

車載用 500V IGBT の開発

Development of 500V IGBT for Automotive Applications

石井 孝明*
Takaaki Ishii

概要 近年、カーエレクトロニクス分野（業界、製品等）の進化は目まぐるしく、エレクトロニクス製品の搭載はますます増加傾向にあり、それを支えるのが車載用半導体素子である。当社では、車載用半導体素子として、自動車や自動二輪車に使用される、点火コイル駆動用としてTO252パッケージに搭載した400V、450VのディスクリットIGBT製品DGUシリーズ（DGU4015G、DGU4020GR、DGU4520GR）を量産中である。エンジンの熱効率向上の市場要求に応えるべく、IGBTの耐圧アップを検討した。今回、高耐圧においても、きわめて安定した耐圧温度特性、低飽和電圧で十分な自己クランプ誘導スイッチングエネルギー耐量の確保を検討した。本稿では車載用500V IGBTの開発について報告する。

1. まえがき

近年の自動車は、安全性・快適性・省エネルギー化の要求に応えるべく、電子化が加速的に進んでいる。エンジン点火装置も、法規制による排出ガスの抑制、低燃費化など性能の向上や環境への配慮が求められている。エンジン点火装置による点火制御装置は、図1の車載アプリケーション例に示したように、最適な燃料噴射や点火時期の調整をおこなうための各種センサ、エンジン制御コンピュータであるECU (Electronic Control Unit)、電気回路部品で構成されている。電気回路部品はECUからの信号でコイルを駆動させるための部品であり、車載バッテリーからの電流を流したり、遮断したりする半導体デバイスとしてIGBTが使用されている。IGBTのコレクタ端子はコイルの1次側を通してバッテリーに接続されており、ECUからゲートに点火信号が送られるとコレクタ・エミッタ間が導通し、1次側コイルに1次電流が流れ、1次側と2次側コイルに磁界が発生する。ECUからの点火信号により1次側のコイルに流れる電流を遮断する際、自己誘導作用によって1次側コイルに逆起電力が発生する。この逆起電力に誘起され、2次側コイルには1次側コイルとの間の相互誘導作用によって1次側と

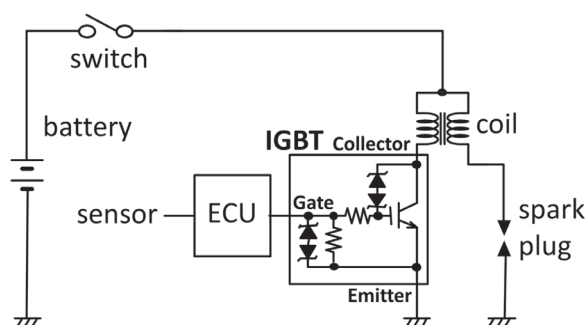


図1 車載アプリケーション例

2次側のコイルの巻き線比に比例した2次電圧が発生しこの電圧を利用してプラグが点火する。この電気回路部品は、点火エネルギーを作り出す大きな役割を果たしており、燃費低減や高効率化、出力向上に重要で必要不可欠な重要部品要素である。

IGBTは、ECUからの入力信号を受けて2次側に高電圧を発生させるものであり、温度環境によらず安定した耐圧特性が必要であり、高電圧で使用されるがゆえにIGBT自体に瞬間的に高電圧の跳ね返りが発生することがあり、それに耐え得る構造であることが要求される。エンジンの熱効率を向上するためには、高い放電電圧を発生する点火コイルを使用して、2次電圧を上げる必要があるため、IGBTの耐圧アップが必要になる。このような市場要求に応えるべく、きわめて安定した耐圧温度特性をそなえた、低飽和電圧で十分な自己クランプ誘導ス

*マーケティング本部 プロセス技術統括部 デバイス開発部
デバイス設計1課

スイッチングエネルギー耐量の確保について検討した。本稿では、車載用500V IGBTの開発について報告する。

2. 車載用500V IGBTの特長

(A) 保護機能内蔵型 IGBT

図2の車載用500V IGBT構成図に示したように、IGBTはゲート-コレクタ間にアクティブクランプ用のツェナーダイオードを搭載しており、サージ電圧発生時にクランプしてメインセルをソフトオンさせてサージ電圧を処理する構造にすることでサージ耐量を得られるようにした。ゲート-エミッタ間には、静電気保護およびゲートサージ電圧保護用のツェナーダイオード、ノイズや遮断電流による誤動作を防ぐゲートエミッタ間抵抗 $R_{GE(INT)}$ 、ゲート抵抗 $R_{G(INT)}$ を1チップ上に搭載した。図2のIGBTは外付けの保護素子が不要となり、車載用モジュールの部品点数削減と信頼性向上に寄与する。

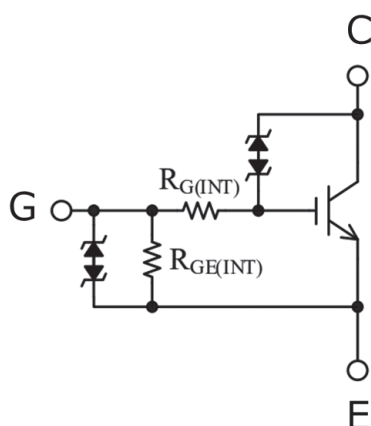


図2 車載用500V IGBT 構成図

(B) きわめて安定した耐圧温度特性

ゲート-コレクタ間のツェナーダイオードの耐圧特性は製品の耐圧 V_{BRCES} であり、ツェナーダイオードはツェナー降伏とアバランシェ降伏の温度特性を最適化することで、温度環境によらずきわめて安定した耐圧特性が得られるように設計した。低温度から高温度まで広範囲に変化するエンジンルームにおいても1次電圧を所定電圧に維持することができるため、2次電圧も安定に作動させることができ、エンジンの点火動作を安定に維持させることができる。

(C) 低飽和電圧による低定常損失

一般にインバータなどに用いられるスイッチング用途のIGBTは低飽和電圧 $V_{CE(sat)}$ 特性と低スイッチング損失が求められるが、点火コイル駆動用途ではスイッチング動作時間がインバータと比べて遅いため、飽和電圧を低

減することに重点をおいた設計にした。低 $V_{CE(sat)}$ を実現することで定常損失を小さくすることができる。

(D) 高い自己クランプ誘導スイッチング耐量の確保

高電圧で使用されるがゆえにIGBT自体に瞬間的に高電圧の跳ね返りが発生することがあり、高い自己クランプ誘導スイッチング耐量が求められる。車載用500V IGBTの断面構造図を図3に示す。IGBTの電流遮断時には、電子電流だけでなくホール電流が流れる。電子はコレクタ電極に流れ込むが、ホールはエミッタ電極へ流れ込む。エミッタ電極から排出される前に、ホールがn+エミッタ下部のpベース層を通ると、ベース抵抗によって電圧降下が発生する。この電圧降下はn+エミッタ層とpベース層の接合に対して順バイアスとなり、電圧降下が大きくなると、n+エミッタ層からpベース層へ電子が注入され、トランジスタがオン状態になってしまう。バイポーラトランジスタの増幅効果によってさらに大きな電流が流れようとし、電流が流れるほど発熱が大きくなる。温度が上昇するほど電流が流れやすくなるため、さらに大きな電流を流そうとする。素子全体に流れる電流は増えないので、寄生バイポーラトランジスタが動作しているセルに電流が集中して、さらに発熱し、最後にはエミッタ電極の金属とシリコンが反応することで溶解し、素子が破壊に至る。高濃度のP+コンタクト層を最適設計することで、n+エミッタ層下のベース抵抗を小さくし、大きなホール電流が流れても、n+エミッタ層とpベースとの接合に加わる順方向バイアスが小さくなるようにする。寄生バイポーラトランジスタを動作し難くなるようにIGBTのセル構造の最適設計をおこなった。

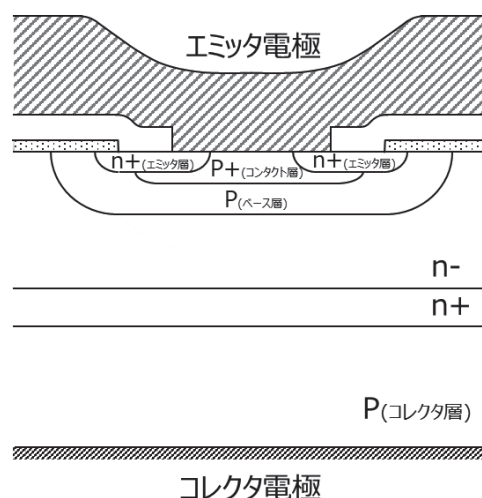


図3 車載用500V IGBTの断面構造図

3. 車載用 500V IGBT 検討結果

3.1 コレクター-エミッタ間降伏耐圧 V_{BRCES} 温度特性

図4に500V開発品および量産製品である400V IGBT素子搭載のDGU4015G, DGU4020GR, 450V素子搭載のDGU4520GRにおける, コレクター-エミッタ間降伏耐圧 V_{BRCES} の耐圧温度特性結果を示す。耐圧 V_{BRCES} の温度特性結果より, 500V開発品は, 400V, 450V製品と同様, $-40^{\circ}\text{C} \sim 175^{\circ}\text{C}$ にわたる全温度範囲において, きわめて安定した耐圧 V_{BRCES} を実現していることを確認した。温度特性を最適化したゲート-コレクタ間ツェナーダイオードを設計することで, ツェナーダイオードの耐圧を十分に高くかつ, ツェナーダイオードの温度依存を小さくすることができた。高耐圧においても安定した動作を保証可能であることが示唆された。

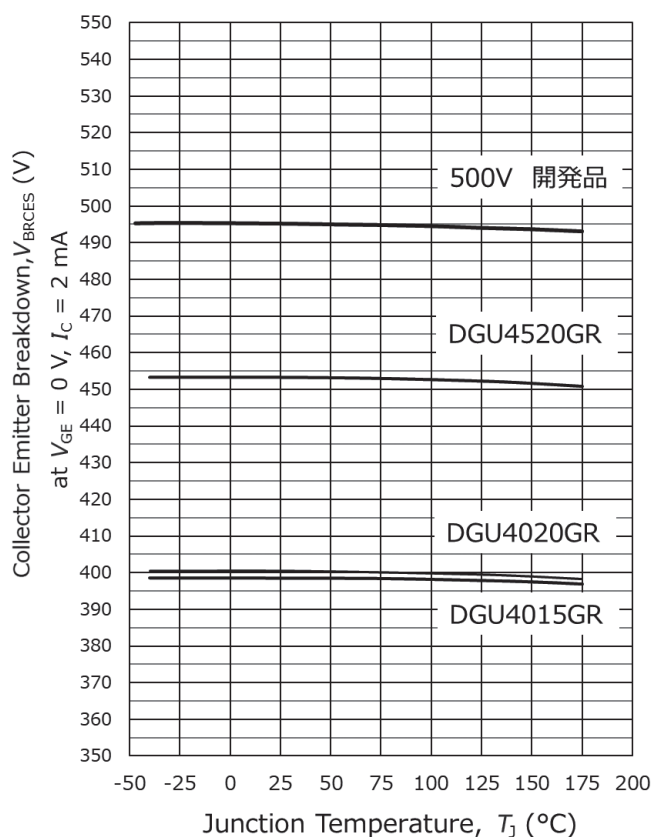


図4 コレクタ耐圧 V_{BRCES} の温度特性

3.2 自己クランプ誘導スイッチング耐量 E_{SCIS}

図5, 図6に自己クランプ誘導スイッチング試験回路と500V開発品の試験結果波形を示す。測定条件は電源電圧 $V_{CC}=14\text{V}$, ゲート電圧 $V_{GE}=5\text{V}$, 誘導負荷 $L=1\text{mH}$, ゲート抵抗 $R_G=1\text{k}\Omega$, 温度 $T_A=25^{\circ}\text{C}$ である。図6の結果より, 自己クランプ誘導スイッチング電流 $I_{SCIS}=24\text{A}$ において非破壊であり, $V_{CE(sat)}@V_{GE}=4.5\text{V}, I_C=10\text{A} : 1.2\text{V}$ で約 300mJ の十分な自己クランプ誘導スイッチングエネルギー E_{SCIS} 耐量を確保することができた。

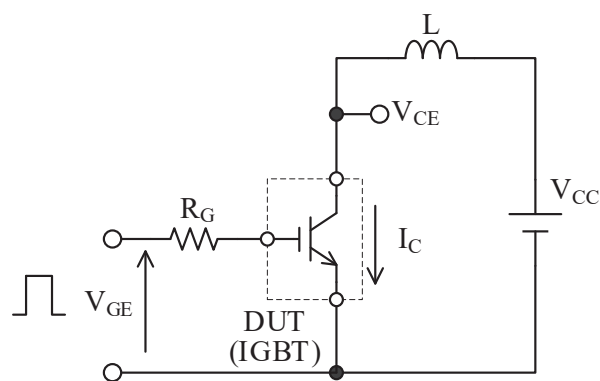


図5 自己クランプ誘導スイッチング試験回路

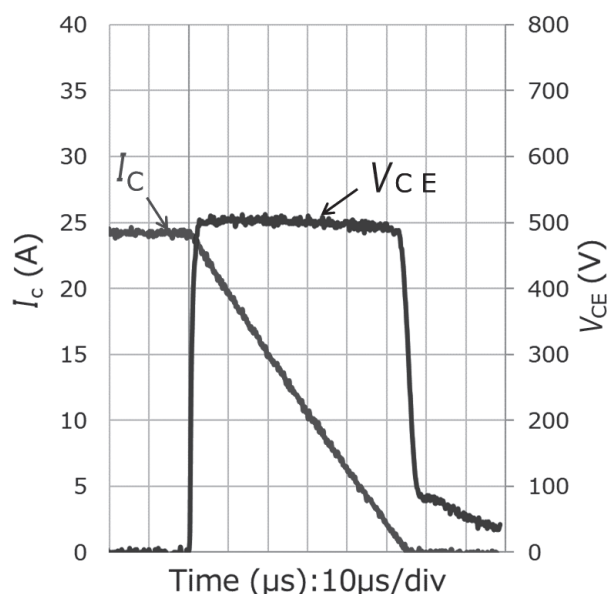


図6 500V IGBT の自己クランプ誘導スイッチング波形

4. むすび

今回の開発にて、車載用500V IGBT素子として、量産中の400V、450V品同等の安定した耐圧温度特性をそなえ、低飽和電圧で自己クランプ誘導スイッチングエネルギー耐量の製品要求を満足できる特性が得られた。製品化検討のフェーズへと進めていく。