고해상도 AMOLED 제조용 고진공 증착기술

DOI: 10.3938/PhiT.27.015

황창훈·김성수·방신웅·최세호·진병두·조성민·이종예

Review of Vacuum Thermal Evaporation for Future AMOLED

Changhun HWANG, Sung Su KIM, Shin Wong BANG, Se Ho CHOI, Byung Doo CHIN, Sung Min JO and Jong Yae LEE

A point source and a linear source have been developed for organic evaporation, and the linear source evaporator is currently used for manufacturing active-matrix organic light-emitting diode (AMOLED) devices. However, a new source technology that exhibits high material utilization and is shadow-free is required because of the low material utilization ($\sim 20\%$) and the limited shadow distance ($\sim 3 \mu\text{m}$) of the point- and the linear-type evaporation sources. In this report, the evaporator technology is reviewed, and a future type of plane-source evaporator with high material utilization (60%) and sub-micron ($0.37 \mu\text{m}$) shadow distance for the purpose of manufacturing high-ppi (pixel per inch) AMOLEDs will be introduced.

저자약력

황창훈 대표는 University of Oregon 이학박사로써, 야스 초대 사장, LIGADP 기술이사, 선임시스템 연구위원을 역임하였고 현재 단국대학교 겸임교수 및 올레드온 대표로 재직 중이다.(chriss.hwang@oledon.co.kr)

김성수 기술이사는 건국대학교 물리 학사로 LIGADP 기술부장을 역임하였고, 현재 올레드온 기술이사로 재직 중이다.

방신웅 연구소장은 부경대학교 물리 석사로 LIGADP 기술팀장을 역임하였고 현재 올레드온 연구소장으로 재직 중이다.

최세호 대리는 단국대학교 고분자공학석사로 현재 올레드온 기술대리로 재직 중이다.

진병두 교수는 KAIST 이학박사로써, 현재 단국대학교 교수로 재직 중이다.(bdchin@dankook.ac.kr)

조성민 박사는 단국대학교 공학박사로 현재 LGD에 재직 중이다.

이종예 변리사는 건국대학교 융합학 박사과정으로 현재 상림국제특허 대표 변리사로 재직 중이다.(patworld@hanmail.net)

개요

지금까지 알려진 active-matrix organic light-emitting diode(AMOLED) 패터닝 기술에는 4가지가 있다. 대기압 공정 장비인 IJP(Ink Jet Printing) 기술은 새도(shadow) 마스크를 사용하지 않고 유기물 잉크를 미세하게 기판에 뿌려서 패터닝 박막을 제조하는 기술이다. 이 경우, 잉크의 산화방지를 위한 1 ppm 이하로 공기 중 수분 제거가 매우 어려워 소자의 수명 향상에 한계가 있으며, 미세 패터닝 크기는 TV급 해상도(100 ppi)이며, 모바일용 해상도(600 ppi)에 도달하기는 어렵다. 저진공 공정 장비인 OVJP(Organic Vapor Jet Printing) 기술은 캐리어(carrier) 기체를 사용하여 미세노즐로 유기물기체를 기판에 뿌려서 미세 박막을 코팅하는 기술이다. OVJP는 공정압력이 높아 미세노즐 분사 시 기체의 퍼짐이 심하게 발생하여 고해상도 패터닝에 도달하기는 어렵다. OVJP와 유사한 공정기술인 OVPD(Organic Vapor Pressure Deposition) 기술은 역시 캐리어 기체를 사용하여 유기분자를 새도 마스크를 관통하게 하여 미세한 패터닝 박막을 기판에 코팅하는 기술이다. 이 기술도 고압에 의한 기체 퍼짐현상 또는 새도 현상으로 인해, 고해상도의 소자 제작에는 한계가 있다. 고진공 장비 기술인 VTE(Vacuum Thermal Evaporation) 기술은 유기물 파우더를 열증발하여 새도 마스크를 관통하게 하여 미세한 패터닝 박막을 기판에 증착하는 기술이다. 미세한 새도 마스크를 사용하는 기술을 FMM(Fine Metal Mask) 증착 공정 장비 기술이라고 부른다. 2000년 이후로, 현재까지 모바일용 AMOLED 소자의 양산에 성공한 기술은 고진공 공정인 FMM VTE 공정 장비 기술뿐이다.

지난 16년 동안의 OLED 역사를 요약해보면, 기판의 사이즈는 1세대($100 \times 100 \text{ mm}$)에서 8세대($2500 \times 2200 \text{ mm}$)까지 기판의 면적이 약 550배나 증가하였으며, 미래에는 10세대까지도 발전할 것이다. 그에 따른 증착기도 역시 1세대 연구용 장비부터 8세대 대면적 기판용 양산 장비까지 발전하여 왔으며, 현재, 고해상도 FMM 장비는 6세대 기판용이며, WOLED (white organic light-emitting diode) 장비는 8세대 기판용으로 개발되어 있다. 향후, 초고해상도를 가지는 FMM VTE 장비의 개발이 필요하며, 면취율이 향상된, 65인치 OLED TV의

Fig. 1. Cluster type and In-Line type Evaporator.

Fig. 2. RGB AMOLED and White OLED.

대량생산용 10세대 WOLED 증착기의 개발이 필요하다. 증착 장비의 핵심기술인 증발원은 1세대인 점증발원이 2세대인 선형증발원으로 대체되어 양산에 적용되고 있으며, 초고해상도 AMOLED 소자 생산용 3세대 증발원 기술인 면증발원 기술이 올레드온사에서 최초로 개발되고 있다.

OLED 양산에 성공한 증착장비의 구조는 2가지가 있다. 새도 마스크를 사용하는 FMM 장비로서 클러스터형이 있으며, 오픈마스크를 사용하는 WOLED 장비로서 인라인형 장비가 있다. 클러스터형 증착장비는 기판의 이송을 위하여, 진공 로봇 챔버의 주위에 다수의 공정챔버들이 모여있는 구조이다. 클러스터형 장비에서는, 단지 기판만이 양산장비에 투입되어, 공정이 완료된 기판만이 양산장비로부터 나오는 개념으로서, 어느 하나의 공정 장비에서 문제가 발생되어도 기판의 공정흐름에는 별로 영향을 주지 않아 매우 유연한 양산장비 개념이다.(그림 1) 반면, 인라인 장비는 모든 공정장비가 선형으로 연결되어

Fig. 3. VTE Evaporator.

있으며, 기판은 캐리어에 태워 이송된다. 기판 캐리어는 재활용되어 사용된다. 인라인 양산장비에서는 어느 한 공정챔버에 문제가 발생하면, 모든 양산장비의 공정이 중지되어 수율저하가 발생되기도 한다. 인라인형 장비는 미세 패터닝 증착공정이 필요 없는 WOLED 또는 OLED 조명소자의 생산에 주로 사용되고 있다.^[1]

RGB형 AMOLED 소자는 TFT(Thin Film Transistor) 기판 상에 약 8층의 유기박막과 전면발광 투명전극용 금속박막 및 봉지층이 형성된다. 유기박막 증착 시, 새도 마스크를 사용하여 미세 패터닝 공정이 수행되지만, 증발원에 의해 발생된 새도 현상 때문에 초고해상도의 AMOLED 소자와 대면적의 RGB TV 소자의 제작에 한계가 있다. WOLED형 AMOLED 소자는 TFT 기판 또는 ITO 기판상에 형성되는 탄뎀(tandem)형의 소자 구조로서, 약 24개의 유기박막과 후면발광 전극용 금속박막 및 봉지층이 형성된다. 유기박막의 수가 매우 많아서 많은 파워 소모가 발생하지만, 새도 마스크를 사용하지 않고 칼라필터를 형성하여 OLED TV 제작을 하고 있다.(그림 2)

VTE

고진공 챔버의 상부에는 기판과 새도 마스크가 정렬되어 있

REFERENCES

- [1] C. H. Hwang, plane source and inline type manufacturing system for large scale AMOLED, SID06, vol. 47. 3 (2006).

Fig. 4. Evaporation Types.

Fig. 5. Evaporation sources for OLED.

으며, 챔버의 하부에는 도가니 내에 유기물 파우더가 충전되어 있고, 도가니의 측면기열에 의하여 파우더가 증발되며, 증발된 유기물 기체는 도가니 노즐을 빠져나가 새도 마스크를 지나면서 기판에 미세 패터닝 박막이 증착된다. 이를 상향식 FMM VTE 증착기라고 한다.(그림 3) 고진공(10^{-7} Torr) 챔버 내에서 유기물 유기분자의 평균자유거리는 약 50~100 m이며, 증발 온도는 약 260~300 °C, 유기물 분자량은 약 500~1000 amu, 유기분자의 비행속도는 약 100~200 m/s이다. ($mv^2/2 = 3RT/2$, R =기체상수)

VTE 증착기에 사용되는 1세대 점증발원은 실린더형의 도가니를 가지며, 도가니에 담겨진 유기물 파우더가 증발되어 원형 노즐을 빠져나가 원뿔 형태로 증발되어 기판에 증착된다. 2세대 증발원은 선형증발원으로서, 길쭉한 박스형의 도가니를 가지며, 선형구조의 노즐을 빠져나간 유기물 기체는 선형구조의 형태로 증발되어 기판에 증착된다. 3세대의 면증발원은 금속면에 흡착된 유기박막을 재증발하여 면형의 유기물 기체빔이 형성되어 기판에 증착된다.(그림 4)

고진공(10^{-7} Torr) 챔버 내에 꺾어진 노즐을 가진 점증발원(일종의 T형 증발원)은 도가니 내부의 압력이 10^{-2} Torr, 증발 온도는 300 °C, 기판까지의 증발 기체의 비행거리는 L_1 이다. 선형증발원 도가니의 내부압력은 10^{-3} Torr, 증발온도는 260 °C, 비행거리는 L_2 이다. 면증발원은 금속면과 기판 사이의 진공도(P)가 10^{-7} Torr, 증발온도는 130 °C, 기체의 비행거리는 L_3 이다. 이 경우, 각각의 비행거리 L_1 , L_2 , L_3 는 $L_1 > L_2 >$

Fig. 6. Directional Evaporation Sources.

Fig. 7. Material Utilization.

L_3 가 된다.^[2] 즉, 증발된 기체의 비행거리가 작아질수록 증발 압력(P)과 증발온도(T)는 현저히 낮아진다. ($L \downarrow \sim P \downarrow \sim T \downarrow$) 특히, 면증발원의 경우 증발온도가 선형증발원보다 100 °C 이상 낮아진다. ($PV \sim RT$)(그림 5)

상향식 증발원으로부터 분출되는 유기물기체의 비행거리를 λ_1 , 측향식 증발원의 유기물 기체의 비행거리는 λ_2 , 하향식 증발원의 유기물 기체의 비행거리를 λ_3 라고 하면, $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$ 가 된다. 즉, $PV \sim RT$ 로부터 기체의 비행거리를 짧게 가지도록 증발원의 방향성을 구성해야 증발원 내부 압력이 낮아져서, 증발온도가 낮아지고, 유기물 변성도가 낮아져, 결국, OLED 소자의 발광효율이 좋아진다. 이러한 이유로, 현재까지 생산에 성공한 증발원의 구조는 모두 상향식이다. 참고로, 증발원 내의 증발기체의 컨덕턴스(conductance or flow rate)를 분자의 비행거리로 설명하였다.(그림 6)

고진공 내에서 증발된 유기물 기체가 기판에 증착되는 정도를 물질 사용율이라고 한다. 증발원과 기판 사이의 거리(TS)에 따른 물질 사용율을 측정해 본 결과를 그림 7에 나타내었다. 예를 들면, TS가 50 mm일 때 물질 사용율은 93%이며, TS가 300 mm이면, 물질 사용율은 43%로서, TS가 멀어질수록 물질 사용율이 급격히 떨어짐을 알 수 있다. 점증발원 FMM 증착기에서는 TS가 500 mm, 물질 사용율은 10% 미만으로 알려져 있으며, 선형증발원 FMM 증착기에서는 TS가 500 mm,

REFERENCES

- [2] C. H. Hwang, *et al.*, Study of metal plate evaporation using LPS source for AMOLED, IMID, P1385 (2006).

Fig. 8. Shadow Distance.

물질 사용율은 20% 미만으로 알려져 있다. 즉, 물질 사용율을 향상하려면, TS를 가급적 짧게 가지도록 증착기를 구성하여야 한다. 참고로, TS를 멀리 띄우는 이유는 증발원의 발열에 의한 새도 마스크의 열팽창을 방지하고, 새도 현상을 최소화하려는 목적이 있다. 또한, 호스트(host) 물질 기체와 도판트(dopant) 물질 기체의 균질성을 확보하기 위하여 TS가 멀어지기도 한다. 고물질 사용율을 가지는 새로운 개념의 VTE 증착기의 개발이 필요하다. 참고로, 면증발원은 TS가 100 mm에서 이론적 물질 사용율은 90% 이상이다.^[3]

점증발원과 선형증발원으로부터 분출되어 사선 방향으로 비행하는 유기물 기체 분자는 새도 마스크의 테이핑 구조(SH)와 기관 사이의 공간으로 침투해 들어가 새도 거리를 가지는 박막을 형성하게 된다.^[4] 알려진 새도 거리는 $3 \sim 8 \mu\text{m}$ 이다. ($\tan\phi = \text{SH}(\text{step height})/\text{SD}$, $\phi = 45^\circ \sim 50^\circ$) 면증발원의 경우에는 면으로부터 탈착된 유기물기체 분자는 주로 면에 수직방향으로 비행하여 매우 작은 새도 거리($1 \sim 2 \mu\text{m}$)가 발견되었다.(그림 8) 초고해상도의 소자를 생산하려면, 서브마이크론 스케일의 새도 거리를 가지는 면증발원의 개발이 필요하다. 참고로 면증발원의 새도 거리는 $\text{SD} = \text{SH}/\tan 90^\circ = 0 \mu\text{m}$ 가 되어 이상적으로는 제로 새도 현상을 가진다. 면증발원 보고에 의하면, 새도 거리는 $3 \mu\text{m}/\tan 83^\circ = 0.37 \mu\text{m}$ 이 가능하다.^[5]

점증발원 증착기

정지된 소형기관($100 \times 100 \text{ mm}$)에 유기물 박막을 제조하는 점증발원 증착기는 점증발원으로부터 상향으로 분출된 유기물 기체가 기관을 향하도록 구성된다. 점증발원과 기관 사이의 거리(TS)를 적당히 조절하게 된다.(그림 9)

점증발원으로 대면적 기관에 유기물을 증착하는 경우, 박막의 균일도 향상을 위하여, 기관이 회전된다. 점증발원의 위치는 적당한 TS와, 기관의 중앙하부선과 증발원 사이의 거리(offset)를 가지도록 구성된다. 이로 인해, 물질 사용율이 저하되며, 새도 현상이 심해진다. 기관과 새도 마스크가 회전하

Fig. 9. Point source evaporator.

Fig. 10. Rotational point source evaporator.

로 기관과 새도 마스크의 정렬(얼라인) 정밀도가 떨어지기도 한다. 주로 2세대($370 \times 470 \text{ mm}$) 기관 증착에 사용된다.(그림 10)

OLED 소자의 대량생산을 하려면, 장시간(예, 144 hrs) 유기물 증착공정이 연속으로 가능하게 하기 위하여, 원통형의 구조물에 다수개의 점증발원이 설치된 리볼버 증발원을 주로 사용한다. 즉, 한 개 증발원의 유기물질이 소진되면, 다른 증발원으로 교체하여 연속 증착을 하게 되는 것이다. 모든 점증발원은 동일한 TS와 Offset을 유지하도록 구성된다.(그림 11)

REFERENCES

- [3] C. H. Hwang, *et al.*, New TPS function for identifying nano scale film phase using belt source evaporation techniques, SID2007, P53 (2007).
- [4] C. H. Hwang, How to make the 5th Generation AMOLED, P421, EL2006 (2006).
- [5] C. H. Hwang, S. S. Kim, S. M. Jo, B. D. Chin, D. H. Kong and S. H. Ju, SID2017, 37.2 (2017).

Fig. 11. Revolver source evaporator.

Fig. 12. Top-down evaporation source.

대면적 기판(730×920 mm)에 유기박막을 증착하는 경우, 기판처짐을 방지하기 위한 목적으로 하향식 증착기가 개발되었다. 하향식 점증발원은 유기물질 저장부와 하향분출노즐이 도가니의 내부에 형성되어, 증발된 유기물 기체가 하향으로 비행하여 기판에 하향식 증착이 가능하다. 대면적 기판의 균일한 박막 형성을 위하여, 하향식 점증발원은 TS와 Offset가 적당히 유지되며, 기판은 회전된다. 하향식 점증발원 증착기의 경우에는 유기물질의 경화 파티클이 기판에 떨어져 생산성이 저하될 수도 있어 주의가 필요하다. 또한, 하향식 점증발원은 상향식 점증발원보다 기체의 비행거리가 길어서, 내부 압력상승으로 인하여 증발온도가 상승하므로, 소자의 발광효율이 떨어져 양산용 증착기에 활용되지는 않고 있다.(그림 12)

선형 증발원 증착기

길쭉한 박스형 도가니의 상부에 기체 분출용 노즐이 형성된 증발원을 선형증발원이라고 한다. 기판의 크기가 커질수록 도가니의 길이는 길어지고, 노즐의 개수가 증가한다. 도가니의 크기를 조절하여 많은 양의 유기물을 저장하게 된다. 그림 13

Fig. 13. Multi-nozzle linear sources.

Fig. 14. Linear source FMM evaporator.

에 투노즐(two nozzle) 선형증발원, 멀티노즐(multi-nozzle) 선형증발원 및 100개 노즐로 형성된 8세대 선형증발원의 구조를 나타내었다.^[6]

고해상도(600 ppi) 소자를 생산하는 선형증발원 FMM 증착기는 호스트(H)용 선형증발원 및 도판트(D)용 선형증발원(1H2D, one host two dopant)들이 한 쌍이 되어 왕복 스캐닝하면서, 새도 마스크에 미세 열라인된 기판에 패턴링박막을 형성한다. 미세한 열라인 정밀도를 보장하기 위하여, 기판과 마스크는 열라인 후 정지되어 증착이 이루어진다. 선형증발원으로부터 분출되는 유기물기체는 분출각(80°)을 가지므로 비스듬히 비행하는 유기물 기체분자가 새도 마스크와 기판 사이의 공간에 침투되어 새도 거리($3 \mu\text{m} \sim 8 \mu\text{m}$)를 형성하는 새도 현상이 발생하므로, 초고해상도(예, 2250 ppi) 소자를 제작하는데 한계가 있다. 새도 마스크 사이즈의 한계로 인하여, 기판의 사이즈(1500×950 mm)는 6세대 Half 기판에 주로 사용된다. 기판과 새도 마스크의 처짐을 보상하는 마스크 열라인 기술이 매

REFERENCES

- [6] C. H. Hwang, Korean Patent (1007670260000).

Fig. 15. Linear source WOLED evaporator.

Fig. 16. Recharging source.

우 중요하다.(그림 14)

WOLED 소자를 생산하는 선형증발원 인라인(in-line) 증착기는 다수 개의 선형증발원들이 고정되어 있으며, 증발원들 상부에서 기판이 선형 이동되면서 상향식 연속 증착이 이루어진다. 대면적(2500×2200 mm)의 기판은 롤러에 의해 이송된다. 기판의 처짐을 방지하기 위한 기판척 기술이 매우 중요하다. 8세대의 기판 한 장에 8장의 55인치 OLED TV를 생산하고 있으며, 3장의 65인치 OLED TV를 생산하고 있다.(그림 15) 대형 OLED TV 생산을 위하여, 신개념의 기판척을 이용하는 10세대 기판용 증착기 개발이 필요하다.

장시간 소자 생산을 위하여 증착공정 중에도 증착기를 진공을 깨지 않고도 유기물질을 재충전하는 재충전용(recharging) 선형증발원을 사용할 수도 있다.^[7] 증착챔버의 하부에는 게이트 밸브를 통하여 재충전용 증발원을 엷다운 이송하여, 대기압

Fig. 17. Vertical type linear source.

Fig. 18. Vertical type FMM evaporator.

상태로 개폐가 가능하고 유기물질을 재충전하게 된다. 이 경우, 증착기 내에 2벌의 재충전용 선형증발원이 있어야 연속 증착 공정이 가능하며, 생산시간을 늘리는 장점이 있다.(그림 16)

수직형 증발원은 다수 개의 노즐이 수직형으로 형성되어 측 방향으로 기체의 분출이 가능하고, 노즐부에 연결된 도가니에 유기물을 저장한다. 대면적의 기판이 수직으로 서서 스캔하면서 증착이 이루어진다. 대면적의 기판 처짐은 방지되나, 노즐부와 도가니의 거리가 멀어져서, 도가니 내에서 증발된 유기물 기체가 노즐에서 분출되려면, 매우 긴 비행거리가 필요하며, 따라서 도가니의 압력이 높아지고 증발온도가 상승된다. 즉, 소자의 발광효율이 저하된다.(그림 17)

RGB용 수직형 선형증발원과 RGB용 색도 마스크가 각각 설

REFERENCES

- [7] C. H. Hwang, Korean Patent (1009587780000).

Fig. 19. Top-down linear sources.

Fig. 20. Top-down FMM evaporator.

치되는 수직형 선형증발원 증착기는 미세 열라인된 기판과 새도 마스크가 한 몸체가 되어 고정된 수직형 증발원 주위를 스캔하면서 증착을 하게 된다. 이때, 시스템 진동으로 인하여 기판과 마스크의 정렬도가 떨어진다. 이러한 이유로, 고해상도 OLED 소자 제작용, 수직형 선형증발원 FMM 증착기가 성공한 예는 아직 없다.(그림 18)

대면적 기판의 처짐을 방지하면서 증착이 가능할 목적으로 하향식 선형증발원이 개발되었다. 다수 개의 하향분출 노즐들이 길쭉한 저장 도가니 내에 형성되며, 기판을 이송하면서, 또는 증발원을 스캔하면서 증착이 가능하다. 유기물 기체에 의한 경화 파티클과 스피팅 파티클의 염려로 인하여 양산장비로 개발되지는 않았다.(그림 19)

하향식 선형증발원 FMM 증착기의 한 예를 그림 20에 나타내었다. 챔버의 상부에는 하향식 선형증발원이 고정되어 있으며, 챔버의 하부에는 기판과 새도 마스크를 태우고 있는 트레이가 형성되어 있다. 기판과 새도 마스크의 열라인 정밀도를 보장하기 위하여 트레이의 하부에는 전자석 부상 장치가 설치되어, 시스템 바이브레이션을 차단하고, 트레이가 전자석장치에 의해 위치와 속도가 조절되어 왕복스캔 이송하면서 증착된다. 기판처짐과 마스크처짐이 없는 장점을 가지게 된다.

10세대의 초대면적(3000×3200 mm) 기판을 사용하여 WOLED 소자를 생산하려면, 기판 처짐이 방지되는 하향식 선형증발원 증착기를 개발할 필요가 있다. 다수 개의 하향식 선

Fig. 21. Top-down WOLED evaporator.

Fig. 22. Plane source.

형증발원이 챔버상부에 설치되고, 하부에는 기판이 선형 이송되면서 연속 증착이 가능하다. 파티클 발생을 얼마나 방지하는가 중요한 공정적 문제가 된다.(그림 18) 한 기판에 8장의 65인치 OLED TV의 생산이 가능한 고면취율을 가지려면, 10세대 기판용 하향식 선형증발원 WOLED 증착기의 개발이 필요하다.(그림 21) 특히, 물질변성을 최소화하기 위한 주의가 요한다.

면증발원 증착기

초고해상도 OLED 소자를 개발하기 위하여, 새도 거리가 매우 적게 나타나는 면증발원 증착기를 개발할 필요가 있다. 면증발원의 개념은 점증발원이나 선형증발원으로 유기물을 증발하여, 금속면에 유기박막을 우선 형성하고 금속면의 뒷면을 가열하여 유기박막이 재증발되고, 증발된 유기물이 새도 마스크를 관통하여 기판에 패터닝된 유기박막을 형성한다. 금속면으로부터 증발된 유기물기체는 수직 증발빔을 형성하므로, 새도 각도(ϕ)가 거의 90° 에 가까운 증발기체가 형성되어 최소의 새도 거리를 가지므로, 초고해상도의 OLED 소자의 제작이 가능하다.^[4](그림 22)

면증발원은 상향식, 하향식, 측향식으로 구성하여도 금속면

Fig. 23. Directional plane sources.

Fig. 24. Plane source evaporation.

과 기판 사이의 거리가 동일하고, 재증발된 유기분자의 비행거리(λ)가 동일하여($\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3$), 어떤 방향으로 증발하여도, 금속면의 증발온도가 동일하여, 발광효율의 저하가 생기는 문제가 없다. 또한, 금속면에 형성된 유기박막을 완전히 재증발하게 되어 이물질의 발생이 없으며, 증발온도가 낮아(예, 130 °C) 유기분자의 변성이 없음이 밝혀졌다.^[2] 면증발원을 사용하면 대면적 기판처짐이 방지되는 하향식 면증발원 증착기의 개발이 용이하다. 결국, 증착기 구성이 매우 유연해지는 장점을 가지게 된다.(그림 23)

기존에는 선형증발원을 사용하여 증발된 유기물이 기판에 증착되는 원스텝(one-step) 공정기술이 사용되고 있으나, 투스텝(two-step) 면흡착-탈착 증발 증착공정이 사용되면, 새도 거리가 매우 줄어들어 초고해상도의 OLED 소자 생산이 가능하다. 면증발원 증착공정은 선형증발원을 스캔하여 금속면에 유기박막을 1차 증착하고, 증착된 면증발원을 회전 이송하여, 도너필름(금속면에 증착된 유기박막)과 기판이 마주보게 정렬하고, 금속후면을 가열하여 유기박막을 상향으로 재증발하여 기판에 패턴된 유기박막이 증착되는 멀티스텝(multi-step) 증착공정이 필요하다.^[8](그림 24) 금속면과 선형증발원 사이의 거리와 도너필름과 기판 사이의 거리를 적당히 조절하여, 고물질사용율(예, 60% 이상)을 얻을 수 있다. 또한, 금속면과 선형증발원 사이의 거리(예, 100 mm)가 짧아지면, 선형증발원의 증발온도(예, 230 °C)가 낮아져서, 유기물질의 변성이 최소화되어 소자의 발광효율의 향상이 기대된다. 특히, 면증발원 증착기는 패턴링 증착시 기판, 새도 마스크, 면증발원의 움직임이 전혀 없으므로, 기판과 새도 마스크의 정밀도의 향상이 기대된다.

인라인형 양산장비에서는, 면증발원을 이용하는 고진공 증착 챔버는 정지된 선형증발원의 상부에 금속면을 선형으로 이송하면서, 유기물 박막을 형성하게 된다.^[9] 유기박막이 증착된 금속

Fig. 25. In-Line type plane source FMM evaporator.

Dual Plane Source Evaporator

Fig. 26. Dual plane source FMM evaporator.

면을 회전하여 면히터의 상부에 놓이게 되고, 면소스의 상부에 새도 마스크가 기판과 얼라인되어 있다. 면증발 증착이 완료되면, 금속면은 이송되어 냉각장치의 상부에 놓이게 되어 급속히 냉각되고, 다시 회전 이송되어 재사용하게 된다.(그림 25)

클러스터형 양산장비에서는, 선형증발원이 스캔하여 정지된 금속면에 유기박막을 증착하고, 사용된 금속면을 재사용하여 증착하기까지는 아이들링 시간이 발생하므로, 유기물의 물질 사용율이 저하될 수 있다.^[10] 이러한 문제를 해결하기 위하여, 면증발원 증착기의 내부에는 2개의 면증발원과 2개의 기판/마스크 얼라인 장치를 구성한다. 선형증발원은 2개의 면증발원을 번갈아 증착하기 위하여 선형 왕복 이송되며, 선형증발원의 아이들링 시간이 짧아지므로, 유기물의 물질 사용율을 향상하게 되며, 생산성도 2배 향상된다.(그림 26)

현재 사용되고 있는 클러스터형 양산장비는 기판의 이송을 위하여, 공정챔버들이 진공로봇 챔버 주위에 모여있는 형태이다.^[6] 양산용 클러스터형 면증발원 증착기는 기판로딩, 언로딩, 면소스증착, 면소스인버전, 면증발증착, 메탈증발증착, 면소스

REFERENCES

- [8] C. H. Hwang, Korean Patent (1012061620000).
- [9] C. H. Hwang, Korean Patent (102016-0168470).
- [10] C. H. Hwang, Korean Patent (102016-0168546).

Fig. 27. Cluster type plane source FMM evaporator.

Fig. 28. Plane source SMS evaporation.

냉각, 면소스 저장, 기판저장, 마스크저장, 플라즈마 전처리 기능을 가지는 고진공 챔버들로 구성하게 된다. 즉, 기존에 이미 사용하고 있는 생산장비에 면증발원을 설치하게 되면, 초고해상도의 소자제작이 바로 가능해진다.(그림 27)

면증발원을 활용하면 RGB TV 소자제작이 용이하다. 기존의 SMS 증착기술은, 위치가 고정된 선형증발원에서 증발된 유기물 기체가 슬릿마스크의 오프닝을 관통하여, 이송되는 기판에 스트립형 미세 패턴 박막을 형성한다. 기판의 이송을 위하여, 기판과 슬릿마스크는 약 50~100 μm 의 공간을 띄어 놓게 되지만, 이로 인해, 기체 퍼짐에 의하여 새도 현상이 더욱 심해지고, 스트립패턴들이 중첩되어 고해상도의 RGB TV 제작이

	1G	2G	3G
Evaporation Source	Point Source	Linear Source	Plane Source
Evaporator Concept			
Feature	VTE SD ~ 3.0um Max 400ppi	VTE SD ~ 3.0um Max 600ppi	Re-evaporation SD ~ 0.3um 2250ppi AMOLED
Note	Substrate Rotation	Substrate Scan Source Scan	All Static Process 200ppi RGB TV

Fig. 29. Evaporation source generation.

어렵다. 면증발원 SMS 증착기에서는 선형증발원 대신에 기판과 반대방향으로 면증발원을 이송하면서 증착을 하면, 새도 현상이 현저히 줄어들어 고해상도의 스트립패터닝을 형성하게 되어 고해상도의 RGB TV의 생산이 가능하다.^[9](그림 28)

결론

본 논문에서는 1세대 증발원기술인 점증발원과 점증발원 증착기, 2세대 증발원기술인 선형증발원과 선형증발원 증착기 및 3세대 증발원기술인 면증발원기술과 면증발원 증착기 기술에 대하여 살펴보았다. 현재 고해상도의 모바일 AMOLED 소자 제작에는 3 μm 의 최소 새도 거리를 가지는 선형증발원 FMM 증착기를 사용하고 있으나, 미래에는 초고해상도의 소자를 생산하기 위하여서는 서브마이크론(< 1 μm)의 새도 거리를 가지는 면증발원 증착기의 개발이 필요하다. 향후에는 면증발원을 이용하여 소자개발, 새도 거리 향상연구, 대면적 면증발원의 개발 및 6세대기판용 면증발원 FMM 증착기와 RGB TV 생산용 면증발원 SMS 증착기의 개발이 필요하다.(그림 29)

*본 논문은 중소벤처기업부에서 지원한 창업사업화와의결과물로서 작성되었습니다. *과제번호: 10113773, *과제명: “초고해상도 AMOLED 제조용 면소스 증착기술 개발”