

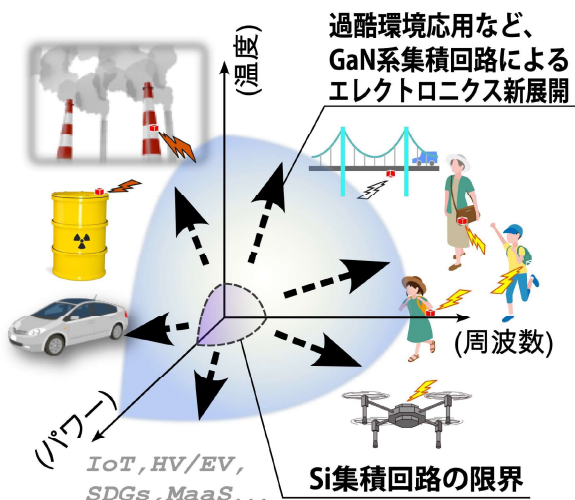


窒化物半導体電子デバイスの プロセス開発とシステム応用

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



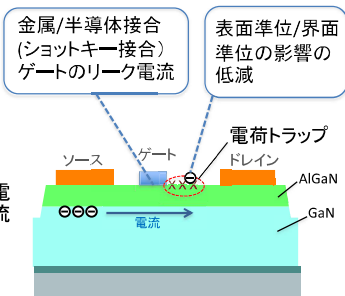
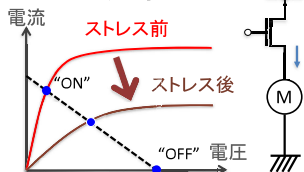
エレクトロニクスは現代の社会の基盤である。半導体デバイスの革新は、パワーエレクトロニクスだけでなく、高周波応用や高温環境など、従来エレクトロニクスの限界を超えるポテンシャルがある。

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**が可能。
- 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

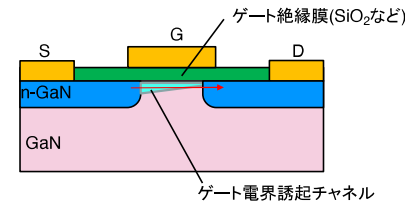


本プロジェクトの狙いとアプローチ

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

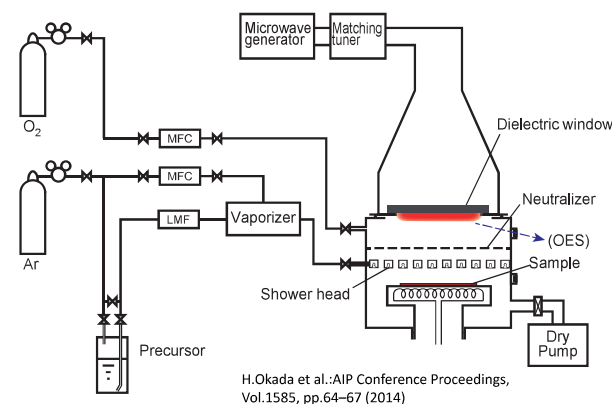
- 高温動作化
- 適切な絶縁体/半導体界面の形成により、界面トラップ低減、**動作安定化**
- Si集積回路技術のノウハウをGaN系集積回路へ展開



検討のポイント

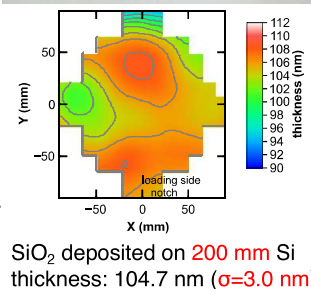
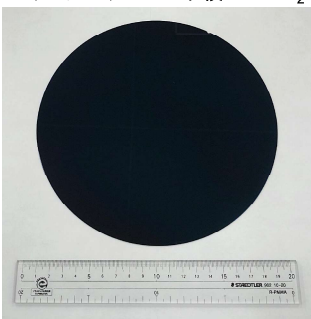
- パワーデバイス応用に適した絶縁体薄膜の低ダメージ堆積技術の開発
- 過酷環境エレクトロニクスに向けた窒化物半導体集積回路の検討

低ダメージな絶縁膜堆積プロセス

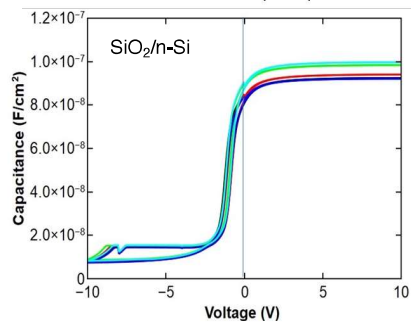
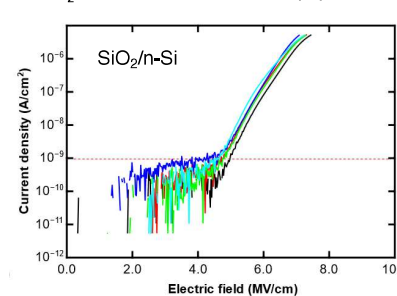


- 表面波プラズマにより、プラズマ領域と化学気相堆積領域を分離。
- 原料プリカーサやガスの選択により、SiN、SiO₂など種々の薄膜堆積が可能。
- 表面波プラズマ部を開発した企業（アリエスリサーチ社）との共同研究。

8インチSiウェハに堆積したSiO₂

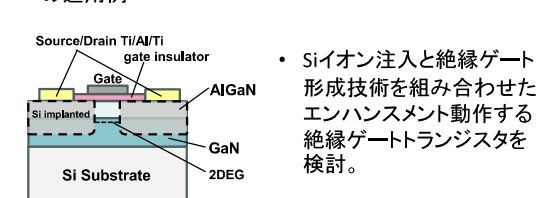


SiO₂/n-Si MOSキャパシタの特性



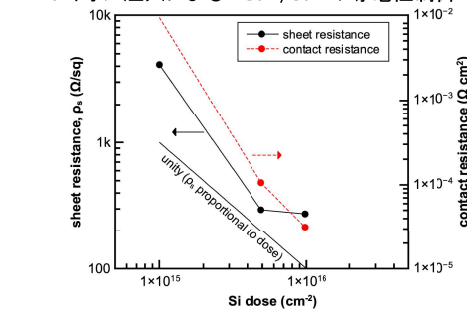
エンハンスメント動作絶縁ゲート型トランジスタ

窒化物半導体 (AlGaIn/GaN) 絶縁ゲートHEMTトランジスタへの適用例

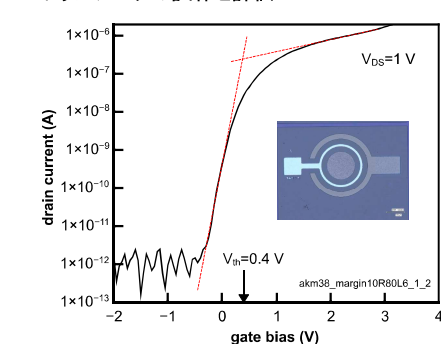


- Siイオン注入と絶縁ゲート形成技術を組み合わせたエンハンスメント動作する絶縁ゲートトランジスタを検討。

Siイオン注入によるAlGaIn/GaNの導電性制御



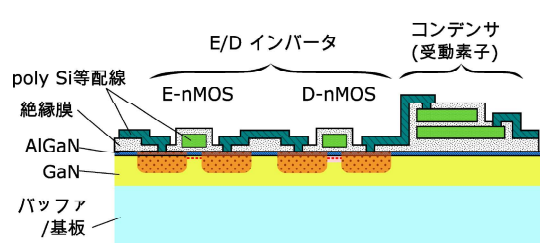
トランジスタの試作と評価



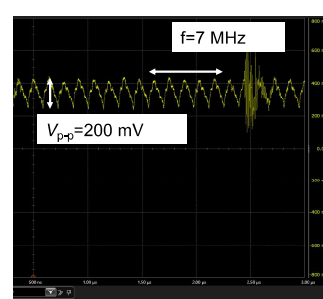
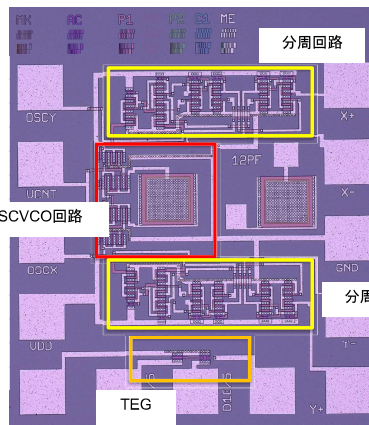
- Siイオン注入と絶縁ゲート形成技術を組み合わせたエンハンスメント動作する絶縁ゲートトランジスタを試作し、閾値電圧が正 ($V_{th} > 0$) のエンハンスメント動作に成功した。

GaN集積回路の検討

超小型超音波モーター駆動に向けたGaN集積回路の検討



- 高速動作が期待されるAlGaIn/GaN界面の2次元電子ガス(2DEG)をチャネルに用いたトランジスタを活用した集積回路の検討。
- GaNの高速性を生かしたGaN nチャネル集積回路の設計を開始。
- ターゲットとして、超小型超音波モータを駆動する電圧制御ソース結合発振回路(Source-Coupled Voltage Controlled Oscillator)をGaN集積回路を前提にnMOS回路で設計し、Siプロセスで原理検証する。



- 4" Siウェハ上に設計した発振回路および分周回路を作製し、発振動作と周波数制御特性が確認できた。
- デバイスパラメータの抽出を行い、窒化物半導体への展開を検討。

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ASECVD法によるSiO₂を成膜し、3MV/cmの電界で $1 \times 10^{-9} \text{ A/cm}^2$ の低リーク電流特性の良好な絶縁膜形成が確認した。

AlGaIn/GaN HEMTのMISゲート型トランジスタの検討

- ASECVD法によるリーク電流が低く、良好な絶縁体/半導体界面特性をもつSiO₂膜形成技術を開発した。本手法によるゲート絶縁膜を有するAlGaIn/GaNトランジスタを作製し、トランジスタ動作を確認した。

エンハンスメント動作絶縁ゲート型トランジスタ

- Siイオン注入と絶縁ゲート形成技術を組み合わせたエンハンスメント動作する絶縁ゲートトランジスタを試作し、閾値電圧が正 ($V_{th} > 0$) のエンハンスメント動作に成功した。

GaN集積回路の検討

- Si集積回路技術を応用したGaNモノリシックE/Dインバータ技術の報告している。電圧制御ソース結合発振回路を設計し、Siウェハ上に試作した回路で基本動作を確認した。この結果をもとに、今後、窒化物半導体への展開を進める。