디스플레이 용어알기

DISPLAY TERMINOLOGY GUIDE

디스플레이를 알려면 관련 용어부터 이해하자!

이 책을 펴내며

삼성디스플레이가 온라인 뉴스룸을 통해 디스플레이에서 사용하는 100개의 용어를 연재한 <디스플레이 용어알기> 시리즈를 책으로 펴냈습니다. 디스플레이 기초 용어부터, 구조, 공정 등 업계에서 사용되는 다양한 용어를 사전처럼 요약하고 풀이한 이 책을 통해 관련 지식을 이해하는 데 도움이 되기를 바랍니다. 디스플레이의 가장 작은 단위인 픽셀부터 하나씩 차근차근 지식을 쌓아가는 즐거움을 경험해 보는 것도 이 책을 활용하는 또 다른 방법입니다. 책 발간에 도움을 주신 모든 분들께 감사의 말씀을 전합니다.

2023 년 1월 19 일

삼성디스플레이 주식회사

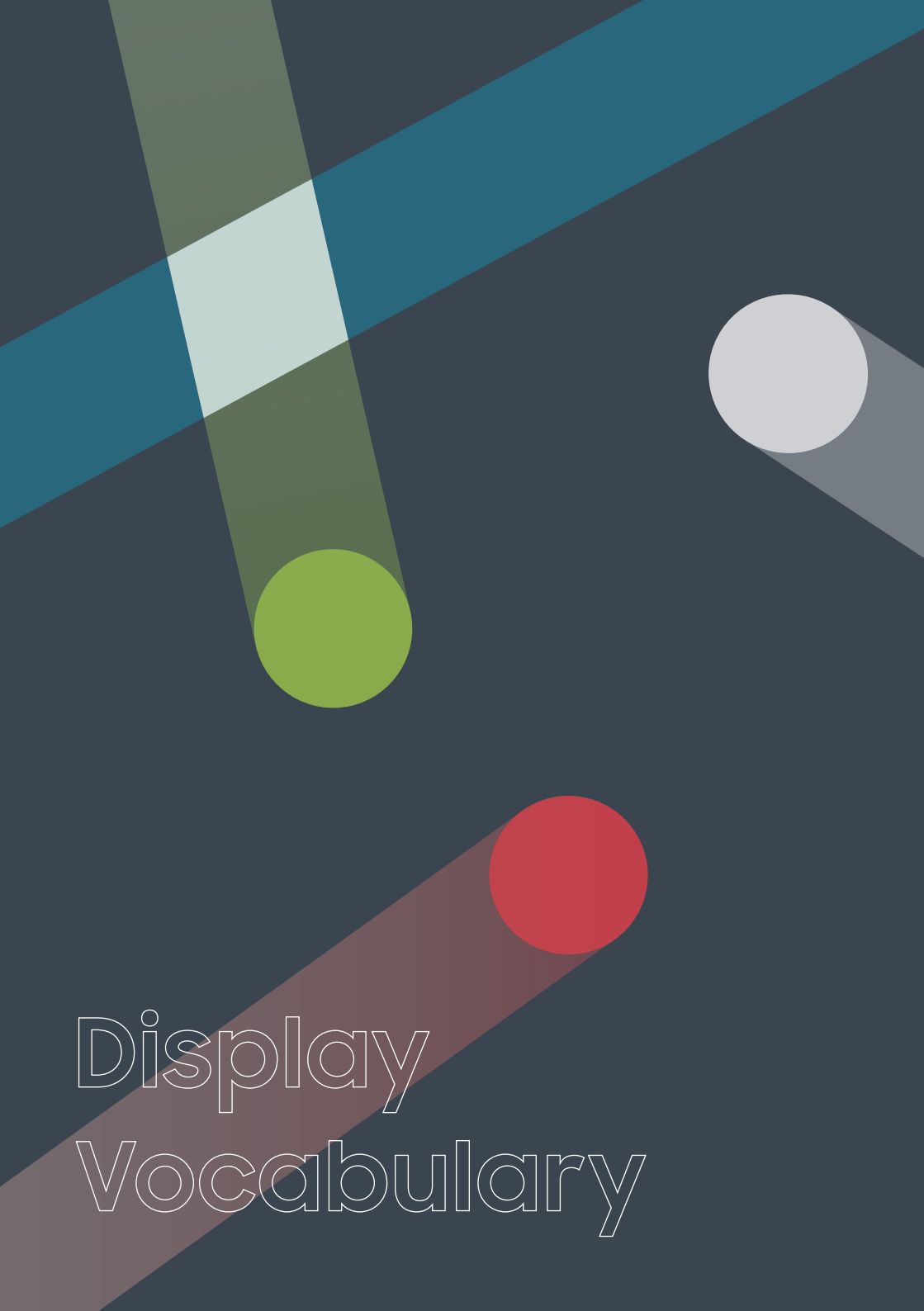
CONTENTS

목차

픽셀	Pixel	12
해상도	Resolution	14
PPI	Pixels Per Inch	16
화면비	Aspect Ratio	18
휘도	Luminance	20
명암비	Contrast Ratio	22
계조	Gradation	24
색영역	Color Gamut	26
NTSC	아날로그 방송 기술 표준	28
DCI-P3	Digital Cinema Initiatives P3	30
Rec.2020	ITU-R Recommendation BT.2020	32
컬러 볼륨	Color Volume	34
색심도	Color Depth	36
HDR	High Dynamic Range	38
화면 주사율	Refresh Rate	40
응답속도	Response Time	42
시야각	Viewing Angle	44
MPRT	동영상응답속도	46
가변주사율	VRR	48
플리커	Flicker	50
헐레이션	Halation	52
OLED	유기 발광 다이오드	54
LCD	액정 표시 장치	56
QD-OLED	Quantum Dot OLED	58
마이크로 LED	Micro LED	60
라이트 필드	Light Field	62
홀로그래피	Holography	64
백플레인	Backplane	66
기판	Substrate	68
TFT	박막 트랜지스터	70
a-Si	아몰퍼스 실리콘	72
ELA	엑시머 레이저 어닐링	74
LTPS	저온 다결정 실리콘	76
옥사이드	Oxide	78
유기물층	HIL, HTL, EML, ETL, EIL	80

액정	Liquid Crystal	82
백라이트 유닛	BLU	84
편광판	Polarizer	86
컬러필터	Color Filter	88
터치스크린 패널	TSP	90
디지타이저	Digitizer	92
FoD	내장형 지문 센서	94
윈도우	Window	96
액티브 에어리어	Active Area	98
BM	블랙 매트릭스	100
개구율	Aperture ratio	102
베젤	Bezel	104
PDL	Pixel Define Layer	106
DDI	디스플레이 드라이버 IC	108
FPCB	연성 회로 기판	110
COG, COF, COP	DDI 부착 방식	112
UTG™	Ultra Thin Glass	114
홀 디스플레이	Hole Display™	116
UPC	Under Panel Camera	118
다이아몬드 픽셀™	Diamond Pixel™	120
라운드 다이아몬드 픽셀™	Round Diamond Pixel™	122
에코스퀘어 OLED™	Eco²OLED™	126
포토레지스트	Photoresist	128
포토리소그래피	Photolithography	130
증착	Evaporation	134
파인 메탈 마스크	FMM	138
오픈 마스크	Open Mask	140
PVD	물리적 기상 증착	142
스퍼터링	Sputtering	144
CVD	화학 기상 증착법	146
노광	Exposure	148
현상	Development	150
식각	Etching	152
세정	Cleaning	154
봉지	Encapsulation	158

박막봉지	TFE	162
셀공정	OLED Cell	164
모듈	Module	166
잉크젯프린팅	Inkjet Printing	168
배면·전면발광	Bottom·Top Emission	170
공진	Micro-cavity	172
저분자OLED	Small Molecule	174
고분자OLED	High Molecule	176
호스트	Host	178
도펀트	Dopant	180
형광	Fluorescence	182
인광	Phosphorescence	184
열활성화지연형광	TADF	188
초형광	Hyper Fluorescence	192
QD	퀀텀닷	194
ITO	인듐주석산화물	198
폴리이미드	PI	200
투명폴리이미드	CPI	202
OCA/OCR	광학용접착소재	204
ACF	이방성도전필름	206
플렉시블OLED	Flexible OLED	208
폴더블OLED	Foldable OLED	210
롤러블OLED	Rollable OLED	212
스트레처블OLED	Stretchable OLED	214
투명OLED	Transparent OLED	216
차량용디스플레이	Automotive Display	218
팹	FAB	220
클린룸	Clean Room	222
원장과세대	Mother Glass & Generation	226
생산능력	CAPA	230


Display
Vocabulary

픽셀
Pixel

1

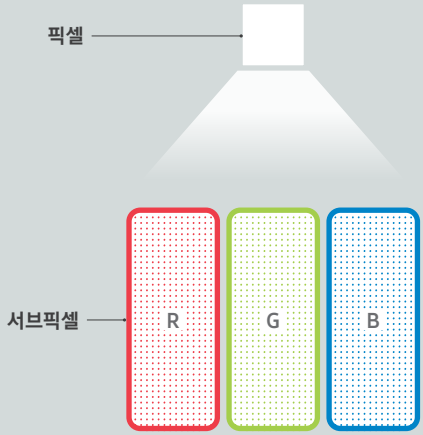
1 픽셀**Pixel**은 디스플레이**화면**의 이미지를 구성하는 최소 단위로 '화소'라고도 부릅니다. 디지털 디스플레이 장치에 표시할 수 있는 이미지나 그래픽의 가장 작은 단위지요. 우리가 일상생활에서 사용하는 스마트폰이나 모니터, TV 화면에 나타나는 이미지는 수많은 픽셀들이 모여 하나의 큰 이미지를 형성해 표현된 것입니다.

디스플레이에 보이는 이미지들을 크게 확대해보면, 그림의 경계선마다 부드러운 곡선이 아닌 계단처럼 연결된 작은 사각형들이 모여 이미지를 형성하고 있는 것을 볼 수 있습니다. 이 작은 사각형이 바로 픽셀이며, 픽셀 수가 많을수록 보다 정교하고 매끄러운 이미지 표현이 가능합니다.

2 하나의 픽셀은 다시 빛의 삼원색인 RGB 값을 표현하는 서브픽셀**Subpixel, 부화소**들로 이루어져 있으며, 각 서브픽셀들이 표현하는 빛의 양과 색의 조합을 통해 다양한 색을 표현합니다.

1 픽셀의 정의

2 픽셀과 서브픽셀의 구조



해상도
Resolution

2

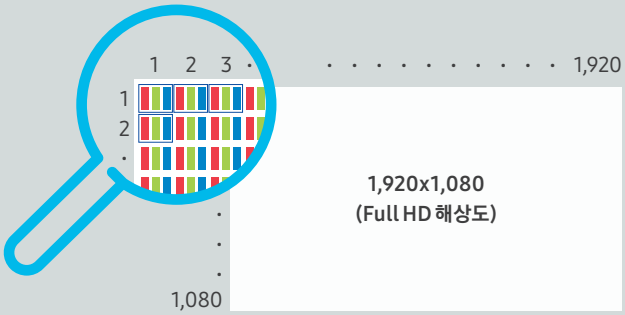
1 해상도Resolution는 디스플레이 화면의 가로, 세로에 배치된 픽셀Pixel의 개수를 수치적으로 표현한 용어입니다. 예를 들어 가로 1,920개와 세로 1,080개의 픽셀로 구성된 디스플레이는 1,920x1,080 또는 FHDFull High Definition 해상도라고 부릅니다.

2 디스플레이의 활용 목적에 따라 다양한 해상도가 존재하며 대표적으로 과거 브라운관 TV의 대표적인 해상도였던 SDStandard Definition 규격은 가로세로 4:3 화면 비율을 가진 640x480 해상도로 한 화면이 총 30만 7,200개의 픽셀로 구성됩니다. 본격 디지털 TV 시대에 보편화된 HDHigh Definition 규격은 16:9 화면 비율의 1,280x720 해상도로 92만 1,600개의 픽셀로 구성됩니다. FHD 규격은 HD와 마찬가지로 16:9 화면 비율이며, HD보다 2배 이상 선명한 화질을 구현하는 1,920x1,080 해상도입니다.

3 디스플레이의 해상도는 이후 UHDUltra High Definition라는 보다 높아진 규격으로 발전했으며, 크게 4K UHD3,840x2,160와 8K UHD7,680x4,320로 구분됩니다. 일반적으로 해상도가 높을수록 더 선명한 화질을 보여주기 때문에 디스플레이 기술 발전은 고해상도 구현과 궤를 함께했습니다.

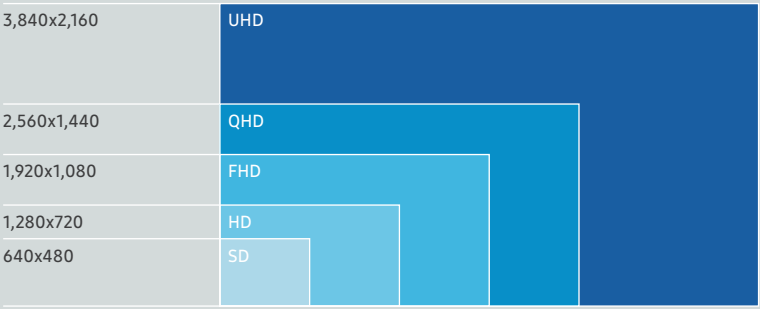
1

해상도의 정의



2

픽셀 개수에 따른 해상도 규격



3

화질 비교

고해상도 저해상도

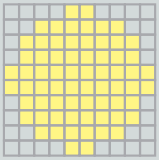
PPI
Pixels Per Inch

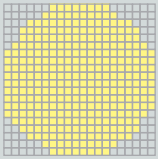
3

1 PPI**Pixels Per Inch**는 디스플레이 1인치에 들어있는 픽셀 수를 의미합니다. PPI가 높을수록 같은 크기의 화면에서 표현할 수 있는 픽셀 수가 많아지므로 더 세밀한 이미지 표현이 가능해집니다. 예를 들어 같은 6.4인치 크기의 디스플레이의 경우 FHD 1,920x1,080 해상도의 PPI는 345, QHD+ 2,960x1,440 해상도의 PPI는 516이므로 같은 공간에 더 많은 정보량을 표현할 수 있어 선명한 화질을 느낄 수 있습니다.

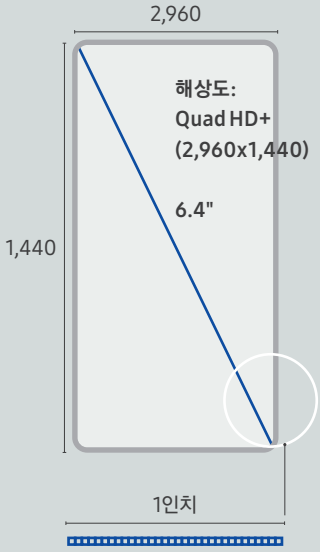
2 또한 같은 해상도의 경우, 화면 크기가 커질수록 PPI는 낮아지고, 반대로 화면 크기가 작을수록 PPI는 높아지기 때문에 화면 크기가 작으면서 해상도가 높은 경우 상대적으로 더 선명함을 느끼게 됩니다.

1 PPI의 개념



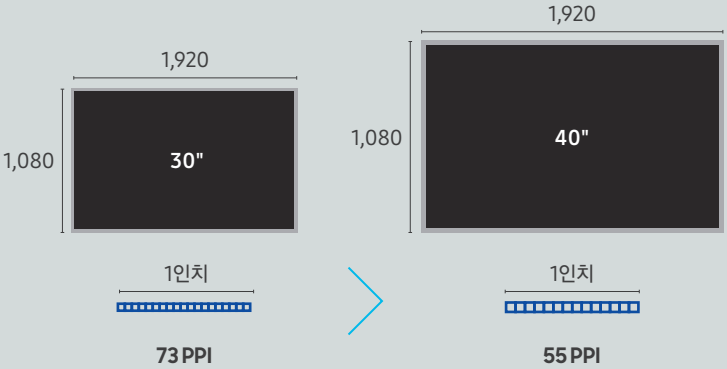


PPI가 높을수록 더 선명하고
디테일한 이미지 표현이 가능하다.



516 PPI

2 화면 크기에 따른 동일 해상도 PPI 변화



73 PPI **55 PPI**

동일한 해상도라도 화면 사이즈가 다르면 PPI가 달라진다.

화면비
Aspect Ratio

4

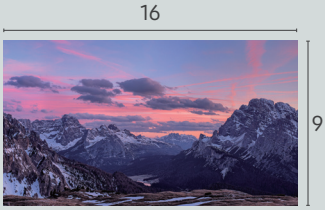
1 화면비Aspect Ratio는 디스플레이 가로와 세로 길이의 비율을 뜻합니다. 일반적으로 16:9 또는 1.33:1처럼 가로 길이를 세로의 길이로 나누고, 그 값을 'X:Y'의 형태로 표시합니다.

화면비는 1889년 필름 영사기의 시초인 키네토스코프Kinetoscope의 등장과 함께 4:31.33:1 비율로 시작됐습니다. 이후 몰입감을 증대시키기 위해 와이드 포맷이 개발되었고, 이후 영상 기술의 발달에 힘입어 제작 의도에 따른 다양한 비율의 화면비가 등장했습니다.

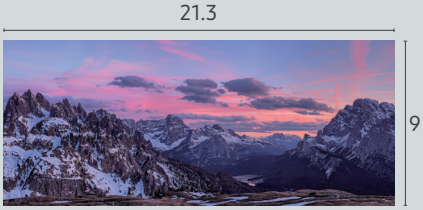
2 우선 가로가 조금 더 넓은 형태로 아카데미 비율Academy Ratio인 1.37:1이 시작되었고, 시네라마Cinerama의 2.59:1 비율, 시네마스코프Cinemascope 2.35:1 비율, 비스타비전VistaVision의 1.85:1 비율과 토드 AOTodd AO의 2.20:1 비율, MGM 65의 2.76:1 비율 등이 다양하게 전개됐습니다. 1980년대 후반 HD TV 표준 규격으로 1.78:116:9 비율이 채택되면서 16:9는 이후 DVD와 HD TV, UHD TV까지 와이드 스크린의 표준 화면비로 널리 쓰이게 됩니다.

1 와이드 포맷 몰입감 비교

1.33:1(4:3)

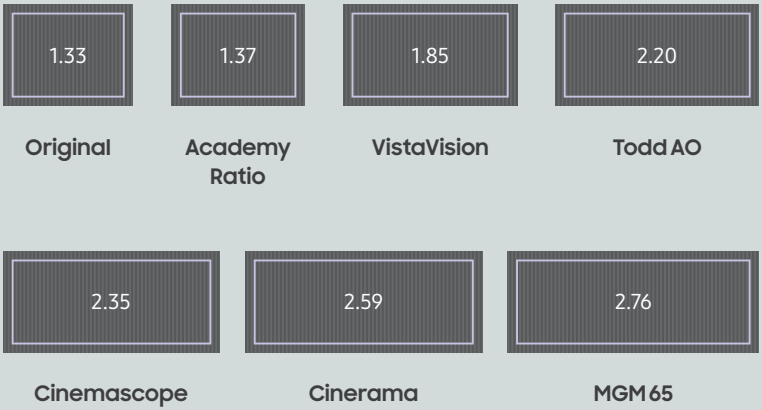


1.78:1(16:9)



2.37:1(21.3:9)

2 화면비의 전개



휘도
Luminance

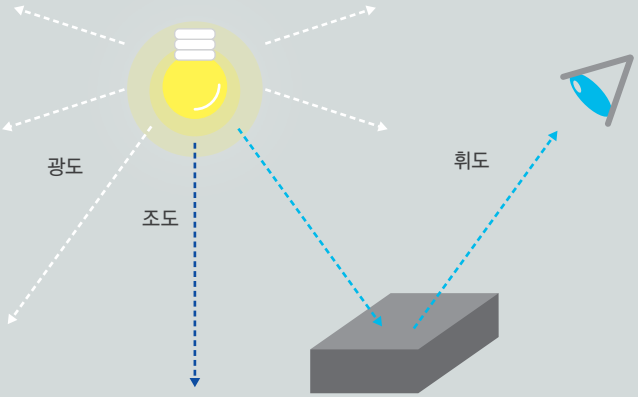
5

1 휘도Luminance는 광원光源에서 단위 면적 당 빛이 발산되는 정도, 또는 반사되어 빛나는 2차 광원의 밝기가 지닌 빛의 양을 의미합니다.

디스플레이에서는 기기의 밝기를 나타내는 일반적인 지표로 휘도를 사용하는데, 단위는 칸델라 매 제곱미터cd/m² 또는 니트nit, 1cd/m² = 1nit로 표기합니다. 1니트는 촛불 한 개가 1제곱미터m²에 비추는 광량을 의미하며, 휘도가 높을수록 태양광 아래의 야외에서도 보다 선명한 화면을 볼 수 있습니다.

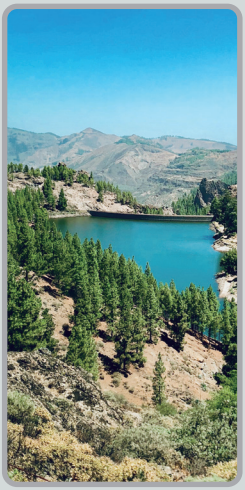
2 특히 화면의 가장 밝은 곳부터 가장 어두운 곳까지 밝기의 범위를 확장하는 고화질 기술인 HDRHigh Dynamic Range 효과 구현을 위해서는 높은 휘도가 중요하므로 고휘도 구현은 디스플레이에서 중요한 성능 지표입니다.

1 휘도의 개념



2 휘도에 따른 선명도 비교

저휘도



고휘도

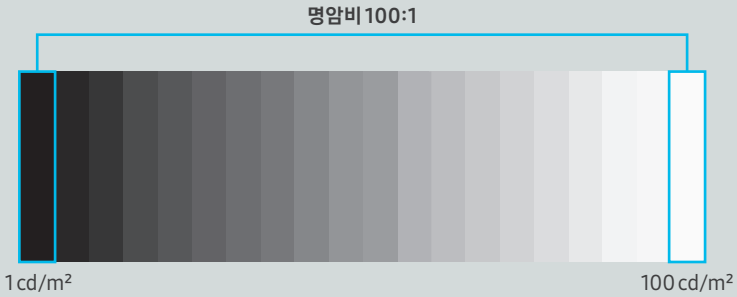
명암비
Contrast Ratio

6

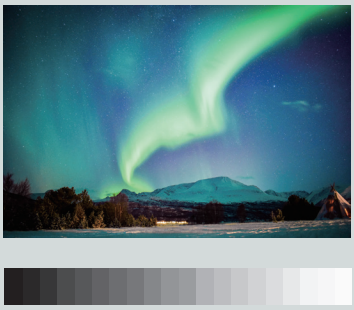
1 명암비Contrast Ratio는 디스플레이가 화면에서 표현하는 가장 밝은 부분과 어두운 부분과의 비율, 즉 명암 정도의 차이를 비율로 나타낸 것입니다. 예를 들어, 최대 밝기가 100이고, 최저 밝기가 1칸델라 매 제곱미터cd/m²인 경우, 명암비는 100:1이 됩니다.

2 명암비는 이미지의 밝고 어두운 정도의 차이를 어느 수준까지 표현 가능한지 알 수 있는 중요한 화질 지표로, 숫자가 클수록 명암비가 높으며 실제 모습에 가까운 화질을 보여줍니다. 특히 높은 명암비가 장점인 OLED는 모든 픽셀이 진정한 블랙을 재현할 수 있는 뛰어난 디스플레이라고 평가받습니다. 어두운 화면부의 광원인 백라이트 유닛BLU, Back Light Unit을 완전히 끌 수 없는 LCD와 달리 OLED는 자체 발광 방식으로 개별 픽셀을 완전히 끌 수 있습니다. 따라서 실제에 가까운 어두운 색상 표현에 유리하며 명암비도 무한대에 가까운 수준으로 구현할 수 있습니다.

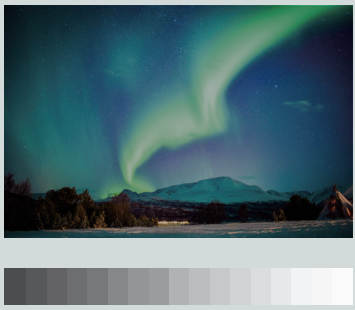
1 명암비 정의



2 명암비에 따른 선명도 비교



높은 명암비



낮은 명암비

계조
Gradation

7

1 계조Gradation는 디스플레이에서 명도의 차이를 통한 점진적인 변화를 단계적으로 표현한 것입니다. 쉽게 말하면 가장 밝은 부분부터 가장 어두운 부분까지의 농도를 차례대로 나누어 표현한 정도를 의미합니다.

2 계조가 풍부하지 못한 이미지의 경우 명도의 차이가 발생하는 부분에 물결무늬 또는 계단 현상과 같은 부자연스러운 모습이 나타날 수 있습니다. 만약 극단적으로 밝고 어두워서 흰색과 검은색의 단 두 가지 농도 단계만 존재하는 디스플레이가 있다면 회색 영역과 같이 중간 영역의 밝기를 충실하게 보여주지 못하므로 다양한 화면 표현에 큰 제약이 발생하게 됩니다. 따라서 밝고 어두움이나 색의 농도를 표현할 수 있는 단계가 더 긴밀하고 세분화될수록 계조가 풍부해져서 보다 디테일하고 자연스러운 화질을 보여줄 수 있습니다.

1

계조 단계별 표현 영역

2

계조 차이로 인한 계단 현상 유무

계조가 적으면
이미지에 계단현상이 발생

계조가풍부할수록
자연스러운 이미지 표현이 가능

색 영역
Color Gamut

8

1 색 영역**Color Gamut**은 이미지 원본의 색상을 화면에서 어느 정도 구현할 수 있는지를 수치화한 것으로, 디스플레이에서 표현할 수 있는 색상의 범위를 의미하며 다른 말로는 색 재현율이라고도 부릅니다.

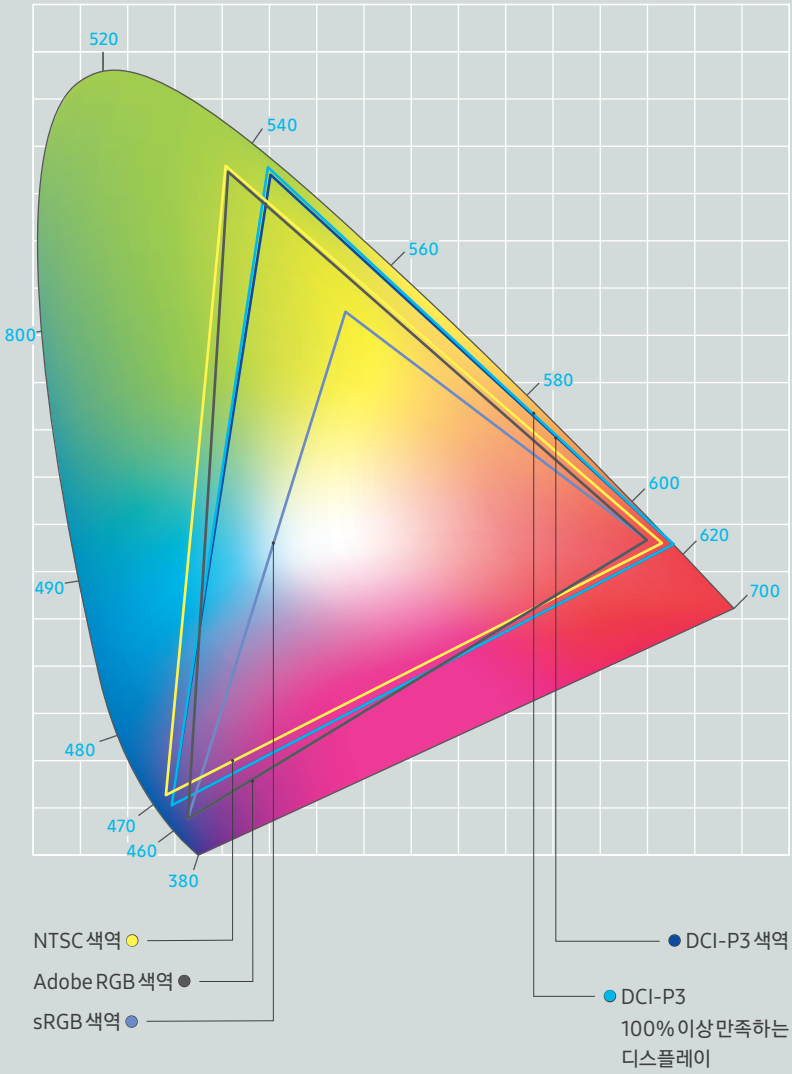
1931년 국제조명위원회 CIE는 현대적 색 체계의 기준이 되는 색 좌표계를 발표했습니다. 이는 인간이 눈으로 볼 수 있는 가시광선 영역의 스펙트럼을 그래프화하여 나타낸 것으로, 이후 여러 기관들은 이 그래프 영역을 바탕으로 NTSC**National Television System Committee**, sRGB**Standard RGB**, Adobe RGB, DCI-P3와 같이 각각 표준이 되는 색 범위를 지정했습니다.

그리고 디스플레이가 해당 색 범위 내에서 실제로 표현할 수 있는 범위를 면적으로 비교해 이를 백분율로 표시한 것을 색 영역**색 재현율**이라고 합니다. 예를 들어, DCI-P3 기준의 색 범위에서 80퍼센트를 표현할 수 있으면 DCI-P3 80%, 100퍼센트 표현이 가능하면 DCI-P3 100% 라고 표시합니다.

* 국제조명위원회(CIE, Commission Internationale de l'Eclairage): 빛, 조명, 빛깔, 색 공간을 관장하는 국제 위원회
** CIE 1931: 현재 가장 많이 사용되는 전통적인 색 공간 표준으로, 무지개색 다이어그램은 인간의 눈으로 볼 수 있는 가시광선의 영역을 표시함

1

계조 단계별 표현 영역


520
540
560
800
580
600
620
490
700
480
470
460
380
NTSC 색역
Adobe RGB 색역
sRGB 색역
DCI-P3 색역
DCI-P3
100% 이상 만족하는
디스플레이

NTSC 아날로그 방송 기술 표준

9

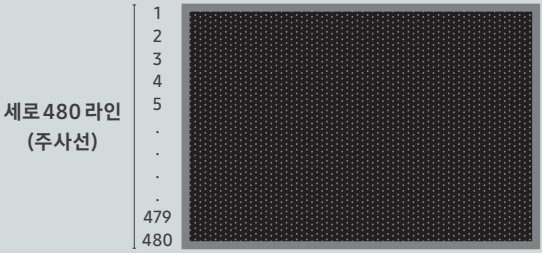
NTSC**National Television System Committee**는 방송용 전파에 대한 미국 표준화 담당 기구의 이름이자, NTSC의 아날로그 방송 기술 표준 및 색 영역을 의미합니다.

1 1941년 NTSC는 흑백 TV 영상의 기술 표준을 제정했는데, 한 장면당 세로 480라인으로 구성되며, 초당 30프레임, 60헤르츠**Hz**의 주파수를 갖춘 규격이었습니다. 1953년에는 세계 3대 국제 표준화 기구 중 하나인 국제전기통신연합 ITU**International Telecommunication Union**와 함께 컬러 TV 영상 표준을 제정했고 이때 NTSC 색 영역도 함께 탄생했습니다.

2 NTSC는 TV보다 먼저 개발되었던 영화용 컬러 필름의 색 영역을 참고해 삼원색**Primary Color**을 정의했습니다. 그리고 1954년 1월 NTSC 방식을 기준으로 한 컬러 TV 방송이 미국에서 최초로 시작되었으며, 현재 NTSC 방식은 대한민국, 미국, 일본, 중남미 등에서 사용되고 있습니다.

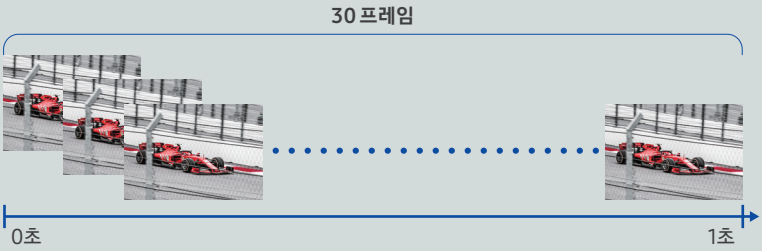
1-1

NTSC의 TV 프레임 구성



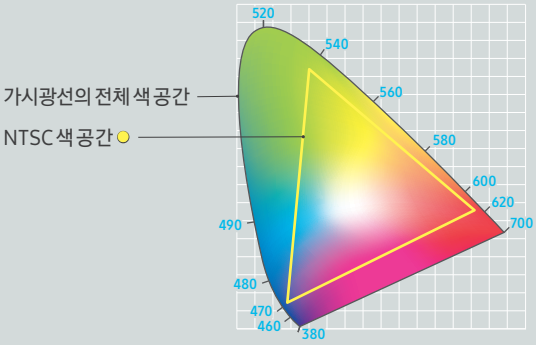
1-2

NTSC의 영상 구현



2

NTSC 색 공간



DCI-P3
Digital Cinema Initiatives P3

10

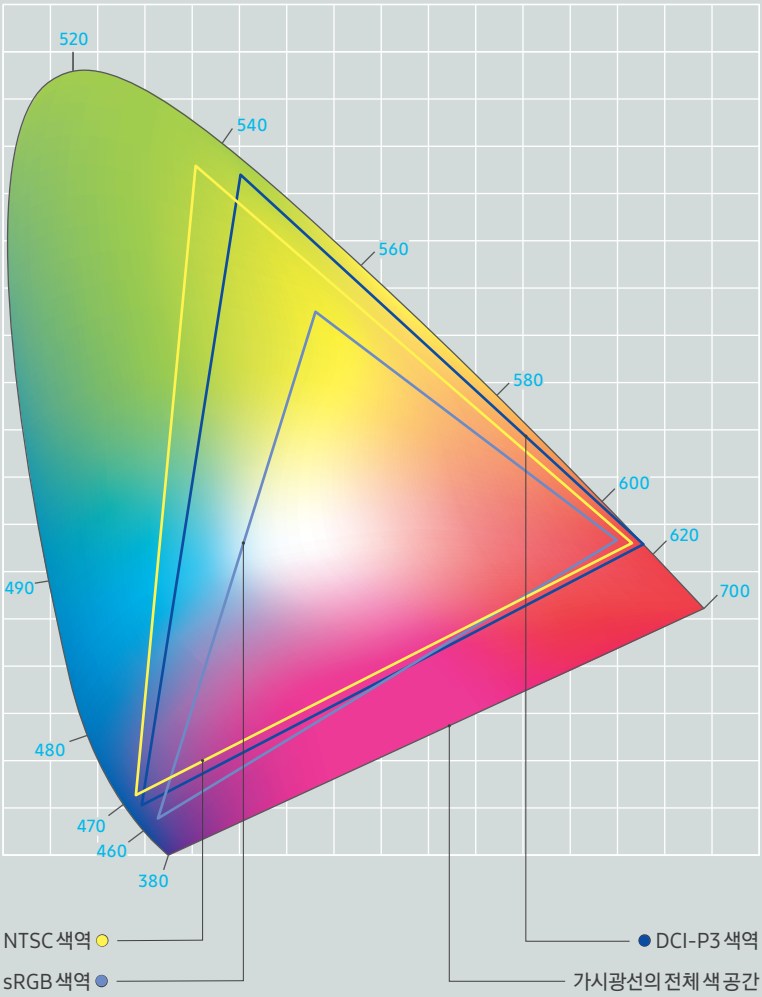
DCI-P3Digital Cinema Initiatives P3는 디지털 영사기용 색 영역으로 사용하기 위해 영화 업계Digital Cinema Initiatives에서 정의한 색 영역입니다.

디지털 TV 시장이 열리자 영화 업계에서도 디지털 방식으로의 기술 전환에 대한 논의가 시작됐고, 1990년대 전후로 미국의 메이저 스튜디오와 영화 장비 업체들을 중심으로 디지털 영화를 위한 연구와 관련 장비 개발이 시작되었습니다. 2002년에는 할리우드 영화사들이 주축이 되어 디지털 시네마 표준 개발을 위해 협력 기구인 DCIDigital Cinema Initiatives를 설립했고, 2005년에는 DCI 표준 규격을 제정하게 됩니다.

1 DCI는 기존의 필름과 다르게 색 영역을 구성하는 원색Primary Color을 빨간색Red, 녹색Green, 파란색Blue의 삼원색으로 지정했습니다. 세 개의 원색을 사용했기 때문에 DCI-P3라고 부르며, 기존 sRGB보다 25퍼센트 더 넓은 색 영역을 표현할 수 있고 특히 적색 부분에 더 넓은 커버리지를 갖춘 것이 특징입니다.

1

DCI-P3 색공간


520
540
560
580
600
620
700
490
480
470
460
380
NTSC 색역
sRGB 색역
DCI-P3 색역
가시광선의 전체 색 공간

Rec.2020
ITU-R Recommendation BT.2020

11

Rec.2020은 국제전기통신연합 ITU International Telecommunication Union가 제정한 방송용 영상의 색 공간 표준으로, 정식 명칭은 ITU-R Recommendation BT.2020 입니다. 이를 줄여서 'Rec.2020' 또는 'BT.2020'으로 부릅니다.

영상 콘텐츠는 표준화된 규격 안에서 제작되고, 이후 해당 콘텐츠를 보여주는 디스플레이도 같은 규격을 따를 때, 콘텐츠 제작자가 의도한 색감이 그대로 표현됩니다. 마치 운동 경기에 기본적인 규칙이 있고, 경기가 벌어지는 공간에 대한 규격도 존재해야 올바른 시합이 진행되는 것과 비슷합니다.

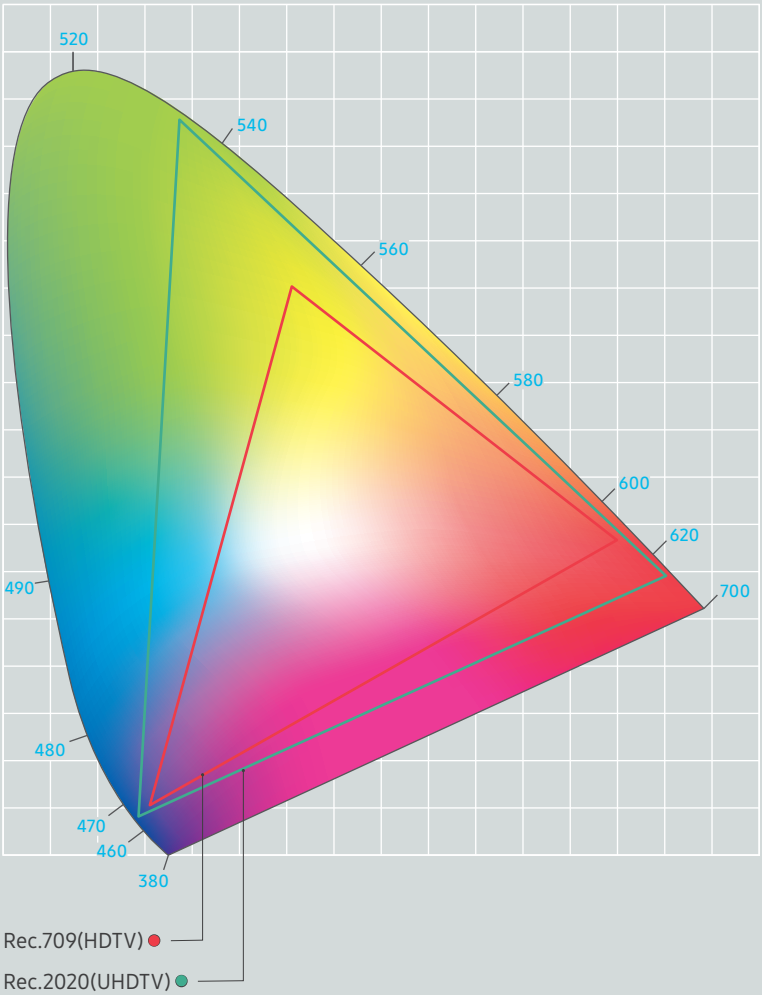
경기장에 규격이 있는 것처럼 디스플레이에서도 색을 보여주는 공간 규격이 있습니다. 이를 색 공간Color Space이라고 부르며, 이 공간에 대해서는 여러 기관이나 회사별로 다양한 기준이 존재합니다. 그 가운데 Rec.2020은 현재 가장 대표적인 UHD TV 색 공간입니다.

1 2012년 제정된 Rec.2020은 1990년 제정된 기존의 HD TV High Definition Television 규격 ITU-R BT.709보다 색 공간이 확대됐고, 해상도 및 색 심도 등이 향상됐습니다. 또한 기존의 Rec BT.709에서 정의한 HD TV 1,920x1,080보다 높아진 UHD 해상도인 4K 3,840x2,160와 8K 7,680x4,320를 지원합니다. 또 동일한 색의 진함과 연함을 달리하여 얼마나 많은 색상을 표현할 수 있는지를 나타내는 수치인 색 심도를 최대 12비트까지 지원해 최대 약 687억 개의 색을 표현할 수 있습니다.

* BT: Broadcasting Service (Television), 텔레비전 방송 업무

1

Rec.2020 색공간



컬러 볼륨
Color Volume

12

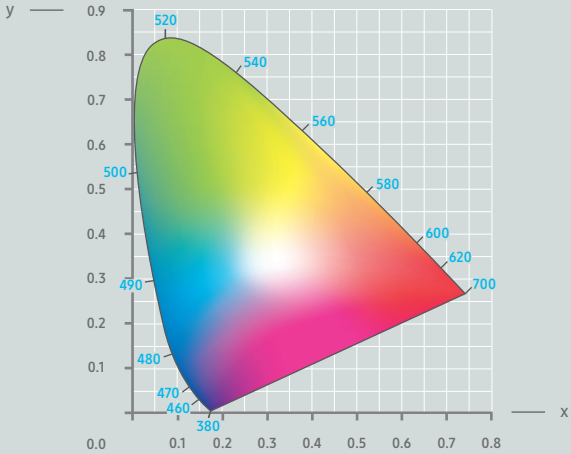
컬러 볼륨Color Volume이란 디스플레이 화면의 밝기에 따라 달라지는 색의 변화까지 측정하는 3차원 화질 측정 지표입니다. 디스플레이가 색을 표현하는 방식을 그림에 비유하면, 다양한 색상의 물감을 사용해 그림을 그리는 것과 유사합니다. 따라서 디스플레이 픽셀에서 표현 가능한 색 범위가 넓을수록 보다 실제에 가깝게 사물을 표현할 수 있습니다.

1 일반적으로 디스플레이의 색표현력은 인간이 볼 수 있는 빛과 색의 영역**가시광선**을 나타낸 CIE 1931 다이어그램을 기반으로, 주어진 색역에서 표현 가능한 색의 범위를 백분율로 표기해 나타냅니다. 이때 범위가 넓을수록 색재현력이 좋은 디스플레이지만 실제로는 밝기에 따라서 표현할 수 있는 색의 영역이 변하게 됩니다. 어두운 화면에서는 밝을 때보다 표현 가능한 색상이 크게 줄어드는 것이죠. 그러나 2차원 색재현력 방식은 밝기에 따른 색상 변화까지는 그래프로 표시할 수 없기 때문에 보다 정확하게 밝기 단계별 표현이 가능한 지표로 컬러 볼륨을 사용합니다.

2 컬러 볼륨은 부피 개념의 입체 형태입니다. 무지개색 광석처럼 생긴 입체 도형의 밝기가 높은 단계로 변화할수록 디스플레이가 표현할 수 있는 색의 영역을 보여줍니다. 이 도형을 단층 촬영한다고 상상하면 각각의 밝기에서 평면적인 색재현력을 볼 수 있습니다. 컬러 볼륨의 크기가 상하좌우로 늘어날수록 표현 가능한 범위가 늘어나기 때문에, 높은 컬러 볼륨 수치를 갖춘 디스플레이는 더욱 현실감 있는 색상 화질을 구현합니다. 컬러 볼륨은 밝기가 무척 중요해진 HDR**High Dynamic Range** 영상 기술의 등장과 함께, 보다 광범위하고 정확한 색 표현을 위한 지표로 주목받고 있습니다.

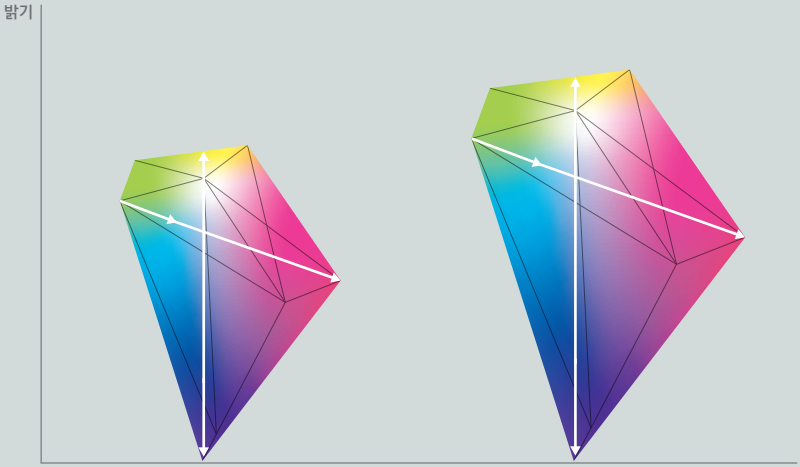
1

CIE 1931 색 공간



2

컬러 볼륨 표현 가능 범위



낮은 컬러 볼륨

높은 컬러 볼륨

색 심도
Color Depth

13

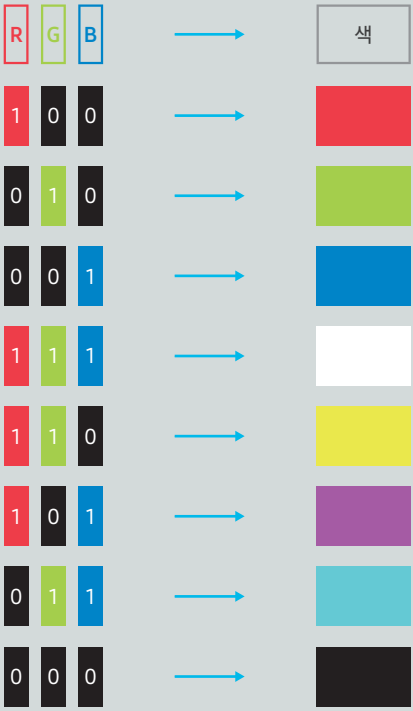
1 색 심도**Color Depth**는 디스플레이가 표현할 수 있는 색상의 수를 나타내는 수치로 비트**Bit**를 단위로 사용합니다. 디스플레이는 일반적으로 픽셀마다 빛의 삼원색인 RGB 서브픽셀을 조합해 다양한 색을 만드는데 각 서브픽셀들을 단색으로 온**On**/오프**Off** 시, 색 조합을 통해 총 8가지 색 표현이 가능합니다. 예를 들어, 빨간색**Red**을 켜고 녹색**Green**과 파란색**Blue**을 끄면 빨간색이 되고, 빨간색과 녹색을 켜고 파란색을 끄면 노란색이 되는 원리입니다.

2 이때 각 서브픽셀마다 밝고 어두움의 정도**명도** 차이인 계조를 추가로 적용하면 표현할 수 있는 색의 범위는 상당히 늘어납니다. 색 심도가 높은 디스플레이는 조합할 수 있는 색상의 수가 훨씬 많기 때문에 더욱 다양하고 자연스럽게 색을 표현할 수 있습니다.

3Bit	=	2^3	=	8색
8Bit	=	2^8	=	256색
24Bit	=	2^{24}	=	1,678만색

1

3비트 픽셀의 색 구현 방식



2

색 심도에 따른 색 표현 차이

3 Bit
(8 Color)

8 Bit
(256 Color)

24 Bit
(16,777,216 Color)

HDR
High Dynamic Range

14

1 HDR**High Dynamic Range**은 디스플레이 화면의 명암밝고 어두운 정도 범위를 넓혀, 사물을 더욱 선명하게 표현하는 영상/이미지 기술입니다.

자연에는 빛이 전혀 없는 완전한 어둠부터 태양빛에 준하는 엄청나게 밝은 환경까지 다양한 광량이 공존합니다. 하지만 촬영 기기의 수광 성능 및 스마트폰, TV 등 일반적인 디스플레이의 성능으로 인해 우리 눈이 자연에서 접하는 밝기의 범위보다 디스플레이는 표현 범위가 제한적입니다. 따라서 실제로 우리가 직접 보는 풍경과 TV로 접하는 풍경의 밝기에는 차이가 발생합니다.

2 HDR은 이를 극복하기 위해 탄생한 기술로 촬영 단계부터 HDR 카메라로 명암 정보를 폭넓게 파악하고, HDR 기능이 탑재된 디스플레이로 이를 구현하는 방식입니다. HDR 카메라로 촬영되고 편집된 콘텐츠와 이 영상 정보를 정확히 재현**Tone Mapping**할 수 있는 HDR 디스플레이가 충족될 때 더욱 현실감이 높은 최고의 HDR 화질 효과를 얻을 수 있습니다.

1

HDR 개념 이해

NON-HDR　　HDR

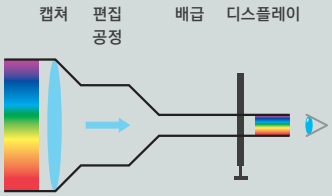
HDR 개념을 이해하기 쉽게 표현한 시뮬레이션으로 실제 효과와는 다를 수 있음

2-1

HDR 프로세싱

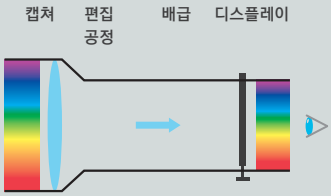
2-2

SDR vs. HDR



SDR
(Standard Dynamic Range)

기기의 한계와 영상 통신 문제로
색 영역과 명암비 모두 대폭 감소



HDR
(High Dynamic Range)

기기와 영상 처리 기술 발전으로
색 영역과 명암비 모두 크게 개선

화면 주사율
Refresh Rate

15

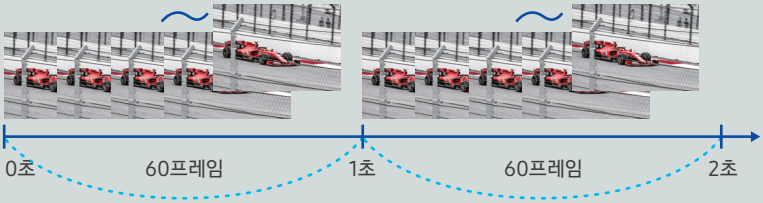
1 화면 주사율Refresh Rate은 1초 동안 화면에 얼마나 많은 장면을 표시할 수 있는지 나타내는 수치로, 화면 재생률이라고 부르기도 합니다. 단위는 헤르츠Hz이며, 1초 동안 60번 화면 출력을 하면 60헤르츠, 120번 출력하면 120헤르츠라고 표시합니다. 일반적으로 주사율이 높을수록 화면 깜빡임 현상이 덜하며 더욱 매끄럽고 연속적인 움직임의 화면을 볼 수 있습니다.

주사율의 개념이 가장 먼저 등장한 분야는 영화 산업계였습니다. 당시에 1초당 필름 몇 장을 영사기로 상영하느냐는 것을 주사율의 개념으로 볼 수 있는데, 당시에는 인간이 영상으로 인지할 최소한의 주사율과 고가였던 필름 값을 동시에 고려해 24헤르츠라는 타협점에 도달했습니다. 즉, 영사기를 통해 1초에 24장의 필름 프레임을 재생한 것입니다.

이후 TV 업계에서도 영화의 기준을 따라 24헤르츠 재생을 시도했으나, 당시에는 일정한 프레임을 유지할 때 필요한 클럭 제너레이터Clock Generator를 저렴하게 양산할 수 있는 기술이 부족했기 때문에 도입에 어려움이 있었습니다. 하지만 당시 가정에 보급된 교류 AC 전력의 신호를 화면 주사율과 동기화해 사용할 수 있다는 점에 착안해, 미국 등은 60헤르츠의 교류 전력에 동기화한 30헤르츠를, 유럽은 50헤르츠의 교류 전력을 동기화한 25헤르츠를 주사율로 정하고 사용하게 되었습니다.

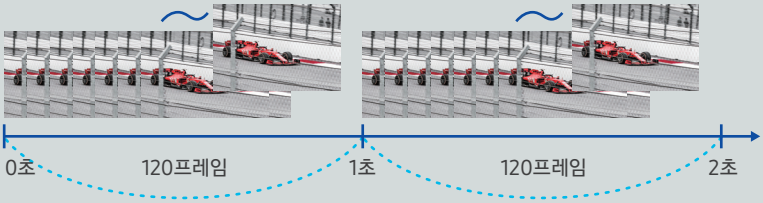
1-1

화면 주사율의 개념



화면 주사율: 60Hz

1초에 60번 화면 출력

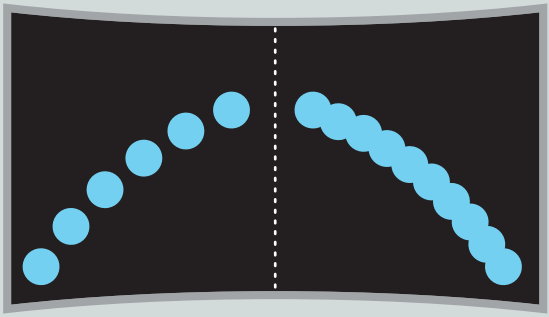


화면 주사율: 120Hz

1초에 120번 화면 출력

1-2

재생 빈도수에 따른 화면 연속성 비교



60Hz **120Hz**

응답 속도
Response Time

16

1 디스플레이 응답 속도Response Time, 응답 시간란 TFTThin Film Transistor, 박막 트랜지스터에 전압을 인가한 후 실제로 최종적인 픽셀이 변할 때까지의 시간'을 뜻하는 용어입니다. 쉽게 표현하자면 디스플레이에 표시되는 화면이 교체되는 속도를 의미합니다. 즉, 응답 속도가 느릴수록 화면이 변할 때 기존 장면이 남아있는 모습인 잔상이 많아져 화면이 흐릿하게 보이지만 응답 속도가 빠르면 잔상이 줄어들어 보다 선명한 화면을 볼 수 있습니다.

응답 속도는 1,000분의 1초를 뜻하는 밀리세컨드ms를 단위로 사용합니다. 예를 들어 5밀리센컨드라고 하면 1,000분의 5초 만에 픽셀이 변경돼 새로운 화면을 보여주는 성능입니다. 응답 속도는 크게 두 가지 방식으로 측정합니다. 먼저 '백색 대 흑색White to Black' 방식은 픽셀이 흑-백-흑Black-White-Black으로 바뀌는 시간을 측정하는 가장 전통적인 방식이며, 이후에 흑백 방식에서 벗어나 10퍼센트 농도의 회색에서 90퍼센트 농도의 회색으로 변할 때까지 시간을 재는 '회색 대 회색Gray to Gray' 방식이 등장했습니다.

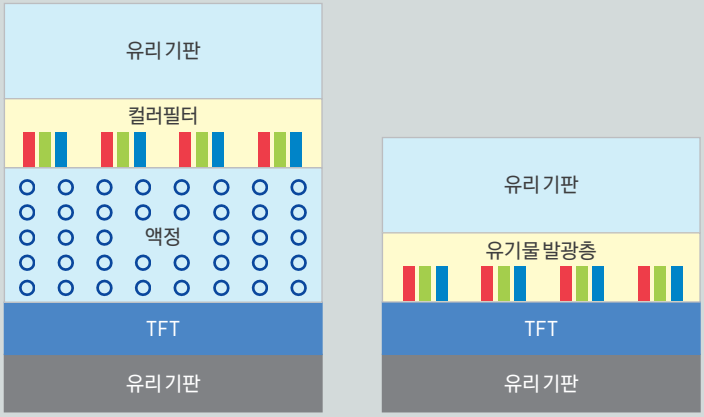
2 대표적인 평판 디스플레이인 LCDLiquid Crystal Display, 액정 표시 장치는 액정의 물리적 움직임이 필요하므로 응답 속도가 상대적으로 느리지만 픽셀 스스로 빛을 내는 방식인 OLED는 별도의 물리적 구동이 불필요해 상당히 빠른 응답 속도를 보여줍니다. 삼성디스플레이의 노트북용 OLED는 0.2밀리세컨드의 응답 속도를 기록해 2021년 5월, 글로벌 인증기관 SGS로부터 Gaming Performance 인증을 받기도 했습니다.

1

응답 시간에 따른 잔상

2-1

LCD와 OLED 단면 구조 비교



LCD OLED

2-2

SGS, Gaming Performance 인증

시야각
Viewing Angle

17

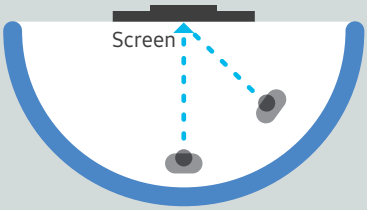
1 시야視野는 사람 눈이나 렌즈 등이 볼 수 있는 범위를 의미합니다. 디스플레이를 평가할 때 우리가 종종 사용하는 시야각도 이와 관련된 의미입니다. 우리가 모니터 화면을 볼 때 제품에 따라 정도의 차이가 있지만 정면에서 보는 화면과 측면에서 보는 화면이 다르게 보이는 경우가 있습니다. 정면에서는 깨끗한 화질을 볼 수 있지만 옆이나 위에서 내려다볼 때는 정면보다 어둡거나 색이 탁한 화면을 보게 되는 것인데요. 디스플레이 화면을 볼 때 화질을 왜곡 없이 시청할 수 있는 각도를 시야각이라고 합니다.

2 시야각은 화면을 중앙에서 바라볼 때와 비교하여 상하좌우 위치에서 비스듬히 볼 때 화질의 차이가 있는지를 수치로 표현한 것입니다. 시야각이 좋은 디스플레이일수록 보는 위치에 상관없이 동일한 화질로 화면을 감상할 수 있습니다. 시야각이 좋지 못한 디스플레이는 측면에서 바라볼 때 화면의 컬러가 왜곡되거나 휘도가 저하되는 등 최적의 화질 감상이 어렵습니다.

3 일반적으로 빛은 직진성을 갖고 있어, 빛을 통해 화면을 구현하는 디스플레이 역시 바라보는 각도에 따라 밝기나 색에 영향을 받습니다. LCDLiquid Crystal Display, 액정 표시 장치의 경우 백라이트의 빛이 액정과 컬러필터CF, Color Filter를 통과하는 구조를 갖고 있어, 자발광 디스플레이에 비해 시야각에 제한이 있습니다. 차세대 대형 디스플레이로 주목받고 있는 자발광형 QDQuantum Dot, 양자점 디스플레이는 빛을 전방위로 균일하게 발광시키는 특성이 있어, 시청 각도에 따른 화질 변화를 최소화해 더욱 균일한 휘도와 색감을 전달합니다.

1

시야각의 개념



2

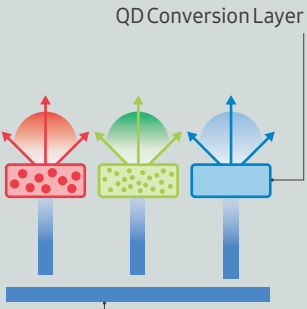
시야각에 따른 휘도 변화

QD-OLED

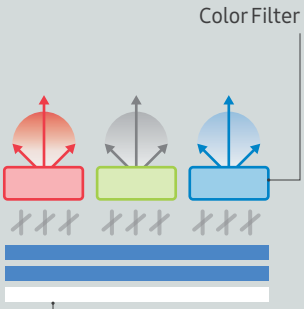
Conventional Display

3

QD-OLED



LCD



MPRT
동영상 응답 속도

18

1 MPRT**Motion/Moving Picture Response Time**란 디스플레이에서 동영상 응답 시간을 뜻하는 용어로, 일정 속도로 움직이는 영상에서 잔상이 생겼다가 사라지는 시간을 뜻합니다. MPRT는 일반적인 응답 시간**Response Time**과 동일하게 밀리세컨드**ms**를 단위로 사용하며, 디스플레이의 MPRT 단위가 작을수록 더 자연스럽고 선명한 동영상을 표현할 수 있습니다.

2 일반적인 디스플레이 응답 속도는 '회색 대 회색**Gray to Gray**' 방식이 대표적입니다. 이는 픽셀의 밝기 변화를 측정하는 방식으로, 0Gray**Black**에서 255 Gray**White**로 변하거나 그 반대, 또는 그 외 지정된 회색**Gray**에서 다른 지정된 회색**Gray**으로 변하는 경우의 응답 시간을 평가합니다. 이와 달리 MPRT는 영상의 프레임 하나가 바뀌는 동안, 움직이는 패턴의 잔상이 사라지는 시간을 측정합니다.

3 그림과 같이 일정한 패턴을 디스플레이에 표시한 후 일정한 속도로 이동시키는 방식이며, 이 장면을 카메라로 촬영해 이미지의 잔상인 끌림 정도**Blurred Edge Time/Width**를 분석합니다. 이때 MPRT 수치가 작은 디스플레이일수록 잔상이 적게 발생하겠지요. 액정이 불필요해 반응 속도가 빠른 자체 발광 방식의 OLED**Organic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드** 디스플레이의 경우 짧은 MPRT와 빠른 응답 속도를 구현하므로 더욱 선명한 화질을 표현할 수 있습니다.

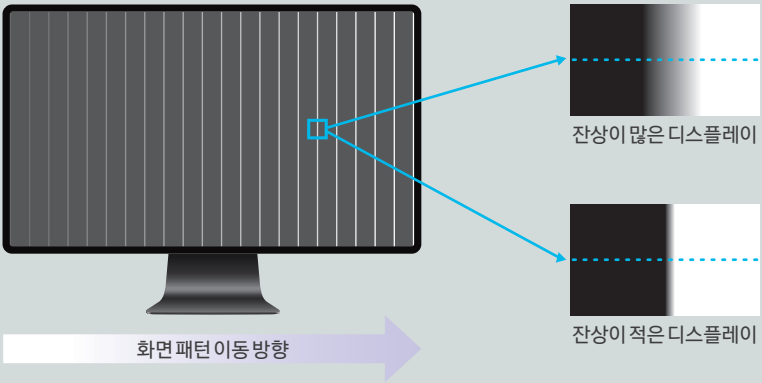
1 디스플레이 응답 속도

Conventional　　Samsung OLED

2 일반적인 디스플레이 응답 속도 측정 방식 개념

픽셀의 밝기가 변화하는 시간을 측정한다.

3 MPRT 측정 방식 개념



화면의 패턴을 일정한 속도로 움직인 후 카메라로 잔상을 측정한다.

가변주사율
VRR

19

1 디스플레이에서 주사율은 1초에 얼마나 많은 장면을 화면에 표현하는지 나타내는 수치로, 단위는 헤르츠Hz를 사용합니다. 예를 들어 120헤르츠의 주사율은 1초에 120번의 이미지를, 60헤르츠는 60번의 이미지를 화면에 불러오는 것입니다. 주사율이 높을수록 1초에 더 많은 이미지가 보이는 만큼 영상을 좀 더 부드럽고 매끄럽게 감상할 수 있지만 이미지를 더 많이 불러오는 만큼 전력 소모도 증가합니다.

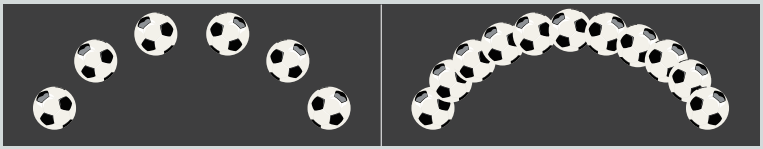
화면 전환이 빠른 게임이나 동영상의 경우 고주사율이 적용되면 더욱 자연스럽고 부드러운 화면 변화를 감상할 수 있습니다. 그러나 상대적으로 화면의 변화가 적은 이미지나 텍스트 기반의 콘텐츠는 일반 주사율의 화면과 고주사율에서 볼 때의 이미지 변화가 거의 없으므로 고주사율이 적용되면 불필요한 전력 소모가 발생할 수 있습니다. 이런 문제점을 해결하기 위해 등장한 것이 바로 가변주사율VRR, Variable Refresh Rate입니다. 빠른 화면 전환이 필요한 콘텐츠에서는 고주사율을 적용하고, 상대적으로 변화가 적은 콘텐츠를 소비할 때는 보다 낮은 주사율을 적용하는 것입니다.

2 삼성디스플레이의 '어댑티브 프리퀀시Adaptive Frequency'는 소비자의 사용 환경에 맞춰 디스플레이 주사율을 조정해 주는 가변주사율 기술입니다. 빠른 화면 전환이 필요한 스포츠, 게임 등은 120헤르츠, 이메일 확인과 같은 변화가 적은 화면은 30헤르츠, 그리고 사진과 같은 정지 이미지는 10헤르츠로 구동하는 등 화면의 상황에 따라 탄력적인 주사율을 적용해 소비 전력은 줄이고, 화면은 고화질로 감상할 수 있습니다.

1

60Hz

120Hz

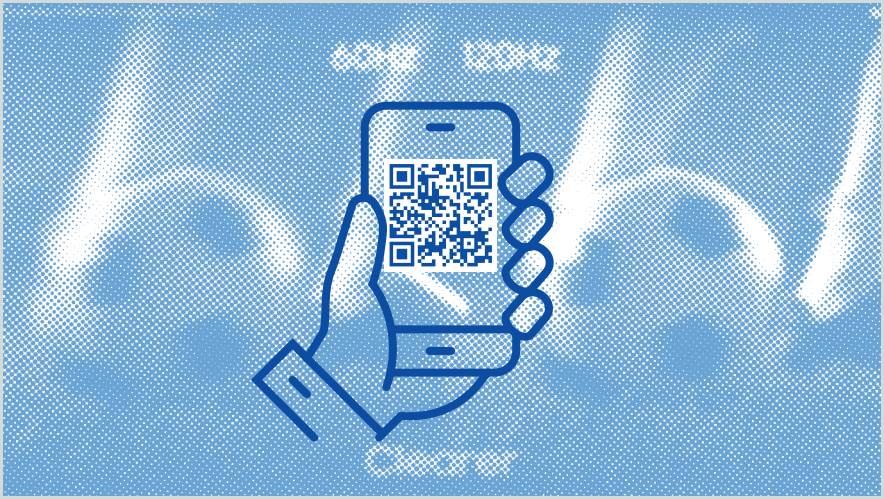


주사율이 높을수록 연속적인 동작을 더 매끄럽게 감상할 수 있다.

2

어댑티브 프리퀀시(Adaptive Frequency)의 주사율 변화

120Hz 게임/빠른 영상 | 60Hz 일반 영상 | 10Hz 이미지



Samsung Display Foldable OLED:
Adaptive Frequency™

플리커
Flicker

20

1 플리커Flicker란 디스플레이 또는 조명에서 빛의 밝기가 계속 변하면서 깜빡이는 현상을 뜻하며, 사람의 눈에 인지되는 '가시Visible 플리커'와 사람의 눈에는 보이지 않는 '비가시Invisible 플리커'로 구분됩니다.

2 플리커 현상은 광원이 온On/오프Off를 반복할 때 나타나는데, 먼저 조명에서 나타나는 원리를 알면 이해가 수월합니다. 일반적으로 가정에 공급되는 전류는 교류AC인데, 교류 전류는 특성상 양극+과 음극-을 계속 반복하는 파형을 갖고 있습니다. 만약 60헤르츠Hz 교류 전류를 사용하는 국가라면, 1초에 양극과 음극을 60번 오가는 파형을 볼 수 있습니다.

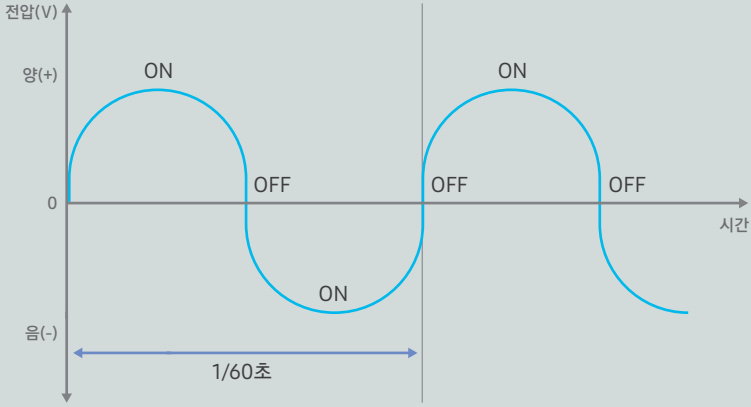
파형을 보면 양극도 음극도 아닌 0이 되는 순간이 있는데, 이때 전류가 순간적으로 흐르지 않아 조명이 오프상태가 됩니다. 아주 짧은 시간 동안 나타나는 현상이므로 인지가 어렵지만, 켜짐과 꺼짐이 반복되는 상태입니다. 유사하게 디스플레이에서도 픽셀이 켜지고 꺼지는 과정에서 플리커 현상이 발생합니다.

3 특히 LCDLiquid Crystal Display, 액정 표시 장치의 경우 전압을 이용해 액정을 움직여 픽셀의 밝기를 조절하게 되는데, 이때 전압이 일부 새는 현상 등으로 밝기가 균일하게 유지되지 않는 특성이 있습니다. 반면 OLEDOrganic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드는 액정이 필요 없는 픽셀 자체 발광 구조를 갖춰, 액정 구동으로 인해 유발되는 단점이 없습니다. 삼성디스플레이는 최근 노트북용 OLED에 '플리커 프리Flicker Free' 인증을 받아, 사용자의 눈 건강을 위한 보다 나은 디스플레이를 선보였습니다.

1 조명 플리커 현상 비교(240FPS 슬로모션 촬영)

오른쪽 전등은 플리커 현상을 보인다.

2 교류(AC) 전류의 파형에 따른 조명 온(On)/오프(Off)



3 TUV 플리커 프리(Flicker Free) 인증

삼성디스플레이 OLED는 글로벌 인증기관 TUV로부터 화면 주사율 60Hz, 90Hz, 120Hz 구동 시 화면 깜빡임이 전혀 없음을 인증받았다.

헐레이션
Halation

21

1 디스플레이에서 헐레이션Halation이란 밤하늘의 초승달처럼 명암 대비가 뚜렷한 이미지에서 어두운 영역의 경계선 부분이 하얗게 번져 보이는 '빛 번짐' 현상으로, '헤일로 현상Halo effect'이라고도 부릅니다.

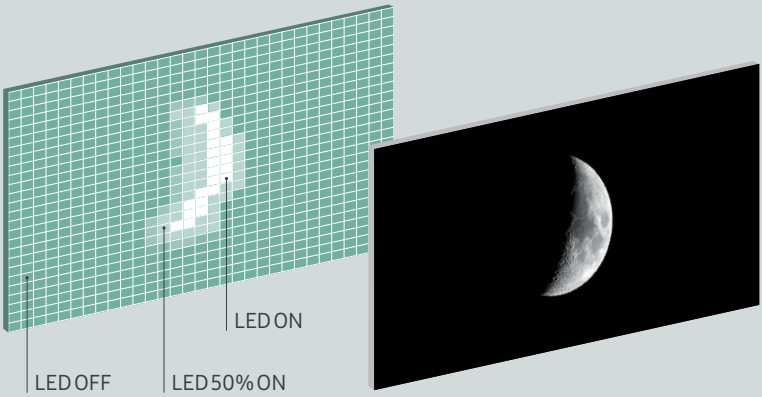
헐레이션은 주로 로컬 디밍Local Dimming 기술을 탑재한 LCDLiquid Crystal Display, 액정 표시 장치 제품에서 나타나는 현상입니다. 로컬 디밍은 LCD가 더욱 또렷한 블랙을 표현할 수 있도록 개발된 기술입니다. 패널 아래의 LEDLight Emitting Diode, 발광 다이오드 백라이트를 구역별로 나눠 어두운 영역은 백라이트를 끄거나 줄이고, 밝은 영역은 휘도를 높여 부분적으로 빛을 조절합니다. 이를 통해 LCD 액정에서 백라이트의 일부 빛이 새어 나오는 현상을 완화할 수 있습니다.

하지만 현재 수준의 로컬 디밍 기술은 픽셀별로 미세하게 빛을 조절할 수 없고 구역별로만 조절이 가능합니다. 밝은 색과 어두운 색이 함께 표현되는 이미지에서는 켜진 백라이트에서 빛이 새어 나오는 '빛샘 현상'이 나타나며, 이로 인해 어두운 영역의 경계선이 하얗게 번져 보이는 '헐레이션' 현상이 나타납니다.

2 로컬 디밍 LCD와 달리 자체 발광 방식인 OLEDOrganic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드의 경우, 백라이트가 불필요하고 각 픽셀별로 밝기를 조절하므로 헐레이션 현상이 발생하지 않습니다. 따라서 빛 번짐이 없는 더욱 선명한 화질 구현이 가능합니다. 삼성디스플레이의 노트북용 OLED는 2022년 글로벌 인증 업체인 UL로부터 헐레이션이 없는 '헤일로 프리Halo Free' 디스플레이로 인정을 받은 바 있습니다.

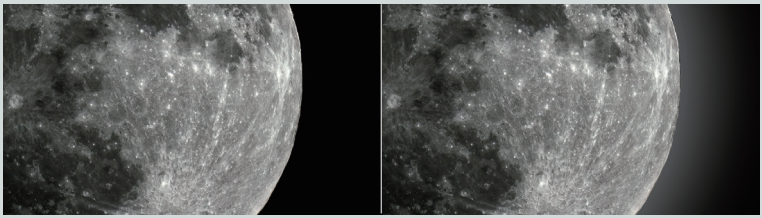
1

헐레이션 빛 번짐 현상



2-1

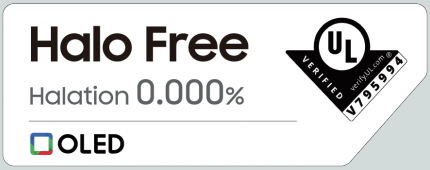
OLED와 LCD 헐레이션 현상 비교



OLED　　LCD(Local Dimming)

2-2

UL, 헤일로 프리 인증



OLED
유기 발광 다이오드

22

1 OLED Organic Light Emitting Diodes, 유기 발광 다이오드는 디스플레이의 기본 단위인 픽셀 Pixel에 유기 발광 물질을 사용해 표현합니다. 전류가 흐를 때 스스로 빛을 내는 물질을 활용하는 방식이므로 '자체 발광 디스플레이'에 속합니다.

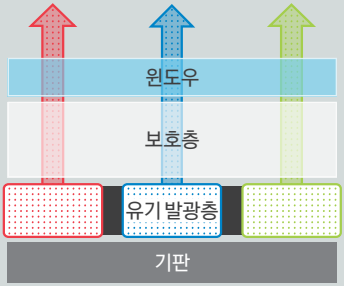
2 OLED는 1963년 미국의 물리화학자 마틴 포프 Martin Pope와 그의 동료들이 고체 상태의 유기 재료인 안트라센 Anthracene 단결정을 이용해 발광 현상을 최초로 관측하였고, 1987년 미국 코닥 Kodak사의 칭 탕 Ching W.Tang 박사 연구진이 유기 단분자 정공 주입층을 도입해 저전압으로 구동하는 유기 전계 발광소자를 개발하면서 획기적인 발전 계기를 마련했습니다.

특히 고화질 표현이 가능한 AMOLED Active Matrix Organic Light Emitting Diode, 능동형 유기 발광 다이오드는 2007년 삼성디스플레이가 세계 최초로 양산에 성공한 이래 플렉시블 Flexible, 폴더블 Foldable 디스플레이로 진화를 거치며 스마트폰, 태블릿, VR 등 다양한 영역에서 사용되고 있습니다.

OLED는 색 표현력이나 명암비 등의 화질, 무게, 두께, 소비 전력 등에서 LCD Liquid Crystal Display, 액정 표시 장치에 비해 우수하며, 특히 유연하게 구부러지는 플렉시블 디스플레이를 구현할 수 있어, 디지털 기기의 디자인 및 폼 팩터 Form Factor 혁신에 매우 적합합니다.

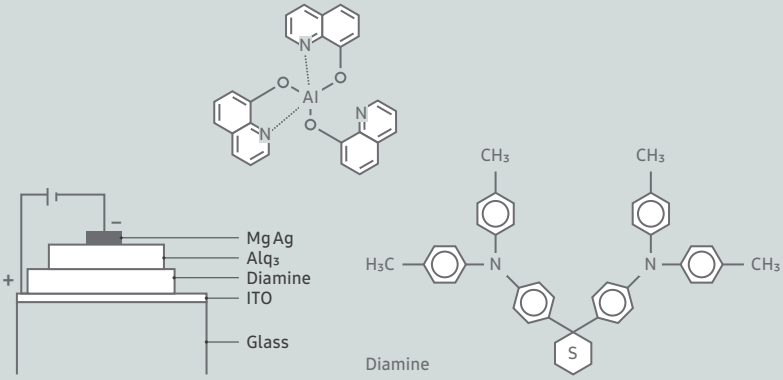
1

OLED 발광 원리와 구조도



2

칭 탕 교수가 발표한 OLED 소자(1987)



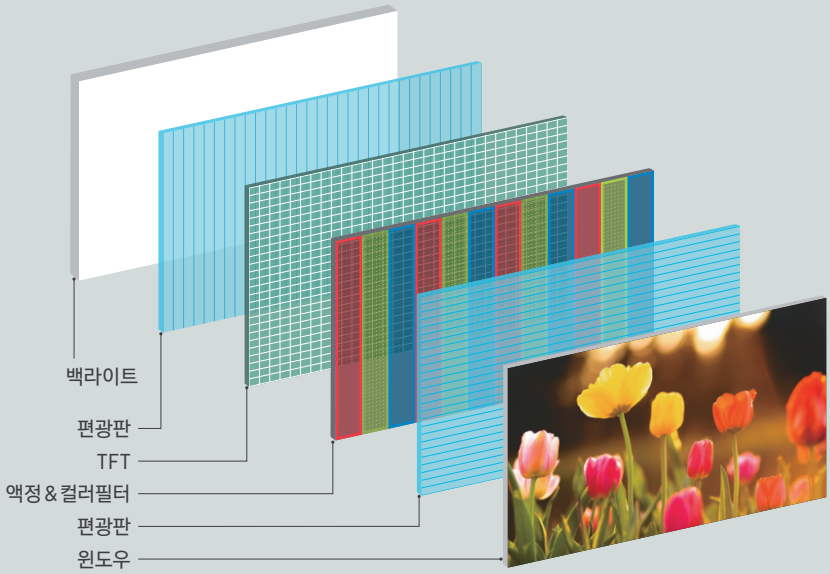
LCD
액정 표시 장치

23

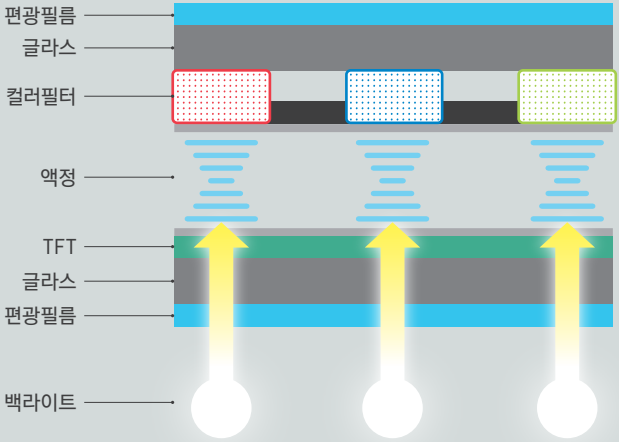
1 LCD Liquid Crystal Display, 액정 표시 장치는 '액정'과 '편광판'을 이용한 평판 디스플레이입니다. 액정이란 액체와 고체의 성질을 함께 가지고 있는 물질로, 액체의 성질인 유동성과 고체 결정이 갖는 규칙성을 모두 지닌 물질이라는 뜻에서 액체 결정, 줄여서 액정이라고 부릅니다. 1854년 처음 발견된 액정은 1960년대 광학적 효과를 나타낸다는 사실이 과학 학술지 네이처 Nature에 발표되었는데 이후 본격적으로 LCD 제품화 연구가 시작되었습니다.

2 액정은 스스로 빛을 내는 물질이 아니기 때문에 LCD는 백라이트 유닛 BLU, Back Light Unit으로부터 받은 별도의 광원을 통해 화면을 표현합니다. 먼저 백라이트 유닛을 통해 들어온 빛이 편광판을 거치고 이때 방향성을 갖게 된 빛이 액정을 거치게 되는데, 액정의 방향을 바꿈으로써 방출되는 빛의 양을 조절합니다. 그리고 액정을 통과한 빛은 다음 편광판을 통과하며 최종적으로 방출이 필요한 빛만 빠져나가게 됩니다. 마지막으로 이 빛에 색을 입히는 컬러필터 CF, Color Filter를 통과하면 의도한 화면이 구현되는 방식으로, 액정의 활용 방법에 따라 TN Twisted Nematic, VA Vertical Alignment, PLS Plane to Line Switching 등의 방식이 있습니다.

1 액정과 편광판의 위치



2 LCD 패널 구조



QD-OLED
Quantum Dot OLED

24

QD-OLED**Quantum Dot OLED**는 초미세 반도체 입자인 QD**퀀텀 닷**와 OLED를 활용한 자체 발광 디스플레이입니다.

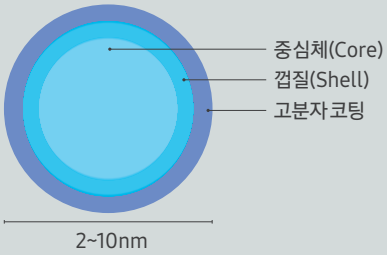
QD는 1970년대 에너지 위기 극복을 위해 태양전지를 연구하는 과정에서 벨 연구소의 루이스 부르스**Louis Brus** 박사와 러시아의 알렉세이 아키모프**Alexei Ekimov**박사에 의해 처음 발견됐습니다. 2021년 삼성디스플레이는 세계 최초로 QD를 내재화한 QD-OLED를 상용화했습니다.

1 QD는 2~10나노미터**nm** 크기의 무기물 소재로 중심체**Core**와 껍질**Shell**로 이루어지며 이를 최종적으로 고분자 코팅이 감싸고 있는 구조입니다. QD는 빛 또는 전기 에너지를 공급받을 때 입자의 크기에 따라 각기 다른 색을 방출하는 특성이 있으며, 이 원리를 이용해 디스플레이를 구현합니다.

2 발광원**OLED**으로부터 나온 빛이 발광층**QD**과 만나 다양한 색을 표현하는 방식으로, 색 재현력, 시야각, 명암비, 체감 휘도**XCR**가 우수합니다.

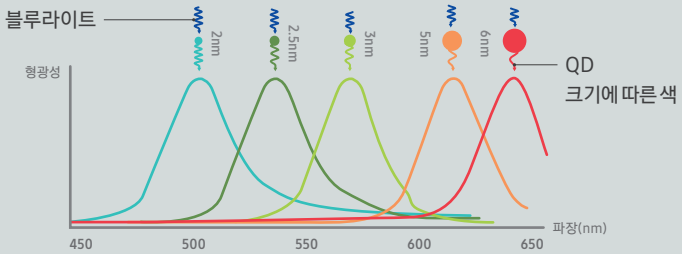
1-1

QD 입자의 구조도



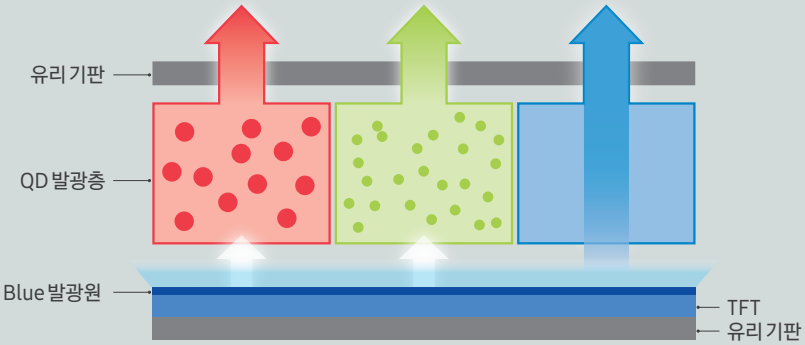
1-2

QD 입자 크기에 따른 색 변화



2

QD-OLED 구조도



마이크로 LED
Micro LED

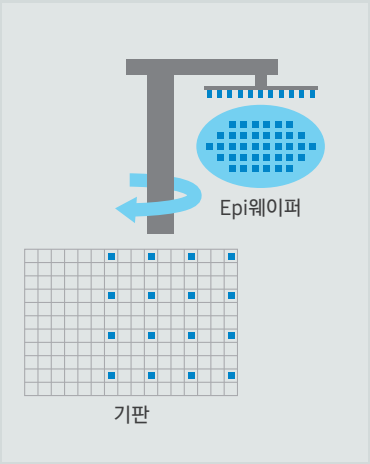
25

1 마이크로Micro LED는 초소형 LEDLight Emitting Diode, 발광 다이오드를 픽셀 소자로 사용한 자체 발광 디스플레이로, LED가 스스로 빛을 내기 때문에 발광 효율이 좋으며 선명한 색을 표현합니다. LCDLiquid Crystal Display, 액정 표시 장치와 달리 백라이트 유닛BLU, Back Light Unit과 액정이 없으므로 응답 속도가 빠르고 픽셀을 완전히 끌 수 있어 명암비가 우수합니다.

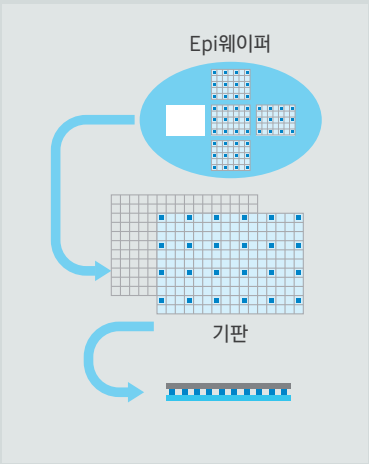
2 마이크로 LED는 'EPI 웨이퍼'라는 소재를 가공해 생산합니다. 웨이퍼를 칩 단위로 잘게 나눈 다음 전기 회로 기판 위에 옮겨 심는데 마이크로 LED는 노광/현상/증착 등 미세한 광학적, 화학적 공정 등을 사용하는 LCD나 OLEDOrganic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드와 다르게 물리적으로 LED 소자를 옮겨 심는 방식이기 때문에 매우 높은 정밀도가 필요합니다. 크게 '인쇄 이식법'과 '직접 이식법'의 두 가지 방식이 있습니다. 인쇄 이식법은 웨이퍼에서 같은 색상의 칩을 단위 별로 옮기는 방식이며, 직접 이식법은 모내기판에 벼를 심어 통째로 옮겨 심는 것처럼 웨이퍼 자체를 떼어내 회로 기판에 붙이는 방식입니다.

1 마이크로 LED 디스플레이

2 마이크로 LED 디스플레이 제조법(이식)



인쇄 이식법
단위 칩을 물리적으로 이송해 부착



직접 이식법
웨이퍼 자체를 통으로 떼어내 부착

라이트 필드
Light Field

26

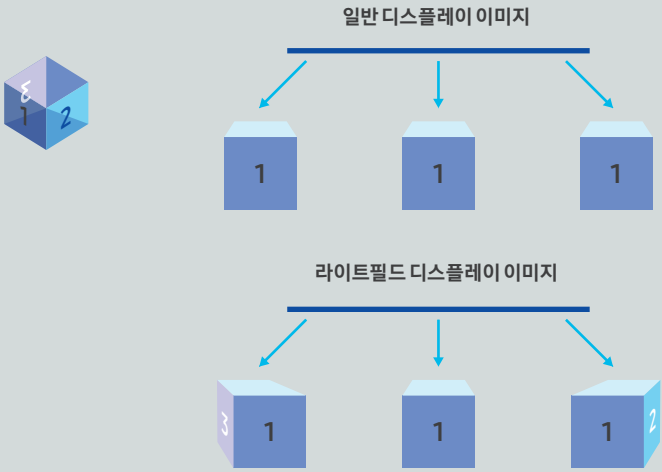
1 라이트 필드Light Field 디스플레이는 무안경 입체 영상 디스플레이입니다. 기존의 입체 영상 디스플레이와 달리 별도의 안경이 필요 없으며, 관찰자의 시각적 위치 변화에 따라 실제 사물의 모습도 각도에 맞게 다른 장면이 다르게 보이도록 구현합니다.

2 라이트 필드 디스플레이는 패널 위에 격벽Barrier 또는 렌티큘러Lenticular와 렌즈와 같은 광학 소재를 융합해 빛의 세기와 방향을 달리해 시청자의 양쪽 눈에 서로 다른 영상 정보만 입력되게끔 하는 원리입니다.

일반 디스플레이와 달리 보는 시점에 따라 사물의 깊이, 옆면 등을 볼 수 있어 보다 자연스러운 입체 영상을 구현할 수 있어, 향후 다양한 활용이 기대되는 차세대 디스플레이 기술입니다.

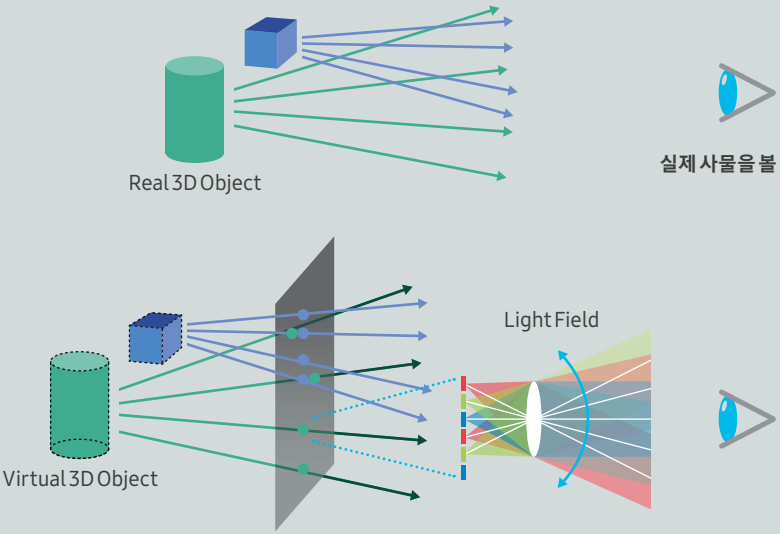
1

일반 vs. 라이트 필드 디스플레이 이미지 비교



2

라이트 필드 디스플레이 원리



홀로그래피
Holography

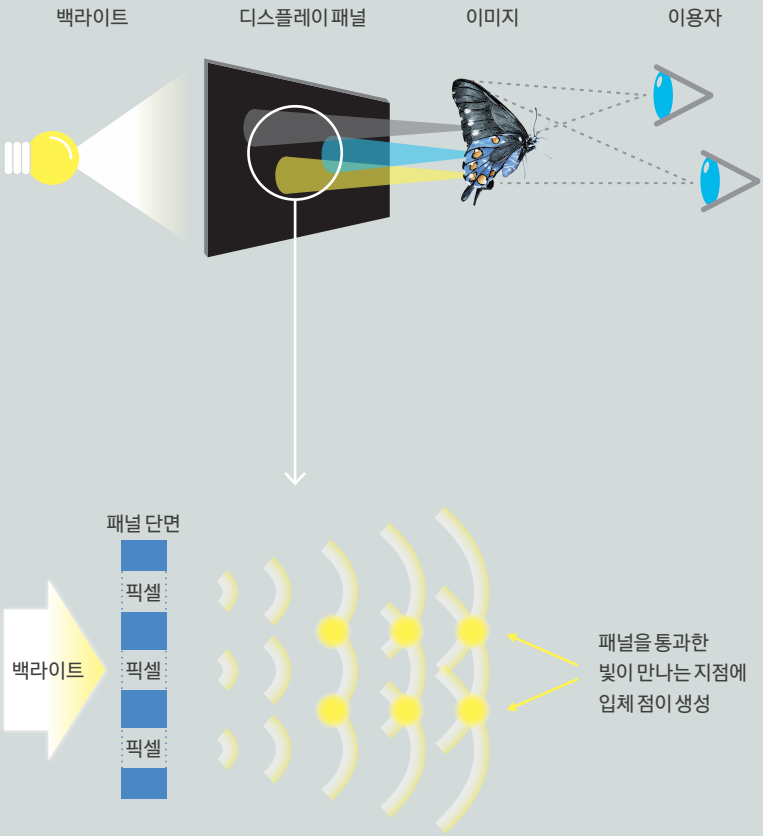
27

1 홀로그래피**Holography**는 서로 다른 빛이 만날 때 발생하는 빛의 간섭 현상을 이용해 영상과 이미지를 입체적으로 구현하는 디스플레이 기술입니다. 가장 큰 특징은 관찰자의 움직임과 관계없이 모든 방향에서 사물을 볼 수 있다는 점입니다.

홀로그래피는 레이저 광선을 디스플레이 패널에 통과시켜 빛의 각도를 조절하고 각 광선이 만나 밝은 빛으로 된 '점'을 형성하고, 이 점들이 이미지 패턴으로 형성되는 원리를 이용합니다. 디스플레이는 각 픽셀별로 통과한 레이저**백라이트**의 빛을 변조해 수많은 광선으로 나누고 방향을 틀어주는 역할을 하며, 이렇게 변조된 광선들 사이에 '보강 간섭'이 이루어지는데 그 지점마다 생긴 '점'을 수천에서 수만 개로 만들어 원하는 이미지 패턴으로 만들어 주면 3차원 입체 이미지가 만들어지는 것입니다.
이 빛의 점들이 디스플레이의 픽셀 역할을 한다고 볼 수 있습니다.

* 보강 간섭: 동일한 위상의 파동이 중첩될 때 세기(진폭)가 강해지는 현상
** 홀로그램(Hologram): 홀로그래피 기술로 만든 영상과 이미지

홀로그래피 디스플레이 기술 원리



백플레인
Backplane

28

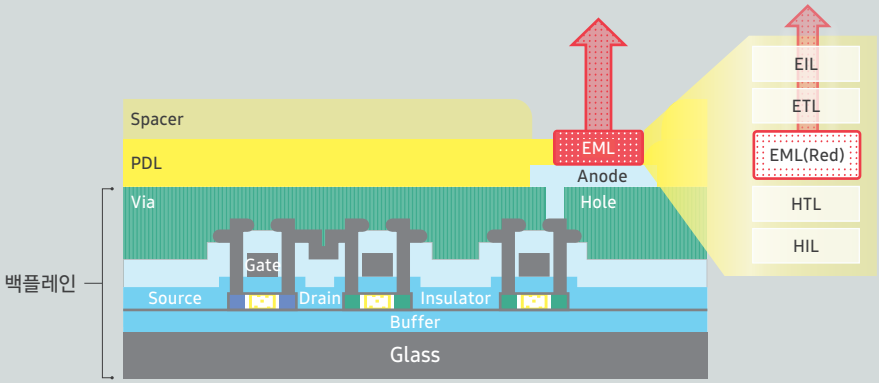
백플레인Backplane이란 언어적으로는 뒷면에 있는 판을 의미합니다. 디스플레이 분야에서는 우리가 일상에서 바라보는 화면의 앞면이 아니라 디스플레이를 구동시키는 회로 소자가 포함된 뒷면을 가리킵니다.

이해를 돕기 위해 OLEDOrganic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드 디스플레이 구조를 설명하면, OLED 디스플레이는 크게 세 개의 부분으로 구성되어 있습니다. 우리가 일상생활에서 볼 수 있는 빛을 만드는 발광부, 발광부가 빛을 발할 수 있도록 전기 스위치를 켜거나 꺼주는 TFTThin Film Transistor, 박막트랜지스터, 그리고 TFT와 발광부를 쌓아 올릴 수 있도록 토대 역할을 하는 기판Substrate이 OLED를 구성하는 큰 요소들입니다.

1 오른쪽 그림에서 백플레인은 기판에 TFT까지 올려진 상태입니다. 전기 신호를 받았을 때, 발광하는 유기소자가 증착되기 전까지 상태라고 이해할 수 있습니다. 이 백플레인은 디스플레이 성능의 주요 성능을 결정짓는 중요한 역할을 합니다. 백플레인의 구조와 소재에 따라 화질의 핵심인 화소는 물론, 모바일 제품 사용 시간에 영향을 주는 소비 전력 등이 달라지기 때문입니다. 또한 백플레인 디스플레이가 적용된 제품의 형태를 구현하는 폼 팩터Form Factor에도 영향을 줍니다. 기판, 봉지 등에 유연한 소재를 적용하여 구부리고 접히는 플렉시블Flexible 디스플레이, 늘릴 수 있는 스트레처블Stretchable 디스플레이를 만들 수 있게 됩니다.

1

백플레인 위치 영역


Spacer
PDL
Via
Gate
Source
Drain
Insulator
Buffer
Glass
백플레인
EML
Anode
Hole
EIL
ETL
EML(Red)
HTL
HIL

기판
Substrate

29

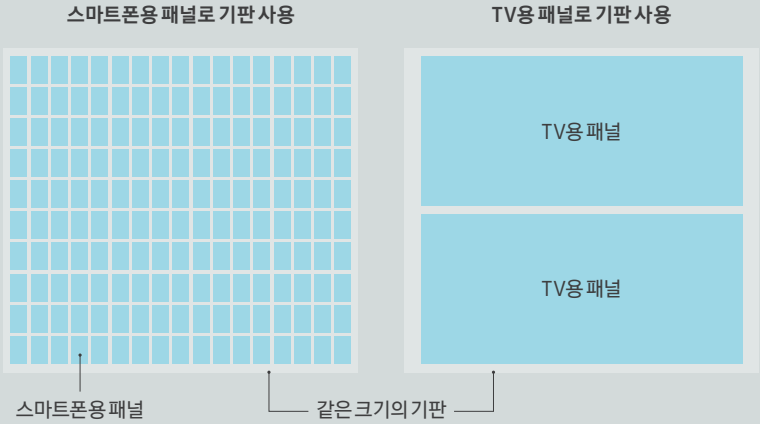
기판Substrate이란 LCD(Liquid Crystal Display, 액정 표시 장치), OLED Organic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드 등 디스플레이 각 공정에서 필요한 제조 기반 소재를 뜻합니다. 건축에 비유하자면 집을 짓기 전에 먼저 땅을 단단하게 다지는 터와 유사하지요.

1 대부분의 디스플레이 기판은 글라스Glass를 소재를 사용하며, 1밀리미터mm 이하의 아주 얇은 두께를 가진 넓고 평평한 형태로 제작됩니다. 기판은 생산 효율성 등을 고려해 커다란 크기 그대로 제조 공정에 투입됩니다. 그리고 디스플레이 제조 공정을 거친 후, 최종 제품에 필요한 크기에 맞게 잘라 사용합니다.

2 LCD의 경우에는 액정을 제어하는 TFT층과 컬러필터Color Filter층을 만들기 위해 유리 기판을 사용합니다. OLED는 LCD와 마찬가지로 TFT를 만들기 위해 유리 기판을 사용하고, 자체 발광 유기물층을 외부의 공기와 수분으로부터 보호하기 위해 봉지 유리 Encapsulation Glass를 사용합니다. 하지만 이러한 리지드Rigid OLED와 달리 최근에 각광받고 있는 플렉시블 OLED는 유연성을 갖추기 위해 유리가 아닌, 폴리이미드PI, Poly Imide 소재를 기판과 TFE Thin Film Encapsulation, 박막 봉지에 사용하고 있습니다. PI는 얇은 플라스틱 비닐과 비슷한 특성이 있어 구부리거나 접는 등 플렉시블 디스플레이 구현에 적합한 기판 소재입니다.

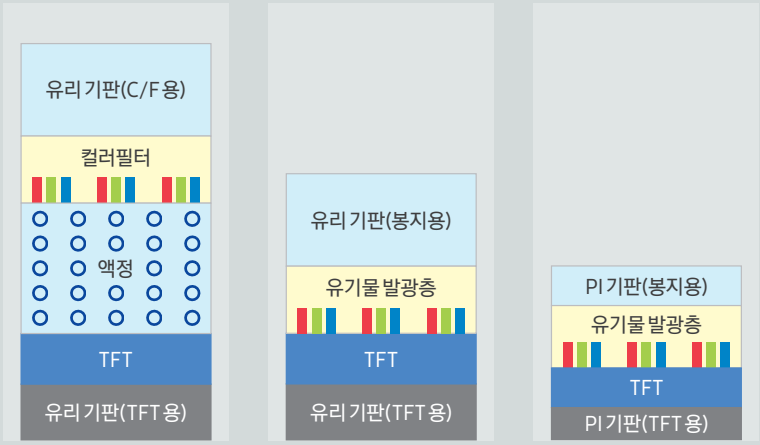
1

동일 사이즈 기판의 제품별 절단 셀 공정



2

각 디스플레이별 기판 소재



TFT
박막 트랜지스터

30

반도체 전자 회로 구성 요소인 TFT**Thin Film Transistor, 박막 트랜지스터**는 얇은 필름 형태인 박막을 이용해 만든 트랜지스터로, 전류 흐름을 조절하는 밸브 역할을 합니다.

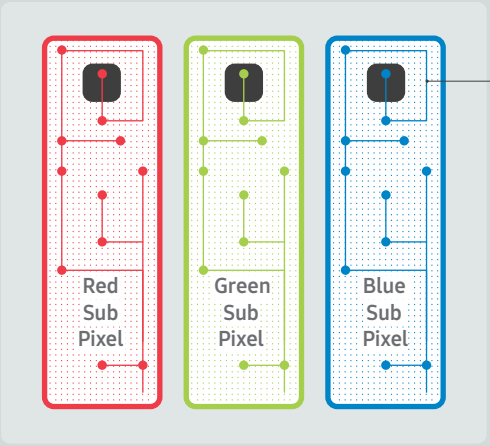
1 디스플레이에서의 TFT는 화면을 구성하는 각 픽셀의 밝기를 조절하는 역할을 담당합니다. 한 개의 픽셀은 RGB를 구성하는 서브픽셀로 이루어져 있습니다. 디스플레이가 색을 구현하려면 각의 서브픽셀에 전류가 필요한데, 각 서브픽셀에 위치한 TFT는 특정 전압이 가해졌을 때, 해당 전류량으로 픽셀을 구동하게 됩니다.

TFT는 기판 위에 전류가 흐를 수 있는 액티브**Active**층을 형성한 후, 게이트**Gate** 전압을 조절하여 액티브 층을 통해 소스**Source**에서 드레인**Drain**으로 전자**Electron**를 이동시킵니다. 이때 게이트는 액티브 층을 통해 흐르는 전류를 조절하는 밸브 역할을 하며, 소스와 드레인은 전자를 주고받는 역할을 합니다.

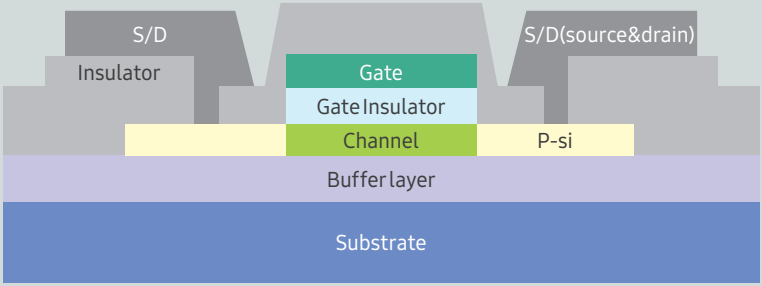
TFT를 통해 흐른 전류는 OLED**Organic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드**의 경우, RGB 각각의 유기물층을 통과하면서 빛을 자체 발광하고, LCD**Liquid Crystal Display, 액정 표시 장치**는 액정을 회전시켜 뒷면의 빛이 RGB 필터를 통과하도록 합니다. 이를 통해 RGB 색을 조절하여 다양한 색이 구현되는 것입니다.

디스플레이에 사용하는 TFT는 재료에 따라서도 구분되는데 크게 a-Si**Amorphous Silicon, 아몰퍼스 실리콘**와 LTPS**Low Temperature Polycrystalline Silicon, 저온 폴리 실리콘**가 있습니다. a-Si는 '비정질 실리콘'을 의미하며, LTPS는 '저온 다결정 실리콘'이라는 뜻입니다.

TFT, 박막 트랜지스터 구조도



픽셀
(PIXEL)



TFT 구조도
(Top 방식)

a-Si
아몰퍼스 실리콘

31

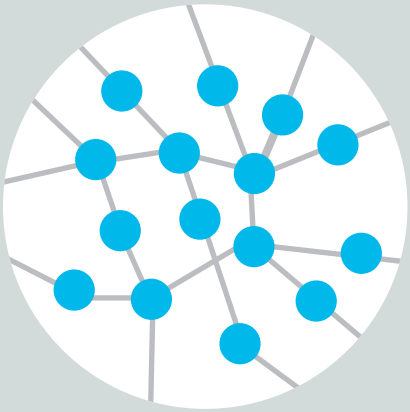
a-Si**Amorphous Silicon, 아몰퍼스 실리콘**는 디스플레이 TFT**Thin Film Transistor, 박막 트랜지스터** 기술 중 하나입니다. TFT는 재료 특성에 따라 a-Si와 LTPS**Low Temperature Poly Silicon, 저온다결정실리콘**, 옥사이드**Oxide** 등으로 나뉩니다. '아몰퍼스**Amorphous**'는 비결정화된 고체라는 의미입니다. 일반적인 고체는 원자 배열이 규칙적인 결정 상태이지만, 아몰퍼스는 원자 배열이 무질서한 상태이기 때문에, 정해진 형태가 없는 실리콘이라는 의미에서 '비정질 실리콘'이라고도 불립니다.

초기 LCD**Liquid Crystal Display, 액정 표시 장치**에는 주로 a-Si TFT를 사용했습니다. 제조 공정 프로세스가 단순하고, 수율도 높았으며 화면의 균일성 확보에도 유리해 대형 디스플레이 구현도 가능했기 때문입니다. 한마디로 a-Si TFT는 제조 비용을 줄이고, 안정적인 생산을 위한 적절한 기술이었습니다.

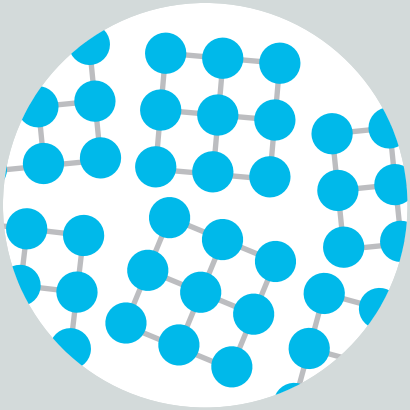
1 TFT는 전류의 흐름을 조절해 픽셀의 밝기를 조절하는 역할을 합니다. 이때 픽셀은 디스플레이 화면을 구성합니다. 그런데 a-Si TFT는 무질서하게 배열된 실리콘 때문에 전자가 빠르게 이동할 수가 없다는 단점이 있습니다. 전자 이동도가 낮으면 신호 전송 속도가 떨어지게 됩니다. 초기 저해상도 LCD에서는 문제가 없었지만, 고해상도 디스플레이에서는 효율이 떨어지는 한계가 발생합니다.

LTPS TFT는 이런 단점을 극복하기 위해 개발된 기술입니다. LTPS를 사용한 TFT 방식은 무질서한 형태의 a-Si를 레이저로 재결정화해, 어느 정도 질서 있는 다결정 실리콘으로 만들어 전자의 이동 속도를 수백 배 빠르게 높여줍니다.

TFT 결정 구조 비교



a-Si
(비정질 실리콘)



LTPS
(저온 폴리 실리콘)

ELA
엑시머 레이저 어닐링

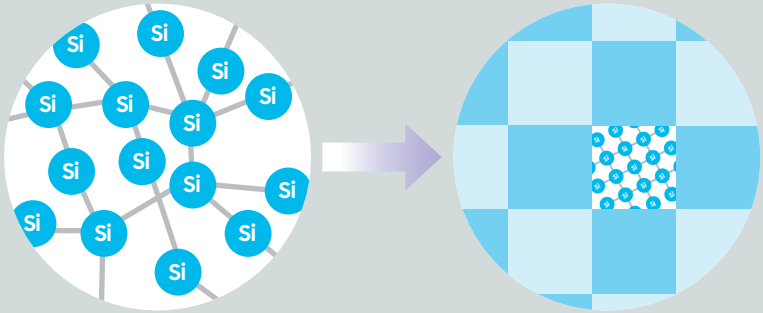
32

ELA**Excimer Laser Annealing**는 디스플레이에서 LTPS**Low Temperature Poly Silicon, 저온 폴리 실리콘** 전자 회로층을 만들기 위해 주로 사용하는 레이저 공정입니다. RGB 색상의 빛을 내기 위해 각 픽셀을 조절하는 실리콘 기반 전자 회로 TFT**Thin Film Transistor, 박막 트랜지스터**를 만들 때 ELA 공정을 이용해 a-Si**Amorphous Silicon, 아몰퍼스 실리콘**를 LTPS로 전환하면 TFT의 성능을 상당히 높일 수 있습니다.

1 LTPS는 실리콘의 구성 형태가 a-Si보다 질서정연하기 때문에 전자가 회로에서 쉽게 이동할 수 있습니다. a-Si가 구불구불하고 차로가 좁은 비포장도로라면, LTPS는 차로가 많은 고속도로에 비유할 수 있지요. 전자의 이동 속도가 높으면 그만큼 전력과 데이터의 이동이 수월하므로 LTPS는 고해상도, 슬림 베젤**Slim Bezel**, 저소비 전력 디스플레이 구현에 상당히 유리합니다.

2 LTPS는 a-Si를 엑시머 레이저로 가공해 만듭니다. 우측 그림과 같이 레이저가 a-Si층에 내리쬐면서 움직이면, 해당 영역이 질서 정연한 바둑판 같은 입자 구성을 갖게 되는데, 이를 ELA 공정이라 부릅니다. 그림과 같이 레이저 에너지를 받은 무질서한 배열의 a-Si는 LTPS와 같이 결정화되어 단결정 형태의 실리콘 군집을 형성하며 TFT의 성능을 상당히 높게 증가시킵니다.

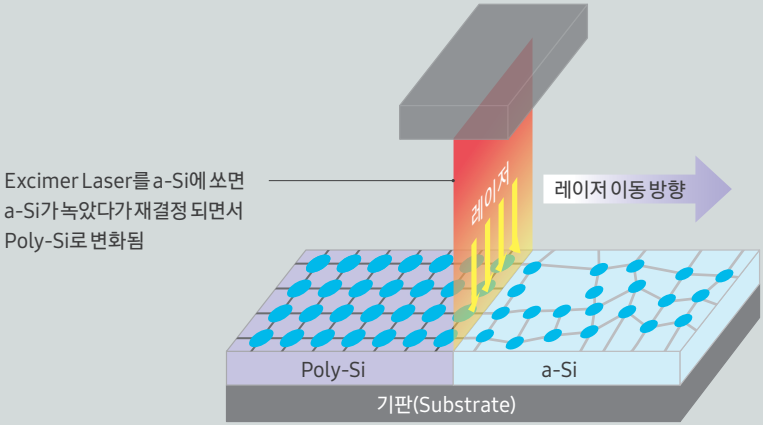
1 ELA를 통한 Si 결정의 변화



a-Si
(비정질 실리콘)

LTPS
(저온 폴리 실리콘)

2 ELA 방식의 결정화



LTPS
저온 다결정 실리콘

33

LTPS**Low Temperature Polycrystalline Silicon, 저온 폴리 실리콘**는 디스플레이 픽셀의 밝기를 조절하는 TFT**Thin Film Transistor, 박막트랜지스터**의 한 종류로 비정질 실리콘인 a-Si**Amorphous Silicon, 아몰퍼스 실리콘**의 특성을 변화시켜 전자의 이동 성능을 높인 TFT입니다.

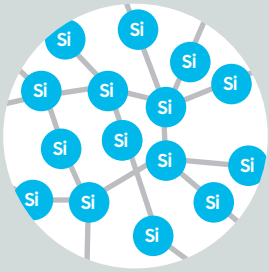
현재 디스플레이용 TFT는 소자 특성에 따라 크게 두 가지, a-Si과 LTPS가 사용됩니다. a-Si은 정해진 형태가 없는 비정질 실리콘이며, LTPS은 저온 다결정 실리콘을 의미합니다. 레이저를 이용해 a-Si에 열처리를 하면 a-Si이 재결정화되어 다결정 실리콘으로 변화하는데, 이때 만들어진 다결정 실리콘을 LTPS라고 부릅니다.

1 TFT는 전류가 잘 흐를수록 즉, 전자의 이동성이 높을수록 성능이 우수합니다. 전자 이동에 가장 이상적인 형태인 단결정 실리콘**Single Crystal Silicon**과 유사한 형태로 만들기 위해 무질서한 형태의 비정질 실리콘을 재결정화하여 형태를 변화시킵니다. 질서정연한 단결정 실리콘 형태의 영역들이 생기도록 함으로써 성능과 효율을 높이는 것입니다. 따라서 전자가 각 영역의 경계선을 넘을 때는 속도가 느려지지만, 단결정 영역 안으로 들어오면 단결정 실리콘과 유사한 빠른 이동 성능을 발휘합니다.

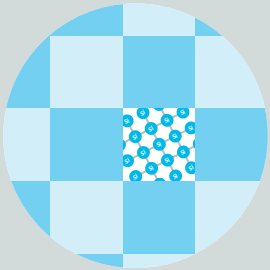
전자의 이동이 빠르면 TFT 회로의 동작을 빠르게 구현할 수 있을 뿐만 아니라 단시간에 원하는 전류량을 충분히 보내줄 수 있습니다. 이는 촘촘한 회로 구성이 필요한 고해상도 디스플레이 패널에 유리합니다. 따라서 현재 고해상도 스마트폰 디스플레이에는 LTPS가 대표적인 TFT로 사용되고 있습니다.

1

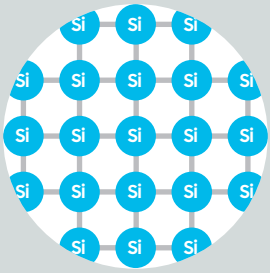
재료별 TFT 형태 비교

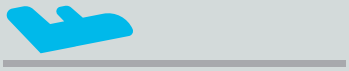


a-si
Amorphous Silicon



LTPS
Low Temperature
Poly-Silicon





Single Crystal Silicon

옥사이드
Oxide

34

옥사이드Oxide는 디스플레이 TFTThin Film Transistor, 박막 트랜지스터 기술 중 하나입니다. TFT는 반도체 재료와 물성에 따라 a-SiAmorphous Silicon, 아몰퍼스 실리콘, LTPSLow Temperature Polycrystalline Silicon, 저온 폴리 실리콘, 옥사이드 등으로 나뉘며, 옥사이드 TFT 역시 스위치와 픽셀의 밝기를 조절하는 용도로 사용됩니다. 인듐In과 갈륨Ga, 아연Zn을 재료로 하는 공정 과정에서 반도체 특성을 갖는 산화물In-Ga-Zn-Oxygen이 만들어지기 때문에 '산화물'을 뜻하는 옥사이드 TFT라고 부릅니다.

1 옥사이드는 a-Si와 마찬가지로 비정질 형태의 TFT입니다. 하지만 a-Si TFT에 비해 전자의 이동 속도가 10배가량 빠르기 때문에, 상대적으로 고해상도 디스플레이 구현에 유리합니다. 또 이동 속도가 빠를수록 TFT 회로의 집적화에도 유리해, 공간 활용도가 높아지고 베젤Bezel을 더 얇게 만들 수 있습니다.

옥사이드는 LTPS에 비해 전자 이동도는 느리지만, 기존 a-Si의 공정 설비를 상당 부분 그대로 사용할 수 있어서 생산 비용 측면에서 상대적 우위를 갖습니다. 또한 LTPS와 달리 ELAExcimer Laser Annealing 공정을 사용하지 않아서 결정화 공정에 따른 크기 제약이 없고, 균일성이 우수해 TV와 같은 대형 사이즈 디스플레이에 적합합니다.

1

재료별 TFT 성능 비교

	a-Si	Oxide	LTPS
전자이동성 (속도)	1	10	100
균일성 (Uniformity)	고	고	저
생산비용 (공정복잡도)	저	중	고

유기물층 HIL, HTL, EML, ETL, EIL

35

유기물층은 OLED**Organic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드** 디스플레이에서 픽셀의 발광과 이를 돕는 유기물 소재로 이루어진 층으로, 크게 발광층과 보조층으로 나뉩니다.

1 OLED 디스플레이는 유기 소자로 이루어진 픽셀이 스스로 빛을 내는 방식으로 구현되는데, 전류가 흐를 때 발생하는 전자**Electron**와 정공**Hole**이 이동해 서로 만날 때 빛이 방출되는 원리입니다. 이때 전자는 음극**Cathode**을 통해 이동하고, 정공은 양극**Anode**을 통해 이동하는데, 전자와 정공이 발광층**EML**에서 결합할 때 픽셀이 빛을 냅니다.

유기물층은 발광층 외에 보조층도 함께 구성하는데, 전자와 정공이 유기물층에 쉽게 주입되도록 주입층**EIL/HIL**과 이들이 발광층**EML**으로 빠르게 이동할 수 있도록 수송층**ETL/HTL**을 추가해 OLED 픽셀의 발광 효율을 높이기 위한 목적입니다.

1

OLED 구조와 발광 원리

OLED 구조

OLED 발광 원리

* HIL: Hole Injection Layer
* HTL: Hole Transporting Layer
* EML: Emission Material Layer
* ETL: Electron Transporting Layer
* EIL: Electron Injection Layer

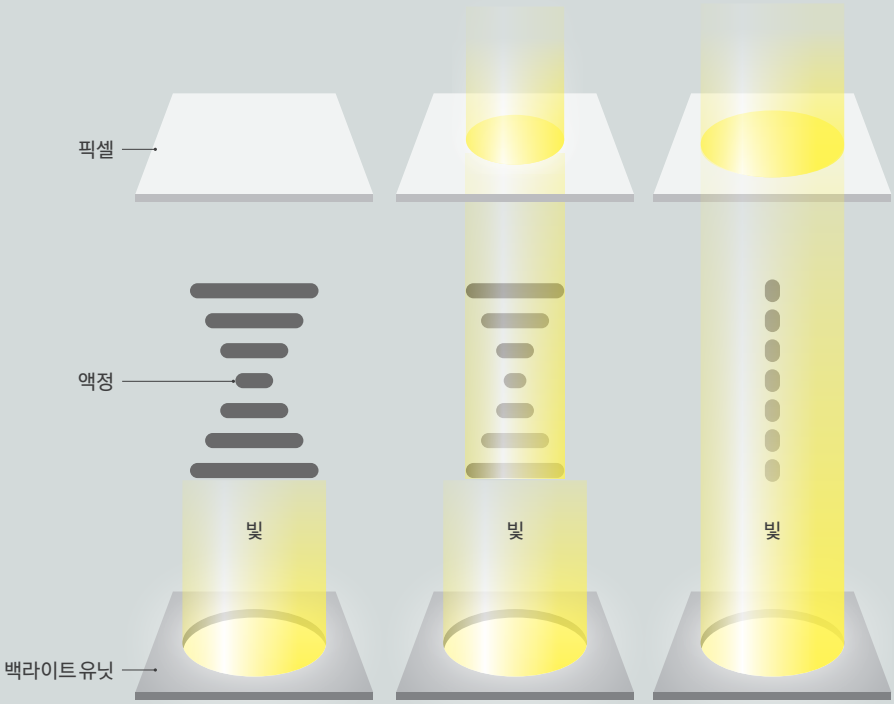
액정
Liquid Crystal

36

액정液晶, Liquid Crystal이란 액체와 고체의 성질을 함께 가지고 있는 물질로, 액체의 성질인 유동성과 고체 결정이 갖는 규칙성을 모두 지닌 물질이라는 뜻에서 액체 결정, 줄여서 액정이라고 부릅니다.

액정은 1854년 처음 발견되었고, 1888년 오스트리아의 생물학자 프리드리히 라이니처Friedrich Reinitzer에 의해 '액정'이라는 이름을 최초로 부여받았습니다. 1960년대에는 액정의 광학적 효과에 대한 사실이 과학 학술지 네이처Nature에 발표되었고, 이때부터 액정의 실용화 연구는 본격 궤도에 올라 이후 다양한 방식의 LCDLiquid Crystal Display, 액정 표시 장치가 제품화되기에 이릅니다.

1 액정은 빛을 통과시키는 광학적 특성이 있고, 전기 자극을 주면 상태가 변하는 성질도 있으므로, LCD에서 픽셀의 빛을 통과시키거나 조절하는 용도로 사용됩니다. 전압 차이를 이용해 액정의 방향을 조절하는 방식으로, 액정의 방향을 바꾸는 각도에 따라 백라이트 유닛BLU, Back Light Unit에서 도달한 빛의 양을 바꾸어 디스플레이의 밝기를 조절합니다.


픽셀
액정
빛
빛
빛
백라이트 유닛

백라이트 유닛 37
BLU

디스플레이는 스스로 빛을 내는 발광형과 외부 빛을 활용해서 동작하는 수광형으로 나뉩니다. 스스로 빛을 내는 자체 발광 형식의 OLED**Organic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드**와 달리, LCD는 빛을 내는 발광체가 없습니다. 그래서 화면이 출력되기 위해서는 빛을 비추는 조명이 따로 필요한데, 백라이트 유닛**BLU, Back Light Unit**은 디스플레이 화면이 점등할 수 있도록 빛을 고르게 비춰주는 역할을 합니다. LCD**Liquid Crystal Display, 액정 표시 장치**에서 빠져서는 안 되는 핵심 부품 중 하나입니다.

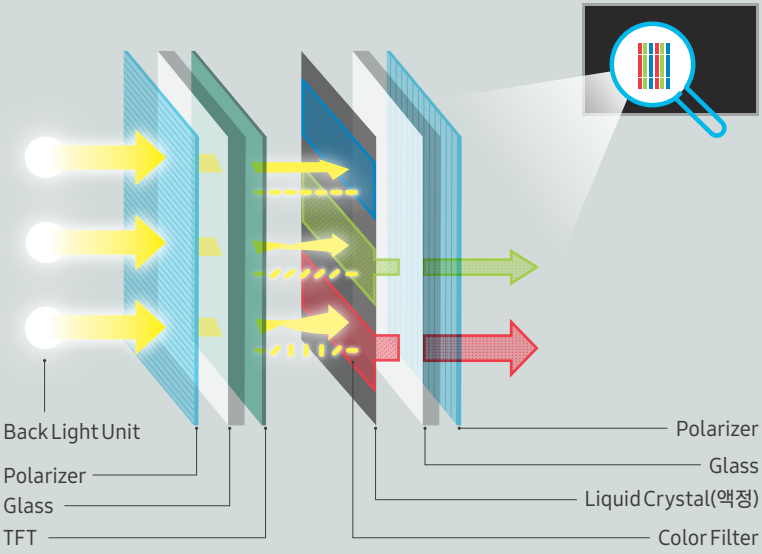
1 줄여서 BLU라고 불리기도 하는 백라이트 유닛은 LCD 패널 하단부에 위치하고 있습니다. LCD 디스플레이는 백라이트에서 나온 빛이 액정을 통과하면서 각 픽셀로 가는 빛의 양을 조절해 색상을 표현합니다. 액정에 의해 백라이트의 빛이 모두 차단되면 블랙 색상, RGB 서브픽셀에 빛이 모두 들어오면 화이트 색상이 표현됩니다. 백라이트의 빛이 컬러필터를 지나면서 해당 픽셀이 표현할 색상을 결정하는 것입니다.

2 백라이트 유닛은 여러 층의 구조로 되어 있습니다. 오른쪽 그림을 살펴보면 실제로 빛을 내는 램프, 빛의 손실을 줄이는 반사 시트, 화면 전 영역에 빛을 고르고 균일하게 분포시키는 도광판, 도광판에서 나온 빛을 산란시켜 골고루 퍼지게 하는 확산 시트, 광 효율을 높여주는 프리즘 시트로 구성되어 있습니다.

백라이트용 램프는 여러 종류가 있습니다. LCD 초기에는 주로 CCFL**Cold Cathode Fluorescence Lamp, 냉음극 형광 램프**을 사용했지만 최근에는 얇은 두께와 높은 휘도가 장점인 LED**Light Emitting Diode, 발광 다이오드**를 많이 사용하고 있습니다.

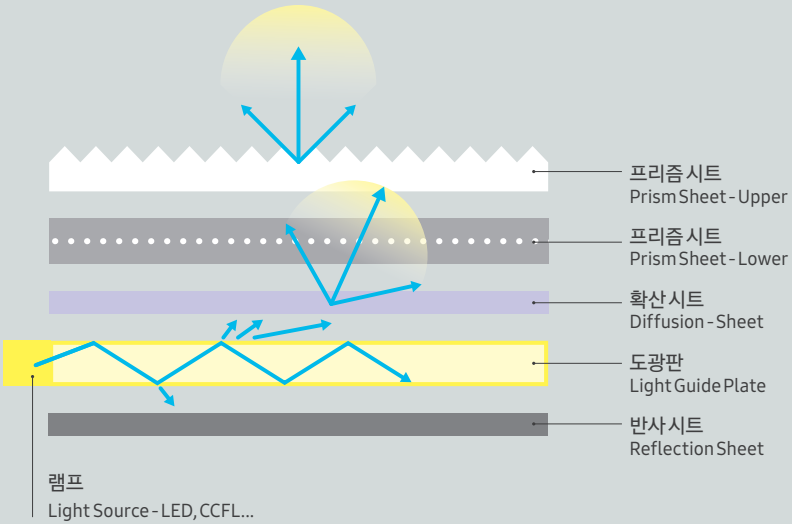
1

LCD 구동 방식



2

LCD 백라이트 구조



편광판
Polarizer

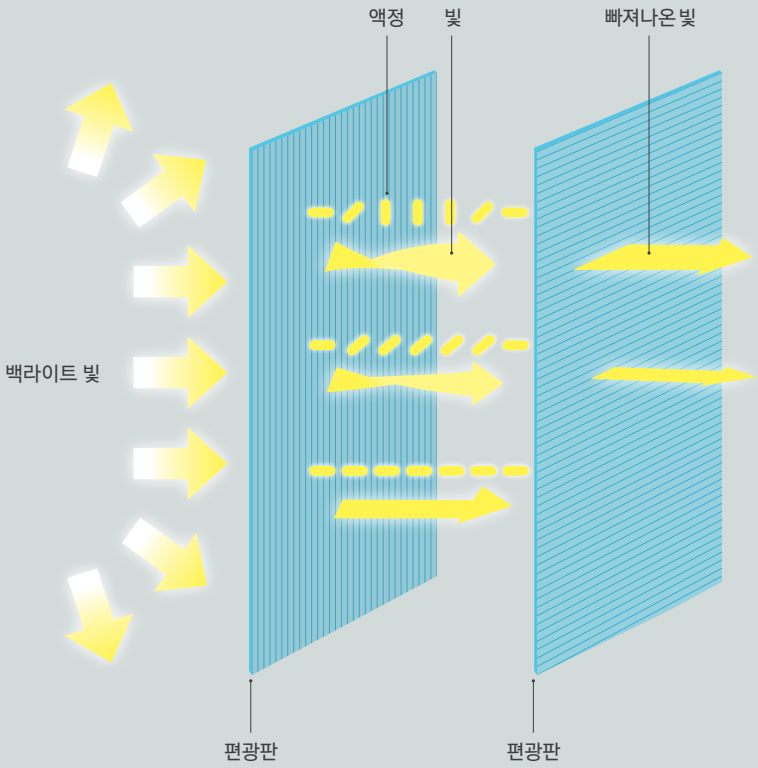
38

편광판**Polarizer**은 빛을 특정한 각도의 한 방향으로만 통과시키는 얇은 필름입니다. 빛은 원래 하나의 광원에서 360도로 전방위적으로 뻗어나가는 특성이 있는데, 편광판을 사용하면 특정한 방향으로만 빛을 통과시키고 다른 방향의 빛은 차단하는 것이 가능합니다.

1 LCD**Liquid Crystal Display, 액정 표시 장치**는 광원인 백라이트유닛에서 출발한 빛이 편광판과 액정을 통과하면서 디스플레이 화면을 구현합니다. 구체적으로는 백라이트 위에 두 장의 편광판을 각각 위아래로 배치한 후 백라이트를 켭니다. 그럼 아래쪽 편광판을 통과해 방향성을 가진 빛만 위로 올라가고, 그 빛은 이어서 위쪽 편광판을 만나게 됩니다. 만약 이때 위쪽 편광판이 놓은 방향이 아래쪽과 같다면 아래쪽에서 올라온 빛은 대부분 그대로 위쪽 편광판을 통과할 것이고, 반대로 위쪽 편광판의 방향을 아래쪽과 수직으로 배치한다면 대부분의 빛은 위쪽 편광판을 통과하지 못하게 됩니다. LCD는 이렇게 편광판을 수직으로 배치해 기본적으로 빛이 빠져나오지 못하게 한 후, 두 편광판 사이에 액정을 주입해 액정을 움직임으로써 빛의 각도를 틀어줘 최종적으로 마지막 편광판에서 빠져나가는 빛의 양을 조절해 화면을 구현합니다.

1

편광판의 빛 투과 원리



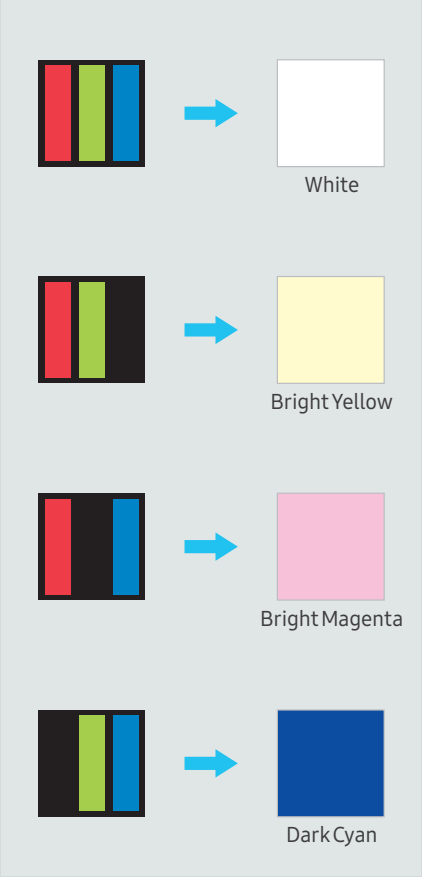
컬러필터
Color Filter

39

컬러필터**Color Filter**는 LCD**Liquid Crystal Display, 액정 표시 장치**에서 다양한 색을 나타내는 역할을 하는 얇은 층입니다. LCD 백라이트에서 나온 빛이 액정을 거쳐 컬러필터를 통과할 때, 컬러필터에서 빨간색**Red**, 녹색**Green**, 파란색**Blue**을 내는 부분을 지나게 되는데, 이때 빛의 색이 변합니다. 셀로판지에 손전등 빛을 비추면 셀로판지의 색에 따라 빛이 다양한 색으로 변하는 것과 같은 원리입니다. 만약 컬러필터가 없다면 LCD는 흑백 TV처럼 밝고 어둡게만 표현이 될 것입니다.

1 대부분의 디스플레이는 다양한 색을 표현하기 위해 픽셀마다 빛의 삼원색인 빨간색, 녹색, 파란색의 조합을 활용합니다. LCD 컬러필터 층에는 일반적으로 픽셀 한 개마다 RGB 서브픽셀**Subpixel**이 배치되며, 이 세 가지 색으로 수백만 개가 넘는 색을 표현합니다.

컬러필터의 RGB 조합을 활용한 색 표현



터치스크린 패널 TSP

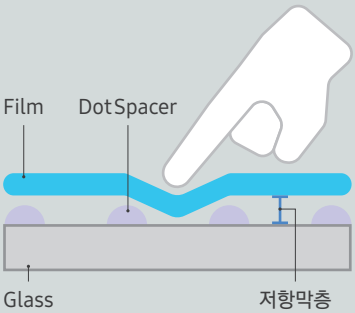
40

터치스크린 패널TSP, Touch Screen Panel은 디스플레이 화면을 누르거나 터치했을 때, 해당 위치의 좌푯값을 파악할 수 있는 장치를 말합니다. 우리가 매일 사용하는 스마트폰이 터치스크린 패널의 대표적인 예로, 별도의 외부 키 없이 화면 터치를 통해 조작할 수 있습니다.

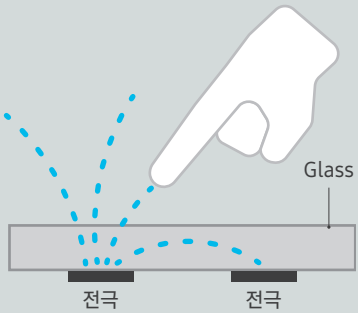
1 터치스크린 패널은 작동 원리에 따라 정전용량 방식, 저항막 방식, 적외선, 초음파 등 종류가 다양합니다. 초기 스마트폰에는 누르는 압력에 의해 작동하는 저항막 방식이 적용되었습니다. 두 개의 상하부 기판이 외부의 압력에 의해 서로 접촉되면서 인식되는 방식으로, 필름 접촉이 가능할 정도로 압력을 가해야하므로 터치 인식률이 낮은 단점이 있습니다. 최근에는 정전용량 방식을 주로 사용합니다. 사람의 손과 같이 전기가 통하는 도전체가 터치스크린에 접촉하는 순간 변화하는 정전용량을 감지하는 방식입니다. 정전용량 방식은 터치 감도가 좋고, 중소형 모델에 적합해 대부분의 모바일 기기에서 활용되고 있습니다.

2 터치스크린 패널은 구조에 따라 외장형과 내장형으로 나뉩니다. 외장형은 디스플레이 패널 외부에 필름 형태의 TSP를 부착하는 방식이며, 내장형은 패널 내부에 터치스크린을 일체화시키는 것입니다. 내장형 방식은 외장형에 비해 패널을 더 얇게 만들 수 있고, 터치패널 표면의 광반사를 줄일 수 있어서 최근에 주로 사용되고 있습니다. 특히 OLEDOrganic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드에서 사용하는 내장형은 디스플레이 상부 기판에 터치 센서를 내장한 것으로 두께나 빛 투과율 측면에서 유리합니다.

1 작동 원리에 따른 터치스크린 패널 구분



저항막 방식
(Resistive Type)



정전용량 방식
(Capacitive Type)

2 구조에 따른 터치스크린 패널 구분

터치스크린 패널(TSP)

외장형
(Add on Type)

내장형
(On Cell Type)

디지타이저
Digitizer

41

디지타이저Digitizer란 스마트폰, 태블릿PC와 같은 IT 장치에서 펜처럼 도구의 움직임을 디지털 신호로 변환해주는 입력 장치를 의미합니다. 갤럭시 노트 시리즈에 적용된 펜이 실제 펜을 사용하는 것과 같은 섬세한 표현이 가능해지면서 사람들에게 디지타이저가 많이 알려지게 되었습니다.

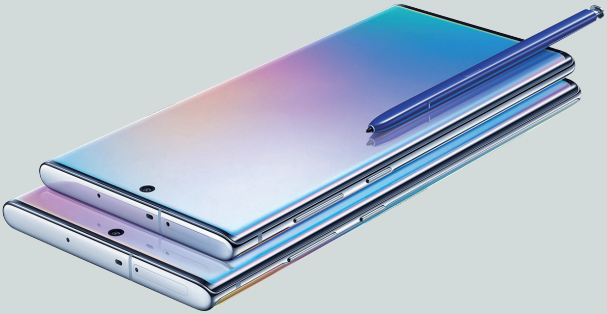
디지타이저는 전자기장을 발생시키는 펜과 자기장을 감지하는 기판으로 이루어져 있으며 전자기장 유도 방식으로 작동합니다. 전자기장을 발생시키는 펜의 위치가 이동하면서 기판과 상호 작용을 하고, 이때 발생한 전자기장의 변화를 감지합니다. 이를 통해 기판에 가까워지는 펜의 높낮이와 위치를 인식할 수 있어 섬세한 표현이 가능하고, 얇은 펜을 사용할 수 있는 정밀한 좌표를 입력할 수 있습니다.

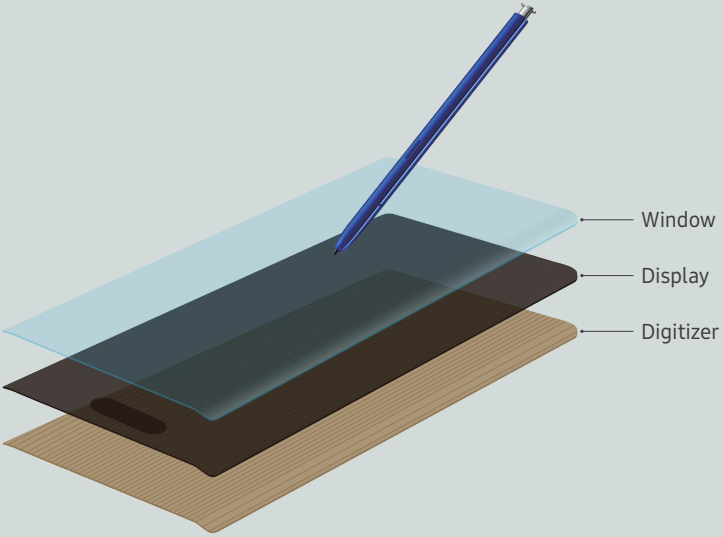
1 자기장을 인식하는 센서 기판의 제조는 얇은 판에 전기적 배선을 형성시킨 것입니다. 디스플레이 제조 과정과 유사하게 노광, 현상, 식각 등의 과정을 거쳐 만드는 것이 일반적입니다. 이렇게 제작된 디지타이저 센서 기판은 디스플레이 패널 아랫면에 부착되며 반대편인 윗면에는 커버 윈도우가 접착됩니다.

한편, 널리 사용되는 정전용량 방식의 입력장치인 터치스크린 패널TSP, Touch Screen Panel은 디지타이저와 다르게 디스플레이 윗면에 부착되거나 디스플레이 속에 내장되어 있습니다.

1

갤럭시 노트에 적용된 디지타이저





* 출처: 삼성전자 뉴스룸

FoD
내장형 지문 센서

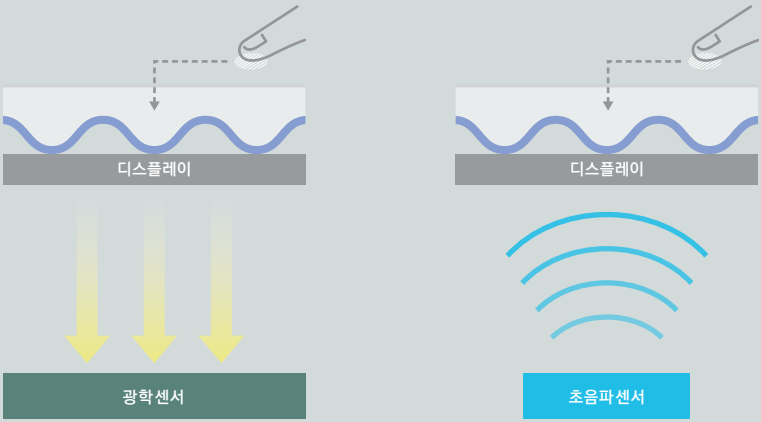
42

1 FoD**Fingerprint on Display**는 디스플레이 내장형 지문 센서를 의미합니다. 더 쉽게 설명하면 스마트폰 디스플레이상에서 지문을 활용해 사용자를 식별하는 기술입니다. 최근 풀 스크린 스마트폰이 대세가 되면서, 물리적인 전면 버튼이 사라지고 지문 센서 역시 디스플레이에 내장되는 방식으로 발전하게 되었습니다. 현재 사용되는 지문 내장 방식은 광학식과 초음파식이 대표적입니다.

2 광학식은 지문을 카메라로 촬영하듯이 센싱하는 방식입니다. 빛이 매질**피부**을 통과하면, 통과하는 매질의 물성에 따라 굴절률이 달라지는 원리를 이용합니다. 디스플레이에서 발사된 빛이 투과돼 지문에 닿을 때, 지문의 볼록한 부분인 '융'과 오목한 부분인 '골'이 만나는 유리의 굴절률이 달라집니다. 또 이로 인해 발생하는 공기층도 서로 다르기 때문에 이를 활용해 지문 형상이 센싱됩니다. OLED**Organic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드**는 빛이 투과하기 때문에 광학식 방법을 통한 지문 내장형 디스플레이가 가능합니다. LCD**Liquid Crystal Display, 액정 표시 장치**는 백라이트 유닛이 빛의 투과를 가로막기 때문에 이론적으로는 불가능한 방식입니다.

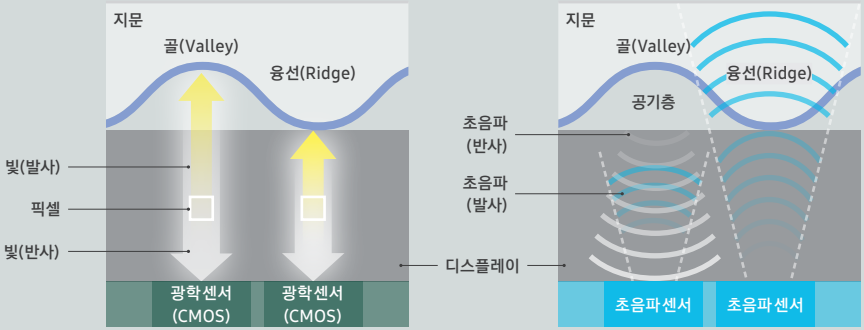
초음파식은 지문의 굴곡을 센싱하는 방식입니다. 센서 변환기에서 발생한 초음파가 디스플레이와 커버 윈도우를 통과해 지문에 전달되면, 초음파는 지문의 오목한 '골'에서는 매질이 없는 공기층을 만나 반사돼 돌아오고, 볼록한 '융'에서는 매질을 만나 대부분 빠져나가게 됩니다. 이때 반사된 초음파 신호의 세기를 측정해 지문을 파악하는 방식입니다. 플렉시블 OLED는 내부에 공기층이 없어 초음파 지문 센서 적용이 쉽고, LCD는 백라이트 유닛 접합부에 공기층이 존재해 초음파가 전달 및 적용이 어렵습니다.

1 디스플레이 지문 내장 방식과 원리



광학식 초음파식

2 유형별 지문 센싱 방식



광학식 초음파식

윈도우
Window

43

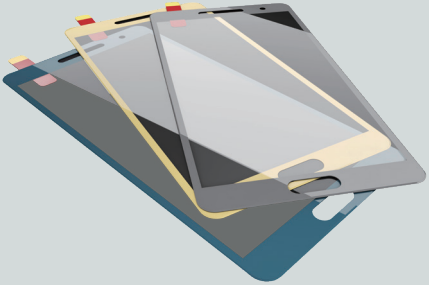
1 디스플레이 패널 화면부를 외부의 영향으로부터 보호하는 디스플레이 커버 윈도우Display Cover Window는 줄여서 '윈도우Window'라고도 부르는 부품입니다. 윈도우는 디스플레이를 보호하면서 동시에 디스플레이가 구현하는 화면이 우리 눈에 도달하는 것을 가로막지 않아야 하므로 투명해야 합니다. 이러한 기능과 특성이 창문과 유사하므로 윈도우라는 이름으로 부릅니다.

스마트폰에 스크린 터치 기능이 도입되면서 키보드 등의 물리적 입력 장치가 대부분 사라졌고, 이에 따라 디스플레이의 크기도 커질 수 있었습니다. 윈도우도 이런 추세에 따라 변화했습니다. 터치를 해도 스크래치에 강한 글라스Glass 소재가 플라스틱 윈도우를 대체한 것입니다.

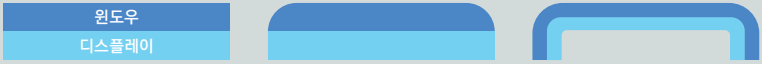
2 디스플레이를 중심으로 스마트폰 디자인 혁신이 이어졌고, 유리 윈도우는 평평한 유리판의 형태(2D)에서 디자인 향상을 위해 테두리가 완만하게 굴곡진 2.5D 윈도우 또는 갤럭시 엣지 시리즈와 같은 커브드 형태의 3D 윈도우로 진화했습니다.

3 최근 접을 수 있는 폴더블 디스플레이의 등장에 따라, 유리가 아닌 유연한 폴리이미드PI, Poly Imide 소재를 윈도우로 활용하기도 합니다. 플라스틱 소재인 투명 폴리이미드CPI, Colorless Polyimide는 그동안 플렉시블 디스플레이 패널의 기판으로 사용되던 유연한 폴리이미드 소재를 투명하게 만들고, 경도와 내구성을 높인 소재입니다. 향후 폴더블 디스플레이 외에도 롤러블, 스트레처블 등 다양한 플렉시블 디스플레이 제품에서 활약할 것으로 기대됩니다.

1 디스플레이 커버 윈도우



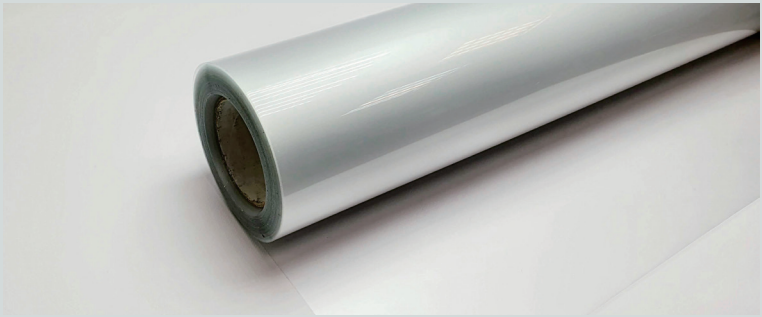
2 형태에 따른 글라스 윈도우의 종류



2D　　2.5D　　3D

* 단면의 모습

3 폴리이미드 필름 소재



폴리이미드에서 노란색을 제거한 투명 폴리이미드를
플렉시블 디스플레이 윈도우로 사용할 수 있다.

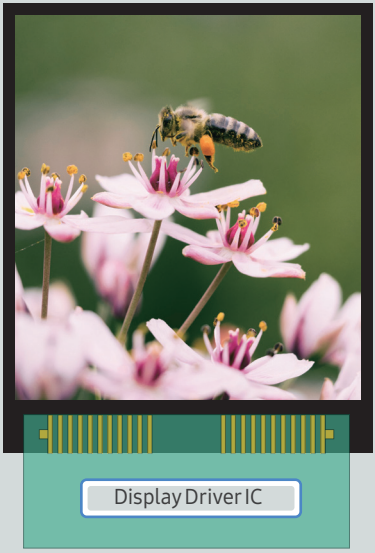
액티브 에어리어 44
Active Area

1 디스플레이 패널에서 화면에 이미지가 표시되는 영역을 액티브 에어리어Active Area라고 하며, 다른 말로 표시 영역이라 부르기도 합니다. 디스플레이 패널에서 우리 눈에 보이는 전면부는 대부분 픽셀로 구성된 액티브 에어리어가 차지합니다. 그리고 픽셀을 구동하기 위해 필요한 일부 배선전자회로과 측면부의 기구적 결합에 필요한 데드 스페이스Dead Space, 일명 베젤Bezel이 함께 구성되어 하나의 패널이 완성됩니다.

2 디스플레이 업계에서는 화면의 표시 영역을 넓혀 몰입감을 높이고, 완제품의 디자인을 개선하기 위해 이 액티브 에리어의 최대화 및 데드 스페이스 최소화를 위한 개발을 지속해 왔습니다. 최근에는 스마트폰의 표시 화면을 최대한 넓히기 위해 각종 센서류를 디스플레이 패널 하부로 배치하고, 데드 스페이스를 최소화하는 풀 스크린 Full Screen 기술이 본격적으로 적용되고 있습니다.

1 디스플레이 패널 액티브 에어리어와 데드 스페이스 영역

2 모바일 디스플레이 패널



BM
블랙 매트릭스

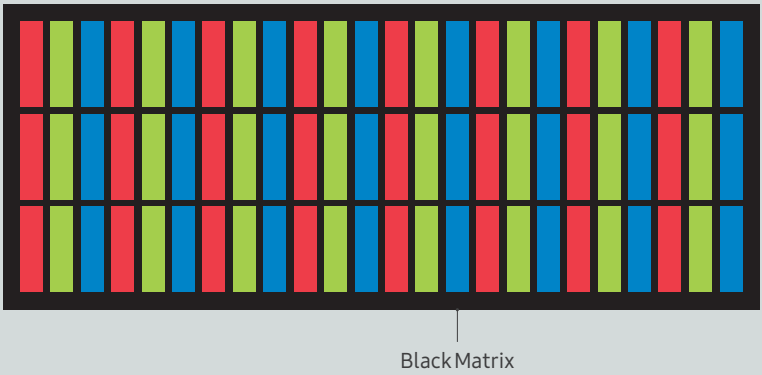
45

1 BM**Black Matrix**은 LCD**Liquid Crystal Display, 액정 표시 장치** 디스플레이에서 RGB 서브픽셀**Subpixel** 사이를 구분해 주는 검은 영역을 뜻합니다. BM은 기본적으로 RGB 서브픽셀용 컬러필터**CF, Color Filter**를 생성하기 전에 각 서브픽셀 영역을 구분하는 칸막이 역할을 합니다. 또한 LCD 백라이트의 빛샘을 방지하고, RGB 서브픽셀의 혼색을 방지하며, 외부 광원에 의한 TFT**Thin Film Transistor, 박막트랜지스터**의 누설 전류 증가를 방지하는 역할을 합니다.

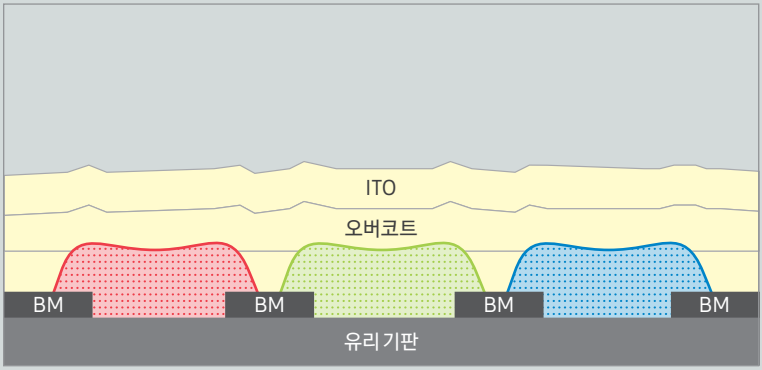
2 LCD에서 RGB 컬러필터를 생성하기 전, 컬러필터의 기판이 되는 글라스 위에 포토리소그래피**Photolithography** 공정을 통해 BM을 만듭니다. 만들어진 BM과 BM 사이에 RGB의 색을 내는 컬러필터를 차례로 생성하며, 그 위에는 높이가 각각 다른 컬러필터층을 평평하게 만들어주는 오버코트**Overcoat**층을 형성합니다. 맨 위에는 추후 TFT 기판과 합착을 통해 액정을 구동할 수 있도록 투명 전극**ITO, Indium tin Oxide**을 성막합니다.

BM은 픽셀과 픽셀 사이에 놓은 검은 영역을 뜻하나, 때로는 스마트폰 화면의 테두리를 뜻하는 베젤**Bezel**의 검은 부분과 혼용하여 사용되기도 합니다.

1 서브픽셀 영역 구분을 위한 BM의 위치



2 컬러필터와 BM의 구조



개구율
Aperture ratio

46

1 개구율이란 디스플레이의 기본 구조인 픽셀**Pixel**에서 빛이 나올 수 있는 부분**개구부**의 비율을 의미합니다. 개구율이 높다는 것은 동일한 디스플레이 면적에서 더 많은 빛이 표출된다는 의미입니다.

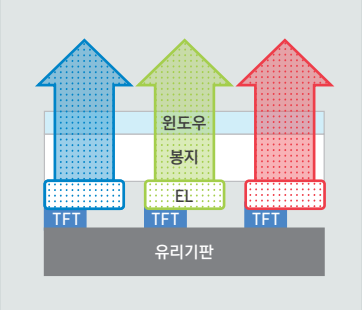
또한, 에너지 소비 관점에서 개구율이 높다는 것은 에너지 효율이 높다는 것으로 적은 전력 소모로도 같은 밝기의 빛을 표출할 수 있다는 뜻입니다. 전력 소모량에 따라 디스플레이 수명이 반비례하는 만큼 디스플레이 수명도 길어진다는 것을 의미합니다. 이러한 이유로 개구율은 디스플레이 패널 성능에 대한 주요 지표로 사용됩니다.

2 개구율에 영향을 미치는 중요 인자 중 하나는 디스플레이 발광 방향입니다. 발광 방식에는 전면형과 배면형 방식이 있는데 구조적 특성상 디스플레이를 전면으로 발광하는 형태가 개구율이 높습니다. 따라서 같은 영상을 동일한 전력을 사용하여 구동한다면 전면 발광 방식이 더 밝게 보입니다.

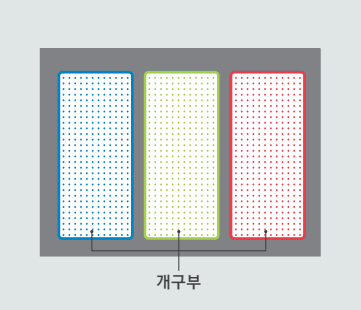
디스플레이 화소 구동을 위해서는 TFT**Thin Film Transistor, 박막 트랜지스터**가 있어야 하며 전면 발광의 경우 TFT가 발광부 뒷면에 있습니다. 반면, 배면 발광의 경우 TFT가 발광부 앞쪽에 위치하여 발광부에서 나오는 빛을 차단합니다.

디스플레이 업계에서는 개구율을 높이고자 전면형 발광 방식 적용, 발광부 확대, TFT 선폭 최소화 등의 노력을 지속하고 있습니다.

1 OLED 픽셀 구조와 개구부



단위 픽셀 측면도

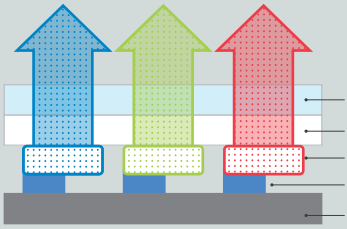


단면도

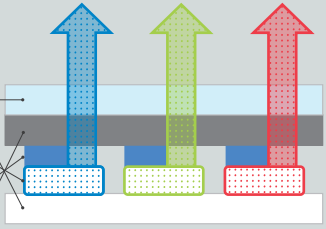
2 OLED 발광 구조에 따른 개구부 비교

전면 발광 방식 디스플레이 영상

배면 발광 방식 디스플레이 영상



전면 발광 방식 디스플레이 구조



배면 발광 방식 디스플레이 구조

베젤
Bezel

47

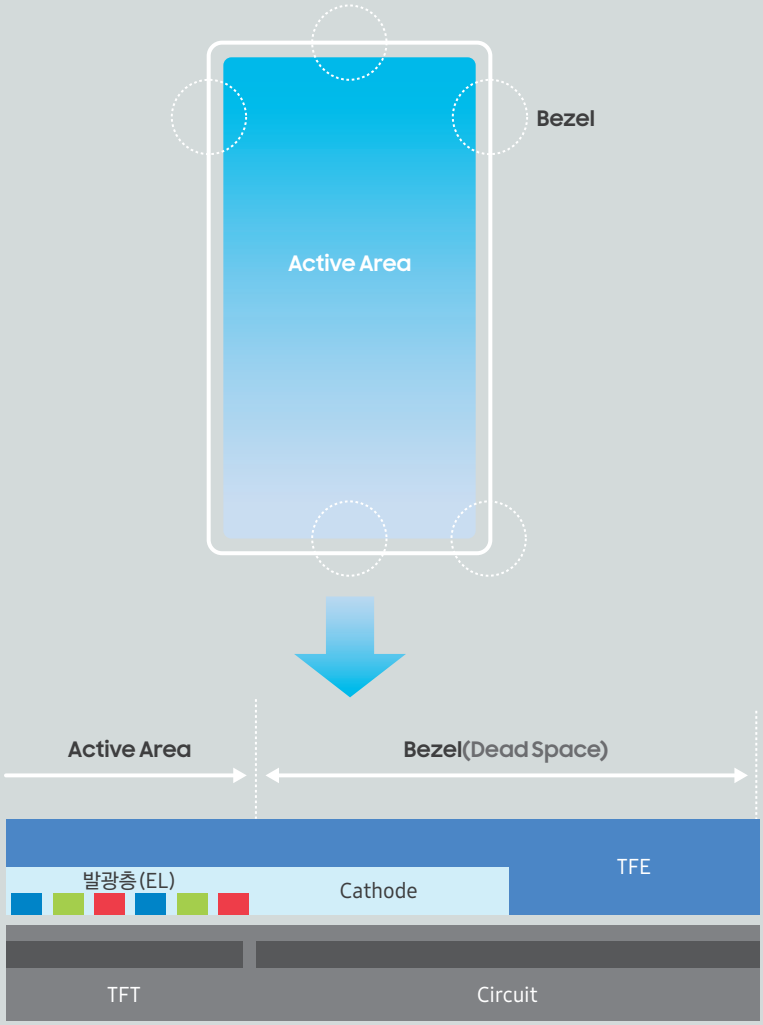
1 일반적으로 베젤Bezel은 스마트폰이나 TV 등 디스플레이가 탑재된 IT 기기에서 화면이 나오는 출력부를 제외한 주변 테두리 영역을 의미합니다. 디스플레이에서는 베젤을 데드 스페이스Dead Space라고도 부르며, 패널 발광 영역인 액티브 에어리어 Active Area의 바깥쪽 영역으로 픽셀이 발광하지 않는 상하좌우 코너 영역을 말합니다. 베젤의 좌우 영역으로 픽셀을 발광시키기 위한 신호 배선과 회로가 지나갑니다.

최근에는 스마트폰과 같은 IT 기기들에 풀 스크린Full Screen 트렌드가 지속되고 있습니다. 제품 사이즈 자체를 키우기보다는 기기에서 화면이 차지하는 면적을 최대한 넓히기 위해 베젤을 최소화하는 방향으로 개발이 진행되고 있습니다. 베젤이 최소화로 되어 전면 디스플레이 표시 영역이 늘어나면, 화면 몰입감이 증가할 뿐 아니라 제품의 심미성도 높아지기 때문입니다.

전극이나 회로 배선 등이 있는 베젤을 줄이려면 배선의 폭을 최소화하거나 얇게 만들어야 합니다. 다양한 노력들이 시도되는 만큼 내로우 베젤Narrow Bezel, 베젤리스 Bezelless, 제로베젤Zero Bezel 등 관련 용어도 다양합니다.

또한 하단 베젤을 최소화하기 위해 드라이버 IC의 본딩 방식도 변화되었습니다. 이전 COFChip on Film 방식은 드라이버 ICDisplay Driver Integrated Circuit를 FPCBFlexible Printed Circuit Board, 연성회로기판에 부착하여 FPCB를 구부려 패널 뒤로 감추는 방식이었으나, 현재는 패널에 IC를 직접 부착하는 COPChip on Panel 방식을 활용해 패널 자체를 구부리는 방식으로 기판 뒷면에 부착함으로써 베젤을 최소화시킵니다.

베젤의 위치와 역할


Bezel
Active Area
Active Area
Bezel(Dead Space)
TFE
발광층(EL)
Cathode
TFT
Circuit

PDL
Pixel Define Layer

48

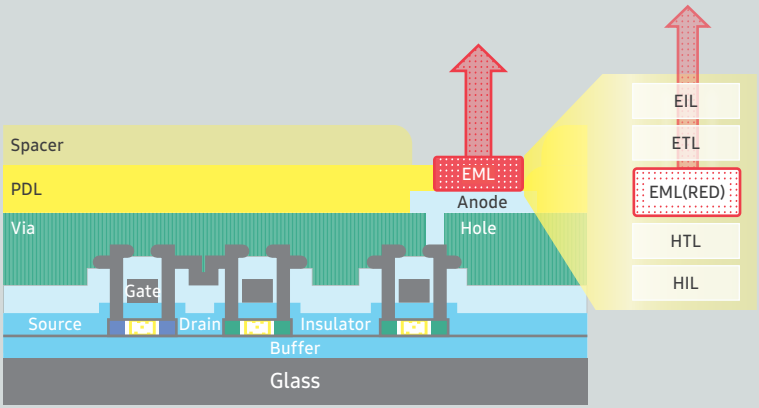
PDL**Pixel Define Layer**이란 OLED**Organic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드** 패널에서 유기물발광층**EML**의 각 서브픽셀**Subpixel**이 서로 간섭하지 않도록 구분해 주는 역할을 하는 층입니다.

1 OLED 패널은 빨간색**Red**, 녹색**Green**, 파란색**Blue**을 내는 유기 발광 물질을 이용해 색상을 표현하는데, 각각의 RGB 서브픽셀은 증착**Evaporation**이라는 공정을 거쳐 만들어집니다. PDL은 유기 발광 물질 증착이 이루어지기 전에 각 서브픽셀의 증착 영역 이외의 부분에 성막됩니다. 즉, 서브픽셀이 되는 유기 발광 물질들이 들어갈 부분을 비워 두고 형성합니다.

PDL은 폴리이미드**PI, Polyimide** 물질을 이용하며, TFT 제작에 사용되는 포토리소그래피의 일부인 노광**Exposure** 공정을 통해 패널에 형성합니다. PDL이 성막되지 않은 서브픽셀 구역이 정의되면 증착된 유기물들은 하단의 양극**Anode** 전극과 만나 전기적 신호로 빛을 내게 됩니다. PDL은 서브픽셀 전극의 전기적 합선 등을 방지하고, 증착 시 유기물들이 영역을 넘어 섞이지 않도록 하는 역할을 합니다.

1

PDL과 유기물 발광층 구조



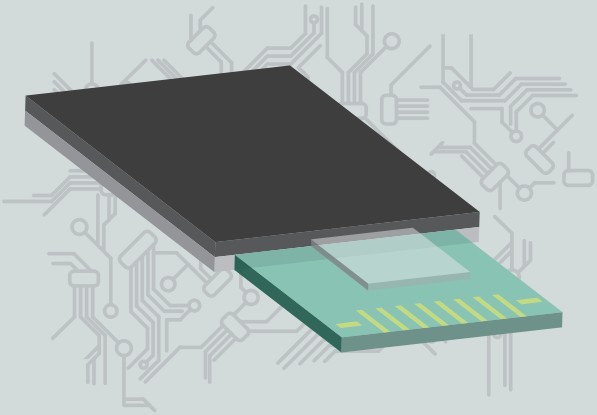
DDI 디스플레이 드라이버 IC

49

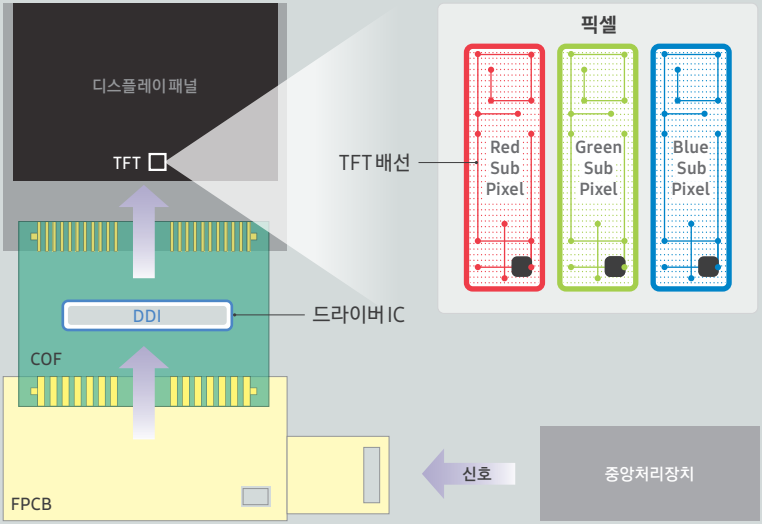
DDI**Display Driver Integrated Circuit**는 디스플레이의 각 픽셀을 구동하기 위해 꼭 필요한 반도체 칩으로 디스플레이 드라이버 IC라고도 부릅니다. 디스플레이 화면에 이미지가 나오기까지는 여러 단계를 거쳐야 합니다. DDI는 기기의 중앙처리장치인 AP 또는 CPU로부터 화면을 어떻게 구동할지 신호를 입력 받아 패널을 동작시키기 위한 출력 신호를 생성하고 제어하는 역할을 합니다.

1 쉽게 설명하면, DDI는 패널의 각 픽셀에게 어떻게 행동해야 할지 명령을 내립니다. DDI는 게이트**Gate** IC와 소스**Source** IC 등으로 이루어져 있습니다. 이들은 각각 서브픽셀**Subpixel**을 켜고 끄거나, 픽셀들이 표현할 색차이를 만들어냅니다. 게이트 IC와 소스 IC의 전압 차를 이용해 전류를 TFT**Thin Film Transistor, 박막 트랜지스터**에 전달하면, TFT는 해당 명령에 따라 각 서브픽셀을 직접 켜거나 끄는 스위치 역할을 합니다. 그렇게 해서 원하는 이미지가 패널에 생성됩니다.

1-1 디스플레이 구동칩



1-2 디스플레이 구동 신호 흐름도



FPCB
연성 회로 기판

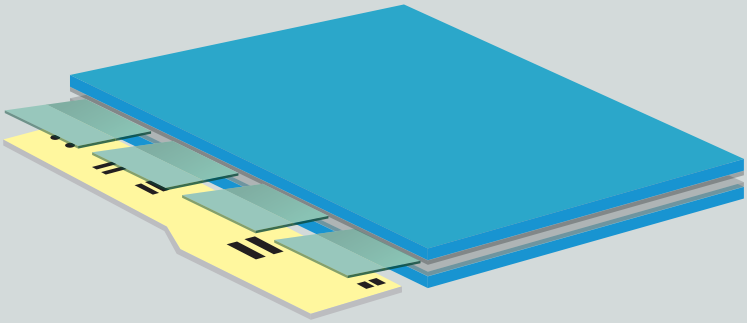
50

디스플레이 패널을 구동하기 위해 스마트폰과 같은 기기에서는 먼저 어떤 화면을 내보낼지 결정합니다. 이런 결정을 하고 명령 내리는 부품이 모바일 칩인 APApplication Processor또는 CPU이며, 이때 명령한 신호를 디스플레이로 전달하는 1차적 부품이 바로 연성 회로기판이라고 불리는 FPCBFlexible Printed Circuit Board입니다.

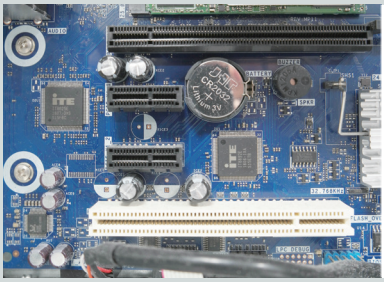
1 FPCB를 알기 위해서는 먼저 PCB를 이해해야 합니다. PCBPrinted Circuit Board, 회로기판란 전기적 신호를 전달할 수 있는 회로 부품으로, 사람으로 따지면 신경에 비유할 수 있습니다. PCB는 가전제품에서부터 스마트폰과 같은 첨단 이동 통신 기기에 이르기까지 대부분의 전자 기기에 사용되는 핵심 부품입니다.

2 FPCB는 기존의 딱딱한 PCB에 유연한 특성을 부여한 전기 회로기판입니다. 모바일 기기의 경우 디스플레이 뒤로 FPCB를 접어서 넣기 때문에 얇고 유연해야 하는데, 이는 기기 휴대를 고려하여 크기를 최소화하기 위함입니다. FPCB의 핵심 기능은 전자 기기의 AP가 명령하는 신호를 DDIDisplay Driver Integrated Circuit로 보내는 전달자 역할입니다. DDI와 달리 FPCB는 자체적으로 독립적인 기능을 하지 않습니다. 하지만 FPCB는 전자 기기의 공간 활용과 무게 등에서의 장점 때문에 모바일 기기가 확산되는 최근에 그 활용성이 더욱 높아지고 있습니다.

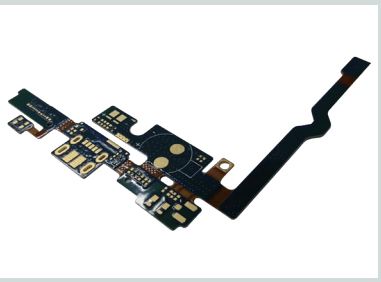
1 PCB 회로기판



2 PCB와 FPCB 비교



PCB



FPCB

COG, COF, COP
DDI 부착 방식

51

디스플레이 패널이 작동되려면 DDI**Display Driver Integrated Circuit**라는 작은 반도체 칩이 사용됩니다. DDI는 TFT**Thin Film Transistor, 박막 트랜지스터**에 신호를 전달해 픽셀을 제어하는 역할을 하며, 스마트폰과 같은 제품의 AP**Application Processor**와 패널 사이의 신호 통로 역할을 합니다.

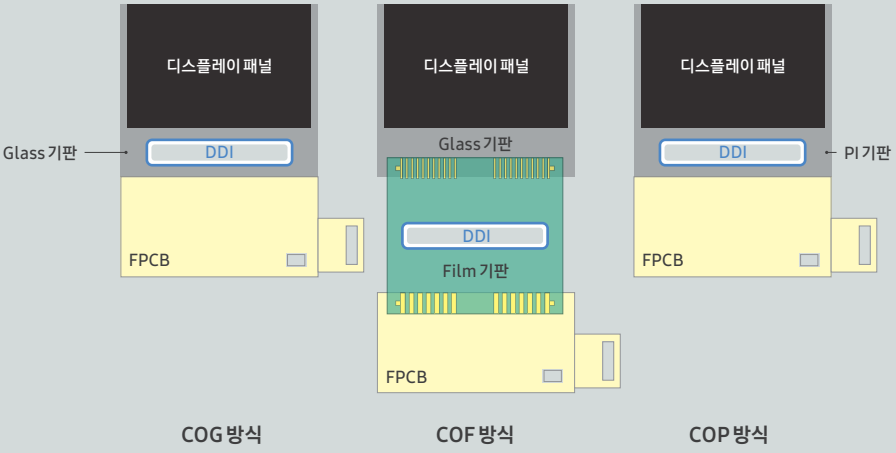
1 COG, COF, COP는 이런 DDI를 디스플레이 또는 인쇄회로 기판에 연결하는 형태나 방식을 뜻하는 용어입니다. 디스플레이 패널에 사용되는 기판에 드라이버 IC를 부착할 때는, 기판의 종류나 부착 방법에 따라 다른 기술이 적용됩니다.

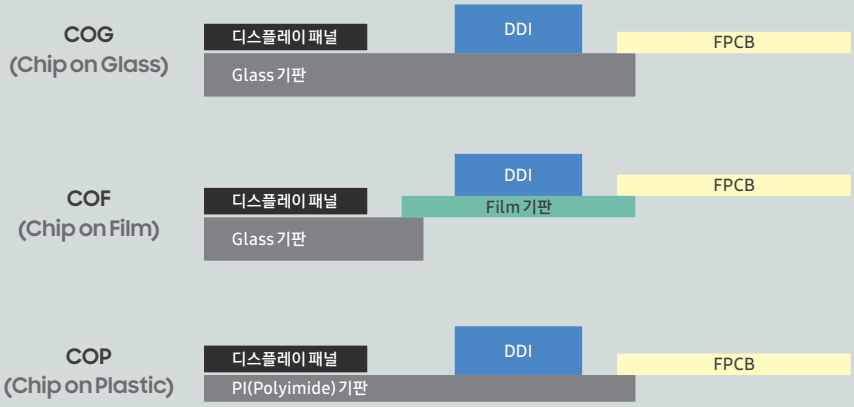
COG**Chip on Glass**는 디스플레이 유리 기판 위에 직접 드라이버 IC를 탑재하는 방식입니다. COF**Chip on Film**는 드라이버 IC가 실장된 박막 인쇄회로가 형성된 필름을 말하는 것으로, 이 필름을 디스플레이 기판과 FPCB**Flexible Printed Circuit Board, 연성 회로기판**에 연결합니다. 얇은 필름 타입 위에 부착하기 때문에 필름을 말거나 접을 수 있어, 패널이 탑재되는 제품의 두께나 크기를 줄이는 유연한 설계가 가능합니다. COP**Chip on Plastic**는 디스플레이 기판으로 사용되는 유연한 폴리이미드**PI, Polyimide**에 DDI를 직접 부착하는 방식입니다.

COF와 COP는 유연한 소재의 필름과 폴리이미드 기판에 DDI를 부착하는 만큼 플렉시블**Flexible** 디스플레이나 풀 스크린**Full Screen** 등에 주로 활용하는 방식입니다. 유연한 소재에 적용하며 제품 상하단의 베젤**Bezel**을 줄일 수 있어서 공간 활용에 우수합니다.

1

부착 방식에 따른 DDI 패키지 종류와 구조





UTG™
Ultra Thin Glass

52

1 디스플레이 산업에서 UTG™ Ultra Thin Glass란 디스플레이 커버 윈도우에 사용되는 초박형 강화유리 소재 부품을 의미합니다. UTG™는 두께가 약100 마이크로미터㎛ 미만으로 매우 얇아 유연하게 접을 수 있을 뿐만 아니라 긁힘에 강한 유리 소재의 특성도 함께 가지고 있습니다. 이는 폴더블Foldable 디스플레이용 윈도우로써 사용성과 디자인 수준을 모두 높일 수 있다는 장점이 됩니다.

패널의 화면부를 외부의 영향으로부터 보호하는 역할을 하는 디스플레이 커버 윈도우 Display Cover Window는 디스플레이의 화면을 우리 눈에 그대로 전달해 주어야 하므로 높은 투명도가 필요합니다. 동시에 깨짐이나 긁힘이 적어야 하므로 내구성이 강한 소재를 사용해야 합니다.

갤럭시 Z 플립에 사용된 삼성디스플레이 UTG™의 두께는 약 30마이크로미터입니다. 일반적인 리지드Rigid OLED Organic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드의 커버 윈도우 두께인 0.5밀리미터㎜보다 훨씬 얇아서 물체를 접을 때 접는 부위에 발생하는 응력이 작아져 유연하게 폴딩이 가능합니다. 이는 종이의 두께가 얇을수록 접기 쉬운 원리와 같습니다.

폴더블 디스플레이에 사용되는 UTG™는 얇아야 할 뿐만 아니라 접었다 폈을 때, 원형 복원이 이루어져야 합니다. 동시에 외부의 충격으로부터 내구성을 높이는 강화 공정이 중요합니다. 소재의 특장점과 함께 유연하게 접고 펼 수 있는 UTG™는 향후 다양한 폴더블 디바이스에 적용될 전망입니다.

1

UTG™ 디스플레이 커버 윈도우

Samsung Display Foldable OLED: UTG

홀 디스플레이
Hole Display™

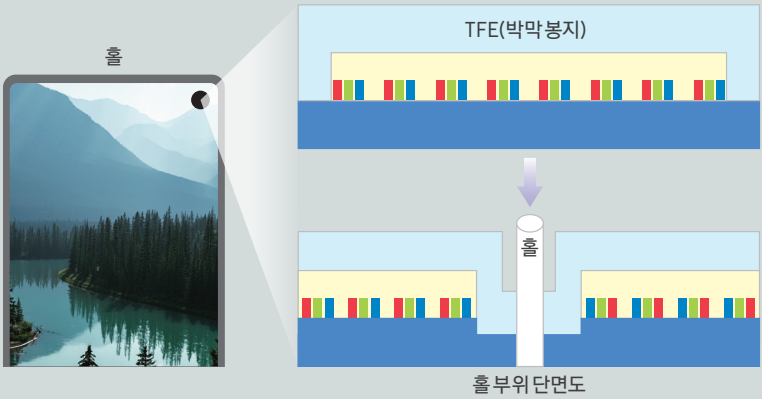
53

1 홀 디스플레이란 구멍을 의미하는 홀Hole과 디스플레이Display 패널의 단어 조합으로 홀을 가지고 있는 디스플레이를 의미합니다. 다만 주의할 점은 디스플레이 패널에 홀이 있다고 모두 홀 디스플레이는 아닙니다. 꼭 디스플레이에 화면이 구동되는 액티브 에어리어Active Area 안에 홀이 있어야 합니다. 액티브 에어리어가 아닌 베젤Bezel, 데드 스페이스Dead Space 부분에 홀이 있다면 홀 디스플레이에 해당되지 않으며 또한 액티브 에어리어와 데드 스페이스 경계선에 카메라 홀이 있는 노치Notch 디자인도 홀 디스플레이라 할 수 없습니다. 이렇게 디스플레이 내에 만들어진 홀은 스마트폰에서 카메라와 같이 빛을 인식하는 센서를 위치시키기에 유용합니다.

홀 디스플레이를 만들기 위해서는 고도의 디스플레이 화소 패터닝Patterning 기술과 홀 가공 기술이 필요합니다. 홀을 만드는 대표적인 기술로는 레이저가 사용됩니다. 홀을 뚫고 난 뒤, 주변에 있는 미세한 배선과 다양한 발광 소재 등이 공기에 노출되어 손상되지 않도록 홀 주변을 봉지 공정을 통해 막아주는 단계가 필수적입니다. 그리고 홀로 인해 발생한 주변부 화질에 대한 영향도 제어해야 합니다. 이러한 고도의 기술이 적용된 홀디스플레이는 풀 스크린Full screen 기술의 한 사례로 화면을 넓게 해주어 사용자들에게 높은 몰입감을 제공합니다. 또한, 스마트폰 외에도 다양한 영역에서 혁신적인 디자인을 제공합니다.

1

풀 스크린 기술 적용에 따른 화면 비교



홀 부위 단면도

UPC
Under Panel Camera

54

1 UPC는 'Under Panel Camera'의 약자로 UDC**Under Display Camera**라고도 불립니다. 말 그대로 디스플레이 패널 아래에 카메라를 장착하는 것으로, 스마트폰이나 태블릿PC 등 IT 기기의 전면 카메라를 디스플레이 아래에 넣는 기술입니다.

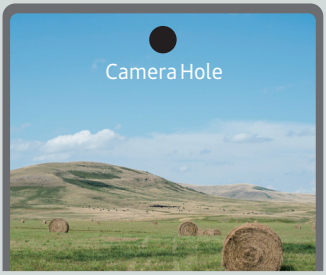
스마트폰 시장에서 풀 스크린**Full screen** 트렌드가 지속되면서 스마트폰의 상하단, 좌우 부분의 베젤**Bezel**이 최소화되고 이를 위해 지문 인식이 디스플레이에 내장되거나, 전면 카메라 부위만 디스플레이를 컷팅한 노치 컷**Notch Cut**, 펀치 홀**Punch Hole**, 티어드롭**Teardrop**형 등 다양한 형태의 디스플레이가 등장했습니다. UPC 기술은 전면 카메라 부위에도 화면이 나오게 하는 완벽한 풀 스크린 실현을 위해 등장한 기술입니다.

2 패널 하단에 카메라 모듈을 배치하는 UPC 기술은 평소에는 일반 화면이 나오다가 카메라를 동작시키면 촬영이 가능하도록 하는데요. 주의할 점은 한 영역에 카메라와 디스플레이 두 가지 기능이 공존하려면 디스플레이를 위한 발광 영역과 카메라가 빛을 받을 수 있는 투과 영역이 구분되어야 한다는 사실입니다. 또한 디스플레이 패널 아래에 카메라가 위치하는 만큼, 패널 투과율을 높이는 것이 중요합니다. 이를 위해 카메라가 요구하는 투과율이나 광학 간섭 등의 특성을 만족시키기 위해 적층 구조 및 디자인에서 종합적인 기술이 적용됩니다.

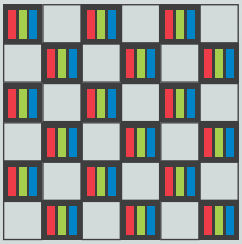
1 UPC 기술 개념

2 UPC와 홀 디스플레이 차이 비교

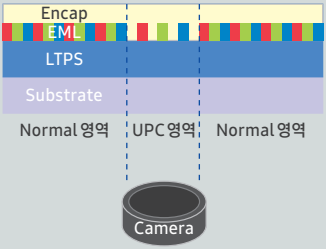
UPC (Under Panel Camera)



Hole Display



UPC 영역의 픽셀 구조



일반 디스플레이 영역 vs. UPC 영역 구조 비교

다이아몬드 픽셀™
Diamond Pixel™

55

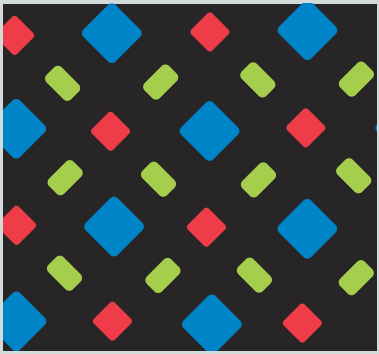
다이아몬드 픽셀™Diamond Pixel™은 디스플레이의 화면을 구성하는 기본 단위인 픽셀Pixel을 다이아몬드 형태로 배치한 효과적인 화질 향상 기술입니다.
디스플레이에서 픽셀이란 화면의 이미지를 구성하는 기본 단위를 뜻합니다. 스마트폰, 모니터, TV 화면에 나타나는 이미지는 이러한 픽셀들이 여러 개 모여 하나의 큰 이미지를 형성해 표현되는 것이죠. 그런데 기본 단위로 불리는 픽셀은 다시 더 작게 나눌 수 있습니다. 마치 하나의 분자를 쪼개면 여러 개의 원자로 이루어지는 것을 떠올리면 비슷합니다. 하나의 픽셀은 일반적으로 빛의 빛의 삼원색인 빨간색Red, 녹색Green, 파란색Blue으로 이루어집니다. 이렇게 각각의 단일 색상을 나타내는 작은 픽셀을 서브픽셀Subpixel이라고 부르며, 이러한 서브픽셀은 구성 방식에 따라 스트라이프 Stripe, 다이이몬드Diamond 등 여러 가지로 분류됩니다.

1 전통적인 서브픽셀 배치 방식은 우측 그림과 같이 RGB가 일렬로 배치되는 형태입니다. 이를 스트라이프Stripe 타입이라고도 부릅니다. 반면 다이아몬드 픽셀™Diamond Pixel™은 픽셀을 다이아몬드와 유사한 모양으로 묶을 수 있도록 배치합니다. 인간의 눈은 녹색을 가장 잘 인지하는데, 다이아몬드 픽셀™은 녹색 소자의 크기를 가장 작게 만들고, 동시에 가장 촘촘히 분포시켜 RGB 색상의 특징을 잘 살려냈습니다.

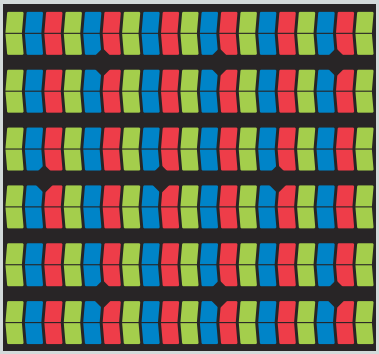
2 특히 다이아몬드 픽셀™은 가독성이 중요한 텍스트의 경우에도 상하좌우 직선뿐만 아니라 대각선까지도 날카롭고 정교하게 표현하기 때문에 선명한 화질을 구현하는 첨단 기술입니다.

1

서브픽셀 배치 방식 차이



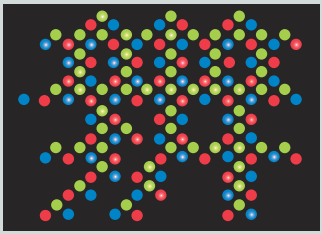
Samsung's Diamond Pixel™

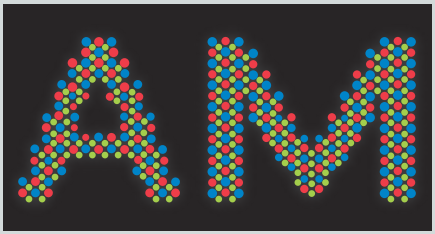


Traditional Square Pixel

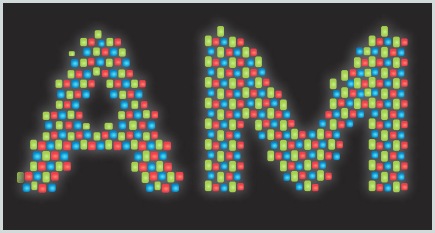
2

다이아몬드 픽셀™ 선명도 차이 비교(시뮬레이션)





Diamond pixel™



Others

라운드 다이아몬드 픽셀™

56

Round Diamond Pixel™

1 라운드 다이아몬드 픽셀™Round Diamond Pixel™은 디스플레이의 화면을 구성하는 기본 단위인 픽셀Pixel을 둥근 형태의 서브픽셀로 만든 후 다이아몬드 형태로 배치한 효과적인 화질 향상 기술입니다. 디스플레이에서 픽셀이란 화면의 이미지를 구성하는 기본 단위를 뜻합니다. 스마트폰, 모니터, TV 화면에 나타나는 이미지는 이러한 픽셀들이 여러 개 모여 하나의 큰 이미지를 형성해 표현되는 것이죠.

2 그런데 기본 단위로 불리는 픽셀은 다시 더 작게 나눌 수 있습니다. 마치 하나의 분자를 쪼개면 여러 개의 원자로 이루어지는 것을 떠올리면 비슷합니다. 하나의 픽셀은 일반적으로 빛의 빛의 삼원색인 빨간색Red, 녹색Green, 파란색Blue으로 이루어집니다. 이렇게 각각의 단일 색상을 나타내는 작은 픽셀을 서브픽셀Subpixel이라고 부르며, 이러한 서브픽셀은 구성 방식에 따라 스트라이프Stripe, 다이이몬드Diamond 등 여러 가지로 분류됩니다.

1 차세대 라운드 다이아몬드 픽셀™ 로고

Round Diamond Pixel™

2 픽셀의 정의

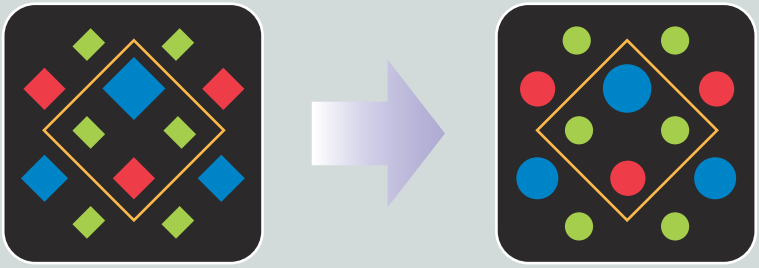
56

3 인간의 눈이 녹색을 가장 잘 인지하는데 착안하여 다이아몬드 픽셀™은 녹색 소자의 크기를 가장 작게 만들고, 동시에 가장 촘촘히 분포시켜 RGB 색상의 특징을 잘 살려냈습니다. 특히 가독성이 중요한 텍스트의 경우에도 상하좌우 직선뿐만 아니라 대각선까지도 날카롭고 정교하게 표현해 선명한 화질을 구현합니다. 삼성디스플레이가 개발한 라운드 다이아몬드 픽셀™은 서브픽셀이 각진 형태인 기존의 다이아몬드 픽셀™보다 서브픽셀의 빛 회절 제어를 향상시킨 기술로, Eco²OLED™ 기술과 결합해 고화질 디스플레이를 구현하는 데 최적화된 기술입니다.

4 2021년 삼성디스플레이는 디스플레이에 일반적으로 부착되는 불투명한 플라스틱 부품인 편광판을 없애 빛 투과율을 33퍼센트 높인 에코스퀘어 OLED™**Eco²OLED™** 기술을 공개하며, Eco²OLED와 결합해 화질을 최적화한 '라운드 다이아몬드 픽셀™'을 함께 발표했습니다.

3

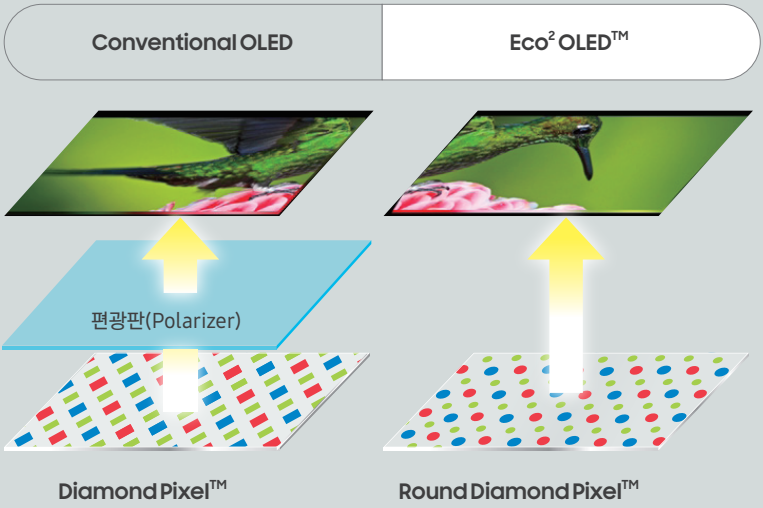
동그라미 모양의 서브픽셀들로 이루어진 라운드 다이아몬드 픽셀™



Diamond Pixel™ Round Diamond Pixel™

4

라운드 다이아몬드 픽셀™을 적용한 에코스퀘어 OLED™ 기술



Diamond Pixel™ Round Diamond Pixel™

에코스퀘어 OLED™ 57

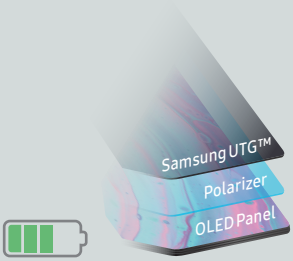
Eco²OLED™

1 에코스퀘어 OLED™Eco²OLED™는 삼성디스플레이가 개발한 '무편광 OLED 패널' 기술입니다. 일반적으로 OLEDOrganic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드 디스플레이는 외부에서 패널로 빛이 들어오면 패널 안의 전자 회로 전극에 닿은 후 다시 반사되면서 본래보다 화질이 낮아지는 특성이 있습니다. 이를 방지하기 위해 제조 공정에서는 불투명한 플라스틱 시트Sheet인 편광판Polarizer을 패널에 부착해 반사를 최소화합니다. 하지만 이 경우에도 빛이 편광판을 통과하면서 밝기가 50퍼센트 이상 감소해 광 효율이 떨어지는 문제가 발생합니다.

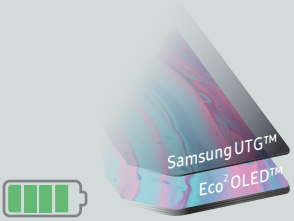
에코스퀘어 OLED™는 삼성디스플레이가 업계 최초로 편광판 기능을 내재화하면서 광 효율을 향상시킨 기술입니다. 편광판 대신 외광 반사를 막아주는 패널 적층 구조를 개발해 빛 투과율을 33퍼센트 높여서 패널의 소비전력을 최대 25퍼센트까지 아낄 수 있습니다.

2 '에코스퀘어 OLED™'는 저低소비전력Efficient Power Consumption과 더불어 플라스틱 소재 부품 사용을 줄인 친환경Eco Friendly Component 부품이라는 의미를 담고 있는 용어로, 환경친화적 기술입니다. 뿐만 아니라, 빛 투과율 향상의 장점을 활용해 디스플레이 패널 하단에 카메라를 배치하는 UPCUnder Panel Camera 기술 구현에도 기여한 혁신적인 디스플레이 플랫폼 기술입니다.

1 일반 OLED와 Eco²OLED™ 비교



Conventional OLED

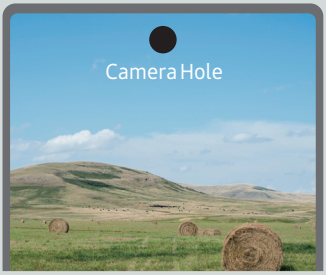


Eco² OLED™

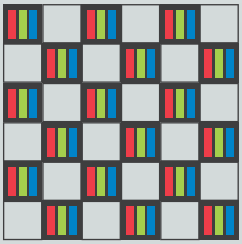
소비전력 25% 절감

2 패널 하단에 카메라 모듈을 배치하는 UPC 기술

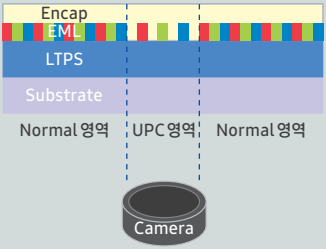
UPC (Under Panel Camera)



Hole Display



UPC 영역의 픽셀 구조



일반 디스플레이 영역 vs. UPC 영역 구조 비교

포토레지스트
Photoresist

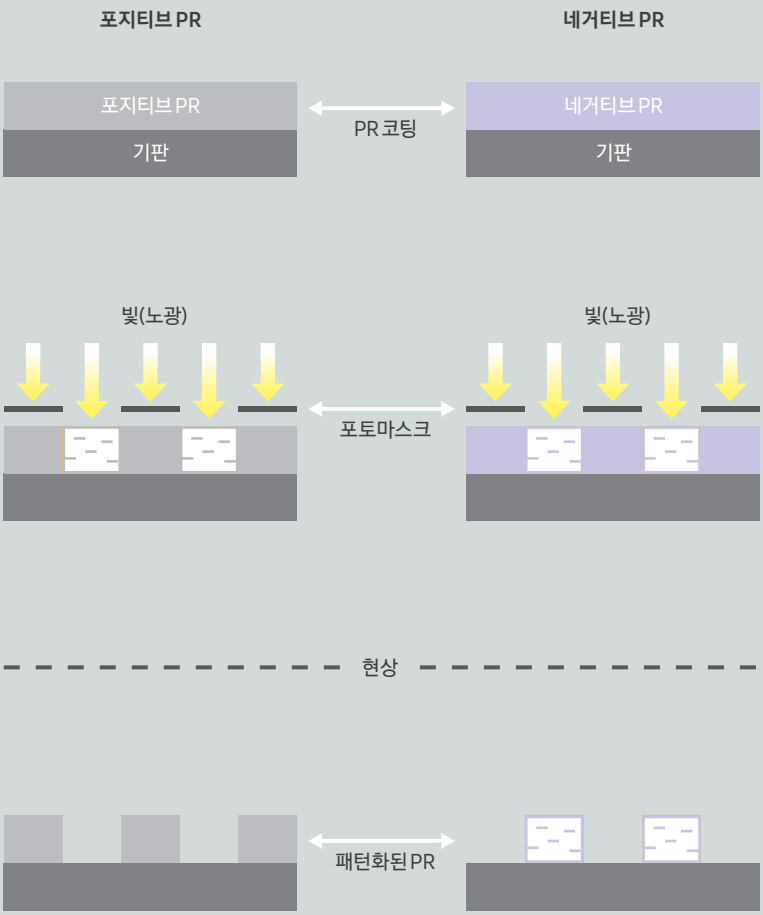
58

포토레지스트PR, Photoresist는 빛에 반응감광해 특성이 변하는 화학물질로, 디스플레이에서는 TFTThin Film Transistor, 박막 트랜지스터에 미세한 회로를 형성하는 포토리소그래피Photolithography 공정의 핵심 소재로 사용됩니다.

포토레지스트는 빛에 의해 화학적 특성이 변하는데 종류에 따라 빛을 받으면 딱딱해지거나, 반대로 녹기 쉽게 변합니다. 이러한 형질 변화를 이용해 약해진 부분만 선택적으로 제거함으로써 회로로 사용할 부분과 아닌 부분을 구분하고, 미세한 회로 패턴을 판화처럼 입체적으로 깎아 만드는 기법을 포토리소그래피라고 합니다.

1 TFT 제조의 핵심 공정인 포토리소그래피 공정에서 포토레지스트는 TFT 기판 위에 얇게 도포되는 방식으로 사용됩니다. 이후 전자 회로 패턴을 그리는 부분과 아닌 부분을 구분하는 포토마스크Photomask를 포토레지스트 위에 덧댄 후 빛을 비추면, 포토레지스트는 빛을 받은 부분과 아닌 부분의 특성이 달라집니다. 특성이 달라진 두 영역 간의 용해도 차이를 이용해 용해가 수월한 포토레지스트를 현상 Development 공정을 통해 제거합니다. 포토레지스트가 사라진 영역에 남아있는 증착 물질은 식각Etching 공정을 통해 제거되며, 남겨진 포토레지스트 하부의 증착 물질은 포토레지스트의 보호를 받아 그대로 유지됩니다. 마지막으로는 실제 회로의 소재 역할을 하는 증착 물질만 남기고, 역할을 마친 PR은 박리해 제거합니다.

포토레지스트는 빛을 받은 부분이 용해되는 포지티브Positive형과 빛을 받지 않은 부분이 용해되는 네거티브Negative형을 필요에 따라 사용합니다.


포지티브 PR
네거티브 PR
포지티브 PR
기판
PR 코팅
네거티브 PR
기판
빛(노광)
빛(노광)
포토마스크
현상
패턴화된 PR

포토리소그래피 59
Photolithography

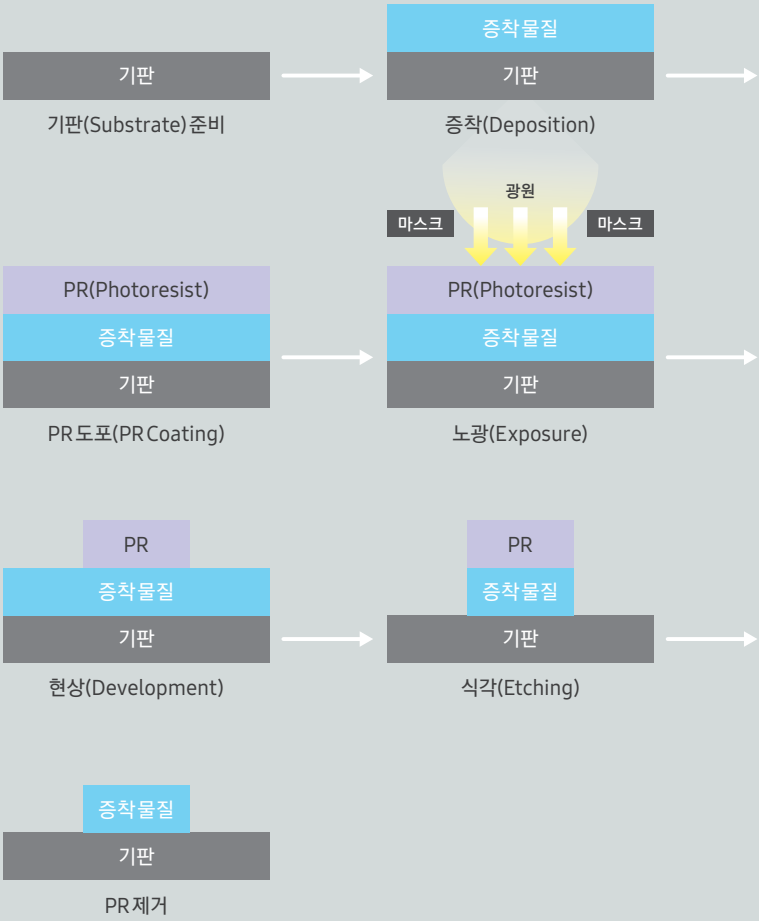
포토리소그래피**Photolithography**는 반도체, 디스플레이 제조 공정에서 사용하는 공정입니다. 포토 공정이라고도 불리며, 사진 인쇄 기술과 비슷하게 빛을 이용하여 복잡한 회로 패턴을 제조하는 방법입니다. 디스플레이에서는 TFT**Thin Film Transistor, 박막트랜지스터** 공정에 사용되고 있습니다.

TFT 공정은 미세한 회로 패턴 제작을 위해서 기판 위에 TFT 구성에 필요한 층을 올리고, 깎아내리고, 그 위에 다른 층을 또 쌓는 것을 반복해야 합니다. 이렇게 원하는 모양의 물질을 쌓기 위해 빛을 이용하여 형태를 패터닝**Patterning**하는 과정을 포토리소그래피라고 합니다.

1 포토리소그래피 공정 과정은 다음과 같습니다. 먼저 깨끗하게 세정된 기판 **Substrate** 위에 TFT 제조에 필요한 물질을 고르게 증착합니다. 그 위에 빛이 닿는 부분과 닿지 않는 부분이 다르게 반응하는 포토레지스트**PR, Photoresist** 물질을 도포합니다. 포토레지스트가 코팅된 층 위에 원하는 패턴이 그려진 마스크**Mask**를 갖다 댄 후, 빛을 쏘아서 빛을 받은 영역과 받지 않는 부분을 구분합니다. 포토레지스트 물질은 빛의 반응에 따라 포지티브**Positive**와 네거티브**Negative** 두 가지 방식으로 분류됩니다.

1

포토리소그래피 공정 과정



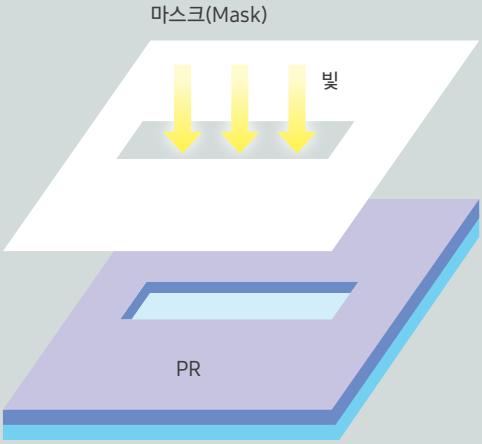
59

2 포지티브 방식은 마스크에 의해 빛에 노출된 부분이 현상액에 녹기 쉽게 화학구조가 변하는 것입니다. 현상액을 투입해 노광**Exposure** 과정에서 빛을 받은 부분을 제거합니다. 네거티브 방식은 빛에 노출된 부분이 반대로 더욱 단단해지는 것입니다. 빛을 받지 못한 부분은 현상액으로 제거합니다.

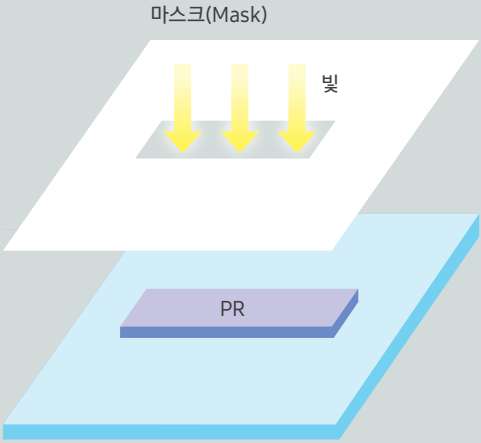
이렇게 원하는 패턴만 남은 포토레지스트층은 식각**Etching** 과정을 거쳐서 포토레지스트가 덮여 있지 않은 부분의 증착된 물질을 제거합니다. 증착된 물질이 원하는 모양으로 패터닝이 완료되면 그 위에 도포되어 있던 포토레지스트층을 제거하여 원하는 패턴의 증착 물질만 남도록 합니다. 이런 포토리소그래피 과정을 거쳐서 TFT를 구성하는 적층 구조가 완성됩니다.

2

포지티브 방식과 네거티브 방식의 차이



Positive



Negative

증착
Evaporation

60

1 증착Evaporation은 어떤 물질을 기판 표면에 박막으로 부착시키는 것을 말합니다. 다른 말로 하면 진공 공간 속에서 증착하려는 물질의 화합물을 가열 증발시키는 방법입니다. OLEDOrganic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드는 디스플레이 픽셀을 형성하는 컬러 패터닝을 할 때, 이 증착 방법을 사용합니다. OLED 제조 과정은 다음과 같이 크게 다섯 단계로 진행됩니다.

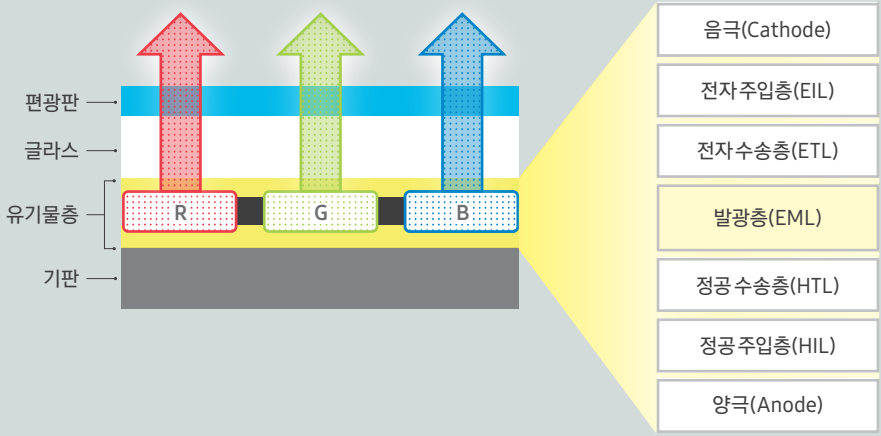
LTPS(Low Temperature Polycrystalline Silicon) 공정 → 증착(Evaporation) 공정 → 봉지(Encapsulation) 공정 → 모듈(Module) 공정

2 두 번째 공정인 증착은 자체 발광하는 OLED 픽셀을 만들기 위해 필요한 과정입니다. OLED는 기판 위에 RGB 색을 내는 유기 발광층이 있습니다. 이 유기물층은 빛을 발광하는 역할로 발광층과 발광을 돕는 보조층으로 구성되어 있습니다. 보조층인 HIL, HTL, EIL, ETL은 정공과 전자가 쉽게 발광층으로 들어가고 이동하게 만들어주는 박막층입니다. 이렇게 유기물층을 구성하기 위해 사용되는 방법이 바로 증착입니다.

증착 공정을 진행하기 위해서 먼저 진공 챔버Chamber라 불리는 설비에서 발광 유기물질 증착을 위한 LTPS 원판을 준비합니다. 챔버 안에 LTPS 원판이 준비되면 메탈 마스크Metal Mask를 원판에 갖다 댑니다. 마스크는 유기물층을 증착할 때, 특정 위치에만 증착할 수 있도록 철판에 구멍을 낸 장비입니다.

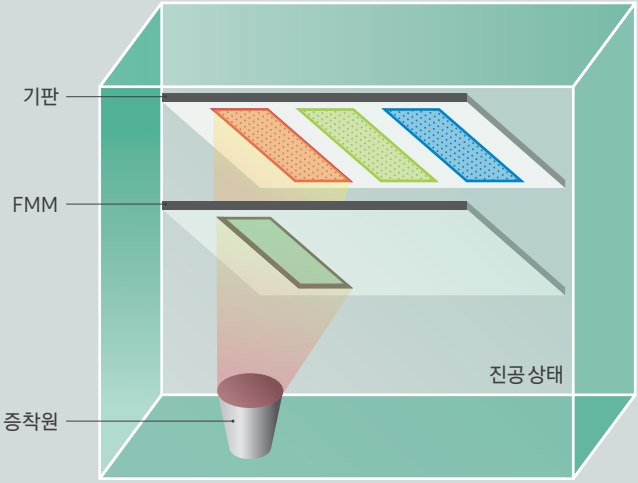
1 증착의 개념 원리

2 OLED 패널의 단면 구조 이해



60

3 특히 RGB 각각의 유기물이 자신의 위치에 딱 맞게 증착될 수 있도록 돕기 위해서는 작은 픽셀로 나눌 수 있는 파인 메탈 마스크**FMM, Fine Metal Mask**를 사용합니다. 마스크가 준비되고 그 아래 증착원을 놓고 적정 온도를 가열하면 분자 단위의 유기물질이 마스크를 통과하면서 원하는 위치에 입혀집니다. 이런 과정을 거쳐서 빛을 내는 유기물층과 음극층이 완성됩니다.



FMM (Fine Metal Mask)을 이용한 OLED 소자 증착 방법

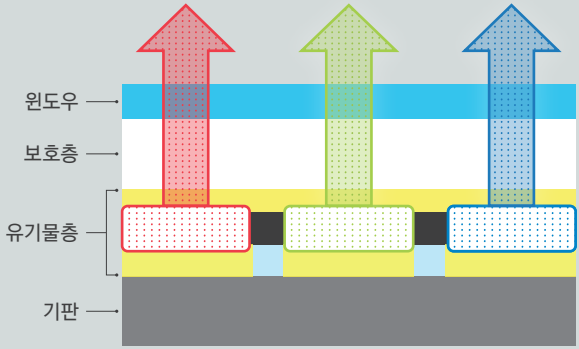
파인 메탈 마스크 61
FMM

파인 메탈 마스크FMM, Fine Metal Mask는 OLED 디스플레이에서 발광체인 유기물을 기판에 증착Evaporation할 때, 사용하는 마스크Mask의 한 종류입니다. 'Fine Metal Mask'라는 단어 뜻 그대로 '작고 촘촘하게 구멍이 있는 얇은 금속성 마스크'이며 증착 공정 단계에서 발광 유기물이 마스크를 통과해 기판 위의 원하는 위치에 증착될 수 있게 유도하는 역할을 합니다.

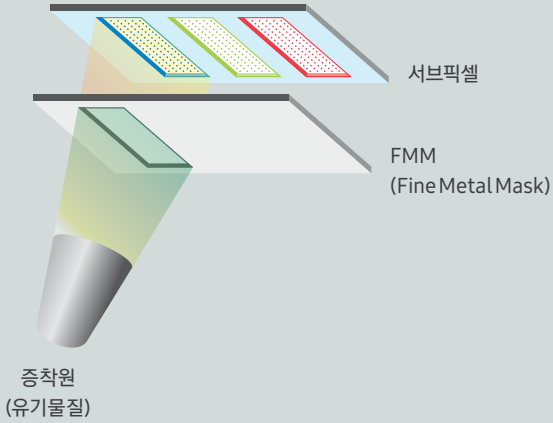
1 OLED 디스플레이는 유기물로 이루어진 픽셀Pixel들을 조합해 이미지를 구현하며, 각 픽셀들은 독립적으로 다양한 색상을 표현할 수 있습니다. 픽셀이 다양한 색을 표현할 수 있는 이유는 하나의 픽셀이 빛의 삼원색인 빨간색Red, 녹색Green, 파란색Blue색을 발하는 서브픽셀Subpixel로 이루어져 있기 때문입니다. 서브픽셀은 증착이라는 공정을 사용해 제조합니다. 증착은 어떤 물질을 기판 표면에 얇게 부착시키는 것을 말하며, OLED 유기물을 증착하기 위해서는 일반적으로 진공 공간 속에서 대상 물질을 가열해 증발시키는 방법을 사용합니다.

2 기판의 정확한 위치에 서브픽셀용 유기물을 증착하기 위해, RGB 색상별로 해당 위치와 파인 메탈 마스크의 홀Hole이 매칭되도록 구성한 후 증착 공정을 진행합니다. 증착은 한 번에 한 가지의 색상만 증착해야 혼색이 발생하지 않기 때문에, 서브픽셀 각 색상별로 서로 다른 파인 메탈 마스크를 사용해 여러 단계의 공정을 거쳐 진행합니다. 서브픽셀 증착이 완료되면 OLED의 발광층EML, Emitting Layer이 완성되며, 이후 발광 보조층 성막 및 봉지Encapsulation 공정을 진행하게 됩니다.

1 OLED 패널 단면도



2 서브픽셀 각 색상별 파인 메탈 마스크 증착 공정



오픈 마스크
Open Mask

62

1 오픈 마스크OM, Open Mask는 OLEDOrganic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드 디스플레이 제조 시 특정 위치에만 증착Evaporation이 되도록 하는 얇은 판을 의미합니다. 디스플레이 제조 과정에서 백플레인Backplane이 완료된 후, 그 위에 발광층을 형성하기 위한 증착 공정에서 사용됩니다.

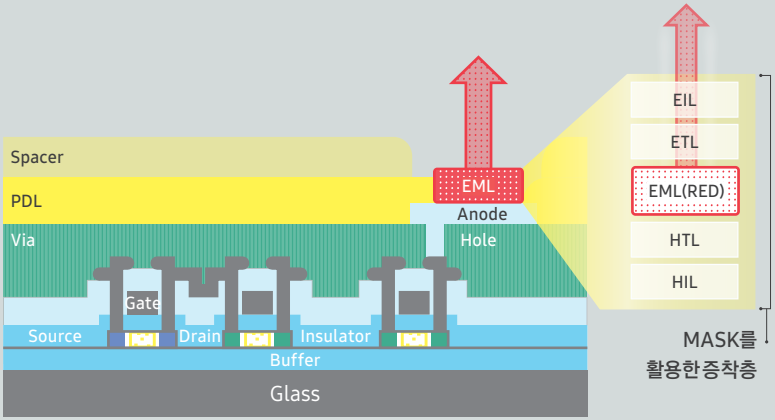
2 증착 공정에서 활용하는 마스크에는 오픈 마스크와 파인 메탈 마스크FMM, Fine Metal Mask가 있습니다. 오픈 마스크는 디스플레이 전면을 증착하기 위해 디스플레이가 작동하는 범위 내에 가로막는 부위 없이 개방된 마스크입니다. 발광층을 한 가지 색깔의 발광 물질로 증착하거나 EIL, HTL 등의 층을 증착할 때도 활용합니다. 반면, 파인 메탈 마스크는 구현하는 발광층의 서브픽셀Subpixel의 색깔을 다르게 하기 위해 사용하며 초미세 홀Hole을 가지고 있습니다. 여러 단계의 증착 과정을 진행해야 하므로 정확한 정렬이 필요하여 오픈 마스크만을 활용하는 기술보다 난이도가 높다고 할 수 있습니다.

OLED 디스플레이 발광층이 오픈 마스크를 활용해 증착되면 한 가지 색만 낼 수 있게 되므로 색 구현을 위해 컬러필터CF, Color Filter와 같은 별도의 층을 두어야 합니다. 파인 메탈 마스크를 활용해 RGB 발광층을 만든 경우에는 컬러필터가 필요하지 않습니다. 즉, 빛을 차단하는 필터가 없어지므로 오픈 마스크 방식에 비해 빛 효율이 높다고 할 수 있습니다.

소재로는 열팽창을 최소화할 수 있는 특수 금속이 적극적으로 활용됩니다. 증착 공정은 고온 환경에서 진행되어 온도변화에 따른 열팽창이 발생하며 화소 사이에 정렬이 틀어질 수 있기 때문입니다.

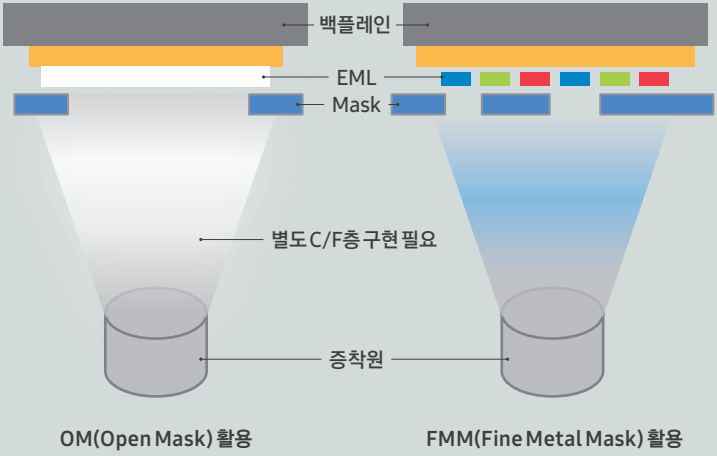
1

OLED 패널 제조 마스크 증착 공정



2

오픈 마스크와 파인 메탈 마스크 활용 방식 비교



PVD
물리적 기상 증착

63

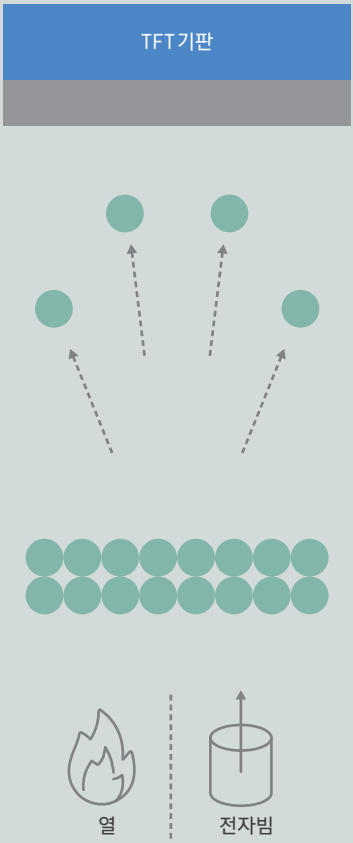
PVD**Physical Vapor Deposition**란 디스플레이에서 TFT**Thin Film Transistor, 박막 트랜지스터**를 만들 때 금속층을 형성하기 위한 방법 중 하나로 '물리적 기상 증착'이라고도 불립니다. PVD는 퇴적**Deposition**이라는 용어가 쓰인 것처럼, 눈이 내려 땅 위에 고르게 쌓이듯 특정 물질로 막을 형성하는 개념이라고 이해할 수 있습니다. 배선의 재료인 금속성 물질을 TFT 기판 위에 성막한 후 포토리소그래피**Photolithography** 공정을 통해 막을 깎아내 원하는 배선의 형태를 만드는 과정으로 이어집니다. 열이나 물리적 충격을 이용하는 PVD는 화학적 방식을 이용하는 CVD**Chemical Vapor Deposition**와 대비되는 기술입니다.

1 PVD 공정의 대표적 방식으로는 증발과 스퍼터링**Sputtering**이 있습니다. 증발 방식은 열 또는 전자빔을 이용해 TFT 기판에 원하는 물질을 성막하는 방식입니다. 진공 챔버**Chamber** 안에 성막할 물질을 담은 후, 열을 이용해 물질을 증착시켜 기판에 증착하거나, 열 대신 가는 선 모양의 전자빔으로 물질을 가열해 증발시켜 성막합니다.

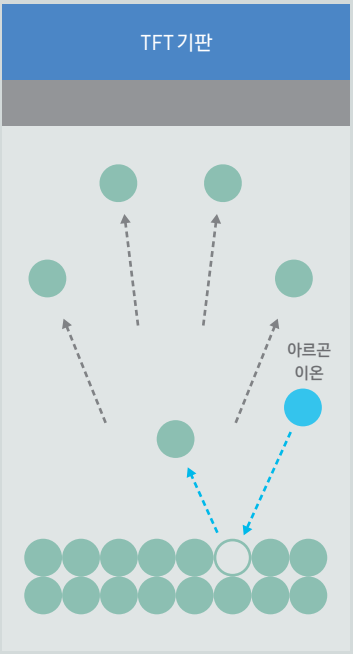
스퍼터링 방식은 성막할 물질에 다른 물질을 충돌시킨 후, 떨어져 나온 입자가 TFT 기판에 성막되도록 하는 방식입니다. 챔버 안에 아르곤**Ar** 가스를 주입한 후 강한 전압을 가해 플라스마**Plasma**를 발생시키면, 아르곤 이온이 생성돼 성막할 물질에 부딪힙니다. 이때 충돌하는 아르곤 이온의 운동에너지가 성막할 물질의 결합 에너지보다 크므로, 성막할 물질 간의 결합이 풀려 튕겨 나와 방출되는 물질들이 기판에 달라붙도록 하는 방식입니다.

1

PVD 공정의 대표 방식



증발 방식



플라스마(Plasma) 상태의 챔버

스퍼터링 방식

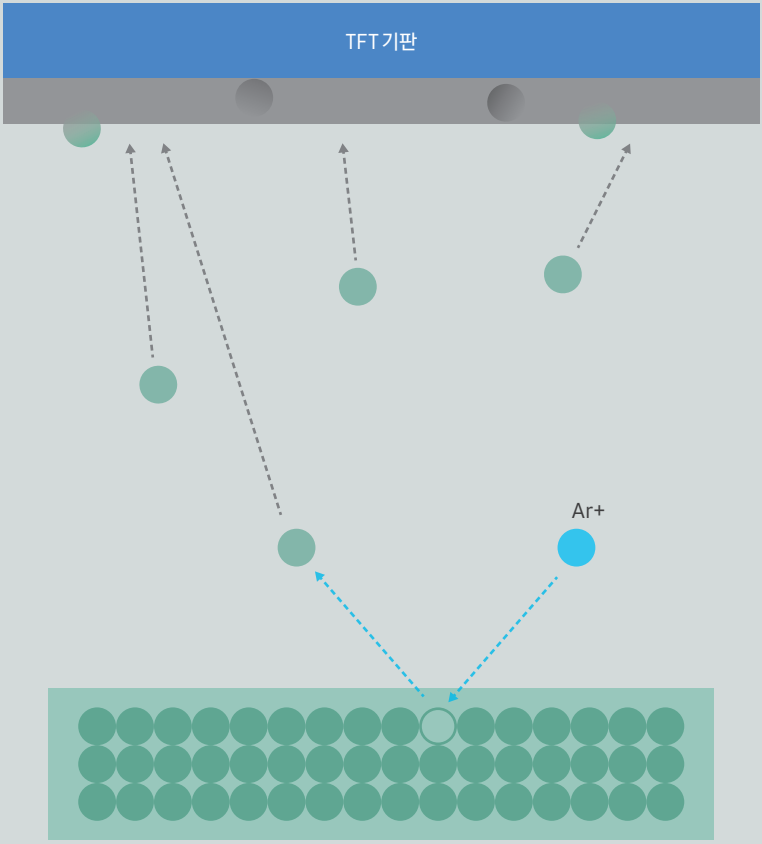
스퍼터링
Sputtering

64

스퍼터링Sputtering이란 디스플레이에서 TFTThin Film Transistor, 박막 트랜지스터를 만들 때 금속으로 구성된 층을 형성하기 위한 공정 중 하나로, 물리적 기상 증착인 PVDPhysical Vapor Deposition의 한 종류입니다.

디스플레이의 TFT에는 전자가 이동할 수 있도록 얇고 가는 금속성 물질의 배선이 필요한데, 스퍼터링을 통해서 배선의 기반이 되는 막을 성막하고, 이후 포토리소그래피Photolithography를 통해 막에서 배선이 되는 부분 이외의 영역을 깎아내 최종적인 배선을 만들 수 있습니다.

1 스퍼터링은 우선 증착이 이루어질 챔버Chamber 안에 TFT 기판과 증착할 금속성 물질을 투입하며 시작합니다. 이어서 챔버를 진공 상태로 만듭니다. 낮은 압력의 아르곤Ar 가스를 챔버 내부에 주입한 후, 증착할 물질에 음극Cathode 전압을 가하면 TFT 기판인 양극Anode과 증착 물질인 음극 사이에 전기장이 형성됩니다. 이 전기장에 노출된 아르곤 가스는 Ar+로 이온화되면서 챔버 내부에는 플라스마Plasma가 발생합니다. 양극으로 이온화된 아르곤Ar+ 입자는 증착 물질인 음극과 충돌하게 되며, 충돌 당한 증착 물질의 입자는 표면에서 튕겨나와 양극인 TFT 기판에 달라붙게 됩니다. 이 과정을 통해 TFT 기판에 원하는 금속성 물질을 얇게 성막할 수 있습니다.



플라스마(Plasma) 상태의 챔버

CVD
화학기상증착법

65

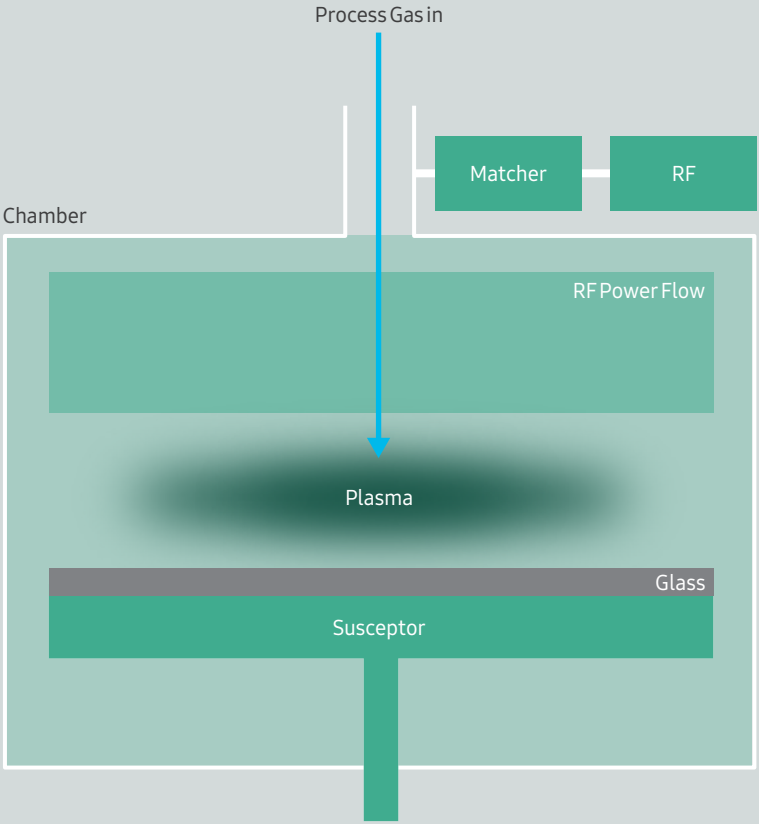
CVD Chemical Vapor Deposition는 '화학기상증착법'으로 불리는 증착 Evaporation 방법 중 하나입니다. 원료가 되는 다양한 반응 기체를 주입한 후 열이나 플라스마(Plasma)와 같은 에너지를 통해 화학 결합 등의 반응을 일으켜, 생성된 물질을 기판 표면에 쌓아서 얇은 막을 형성하는 공정으로 이해할 수 있습니다.

CVD 방식은 박막 품질과 도포성이 우수해 박막 형성 제조에서 많이 사용됩니다. 특히 고체나 액체상에서 반응을 얻기 어려운 박막도 화학 반응을 통해 쉽게 증착할 수 있다는 장점이 있습니다. 주로 저온 폴리 실리콘인 LTPS Low Temperature Polycrystalline Silicon 제조 시 비정질 실리콘 a-Si Amorphous Silicon을 증착하거나, TFT Thin Film Transistor, 박막 트랜지스터 제작에서 절연막과 보호막을 쌓을 때 활용됩니다.

CVD는 활성화 에너지 공급 방식, 반응 온도, 증착막 종류, 반응기 내부 압력 등에 따라 PECVD, APCVD, LPCVD, HDPCVD 등 여러 가지 방식으로 나뉩니다. 대표적으로 많이 사용하는 PECVD Plasma Enhanced CVD는 챔버 Chamber 내에 플라스마를 형성시켜 박막을 형성하는 것입니다. 플라스마는 초고온에서 음전하를 가진 전자와 양전하를 띤 이온으로 분리된 기체 상태를 의미합니다.

1 PECVD 공정 방식은 먼저 반응시킬 기체를 주입합니다. 높은 전압을 수직으로 걸어주면 플라스마 상태로 이온화된 기체들이 서로 화학 반응을 일으켜 원하는 물질이 기판에 쌓이게 됩니다. 그리고 나머지 이온들도 결합해 기체로 배출됩니다.

PECVD 공정 방식의 이해



노광
Exposure

66

노광Exposure은 '물질을 빛에 노출시킨다'는 개념으로, TFTThin Film Transistor, 박막 트랜지스터를 만들 때 사용하는 포토리소그래피Photolithography 공정의 일부입니다. 노광 공정은 사진 촬영을 위해 카메라에서 셔터를 열어 외부의 빛이 들어오게 해, 필름에 화학적 변화를 일으켜 상이 맺히게 하는 원리와 유사합니다.

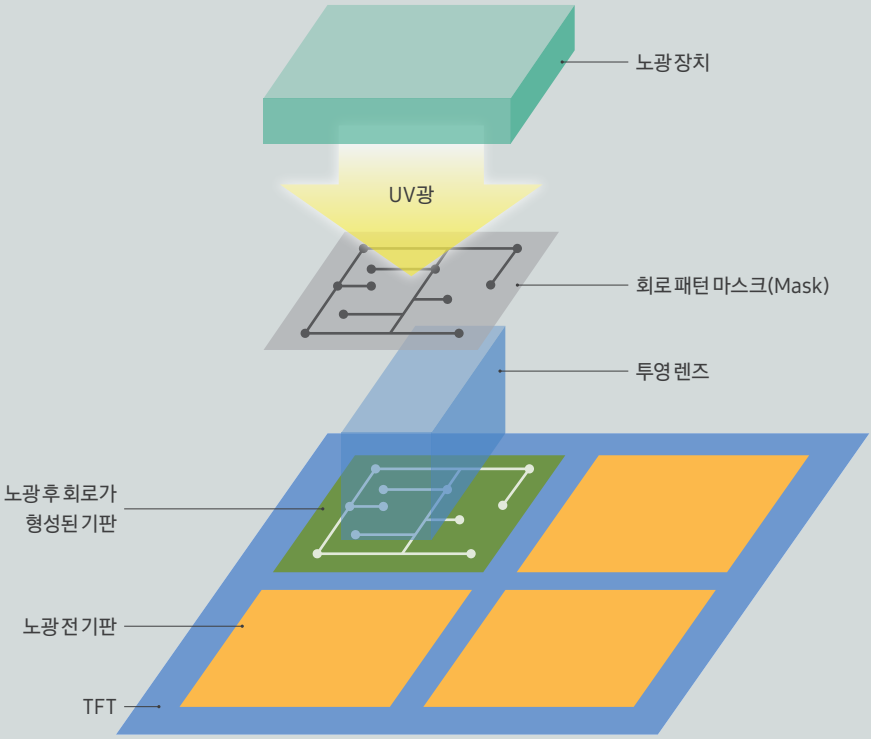
1 TFT의 미세 전자회로를 만들기 위해서는 회로에 사용되는 물질을 기판에 입히고, 비회로 영역은 제거하는 과정을 반복해야 합니다. 이를 위해 포토레지스트PR, Photoresist를 해당 물질 위에 도포하고, 그 위에 회로의 밑그림이 그려진 노광용 마스크Mask를 올려놓은 후, 노광 장비로 빛을 비춰 포토레지스트가 마스크의 밑그림대로 회로 패턴을 형성하게 만듭니다.

노광 장비는 방식에 따라 스테퍼Stepper와 스캐너Scanner로 나뉩니다. 스테퍼는 카메라로 사진을 찍듯이 해당 영역에 빛을 비추는 방식이며, 스캐너는 문서 스캐너처럼 빛을 일정하게 움직여 패턴을 형성하는 방식입니다.

디스플레이 TFT에 형성해야 할 회로 패턴은 아주 작은 마이크로미터㎛ 단위이기 때문에, 패턴의 정밀도를 높이기 위해, 파장이 짧은 자외선UV을 광원으로 사용합니다. 노광 공정이 끝나면, 빛을 받은 포토레지스트는 특성이 변하게 됩니다. 그리고 이어지는 현상Development 공정에서 불필요한 포토레지스트를 제거하면 원하는 패턴을 형성하게 됩니다. 이후 공정에서 식각Etching을 통해 실제로 형성할 회로 등의 막을 패터닝Patterning하고, 남아 있는 포토레지스트는 녹여서 제거합니다.

1

TFT 회로 패턴 제작을 위한 노광 공정 구조



현상
Development

67

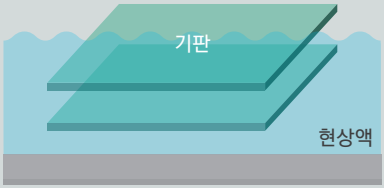
현상**Development** 공정은 디스플레이나 반도체 포토리소그래피**Photolithography** 진행 과정 중 하나로, 사진을 현상하는 것과 유사한 방식입니다. 더 쉽게 설명하면 포토레지스트**PR, Photoresist** 감광 물질에 빛을 쏘아 빛을 받은 영역과 그렇지 않은 영역을 구분한 후, 알칼리 등의 현상액에 담가 원하지 않는 부분을 선택적으로 제거하는 것을 의미합니다. 이 과정을 통해 원하는 색과 모양 등을 구현할 수 있습니다.

감광 물질은 빛에 반응에 따라 포지티브**Positive**와 네거티브**Negative** 방식으로 분류됩니다. 포지티브 방식은 빛에 노출된 부분이 현상액에 녹기 쉽게 화학 구조가 변하는 것으로, 현상액을 투입할 때 노광 과정에서 빛을 받은 부분이 제거됩니다. 네거티브 방식은 반대로 빛에 노출된 부분의 감광 물질이 더욱 단단해지는 것으로 빛을 받지 못한 부분을 현상액으로 제거하는 것입니다.

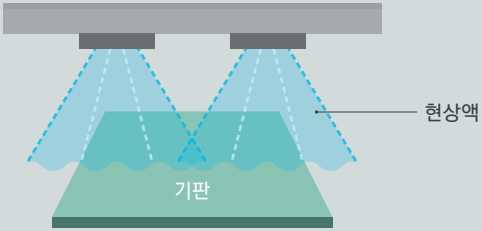
1 현상 결과는 노광 시간과 초벌 온도, 현상액 온도, 현상 온도, 현상 시간 등에 의해 결정됩니다. 현상 방법으로는 기판을 배스**Bath**에 담가 현상하는 딥**Dip** 방식, 노즐**Nozzle**로 현상액을 분사하는 스프레이 방식, 현상액을 기판 위에 공급해 표면 장력을 이용하는 퍼들**Puddle** 방식이 있습니다.

현상의 다양한 방식

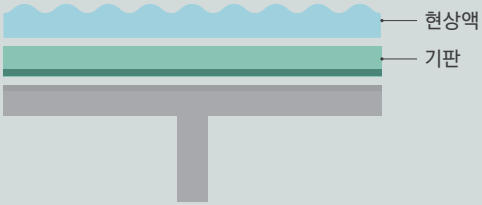
Dip 방식
기판을 Bath에 담가 현상



Spray 방식
현상액을 Nozzle로 분사



Puddle 방식
현상액을 기판 위에 공급,
표면 장력 이용



식각
Etching

68

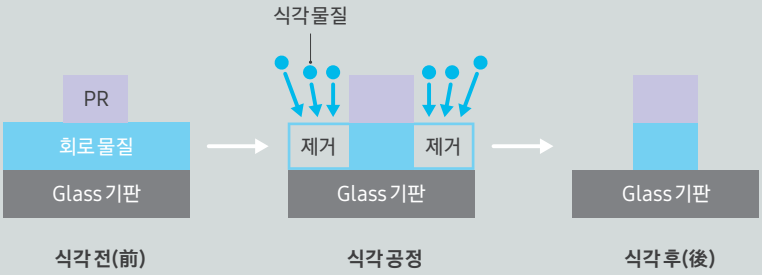
1 식각**蝕刻, Etching**의 사전적 의미는 '금속이나 유리의 표면을 부식시켜 모양을 조각'한다는 뜻입니다. 디스플레이에서 말하는 식각이란, TFT**Thin Film Transistor, 박막 트랜지스터**의 회로 패턴을 만들 때, 필요한 부분만 남기고 불필요한 부분은 깎아내는 공정을 의미합니다.

2 식각 공정은 식각 반응을 일으키는 물질의 상태에 따라 습식**Wet**과 건식**Dry**으로 나뉩니다. 습식 식각은 용액을 이용하여 화학적인 반응을 통해 식각하는 방법이며, 건식 식각은 반응성 기체와, 이온 등을 이용해 특정 부위를 제거하는 방법입니다.

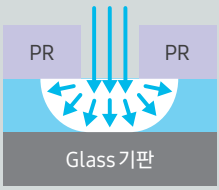
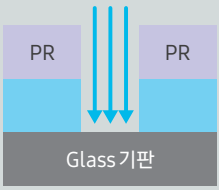
습식 식각은 건식에 비해 비용이 저렴하고, 식각 속도가 빠르며, 공정도 단순한 장점이 있으나, 상대적으로 정확성이 낮고, 식각에 사용한 화학 물질로 인해 오염 문제가 발생할 수 있습니다. 건식 식각은 원하는 부분만 식각하기 쉽고 미세 회로 구현에 유리하지만 높은 비용과 복잡한 과정, 느린 속도가 단점입니다.

건식 식각은 플라스마**Plasma** 식각이라고도 합니다. 우선 기판을 넣은 진공 챔버에 식각용 가스를 주입 후 전기에너지를 공급해 플라스마 상태를 만듭니다. 이온화된 가스에서 높은 운동 에너지를 가지게 된 이온들은 기판의 전극에 의해 가속화되어 회로 물질의 원자들 간의 결합을 끊어 식각을 하는 원리입니다. 최근에는 고해상도 디스플레이 성능에 필요한 미세 회로 패턴을 구현하기 위해 건식 식각이 주로 사용되고 있습니다.

1 식각 공정의 이해



2 현상의 다양한 방식

	습식(Wet Etching)	건식(Dry Etching)
방법	화학적 반응(용액)	물리/화학적 반응(가스)
장점	- 저비용 - 빠른 속도 - 공정 단순	- 높은 정확도 - 미세 패터닝 가능
단점	- 낮은 정확도 - 화학물질 오염 우려 - PR 하부 일부 식각	- 고비용 - 느린 속도 - 공정 복잡
식각방향성		

세정
Cleaning

69

디스플레이 제조 과정 중 꼭 필요한 세정Cleaning 공정은 말 그대로 오염 물질인 파티클Particle을 제거하는 공정입니다. 디스플레이는 미세 공정을 거쳐 만들기 때문에 아주 작은 먼지라도 패턴 결함이나 절연막 불량 등 제품에 치명적인 영향을 미칠 수 있습니다. 세정은 디스플레이 제조 과정에서 발생하는 파티클이나 이물질을 제거하여 제품의 품질과 수율을 높이는 역할을 합니다.

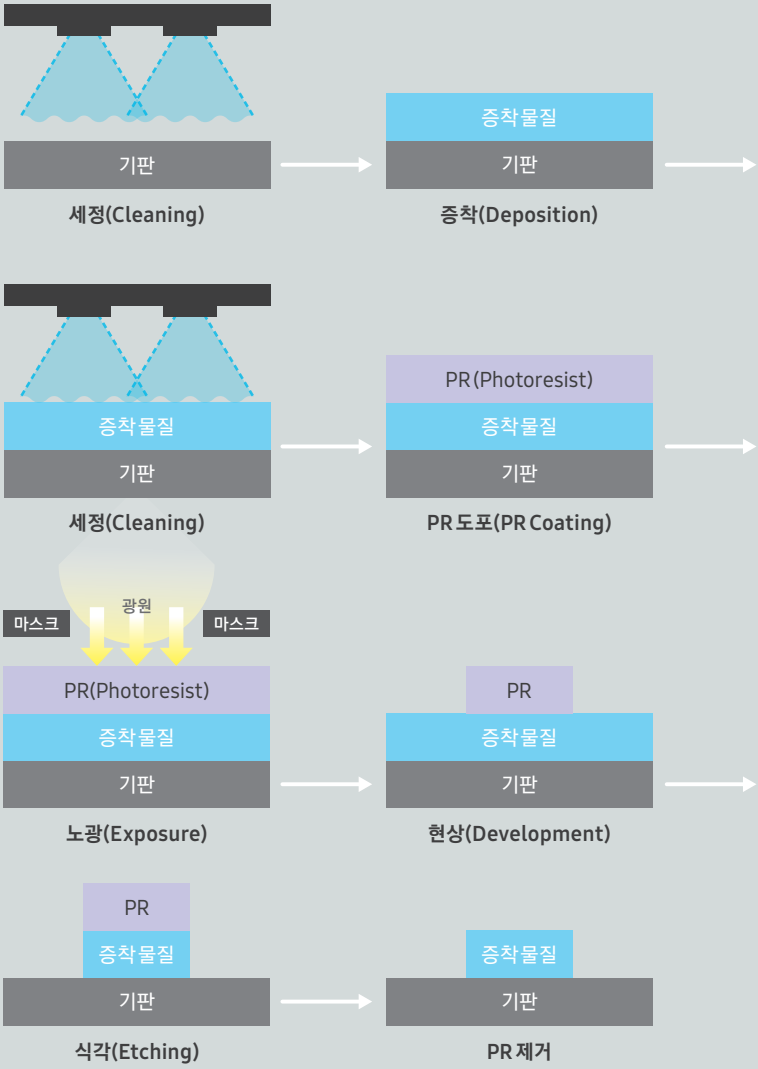
1 글라스Glass가 처음 팹Fab에 투입되어서 진행되는 초기 세정은 물론 LTPSLow Temperature Polycrystalline Silicon 증착Evaporation, 봉지Encapsulation, 모듈Module 등 디스플레이 제조 대부분의 공정 전후에는 오염 물질을 제거하기 위한 세정 작업이 진행됩니다.

포토리소그래피Photolithography 공정 후 남은 포토레지스트PR, Photo Resist 잔여물질이나 식각 공정 시 제거되지 않은 산화막, 공기 중에서 내려 앉은 다양한 파티클 등 제조 공정에서 발생하는 잔여 찌꺼기와 이물질 역시 세정 공정을 통해 제거됩니다.

세정 공정은 크게 화학 용액 등 액체를 이용하는 습식 세정Wet Cleaning, 플라스마나 레이저 등 용액 외의 매체를 활용하는 건식 세정Dry Cleaning, 습식과 건식의 중간 형태인 증기 세정Vapor Cleaning 방식이 있습니다.

1

포토리소그래피 공정 중 진행되는 세정 공정



69

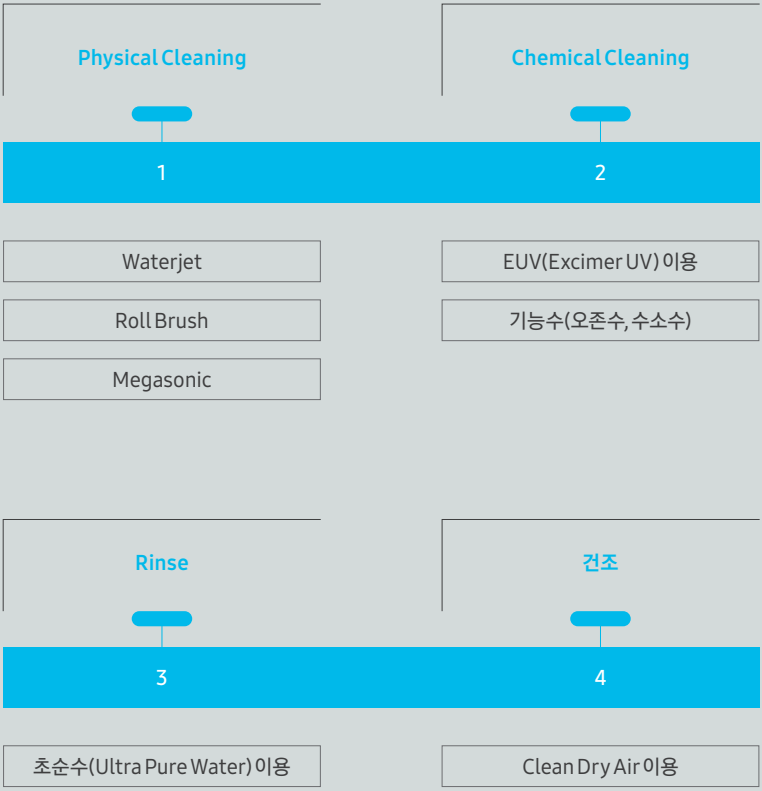
2 습식 세정은 비용이 적게 들고 공정 방식이 비교적 간단해 반도체나 디스플레이 공정에서 가장 많이 사용되는 방식입니다. 세정은 공정별로 다양한 방식을 조합해 세정을 진행하는데, 습식 세정의 경우 피지컬 클리닝Physical Cleaning, 케미컬 클리닝Chemical Cleaning 등의 세정 방식을 조합하고 린스Rinse와 건조Dry를 시켜 마무리합니다.

피지컬 클리닝 방식으로는 워터젯Waterjet, 롤 브러시Roll Brush, 메가소닉Megasonic 등이 있습니다. 워터젯은 이산화탄소 가스를 혼합한 고압 세정 툴입니다. 순수한 물의 작은 입자를 글라스에 수직 분사해 파티클을 물리적으로 제거합니다. 롤 브러시는 롤 형태의 브러시를 글라스에 직접 접촉해 세정하는 방식입니다. 메가소닉은 1.5 메가헤르츠MHz 주파수를 이용한 진동파 효과로 파티클을 세정합니다.

케미컬 클리닝 방식은 알칼리 세정액이나 오존수, 수소수, 엑시머Excimer UV 등을 이용해 이물질을 제거합니다. 린스 구간에서는 초순수Ultra Pure Water를 이용해 글라스를 세정하고, 마지막으로 클린 드라이 에어Clean Dry Air를 활용해 건조합니다.

2

습식 세정 방식 공정 단계



봉지
Encapsulation

70

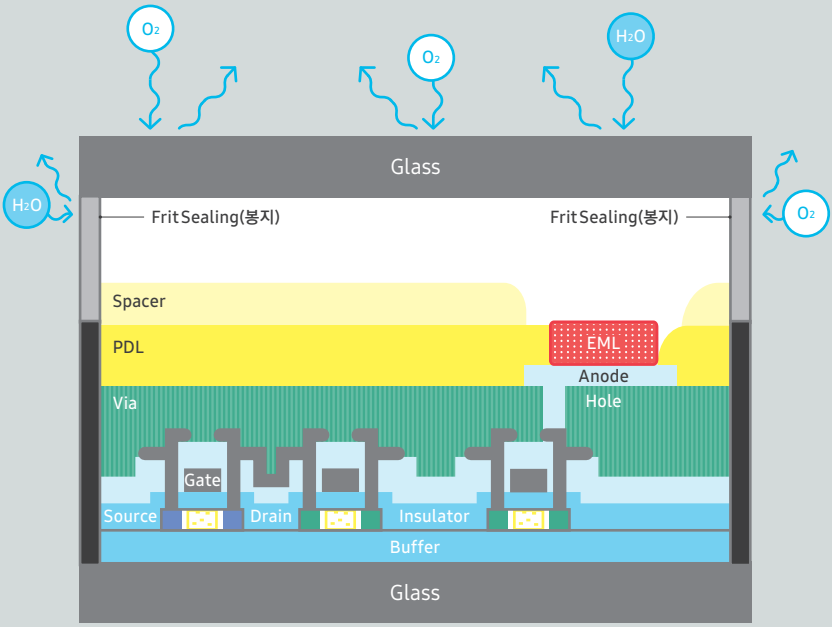
봉지Encapsulation 공정은 OLEDOrganic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드패널이 외부의 영향을 받지 않고 오랫동안 사용할 수 있도록 마감하는 단계입니다. OLED의 유기 물질과 양극Anode은 산소와 수분에 매우 민감하게 반응해, 이들이 침투하면 발광 특성을 잃기 때문에 이를 차단하기 위한 기술이 필요합니다.

봉지 공정은 OLED 제조 과정에서 산소와 수분이 유기물에 침투하지 못하도록 밀봉해 제품의 수명을 향상시키도록 합니다. 이들이 침투하면 픽셀이 빛을 내지 못하는 암점 현상이 나타납니다. 봉지 과정이 제대로 이루어지지 않으면 산소와 수분이 계속 유입되어 디스플레이 암점이 확산되는 진행성 암점이 발생할 수 있는 만큼 매우 중요한 공정입니다.

1 일반 리지드Rigid 타입 OLED 제품의 봉지는 증착Evaporation을 마친 OLED 패널 위에 봉지 글라스를 덮는 공정입니다. 글라스와 패널층 사이에 공기와 수분이 침투하지 못하도록 유리 재질의 프릿Frit을 바르고 레이저로 녹여서 글라스와 패널을 합착시킵니다. 이를 통해 산소와 수분을 막아 OLED 패널 안의 유기물들이 제 기능을 발휘할 수 있게 되는 것이지요.

1

봉지 공정의 위치와 구조



* 그림은 이해를 돕기 위한 것으로, 실제 봉지는 전체 패널의 테두리에서 이루어지며, 실제 구조와 다를 수 있습니다.

70

2 봉지 공정은 셀 단위별로, 커다란 원장 상태에서도 각각 진행되며 크게 4단계로 이루어집니다.

❶ 셀 실 글라스 제작
❷ 원장 글라스 실 도포
❸ 글라스 합착
❹ 레이저 실링

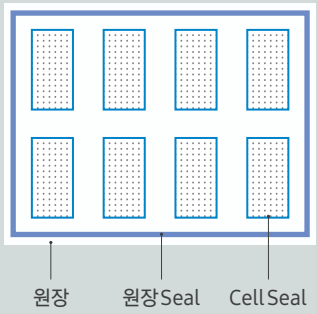
셀 실 글라스Cell Seal Glass 공정은 셀 패널 단위의 봉지 공정입니다. 각 셀마다 접착 물질인 셀 실을 둘러 바르고, 건조한 후 열을 가해 추후 레이저 실링이 가능하도록 셀 실 특성을 변화시킵니다. 셀 실 글라스 공정이 끝나면 원장 글라스 테두리에 원장 실을 인쇄하는 원장 글라스 실Mother Glass Seal 도포 공정을 진행합니다. 이후 기존에 증착 공정을 마친 글라스와 셀 실 글라스를 위아래로 포개어 붙이는 글라스 합착 공정을 진행합니다. 그리고 UV 장비를 통해 원장 실을 굳어지게 만들어 외부 공기와 수분이 침투하지 않고 내부 기압을 유지할 수 있게 합니다. 이제 최종적으로 통합된 글라스의 각 셀에 발라 놓은 실에 레이저를 쏘는 레이저 실링Laser Sealing 단계를 거치며 순간적인 용융과 합착 과정을 수행합니다. 이렇게 4단계를 마치면 하나의 OLED 원장 패널이 완성됩니다.

2

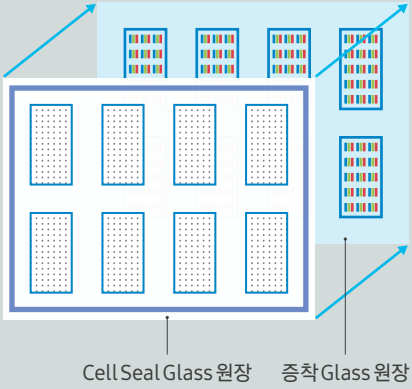
봉지 공정 4단계 과정

❶ 셀 실 글라스 제작

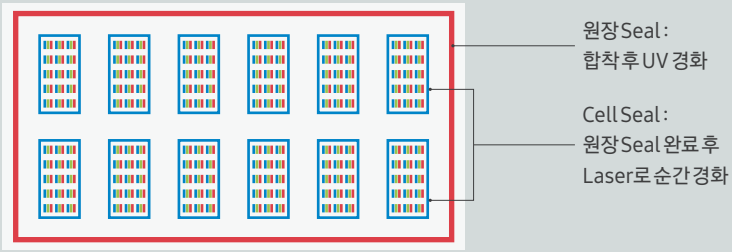
❷ 원장 글라스 실 도포



❸ 글라스 합착



❹ 레이저 실링



박막 봉지 71
TFE

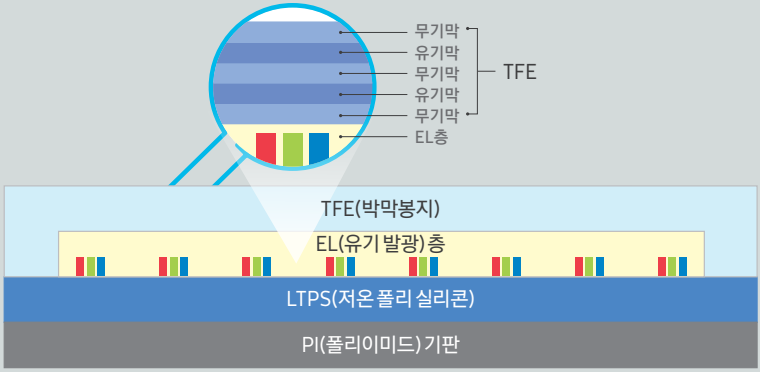
박막 봉지TFE, Thin Film Encapsulation는 플렉시블Flexible OLEDOrganic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드 패널에서 진행하는 봉지 공정입니다.

일반 리지드Rigid OLED의 경우 글라스Glass를 기판으로 사용하므로 봉지 공정 역시 증착Evaporation이 완료된 LTPSLow Temperature Polycrystalline Silicon 기판 위에 글라스를 덮고, 테두리 부분에 실Seal을 발라 합착하여 산소와 수분이 들어오지 못하도록 밀봉하는 일반적인 봉지 공정을 진행합니다.

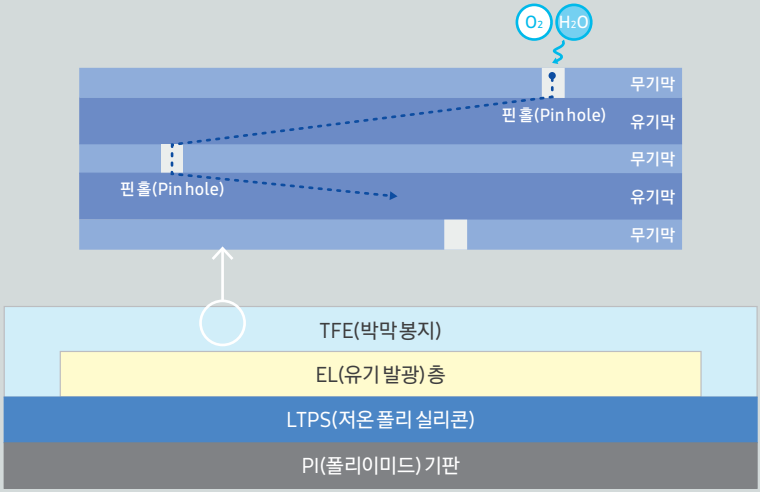
1 그런데 패널이 휘어지는 플렉시블 OLED는 글라스 대신 유연한 폴리이미드PI, Polyimide 소재의 기판을 사용하기 때문에 봉지 공정 역시 유연성을 갖는 박막 봉지로 제작해야 합니다. 박막 봉지는 증착 단계가 끝난 패널에 소재를 얇게 성막하는 일체형 봉지라고 볼 수 있습니다. 단일층으로 덮는 일반 봉지 공정과는 달리 박막 봉지는 무기막이나 유기막으로 이루어진 여러 개의 층으로 구성되어 있습니다.

2 무기막은 수분과 공기 침투를 잘 막아내는 특성을 지녔으나 소재 특성상 파티클Particle이 존재합니다. 때문에 핀 홀Pin Hole이라 불리는 구멍이 생기고, 무기막 단일층만 사용하게 되어 공기와 수분이 빠르게 침투하며 암점이 생기게 됩니다. 무기막과 유기막을 번갈아 성막하는 박막 봉지는 위아래 무기막 구멍을 공간적으로 분리시켜 침투 경로를 길게 늘리고 공기와 수분이 발광층까지 도달하지 못하게 합니다. 여기서 유기막은 먼저 성막된 무기막의 파티클을 잘 둘러싸서 평평하게 만들고, 두 번째 무기막이 성막될 때 아래 파티클의 영향으로 생기는 구멍을 줄여주는 역할을 합니다.

1 박막 봉지의 구조



2 박막 봉지의 작동 원리



셀 공정
OLED Cell

72

셀Cell 공정은 팹FAB 제조 과정인 TFTThin Film Transistor, 박막 트랜지스터, 증착 Evaporation 및 봉지Encapsulation 공정을 차례로 거쳐 만들어진 큰 사이즈의 디스플레이 기판에서 불필요한 부분을 제거하고 최종 제품 용도에 맞춰 적절한 크기로 잘라낸 상태를 말합니다.

1 큰 크기로 팹 제조 과정이 진행된 디스플레이 원장 기판이 완성되면, 제품 크기가 큰 노트북이나 태블릿의 경우 수 개에서 수십 개의 독립 기판으로 잘라냅니다. 스마트폰이나 스마트워치와 같이 제품 크기가 작은 경우에는 수십 개에서 수백 개의 기판으로 자르기도 하지요.

셀을 만드는 과정은 디스플레이 기판을 절단하는 과정이 가장 중요한 공정입니다. 원장 기판 절단은 테두리가 날카로운 휠Wheel 또는 레이저Laser를 주로 활용합니다. 리지드Rigid OLEDOrganic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드처럼 단단한 유리 소재인 원장 기판을 절단할 때는 다이아몬드 소재의 휠이 주로 사용됩니다. 갈수록 적용 범위가 넓어지고 있는 플렉시블Flexible OLED의 경우 가공성이 좋은 레이저가 주로 사용됩니다.

플렉시블 OLED는 폴리이미드PI, Polyimide 원장을 유리 받침 위에 부착시킨 후 TFTThin Film Transistor, 박막 트랜지스터 기판을 형성시키는데, 달라붙어 있는 받침과 폴리이미드 기판을 떼어내는 과정도 셀을 만드는 과정 중에 진행됩니다. 이렇게 최종 제품의 모양에 맞춰 다양한 크기와 모양으로 가공이 완료된 단위 셀은 모듈Module 공정으로 투입됩니다.

OLED 셀 공정 과정

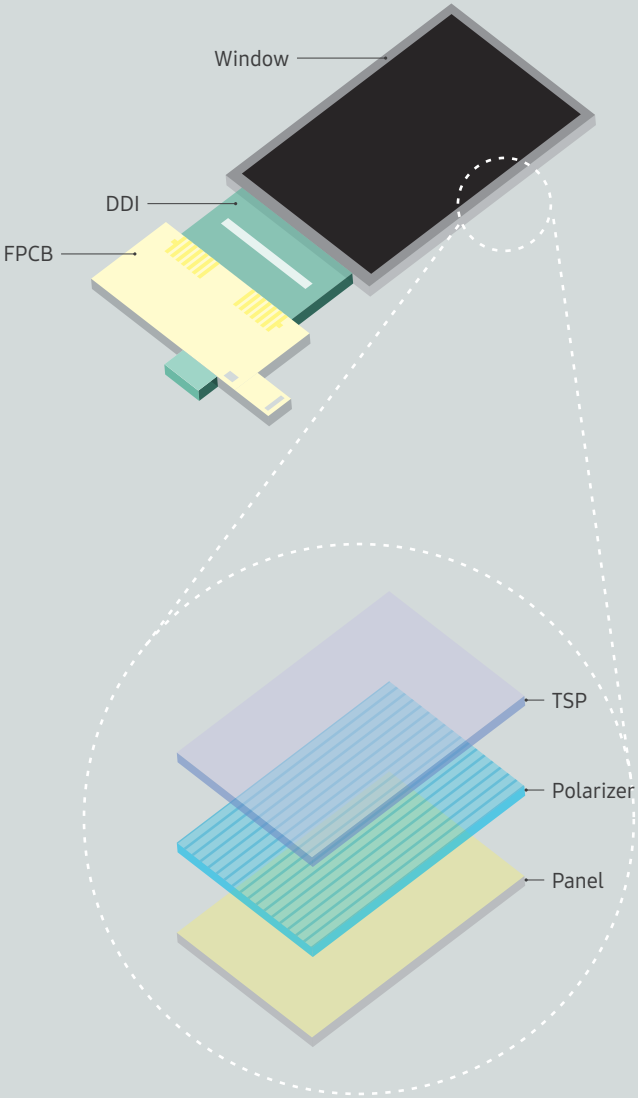
모듈
Module

73

OLED**Organic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드** 모듈**Module**은 셀 공정을 거친 개별 디스플레이용 패널이 스마트폰, 노트북, 스마트워치 등의 최종 제품에서 구동할 수 있도록 한 디스플레이 단위 부품을 의미합니다.

1 OLED 모듈은 셀 공정을 거친 디스플레이 패널에 영상 신호 처리 반도체인 DDI**Display Driver Integrated Circuit**와 연성 회로 기판 FPCB**Flexible Printed Circuit Board**가 최종 제품과 상호 연동할 수 있도록 전기적으로 접속되어 있습니다. 전면에는 디스플레이를 외력으로부터 보호하기 위한 윈도우 커버와 빛이 특정 방향으로만 발산되도록 하는 편광판**Polarizer**이 부착되어 있습니다. 사양에 따라 터치스크린 패널**TSP, Touch Screen Panel**, 지문 인식 센서 등 다양한 부품이 추가로 부착된 경우도 있습니다.

OLED 모듈



잉크젯 프린팅
Inkjet Printing

74

디스플레이에서 잉크젯 프린팅**Inkjet Printing**이란 잉크젯 헤드의 노즐을 통해 용액의 형태로 분사해 OLED**Organic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드** 디스플레이 픽셀을 만드는 기술입니다. 마치 프린터가 종이에 잉크를 뿌려 인쇄하는 것처럼 수십 피코리터**1조분의 1리터** 이하의 OLED 잉크를 분사해 디스플레이를 양산하는 방식입니다.

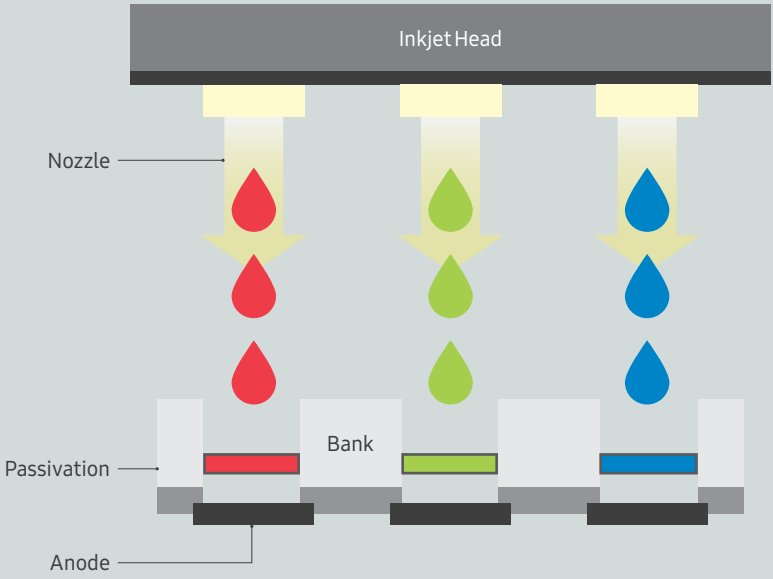
1 잉크젯 프린팅을 위해서는 먼저 OLED용 유기 재료를 용매**Solvent**에 녹여 잉크의 형태**Soluble OLED**로 변경해야 합니다. 다음 순서로 유기 재료가 잘 녹은 잉크를 헤드의 노즐을 통해 디스플레이 기판의 RGB 색상별 서브픽셀**Subpixel**을 생성할 격벽**Bank** 사이로 주입합니다. 주입이 모두 끝난 잉크를 건조하고 용매를 제거하면 기판에는 실제로 발광에 필요한 유기 재료만 남게 되며 OLED 발광을 위한 픽셀 제조가 완료됩니다.

잉크젯 프린팅 방식은 진공 상태에서 유기물을 기화시키는 증착**Evaporation** 방식과 달리, 보통의 대기압이나 낮은 수준의 진공에서도 제조할 수 있습니다. 또한 원하는 픽셀에만 적정량의 유기 재료를 주입하는 방식이기 때문에 재료 사용 효율이 높고, 원장 기판의 크기가 큰 대면적 패널 제작에 유리하다는 장점이 있습니다.

또한 증착 방식에 비해 상대적으로 원장 기판의 크기가 큰 대면적 패널 제작에 유리한 기술입니다.

1

잉크젯 프린팅 디스플레이 제조 과정



배면·전면 발광
Bottom·Top Emission

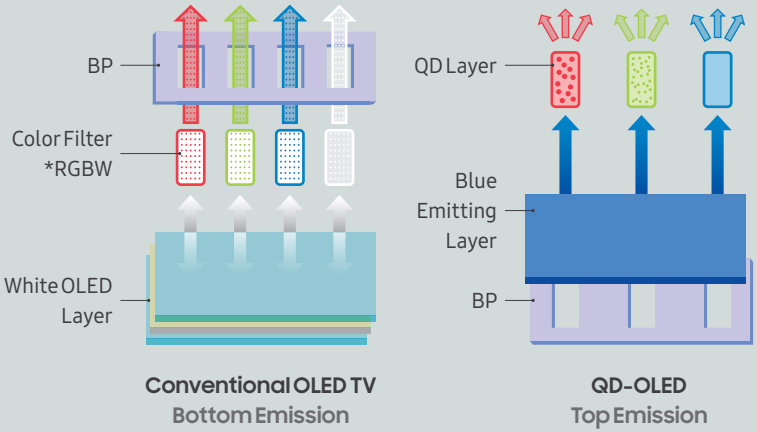
75

1 OLED**Organic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드** 디스플레이는 빛을 방출하는 방향에 따라서 배면 발광**Bottom Emission**과 배면 발광과 전면 발광**Top Emission**으로 구분됩니다. 배면 발광은 디스플레이의 빛이 TFT**Thin Film Transistor, 박막 트랜지스터** 기판 방향으로 나오게 하는 방식이고, 전면 발광은 반대로 빛이 TFT 기판을 거치지 않고 나오게 하는 방식입니다.

2 배면 발광 방식은 OLED가 개발되던 초기에 등장한 방식이었습니다. 당시 OLED 발광원에서 빛이 방출될 때 음극**Cathode**은 금속 소재였기 때문에 빛이 통과할 수가 없어 투명한 양극**Anode** 소재를 적용했습니다. 하지만 이렇게 양극 방향, 즉 기판 방향으로 빛을 발산할 경우 빛의 일부가 TFT 면적만큼 가려져 개구율이 하락합니다. 배면 발광 방식은 개구율이 줄어든 만큼 같은 픽셀 면적에 전류 밀도를 높여야 하기 때문에 발광 소자의 수명에 악영향을 주게 됩니다. 특히 픽셀을 촘촘하게 배치하는 모바일 디스플레이에서 고해상도 구현에 불리합니다.

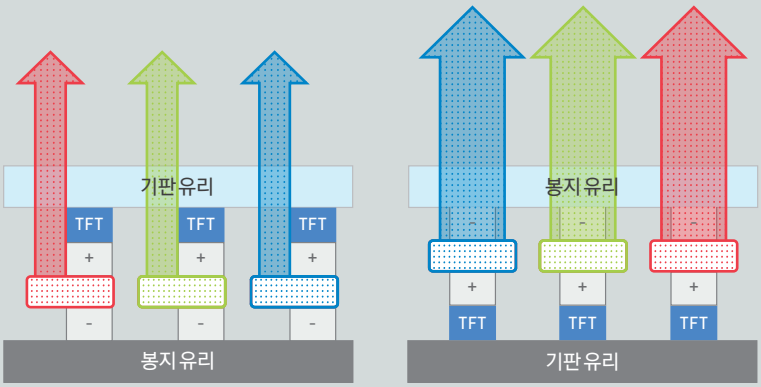
전면 발광 방식은 기판의 반대 방향으로 빛이 나오는 구조입니다. 따라서 기판 위에 회로들을 자유롭게 구성할 수 있고, 빛이 가려지는 부분이 최소화돼 개구율이 크게 높아집니다. 개구율이 높은 만큼 동일 밝기에서 전력 소모가 적고 전류 밀도를 낮출 수 있어서 OLED 발광 소자의 수명에 유리합니다. 때문에 중소형부터 대형에 이르기까지 고해상도 디스플레이 구현에 적합합니다.

1 배면·전면 발광 방식 비교



BP(Backplane, TFT가 포함된 기판)의 위치가 다르다.

2 배면·전면 발광 방식 구조



공진
Micro-cavity

76

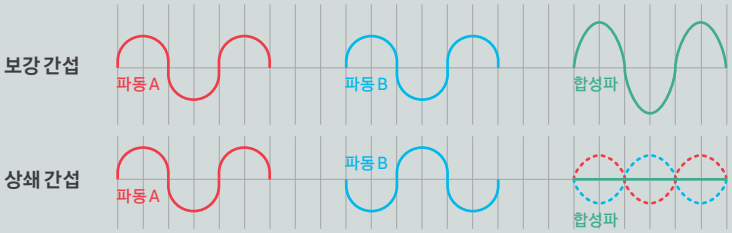
공진**共振, Micro-cavity**이란 어떤 물체가 외부로부터 자신의 고유 진동수와 동일한 힘을 받을 경우에, 그 진동이 증폭되는 현상으로 '공명**共鳴, Resonance**' 현상이라고 부르기도 합니다. OLED**Organic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드** 디스플레이는 이 공진 효과를 이용해 광 효율을 크게 높여 더욱 밝은 화질을 구현할 수 있습니다.

1 파동이 서로 만나 중첩하면 원래의 파동보다 진폭이 더 커지거나 작아질 수 있는데, 이러한 현상을 파동의 간섭이라고 합니다. 파동 두 개가 만나 진폭**세로**이 커지는 것을 보강 간섭이라고 하는데, 반대로 파동이 합성됐을 때 진폭이 오히려 작아지면 상쇄 간섭이라고 부릅니다. 이러한 파동은 빛에도 동일하게 적용됩니다. 따라서 빛에 보강 간섭의 원리를 적용하면 더욱 강하고 밝은 빛을 얻을 수 있습니다.

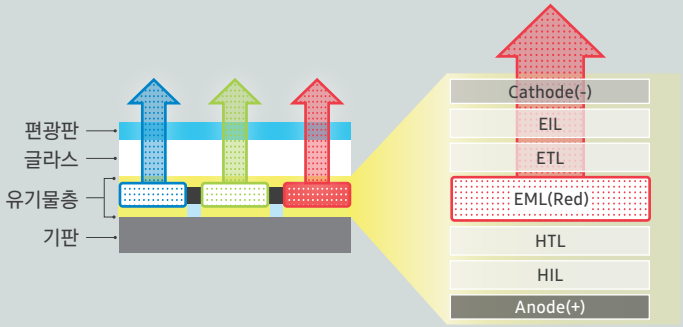
2 OLED의 구조를 보면 빛을 내는 유기물층인 EML**Emission Material Layer**에서 빛이 시작됩니다. 이 빛은 OLED 유기물층 내부에서 투과 및 반사되는데, 이때 복잡한 간섭 현상이 나타납니다. 아래로 나간 빛은 양극**Anode**의 금속층에 부딪혀 위로 반사되고, 위로 나간 빛은 음극**Cathode**에 부딪히게 됩니다. 이때 음극에 도달한 빛의 일부는 화면 방향으로 빠져나가고, 일부는 다시 반사가 돼 아래로 내려갑니다.

3 이렇게 반사된 빛들이 간섭을 일으키는데 이때 보강 간섭이 일어날 수 있도록 유도합니다. 유기물층의 두께를 해당 유기 발광 물질이 빛의 공진을 일으키는 최적의 공진 주파수**진동 수**를 만들어내는 막 두께와 맞아떨어지게 구성하는 것입니다. 이러한 방식으로 약 1.5배 ~ 2배가량 광 효율을 높일 수 있습니다.

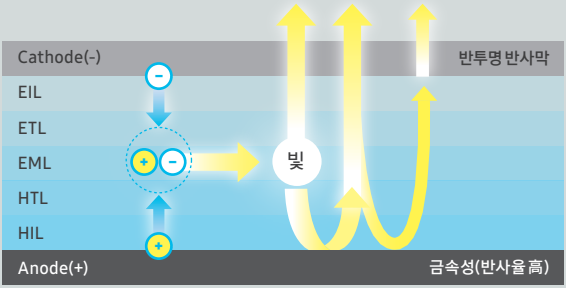
1 간섭의 종류와 원리



2 OLED 패널 단면 구조



3 OLED 패널에서의 공진 현상



저분자 OLED
Small Molecule

77

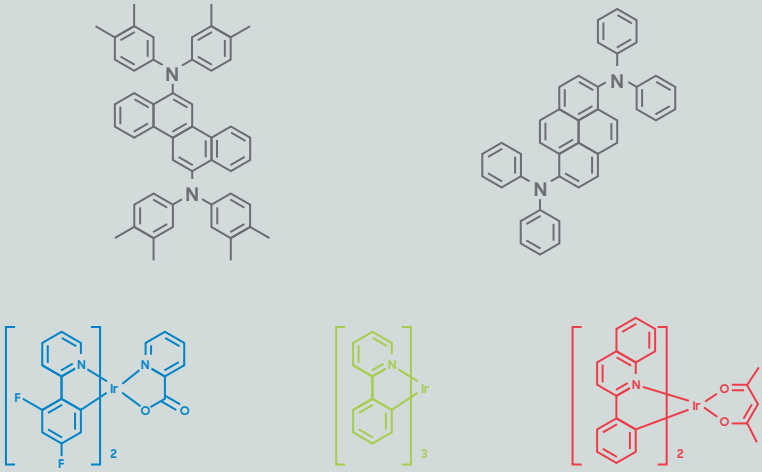
OLED**Organic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드** 디스플레이는 유기 발광 물질을 재료로 사용하는 제품과 기술로, 이때 사용하는 재료는 크게 저분자**Small Molecule** OLED와 고분자**High Molecule** OLED로 구분됩니다.

1 저분자 OLED용 유기 재료는 일반적으로 500~1,200그램퍼몰**g/mol** 수준 이하의 적은 분자량**질량**을 가진 물질을 뜻하며, 고분자 OLED 유기 재료에 비해 상대적으로 구조가 단순하고 가벼운 무게를 가집니다. 이로 인해 증착**Evaporation** 공정과 정밀한 미세 패터닝**Patterning**이 가능하고, 발광 성능도 우수한 장점을 가지고 있습니다.

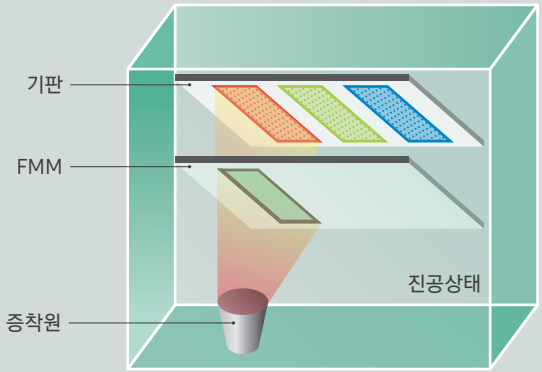
OLED는 1987년 이스트만 코닥Kodak사의 연구진에 의해 최초로 개발되었는데, 이때 사용된 재료가 바로 저분자 OLED였습니다. 저분자 OLED는 발전을 거듭해 현재 상용화된 대부분의 OLED 디스플레이 재료로 사용되고 있습니다.

2 저분자 OLED는 재료에 열을 가해 승화시키는 방식인 증착 공정을 통해 디스플레이의 픽셀 소자로 제작됩니다. RGB 각 색상을 내는 픽셀마다 서로 다른 재료가 필요하므로, 파인 메탈 마스크**FMM, Fine Metal Mask**를 사용해 각각의 영역에 저분자 OLED 재료를 증착시킵니다.

1 대표적인 저분자 OLED 분자 구조



2 저분자 OLED 재료 증착 방식



파인 메탈 마스크를 이용한 OLED 소자 증착 방법

고분자 OLED
High Molecule

78

OLED**Organic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드** 디스플레이는 유기 발광 물질을 재료로 사용하는 제품과 기술로, 이때 사용하는 재료는 크게 저분자**Small Molecule** OLED와 고분자**High Molecule** OLED로 구분됩니다.

고분자 OLED 유기 재료는 일반적으로 10,000그램퍼몰**g/mol** 수준 이상의 많은 분자량**질량**을 가진 물질을 뜻하며, 1990년 케임브리지 대학에서 최초로 이를 이용한 OLED를 발표했습니다. 고분자 OLED 유기재료는 저분자에 비해 구조가 복잡하고 무거운 특성 때문에 증착**evaporation** 공정이 아닌, 잉크젯 등의 프린팅 설비를 이용한 용액**Soluble** 공정 방식의 OLED 제조에 적합합니다.

1 프린팅 OLED 공정은 [용액화] → [토출] → [건조] 순으로 진행됩니다.
고분자 유기 재료를 OLED 디스플레이 픽셀로 만들기 위해서는 먼저 재료를 프린팅이 가능한 잉크 형태로**용액화** 만들어야 합니다. 따라서 RGB 빛을 내는 각 유기 재료를 용매**Solvent**에 녹여 용액**잉크**으로 만드는 과정을 거칩니다. 그리고 용액을 프린팅 설비에 담아 각 픽셀을 생성할 위치에 떨어뜨린**토출** 후, 액체 상태인 유기재료를 건조해 박막 형태의 픽셀을 만드는 방식으로 OLED 디스플레이를 제작합니다.

고분자 유기 재료를 활용한 프린팅 OLED 공정은 저분자 유기 재료의 증착 공정과 달리 파인 메탈 마스크**FMM, Fine Metal Mask**를 사용하지 않기 때문에 재료 사용 효율이 높으며, 진공 챔버**Chamber**를 사용하지 않고 보통의 기압에서도 구현이 가능한 장점이 있습니다.

잉크젯 헤드
노즐
격벽
격벽
전극

호스트
Host

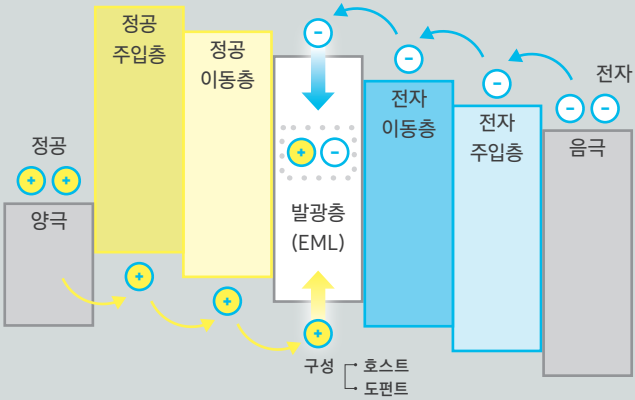
79

호스트Host란 OLEDOrganic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드 디스플레이 패널 내부에서 실제로 빛을 생성하는 유기 발광층EML, Emission Material Layer의 구성 요소입니다.

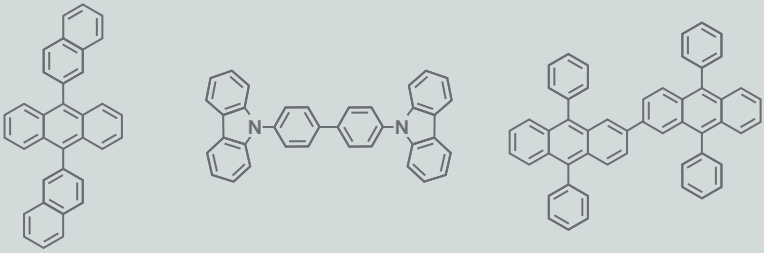
1 OLED 패널의 양극Anode과 음극Cathode에서 발생한 정공+과 전자-는 발광층에 도달하면 서로 결합합니다. 이 두 요소의 결합 과정을 통해 높은 에너지를 가진 엑시톤Exciton 상태가 형성됩니다. 이때 엑시톤의 높은 에너지 상태는 다시 상대적으로 에너지가 낮은 안정화 상태로 내려가고, 그 에너지의 차이만큼 빛으로 방출됩니다. 발광층에 있는 호스트는 발광층 안으로 들어온 전자와 정공이 서로 잘 만나 결합할 수 있도록 하는 역할 즉, 엑시톤을 효율적으로 생성시키도록 돕는 역할을 합니다.

2 호스트는 안트라센Anthracene 등의 유기물 성분으로 구성되며, 일반적으로 발광 효율을 높이는 도펀트Dopant와 함께 쓰입니다. 이러한 호스트와 도펀트 복합 발광 시스템은 과거 OLED 발명 초기 시절의 단일 유기물 발광 시스템에 비해 색 순도와 발광 효율이 높아 현재 대부분의 OLED 디스플레이에 사용되고 있습니다.

1 OLED의 발광 원리



2 대표적인 호스트 분자 구조



도펀트
Dopant

80

도펀트Dopant란 OLEDOrganic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드 디스플레이에서 OLED 발광을 돕는 물질로, 호스트Host와 함께 유기 발광층EML, Emission Material Layer을 구성하는 요소입니다.

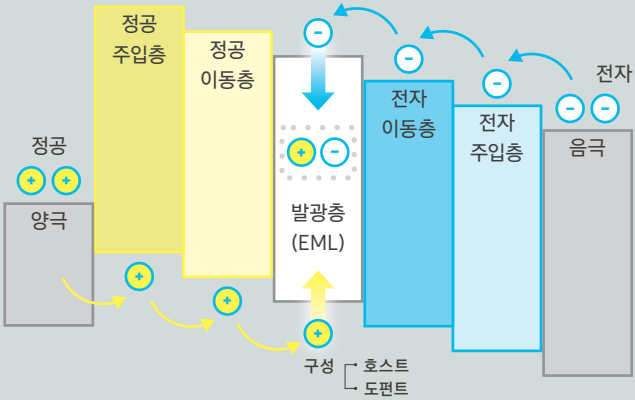
1 OLED 패널의 발광 과정을 통해 높은 에너지를 가진 엑시톤Exciton 상태가 형성되는데, 이때 엑시톤의 높은 에너지 상태는 다시 상대적으로 에너지가 낮은 안정화 상태로 내려가고, 그 에너지의 차이만큼 빛으로 방출됩니다. 발광층은 크게 호스트와 도펀트로 이루어져 있습니다. 호스트는 발광층 안으로 들어온 전자와 정공이 서로 잘 만나 엑시톤을 효율적으로 생성될 수 있도록 결합을 돕는 역할을 합니다. 도펀트는 생성된 엑시톤 에너지를 전달받아 효율적으로 발광하게 됩니다.

2 OLED 발광 매커니즘은 형광Fluorescence 방식과 인광Phosphorescence 방식으로 나뉩니다. 먼저 형광 방식은 호스트가 정공, 전자 결합에 따라 발생한 엑시톤 에너지를 흡수하고, 특정 파장대에서 빛을 내는 호스트 발광 현상을 이용합니다. 이때 호스트에 의해 발생한 빛이 도펀트에 전달되면 도펀트는 이 빛 에너지를 다시 흡수해 발광이 일어나게 합니다. 이를 포스터Foster 방식이라고 부릅니다. 덱스터Dexter 방식이라고도 부르는 인광 방식은 빛 에너지를 전달받은 도펀트가 발광하는 것이 아니라, 호스트에서 정공 또는 전자가 직접 도펀트로 이동하며 에너지가 전이되면서 발광을 일으키게 하는 것입니다.

유기 발광층을 호스트와 도펀트로 구성하는 복합 발광 시스템은 과거 OLED 발명 초기 시절의 단일 유기물 발광 방식에 비해 색 순도와 발광 효율이 높아서 현재에도 많은 OLED 디스플레이에 사용되고 있습니다.

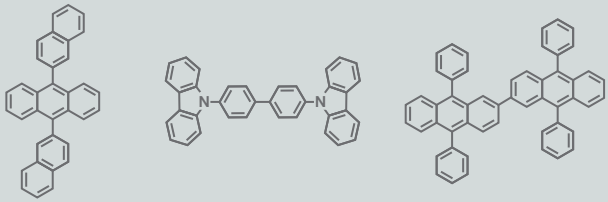
1-1

OLED의 발광 원리



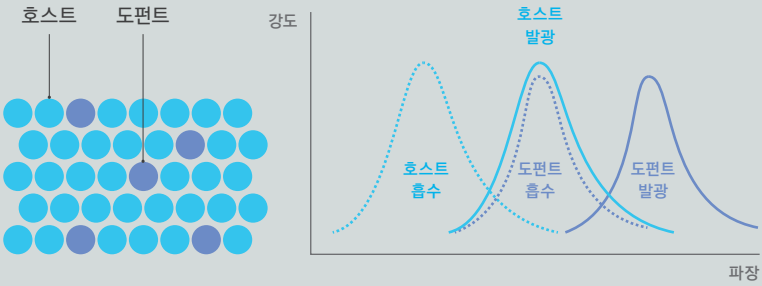
1-2

대표적인 도펀트 분자 구조



2

호스트와 도펀트 발광 매커니즘



형광
Fluorescence

81

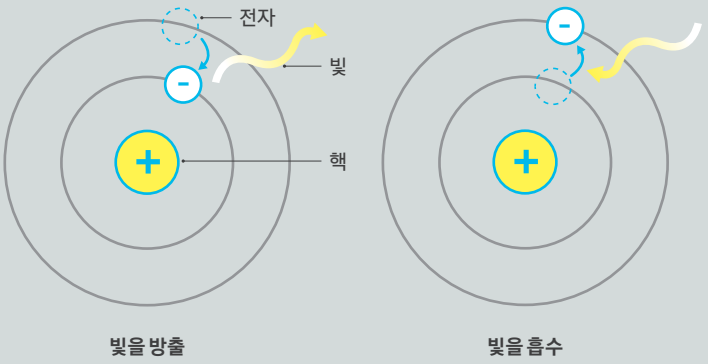
형광Fluorescence이란 OLEDOrganic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드 디스플레이에서 사용하는 대표적인 발광Luminescence 방식 중 하나입니다. 발광이란 발광 물질 속의 전자가 높은 에너지의 들뜬 상태Excited에서 낮은 에너지인 바닥 상태Ground로 변화할 때, 감소한 에너지가 빛의 형태로 방출되는 현상입니다.

1 그림과 같이 전자가 바깥쪽 궤도에서 안쪽으로 이동할 경우에는 자체 보유 에너지가 줄어들면서 물질이 안정화되며, 이때 남는 에너지는 빛과 같은 형태로 방출됩니다. 반대로 전자가 외부의 에너지를 흡수해 들뜨게 되면 바깥쪽 궤도로 상승하게 되는 원리입니다.

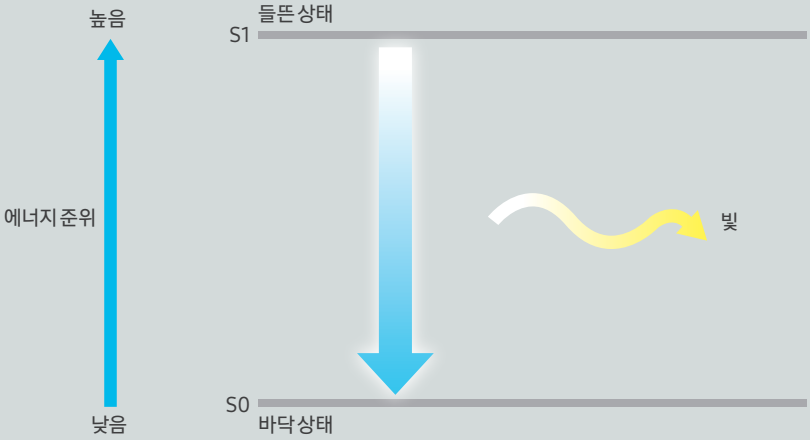
2 OLED에서는 이러한 발광 원리를 활용해 형광이라는 방식을 사용합니다. 형광은 바닥 상태의 발광 물질에 에너지를 주입해 '들뜬 상태'로 만든 후, 짧은 시간에 다시 전자가 안정적인 '바닥 상태'로 변할 때 방출되는 빛을 디스플레이의 발광원으로 활용하는 방식입니다. 오른쪽 그림과 같이 S1에서 S0으로 에너지 준위가 내려오는 만큼의 에너지에 매칭되는 파장의 빛이 방출됩니다.

형광 방식은 OLED 발광 방식 중 가장 먼저 개발되었습니다. 하지만 25퍼센트라는 낮은 내부 양자 효율 때문에 발광 효율에 한계가 있어서 내부 양자 효율이 최대 100퍼센트에 도달할 수 있는 발광 방식인 인광Phosphorescence, 열활성화 지연 형광TADF, Thermally Activated Delayed Fluorescence을 활용한 연구 개발도 지속적으로 이루어지고 있습니다.

1 원자의 상태 변화



2 형광 발광 원리



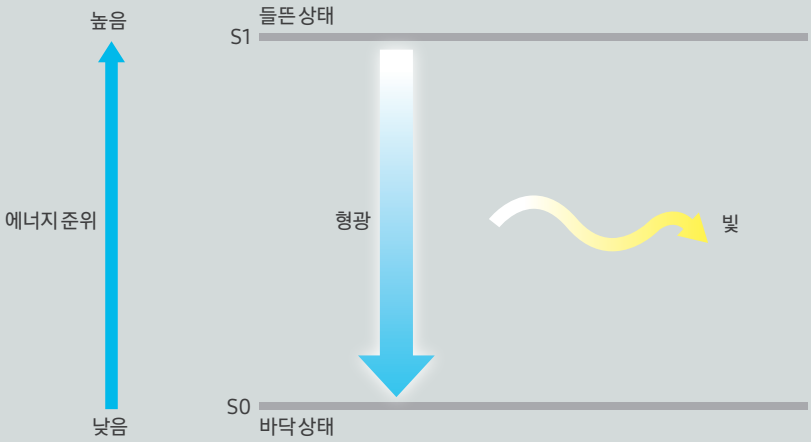
인광
Phosphorescence

82

인광Phosphorescence이란 형광Fluorescence과 더불어 OLEDOrganic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드 디스플레이에서 사용하는 대표적인 발광Luminescence 방식 중 하나입니다. 발광이란 발광 물질 속의 전자가 높은 에너지의 들뜬 상태Excited에서 낮은 에너지의 바닥 상태Ground로 변화할 때, 감소한 에너지가 빛의 형태로 방출되는 현상입니다. 인광을 알기 위해서는 먼저 형광 발광 방식에 대한 이해가 필요합니다.

1 형광이란 바닥 상태의 발광 물질에 에너지를 주입해 '들뜬 상태'로 만든 후, 짧은 시간에 다시 전자가 안정적인 '바닥 상태'로 변할 때 방출되는 빛을 디스플레이의 발광원으로 활용하는 방식입니다. 오른쪽 그림과 같이 S1에서 S0으로 에너지 준위가 내려오는 만큼의 에너지에 매칭되는 파장의 빛이 방출됩니다.

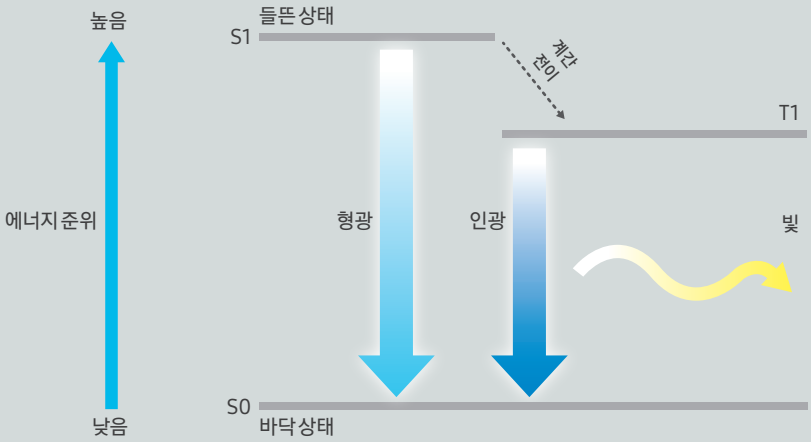
하지만 형광 방식은 발광 에너지의 25퍼센트인 단일항 여기자Singlet Exciton만 활용되고, 75퍼센트를 차지하는 삼중항 여기자Triplet Exciton는 활용하지 못하고 내부 양자 효율이 25퍼센트 수준에 머뭅니다. 그래서 보다 효과적인 발광을 위한 인광 방식이 개발되었습니다.


높음
에너지 준위
낮음
들뜬 상태
S1
형광
빛
S0
바닥 상태

82

2 인광 방식은 형광 방식에서 열·진동으로 버려지는 나머지 75퍼센트의 에너지를 활용하는 원리입니다. 이리듐**Ir** 및 백금**Pt** 착화합물과 같이 무겁고 큰 금속을 포함한 발광체는 일반 유기물에 비해 전자가 존재할 수 있는 영역인 오비탈**전자의 확률 분포 공간**의 크기가 매우 커지게 됩니다. 이에 전자가 중심 원소로부터의 영향을 적게 받게 되고, 일반 형광 발광체에서는 빛으로 나오지 못하던 삼중항 여기자와 단일항 여기자의 구분이 희미해지게 됩니다.

S1의 들뜬 상태에서 형광으로 발생되어야 할 에너지를 T1이라는 상태로 이동시킬 수 있게 돼**계간전이** 삼중항 여기자까지 발광에 활용할 수 있게 됩니다. 이론적으로 최대 100퍼센트의 내부 발광 효율을 만들 수 있는 장점이 있어 녹색과 빨간색 OLED용으로 상용화되었으나, 파란색 재료의 경우 발광 파장대가 주요 삼원색인 RGB 중 가장 짧아서 발광 에너지가 가장 큰 부분을 담당해야 합니다. 그렇기 때문에 더 높은 안정성이 요구돼 구동 수명 개선 연구가 진행되고 있습니다.


높음
에너지 준위
낮음
들뜬 상태
S1
계간 전이
T1
형광
인광
빛
S0
바닥 상태

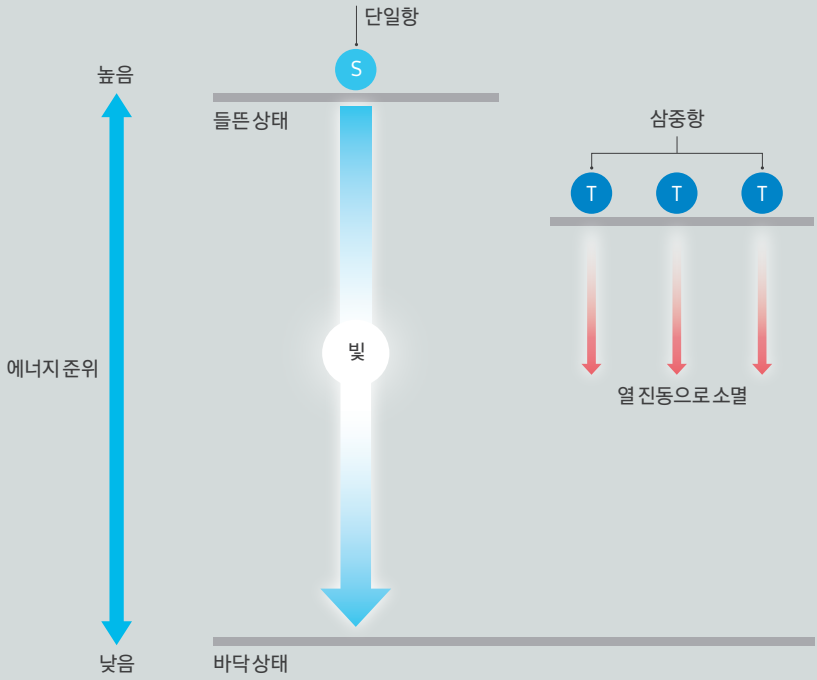
열 활성화 지연 형광 TADF

83

열 활성화 지연 형광**TADF, Thermally Activated Delayed Fluorescence**은 OLED**Organic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드** 발광 방식으로 연구되는 기술 가운데 하나입니다.

현재 사용되는 OLED의 주요 발광 방식인 형광**Fluorescence**의 경우 소자 안정성은 높지만 발광 효율, 즉내부 양자 효율 기준 25퍼센트로 낮다는 이론적 한계가 있습니다. 반면 내부 양자 효율을 100퍼센트까지 높일 수 있는 인광**Phosphorescence**의 경우 현재 RGB 가운데 빨간색**Red**과 녹색**Green**에만 적용되었으며, 백금계 희귀 금속인 희토류 사용으로 인해 재료비 상승이라는 단점이 있습니다. 반면, 최근 주목받고 있는 열 활성화 지연 형광은 백금계 희귀 금속을 사용하지 않더라도 내부 양자 효율을 100퍼센트까지 높일 수 있는 장점이 있습니다.

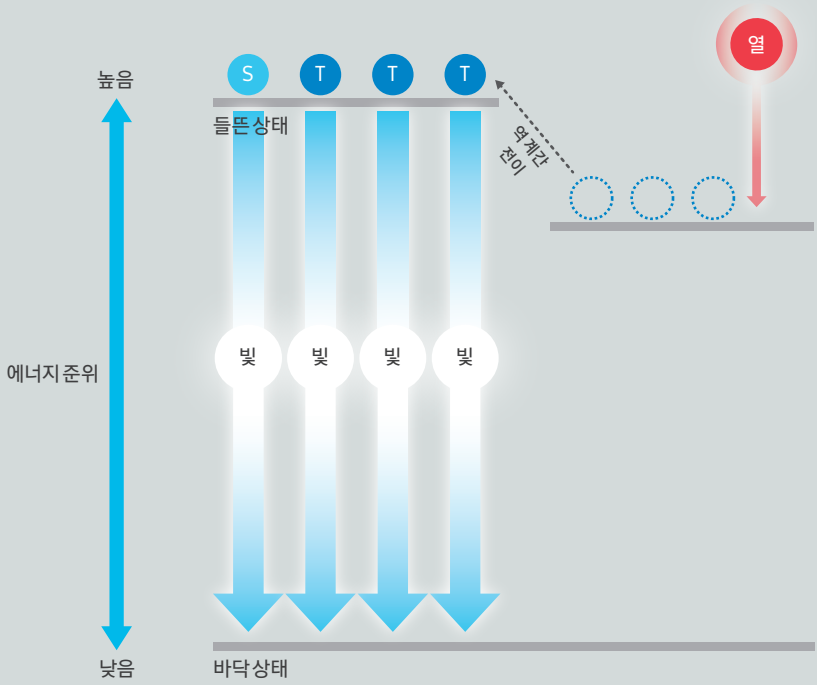
1 TADF는 형광의 발광 방식에 특별한 요소를 추가해 발광 효율을 극대화하는 방식입니다. 먼저 형광 방식을 살펴보겠습니다. 유기 발광 소자에 에너지를 주입하고 해당 소자의 전자를 에너지가 많은 '들뜬 상태'로 만든 후, 전자가 다시 에너지가 적은 '바닥 상태'로 내려오면서 빛을 방출하는 원리가 형광 방식입니다. 마치 운석이 우주에서 지구로 떨어질 때 빛을 뿜어내는 것을 상상하면 개념적 이해가 수월합니다.


단일항
S
높음
들뜬 상태
삼중항
T
T
T
에너지 준위
빛
열 진동으로 소멸
낮음
바닥 상태

83

그런데 전자를 들뜨게 하기 위해서 소자에 에너지를 주입할 때, 빛을 낼 수 있는 입자는 그림처럼 모두 4개가 생성됩니다. 이를 '엑시톤Exciton'이라고 부릅니다. 4개 가운데 1개는 형광으로 빛을 낼 수 있는 입자**단일항**이고, 나머지 3개는 빛을 내지 못하고 열 또는 진동으로 소멸되는 입자**삼중항**입니다. 따라서 형광 방식으로는 엑시톤 4개 중 1개만 발광 입자로 사용하게 돼, 결과적으로 전체 입자의 25퍼센트만 빛으로 활용할 수 있습니다.

2 열 활성화 지연 형광은 소멸되어버리는 삼중항 엑시톤T 3개를 단일항 엑시톤S의 수준으로 이동시켜 형광 발광시키는 원리입니다. 영역을 거꾸로 이동한다고 하여 '역 계간 전이'라고 하며, 열을 이용해 이동을 유도합니다. 이러한 방식을 통해 4개의 엑시톤 모두 빛을 방출하게 됩니다. 열 활성화 지연 형광은 엑시톤의 에너지 준위의 높이 차이가 작게 발생하는 유기 발광 물질을 사용함으로써 이동을 수월하게 하고, 이로 인해 100퍼센트 수준으로 내부 양자 효율을 개선할 수 있습니다. 재료 비용 감소와 높은 발광 효율로 획기적인 발광 방식으로 주목받고 있으나, 들뜬 상태에서의 재료 안정성 부족으로 현재 차세대 발광 재료를 연구 개발 중입니다.


높음
에너지 준위
낮음
S
T
T
T
들뜬상태
바닥상태
빛
빛
빛
빛
열
역계간 전이

초형광
Hyper Fluorescence

84

초형광**HF, Hyper Fluorescence**이란 OLED**Organic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드** 발광 방식으로 연구되는 최신 기술 중 하나입니다.

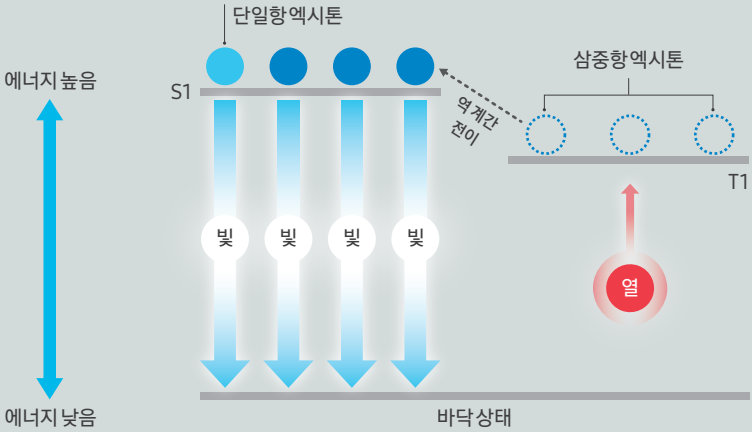
1 초형광 방식은 앞에서 다룬 열 활성화 지연 형광**TADF, Thermally Activated Delayed Fluorescence** 방식과 유사합니다. 특히 오른쪽 그림의 삼중항 엑시톤 3개를 단일항 엑시톤이 있는 위치로 이동시킨 후, 전자를 아래로 떨어뜨려 발광시킨다는 점에서 비슷합니다. TADF 방식은 이미 내부 양자 효율 100퍼센트라는 이론적 한계 효율은 달성했으나 상대적으로 전통적 방식인 형광에 비해 안정성이 낮은 특징이 있습니다. 초형광 방식은 일반 형광 방식을 열 활성화 지연 형광에 도입하면서도 내부 양자 효율은 100퍼센트에 도달하도록 하기 위해 탄생했습니다.

2 초형광은 OLED의 기본적 재료 구성인 호스트**Host**와 도펀트**Dopant**에 열 활성화 지연 형광 도펀트까지 추가해 유기 발광층에 동시 증착시키는 방식입니다. 이러한 방법을 통해 다음 그림과 같이 '도펀트 S1'이라는 추가적인 에너지 준위를 만들어낼 수 있고, 이때 상부의 S1에서 내려오는 에너지 준입자인 엑시톤들이 도펀트 S1을 거치면서 형광의 원리로 빛을 냅니다. 초형광 역시 열 활성화 지연 형광과 마찬가지로 발광층에 필요한 재료 연구가 계속 이루어지고 있습니다.

* 엑시톤(Exciton): 전자와 정공이 약하게 결합된 쌍. 엑시톤의 에너지가 줄어들면, 줄어든 에너지만큼 빛의 형태로 방출된다.
** 호스트(Host): OLED 발광체로 에너지를 전달하는 매개 물질
*** 도펀트(Dopant): OLED 발광체

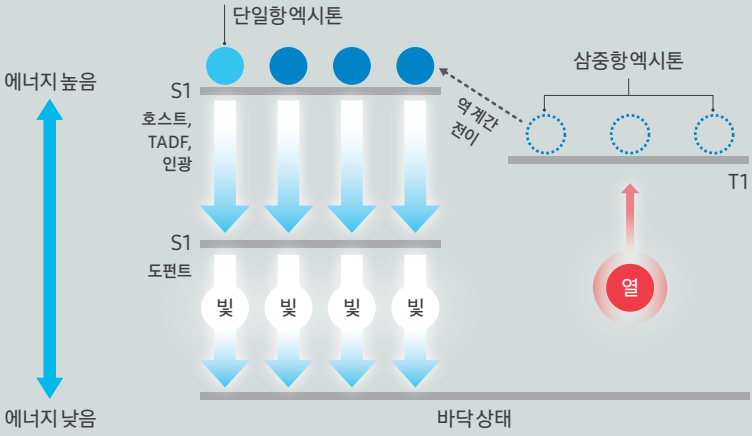
1

열 활성화 지연 형광 발광 원리



2

초형광 발광 원리



QD
퀀텀닷

85

1 QD Quantum Dot는 수 나노미터 nm 수준 크기의 초미세 반도체 입자를 말합니다. QD는 일반적으로 2~10나노미터 크기이며, 주로 중심체 Core와 껍질 Shell로 구성됩니다. 1나노미터가 10억분의 1미터임을 생각하면 아주 작은 크기라는 것을 알 수 있습니다.

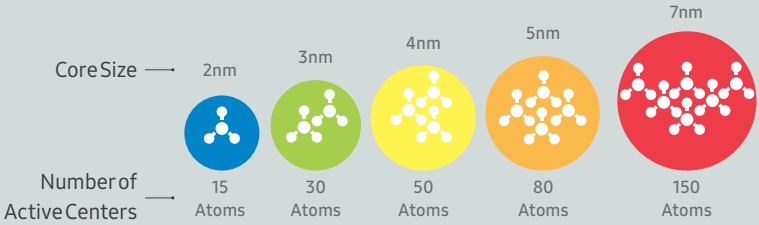
QD는 빛을 비추거나 전류를 공급했을 때, 입자의 크기에 따라 나타내는 색이 달라지는 특성을 갖고 있습니다. 즉, 동일한 물질이라고 하더라도 작은 크기의 입자는 파란색을 나타내고, 큰 입자는 빨간색을 나타냅니다. 크기에 따라 발생시키는 빛의 색이 다르기 때문에, 빛의 마법사로 불리기도 합니다.

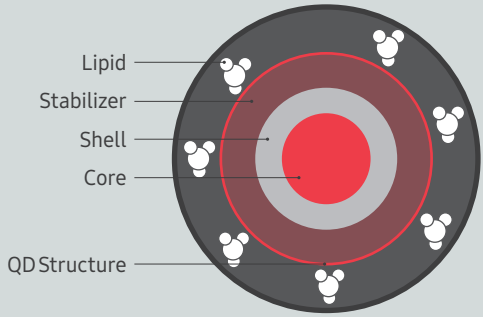
QD는 1982년 러시아의 과학자들이 예배당을 장식하는 색유리 그림인 스테인드 글라스 Stained Glass를 연구하던 중 반도체의 주요 소재인 카드뮴 Cd 화합물에서 이런 현상을 처음 발견하면서 세상에 알려졌습니다. 과학자들은 이 현상을 '양자 구속 효과 Quantum Confinement Effect'라고 부르기로 했습니다.

QD는 다양하고 순도 높은 빛을 발광한다는 점과 소자의 화학적 특성이 우수하다는 점에서 디스플레이, 태양전지, 바이오 센서, 양자 컴퓨터 등 다양한 분야에 사용될 전망입니다. 이 중 QD의 발광 특성을 디스플레이에 활용한 것을 QD 디스플레이라고 합니다.

1

QD의 구조 및 입자 크기별 색 변화



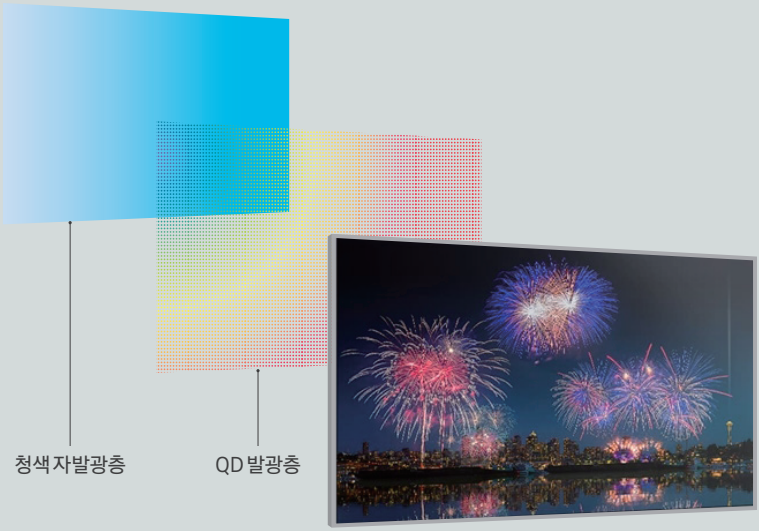


85

2 QD-OLED는 간소하고 효율적인 발광 구조를 갖추고 있으므로 현존 최고 수준의 화질을 만들어낼 수 있습니다. 파란색 자발광층에서 시작된 순도 높은 빛이 QD 발광층에 있는 QD 소자들과 만나 디스플레이 화면을 표현하며, 이때 QD 소자의 특성이 반영돼 빨간색과 녹색도 고순도의 빛을 만들어냅니다. 이러한 장점은 디스플레이의 색 표현력을 최대화해 보다 자연색에 가까운 컬러를 보여줍니다. 또한 QD-OLED는 자체 발광 구조를 갖추고 있으므로 빠른 응답 속도와 무한대에 가까운 명암비를 구현해 더욱 현실감 넘치는 화질을 보여줄 수 있습니다.

2

QD-OLED 발광 구조



ITO
인듐 주석 산화물

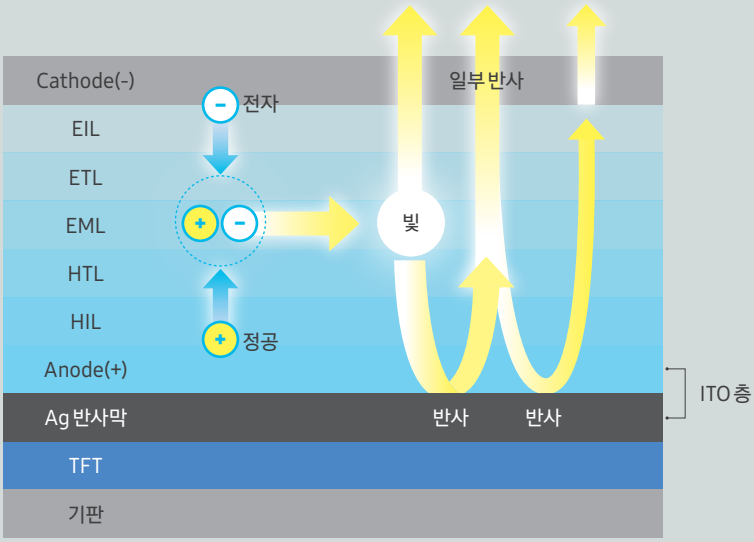
86

ITO**Indium Tin Oxide, 인듐 주석 산화물**는 디스플레이 패널에서 핵심적으로 사용되는 재료입니다. 디스플레이에서 전기의 흐름을 통해 픽셀의 밝기를 제어해 화면을 표현할 때, 픽셀마다 양극**Anode**과 음극**Cathode**이 되는 물질은 전기가 잘 통하는 특성과 동시에 빛이 화면을 잘 통과하는 투과성도 갖춰야 합니다. ITO는 산화 인듐In_2O_3과 산화 주석SnO_2을 혼합해 생성되는 산소의 빈자리를 통해 전자**Electron**와 정공**Hole**이 이동해 전기가 흐르도록 하는 재료입니다. 전기가 통하는 동시에 투명하기 때문에 투명 전극이라 불리기도 합니다.

LCD**Liquid Crystal Display, 액정 표시 장치**에서 ITO는 백라이트의 빛이 액정을 거칠 때, 이를 제어하는 전극으로 역할합니다. 이때 액정을 통과한 빛이 투명 전극인 ITO를 빠져나와 우리 눈까지 도달합니다. OLED**Organic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드**에서는 ITO가 크게 두 가지 기능으로 사용되는데, 먼저 배면 발광 방식의 OLED에서는 LCD와 유사한 원리로 작동합니다.

1 반면 전면 발광 방식의 OLED에서는 우선 양극에서 정공이 원활하게 유기 발광층 **HIL**으로 주입될 수 있도록 하는 역할을 합니다. 양극의 재료로 사용되는 ITO는 정공의 이동에 적합한 에너지 준위를 갖추고 있기 때문입니다. 동시에 ITO의 투과성은 '공진 **Micro Cavity**'구조 구현도 가능하게 합니다. 디스플레이에서 '공진'이란 빛의 파동성**보강 간섭**을 이용해 세기를 증폭시킴으로써 발광 효율을 크게 높일 수 있는 기술입니다. 투명한 ITO를 양극에 사용함으로써 빛이 전극을 통과해 Ag막까지 도달하도록 한 후 빛의 반사가 되도록 함으로써 공진을 구현합니다.

OLED 전면 발광 구조와 공진 원리



폴리이미드
PI

87

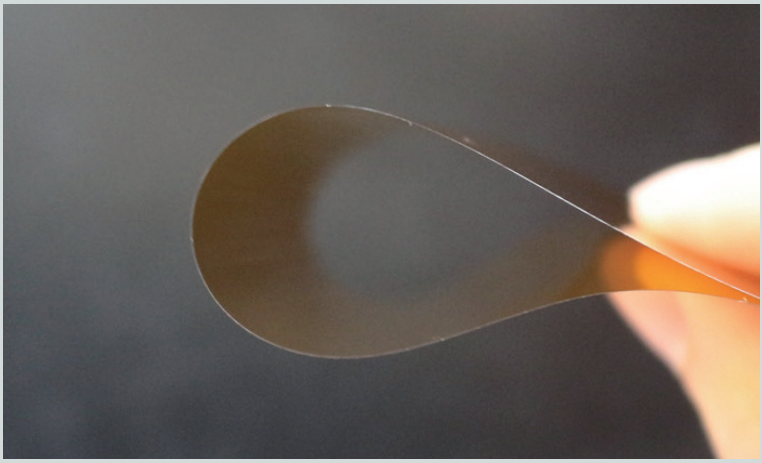
1 폴리이미드**PI, Polyimide**는 열 안정성이 높은 고분자 물질로 우수한 기계적 강도와 높은 내열성, 전기절연성 등의 특성 덕분에 디스플레이를 비롯해 태양전지, 메모리 등 전기·전자 및 IT 분야에서 다양하게 활용됩니다. 특히 타 소재에 비해 가벼울 뿐 아니라 휘어지는 유연성까지 갖춰 제품의 경량화와 소형화가 가능합니다. 폴리이미드는 디스플레이 제조 시, 기판이나 커버 윈도우 등 다양한 곳에 활용되고 있습니다.

2 일반적인 디스플레이의 경우 제조 과정에서 유리 기판을 사용하는데, 플렉시블 **Flexible** OLED**Organic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드**는 딱딱한 유리 기판 대신 유연한 폴리이미드를 사용합니다. 플렉시블 OLED 제조 공정을 살펴보면, 먼저 캐리어 글라스**Carrier Glass**라고 불리는 유리 기판 위에 폴리이미드 물질을 도포한 후, TFT**Thin Film Transistor, 박막 트랜지스터**와 증착**Evaporation**, 봉지**Encapsulation** 공정을 거친 뒤 레이저로 캐리어 글라스를 떼어내는 방식입니다.

디스플레이 기판은 고온에서 제조하는 공정 기술을 견뎌야 하므로 내열성이 중요합니다. 폴리이미드는 영하 273도에서 영상 400도까지 물성이 변하지 않는 만큼 내열성이 뛰어난 소재로 알려져 있습니다. 또한 플라스틱 소재라 가볍고 유연해 플렉시블 OLED 제조 시 기판으로 사용하기 적절합니다. 깨지지 않고 자유롭게 휘거나 접을 수 있는 성질이라 디스플레이 커버 윈도우 소재로도 각광받고 있습니다. 주로 폴리이미드 고유의 색상인 노란색을 제거하여, 투명하게 구현하는 방식으로 사용되고 있습니다.

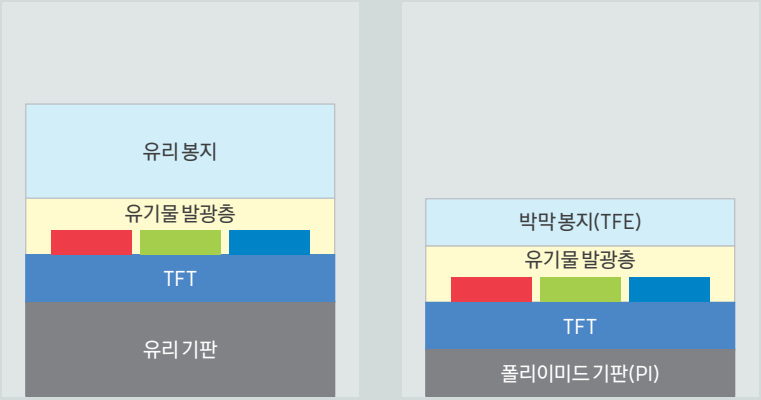
1

가볍고 유연한 폴리이미드 소재



2

리지드 OLED와 플렉시블 OLED 제조 공정 비교



RIGID OLED

FLEXIBLE OLED

투명 폴리이미드 88
CPI

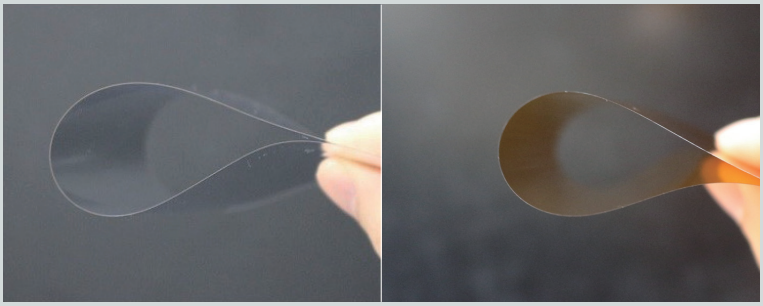
1 투명 폴리이미드CPI, Colorless Polyimide란 투명한 폴리이미드PI, Polyimide를 의미하며, 최근 플렉시블 디스플레이에서 패널을 보호하기 위한 커버 윈도우 소재로 사용됩니다. 기존 폴리이미드PI가 가지고 있는 내화학성 및 내열성 특성은 유사하나 특유의 색을 띠는 단점이 있어, 화학적 구조를 달리하여 투명하게 개발되었습니다.

2 기존 폴리이미드의 화학적 구조를 보면, 다수의 방향족C6H6-, 정육각형 모양을 가지고 있어 화학적, 열적 우수성을 갖게 되는데, 이러한 방향족은 가시광선 중 400~500나노미터nm 파장을 흡수하는 성질로 인하여 시각적으로는 갈색을 띠게 됩니다. 이를 투명화 시키기 위해서 폴리이미드 내 방향족을 트리플루오로메틸기-CF3, 에테르기-O-, 술폰기-SO_2와 같은 구조로 대체하거나 첨가하는 방식 등이 활용되고 있으며 기술적으로도 많은 노하우가 필요합니다.

3 투명 폴리이미드는 플라스틱이라는 재료의 특성상 투명하고 얇게 가공이 가능하며 유연성이 좋아 폴더블Foldable이나 롤러블Rollable 등 플렉시블 디스플레이 패널을 보호하는 윈도우 커버로 적용되고 있습니다. 2018년 삼성디스플레이가 개발한 언브레이커블Unbreakable 디스플레이는 투명 폴리이미드를 커버 윈도우에 적용한 사례이며, 미국 국방부 규격에 맞춰 실시한 ULUnderwriters Laboratory, 국제 안전인증 시험기관의 내구성 테스트도 통과했습니다. 삼성디스플레이는 투명 폴리이미드 필름을 갤럭시 폴드 모델에 적용해 상용화하고, 폴더블 스마트폰의 장르를 개척했습니다.

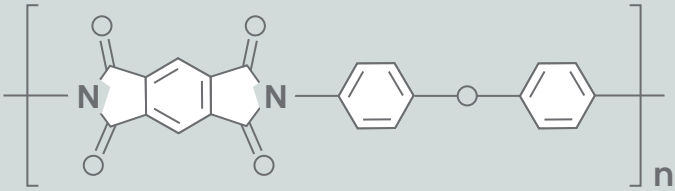
1

투명 폴리이미드와 폴리이미드 비교



2

폴리이미드 화학 구조식



3

투명 폴리이미드 커버 윈도우 기술

OCA/OCR
광학용 접착 소재

89

디스플레이 핵심 부품인 디스플레이 패널 위에 편광판Polarizer, 터치스크린 패널TSP, Touch Screen Panel, 윈도우Window 등 필요에 따라 다양한 부품들이 부착됩니다. 이때 빛의 손실이나 반사를 최소화하기 위해 사용하는 소재가 바로 광학용 접착 소재입니다.

1 빛은 재질이 다른 층을 만났을 때 굴절하거나 반사되는 성질을 가지고 있습니다. 디스플레이에서도 빛이 제품 내의 에어 갭Air Gap, 혹은 외부 공기, 유리Window 등을 만나면서 반사와 굴절 현상이 발생하고, 이로 인해 시인성이 저하되는 현상이 일어날 수 있습니다. 이러한 문제를 최소화하기 위해 디스플레이 제품 내에 에어 갭의 통과 전후와 비슷한 광학 성질을 갖춘 재질을 광학용 접착제로 채워주는 것입니다.

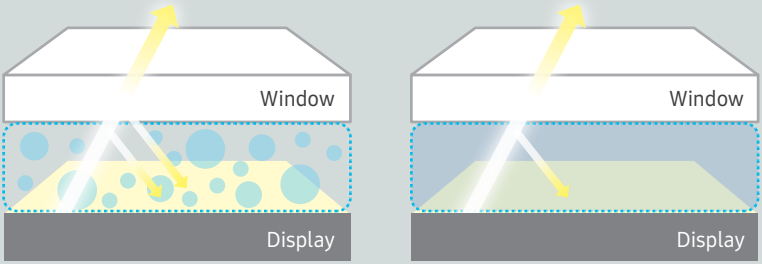
색과 명암을 표현하는 디스플레이용 접착 소재는 빛의 변화를 최소화할 수 있는 높은 투명성과 접착 시점의 투명성이 변하지 않는 지속성을 필요로 합니다. 주로 사용되는 광학용 접착 소재로는 아크릴Acryl계, 실리콘Silicone계, 우레탄Urethane계 등의 성분이 있습니다. 이 중에서 아크릴 계열의 접착 소재가 투명성이 좋고 UV를 통해 빠르게 경화할 수 있어 가장 널리 사용됩니다. 접착 소재는 형태에 따라서도 분류할 수 있는데, 정해진 양면테이프와 같은 필름 형태를 OCAOptically Clear Adhesive라고 부르며, 비정형의 액상 형태를 OCROptically Clear Resin이라고 합니다. 일반적으로 OCA는 작업성이 우수하며 표면에 고르게 부착되는 장점이 있고, 액상인 OCR는 부품 사이 미세한 공기층 제거에 효과적입니다.

광학용 접착 소재는 디스플레이 외 다양한 분야에서 널리 사용됩니다. 특히 자동차 산업에서 차량 전면 유리 파손 시, 안전 확보와 빛의 난반사 억제 목적으로도 사용됩니다.

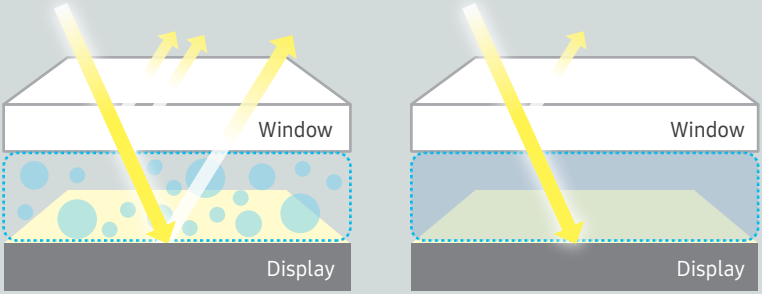
1

OCA/OCR 사용에 따른 시인성 변화

디스플레이
내부 빛



디스플레이
외부 빛



디스플레이
시인성

Air Gap

광학소재(OCA/OCR) 접착

ACF
이방성 도전 필름

90

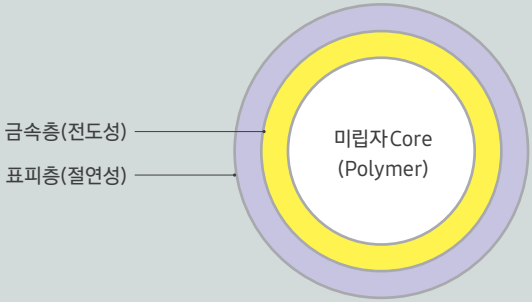
ACF**Anisotropic Conductive Film**란 특정 방향으로만 전기가 통하도록 만들어진 필름이라는 뜻이며, 이방성 도전 필름이라고도 불립니다. 1977년 일본 소니가 전자 계산기를 만들 때 처음 상용화된 ACF는 전기가 흐르지 않는 접착제와 전기가 흐를 수 있는 미세한 입자를 혼합한 얇은 필름 형태로 만들어졌습니다. 이를 연결하고자 하는 부품 사이에 위치시킨 후 압착하면 상호 전기가 통하도록 해주는 기능을 합니다.

1 전도성 입자는 폴리머**Polymer** 입자를 전기가 통하는 금속 재료인 금**Au**, 니켈**Ni**, 팔라듐**Pd** 등을 코팅**Coating**해서 만듭니다. 지름이 3~15마이크로미터㎛로 미세하며, ACF 전체 부피 중 0.5~5퍼센트 수준을 차지합니다. 다른 주재료인 접착 물질에는 열가소성 소재와 열경화성 소재가 있습니다. 이 중 에폭시 수지나 폴리우레탄, 아크릴 수지 등 열을 가해도 형태가 변하지 않는 열경화성 소재가 널리 사용되고 있습니다.

2 ACF는 전기 회로를 연결할 때, AFC는 부품 압착 방향으로 전기가 흐르게 하는 전도성과 압착의 수직 방향으로 전기가 흐르지 않도록 하는 절연성을 동시에 지니고 있습니다. 방향에 따라 전도성이 다르므로 이방성이라는 명칭이 사용되는 거지요. 또한, 전기부품 간에 전기가 원활하게 흐르기 위해 부품들이 잘 달라붙는 부착성을 가지고 있습니다.

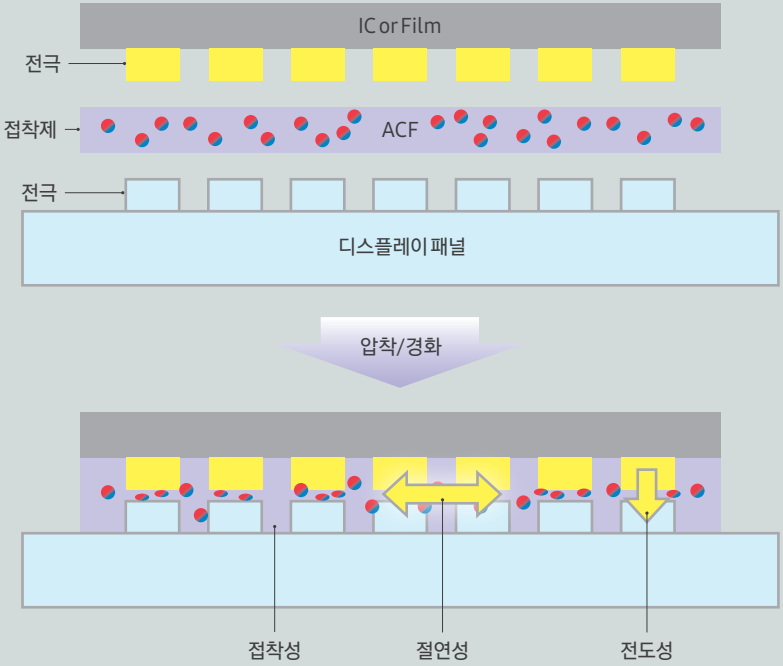
ACF는 얇은 필름 형태의 전선이므로 두께가 얇고 정교한 IT 제품에 널리 사용됩니다. 디스플레이 제조 과정에서는 디스플레이 패널과 DDI**Display Driver Integrated Circuit**, PCB**Printed Circuit Board**, FPCB**Flexible Printed Circuit Board** 등의 전기 부품을 전기적으로 연결하는 모듈 공정에서 사용됩니다.

1 전도성 입자 소재



도전볼(Conductive Ball) 단면

2 ACF 구조 및 접속 원리



플렉시블 OLED
Flexible OLED

91

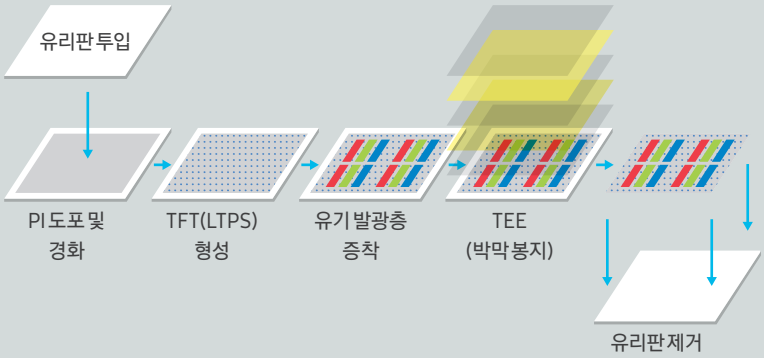
플렉시블Flexible OLED는 화면을 구부리거나 접고 둘둘 말 수 있는 특성을 가진 유연한 OLED 디스플레이를 의미합니다.

일명 리지드Rigid OLED라 불리는 전통적인 OLED와 대비되는 개념으로 삼성디스플레이가 2013년 세계 최초로 양산에 성공했습니다. OLED 기판에 유리 대신 유연한 폴리이미드PI, Polyimide를 사용하고 유기물을 보호하는 봉지Encapsulation 소재도 유리를 대신해 유연한 TFEThin Film Encapsulation, 박막 봉지 방식을 적용해 제작합니다.

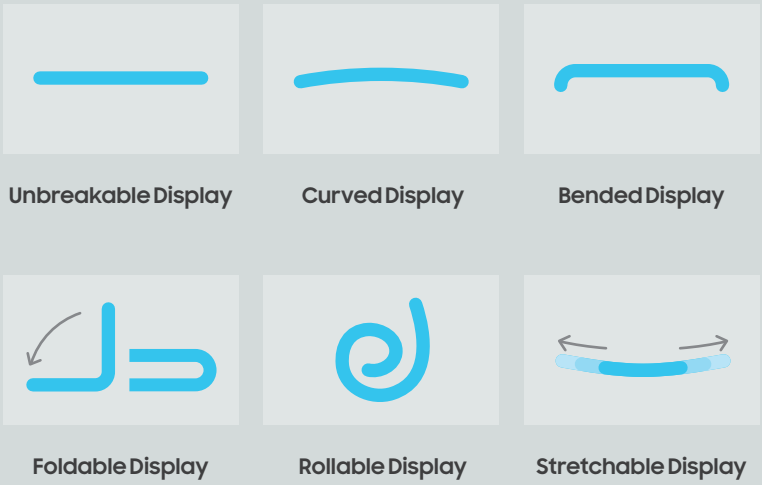
1 플렉시블 OLED를 만들기 위해서는 먼저 캐리어 글라스라는 유리 기판 위에 폴리이미드 물질을 바른 뒤 경화시키는 과정이 필요합니다. 이후 리지드 OLED와 유사한 TFTThin Film Transistor, 박막 트랜지스터, 증착 공정을 거쳐 얇고 유연하게 발광층을 덮어주는 박막 봉지 공정을 거친 뒤 마지막으로 레이저를 이용해 처음에 사용한 캐리어 글라스를 떼어내고Glass Laser Lift-off 나면 유연하게 구부릴 수 있는 디스플레이가 완성됩니다.

2 플렉시블 OLED는 두께와 무게 측면에서 상당히 우수하고 유연성을 활용한 디스플레이 폼 팩터Form Factor 혁신이 가능해, 스마트폰과 웨어러블Wearable 등 다양한 분야로 영역이 확대되고 있습니다.

1 플렉시블 OLED 패널 제조 공정



2 구부러지는 모양에 따른 플렉시블 디스플레이의 종류



폴더블 OLED
Foldable OLED

92

폴더블Foldable OLED는 화면을 접었다 펼칠 수 있는 플렉시블 OLED 디스플레이의 한 종류입니다.

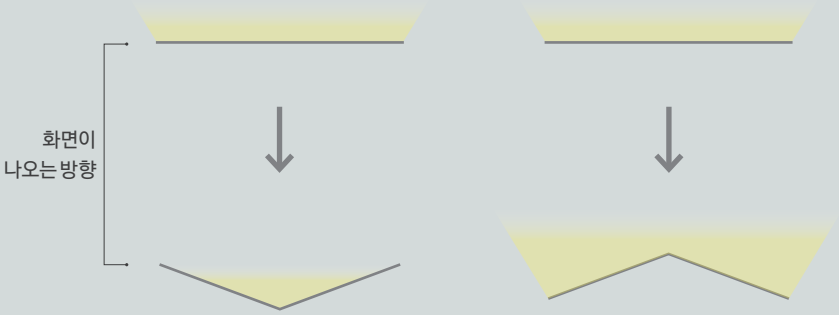
1 폴더블 디스플레이는 크게 두 가지 형식으로 구현되는데, 안쪽으로 접는 방식의 '인 폴딩In-Folding' 방식과 바깥쪽으로 접는 '아웃 폴딩Out-Folding' 방식으로 나뉩니다. 이를 복합적으로 구현한 'Flex In & Out' 형태도 전시회에 소개된 바 있습니다.

폴더블 구현의 핵심 기술은 크게 세 가지로, 접었을 때 발생하는 응력스트레스을 최소화하기 위한 초슬림 패널 곡률 구현, 유연한 점착제를 활용한 패널 내부 최적 구조 설계, 그리고 유연한 초박형 커버 윈도우 소재 기술입니다.

삼성디스플레이는 2019년 폴더블 OLED 양산에 성공, 같은 해 갤럭시 폴드 탑재를 통해 혁신적인 스마트폰 폼 팩터Form Factor를 선보였으며, 이후 영하 20도℃ 저온 폴딩 테스트 3만 회, 60도 고온 폴딩 테스트 15만 회를 인증 받아 다양한 기후 환경에서도 변함없는 성능을 유지하는 방향으로 진화를 거쳐왔습니다.

1-1

폴더블 디스플레이 종류와 구조



인폴딩 방식
(화면이 안으로 접힘)

아웃폴딩 방식
(화면이 밖으로 접힘)

1-2

Flex In & Out 형태의 폴더블 디스플레이

롤러블 OLED
Rollable OLED

93

1 롤러블Rollable OLEDOrganic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드는 두루마리처럼 둘둘 말 수 있는 유연한 OLED 디스플레이로 일명 두루마리 디스플레이로 불립니다. 플렉시블 OLED 기술의 한 종류인 롤러블 OLED는 폴리이미드PI, Polyimide 기판과 TFEThin Film Encapsulation, 박막 봉지를 사용해 유연성을 확보하고, 디스플레이를 구부릴 때 발생하는 응력스트레스을 최소화하기 위해 한층 더 얇은 형태로 구현하는 기술이 담긴 디스플레이입니다.

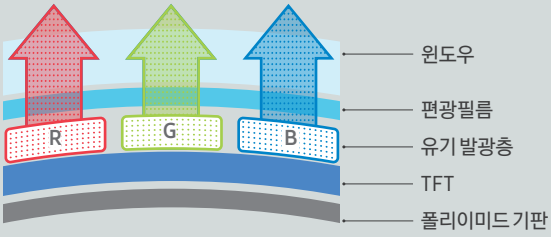
둘둘 말았다가 다시 펼 수 있기 때문에 사용하지 않을 때는 부피가 작아 휴대가 간편하고, 사용 시에는 펼쳐서 대화면을 구현할 수 있어 유용합니다. 향후 롤러블 OLED 기술을 적용하면 빔프로젝터가 필요 없는 롤스크린 형태의 프레젠테이션 스크린을 구현하거나, 블라인드 또는 커튼을 대신해 창문에 다양한 시각적 효과를 줄 수 있는 인테리어 디스플레이 제품으로도 활용할 수 있어 전망이 기대됩니다.

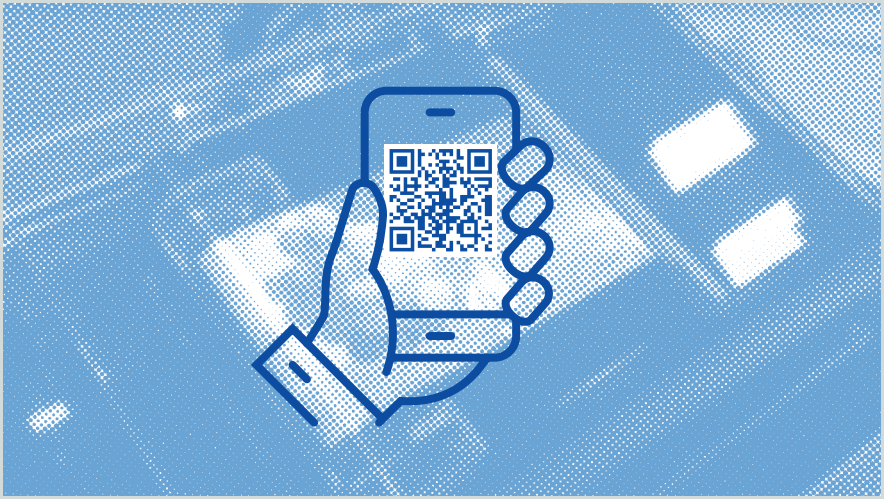
1-1

롤러블 OLED 원리

1-2

롤러블 OLED 구조





삼성디스플레이 롤러블 디스플레이
(Rollable Display)

스트레처블 OLED
Stretchable OLED

94

1 스트레처블Stretchable OLEDOrganic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드는 화면을 늘렸다가 원형으로 회복할 수 있는 신축성을 가진 디스플레이입니다.

탄성이 우수한 소재를 사용한 스트레처블 OLED는 패널 구조를 가변형으로 설계해 상하좌우로 잡아 늘린 후에도 원형으로 회복이 가능합니다. 일반적인 플렉시블 OLED보다 자유로운 폼 팩터Form Factor 구현으로 방향에 무관하게 자유자재로 휘거나 접히고, 구부러지는 프리 폼Free-form 디스플레이를 구현할 수 있는 것입니다.

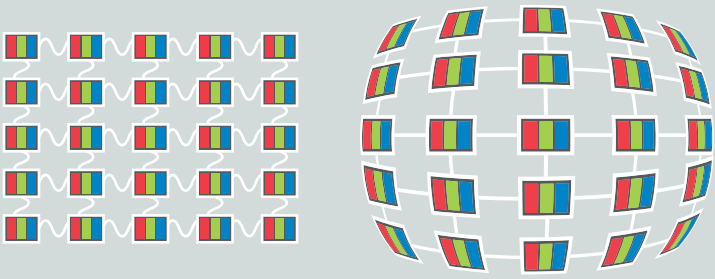
프리 폼 구현 디스플레이 기술은 향후 의류와 같이 수시로 형태 변화가 생기는 제품이나 자동차의 대시보드처럼 입체적인 표면에 적용하기 유리합니다. 디스플레이의 사용 가능 영역을 혁신적으로 넓힐 수 있어 IoTInternet of Things, 사물인터넷 시대에 유망한 차세대 디스플레이 기술입니다.

1-1

스트레처블 OLED 회복력 예시

1-2

스트레처블 OLED의 신축성 구조



Stretchable Matrix

Stretched Matrix

투명 OLED
Transparent OLED

95

투명Transparent OLEDOrganic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드는 화면 일부분을 투명하게 보이도록 한 OLED 디스플레이입니다.

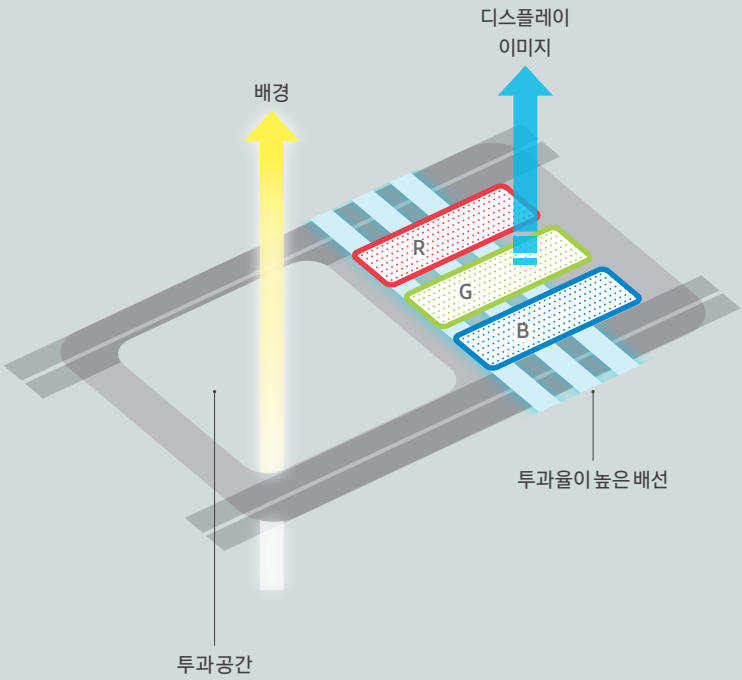
1 투명 OLED의 패널은 색을 표현하는 픽셀 영역과 빛이 투과되는 영역으로 구성됩니다. 픽셀이 차지하는 부분을 제외한 영역을 투명하게 만드는데, 일반적으로는 반투명한 금속성 소재가 사용되는 TFTThin Film Transistor, 박막 트랜지스터 등에 투명 소재를 사용해 디스플레이 뒤편의 사물이 투명하게 그대로 보이도록 하는 원리입니다.

투과율을 높이기 위해서는 투과 영역을 넓히거나 투과도가 높은 기판 소재를 사용하는 방법, 그리고 TFT 등 배선의 미세화 기술이 중요합니다.

OLED는 픽셀이 자체 발광하기 때문에 LCD와 달리 백라이트 유닛BLU, Back Light Unit이 불필요해 별도 광원에 의지하지 않아도 되므로 활용이 더 수월하고, 액정과 편광판도 불필요해 상대적으로 투과율이 더 높습니다.

1

투명 OLED 픽셀 구조



차량용 디스플레이 Automotive Display

96

자동차에 사용되는 각종 디스플레이를 통칭해 차량용 디스플레이Automotive Display라고 부릅니다. 자동차가 사용자에게 보다 가치 있는 시간을 제공하는 공간으로 변화하면서 이에 맞춰서 정보, 엔터테인먼트를 제공하는 차량 탑재 디스플레이도 점차 늘어나는 추세입니다.

1 현재 차량용 디스플레이는 크게 디지털 클러스터계기판, 디지털 사이드 미러, CIDCenter Information Display 등으로 구분합니다. 클러스터Cluster는 차량의 속도, 엔진 회전 속도RPM, 주행거리 등 여러 주행 정보를 하나의 공간 안에서 모두 보여주는데 이를 디스플레이 기술로 구현하는 것을 '디지털 클러스터'라고 합니다. 바늘이 물리적으로 움직이는 아날로그 방식보다 디자인 자유도가 높고, 지도나 인포테인먼트 정보 등을 화면에 보여줄 수 있다는 점에서 활용성이 높습니다.

CIDCenter Information Display는 운전자와 조수석 사이 대시보드에 탑재되는 디스플레이로, 내비게이션, 뮤직 플레이어, 온도 조절 제어기 등을 통합적으로 보여주는 역할을 합니다. 기능별로 디스플레이와 버튼이 나뉘어 있던 기존 형태와 달리 한 화면에서 차량 상태를 확인하거나 조절할 수 있고, 대화면으로 영상을 감상할 수 있는 장점이 있습니다.

디지털 사이드 미러는 거울을 대신해 카메라와 디스플레이가 측후면의 도로 상황을 보여주는 제품입니다. 야간 또는 악천후 시에도 사물을 또렷하게 볼 수 있으며, 디스플레이에 차량 간 거리 등의 추가적인 정보를 표시할 수 있습니다.

삼성디스플레이 차량용 디스플레이 제품

디지털 콕핏(Digital Cockpit, 디지털 자동차 조종석 제품), SID 2022 전시회

투명 OLED 디지털 클러스터 전시 제품 / 12.4인치 S자형 커브드 CID 전시 제품

디지털 사이드 미러용 OLED 제품

팹
FAB

97

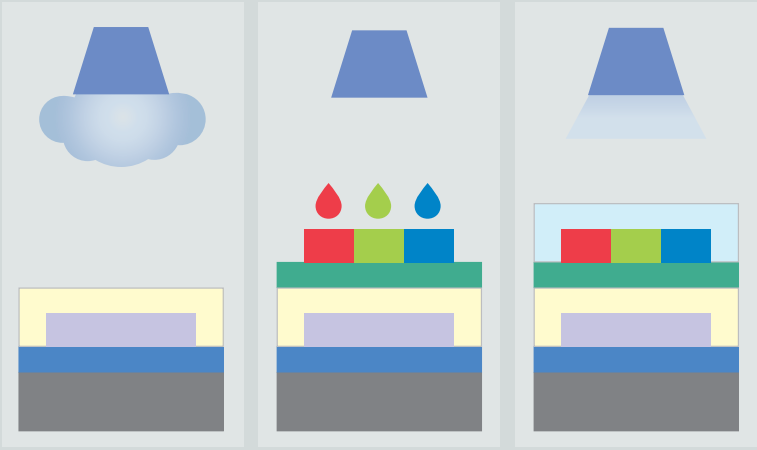
1 팹**FAB**이란 'Fabrication Facility'의 준말로 디스플레이나 반도체 생산 공정이 이루어지는 시설을 의미합니다. OLED**Organic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드**, LCD**Liquid Crystal Display, 액정 표시 장치**와 같은 초미세 공정이 필요한 디스플레이 패널이 팹에서 생산되며, TFT**Thin Film Transistor, 박막 트랜지스터**, 증착**Evaporation**, 봉지**Encapsulation** 등 제조 핵심 공정이 팹 안에서 이루어집니다.

TFT와 같은 박막트랜지스터 공정을 비롯해, EV, EN 등의 핵심 공정들은 화학적 증착 **CVD**, 물리적 증착**PVD**, 스퍼터링**Sputtering** 증착 등 주로 진공 챔버**Chamber**를 거쳐야 하며, 챔버 안에서 가스를 사용한 화학적 결합 등을 이용하므로 제품 생산을 위한 팹 인프라는 각 공정을 효율적이고 유기적으로 연동할 수 있는 구조를 갖춰야 합니다.

2 팹 내부는 온도나 습도 등 공정 환경을 일정하게 유지하는 것이 중요하며 특히 아주 작은 먼지**파티클**라도 제품 불량의 원인이 되기 때문에, 팹은 외부 요인으로부터 제품을 보호하기 위해 일반적으로 클린룸**Clean Room**이라는 높은 청정도를 갖춘 공간 형태로 운영됩니다.

1

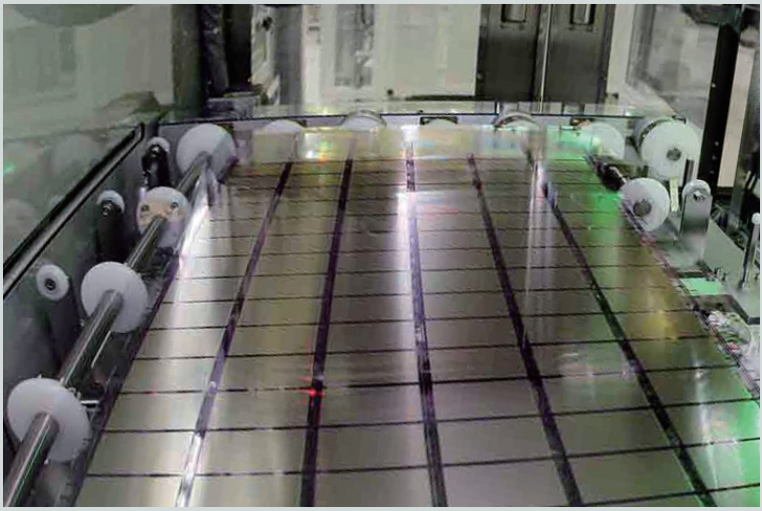
FAB에서 이루어지는 OLED 주요 공정



TFT EV EN

2

OLED 디스플레이를 생산하는 삼성디스플레이 FAB



클린룸
Clean Room

98

1 클린룸Clean Room은 디스플레이와 반도체 등을 생산하는 팹FAB에서 주로 사용되는 건물 내부의 환경 형태입니다. 디스플레이에서 클린룸이란 '먼지를 비롯한 제반 환경 조건기온, 습도, 기류, 기압 등이 일정한 규격에 맞게 유지되는 깨끗한 공간'을 의미합니다. 디스플레이는 미세한 전자회로와 박막층Layer들로 이루어져 있기 때문에 제품 생산 과정에서 아주 작은 먼지나 입자 조차도 제품의 품질에 영향을 줄 수 있습니다. 따라서 먼지가 극도로 적은 공간, 청정실清淨室이라고도 불리는 '클린룸'을 조성해 공정을 진행합니다.

2 디스플레이에서 클린룸은 '클래스Class'라는 규격으로 청정 등급을 표시합니다. 클래스란 '가로와 세로, 높이가 각 1피트ft인 정육면체 공간당 포함하고 있는 0.3마이크로미터㎛ 크기 이상의 먼지파티클 개수'를 뜻합니다. 초미세먼지의 크기인 2.5마이크로미터보다 8배나 작은 크기를 기준으로 먼지의 개수를 세는 것인데요. 예를 들어 1세제곱피트ft^3 안에 0.3마이크로미터보다 큰 먼지가 1,000개 들어 있다면 '클래스 1,000'이라고 표시합니다. 일반적인 OLEDOrganic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드 디스플레이 주요 팹 공정인 TFTThin Film Transistor, 박막트랜지스터, 증착인캡EVEN은 '클래스 1,000' 수준의 환경에서 이루어지며, 이는 일반적인 대기 상태인 '클래스 300만'과 비교해 상당히 높은 청정도입니다.

1

먼지가 극도로 적은 청정실, 클린룸

2

클린룸 청정 클래스 등급 표시 규정

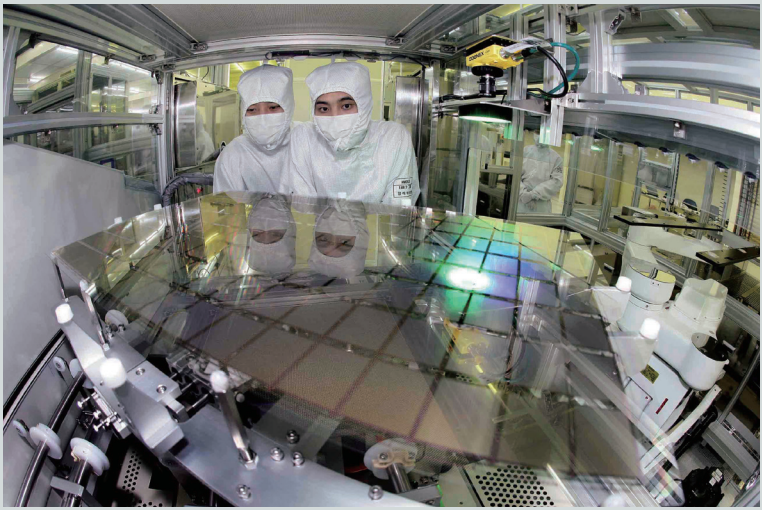
1피트(ft)
(30.48cm)

클래스 1000

1입방피트(ft^3) 안에 0.3㎛ 이상 크기의
먼지가 1,000개 이하로 존재하는 청결 정도

98

3 클린룸 안에서는 각종 생산 설비와 사람들이 움직이기 때문에, 설비 및 근무자로부터 먼지가 발생하게 됩니다. 따라서 높은 청정도를 항상 유지하기 위해 클린룸은 다양한 장치로 구성되어 있습니다. 천장의 고성능 필터와 바닥에 설치된 공기 순환 구조를 통해 24시간 깨끗한 공기를 유지하며, 근무자가 클린룸 내부로 들어가기 위해서는 특별한 복장인 '방진 의류'를 착용하고 에어샤워를 거쳐야 합니다. 방진 의류는 머리카락이나 먼지 등 미세한 입자들이 클린룸으로 유입되지 않게 하는 기능은 물론, 디스플레이 회로에 영향을 줄 수 있는 정전기를 방지하는 역할도 합니다. 초미세 공정이 필요한 디스플레이 제품 생산에서 클린룸은 보다 완벽한 제품의 탄생을 위해 더욱 완벽한 청정도를 추구하는 공간입니다.



원장과 세대
Mother Glass & Generation

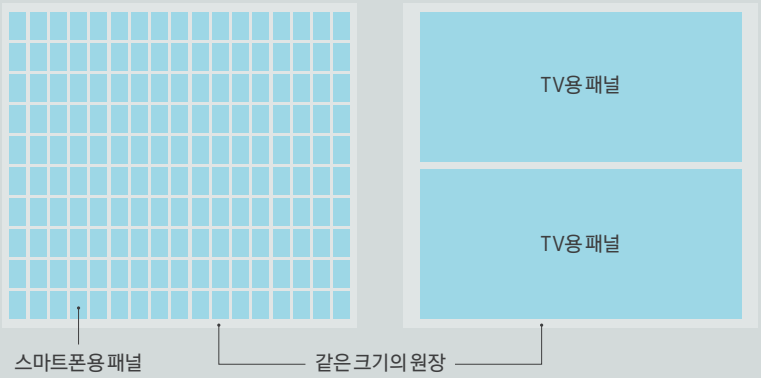
99

1 디스플레이를 만들기 위해서는 패널 공정의 기반이 되는 기판이 필요합니다. 원장**Mother Glass**은 이런 기반이 되는 커다란 기판을 의미하는 것으로, 기판의 크기에 따라 세대**Generation**를 구분하여 표기합니다. OLED**Organic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드**나 LCD**Liquid Crystal Display, 액정 표시 장치**는 커다란 원장을 놓고 그 위에 여러 공정을 거치면서 패널을 제조합니다. 패널은 사이즈별로 각각 따로 제조되는 것이 아니라 한 장의 원장에서 제조된 패널을 여러 조각으로 나누는 것입니다.

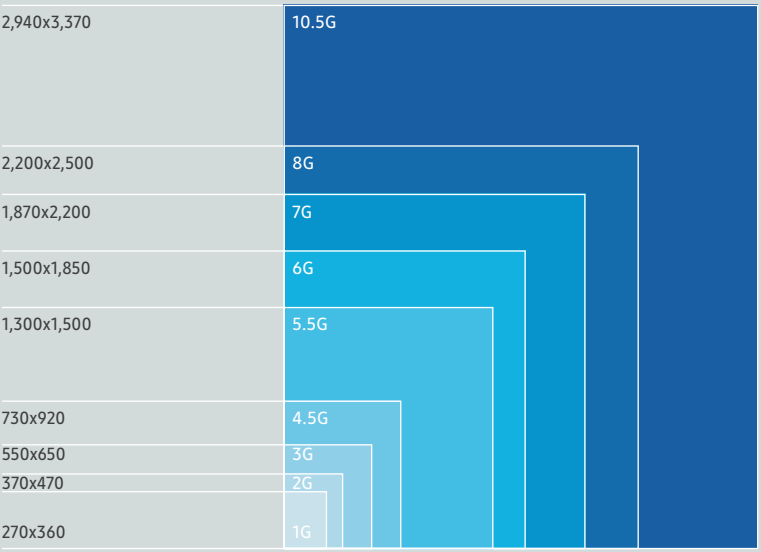
2 이렇게 패널 생산의 기반이 되는 원장은 사이즈에 따라 세대를 표기하는데, 각 세대는 범용적으로 정해진 규격이 있는 것은 아닙니다. 제조사에 따라 통상적으로 서로 비슷한 크기의 원장을 같은 세대로 정의 내립니다. 한마디로 원장의 세대별 크기는 제조사에 따라 조금씩 차이가 있을 수 있습니다.

디스플레이 원장의 크기는 세대의 숫자가 올라갈수록 점점 커집니다. 각 세대별 크기를 비교해보면 1G에 비해 10.5G 원장의 면적은 약 100배 증가했습니다. 디스플레이 원장 크기가 커지는 이유는 패널 생산성 효율이 더 높아지기 때문입니다. 원장이 커지면 한 번에 더 많은 패널, 혹은 사이즈가 더 큰 패널의 생산량을 늘릴 수 있습니다. 여러 단계의 제조과정을 거쳐야 하는 디스플레이는 여러 개의 원장을 투입해 생산하는 것보다 큰 원장을 넣어 한 번에 많은 양을 생산하는 것이 시간상 더 유리합니다.

1 제품별 원장 활용



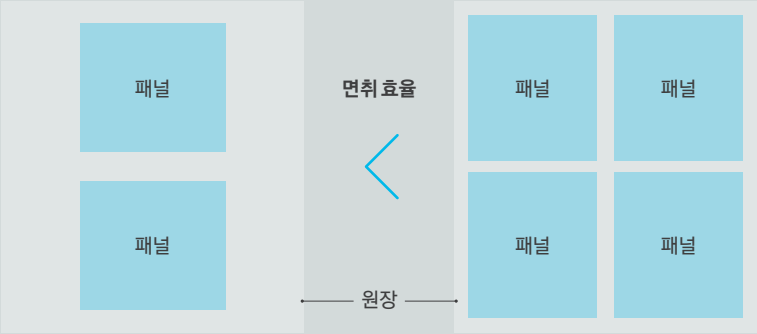
2 디스플레이 세대와 원장 크기



세대(G)별 단위: mm

99

3 그런데 단순히 디스플레이 원장이 커졌다고 해서 생산 효율이 증가하는 것은 아닙니다. 하나의 원장에서 최대한 버려지는 면적 없이 최대한 많은 디스플레이를 생산하는 것이 더 중요합니다. 원장에서 실제 패널로 만들어질 수 있는 영역의 비율을 면취 효율이라고 하는데, 패널 사이즈에 따라 원장에서 버려지는 부분을 최소화할 수 있도록 효율적으로 배치해야 면취 효율이 증가합니다. 따라서 라인을 건설해 원장 크기를 결정할 때는 생산할 패널 사이즈를 고려하는 과정이 매우 중요합니다.
면취 효율이 높을수록 생산 단가 측면에서도 유리하기 때문입니다.


패널
패널
면취 효율
패널
패널
패널
패널
원장
버려지는 면적이 많다.
버려지는 면적이 적다.

생산 능력
CAPA

100

1 디스플레이에서 캐파CAPA는 'Capacity'를 줄여서 부르는 말로, 디스플레이 라인의 생산 능력을 뜻합니다. 구체적으로는 생산 라인에 투입할 수 있는 원장Mother Glass의 매수를 의미합니다. 원장이란 OLEDOrganic Light Emitting Diode, 유기 발광 다이오드 또는 LCDLiquid Crystal Display, 액정 표시 장치 패널을 만들 때 기반이 되는 커다란 패널을 의미합니다. 이 원장을 여러 개로 잘라 TV 또는 스마트폰용 디스플레이 패널 등으로 가공해 사용하는 것입니다.

그림에서 보이는 것처럼 공장의 한 개 라인에서 한 달에 원장 1,000매를 투입할 수 있다면 캐파는 '1K/월'이 됩니다. 만약 10,000매를 투입할 수 있다면 '10K/월', 한 달에 100,000매를 투입할 수 있다면 캐파는 '100K/월'이 되는 것입니다.

캐파는 생산 라인의 원장 크기세대에 따라서 실제 생산량이 달라진다는 특징이 있습니다. 하나의 원장을 잘라서 여러 개의 디스플레이로 사용하는 개념이기 때문에 원장이 큰 라인의 경우, 가용 면적이 넓어 실제 제품용 디스플레이를 더 많이 만들어낼 수 있습니다. 예를 들어, 1G세대 원장을 생산하는 작은 라인과 10.5G세대 원장을 생산하는 큰 라인이 모두 동일하게 1K의 캐파를 갖추었다고 가정했을 때, 원장의 크기면적는 약 100배 정도 차이가 나므로 실제로 만들 수 있는 스마트폰용 패널의 개수도 이론적으로 약 100배의 차이가 발생합니다.

캐파(CAPA)의 개념과 단위

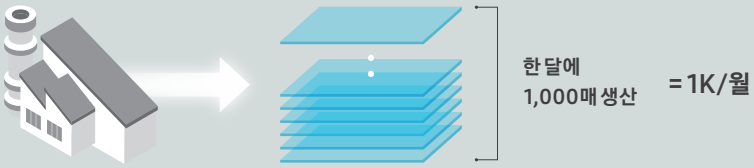
CAPA

Capacity

사전적 의미: 생산 능력, 수용력, 능력 등

디스플레이 업계에서의 의미: 패널 생산 능력

- 정의: 제조 라인별 월간 생산되는 원장의 매수(장수)
- 단위: 천(1,000)을 의미하는 K로 표기
  → 공장(라인)의 패널 생산 능력(생산량)을 가늠하는 기준



100

2 그림과 같이 4.5G 라인과 6G 라인은 세대의 명칭만 보면 큰 차이가 나지 않는 것처럼 느껴질 수 있지만, 실제로 생산하는 원장의 크기는 4.5G 라인은 730x920 밀리미터(mm), 6G는 1,500x1,850밀리미터로 약 4배가량 면적 차이가 생깁니다. 따라서 각의 라인에서 1K를 생산한다고 하더라도, 4.5G의 1K와 6G의 1K는 실제로 생산량이 4배 정도 차이가 납니다. 실제 생산량 차이는 원장에서 잘라내고 남는 부분인 '면취 효율'까지 고려했을 때 일반적으로 원장이 클수록 효율성이 높아지므로, 라인의 세대가 높아질수록 캐파의 효율도 우수한 경향이 있습니다.

2

캐파(CAPA)의 개념과 단위

모두 1K CAPA이나, 라인의 세대별 원장 크기에 따라 실제 생산량은 달라짐

4.5G 라인
원장730x920mm

5" 패널
약 10만개

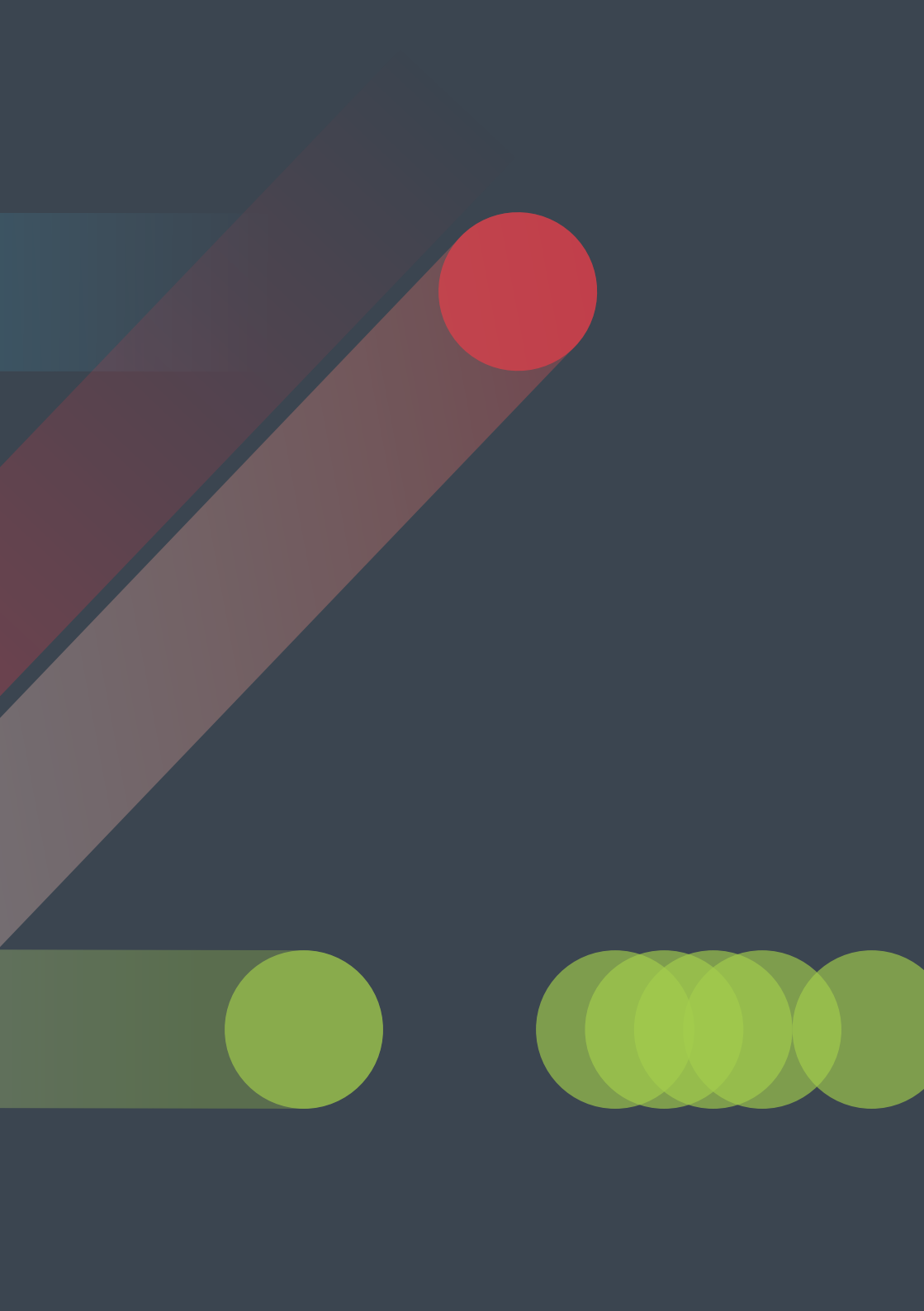
5.5G 라인
원장1,300x1,500mm

5" 패널
약 30만개

6G 라인
원장1,500x1,850mm

5" 패널
약 40만개

* 패널 생산 수량은 원장의 면적비에 따른 이론적 수치이며, 실제 수량은 면취효율 등에 따라 달라질 수 있음



디스플레이 용어알기

발행일
2023년 1월 19일

발행처
경기도 용인시 기흥구 삼성로 1
삼성디스플레이(주)

기획·집필
삼성디스플레이 커뮤니케이션팀

디자인
리틀바이리틀

인쇄
대한프린테크

문의
031- 5181- 1114

ISBN
979-11-981310-2-7

홈페이지
www.samsungdisplay.com

뉴스룸
news.samsungdisplay.com

페이스북
www.facebook.com/samsungdisplay

Copyright © SAMSUNG DISPLAY All rights reserved.
디스플레이 용어알기에 실린 글과 사진, 그림 등은 저작권법에 따라 보호를 받는 저작물이므로 무단 전재와 복제를 금지하며, 삼성디스플레이(주)의 사전 동의 없이 옮겨 사용할 수 없습니다.

SAMSUNG DISPLAY

03500
9 791198 131027
ISBN 979-11-981310-2-7