Micro-LED Displays

AR/VR Displays

OLED Displays

QD Displays

OLED, Micro-LED, QD, AR/VR 디스플레이를 위한 TFT 기술 리뷰 및 현황

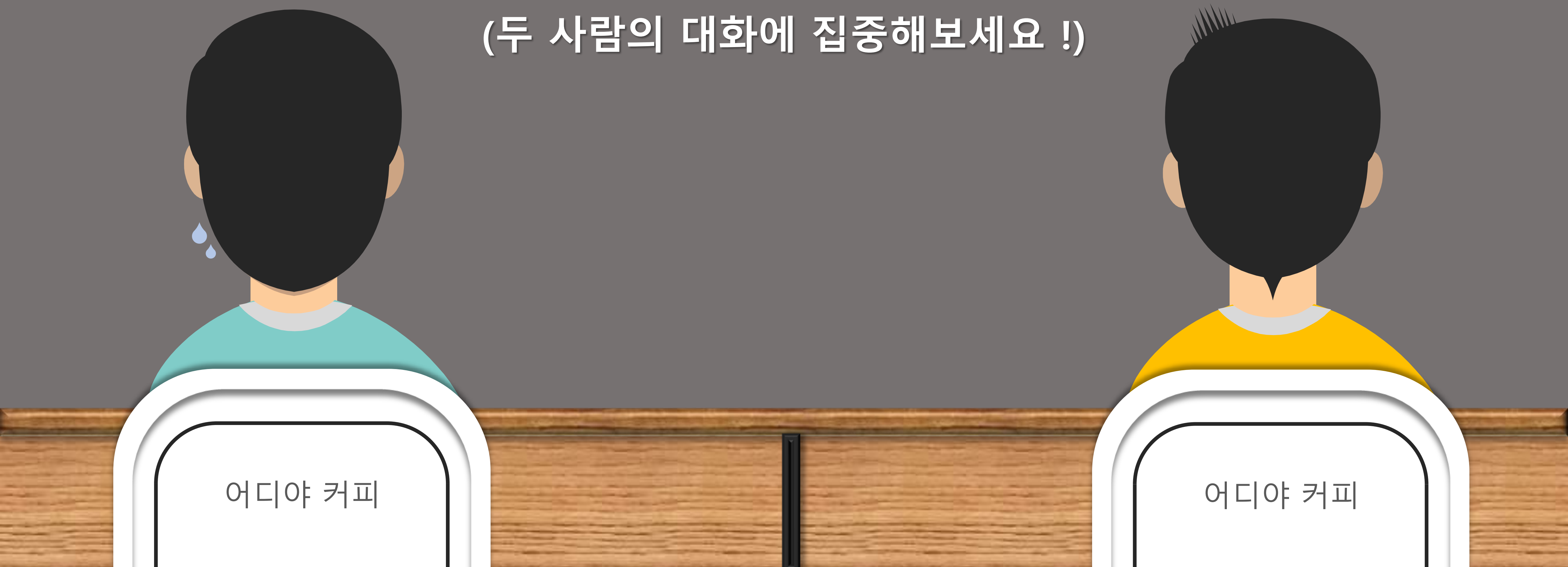
연세대학교 전기전자공학부 김현재 교수
(前 삼성전자 수석 연구원)

2022. 11. 11.

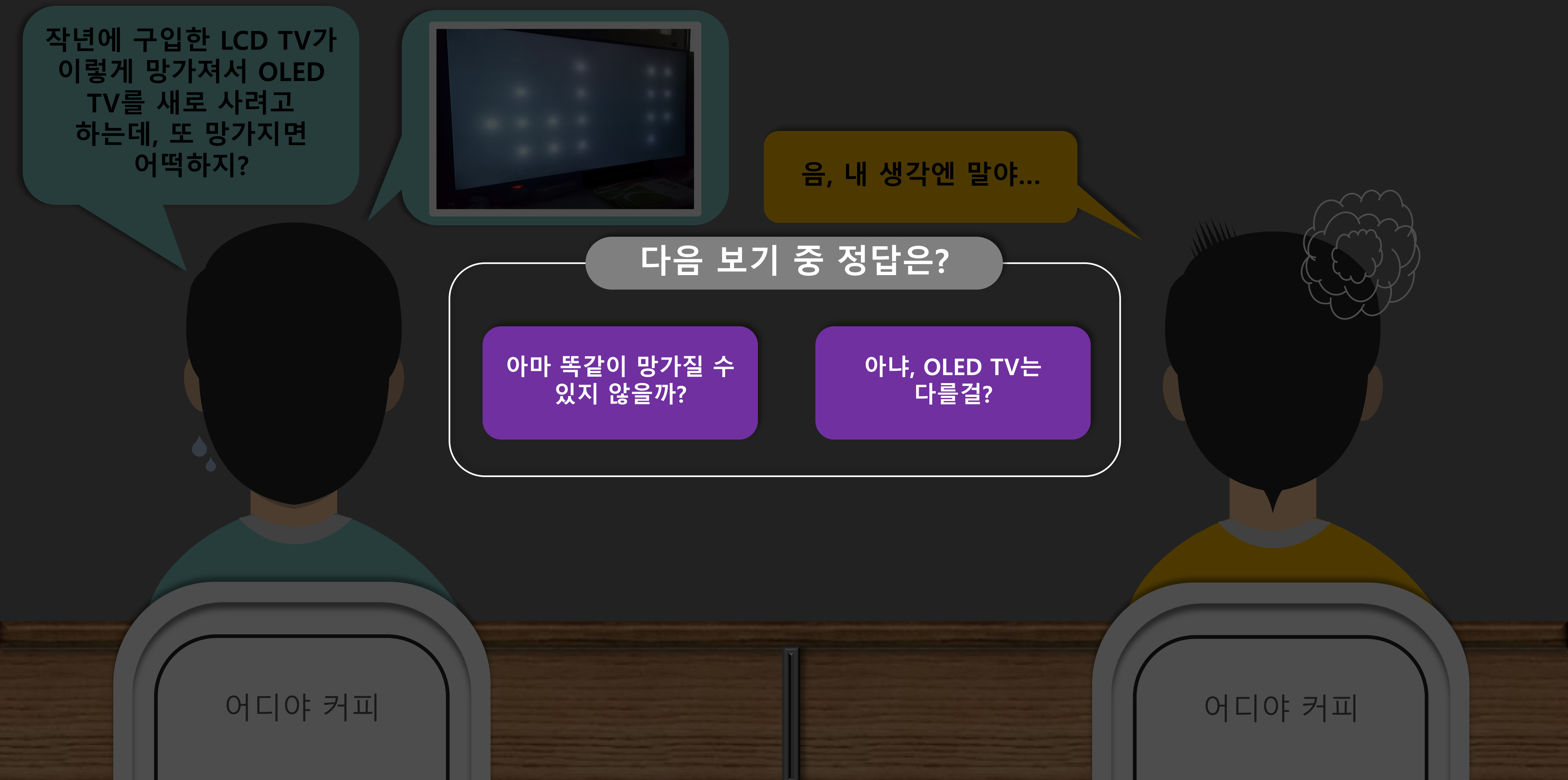
알쓸디상 (알아두면 쓸모있는 디스플레이 상식)

여러분들이 디스플레이를 얼마나 알고 계시는지 간단한 Quiz를 통해 알아볼까요?

(두 사람의 대화에 집중해보세요 !)



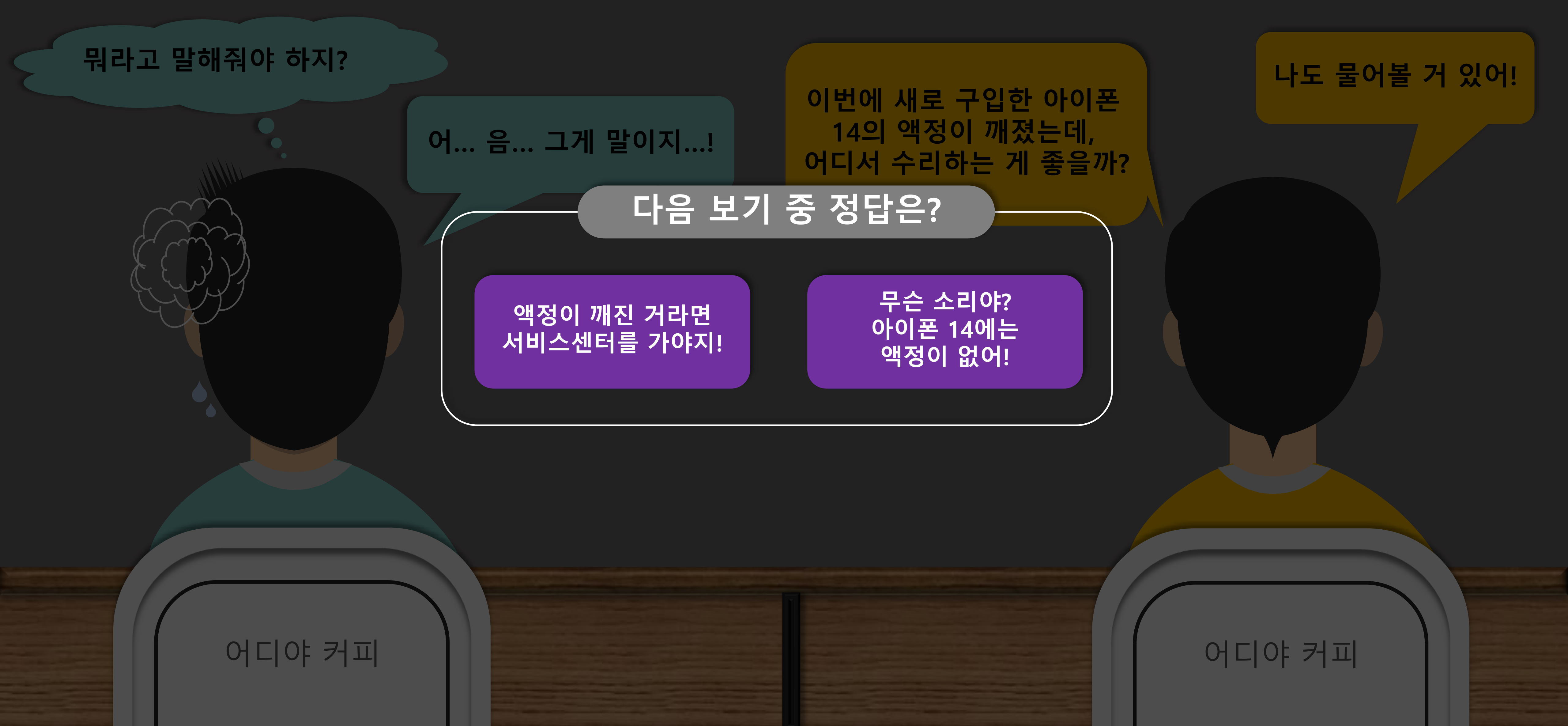
알쓸디상 (알아두면 쓸모있는 디스플레이 상식)


작년에 구입한 LCD TV가 이렇게 망가져서 OLED TV를 새로 사려고 하는데, 또 망가지면 어떡하지?
음, 내 생각엔 말야...
다음 보기 중 정답은?
아마 똑같이 망가질 수 있지 않을까?
아냐, OLED TV는 다를걸?
어디야 커피
어디야 커피

알쓸디상 (알아두면 쓸모있는 디스플레이 상식)
작년에 구입한 LCD TV가 이렇게 망가져서 OLED TV를 새로 사려고 하는데, 또 망가지면 어떡하지?
OLED TV에는 백라이트가 없습니다.
- 기존 LCD TV의 광원이 후면에 부착된 backlight였다면,
OLED TV는 광원이 자가 발광하는 유기물층 입니다.
< LCD 구조 >
Glass
R
B
G
TFT
Glass
Backlight Unit
< OLED 구조 >
Glass
R
B
G
TFT
Glass
- 사진 속 고장 원인은 backlight에서 비롯된 것이기 때문에
OLED TV에서는 사진과 같은 고장은 일어날 수 없습니다.
어디야 커피
어디야 커피


알쓸디상 (알아두면 쓸모있는 디스플레이 상식)
뭐라고 말해줘야 하지?
어... 음... 그게 말이지...!
이번에 새로 구입한 아이폰 14의 액정이 깨졌는데, 어디서 수리하는 게 좋을까?
나도 물어볼 거 있어!
어디야 커피
어디야 커피

알쓸디상 (알아두면 쓸모있는 디스플레이 상식)



알쓸디상 (알아두면 쓸모있는 디스플레이 상식)

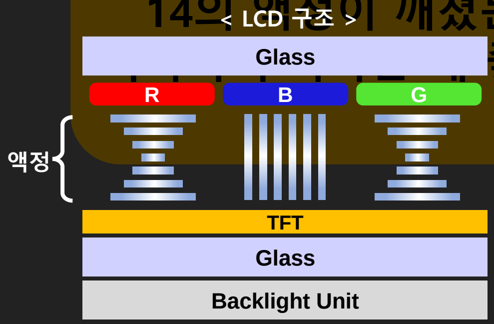
뭐라고 말해줘야 하지?

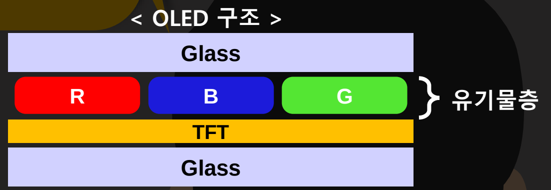
어… 음… 그게 말이지…!

나도 물어볼 거 있어!

액정이 아니라 "커버 글래스 or OLED 패널"이 맞는 표현입니다.

- 최근 출시되고 있는 모든 스마트폰은 모두 액정이 포함되어 있는 LCD 패널이 아닌 **OLED 패널을 사용**하고 있습니다.
- 즉, 최근 스마트폰에는 **액정이 존재하지 않습니다.**





⬅ OLED 패널이 깨진 경우

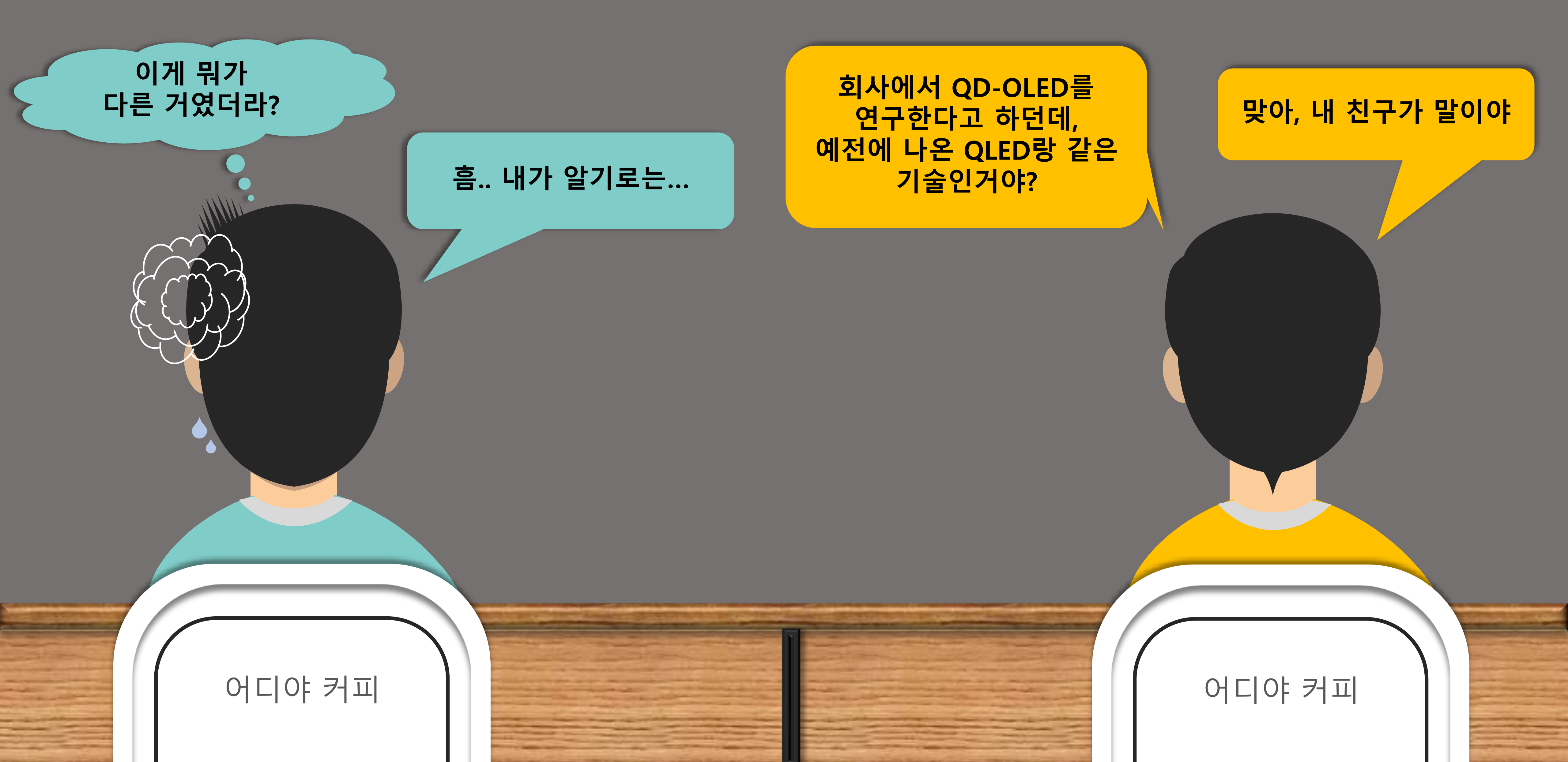
⬆ 커버 글래스가 깨진 경우

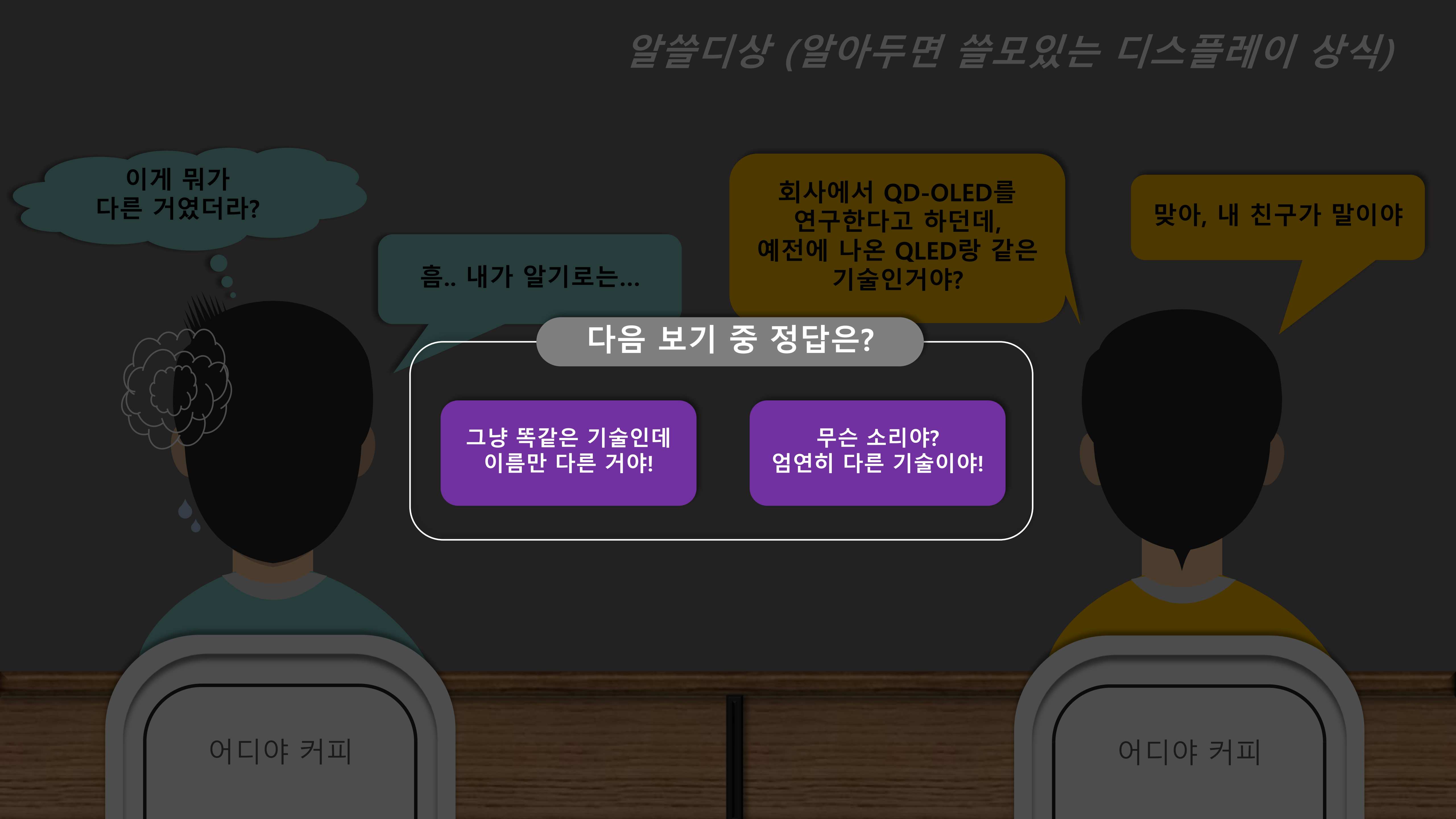
⬆ 본인 스마트폰이 LCD인지 OLED인지 확인하려면?

어디야 커피

어디야 커피

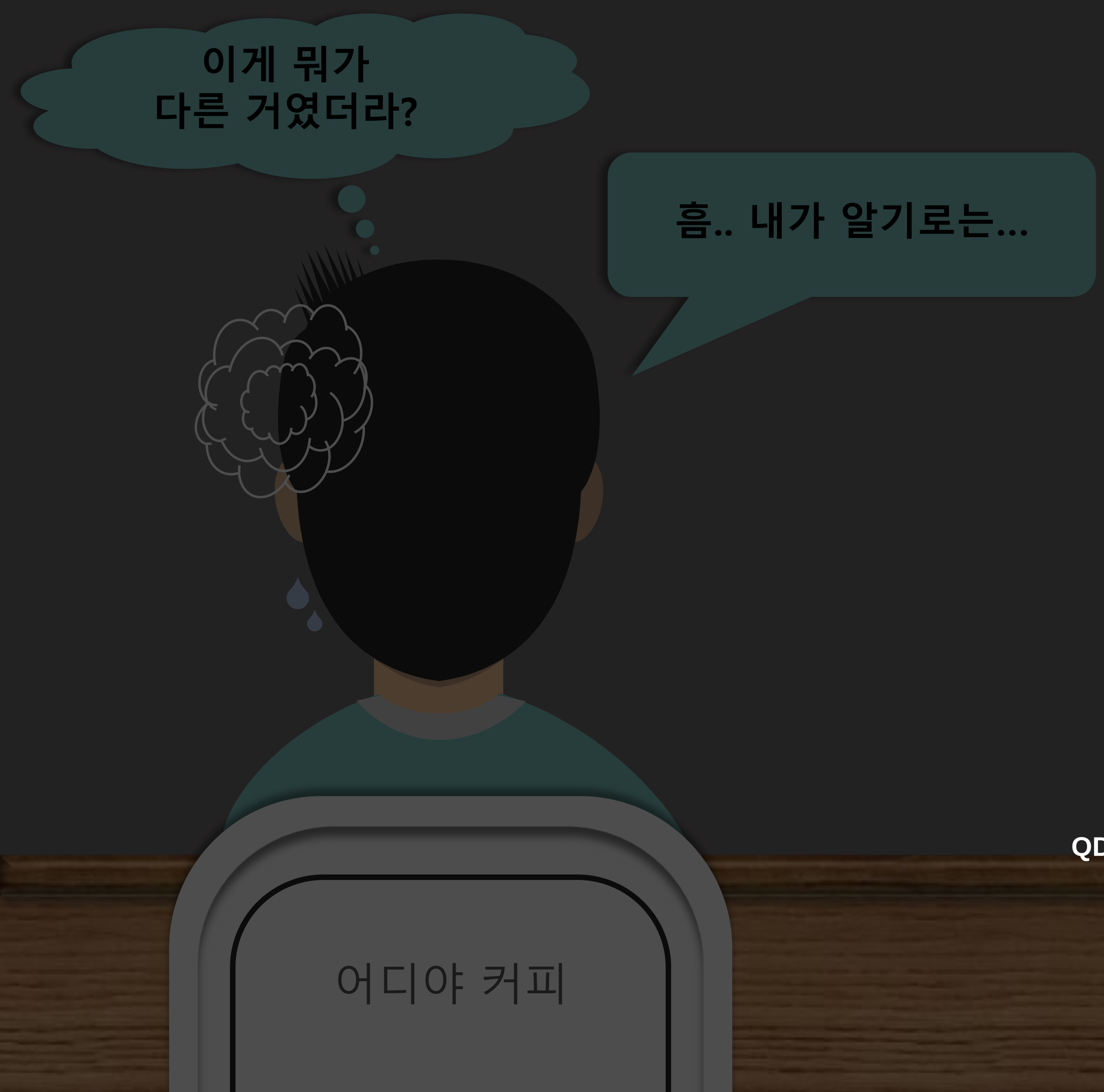
알쓸디상 (알아두면 쓸모있는 디스플레이 상식)



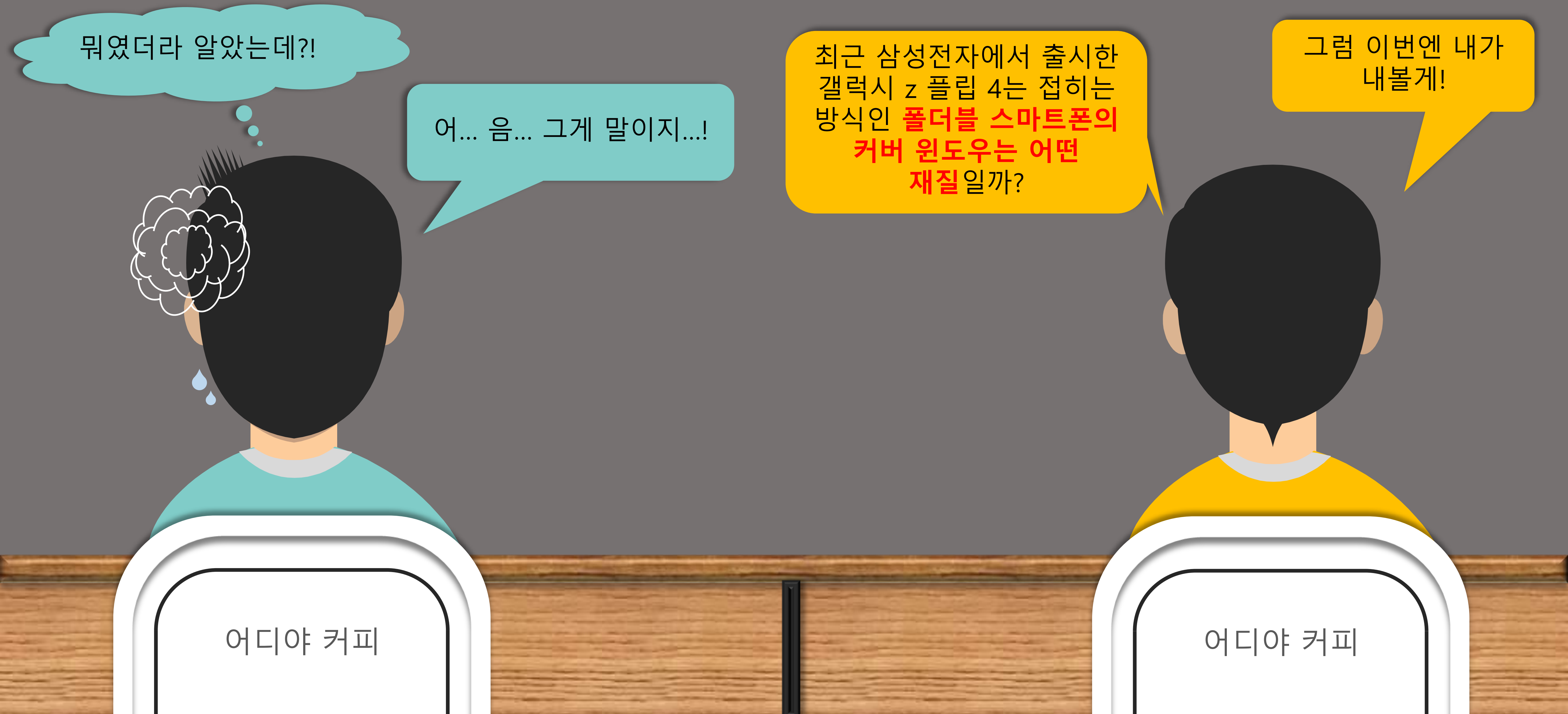

알쓸디상 (알아두면 쓸모있는 디스플레이 상식)
이게 뭐가
다른 거였더라?
흠.. 내가 알기로는…
회사에서 QD-OLED를
연구한다고 하던데,
예전에 나온 QLED랑 같은
기술인거야?
맞아, 내 친구가 말이야
다음 보기 중 정답은?
그냥 똑같은 기술인데
이름만 다른 거야!
무슨 소리야?
엄연히 다른 기술이야!
어디야 커피
어디야 커피

시중에 판매되고 있는 QLED TV는 LCD TV이지만, QD-OLED TV는 아닙니다.

- QLED TV는 기존 LCD 패널에 Quantom Dot (QD) 필름이 추가된 QD-LCD 패널로 만든 LCD TV입니다.
- 반면 QD-OLED는 OLED라는 이름에 걸맞게 backlight 없이 자체적으로 blue light을 방출하고, 이들이 QD와 만나면서 다양한 색을 표현할 수 있게 됩니다.



알쓸디상 (알아두면 쓸모있는 디스플레이 상식)



뭐였더라 알았는데?!

어... 음... 그게 말이지...!

최근 삼성전자에서 출시한 갤럭시 z 플립 4는 접히는 방식인 **폴더블 스마트폰의 커버 윈도우는 어떤 재질**일까?

그럼 이번엔 내가 내볼게!

다음 보기 중 정답은?

폴리이미드 | **폴리우레탄** | **유리**

- *일반적으로 우리가 생각하는 유리가 아닌* ***UTG(Ultra Thin Glass)로 두께가 약 100 마이크로미터인 매우 얇은 유리****입니다. 따라서, 접을 수 있고 긁힘에 강한 특성을 가져 폴더블 디스플레이용 윈도우로 사용됩니다.*

어디야 커피

어디야 커피

Contents

Contents

Spotlight on keynote addresses in SID 2022 (1/4)

❖ COVID-19로 인한 세상의 변화 및 그에 따른 디스플레이 패러다임 변화

DISPLAY WEEK

LG Display
Soo-Yong Yoon

New Normal의 시대

How has COVID-19 changed our lives and display?

Change in the living space	Acceleration of the virtual world	Increase in the importance of environment
		
디스플레이의 사용 시간이 증가하고, 더 다양한 곳에 디스플레이가 활용됨	현실과 가상을 잇는 하나의 창으로서, 디스플레이의 중요도가 증대됨	“environment-conscious” 디스플레이에 대한 필요성이 대두됨

“ 세상의 변화에 맞춰 디스플레이의 paradigm shift가 이루어져야 합니다. ”

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

Spotlight on keynote addresses in SID 2022 (2/4)

❖ 새로운 패러다임, “Natural Reality” 를 위한 OLED 디스플레이

DISPLAY WEEK

LG Display
Soo-Yong Yoon

Spec-oriented

1950s · 1990s · 2000s · 2010s

Color — Flat — FHD — Slim — Curved — UHD ....

People-oriented

Natural Reality

Naturalness	**Human-friendly**	**Eco-friendly**
Deliver creator’s intentions just the way they are	Consider the user’s health and the environment of use	Co-existence of environment and technology
- Pixel Dimming - Perfect Black - High Color Fidelity	- Low Blue Light - Less Impact on Circadian Rhythm - Flicker Free	- Less Plastic Usage - High Recycling Rate - Less Hazardous Substances

OLED

“ 현재로선, **오직 OLED 디스플레이만** Natural Reality의 조건을 충족할 수 있습니다. ”

Spotlight on keynote addresses in SID 2022 (3/4)

❖ 스마트폰의 뒤를 이을 다음 personal device는?

DISPLAY WEEK

Meta
Joe O'Keeffe

- ➢ AR/VR glasses는 스마트폰에 이어 다음 세대의 대표적인 personal device가 될 것으로 예측
- ➢ AR/VR 기술은 기억(memory)과 인지(cognition)를 증대 시키고, 새로운 경험을 겪게 해줄 것으로 기대

❖ Metaverse 시대에서의 AR/VR의 중요성

Metaverse

- ➢ A set of virtual spaces where you can create and explore with other people who aren't in the same physical space as you

"저는 AR, VR glasses를 metaverse로 이어지는 하나의 문(door)이라고 표현하고 싶습니다."

연세대학교 YONSEI UNIVERSITY

Spotlight on keynote addresses in SID 2022 (4/4)

❖ AR/VR glasses 구현을 위한 핵심 기술은 디스플레이

Meta
Joe O'Keeffe

➢ AR/VR glasses 구현을 위해선 **새로운 세대의 디스플레이(a new Gen. of Displays)**가 필요하며, VR 보다 AR이 기술적인 요구사항이 더 많다.

Technological requirements

AR glasses

- Wide **field of view** with **resolution** to match reality
- **Brightness** to compete with a sunny day
- **No artifacts** for user or neighbor (distortion, uniformity, rainbows, leakage)
- Manage **vergence accommodation** and eye movement
- **Size, weight, style, eye-box** with efficiency to enable all day use for all users
- **Manufacturable** (infrastructure available)
- **See through**

VR glasses

- Wide **field of view** with **resolution** to match reality
- ~~Brightness to compete with a sunny day~~
- **No artifacts** for user ~~or neighbor~~ (distortion, uniformity, ~~rainbows, leakage~~)
- Manage **vergence accommodation** and eye movement
- ~~Size,~~ **weight,** ~~style,~~ **eye-box** with efficiency to enable all day use for all users
- **Manufacturable** (infrastructure available)
- ~~See through~~

* Vergence accommodation: 수렴-조절 불일치

Spotlight on keynote addresses in IMID 2022 (1/3)

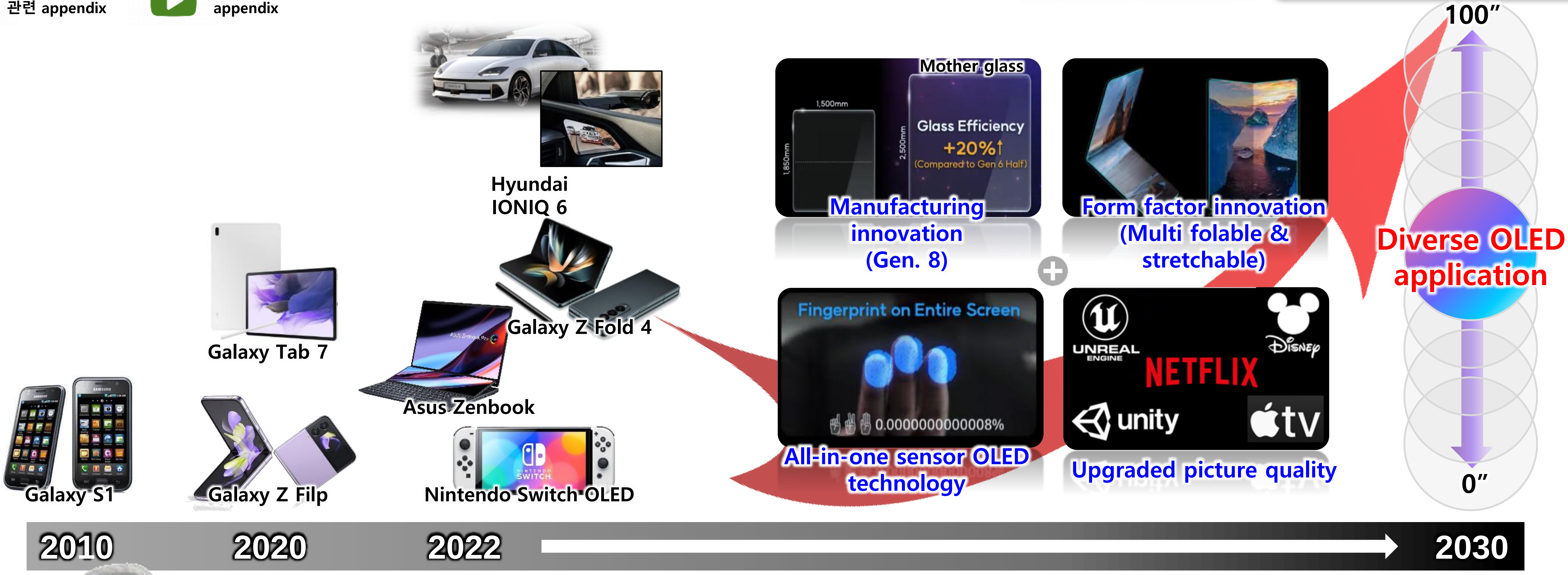
❖ Strategic transformation from LCD to OLED

애플 OLED 전환 관련 appendix

Gen. 8 관련 appendix

iMiD 2022
August 23-26, 2022 / BEXCO, BUSAN, KOREA

SAMSUNG 삼성디스플레이
Joo Sun Choi



“ 다양한 application을 위한 turning point, “Adieu LCD, Welcome OLED” ”

Spotlight on keynote addresses in IMID 2022 (2/3)

❖ 미래형 자동차를 완성하는 '이것'은? Premium OLED

차량용 premium OLED 관련 appendix

Premium OLED in automotive

iMiD 2022
August 23-26, 2022 / BEXCO, BUSAN, KOREA

SAMSUNG 삼성디스플레이
Joo Sun Choi

1. Safety technology	2. Interior design technology	3. Entertainment technology

- 코로나19 사회적 거리두기로 인해 차 안에서 보내는 시간이 증가, 차량용 디스플레이 활용도가 증가하는 추세
- 운전자의 안전성을 위해 true black, fast response time, privacy mode 관련 OLED 기술이 중요
- Narrow bezel, multi-lamination 기술의 경우, 계기판 클러스터와 센터페시아 디스플레이를 하나로 이어지는 형태의 디자인하는 기술로 프리미엄 자동차를 위한 핵심 인테리어 기술

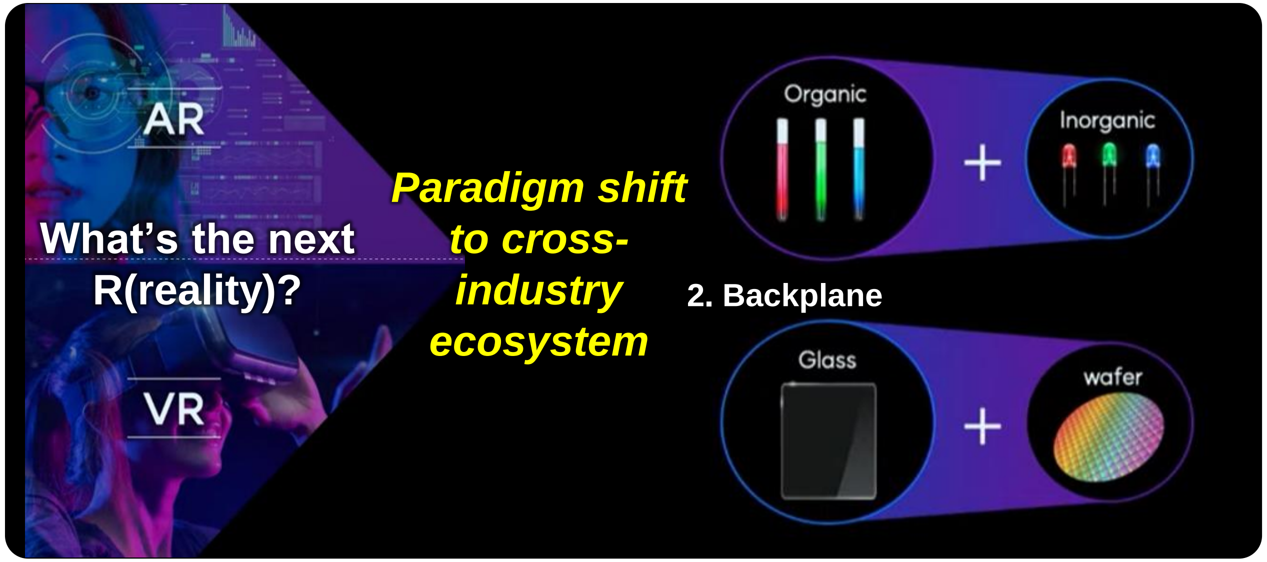
"더 나은 car UX (user experience)를 위해서는 premium display가 필수적입니다."

Spotlight on keynote addresses in IMID 2022 (3/3)

❖ 다양한 R(reality)에 대처할 수 있는 핵심 기술 : Micro display

iMiD 2022
August 23-26, 2022 / BEXCO, BUSAN, KOREA

SAMSUNG 삼성디스플레이
Joo Sun Choi



- AR/VR/MR/XR 등 어떠한 R이 자리 잡을지 예측할 수 없지만, micro display는 다양한 R에 대한 기술적인 솔루션을 제공할 수 있을 것으로 예측
- Light source와 backplane이 가장 강력하게 변화할 것으로 예측
- 반도체, 디스플레이, 물리학, 광학 등 다양한 산업 분야와의 협업 요구

❖ Vision of Samsung's Micro display

Key challenges: Red LED material → Waveguide solution

2022	2023	2024	2025	2026
Early stage	Line construction	Mass production	Expanding capacity	Commercialization

" Micro display에서 디스플레이 산업 paradigm 변화가 특히 두드러질 것 "

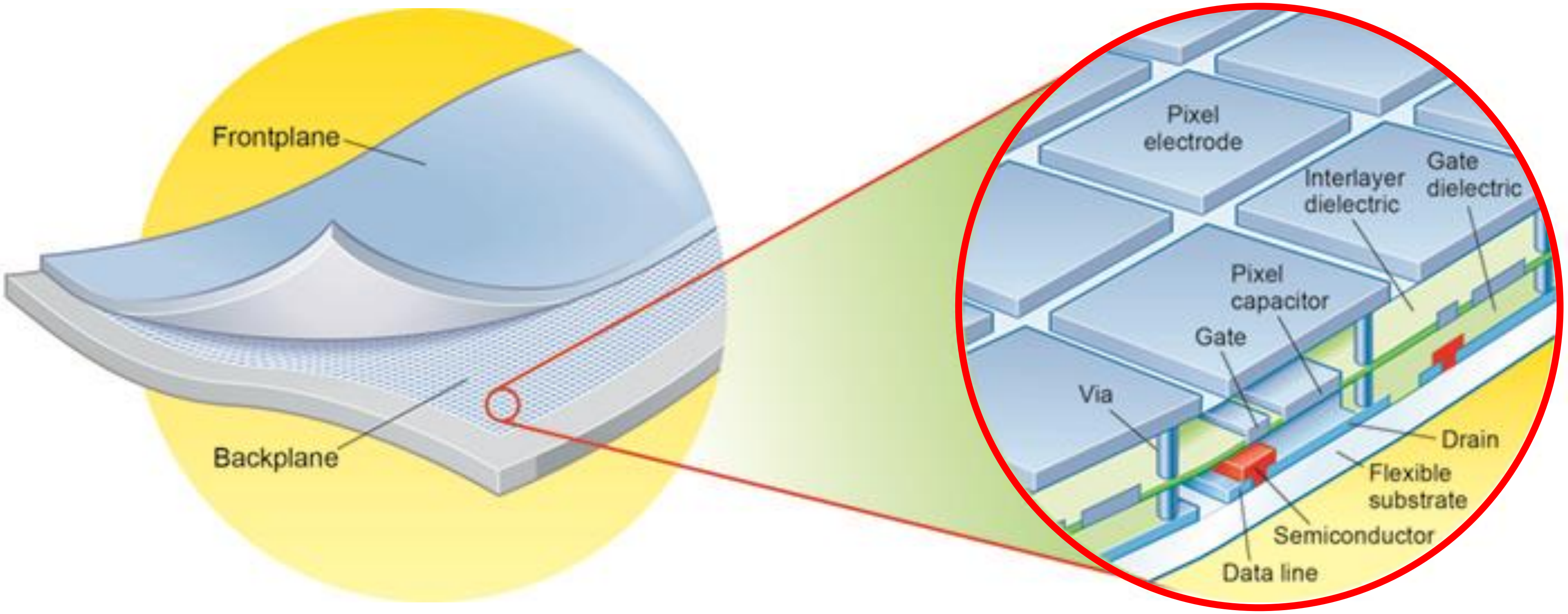
연세대학교 YONSEI UNIVERSITY

Contents

What is the display backplane?

- Display frontplane: "Display media" - the layer that makes the image you see (LC, OLED, color filter, etc.)
- Display backplane: "Logic media" (TFTs, backlight, etc.)

  - An array of TFTs that control which pixels in the frontplane turn on and off



- Importance in combination of frontplane & backplane

  : 디스플레이의 용도와 다양한 frontplane 종류에 따라 적합한 backplane 선택이 필요 !

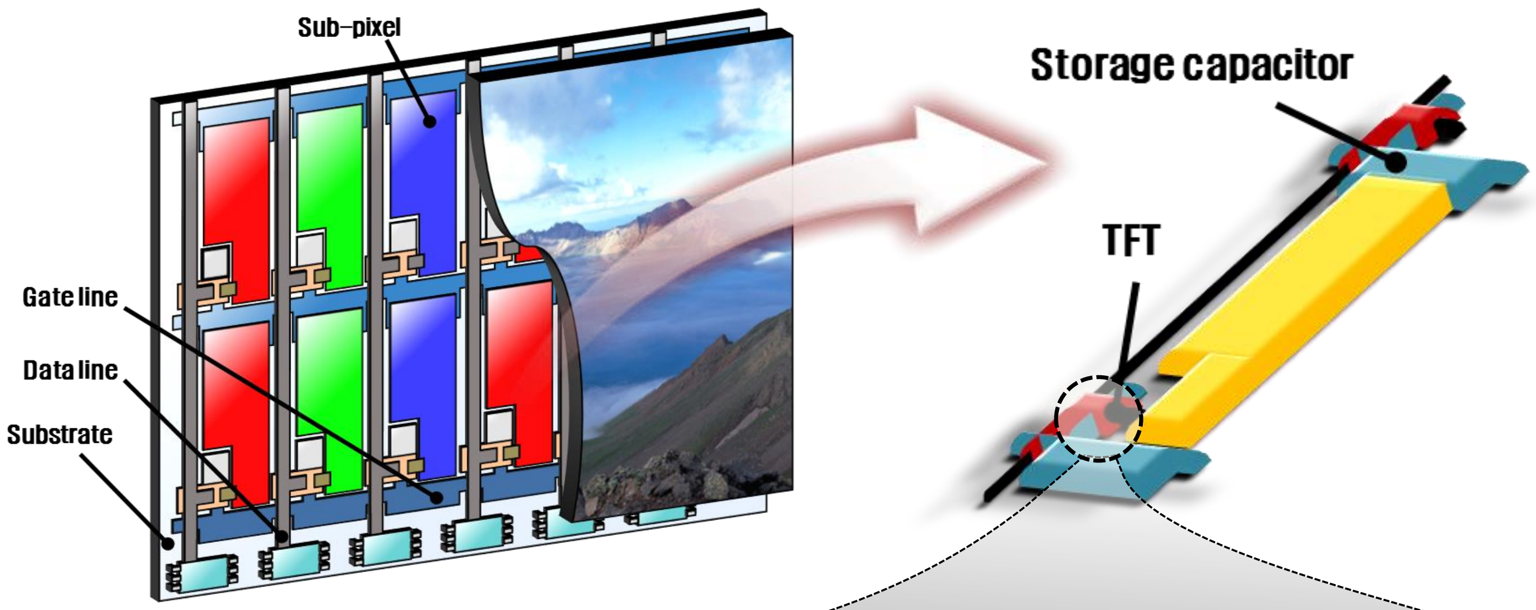
  이를 이해하기 위해서, TFT의 기본적인 동작 원리와 상용화된 TFT들에 대한 배경지식이 필수적

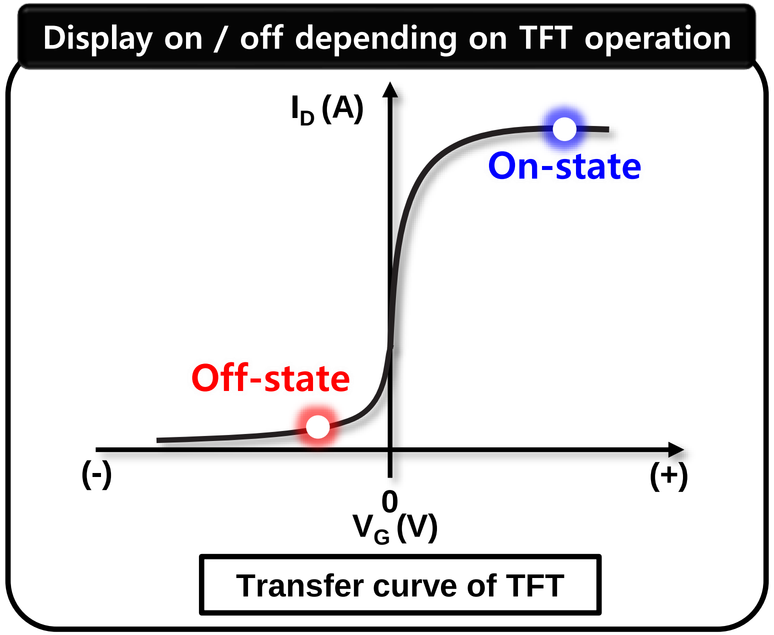
* LC: liquid crystal
* OLED: organic light emitting diode
* TFT: thin film transistor

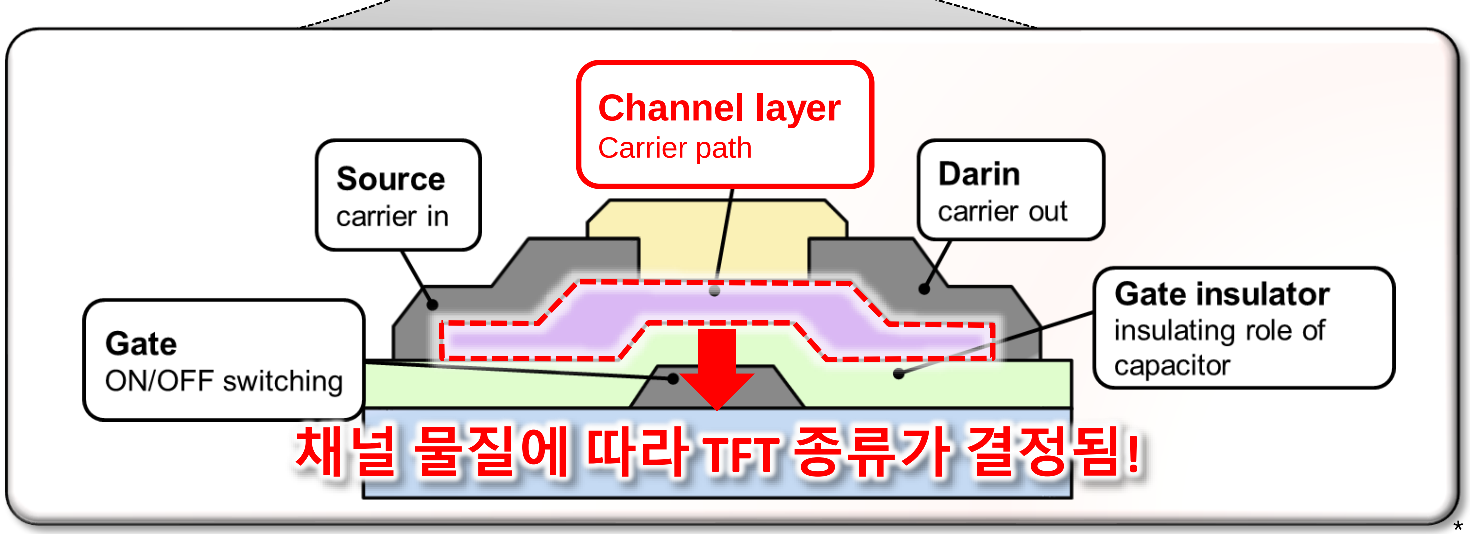
* 출처: FlexEnable

TFT operation

- **TFT: Switching (on/off) device for active-matrix LCD, OLED**



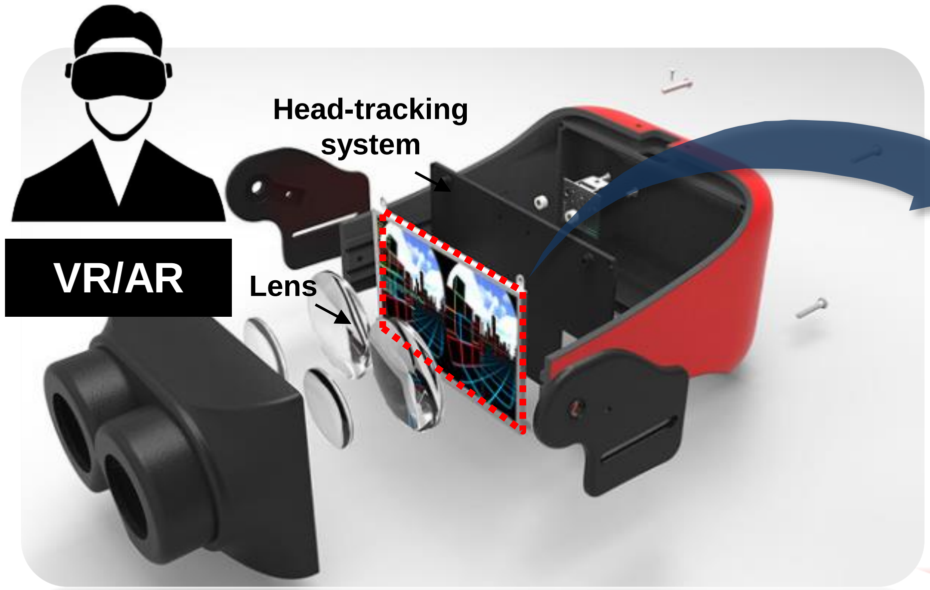




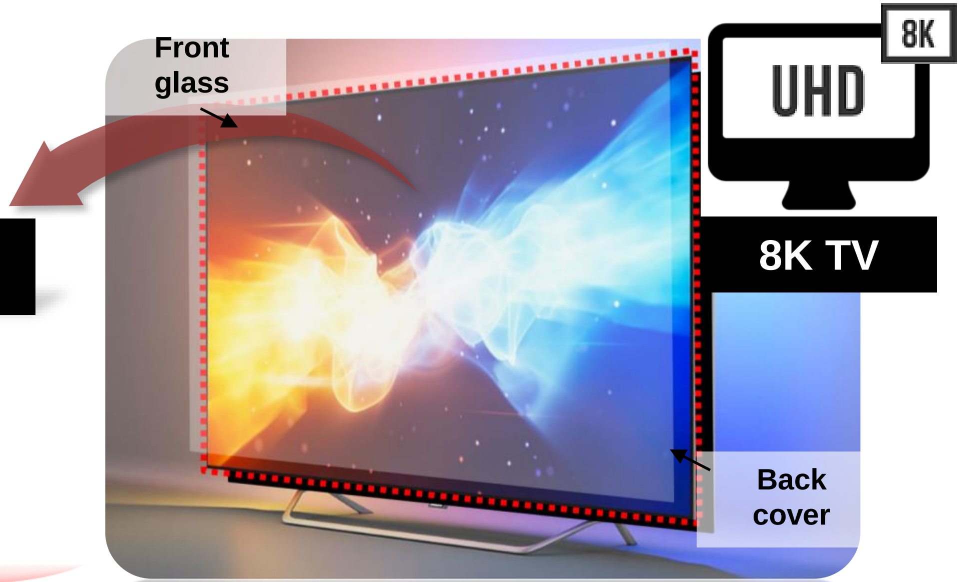
* LCD: liquid crystal display
* V_G, I_D: gate voltage, drain current

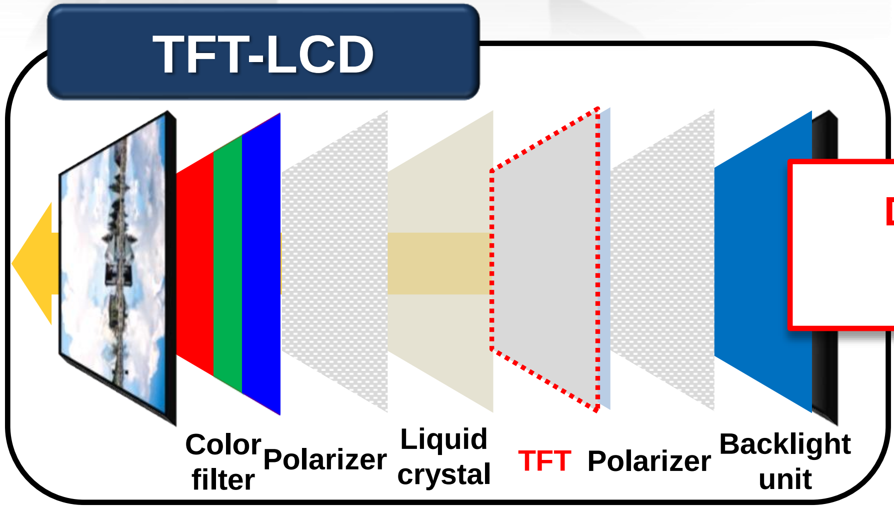
연세대학교 YONSEI UNIVERSITY

Where is TFT?

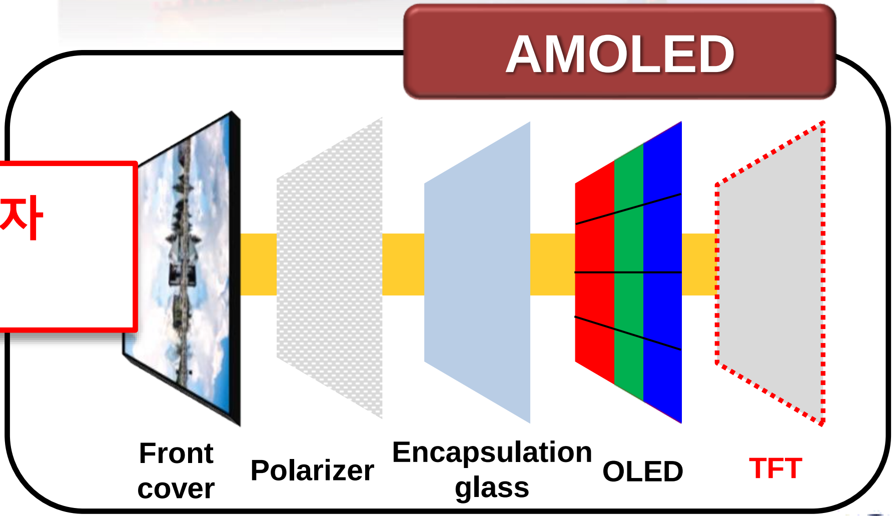


Display panel



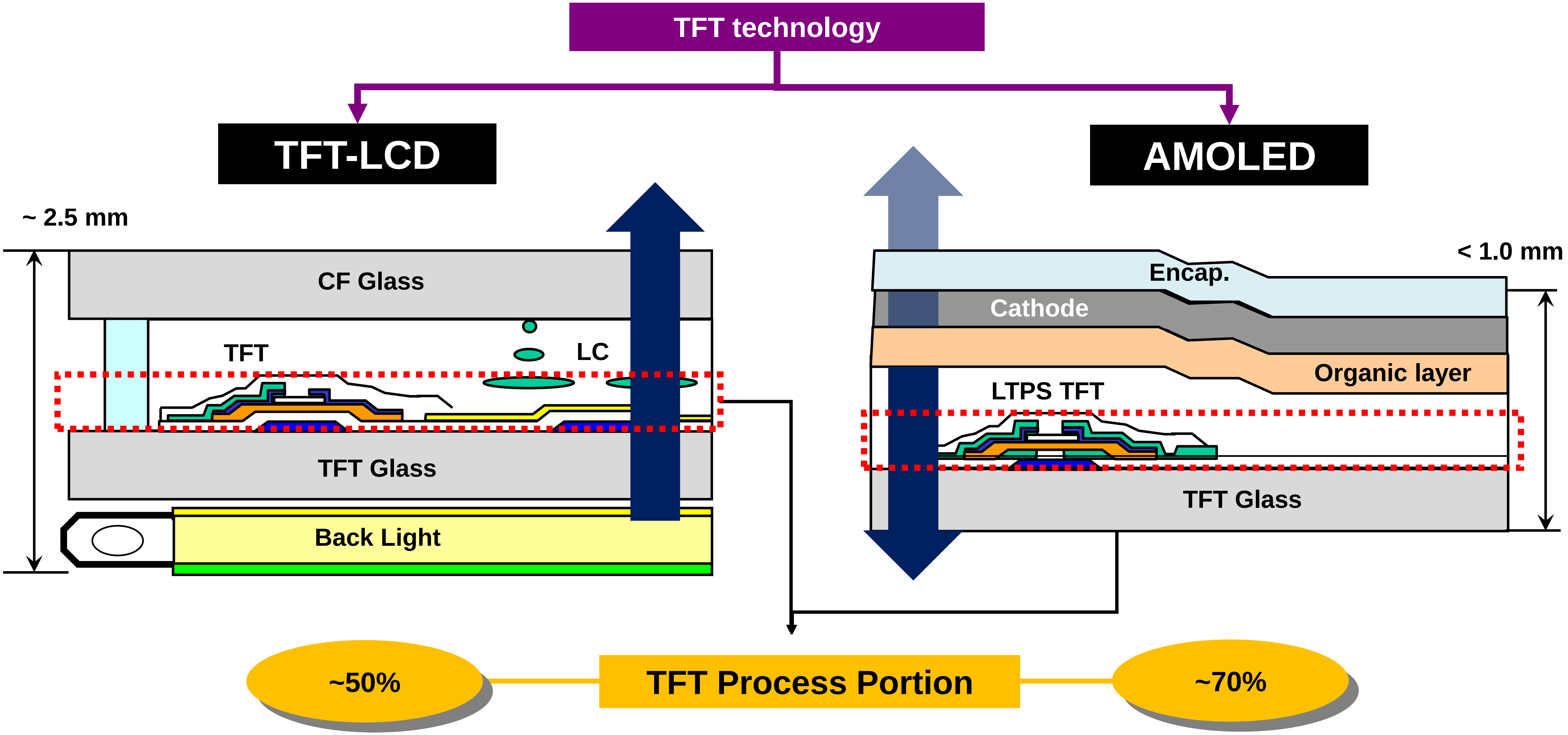


디스플레이의 핵심소자
➔ TFT!!



* AMOLED: active matrix organic light emitting diode
* UHD: ultra high definition

TFT in LCD & OLED

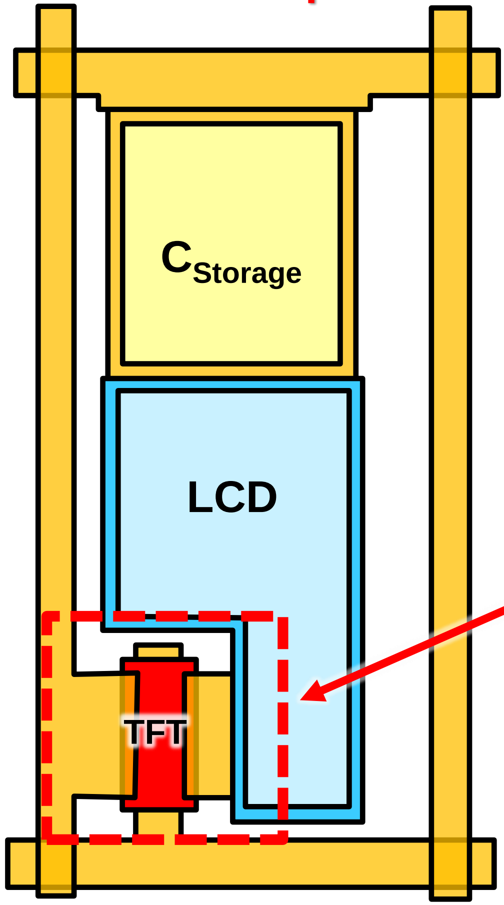


* CF: color filter
* LTPS: low-temperature polycrystalline silicon

Usages of TFTs in display backplane

- ❖ Controlling the current by gate bias
- ❖ Switching TFT used in active-matrix LCD, OLED
- ❖ Driving TFT used in OLED

< LCD Backplane >

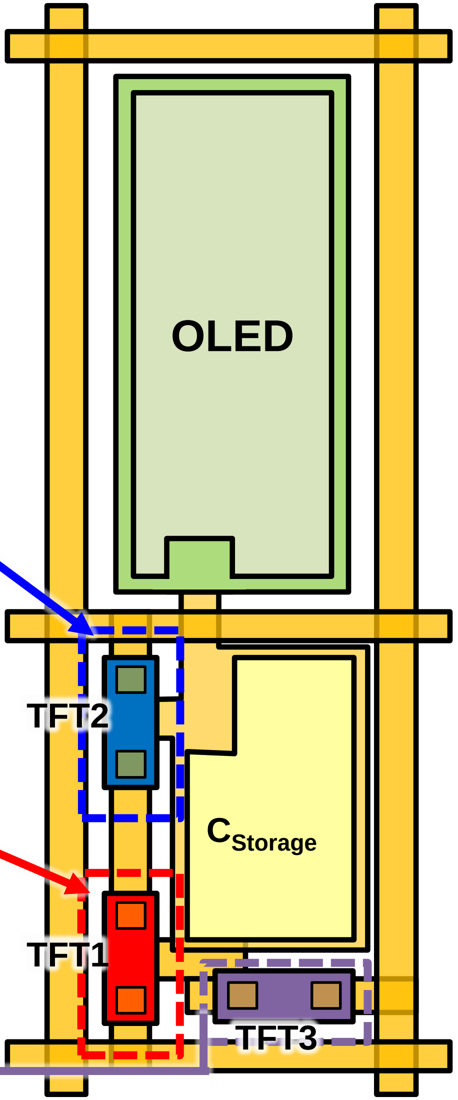


Driving TFT
- OLED 만 필요함
- 대부분의 시간은 켜져 있음
- 면적 (a-Si>>Oxide>>LTPS)
- V_{th} uniformity 중요함

Switching TFT
- LCD 와 OLED 다 있음
- 대부분의 시간은 꺼져있음
- 면적 (a-Si>>Oxide>>LTPS)
- On/off current ratio 중요함

Compensation circuit
- Driving TFT variation 보상

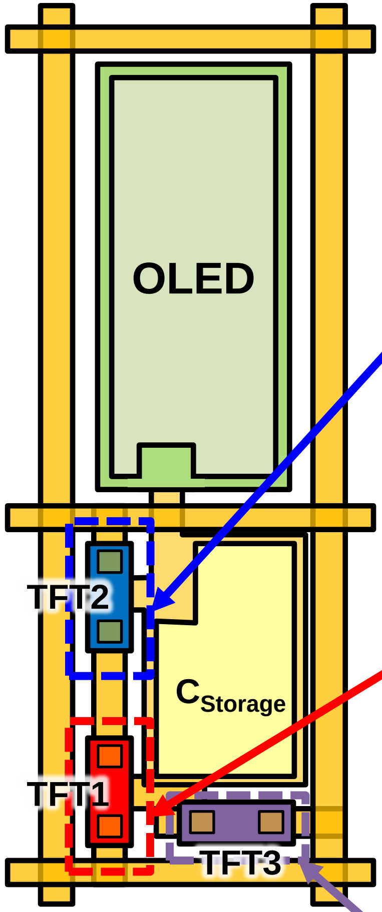
< OLED Backplane >



* V_{th}: threshold voltage * a-Si: amorphous silicon

그렇다면, micro-LED & QD 디스플레이 用 TFT Backplane은?

< OLED backplane >



Driving TFT

- 픽셀의 밝기를 조절
- 대부분의 시간은 켜져 있음
- V_{th} uniformity 중요함

Switching TFT

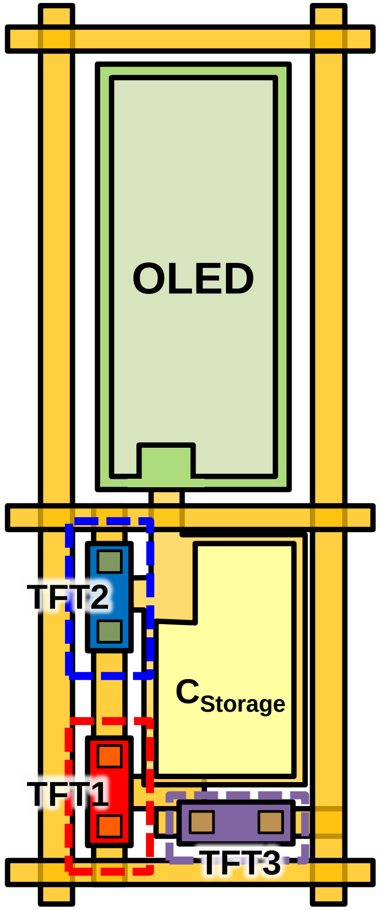
- 픽셀의 on/off를 결정 (driving TFT를 작동시킬지 결정)
- 대부분의 시간은 꺼져 있음
- 면적 (a-Si>>Oxide>>LTPS)
- On/off current ratio 중요함

Compensation circuit

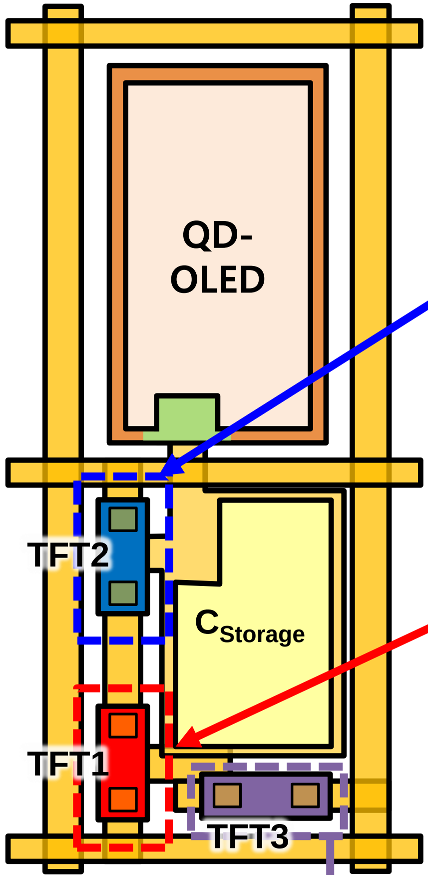
- Driving TFT variation 보상

그렇다면, micro-LED & QD 디스플레이 用 TFT Backplane은?

< OLED backplane >



< QD-OLED backplane >



결국 구조는 똑같다!

Driving TFT

- 픽셀의 밝기를 조절
- 대부분의 시간은 켜져 있음
- V_{th} uniformity 중요함

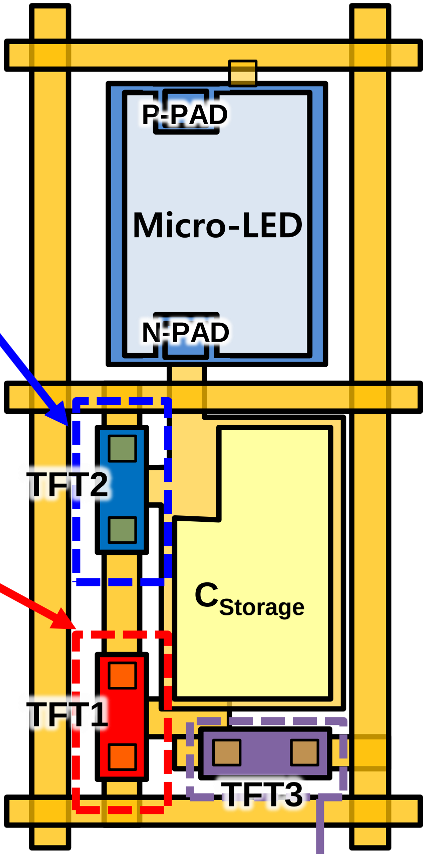
Switching TFT

- 픽셀의 on/off를 결정 (driving TFT를 작동시킬지 결정)
- 대부분의 시간은 꺼져 있음
- 면적 (a-Si>>Oxide>>LTPS)
- On/off current ratio 중요함

Compensation circuit

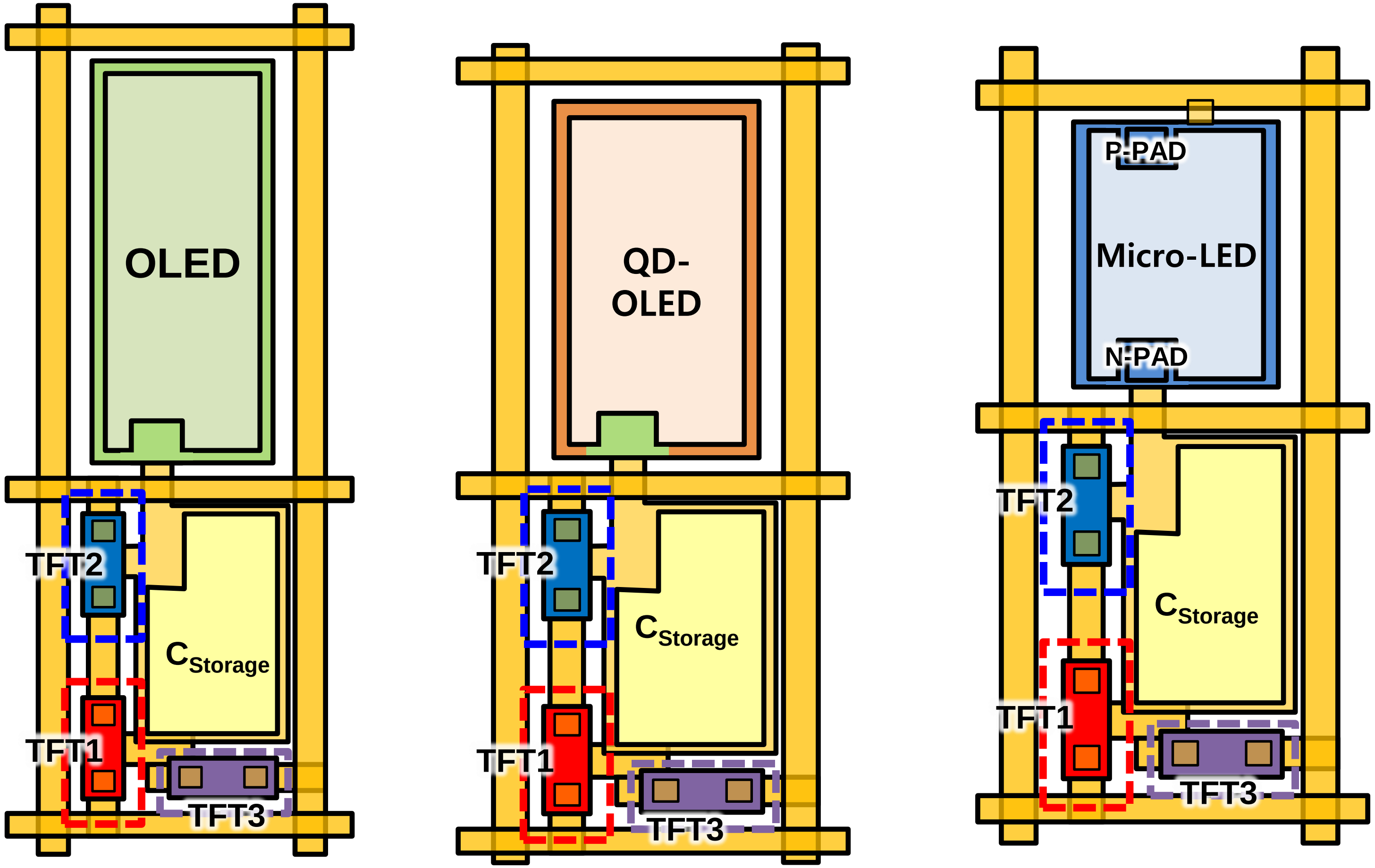
- Driving TFT variation 보상

< Micro-LED backplane >



그렇다면, micro-LED & QD 디스플레이 用 TFT Backplane은?

< OLED backplane >　< QD-OLED backplane >　< Micro-LED backplane >



LTPS TFT

↓

Mobile display

Oxide TFT

↓

Large-area display

TFT 선택에서 중요한 건,
디스플레이 크기 (모바일/TV/IT기기 등)!

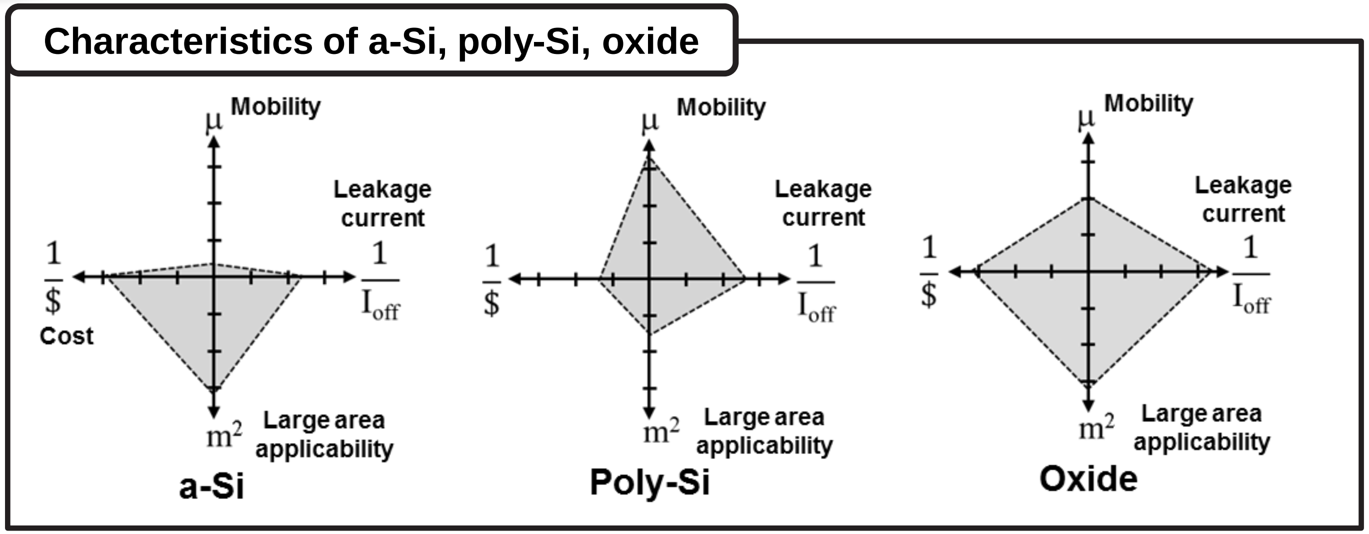
상용화된 TFT의 종류

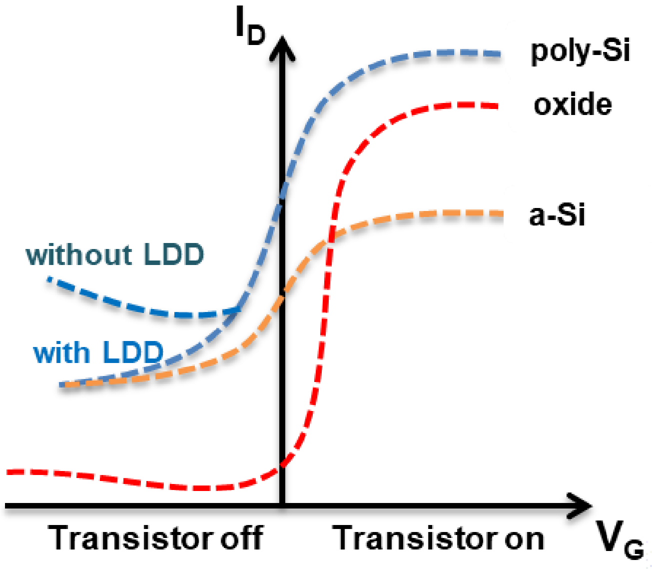
Now

a-Si
- 1979~ a-Si TFT
- 2004 a-Si LCD TV (57 inch)
- 2008 a-Si LCD TV (108 inch)
- 2013 a-Si UHD LCD TV (65 inch)
- 2022 a-Si 8K LCD TV (86 inch)

LTPS
- 1995~ LTPS TFT
- 2010 LTPS LCD iPHONE 4
- 2012 LTPS OLED GALAXY S4
- 2017 LTPS 2250 ppi VR
- 2022 LTPS OLED iPhone 14

Oxide
- 2004~ a-IGZO TFT
- 2012 SHARP IGZO IPAD 3
- 2013 Oxide OLED TV (55 inch)
- 2022 OLED-EX 8K TV (97 inch)





* LDD: lightly doped drain

Contents

모바일 디스플레이의 강자: LTPS TFT

Now

a-Si
- 1979~ a-Si TFT
- 2004 a-Si LCD TV (57 inch)
- 2008 a-Si LCD TV (108 inch)
- 2013 a-Si UHD LCD TV (65 inch)
- 2022 a-Si 8K LCD TV (86 inch)

LTPS
- 1995~ LTPS TFT
- 2010 LTPS LCD iPHONE 4
- 2012 LTPS OLED GALAXY S4
- 2017 LTPS 2250 ppi VR
- 2022 LTPS OLED iPhone 14

Oxide
- 2004~ a-IGZO TFT
- 2012 SHARP IGZO IPAD 3
- 2013 Oxide OLED TV (55 inch)
- 2022 OLED-EX 8K TV (97 inch)

Mobile product using LTPS TFT

DELL Technologies

Dell Visor VR118

SAMSUNG

Galaxy S22

iPhone 14

LTPS TFT

Mobile display

대면적 디스플레이의 강자: Oxide TFT

Now

a-Si

- 1979~ a-Si TFT
- 2004 a-Si LCD TV (57 inch)
- 2008 a-Si LCD TV (108 inch)
- 2013 a-Si UHD LCD TV (65 inch)
- 2022 a-Si 8K LCD TV (86 inch)

LTPS

- 1995~ LTPS TFT
- 2010 LTPS LCD iPHONE 4
- 2012 LTPS OLED GALAXY S4
- 2017 LTPS 2250 ppi VR
- 2022 LTPS OLED iPhone 14

Oxide

- 2004~ a-IGZO TFT
- 2012 SHARP IGZO IPAD 3
- 2013 Oxide OLED TV (55 inch)
- 2022 OLED-EX 8K TV (97 inch)

TV product using oxide TFT

TCL

65 inch 4K QLED TV

SAMSUNG

85 inch 8K QLED TV

LG Display

97 inch 8K OLED TV

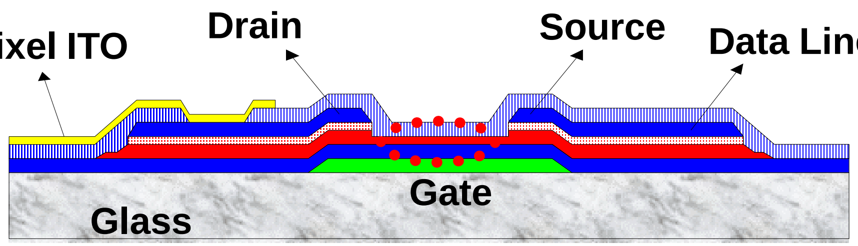
Oxide TFT

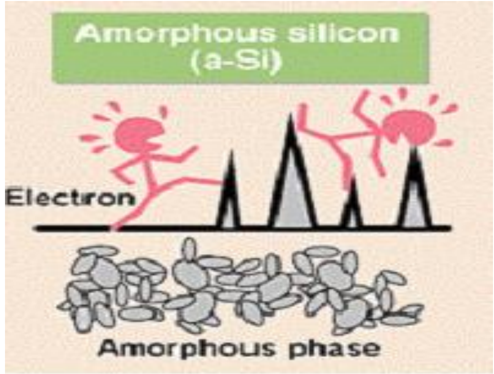
Large-area display

연세대학교 YONSEI UNIVERSITY

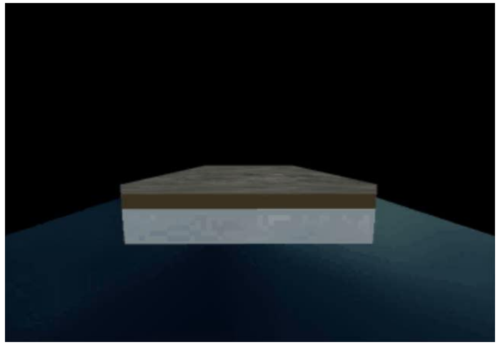
LTPS TFT vs. Oxide TFT: 1) Channel 물질

a-Si TFT Process

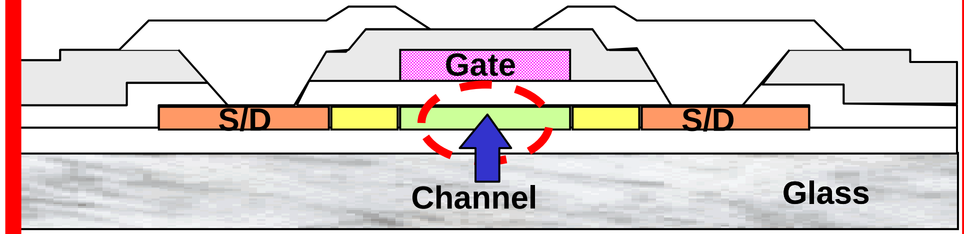


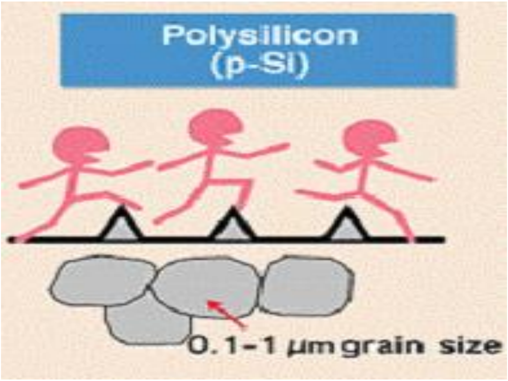


Low Temperature Polycrystalline Silicon



LTPS TFT Process





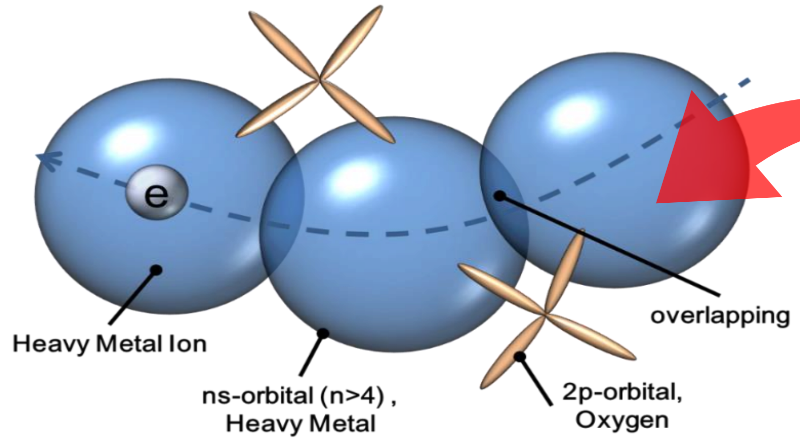
a-Si TFT		LTPS TFT
Mobile, labtop, monitor, TV	Application	High-end mobile
4~5 mask NMOS	Process	~5 mask PMOS, ~8 mask CMOS
Bottom gate	Architecture	Top gate

* CMOS: complementary metal oxide semiconductor

연세대학교 YONSEI UNIVERSITY

LTPS TFT vs. Oxide TFT: 1) Channel 물질

Oxide semiconductor



Conduction band → CBM: Electron pathway (ns-orbital of metal cation)

Band gap ≥ 3.1 eV

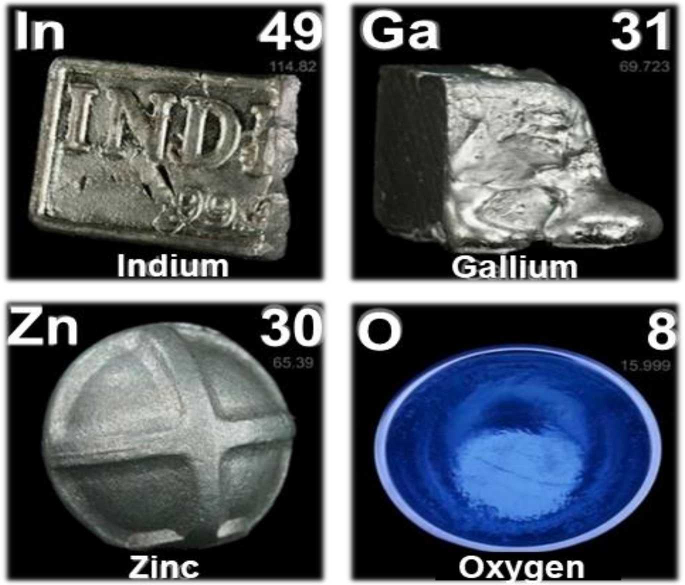
Valence band → VBM: Hole pathway (2*p*-orbital of oxygen)

* CBM: conduction band minimum

* VBM: valence band maximum

Core materials

I	Indium	**G**	Gallium
Z	Zinc	**O**	Oxygen



❖ ns-orbital of cation: provide the main pathway for carrier transport

➔ Superior electrical performance even in the amorphous phase

LTPS TFT vs. Oxide TFT: 2) 장점 비교

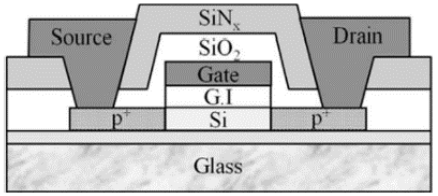
Mature technology

1st LTPS line [1996.10]
Toshiba 12.1" LTPS [1997.12]
LGD 6th LTPS line [2012.07]
Galaxy Fold [2019.09]
iPhone 12 Pro [2020.10]
Galaxy S22 [2022.02]

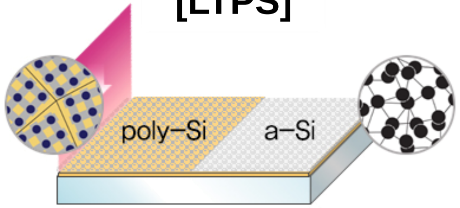
- ✓ History of LTPS more than 20 years
- ✓ LTPS LCD production yield > 90%
- ✓ Experience in LTPS LCD ➔ Risk ↓

Superior performance

[PMOS]

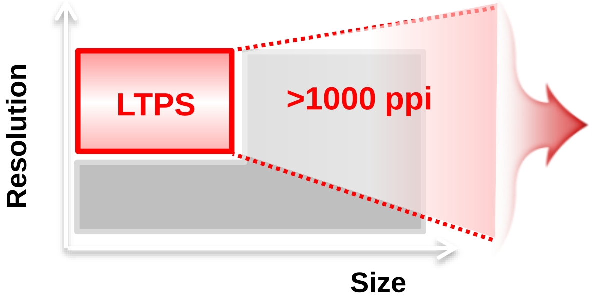


[LTPS]



- Mobility: PMOS ~ 100 cm^2/Vs
  (No LDD ➔ Aging process)
- Stable under circumstances (light & moisture)

Suitable for high resolution



VR glasses

- Twin LTPS TFT-LCD for VR glasses
- 1058 ppi & 2.1 inch for each screen

* ppi: pixel per inch

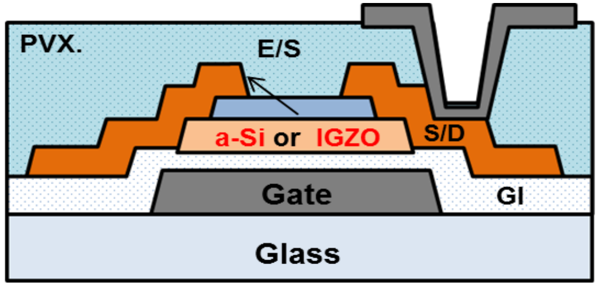
* LDD: lightly doped drain

LTPS TFT vs. Oxide TFT: 2) 장점 비교

❖ Oxide TFT: replacing Si based TFT

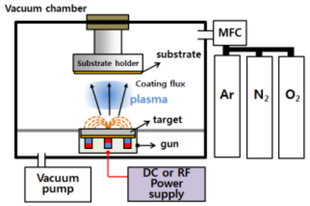
Close to a-Si TFT structure

- 기존의 제조 라인 사용 가능
- a-Si와 비슷한 mask 수 (~6 mask)



Large scale deposition

- PVD process (sputter) 사용으로 대면적화
- Gen. 10 이상의 증착 가능
(Gen. 10: 2.8 m x 3.1 m)

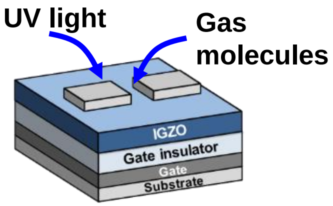


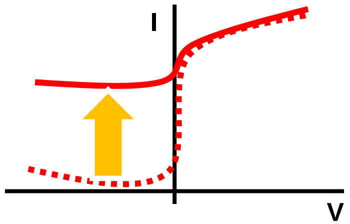
대면적 디스플레이로의 활용

균일한 이동도 특성을 갖는 산화물 반도체
➔ LTPS TFT는 불가능한 대면적화 가능

Optimized sensor application

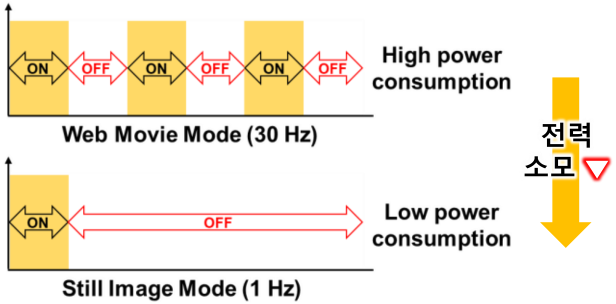
- 높은 민감도 (gas molecules, UV light 등)
- 높은 투명도와 민감도로 패널 내 센서 적용에 유리





Very low off current

- LTPS: ~10^{-12}(w/ LDD), oxide: < 10^{-12}
- 'Always on display'에 유리



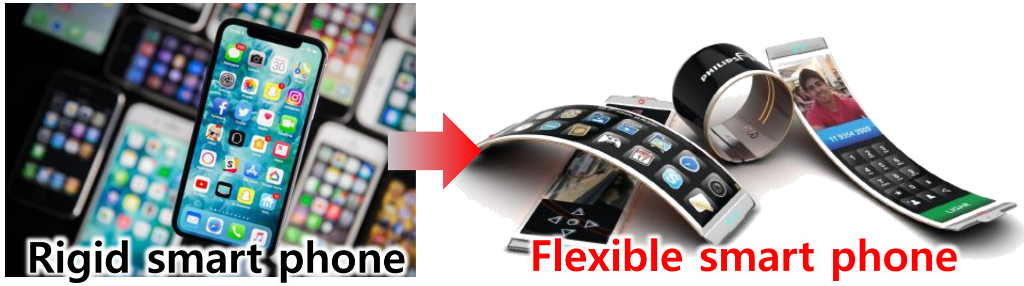
저전력 디스플레이로의 활용

VRR function (1 Hz operation) 사용
➔ 모바일 디스플레이의 저전력화 가능

* VRR: variable refresh rate
* PVD: physical vapor deposition

LTPS TFT vs. Oxide TFT: 3) 최근 이슈 비교

1. Flexibility



폴더블 제패 삼성... '롤러블 · 슬라이딩폰 시대' 앞당긴다

- 슬라이딩폰 관련 특허 20종 신규 출원... '연내 출시설'
- 롤러블·슬라이드 아웃 디스플레이 적용 새 폼팩터 개발에 집중

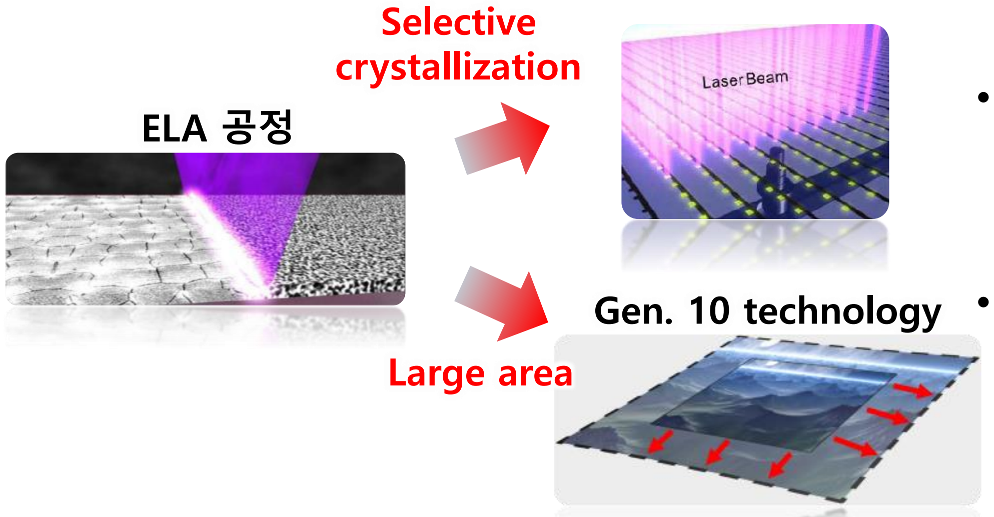
[Ref.] 뉴데일리 경제, 2022.06.15

- 중소형 디스플레이 시장에서 **폼팩터의 변화**가 큰 이슈

  ➔ 우수한 **유연성**이 요구됨

- 우수한 유연성을 확보하기 위해서는 LTPS TFT 의 **기계적 신뢰성**이 뒷받침되어야 함

2. Crystall-ization



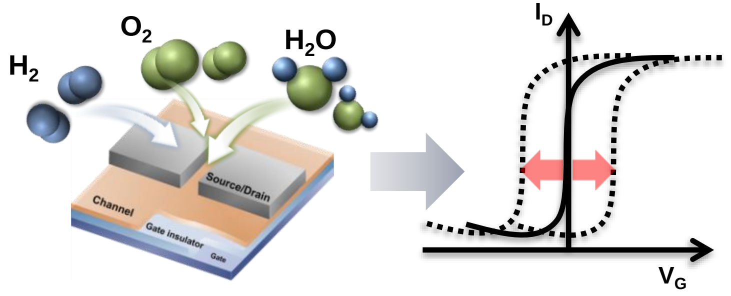
- LTPS 제작 시, 패널 대비 유효 채널 영역이 현저히 작아 **낭비되는 레이저 에너지 양**이 큼
- LTPS는 **대면적**으로 균일하게 형성하는데 어려움이 있음

  ➔ 現 LTPS (Gen. 6.5) << Oxide (Gen. 10.5)

* ELA: excimer laser annealing

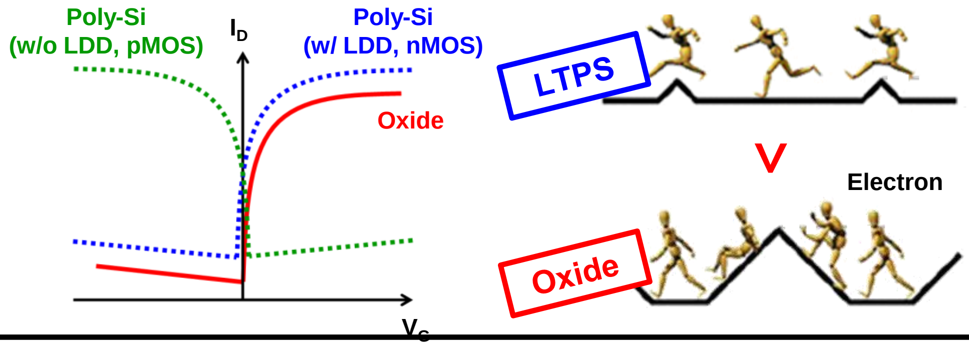
LTPS TFT vs. Oxide TFT: 3) 최근 이슈 비교

1. Stability



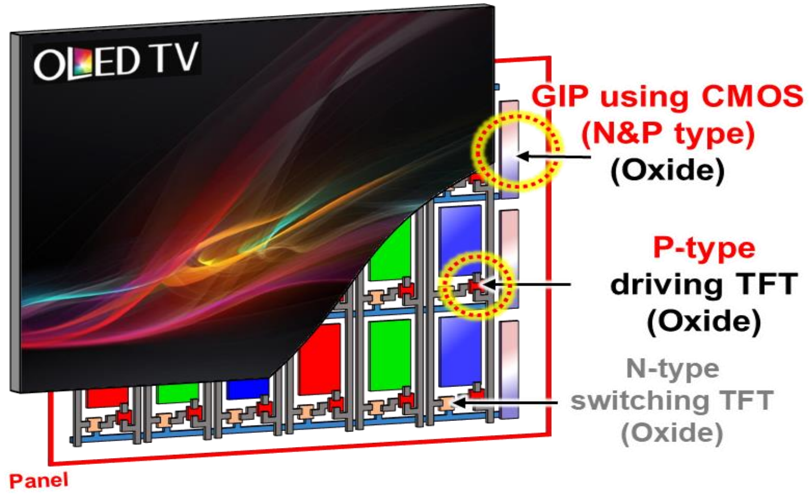
- 산화물 박막 내 V_o (oxygen vacancy)의 분포
- 외부 환경에 취약 (bias/temp./light etc.)

2. Mobility



- LTPS TFT: > 100 cm²/Vs , oxide TFT: > 10 cm²/Vs
- High-end display로 사용하기에는 낮은 이동도

3. p-type oxide



Why we need p-type oxide TFTs?

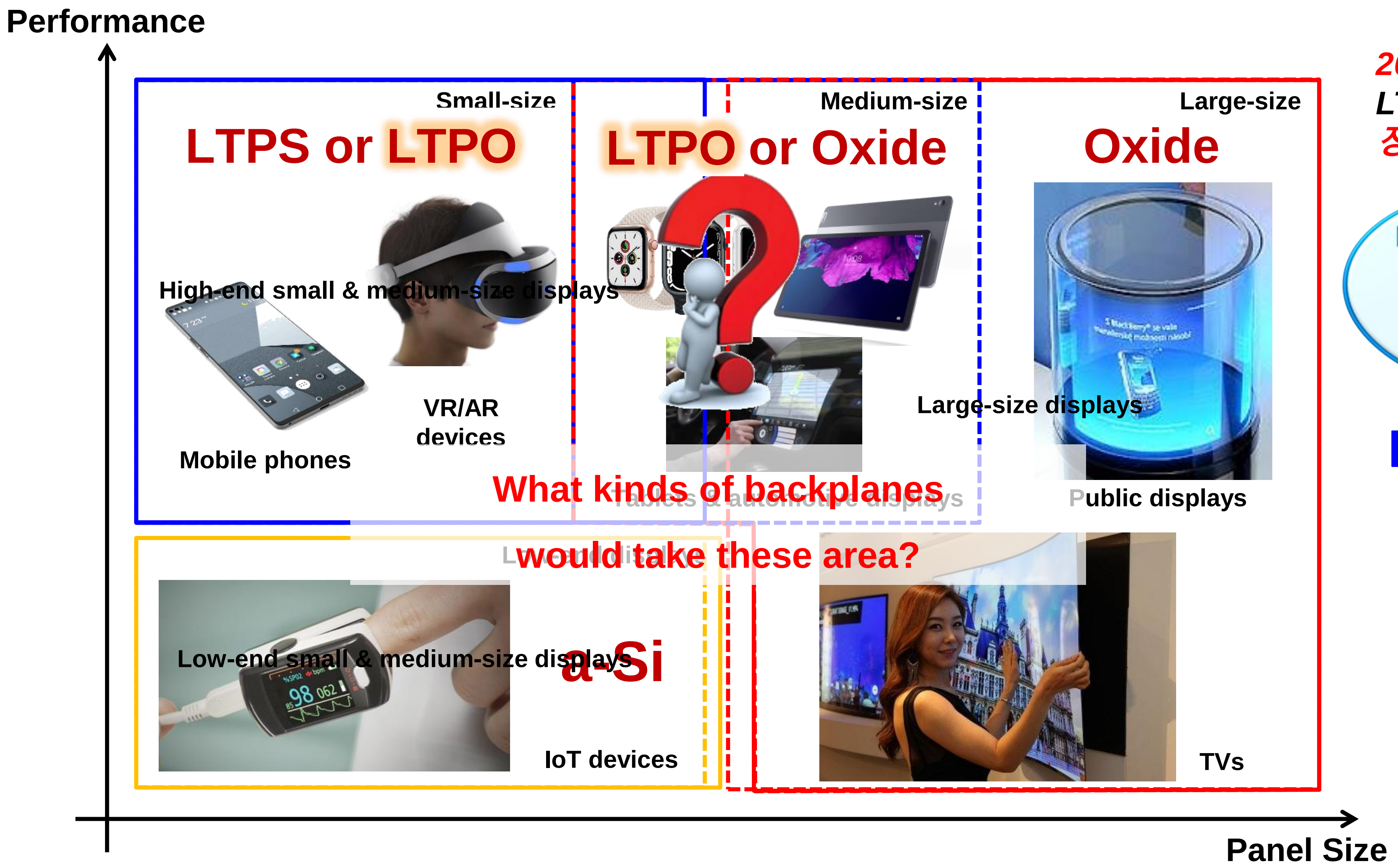
➔ Decrease in circuit size & power consumption

➔ Not affected by OLED degradation

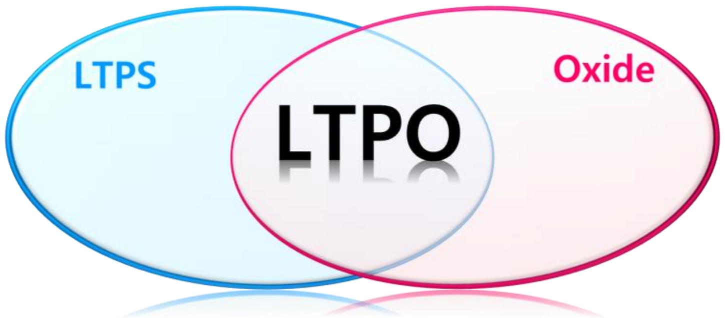
Allowing simple circuit configuration

* GIP: gate in panel

각 TFT의 장단점을 고려하여, 사용할 TFT를 선택하라!



2018년,
LTPS와 Oxide TFT의
장점만을 살린 신기술 등장



Low **T**emperature
Polycrystalline
Si & **O**xide

* IoT: internet of things

Contents

Apple watch의 사례를 통해 본 소비전력 이슈 해결 (1/2)

Apple watch series 3

Apple watch series 8

Apple watch series 3		Apple watch series 8
1.65 inch	Display size	1.90 inch
390 x 312	Display Resolution	484 x 396
미탑재	Always on display	탑재

화소 수의 증가 및 AOD 탑재로 인한 소비전력 증가

Apple watch series 3		Apple watch series 8
35 g	Battery weight	32 g
341 mWh	Battery capacity	309 mWh

배터리 무게의 감소로 인한 배터리 용량 감소

* AOD: always on display

Apple watch의 사례를 통해 본 소비전력 이슈 해결 (2/2)

Apple watch series 3

Apple watch series 8

높은 소비전력, 낮은 배터리 용량에도 동일한 사용 시간

배터리 무게의 감소로 인한 배터리 용량 감소

What is LTPO? (1/2)

각 업체별 LTPO 기술명

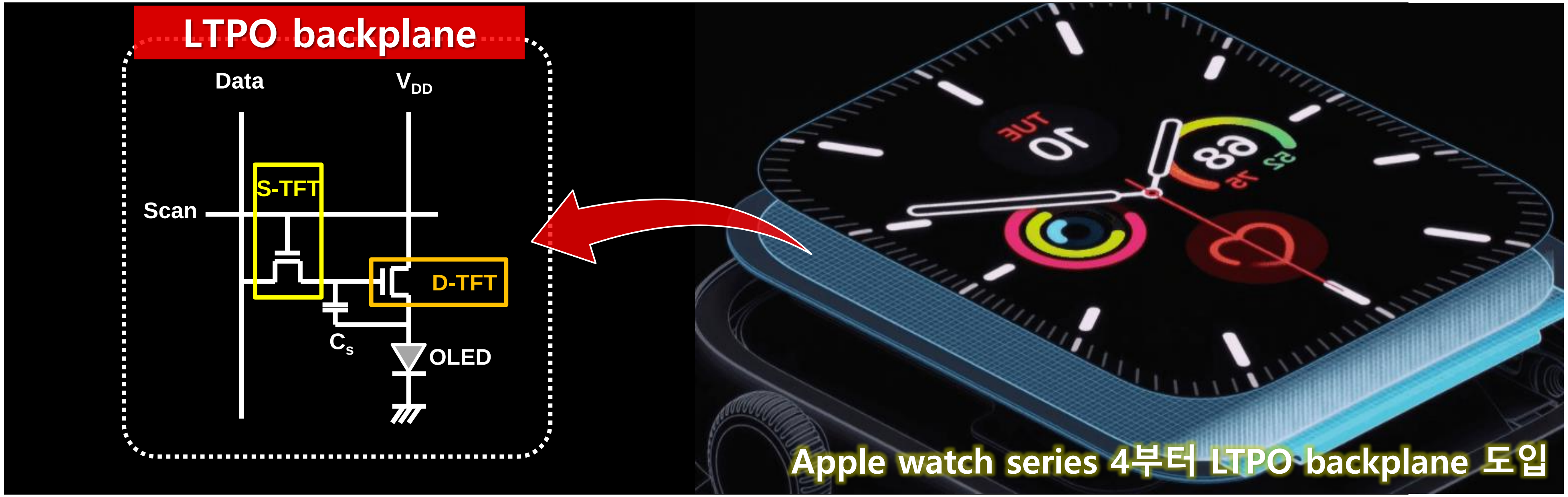
Samsung Display : HOP
(Hybrid Oxide and Polycrystalline Silicon)

Apple : LTPO
(Low Temperature Polycrystalline Si and Oxide)

LG Display : MTO
(Multi TFT on same substrate for OLED)

Tianma : HTD
(Hybrid TFT OLED display)

What is LTPO? (2/2)

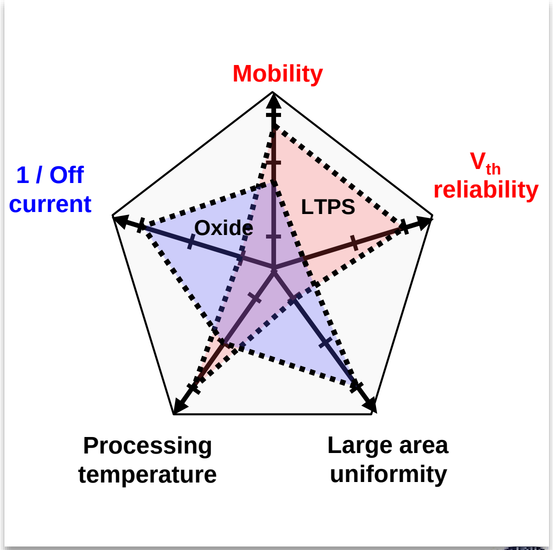


Oxide TFT ⟹ **Switching TFT (S-TFT)**

- Device to turn on/off OLED
- Mostly, off-state during operation
- Major requirement: **Low off current**

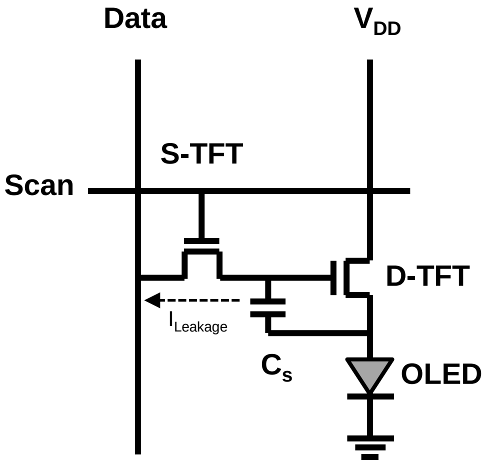
LTPS TFT ⟹ **Driving TFT (D-TFT)**

- Device to adjust OLED brightness with current
- Mostly, on-state during operation
- Major requirement: **High V_{th} reliability & mobility**

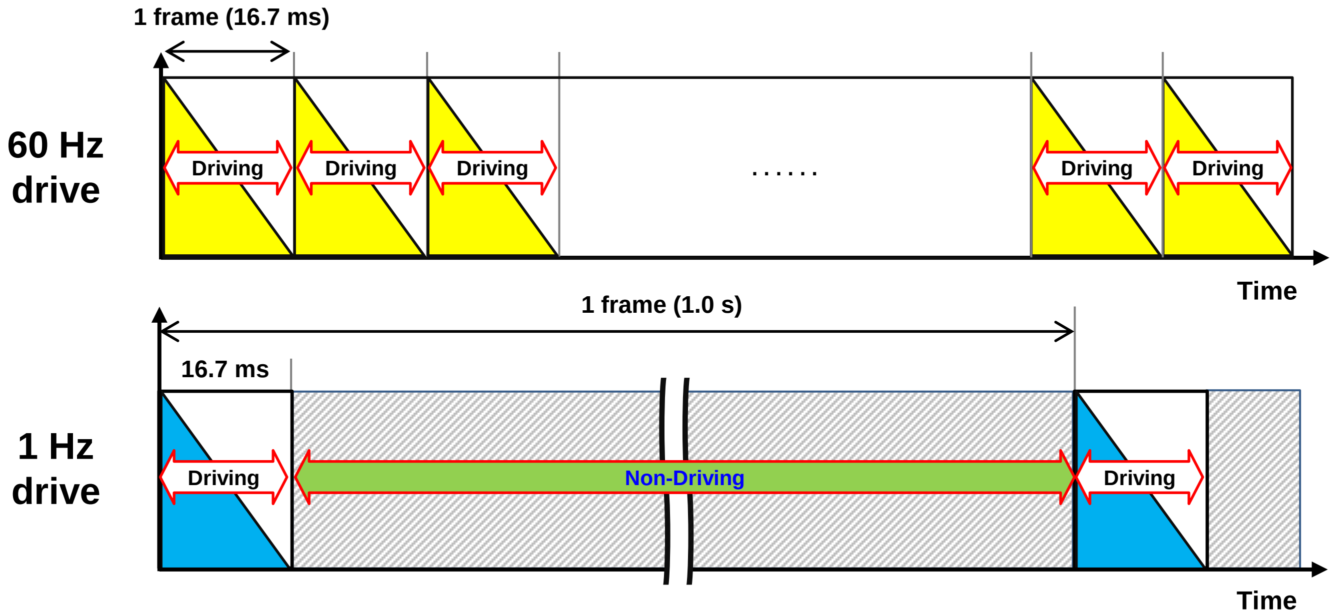


LTPO의 장점 1 – 낮은 전력 소모

❖ 고 주파수 (60 Hz) vs. 저 주파수 (1 Hz)



Refresh period
60 Hz : 16.7 ms / 1 Hz : 1000 ms



Movie mode

높은 전력 소모

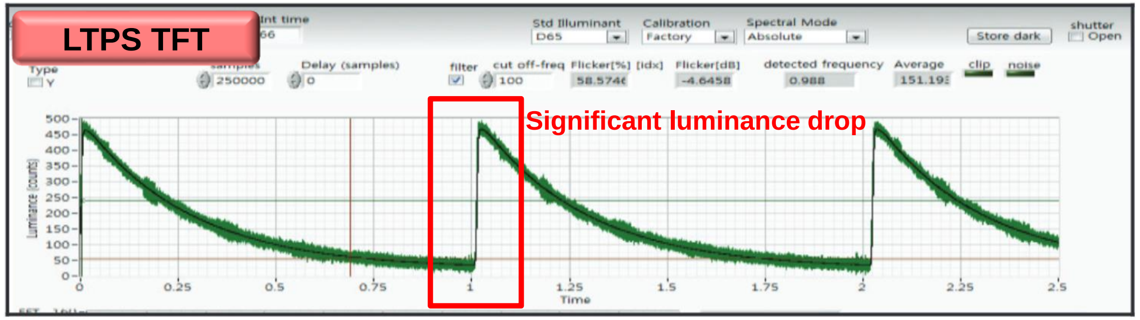
Still image mode

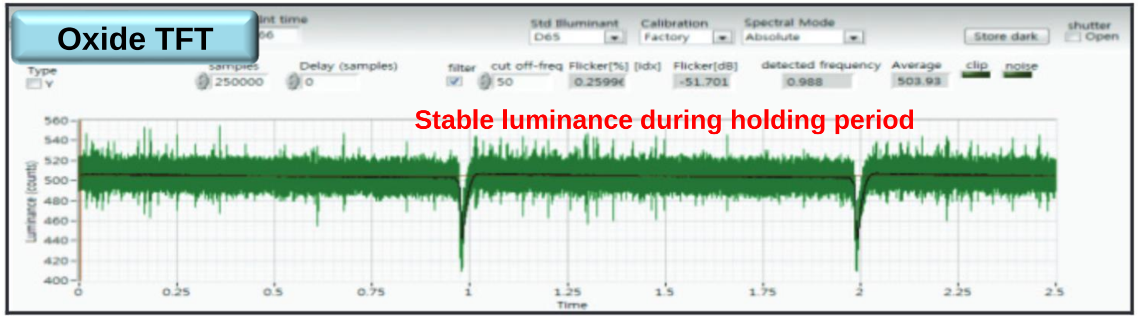
낮은 전력 소모

➔ Smart watch에 더 유리

❖ 1 Hz 구동에 oxide TFT를 사용하는 이유

*실제 LG Display 내 1 Hz frame frequency 에서의 luminance waveform 측정 결과 (AMOLED panel)





* 출처: LG Display, SID DW 2020

120 Hz 고주사율 디스플레이의 유행으로 더욱 중요해진 LTPO 기술

❖ Smart watch를 넘어, 삼성도, 애플도 스마트폰에 '최소 1 Hz ~ 최대 120 Hz 가변주사율 디스플레이'

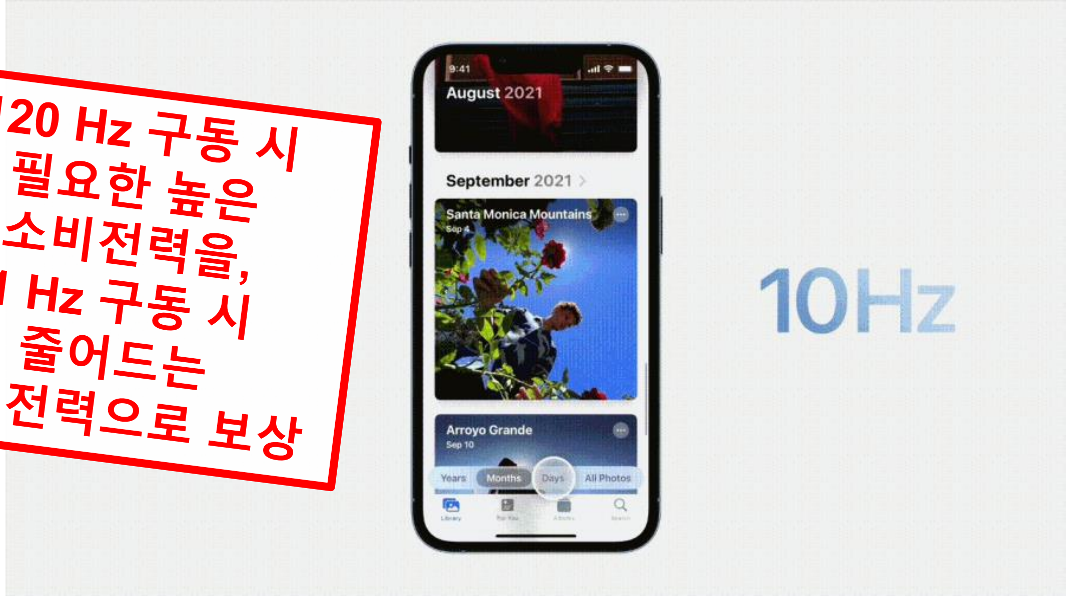
* 삼성의 'Adaptive Frequency' (갤럭시 S20 ~)

: 소비자의 사용환경에 맞춰 디스플레이 주사율을 자동으로 조절하여 소비전력 절감

* 애플의 'ProMotion' (아이폰 13 프로~)

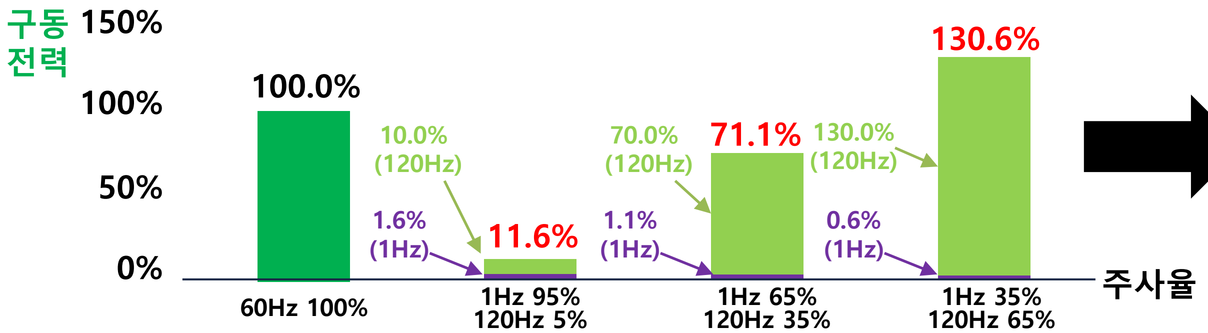
: 항상 120 Hz를 유지하는 대신, 필요할 때만 주사율을 끌어올리는 가변 주사율 적용 방식 (화면 스크롤 시 120 Hz로 주사율 증가)

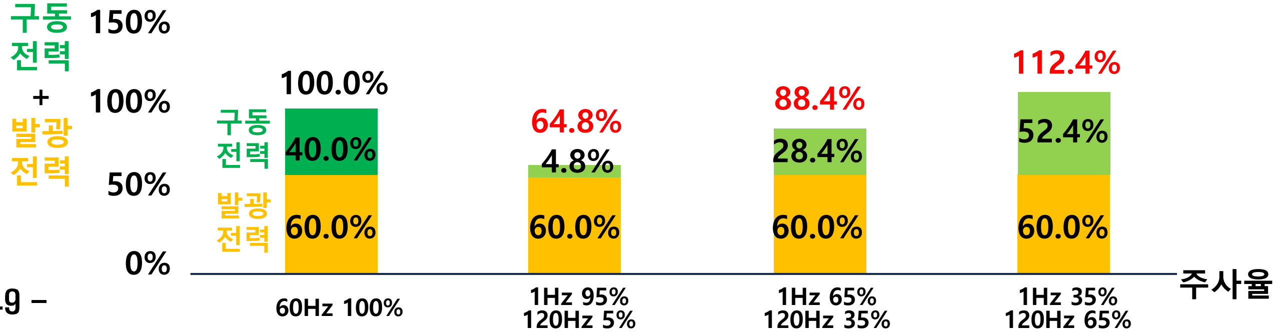
120 Hz 구동 시 필요한 높은 소비전력을, 1 Hz 구동 시 줄어드는 소비전력으로 보상



❖ LTPO를 통한 1~120 Hz 가변주사율 적용 시, 스마트폰 소비전력 감소 효과

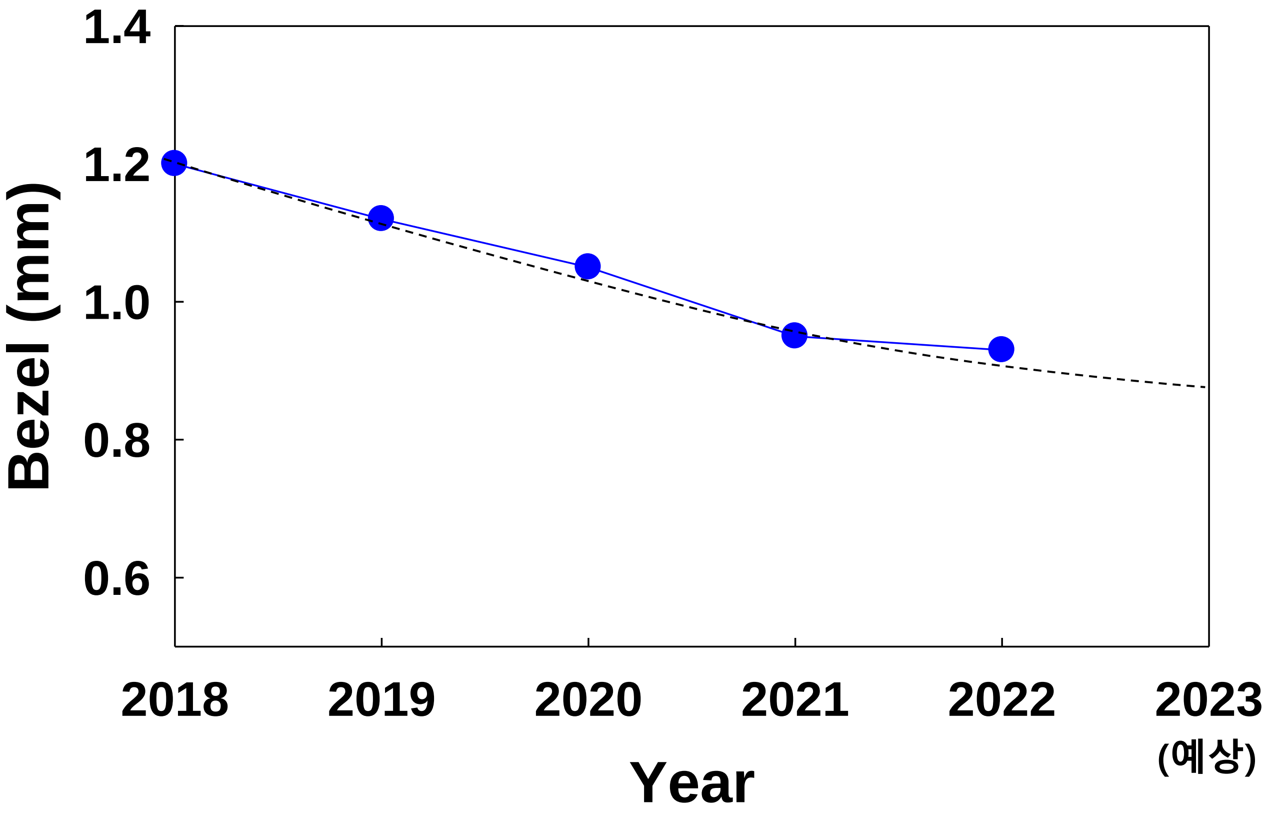
* 출처: 2022 OMDIA report 'OLED & Flexible Display Intelligence Service - Quarterly'



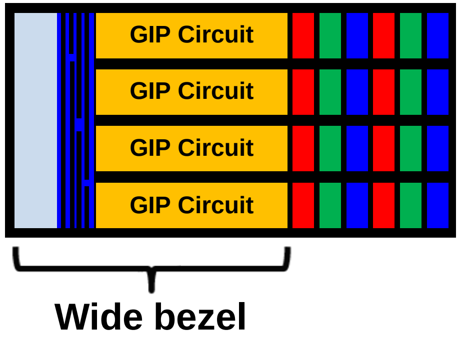


LTPO의 장점 2 – Narrow bezel

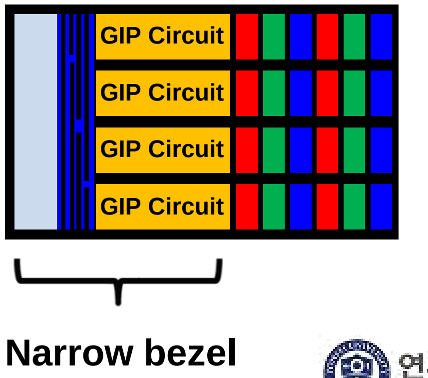
❖ **Mobile device's bezel size trends**



Apple watch series 3 (2017)



Apple watch series 7 (2021)



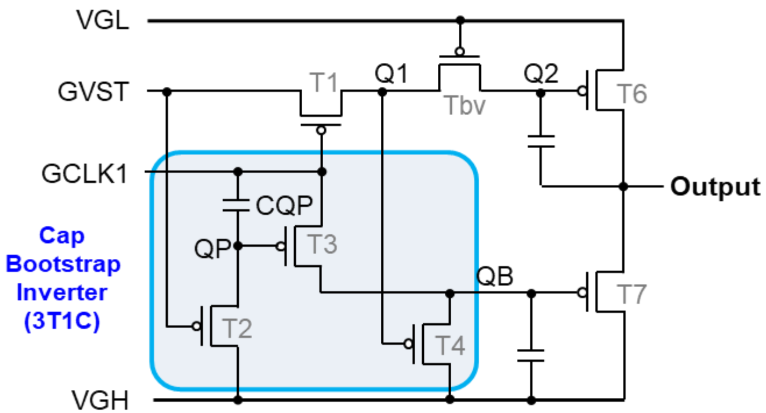
* GIP: gate in panel

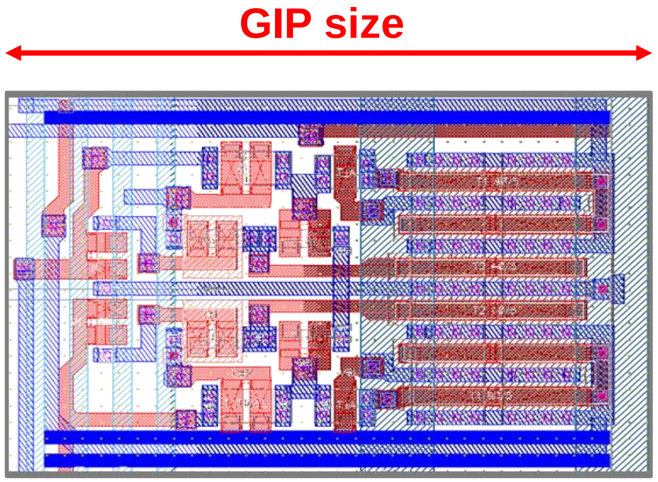
GIP까지 뻗어 나가는 LTPO 기술

❖ 기존 LTPS 기반의 GIP에서 발전된 **LTPO** 기반의 GIP

➔ TFT 및 capacitor의 개수를 줄임으로써 **GIP의 사이즈를 20% 감소**

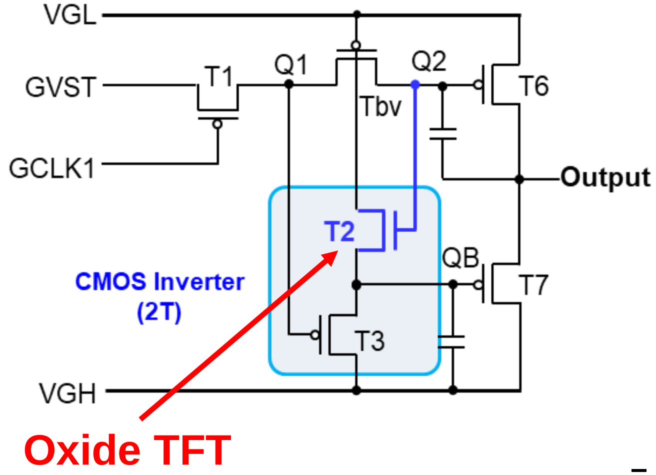
Conventional LTPS GIP

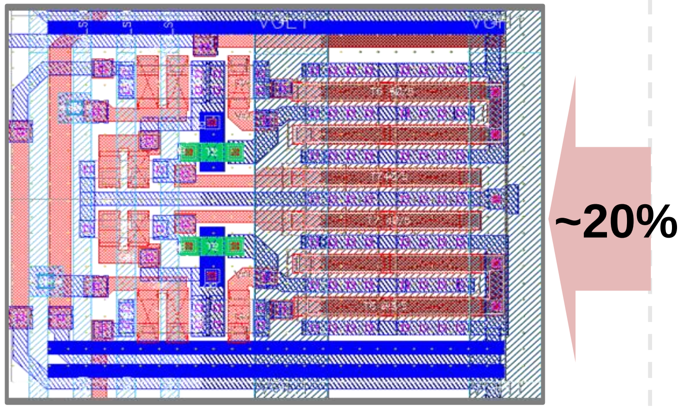




7T 3C 구조

LTPO GIP





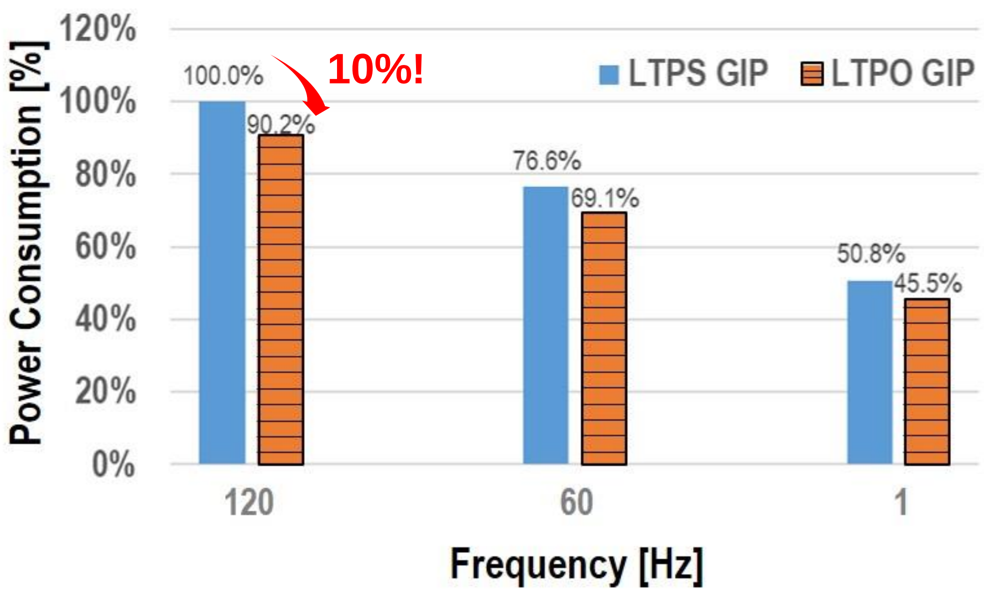
6T 2C 구조

* GIP: gate in panel

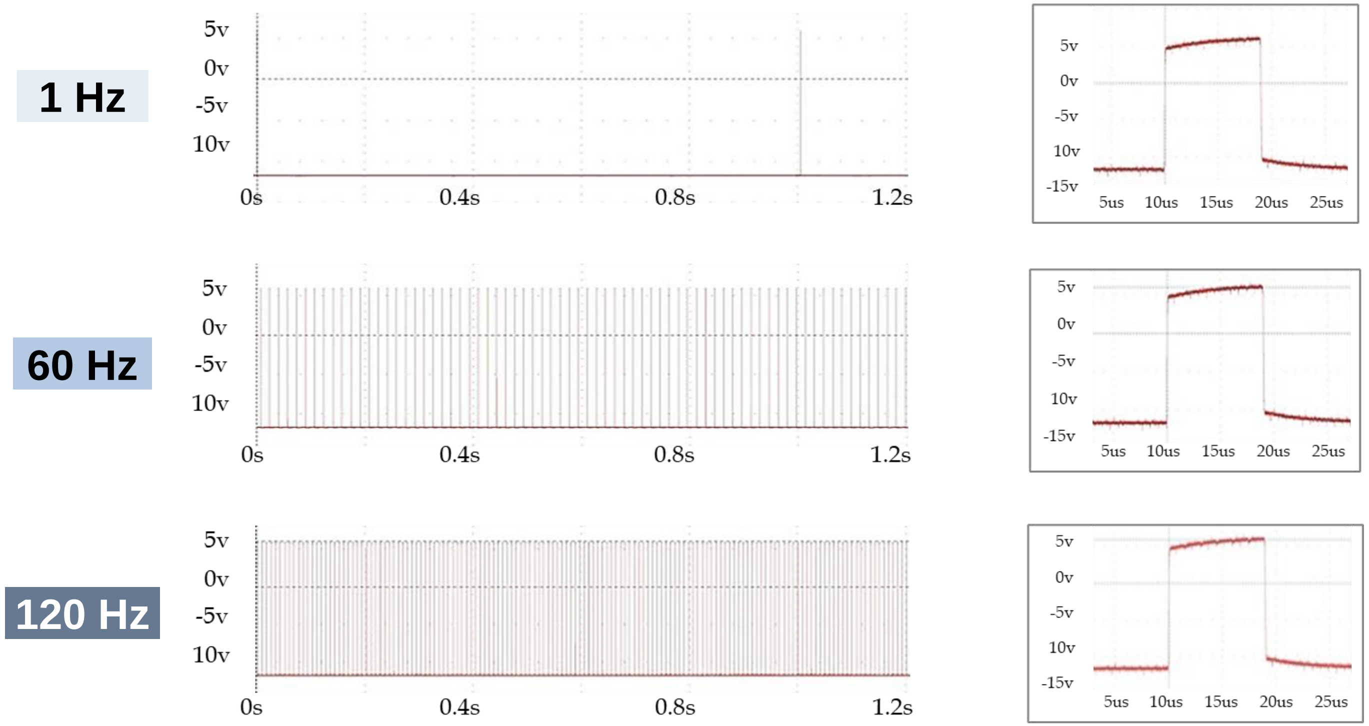
물론, LTPO의 기존 장점들은 살리면서!

❖ LTPO 기술의 기존 장점인 low power consumption과 VRR을 갖는 GIP

Reduced power consumption



VRR (1 ~ 120 Hz) operation stability simulation results



➔ LTPS 기반 GIP에 비해 10% 감소한 power consumption

➔ 1 ~ 120 Hz의 가변 주사율에서도 안정적으로 동작

Contents

AR/VR 디스플레이를 위한 on-silicon display technology!

❖ **Near-eye display (AR/VR)을 위한 기술의 필요성**

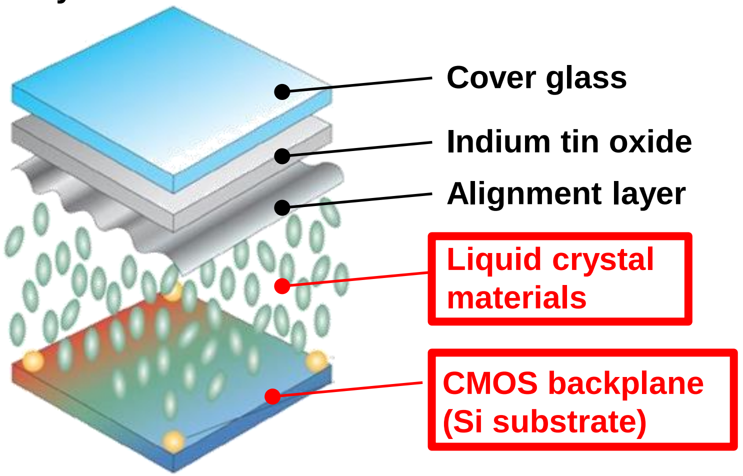
- ✓ 작은 화면을 가까이에서 보는 **AR/VR 기기는 화면과 눈 사이의 거리가 짧아 고해상도 (3,000~4,000 ppi)가 요구**됨
- ✓ 시판 중인 VR 기기 등은 기존 OLED 패널을 활용한 600 ppi 수준임
- ✓ **저해상도 디스플레이에 의한 screen door effect로 사용자들이 잦은 어지럼증을 호소**

❖ **고해상도 구현을 위해 기판을 바꾸다, on-silicon display!**

- ✓ **기존 OLED 패널의 유리 기판 위**에서 하는 TFT 공정은 **반도체 공정에 비해 집적도가 낮음 ➔ 픽셀 사이즈를 줄이는 데에 한계**가 있어 **고해상도 구현에 불리**
- ✓ **Silicon 웨이퍼 기판**을 사용하여 반도체 공정을 진행할 경우, EUV 기술을 활용한 미세 패터닝이 가능하기 때문에 **고해상도 구현에 유리**
- ✓ 대표적인 세가지 기술: **LCoS, OLEDoS, LEDoS**

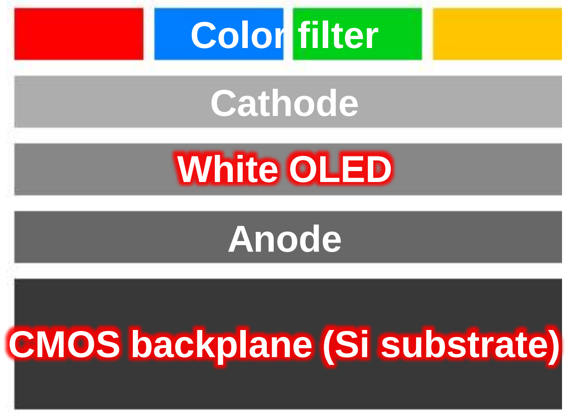
LCoS (liquid crystal on silicon)

- ✓ **Silicon 웨이퍼**에 만들어진 **백플레인 위에 liquid crystal을 직접** 올리는 구조



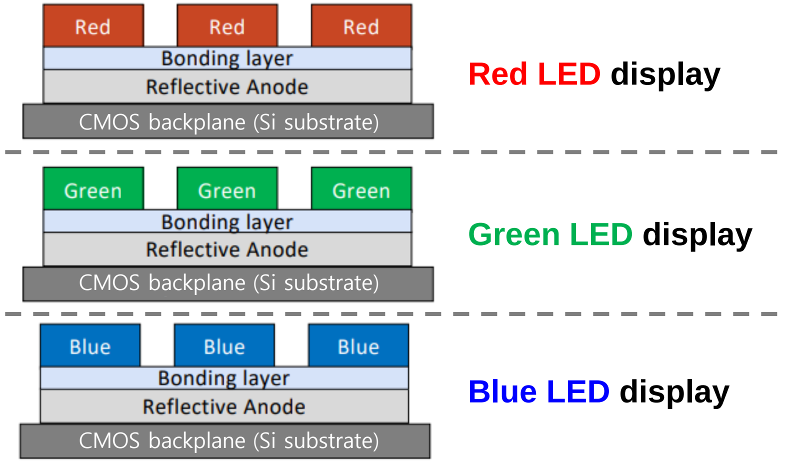
OLEDoS (OLED on silicon)

- ✓ **Silicon 웨이퍼**에 만들어진 **백플레인 위에 OLED를 직접** 올리는 구조



LEDoS (LED on silicon)

- ✓ **Silicon 웨이퍼**에 만들어진 **백플레인 위에 LED를 직접** 올리는 구조



* Screen door effect: 가까운 시야 거리로 인해 픽셀 사이의 black matrix 영역이 보이는 현상

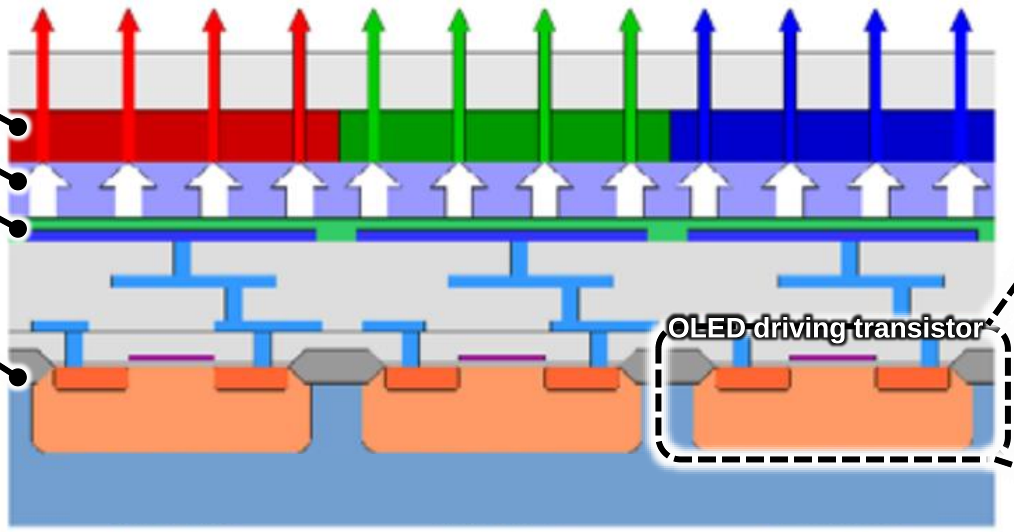
* EUV: extreme ultraviolet

On-silicon display technology with CMOS backplane

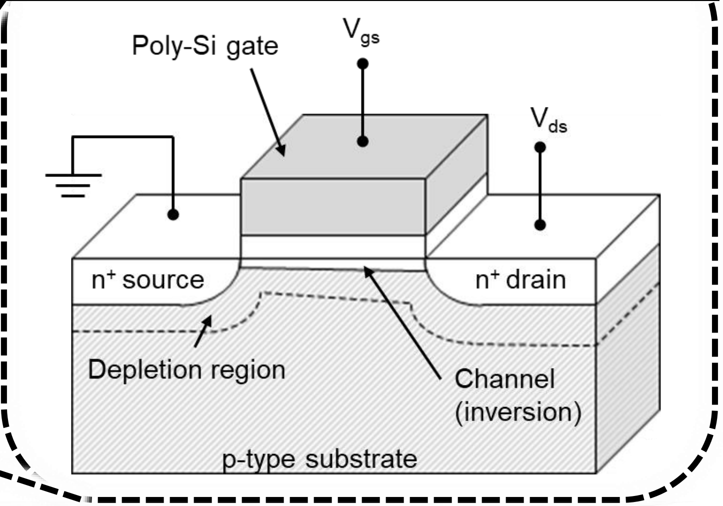
❖ OLEDoS의 픽셀 구조: 기존의 TFT 기반 backplane이 아닌 CMOS backplane을 사용

MOSFET 기초 관련 appendix

실리콘 웨이퍼 제조과정 관련 appendix



단위 구동소자인 MOSFET 구조



❖ CMOS backplane으로 인해 OLEDoS에 요구되는 주요 사항들

1 고전압 CMOS 회로	2 상부 발광형 디스플레이	3 픽셀 topography
CMOS 회로는 저전압에서 동작하지만, 구동 전압이 높은 OLED 소자를 OLEDoS에 적용하기 위해서는 고전압 CMOS 회로가 요구됨	CMOS 회로는 Si 웨이퍼 위에서 형성되어 기판이 불투명하기 때문에 OLEDoS는 상부 발광형으로 제작되어야 함	CMOS 회로는 OLED 증착에 적당하지 않은 표면 roughness가 클 수 있어 픽셀 사이의 절연층 기울기 및 단차 등에 대한 고려가 필요

* CMOS: complementary metal oxide semiconductor

삼성의 OLEDoS, LEDoS 개발 현황

OLEDoS 기반 MR Headset 개발

연평균 70% 성장 MR 글라스 잡아라... 삼성, 마이크로 OLED 키운다

[Ref.] 조선비즈, 2022.07.31

이머전리서치는 전 세계 메타버스 시장 매출이 지난해 약 81조원에서 2026년 약 528조원으로 성장할 것을 예상했다. 이에 맞춰 **삼성전자도 MR 글라스 신제품을 준비**하고 있다. **삼성전자의 요청으로, 삼성디스플레이가 2024년 양산을 목표로 마이크로 OLED 생산라인 구축을 계획**하고 있다.


MR Headset


VR Headset

[OLEDoS 기반 MR Headset 개발 계획]

기술명		AR-VST (Video See-Through)
일정		2024년도 1분기
목표 Spec.	크기	1.3 인치
	해상도	~ 4,000 ppi
	휘도	5,000 nits
OLED 디스플레이 개발 (예상)	1안	Samsung display
	2안	중국 업체 (BOE or SeeYa)
CMOS backplane 개발 (예상)	삼성전자 LSI 사업부	

LEDoS 기반 AR Glasses 개발

삼성전자, LEDoS 개발 계획...메타버스 시장 겨냥

삼성전자 기술개발 범위가 OLEDoS에 그치지 않을 것으로 예상된다. 따라서 **실리콘 기판 위에 LED를 올리는 LEDoS 기술 개발에 착수**한 것으로 파악됐다. 올해 3분기 들어오면서 삼성디스플레이가 **삼성전자의 요청으로 메타버스용 마이크로디스플레이 기술 개발할 것이란 전망이 업계에 확산했다.**

[Ref.] THEELEC, 2022.08.08


AR Lens

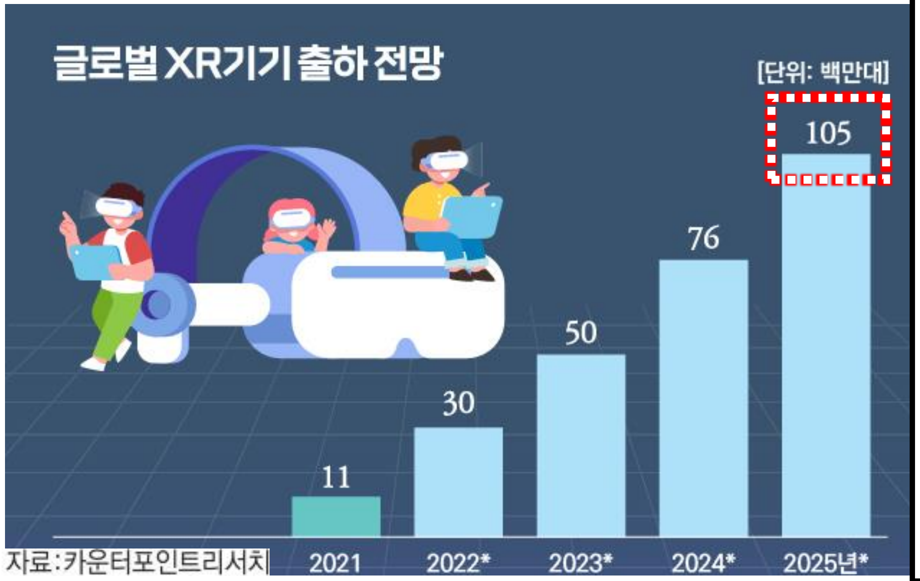

AR Glasses

[LEDoS 기반 AR Glasses 개발 계획]

기술명		AR-OST (Optical See-Through)
일정		2025년도 1분기
목표 Spec.	크기	0.344 인치
	해상도	~ 6,500 ppi
	휘도	130,000 nits
LED 디스플레이 개발 (예상)	삼성전자 LED 사업팀	
CMOS backplane 개발 (예상)	중국 Sapien Semiconductors, 향후 삼성전자 LSI 사업부	

디스플레이-반도체 OLEDoS 개발 동맹 진행 중

● 커져가는 XR 헤드셋 시장 규모 !



XR기기 출하량, 2025년 1억 대 돌파전망

최근 XR기기는 메타버스의 대중화로 크게성장세… 시장조사업체 카운터포인트리서치는 글로벌 XR기기 출하량이 지난해 1100만 대에서 2025년 1억500만 대까지 늘어날 것으로 예상…XR시장의 성장은 현재 시장을 주도하고 있는 메타를 비롯해 삼성전자, 애플 등 글로벌 빅테크 기업들의 시장 진입에 따른 결과… 카운터포인트리서치에 따르면 메타는 현재 글로벌 XR기기 시장에서 점유율 78%를 차지

[Ref.] Business watch, 2022.09.06

● 디스플레이·반도체 '빅2' 협업

SID 2022에 전시된 LG디스플레이의OLEDoS

LG디스플레이 SK하이닉스

LGD-SK하이닉스, 마이크로OLED '동맹'

SK하이닉스가 웨이퍼를 설계하고 회로를 그린다. 웨이퍼 위 OLED 증착 단계부터는 최종 완성 단계까지 LG디스플레이가 담당하는 것이 유력하다. 글로벌 빅테크 기업 XR 기기에 디스플레이를 공급하는 것이 최종 목표다. 해상도를 비약적으로 끌어올리려면 OLED 증착 기술뿐만 아니라 실리콘 기반 구동층 기술도 고도화해야 한다.

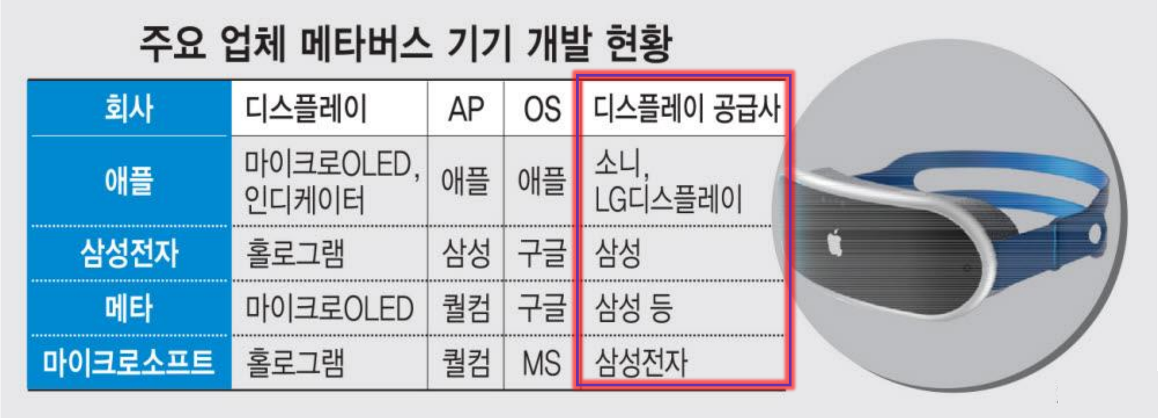
[Ref.] 전자신문, 2022.08.22

Apple Suppliers Sony, LG Displays are working on OLEDoS

The OLEDoS inside Apple's HMD device will be supplied by Sony and the outer screen by LG Display…LG Display started developing OLEDoS for Apple but has now recently begun developing LEDoS technology as well. LG Display's OLEDoS is expected to be used in Cupertino's first mixed reality device that will debut next year.

[Ref.] Patently Apple, 2022.08.08

● 주요 업체의 메타버스 기기 개발 현황



주요 업체 메타버스 기기 개발 현황

회사	디스플레이	AP	OS	디스플레이 공급사
애플	마이크로OLED, 인디케이터	애플	애플	소니, LG디스플레이
삼성전자	홀로그램	삼성	구글	삼성
메타	마이크로OLED	퀄컴	구글	삼성 등
마이크로소프트	홀로그램	퀄컴	MS	삼성전자

주요 디스플레이 공급사: Sony, LG디스플레이, 삼성디스플레이

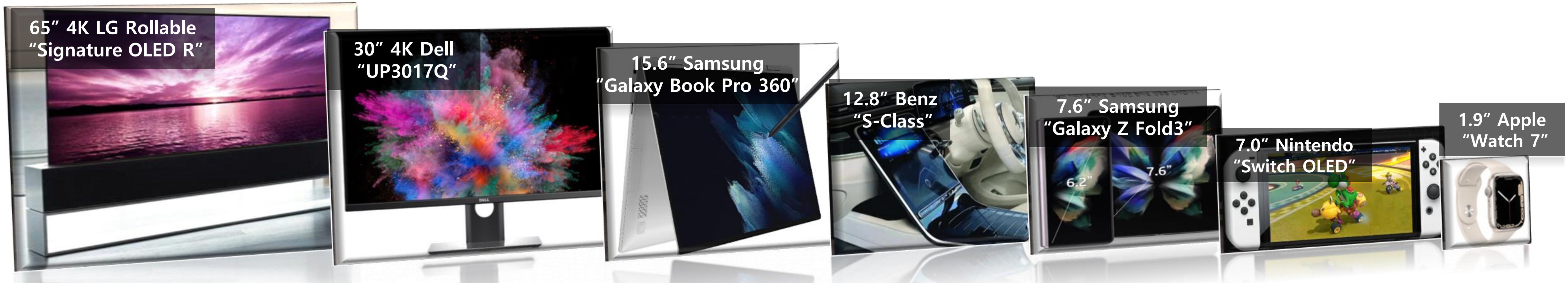
2023년 상반기 애플 社에서 출시 예정인 MR 헤드셋

Meta

2022년 10월에 출시된 메타 퀘스트 프로

Contents

Premium 시장의 선두 주자: OLED 디스플레이

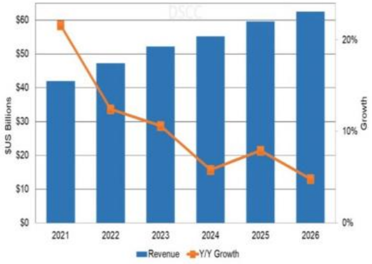


① Real black ② 100% color accuracy ③ Thin/light ④ Form-free(flexible/rollable)

"OLED, 불확실성 속 확실한 선택!"

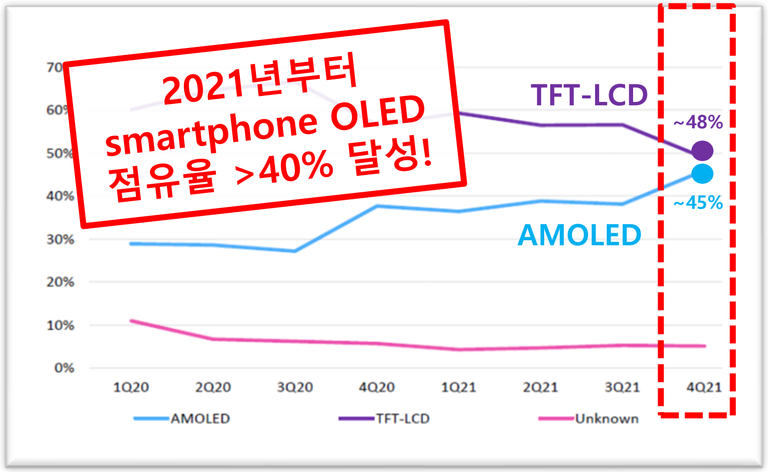
경기 침체에도 12% 성장...삼성·LG, OLED 선택한 이유 있었다

게임·모니터·태블릿·자동차 등 OLED 적용 전방위 확대되었다. **모니터용 OLED 패널 매출**은 **전년 동기 대비 142% 증가**하면서 2분기 시장 성장을 이끌었다. **태블릿용 OLED 패널도** 2분기 매출이 전년 동기보다 **65% 늘었으며 자동차용 OLED 패널은 33% 증가**했다.



[Ref.] news1, 22.08.18

Smartphone shipment share by technology



* 출처: 2022 OMDIA

[IFA 2022] 멈추지 않는 OLED 물결, 이번은 유럽으로!

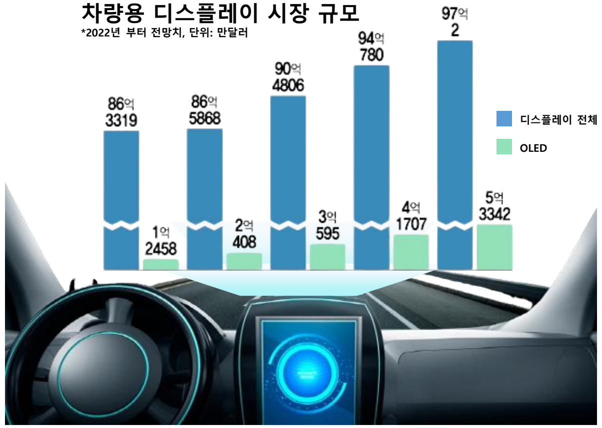
유럽은 전 세계 OLED TV 판매량 중 약 40%를 차지하는 가장 큰 TV 시장으로 시장 조사 기관 옴디아에 의하면 올해 2분기 유럽 내 1,500달러 이상 프리미엄 TV 시장에서 **OLED 점유율(판매량 기준)이 50.3%에 달했다.**

[Ref.] LG디스플레이 뉴스룸, 22.09.06

* IFA: internationale funkausstellung (유럽 최대 가전 전시회)

OLED의 성장은 아직 끝나지 않았다! 앞으로의 발전 방향

- OLED display의 블루오션 automotive 시장



(출처: Omdia, 2022)

삼성디스플레이, BMW에 車 OLED 400만장 공급

글로벌 시장 조사업체 옴디아 자료에 따르면 **차량용 OLED 디스플레이 시장은** 2020년 560억원에서 **2025년까지 6800억원 규모로 1000% 이상 급성장**한다. 자율주행차 시대에 접어들면 차 안에서 다양한 엔터테인먼트를 즐길 수 있는 고화질, 대형 OLED 디스플레이 수요가 점점 늘어날 것으로 전망된다.

[Ref.] 전자신문, 2022.06.23

투명·플렉시블·초고화질...OLED가 만드는 디스플레이 미래

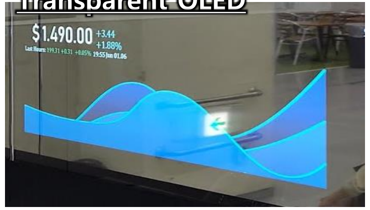
한국디스플레이산업협회가 주관한 K-display 2022에서 **세계 최대 크기 OLED 패널 초고화질 OLED** 디스플레이를 만나볼 수 있었다. 또한, 가정과 상업·사무공간 등 다양한 응용처에서 공간 활용도와 전시 효과를 높이는 **투명 디스플레이**도 인상적이었다. 단일 패널로는 **세계 최대 크기인 '차량용 34인치 커브드 플라스틱 OLED'**도 전시되었다.

[Ref.] 정보통신신문, 2022.08.12

LGD p-OLED (flexible) Product

Slidable OLED

Transparent OLED



High resolution OLED

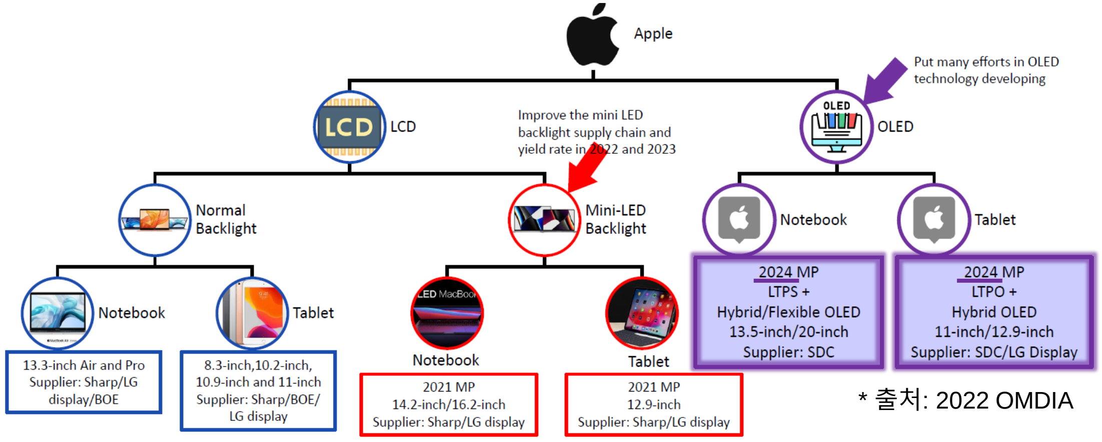
Flexible OLED

- 커져가는 IT OLED display !

Apple's shift to OLED to benefit LG, Samsung

The iPhone manufacturer plans to incorporate **OLED displays into its new iPad model** to be released next year.
"The transition in the small- to mid-sized display market to OLED is accelerating, as these are a superior, next-generation display," an industry official said.

[Ref.] The Korea Times, 2021.07.22



* 출처: 2022 OMDIA

'車 OLED' 힘싣는 LGD... TV수요 침체 파고 넘는다

車디스플레이 점유율 19.7% 1위
하반기 반도체 수급 불균형 완화
10인치 이상 제품 성장 가능성↑
[Ref.] 디지털타임스, 2022.08.28

World largest P-OLED

Contents

OLED의 독주를 막을 첫 번째 대항마: QD 디스플레이

① Great color volume ② High luminousness ③ No screen burn-in ④ High resolution

"지구에서 가장 완벽한 제품" 삼성 QLED TV, 독일서 역대 최고점!

삼성·LG전자, 불붙은 'TV 전쟁'…
QLED vs OLED 주도권 다툼

OLED 제품이 프리미엄 TV 시장의 대세로 굳어질 것이라는 게 보편적인 전망했지만 QLED가 OLED의 판매량을 앞지르면서 상황이 달라져…

[Ref.] 아이뉴스24, 2022.03.23

"누가 TV를 천만원에 살까 했는데"…
삼성 QLED TV, 12일간 1200대 팔렸다

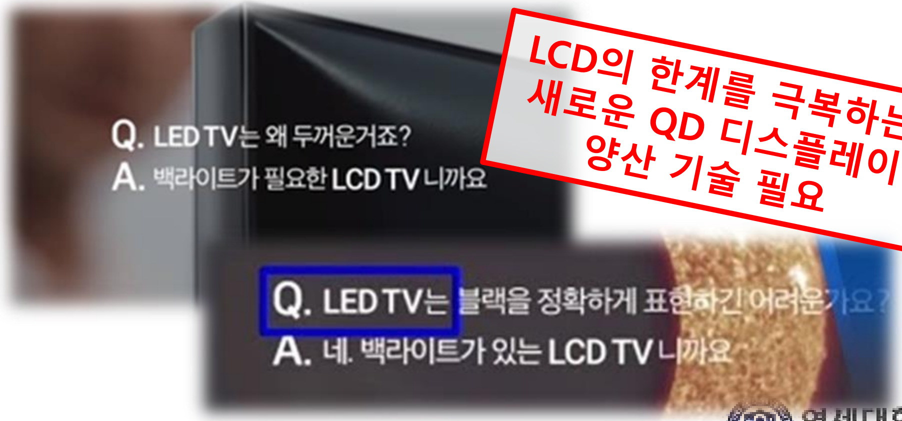
QLED 신제품은 이달 3일부터 14일까지 진행된 사전 판매 행사에서 약 1200대가 판매되며 높은 인기를 입증

[Ref.] 매일경제, 2022.03.22

하지만….

"앞글자 달라도 LED TV"…
LG, 삼성 QLED '저격' 광고 공개

[Ref.] 연합뉴스, 2019.09.07



LCD의 한계를 극복하는 새로운 QD 디스플레이 양산 기술 필요

판매 중인 QD 디스플레이 최신 제품들

삼성 Neo QLED Infinity 85″ 8K (₩ 1,930만)

삼성 Neo QLED 85″ 8K (₩ 1,030만)

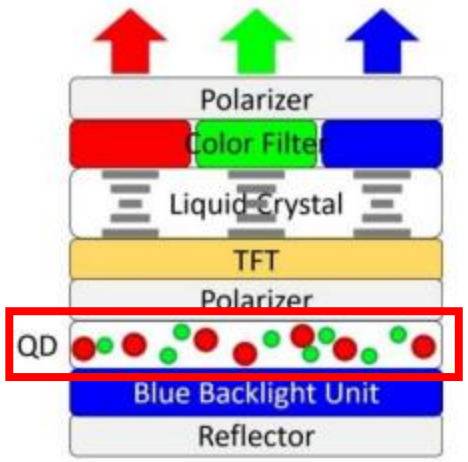
삼성 Neo QLED 85″ 4K (₩ 860만)

삼성 QLED Infinity 85″ 8K (₩ 800만)

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

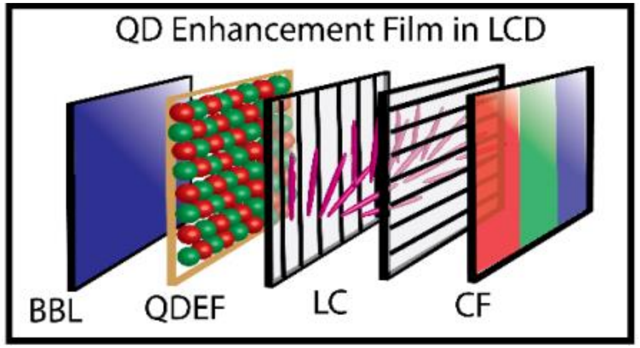
QD 디스플레이의 변천사 – 1) QD-LCD

2013
QD-LCD



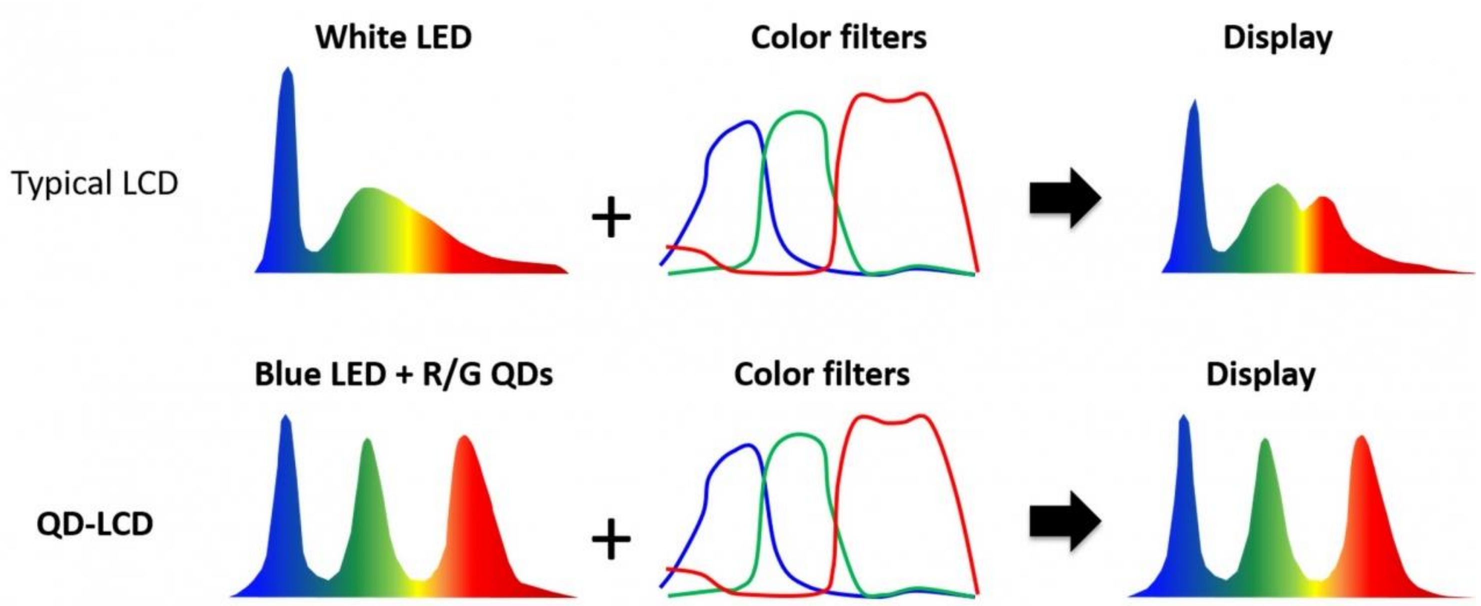
[기존 LCD와의 비교]

Red, Green
: White LED backlight
➔ Blue LED backlight
+ R, G QD



[QD-LCD: QD를 backlight 위 삽입 (2013~)]

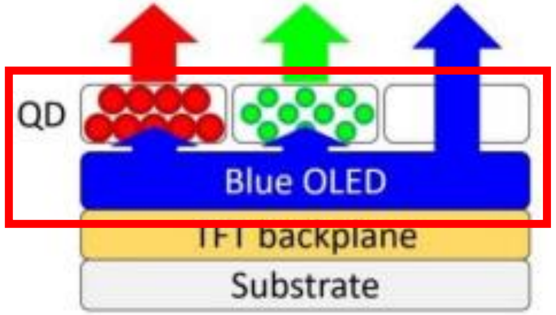
- **QDEF (QD enhancement film)**
- 기존 LCD는 white LED, **QD LCD는 blue LED**
- 색 재현율 50% 상승
- 긴 수명이 장점이지만, **여전히 LCD의 한계 보유**
- **상용화된 QLED** 방식



* QLED: quantum dot light emitting diode

QD 디스플레이의 변천사 – 2) QD-OLED

2022
QD-OLED



[QD-LCD와의 비교]

Red, Green
: QD 위치가 color filter로 이동
Blue
: LED ➔ OLED

22.03.18 미국에서 사전 주문 시작 (55 인치: $2,199 / 65 인치: $2,999)

34-inch 3440x1440 (21:9)
65-inch 3840x2160 (16:9)
55-inch 3840x2160 (16:9)

[CES 2022에 전시된 삼성디스플레이 QD-OLED TV]

■ 삼성 QD-OLED 장단점

장점❶ 높은 색 재현율
- 청색 OLED · QD 색 변환층 사용
- 빛 손실 없이 순도 높은 색 재현

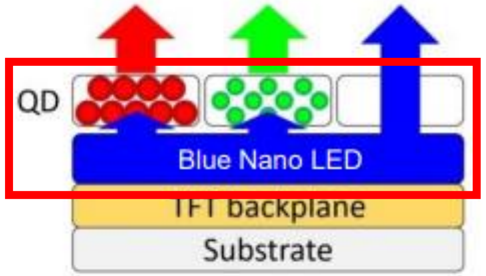
장점❷ 수명 문제 개선
- 청색 OLED 제외한 적 · 녹색은 무기물
- 무기물 많은 만큼 상대적 수명 길어

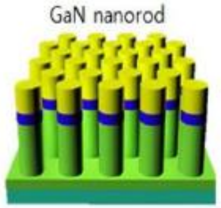
단점❶ 낮은 생산량과 수율
- 생산량 연간 100만대 규모
- 수율도 50~60%에 불과해

단점❷ 비싼 패널 가격
- 생산성 낮은 만큼 가격도 높아
- OLED와의 가격 경쟁에서 밀려

QD 디스플레이의 변천사 (예상) – 3) QNED & QDEL

2025 예상 QNED



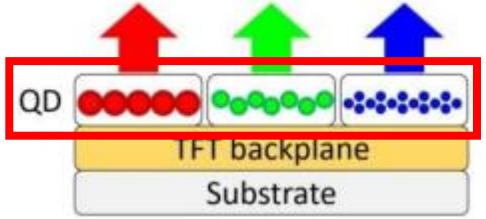


➔ **Inkjet process**

[QD-OLED와의 비교]

Red, Green
: 유사
Blue
: OLED ➔ Nano LED

2028 예상 QDEL



QD 기반의 진정한 자발광 디스플레이!

[QNED와의 비교]

Red, Green
: QD 자발광층
Blue
: Nano LED ➔ QD 자발광층

What is QDEL display?

- OLED처럼 **자발광 소자인 무기 소재 기반 QD**를 이용하여 **R**, **G**, **B 모든 색깔을 QD로 구현하는 디스플레이**
  ➔ Backlight가 불필요해 **디스플레이를 얇게 제작** 가능 및 **낮은 소비전력** 달성 가능!
- 진공장비가 필요하지 않고, **printing 장비로 제작 가능**
  ➔ **저비용 공정**이 가능!

Low cost

Ultra thin and flexible

Perfect color volume

* QNED: quantum dot nano-rod LED
* QDEL: quantum dot electro luminescent

Contents

OLED의 독주를 막을 두 번째 대항마: Micro-LED 디스플레이

삼성전자, CES 2022에서 전시한
89 인치 마이크로 LED TV

① Size Free ② Ratio Free ③ Resolution Free ④ Bezel Free

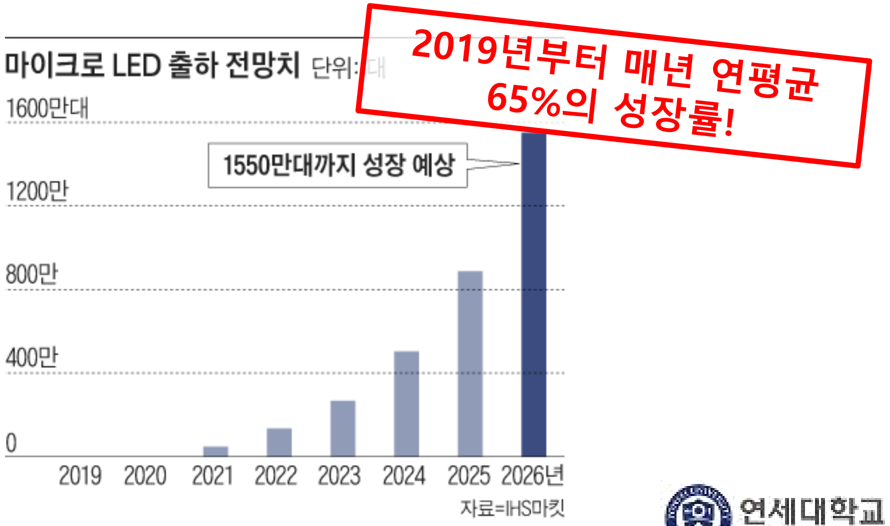
"Micro-LED는 기존 디스플레이의 4가지 제약을 없앤 미래형 디스플레이다"

마이크로LED 시장, 2026년 27억 달러…

시장조사기관 트렌드포스는 대형 마이크로LED는 2021년부터 **2026년까지 약 241% 성장률**을 보이면서 **27억 달러 규모 시장을 형성**할 것으로 전망했다.

*27억 달러: 3조 7205억원

[Ref.] 디지털데일리, 2022.08.14



차세대 '마이크로LED', "대형TV대세로 뜬다"

최주선 **삼성디스플레이 대표이사는** 국제 정보 디스플레이 학술대회에서 **"24년에 마이크로 LED 89, 101인치 등 일부 제품 양산이 가능할 것"**이라고 밝혔다. 또한, IFA 2022에서 백선필 **LG전자 상무는 "100인치 이상 크기의 TV는 마이크로 LED로 갈 예정"**이라고 밝혔다.

[Ref.] 파이낸셜뉴스, 2022.09.05

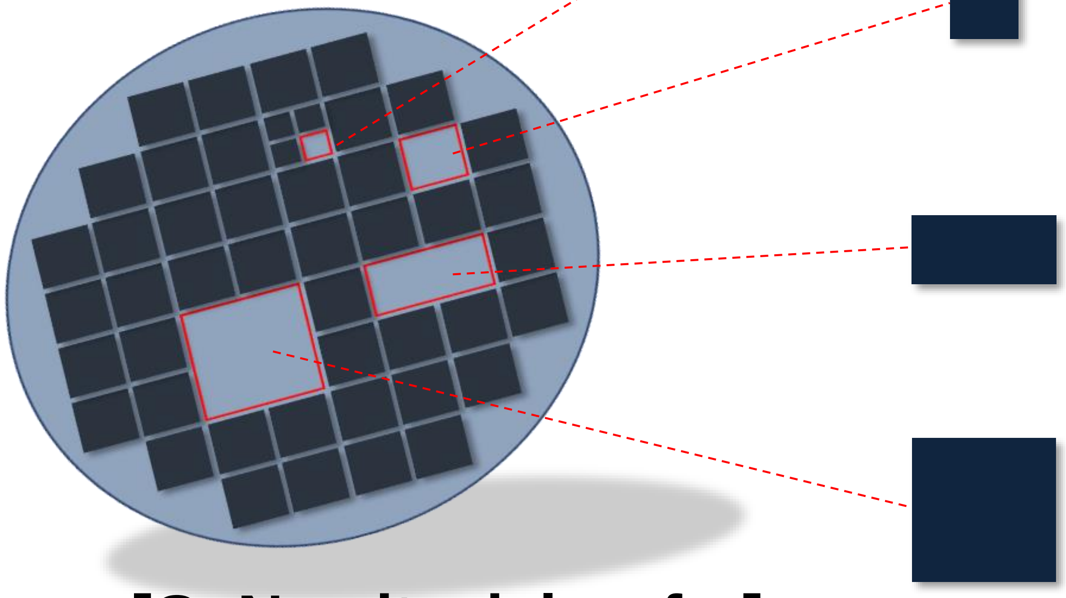
Micro-LED, mini-LED 란?

❖ Micro-LED 정의

- 100 um 미만의 마이크로 크기의 LED

❖ LED의 scale별 활용 및 분류

- **Micro-LED 10~100 um**
- **Mini-LED 100 um~1 mm**
- Normal LED ~3 mm



[GaN epitaxial wafer]

[LED 칩 크기별 활용]

For micro-LED

Micro chip < 0.1 x 0.1 mm^2
Ex) TV, mobile, wearable, HMD

* HMD: head mounted display

Small chip ~ 0.3 x 0.3 mm^2
Ex) Mobile, signage

For mini-LED

Middle chip ~ 0.5 x 1 mm^2
Ex) BLU, lighting, automotive

* BLU: backlight unit

Large chip ~ 1 x 1 mm^2
Ex) Lighting, automotive, camera module

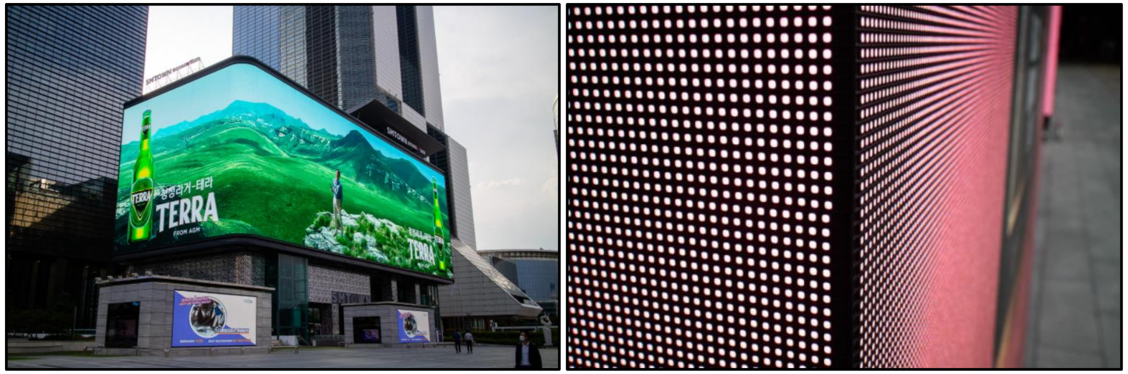
Micro-LED 디스플레이의 장점

● 유기물이 아닌 무기물 기반 LED를 발광소자로 사용

(1) 뛰어난 휘도로 높은 야외시인성

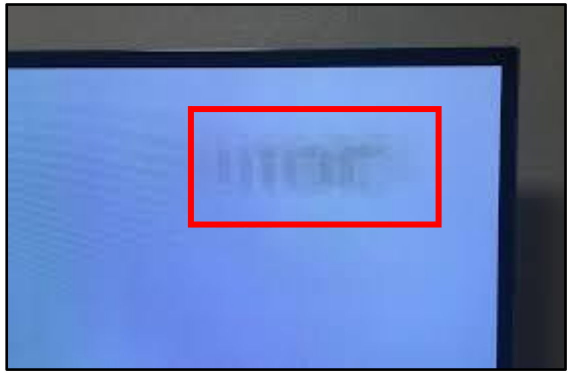
<디스플레이 종류별 휘도 비교>

	LCD	OLED	Micro-LED
Luminance (cd/m^2) * full color 기준	> 3 x 10^3	> 5 x 10^2	> 1 x 10^5



<Micro-LED는 아니지만, LED의 뛰어난 야외시인성을 볼 수 있는 코엑스 전광판>

(2) OLED의 번인 현상 및 청색 소자의 수명 문제 극복



<OLED 디스플레이의 번인 (burn-in) 현상>

- OLED 디스플레이는 유기물을 이용하기 때문에 산소와 수분에 취약
➔ 번인 현상 발생

- 무기물인 micro-LED는 번인 현상 문제를 극복할 뿐만 아니라 발광 특성 열화가 없어 매우 긴 수명을 가짐

(3) 높은 디자인 자유도를 갖는 디스플레이

<Stretchable 기판에 전사된 micro-LED 및 초대형 micro-LED 디스플레이 (790 인치)>

- 매우 작은 크기의 LED로 휘어질 때 깨지지 않으며, AR/VR을 위한 초소형 고휘도/저전력 디스플레이부터 단위 패널을 타일링 배열을 통한 대면적 디스플레이까지 제작 가능

* 출처: OMDIA, IBK 투자 증권, KITIA

연세대학교 YONSEI UNIVERSITY

Micro-LED 디스플레이의 기술적 난제: 까다로운 공정으로 높은 양산 비용

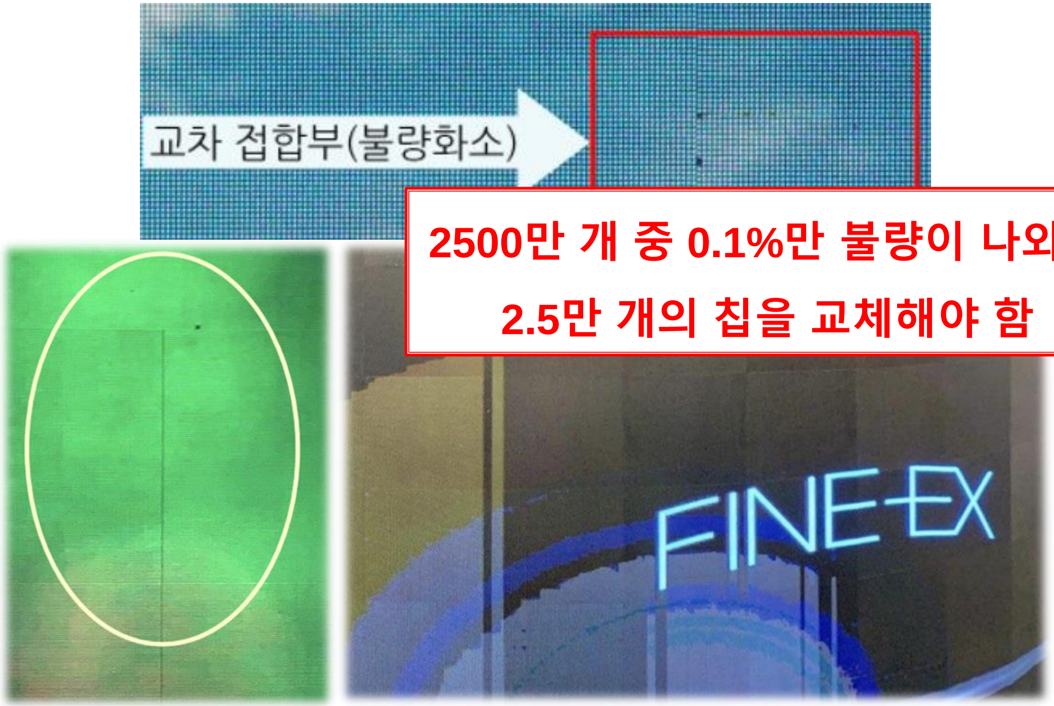
- 높은 가격, LED 칩 전사 공정 등이 상용화의 걸림돌

  : 고해상도 구현을 위한 칩 소형화 ➔ 난이도 높은 공정으로 낮아지는 수율

<디스플레이 해상도에 따른 micro-LED 필요량>

	Full-HD	UHD (4K)	UHD (8K)
LED 칩 개수 (단위: 백만 개)	6.2	24.9	99.5

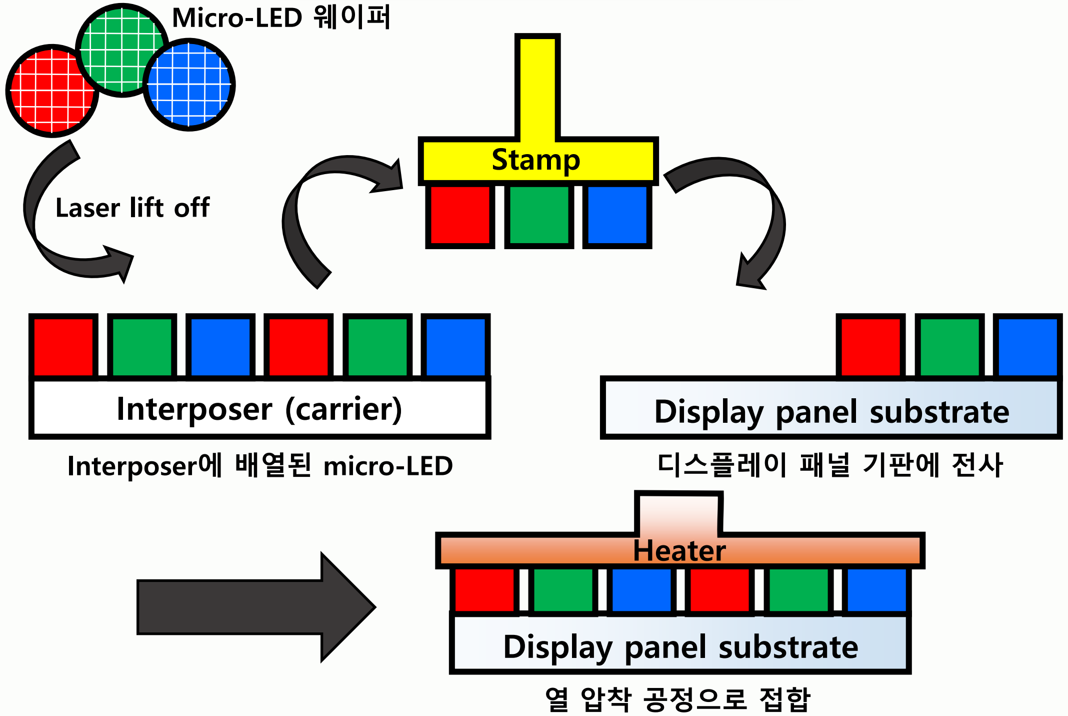
- 동작하지 않는 불량 화소, 모듈 간 정렬 불일치에 따른 단면 불량 문제



2500만 개 중 0.1%만 불량이 나와도
2.5만 개의 칩을 교체해야 함

<CES 2020에서 공개된 micro-LED 디스플레이의 불량 예시>

Micro-LED 전사/접합 공정



- 7680 X 4320 화소의 해상도를 구현하는 8K TV에 필요한 마이크로 LED의 개수는 1억 개의 micro-LED 칩 필요

  ➔ 대량 생산 장비 없이 기존 방식으로는 TV 1대에 80일 이상 소요
- 수율을 개선할 다양한 전사/접합 공정 개발 진행 중

  ➔ 예시: ETRI – Laser-Assisted Bonding (LAB)

  (레이저를 이용해 선택적으로 가열하여 전사와 접합을 동시에 진행)

Micro-LED 디스플레이의 미래는 밝다! 앞으로의 발전 방향

- Micro-LED 디스플레이의 제작 비용은 빠르게 감소 중

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Micro-LED	58,693	1,266	23,688	15,696	10,635	7,355	5,189	3,735
OLED	1,323	1,266	674	632	597	564	533	504

PlayNitride plans to reduce micro-LED chip prices by 95% within 5 years

MicroLED makers will have to integrate the entire supply chain - from LED wafer production and process to transfer technology, backplane production and display module fabrication

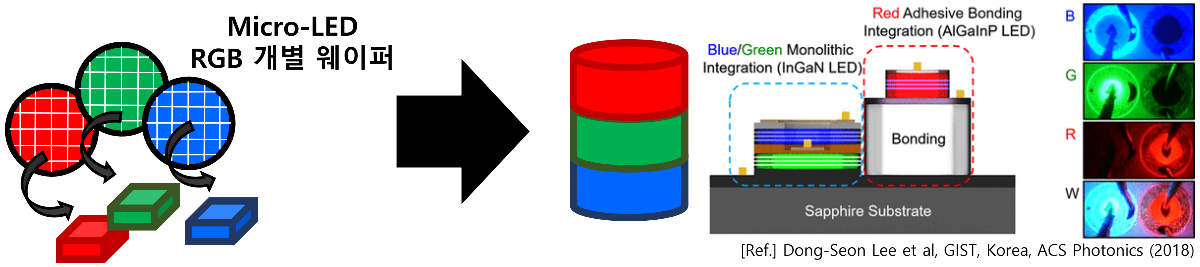
[Ref.] Microled-info.com

Aledia orders Veeco's 300 mm MOCVD systems for its upcoming MicroLED production fab

Veeco announced that France-based 3D GaN LED developer Aledia has selected the company's Propel 300mm HVM MOCVD system for its microLED production plant.

[Ref.] Microled-info.com

- RGB 개별칩 ➔ RGB 원칩: 하이브리드 형태의 新 화소 개발



[Ref.] Dong-Seon Lee et al, GIST, Korea, ACS Photonics (2018)

(현재) ~100 um, 단색 (향후) ~1 um, All in one

서울바이오시스, IFA서 적층형 구조 마이크로 LED 공개... '초격차란 이런 것'

적층 구조의 RGB가 하나의 픽셀처럼 독보적인 칼라 믹싱을 통한 색 발광
적층의 구조적 장점으로 정교한 블랙감, 선명한 화질 구현이 가능

[Ref.] 블로터 2022.09.12

- '퍼블릭 디스플레이/TV' 다음 micro-LED의 적용 분야는 스마트 워치 등의 '웨어러블 디스플레이'!

Google acquires microLED startup that is working on displays for AR glasses

In 2020, google acquired North, a maker of AR glasses, now it has picked up Raxium, which is developing microLED displays for AR and VR applications.

[Ref.] GSMArena 2022.03.18

* 출처: 한국광기술원, OMDIA

* MOCVD: metal organic chemical vapor deposition

Contents

앞으로 OLED, QD & Micro-LED Display가 필요로 하는 TFT는?

Small display

빠른 TFT 회로 구동 및 저전력 구동을 위한

LTPS, LTPO/MTO/HOP 기술 필요

Medium-Large display

대면적에서도 uniform한 디스플레이 구동을 위한

Oxide TFT 기술 필요

중요한 것은 발광 소자의 종류가 아니다.

중요한 것은 display의 '크기'이다.

앞으로 AR/VR Display가 필요로 하는 마이크로 디스플레이 기술은?

1 Backplane for AR/VR display

- ✓ Near-eye display
- ✓ High resolution display (3,000~5,000 ppi)

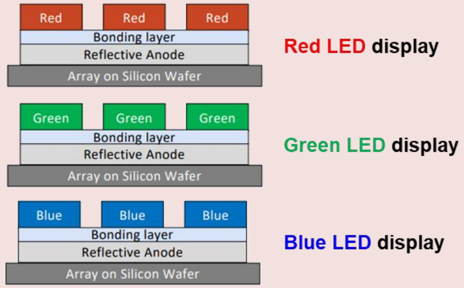
→ **On-silicon CMOS backplane**

➕

2 Emissive layer for AR/VR display

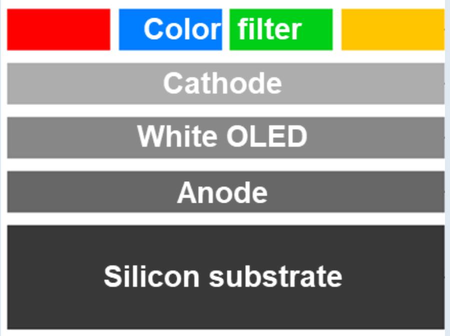
AR device 현실 세계 빛의 유입으로 인한 높은 brightness 요구

LEDoS



VR device 현실과 완전히 분리되어 brightness가 작아도 선명한 이미지 구현 가능

OLEDoS



Thank you