

水系前駆体溶液とエキシマ光照射プロセスを用いた トップゲート型InGaO薄膜トランジスタの作製と特性評価

○落合 秀哉¹, 上田 一輝¹, 野村 卓矢¹, 藤元 章¹, 和田 英男¹, 小山 政俊¹,
藤井 彰彦¹, 清水 昭宏², 竹添 法隆², 伊藤 寛泰², 前元 利彦¹

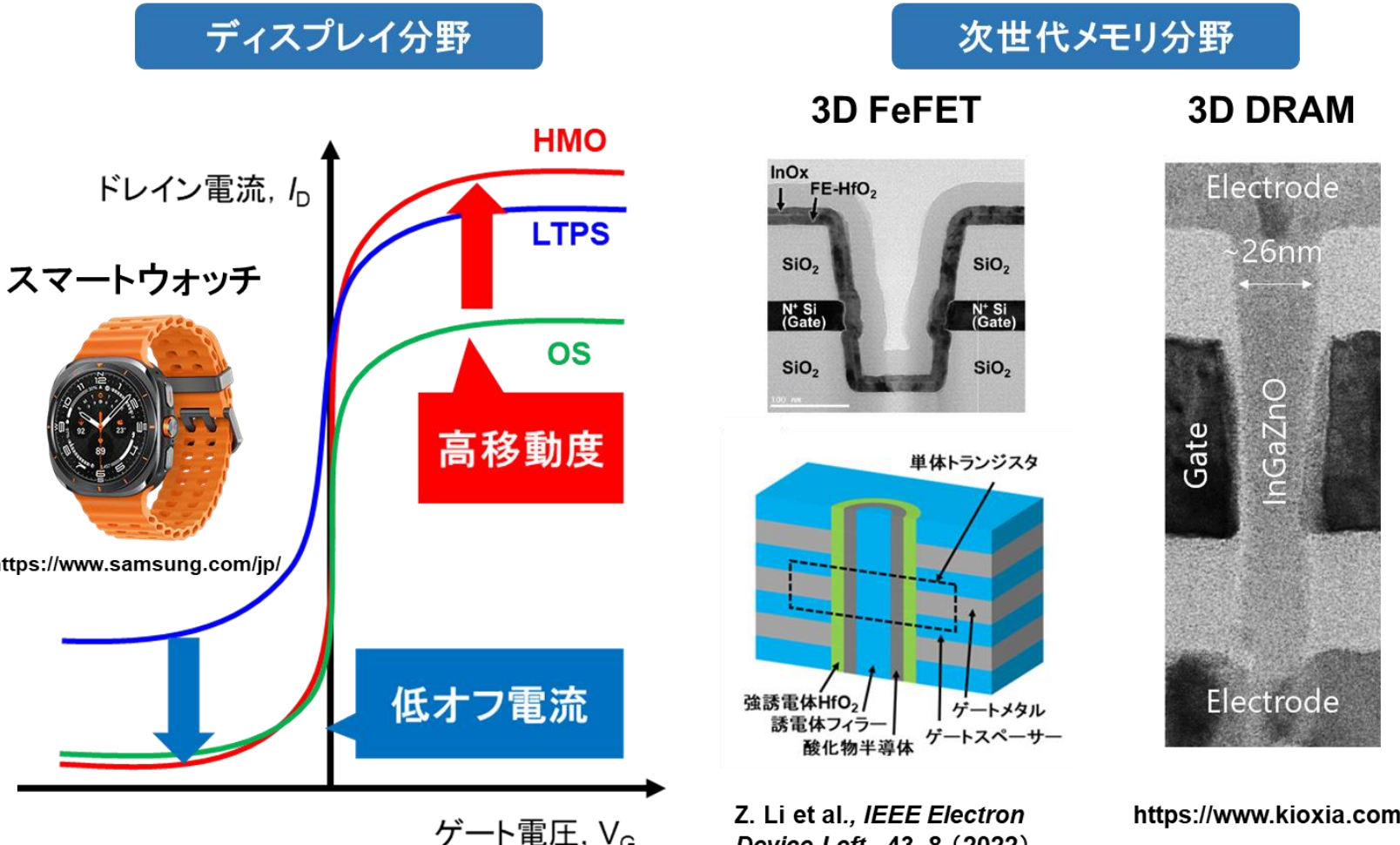
¹ 大阪工業大学 ナノ材料マイクロデバイス研究センター

² ウシオ電機株式会社 Industrial Process 事業部 光プロセスGBU

E-mail: m1m24308@oit.ac.jp, toshihiko.maemoto@oit.ac.jp

研究背景と目的

高移動度酸化半導体(HMO)の用途と利点



高移動度酸化半導体(HMO)は高いキャリア移動度と低オフ電流という双方の特長を兼ね備えており、ディスプレイ分野だけでなく、3D FeFETや3D DRAMといった次世代メモリのチャネル材料として注目を集めている。

酸化インジウム(In₂O₃)

水素添加多結晶In₂O₃: **139 cm²/Vs**
Y. Magari et al, Nature. Com. 13, 1078 (2022).
LTPSの移動度(50~100 cm²/Vs)に匹敵する高い移動度を持つ。
H. Ohshima, Proc. SID'14, 75 (2014).

移動度 (μ_{FE}) ↔ 安定性 (ΔV_{th}, SS)
トレードオフ現象

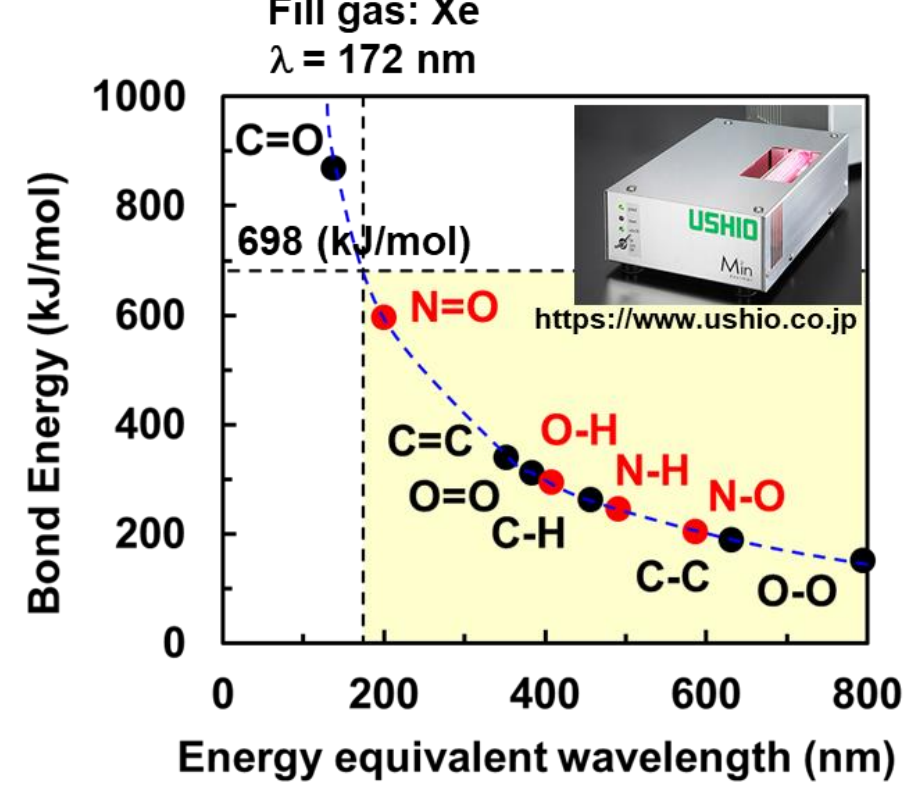
InGaO (IGO)

Gaの添加により、V_{th}の制御性とデバイスの安定性が向上。
K. Nomura et al., Jpn. J. Appl. Phys., 45, 4303 (2006).

450℃以下のプロセスで多結晶状態、高移動度 (**52 cm²/Vs**) かつ **低オフ電流**。
M. Tsubuki et al., SID 2023 DIGEST 8-1, 78 (2023).

エキシマ光

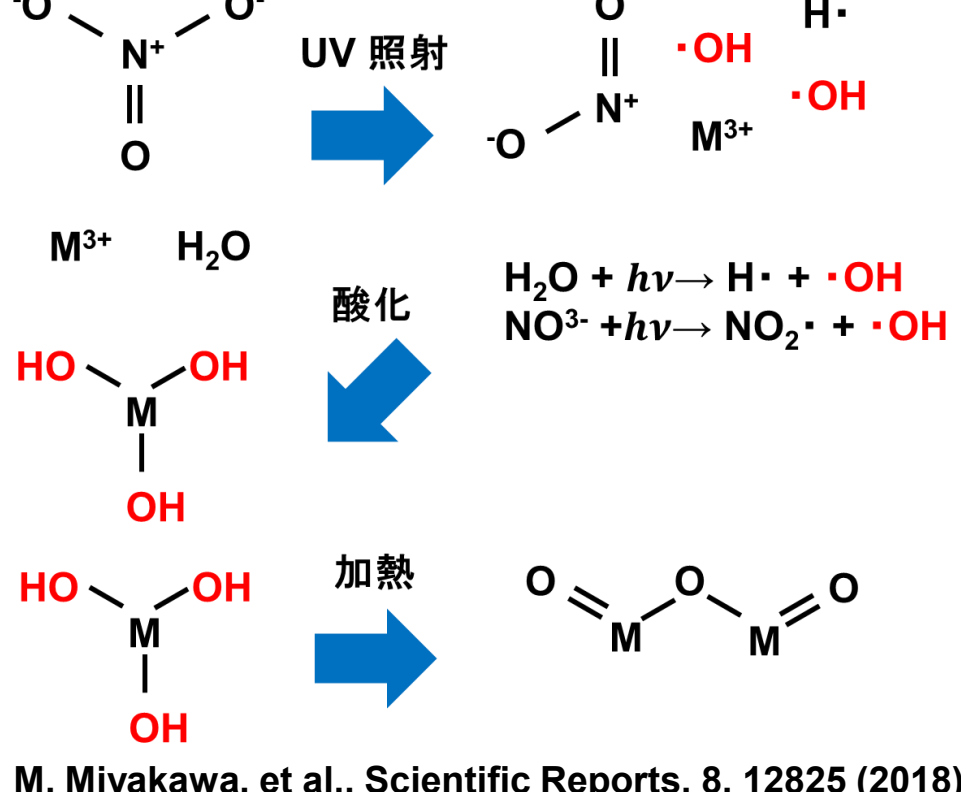
- 深紫外線の一つ
- 希ガス原子が放電によって励起
- 励起された希ガス原子が基底状態になる際に紫外(UV)光として放出される。



エキシマ光は特定の分子結合を選択的に切断することが可能であり、この特性を活用することで酸化半導体を低温かつ効率的に形成できると考えられる。

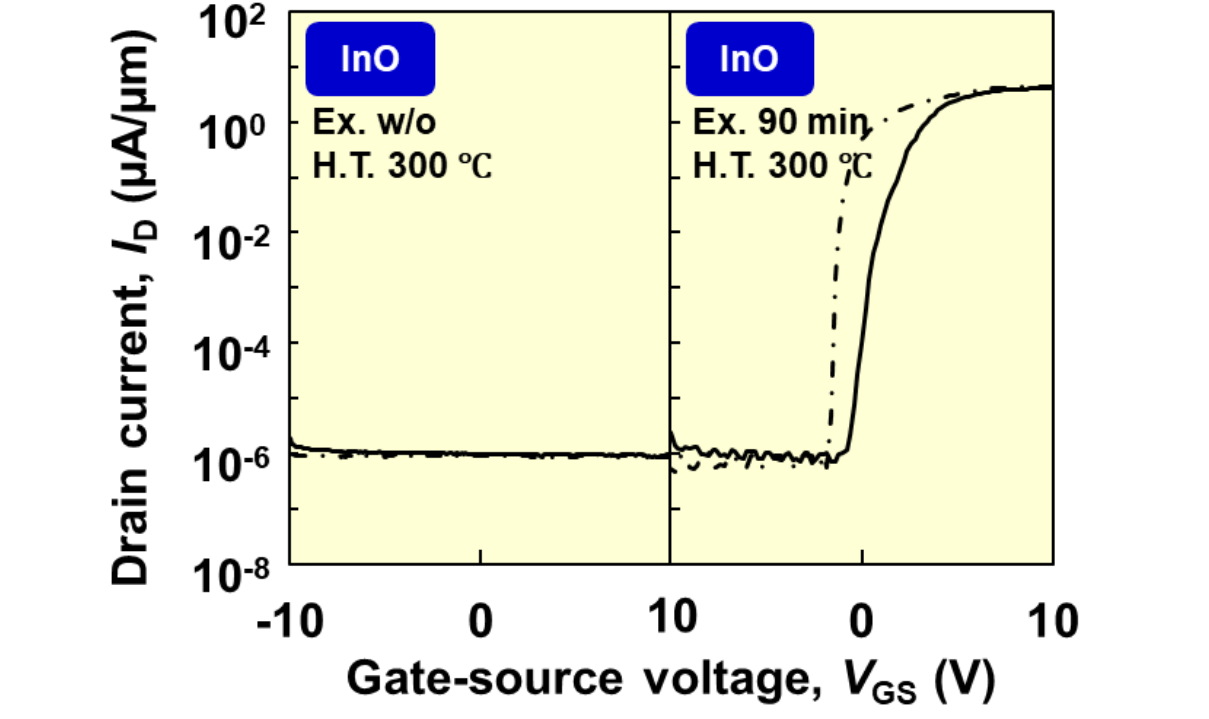
エキシマ光アシストプロセス

硝酸塩と水にエキシマ光が照射されると、
・OHが生成。
生成された・OHと金属イオンが結合し、加熱することによって酸化半導体が生成。



研究目的

溶液法とエキシマ光を組み合わせて InO TFT を作製し、その特性評価を通じてエキシマ光アシストプロセスの優位性を実証してきた。

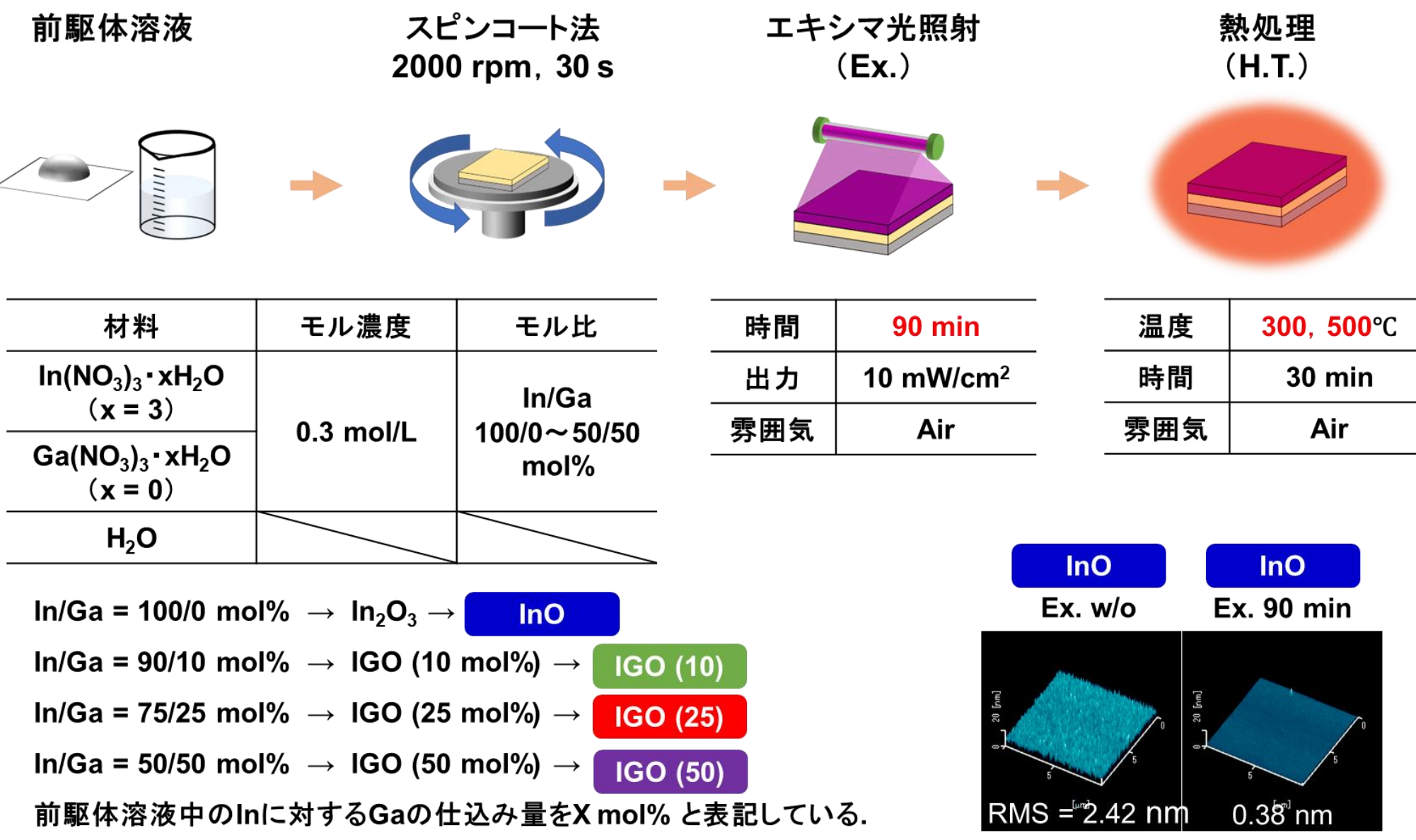


笠原他, 第71回応用物理学会春季学術講演会, 24p-P16-30 (2024).

エキシマ光アシストプロセスを用いて、Ga添加量を制御した IGO TFT を作製し、電気的特性から、Ga添加がTFT性能に与える効果とその優位性を明確化する。

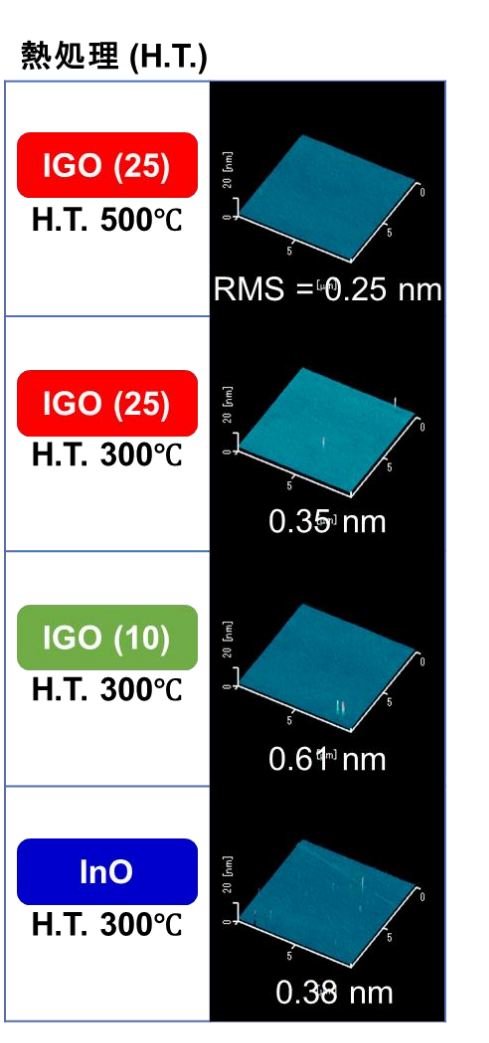
実験方法とTFT作製プロセス

エキシマ光アシストプロセスを用いた成膜プロセス



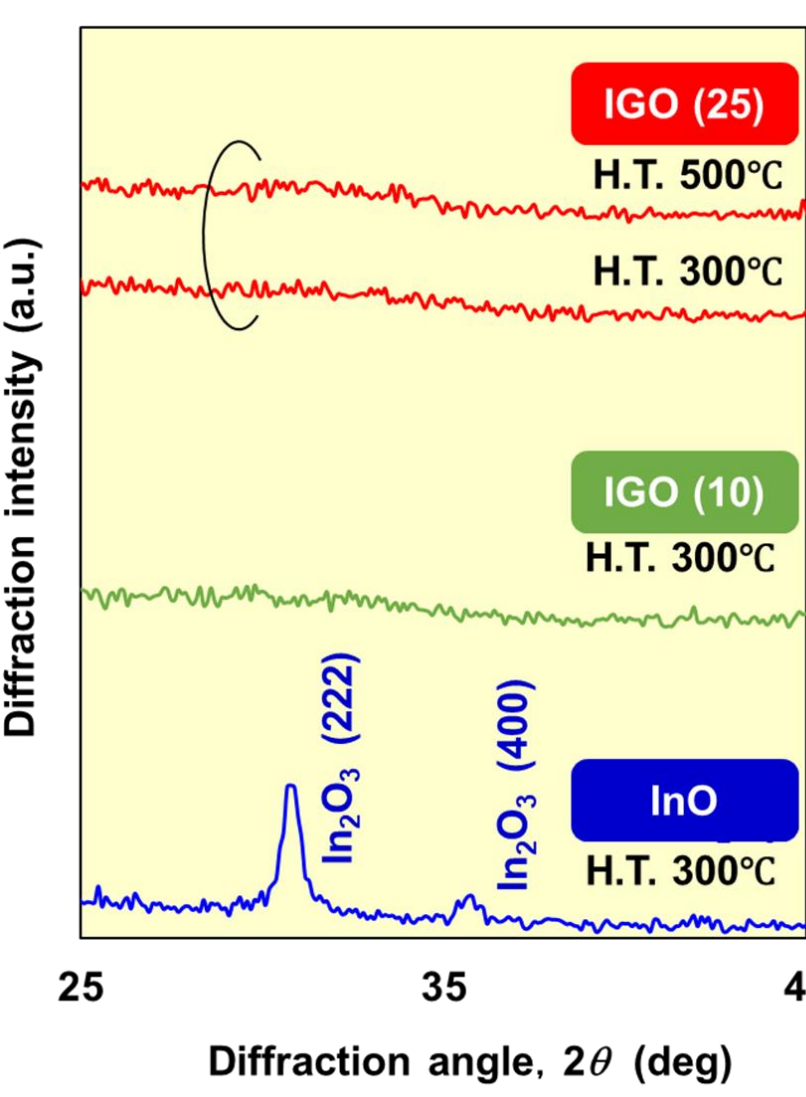
エキシマ光アシストプロセスにより前駆体溶液中の分子分解が促進され、その結果、薄膜表面がより平坦化されたと考えられる。

AFM

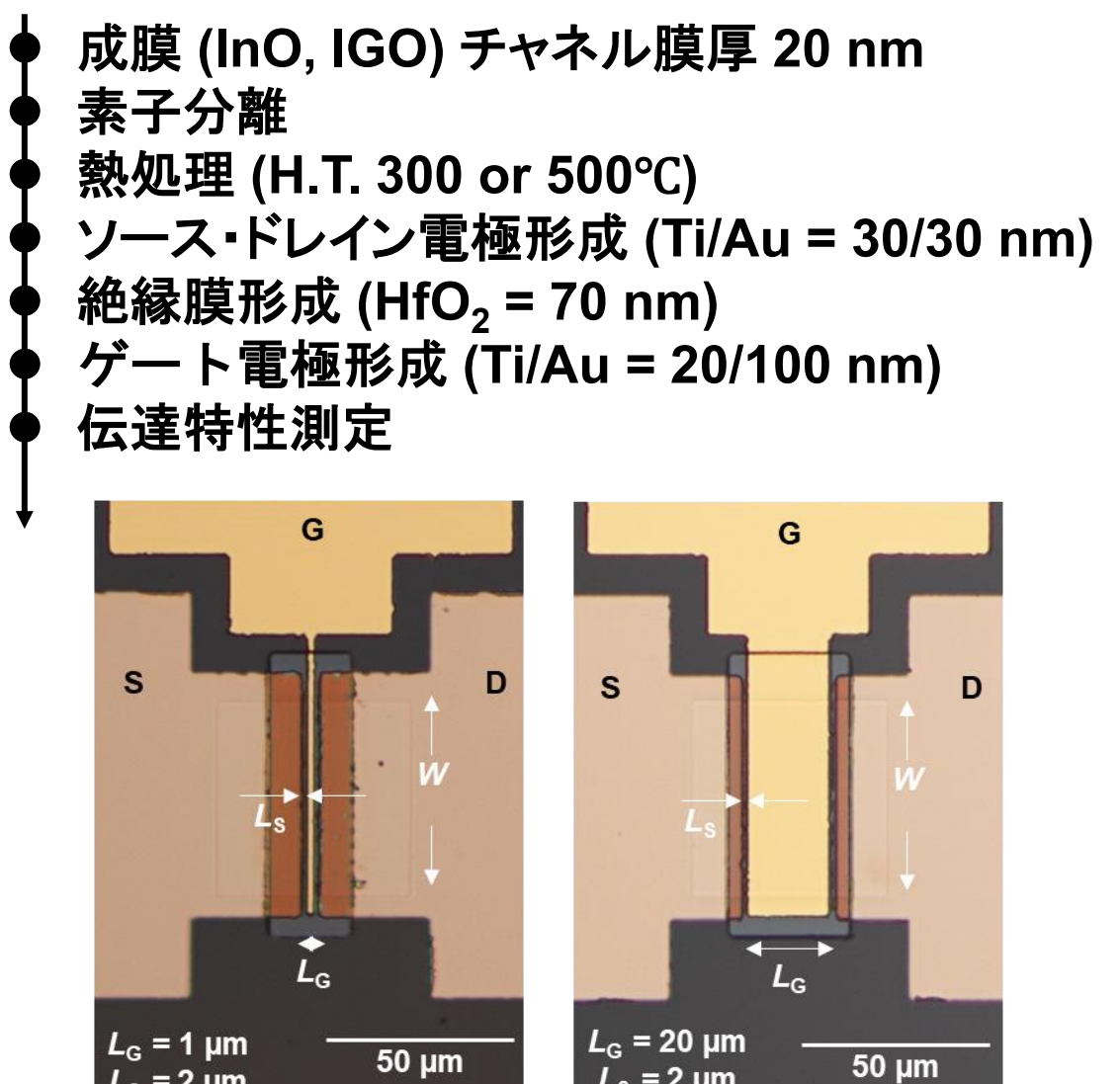


熱処理温度(H.T.)300℃で作製したInOは多結晶構造を示した一方、IGO(25 mol%)は500℃においてもアモルファス構造を維持していた。

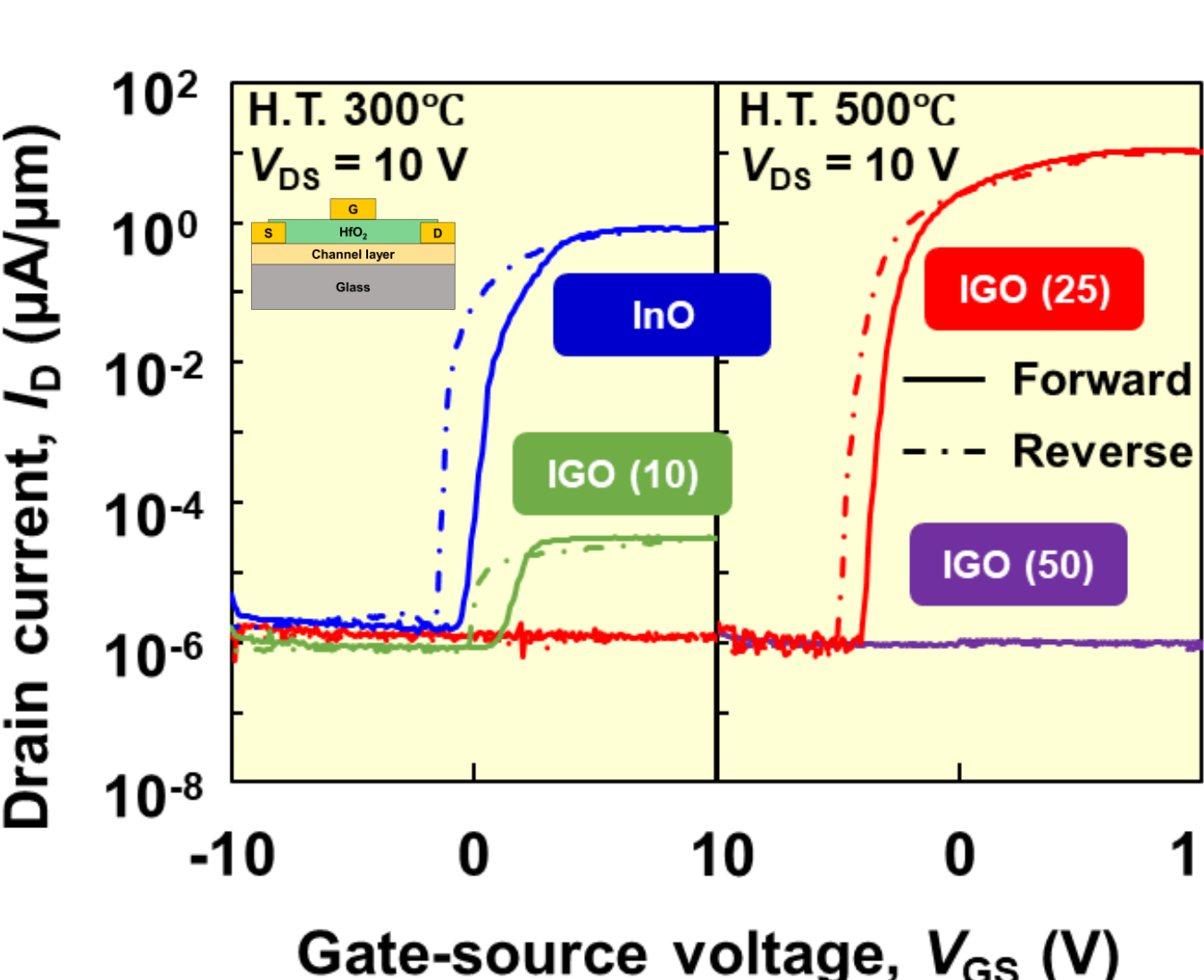
GI-XRD



TFT作製プロセス



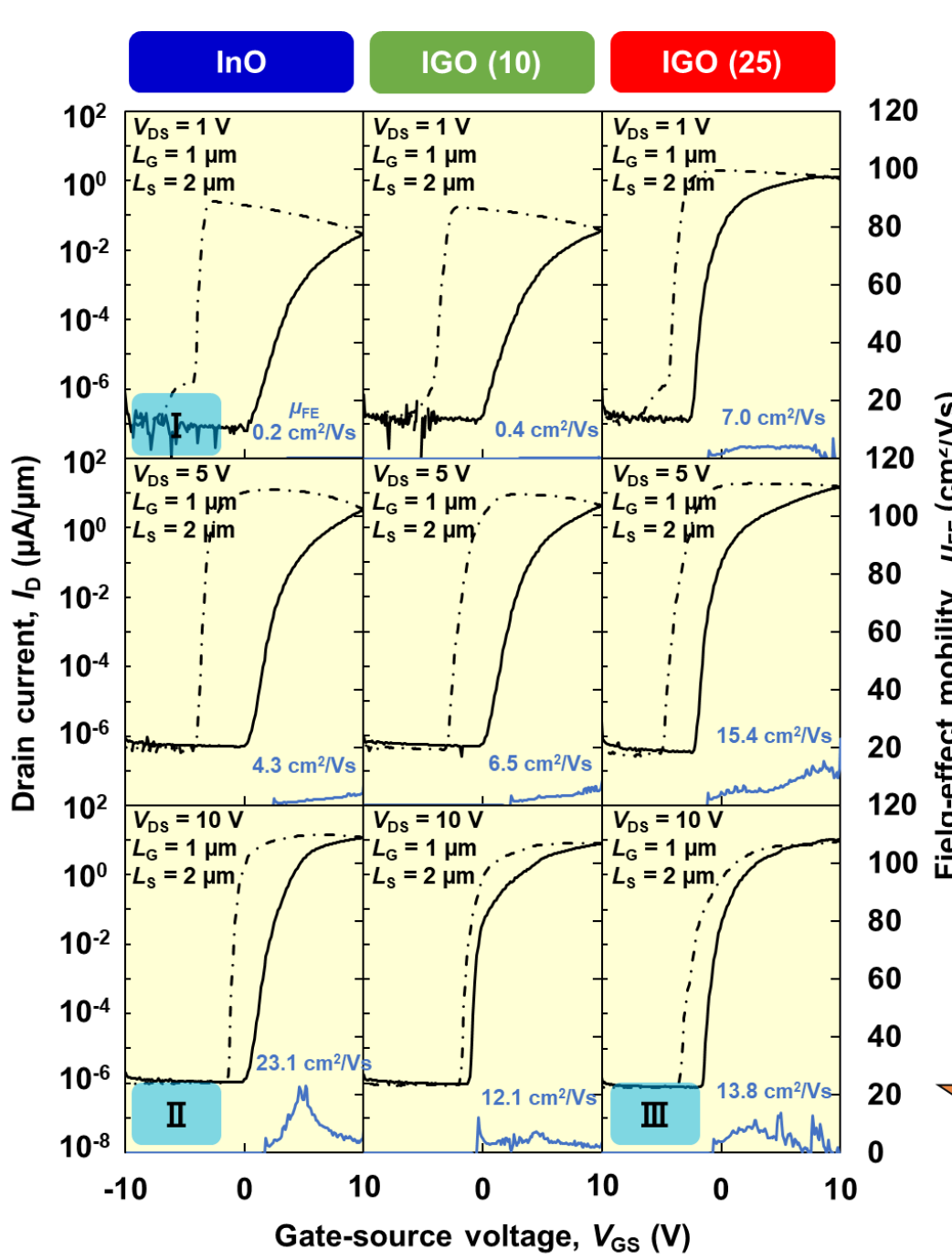
Ga添加, 熱処理温度依存性



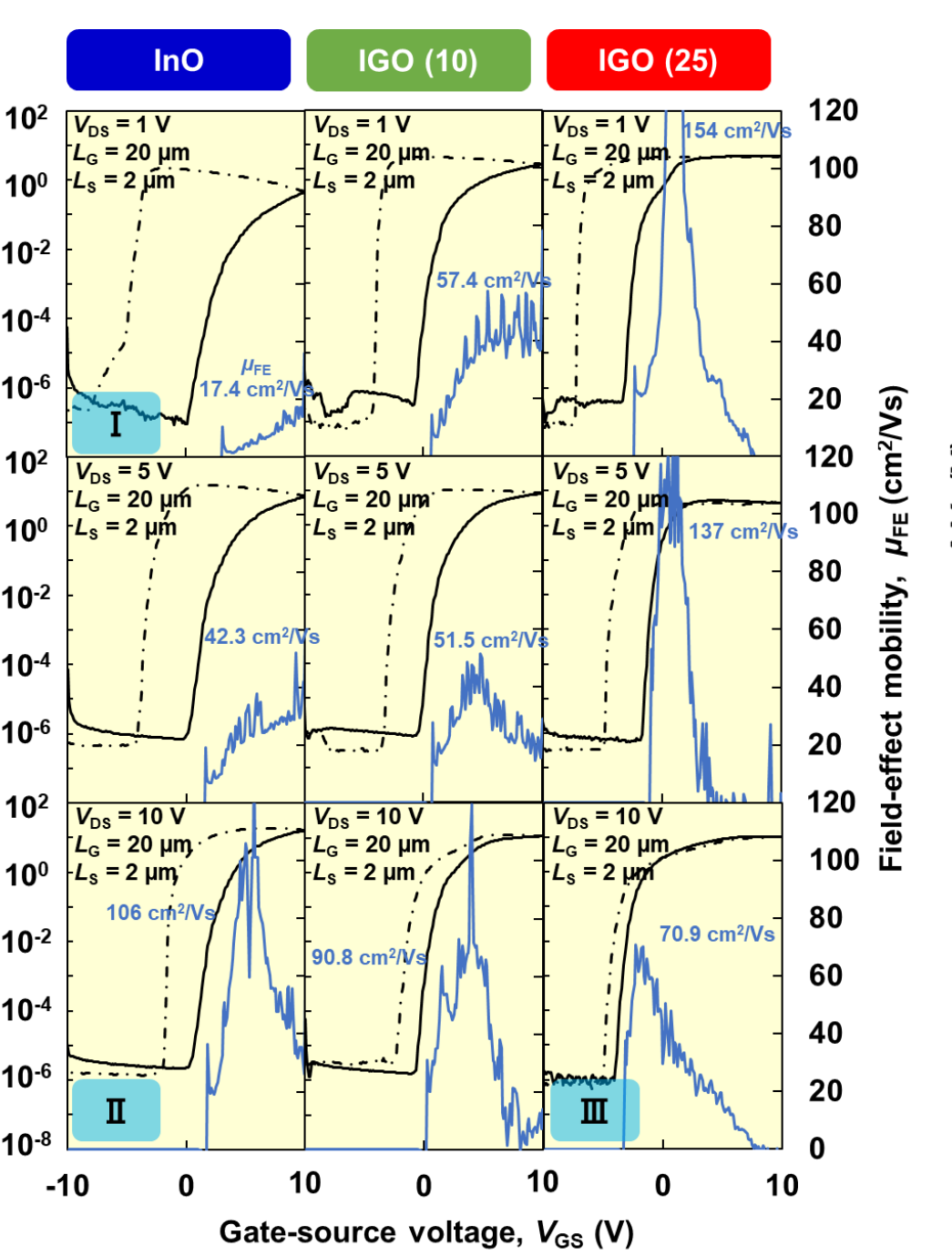
IGO(25 mol%) TFTは H.T. 300℃では動作が確認されず、H.T. 500℃で明瞭なTFT動作を示した。高温熱処理による膜質改善がデバイス特性発現に寄与していることが示唆された。

ドレイン-ソース間電圧(V_{DS})依存性

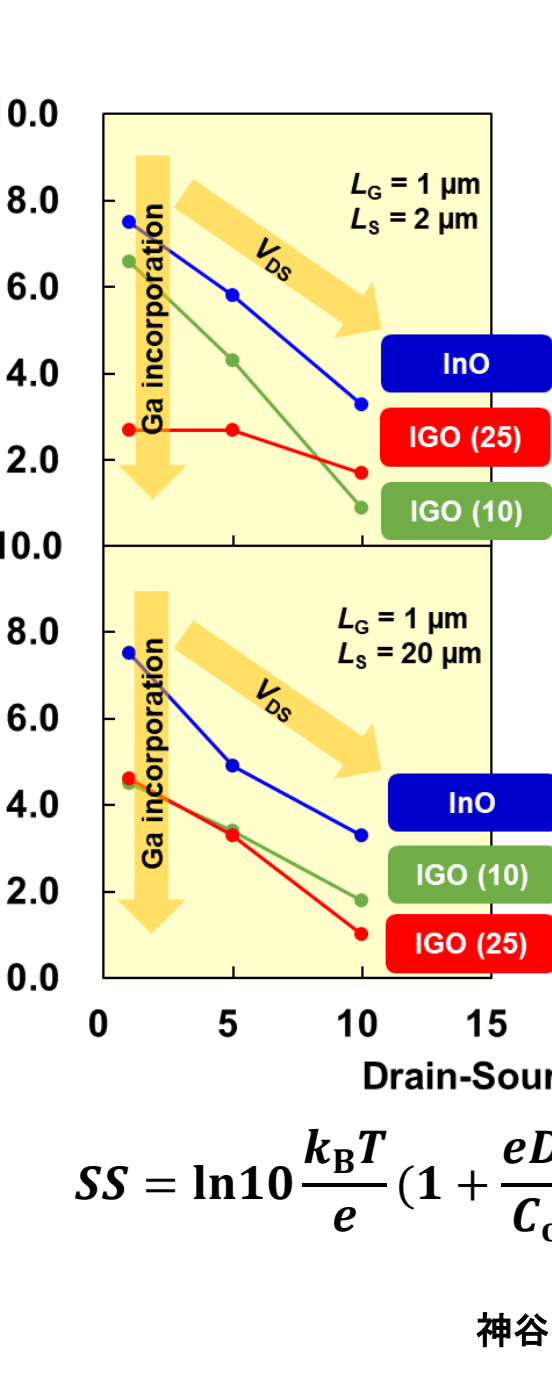
伝達特性 (L_G = 1 μm)



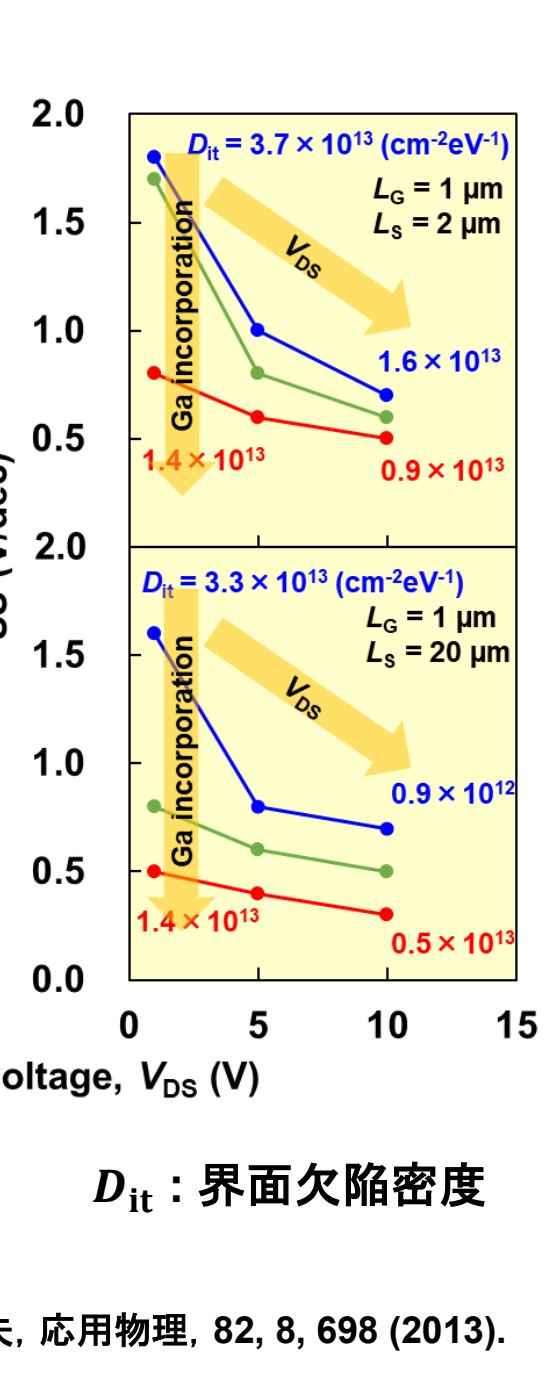
伝達特性 (L_G = 20 μm)



ΔV_H



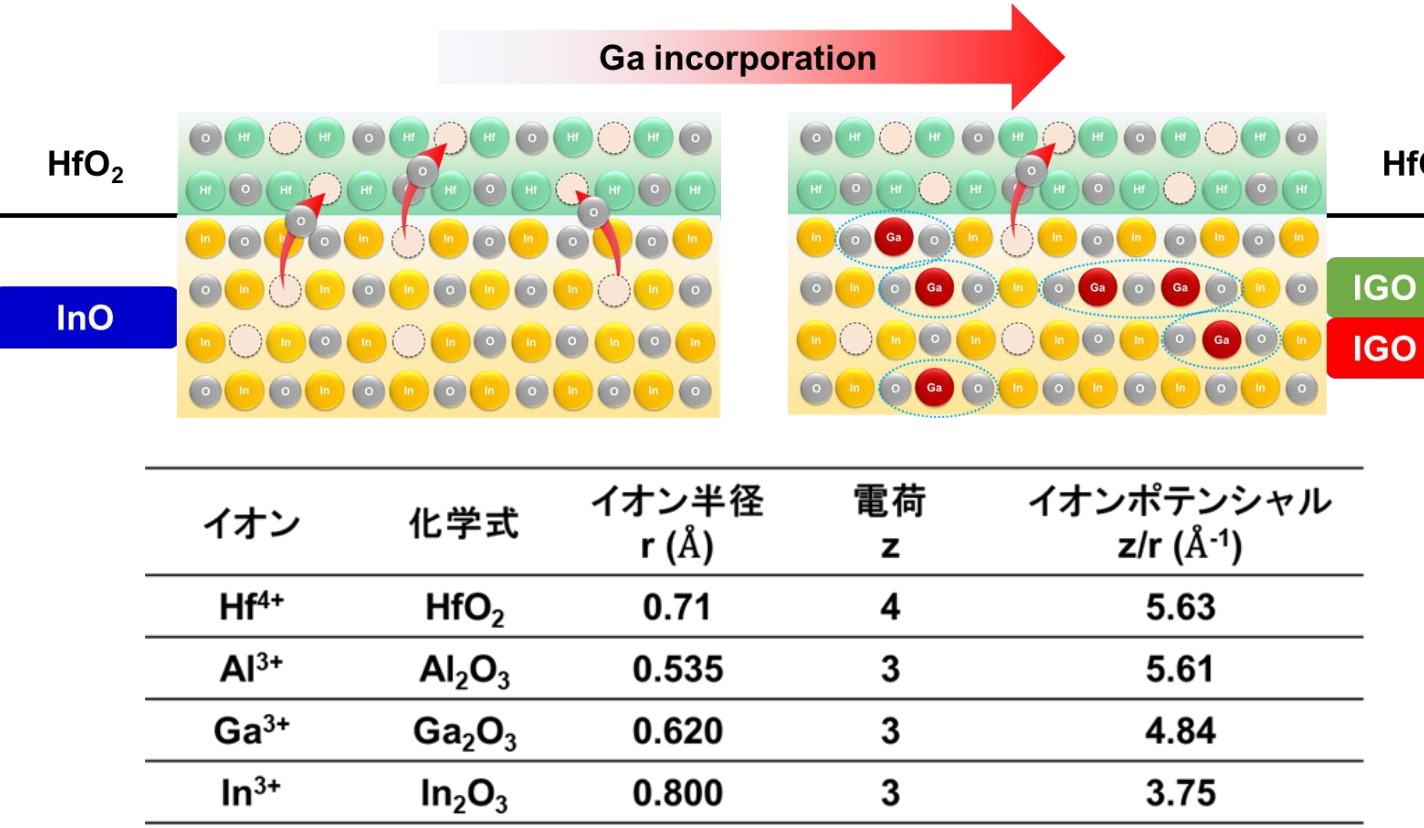
SS, D_{it}



Ga添加濃度増加に伴い、SS値改善、大きな時定数を有するトラップに由来するヒステリシスの抑制が観測され、欠陥密度が低下したことが示唆された。

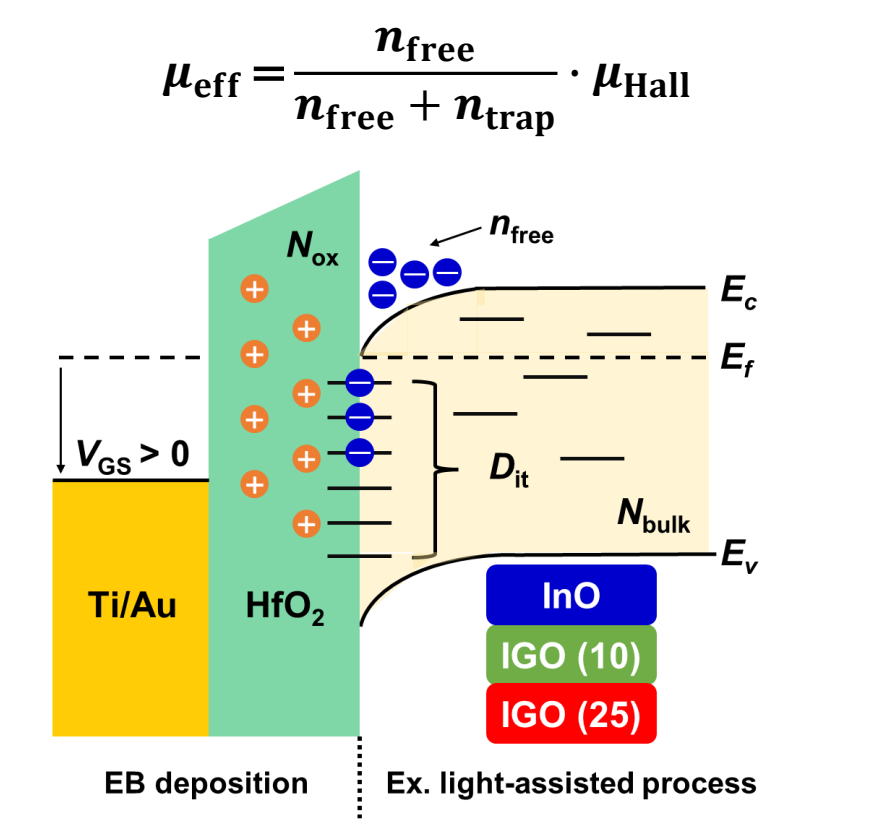
V_{DS}の増加およびGa添加量の増加に伴って、ΔV_H, SS, D_{it}はいずれも減少する傾向を示した。

イオンポテンシャルの観点から



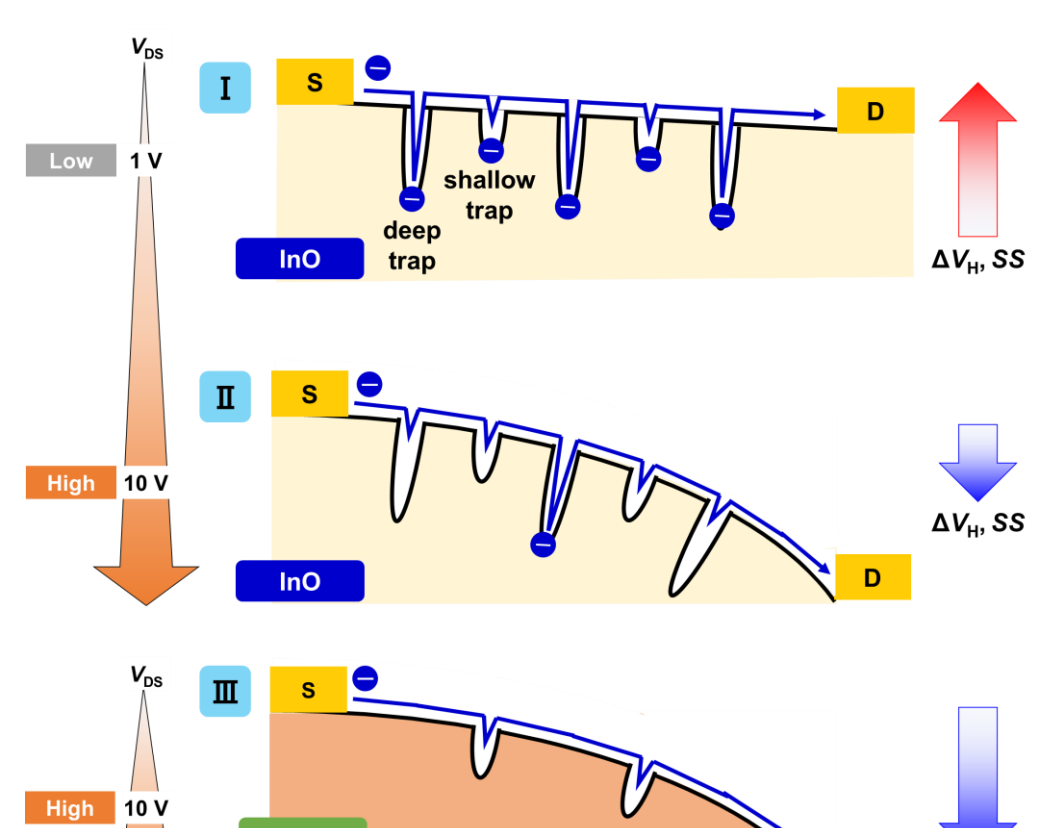
Ga添加は、イオンポテンシャルの大きいHf⁴⁺による界面での酸素吸引を緩和し、電子トラップとして作用する酸素欠陥の形成が抑制されたと考えられる。その結果として、ΔV_H, SS, D_{it}が減少し、デバイス特性の安定化に寄与したと考えられる。

複合的な欠陥密度



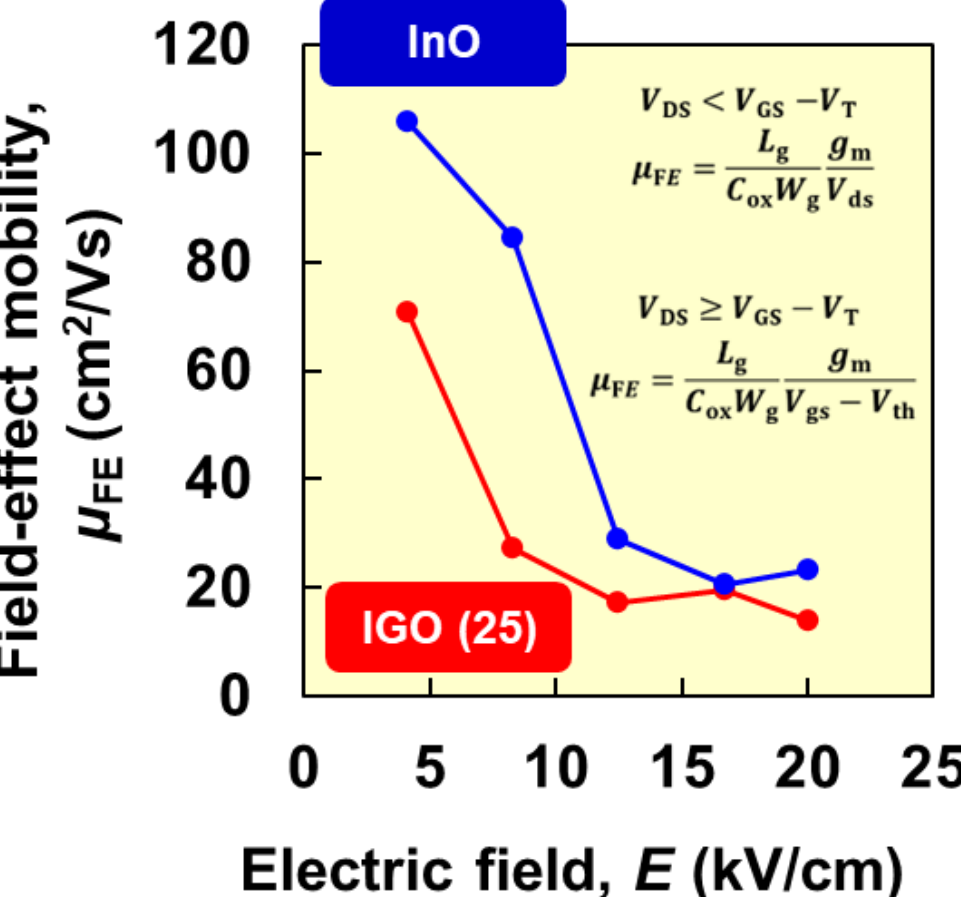
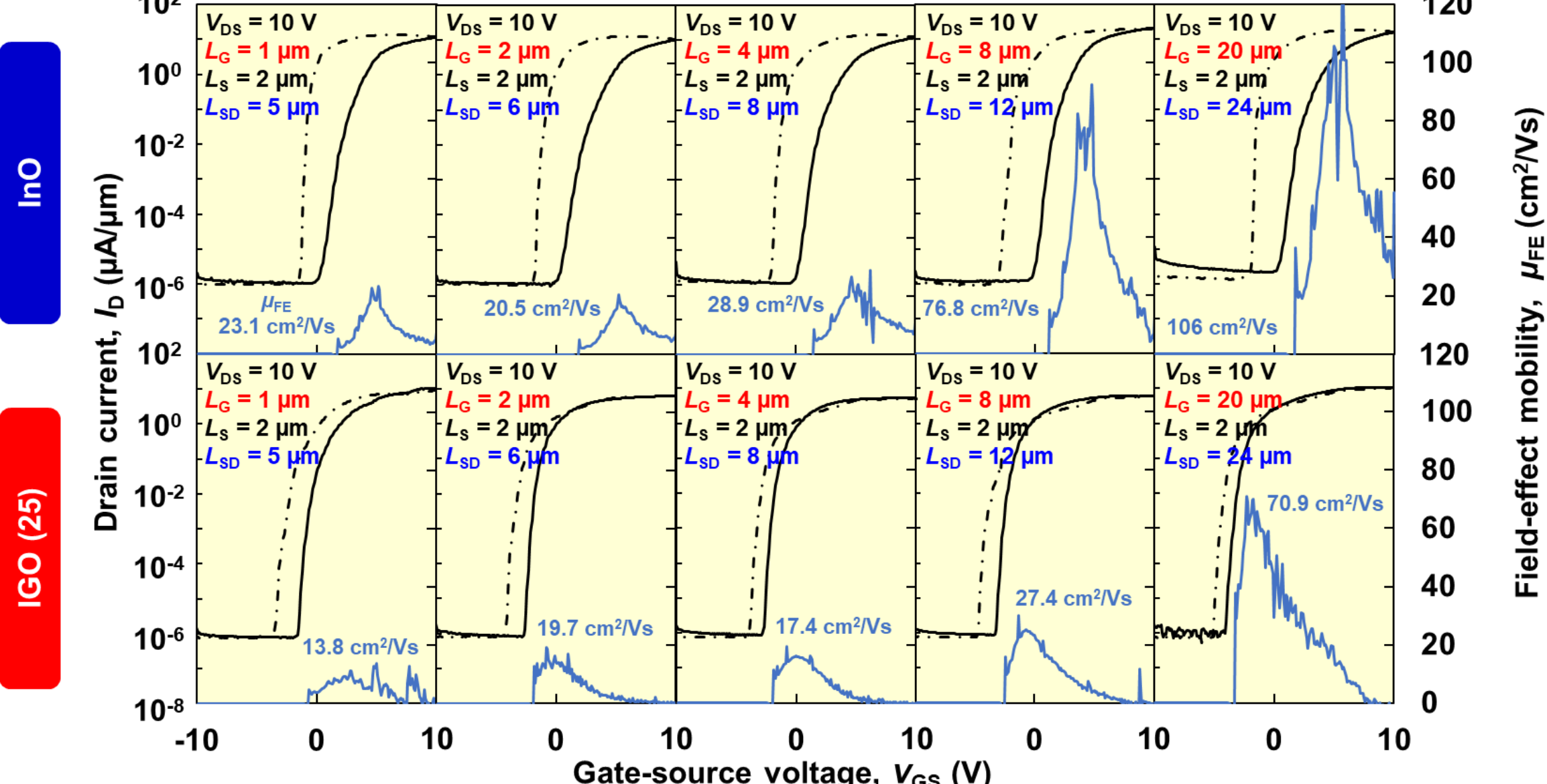
実効移動度はトラップ密度の影響を強く受けており、ゲート絶縁膜、界面、チャネル中に存在する欠陥が複合的に寄与していると考えられる。

浅い・深いトラップの振る舞い



Ga添加に加え、V_{DS}(電界)の増加によって、時定数の大きなトラップに起因する影響が効果的に抑制されていることが示唆された。

ゲート長(L_G)依存性



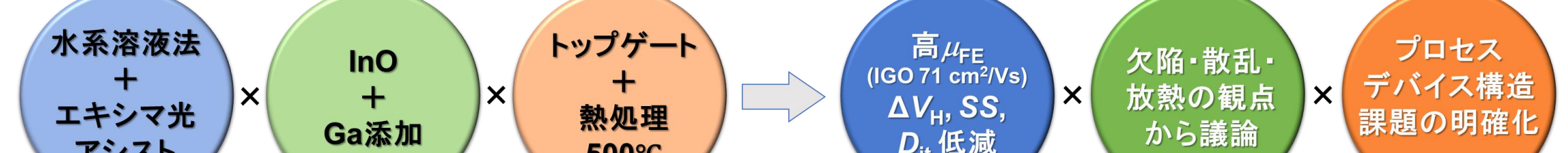
放熱・温度上昇の見積もり

放熱モデル	1D貫通	点熱源
熱伝導率 Si: k = 150 W/mK Glass: k = 1 W/mK	$\Delta T \approx \frac{P}{kA}$	$\Delta T \approx \frac{P}{4ka}$
熱抵抗 R _{th}	$R_{th} \approx \frac{L}{kA}$	$R_{th,spread} \approx \frac{1}{4ka}$
温度上昇 ΔT	$\Delta T \approx R_{th} \cdot P = R_{th} \cdot (V_{DS} \cdot I_D)$	$\Delta T \approx R_{th,spread} \cdot P = R_{th,spread} \cdot (V_{DS} \cdot I_D)$
Si	L = 6 μm: ΔT ≈ 41.7 °C L = 24 μm: ΔT ≈ 10.4 °C	L = 6 μm: ΔT ≈ 0.85 °C L = 24 μm: ΔT ≈ 0.43 °C
Glass	L = 6 μm: ΔT ≈ 1.17 × 10 ⁴ °C L = 24 μm: ΔT ≈ 2.92 × 10 ³ °C	L = 6 μm: ΔT ≈ 127.9 °C L = 24 μm: ΔT ≈ 64.0 °C

短チャネルでは発熱の影響により速度飽和が生じ、移動度低下の傾向が見られた。特に、ガラス基板はSi基板に比べて熱伝導率が低く、この影響が顕著に現れやすい。

まとめ

エキシマ光アシストプロセスを用いて、Ga添加量を制御した IGO TFT を作製し、電気的特性から、Ga添加がTFT性能に与える効果を詳しく調べた。



今後の展望

バイアスストレス試験, 照射&熱処理(窒素, 酸素雰囲気)異種接合(ヘテロ構造)TFT ⇒ 高移動度化
Y. Li et al., Nanomaterials, 10, 965 (2020). F. He et al., Ceramics International, 47, 24 (2021).