

富士 第7世代IGBT モジュール
Xシリーズ
第3章 第7世シリーズRC-IGBTモジュール



アプリケーションマニュアル

注意

このマニュアルの内容(製品の仕様、特性、データ、材料、構造など)は2021年7月現在のものです。この内容は製品の仕様変更のため、または他の理由により事前の予告なく変更されることがあります。このマニュアルに記載されている製品を使用される場合には、その製品の最新版の仕様書を入手して、データを確認してください。

本資料に記載してある応用例は、富士電機の半導体製品を使用した代表的な応用例を説明するものであり、本資料によって工業所有権、その他権利の実施に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。

 **注意**

(1) 輸送と保管

段ボール箱の適切な面を上にして運搬してください。そうしないと製品に予期しないストレスがかかり、端子の曲りや樹脂パッケージ内の歪みなど、影響を及ぼす可能性があります。さらに製品を投げたり落下させたりすると、製品に大きなダメージを与える可能性があります。また水に濡れると破壊や故障の原因になりますので、雨や凍結には十分な配慮をお願いします。輸送中の温度や湿度などの環境条件は、仕様書に記載してありますので厳守してください。

(2) 組み立て環境

パワーモジュールの素子は静電気放電に対して非常に弱いため、組み立て環境におけるESD 対策を、仕様書に記載の範囲内で適切に実施してください。特に、導電性スポンジを制御端子から取り外す時が、最も製品に電氣的ダメージを与える可能性があります。

(3) 動作環境

製品を酸や有機物、腐食性ガス(硫化水素、硫酸ガスなど)にさらされる環境で使用した場合、製品性能や外観を十分確保することができません。

第3章 第7世代XシリーズRC-IGBTモジュール

1. 第7世代XシリーズRC-IGBTモジュールの基本コンセプトと特長	3-2
2. 第7世代XシリーズRC-IGBTモジュール系列化	3-5

本章では、富士第7世代XシリーズRC-IGBTモジュールの基本コンセプトと特長について説明します。

1. 第7世代XシリーズRC-IGBTモジュール基本コンセプトと特長

●さらなる小型化・高パワー密度化（RC-IGBT技術）

XシリーズRC-IGBTモジュールは、当社第7世代Xシリーズのチップ技術とパッケージ技術を用いることで、低損失と175°C連続動作保証を実現しました。更にRC-IGBT技術によりIGBTとFWDの機能をワンチップ化することで、IGBTまたはFWDの各々と比較してチップ面積の拡大が可能となり、ジャンクション-ケース間熱抵抗 $R_{th(j-c)}$ を低減しました。また従来のIGBTとFWDの組み合わせに対し、RC-IGBTを適用することで総チップ数および総チップ面積の低減を実現しました。これらの技術革新によりXシリーズRC-IGBTモジュールは従来と同一のパッケージサイズで高パワー密度化を実現し、電力変換装置のさらなる小型化およびトータルコスト削減に貢献します。

●XシリーズRC-IGBTチップの特長

図3-1にXシリーズRC-IGBTチップの概略図と等価回路を示します。RC-IGBTはIGBTとFWDをワンチップ化したことにより、スイッチング動作時はIGBT動作・FWD動作が同一チップ上で交互に繰り返します。IGBT動作・FWD動作が同一チップ上で連続するため、IGBT・FWDが別チップで交互に動作する場合に比べ、ジャンクション温度の変化(ΔT_{vj})が小さくなります。またIGBTとFWDがワンチップとなったため、従来のIGBT・FWD各々のチップ面積と比較して大きくなることで、熱抵抗の低減を実現しました。

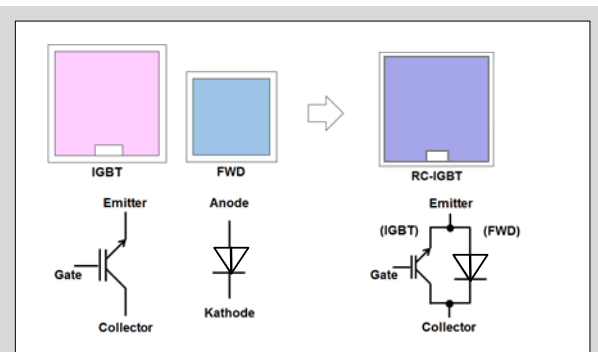


図3-1 XシリーズRC-IGBTチップ概略図と等価回路

図3-2に1200V XシリーズRC-IGBTの出力特性を示します。XシリーズRC-IGBTチップは、一つのチップで順方向（IGBT）と逆方向（FWD）の両方向に電流を出力することが可能です。順方向ではXシリーズのチップ技術適用により、VシリーズIGBTチップよりも低い飽和電圧を実現しました。

XシリーズRC-IGBTチップは、Xシリーズのチップ技術である薄ウエハ技術を適用することにより特性を改善しています。薄ウエハを用いることでターンオフ時の振動や耐圧の低下が懸念されますが、XシリーズRC-IGBTチップはウエハの比抵抗と各構造を最適化することにより振動および耐圧低下を抑制しました。図3-3に示すように、XシリーズRC-IGBTのサージ電圧はVシリーズIGBTと同等であり、テール電流をVシリーズIGBTと比較して低減したことによって、ターンオフ損失 E_{off} を23%低減しました。ターンオンまたは逆回復動作は図3-4および図3-5に示すようにVシリーズIGBTとFWDの組合せでは急峻な電流波形となっているのに対し、XシリーズRC-IGBTでは構造パラメータを最適化することでソフトリカバリ電流波形を実現しています。また順回復ピーク電流 I_{fm} と順回復電荷の低減により、順回復損失 E_r を20%低減しました。

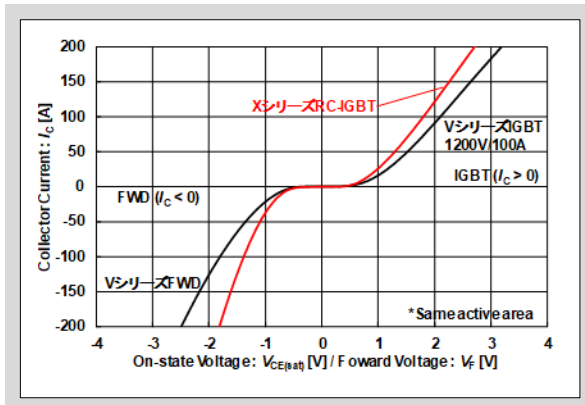


図3-2 XシリーズRC-IGBTの出力特性

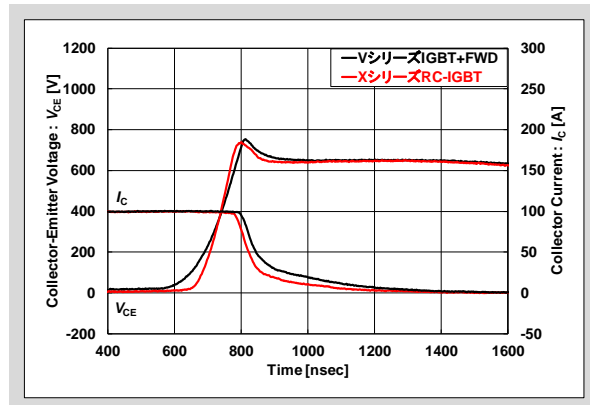


図3-3 XシリーズRC-IGBTのターンオフ波形

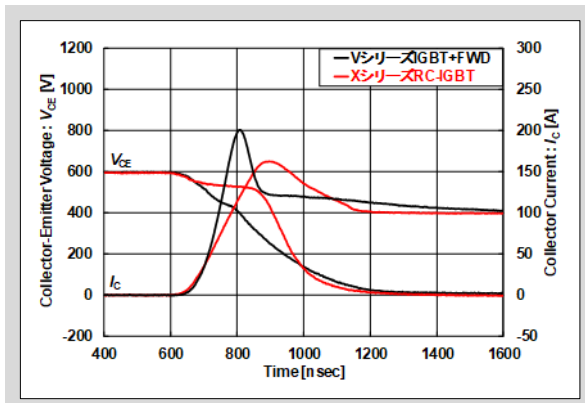


図3-4 XシリーズRC-IGBTのターンオン波形

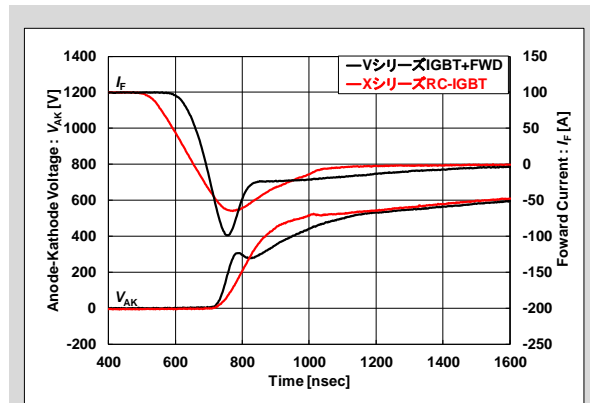
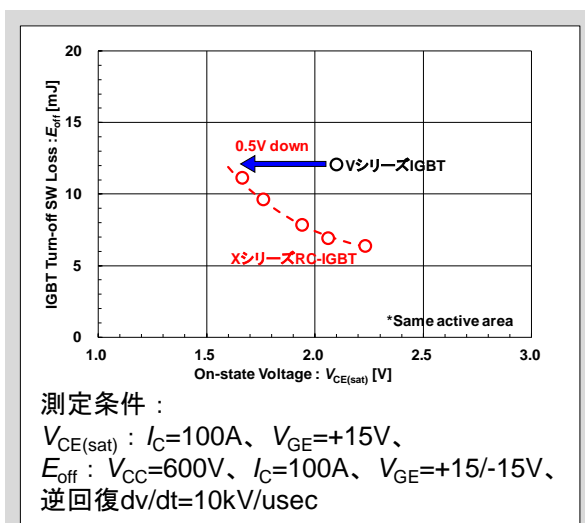


図3-5 XシリーズRC-IGBTの逆回復波形

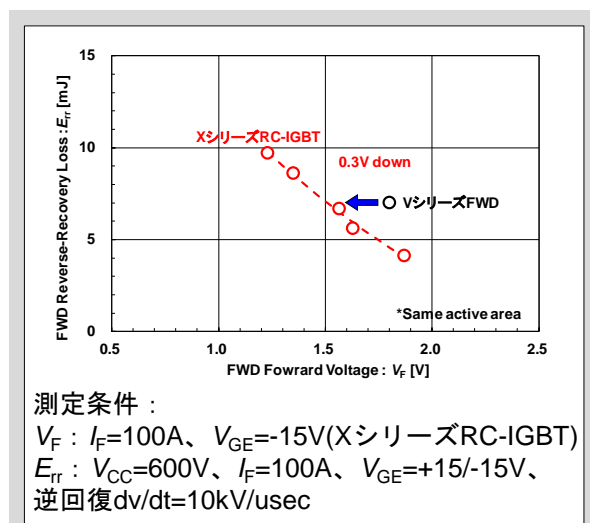
図3-6に同一活性面積で比較したIGBTのトレードオフ特性を示します。ターンオフ損失が同じ場合、XシリーズRC-IGBTはVシリーズIGBTに比べ飽和電圧を0.5V改善しています。図3-7に同一活性面積で比較したFWDのトレードオフ特性を示します。順回復（逆回復）損失が同じ場合、XシリーズRC-IGBTは、VシリーズFWDに比べ $V_{RC}(V_F)$ を0.3V改善しています。



測定条件：

$V_{CE(sat)}$: $I_C=100A$, $V_{GE}=+15V$,
 E_{off} : $V_{CC}=600V$, $I_C=100A$, $V_{GE}=+15/-15V$,
 逆回復 $dv/dt=10kV/usec$

図3-6 XシリーズRC-IGBT(IGBT)のトレードオフ特性



測定条件：

V_F : $I_F=100A$, $V_{GE}=-15V$ (XシリーズRC-IGBT)
 E_{tr} : $V_{CC}=600V$, $I_F=100A$, $V_{GE}=+15/-15V$,
 逆回復 $dv/dt=10kV/usec$

図3-7 XシリーズRC-IGBT(FWD)のトレードオフ特性

●XシリーズRC-IGBTパッケージの特長

XシリーズRC-IGBTモジュールでは、IGBTおよびFWDの機能をワンチップ化することによる小型化・高パワー密度化といった特長を生かすため、XシリーズIGBTモジュールと同様にAlN（窒化アルミニウム）絶縁基板を採用することでさらなる熱抵抗の低減を実現しました。図3-8にジャンクション-ケース間熱抵抗を示します。AlN絶縁基板は、Al₂O₃（アルミナ）絶縁基板に比べ熱抵抗が約45%(同一チップサイズ比)と大幅に改善し、IGBTモジュールの小型化による温度上昇の課題を解決しました。さらにワイヤボンディングの最適化、高強度はんだおよび高耐熱シリコーンゲルの採用により、高信頼性を確保するとともに175℃連続動作の保証を実現しました。

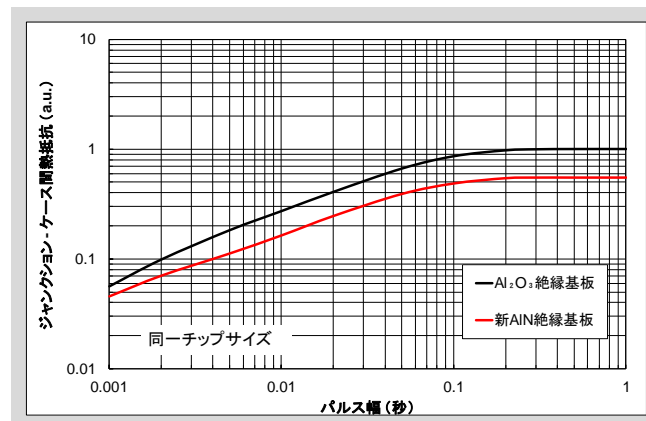


図3-8 ジャンクション-ケース間熱抵抗

●XシリーズRC-IGBT製品の特長

図3-9に1200V/600A Vシリーズ DualXT製品と同一パッケージの1200V/1000A XシリーズRC-IGBT DualXT製品をインバータドライブ装置に搭載した場合を想定し、インバータの出力電流 I_o とIGBT最大接合温度 T_{vjmax} のシミュレーション結果を示します。XシリーズRC-IGBTモジュールはVシリーズIGBTモジュールと比較し、電力損失およびジャンクション-ケース間の熱抵抗を低減しました。さらに、第7世代Xシリーズのパッケージ技術を適用することにより連続動作保証温度をVシリーズIGBTモジュールの150℃から175℃に拡大しました。この結果、同一パッケージにおいてVシリーズIGBTモジュールと比較して高い電流密度が可能となり、IGBTモジュールのさらなる高パワー密度化と小型化を達成しました。

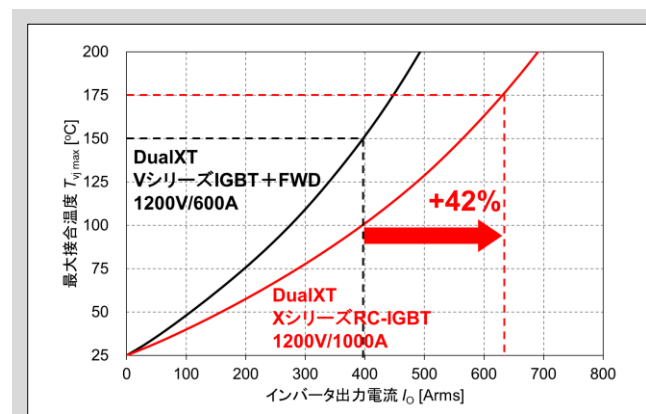


図3-9 IGBT最大接合温度とインバータ最大出力電流

図3-10にモータの加減速時などインバータが低周波で動作する際の T_{vj} のシミュレーション結果を示します。従来のIGBT+FWD構造では、IGBTおよびFWDがそれぞれ発熱および放熱を繰り返します。一方、IGBTとFWDをワンチップ化したRC-IGBTでは、素子内のIGBT領域およびFWD領域が交互に発熱します。これによりRC-IGBTではIGBTで発生した熱がFWD領域にも伝わり、またFWDで発生した熱はIGBT領域にも伝わるため、IGBT+FWD構造と比較して放熱面積が拡大します。そのため熱抵抗が低減し T_{vj} の温度変化 ΔT_{vj} が大幅に低減します。以上のことから、アルミニウムワイヤ接合部およびシリコンチップ下はんだ接合部への熱ストレスが緩和します。XシリーズRC-IGBTモジュールは、低周波動作時の ΔT_{vj} を大幅に低減することで、 ΔT_{vj} パワーサイクル耐量を大幅に向上させました。これにより従来のIGBT+FWD構造と比べ、同一パワーサイクル耐量の場合高出力が期待できます。一方、同一 ΔT_{vj} の場合高い信頼性が期待できます。以上によりXシリーズIGBTモジュールは、IGBTモジュールに求められる小型化、低損失化および高信頼性化要求に応えることが可能となります。

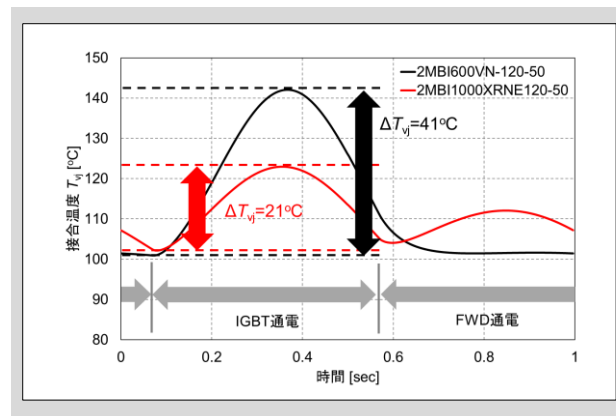


図3-10 ΔT_{vj} シミュレーション結果

2. 第7世代XシリーズRC-IGBTモジュール系列化

IGBTモジュールの定格電流の拡大は、出力電力の増加に貢献できます。例えば図3-11に示すように、1200V系列のDualXTパッケージでは、Vシリーズの最大定格電流は600Aでした。XシリーズIGBTモジュールではXシリーズの技術を適用することで最大定格電流を800Aに拡大し、さらにRC-IGBT技術を適用することで最大定格電流1000Aを実現しました。同一パッケージでの定格電流の拡大により、電力変換装置の筐体サイズを変えることなく、出力電力の増加が可能となります。

IGBTモジュールの定格電流の拡大は、電力変換装置の小型化にも貢献できます。例えば図3-11に示すように1200V/900~1000A定格電流モジュールを、VシリーズではPrimePACK™ 2パッケージ（172mm x 89mm）で実現しましたが、XシリーズRC-IGBTモジュールではDualXTパッケージ（150mm x 62mm）で実現しました。これによりモジュール設置面積（フットプリントサイズ）を39%低減しました。

注) PrimePACK™はInfineon Technologies社の登録商標です。

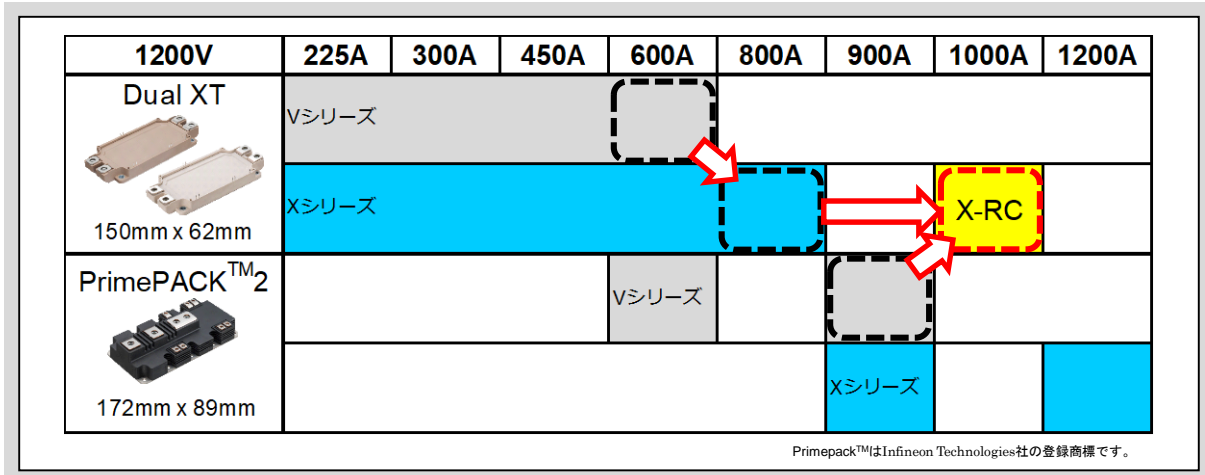


図3-11 富士XシリーズRC-IGBTモジュール容量拡大

図3-12に当社XシリーズRC-IGBTモジュールラインナップを示します。従来のIGBTとFWDの組み合わせでは困難であった定格電流の拡大を、Xシリーズ技術とRC-IGBT技術を組み合わせることにより達成しました。

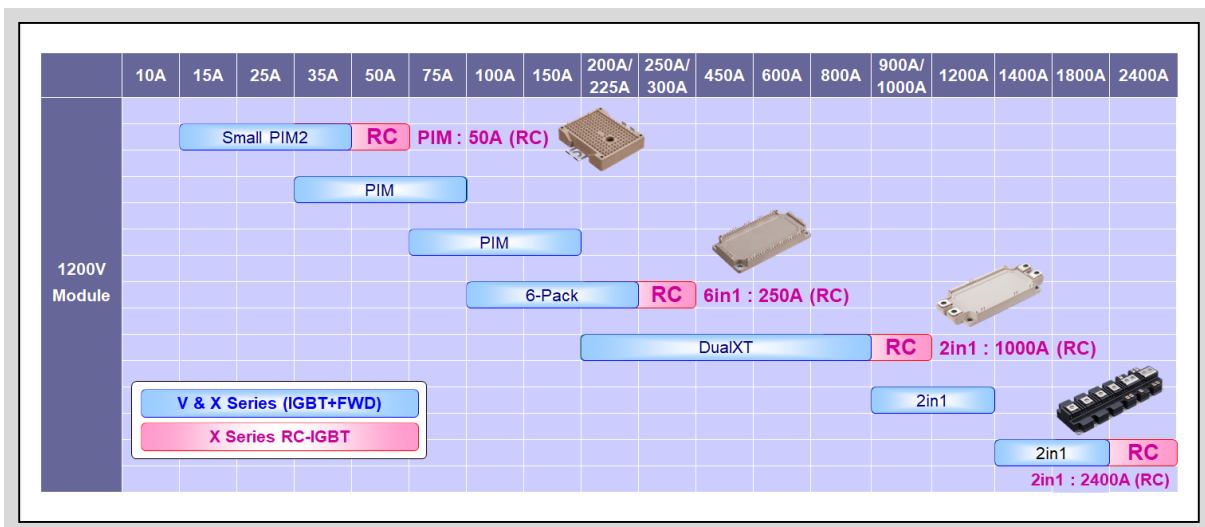


図3-12 富士XシリーズRC-IGBTモジュール系列