

# 原子層堆積法を用いた結晶性 Ga 添加 $\text{In}_2\text{O}_3$ 極薄膜の成長と 電界効果トランジスタへの応用

## Atomic Layer Deposition of Crystalline Ga-doped $\text{In}_2\text{O}_3$ Ultrathin Film and their Field-effect Transistor Application

奈良先端大<sup>1</sup>, 東京科学大<sup>2</sup>, 出光興産<sup>3</sup> ○高橋 崇典<sup>1</sup>, 星井 拓也<sup>2</sup>, 霍間 勇輝<sup>3</sup>, 砂川 美佐<sup>3</sup>,  
笈井 重和<sup>3</sup>, 朴 鍾鎬<sup>2</sup>, 玉元 海樹<sup>2</sup>, 角嶋 邦之<sup>2</sup>, 浦岡 行治<sup>1</sup>  
NAIST<sup>1</sup>, Science Tokyo<sup>2</sup>, Idemitsu Kosan Co., Ltd.<sup>3</sup> ○Takanori Takahashi<sup>1</sup>, Takuya Hoshii<sup>2</sup>,  
Yuki Tsuruma<sup>3</sup>, Misa Sunagawa<sup>3</sup>, Shigekazu Tomai<sup>3</sup>, Jongho Park<sup>2</sup>, Hiroki Tamamoto<sup>2</sup>,  
Kuniyuki Kakushima<sup>2</sup>, and Yukiharu Uraoka<sup>1</sup>  
E-mail: t.takahashi@ms.naist.jp

【はじめに】  $\text{In}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Ga}_2\text{O}_3$  や  $\text{ZnO}$  を主成分とする酸化物半導体は集積回路や半導体メモリへの応用が期待されており、三次元メモリや back end of line へ適用可能な電界効果トランジスタ (FET) が実証されている。FET 素子の集積密度の向上および短チャネル効果の抑制、しきい値制御の観点から 10 nm 未満の酸化物半導体極薄膜チャンネルが要求される。近年、In-Ga-Zn-O 等に代表される非晶質酸化物半導体 (AOS) において、原子層堆積 (ALD) 法を用いた極薄膜の成膜や FET の動作報告は多数存在する。しかし、AOS は酸素欠損の形成エネルギーが低く高キャリア密度を示し<sup>[1]</sup>、電子移動度は典型的に  $50 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  程度に制限され、素子の集積化には限界が存在し、面内の特性バラツキにも懸念が残る。また、AOS の電子移動度は膜厚依存性を有し、薄膜化によって減少することが確認されている<sup>[2]</sup>。本研究では前述の課題の解決を図るために、高い電子移動度およびキャリア密度の安定化が期待できる  $\text{In}_2\text{O}_3$  を主骨格とする結晶性酸化物半導体に着目した。本研究では ALD 法を用いた Ga 添加  $\text{In}_2\text{O}_3$  (IGO)<sup>[3]</sup> の薄膜合成を実施し、膜厚 10 nm 未満のチャンネルを有する FET の動作検証を行った。

【実験方法】 前駆体に In 系有機金属化合物、Ga 系有機金属化合物を用い、プラズマ支援 ALD によって非晶質 IGO 薄膜を成膜した [図 1(a)]。大気雰囲気中にて熱処理を行い非晶質 IGO 膜を結晶化させ、多結晶 IGO 膜を得た。図 1 (a) に示すトップコンタクト/ボトムゲート型 FET を試作し、電気的特性を評価した。

【実験結果】 図 1 (b) に試作した IGO-FET の伝達特性と電界効果移動度 ( $\mu_{\text{FE}}$ ) の計算結果を示す。10 nm 未満の多結晶 IGO チャンネルからは半導体挙動が得られ、未補正值の  $\mu_{\text{FE}} > 100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  が確認された。本結果より ALD 法で成膜した  $\text{In}_2\text{O}_3$  系結晶性酸化物半導体は極薄膜領域においても  $100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  以上の  $\mu_{\text{FE}}$  を維持できることがわかり、チャンネル膜厚のスケーリング性に優れることが示唆された。発表では多結晶 IGO 膜の膜物性や伝送長モデルを用いた真性電界効果移動度と寄生抵抗の評価<sup>[4]</sup>についても報告する。

【参考文献】 [1] J. E. Medvedeva et al., *J. Appl. Phys.* **127**, 175701 (2020). [2] M. J. Kim et al., *IEEE Trans. Electron Device* **69**, 2409 (2022). [3] K. Ebata et al., *Appl. Phys. Express* **5**, 011102 (2012). [4] T. Takahashi et al., *Appl. Phys. Express* **18**, 014001 (2025).

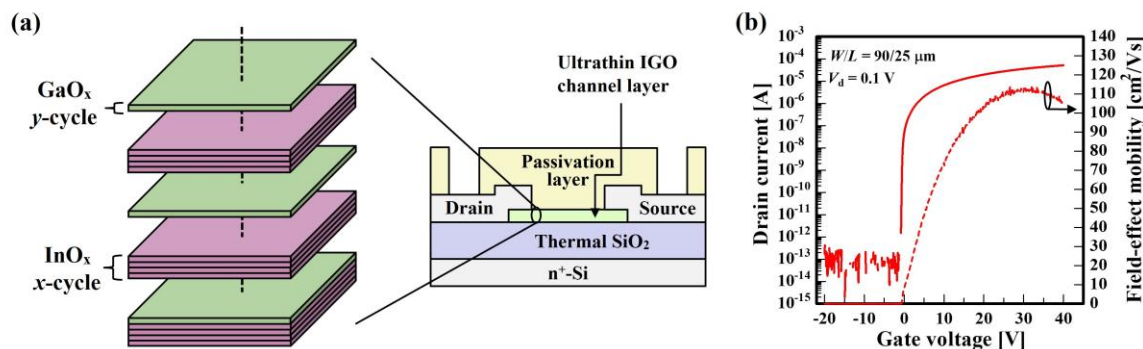


Fig.1 (a) Schematic concept of ALD-IGO growth and device structure of FET. (b) Transfer characteristics and calculated  $\mu_{\text{FE}}$  of the FET with ultrathin (< 10 nm) ALD-IGO channel layer.