

審査の結果の要旨

氏名 蔣京珉

本論文は、「Negative-Capacitance FETs based on Ferroelectric Hafnium Oxide for Low-Power VLSIs」(低消費電力 VLSI のための強誘電性ハフニウム酸化膜を用いた負性容量 FET に関する研究)と題し、英文で書かれている。本論文は、電界効果トランジスタ(FET)におけるサブスレッシュヨルド特性を急峻にする可能性を有する負性容量の物理的起源を理解するため、ハフニウム酸化膜をベースとした負性容量 FET の特性について論じたものであって、全6章より構成される。

第1章は「Introduction」(はじめに)であり、大規模集積回路における電力増大の抑制の観点から急峻サブスレッシュヨルド FET の重要性について述べるとともに、その有力な候補のひとつが負性容量 FET (NC-FET)であることを指摘しており、本論文の背景と目的を明確にしている。

第2章は、「Simulation Study on Static Characteristics of FE:HfO₂-based Negative-Capacitance FETs」(強誘電性 HfO₂ ベース負性容量 FET の静特性のシミュレーション)と題し、負性容量モデルを用いて微細な NC-FET の静特性解析を行い、HfO₂ ベースのナノワイヤ NC-FET の設計ガイドラインを示すとともに、FET がサブ 10nm 領域に適用可能であることを明らかにしている。

第3章は、「Simulation Study on Dynamic Characteristics of FE:HfO₂-based Negative-Capacitance FETs」(強誘電性 HfO₂ ベース負性容量 FET の動特性のシミュレーション)と題し、強誘電性 HfO₂ 容量の過渡特性の実験値から取得した Landau-Khalatnikov 方程式のパラメータを用い、HfO₂ ベース NC-FET の動作速度は分極反転で制限されるものの MHz 領域で動作可能であることを明らかにしている。

第4章は、「Multi-Domain Model for Negative-Capacitance Phenomena in FE:HfZrO₂ Capacitors」(強誘電性 HfZrO₂ 容量における負性容量現象のマルチドメインモデル)と題し、強誘電性 HfZrO₂ 容量の動特性をより詳細に解析するために、マルチドメイン Landau-Khalatnikov を提案している。

第5章は、「Experimental Exploration of Steep Subthreshold Slope in FE:HfZrO₂-based Negative-Capacitance FETs」(強誘電性 HfZrO₂ ベース負性容量 FET における急峻サブスレッシュヨルドスロープの実験)と題し、3種類の強誘電性 HfZrO₂ ベース FET を試作し評価を行っている。ゲート絶縁膜にリークが存在する FET において、分極反転および電荷注入により 60mV/dec を下回る急峻サブスレッシュヨルドスロープを観測することに成功している。

第6章は、「Conclusions」(結論)であり、本論文の結論を述べている。

以上のように本論文は、急峻サブスレッシュヨルド特性の実現を目的として強誘電性ハフニウムベース負性容量 FET の特性について実験とシミュレーションの両面から解析を行い、静特性および動特性のモデル化によりそのスケーラビリティと動作速度限界を明らかにするとともに、実測評価をもとに負性容量の起源と急峻サブスレッシュヨルド特性の実現可能性について論じたものであって、電子工学上寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。