小特集 最近のパワーエレクトロニクス

最近のGTOサイリスタ Recent Trends of Gate Turn-off Thyristors

近年,省エネルギー化の観点からサイリスタインバータが脚光を浴びてきている が,インバータの高効率化,小形・軽量化のためには高速のスイッチング素子が必 要となる。GTOサイリスタはその機能上,これらの新しい用途に対して有利な性質 を備えているが,各種装置の大容量化に伴い,最近では素子の大電流化,高耐圧化 のシリーズ展開が活発である。

この論文では、日立製作所が最近製品化した1,200V級20A、50A、90A及び200A の高耐圧GTOサイリスタシリーズ、並びに800V級450A、1,600V級600A及び2,500V 級1,000Aの大容量GTOサイリスタの基本的な構造と定格・特性について述べ、更 に1,200V級の高速ダイオードについても紹介する。

桜田的	冬六*	Shûroku Sakurada
松崎	均*	Hitoshi Matsuzaki
池田裕	谷彦*	Yasuhiko Ikeda

日 緒 言

電力制御用半導体素子を適用した省電力化が活発に行なわれているが、電力機器用電源の分野で、近年高速スイッチン グ素子を利用した各種の装置が展開を始めている。なかでも、 自己消弧機能をもつ半導体素子を利用することにより、イン バータの小形・軽量化と高効率化が可能となるため、これら 合)を短絡するため、素子の逆方向耐圧は犠牲になる。しか し、その構造を最適に選ぶと重金属拡散が不要となり、ベー ス層のキャリアライフタイムを高くすることができ、オン電 圧が低い、漏れ電流が小さい、特性の温度依存性が少ない、 などの特長がある。GTOサイリスタの高耐圧化を図るに当た っては、素子の構造上nベース(図2のnB)層を厚くする必要が あるため、オン電圧の低いアノードエミッタ短絡構造の特長 は、更に効果を発揮することになる。

の進歩が著しい。自己消弧機能をもつ半導体素子としては、 パワートランジスタとGTO(ゲートターンオフ)サイリスタと があるが、GTOサイリスタは大電流化と高耐圧化がトランジ スタに比べて容易であるため、そのシリーズ化が最近急速に 進展している。

本論文では、GTOサイリスタの大電流、高耐圧へのシリー ズ化経緯について述べ、更にこれらのGTOサイリスタをイン バータに適用する場合に必要となる、高耐圧、高速のフリー ホイーリング(還流)ダイオードについても言及する。

2 GTOサイリスタ

一般のサイリスタはpnpn4層から成る素子で,動作上はpnp トランジスタとnpnトランジスタの二つに分割される。2種 のトランジスタは図1に示すように、 互いに一方のベースが 他方のコレクタに接続されており, 通流時には相補的に互い のオン状態を保っている。これがサイリスタの自己保持機能 (電流持続能力)の原理である。このため、いったんオン状態 になったサイリスタは、ゲート信号によりターンオフさせる (オフ状態に戻す)ことができない。これに対しGTOサイリ スタは、図1での一方のトランジスタの機能を、オン状態を 保つのに必要な限界まで低下させることによって, 自己消弧 (ゲートターンオフ)機能をもたせたものである。通常のGTO サイリスタは, pnpトランジスタの電流増幅率 app を一般のサ イリスタに比べて小さくしてある。 appの制御法としては、ラ イフタイムキラーである重金属を拡散する方式と、アノード エミッタを短絡する方式,及びこれら両方式の併用法がある。 図2にアノードエミッタ短絡方式の構造¹⁾を示す。この構造で は、オン状態時に電流密度が高くなるnエミッタ(nE)中央部

B GTOサイリスタの大電流化, 高耐圧化

3.1 概 要

図3にGTOサイリスタの開発経緯を示す。'70年代前半はス



直下のpエミッタ(pE)が短絡されており, pエミッタからのホ ールの注入を抑制することによってαpnpを小さくしてある。 アノードエミッタ短絡構造では, pエミッタ接合(図2のJ1接

図| サイリスタの構成 サイリスタはpnpとnpnの2種のトランジスタが,互い にベース~コレクタ間に接続されている構造であり,自己保持機能をもっている。

* 日立製作所日立工場

370 日立評論 VOL. 63 No. 6(1981-6)



図2 アノードエミッタ短絡形GTOサイリスタの基本構造 pェ

図4 ガラスパッシベーション構造(断面図)

ガラスの電荷密度を

ミッタ接合がアノード電極で短絡されている。実際の素子では、この基本単位が多数配列されている。

○側にさせることで界面電界強度を弱め、GTOサイリスタの高耐圧化を達成した。

イッチングレギュレータ,テレビジョン電源回路用の高速ス イッチング素子として,小容量の5~10A級が主流であった のに対し,オイルショック以降の'70年代後半は省電力を指向 したインバータ用として,大電流・高耐圧GTOサイリスタの



実用化が注目される。以下に、日立製作所でのこれらGTOサ イリスタのシリーズ化について、その経緯を説明する。

3.2 中容量1,200V級GTOサイリスタシリーズ

従来の600V級GTOサイリスタ²に加え,400V級電源のインバータ用として,20A,50A,90A,200Aの1,200V級シリーズを製品化した。これらの特長は、パッシベーションガラスの電荷密度制御とそれに伴うSi-ガラス界面の最大電界強度の低減により、高耐圧化を達成したことにある。図4はGTOサイリスタのガラスパッシベーション部の断面図である。順耐圧を印加すると図4に示すように、Si内部と表面に空乏層が形成される。ガラスの電荷密度を一にすると、空乏層はモート(溝部)に沿って伸びるため、J2接合付近の表面電界強度極大値EJ2は低くなる。電荷密度を更に一側に変化させると、空乏層はn+層に達し、ここに第2の表面電界強度極大値En⁺を発生させる。このEn⁺はガラスの電荷密度が一側になるにつれて増大する。これらをまとめて示したのが図5であり、ガラスの電荷密度の最適調整によって、表面電界強度を最小にする(高耐圧化)ことが可能である。

一方,GTOサイリスタの動特性は,pベース(pB)層の内部 抵抗に大きく依存し,オン状態電圧,ゲート駆動電流とスイ ッチング時間などのトレードオフが決まる。この内部抵抗 は,pベース層の不純物濃度にほぼ逆比例するので,これを 制御するため,本素子には精密な拡散プロセスが採用されて いる。



図3 GTOサイリスタの可制御電流, 定格電圧の推移(国内) スイッチングレギュレータ, テレビジョン電源回路用の小容量の素子からイン バータ用の中・大容量素子へのシリーズ展開が進んできている。

2

中容量1,200V級GTOサイリスタシリーズの定格と特性を, 表1に示す。

3.3 大容量GTOサイリスタシリーズ

大容量GTOサイリスタは, 50~数100kVAのインバータに 対応して開発したものである。現在最大容量のものは, 2,500

最近のGTOサイリスタ 371



図5 ガラスの電荷密度による表面電界強度の変化 ガラスの電荷 密度を最適化することによって、表面電界強度が最小になり、したがって、高 耐圧化が達成される。

図 6 2,500V, 1,000A級GTOサイリスタのペレットバターン 多数のエミッタが、四重リングの放射状に並列配置されている。

V, 1,000A級GTOサイリスタがある。素子の構造は図6に示 すように、多数のエミッタを直径40mmのシリコン単結晶内に 並列配置したものである。図7に定格電流しゃ断時の各種電流 波形, 電圧波形を示した。1,000Aしゃ断に限っていえば更に 小形の直径30mmGTOサイリスタでも可能であるが,素子の 径は要求される実効電流定格によって決められる。表2に他 の素子も含めて大容量GTOサイリスタシリーズの定格・特性 を示す。

オン状態電圧はいずれも2.0V以下である。これらの素子も すべて重金属拡散を廃止したアノードエミッタ短絡構造を採 用しており、この方式が大容量GTOサイリスタでも高耐圧化 と低損失化に適していることを確認した。

1,200V級GTOサイリスタシリーズの定格と特性 素子はす 表丨 べて重金属ドーピング廃止プロセスを採用した。

		=7	Æ		形	仧	* 6
	項目	記号	単位	GFT 20B12	GFT 50B12	GFF 90B12	GFF 200B12
	オフ電圧	V _{DRM}	V	1,200	1,200	1,200	1,200
定	可制御電流	I _{TCM}	А	20	50	90	200
	実効電流	I _{T(RMS)}	А	7	18	30	70
格	サージ電 流	I _{TSM}	А	60	120	240	600
	ゲート逆電圧	V _{GRM}	А	13	13	13	13
	接合温度	Ţj	ĉ	-40~ 125	-40~ 125	-40~ 125	-40~ 125
	オン電圧	V _{TM}	V	3.7	3.9	3.5	3.8
特	ゲート点弧電流	I _{GT}	mA	150	300	400	800
	ターンオン時間	t _{GT}	μs	8	8	8	8
性	ターンオフ時間	t _{GQ}	μs	9	9	9	9
	熱抵抗	R _{θJC}	°C/W	2.5	1.3	0.7	0.4



ゲート電流 (200A/Div.) 注:アノード電圧 (500V/Div.) 間 (5µs/Div.) 時 アノード電流 (200A/Div.) 図7 ターンオフ電流波形と電圧波形 I,000A定格電流を,約200Aの ゲート電流でしゃ断した(ターンオフゲイン 4~5)。フォールタイムは,5µs内である。

3

372 日立評論 VOL. 63 No. 6 (1981-6)

表2 大容量GTOサイリスタシリーズの定格と特性 素子はすべて 重金属ドーピング廃止プロセスを採用した。

表 3	Ⅰ,200V級高速ダイオードの定格と特性	E 表IのGTOサイリス
タに対応	ちするフリーホイーリングダイオードとして,	適用可能である。

	та р	記	単	形		定	
	<u></u>	号	位	GFP 450A8	GFP 600C16	GFP 1000B25	
	オ フ 電 圧	V _{DRM}	V	800	1,600	2,500	
定	可制御電流	Ітсм	А	450	600	۱,000	
	実 効 電 流	I _{T(RMS)}	А	200	270	400	
	サージ電流	ITSM	А	3,000	6,000	7,000	
格	ゲート逆電圧	V _{GRM}	V	13	16	16	
	接合温度	Tj	Ĵ	-40~125	-40~125	-40~125	
	オン電圧	V _{TM}	V	2.0	1.8 _{TYP}	1.8 _{TYP}	
特	ゲート点弧電流	I_{GT}	А	2.0	0.6TYP	0.6TYP	
	ターンオン時間	t _{GT}	μs	6	10	10	
性	ターンオフ時間	t _{GQ}	μs	10 -	15	25	
	熱抵抗	R _{θJC}	℃/W	0.16	0.07	0.05	

4	7	リー	ホイ	ーリ	ンク	ダイ	オー	ド

	項目	后	単	形		式	
		号	位	DFTIOB	DFF20B	DFF50B	
定	尖頭逆電圧	V _{RSM}	V	1,200	1,200	1,200	
	平均順電流	Io	А	10	20	50	
格 -	サージ電流	I _{TSM}	А	50	100	250	
	接合温度	Tj	Ĵ	-40~125	-40~125	-40~125	
特	順電圧降下	V_{TM}	V	2.2	2.2	2.2	
	逆回復時間	trr	μs	1.0	1.0	1.0	
	熱抵抗	R _{ØJC}	℃/W	Ι.5	0.9	0.6	

荷によりGTOサイリスタに瞬時的な過電流が流れるが、この 過電流ピーク値を小さくするためには、フリーホイーリング ダイオードの逆回復電荷を少なくする必要がある。ダイオー ドの逆回復電荷の調整には,素子のライフタイムを短くして 逆回復時間を早める方法が用いられるが, この方法では通電 時での素子の順電圧降下が大きくなる。このため、フリーホ イーリングダイオードの適用に際しては、逆回復時間による スイッチング損失と,順電圧降下による順方向オン損失との 相反する両者の最適化を考慮する必要がある。今回開発した 1,200V級高速ダイオードは、GTOサイリスタと並列にしてイ ンバータ回路に適用した場合を想定し、スイッチング損失と順 方向オン損失の和である全損失が小さくなるようにライフタイ ムを調整して、効率の最適化を図った。また、これらのダイ オードにも前述のガラスパッシベーション構造が採用されて いる。表3にそれらの諸特性を示す。

GTOサイリスタをインバータ回路に適用する場合、出力電 流を平滑化するためフリーホイーリング(還流)ダイオードが 用いられる。図8はその基本回路構成を示したもので、GTO サイリスタとは逆並列に挿入される。GTOサイリスタがター ンオンする際に、フリーホイーリングダイオードの逆回復電



フリーホイーリングダイオードは図8に示したように、GTO サイリスタと逆並列にして使用されるため、両者を一体化し て一つのパッケージに収めたモジュールの開発や、両者を1 チップ内に集積した逆導通形GTOサイリスタの開発などが, 今後の展開として予想される。

5 結 言

参考文献

重金属拡散を採用しないpエミッタ短絡構造により,一連 のGTOサイリスタシリーズを製品化した。200Aまでの中容 量素子は、特長あるガラスパッシベーション構造と精密拡散 により、1,200Vの高耐圧化を達成した。一方、1,000Aまでの 大容量素子は同様な拡散方式を採り入れ、ペレット径を極小 化して大電流化,高耐圧化を実現した。また,GTOインバー タ応用を考慮した1,200V級中容量フリーホイーリングダイオ ードをも開発した。これらの製品化により、今後GTOインバ ータの展開, 普及が更に急速に進むものと考えられる。

図 8 GTOサイリスタとフリーホイーリングダイオードの基本回路 構成 インバータ回路に適用する場合,フリーホイーリングダイオードがGTOサ イリスタと逆並列に挿入される。

4

T.Nagano, et al. : High-power Low-forward-drop Gate 1) Turn-off Thyristor, IEEE Conference Record '78 Industry Applications Society, pp. 1003~1006. Y. Ikeda, et al. : Gate Turn-off Thyristor and Drive 2) Circuits HITACHI REVIEW Vol. 29, No. 3, pp. 127~ 130. (June 1980)