

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)	氏名	山 本 貴 生
学位授与の要件	学位規則第4条第①・2項該当		
論 文 題 目			
Analysis and Modeling of Injection Enhanced Insulated Gate Bipolar Transistor for Power Electronic Circuit Simulation (パワーエレクトロニクス回路シミュレーション用注入加速型 IGBT の解析とモデル化)			
論文審査担当者			
主 査	教 授	三 浦 道 子	印
審査委員	教 授	マウシュ ハンス ユルゲン	印
審査委員	教 授	横 山 新	印
〔論文審査の要旨〕			
<p>自動車産業の分野では環境汚染への対応や化石燃料の枯渇、燃料費の高騰等の問題から低燃費の自動車が強く求められている。そこで重要な課題の一つとして、自動車のハイブリッド化や電動化が急速に進んでおり、電力変換効率の良いパワーエレクトロニクス技術を適用した電化部品の開発が急速に進展している。その中でも、エンジンの補助となるような大電流が必要な製品には、パワーデバイスとしては 1000V 以上の耐圧を有する Insulated-Gate Bipolar Transistor (IGBT)が主に用いられている。パワーエレクトロニクス製品の性能は IGBT の性能と大きく関わっており、製品性能向上のためにはより高速で損失の少ない IGBT が必要となっている。その様な状況下で、IGBT 構造の改良による特性改善について多くの研究がされてきた。その一つに対称なデバイスの半分に電極を作成せず、フローティングにしたいいわゆる間引き構造を持つ Injection-Enhanced Insulated-Gate Bipolar Transistor (IEGT)構造があげられる。IEGT はデバイス内部に多くホール注入が起こる構造となっているために、バイポーラ部の伝導度変調を生じ、低 on 抵抗を実現している。また、注入されたホール蓄積の影響で、電圧をかけることによって形成される空乏層の伸びが緩やかになるため、従来型の IGBT と比べてスイッチング時の電圧変動が緩やかになり電圧サージが抑えられる特徴がある。この特性は、特にサージによる破壊やノイズを強く懸念する自動車部品では大きなメリットとなっている。一方で、緩やかなスイッチングは損失の増大につながり、低損失とは背反の関係となっている。そのため製品設計時には高精度な IGBT モデルを用いた回路シミュレーションを通して損失とサージを最適化する必要がある。</p> <p>既存の回路用 IGBT モデルの多くは物理原理に基づいていないため、駆動条件が刻々と変化するような実際の回路設計には適していないという課題があることを第1章で提起している。一方 HiSIM-IGBT は物理原理に基づいて記述されているが間引き構造を持つ IEGT 構造には対応していない。そこで、本研究では HiSIM-IGBT を IEGT 構造へも適用できるようにモデルの拡張を行っている。</p>			

第2章では2次元デバイスシミュレーションを用いて、現 HiSIM-IGBT モデルで考慮されていない間引き構造部分のデバイス内部で生じる現象を解析した。注目すべき点として、IEGT 構造ではある条件下でゲート容量が負になる負性容量特性が報告されている。この特性は間引き部へホールが流入する事によって引き起こるポテンシャル上昇とそれに伴うゲート酸化膜周辺へのホールの蓄積であることが明らかになった。この現象をモデルするために、ポテンシャルを決定する因子や、ホールの動きを解析している。

第3章ではモデル化を試みている。IEGT 構造のモデル化としては、間引き部のポテンシャルを記述する端子の追加と間引き部とゲート間容量モデルを追加している。この新たに追加したノードと既存モデルの内部ノードと接続することでチャージ、ディスチャージ電流の経路を確保した。モデル化に際しては、間引き部の構造が変化した場合に汎用性を持てるように濃度や幅、酸化膜厚等は可変パラメータとして導入している。

第4章ではスイッチング特性を評価している。静的な動作の場合には、デバイス内部のキャリアの移動には十分な時間があるが、動的な動作にはキャリアの移動時間を考慮する必要がある。実際に2次元シミュレーションの解析結果では、IEGT のゲート容量特性には周波数依存が有り、高周波で解析した場合には負性容量が小さくなる事が分かった。そこで、間引き部モデルにもキャリアの移動時間を考慮できる Non-Quasi-Static (NQS)モデルを導入し、正確なスイッチング特性のモデル化を実現している。

第5章で今後の課題をまとめている。

以上の審査の結果、本論文の著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと判断する。