

高速ダイオード

Fast Recovery Diodes

波多腰英文* Hidefumi Hatakoshi・佐野義郎* Yoshio Sano

I. まえがき

電源の効率改善, 小形軽量化を旨として, スイッチング方式の電源が開発, 製品化されている。そして少資源, 省エネルギーが叫ばれる昨今, この方式を用いた電源は民生用機器等に広く適用されるようになり, 需要が急激に増加してきている。

当社においても, 10年位前からこれらのスイッチング方式の電源に使用する高速ダイオードやショットキーバリアダイオードを製品化し, 高い評価を得ている。しかし, 最近の高周波整流用ダイオードの需要分野増大に伴い, 電流容量, 耐圧, 回復時間などの性能及び各種の形状について, 一層の系列拡大, 低コスト化の要求が高まってきている。これらの要求に応ずるため, 従来のリード, スタッド, キャン形的高速ダイオード系列に加えて, 次のような新系列を取りそろえた。

(1) ダイオード高周波化に対し,

- ① 樹脂モールド形ショットキーバリアダイオードの系列化
- ② 逆回復時間 100 ns 以下のダイオードの系列化
- ③ 順回復時間が短く, 過渡せん頭順電圧降下の低いダイオードの開発

(2) 形状の多様化に対し,

- ① リード形系列拡大
- ② TO-220AB (通称 TO-220) の系列化
- ③ TO-228 (通称 TO-3P) の系列化

本稿では, これらの系列についての紹介を行う。

II. 新系列高速ダイオード

スイッチングレギュレータのスイッチング周波数は, 従来数十 kHz での駆動が主であったが, 一層の小形化, 高性能高効率化を達成するために, 100 kHz 以上の周波数での駆動が検討されている。このような高周波でダイオードを用いる場合, 特に問題になるのは, キャリア蓄積現象である。これは, 急激に順バイアスから逆バイアスになったときの逆方向回復現象と, 急激に順バイアスされたときの順方向回復現象として観察される。実際に際しては, これら回復時間が問題となり, 高周波になるに従って影響の割合が大きくなる。これに対処するために, 機能動作の異なる次の3種類のダイオードを開発製

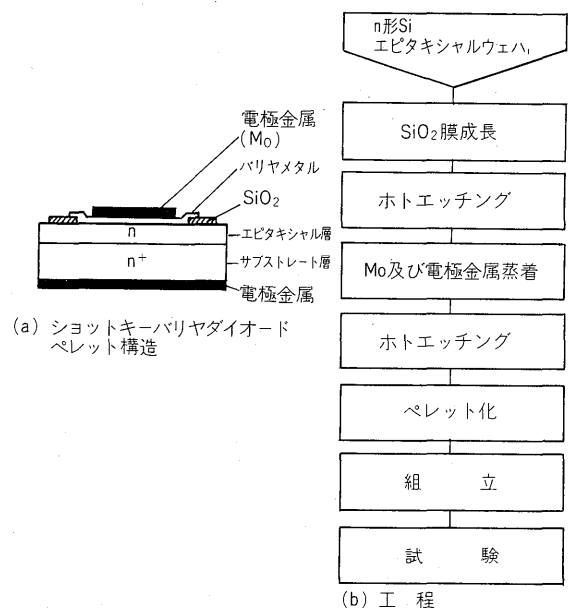
品化している。

- (1) 電流担体が多数キャリアだけであるため, 回復時間が問題とならないショットキーバリアダイオード(SBD)。
- (2) 最適設計の pn 接合を形成した後, ライフタイムキャリアを拡散させ, キャリアの再結合速度を速め, 逆回復時間を 100 ns 以下にしたダイオード。
- (3) 電流の立上りが急しゅんなパルスに 응답できるような接合構造設計をし, 順回復時間を速め, 過渡せん頭順電圧降下を低くした pn 接合ダイオード。

これらのダイオード新系列は, 市場から強い要求のある低価格化に対処するため, すべて樹脂モールド形で系列化し, 直材の低減及び工程の簡単化, 短縮化を図り, コスト低減を行っている。第1表に従来の形式も含めた高速ダイオードの系列を示す。

1. ショットキーバリアダイオード

ショットキーバリアダイオードは, 順電圧降下が pn 接合形に比べ約半分の 0.5 V 位であり, せん頭逆耐電圧が 40 V である特長を生かして, 主に, 出力電圧が 5 ~ 6 V のスイッチング電源に使用されている。主な用途は, テレビ, ビデオテープレコーダ, 音響機器などの民生分野をはじめ, 従来 Ge ダイオードが使用されていた分野に,



第1図 ショットキーバリアダイオード, ペレット構造及び工程

Fig. 1. Structure of Schottky barrier diode and manufacturing process

* 松本工場 第二製造部

第1表 高速ダイオード系列表

Table 1. Fast recovery diode series

系列	形式	新系列	平均順電流* $I_{F(AV)}$ (A)	逆回復時間 t_{rr} (μ s)	順電圧 V_{FM} (V)	せん頭逆電圧 V_{RRM} (V)								外形	
						50	100	200	400	600	1300	1500	2000		
高速整流ダイオード	ERB 28		0.5	0.4	2.0				○	○					リード線径 ϕ 0.8
	ERB 28(D)		0.5	1.0	1.1				○	○					リード線径 ϕ 0.8
	ERB 29		0.8	4.0	1.1			○	○						リード線径 ϕ 0.8
	ERB 24(C)		1.0	0.7	1.1				○	○					リード線径 ϕ 0.8
	ERB 24(D)		0.7	1.0	1.1				○	○					リード線径 ϕ 0.8
	ERC 24		1.0	0.4	1.1				○	○					リード線径 ϕ 0.8
	ERC 25		1.2	0.4	1.1				○	○					リード線径 ϕ 1.0
	ERC 46		1.5	0.5	1.3			○	○						リード線径 ϕ 1.2
	ERD 28		1.5	0.4	1.1				○	○					リード線径 ϕ 1.2
	ERD 29		2.5	0.4	1.1			○	○						リード線径 ϕ 1.8
	ERC 33	○	0.8	100 ns	1.2			○							リード線径 ϕ 0.8
	ERD 33	○	2.0	100 ns	1.2			○							リード線径 ϕ 1.8
	ERB 26		0.2	4.0	3.0								○		リード線径 ϕ 0.8
	ERC 26		1.5	4.0	1.5						○	○			リード線径 ϕ 1.2
	ERC 27		1.0	4.0	1.5						○	○			リード線径 ϕ 0.8
	ERB 30		1.0	4.0	1.2						○	○			リード線径 ϕ 0.8
スタッド形	ERD 75		20	0.3	0.95	○	○	○						ねじ径 M5	
	ERE 75		30	0.3	0.95	○	○	○						ねじ径 M6	
	ERG 75		45	0.3	0.95	○	○	○						ねじ径 M8	
	ERD 24, ERD 74		12	0.3	1.3	○	○	○	○					ねじ径 M5	
	ERE 24, ERE 74		20	0.3	1.3	○	○	○	○					ねじ径 M6	
	ERG 24, ERG 74		30	0.3	1.3	○	○	○	○					ねじ径 M8	
ツイン形	ESAC 25(C, N, D)	○	5.0	0.5	1.3			○	○					モールド形 TO-220	
	ESAD 25(C, N, D)	○	15	0.5	1.3			○						モールド形 TO-3P	
	ESAC 33(C)	○	4.0	100 ns	1.4			○						モールド形 TO-220	
	ESAD 33(C, D)	○	10	100 ns	1.5			○						モールド形 TO-3P	
	ESAC 75		8	0.3	0.90	○	○	○						キャン形 TO-66	
ESAD 75		16	0.3	0.95	○	○	○						キャン形 TO-3		

注) *: ツイン形の素子では平均出力電流 I_0 を示す。

省エネルギー、高効率高周波整流用ダイオードとして需要が急増してきている。

第1図に、ショットキーバリアダイオードのペレット構造と製造工程の概要を示す。

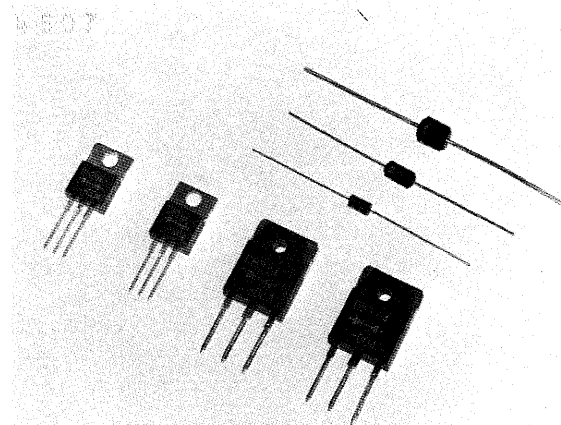
1) シリコン基板

シリコン基板は、順方向電圧降下を小さくするため、エピタキシャルウェハを使用している。エピタキシャル成長層の厚さは、順方向電圧降下及びサージ耐量の検討をもとにして定め、厳密にコントロールしている。

2) バリヤメタル

シリコンと金属を接合させて、ショットキーバリアを形成するためのバリヤメタルとして、モリブデンを使用している。素子の性能及び信頼性向上対策として、オーバオキサイド構造を採用し、特性の安定化を図っている。

このようなペレットを使用し、従来のスタッド、キャン形の系列に加えて、リード形樹脂モールドと樹脂モールドツイン形のショットキーバリアダイオードの系列化を行ったので、この系列を第2表に、新系列についての



第2図 新しいショットキーバリアダイオード系列の外観写真

Fig. 2. Photograph of new Schottky barrier diodes

外観写真を第2図に示す。

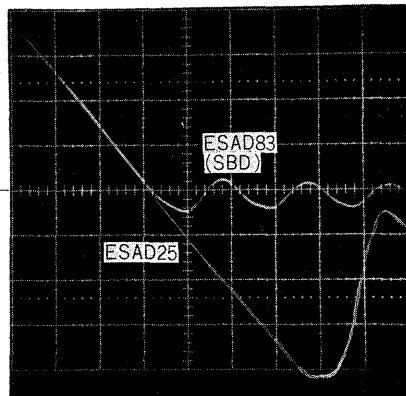
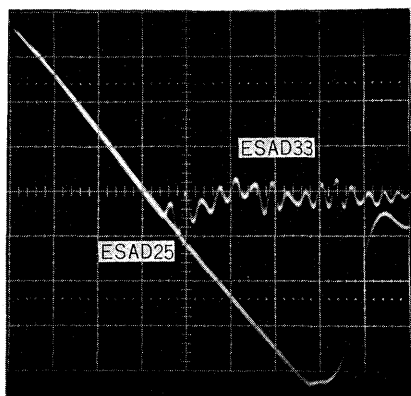
2. 逆回復時間の短いダイオード

スイッチング周波数の上昇に伴って、逆回復時間の短いダイオードの要求が強くなってきている。これらの要求に対し、逆回復時間 100 ns 以下の高速ダイオード(-33

第 2 表 ショットキーバリアダイオード系列表
Table 2. Schottky barrier diode series

系 列	形 式	新 系 列	平均順電流* $I_{F(AV)}$ (A)	順 電 圧 V_{FM} (V)	せん頭逆電圧 V_{RRM} (V)	外 形	
リ ー ド 形	ERA 81	○	1.0	0.55	40	リード線径 $\phi 0.6$	
	ERB 81	○	1.7	0.55	40	リード線径 $\phi 0.8$	
	ERC 81	○	2.6	0.55	40	リード線径 $\phi 1.2$	
	ス タ ツ ド 形	ERD 81		15	0.55	40	ねじ径 M 5
		ERE 81		30	0.55	40	ねじ径 M 6
		ERG 81, ERG 81A		60	0.55	40	ねじ径 M 8, 81A は M 6
ツ イ ン 形	ESAB 82	○	4.0	0.55	40	モールド形 TO-220	
	ESAC 82	○	8.0	0.55	40	モールド形 TO-220	
	ESAC 83	○	16	0.55	40	モールド形 TO-3P	
	ESAD 83	○	25	0.55	40	モールド形 TO-3P	
	ESAC 81		8	0.5	40	キャン形 TO-66	
	ESAD 81		15	0.5	40	キャン形 TO-3	

注) * : ツイン形の素子では平均出力電流 I_0 を示す。



1A/div
50ns/div
転流時電流変化率 $\frac{di}{dt} = 25A/div$

第 3 図 ESAD 33, ESAD 83, ESAD 25 逆回復特性
Fig. 3. Reverse recovery characteristics of ESAD 33, ESAD 83 and ESAD 25

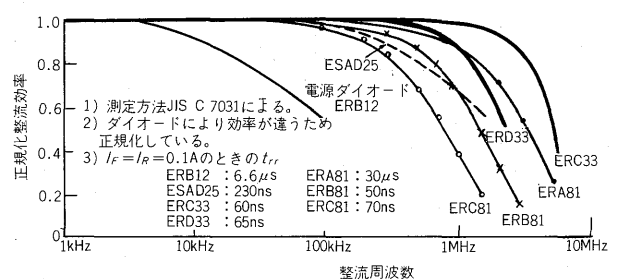
シリーズ) の系列化を行った (第 1 表参照)。

このダイオードの Si ペレットは、通常の pn 接合形であるが、最適接合設計及びライフタイムキラーの最適制御によって製作され、100 kHz 以上の小電流領域での整流用として使用されている。この系列の中の ESAD 33 とショットキーバリアダイオード ESAD 83 の逆回復特性を、従来形的高速ダイオード ESAD 25 の逆回復特性と比較して第 3 図に示す。図からも明らかであるが、従来形の ESAD 25 は、このような速い現象では、転流時にキャリア蓄積効果が大きく現れている。この現象が、整流効率を著しく低下させ、素子を発熱させる一因となっている。

一方、ショットキーバリアダイオード ESAD 83 と高速ダイオード ESAD 33 については、測定回路系の L, C による寄生振動現象がみられるが、ほとんどキャリア蓄積効果がなくなっており、高周波への適用が可能であることを示している。第 4 図に、新系列中の幾つかの機種種の整流効率を示す。測定条件 $I_F = I_R = 0.1A$ での逆回復時間が、使用可能周波数の指標を与えている。

3. 順回復時間の短いダイオード

リングング、チョーク、コンバータなどの用途に対し



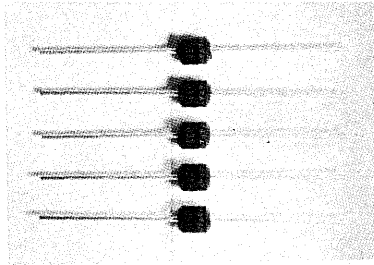
第 4 図 各種ダイオード正規化整流効率

Fig. 4. Normalized rectification efficiency of fast recovery diodes

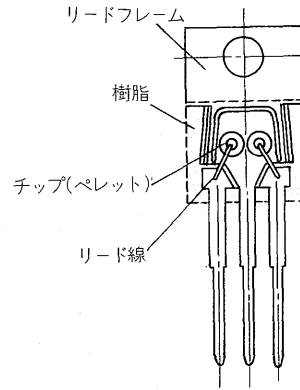
ては、立上り時間の短い急しゅんなパルスを整流するために、順回復時間 (t_{fr}) が速く、過渡せん頭順電圧降下 (V_{FP}) の小さいダイオードが要求される。5 ~ 6 V 位の出力電圧用としてはショットキーバリアダイオードが有効であるが、更に高い出力電圧用として、pn 接合構造で、接合構造及びライフタイムキラーの最適制御により、ERD 31-02 の開発を行った。第 3 表に定格特性、第 5 図に外観写真を示す。第 6 図に ERD 31 の順回復特性を示す。従来形の ESAD 25 と比較して、順回復時間が速く、

第3表 順回復時間 (t_{fr}) が速く、過渡せん頭順電圧降下 (V_{FP}) が小さいダイオード ERD 31 定格特性表
 Table 3. Ratings of ERD 31 (short t_{fr} and low V_{FP})

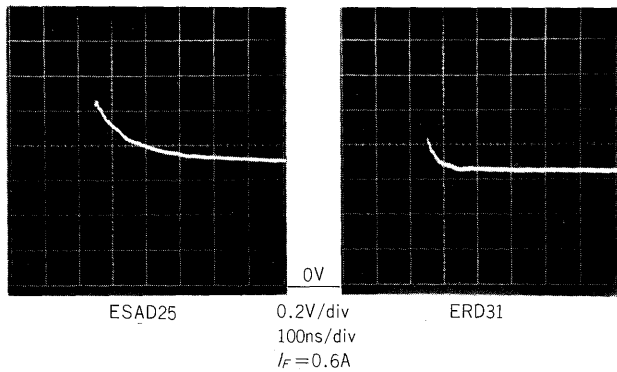
形式	平均順電流 $I_{F(AV)}$ (A)	逆回復時間 t_{rr} (μ s)	順電圧 V_{FEM} (V)	過渡せん頭順電圧 V_{FP} (V)	せん頭逆電圧 V_{RRM} (V)	外形
ERD 31	1.5	0.3	1.05	1.2	200	リード線径 $\phi 1.2$



第5図 ERD 31 の
 外観写真
 Fig. 5. Photograph
 of ERD 31



第7図 TO-220 内部
 構造図
 Fig. 7. Internal
 structure of
 TO-220



第6図 ESAD 25; ERD 31 順回復特性
 Fig. 6. Forward recovery characteristics of ESAD 25
 and ERD 31

ESAC 83 } TO-3P
 ESAD 83 }

2) 高速ダイオード

ESAC 25 TO-220 } 従来の高速ダイオードの複合
 ESAD 25 TO-3P } 化
 ESAC 33 TO-220 } 新高速ダイオードの複合化
 ESAD 33 TO-3P }

過渡せん頭順電圧降下も小さくなっている。

III. 複合化

高速ダイオードの主な使用方法として、センタタップ整流やフライホイール付半波整流の方式があり、実装コスト低減、コンパクト化の点から、2個の整流素子を複合化したものが要求されている。これらの要求に対処するため、従来の TO-66, TO-3 のキャン形に加えて TO-220, TO-3P, の樹脂モールドツイン形ダイオードの系列化を完了した。TO-220 の内部構造図を第7図に示す。これらの系列は、プリント板への実装及び放熱体へ取り付けの使用など、最適構造の素子を使用することにより、ユーザ側において実装のコンパクト化を図ることができる。これらの系列を次に示す。

1) ショットキーバリヤダイオード

ESAB 82 } TO-220
 ESAC 82 }

IV. あとがき

リード形, TO-220, TO-3P の構造で、今回付け加えた高速ダイオードとショットキーバリヤダイオードの新系列について紹介を行った。これらの樹脂モールド形ダイオードは、コスト面、実装面から多くのメリットを持っており、スイッチング方式電源の汎用化に伴い、使用範囲が拡大されるものと考えられる。

現在の当社高速ダイオードの特長として、次の諸点を挙げる事ができる。

- (1) リード形, TO-220, TO-3P, TO-66, TO-3, スタッドの各種形状の系列化を完了しているため、最適構造の素子を選べる。
- (2) 順・逆回復時間の短いダイオードを系列化し、高速ダイオード使用法の多様化に対処している。
- (3) 難燃性樹脂の採用、高温はんだの使用など信頼性向上に対し、各種の配慮がなされている。

今後、更に高速性能、損失性能の優れた素子の開発と系列拡大により、一層の充実を図りたいと考えている。



*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。