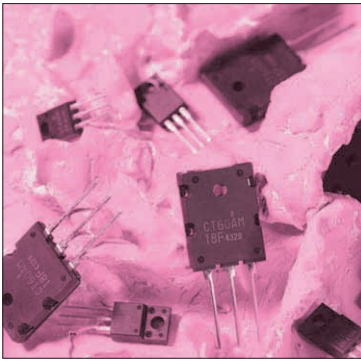




第6章 低ON抵抗，高電流密度， 大電流対応の最新デバイス

GTBT のしくみと特徴

岡田 哲也/岡田 喜久雄/山本 眞一/吉田 哲哉
Tetsuya Okada/Kikuo Okada/Shinichi Yamamoto/Tetsuya Yosida

高度情報化時代を迎えた21世紀においては、電力需要がますます高まる一方、地球規模でのエネルギー資源枯渇問題に伴い、省エネ機運が高まってきており、パワー・デバイスの役割も大きくなってきています。

パワー・デバイスは産業・電力・交通・情報などさまざまな分野に使用され、それらの機器の性能はパワー・デバイスの性能によって大きく左右されると言っても過言ではありません。本稿では、従来のパワー・デバイスに比べ低ON抵抗，高電流密度，大電流で小型パッケージのパワー・デバイスGTBTの特徴について述べます。

GTBT とは

GTBT⁽¹⁾ (Grounded - Trench - MOS Assisted Bipolar - Mode FET)は電流駆動であり、電圧駆動であるパワー MOSFETやIGBTより駆動損失面では劣ります。しかし、**低ON抵抗のため、バイポーラ・トランジスタ同様、単位面積当たりの電流容量が高く、大電流を必要とする用途に適しています。**

スイッチング損失もキャリアの蓄積効果が存在するためパワー MOSFETよりは劣りますが、**バイポーラ・トランジスタより少なく、高速動作が可能**となります。さらに温度安定性が良いため、**熱的な破壊にも強い特徴**があります。耐圧600Vクラスのパワー・デ

バイスとの比較を表6-1に示します。

このように、**GTBTはバイポーラ・トランジスタの長所はそのまま維持し、短所をより小さくしたデバイス**であり、スイッチング電源分野をはじめパワー系分野のキー・デバイスとして使用できます。

● GTBTの特徴

GTBTは構造的にみれば独特なデバイス構造をもっていますが(構造については次節を参照)、駆動方法はベース電流を流してトランジスタをONさせており、また、ターンOFFはベース電流を止めることで実現しています。つまり、**デバイスの使い方はバイポーラ・トランジスタとまったく同じ**です。

しかし、GTBTはほかのデバイスにはない多くの特徴を有しており、ここでは正しい使い方を実施するうえでGTBTの特徴について解説します。

▶ 低ON抵抗特性

トランジスタがON状態のときは**バイポーラ動作**で、ドリフト領域は伝導度変調されるため低抵抗状態となり、低ON抵抗が実現できます。また、**バイポーラ・トランジスタと比較しても、結果的に数分の一の低ON抵抗**となります。

図6-1にGTBTを含めた各種デバイスのON抵抗比較を示します。**同一耐圧で比較して、パワー MOSFETに対して2桁低いON抵抗**であることがわ

表6-1 GTBTをパワー・デバイスと動作面で比較(耐圧600Vクラス)

素子 比較項目	バイポーラ・ トランジスタ	GTBT	パワー MOSFET	IGBT
駆動方式	電流駆動	電流駆動	電圧駆動	電圧駆動
大電流容量	○	◎	△	○
低飽和電圧	○	◎	×	△
低スイッチング損失	△	○	◎	○
高周波化	×	○	◎	△
並列動作	△	○	◎	○
破壊耐量(ASO)	△	○	◎	△
温度安定性	△	○	○	○
コスト	◎	○	△	×

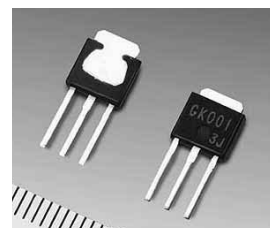


写真6-1 GTBTの外観
(GK001, 三洋電機)

かります。また、ほかデバイスと比較しても、耐圧に対するON抵抗の上昇率は鈍く、高耐圧製品ほど低ON抵抗の特徴が顕著に現れます。

▶ 高速スイッチング特性 ($t_f < 70\text{ns}$)

GTBTはターンOFF時間(t_f)が短く、**スイッチング特性に優れています**。その理由は、チャネルの遮断が進む過程においてトレンチ側壁(チャネル領域)で反転層が形成され、その中で正孔キャリアを高速に引き抜くことが可能となるためです。

図6-2にL負荷時のスイッチング波形を示します。**バイポーラ・トランジスタと比較して約1/2の t_f となり、スイッチング損失は約半減することを確認しています**。

▶ 高温動作が可能

トランジスタがON状態のとき、ベースに相当するチャネル領域はN型のシリコンとなり、主電流はすべて同じ極性のN型シリコンに流れるため、**寄生素子は存在しません**。したがって、動作時の温度特性はMOSFET同様負特性となり素子の**熱暴走が起こりにくくなります**。結果的、素子の破壊耐量は向上します。

▶ 高電流利得 ($h_{FE} = 1000$ 以上)

バイポーラ・トランジスタのベースに相当するチャネル領域の濃度は極めて薄いため、ベース輸送効率が高く、エミッタ注入効率が高いため **h_{FE} は1000以上**得られます。このため、トランジスタを駆動するベース電流は少なくすみ、ベース駆動損失が小さくなります。

▶ 完全ノーマリ OFF

ベース端子に電圧を加えないときは、基本的にチャネルは閉じており、主電流は流れません(後述する動作原理を参照)。したがって、完全ノーマリOFFのトランジスタであり、バイポーラ・トランジスタと同様な取り扱いができます。

▶ 高耐圧化が容易 (100～1500 V)

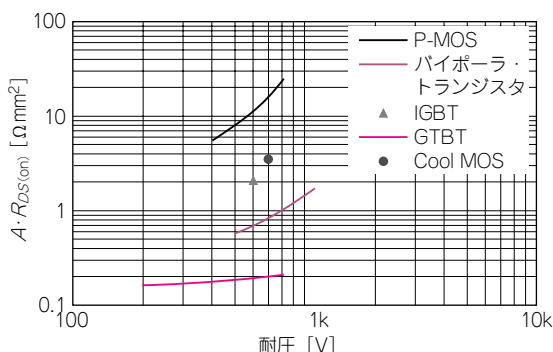


図6-1 GTBTを含めた各種デバイスのON抵抗比較

GTBTは電流量に優れる

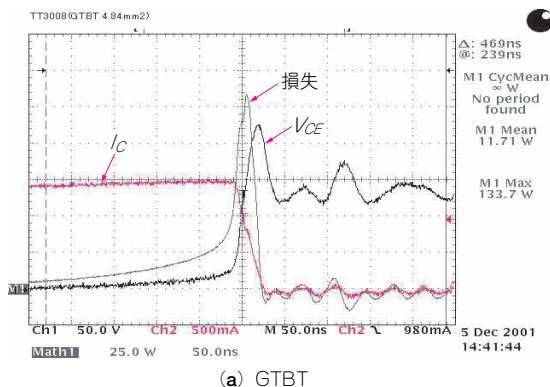
バイポーラ・トランジスタを高耐圧化するためには、パンチ・スルー現象を回避するためベース濃度はある程度までしか下げられず、高耐圧化と高 h_{FE} 化の両立は困難でした。しかし、GTBTはベースに相当するチャネル領域は低濃度でありながら**1000 V以上の耐圧が確保**できており、GTBTはその独自構造により h_{FE} を上げてもパンチ・スルーが発生しません。

したがって、耐圧はチップ周辺部に設けてあるガード・リングの設計で制御が可能となり、高耐圧化は容易に実現できます。

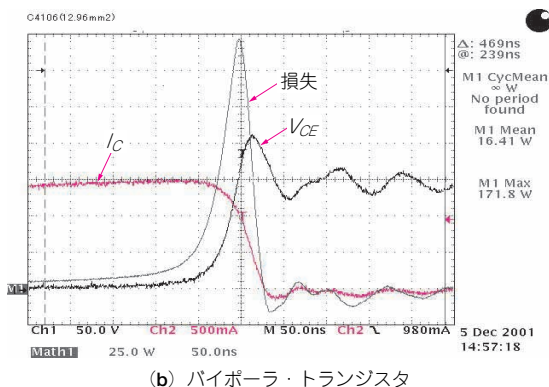
● MOSFETより低 $R_{DS(on)}$, IGBTより低 $V_{CE(sat)}$, バイポーラより高 h_{FE}

代表的なパワー・デバイスの動作原理について、図6-3に示します。

一般に高耐圧設計には欠かせないドリフト領域は低ON抵抗化とは相反するものであり、ユニポーラ・デバイスであるパワーMOSFETでは問題となります。しかし、バイポーラ・デバイスであるGTBT、バイポーラ・トランジスタ、IGBTはドリフト領域の抵抗



(a) GTBT



(b) バイポーラ・トランジスタ

図6-2 L負荷スイッチング(t_f)損失比較 ($f_{osc}=100\text{kHz}$, デューティ $D=30\%$, $I_{cp}=1.5\text{A}$, 50.0V/div. , 500mA/div. , 25.0W/div. , 50.0ns/div.)