

# アモルファス酸化物半導体と 21世紀のディスプレイ

神谷 利夫、井手 啓介、細野 秀雄  
東京工業大学



# 内 容

1. テレビジョン・ディスプレイの歴史
2. a-IGZO TFT/ディスプレイの開発
3. AOSの特徴と材料科学

# 内 容

1. テレビジョン・ディスプレイの歴史
2. a-IGZO TFT/ディスプレイの開発
3. AOSの特徴と材料科学

# テレビジョン・ディスプレイの歴史

## • 高柳健次郎先生 「日本のテレビの父」

世紀最大のメディア「テレビ」を創ったひと、高柳健次郎博士の軌跡

<https://www.titech.ac.jp/public-relations/about/stories/kenjiro-takayanagi>

1899年 静岡県浜名郡和田村 (現 浜松市) に生誕

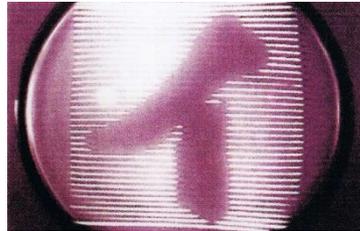
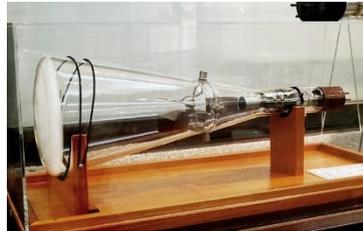
1919年 東京高等工業学校 (現 東工大) 附設工業教員養成所 入学

1921年 神奈川県立工業学校 (現 神奈川工業高等学校) 教諭

1924年 浜松高等工業学校 (現 静岡大学工学部) 助教授



## 1926年 世界最初の電子式テレビジョンの開発



## 1940年 テレビの実験放送

## • ブラウン管

1927年 ブラウンが陰極線管を発明

1907年 ボリス・ロージングがブラウン管を使った受像装置を発案

# 2000年: 21世紀へ

20世紀に、置いてゆくもの。

21世紀に、持ってゆくもの。

## シャープ「液晶世紀」

1987年 3型カラー液晶TV発売

2001年1月1日 液晶TV AQUOS発売

<https://www.youtube.com/watch?v=-lpheAs9Y4A1>



シャープは、  
すべてのテレビを液晶に変えていきます。  
さあ、液晶世紀へ。

## 「21世紀はソフトエレクトロニクスの時代」

### 有機エレクトロニクス

1983 有機TFT *F. Ebisawa, T. Kurokawa, S. Nara, JAP 54 (1983) 3255*

1992 ペンタセンTFT ( $\mu = 0.002 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ )

*G. Horowitz, et al., Synth. Met. 51 (1992) 419.*

2000 ペンタセンTFT ( $\mu=2.4 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ )

*J. H. Schön, C. Kloc, B. Batlogg, Org. Electron. 1 (2000) 57.*

2002年9月25日 ベル研究所調査委員会 不正行為を公表

有機エレクトロニクス自体はスキャンダルとは別に発展していく

# a-Si TFT/ディスプレイの歴史

- **1975 a-Si:Hの価電子(ドーピング)制御**  
*W.E. Spear and P.G. LeComber, SSC 17 (1975) 1193; Philos. Mag. 33 (1976) 935.*
- **1979 a-Si TFT、LCDへの提案**  
*P.G. LeComber, W.E. Spear, and A. Ghaith, Electron. Lett., 15 (1979) 179.*
- **1980 a-Si LCDの動作実証**
- **1982 320×320 a-Si LCD**
- **1986 松下電器、a-Si TFT LCDの実用化 (3”ポケットカラー液晶TV)**  
*S. Hotta et al., SID'86 Digest (1985) 66.*
- **1986 NEC: PC-98LT 640×400 反射式モノクロLCD**

<http://www.weblio.jp/content/PC98LT>

CPU  $\mu$ PD70216(V50) 8MHz

メモリ 384kByte

その他 640×400ドット反射式モノクロLCD

価格 238,000円 (model 1)

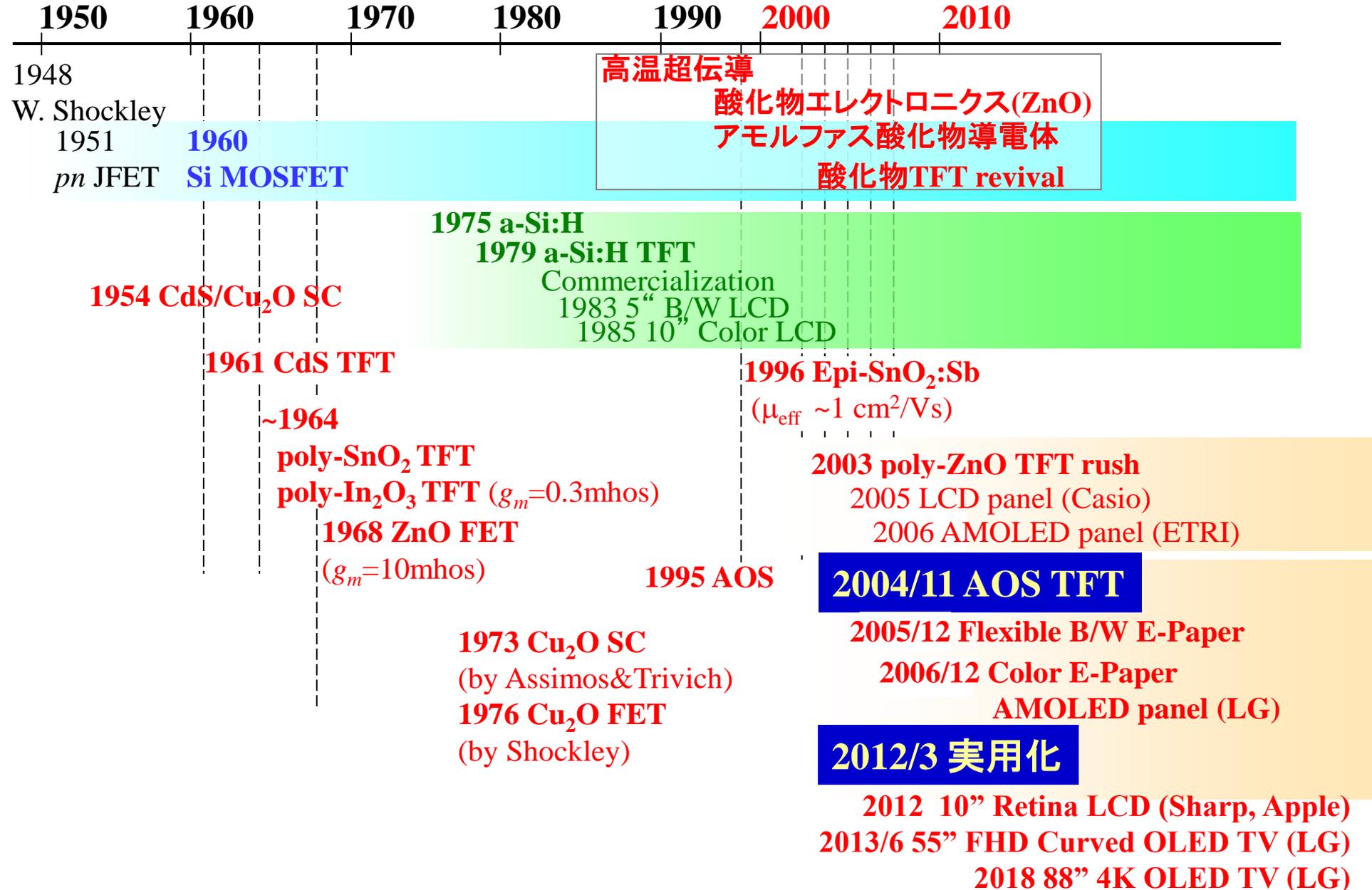


- **2000 Sharp: “液晶世紀”**
- **2005 液晶CRTの出荷額がブラウン管を超える**
- **2006 液晶TVの出荷額がブラウン管を超える**

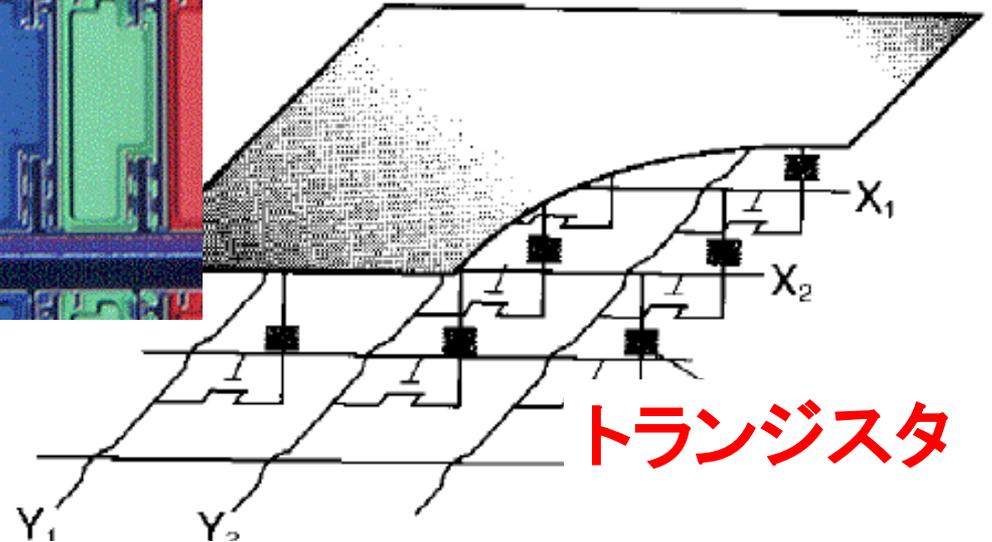
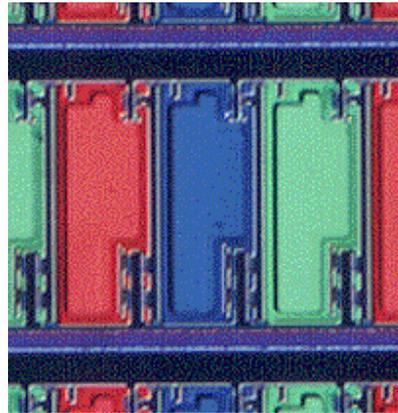
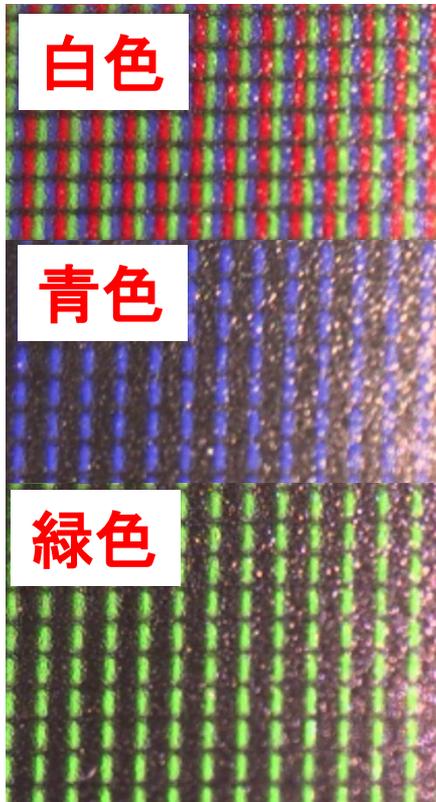
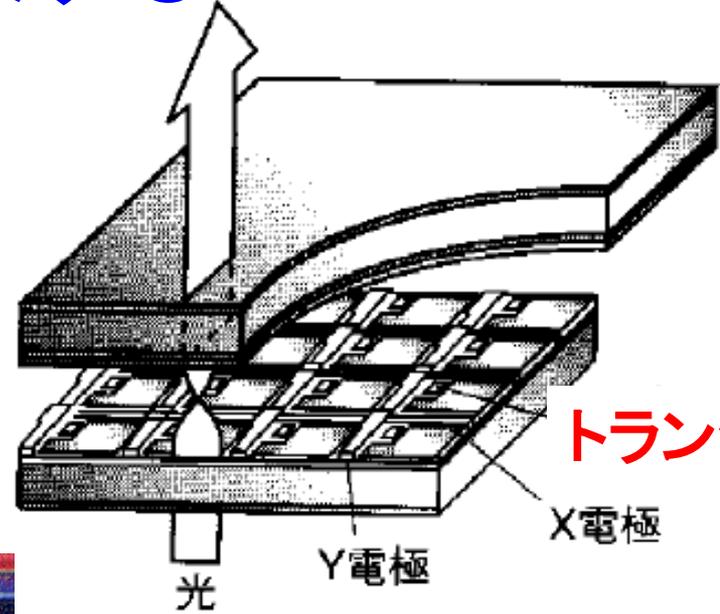
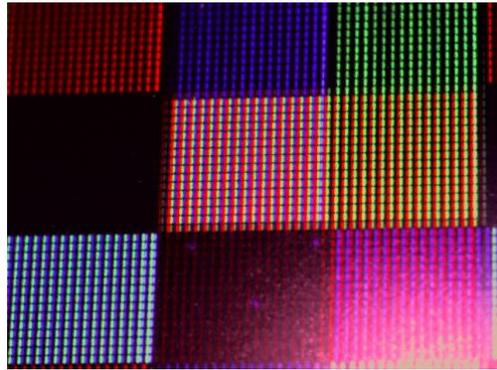
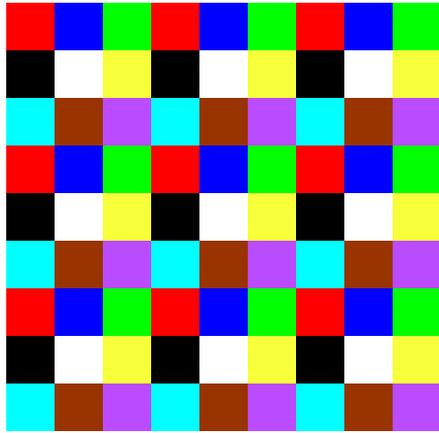
# 内 容

1. テレビジョン・ディスプレイの歴史
2. a-IGZO TFT/ディスプレイの開発
3. AOSの特徴と材料科学

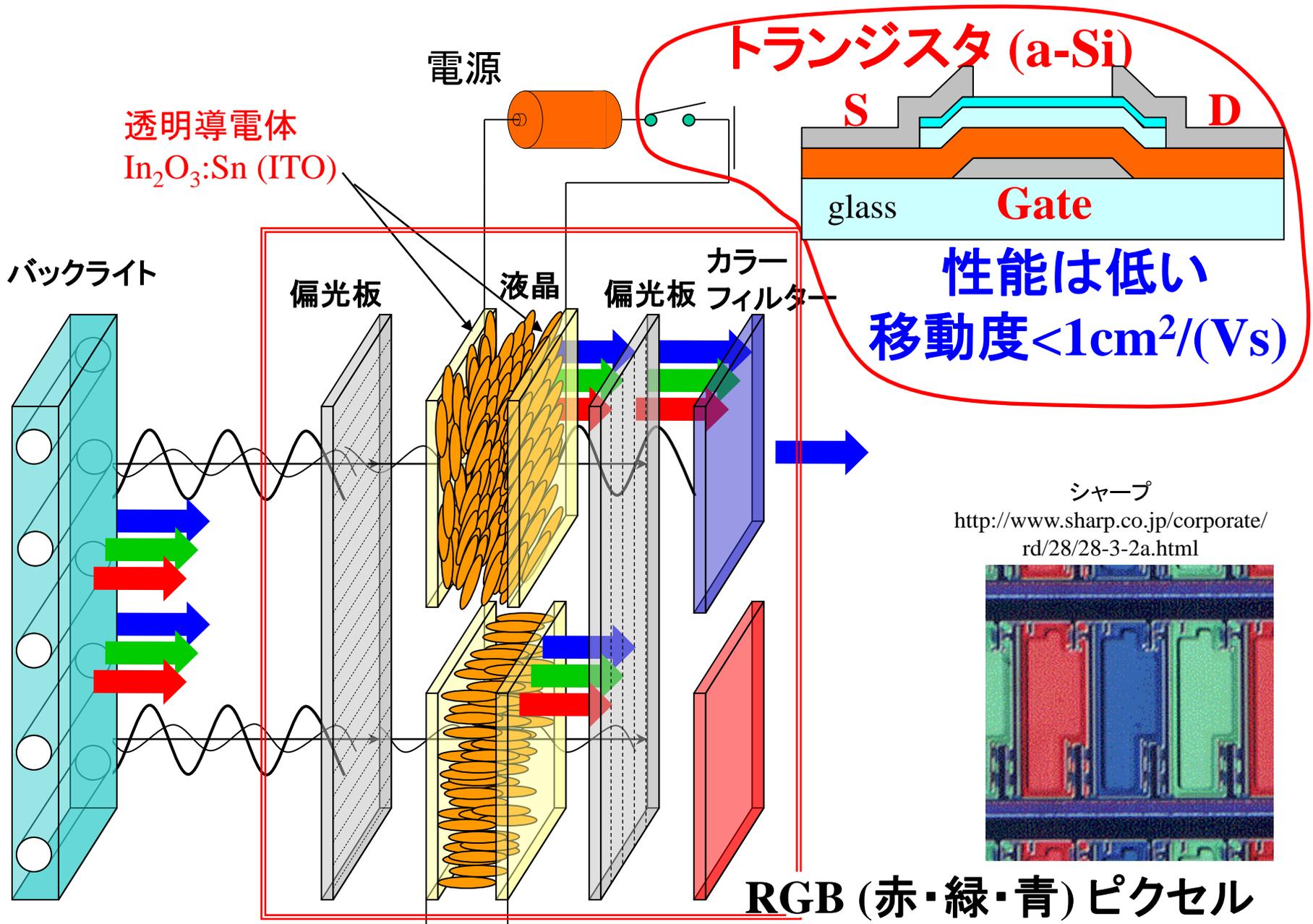
# 薄膜トランジスタ TFT の歴史



# 液晶TVを拡大すると...



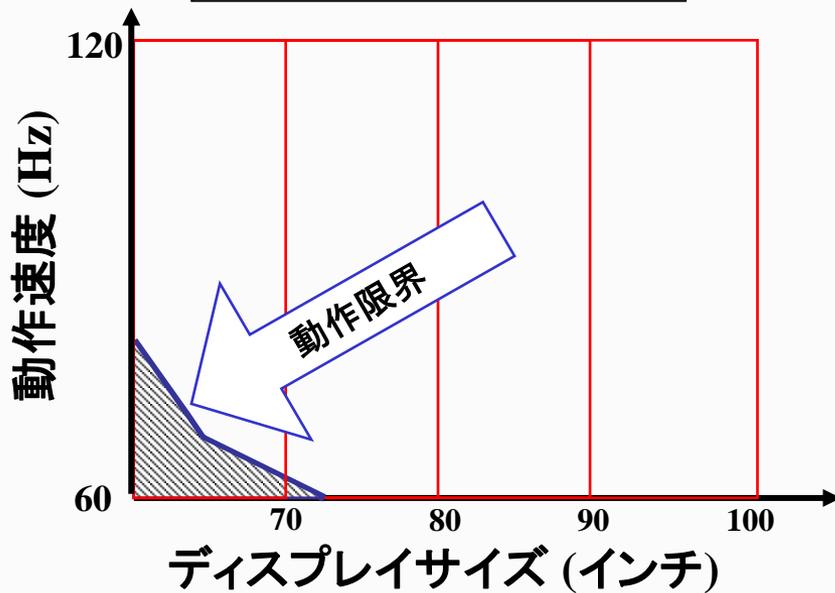
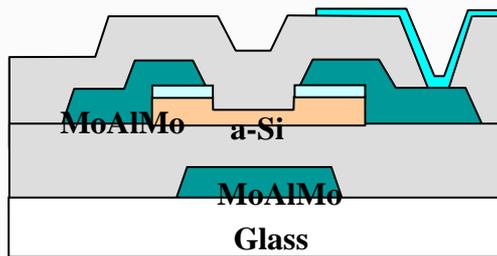
# 液晶TVの構造



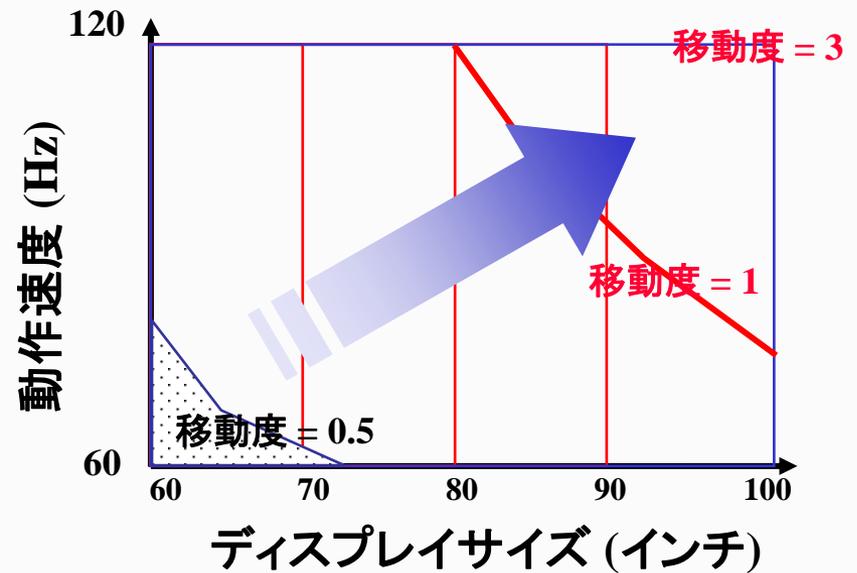
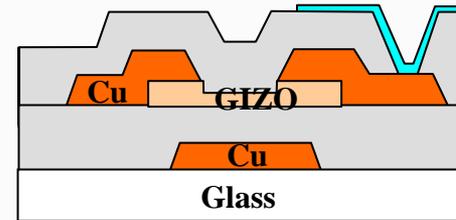
# 液晶TVが大型化するとシリコンは使えない

出典: Jang Yeon Kwon (SAIT), IDW 2007

## 現在の a-Si トランジスタ

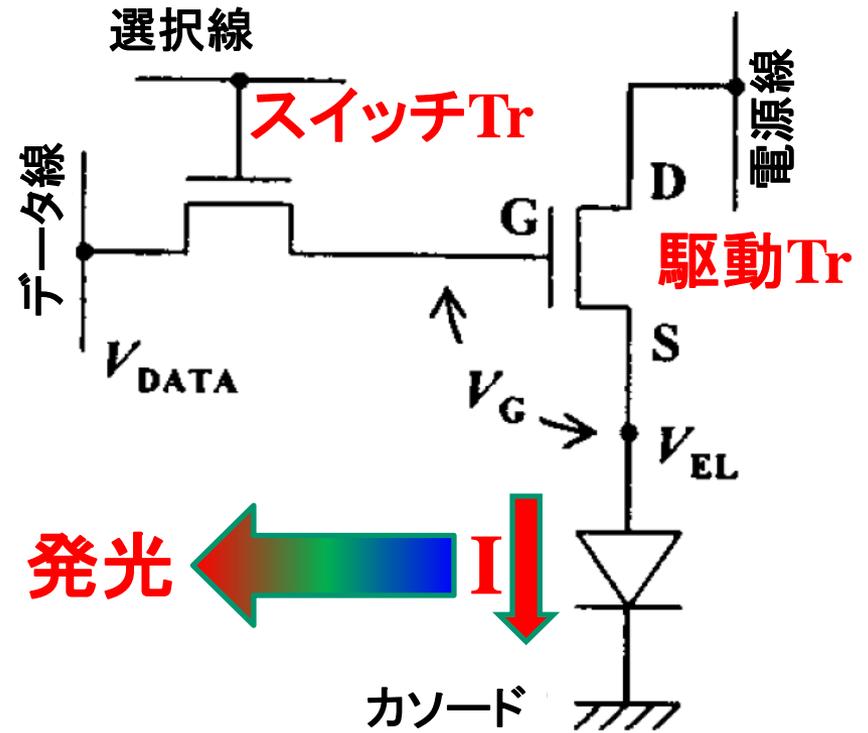
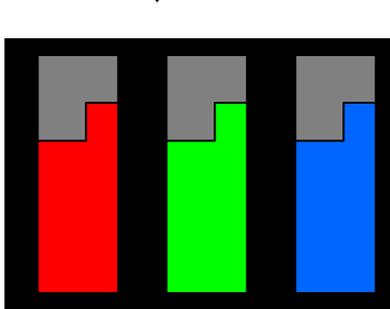
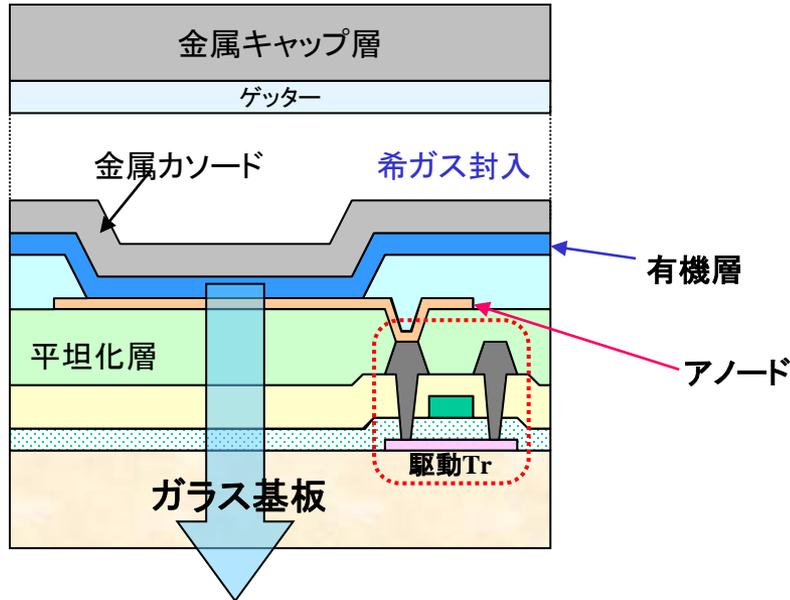


## 高性能トランジスタ



# OLEDの駆動回路と要求仕様

## 2Tr駆動回路



開口率  $\ll 30\%$

スイッチングTr: 駆動Trへの電圧を変えるだけ  
駆動Tr: 発光に必要な電流を供給  
高い電流駆動能、TFT移動度 ( $> 4 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ )

# 平面TVは 2 m 以上のガラスに作る

G11 3.00×3.32 m<sup>2</sup>

G10 2.88×3.13

G8.5 2.20×2.50

G8 2.16×2.46

G7.5 1.95×2.25

G7 1.87×2.2

G6 1.50×1.85

G5 1.10×1.30

G4 0.73×0.92

G3.5 0.68×0.88

G3 0.55×0.65

G2 0.37×0.47

G1 0.30×0.40



# 先端ディスプレイの トランジスタに必要な特性

- 多くの電流を流せる:
  - 有機ELなら数 $\mu\text{A}$  (**移動度  $> 3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$** )
- 2 m 以上のガラス基板上に作れる
  - 温度は $300^\circ\text{C}$ 以下**
- 同じ特性のデバイスを作れる
- 長い間使っても特性が変わらない
  - 電圧変化で  $\ll 1 \text{ V}$ 、実際は  $< 0.1 \text{ V}$

できれば

- 曲げても壊れない
- プラスチック上に作れる

# 2003年: ZnO TFT研究リバイバル

Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 42 (2003) pp. L347–L349  
Part 2, No. 4A, 1 April 2003  
©2003 The Japan Society of Applied Physics

Express Letter

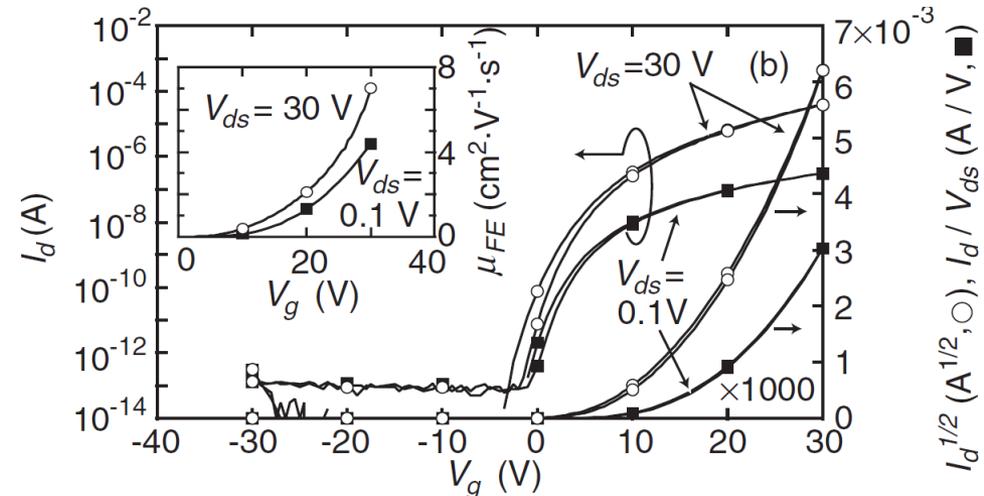
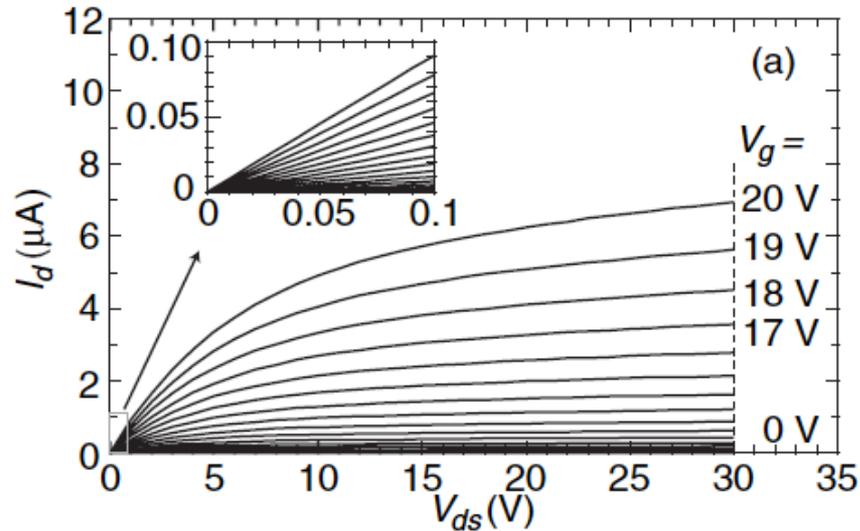
## High Mobility Thin Film Transistors with Transparent ZnO Channels

Junya NISHII<sup>1,2</sup>, Faruque M. HOSSAIN<sup>1,3</sup>, Shingo TAKAGI<sup>1,3</sup>, Tetsuya AITA<sup>3</sup>, Koji SAIKUSA<sup>3</sup>, Yuji OHMAKI<sup>2</sup>, Isao OHKUBO<sup>3</sup>, Shuya KISHIMOTO<sup>2</sup>, Akira OHTOMO<sup>1</sup>, Tomoteru FUKUMURA<sup>1</sup>, Fumihiro MATSUKURA<sup>2</sup>, Yuzo OHNO<sup>2</sup>, Hideomi KOINUMA<sup>3,\*</sup>, Hideo OHNO<sup>2</sup> and Masashi KAWASAKI<sup>1,\*</sup>,<sup>†</sup>

<sup>1</sup>Institute for Materials Research, Tohoku University, Aoba-ku, Sendai 980-8577, Japan

<sup>2</sup>Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Aoba-ku, Sendai 980-8577, Japan

<sup>3</sup>Materials and Structures Laboratory, Tokyo Institute of Technology, Midori-ku, Yokohama 226-8503, Japan



**ZnO (150 – 300°C)**

**CaHfO<sub>x</sub> gate**

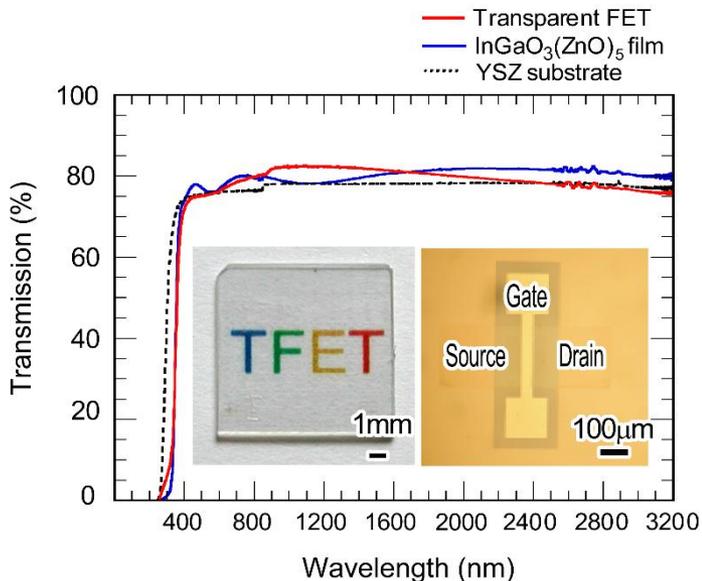
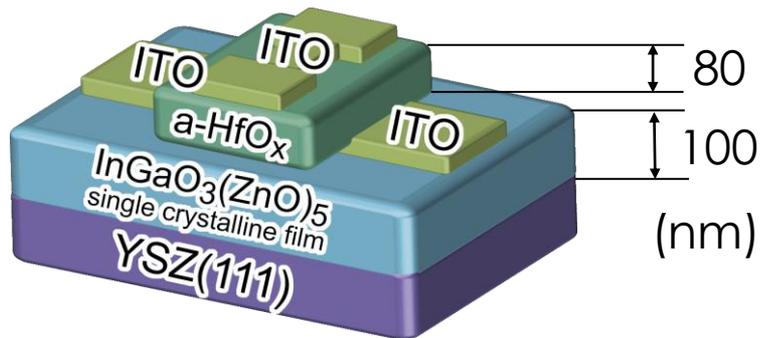
**$\mu_{FE} \sim 2.3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$**

**Effective  $\mu_{FE} \sim 7 \text{ cm}^2/\text{Vs}$**

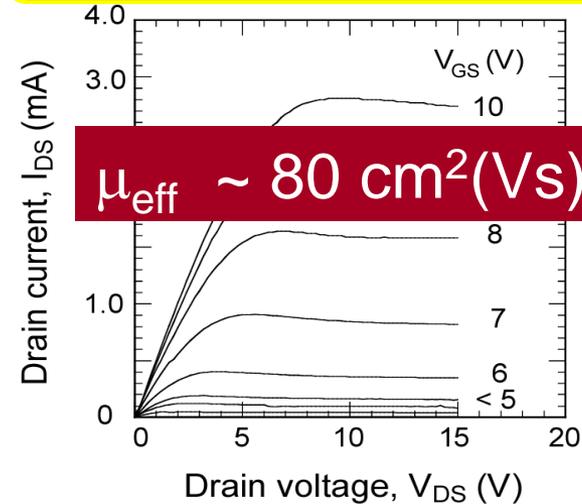
# 2003年:

## 高移動度単結晶透明電界効果トランジスタ

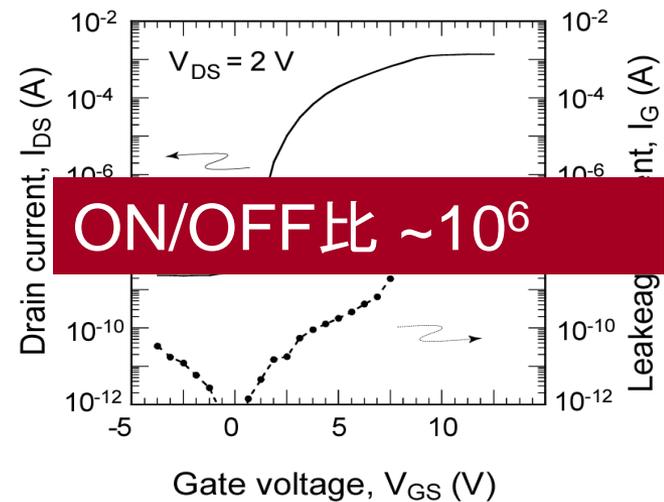
### デバイス構造



### 動作特性



$$\mu_{\text{eff}} \sim 80 \text{ cm}^2(\text{Vs})^{-1}$$



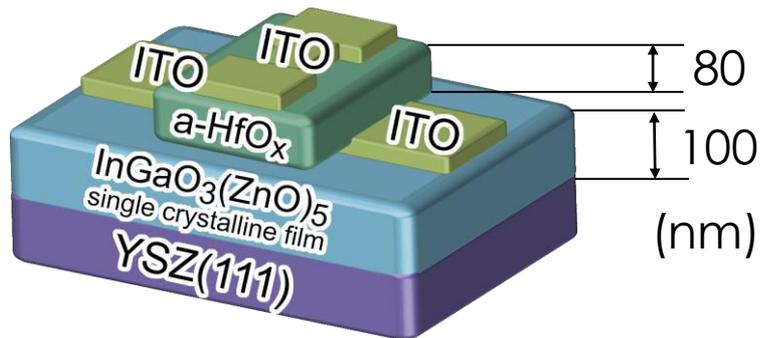
$$\text{ON/OFF 比} \sim 10^6$$

*Science*. 300, 1269 (2004).

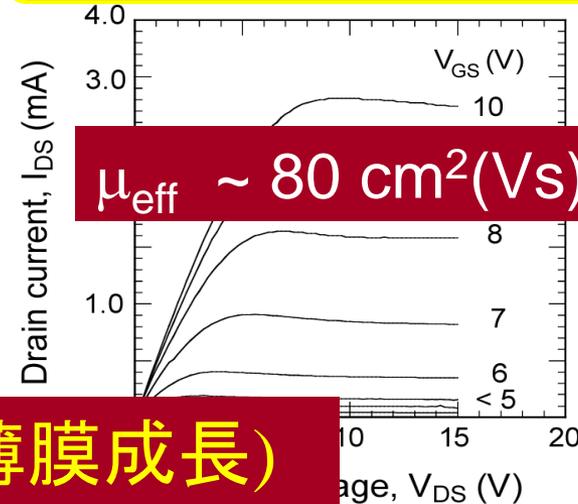
# 2003年:

## 高移動度単結晶透明電界効果トランジスタ

### デバイス構造

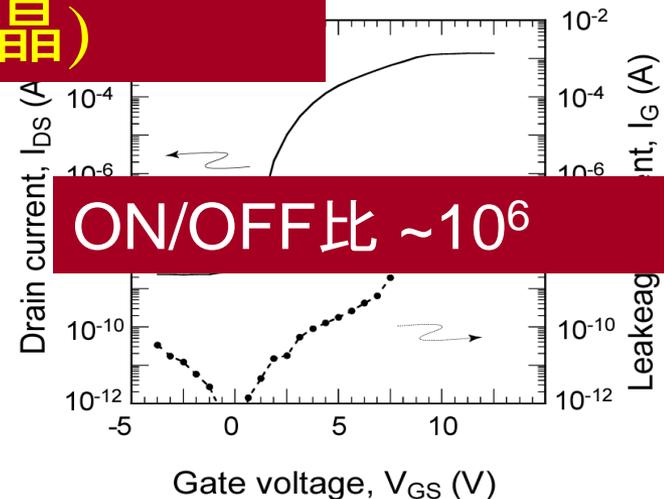
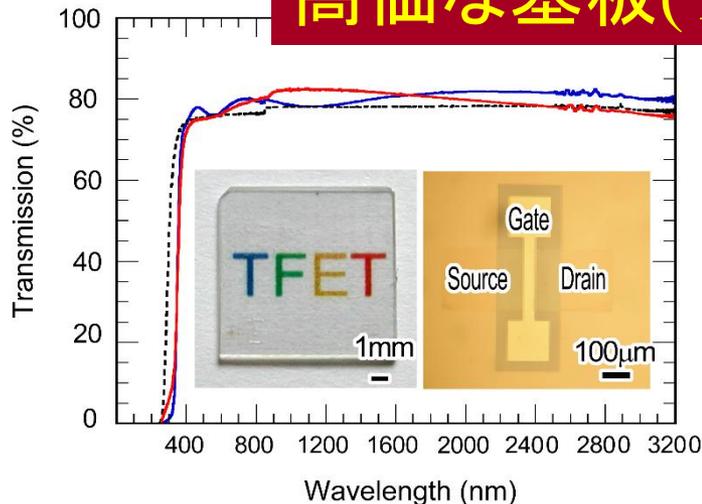


### 動作特性



$\mu_{eff} \sim 80 \text{ cm}^2(\text{Vs})^{-1}$

作製温度 > 1300 °C (薄膜成長)  
高価な基板 (YSZ単結晶)



ON/OFF比  $\sim 10^6$

*Science*. 300, 1269 (2004).

# 酸化物機能材料の課題

- **既存半導体技術に勝てるのか?**  
(GaN LEDs, Si MOS ULSIs などなど)?

**ターゲットが同じなら無理**

- **酸化物だけでしか作れないアプリケーション**を見つける必要  
酸化物に固有の特性、物性を考え直す。  
なぜ酸化物を使わなければいけないのか。

# 酸化物の特徴は？

## 1. 大きなバンドギャップ

絶縁体

不安定な電子、正孔

## 2. 構成元素が多彩

環境親和性、多機能/結合機能材料・デバイス

## 3. 結晶構造が多彩

ビルトインナノ構造(自然ナノ構造)

( $RM\text{O}_3(\text{ZnO})_m$ ,  $\text{LaCuOCh}$ , C12A7)

## 4. 強いイオン性

半導体の常識では欠点

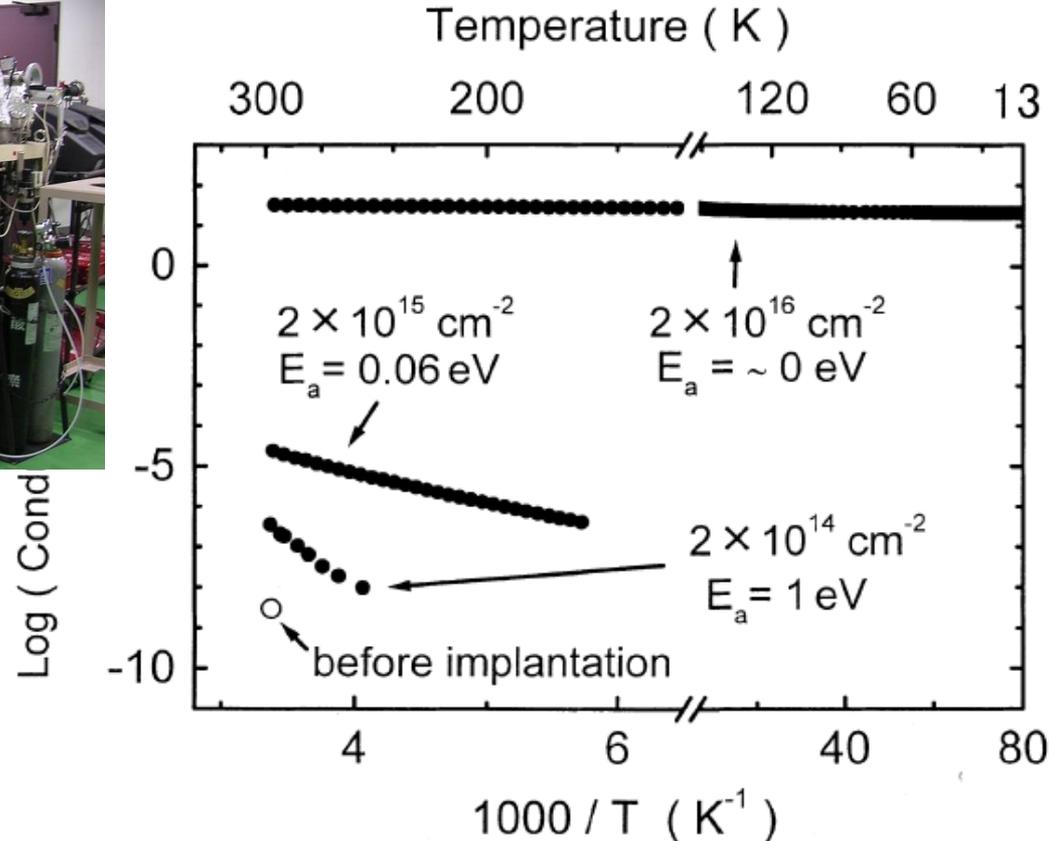
# ブレークスルーへ：逆張りの発想

1. 大きな**バンドギャップ**：物質へのキャリア注入  
絶縁体へ不安定な電子、正孔を導入
2. 透明酸化物導電体を酸化物半導体へ  
絶縁性の高い材料
3. 多彩な**結晶構造**を積極的に利用  
エネルギー的に不安定な電子、正孔を安定化
4. **強いイオン性**によって何が得られるか？  
室温でも動く半導体デバイス  
アモルファス中でも大きい電子移動度

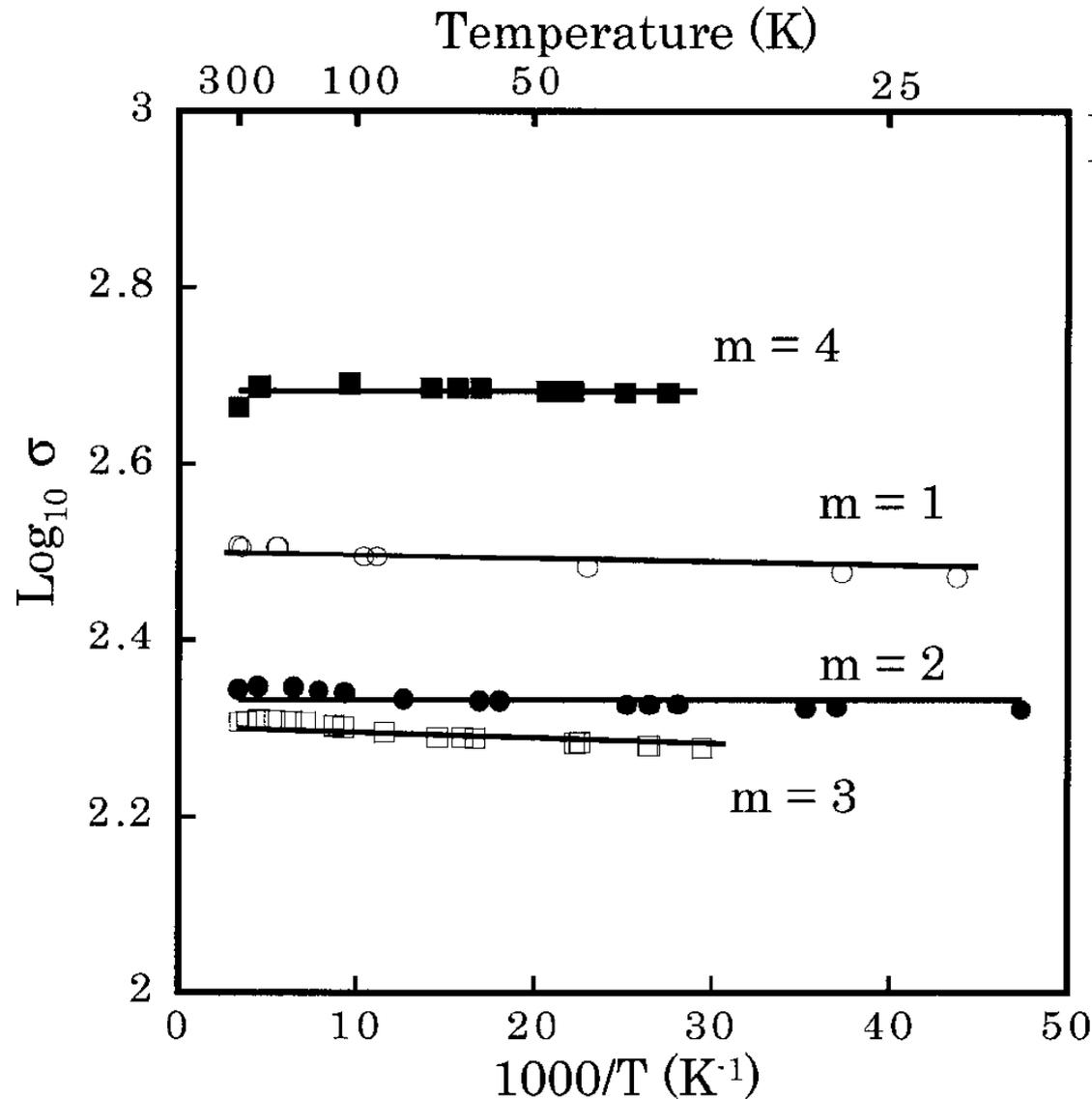
# 1995年: アモルファス酸化物で高性能材料

アモルファス  $2\text{CdO}\cdot\text{GeO}_2$   
強制的にプロトン注入

縮退伝導するまで  
ドーピング可能  
移動度  $\sim 10 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$



# 2000年: a-IGZOの発見



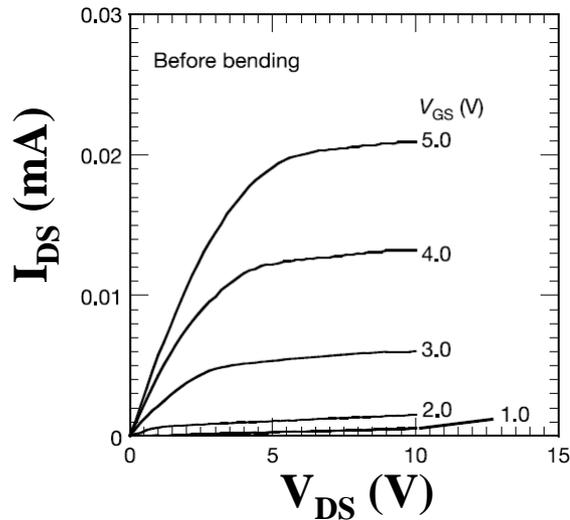
毒性物質を含まない  
真空PLD製膜  
縮退伝導するまで  
ドーピング可能  
移動度 12~20  $\text{cm}^2/(\text{Vs})$

# 2004年: 非晶質酸化物トランジスタ

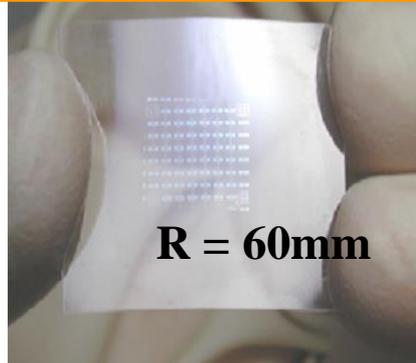
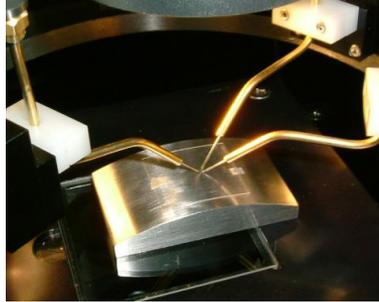
## a-InGaZnO<sub>4</sub> (a-IGZO)

- ✓ 低温でつくれる => 大面積ガラス OK
- ✓ 非晶質シリコンの10倍以上の高性能
- ✓ 曲げることもできる

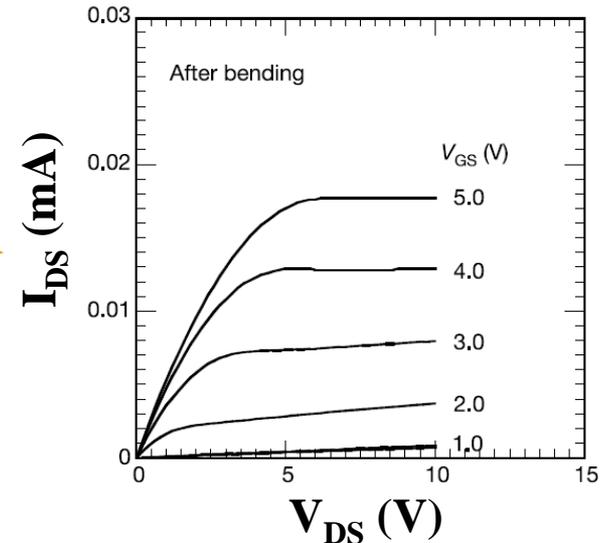
### 2004 曲げる前



8.3 cm<sup>2</sup>/Vs



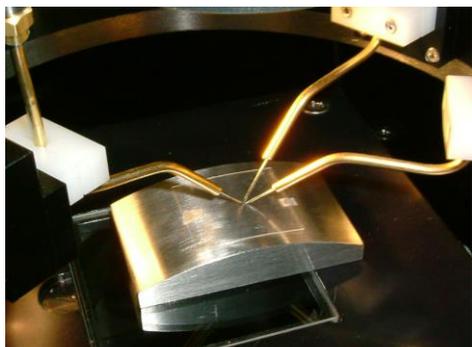
### 曲げた後



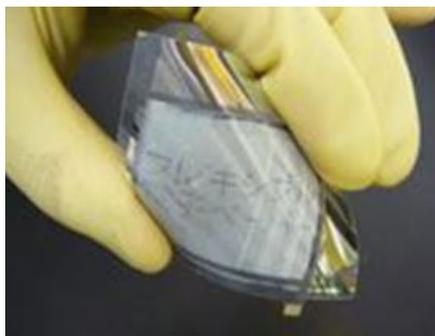
7 cm<sup>2</sup>/Vs

# a-IGZO (2004~2007): 小型ディスプレイ試作

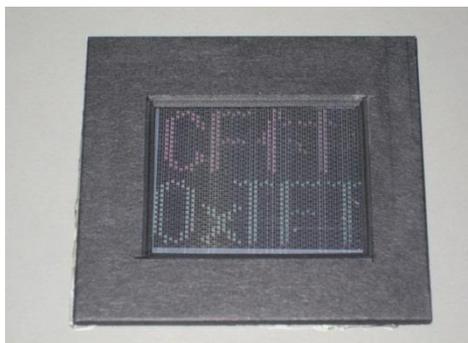
**Transparent, flexible TFT**  
(Tokyo Tech., Nov. 2004)



**Flexible BW E-paper**  
2", 80×60, 50ppi  
(Toppan, IDW2005)



**Front-drive color E-paper**  
2", 30×60  
(Toppan, IDW2006)



**AMOLED**  
3.5", 176×220 QCIF\*  
(LGE, IDW2006)



**Flexible AMOLED**  
3.5", 176×220 QCIF\*  
(LGE, IMID2007)



**AMOLED**  
4", 320×240 QVGA  
(SAIT, IMID2007)



# a-IGZO (2008-2011): 大型化、高解像度化

12.1" WXGA AMOLED  
1,280×768  
(Samsung SDI, IMID2008)



15" XGA LCD  
1,024×768  
(SEC, SID2008)



19" qFHD AMOLED  
960×540  
(SMD, IMID2009, #3-1)



17" AMLCD  
1,280×1,024  
Samsung LCD  
KES2009 Exhibition



37" FHD AMLCD  
1,920×1,080  
(AUO, TAOS2010)



70" 3D AMLCD  
3,840×2,160, UD  
(SEC, FPD12010)



32" AM-OLED  
1,920×1,080, FHD  
(AUO FPD12011)



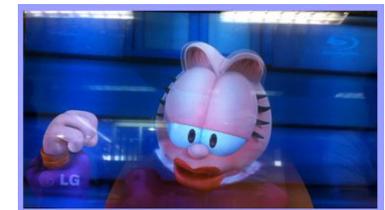
15" AMOLED  
1,920×1,280  
FHD  
(LGD  
TAOS2010)



65" AMLCD  
1,920×1,280  
FHD  
(AUO  
IDW10  
#AMD8-4L)



31" AMOLED  
HD, WOLED  
(LGD  
IDW11  
#AMD4-2)



# シャープ AQUOS Phone Zeta SH-02E

## IGZO



## InGaZnO<sub>4</sub>

- 2000 材料発見
- 2004 トランジスタ動作
- 2012 市販開始



# 2012年: IGZO TFTの実用化

新iPadのレティナディスプレイ  
9.7", 2,048×1,536, 264ppi  
(シャープ, 2012/3-4?)



AQUOS PHONE ZETA  
SH-02E  
4.9", 720×1,280 LCD  
(シャープ, 2012/11/29)



AQUOS PAD SHT-21  
7", 800×1,280 LCD  
(シャープ, 2012/12/7)



AQUOS PHONE ZETA  
SH-06E  
4.8", 1,080×1,920 LCD  
(シャープ, 2013/5)



AQUOS PAD SH-08D  
7", 1,200×1,920 LCD  
(シャープ, 2013/7)



PN-K321  
32", 3,840×2,160 LCD  
(シャープ, 2013/2/15)



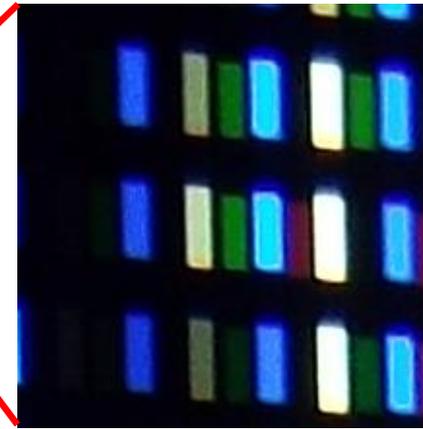
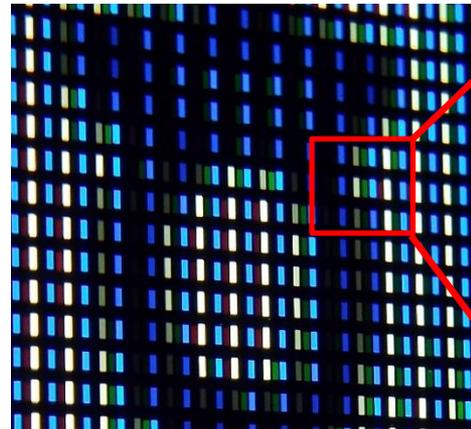
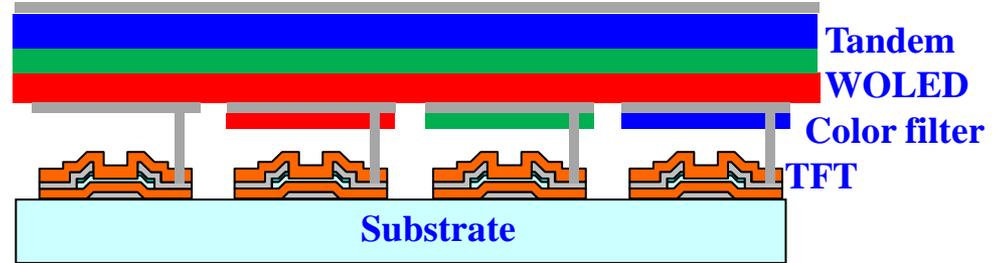
UH90/L  
14", 3,200×1,800 LCD  
(シャープ/富士通, 2013/6/28)



# 2013年~: LG 有機EL TV

WOLED + WRGB Color Filter  
IGZO TFT

55" Curved OLED TV, 1,920×1,080  
(LG, 2013/15, Jeju airport)



2013/6: 55" FHD Curved OLED TV

\$15,000 (55EA9800)

2015/4: 55" FHD Curved OLED TV

\$2,000 (55EA9800, USA)

2016/6: 55" FHD Curved OLED TV

\$1,635 (55EG9100, USA)

55" 4K Flat OLED TV

\$2,797 (55B6P, USA)

65" 4K Flat OLED TV

\$5,497 (65E6P, USA)

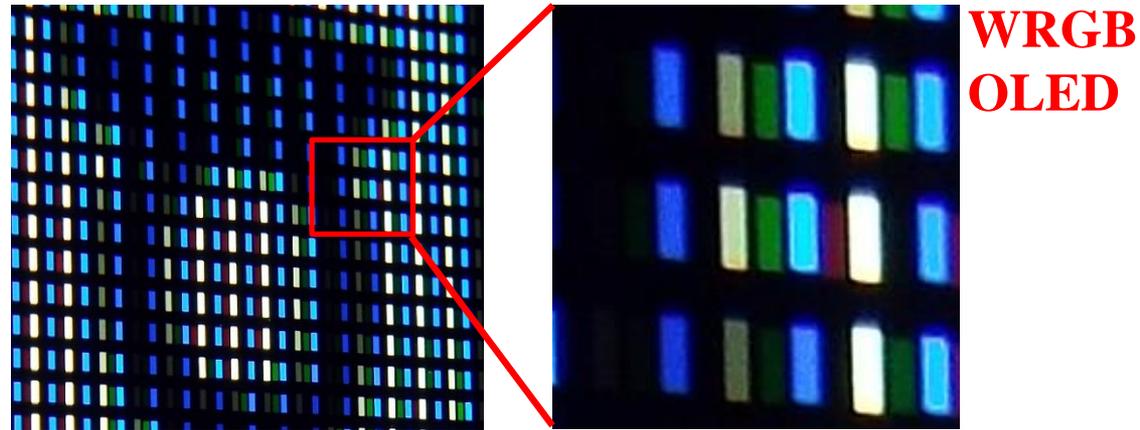
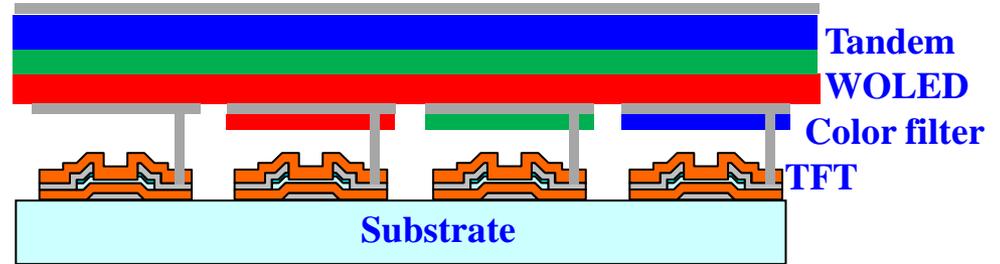
77" 4K Curved OLED TV

\$24,997 (77EG9700, USA)

# 2013年~: LG 有機EL TV

WOLED + WRGB Color Filter  
IGZO TFT

55" Curved OLED TV, 1,920×1,080  
(LG, 2013/15, Jeju airport)



2013/6: 55" FHD Curved OLED TV

\$15,000 (55EA9800)

2015/4: 55" FHD Curved OLED TV

\$2,000 (55EA9800, USA)

2016/6: 55" FHD Curved OLED TV

\$1,635 (55EG9100, USA)

2019 : 55" 4K (Hisense)

¥169,696

65" 4K (LG)

¥281,588

**2021 : 55" 4K**

**10万円台**

# 市販されているIGZO TFT製品

**Apple iPad Pro**  
12.9", 2,732×2,048  
(Sharp, LG etc, 2015/11)



**Microsoft Surface Pro 4**  
12.3", 2,736×1,824  
(Samsung, 2015/10)



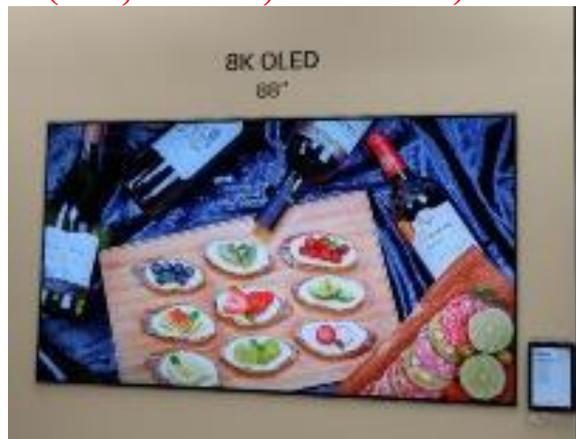
**AQUOS EVER SH-02J**  
5.0", 720×1,280 LCD Full In-Cell  
(Sharp, 2016/11/4)



**Wallpaper TV (OLED)**  
65" 4K  
(LG, 2017/4, in Japan)



**OLED TV**  
88" 8K  
(LG, 2018/1, CES2018)



**Rollable TV (OLED)**  
OLED R, 65" 4K  
(LG, 2021 on sale at \$100,000)



# LG's Bringing Its Rollable OLED TV to the US With a \$100,000 Price Tag

2021/7/16 PC mag

<https://www.pcmag.com/news/lgs-bringing-its-rollable-oled-tv-to-the-us-with-a-100000-price-tag>

## LG Signature OLED R

65", 120Hz 4K gaming, variable refresh rate

\$87,000 in South Korea in October 2020

\$100,000 in US in 2021



# 超大型有機ELディスプレイ

仁川空港

55型有機EL×(10×14), 8×13 m<sup>2</sup>

Nソウルタワープラザ (南山、ソウル)



9 m 有機ELトンネル



15 m パノラマ有機EL



LG 3Dワールド



波型有機EL天井 24 m



大日本印刷  
五反田ビル  
ショールーム  
55型有機EL×(6×4),  
5×4.2 m<sup>2</sup>

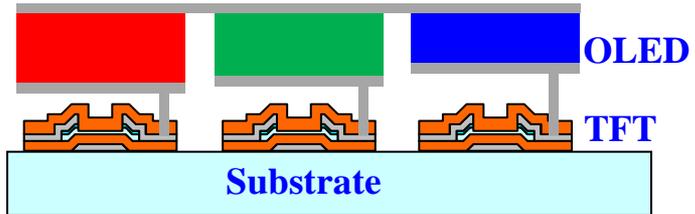


# なぜLGだけが大型有機EL TVを作れるのか？

ソニー/サムスン/

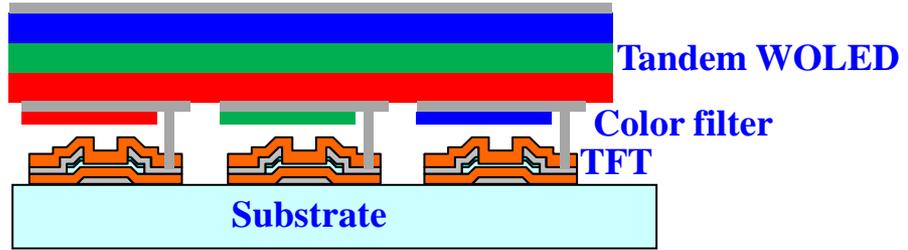
Everdisplay/Visionox

RGB OLED / LTPS (mc-Si) TFT



LG

白色OLED + WRGBカラーフィルター  
IGZO TFT



|                       | スマホから<br>ノートPC                   | デスクトップディスプレイ 27" から<br>大型 TV (88" @2021) |  |
|-----------------------|----------------------------------|--|--|
| TFT                   | Pチャンネル 低温多結晶Si TFT               | Nチャンネル 酸化物TFT                            |  |
| OLED                  | RGB塗分け<br>上部発光<br>標準積層構造         | <b>WOLED / RGB CF</b><br>下部発光<br>標準積層構造  |  |
| Pixel compensation    | <b>数個のTFT</b><br>(Galaxyでは~ 8Tr) | 数個の TFT                                  |  |
| External compensation |                                  |  |  |

# 「新材料の実用化には20~30年かかる」?

- 材料工学では「定説\*」
- エレクトロニクスはそんなに気が長くない
- IGZOの立ち上がりは早い?
  - a-Siの立ち上げも早かった

# 実用化の歴史：比較

SC: 太陽電池 (Solar Cell)

TFT: トランジスタ (Thin-Film Transistor)

OLED: 有機EL

|             | a-Si SC | a-Si TFT | OLED | AOS  | a-IGZO | FeRAM |  |
|-------------|---------|----------|------|------|--------|-------|--|
| 半導体材料の発見    | 1975    | 1975     | 1965 | 1995 | 2001   | 1952  |  |
| 素子動作        | 1976    | 1979     | 1987 | 2004 |        |       |  |
| デバイス試作・動作実証 |         | 1980     | 1997 | 2005 |        |       |  |
| 安定性等        | 1977    | 1977     |      | 2007 |        |       |  |
| 実用化         | 1980    | 1986     | 2007 | 2012 |        | 2004  |  |
| 一般化         | 2005    | 1989     | 2010 | 2013 |        | 2006  |  |

# 実用化の歴史：比較

SC: 太陽電池 (Solar Cell)

TFT: トランジスタ (Thin-Film Transistor)

OLED: 有機EL

|             | a-Si SC | a-Si TFT | OLED | AOS  | a-IGZO | FeRAM |
|-------------|---------|----------|------|------|--------|-------|
| 半導体材料の発見    | 1975    | 1975     | 1965 | 1995 | 2001   | 1952  |
| 素子動作        | 1976    | 1979     | 1987 | 2004 |        |       |
| デバイス試作・動作実証 |         | 1980     | 1997 | 2005 |        |       |
| 安定性等        | 1977    | 1977     |      | 2007 |        |       |
| 実用化         | 1980    | 1986     | 2007 | 2012 |        | 2004  |
| 一般化         | 2005    | 1989     | 2010 | 2013 |        | 2006  |

## 材料発見年からの経過

|             | a-Si SC | a-Si TFT | OLED | AOS | a-IGZO | FeRAM |
|-------------|---------|----------|------|-----|--------|-------|
| 素子動作        | 1       | 4        | 22   | 9   | 3      |       |
| デバイス試作・動作実証 |         | 5        | 32   | 10  | 4      |       |
| 安定性等        | 2       | 2        |      | 12  | 6      |       |
| 実用化         | 5       | 11       | 42   | 17  | 11     | 52    |
| 一般化         | 30      | 14       | 45   | 18  | 12     | 54    |

# 新材料実用化の必要条件

**技術 (最低条件):** 量産、信頼性、ビジネスに見合うコスト

**必然性** ⇔ 新技術導入にともなう“リスク”にかなうこと

## 1. 機能 (ニーズ、シーズ)

- ・現状では不可能 (a-Si TFT ⇔ a-Si太陽電池)
- ・現状より10倍高い (a-IGZO TFT)

## 2. コスト

- ・現状より1/10 (あるいは半分以下)

## 3. 社会・環境的制約

- ・**毒性** (フロン, Pb, Cd, Hg, As, 薬品, 農薬 etc.)
- (・**資源**(Ce研磨剤, Dy含有磁石, Pt etc.))

## タイミング

- ・新規導入設備 (装置メーカー主導)

# IGZO実用化の要因

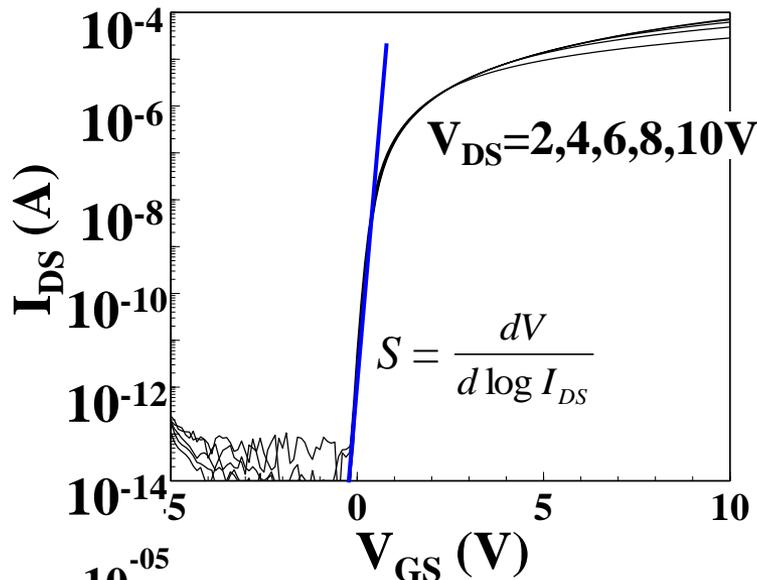
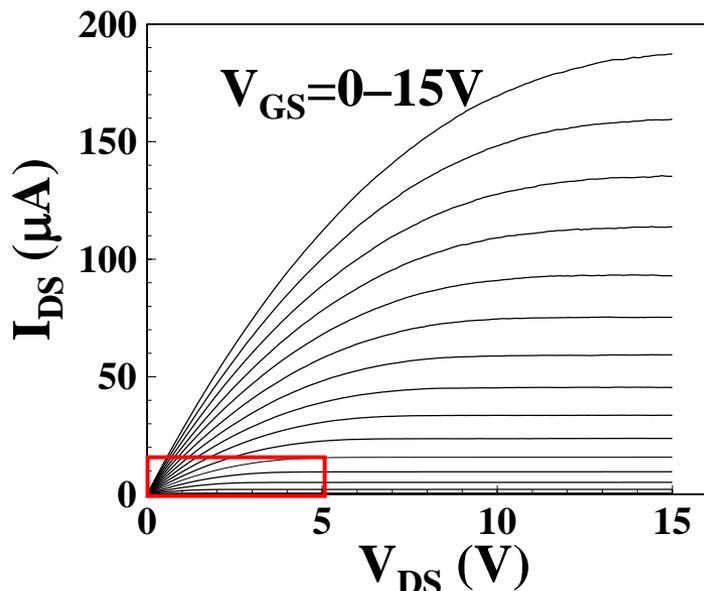
- **IGZOでなければできない**用途: 大型有機EL
- 難易度の高い技術を**あきらめる**  
RGB side by side => 白色OLED  
LTPS TFT           => IGZO TFT
- 高価格を相殺する **付加価値**: 曲面TV  
2016年は再び 平面TV へ
- 先行投資で**市場創出**
- 開発**競争** (LG vs サムスン)

# 内 容

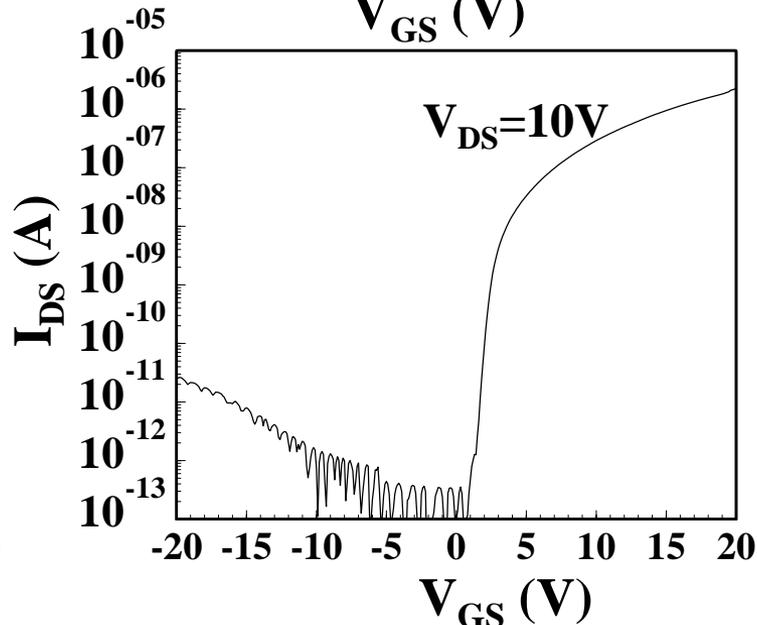
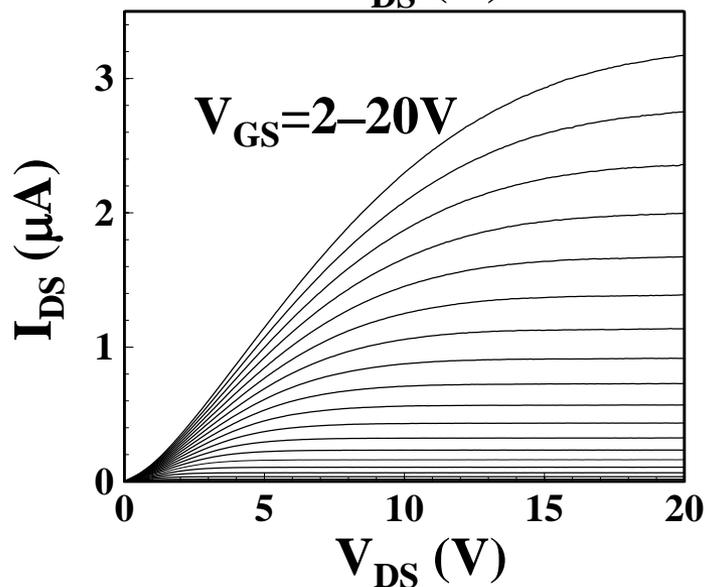
1. テレビジョン・ディスプレイの歴史
2. a-IGZO TFT/ディスプレイの開発
3. AOSの特徴と材料科学

# 非晶質酸化物トランジスタは100倍の電流を流せる

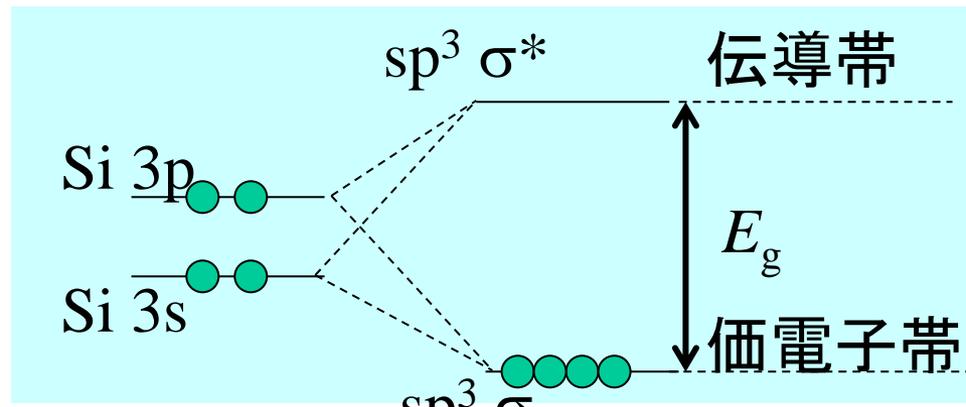
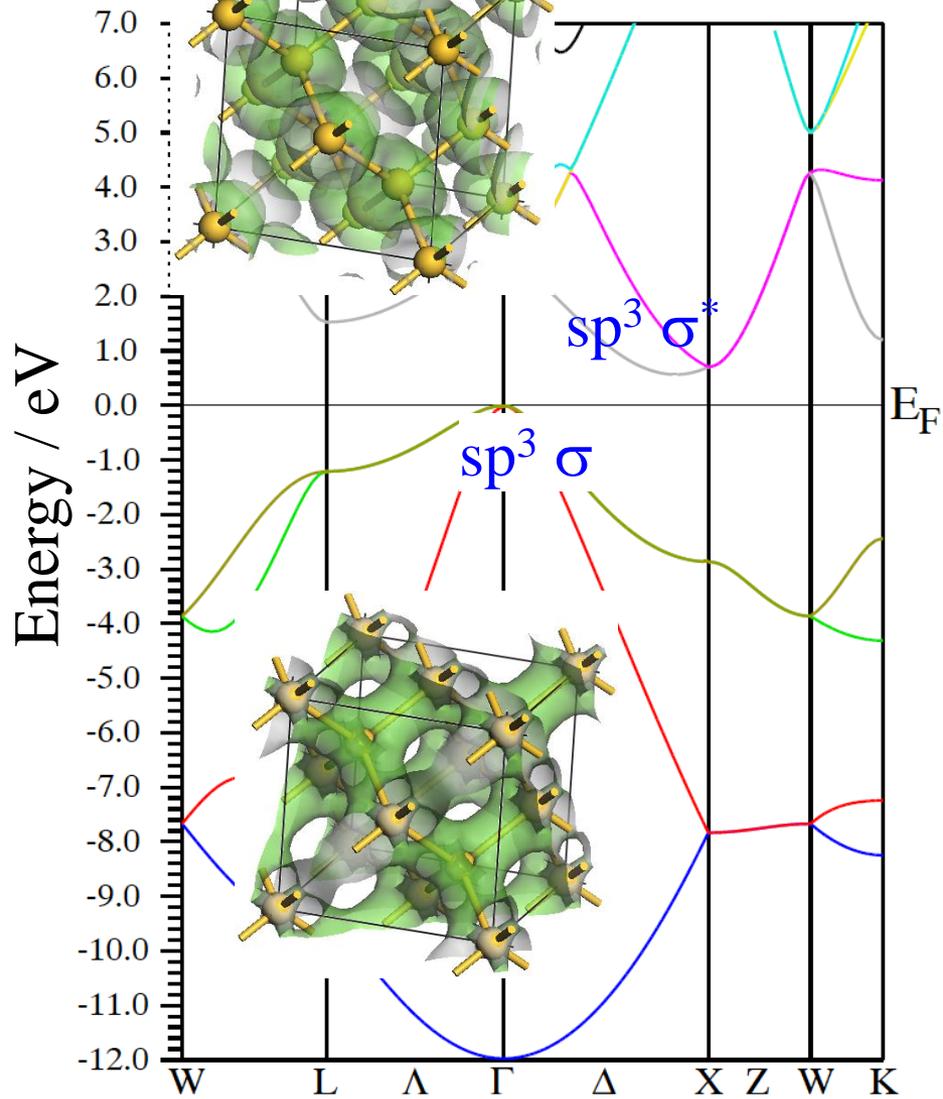
**a-IGZO**



**a-Si:H**

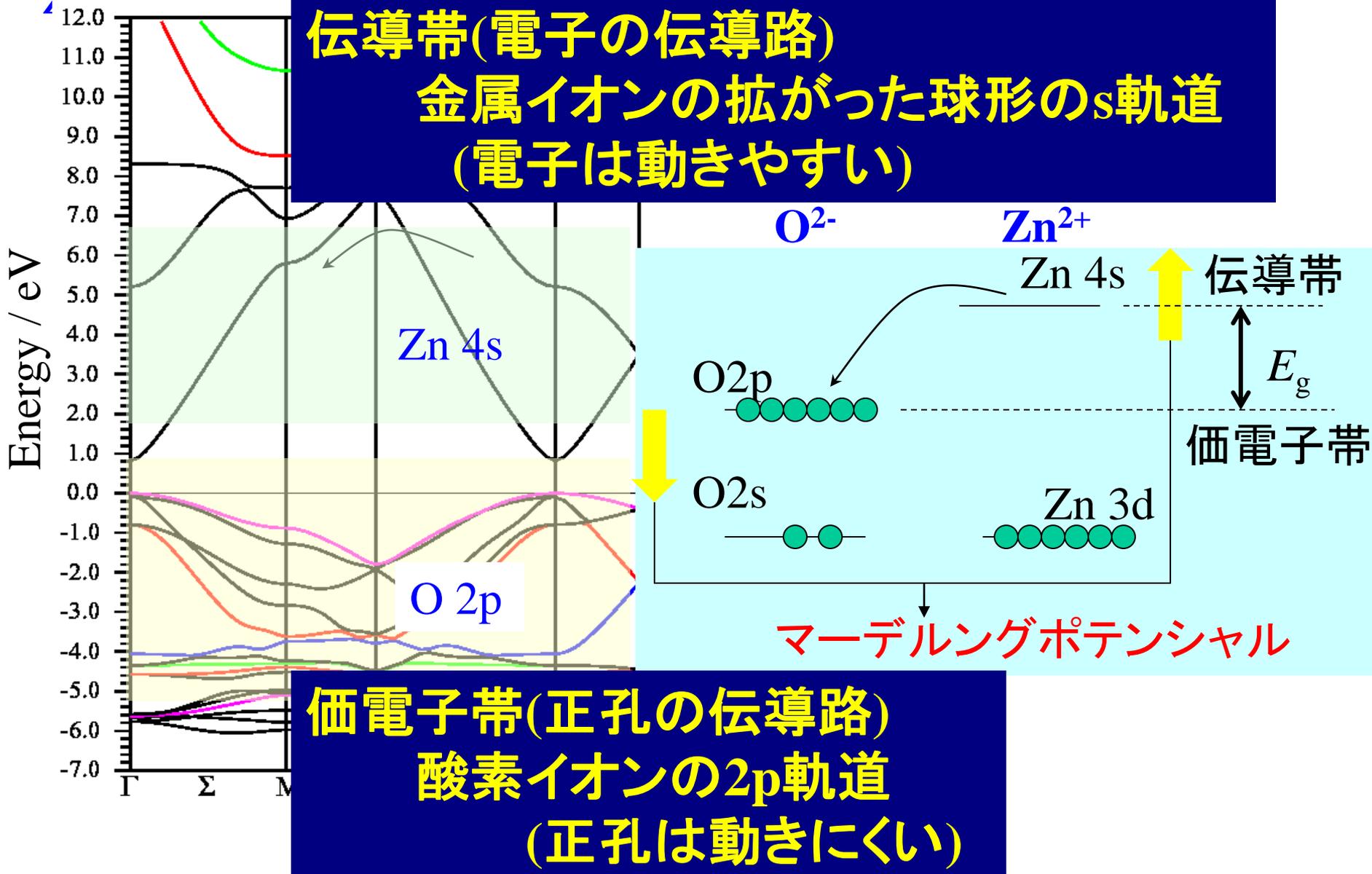


# シリコンの電子構造



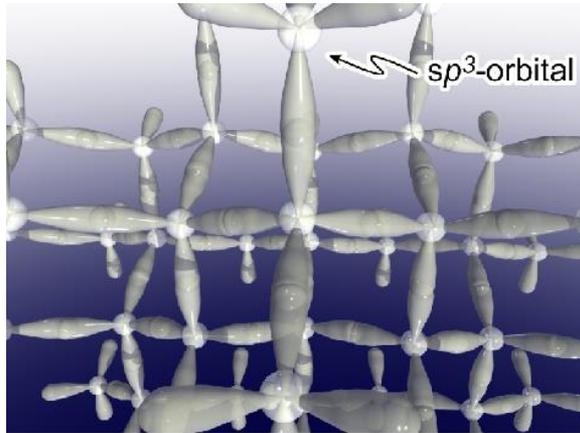
# 酸化物の電子構造

Znの化合物酸化物

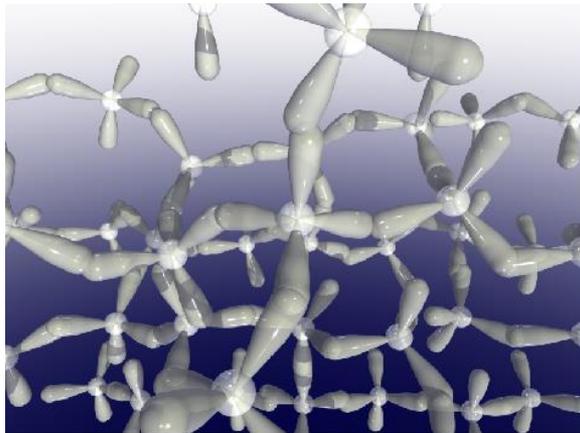


# 電子輸送路とキャリア輸送特性

シリコン



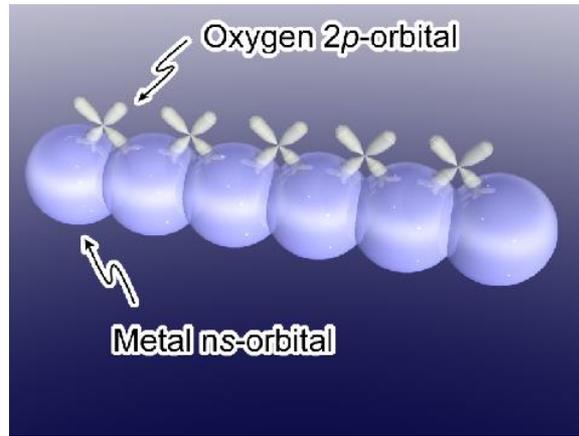
指向性 $sp^3$ 軌道  
局在裾状態



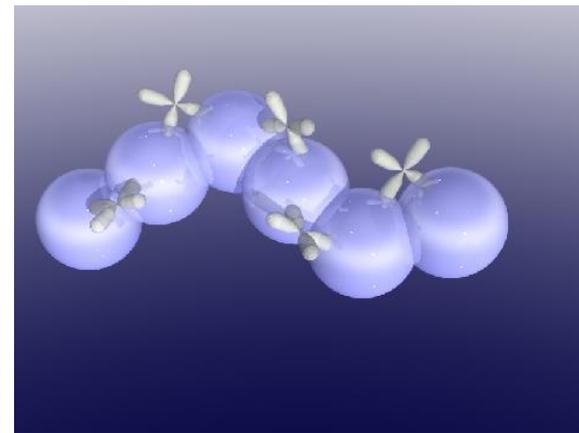
電子移動度  
輸送機構  
Hall電圧

$\sim 1 \text{ cm}^2(\text{Vs})^{-1}$   
ホッピング伝導  
符号異常

酸化物

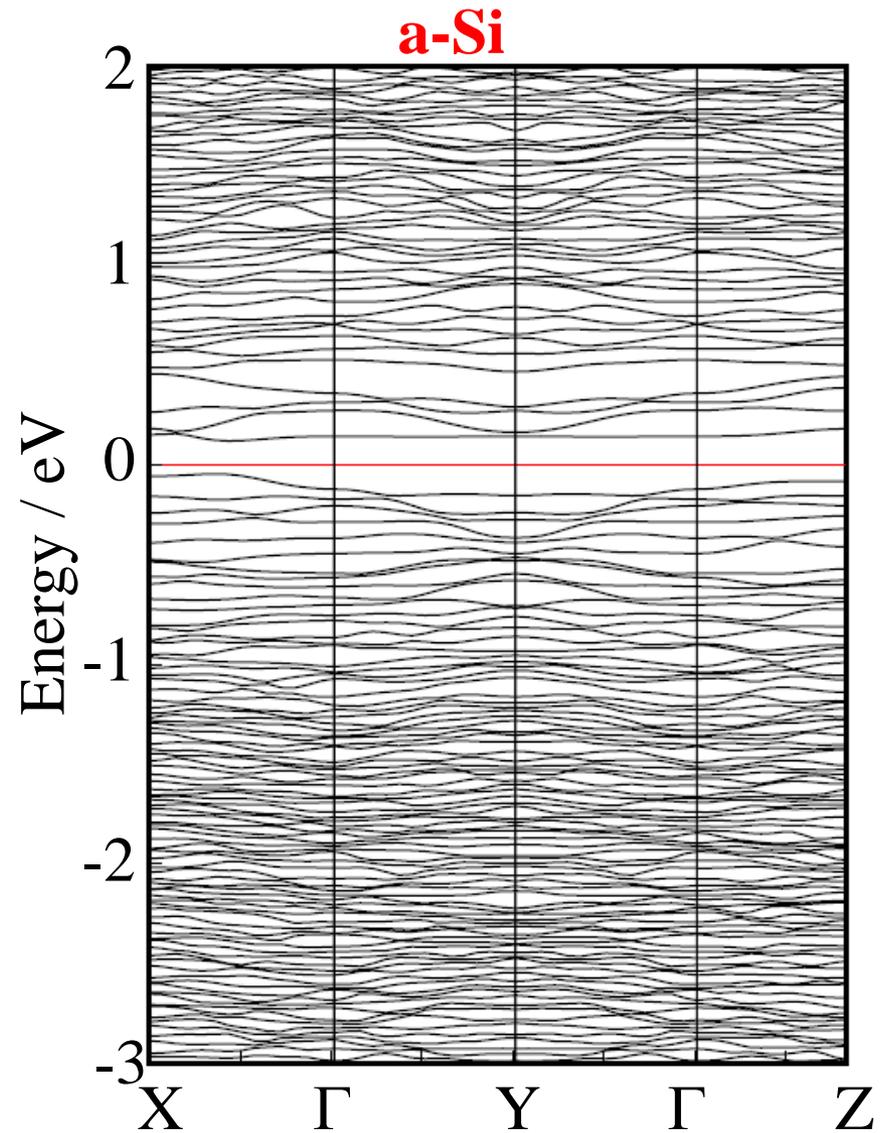
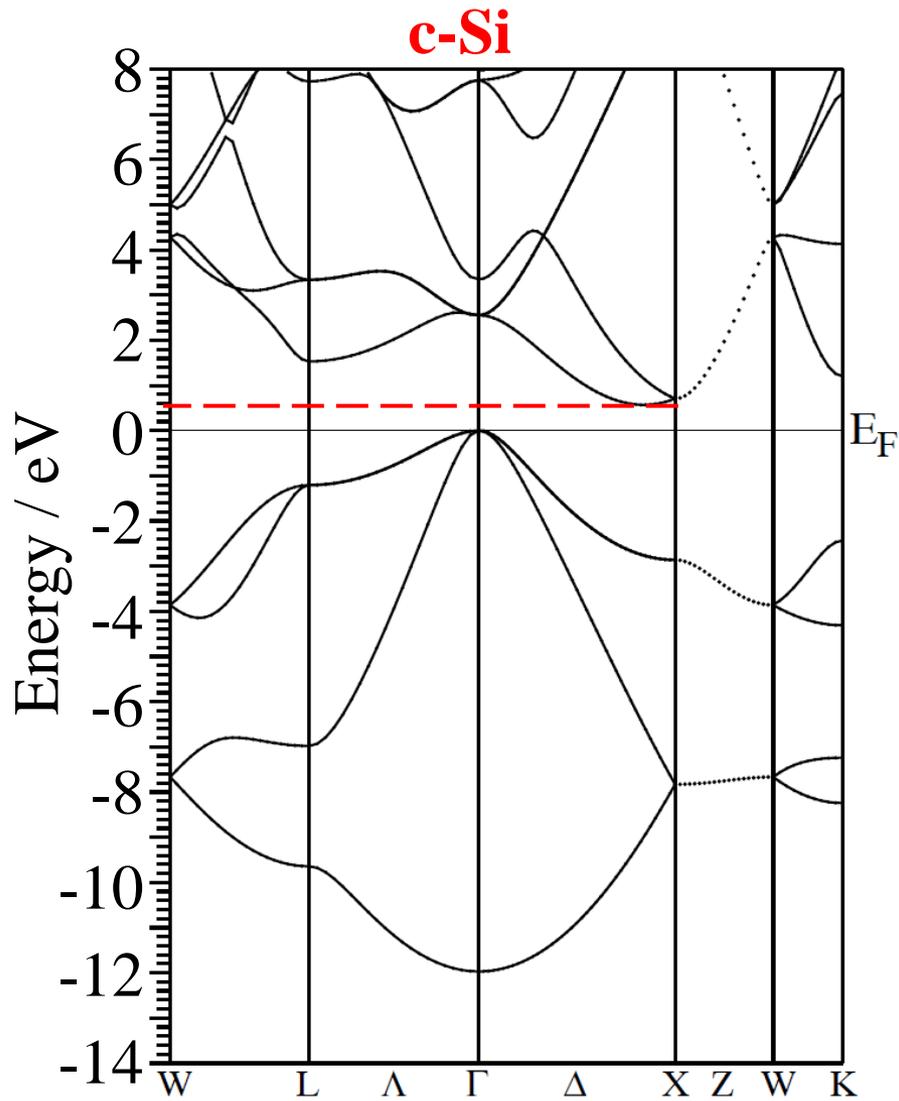


等方的s軌道  
大きな影響を  
受けない

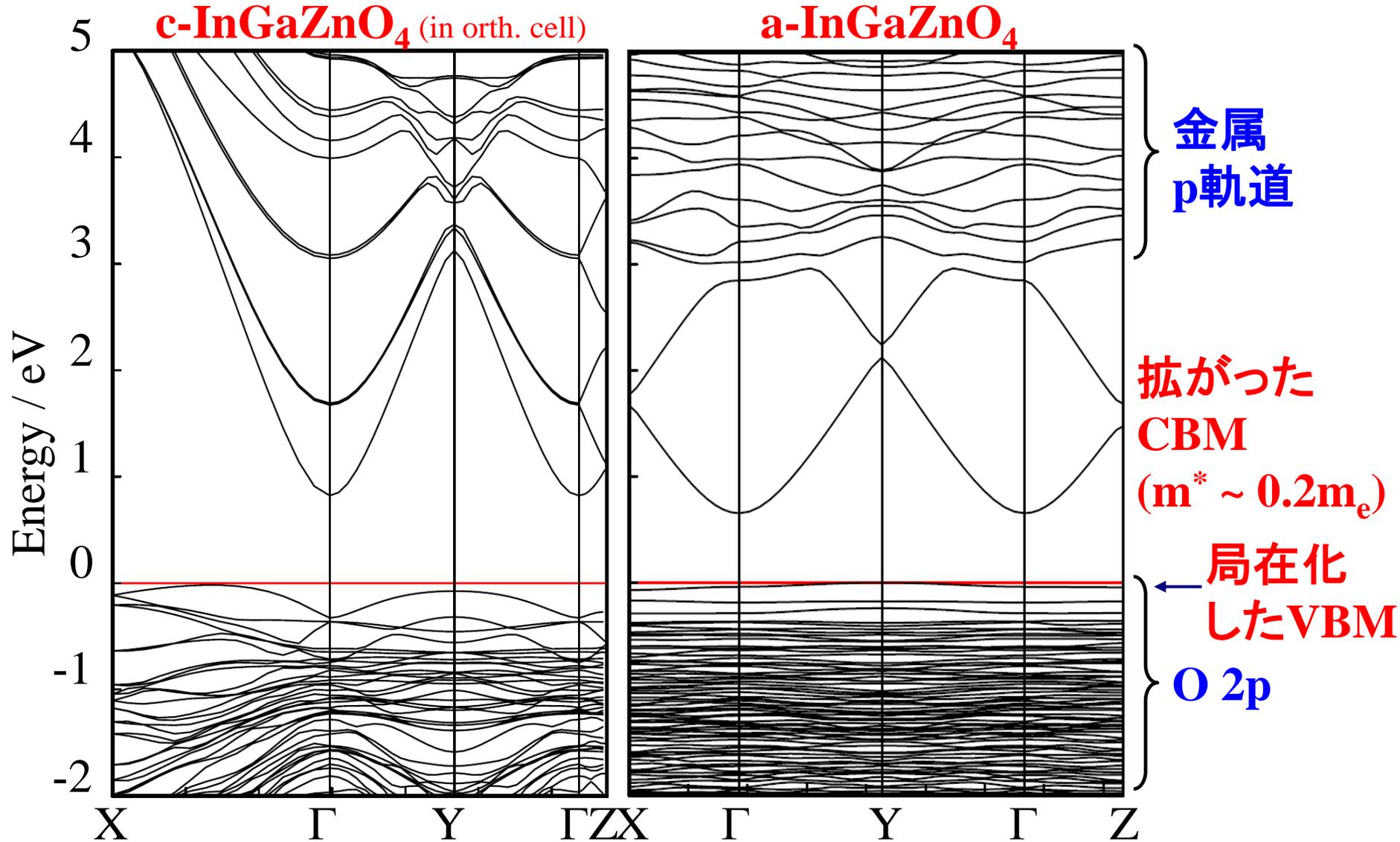


$> 20 \text{ cm}^2(\text{Vs})^{-1}$   
縮退伝導 ( $> 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ )  
符号異常なし

# Siの(擬)バンド構造

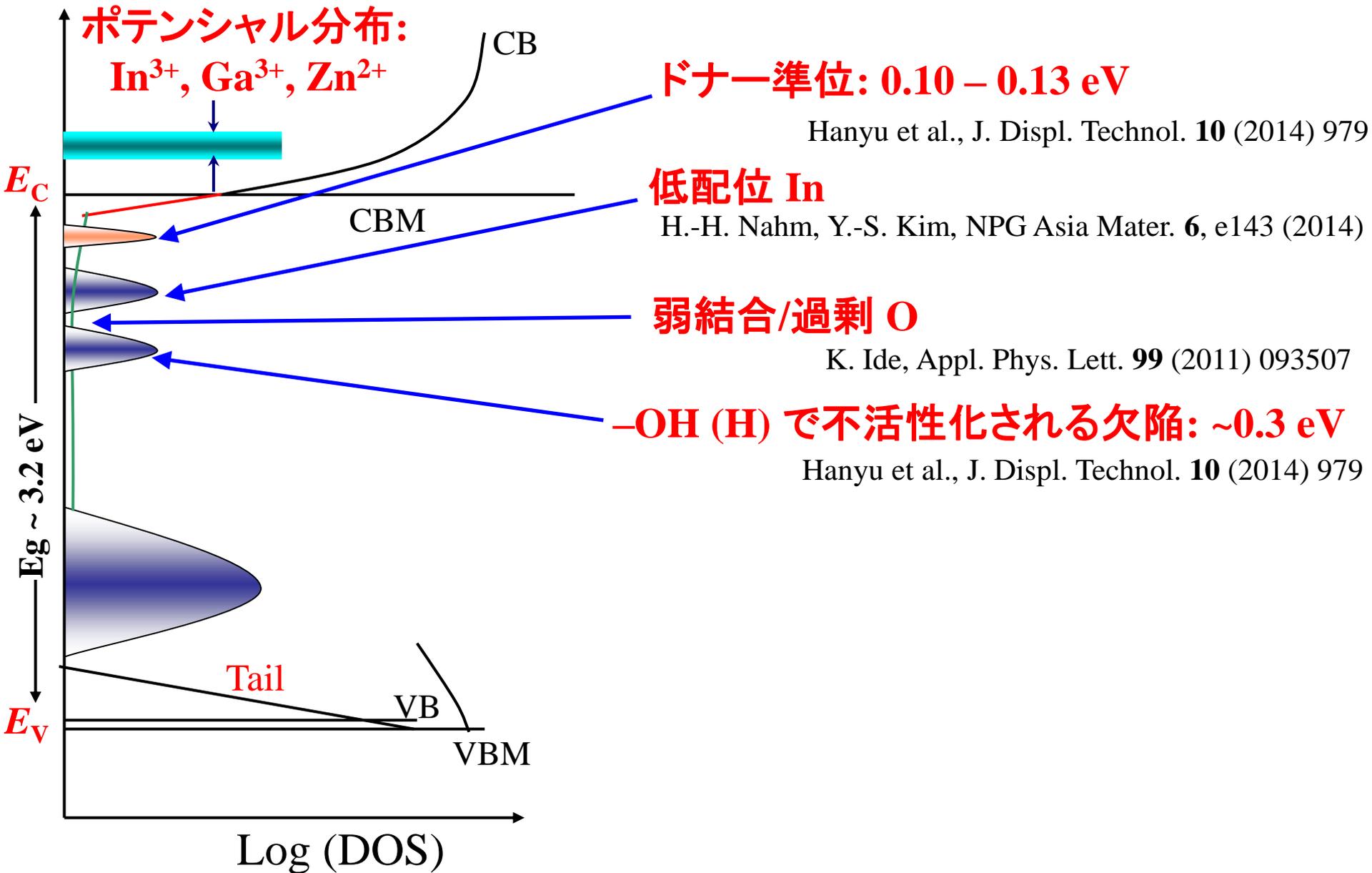


# IGZOの(擬)バンド構造



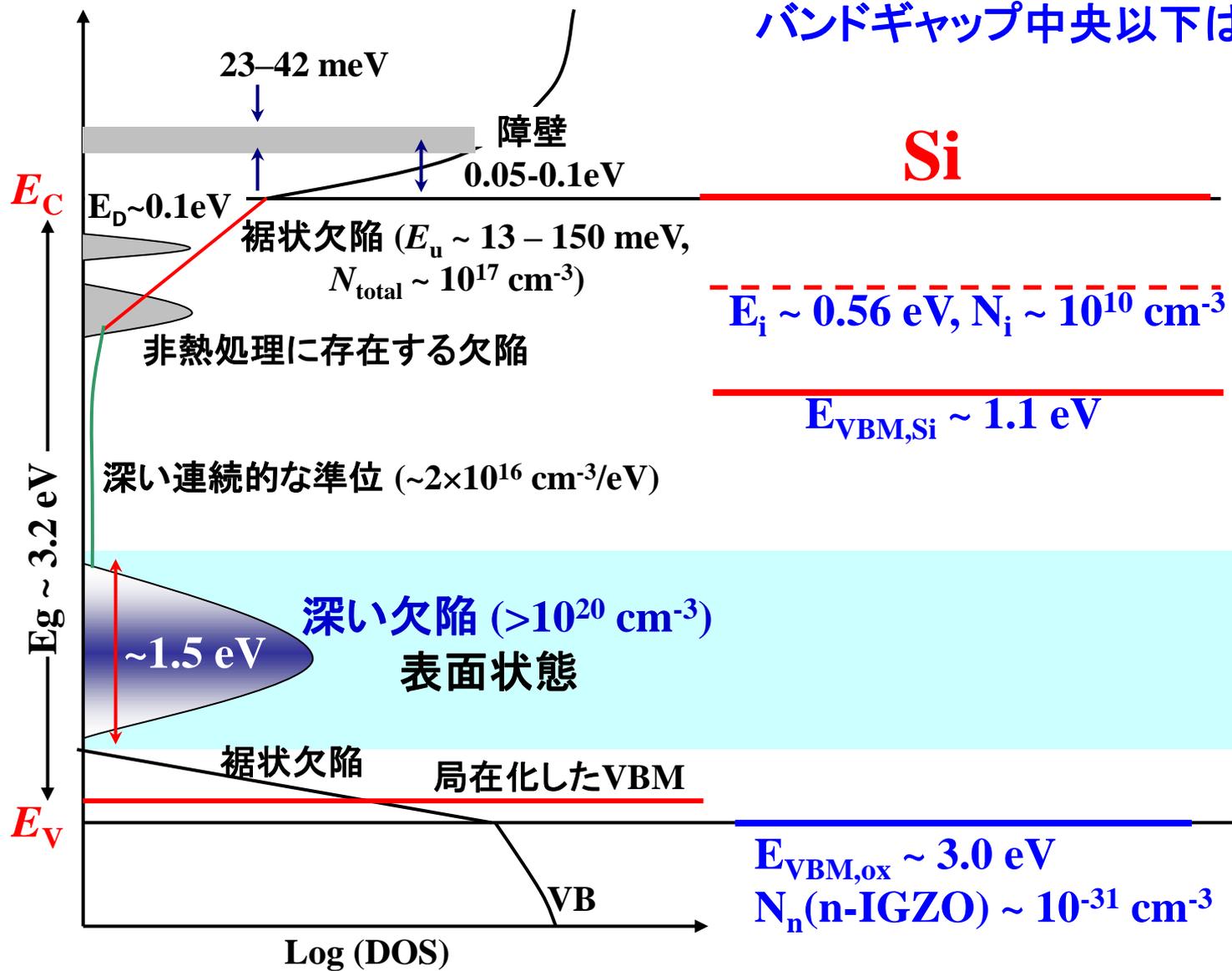
- CBMの分散はよく似ている: CBM下にも局在状態はない
- a-IGZOのVBは強く局在化

# a-IGZOの電子構造: 浅い電子トラップ

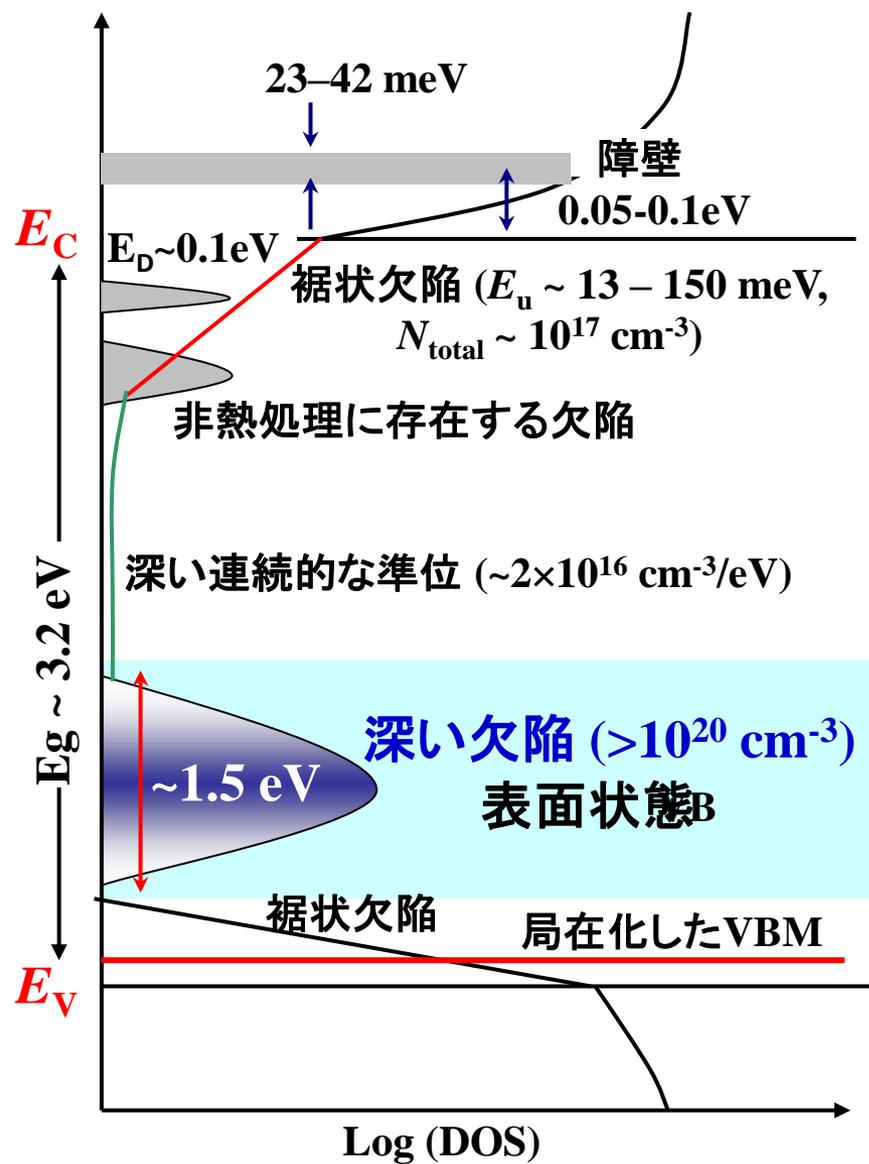


# a-IGZOはきれいな半導体か？

CBM付近では非常にきれい  
バンドギャップ中央以下は???



# 深い欠陥準位の影響



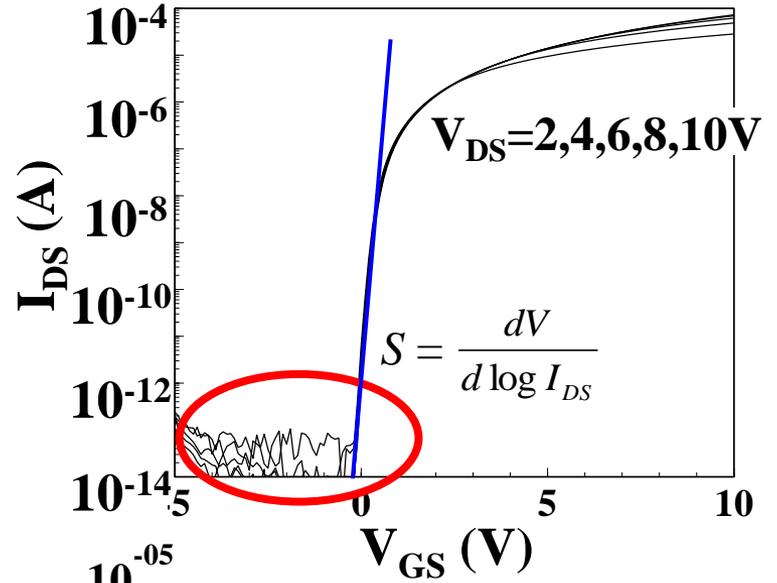
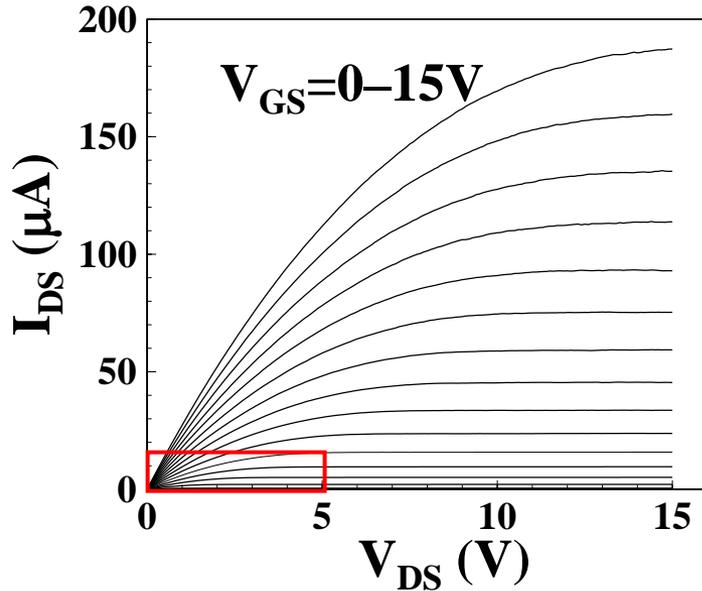
## 深い準位:

- $\mu_{FE}$  への影響は少ない
- オフ電流を下げるのに寄与
- Pチャネル反転動作しない  
( $E_F$ ピニング)

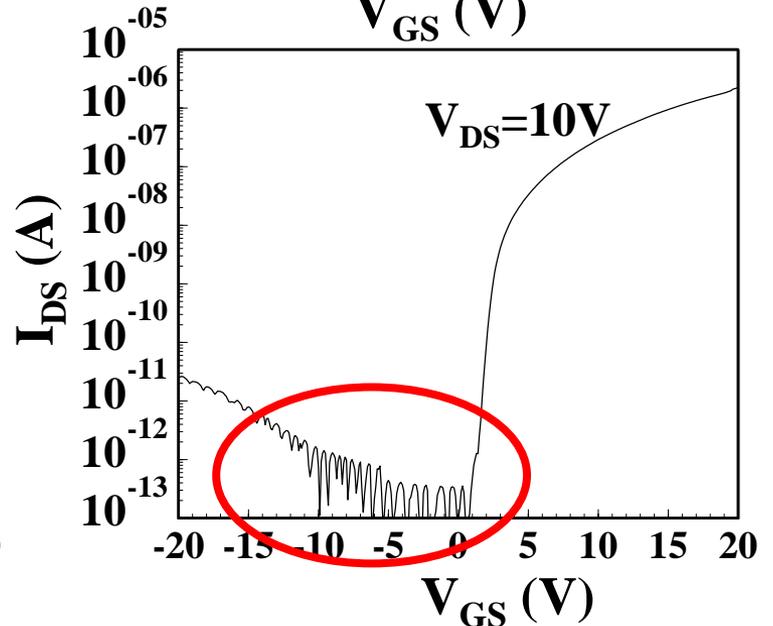
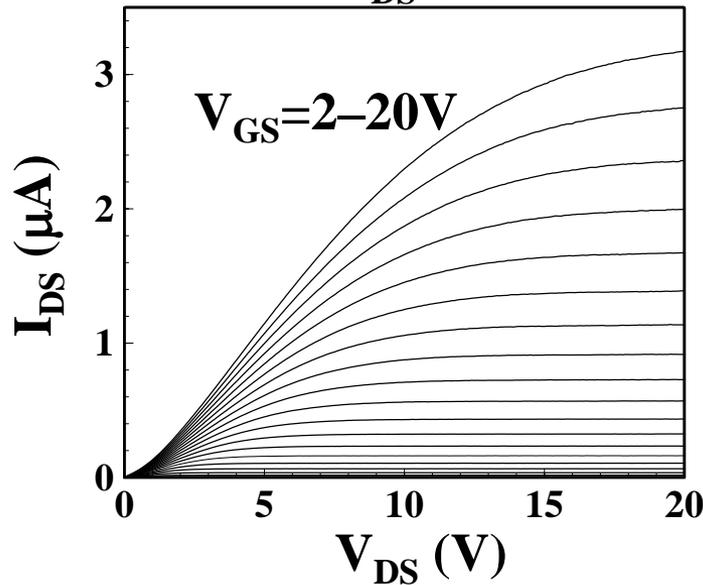
$\sim 2.7\text{ eV}$   
サブギャップ光子に応答  
( $> 2.3\text{ eV}$ )

# 非常に低いオフ電流

a-IGZO



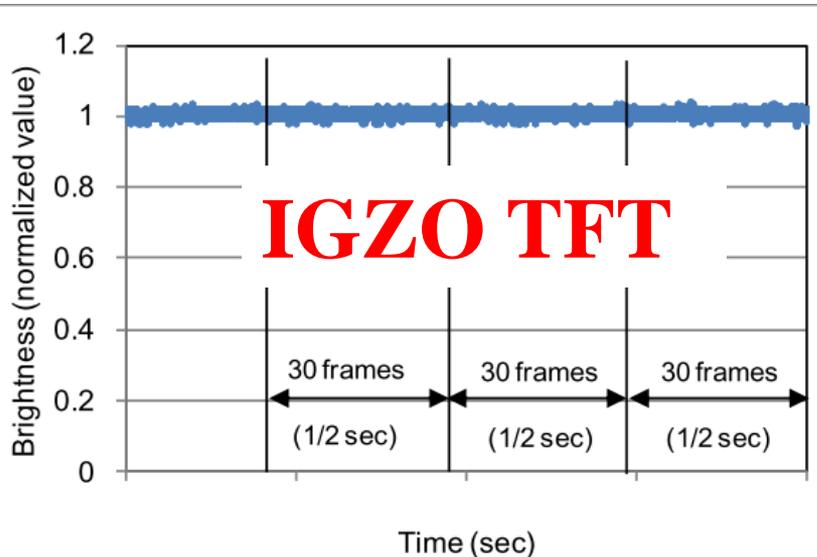
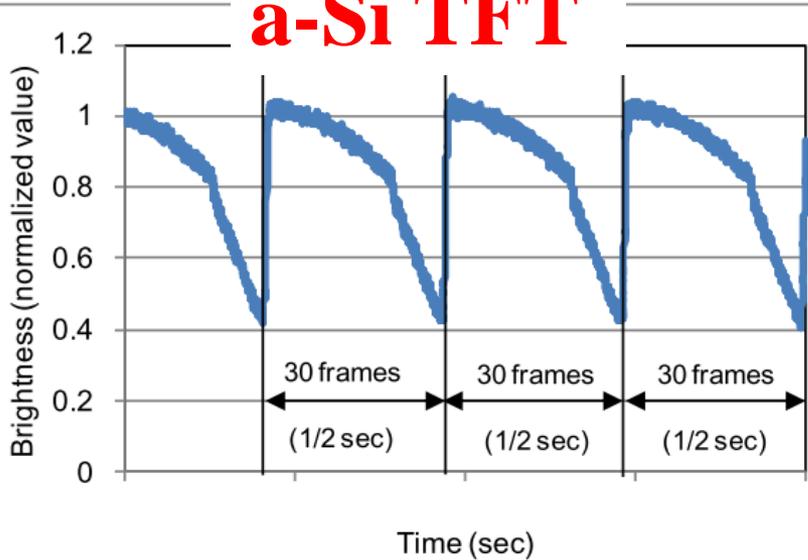
a-Si:H



# IGZO液晶の「液晶アイドリングストップ」

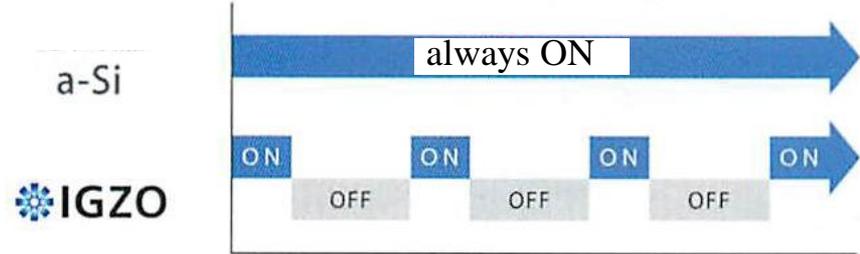
Sharp <http://www.sharp.co.jp/products/sh02e/>  
SID 2013, 56

## a-Si TFT



## IGZO TFT

■ 静止画表示時の使用電力



■ 従来機との比較

|           | IGZO   |       | a-Si           |
|-----------|--------|-------|----------------|
|           | SH-02E |       | SH-01D (2011冬) |
| 連続静止画表示時間 | 約24時間  | 約4.8倍 | 約5時間           |
| 連続動画再生時間  | 約11時間  | 約2.8倍 | 約4時間           |

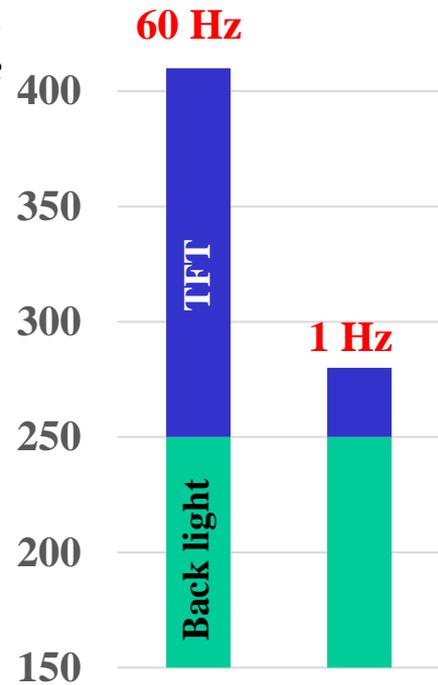
**Sharp@SID2014: 450**  
バックライト光強度:  
245mW@200cd/m<sup>2</sup>

静電容量型タッチペン

SH-02E付属 従来型



Power consumption (mW)



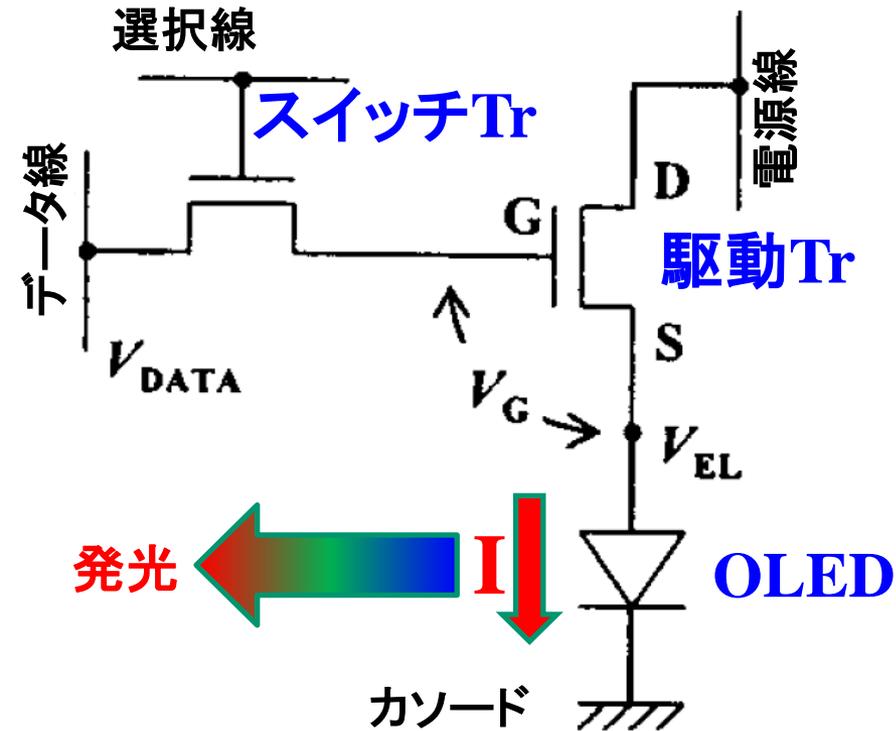
# Apple Watch Series 4: LTPO



2018年9月13日発表

<https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/00001/01001/>

## OLEDの2Tr駆動回路



### LTPO:

Low-Temperature Poly-Si and Oxide

### スイッチTr:

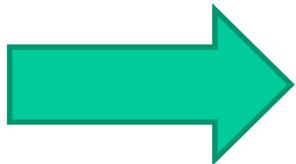
低オフ電流のAOS TFT

リフレッシュレートを1Hzまで落とせる

### 駆動Tr:

周辺駆動回路:

大電流を流せるLTPS TFT



酸化物不揮発メモリの集積化へ

# 水素の多様な役割

## AOS中の水素

実は水素が $10^{20} \sim 10^{21} \text{ cm}^{-3}$

- ・良い役割: 欠陥不活性化、構造緩和
- ・悪い役割: 不安定問題 ( $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ 脱離)  
酸素による補償
- ・バンドギャップ増大
- ・Znの選択的蒸発

## a-Si中の水素

- ・良い役割: 欠陥の不活性化 ( $\text{Si-H}$ )
- ・悪い役割:  $\text{Si-H}_2$ などが不安定性を起こす

## AOS中の酸素

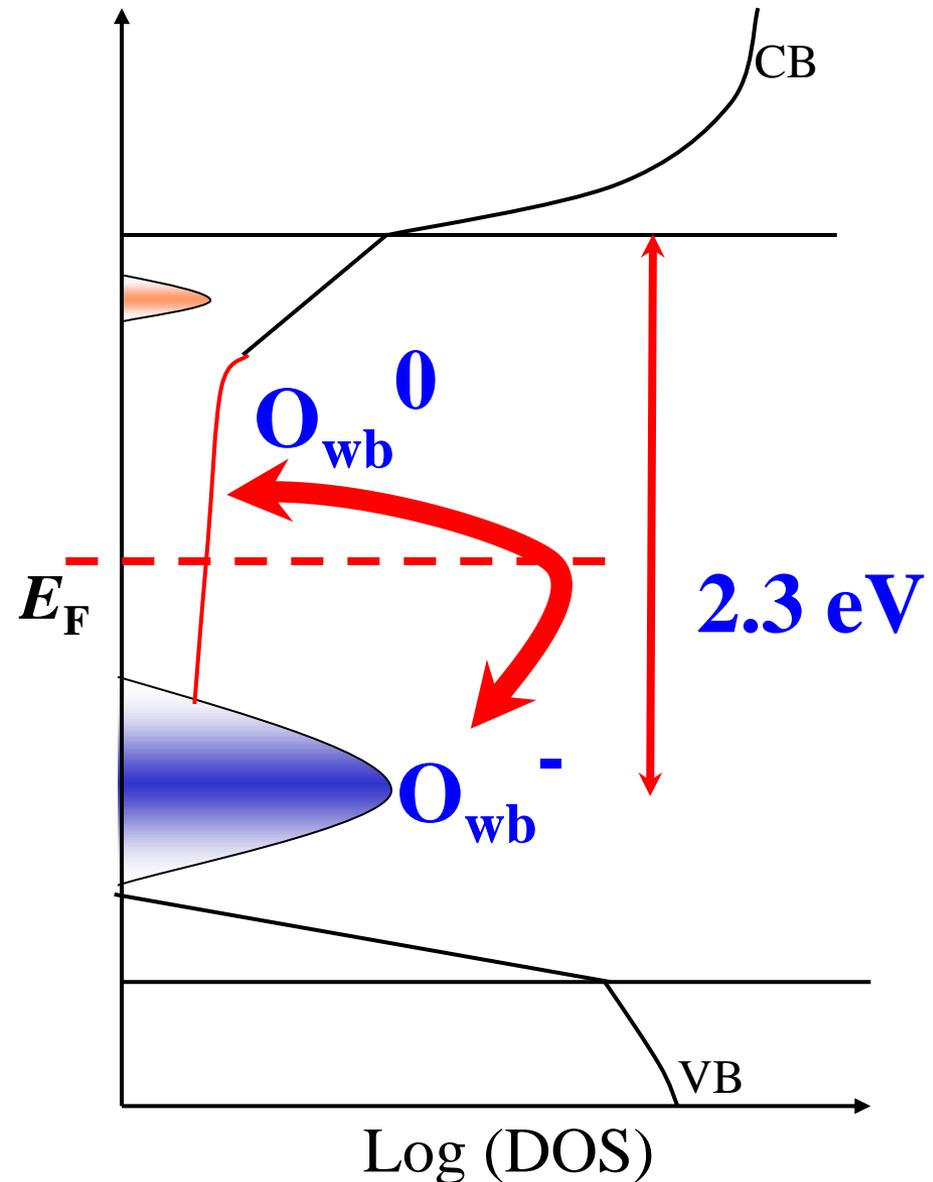
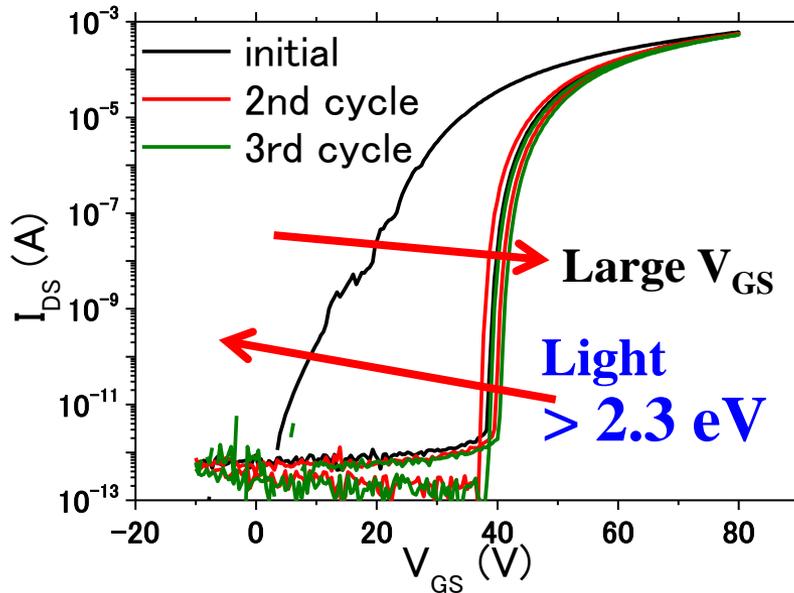
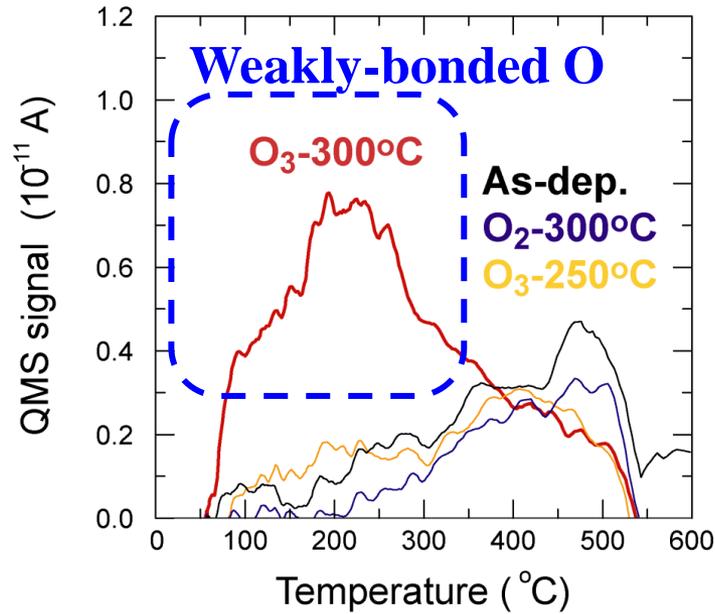
- ・低キャリア密度半導体を作るのに必須
- ・弱結合酸素は欠陥を作る (メモリー効果)
- ・不純物水素量に応じて必要酸素量が増大

## AOSからのガス脱離

- ・不純物水素:  $<200^\circ\text{C}$ で $\text{H}_2\text{O}$ が脱離
- ・弱結合 / 過剰酸素:  $<200^\circ\text{C}$ で $\text{O}_2$ が脱離  
低密度化、不安定構造

# 酸素自体が電子トラップになる

Ide et al, APL (2011)



# AOS: 電荷補償欠陥の重要性

## ・ 酸素不足条件

酸素欠損 (自由空間がない): 電子ドナー

酸素欠損 (大きな自由空間): 電子トラップ

## ・ 酸素過剰条件 (AOSの構造自由度)

過剰酸素 : 電子トラップ

## ・ 不純物水素

$\text{-OH}$ ,  $\text{H}^-$  : 電子ドナー

一部は欠陥を不活性化

一部は不安定性を助長

## ※ 酸素供給条件、水素の精密制御

# まとめ

1. テレビジョン・ディスプレイの歴史

2. a-IGZO TFT/ディスプレイの開発

Sharpの差別化

韓国企業の競争、積極的な先行投資

カラーアプリケーション: 大型OLED

3. AOSの特徴と材料科学

従来の共有結合性と大きく異なる特性

新材料は「半導体の常識」を覆す

アモルファスでもバンド的伝導

ワイドギャップ半導体では「深い補償欠陥」が許容

=> 超抵オフ電流

酸化物半導体固有の欠陥の発見