UDC 621.382.3.026 : 621.314.6

4.5kV 3,000A 逆導通形 GTO サイリスタ

橋本　理（はしもと　おさむ）　桐畑　文明（きりはた　ふみあき）　高橋　良和（たかはし　よしかず）

1 まえがき

自己消弧素子であるゲートターンオフ（GTO）サイリスタは，その高電圧・大電流の処理能力を生かして，パワーエレクトロニクス分野でのキーデバイスとしての地位を確実なものとしている。

富士電機では，GTO サイリスタをその用途・構造上から，非対称形，逆阻止形，逆導通形の3種類に分けて製品化を行ってきている。**表1** に富士電機の GTO サイリスタの製品系列を示す。非対称形，逆阻止形では，既に世界最大級の4.5kV 3,000A の定格の素子（形名：EFT23-45, EFT06-45, EFT26-45）の製品化が完了している。また，逆導通形では，昭和61年に2.5kV 2,000A の定格の素子（形名：EHS21-25）の製品化に成功して以来，さまざまな応用装置に適用され，装置の小形化，軽量化，コストの低減に貢献している。

そこで，今回，AC モータドライブ用として，更に高耐圧・大電流の4.5kV 3,000A の逆導通形 GTO サイリスタ（形名：EHT21-45）の開発を行い，製品化に成功した。本素子は，高耐圧でありながら，GTO 部とダイオード（Di）部との定常損失が極力小さくなるように pin 構造とし，シリコン（Si）厚さをできるだけ薄くしている。また，アノードショート構造と n^+ バッファ層の最適化を図り，GTO 部の点弧特性を損なわずにスイッチング損失を小さくしている。

表1　富士 GTO サイリスタの製品系列

	非対称形		対称形			逆導通形	
ピークオフ電圧 / 最大可制御電流	2,500V	4,500V	2,500V	3,300V	4,500V	2,500V	4,500V
1,000A	EFP21-25 EFR23-25						
1,500A	EFR24-25						
2,000A			EFR26-25	EFR26-33		EHS21-25	
2,500A		EFT23-45A			EFT26-45A EFT06-45A		
3,000A		EFT23-45			EFT26-45 EFT06-45		EHT21-45

本稿では，今回製品化した4.5kV 3,000A 逆導通形 GTO サイリスタ（EHT21-45）の技術上の特長と，素子の定格・特性について紹介する。

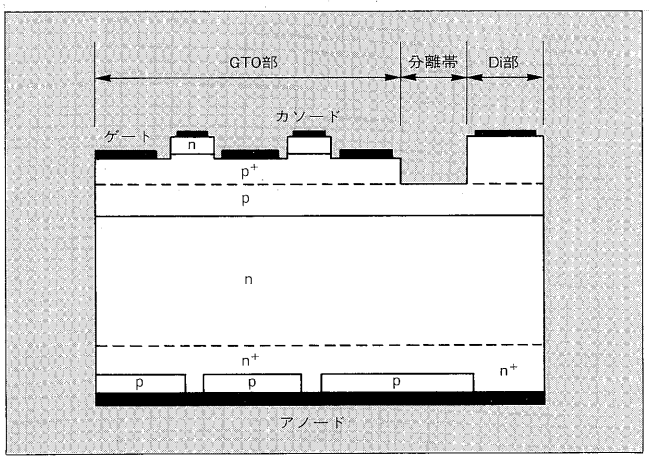
2 技術上の特長

4.5kV 3,000A 逆導通形 GTO サイリスタ（EHT21-45）の断面図を**図1** に示す。GTO サイリスタとフリーホイリングダイオードを同一ウェハ内に複合化するためには，GTO 部とダイオード部の電気的分離及びそれぞれの電気的特性の最適化という二つの問題がある。これに対し，富士電機では，次の三つの技術を確立することにより，これらの問題を解決した。

(1) p ベース層に低濃度の p 層を設けており，GTO 部とダイオード部の電気的な分離のために必要な分離溝をその部分まで掘っている。これにより耐圧と分離抵抗を独自に制御することが可能となり，4.5kV の耐圧と80Ω から120Ω の分離抵抗を確保している。

(2) GTO 部とダイオード部の定常損失とスイッチング損失を低減させるために，pin 構造を採用し，Si 厚さを薄くしており，従来の Si 厚さの素子と比較して，定常損失で約70%，スイッチング損失で約80%になっている。

図1　4.5kV 3,000A 逆導通形 GTO サイリスタの断面図



橋本　理

昭和43年入社。電力用半導体素子の研究・開発に従事。現在，（株）富士電機総合研究所電子デバイス研究所主幹研究員。

桐畑　文明

昭和58年入社。電力用半導体素子の研究・開発に従事。現在，（株）富士電機総合研究所電子デバイス研究所主任研究員。理学博士。

高橋　良和

昭和57年入社。電力用半導体素子の研究・開発に従事。現在，（株）富士電機総合研究所電子デバイス研究所。

(3) pin構造でのn^+バッファ層は，空乏層の広がりを抑える働きだけでなく，アノードショート構造と連動してターンオフの際，蓄積された過剰キャリヤを有効に掃き出させ，ターンオフ損失を低減させる効果がある。しかしながら，この効果は，一方では素子の点弧特性を悪くすることになりうる。そこで，本素子では，アノードショート率とn^+バッファ層の濃度の最適化を図り，ターンオフ損失と点弧特性のトレードオフの関係を十分に考慮している。

3 素子の外観

図2には素子の外観を，**図3**にはエレメントの外観を示す。約85mmϕの大きさのエレメントの中に長さ2.9mm，幅230μmのセグメントが約1,000本，同心円状に配置されている。また，ダイオード部は，GTO部とダイオード部との電気的分離のために設けられた分離帯をはさんで，GTO部の外側に配置されている。

4 定格・特性

富士逆導通形GTOサイリスタの定格と特性を**表2**に示す。今回，製品化した4.5kV 3,000A逆導通形GTOサイリスタは，世界最大の遮断能力を持つ。以下，主な特性について述べる。

図2　素子外観

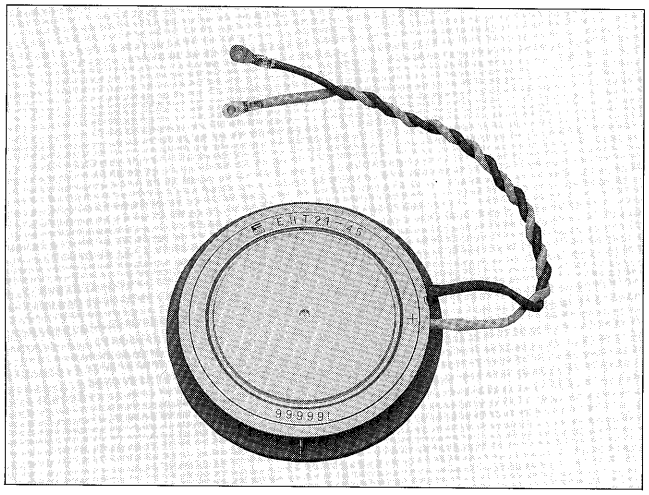


図3　エレメント外観

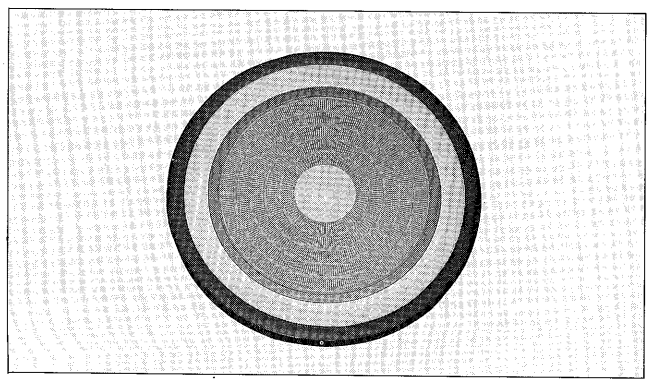


表2　逆導通形GTOサイリスタの定格と特性

項目	記号	単位	逆導通形	
			EHS21-25	EHT21-45
ピーク繰返しオフ電圧	V_{DRM}	V	2,500	4,500
最大可制御電流	I_{TGQM}	A	2,000	3,000
実効オン電流	$I_{T(RMS)}$	A	600(GTO)/600(Di)	1,000(GTO)/1,000(Di)
ピーク1サイクルサージオン電流	I_{TSM}	A	10,000(GTO)/10,000(Di)	16,000(GTO)/16,000(Di)
臨界オン電流上昇率	di/dt	A/μs	300	300
ピークゲート逆電圧	V_{RGM}	V	20	20
接合温度	T_j	℃	−40～125	−45～125
保存温度	T_{stg}	℃	−60～125	−60～125
圧接力		kg	3,000	4,500
最大オン電圧	V_{TM}	V	3.0(GTO)/2.7(Di)	3.0(GTO)/3.0(Di)
ピーク繰返しオフ電流	I_{DRM}	mA	150	150
臨界オフ電圧上昇率	dv/dt	V/μs	1,000	1,500
ゲートトリガ電流	I_{GT}	A	3.0	3.5
ゲートトリガ電圧	V_{GT}	V	1.0	1.0
ターンオン時間	t_{gt}	μs	10	10
ターンオフ時間	t_{gq}	μs	25	25
逆回復電流(Di)	I_{rr}	A	300	350
転流臨界オフ電圧上昇率(Di)	dv/dt)c	V/μs	500	500
熱抵抗(接合－フィン間)	$R_{th(j-f)}$	℃/W	0.03(GTO)/0.04(Di)	0.02(GTO)/0.025(Di)

図4　オフ電圧波形

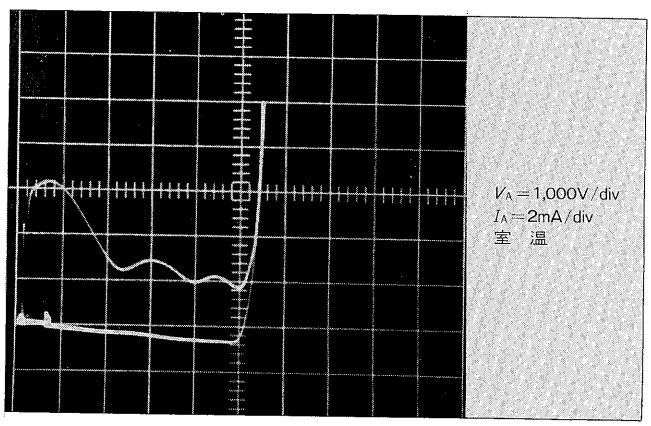


図4に，室温でのオフ電圧特性を示す。5.2kVでアバランシェを示しており，4.5kV定格を十分満足している。

図5に，GTO部とダイオード部のオン電流及び逆電流-電圧特性を示す。両者とも，3,000Aの電流に対して3.0V以下である。

図6に，ゲート電流40A，di_g/dt=10A/μsでのターンオン波形の一例を示す。アノード電圧2,250V，アノード電流3,000Aでのターンオン時間は6μsで，そのときのdi/dtは300A/μsである。

図7に，接合温度125℃での，ターンオフ波形の一例を示す。ピークアノード電圧3,000V，ターンオフ電流3,000Aでのターンオフ時間は15μsであり，そのときのターンオフゲインは約5である。また，試験回路のスナバコンデンサの

図5　オン電流及び逆電流-電圧特性

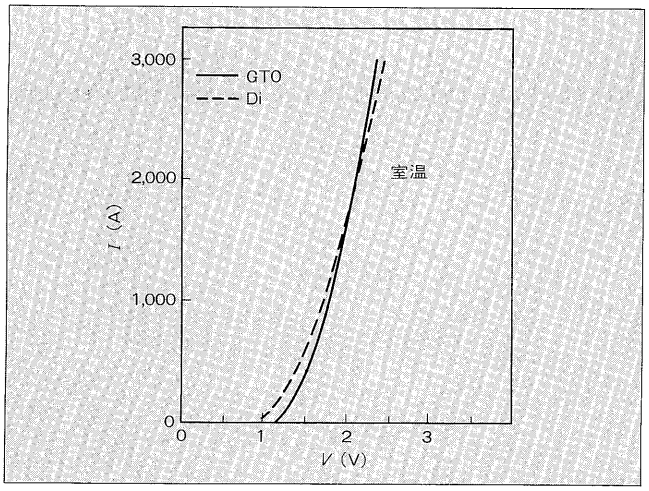


図6　ターンオン波形

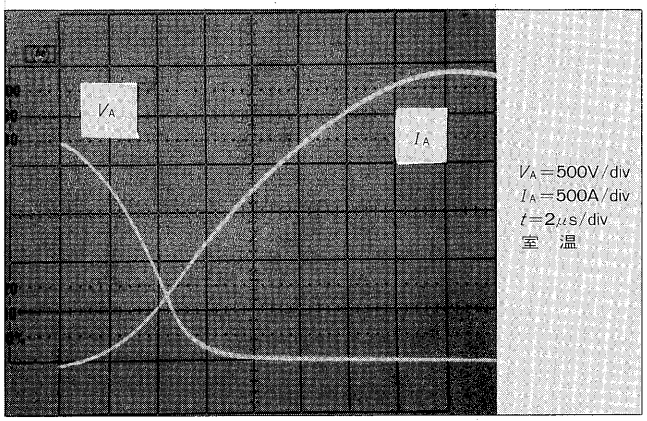


図7　ターンオフ波形

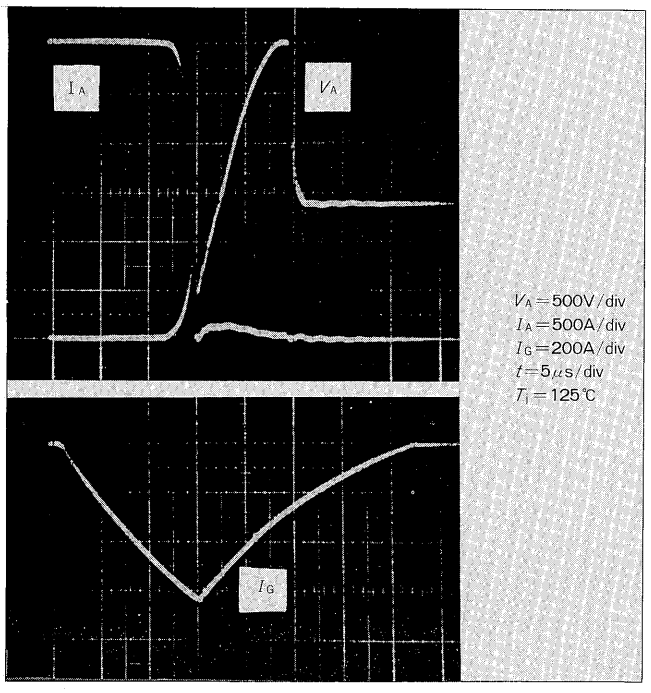
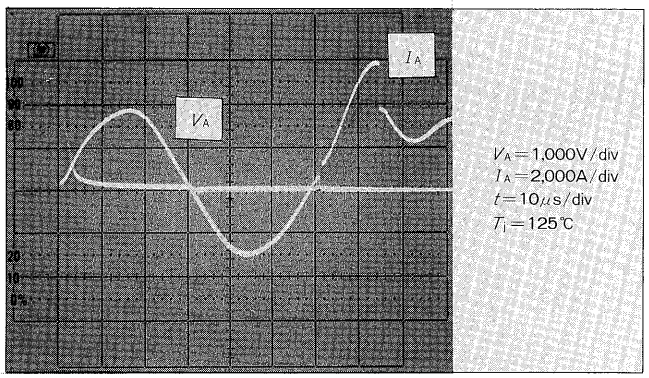


図8　転流波形



容量は6μF，スナバ抵抗は5Ω である。

図8 に，接合温度125℃での転流波形の一例を示す。GTO電流3,300A，ダイオード電流3,000A，ダイオード逆回復時の$-di/dt$は300A/μs である。

5　あとがき

以上，新しく製品化した4.5kV 3,000A 逆導通形GTOサイリスタの特長，定格及び電気的特性について紹介した。本素子が，ACモータドライブ分野を中心とした多くのパワーエレクトロニクス応用装置に適用されることを期待する。

参考文献

(1) 橋本理ほか：富士大電力GTOサイリスタ，富士時報，Vol.59，No.11，pp.731-734（1986）
(2) Hashimoto, O. et al.: 2.5kV 2000A Monolithic Reverse Conducting Gate Turn-off Thyristor, IEEE-IAS 1986 Annual Meeting, pp.318-392（1986）
(3) 高橋良和ほか：2.5kV 2000A 逆導通GTOサイリスタ，電気学会研究会資料，EDD-86-51，SPC-86-83（1986）
(4) 高橋良和ほか：4.5kV 3000A 逆導通GTOサイリスタ，電気学会研究会資料，EDD-87-64，SPC-87-48（1987）
(5) Hashimoto, O. et al.：4.5kV 3000A High Power Reverse Conducting Gate Turn-Off Thyristor, 19th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp.915-920（1988）

＊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。