

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 村上 善則

本論文は「電力用トランジスタ GTBT の開発」と題し、電力変換器等に用いられる半導体スイッチングデバイスについて研究したもので、6章より構成されている。

第1章は序論であり研究の背景と目的を述べている。はじめに GTBT (Grounded-Trench-MOS assisted Bipolar-mode Transistor) は本論文提出者が発明したデバイスであることを述べ、現在用いられている各種電力用デバイスの特性と比較して、本デバイスの目的とする性能について明らかにし、あわせて本論文の構成について述べている。

第2章は「GTBT の構造」と題し、そのトランジスタ・セル構造、表面電極構造について述べている。GTBT はチップ表面のソースから裏面のドレインに流れる電流をゲートからの注入電荷による電位変調によって制御する縦型パワーデバイスであり、ソース電極に隣接するトレンチに埋め込まれたポリシリコンとの仕事関数差に由来する電位バイアスによりノーマリオフ機能をもつデバイスとなっている。主電流パス中に pn 接合を持たない特徴がある。典型的 GTBT の構造諸元を述べ、デバイスの断面構造、表面構造、電極構造を明らかにし、デバイスの実装状況との関係についても言及している。

第3章は「動作原理」と題し、n チャンネル GTBT の動作を、遮断状態、ターンオン動作、導通状態、ターンオフ動作の各モードに分けて説明している。遮断状態ではトレンチ構造に由来するポテンシャルの上昇により発生する空乏層により電流が遮断され、ターンオン動作ではゲート電極から注入された正孔がトレンチからの電界を遮蔽することでポテンシャル障壁が低下することを述べている。またソースドレイン間の電流を担う電子と正孔との局在位置関係から対消滅確率がきわめて低く、低電流領域で GTBT が高い電流利得を持つことを説明している。それに対し高注入水準の導通状態ではチャンネルの電位障壁が平坦化しバイポーラトランジスタの動作に近づき、ターンオフ動作ではドリフト領域の少数キャリアの排出後、FET に近い高速の電流遮断特性を持つ機構を説明している。

第4章は「諸特性の設計」と題し、GTBT の遮断特性、ゲート-ソース間耐圧、電流利得、および電極設計に関する設計指針を述べている。遮断特性については、チャンネル厚みとチャンネル長に依存するポテンシャル分布の計算結果に基づき所望の特性を得るための指針を示している。ゲート-ソース間耐圧については構造パラメータに基づくポテンシャル分布からアバランシェ降伏条件を求める式を示している。電流利得については1次元キャリア分布モデルを用いて解析的に求めており、2次元数値シミュレータでその結果を検証している。電極設計では面積効率の観点から2層電極構造の必要性を述べ、さらにエレクトロマイグレーション、電極抵抗および電極内信号遅延について定量化している。

第5章は「測定結果と考察」と題し、試作した GTBT チップの測定結果について考察している。ゲート短絡耐圧とその温度特性の測定結果より、ゲート短絡時の降伏現象はアバランシェ降伏ではなく発生した正孔がチャンネル障壁を低下させる正帰還現象によると結論づけている。またゲート開放耐圧についてはバイポーラトランジスタと同様であり GTBT 特有の高い電流利得のため低くなることを説明している。ゲート-ソース間耐圧についてはそのバラツキの原因について述べ、主として工程の改善で対処できると結論づけている。導通特性については電圧電流特性を飽和領域、中性領域、活性領域の3つに区分されることを GTBT のキャリア分布と対比しながら明らかにしている。電流利得についてはバイポーラトランジスタの特性と比較しつつ、当初の予想通り高い値が得られたことを述べている。スイッチン

グ速度については、時間領域数値シミュレーション結果を参照しつつ、原理上 GTBT 動作が狭いチャンネル内での電荷状態変化に支配されているため高速動作をすることを実証している。

第6章は「まとめ」であり本論文の研究成果をまとめ、あわせて本デバイスの実用性、将来に向けての改良点について述べている。

以上、本論文はトレンチ効果で発生するチャンネル内の電位障壁をゲート電極から注入される少数キャリアで制御する新しい電力用デバイス (GTBT) を提案し、その構造設計と電気特性設計の指針を示し、あわせて試作したデバイスによってその有効性を実証したもので電子工学の発展に寄与する点が少なくない。

よって本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格したものと認められる。