

기술 특 집

저분자 유기EL 증착 장비 개발 동향

최 동 권, 배 경 빈 (에이엔에스(주) 공장개발팀)

유기물질의 전계발광(EL: Electroluminescence) 현상은 1965년에 단결정 안트라센(anthracene)에서 최초로 발견되었지만 제한된 크기, 단결정 성장의 어려움 및 매우 높은 구동전압($\sim 1000\text{V}$) 때문에 20여년간 제한적인 발전에 그쳐왔다. 그러던 것이 1987년 Tang에 의해 진공증착에 의한 높은 양자효율을 가진 다층박막구조의 유기EL 소자의 개발에 성공함으로써 새로운 전기를 맞게 되었다. 이 소자는 전체 박막두께가 1000\AA 에 불과하고 10V 정도의 낮은 전압에서 구동될 수 있는 매우 효율적인 특성을 가지고 있다. 이때부터 전세계적으로 단분자의 증착방식을 이용한 소위 OLED(Organic Light Emitting Diode)의 개발에 광범위한 노력을 기울인 결과 최근에는 mono & color OLED display가 상업화의 길로 접어들었다. OLED는 LCD와 같은 현재의 전통적인 평판디스플레이 보다 저전압구동과 저소비전력, 자체발광(고휘도), 빠른 응답속도(수 msec), 광시야각, 경량, 박형, 저생산비용 등의 장점을 배경으로 급속히 기술이 발전하고 있다.

일반적으로 OLED 구조는 Anode(ITO)/다층 유기박막/Cathode(metal)의 구조를 가지고 있는데, 다층 유기박막은 전자수송층(ETL: Electron Transport Layer), 정공수송층(HTL: Hole Transport Layer)와 발광층(EML: Emitting Layer)으로 구성되어 있으며 때로는 별도의 전자주입층(EIL: Electron Injecting Layer)과 정공주입층(HIL: Hole Injecting Layer) 또는 정공방지층(HBL: Hole Blocking Layer)을 소자특성의 개선을 위해 추가로 삽입할 수 있다. 이러한 다층의 금속 및 유기박막을 형성하는데 사용되는 전형적인 저분자 OLED 진공증착 장비와 현재 새롭게 양산에 적합하게 개발되어지고 있는 저분자 OLED 진공증착장비의 비교 및 장단점을 살펴보도록 하겠다.

I. 저분자 OLED의 일반적 공정 flow

유기 EL은 공정에 대한 많은 연구가 활발하게 진행되고 있는 분야이며 양산으로의 진행도 빠르게 이루어지고 있다.

디바이스 제작 공정은 크게 기판의 준비 단계 공정인 전공정과 진공에서 다층 박막 제작 공정 및 봉지 공정을 하는 후공정 그리고 마지막 단계의 QC(Quality Control) 부분으로 나뉘어질 수 있다. 전공정은 기존의 STN LCD 수준의 공정 정밀도를 요구하는 공정으로 진행되어지며 크게 Cr/ITO patterning, Passivation, Rib 공정 및 Post baking 공정으로 이루어지고, 후공정은 플라즈마 UV를 이용한 전처리, 유기다층막 증착, 금속막 증착 및 봉지 공정으로 이루어진다. 현재 유기다층막의 증착공정은 디바이스의 저전압 고휘도 공정에서 열적 전기적 특성을 확보할 수 있는 공정으로 변화하고 있다. 이는 초기의 연구단계에서 상품화 단계로 기술이 발전하면서 나타나는 현상이다. 그리고 디바이스의 봉지공정은 대면적 디바이스로의 발전에 대응하기 위하여 glass 봉지 및 박막 봉지 공정에 대한 연구가 진행되고 있다. 하지만 현재로서는 금속 can 봉지를 이용한 상품의 출시가 주류를 이루고 있다. 이중 디바이스의 특성에 많은 영향을 주는 유기 다층막 증착 공정에 대하여 자세히 살펴 보겠다.

1. 유기 박막 증착

유기박막은 10^{-6} torr 수준의 고진공 상태에서 진공증착 방식을 이용하여 기판의 표면에 순차적으로 형성된다. 유기박막은 정공주입층(HIL: Hole Injection Layer), 정공수송층(HTL: Hole Transport Layer), RGB 발광층(EML: Emitting Layer), 전자수송층(ETL: Electron Transport Layer) 등의 다층박막으로 구성되어 있고, 이 박막들이 증착되는 진공 chamber의 구성은 재료의 증발원막 두께 제어 센서, glass 기판과 metal shadow mask를 고정세로 align 할 수 있는 기구 및 재료를 증발시키기 위한 전원 공급원(power supply) 등으로 이루어져 있다. 유기EL에 사용되어지는 유기물질은 일반적으로 high vapor pressure를 가지는 물질이며 제어온도 범위가 $200\sim 500$ 도 사이에서 공정이 이루어지고 수분의 영향을 많이 받기 때문에 초기의 증착원 온도 상승은 천천히 하여 물질이 가지고

있는 수분의 제거를 하고 cryo-pump를 사용하여 나오는 수분의 제거를 빠르게 해준다. 그리고 vaporize 온도의 제어 범위가 좁기 때문에 정밀한 온도 제어를 사용하여 공정을 진행한다. 증착을 통하여 기판에서 형성되어지는 막의 상태가 디바이스의 특성 결정에 많은 영향을 주는데 특히 HIL(Hole Injection Layer)의 기판과의 접착력 및 roughness, pinhole의 사이즈 등이 문제가 되며 HIL층 이후에 증착되어지는 층인 HTL층과 이후의 박막특성도 HIL층의 박막 특성에 의하여 결정되어지므로 초기의 layer 특성이 중요하다. 그리고 이 유기박막의 특성에 의하여 디바이스 전기적인 특성 즉 역전압 특성, 디바이스의 효율, impedance값을 변화시킬 수 있다. 그리고 풀칼라 디바이스의 제작공정에서 사용되어지는 고정세 mask 정렬 기술의 목표치는 $\pm 5\mu\text{m}$ 의 정렬 정도를 요구하고 유기박막의 형성시 mask에 의한 shadow effect의 제어가 중요한 공정 조건에 포함되어진다. 일반적으로 대면적 유기박막 증착 공정에서 shadow effect의 부분을 해결 하기 위하여 두께가 수십 um인 tension mask를 사용하는 데 이의 취급이 용이하지 못하여 새로운 기술의 개발이 필요한 상태이다.

2. 금속 전극막 형성 공정

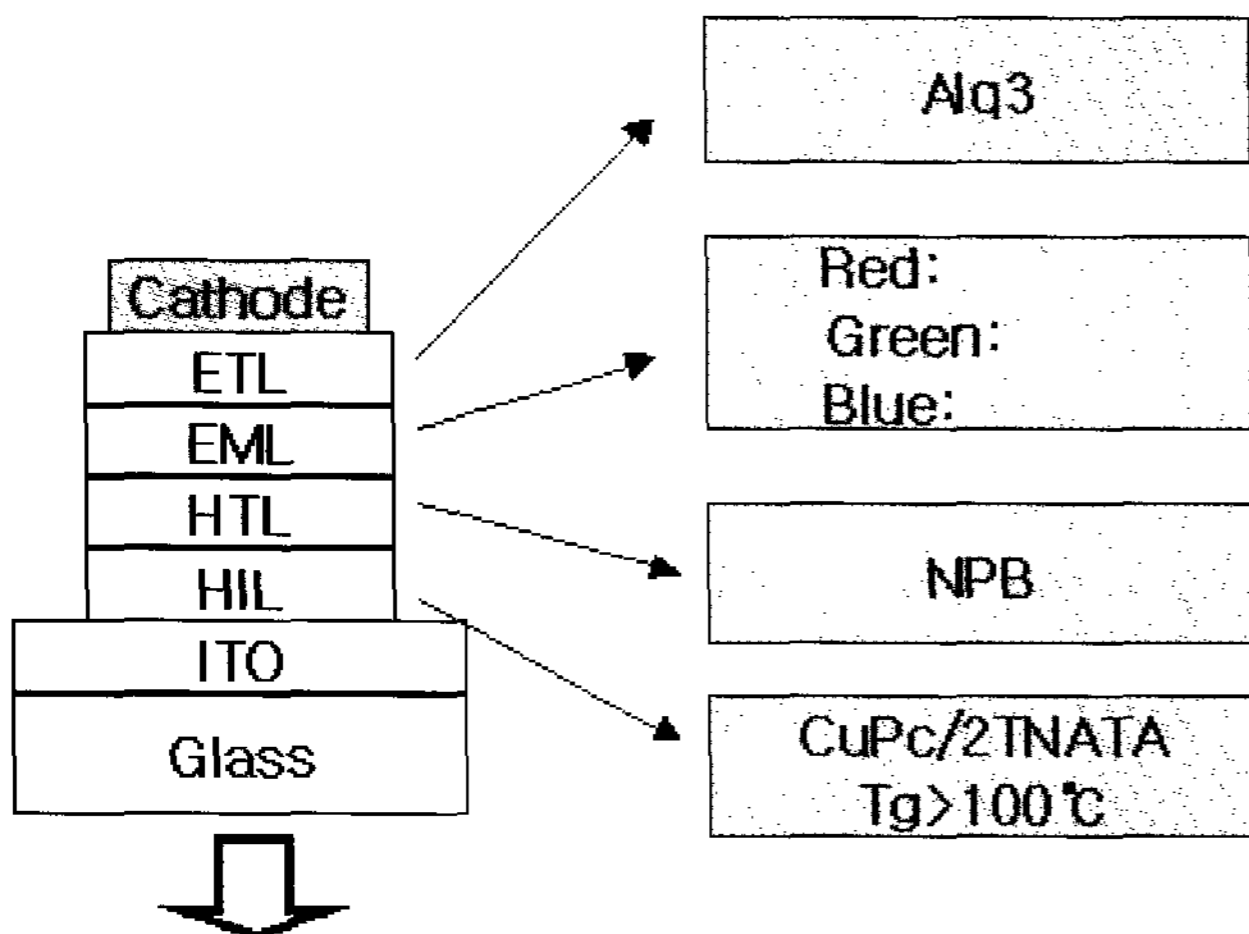
현재의 유기EL 제작 공정에 사용되어지는 금속 전극막 형성 공정에는 thermal evaporation이나 E-Beam의 방법이 사용되어지고 있으며, 음극으로 사용되어지는 금속막은 디스플레이에서 sink로 사용되어지므로 대면적화 passive matrix 단분자 유기EL 디스플레이에서 중요한 부분이라고 할 수 있다. 하지만 기존의 증착공정에서는 금속 전극막 증착 공정중 발생하는 열과 주위의 불순물이 함께 증착되어질 수 있다는 문제점이 있고, 디바이스의 특성 문제 때문에 금속막의 증착 공정의 증착 속도가 수 $\text{\AA}/\text{s}$ 이며 그 증착 막의 두께가 대략 1500\AA 이다. 그러므로 증착시 소요되어지는 공정

시간이 길어지므로 디바이스의 제작 tact time이 길어질 수밖에 없어 새로운 증착 공정의 개발이 필요하다. 현재의 유기EL 디바이스는 구동중 발생되어지는 디바이스의 electric short 문제가 심각하게 부각되고 있으며 이 부분의 문제는 대부분 증착되어진 유기막의 막질이 dense하지 못하여 금속 증착중 금속 물질이 유기분자 사이에서 diffuse 현상을 발생시켜 디스플레이 pixel by pixel의 전기적 특성이 동일하지 못하여지고, 하나의 scan line에 위치하는 pixel의 전기적인 특성이 특히 impedance값이 동일하지 못하면 전기적 field가 특정 pixel에 집중되어질 수 있으므로 디스플레이에서의 전기적 short를 발생시킬 수 있다.

II. 저분자 유기EL 장비의 개발 방향

디스플레이 산업의 개발방향은 대면적, 고화질, 빠른 응답 속도, 초박형으로 진행하고 있으며 이의 발전속도는 LCD, PDP가 이끌어가고 있다. 이에 대응하여 유기EL산업은 현재 주로 모바일 시스템 장착용 디스플레이에 주력하고 있지만 향후 발전 방향은 대면적화로 진행하려고 하고 있다. 하지만 기존의 유기EL 증착장치는 상향증착방법으로서 glass 및 metal shadow mask를 허공에 매달고 고정밀도의 마스크 정렬을 해야 하기 때문에 $370\text{mm} \times 470\text{mm}$ 이상의 대면적 기판 대응시 glass와 mask의 처짐 현상 등의 많은 문제점이 발생하여 장비의 신뢰성에 문제가 되고 있고, 또한 증착원 역시 저항가열식 히터를 사용하기 때문에 정확한 온도제어 및 deposition rate 제어가 용이하지 않아 장기간 사용시 유기물질의 변질 등의 문제가 발생하고 유기물질의 사용효율이 5% 이하로 매우 낮아 이러한 문제점들을 해결할 수 있는 새로운 개념의 증착 장비의 개발이 절실히 필요하다. 따라서 유기EL 장비의 대표적인 생산회사인 일본의 ULVAC, Tokki는 기존의 선형 형태의 증착원을 이용하는 방법과 움직이는 증착원을 이용한 시스템의 개발에 나서고 있으며, UDC의 OVPD(Organic Vapor Phase Deposition) 개념을 이용한 장비의 개발을 독일의 Axitron이 진행하고 있다. 그리고 에이엔에스에서는 2001년도에 새로운 개념의 증착 장비인 DSP(Digital Scan Process) 시스템을 발표한 바 있다.

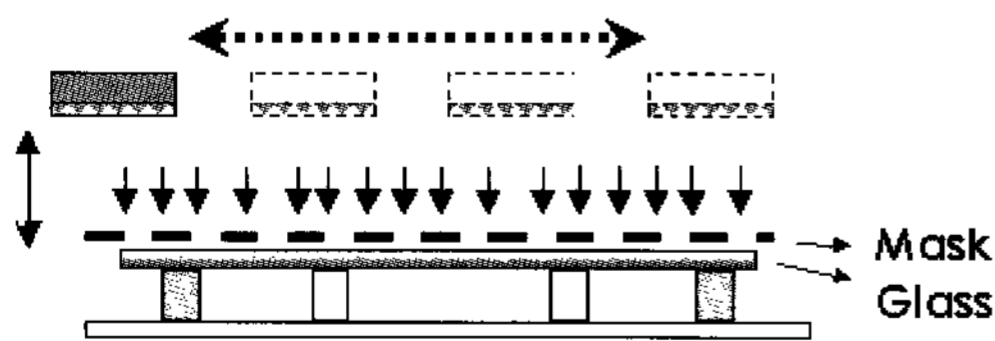
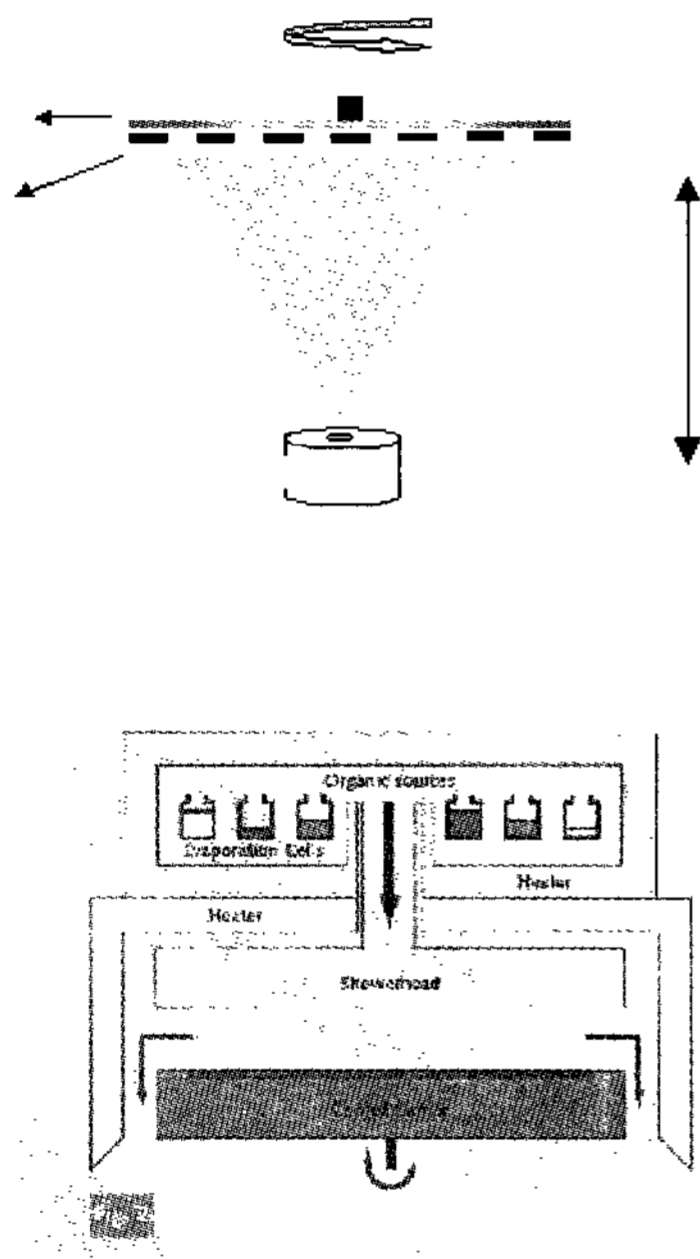
기본적으로 유기EL 장비에서 요구되어지는 부분에는 고정밀도의 마스크 정렬 기술, 유기막 제작에 사용되어지는 물질의 장시간 사용, 안정적인 유기막의 두께제어, 빠른 유기막의 성막 속도, 대면적에서의 유기막의 균일한 두께 등의 있다. 새로이 개발 진행되고 있는 장비의 부류를 크게 두 부류로 나누어 볼 수 있다. 첫 번째는 기존의 시스템 중에서 증착원의 구조를 바꾸고 상향증착 방법을 이용하는 경우와, 두 번째는 증착원이 기판위에 위치하는 하향 증착 방법으로 구분할 수 있다. 두 가지 부류의 장단점을 비교하여 볼 때, 우선 상향 증착 방법은 기존의 증착원을 대면적 기판에 대응하여 두께 균일도를 확보할 수 있는 방법으로 선형형태의 증착원을 사용하는 시스템 개발에 나서고 있다. 하지만 유기



[그림 1]

[표 1]

항 목	상향 증착법	하향 증착법
두께 제어 방법	Crystal Oscillator	gas flow
doping 제어 방법	증착원 온도 제어	gas flow, 온도 제어
대면적화 기술	370×470(mm) 이하	370×470(mm) 이상
마스크의 정렬 기술	마스크 힘 발생	상대적 힘 발생 적음
물질의 사용 효율	~5%	> 50%
최대 유기물 증착 속도	2~3/s	~5/s



[그림 2]

EL 디바이스가 요구하는 대면적 마스크 고정밀 정렬기술 부분에서는 마스크가 기판의 아래 부분에 위치하여 중력에 의한 마스크의 처짐 현상을 극복하기에는 많은 어려움이 예상되며, 고가의 물질을 사용하는 유기EL 디바이스의 물질 사용효율 부분에서도 문제점을 가지고 있다. 그리고 유기EL은 디바이스의 제작에서 박막 두께의 재현성있는 제어가 요구되어지는데 이부분에서도 기존의 방법인 crystal oscillator를 사용하여 양산시스템에 대응하는데 문제점을 가지고 있

다. 상대적으로 두 번째 방법인 하향 증착 방법은 증착원 자체가 증착시스템 외부에 위치하고 이송관을 통하여 기화되어진 물질이 이송되어져 shower head 구조를 통하여 기판 위에 증착되어지는 방법을 이용하고 있다. 하향증착 방법은 기판의 온도를 제어하여 박막의 질을 제어할 수 있고 사용물질의 효율이 상향증착방법을 사용하는 것보다 높다. 그리고 두께의 제어방법이 crystal oscillator를 사용하지 않기 때문에 장비의 유지 보수가 용이하며, 고정밀도 마스크 정렬시 마스크가 기판위에 위치하므로 상대적으로 마스크의 휨정도가 하향증착 방법에 비하여 적다.

[표 1]에서 비교하는 바와 같이 하향증착 방법이 상향 증착 방법에 비하여 많은 장점을 가지고 있다. 그리고 이러한 장점 때문에 현재의 디바이스업체들이 AXITRON의 OVPD나 에이엔에스의 DSP에 많은 관심을 가지고 있으며 이의 적용을 위하여 장비 업체와 함께 기술의 개발에 노력하고 있다. 그리고 하향식 증착 방법을 이용하고 있는 DSP와 OVPD기술에 대한 기술의 비교를 하여 보면 DSP는 증착용 shower head가 선형형태의 구조를 가지고 있으며 head의 축운동을 이용하여 대면적 기판위에 증착을 하는 기술을 이용하고 있다. 그리고 OVPD기술은 기판의 면적에 대응하는 shower head를 이용하여 기판위에 하향식으로 증착하는 기술이다. 유기EL에 사용되어지는 유기물질은 열에 취약하다는 문제점이 있기 때문에 증착중 기판의 온도가 80도 이내로 유지되어야만 한다. 이러한 부분에서 볼 때 OVPD의 대면적 대응 shower head는 열적인 문제 발생이 DSP 시스템에 비하여 상대적으로 크다고 할 수 있다. 그리고 향후 유기EL 산업의 발전으로 인하여 기판의 크기가 1m×1m 이상으로 커질 경우 이에 대한 대응성에서 상대적으로 선형형태의 shower head의 축운동을 이용하는 DSP 시스템이 열적인 문제에서 유리하다고 할 수 있다.

III. 결 론

단위 공정별로 진행되는 반도체나 LCD 장비에 비해 OLED 증착 및 봉지 장비는 ITO 박막 전처리, 다층 유기물 성막, 금속전극 성막, 보호막과 봉지공정을 일괄 처리할 수 있어 하나의 제조 장비에 가깝다. 그리고 공정 chamber 마다 각기 다른 공정을 진행하므로 하나의 chamber에 trouble이 발생하면 다음 공정으로 진행하지 못하고 장비가 stop되는 등의 민감한 문제를 안고 있다. 또한, 각각의 공정 chamber는 예방정비(Preventive Maintenance) 주기가 달라서 생산관리에도 많은 주의를 요한다. 생산장비에 있어서, metal shadow mask의 대형화에 따른 정밀가공, 처짐을 방지하는 대책, 열팽창 방지 대책, 증착된 막을 in-situ로 세정하는 방법 등의 문제 및 mask와 glass 간의 고정세 align 방법 등이 제시되어야 한다. 또한, 증발원 관점에서는 물질사용효율 개선, 장기간 사용하여도 유기물질의 변질이나 탈색이 없는 증발원, 대면적에 균일하고 고속 증착이 가능한 증발원의 개발 등이 필요하다. 또한 다층박막을 이용한 보호

막 및 봉지 기술의 확립도 필수적이다. 생산성과 재현성을 갖춘 full color OLED 양산장비는 아직도 세계의 어느 장비업체에서도 제대로 생산하고 있지 못하며, 소자 업체와 공동으로 개발하는 중이다. 국내 장비 업체들의 유기EL 장비의 개발은 현재 기존의 시스템 문제를 인지하면서도 새로운 개념의 장비개발을 진행하지 못하고 있다. 그런 면에서 에이엔에스의 DSP 유기EL 증착 장비는 새로운 하향증착식 개념으로서 UDC/Aixtron의 OVPD 기술과 함께 상향증착식 방법을 이용하면서 선형형태의 증착원을 사용하는 타 시스템에 비하여 많은 장점을 가지고 있다. 그리고 물질의 사용 효율 향상, 대면적 크기의 기판 증착 기술 대응, 대면적 기판에서의 두께 균일도, 안정적인 증착 공정 제어, 대용량 증

착원의 사용 등의 장점을 가지고 있기 때문에 새로운 하향 증착 방법의 장비는 한국 유기EL 산업의 발전에 기여를 할 수 있고 기존의 디스플레이 산업이 일본이나 타 선진국 회사의 장비에 의존하는 기형적인 산업구조를 벗어나, 유기EL 디스플레이 산업을 주도해 나갈 수 있을 것이다. 그리고 소자 업체의 요구에 부응하는 장비의 개발을 지속적으로 해 나가야만 제대로 된 양산장비를 개발할 수가 있어 소자 업체의 역할이 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다. 또한 디스플레이 산업용 장비들의 개발에는 많은 자금이 소요가 됨으로서 정부의 지속적인 지원책이 필요하며, 소자 업체에서도 많은 정보의 공유가 장비 개발 업체와 원활히 이루어져야 할 것이다.