モールド形 IGBT

山口 浩二(やまぐち こうじ)　斉藤 龍(さいとう りゅう)　沢田 研一(さわだ けんいち)

1 まえがき

富士電機では1988年に電圧共振形のインバータ式電子レンジ用のモールド形 IGBT（Insulated-Gate Bipolar Transistor）を製品化して以来，チップの高速化，高性能化技術の改良を進め，CRT 水平偏向出力，スイッチング電源などの分野に製品化，系列拡大を行い市場展開を図ってきた。本稿では，電圧共振形インバータ電源用 IGBT および CRT 水平偏向出力用 IGBT について最近の状況を紹介する。

2 電圧共振形インバータ電源用 IGBT

2.1 概 要

電子レンジ，炊飯器，電磁調理器などの電源部では，高付加価値化を目的として商用周波から電圧共振形の高周波インバータ化が進められてきた。最近になりさらなる電源部の小形軽量化，高信頼性化，また部品点数削減，工数削減を行った製品の低コスト化が強く進められている。このような市場動向に対して富士電機では，電圧共振形インバータ電源用 IGBT のチップ高性能化，並列接続で用いる FWD（Free Wheeling Diode）を一つのパッケージに一体化した IGBT を製品化した。

2.2 技術開発

2.2.1 低損失化

電圧共振形インバータ回路では IGBT のスイッチングにより発生する損失を設定し，冷却用フィンまたはファンにより許容熱容量を超えないように回路設計が行われる。しかし IGBT の発生損失が大きいほど，これらの冷却用フィンまたはファンが大形化せざるを得なく，強いてはインバータ装置自身を大形化させる原因になるため，できるだけスイッチングデバイスの発生損失を小さくすることがインバータ回路設計者の課題である。そこで，本 IGBT シリーズは発生損失を同一電流密度にて従来品の 20% 低下させることを狙いとし，性能向上を図ってきた。

図1 インバータ電源回路と IGBT の動作波形

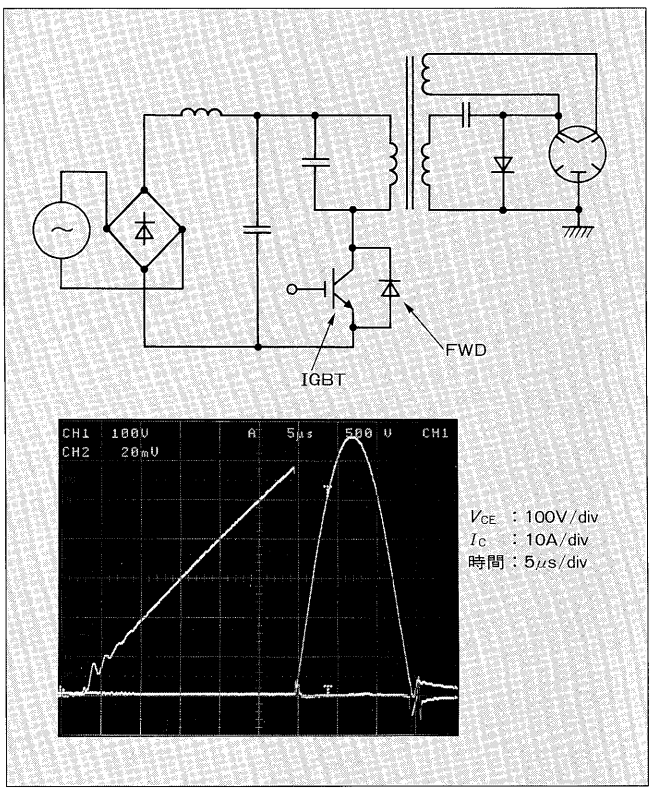


図1 に代表的な電圧共振形インバータ電源回路と IGBT の動作波形を示す。また，動作時の IGBT 発生損失量の内訳を**図2** に示す。発生損失量の約 70% が IGBT のオン損失，残りがスイッチング損失である。オン損失とスイッチング損失の間にはトレードオフの関係があり，オン損失が小さいほどスイッチング損失が大きくなる。そのためこのトレードオフの関係を改善するには，シリコン結晶仕様，チップパターン，およびウェーハプロセス条件を同時に最適化する必要がある。その要点は以下に挙げる 3 点である。

(1) 結晶仕様による pnp トランジスタの注入効率の最適化
(2) セルサイズの微細化
(3) τ 制御（ライフタイムキラー）の最適化

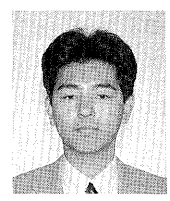
IGBT のチップは**図3** に示す等価回路で表される MOS

山口 浩二

平成 3 年入社。IGBT の設計，開発に従事。現在，松本デバイス製作所第一開発部。

斉藤 龍

昭和62年入社。IGBT の設計，開発に従事。現在，松本デバイス製作所第一開発部。



沢田 研一

平成 2 年入社。IGBT の研究開発に従事。現在，(株)富士電機総合研究所先端デバイス研究所。

図2　IGBT 発生損失量の内訳

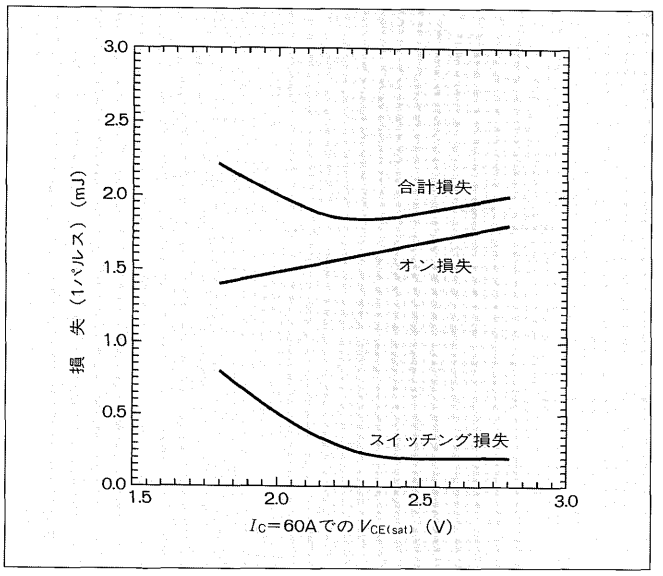
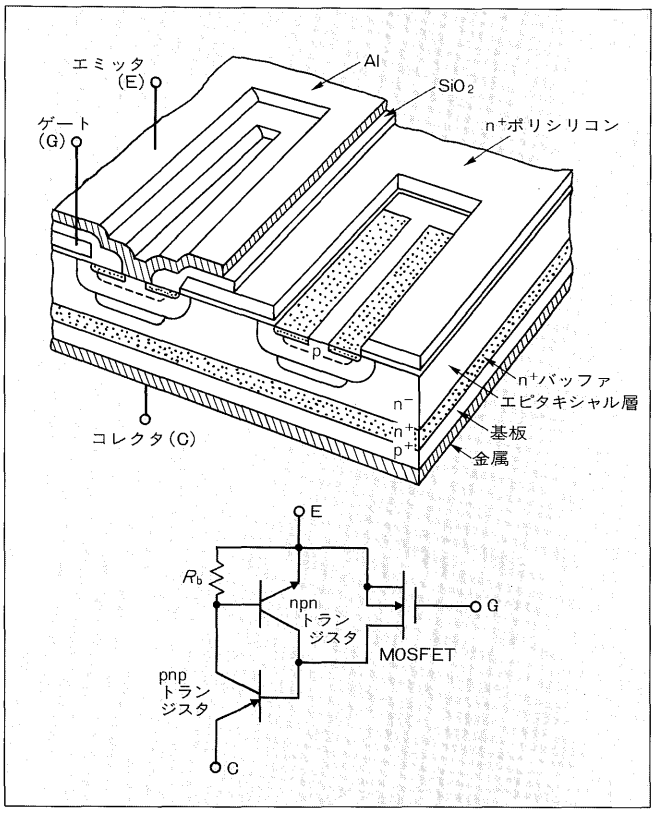


図3　IGBT の構造と等価回路



FET（Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor）と pnp および寄生 npn トランジスタで置き換えられる構造になっている。この IGBT のオン特性は pnp トランジスタの注入効率（h_{FE}）および MOSFET の特性により変わる。このそれぞれのトランジスタを前述の手段によって最適化することにより低オン損失化を実現した。

2. 2. 2　破壊耐量の向上

インバータ電源部の高信頼性を図るためにスイッチングデバイスである IGBT には非ラッチアップ特性が求められる。IGBT の非ラッチアップ特性，すなわち破壊耐量は**図4**に示す n^+ ソース層直下の拡散抵抗領域 R_b を横切る

図4　IGBT の断面図

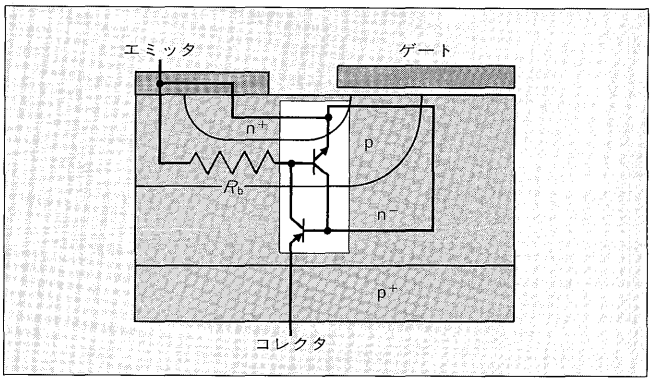


図5　破壊耐量値比較

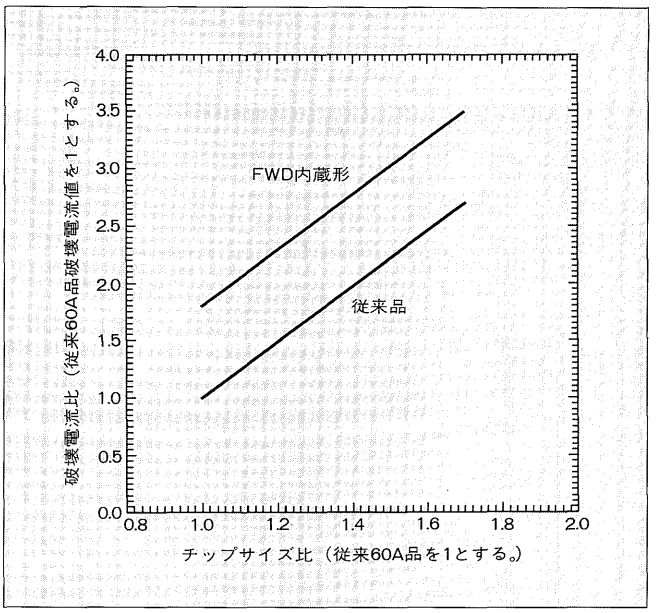
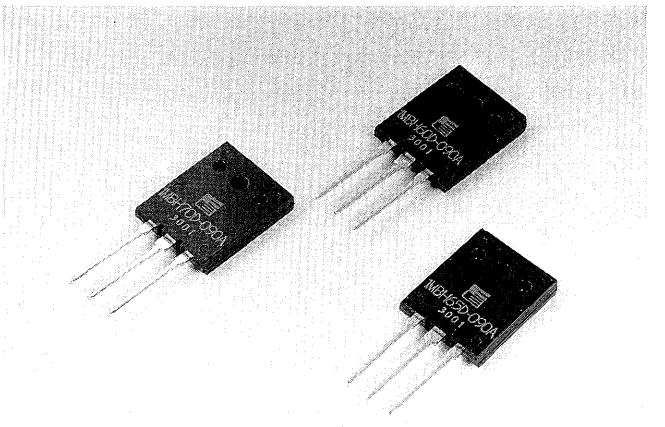


図6　FWD 内蔵 IGBT の外観



ホール電流によって電圧降下が起こるが，この電圧降下が n^+-p 接合の拡散電位を超えた場合，寄生 npn トランジスタがオンし，IGBT が pnpn サイリスタとして動作を起こしてしまうラッチアップ現象に依存する。IGBT チップは多数のセルが並列に接続されているが，このセルを従来より小形化（微細化）したこと，およびチャネル層の強化による R_b を低減したことにより従来品に比べ1.3～1.8倍

図7　フレームの外観

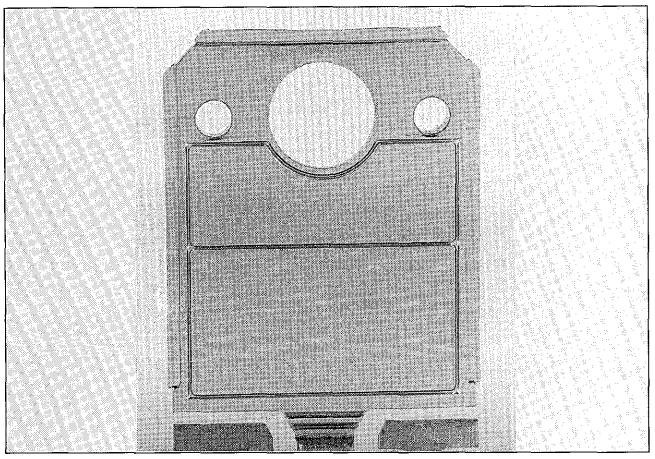


表1　FWD内蔵IGBTの主な定格特性

特性 / 形式	コレクタ電流 I_C	コレクターエミッタ間電圧 V_{CES}	コレクタ損失 P_C	飽和電圧 $V_{CE(sat)}$（標準）	ターンオフ時間 t_f（標準）
1MBH60D-090A	60A	900V	260W	2.5V	0.4 μs
1MBH65D-090A	65A	900V	300W	2.3V	0.4 μs
1MBH70D-090A	70A	900V	340W	2.0V	0.3 μs

の高破壊耐量を達成した（**図5**）。

2.2.3　FWDの内蔵化

FWD内蔵IGBTの外観を**図6**に，フレームの外観を**図7**に示す。モールド樹脂成形の金型の改良，またダイボンディング時の二つのチップ位置の安定性を考慮したコイニングの採用により従来比で約120%のチップ積載面積を確保している。2チップのダイボンディングを行うにあたり，生産性を現状レベルより低下させないため，製品組立工程における2チップダイボンダの技術開発を行い，生産性の向上を図っている。

2.3　電圧共振形インバータ電源用IGBTの系列化

FWD内蔵IGBTシリーズの定格特性を**表1**に示す。使用用途に応じて電流定格別に3形式を従来系列に加え，ラインアップした。また今回開発を行った低損失化，高破壊耐量化技術を積極的に製品へと展開，今後さらに系列拡大を推進する所存である。

3　CRT水平偏向出力用IGBT

3.1　概　要

富士電機では，カラーテレビ，モニタディスプレイ装置の市場に対し，CRT水平偏向出力回路での適用を目的として，高耐圧・高周波動作可能なIGBTを製品化してきた（**表2**，**図8**）。そして，現在では水平偏向回路適用に必要な1,400V耐圧と，80kHzまでの高周波動作を可能としている。

表2　CRT水平偏向出力用IGBTの定格および特性

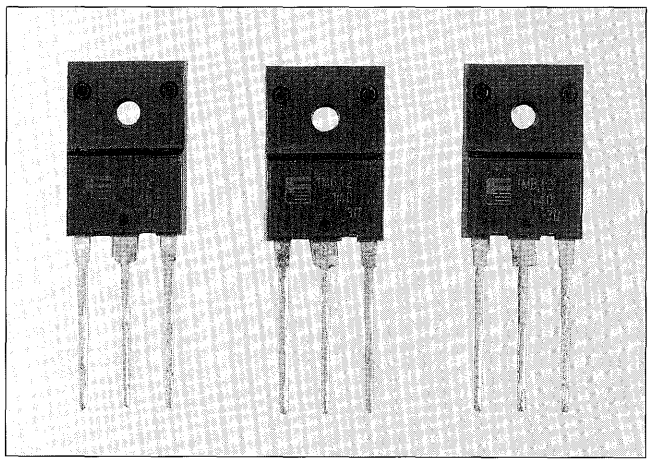
(a)　絶対最大定格（T_C=25℃）

項目		記号	最大仕様	単位
コレクターエミッタ間電圧		V_{CE}	1,400	V
ゲートーエミッタ間電圧		V_{GE}	±20	V
コレクタ電流	DC	I_C	12	A
	パルス 50 μs	I_{CP}	60	A
コレクタ損失		P_C	100	W
接合温度		T_j	+150	℃
保存温度		T_{stg}	−40〜+150	℃

(b)　電気的特性（T_C=25℃）

項目	記号	条件	最小	標準	最大	単位
ゲート漏れ電流	I_{GES}	V_{GE} =±20V, V_{CE} =0V			100	nA
コレクタ遮断電流	I_{CES}	V_{CE} =1,400V, V_{GE} =0V			1	mA
ゲートーエミッタ間しきい値電圧	$V_{GE(th)}$	V_{CE} =V_{GE}, I_C =10mA	2		5	V
コレクターエミッタ間飽和電圧	$V_{CE(sat)}$	I_C =12A, V_{GE} =15V		6.0	7.0	V
		I_C =6A, V_{GE} =15V		4.0	4.5	
入力容量	C_{ies}	V_{GE} =0V, V_{CE} =25V, f =1MHz		2,000		pF
スイッチング特性	t_{f1}	I_C =6A, V_{GE} =15V			0.2	μs
	t_{f2}				1.0	μs
	t_{off}				1.2	μs
	I_{off}				1.0	A
熱抵抗	$R_{th(j-c)}$				1.25	℃/W

図8　CRT水平偏向出力用IGBTの外観



3.2　技術開発

3.2.1　高耐圧化

本IGBTは，1,400Vの高耐圧を実現するために，チップ横方向における接合終端構造として，ガードリングとフィールドプレート構造を併用してきた。

また耐圧を確保するばかりでなく限界まで損失を低減させるため，チップ縦方向の耐圧設計においてn⁻層の薄層

図9　CRT水平偏向出力用IGBTの耐圧波形

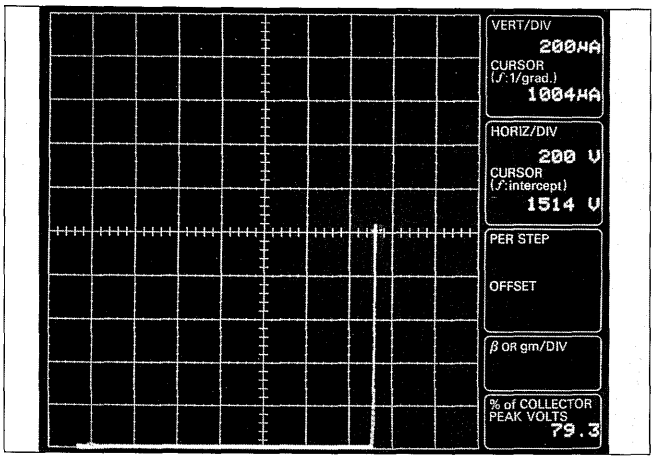
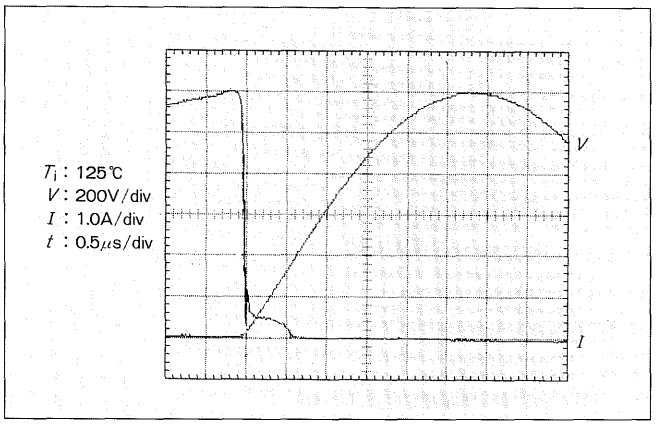


図10　電圧共振回路動作時のIGBTターンオフ波形



化，また，シリコン比抵抗およびライフタイムキラーの条件を，耐圧，スイッチング特性－R_{on}特性のトレードオフの中で最適化を行ってきている。**図9**に本素子の耐圧波形を示す。

3.2.2　高周波化

CRT水平偏向回路では，電圧共振回路周波数80kHzまでの動作を要求されているため，ターンオフスイッチング損失の低減を図る必要がある。ターンオフ時には，外部から印加される電圧により素子内部に空乏層を広げて，残留キャリヤを掃き出す。ターンオフ損失を低減させるためには，高速で素子内部に空乏層を広げて，残留キャリヤを高速に掃き出せばよい。本素子ではn^-層をできる限り高比抵抗化し，なおかつ薄層化させてターンオフ時の残留キャリヤを高速に掃き出し，損失を低減させている。**図10**にコレクタ遮断電流6Aのターンオフ波形を示す。

3.2.3　低ノイズ化

CRTは直接画像を目で見るため，ノイズに関しては特に敏感である。よって，IGBTからのノイズ発生は極力小さく抑制しなければならない。この点が他の民生用IGBTと大きく異なる点である。

特にIGBTではターンオン時の過渡オン電圧により，ノイズを発生しやすいことが指摘されている。よって，この過渡オン電圧を抑制し，速やかに素子内部で伝導度変調を生じさせなければならない。本素子ではn^+バッファ層の設計により，キャリヤの注入効率を向上させてターンオン特性を大きく改善し実用上問題のないレベルにまでノイズ低減を達成することができた。

図11に改善前と改善後のターンオン特性を示す。ターン

図11　CRT水平偏向出力用IGBTターンオフ特性の改善

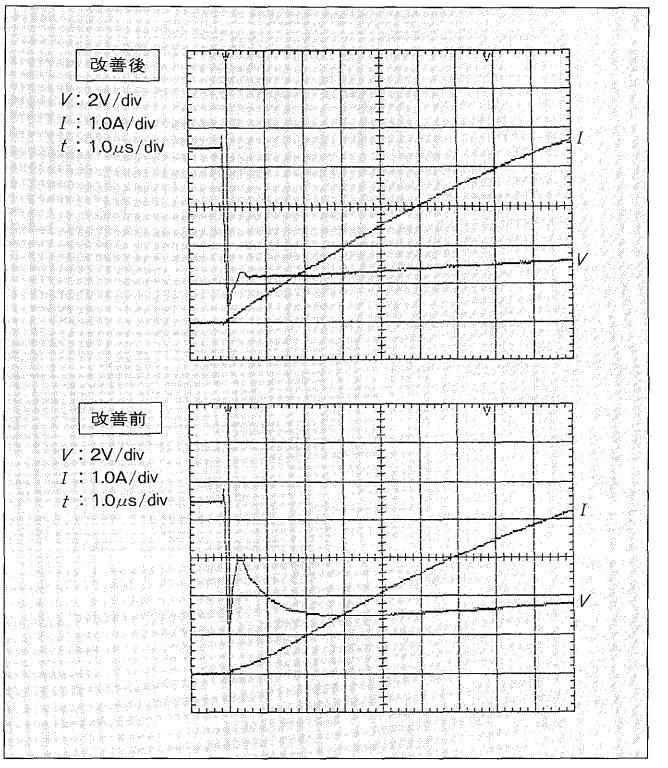
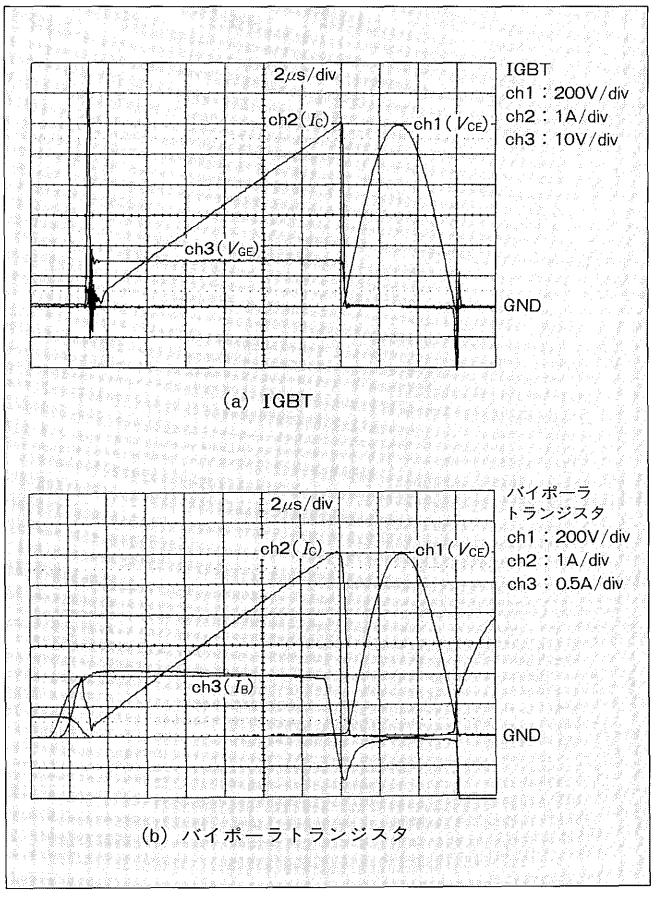


図12　IGBTとBJTのターンオフ時における挙動比較



オン時には電流がランプ状に立ち上がっていく過程での過渡的な電圧発生が改良されていることがよく理解できる。

3.3 水平偏向回路へのIGBT適用のメリット

3.3.1 バイポーラトランジスタとの比較

従来水平偏向回路出力用のスイッチングデバイスはBJT（Bipolar Junction Transistor）が用いられていた。固定周波数での適用であればそれほど問題はない。しかし，最近ではマルチスキャンタイプのCRTが急激に増加しており，この場合にはBJTは回路設計が煩雑になる。

それはターンオフ時に，BJTではベース電流を遮断してもすぐにコレクタ電流は遮断できず，ある遅れ時間の後，ようやく遮断するためである。この様子を**図12**に示す。

IGBTではゲート電圧をオフするだけで，瞬時にコレクタ電流を遮断できる。これは水平偏向周波数がどのような値であっても，調整時間を考慮する必要がない。また電圧駆動素子であることから，ゲートドライブ回路周辺は簡素化できコストダウンが可能であり，MOSFETなどと同じように，並列運転も比較的容易である。

3.3.2 パワーMOSFETとの比較

高耐圧のMOSFETは，オン抵抗が著しく高い。これは本質的にMOSFETがユニポーラデバイスであるが故にオン抵抗はn^-層の比抵抗で決まるため余り改善の余地がない。例えば，1,400V耐圧で比較すると，同じチップサイズではMOSFETはIGBTの20倍ほど大きくなってしまう。また，MOSFETは高温になるとさらにオン抵抗は大きくなる。ただしスイッチング損失はきわめて小さいので，この点では魅力はあるが，オン抵抗の大きさからすると現実的とは言えずIGBTに譲るところとなっている。

4 あとがき

新しく製品化した電圧共振形電源用IGBTとCRT水平偏向出力回路用IGBTの概略を紹介した。

電圧共振形電源用IGBTは性能向上，さらにFWD1パッケージ化を行ったことによって効率向上，作業性の簡素化，また電源部の小形化という，回路設計者のニーズにこたえた製品である。将来，まだ拡大が予想される電圧共振形のインバータ電源分野において幅広く応用が期待される。

CRT水平偏向出力回路用IGBT（1MB12-140）は1,400Vの高耐圧であり，なおかつ80kHzの高速動作を可能とした富士電機独自の素子である。CRTに適用を可能とするために，特にノイズ対策に配慮している。すでにモニタディスプレイの市場では，本製品の適用が行われてきており，顧客ニーズにマッチした製品としてさらに今後の発展が期待できる。

参考文献

(1) 桜井建弥ほか：高速スイッチングIGBTモジュールの系列化，富士時報，Vol.63，No.9，p.624-627（1990）
(2) 菅沼信孝・関康和：テレビジョン水平偏向回路用1,500V IGBT，富士時報，Vol.63，No.9，p.620-623（1990）
(3) Seki，Y. et al.：High Switching Speed 1500V IGBT for CRT Deflection Circuit，Proceedings of ISPSD '91，p.237-241（1991）
(4) 関康和ほか：水平偏向回路用1500V IGBT，平成3年電気学会全国大会講演予稿集，p.5-24（1991）

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。