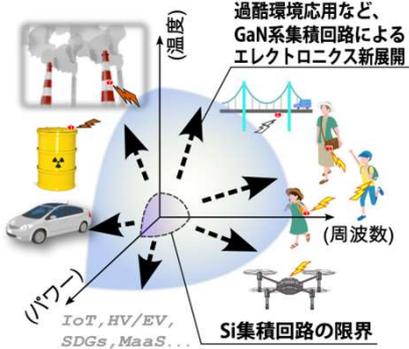


プロジェクトメンバー：総合教育院（電気・電子情報工学系兼務）岡田 浩

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



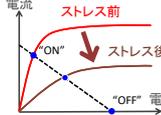
エレクトロニクスは現代の社会の基盤である。半導体デバイスの革新は、パワーエレクトロニクスだけでなく、高周波応用や高温環境など、従来エレクトロニクスの限界を超えるポテンシャルがある。

窒化物半導体トランジスタの特徴

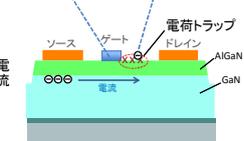
- 高い絶縁耐力 ($E_{Si} \sim 0.3\text{MV/cm}$, $E_{\text{GaN}} \sim 2\text{MV/cm}$) により低いオン抵抗による高効率、小型・冷却機構不要なパワー変換デバイスが可能。
- バンドギャップが広く ($E_g^{\text{GaN}} = 3.4\text{ eV}$, $E_g^{\text{Si}} = 1.1\text{ eV}$)、高温、放射線環境などでも動作する耐環境性デバイスの可能性。

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



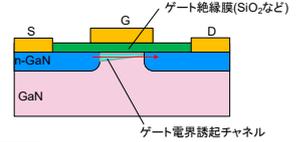
金属/半導体接合 (ショットキー接合) ゲートのリーク電流



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。

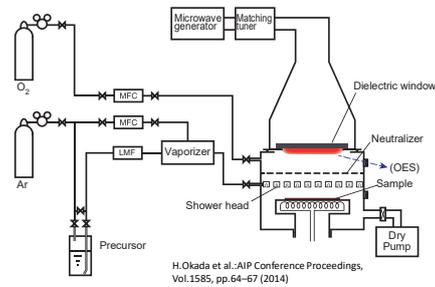
- ゲート絶縁膜を有するMISゲート構造で期待されるメリット
 - 高温動作化
 - 適切な絶縁体/半導体界面の形成により、界面トラップ低減、動作安定化
 - Si集積回路技術のノウハウをGaN系集積回路へ展開



検討のポイント

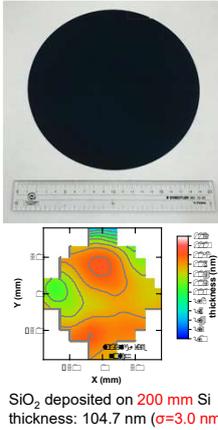
- パワーデバイス応用に適した絶縁膜薄膜の低ダメージ堆積技術の開発
- 過酷環境エレクトロニクスに向けた窒化物半導体集積回路の検討

新しい低ダメージな絶縁膜堆積プロセス

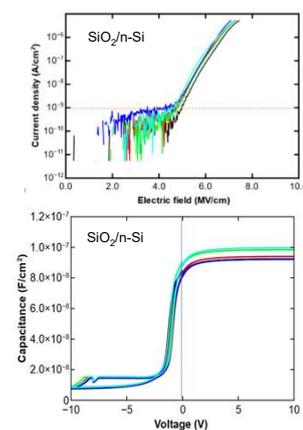


- 表面波プラズマにより、プラズマ領域と化学相堆積領域を分離。
- 原料アプリケーションやガスの選択により、SiN、SiO₂など種々の薄膜堆積が可能。
- 表面波プラズマ部を開発した企業(アリエースリサーチ社)との共同研究。

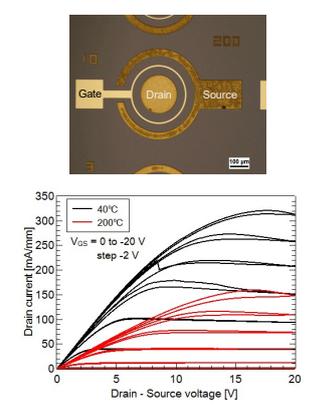
8インチSiウエハに堆積したSiO₂



SiO₂/n-Si MOSキャパシタの特性

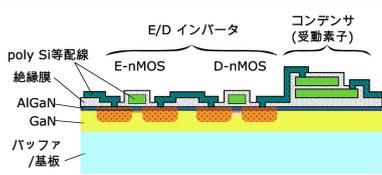


窒化物半導体 (AlGaIn/GaN) 絶縁ゲートHEMTトランジスタへの適用例

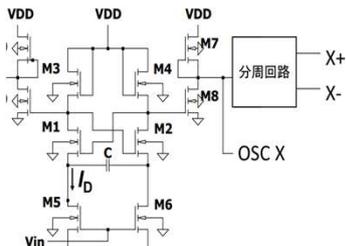


GaN集積回路の検討

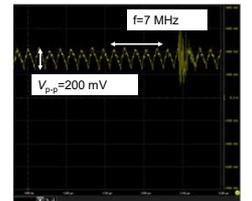
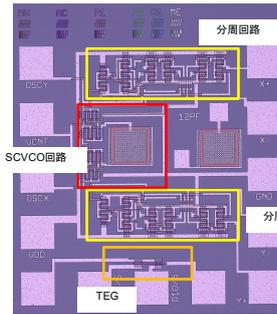
超小型超音波モーター駆動に向けたGaN集積回路の検討



- 高速動作や、高い電子輸送特性が期待される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ー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を行った。

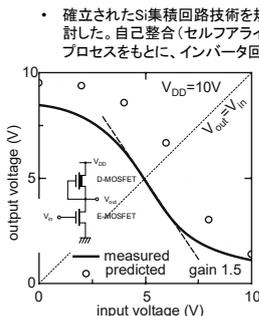
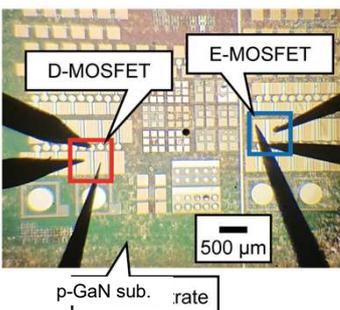


- nMOSのみを用いて設計した発振回路とモーター駆動のための分周回路。



- 4" Siウエハ上に設計した発振回路および分周回路を作製した。発振回路において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、さらに精度の高い設計や窒化物半導体への展開につながる結果が得られた。

p-GaNを用いたnチャネルMOSFETインバータ



- 確立されたSi集積回路技術を規範として、GaNの集積回路作製の実験を検討した。自己整合(セルフアライメント)技術や、イオン注入を組み合わせたプロセスをもとに、インバータ回路動作を検証を試みた。
- 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/psa.201900550)

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、3MV/cmの電界で1x10⁻⁹A/cm²の低リーク電流特性の良好な絶縁膜形成が確認された。
- 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。
- GaN集積回路の検討
 - Si集積回路技術を用いた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を確認した。
 - 超小型超音波モーターを駆動する電圧制御ソース結合発振回路を設計し、Siウエ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。