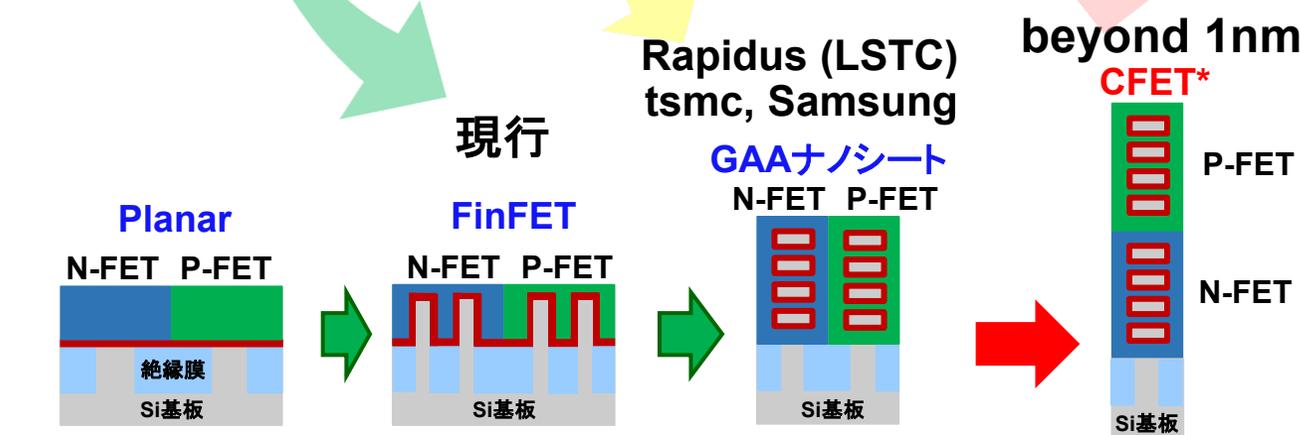
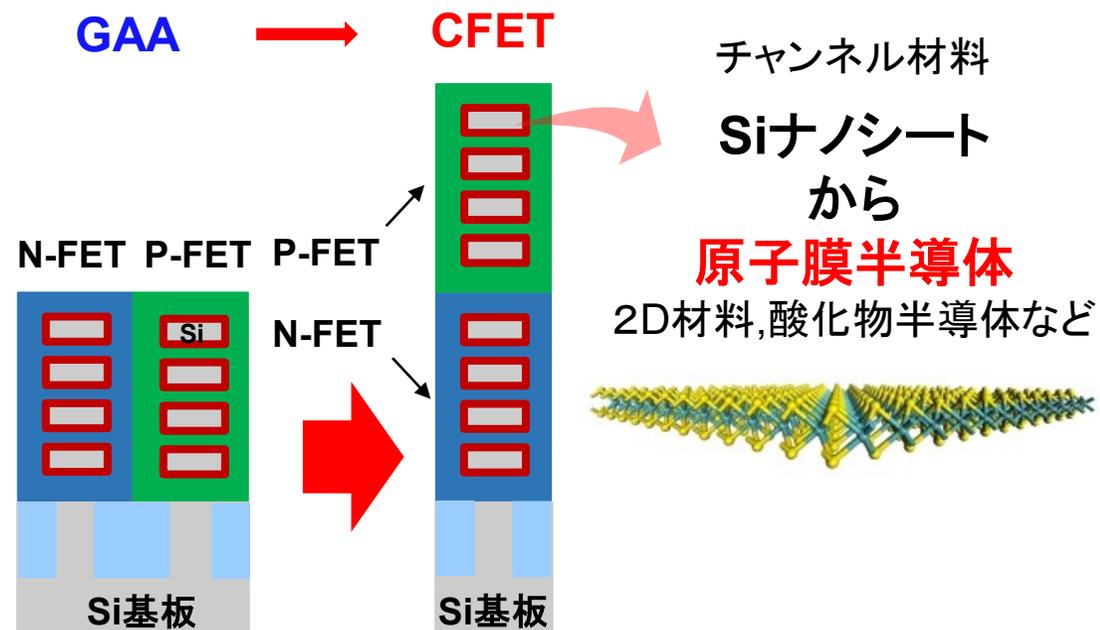
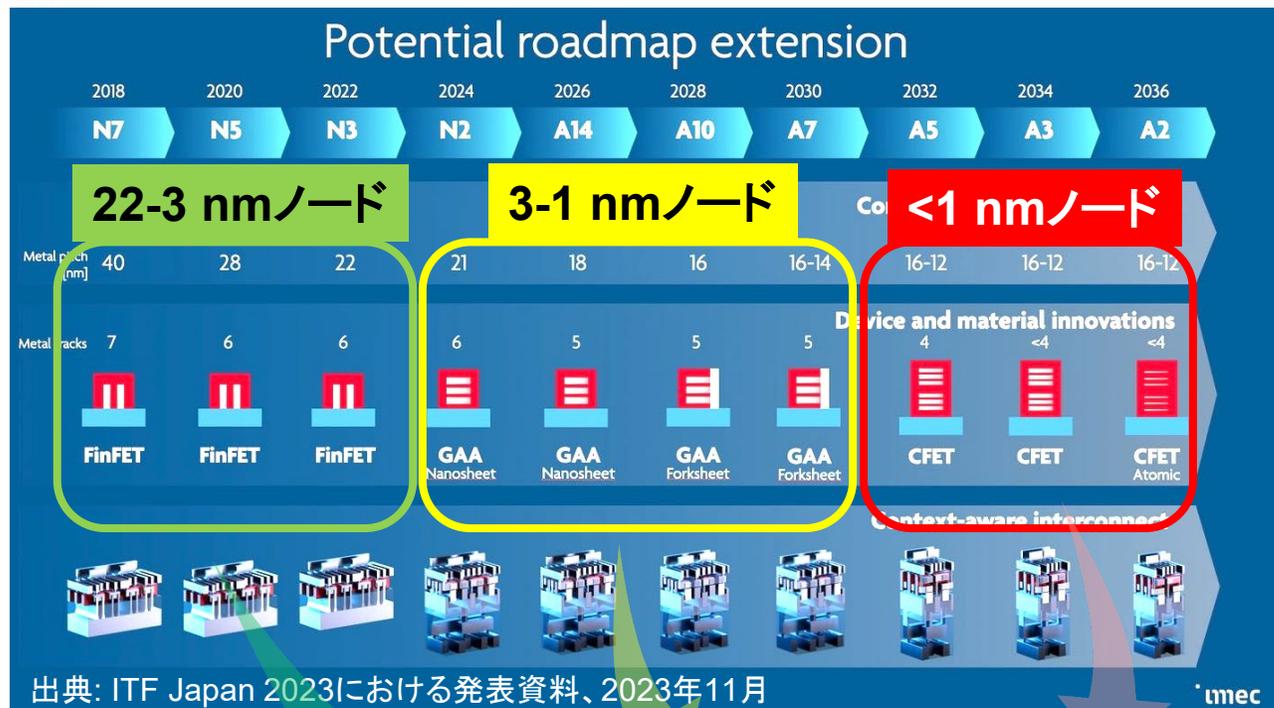


材料の視点からみた beyond 1 nm半導体デバイス材料開発施設

国立研究開発法人物質・材料研究機構(NIMS)

理事長 宝野和博

< 1 nm 半導体材料の開発の基盤技術



微細化に伴う「短チャネル効果」

↓

しきい値電圧の低下、移動度の低下

↓

新チャンネル材料が必要

図は東京エレクトロデバイス株式会社HPより引用

構造の革新

*CFET: Complementary Field-Effect Transistor

材料の革新

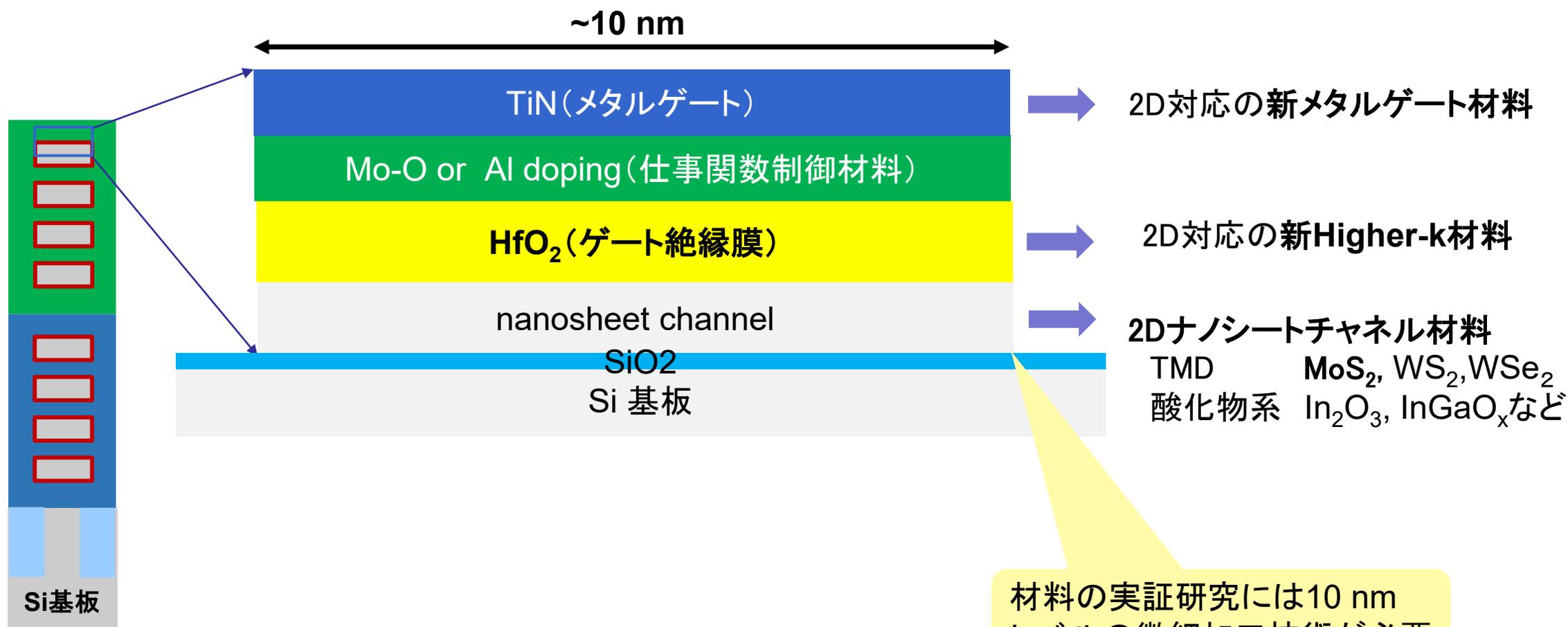
GAA-FET関連の材料研究

アカデミアにおける平坦膜を微細加工したモデルゲートスタックでの基礎研究

CFET素子

ラボレベルのGAA基本構造

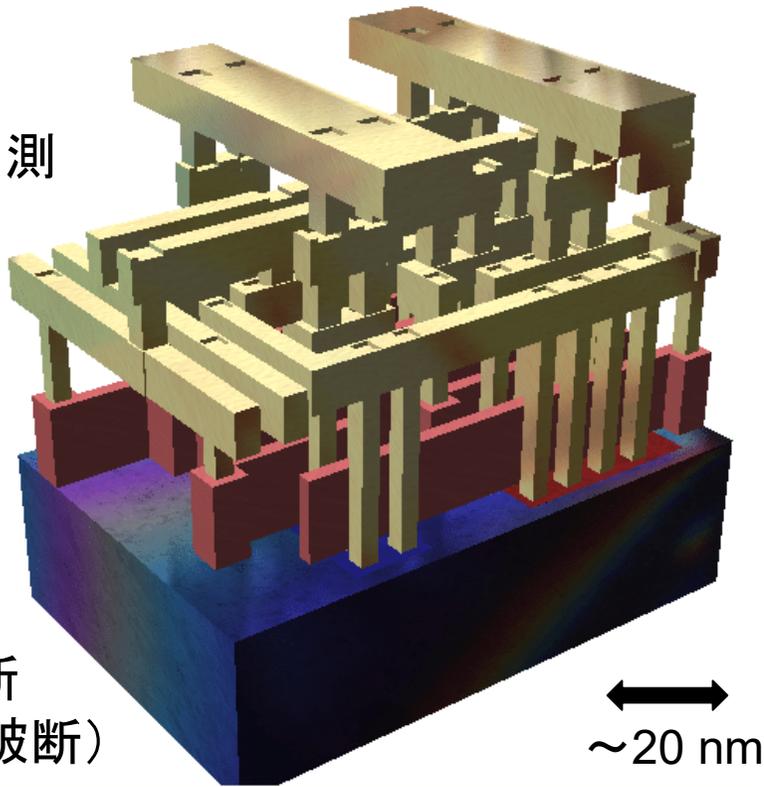
材料開発



配線材料開発の課題

ナノ配線の課題

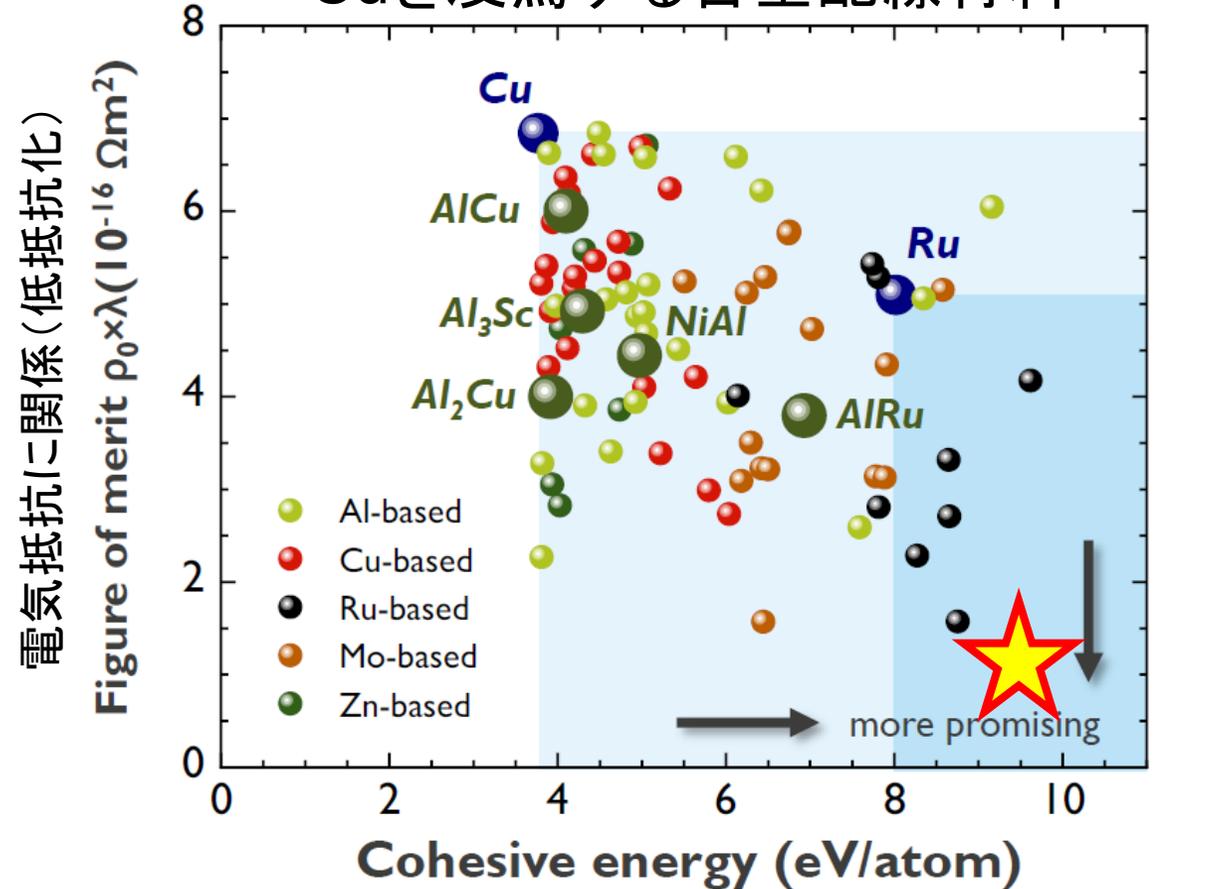
微細構予測



配線破断
(発熱による破断)

エレクトロマイグレーション
(電流による結晶粒界破断)

Cuを凌駕する合金配線材料

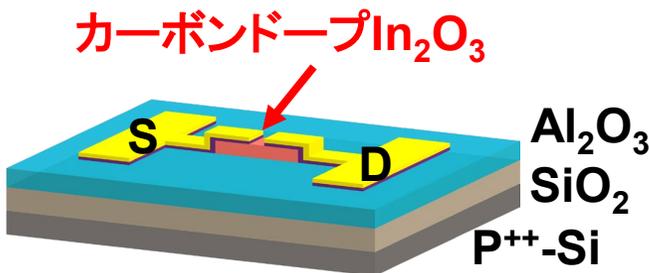


配線材料の構造に関係
(結晶粒界生成抑制, エレクトロマイグレーション抑制)

beyond 1 nmにはナノ領域で伝導特性に優れたCuに変わる新配線材料が必要

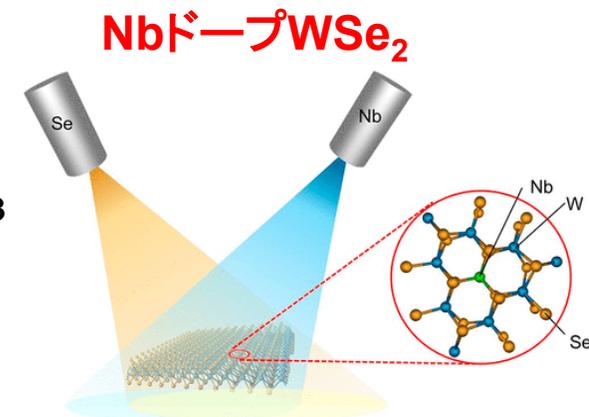
新チャネル材料

➤ 酸化物半導体



R. Kobayashi et al.,
ECS Trans. 92 (2019)3.

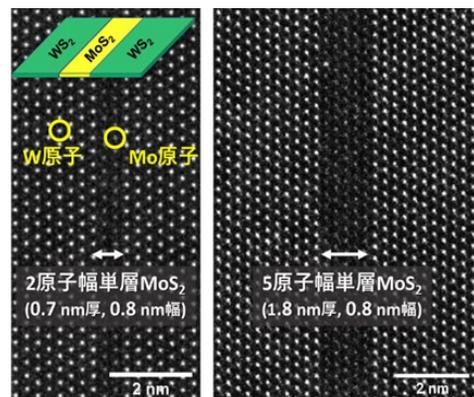
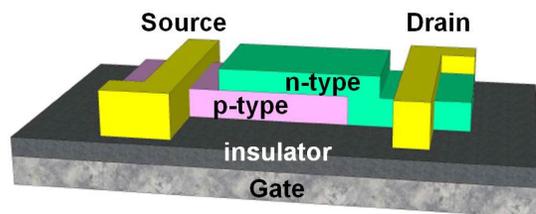
➤ 遷移金属ダイカルコゲナイト



Y. Murai et al.,
ACS Nano 15 (2021) 19225.

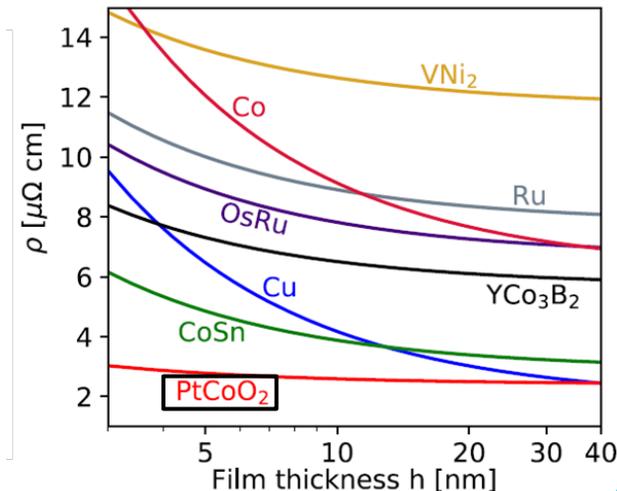
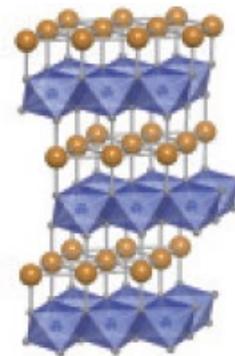
新トランジスタ

➤ ヘテロ接合トランジスタ



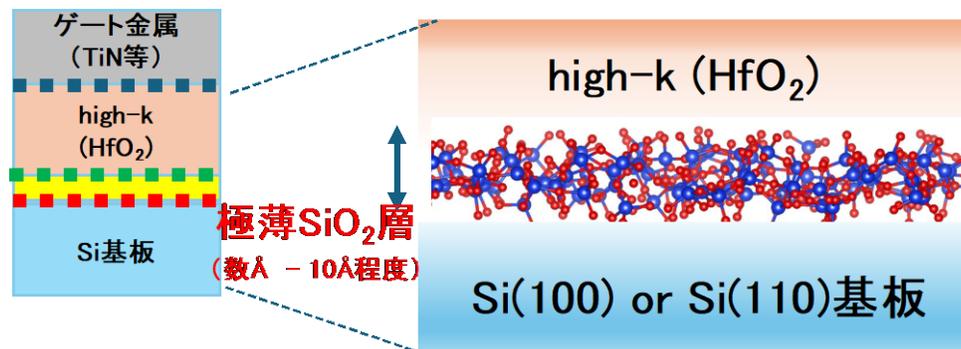
新配線材料: 2D配線材料

➤ 金属性デラフォサイト



S. Kumar et al, Phys. Rev. Mater. 6 (2022) 085002.

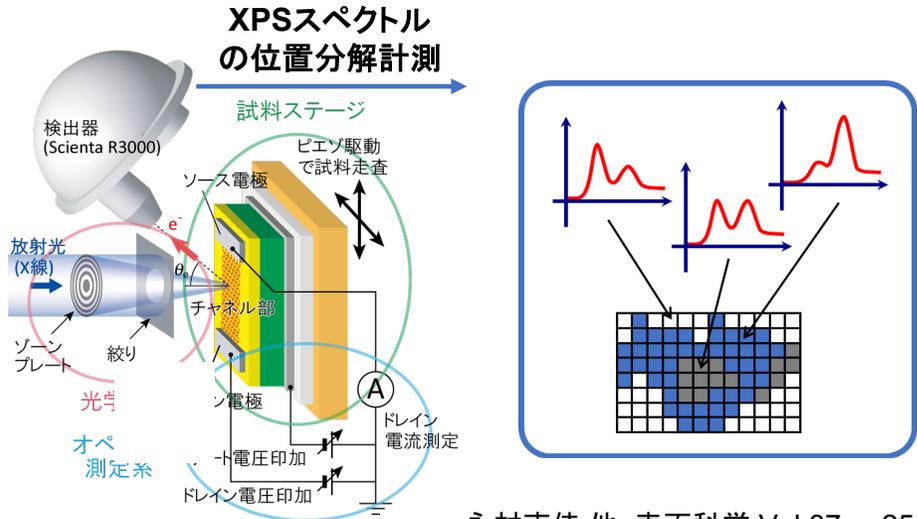
計算科学・データ科学



大規模計算と機械学習の融合による多層界面の理解

ハイスループット多次元マルチスケール解析

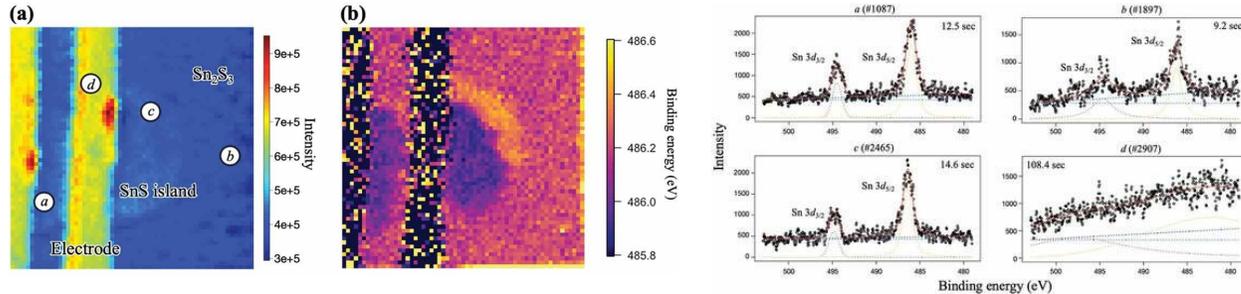
放射光走査型オペランド顕微XPS装置 “3D nano-ESCA”



空間分解能70nm
でマルチスケール
(mm-nm)に動作
中デバイス内部の
電子状態・化学状態
分析が可能

永村直佳 他, 表面科学 Vol.37, p.25 (2016).

ナノシートの化学状態マッピング



H. Kawamoto, N. Nagamura *et al.* *Nanoscale* **12**, 23274 (2020).
T. Matsumura, N. Nagamura *et al.* *STAM Methods* **3**, 2159753 (2023)

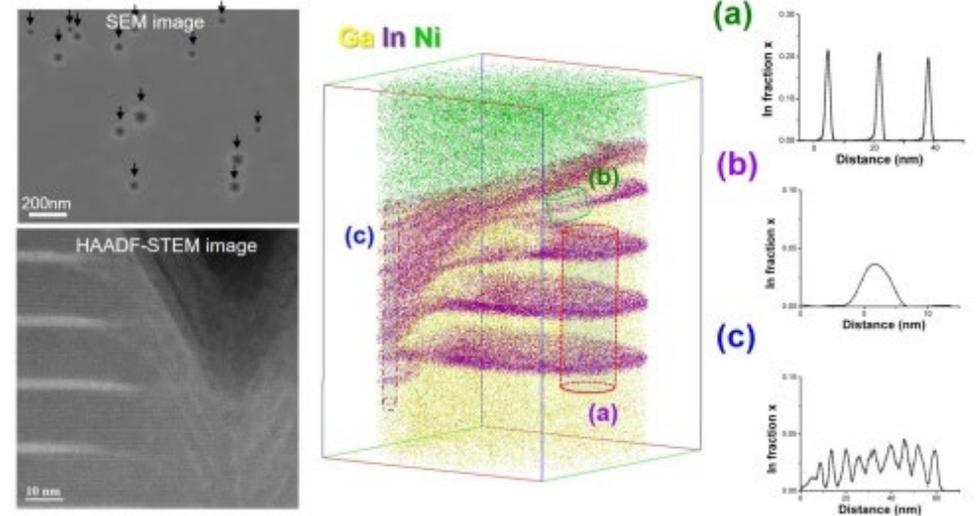
デバイスの三次元原子レベル解析



3次元アトムプローブ



原子分解能STEM



V字型ピットに形成されたGaInN/GaN多重量子井戸の原子
スケールでの構造と元素分布

S.Tomiya *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **98**, 181904 (2011)

NIMSの微細加工施設：見えてきた課題

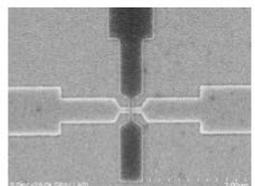
大手民間企業37社(68課題)他中小企業63社、大学・国研28機関(53課題)が利用
 (内つくば地区 筑波大学 32名 産総研 68名利用 東大柏キャンパス 18名)
 (利用料収入:2022年 2億7千万円)

★ 優れたエンジニアたちがサポート+小回りの利く設備

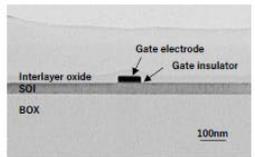
NIMS微細加工プロセス共用施設



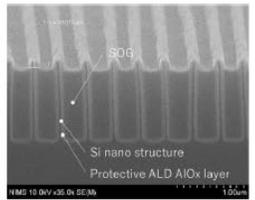
次世代半導体素子開発に向けた
材料探索・プロセス検討支援事例



SOI基板を用いたFin構造の作製



シリコン量子ビットの素子構造検討



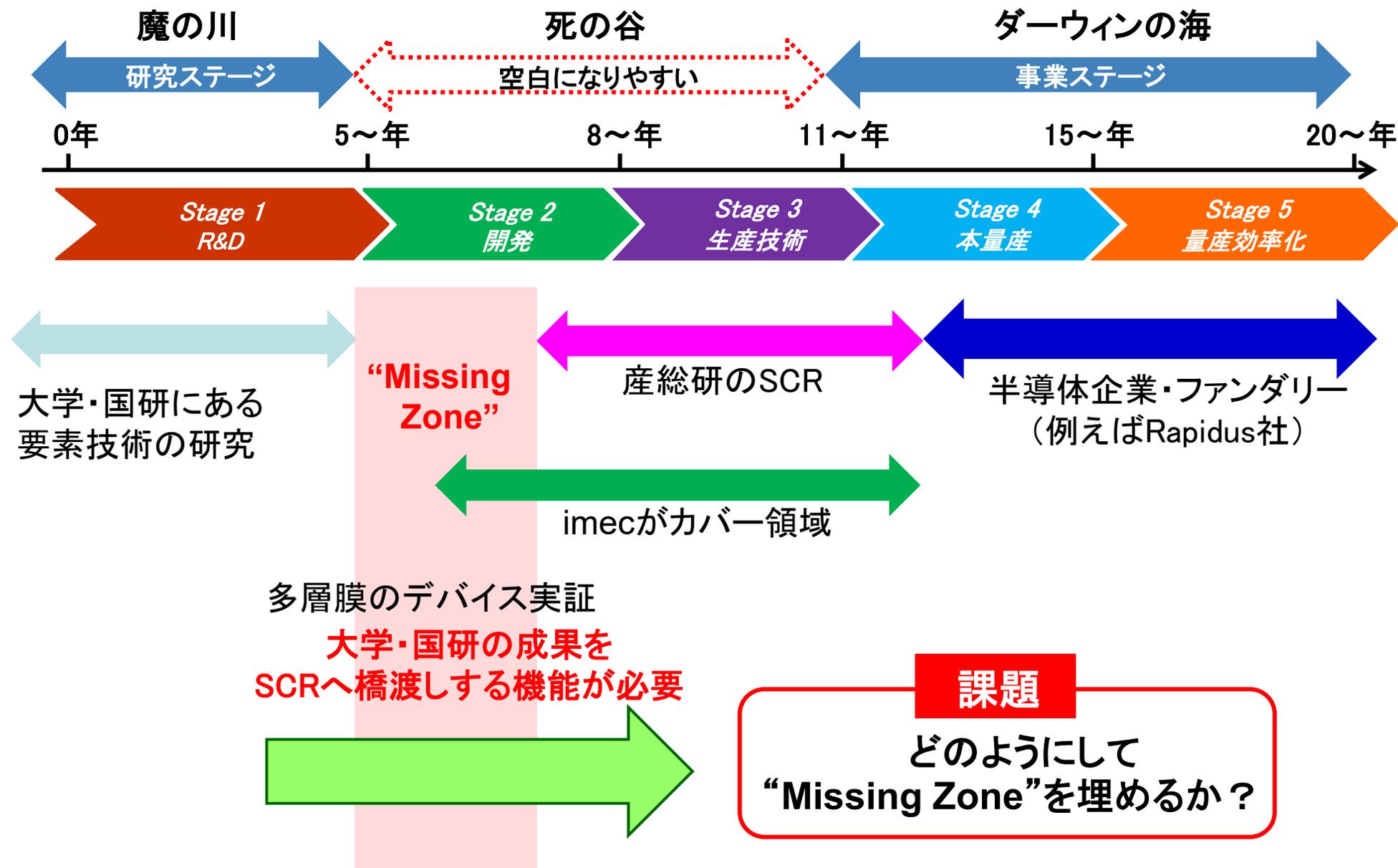
シリコンナノ構造のプロセス開発

材料のデバイス実証のため
10 nm水準の微細加工が必要



- 10 nmナノファブ設備の整備
- アカデミア、国研、産業界の共同利用
- エンジニアによる技術支援

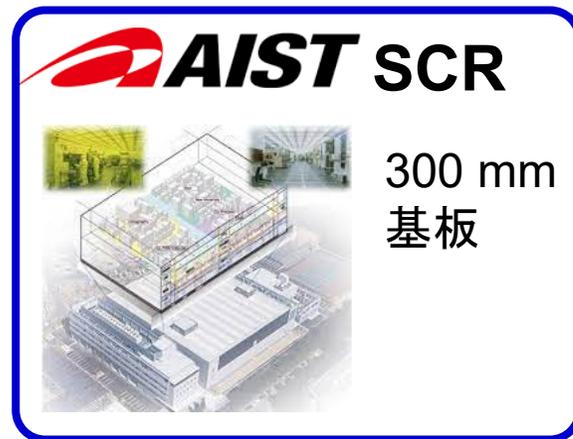
半導体デバイス開発の“死の谷”を乗り越える



アカデミアとAIST SCRを橋渡しする微細加工施設



アカデミアシーズ研究



産業界

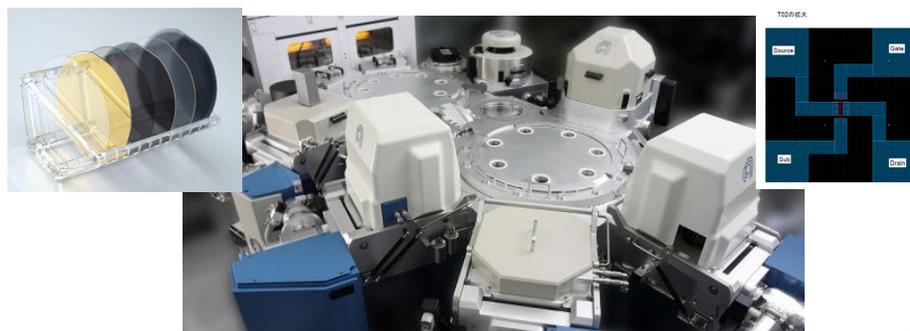
新規次世代半導体材料開発＋ナノスケールでの基礎特性評価



アカデミアからの材料

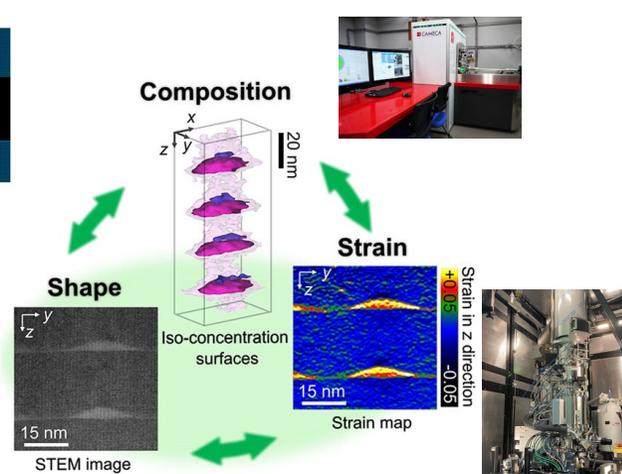
- ALDによるGAA構造
- 新材料探索
- AIデバイス材料

インハウス材料研究



10 nm微細加工対応可能

2次元デバイス実証



先端解析・評価

連携拠点制度によりつくば地区から全国に



NIMS連携大学院



NIMS連携拠点推進制度



筑波大学
筑波大連携大学院

産総研 SCR