

# フレキシブルデバイスに向けた 高品質酸化物半導体の新たな低温形成技術

高知工科大学 環境理工学群  
教授 古田 守

平成30年10月30日

# フレキシブルディスプレイ

## 2020年スーパーハイビジョン(SHV)放送の本格普及



図1 大画面フレキシブルディスプレイのイメージ。

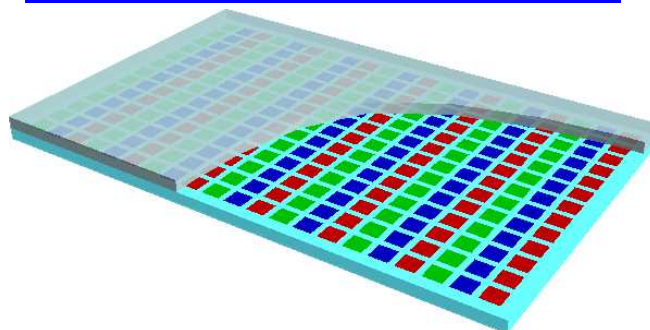
清水他(NHK技研)、  
応用物理 第86巻 第9号 p.763 (2017)

- ✓ 薄型・軽量
- ✓ 優れた可搬性
- ✓ 耐衝撃性
- ✓ 曲面による臨場感
- ✓ デザイン性の向上

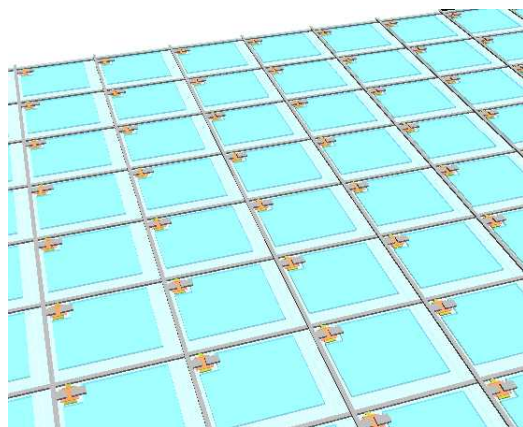
## フレキシブルディスプレイ：SHVの本命デバイス

# ディスプレイの構成要素

表示層  
液晶(LCD)  
有機EL(OLED)

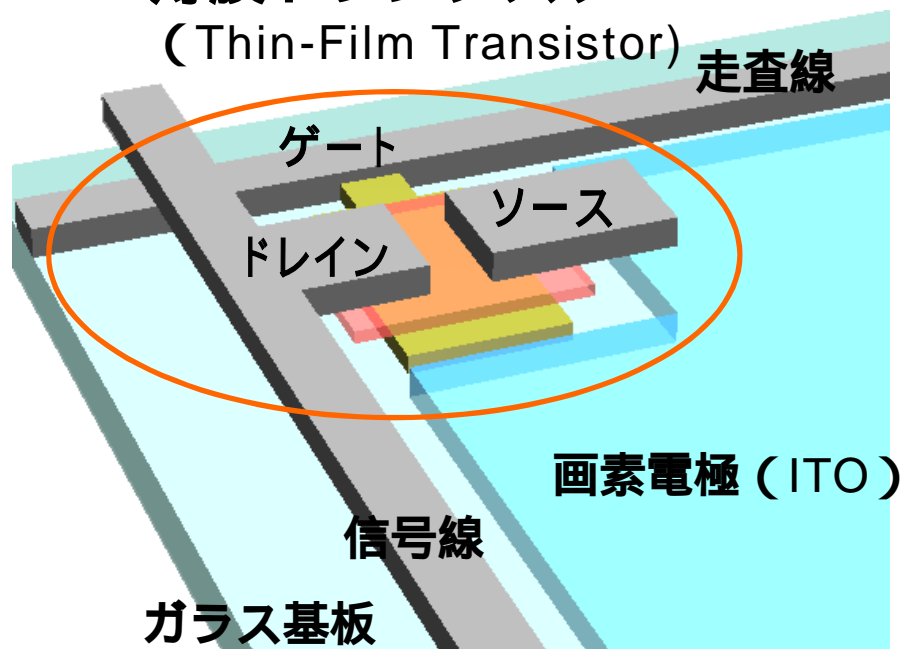


表示制御層  
薄膜トランジスタア



SHV(7680 × 4320x3)  
~ 1億個のトランジスタで制御

薄膜トランジスタ  
(Thin-Film Transistor)



# 次世代トランジスタ 金属酸化物半導体In-Ga-Zn-O (IGZO)

$\text{In}_2\text{O}_3$ (酸化In)- $\text{Ga}_2\text{O}_3$ (酸化Ga)- $\text{ZnO}$ (酸化亜鉛)

JST ERATO H11-16

「細野透明電子活性プロジェクト」

IGZO：次世代薄膜トランジスタの半導体として世界が注目！



自由に曲がる透明トランジスタの一例

<https://www.jst.go.jp/seika/bt49-50.html>

# IGZO vs. シリコン(Si)半導体

		シリコン:Si			金属酸化物 IGZO TFT
		非晶質Si:H TFT	多結晶Si(LTPS) TFT	微結晶Si $\mu$ c-Si TFT	
電子移動度 (cm <sup>2</sup> /V·s)		~0.5	~100	1 ~ 5	≥10
リーク電流					
可視光透明性					
大面積成膜性					
特性均一性					
形成方法	成膜	プラズマ支援化学気相成長法(PE-CVD)			スパッタリング法
	結晶化	なし	エキシマレーザー 結晶化(ELA)	なし	なし
材料合成温度		~ 250 °C	~ 室温 (瞬間的 ~ 1000 °C)	200 ~ 300 °C	室温
トランジスタ作製必要温度		~ 250 °C	~ 500 °C	200 ~ 300 °C	~ 300 °C

:優、 :良、 :可、 :課題多

# 現在のフレキシブルディスプレイ

	<b>金属酸化物 IGZO TFT</b>
電子移動度 (cm <sup>2</sup> /V·s)	≥10
可視光透明性	
大面積成膜性	
特性均一性	
材料合成温度	室温
トランジスタ作製 必要プロセス温度	~ 300 °C
フレキシブル基板材料	ポリイミド 耐熱温度 ~ 350°C



フレキシブル大画面TV

韓国LG Display, IMID2018展示 2018/8/29

:優、 :良、 :可、 :課題多

➤ 現在のフレキシブルデバイス：ポリイミド基板

耐熱性に優れるが、透過率低く高コスト

# 今後のフレキシブルエレクトロニクス

	プラスチック PEN等	高耐熱フィルム ポリイミド(PI)等
透明性		
絶縁性		
ガスバリア性	×	×
柔軟性		
コスト		
耐熱性	~ 150°C	>300°C

:優、 :良、 :可、 :課題多

	金属酸化物 IGZO TFT
電子移動度 (cm <sup>2</sup> /V·s)	≥10
可視光透明性	
大面積成膜性	
特性均一性	
材料合成温度	室温
トランジスタ作製 必要プロセス温度	~ 300 °C

- 金属酸化物(IGZO)トランジスタの作製温度を透明プラスチック(PEN等)が使用可能な温度 ~ 150 まで低温化

“フレキシブル”かつ“透明”な新たなエレクトロニクスの創成

# 酸化物半導体中の欠陥

- **酸素欠損**  $V_O$
- 金属元素欠損  $V_M$
- 格子間酸素  $O_i$
- 格子間金属  $M_i$
- アンチサイト欠陥  $O_M, M_O$
- **格子間水素**  $H_i$

✓ 上記欠陥はスパッタリング成膜中に形成され、欠陥回復には300 ~ 400 の**熱処理**が必要



# これまでの欠陥低減による低温化アプローチ

- **酸素欠損 ( $V_O$ ) 低減**

  - 成膜条件の最適化

    - 酸素流量比 / 成膜圧力

  - アニール雰囲気

    - オゾン酸化 /  $UVO_3$ 酸化 /  $H_2O$ 添加

- **膜中水素低減**

  - 成膜雰囲気の低水分化

- **エネルギー供給形態**

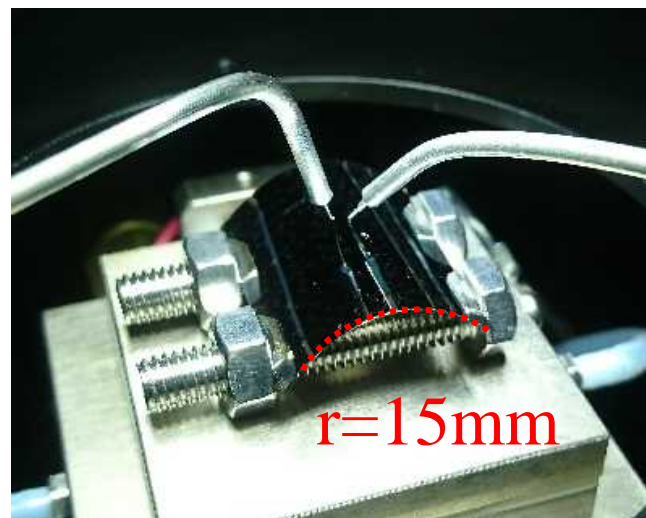
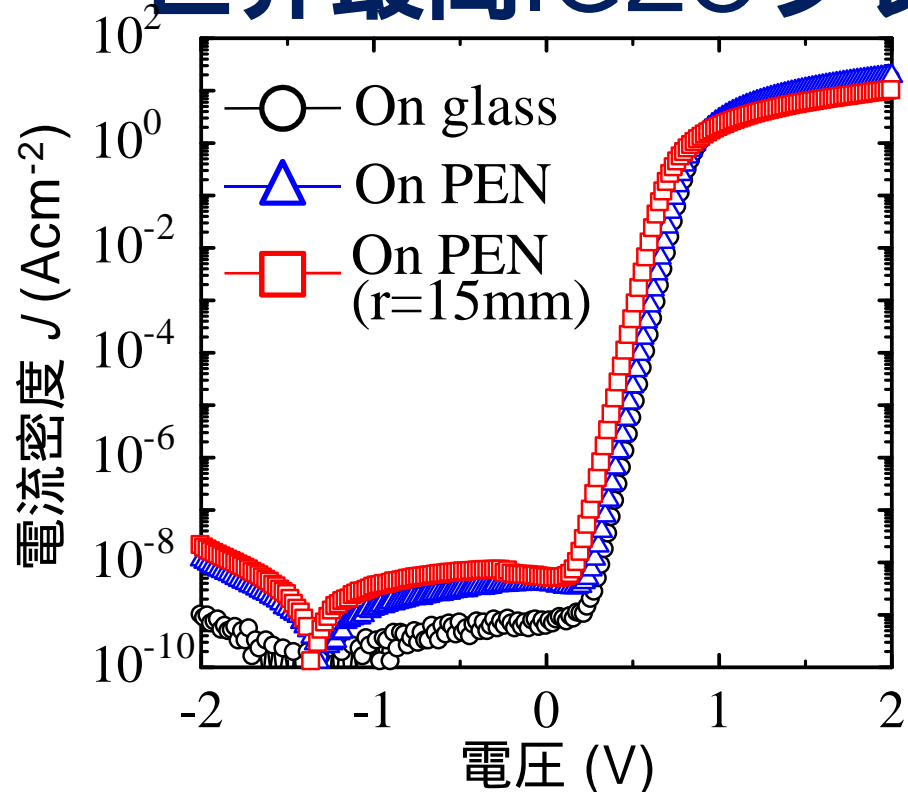
  - 光(UV) + 熱アニール

  - 高圧ガス / 高圧水蒸気アニール

  - 電流 (ジュール熱) + 熱アニール

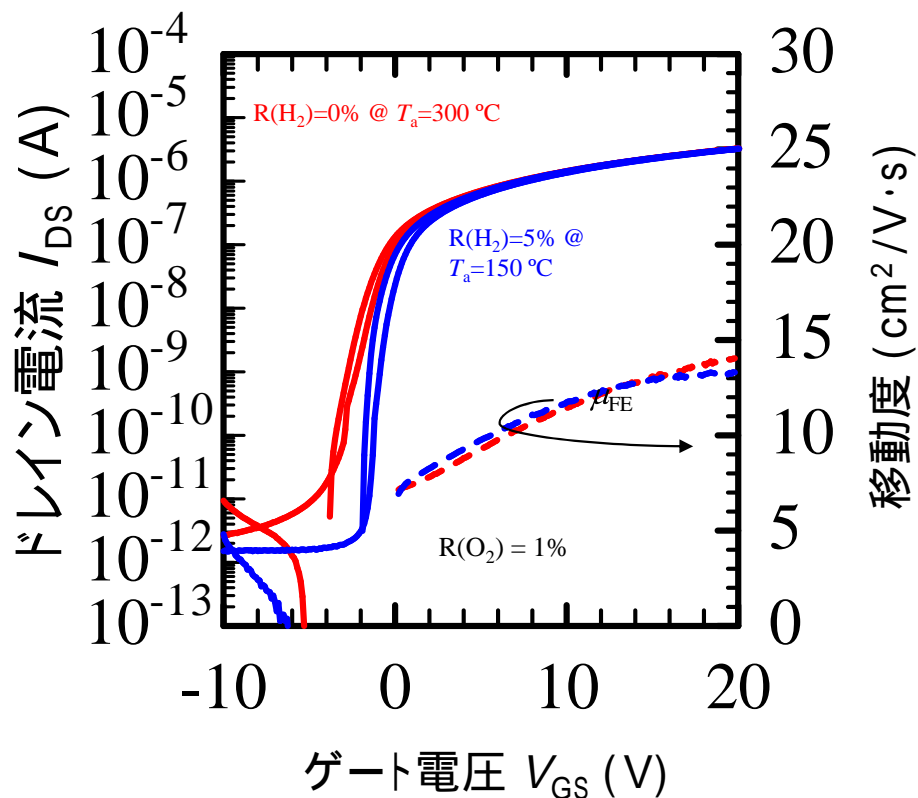
# 世界最高IGZOフレキシブルダイオード

最高プロセス温度150  
PEN基板上直接形成



Ref.	最高温度( )	$J_{on/off}$	$\phi_b$ (eV)	理想因子
<b>本研究 (On PEN基板)</b>	<b>150</b>	<b><math>1.7 \times 10^9</math></b>	<b>1.12</b>	<b>1.10</b>
IEEE Electron Device Lett., 32. 12 (2011)	150	$\sim 10^6$	$\sim 0.80$	1.2
Nature communications, 6. 7561 (2015)	-	$\sim 10^3$	0.51	2.1
IEEE Trans. Electron Devices, 65. 1 (2018)	-	$\sim 10^6$	0.90	1.79

# 150 プロセスIGZO薄膜トランジスタ



	移動度 ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )	サブスレッショルド特 性 (V/dec.)	ヒステリシス (V)
従来技術 (300 )	14.5	0.4	0.5
本技術 (150 )	13.4	0.1	0.6

従来技術に比較して150 の熱処理温度低減を実証

## 企業への期待

- 酸化物半導体材料・設備・プロセス関連に興味を持つメーカーとの共同研究を希望。
- ✓ 共同研究テーマ
  - 1) センサー・フレキシブルデバイスへの応用
  - 2) バイオデバイス応用
  - 3) 新規材料への適用
  - 4) デバイス作製・評価プロセスコンサルタント

# お問い合わせ先

高知工科大学 研究連携部

研究連携課

佐藤 暢(さとう まさと)

TEL 0887-57-2025

FAX 0887-57-2026

e-mail [sato.masato@kochi-tech.ac.jp](mailto:sato.masato@kochi-tech.ac.jp)