

低損失超高速ダイオード

*佐野 義郎(さの よしお)

① まえがき

近年、LSI、CPUの発達とその適用技術の発展による電子装置の応用分野は更に拡大している。これら電子装置の安定化電源として、スイッチング電源は適用範囲の拡大と小形化や効率の向上など性能の改良が盛んに行われている。これに伴い、スイッチング電源の高周波整流に用いられる高速ダイオードにおいても、種々の特性・性能の向上や系列化が行われてきた。

このたび、スイッチング電源用高速ダイオードとして、順電圧降下0.86V (typ.)、逆回復時間30ms (typ.)の逆耐圧200Vの低損失超高速ダイオード(LLFRD)の開発を完了した。

ここでは、ショットキーバリアダイオード(SBD)をはじめ、富士電機が製品化してきた各種の高速ダイオードと今回開発したLLFRDの特性について比較し紹介する。

② 高速ダイオードの種類

スイッチング電源は電子装置の省電力化・小形化とともに、軽量化・高効率化が要求され、スイッチング周波数は従来の20kHz~50kHzから、現在では100kHzが主流になっている。更に200kHz~500kHzのスイッチング電源の製品化研究がなされており、高速ダイオードのスイッチング

特性のより高速化や低損化が行われている。

富士電機の高速ダイオードは、スイッチング電源の各種要求に対し豊富な機種群と電流系列を完備しており、表1はこれら高周波整流用に使用される高速ダイオードの機種群と、その主要特性を示したものである。

表2は、これらの機種がスイッチング電源の出力電圧やスイッチング周波数に対し、どのように適用されているかを示している。今回開発を行ったLLFRDは、100kHz以上のスイッチング周波数で出力電圧24Vを主体に適用されるものである。

③ LLFRDの特性

従来タイプの高速ダイオードは、シリコンの拡散形pn接合で作られている(本稿では、pn接合形の高速ダイオードをFRDと呼ぶ)が、

- (1) 順電圧降下が1.1Vくらいであり、素子間のばらつきが大きい。
- (2) 逆回復時間がまだ長く、ロット間でばらつく。などの問題がある。これに対し、
- (1) エピタキシャル形シリコンウエハの適用と拡散プロファイルの検討
- (2) 拡散技術の改善、精度の向上による順電圧降下、逆回復時間のばらつきの減少

表1 高速ダイオードの機種群

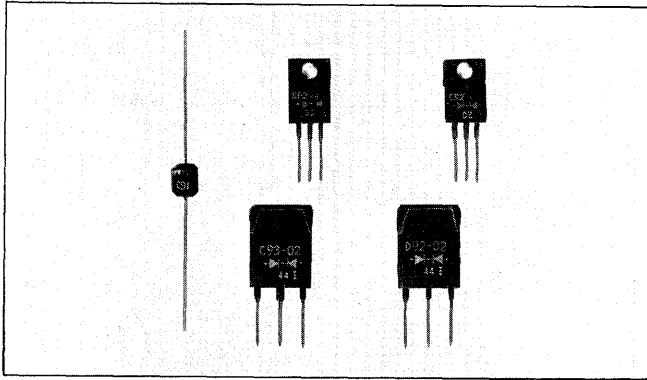
機 種 群 特 性	S B D		F R D		
	40V SBD	90V SBD	低損失超高速ダイオード (LLFRD)	超高速ダイオード (100 ns FRD)	高速ダイオード
逆回復時間 (typ.)	約30 ns	約30 ns	30 ns	65 ns	200 ns
順電圧降下 (typ.)	0.48 V	0.8 V	0.86 V	1.2 V	1.05 V
定格ピーク繰返し逆電圧	40 V	90 V	200 V	200 V	200 V, 400 V

表2 各種高速ダイオードのスイッチング電源への適用例

スイッチング周波数 電源出力電圧	現 在			将 来
	~ 40 kHz	~ 100 kHz	100 kHz以上	
2 V, 3 V	40 V SBD	40 V SBD	40 V SBD (低V _F 化が必要)	
5 V, 6 V	40 V SBD	40 V SBD	40 V SBD	
9 V, 12 V	200 V FRD	90 V SBD	90 V SBD	
24 V	200 V FRD	200 V, 100 ns FRD	LLFRD	
48 V	400 V FRD	200 V, 100 ns FRD × 2	(400 V FRDの超高速化が必要)	

*松本工場 第二製造部

図1 LLFRDの外観



(3) 順電圧降下、逆回復時間及び逆耐圧の最適条件の設定並びに高濃度ライフタイムキラー拡散技術の確立などにより、200V LLFRDの製品化がなされた。これらの製品の電流系列は3Aリード形、5A、10A TO-220形ツインタイプ及び12A、20A TO-3P形ツインタイプがあり、素子外観を図1に示す。また、これらの定格特性を表3に示す。

図2、図3に、10A LLFRDのESAC 92-02の順方向特性及び逆方向特性の代表例を示す。

以下、ESAC 92-02と電流容量的に同一クラスの40V SBD ESAC 82-004、90V SBD ESAC 85-009、100ns

図2 ESAC 92-02 順方向特性

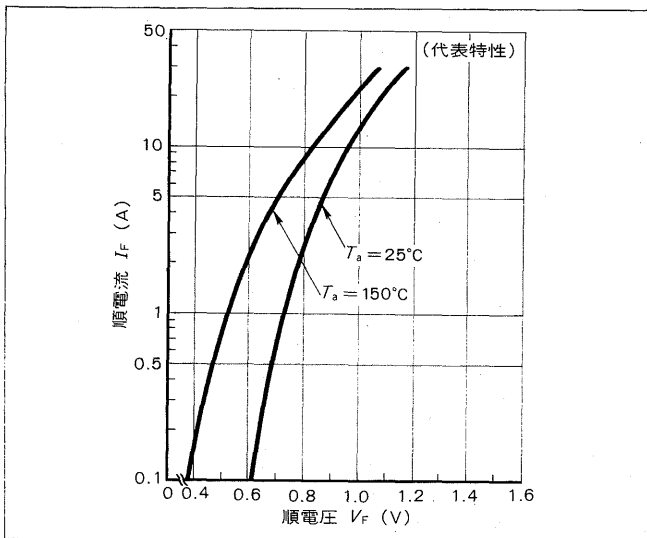


図3 ESAC 92-02 逆方向特性

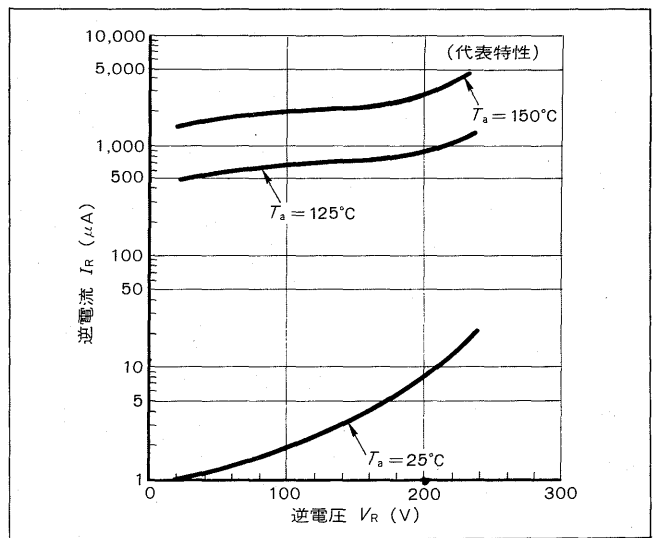


表3 LLFRDの特性表

項目	形式 記号	ERC91-02		ESAB92-02		ESAC92-02		ESAC93-02		ESAD92-02		単位	
		条件	規格値	条件	規格値	条件	規格値	条件	規格値	条件	規格値		
最大 定 格	ピーク繰返し 逆電圧	V_{RRM}	200		200		200		200		200	V	
	ピーク非繰返し 逆電圧	V_{RSM}	200		200		200		200		200	V	
	平均出力電流	I_{FAV}	$T_a = 25^\circ\text{C}$ 冷却体付	3.0	矩形波 duty=1/2	5	矩形波 duty=1/2	10	矩形波 duty=1/2	12	矩形波 duty=1/2	20	A
	サージ電流	I_{FSM}	正弦波 10ms	50	正弦波 10ms	25	正弦波 10ms	50	正弦波 10ms	60	正弦波 10ms	100	A
	接合温度	T_j		-40~150		-40~150		-40~150		-40~150		-40~150	°C
	保存温度	T_{stg}		-40~150		-40~150		-40~150		-40~150		-40~150	°C
電気 的 特 性	順電圧降下	V_{FM}	$I_F = 3.0A$	0.95 max.	$I_F = 2.5A$	0.95 max.	$I_F = 5.0A$	0.95 max.	$I_F = 6.0A$	0.95 max.	$I_F = 10.0A$	0.95 max.	V
	逆電流	I_{RRM}	$V_R = 200V$	100 max.	$V_R = 200V$	100 max.	$V_R = 200V$	100 max.	$V_R = 200V$	100 max.	$V_R = 200V$	200 max.	μA
	逆回復時間	t_{rr}	$I_F = 0.1A$ $I_R = 0.2A$	35 max.	$I_F = 0.1A$ $I_R = 0.2A$	35 max.	$I_F = 0.1A$ $I_R = 0.2A$	35 max.	$I_F = 0.1A$ $I_R = 0.2A$	35 max.	$I_F = 0.1A$ $I_R = 0.2A$	40 max.	ns
内部結線	—	シングル形		ツインタイプ(カソードコモン)				ツインタイプ(カソードコモン)					
外形図	—											mm	

FRD ESAC 33-02 CS 及び 400ns FRD ESAC 25-02 C との特性比較を行う。

(1) 順方向特性

図4は各種高速ダイオードの順方向の特性を示している。LLFRDのESAC 92-02は従来の200V FRD ESAC 33-02 CS と比べ、ほぼ同じ0.6Vくらいの立上り電圧を持っているが、電流の大きな領域の順電圧降下が、約20%改善されている。これがLLFRDの一つの特長である。

他方、SBDは順方向電圧の立上り電圧が0.3Vと低く、40V、90Vとも低い電圧降下である。

(2) 逆方向特性

図5に40V SBD、90V SBD、LLFRDの逆方向特性を示す。LLFRDのアバランシェ電圧は約260Vである。なお、通常のFRDは500~600Vのアバランシェ電圧を有している。

(3) 逆回復特性

図6、図7に各種高速ダイオードの逆回復電流波形を示す。図6(b)は図6(a)の拡大写真である。このようにLLFRDは40V SBD、90V SBDと同程度の逆回復性を示し、逆回復時間(t_{rr})30nsと通常のFRDや100ns FRDに対し、スイッチング特性が大幅に改善されていることがわかる。これがLLFRDの二つ目の特性である。一方、高温動作においては、図7に示すように、 t_{rr} が長くなる所がpn接合形の問題点である。しかしLLFRDでは45nsに t_{rr} が延

図4 各種ダイオードの順方向特性

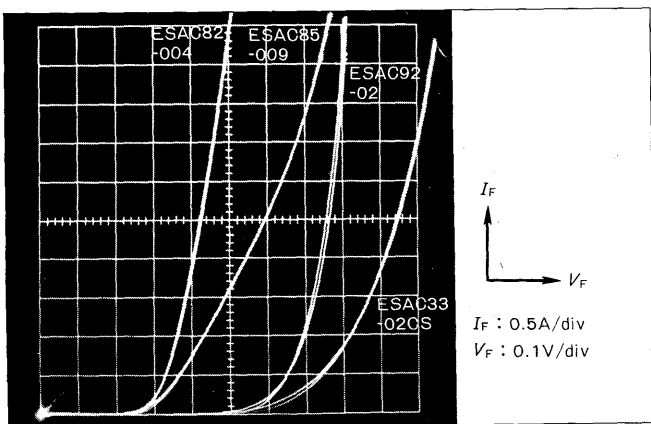
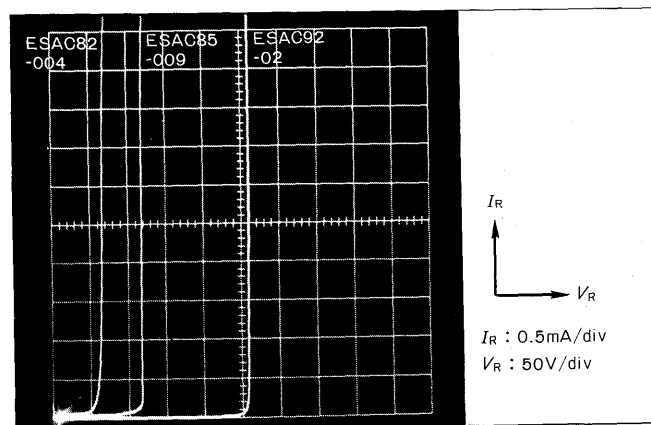


図5 各種ダイオードの逆方向特性



びているが、100ns FRDの約1/3の逆回復時間であり、その高速性は十分生きている。SBDには、逆回復特性の温度依存性がないのが高周波整流における最大の特長と言える。

(4) 順回復特性

各種高速ダイオードの順回復特性の一例を図8に示す。pn接合形ダイオードにおいては、一般にアバランシェ電圧が高いほど順回復電圧、順回復時間は大きくなる。SBDの順回復特性は主として素子内部配線のインダクタンスが支配的であると考えられる。LLFRD、SBDにおいては順回復時間は約50nsである。順回復特性によるノイズや損失は素子に流れる電流幅が数 μ s、特に1 μ s以下のときやリングチョークコンバータなど素子に加わる電圧の立上りが速いパルス整流のときには無視できなくなるので、注意が必要である。

(5) 損失特性

図9に各種ダイオードの発生損失の周波数特性を示す。

図6 逆回復電流波形 (25°C)

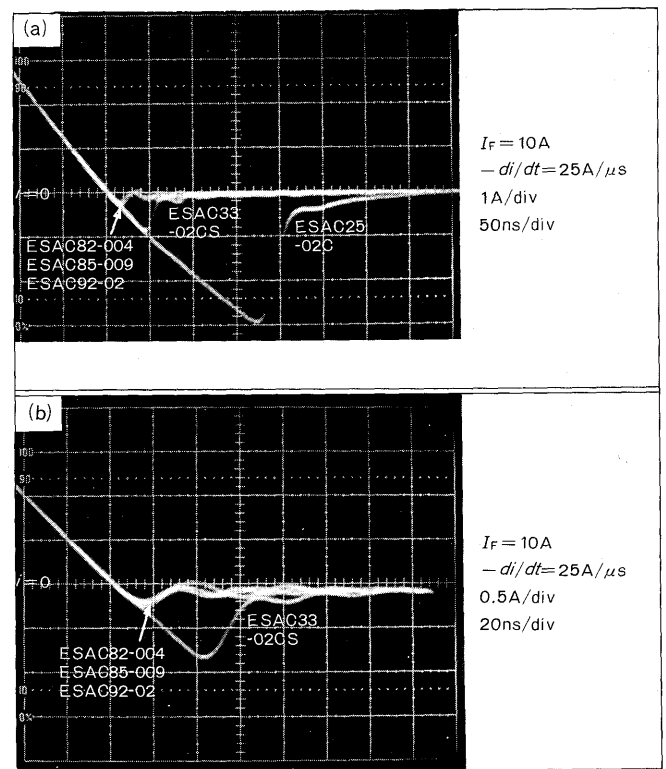


図7 逆回復電流波形 (100°C)

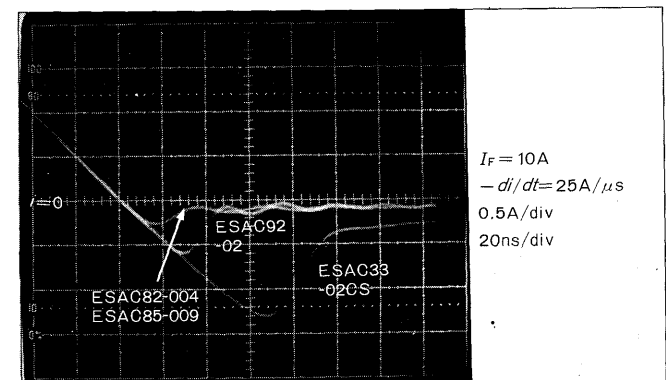


図8 各種ダイオードの順回復電圧波形

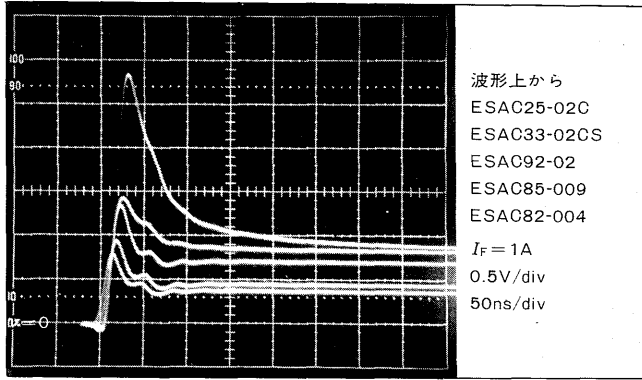


図9 発生損失のスイッチング周波数特性

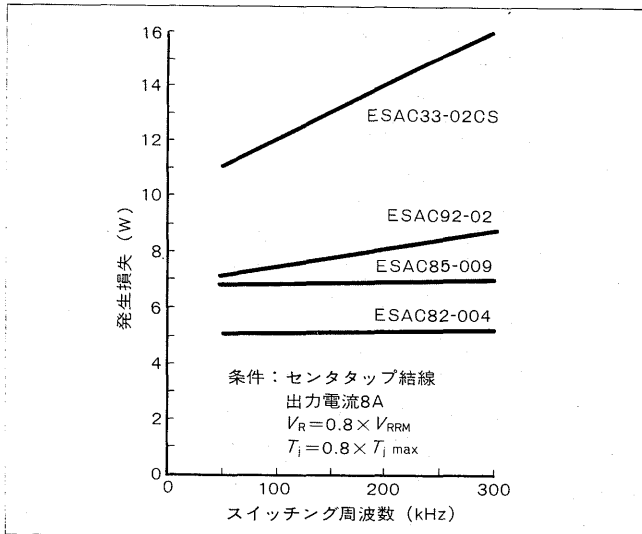


図10 ESAC 92-02 温度サイクル試験結果

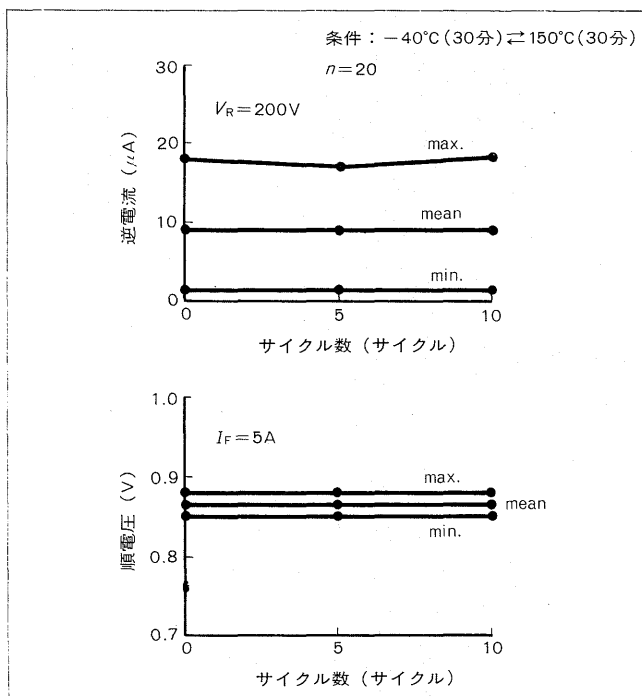


図11 ESAC 92-02 高温電圧印加試験結果

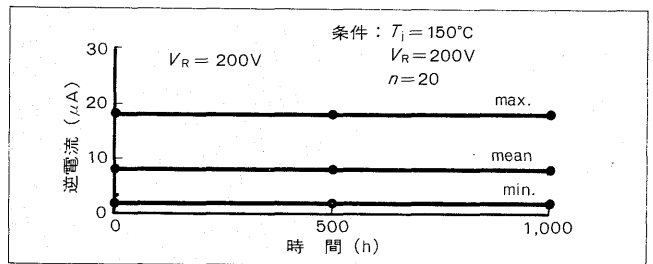


図12 ESAC 92-02 湿中放置試験結果

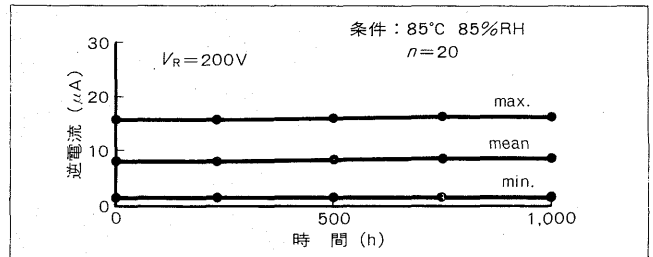
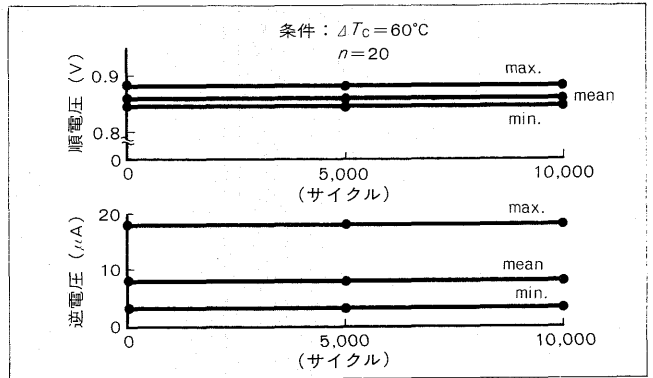


図13 ESAC 92-02 断続通電試験結果



のダイオード発生損失を低減できる。

40V, 90VのSBDはスイッチング損失はごく小さく、周波数依存性はほとんど見られない。

④ LLFRDの信頼性

ここで紹介したLLFRDの製品化に対して各種信頼性評価試験を実施し、その十分な信頼性を確認した。これらの信頼性評価項目のうち、温度サイクル、高温電圧印加、湿中放置、断続通電の各試験結果を図10～13に示す。

⑤ あとがき

逆耐圧200VのLLFRDの紹介を行った。これらの素子は、スイッチング電源のより高周波化に対し有効に使用されるものと考えている。今後、更に逆耐圧の向上や、出力電圧2～3V用の低損失ダイオードなど、高速ダイオードに要求される技術課題は多く、更に研究開発により一層の充実を図りたいと考えている。

今後も品質及び特性向上に十分留意する次第であり、需要家各位の御指導・御鞭撻をお願いする次第である。

LLFRDは100ns FRDに対し、周波数に対する損失の増加率が小さく、発生損失も小さいことがわかる。100kHzではLLFRDは100ns FRDの約40%、300kHzで約45%



*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。