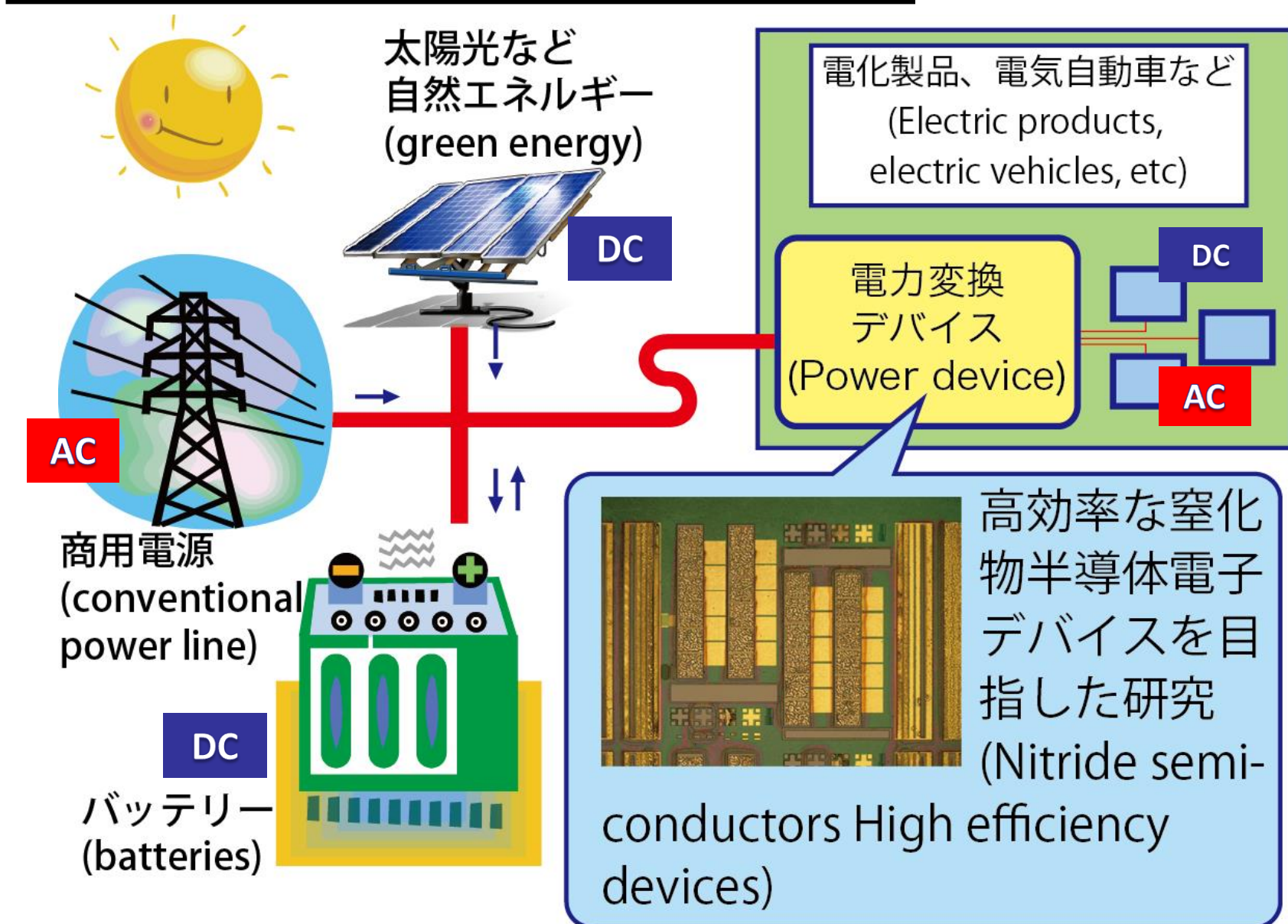




窒化物半導体電子デバイスの プロセス開発とシステム応用

プロジェクトメンバー：総合教育院（電気・電子情報工学系兼務） 岡田 浩

背景：パワーエレクトロニクス向けの新規半導体デバイス

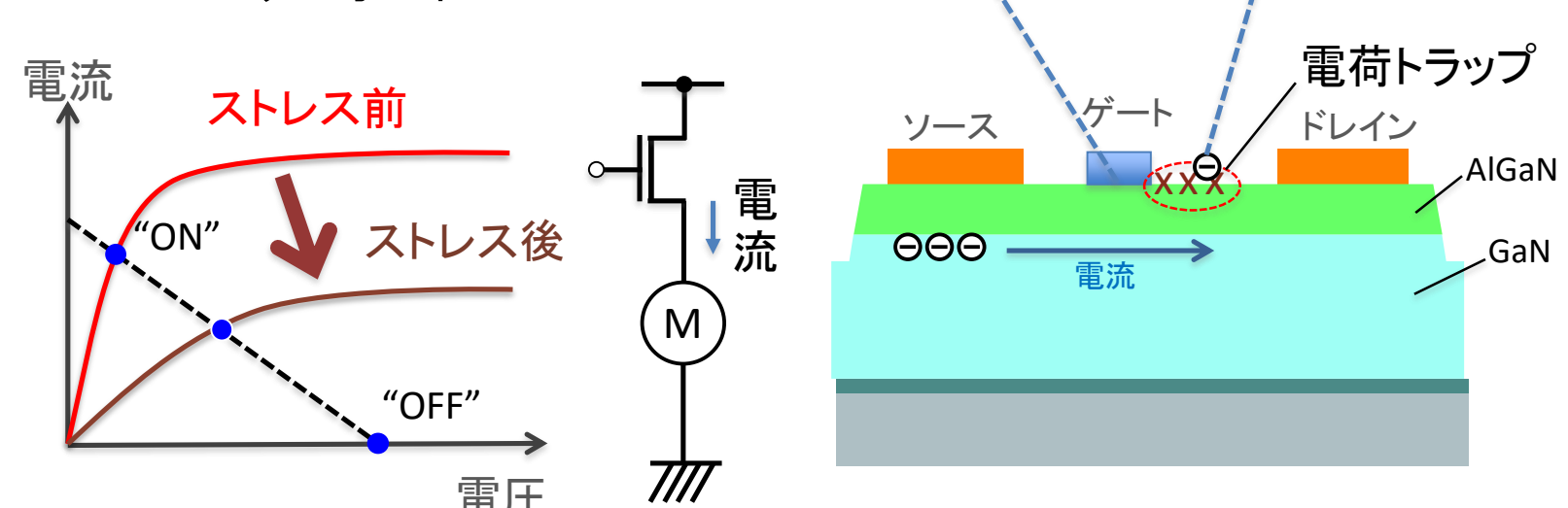


窒化物半導体トランジスタの特徴

- 高い絶縁耐圧 ($E_{Si} \sim 0.3 \text{ MV/cm}$, $E_{GaN} \sim 2 \text{ MV/cm}$) により低いオン抵抗による **高効率**、**小型**・**冷却機構不要なパワー変換デバイス**の実現など
- バンドギャップが広く ($E_{GaN} = 3.4 \text{ eV}$, $E_{Si} = 1.1 \text{ eV}$)、高温、放射線環境などでも動作する **耐環境性デバイス**の可能性

GaNトランジスタの課題:

- 電流コラプスの改善
- ゲートリーク低減
- ノーマリーオフ化

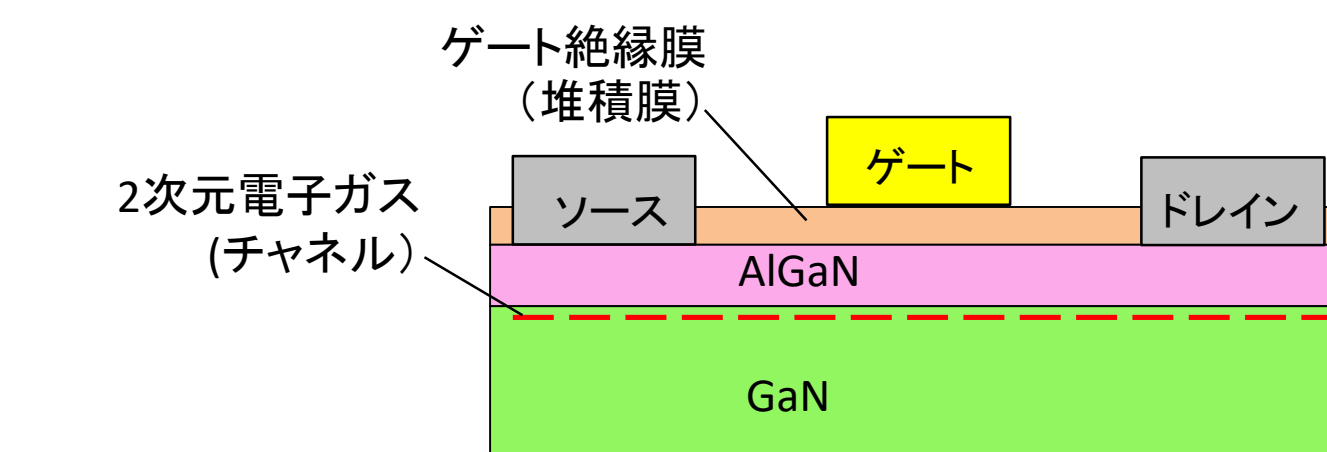


本プロジェクトの狙いとアプローチ

本プロジェクトでは、GaN材料の特性を生かした、高効率電力変換特性を有する絶縁ゲート型トランジスタおよび集積回路の実現に向けた検討を行う。

ゲート絶縁膜を有するMISゲート構造で期待されるメリット

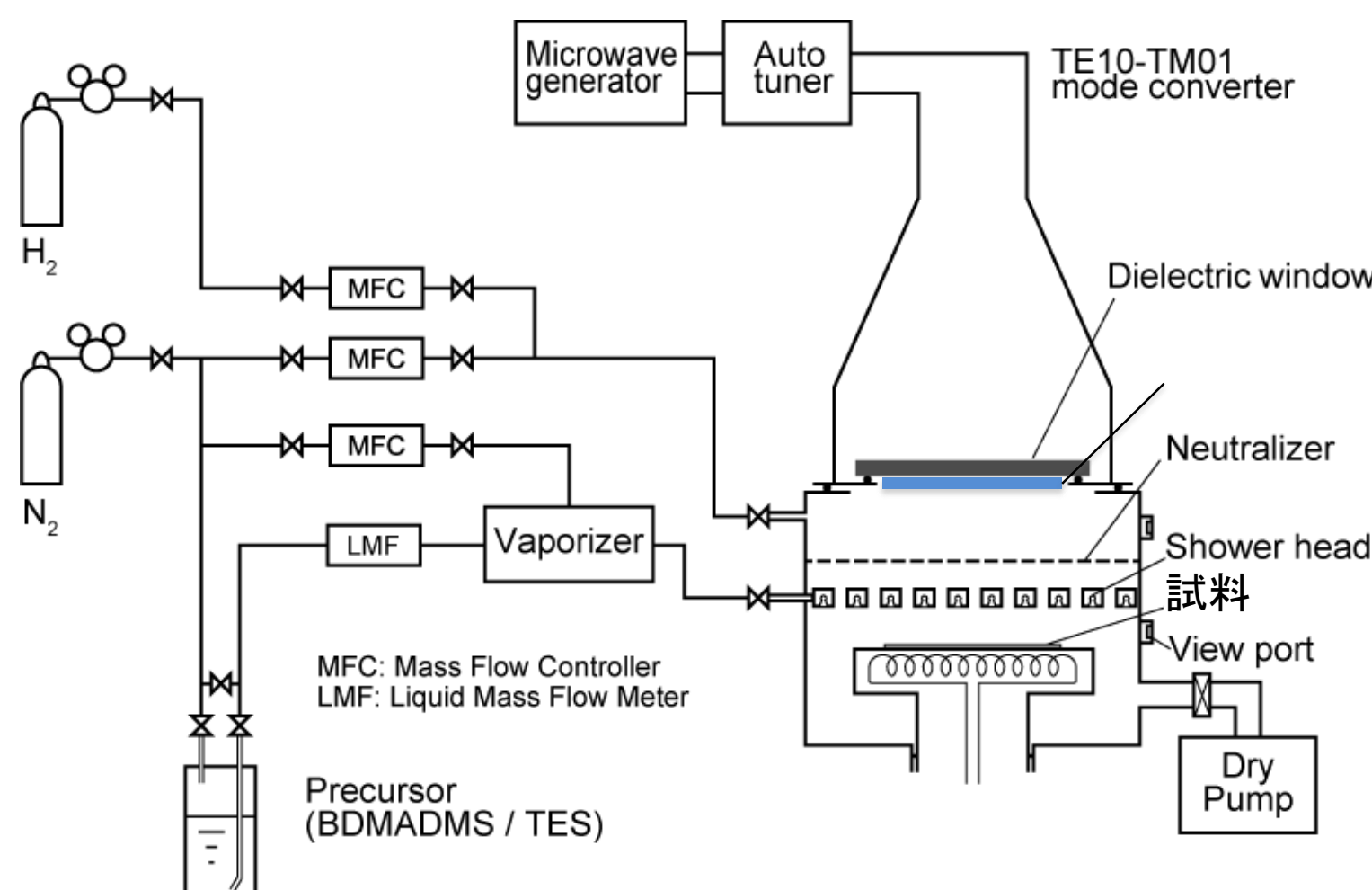
- ノーマリーオフトランジスタのエンハンスメント動作
- 高温動作化 (界面反応抑制)
- 適切な絶縁体/半導体界面の形成により、界面トラップ低減、動作安定化



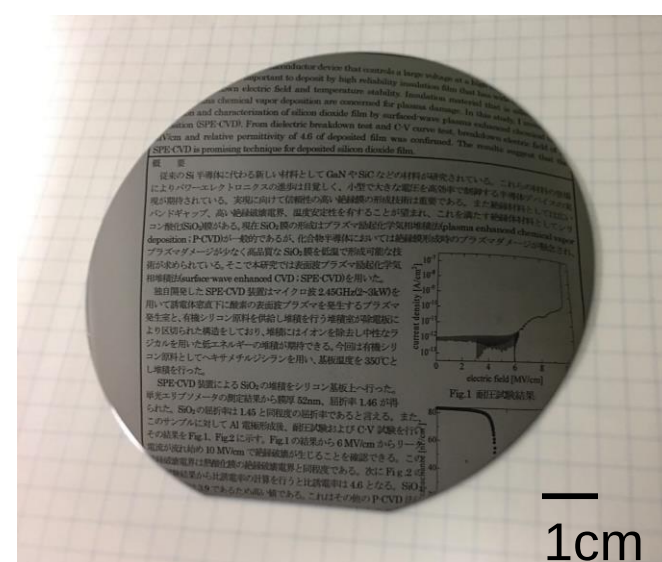
検討のポイント

- パワーデバイス応用に適した絶縁体薄膜の低ダメージ堆積技術の開発
- 過酷環境エレクトロニクスに向けた窒化物半導体集積回路の検討

新しい低ダメージな絶縁膜堆積プロセス(SPECVD法)



- 表面波プラズマにより、プラズマ領域と化学気相堆積領域を分離。
- 原料プリカーサやガスの選択により、SiN、SiO₂など種々の薄膜堆積が可能。
- 表面波プラズマ部を開発した企業 (アリエスリサーチ社) との共同研究。

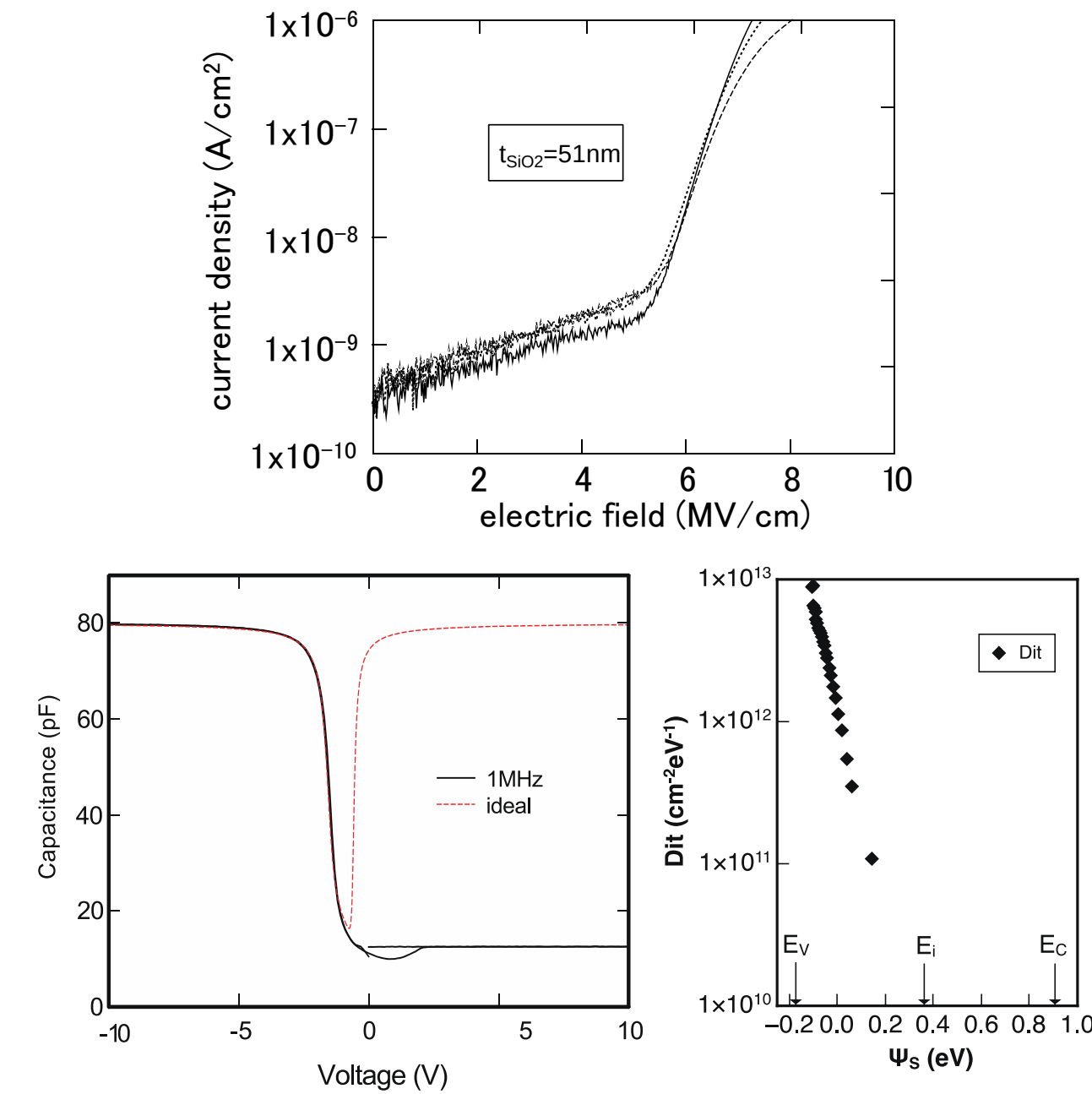
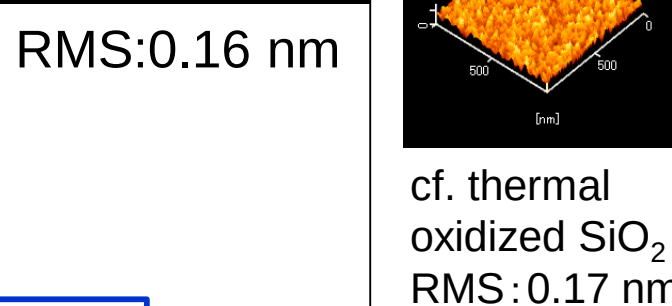
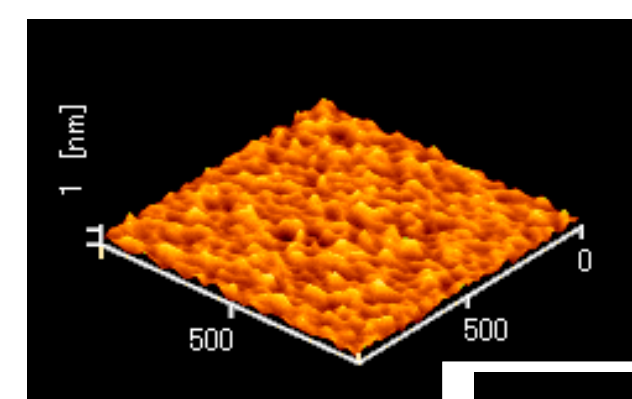


Uniform deposition on 4-inch Si wafer ($55 \pm 2 \text{ nm}$)

エリブソメリー

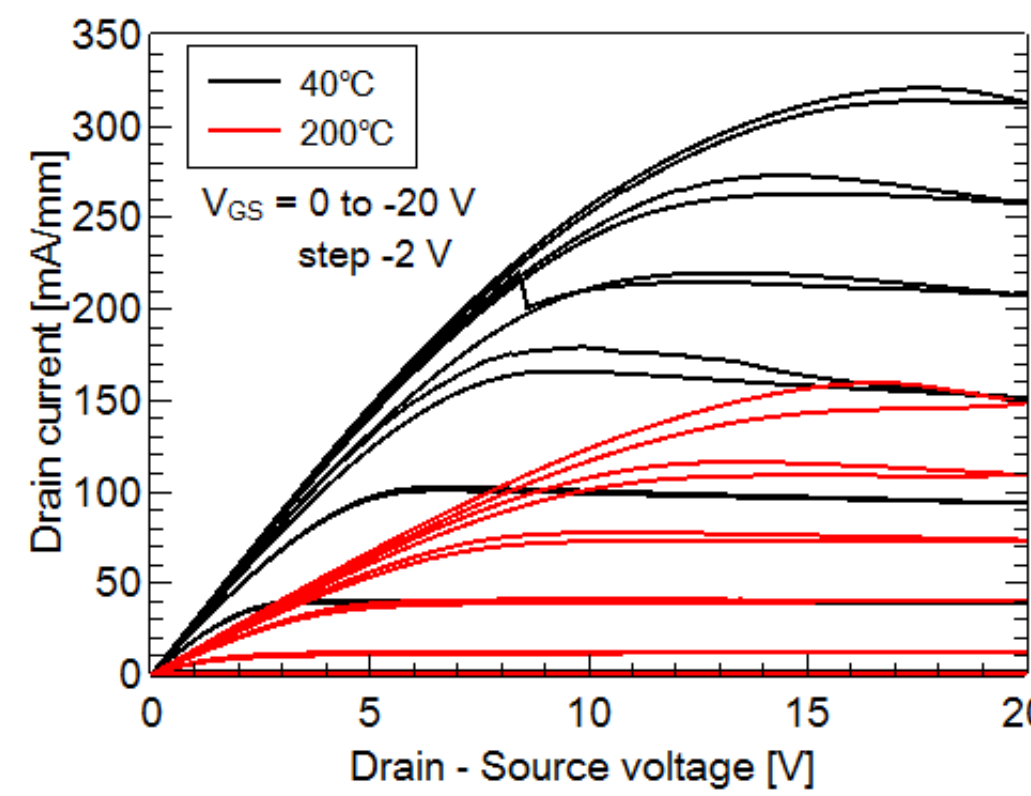
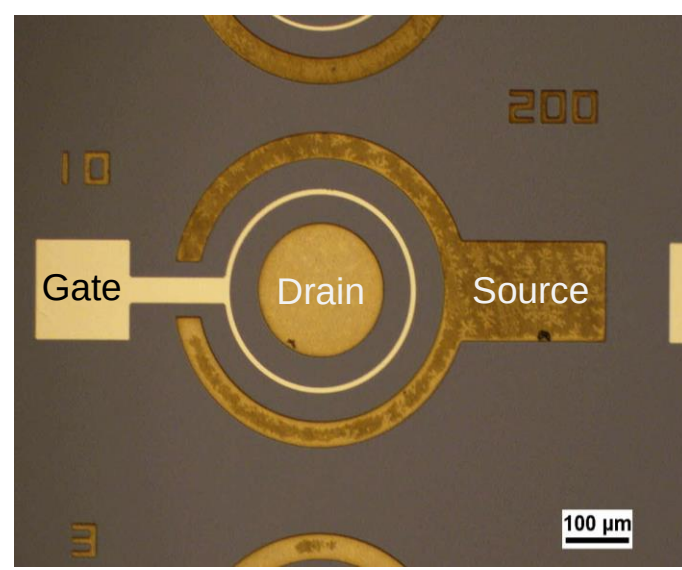
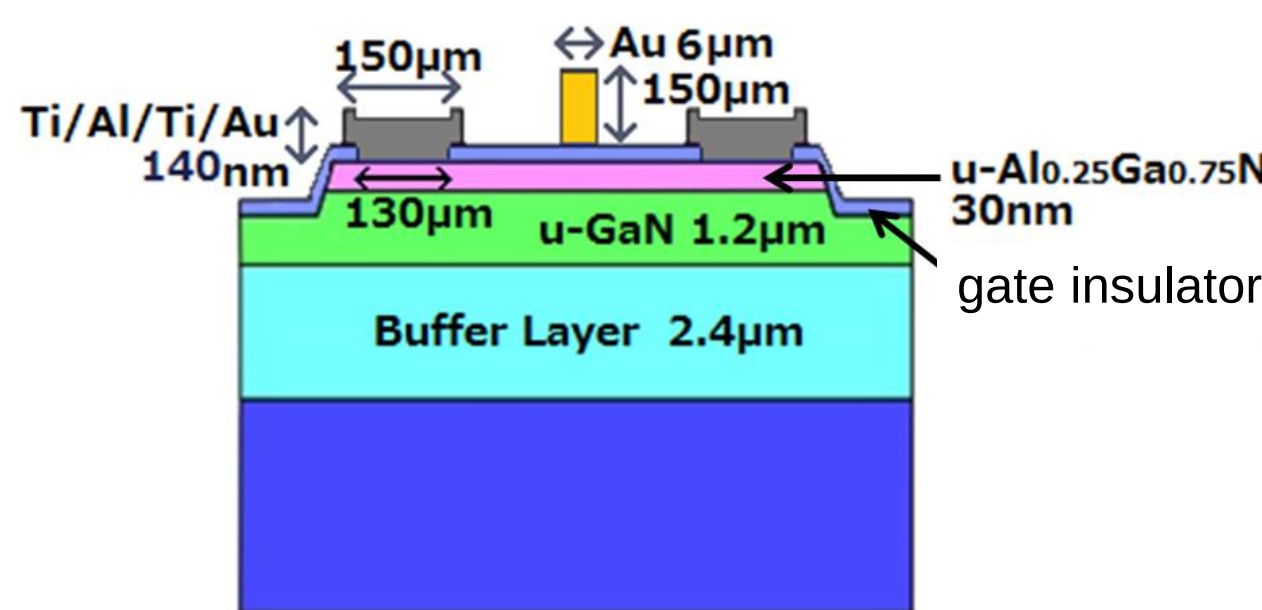
膜厚: 55 nm
(堆積レート 11 nm/min)
屈折率: 1.46
(熱酸化SiO₂に一致)

- 4インチSiウエハの全面で均一なSiO₂の堆積に成功。
- 熱酸化膜並みの平坦性と屈折率1.46を確認。



堆積SiO₂膜でありながら、6 MV/cmの電界下で $1 \times 10^{-8} \text{ A/cm}^2$ の低い電流密度、および良好な界面特性が得られた。

AlGaN/GaNトランジスタの電流－電圧特性の評価

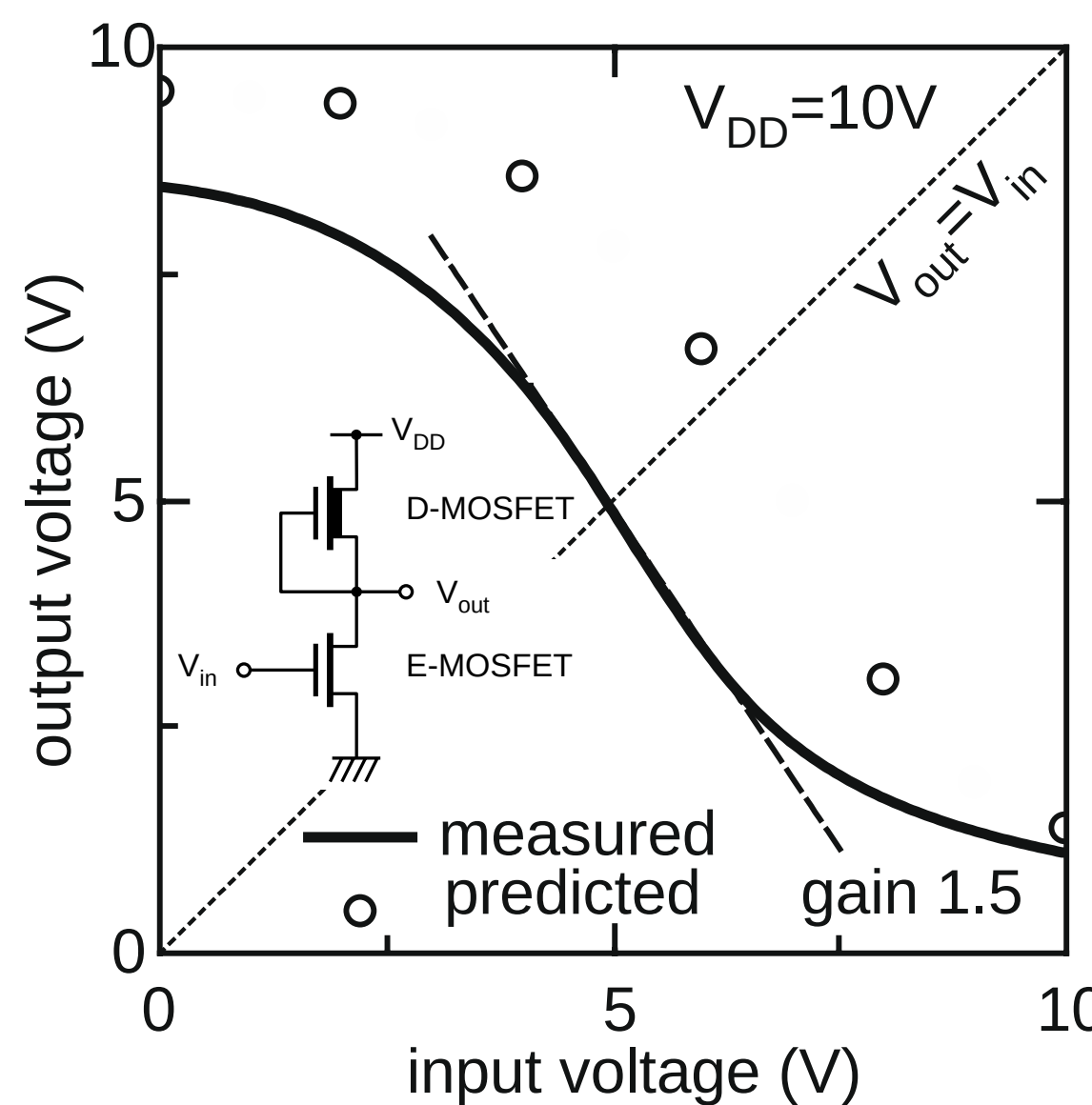
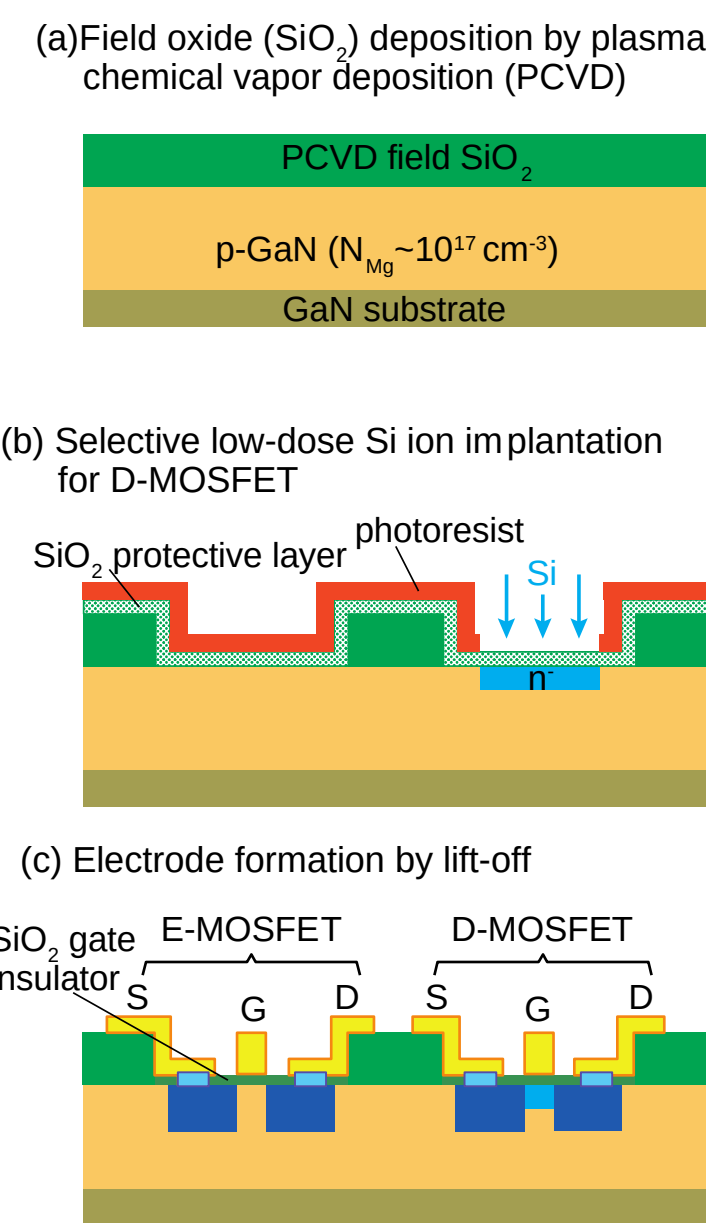
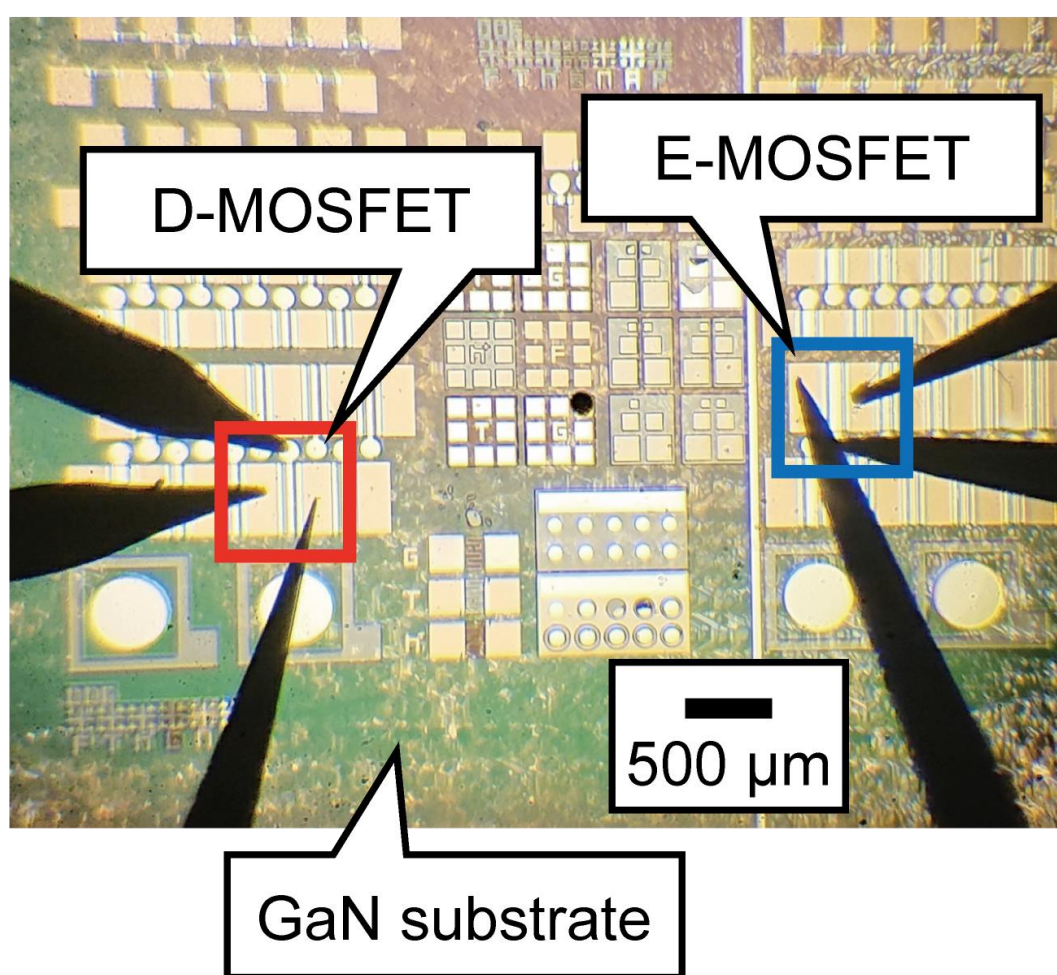


- 絶縁ゲート型AlGaN/GaNトランジスタ構造を試作。
- 良好な電流－電圧特性を観測。
- 200°CにおいてもFET動作および低リーク電流動作が得られ、絶縁ゲートトランジスタ構造の優位性を実証。

まとめと展望

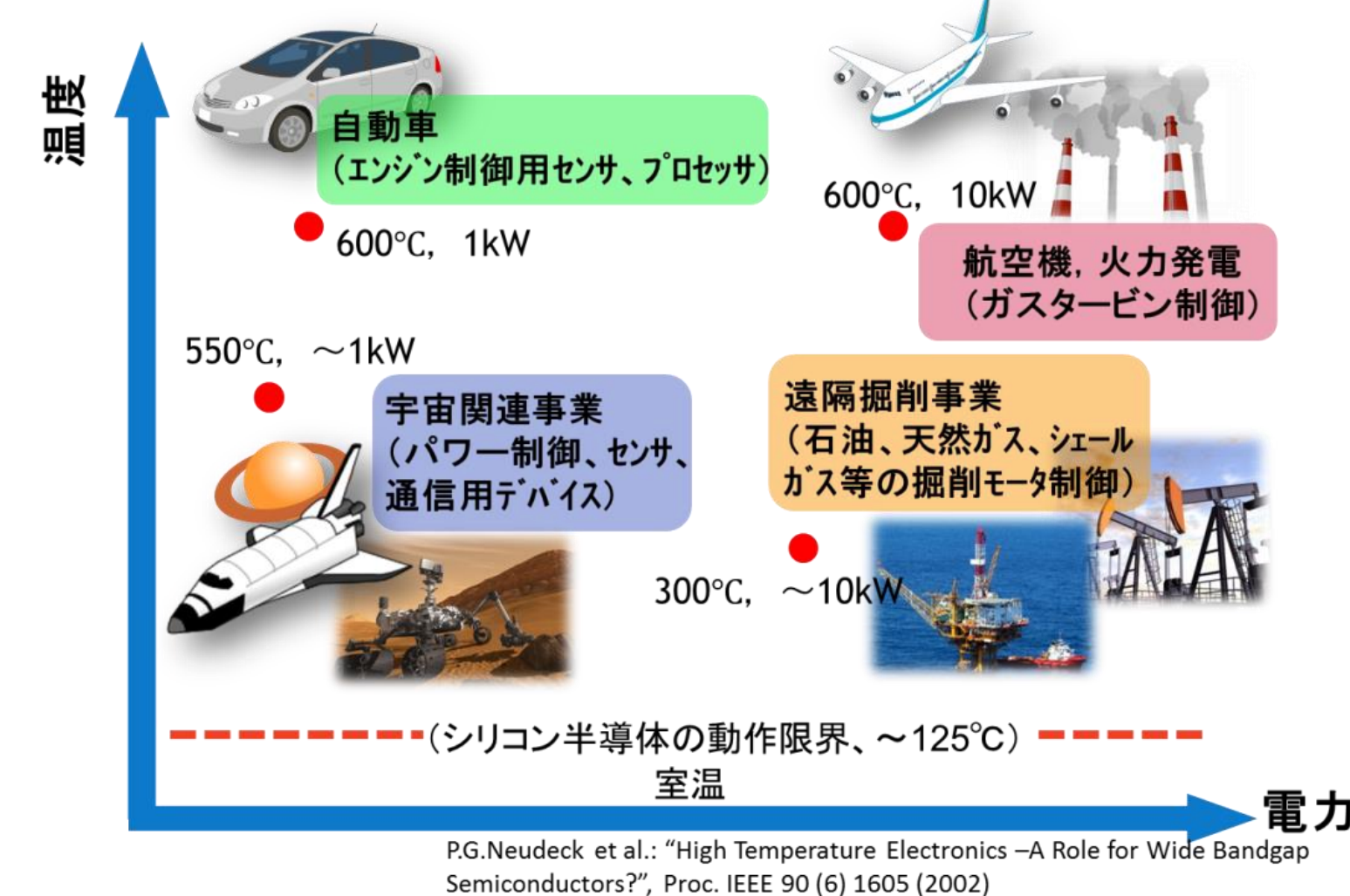
- 低ダメージな絶縁膜堆積方法の検討
 - 低ダメージな絶縁膜堆積が期待される新しいSPECVD法によるシリコン酸化膜(SiO₂)の成膜に成功した。
 - SiO₂/Si MOSダイオード構造において、6 MV/cmの電界で $1 \times 10^{-8} \text{ A/cm}^2$ の低リーク電流特性、ならびに $D_{it} = 10^{10} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ オーダーの良好な界面特性が実証された。
- AlGaN/GaN HEMTのMISゲート型トランジスタの検討
 - ASECVD法によるゲート絶縁膜を有するAlGaN/GaNトランジスタを作製し、トランジスタ動作を確認した。
- GaN集積回路の検討
 - Si集積回路技術を応用したGaN集積回路の試作を検討した。同一のGaN基板上にエンハンスメント型(EMOS)トランジスタおよびデプレッション型(DMOS)トランジスタを作製し、E/D型インバータ回路の動作に世界で初めて成功した。

GaN集積回路の検討



- p-GaN基板へのSiイオン注入によるMOSFETの閾値制御(C-V特性評価および単体MOSFET)
- E-MOSFETとD-MOSFETを組み合わせたE/D型インバータ回路を同一のp-GaN基板上にモノリシック集積し、インバータ回路動作を世界で初めて実証。(H. Okada et al., "GaN-Based Monolithic Inverter Consisting of Enhancement- and Depletion-Mode MOSFETs by Si Ion Implantation", Physica Status Solidi (a) (2019) doi:10.1002/pssa.201900550)

さらなる検討を進め、パワーエレクトロニクスや、過酷環境で動く集積回路など、従来のシリコン技術では実現困難な新しいエレクトロニクス分野の開拓をはかる。



技術を究め、技術を創る

国立大学法人 豊橋技術科学大学