

プラズマALDを用いる後工程トランジスタ向け 薄膜酸化インジウム(InOx)チャネルFET s

CHEN Chia-Tsong (チェン ジャツォン)

産総研 先端半導体研究センター

入沢寿史、右田真司、張文馨、森田行則、太田裕之、前田辰郎 産総研 先端半導体研究センター

トープラサートポン カシディット

東京大学 電気電子工学科

2025年8月6日

施設共用におけるALD成膜のユーザー事例紹介

酸化物半導体を用いる三次元集積ーLSI低消費電力化





ALD酸化物FETの利点と残留不純物の課題





• Control over **impurity** and surface **passivation/encapsulation** are important

ALDインジウム原料の選択肢





A. Charnas et al., Adv. Mater. 2024, 36, 2304044.





Please summarize the advantage and dis-advantage of different ALD precursor for depositing InOx as back-end of line transistors

Precursor	Temp (°C)	Conformality	Contamination Risk	3D Suitability	Notes
TMI + O ₃	100–300	Excellent	Low (with O ₃)	🗹 Excellent	Best performance in 3D ALD
$In(DPAMD)_3 + O_3$	150–300	Good	Low	🔽 Good	Clean films, Iower risk
InCl₃ + H₂O/O₃	300–400	Fair	High (CI)	▲ Limited	Use with passivation or anneals
In(acac)₃	>250	Poor	High (carbon)	🗙 Poor	Avoid for 3D
InCp-based	200–350	Fair	Moderate	▲ Limited	Not widely used

⇒TMInとオゾン酸化およびプラズマ酸化で極薄InOxチャネルを成膜



- ・InOx膜中の残留カーボンの影響
- PE-ALDの堆積温度と極薄InOxチャネルFETへの 電流特性/信頼性の影響
- PE-ALDにおける極薄InOxチャネルの過剰酸素問題
 1. InOxチャネル膜厚依存性
 2. 下地ALD high-k絶縁膜依存性

酸素プラズマおよびオゾン酸化のGPCの比較





酸素プラズマおよびオゾン酸化の残留カーボンの比較





プラズマ酸化InOx膜 – ホール測定結果①



8



プラズマ酸化InOx膜 – ホール測定結果2



225°C



- □低温ALD:残留Cが酸素欠損に置換⇒Vo増加抑制 □高温ALD:残留Cが少ない⇒Vo増加⇒キャリア増加
- ・残留Cがキャリア散乱を抑制が、ばらつきが懸念

290

Binding Energy (eV)

285

280

295

プラズマ酸化InOx膜 – ホール測定結果③





低温PE-ALDを用いた極薄膜InOx FET試作







S/D pad Litho. & AlOx etching Ni deposition & lift-off for S/D Al deposition for back-gate





- ・極薄膜領域も表面が平坦(100°C~200°C)
 InOx表面荒さは約0.3 nm(AFM)
- ・InOxチャネル成膜直後、同温度で連続し てAIOxパッシベーション層を成膜し、雰 囲気からの水素/酸素吸着を防止

Chia-Tsong Chen *et al* 2025 *Jpn. J. Appl. Phys.* 64 01SP07









Chia-Tsong Chen et al 2025 Jpn. J. Appl. Phys. 64 01SP07

酸素、窒素アニールによる極薄膜InOx FET特性への影響





EELS分析でInOx膜内/界面の過剰酸素を確認









- ・TMI/プラズマ酸化法によるInOx膜の堆積を実施
- ・ 堆積温度200°C程度でカーボン除去が可能
- ・ InOx膜内の残留カーボンが散乱要因となり デバイスの性能/信頼性を影響になる
- ・ InOxチャネル中の過剰酸素が電特/信頼性を劣化 ロ InOxチャネル膜厚依存(極薄膜なら酸素アニールは不適切)





- ・貴重な助言をいただきました株式会社国際電気 芳本祐樹様に感謝申し上げます。
- 本研究は、JST 戦略的創造研究推進事業 先端的カーボンニュートラル技術開発(ALCA-Next) JPMJAN23E4 および JSPS 科研費
 JP24K17328の支援を受けています。
- 本研究(の一部)は、文部科学省「マテリアル先端リサーチインフラ」事業(課題番号: JPMXP1223AT0194、JPMXP1224AT0147)の支援を受けた。