

## 論文審査の結果の要旨

報告番号	甲 先 第 330 号	氏 名	蒲 涛飞
審査委員	主査 直井 美貴 副査 永瀬 雅夫 副査 原口 雅宣 副査 敖 金平		
学位論文題目			
Study on Normally-off AlGaIn/GaN Heterostructure Field-Effect Transistors with P-GaN Cap Layer (P-GaN キャップ層を有するノーマリオフ型 AlGaIn/GaN ヘテロ構造電界効果トランジスタに関する研究)			
審査結果の要旨			
<p>GaNは3.4 eVというエネルギーバンドギャップを持ち、Si系材料 (1.12 eV) に対して、低消費電力回路への応用には十分な利点を有する。AlGaIn/GaNヘテロ構造における二次元電子ガス (2DEG) の優れた特性により、GaN系ヘテロ構造電界効果トランジスタ (HFET) は最も魅力的な研究領域の1つになった。しかし、従来のAlGaIn/GaN HFETにおいて、ノーマリオン動作は欠点である。安全性を満たすために、ノーマリオフHFETが提案されており、大変興味深い研究になっている。</p> <p>P-GaNゲートはノーマリオフ動作を達成するための有望な候補方法である。しかし、GaNの高温成長工程にMg外部拡散は起こり、AlGaIn/GaN HFETのチャンネルは劣化する懸念がある。Mgの外部拡散を阻止し、2DEGの劣化を軽減するために、本研究は拡散ブロッキングi-GaN層を提案した。実験結果によると、20 nmのi-GaN層が適切であり、2DEG特性は他の厚さよりもノーマリオンHFETに近い。ただし、比較的低い閾値電圧は該構造の課題になる。</p> <p>閾値電圧をさらに上げるために、絶縁膜ゲートを有するノーマリオフ型AlGaIn/GaN HFETを提案した。p-GaNキャップとゲート電極の間にSiNx (厚さが0から30 nmまで変化する) 層を挿入することによって、閾値電圧は1から8 Vへと明らかにシフトした。また、約8.3 MV/cm破壊電界を持つSiNxの導入は、ゲートリーク電流を抑制し、最大ゲート電圧振幅を改善し、有益な構造であろう。出力電流-電圧特性には、より厚いSiNxを有するデバイスが同じ電流密度に達するためにはより高いゲート電圧を必要とすることが判った。これは印加されたゲート電圧の一部がSiNxに降下し、一部が半導体に降下したと考えられる。電界効果チャンネル移動度の測定により、SiNx絶縁体が2DEGの移動度には顕著な影響がないことは実証した。</p> <p>ノーマリオフMISHFETを最適化するために、自己整合ゲート (SAG) を有するノーマリオフMISFETも提案した。SAG構造と従来のゲート (CG) 構造を製作し、SAGゲートの実現可能性を確認した。低温オーミック技術により、1.45 <math>\Omega \cdot \text{mm}</math>の良好なオーミック接触抵抗が得られた。SiO<sub>2</sub>絶縁層を採用することにより、SAGデバイスにおいては2 Vに近いV<sub>th</sub>を得た。しかし、CGデバイスにおいて、チャンネルに非ゲート印加電圧領域が存在しており、より高いチャンネル抵抗が現れたことも判明した。p-GaNキャップ層を有するノーマリオフMISFETにおいて良好な性能を達成するためにSAG構造が必要になることも分かった。これを踏まえ、低温オーミックプロセスに基づき、SiNx絶縁層とゲートファーストプロセスを有するSAG構造のノーマリオフMISHFETを設計し、試作した。SiNx絶縁層の膜厚は50 nmにしたところ、ゲート振幅と出力電流密度はそれぞれ16 Vと47 mA/mmに向上している。また、閾値電圧2.0 V、電界効果移動度1500 cm<sup>2</sup>/Vsかつ良好なピンチオフ特性が得られた。ゲートリーク電流も著しく抑制された。低温オーミックプロセスはゲートファーストプロセスにおける高温アニリング中のゲート劣化を軽減するための解決道を示す。最後に、界面の状態を分析し、MISHFET構造を最適化するために必要な課題もあることを示した。</p> <p>本研究は、P-GaNキャップ層を有するノーマリオフ型AlGaIn/GaNヘテロ構造電界効果トランジスタに関する半導体デバイスの設計、試作及び評価であり、優れた成果が得られた。本論文は博士 (工学) の学位授与に値するものと判定する。</p>			