

[12P-39]

## DEVELOPEMENT OF IEGT SWITCH FOR A KLYSTRON MODULATOR

K. Okamura<sup>\*)</sup>, C. Yamazaki, Y. Ohnishi<sup>A)</sup>, T. Hori<sup>B)</sup> and H. Hanaki<sup>B)</sup>

Toshiba Corporation Information and Industrial Systems & Services Company  
1, Toshiba-cho, Fuchu-shi, Tokyo, 183-8511 JAPAN

A) Toshiba Corporation Power Systems & Services Company  
8, Shinsugita-cho, Isogo-ku, Yokohama, 235-8523 JAPAN

B) Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/Spring-8)  
Koto 1-1-1, Mikazuki-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198 JAPAN

### Abstract

To replace a thyatron which is used in a klystron modulator, we have developed a high voltage switch utilizing IEGT which is recently developed semiconductor power device. We confirmed that an IEGT device successfully conducted current of almost 6 kA and that the IEGT switch had a satisfactory performance.

### クライストロンモジュレータ用 I E G T スイッチの開発

#### 1. はじめに

クライストロンを駆動するパルス変調器のスイッチとしてはこれまでサイラトロンが用いられてきた。しかしサイラトロンは放電管であるため寿命や品質の偏差が問題となりまた経年変化を補正するためにリザーバ電圧を調整する必要があるなど保守上の問題がある。そのためこれを半導体で置き換えるべく IEGT を用いたスイッチを開発した。

#### 2. IEGT

IEGT (Injection Enhanced Gate bipolar Transistor) は近年になって開発された半導体パワー素子であって高速のスイッチングが可能でありかつ高い定格電圧でもエミッタ側からの電子注入促進作用によって低い飽和電圧が維持されるという特徴がある<sup>[1]</sup>。

プレーナゲート型 IEGT (P-IEGT) の模式断面図とキャリア密度分布を図 1 に示す。P-IEGT は従来型素子の IGBT (Insulation Gate Bipolar Transistor) とよく似た構造を持つ素子であり機能的には MOSFET とバイポーラトランジスタの複合素子である。したがって電界制御による高速スイッチング特性とバイポーラ通電による大電流密度を両立させることができる。さらに IEGT ではゲート幅  $W_g$  が IGBT に比べて広いのが特徴である。IEGT ではゲート幅  $W_g$  が広くなることによりコレクタ側から注入されたが直接エミッタに通り抜けにくくなり  $n^-$  層のエミッタ側に正孔が蓄積されそのことによって電気的中性を維持しようとチャ

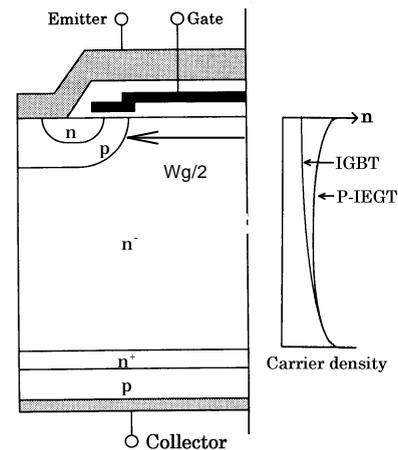


図 1 プレーナゲート型 IEGT の模式断面図とキャリア密度分布

ネルを介して電子の注入が促進される。その結果、エミッタ側のキャリア密度が増加し結果的に GTO サイリスタと類似のキャリア密度分布が実現して低い飽和電圧が得られる。

IEGT は圧接型パッケージのものとパワーモジュール型パッケージのものが開発されているが今回は低インダクタンスでパルス通電に適した圧接型パッケージのものを採用した。

図 2 に今回用いた IEGT 素子 (S6X02(P)) の外観を、表 2 に主な定格を示す。

なお今回使用した素子は特別にキャリア寿命制御を抑制しコレクタ・エミッタ間飽和電圧を低くし

<sup>\*)</sup> K. Okamura, 042-333-2308, katsuya.okamura@toshiba.co.jp



図2 IEGT (S6X02(P))の外観

て通電損失が小さくなるようにしたものである。

表1 IEGT (S6X02(P))の主な定格

項目	値	単位
コレクタ・エミッタ間電圧	4500	V
コレクタ電流	DC	750
	1ms	1500
コレクタ・エミッタ間飽和電圧*1	2.6	V
ポスト直径	85	mm
最大外径	120	mm
厚さ	26	mm
圧接力	31.5	kN
質量	1400	g

\*1  $I_c=750A$

### 3. 素子単体の短パルススイッチング特性

最初に素子単体でのスイッチング特性を調査した。評価回路は図3に示した PFN 回路である。本 PFN 回路は特性インピーダンス 0.8 の PFN を 3 並列にしたものである。素子評価実験においては充電電圧と PFN の並列数を変えて IEGT に流れる電流を調整した。

スイッチング波形の例を図4に示す。図4ではスイッチング時のコレクタ・エミッタ間電圧 (VCE) とコレクタ電流 (IC) を示している。また VCE に

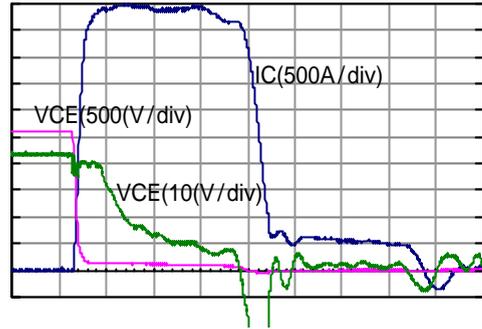


図4 スwitching波形の例 (2 μs/div)

については拡大波形も合わせて示している。

またこの電圧・電流波形より IEGT の損失を評価したところ 3.7J であった。これは充電エネルギーに対して約 7% であり、効率に換算すると 93% であった。

図5に充電電圧を変えたときの電流ピーク値とオン電圧の変化を示す。この結果本試験パラメータの範囲では電流が充電電圧にほぼ比例して増加し、またオン電圧の変化も小さいことから IEGT が健全に動作していると判定できる。

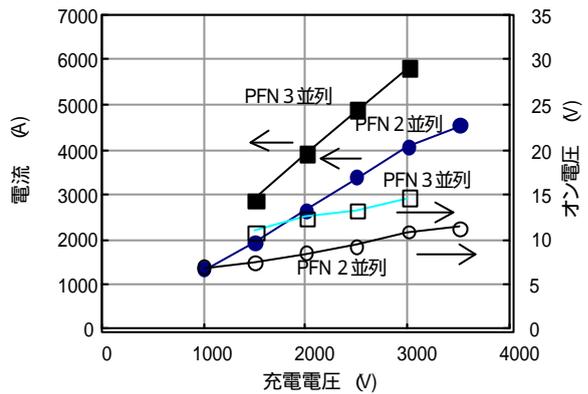


図5 電流ピーク値、オン電圧の充電電圧依存性

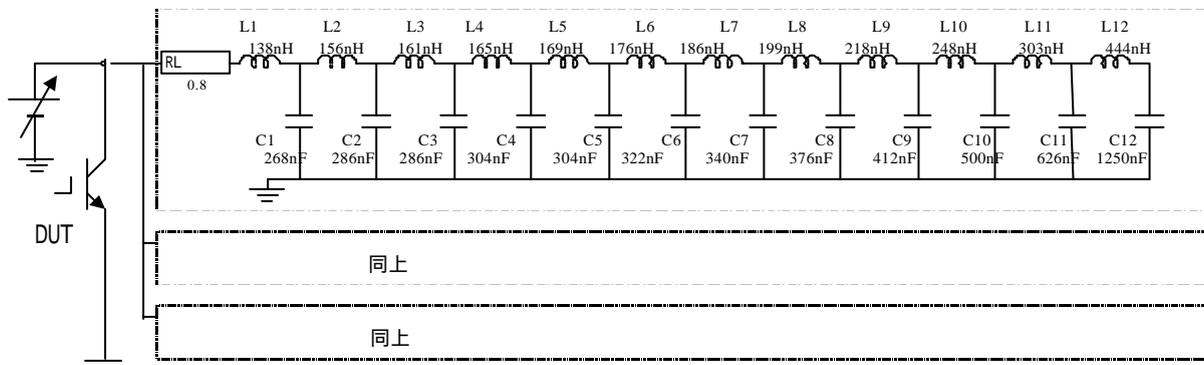


図3 素子単体スイッチング特性評価回路

## 4. IEGT スイッチ

### 4.1 定格

表2に今回製作した IEGT スイッチの設計定格を示す。

表2 IEGT スイッチの定格

項目	値	単位
出力パルス電圧	12.5	kV
出力パルス電流	1248	A
出力パルス幅	10	μs
最大繰り返し	60	pps
出力インピーダンス	10	Ω
PFN 充電電圧	25.0	kV

### 4.2 設計

表2よりスイッチに印加される電圧は最大25kVである。IEGT 素子単体の最大電圧は4.5kVであるがこれは絶対最大定格であり実際の設計にあたっては直流連続印加に対する寿命、分圧アンバランス、ターンオン過電圧などを考慮する必要がある。今回は直列数を10として素子1個あたりの平均電圧が2.5kVとなるようにした。

定格運転時の素子1個あたりの発熱は大型の圧接型パワーデバイスとしてはきわめて小さな値であり自冷とすることも可能であったがフィンを極力小さくすること及び将来的なパワー増強も考慮して強制風冷方式とした。

図6にスイッチの外形を示す。

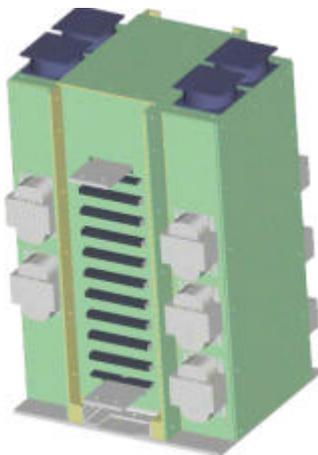


図6 スイッチの外形

## 5. 試験結果

### 5.1 電圧分担

図7に直流印加時とスイッチング時の各素子の分担電圧特性を示す。ここで不平等倍率とは

$$\text{不平等倍率} = \frac{\text{個々の素子の最高分担電圧}}{\text{平均分担電圧}}$$

で定義した。直流分担電圧、過渡分担電圧ともに均等であることが分かった。

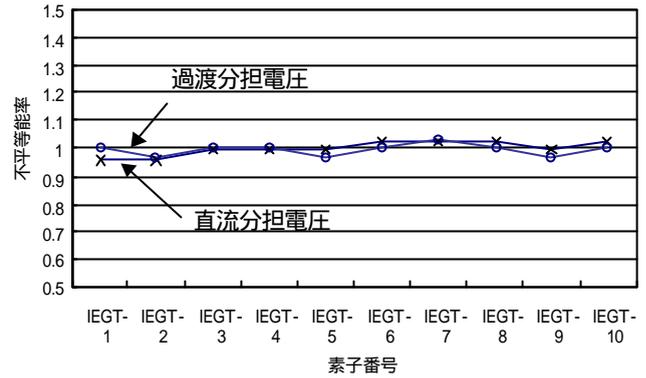


図7 電圧分担特性

### 5.2 スイッチング

図8に模擬負荷を接続し、定格電圧を充電した時のスイッチング波形を示す。

電流の立ち上がり時間は750nsであり十分サイラトロンを置き換えうるほどの性能が得られることが確認できた。なお図6において電流波形の立下り部においてピークがあるのは試験に用いたPFNの固有の特性でありスイッチに起因するものではない。

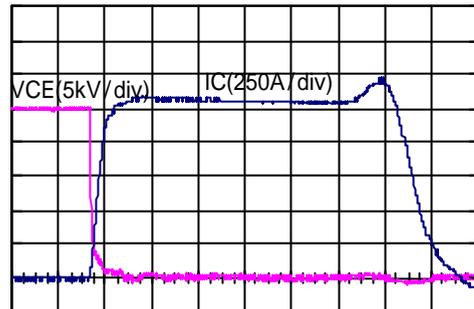


図8 定格電圧印加時のスイッチング波形 (2μs/div)

## 6. まとめ

新しく開発された半導体パワーデバイス IEGT を用いてクライストロンモジュレータ用スイッチを試作し良好な特性が得られることを確認した。本スイッチは現在 Spring-8 の試験用モジュレータに組み込み長期運転評価を行っている。

[1] 松田：「IEGTの開発状況」、電学誌、118巻、p.278、(1998)