

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)	氏名	溝 口 健
学位授与の要件	学位規則第4条第①・2項該当		
論 文 題 目			
Compact Modeling of Gallium-Nitride-based High Electron Mobility Transistor for High-Power Circuit Applications (高電力用途における窒化ガリウム高電子移動度トランジスタのコンパクトモデル)			
論文審査担当者			
主 査	教 授	MATTAUSCH, HANS JURGEN	
審査委員	教 授	横 山 新	
審査委員	教 授	角 屋 豊	
〔論文審査の要旨〕			
<p>持続可能な社会の実現には、エネルギー効率の高い高耐圧トランジスタを用いた高性能回路設計が不可欠となる。高温、高耐圧応用に適した GaN は高い移動度を持つ理由でシリコンに代わる半導体材料として高性能化に向けた研究が加速している。著者は様々なトランジスタ構造のうちで、特に高周波動作性を実現している GaN-HEMT(High Electron Mobility Transistor)構造に焦点を当てて研究を進めた。GaN-HEMT は、従来の単結晶基板と異なり、hetero junction で構成されているため、平衡状態で junction 部に 2 次元電子ガス構造が形成される。更に結晶中に多くの欠陥が存在するため、電流が刻々と劣化するコラプス現象が観測されている。gate 電極端に生じる高電界が高耐圧実現を妨げる要因になっていることも知られている。一般に、これを回避するために gate 電極周辺に field plate と呼ばれる電極を埋め込み、電界集中を緩和し、所望のトランジスタ特性を実現している。GaN-HEMT を製品として応用するためには、すべての電気的特性を正確に、かつ簡潔に記述するコンパクトモデルが必要である。著者は各社各様の構造で製造される field plate に対して適用できるコンパクトモデルを開発した。トランジスタ設計にも適用可能な物理モデルをターゲットとした。</p> <p>序文でパワーエレクトロニクスにおける GaN-HEMT の位置づけを述べた後に、第 2 章でコンパクトモデルについて概要をまとめている。第 3 章で、コンパクトモデル HiSIM-GaN を用いて得られた電気的特性を実測値と比較し、本研究で用いたコンパクトモデルの性能評価、および電流コラプスの原因になっているキャリア捕獲の影響をまとめている。</p> <p>第 4 章で、ターゲットとした field plate モデルの開発について述べている。2 つの観点から開発を実施している。1 つは実測値に合うように数式で記述したやり方で、もう 1 つが 2 次元デバイス数値シミュレーションを用いて、トランジスタ内部で起こる電界分布を解釈し、これを原理に基づいて数式化するやり方となっている。原理に基づいた物理モデルは field plate の構造のみのパラメータで容量を計算することができ、トランジスタ設計にも用</p>			

いることができることを確認している。

第5章で、開発した **field plate** モデルを組み込んだ **HiSIM-GaN** を用いて回路の性能評価を行っている。回路として、電圧変換に用いられる典型的な **boost converter** を用いている。ここでは回路性能に大きな影響を与えるキャリア捕獲についても言及している。キャリア捕獲量が多いと回路のスイッチングが遅れることを明らかにし、またスイッチング動作時のキャリア捕獲量は、直流測定から抽出される値より小さいことを確認している。これは、スイッチング動作時は捕獲時定数を考慮する必要があることを示唆している。また、トランジスタの比較的電流密度の低い動作領域では、**field plate** は回路損失を下げる効果があるため、その構造最適化が低損失回路実現にとって重要であることを述べている。

最終章の第6章で以上の結果をまとめ、将来の研究としてキャリア捕獲時定数のモデルへの導入の重要性を説いている。

上記のように、申請者は **GaN-HEMT** に適用できる新しい物理原理に基づくコンパクトモデルを開発し、その有用性を示した。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位に値すると判断する。