이 되지 않은 셀들은 벽전위가 형성되어 있지 않으므로 인가된 전압만으로는 방전이 발생하지 않게 된다. 이와 같은 과정이 8개의 subfield에서 순차적으로 행해져 화상이 구현된다.

그림 6의 ADS 구동파형의 가장 큰 장점이자 단점은 전 화

면에 걸친 Step2의 Writing 방전이다. 그 중 단점은, 이 방전이 강한 방전이고, 매 Sub-field 마다 이루어지기 때문에, 명암비(Contrast) 향상에 매우 부정적인 영향을 준다는 것이다. 0~255단계의 가시광이 만들어질 때에 한번의 writing 방전으로 1단계(Gray level)의 빛을 방출한다면, $(255+8)/8 = 33$ 이므로, 33:1의 명암비의 화상이 만들어진다. 이는 화상의 질에 매우 심각한 영향을 미치므로, 1 TV field 전체에서 단 1회만의 writing 방전을 사용한다든지, writing pulse의 rise time을 매우 느리게 하여, 방출 가시광량을 1/10 이하로 줄이면서도 writing 은 성공적으로 수행 할 수 있도록 하는 방법들을 사용함으로써 500:1 이상(암실 기준)의 명암비를 얻고 있다. 이 구동 방식의 장점은, 모든 셀을 한번 확실하게 켜주기 때문에, 셀 내부의 조건을 모두 비슷하게 만들 수 있어서, 뒤의 스캔구간에서 여러 셀들 간의 스캔 및 어드레스의 전압 편차를 줄일 수 있도록 해준다는 것이다.

2.3.2 의사윤곽 (False contour)⁽⁶⁾

앞서 언급한 바와 같이 PDP에서는 계조를 표현하기 위하여 시간 분할에 의해 방전의 횟수를 조절하는 구동방법을 사용하고 있다. 이러한 구동방법은 정지화상(停止畫像)의 경우에는 매우 우수한 특성을 보이지만 관측자의 시점(視點)이 이동하는 경우에는 표시장치가 나타내고자 하는 화상이 왜곡되어 보이는 현상이 발생한다. 이를 동화 의사윤곽이라 한다. 이는 화소의 발광시간과 시점의 이동 속도의 곱과 발광의 시간적 비동시성(非同時性)에 의존하게 되며 계조의 왜곡이나 색의 왜곡으로 나타나게 된다.

그림 7(a)와 (b)는 각각 CRT와 PDP의 계조 표현을 위한 발광을 시간에 따라 나타낸 것이다. CRT의 경우 한 화소에서 발광은 1 TV field 내에 0.1μs에 불과한데 비해 PDP의 경우는 발광 기간이 1 TV field 시간정도까지 늘어나게 된다. PDP에서 의사 윤곽이 가장 두드러지는 조건인 계조 level 127과 128이 인접한 경우에 대하여 생각하면 CRT에서는 단

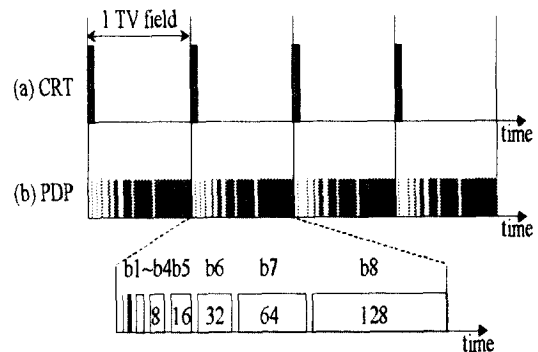


그림 7 CRT와 PDP에서 계조 표현을 위한 발광의 시간적 분포

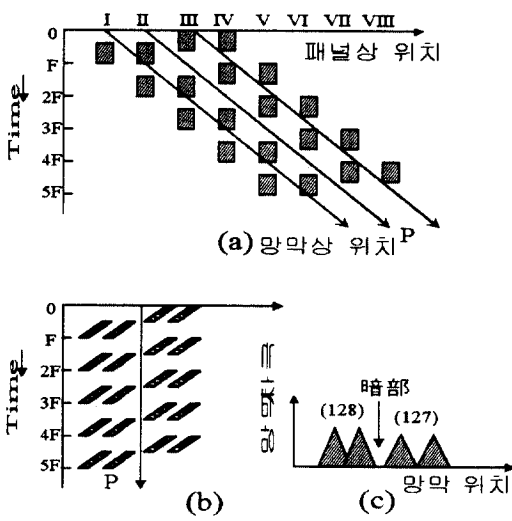


그림 8 화소의 발광과 시점이 좌에서 우로 움직이는 경우의 마스크 자극

지 발광 pulse의 크기의 비가 127 : 128이 된다. 그러나 PDP의 경우에는 계조 level 127을 표시할 때는 시간적으로 1 field의 전반에 위치한 bit 1으로부터 bit 7까지 발광이 있고 계조 level 128의 경우에는 후반부의 bit 8 동안에만 발광하여 두 경우 1 field 내에서 발광의 시간적 위치가 크게 차이가 난다.

그림 8(a)는 좌측 2개 화소가 계조 level 128을 우측 2개 화소가 계조 level 127을 지속적으로 발광하며 1 field 당 1 화소 pitch씩 움직이는 경우를 나타낸 것이다. 이 때 시점도 경로 P를 따라 움직인다고 하면 마스크상의 화소의 제적 및 자극분포는 그림(b)와 (c)로 나타나게 된다. 그림 8(c)에서 알 수 있듯이 계조 level 128과 127 사이에는 암부(暗部)가 나타나게 된다. 또 이와 반대의 경우, 즉 좌측 2개 화소의 계조 level이 127이고 우측 2개의 화소는 128인 경우나 pattern이 왼쪽 방향으로 이동하는 경우에는 경계부분에 밝은 호트러짐이 발생하게 된다. 동화 의사운곽은 발광 시간이 극히 짧은 CRT의 경우에는 발생하지 않으며, 계조의 표현을 위해 시간분할을 이용하는 PDP의 고유의 성질에 기인한 것이다.

동화 의사 윤곽은 CRT의 경우와 같이 1 field 내에서의 발광 시간을 충분히 짧게 만들면 줄일 수 있으나, 이는 PDP에서와 같이 시간 분할을 하는 경우에는 적용하기가 어렵다. 또 다른 방법은 발광 시간을 시간적으로 혹은 마스크상에서 공간적으로 균일화 시키는 방법으로써 발광 블록의 순서를 교체하는 방법과 문제가 가장 심각하게 나타나는 bit8(계조 level 128)을 두 block으로 나누거나 bit7(계조 level 64) + bit8(계조 level 128)의 블록을 계조 level 48의 4개 블록으로 나누는

방법 등이 있다. 그러나 이 방법은 늘어난 subfield의 수만큼 sustain 방전의 전 단계인 reset과 addressing시간이 늘어나 전체적으로 field 시간 내에서 sustain 구간이 차지하는 비율이 줄어드는 단점이 있다.

2.4 PDP와 관련된 재료

PDP에 사용되는 재료들은 투명유전체, 격벽 paste, 형광체, 전극, 유전체 보호막 등을 들 수 있다. 이 중에서 투명유전체와 격벽 paste 등은 셀 제작 시에 후막인쇄공정을 이용하게 된다. 후막인쇄 공정에서는 투명 유전체나 격벽 유전체의 固形 성분을 $PbO \cdot B_2O_3 \cdot SiO_2$ 나 $PbO \cdot B_2O_3 \cdot ZnO$ 등의 유리 성분과 상온에서 휘발성이 적고 열분해가 쉬운 수지 성분을 혼합해서 인쇄를 할 수 있는 액상의 페이스트를 만들어 사용한다. 그리고 ITO와 같은 투명전극과 MgO와 같은 보호막은 대부분 Sputtering이나 E-beam evaporation과 같은 박막 증착기술에 의해 만들어진다. 각 재료의 특성을 살펴보면 다음과 같다.

2.4.1 투명유전체

투명 유전체는 전극의 절연 피막으로 이용되는 유전체이며, 절연 저항이 높고, 광투과율이 좋아야 한다. 통상 요구되는 절연 내압은 105V/cm 이상이 되어야 하며, 주성분은 $PbO \cdot B_2O_3 \cdot SiO_2$ 이며 530~580℃에서 10분 정도 소성했을 때 광투과율이 80% 이상 요구가 되며, 은(Ag) 전극과 매칭이 잘 되어야 한다. 투명 유전체내에 기포가 많이 생기게 되면, 절연 내압과 광투과율이 떨어지게 되므로 세심한 주의가 필요하며, 기포의 생성에는 유리 성분의 조성, 입자의 직경, 제조조건과 인쇄 후 소성온도가 영향을 미친다.

2.4.2 격벽재료

PDP에서 격벽은 방전거리를 유지시키고, 인접한 셀간의 전기적, 광학적 혼신을 방지하기 위해 패널에 들어가는 구조물이며, 폭이 70~100um, 높이가 120~200um정도의 격벽이 요구가 된다. 페이스트의 주성분은 $PbO \cdot B_2O_3 \cdot SiO_2$ 이며, 소성은 580℃에서 10분 정도가 소요된다. 인쇄 방법으로 제작이 될 경우 8~10회 정도의 반복 인쇄를 통해 얻어진다. 셀 피치가 작아질수록 격벽의 Aspect Ratio(높이/폭)가 높은 것이 요구가 되며 최상층 부의 표면이 평활해야 된다. 8층 인쇄를 할 경우 통상 1~2층 부는 인쇄 후 평활하고 흐름이 적은 층을 만들 수 있어야 하며, 3~8층을 통해 격벽의 대부분의 높이를 얻고, 최상층부는 평탄한 층이 되도록 특성이 다른 2~3 종류의 페이스트를 이용하여 격벽을 형성한다.

4.2.3 형광체

형광체는 칼라 PDP의 휘도와 효율 등에 매우 큰 영향을 미치는 중요한 인자이다. PDP에 적용되기 위해서는 진공자외선

영역에서 높은 양자효율을 가져야 하며, 색순도와 잔광시간이 짧아야 한다. 현재 Red 형광체로는 $(Y, Gd)BO_3:Eu$ 와 $Y_2O_3:Eu$ 가 쓰이고 있으며, Green 형광체로는 $Zn_2SiO_4:Mn$ 와 $BaAl_{12}O_{19}:Mn$, Blue 형광체로는 $BaMgAl_{14}O_{23}:Eu$ 가 쓰이고 있다.

PDP의 최종 품질은 형광체의 도포기술이 좌우한다. 특히 반사형 셀에서는 격벽의 측면에 도포가 되어야하며, 측면에서의 형광체 두께가 절대 휘도와 시야각에 영향을 미치므로 최적 두께 제어 기술이 필요하다. 형광체 입자 크기, 수지종류 및 양, 용제의 종류 등이 최적화 되어야 원하는 형상을 얻을 수 있다.

2.4.4 전극

AC PDP의 전극은 투명도전 전극(ITO)과 금속 Bus 전극(Cr-Cu-Cr 이나 FODEL)으로 구성이 되는 sustain 전극과 투명도가 요구되지 않는 어드레스 전극으로 이루어져 있다. PDP에서 요구되는 투명전극재료는 높은 전기 전도도 (비저항 $< 10^{-4} \Omega \cdot cm$), 높은 가시광 투과율 (90% 이상), 인접 재료와의 매칭성 양호, 대면적 균일성, 쉬운 패터닝 등의 특성을 가져야 한다. 투명 전극 재료에는 ITO(Indium Tin Oxide), SnO_2 , ZnO, CdSnO 등이 있으나 SnO_2 등은 식각이 어려운 관계로 lift-off 방법과 같은 특수 패터닝 기술을 이용해야 하므로 현재 ITO가 가장 널리 이용되고 있다.

ITO는 In_2O_3 에 5~10 wt% SnO_2 를 도핑 시켜서 만들게 되며, In_2O_3 의 결정 격자에서 In 이온이 Sn 이온으로 치환되게 될 때 생기는 Donor-전자에 의해 고전도도가 생기게 되며, 양질의 막은 $1021 cm^3$ 의 carrier 밀도 및 수십 $cm^2V^{-1}S^{-1}$ 의 hole 이동도와 $10^{-4} \Omega \cdot cm$ 정도의 비저항 값을 갖는다. 제작은 Sputtering 법에 의해 주로 만들어지며, 증착속도를 높이기 위해 Magnetron 형을 많이 사용하고 있다. 투명도가 요구되지 않는 어드레스 전극은 Ag paste를 인쇄하거나 FODEL법 또는 금속을 식각하여 형성한다.

2.4.5 유전체 보호막

AC PDP의 전극 위를 덮고 있는 유전체 유리층의 PbO가 플라즈마에 노출이 되면 이온의 충격에 의해 분해 반응을 일으켜 표면에 이질층을 형성하여 방전 전압을 높이는 등의 나쁜 결과를 초래한다. 보호재료로는 MgO, ZrO, HfO_2 , CeO_2 , ThO_2 , La_2O_3 등이 사용될 수 있으나, 2차 전자 방출계수와 내 플라즈마 erosion 성질을 고려하여 MgO가 가장 널리 사용된다. 최근에는 MgO의 이차전자 방출계수를 높이기 위하여 여러 가지 dopant를 증착시에 첨가하는 연구가 진행되고 있다. 또한 MgO의 결정 방향성과 표면의 거칠기 등도 PDP 패널의 방전 특성을 결정하는 중요한 요소인 것으로 알려지고 있으나 아직까지는 구체적인 연구 성과가 부족한 상황이다.

2.5 최근의 연구동향

최근 PDP 기술의 연구의 중점은 고효율의 방전셀 설계와 새로운 구동 기술의 개발에 중점을 두고 있다. 방전셀에 대한 연구는 기존의 후지쯔의 3전극 면방전형 셀구조를 개선하거나 격벽의 형태를 변형함으로써 효율 향상을 위한 노력을 계속하고 있다. 전극구조를 변화시킴으로써 효율을 향상시키거나 공정을 줄인 구조로는 Pioneer의 'T'형 전극구조⁽⁷⁾와 마쓰시다의 ITO를 사용하지 않는 'Fence'형 전극구조⁽⁸⁾ 등이 발표되었다. 후지쯔에서는 구조적인 변화와 구동을 함께 고려한 ALIS(Alternate Lighting Surface Method) 방법을 개발하여 높은 해상도의 PDP 패널을 구현하였다.⁽⁹⁾ 격벽을 변화시킨 구조로는 후지쯔의 'Delta' 구조⁽¹⁰⁾와 Pioneer의 'Waffle' 구조⁽¹¹⁾ 등이 발표되었다. 구동에서는 'Dual scan'을 사용함으로써 XGA급에서도 화상구현이 가능하게 되었고, AWD(Address While Display) 방법을 이용하여 어드레스와 sustain 기간을 개별적으로 시간분할하지 않음으로써 sustain 기간을 충분히 확보하기 위한 연구가 진행되고 있다.⁽¹²⁾

3. 결론

지금까지 AC PDP의 구조와 방전 메카니즘, 구동방식 등을 살펴보고, 최근의 PDP 기술의 동향에 대하여 간략하게 살펴보았다. 대면적 평판 디스플레이 시장은 미국과 일본 등에서 디지털 방송이 본격화되는 2002년부터 크게 확대될 전망이다. PDP는 일본뿐 아니라 국내에서도 LG 전자와 삼성 SDI, 오리온 전기를 중심으로 활발한 연구개발이 진행되는 만큼, PDP 사업의 성공은 국가적으로도 큰 이익을 가져올 것으로 기대된다. 40인치에서 60인치 급의 HDTV 시장에서는 PDP가 독보적인 존재가 될 것으로 기대되나, 여타 디스플레이와의 경쟁에서 확고한 우위를 점하기 위해서는 가격을 낮추고 효율을 높이는 방향으로의 지속적인 연구가 진행되어야 할 것으로 보인다.

참고문헌

- [1] B.Kazan, Advances in image pickup and display Vol.6, Academic Press, 1983
- [2] Jeong Hyun Seo et al, "Vacuum ultra violet emission characteristics from He-Ne-Xe gas discharge in an alternating current plasma display panel", J. Appl. Phys., Vol. 88(3), pp.1257~1262, 2000.
- [3] Cha Keun Yoon et al, "Spatio temporal characteristics of infrared & vacuum ultraviolet emission from a surface discharge type AC plasma display cell with He-Xe & Ne-Xe gas mixture", IEEE Trans. Plasma Sci., Vol.28(3), 2000.
- [4] 서정현, 교류형 플라즈마 표시기에서의 He-Ne-Xe 혼합가스의 방전 특성 연구, 서울대학교 대학원 공학박사 학위논문, 2000.
- [5] K.Yoshikawa et al, Japan Display '92, pp. 606~608, 1992.
- [6] Y.-W.Zhu et al, "A motion-dependent equalizing-pulse technique for reducing gray-scale disturbances on PDPs", SID '97 Digest, pp. 221~224, 1997.
- [7] K. Amemiya et al, "High luminance efficiency and high definition coplanar AC-PDP", International Display Workshop '98, pp. 531~534, 1998.
- [8] W.C.Schindler et al, "60-inch disgonal HDTV plasma display", International Display Workshop '99, Sendai in Japan, pp. 735~738, 1999.
- [9] Y.Kanazawa et al, "High-resolution interlaced addressing for plasma displays", SID '99 Digest, pp. 154~157, 1999.
- [10] O.Toyoda et al, "A high performance delta arrangement cell PDP with meander barrier ribs", International Display Workshop '99, Sendai in Japan, pp. 599~602, 1999.
- [11] T.komaki et al, "High luminance AC-PDPs with waffle-structured barrier ribs", International Display Workshop '99, Sendai in Japan, pp. 587~590, 1999.
- [12] H.Homma et al, "Luminance improvement of PDPs by an extension of light-emission duty to 90% with an HDTV capability", SID '97 Digest, pp. 285~288, 1997.

저자약력

성명 : 황기웅

1950년 7월 28일생. 1981년 UCLA 졸업(플라즈마 물리학 박사). 97년부터 현재까지 차세대 평판 디스플레이 개발 사업단의 PDP 거점 연구단 단장. 99년부터 현재까지 한국 정보 디스플레이 학회 총무 이사. 83년부터 현재까지 서울대학교 전기 및 컴퓨터 공학부 교수.

성명 : 서정현

1971년 7월 12일생. 1993년 서울대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 8월 동 대학원 전기공학부 졸업예정(공학박사).