

審査の結果の要旨

論文提出者 北川 光彦

大電力の操作を使命とする電力用半導体スイッチング素子は、高電圧・大電流を安全に遮断できるとともに、導通時には十分な低抵抗状態を保持して電力損失を最小化することが求められる。電流駆動型の GTO サイリスタは大電力用途に適しているが、オフするのに大電流駆動が必要であり制御が困難である。一方 MOS ゲートで制御できる絶縁ゲートバイポーラトランジスタ (IGBT) は、オン・オフ制御が容易で広範に応用されているがサイリスタのような大電力は扱えない。本論文は、「注入促進型エミッタ構造を有する MOS ゲート電力素子の研究」と題し、安定動作可能な非ラッチアップ状態を保持しつつ、ラッチアップ状態にあるサイリスタと同等の低いオン抵抗が実現出来る新たな素子構造を提案、これを実用化するまでの研究を纏めたもので、全文 6 章よりなる。

第 1 章は序論であり、本研究の電力素子が必要とされる技術背景、技術課題を纏めるとともに、本論文の構成について述べている。

第 2 章では、筆者が発明した注入促進型絶縁ゲートバイポーラトランジスタ (Injection-Enhanced Insulated Gate Bipolar Transistor: IEGT) の動作原理を詳しく述べている。これはゲート電極の幾何学的形状によって電子注入を促進する新たなエミッタ構造を提案したもので、1 次元解析モデルと 2 次元数値計算を用いて、ラッチアップ状態を生じることなく GTO サイリスタと同等のキャリア分布をベース層内に実現し導通時の低効化が可能であることを示している。これは重要な知見である。

第 3 章は「高耐圧 IEGT の設計論」と題し、IEGT を実用素子として実現するための設計論を展開し、素子の形状やトレンチ型ゲート電極構造の幾何学的寸法を最適化することによって従来の IGBT の特性を大きく上回る性能の得られることを示している。さらに、外部回路も含めた 2 次元シミュレーションにより、GTO サイリスタと同様の回路条件で使用可能であることを明らかにしている。

第 4 章は「高耐圧 IEGT の試作と評価」と題し、素子を実際に試作し、評価した結果を纏めている。pn 接合の深さ $3\mu\text{m}$ 、トレンチ深さ $8\mu\text{m}$ の実用素子を試作し、 4.5kV の順方向阻止耐圧が得られることを実証するとともに、実際の応用回路で、GTO サイリスタ、あるいは IGBT の置き換えとしても十分安全に動作させられることを示している。これは実用上重要な知見である。

第 5 章では、IEGT の実用素子への応用の現状と将来への展望について述べている。トレンチを用いないプレーナ構造の IEGT から先ず実用化され、その後トレンチゲートの導入、その微細化によって更なる高性能化が進んでいる現状を述べている。また 4.5kV 級の大電力デバイスに於いても、電流センス回路を付加することにより MOS ゲートの特徴であるインテリジェントな電力制御が実現出来ることを述べている。さらに、IEGT の概念が他の電力デバイスにも導入されていることを紹介し、将来への発展の方向を議論している。

第 6 章は結論である。

以上要するに本論文は、現在広く用いられている IGBT のゲート電極に新たな幾何学的構造を導入することにより、IGBT の特徴である非ラッチアップ状態を保ちながら、ラッチアップ動作が必須の大電力素子 GTO サイリスタと同等の低損失性能を実現できる新たな MOS ゲート駆動の電力素子を提案し、その設計論を展開するとともに、これを製品として実用化するまでの研究を述べており、半導体集積回路工学ならびに電子工学の発展に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。